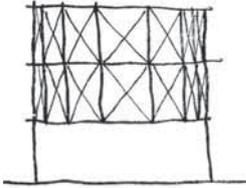




Architektur

Barbara Berger

Der Gasbehälter als Bautypus



DER GASBEHÄLTER ALS BAUTYPUS

Baukonstruktionsgeschichte des 19. und frühen 20. Jahrhunderts.
In England entwickelt, in Deutschland optimiert, weltweit verbreitet –
gezeigt am Beispiel Italiens

Barbara Berger

Ai miei cari Maria e Xaver – e Reinhard lassù,
che mi hanno dato sempre la libertà, il sostegno,
l'amore per trovare la mia strada,
che mi ha anche guidata e legata ai gasometri.
Non è stata solo una ricerca, piuttosto un viaggio
pieno di curiosità e passione,
conoscenze e persone, che hanno reso il tempo
del dottorato un tempo d'oro.

DER GASBEHÄLTER ALS BAUTYPUS

Baukonstruktionsgeschichte des 19. und frühen 20. Jahrhunderts.
In England entwickelt, in Deutschland optimiert, weltweit verbreitet –
gezeigt am Beispiel Italiens

Barbara Berger

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Architektur der
Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen
Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigten Dissertation.

Vorsitzender:

Prof. Dr. Alain Thierstein

Prüfer der Dissertation:

1. Prof. Dr.-Ing. Manfred Schuller
2. Prof. Dr.-Ing. Rainer Barthel

Die Dissertation wurde am 12.12.2017 bei der Technischen
Universität München eingereicht und durch die Fakultät für
Architektur am 26.04.2018 angenommen.

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation
in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische
Daten sind im Internet über <https://portal.dnb.de> abrufbar.

IMPRESSUM

1. Auflage

Copyright © 2019 der vorliegenden Ausgabe: TUM.University Press

Copyright © 2019 Barbara Berger

Alle Rechte vorbehalten

Die Forschung wurde gefördert durch:

Deutsches Studienzentrum Venedig

(Forschungsstipendium. Zeitraum: 08/2013–02/2014; 12/2014)

Deutsches Historisches Institut, London

(Forschungsstipendium. Zeitraum: 10– 12/2015)

Laura-Bassi-Preis, Technische Universität München

(Promotionsförderung in der Abschlussphase. Zeitraum: 01– 12/2016)

Die Autorin hat sich bis Produktionsschluss intensiv bemüht, alle Inhaber von Abbildungsrechten ausfindig zu machen. Personen und Institutionen, die möglicherweise nicht erreicht wurden und Rechte an verwendeten Abbildungen beanspruchen, werden gebeten, sich nachträglich an den Verlag zu wenden.

Die Produktion der gedruckten Ausgabe wurde unterstützt von:

Werner Konrad Marschall und Dr.-Ing. Horst Karl Marschall Stiftung,

Fakultät für Architektur, Technische Universität München

Layout und Gestaltung: Barbara Berger

Umschlaggestaltung: Caroline Ennemoser

Umschlagabbildung: Barbara Berger, Gasbehälter in Hornsey, UK mit trianguliertem

Führungsgerüst nach Samuel Cutler & Sons aus Millwall, London.

Abbildung S. 6–7: Barbara Berger, Gasbehälter in Kennington, London, UK mit zweifach

ausgekreuztem Führungsgerüst nach Frank Livesey, London.

TUM.University Press

Verlag der Technischen Universität München

Arcisstraße 21

80333 München

DOI: 10.14459/2018md1416492

ISBN der gedruckten Ausgabe: 978-3-95884-022-5

www.tum.de

EX FUMO DARE LUCEM

– Horaz





DREI BIOGRAPHISCHE SZENEN MIT GASBEHÄLTERN

EIN VORWORT VON CHRISTIAN KAYSER

1. SZENE

„Erste Detonation

CHORFÜHRER: Das war ein Gasometer.

Zweite Detonation

CHOR: Was nämlich jeder voraussieht

Lange genug,

Dennoch geschieht es am End:

Blödsinn,

Der nimmerzulöschende jetzt,

Schicksal genannt.

Dritte Detonation

CHORFÜHRER: Noch ein Gasometer.

Es folgt eine Serie von Detonationen fürchterlicher Art.“¹

Deutschunterricht, 7. Klasse. Ich hatte keine Vorstellung, wie das, was da in die Luft flog, wohl aussah, und was genau seine Funktion sein mochte. Für die Rezeption der etwas schwerfüßigen Parabel war dies auch unerheblich.

2. SZENE

Der Blick vom Bett aus dem Fenster: Im Vordergrund ein Fluss, in der Ferne sanfte Hügel, dazwischen ein halb aufgegebenes Industriequartier, mittendrin zwei Stahlgerüste. Merkwürdig genug: Im Herbst standen sie, den entlaubten Bäumen gleich, offen vor dem bleichen Himmel; in den Wochen bis Weihnachten stiegen darin geschlossene Objekte empor und füllten schließlich das Gerüst zu wuchtiger Form. Was das wohl war? Ich vermutete eine militärische Funktion, und war beiläufig besorgt, bis Gewöhnung und Alltag mich die Gerüste vergessen ließen.

ERASMUS-Jahr im Studium, Bath in Südwestengland (zweitbeste Wohnlage).

3. SZENE

Ein Arbeitsraum, Altbau mit Parkett, hohe Decken, offenkundig durch lange Jahre kreativer Nutzung abgeliebt. Pinboards an der Wand, Arbeitstische mit angebrochenem Modellbaumaterial, Skizzen, Photographien eines aus Stahlprofilen gefügten Gitters: Zwei Studentinnen, die begeistert an ihrer Diplomarbeit arbeiten, dem Entwurf für die Umnutzung eines ungewöhnlichen venezianischen Baukomplexes – der Titel der Arbeit lautete „Die Gasometer von San Francesco della Vigna“². Der betreuende Assistent wusste nicht viel von Gasbehältern, doch erfuhr er nun, im dritten Anlauf, um was für Strukturen es sich handelte. Ich hatte Glück: Die Aufklärung unternahm die heute beste Kennerin des Bautyps, *gasometra* Barbara Berger.

Dank ihr weiß ich nun, ein Jahrzehnt später, auch, dass es sich tatsächlich nicht um „Gasometer“ handelt, sondern dass die korrekte Ansprache „Gasbehälter“ (‘gasholder’) lautet. Die allzu umgangssprachliche Bezeichnung war auch Max Frisch in die Feder geraten. Die terminologische Unschärfe ist in gewisser Hinsicht typisch für den Forschungsgegenstand, einem Objekt von eigenartig kaleidoskopischem Charakter: Es ist ein Bauwerk, doch, im Sinne der Bauordnung kein Gebäude. Es fügt sich als Element nicht in die urbanistischen Konzepte des 19. Jahrhunderts ein, doch wäre die Stadt dieser Zeit ohne die Gasversorgung nicht denkbar – Das London Jack the Rippers ohne Gaslaternen? Unvorstellbar! – Der Gasbehälter ist ein Bautyp der Neuzeit, und doch heute bereits ein historisches Objekt. Während noch in der Mitte des 20. Jahrhunderts, in den Tagen Max Frischs, die Vorstellung kleinbürgerlicher Wohnquartiere mit den sie überragenden Gasbehältern vorausgesetzt werden kann, stellte ein noch in Nutzung befindlicher Gasbehälter um die Jahrtausendwende für einen ERASMUS-Austauschstudenten bereits ein Objekt der Irritation dar.

In diesem besonderen Charakter des Gasbehälters liegt auch ein Problem verborgen. Der Bautyp, der sich einfacher Kategorisierungen entzieht, erfuhr weder in der bauhistorischen Forschung noch in der Denkmalpflege besondere Aufmerksamkeit – auch im Rahmen eines offenen, erweiterten Denkmalbegriffes fand der Gasbehälter bisher noch nicht seinen Platz zwischen Kleinbauernhaus, Domkirche und Eisenbahnbrücke. Gerade dies bringt den Bautyp in Gefahr. Mit der schrittweisen Außerdienststellung der oft zentrumsnah gelegenen Objekte erfolgt zeitnah auch der Abtrag. Ein noch in der Großelterngeneration stadtbildprägender Bautypus verschwindet, ohne dass der Verlust überhaupt wahrgenommen wird. Bei einigen, besonders aufsehenerregenden Gasbehältern wird das Objekt auf ein das zu erhaltende Bild einer gestalteten Hülle reduziert; Technik und Kontext werden aufgegeben.

Diesem so rasch wie unauffällig voranschreitenden Denkmalverlust setzt Barbara Berger mit der vorliegenden Monographie ein gewichtiges Plädoyer entgegen. Das enzyklopädisch aufgebaute Werk bietet den Lesern Informationen zu allen Elementen des Typs, zu ihrer Entwicklung und Genese. Es ist damit nicht nur ein Meilenstein in der Erforschung von Industrieobjekten, sondern auch ein leidenschaftliches Argument für die Wertschätzung des Gasbehälters: Man kann nur erhalten, was man kennt.

München, im Mai 2019
Christian Kayser

EINFÜHRUNG ZU: DER GASBEHÄLTER ALS BAUTYPUS

MANFRED SCHULLER

Barbara Berger hat sich mit den Gasbehältern als Bautypus ein ebenso besonderes, wie ausgefallenes Thema ausgesucht. Für uns Menschen des 21. Jahrhunderts ist es vollkommen selbstverständlich, dass Städte nachts hell erleuchtet sind. Verwirklicht wurde dies allerdings erst in der Frühzeit des 19. Jahrhunderts und auch da zunächst nur in besonders bedeutenden Metropolen durch die Verwendung von öffentlichem Gaslicht. Entscheidend war für diese Innovation die Gasgewinnung aus Steinkohle in eigenen Gaswerken, die üblicherweise am Stadtrand angesiedelt wurden. Notwendig war aber nicht nur die Erzeugung von Gas, sondern auch dessen Speicherung in speziellen Behältern, die eine neue Art der Architektur erforderten und in Folge wegen ihrer zunehmenden Größe die Silhouette der Außenstädte mitbestimmten. Noch vor etwa einer Generation kannte man in den meisten Städten Europas diese Gasbehälter, auch wenn die Beleuchtung längst auf elektrischen Betrieb umgestellt worden war. Doch mittlerweile gehören sie zu den besonders gefährdeten Industriebauten, reihenweise sind sie bereits verschwunden und verschwinden weiterhin. Frau Berger hatte sich bereits während ihres Studiums anlässlich eines Venedigaufenthaltes für die dort noch erhaltenen zwei Gasbehälter begeistert und eine viel beachtete Diplomarbeit über sie verfasst. Ihre dabei gemachten Erfahrungen und die weiter anhaltende Begeisterung führten sie zu dem Thema der von mir und Rainer Barthel betreuten Dissertation an der Architekturfakultät der Technischen Universität München, die hier als Monographie vorgelegt wird.

Die hydraulischen Gasbehälter mit ihren charakteristischen, durch den Gasdruck angehobenen, durch ein Führungsgerüst gehaltenen Hubteilen prägten die Entwicklung lange Zeit. Sie stehen im Zentrum der Arbeit, ergänzt durch einen Ausblick auf die nach 1915 auftretenden Scheibenbehälter. Der Beginn der Entwicklung setzte 1813 ein, nicht von ungefähr im führenden Industrieland der Zeit – England, als Gasbehälter aus experimenteller Kleinanwendung ins Große übersetzt wurden. Zwei zukunftsweisende Technologien trafen zusammen, eben die Gasherstellung und das Bauen mit Eisen. Ohne die Fähigkeiten des Eisenbaus mit in Anbetracht der Größe leichten Vertikal- und auch große Spannweiten abdeckenden Horizontalkonstruktionen wäre die schnelle Entwicklung der Gasbehälter nicht denkbar gewesen.

Wurden die Gasbehälter bei schnell wachsender Größe zunächst in ihrer Außenerscheinung als „Architektur“ nobilitiert und entsprechend mit Versatzstücken der Baugeschichte geschmückt, so verlor sich dies mit der Zeit und Behälter und Führungsgerüst wurden immer mehr zu dem, was sie waren, nämlich ausschließlich technische Gebilde mit immer weiter gesteigertem Fassungsvermögen.

Ende der 1920er Jahr war mit einem Behälterdurchmesser von 80 Metern, einer Höhe von 149,50 Metern und einem Fassungsvermögen von 600.000 Kubikmetern Gas das Maximum erreicht.

Die zur Erstellung solch komplexer Anlagen notwendige Technologie faszinierte Barbara Berger. So stellt sie die Konstruktionen bis in die Details der Verbindungsmittel, Schrauben, Nieten und der Profile von Stützen- und Rahmenkonstruktionen dar. Die durch die Zeilen durchschimmernde Begeisterung der Autorin für „ihre“ Gasbehälter schafft es, ein scheinbar sprödes Thema interessant darzustellen, wozu die gelungene Mischung von Abbildungen und Text wesentlich beiträgt. Barbara Berger hat mit bewundernswerter Energie in England, Deutschland und Italien die wichtigsten erhaltenen Beispiele besucht, teils selbst dokumentiert und eine Fülle archivalischen Materials zusammengetragen. Auch wenn weitere relevante Standorte wie die USA, Russland und Frankreich nicht mehr unterzubringen waren, ist ihr mit dieser Publikation der mit Abstand beste Überblick über diese sterbende Technikdenkmälergattung gelungen. Da die Arbeit neben der Breite auch bis in die Tiefe kleiner Details vordringt und zudem alle entlegenen Fachbegriffe in Wort und Bild erläutert, dürfte sie das Zeug zu einem Standardwerk haben und nebenbei vielleicht zu einem Herzenswunsch Barbara Bergers beitragen: möglichst viele Gasbehälter zu erhalten.

München, im Mai 2019
Manfred Schuller

INHALTSVERZEICHNIS

DANKSAGUNG	28
ABKÜRZUNGEN	34
EINHEITEN	36
EISENWERKSTOFFE	36
DEFINITIONEN	37
A. EINFÜHRUNG	41
A.1. Dem Leser zum Geleit	42
A.2. Desiderat	44
A.3. Inhaltliche, zeitliche und geographische Eingrenzung	45
A.4. Forschungsstand	47
A.5. Methode	52
A.6. Aufbau	54

B. ENTSTEHUNGSGESCHICHTE	57
EINFÜHRUNG	59
B.1. Definition des Gasbehälters	60
B.2. Entwicklung erster Gasbehälterformen in der Chemie	64
1. Einführung des Gas-Begriffes und erste Apparaturen zur Untersuchung von Stoffen	64
2. Appareil de soufflet hydrostatique – Die Urform des Gasbehälters	67
B.3. Gaslicht	70
1. Gasherstellung	70
2. Die öffentliche Gasbeleuchtung	73
B.4. Funktionsweise der ersten Gasbehälter	76
1. Hydraulische Abdichtungstechnik	76
1.1. Funktionsweise bei Glockengasbehältern	76
1.2. Funktionsweise bei Teleskopgasbehältern	77
2. Betriebsdruck	78
B.5. London – Schauplatz der ersten Gasbeleuchtung, des ersten Gaswerks und der ersten Gasbehälter	80
1. Murdock und Winzer – Erste Wegbereiter	81
2. Samuel Clegg – Der erste „Gas-Ingenieur“	83
2.1. Apparatur zur Beleuchtung der Buchhandlung Ackermann	83
2.2. Planung und Bau des Gaswerks zu Westminster	84
2.3. Rotierender Gasbehälter	87
2.4. Faltgasbehälter	88
2.5. Entwicklung des Gaswerks bis 1840	90
3. Zusammenfassung – London	91
B.6. Zusammenfassung – Entstehungsgeschichte	92

C. BAUKONSTRUKTIONSGESCHICHTE	95
EINFÜHRUNG	97
C.1. Grundlagen	98
<hr/>	
C.1.1. ALLGEMEINE KATEGORISIERUNG UND NOMENKLATUR	100
1. Allgemeine Nomenklatur	100
2. Kategorisierung des Gesamtbauwerks	102
C.1.2. MATERIALWAHL – Das Eisen und seine Fügetechnik	106
1. Eisen als Werkstoff	106
2. Bauteile	107
1.2. Gusseisen	110
1.2. Schmiedeeisen	112
3. Fügetechnik	114
2.1. Der Niet	114
2.2. Die Schraube	115
4. Zusammenfassung Eisen	116
C.2. Hydraulischer Gasbehälter	118
<hr/>	
C.2.1. EINLEITUNG	119
Kapitelübersicht und allgemeine Nomenklatur	120
C.2.2. HUBTEIL	122
1. Überblick und Kategorisierung des Hubteils	124
2. Anforderungen	129
3. Nutzvolumen und Proportion eines Hubteils	130
4. Flachdach und Kuppeldach	131
4.1. Bauteilspezifische Anforderungen	131
4.2. Flachdach	132
4.3. Kuppeldach mit Unterspannung	134
4.3.1. Einfache Unterspannung	135
4.3.2. Doppelte Unterspannung	135
4.3.3. Sonderform: Aufgelöste Unterspannung – Fachwerkträger	138
4.3.4. Zusammenfassung – Kuppeldach, unterspannt	139
4.4. Kuppeldach, binderlos	140
4.4.1. Gebaute Beispiele	140
4.4.2. Stützkonstruktion	142
4.4.3. Zusammenfassung – Kuppeldach, binderlos	144
4.5. Kuppeldach, gerippt	146
4.6. EXKURS: Stabwerkkuppel	148
4.6.1. Entstehung: Als Kuppel für Gasbehältergebäude	148
4.6.2. Als Kuppel für Hubteile	150
4.6.3. Zusammenfassung – Stabwerkkuppel	152

4.7. Kuppelblech	153
4.8. Eckringträger: Anschluss von Kuppel und Mantel	154
4.9. Zusammenfassung – Flach- und Kuppeldach	158
5. Mantel	160
5.1. Ringträger und diagonale Stäbe	161
5.2. Mantelständer	162
5.3. Unterer Mantelabschluss	166
5.4. Klammern	166
5.5. Mantelblech	167
5.6. Zusammenfassung – Mantel	169
6. Teleskopierung	170
6.1. Erste Entwürfe	170
6.1.1. Doppelter Gasbehälter (Stratton)	170
6.1.2. Gazomètre a Lunette (Tait)	171
6.2. Standardform	172
6.2.1. Bau des ersten Teleskopgasbehälters	172
6.2.2. Etablierung und Weiterentwicklung	173
6.2.3. Zusammenfassung – Standardform	175
6.3. Hak- und Schöpftassen	176
6.3.1. Rechteckige Tassen	176
6.3.2. Halbkreisförmige Tassen (Piggott)	177
6.3.3. Zusammenfassung – Tassen	178
6.4. Schienen und Rollen	180
6.4.1. Stäbe und Ösen	180
6.4.2. Schienen und Rollen – Gerüst- und Beckenrollen	181
6.4.3. Schienen und Rollen – Mantelrollen	186
6.4.4. Zusammenfassung – Schienen und Rollen	188
6.5. Zusammenfassung – Teleskopierung	189
7. Fliegende Hubteile	190
7.1. Fliegende Hubteile mit Kurzsäulen	191
7.2. Fliegende Hubteile ohne unterstützender Führungstechnik	192
7.3. Fliegende Hubteile – Seil-geführt	195
7.4. Fliegende Hubteile – Spiral-geführt	198
7.5. Zusammenfassung – Fliegende Hubteile	200
8. Sonderformen	202
9. Chronologie zur Baukonstruktionsgeschichte des Hubteils	204
C.2.3. FÜHRUNGSGERÜST	206
1. Überblick und Kategorisierung des Führungsgerüsts	208
2. Anforderungen	214
3. Entstehung	215
3.1 Rahmenkonstruktionen für Gegengewichte	215
3.2. Zentrales Führungsrohr	216
4. Aufbau	218
4.1. Vertikale Bauteile	218
4.1.1. Säulen	218
4.1.2. Stützen	220
4.2. Horizontale Bauteile	222

4.3. Diagonale Bauteile	224
4.3.1. Liegender Verband nach Paddon	224
4.3.2. Vertikaler Verband	226
4.4. Anschlussdetails	228
4.4.1. Trägeranschluss	228
4.4.2. Anschluss des vertikalen Verbands	229
4.4.3. Durchlaufender Trägerkranz	230
5. Stützengerüst	232
5.1. Holzstützen	232
5.2. Gusseiserne Säulen	232
5.3. Dreibein-Stützen aus Gusseisen	233
5.4. Zusammenfassung – Stützengerüst	235
6. Rahmengerüst	236
6.1. Rahmengerüste für einhübige Gasbehälter – Einfache Ordnung	236
6.1.1. Rahmengerüste mit Säulen	236
6.1.2. Rahmengerüste mit Stützen	241
6.2. Rahmengerüste für mehrhübige Gasbehälter	242
6.2.1. Eingeschossige Rahmengerüste – Hochordnung	242
6.2.2. Mehrgeschossige Rahmengerüste – Mit Säulen	246
6.2.3. Mehrgeschossige Rahmengerüste – Mit Stützen	252
6.3. Zusammenfassung – Rahmengerüst	258
7. Verbandgerüst	260
7.1. Verbandgerüste mit einfacher Auskreuzung	260
7.1.1. Verbandgerüste mit gusseisernen Säulen	260
7.1.2. Verbandgerüste mit gusseisernen Stützen	264
7.1.3. Verbandgerüste mit genieteten Stützen	266
7.2. Verbandgerüste mit zweifacher Auskreuzung	272
7.3. Sonderformen	278
7.3.1. Verbandgerüste mit dreifacher Auskreuzung	278
7.3.2. Verbandgerüst mit netzförmiger Ausfachung	279
7.4. Trianguliertes Verbandgerüst nach Cutler	280
7.5. Aufgelöste Verbandgerüste	284
7.6. EXKURS: Verbandgerüste aus Deutschland	286
7.6.1. Sternförmiges Verbandgerüst mit Hubteilfehrung in Feldmitte – Klönne	286
7.6.2. Rautenförmiges Verbandgerüst – MAN	288
7.7. Zusammenfassung – Verbandgerüst	290
8. Chronologie zur Baukonstruktionsgeschichte des Führungsgerüsts	293
C.2.4. WASSERBECKEN	296
1. Überblick und Kategorisierung des Wasserbeckens	298
2. Anforderungen	301
3. Positionierung	302
4. Beckenformen	305
4.1. Flachbodenbecken	305
4.1.1. Holzfässer und -bottiche	305

4.1.2. Aus Gusseisen	306
4.1.3. Als genietete Blechkonstruktion	310
4.1.4. Aus Mauerwerk	314
4.1.5. Zusammenfassung – Flachbodenbecken	319
4.2. Kegelstumpfbecken	320
4.2.1. Kegelstumpf	320
4.2.2. Das erste Betonbecken – mit Kegelstumpf	322
4.2.3. Zusammenfassung – Kegelstumpfbecken	325
4.3. Kugelbodenbecken	326
4.3.1. In Massivbauweise	326
4.3.2. EXKURS: Als genietete Blechkonstruktion (Intze-Becken)	328
4.3.3. Zusammenfassung – Kugelbodenbecken	331
4.4. Ringbecken	332
4.4.1. Teilweise versenkte Ringbecken	332
4.4.2. Vollständig versenkte Ringbecken	334
4.4.3. EXKURS: Freistehende Ringbecken aus Deutschland	335
4.4.4. Zusammenfassung – Ringbecken	336
4.5. EXKURS: Wölbmantelbecken	338
4.5.1. Erfindung – Gewölbter Kreiszyylinder	339
4.5.2. Standardmodell – Tropfenform	339
4.5.3. Sonderformen	343
4.5.4. Zusammenfassung – Wölbmantelbecken	345
5. Chronologie zur Baukonstruktionsgeschichte des Wasserbeckens	346
C.2.5. GASBEHÄLTERGEBÄUDE	348
1. Entstehung	349
2. Aufbau	349
3. Deutschland	350
4. Zusammenfassung – Gasbehältergebäude	357
C.2.6. GASBEHÄLTER OHNE FÜHRUNGSGERÜST	358
1. Spiral-geführter Gasbehälter	359
1.1. Erfindung	359
1.2. Bauteilspezifische Anforderungen	360
1.3. Funktion	361
1.4. Konstruktion	362
1.5. Schienen und Rollen	363
1.6. Gebaute Beispiele	366
2. Seil-geführter Gasbehälter	370
2.1. Erfindung	370
2.2. Funktion	371
2.3. Konstruktion	372
2.4. Gebaute Beispiele	372
3. Zusammenfassung – Gasbehälter ohne Führungsgerüst	374
C.2.7. ZUSAMMENFASSUNG HYDRAULISCHER GASBEHÄLTER	376

C.3. Scheibengasbehälter	382
C.3.1. EINLEITUNG	383
C.3.2. DER MAN-TYP	384
1. Jagschitz` Erfindung	385
2. Der Prototyp in Augsburg	388
3. Das MAN-Standardmodell	392
C.3.3. DER KLÖNNE-TYP	400
C.3.4. ZUSAMMENFASSUNG – SCHEIBENGASBEHÄLTER	404
C.4. Vergleich – Hydraulischer und Scheibengasbehälter	406

D. DER HISTORISCHE GASBEHÄLTERBAU IN ITALIEN	411
EINFÜHRUNG	413
D.1. Überblick – Einführung der Gasbeleuchtung in Europa	414
<hr/>	
D.2. Geschichte der Gasbeleuchtung in Italien	418
<hr/>	
D.2.1 EINFÜHRUNG IN TURIN	420
D.2.2. VERBREITUNG	426
D.3. Gasbehälterbau in Italien – Baukonstruktion	430
<hr/>	
D.3.1. EINLEITUNG	431
D.3.2. HYDRAULISCHER GASBEHÄLTER	432
1. Führungsgerüst	432
1.1. Stützengerüst	432
1.2. Rahmengerüst für einhübige Gasbehälter	436
1.2.1. Abgespannte Rundrohrstützen	436
1.2.2. Säulen	437
1.2.3. Stützen	440
1.2.4. EXKURS: Verformung von Rahmengerüsten	442
1.3. Rahmengerüste für mehrhübige Gasbehälter	444
1.3.1. Hochordnung	444
1.3.2. Additive Ordnung	446
1.4. Verbandgerüst	450
1.4.1. Verbandgerüste mit einfacher Auskreuzung	450
1.4.2. Verbandgerüste mit einfacher Auskreuzung und horizontalem Stab	454
1.4.3. Sternförmiges Verbandgerüst mit Hubteilleitung in Feldmitte – Klönne	456
1.4.4. Trianguliertes Verbandgerüst nach Cutler	458
1.4.5. Als Ertüchtigungs- bzw. Erweiterungsmaßnahme	460
1.5. Zusammenfassung – Führungsgerüst	462
2. Hubteil	466
2.1. Flachdach	466
2.2. Kuppeldach	467
2.3. Fliegende Hubteile	470
3. Wasserbecken	472
3.1. Flachbodenbecken	472
3.2. Kegelstumpfbecken	473
3.3. Kugelbodenbecken	474
3.4. Ringbecken	474
4. Gasbehältergebäude	476

5. Gasbehälter ohne Führungsgerüst	478
5.1. Spiral-geführter Gasbehälter	478
5.2. Seil-geführter Gasbehälter	480
D.3.3. SCHEIBENGASBEHÄLTER	482
1. Der MAN-Typ	482
2. Der Klönne-Typ	486
D.3.4. ZUSAMMENFASSUNG UND VERGLEICH	488
<u>D.4. Exemplarische Dokumentation eines historischen Gasbehälters:</u>	<u>494</u>
Gasbehälter V in San Francesco della Vigna, Venedig	
D.4.1. EINLEITUNG	495
D.4.2. STANDORT	496
D.4.3. GESCHICHTE DER GASBELEUCHTUNG IN VENEDIG	498
1. Gaswerk I, San Francesco della Vigna	498
2. Gaswerk II, Santa Marta	501
D.4.4. GASBEHÄLTER V – KONSTRUKTION	502
1. Bestandsaufnahme	502
1.1. Hubteile	504
1.2. Führungsgerüst	506
1.3. Wasserbecken	510
2. Baugeschichte	514
2.1. Instandsetzungsmaßnahmen	514
2.2. Bauzustand von 2013	518
D.4.5. ZUSAMMENFASSUNG – VENEDIG	520
D.4.6. ANHANG: Chronologie zu Gasbeleuchtung, Gaswerken und Gasbehältern in Venedig	522
E. SCHLUSS	527
<u>E.1. Der Gasbehälter im 21. Jahrhundert</u>	<u>528</u>
1. Revitalisierung von Gasbehältern	530
2. Der Gasbehälter als Neubauprojekt	538
<u>E.2. Fazit</u>	<u>540</u>

F. ANHANG	546
F.1. Protagonisten des historischen Gasbehälterbaus 1814–1914	548
F.2. Glossar – Deutsch – Englisch – Italienisch	558
F.3. Schautafel: Entwicklung des Gasbehälterbaus im 19. und frühen 20. Jahrhundert	564
LITERATURVERZEICHNIS	571
ABBILDUNGS-/ TABELLENVERZEICHNIS	595
GASBEHÄLTERVERZEICHNIS	611
ZUR AUTORIN	621

DANKSAGUNG

Die schönste und treffendste Metapher beschreibt wohl das Mosaik, das sich aus vielen, unterschiedlichen Steinen zusammensetzt und so seine Form erlangt (Thank you Surabhi for inspiring me for this). Neben unzähligen Gasbehältern, denen ich mit nicht versiegender Faszination nachging und immer mehr eintauchte in die Materie der „gasometria“, konnte ich auf viele, kostbare Steine zurückgreifen, die diese Arbeit maßgeblich prägten, bereicherten und vor allem zusammenhielten. Darunter zählen besonders zahlreiche Wegbegleiter und Förderer, ohne die ich meine Arbeit nicht in diesem Ausmaße heranreifen hätte lassen können.

Ausgehend von der Diplomarbeit (2008/2009) über die venezianischen Gasbehälter, ließ mich die Begeisterung für diesen Bautypus nicht mehr los, dem ich unbedingt ein Buch widmen wollte, das seine Geschichte und einzigartige Konstruktion würdigt.

Förderung

Ohne Steinkohle kein Gas und ohne Finanzierung keine Forschung. Dies war wohl eine der größten Herausforderungen, der ich mich als externe Doktorandin stellen musste. Umso mehr freute ich mich über zwei zentrale Stipendien, die essenzielle Forschungstätigkeiten im Ausland überhaupt erst ermöglichen:

- Als Stipendiatin am *Deutschen Studienzentrum in Venedig* (2013/2014) konnte ich meinen ersten Gasbehälter-Studien in Italien nachgehen. An dieser Stelle sei besonders den Direktoren Prof. Dr. Sabine Meine (2010–2014) und Prof. Dr. Phil. Romedio Schmitz-Esser (2014–2017) gedankt für ihre herzliche Unterstützung. Die ersten geschriebenen Seiten dieser Arbeit entstanden bereits nach den venezianischen Monaten auf das beherzte Anhalten von Sabine Meine hin, deren Fürsorge immer an meinem Schreibfortschritt gelegen war – grazie di cuore.
- Im Rahmen eines Stipendiums am *Deutschen Historischen Institut in London* (2015), auf das ich dankenswerterweise von Prof. John Henderson (Birbeck University of London) aufmerksam gemacht wurde, konnte ich die Wurzeln der ersten Gasbehälter sowie deren Entwicklung untersuchen. Hierfür möchte ich besonders Prof. Dr. Andreas Gestrich und PD Dr. Michael Schaich meinen Dank aussprechen.

Dank des *Laura Bassi Preises* (2016), einem zwölfmonatigen Abschlussstipendium der Technischen Universität München, hatte ich den notwendigen Freiraum, mich allein auf die Ausarbeitung und Niederschrift der Dissertation zu konzentrieren. Hierfür möchte ich besonders Frau Dr. Eva Sandmann meinen Dank und meine Verbundenheit aussprechen, dass ich diesen geschätzten Preis entgegennehmen durfte.

An dieser Stelle richtet sich mein Dank auch an Prof. Ernst Homburg (Maastricht University), der mir äußerst kurzfristig auf meine Anfrage ein Gutachten zusagte und mir so überhaupt erst zur Vervollständigung meiner Bewerbungsunterlagen verhalf.

Neben den reinen Forschungsstipendien ermöglichten mir zwei Kongress- bzw. Reisestipendien die Teilnahme am 5th International Congress on Construction History in Chicago (2015) – nämlich durch den *Deutsch Akademischen Austausch-Dienst* und die *Gesellschaft für Bautechnikgeschichte*.

In Zeiten ohne Stipendien schätzte ich vor allem die Mitarbeit als Architektin bei dem Ingenieurbüro *Haushochdrei GmbH* in München; hier gilt mein Dank Thomas Klug und Jens Stenzel, die mir neben der Bearbeitung von interessanten Projekten dennoch immer Verständnis und den nötigen Freiraum für meine Forschung entgegenbrachten. Auch bei meinen Kollegen möchte ich mich für das geduldige Zuhören meiner endlosen Gasbehältersaga über die Jahre hinfort bedanken. Danke HH3!

Mein besonderer Dank gilt schließlich auch der *Werner Konrad Marschall und Dr.-Ing. Horst Karl Marschall Stiftung*, durch deren Publikationsförderung dieses hochwertige Buch bei der TUM University Press entstanden ist und so seinen Weg zur Leserschaft findet. An dieser Stelle möchte ich mich auch bei Annette Kiefer und Caroline Ennemoser (TUM University Press) bedanken, die mit Begeisterung Engagement und sicherer Hand mich durch die Drucklegung führten.

Betreuung

Mein Erstbetreuer *Prof. Dr.-Ing. Manfred Schuller (Lehrstuhl für Baugeschichte, historische Bauforschung und Denkmalpflege, TUM)* war seit der Diplomarbeit über die venezianischen Gasbehälter (2008/2009) von dem baugeschichtlichen Potenzial dieses Themas überzeugt. Mit richtungsweisenden Gesprächen unterstützte er mich auf meinem Weg durch die Dissertation, der mich zunächst auf sein wohlwollendes Bestreben hin nach Venedig führte. Für sein Engagement und sein immerwährendes Vertrauen in mich und meine Gasbehälter möchte ich ihm recht herzlich danken.

Es war mir eine besondere Freude, *Prof. Dr.-Ing. Rainer Barthel (Lehrstuhl für Tragwerksplanung, TUM)* als Zweitbetreuer für diese Arbeit gewinnen zu können, zumal er als Betreuer der Diplomarbeit bereits bestens mit dem Thema vertraut war. Mit seiner Unterstützung konnte ich das Thema auch konstruktiv richtig positionieren. Die Aufnahme an seinen Lehrstuhl 2016 ermöglichte mir das optimale wissenschaftliche und kollegiale Umfeld zur finalen Ausarbeitung und Niederschrift, an dem ich mich sehr wohlfühlt habe und als wissenschaftliche Hilfskraft bzw. Korrekturassistentin Teil eines wunderbaren Teams war.

Eine ganz besondere Bezugsperson für mich war und ist *Dr.-Ing. Christian Kayser (Barthel & Maus GmbH, München)*, von dem ich mir in meinen frühen Bauforscherjahren wichtiges Handwerkzeug aneignen konnte und der meine Arbeits- und Schreibweise wesentlich prägte. Seine Welle von Begeisterung und Unterstützung für meine Gasbehälterforschung trug mich von der allerersten Gasbehälterskizze (2007) bis hin zur vollendeten Dissertation, für die er mir zum zentralen Mentor wurde. Für die vielen Gespräche, seine Zeit und seine Freundschaft möchte ich ihm – und Julia, Frido und meinem Patenkind Marten – von Herzen danken.

Fachgespräche & Beratung

Am Lehrstuhl für Tragwerksplanung fand ich vor allem in Joram Tutsch einen regen Diskussionspartner, was den Gasbehälter als statisch-konstruktives Gefüge anbelangte. Für seinen vielfachen, kenntnisreichen Rat, seinen Einsatz für meine Angliederung an den Lehrstuhl sowie für seine Freundschaft bin ich ihm sehr verbunden.

Weitere intensive und lehrreiche Fachgespräche vertieften mein Verständnis über

- Chemische Zusammenhänge – mit Stephanie Oppolzer, der ich außerdem für ihren Beistand und ihre Freundschaft durch die Gasbehälterjahre hindurch sehr dankbar bin.
- Gasherstellung und Aufbau eines Gaswerks – mit Oliver Frühschütz (*Gaswerksfreunde Augsburg e.V.*), der mir zudem wertvolle Bildmaterialien über das Gaswerk Augsburg-Oberhausen zur Verfügung stellte.

- Geschichte und Beschaffenheit des Eisenwerkstoffes – mit Prof. Dr.-Ing. Jürgen Villain.
- Moderner Neubau von Gasbehältern und deren Anlagentechnik – mit Thomas Leffer (*Stahl- und Apparatebau Hans Leffer GmbH & Co. KG, Saarbrücken*), der mir außerdem die Nutzungserlaubnis für sämtliche Archivalien, insbesondere historische Plan- und Bildbestände aus dem Firmenarchiv erteilte. Unvergessen bleiben mir ebenso die Werksführung in Dudweiler, bei der mir eine Reihe von neuen Einzelbauteilen eines Scheibengasbehälters zu Füßen lagen, und die Baustellenbesuche von zwei im Bau befindlichen Gasbehältern in Frankreich, bei denen ich Herrn Leffer begleiten durfte. Für seine Großzügigkeit und Unterstützung möchte ich mich ganz herzlich bedanken.
- Verbreitung der Gasbeleuchtung in Europa – Thomas Russell (*Parsons Brinckerhoff, Water Environment, Bristol*).

Als Gastwissenschaftlerin am *Forschungsinstitut für Technik- und Wissenschaftsgeschichte, Deutsches Museum München* konnte ich viele interessante, fachübergreifende Diskussionen führen und mein Thema von anderen Seiten beleuchten. Mein Dank gilt hier vor allem PD Dr. Ulf Hashagen, der mir in der Frühphase die richtigen Fragen zur Eingrenzung meines Forschungsfeldes stellte.

Insbesondere bei meinen Forschungsaufenthalten in Venedig und London konnte ich von zahlreichen Gesprächen mit Wissenschaftlern und Stipendiaten-Kollegen der jeweiligen Institute profitieren, die mich meine Arbeit mit dem Blick eines (Kunst-)Historikers neu betrachten und hinterfragen ließen.

Auch meinen Münchner Con-Disserteuren bin ich sehr verbunden für den regen Austausch und das Motivieren während der Schreibphase – nämlich Joram Tutsch, Eike Schling, Jonas Schikore und vor allem Jörg Rehm, durch dessen Initiative ich nun an seiner Seite als wissenschaftliche Mitarbeiterin beim Lehramt für berufliche Schulen – Bautechnik (LBB) mitwirken darf.

Während meines Londonaufenthalts erschloss sich mir ein äußerst anregendes Netzwerk, das sich aus verschiedenen Professionen zusammensetzte und einen breitgefächerten Informationsquell ergab.

Diesem erlesenen Kreis bestehend aus Malcolm T. Tucker *, Brian Sturt, Michael Bussell *, Bob Carr, Robert Thorne, Jonathan Clarke, Julia Elton, Mary Mills (*Greenwich Industrial History Society*) und Daniel Hayton (*Greater London Industrial Archaeology Society*) möchte ich herzlich danken.

Von besonderem Kenntnisgewinn waren mir die Gasbehältertouren unter der Leitung von Malcolm T. Tucker, dem an dieser Stelle mein besonderer Dank gilt. Er ließ mich an seinem Wissen und seiner langjährigen Erfahrung als „Consultant Engineering Historian“ teilhaben, war mir ein zentraler Ansprechpartner für gasbehälterspezifische Fragen und stellte mir dankenswerterweise einige seiner persönlichen Aufzeichnungen sowie seinen unveröffentlichten Bericht „London Gasholders‘ Survey“ zur Verfügung.

Zusammenarbeit mit Archiven, Museen und Instituten

Die Datenerhebung von Primärquellen in Staats-, Stadt- und Firmenarchiven war ein fundamentales Forschungsinstrument dieser Arbeit. Zwei Archive, deren wertvoller Fundus wesentlich zum Erkenntnisgewinn der Arbeit beigetragen hat, seien an dieser Stelle besonders hervorgehoben:

- *The National Gas Archive in Warrington (NGA)* *, das dem National Grid Archive angegliedert ist. Dort fand ich eine große Unterstützung in Kerry Moores, die mich gezielt durch die umfangreichen Bild- und Plankataloge, sowie die äußerst seltenen Schriftstücke lenkte.
- *Archivio Storico e Museo Italgas in Turin (ITG)* *. Auch in diesem Archiv, das ich mehrfach konsultierte, stieß ich auf zahlreiche, bedeutende Archivalien in Plan- und Bildform, sowie wichtige geschriebene Dokumente. An dieser Stelle möchte ich mich besonders bei Carla Versetti für ihre unermüdliche Unterstützung – vor Ort und fernab – bedanken.

Von beiden Archiven erhielt ich die großzügige Erlaubnis, eine Reihe von historischen Plänen und Bildern in dieser Arbeit abbilden zu dürfen, wofür ich ihnen meinen Dank aussprechen möchte.

In **England** profitierte ich überdies durch die Zusammenarbeit mit dem National Gas Museum in Leicester (Janet Armstrong, Ian West) *, dem Fakenham Museum of Gas and Local History (Harry Yates) *, den London Metropolitan Archives * und der Institution of Structural Engineers in London (Andrew C. Smith, Rob Thomas). Letztere besitzt eine Arbeitsgemeinschaft zu historischen Bauten, nämlich die History Group, die mich zu meiner großen Freude und Ehre 2016 für einen Vortrag nach London einlud und mir die Möglichkeit gab, meine Arbeit vor einem auserlesenen Fachpublikum vorzustellen.

Darüber hinaus möchte ich mich für die Unterstützung bei meinen umfangreichen Forschungen in **Italien** für die Zusammenarbeit mit zahlreichen Archiven, Gasanbietern, Institutionen und Privatpersonen bedanken: Save Industrial Heritage Bologna (Jacopo Ibelli), Museo del Patrimonio Industriale di Bologna (Antonio Campigotto) *, Gruppo HERA in Bologna (Maresta Loredana), Comune di Brescia (Alberto Gadola), Toscana Energia Florenz (Rossella Fantoni, Alberto Boni) *, Fondazione AEM Mailand (Fabrizio Trisoglio) *, a2a energia Mailand (Maurizio Introini), Civica Raccolta delle Stampe „Achille Bertarelli“ Mailand (Silvia Paoli, Claudio A.M. Salsi) *, Civico Archivio Fotografico, Mailand (Laura Gatti, Giuseppina Simmi) *, Prof. Foscarini, Porchia (Università di Padova), Italgas Sud Rom (Mario Tosti, Katty Corvino) *, AES Turin (Federico Vinci) *, Comune di Treviso (Renato Bisetto), Enel Rete Gas Treviso (Rudi Zampato), AIM Treviso (Paolo Piaser), Fondazione Benetton Treviso (Massimo Rossi), Archivio Generale del Comune di Trieste (Paola Ugolini), Acegas Trieste, Prof. Rolf Petri (Università Ca' Foscari di Venezia), Zero4uno Ingegneria (Romeo Scarpa), Francesco Calzolaio, AFU Archivio Fotografico di Urbanistica (Comune di Venezia, Direzione Sviluppo del Territorio e Città Sostenibile) *, Archivio Municipale di Venezia/ Celestia, Archivi Fotografici e Digitali, „Reale Fotografia Giacomelli“ (Comune di Venezia, Settore Sviluppo ed Utilizzo del Territorio) *, AIM Vicenza (Pietro Savio), sowie meinem zentralen Netzwerk rund um das Gas in Venedig: Francesco Casarin *, Alessandro Ardit (ehem. Gruppo Veritas, Venedig) * und Maurizio Boz (Italgas, Distretto Est).

Unvergessen ist mir auch die Unterstützung von Prof. Enrico Fontanari (Istituto Universitario di Architettura di Venezia), der mir im Jahr 2011 zu einer Ausstellung meiner Diplomarbeit in Venedig verhalf. 2017 freute ich mich besonders über die Einladung, meine Forschungen über die venezianischen Gasbehälter bei der internationalen Konferenz „Infrastructure: The City as Negotiation between Nature and Power“ vorstellen zu dürfen; hierfür möchte ich mich besonders bei Prof. Dr. Stefan Neuner und Adam Jasper (Eikones, NFS Bildkritik, Basel) bedanken.

In **Deutschland** konzentrierten sich meine Recherchen auf den Archivbestand und die Bibliothek des Deutschen Museums in München *, dem Historischen Archiv der MAN in Augsburg (Gerlinde Simon) *, der Stiftung Deutsches Technikmuseum, Berlin (Jörg Schmalfuß), der Bildstelle der Landeshauptstadt Dresden (Martina Fröhlich) *, den Stadtwerken in Dinslaken * und Augsburg *, sowie dem Stadtarchiv Augsburg (Dr. Michael Cramer-Fürtig, Georg Feuerer) * – letzteres ließ mir die Ehre zuteil werden, 2016 im Rahmen des 100-jährigen Jubiläums des weltweit ersten Scheibengasbehälters einen Vortrag zu halten.

)* Diese Archive/ Privatpersonen erteilten mir dankenswerterweise die Erlaubnis zur Nutzung von wertvollen Bild- und Planmaterialien in der vorliegenden Arbeit.

Korrektur & Übersetzung

Für das formale Lektorat möchte ich Katharina Wenninger ganz herzlich danken; es bereitete mir große Freude ihre – mit jedem Kapitel zunehmende – Gasbehälter-Begeisterung und Expertise verfolgen zu können; zudem war mir ihr Beistand während der Schreibphase eine unersetzbare Konstante.

Das konstruktionshistorische Lektorat befand sich in den erfahrenen Händen von Dr.-Ing. Christian Kayser, durch dessen Ratschläge die Arbeit in die richtigen Wege gelenkt wurde.

Die anlagentechnischen Aspekte wurden von Thomas Leffer gegengelesen.

Für das zeitintensive Korrekturlesen dieses – nun doch sehr umfangreichen – Werks, das dadurch noch an Schärfe und Ausdruckskraft gewann, möchte ich allen meine tiefe Verbundenheit aussprechen.

Überdies gilt mein Dank Jan C. Breiting – für das Lesen und kritische Hinterfragen meiner Einleitungen und Zusammenfassungen – sowie Annette Karpp, Clemens Kusch (cfk architetti, Venedig), Giles Endicott, Prof. Bill Addis und Paola Zanotto für die Unterstützung bei Übersetzungen, die wesentlich zur Erstellung eines dreisprachigen Glossars beitrugen.

Neben dem Lektorat der Dissertation möchte ich an dieser Stelle auch denjenigen danken, die mir in den letzten Jahren sämtliche englische und italienische Aufsätze lektorierten – insbesondere Julia Mair, Prof. John Henderson, Thomas Leffer, Denis Rovetti, Damiano Acciarino, Alessandra Baron, Margherita Ferrari und Jacopo Ibello (Save Industrial Heritage).

Graphic support

Für das wiederholte Retten und Beistehen bei PC- und Indesign-Problemen möchte ich besonders Bernhard Schaffer, Thomas Klug, Simon Schömann und dem Typokrat Wolf Kamm danken.

Auf den letzten Metern der Ausarbeitung freute ich mich sehr über die graphische Unterstützung von Christiane Ostermeier und Bärbel Heitzer, die mir einige meiner Unmengen an Scans anfertigten bzw. bereinigten – tausend Dank!

Graphisch bekrönt wurde v.a. mein Schlusskapitel durch eine hervorragende Gasbehälterrekonstruktion von Giuseppe Giordano (*ombra – Architectural Visualisation Studio, Barcelona*) – grazie mille, Beppe, graficamente e gasometricamente una meraviglia!

Familie und Freunde

Mein immerwährender Fels in der Brandung ist meine Familie – Maria und Xaver, die mir nun über zehn Jahre Gasbehälterforschung hinweg den Rücken stärkten, mich erdeten, sich mit mir freuten, mich immer wieder auffingen und mich mit meiner unendlichen Gasbehälterleidenschaft liebevoll respektierten.

Mein euphorischer Forscherdrang schien unaufhaltbar und unbesiegbar, bis mir ein Krankheitsschub den großen Traum, ein umfassendes Gasbehälterbuch zu erstellen, in unerreichbare Ferne rückte. So möchte ich an dieser Stelle einen weiteren, wahrhaften Doktorvater nennen – Dr. Stefan Wolfer, der mich mit viel Zusprache und der richtigen Medikation wieder auf den Weg der „gasometria“ brachte. Hierzu trugen auch Dr. Carl Thora, Stefan Derner, Dr. Alexander Angermann, Dr. Surabhi Taori und Dr. Dagmar Mußbach wesentlich bei.

Stärkende und geduldige Weggefährten bzw. Sterne waren mir meine Freunde – besonders Stephanie, Katharina, Diana & Petr, Giles, Christine und Christine, Kaja, Paola genannt „Poca“, Marietta & Thomas, Andrea, Constanze, Tess und meine „Architekteusen“ – Bärbel, Susanne, Daniela, Sylvia,

Christiane und vor allem Esther, mit der ich durch die gemeinsame Diplomarbeit 2008/2009 über die „Gasometri di San Francesco della Vigna, Venezia“ den Grundstein für diese Arbeit legte.

Allesamt holten sie mich immer genau zum richtigen Zeitpunkt aus meinem Gasbehälteruniversum ab, um mich danach wieder frisch und gestärkt meinen eisernen Freunden übergeben zu können.

Die letzten Meter brennen bekanntlich am meisten, daher danke ich am Ende nochmal allen, die mit mir gemeinsam dem großen Diss-Finale entgegen fieberten, meinen Gasbehälterwahnsinn live miterlebten und mich schließlich an die Finishline gebracht haben. Dort angelangt zu sein und diesen besonderen Moment nun mit denjenigen teilen zu können, ist mir die größte Freude.

Con affetto

Barbara *Gasometra* Berger

ABKÜRZUNGEN

Archive, Museen, Bildsammlungen

AEM	AEM Archivio Storico, Azienda energetica municipale, Mailand
AFD	Archivi Fotografici e Digitali, Foto: Reale Fotografia Giacomelli
AFU	Comune di Venezia, Direzione Sviluppo del Territorio e Città Sostenibile AFU Archivio Fotografico di Urbanistica
AMPIB	Archivio del Museo del Patrimonio Industriale, Bologna
AMV	Archivio Municipale, Venedig
AOCGB	Archivio dell'Officina Comunale del Gas di Bologna
ASCF	Archivio Storico del Comune di Firenze
BPK	bpk Bildagentur, Berlin
CAFM	Civico Archivio Fotografico, Mailand
CRBM	Civica Raccolta delle Stampe „Achille Bertarelli“, Mailand
FM	Fakenham Museum of Gas and Local History
ITG	Archivio storico e Museo Italgas, Turin
LHD	Bildstelle der Landeshauptstadt Dresden, Stadtplanungsamt
LMA	London Metropolitan Archives, City of London (COLLAGE: the London Picture Archive)
MAN-A	Historisches Archiv der MAN, Augsburg
NGA	National Gas Archive (National Grid), Warrington
NGM	National Gas Museum, Leicester
SDTM	Stiftung Deutsches Technikmuseum Berlin, Historisches Archiv
STA-A	Stadtarchiv, Augsburg

Gasanbieter, Behälterbaufirmen und Gasbeleuchtungsgesellschaften

ITG-S	Italgas Sud, Rom
ENEL	Enel Rete Gas, Treviso (Heute: Gruppo F2i Reti)
GLCC	The Gas Light and Coke Company
LEF-A	Stahl- und Apparatebau Hans Leffer GmbH & Co. KG, Dudweiler, Firmenarchiv
MAN	Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg
SAFII	Società anonima forni ed impianti industriali, Mailand
TOSCE	Archivio Toscana Energia, Florenz
VESTA	Venezia Servizi Territoriali Ambientali Spa. (heute: Gruppo Veritas Spa.)

Institutionen, Universitäten und Vereine

DSZV	Deutsches Studienzentrum, Venedig
DVGW	Deutscher Verein von Gas- und Wasserfachmännern
DHI	Deutsches Historisches Institut, London
GLIAS	Greater London Industrial Archaeology Society
GWF	Gaswerksfreunde Augsburg, e.V.
IstructE	The Institution of Structural Engineers, London
IUAV	Università IUAV di Venezia
TUM	Technische Universität München

Zeitschriften

JGL	The Journal of Gas Lighting
ZfB	Zeitschrift für Bauwesen

Abmessungen, Maßeinheiten, Materialien

B	Breite
Be	Beton
BWG	Birmingham Wire Gauge – Birminghamer Blechlehre
CI	Cast Iron (Gusseisen)
cft.	cubic feet
D	Durchmesser
e	Axialer Abstand
EB	Eisenbeton
f	Stich
ft.	Feet (Fuß)
G	Gewicht
GE	Gusseisen
GOK	Geländeoberkante
H	Höhe
in.	Inch (Zoll)
L	Länge
MS	Mild Steel (Flusseisen)
MW	Mauerwerk
n.e.	nicht einsehbar
OK	Oberkante
R	Radius
SE	Schmiedeeisen
T	Tiefe
t	(Bauteil-)Stärke
to	Tonne
UK	Unterkante
V	Gas-Nutzvolumen (ohne Wasserbecken)
WI	Wrought Iron (Schmiedeeisen)

Sonstige Abkürzungen

BB	Barbara Berger (bei Fotos)
ehem.	ehemals
Fa.	Firma
fasc.	fascicolo
GW	Gaswerk
IB	Ingenieurbüro
Jhd.	Jahrhundert
mz.	mazzo
o. A.	ohne Angabe
o. Nr.	ohne Nummer
o. O.	ohne Ort
o. J.	ohne Jahr
o. T.	ohne Titel
Rd	Road
Schl.	Schlüssel
St	Street
unbek.	unbekannt
Zeich. nr.	Zeichnungsnummer

EINHEITEN

Die in den englischen Quellen enthaltenen Maße wie **foot** und **inch** wurden mit den folgenden Einheitswerten umgerechnet: ¹

- 1 englischer Fuß = 30,48cm
- 1 englischer Zoll = 2,54cm
- 1 österreichischer Fuß = 31,61cm
- 1 preußischer Fuß = 31,38cm
- 1 preußischer Zoll = 2,615cm

Als Druckeinheit wurde **mbar** gewählt. Andere Einheiten wie Wassersäule (mmH₂O oder mmWS) oder atmosphärischer Druck (at) wurden in bar umgerechnet:

- 1 mmWS = 0.098 mbar
- 1at = 980.665 mbar

In England wurden häufig Bleche aus der Reihe der **Birmingham-Wire-Gauge** – der Birmingham Drahtlehre – eingesetzt:

Tab. 1: Blechstärken der Birmingham-Wire-Gauge (BWG) (nach Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 113)					
Nr.	inch	mm	Nr.	inch	mm
6	0,202	5,13	13	0,094	2,39
7	0,187	4,75	14	0,080	2,03
8	0,168	4,72	15	0,071	1,80
9	0,152	3,86	16	0,064	1,63
10	0,134	3,40	17	0,056	1,42
11	0,122	3,10	18	0,048	1,22
12	0,108	2,74	19	0,044	1,12

EISENWERKSTOFFE

Die vorliegende Arbeit differenzierte bei der Eisenkonstruktion der historischen Gasbehältern nur zwischen

- **Gusseisen** (eng.: „Cast-Iron“; it.: „Ghisa“),
- **Schmiedeeisen** (eng.: „Wrought-Iron“; it.: „Ferro Battuto/ Fulcinato“).

Dies begründet die englische und italienische Quellenlage des 19. Jahrhunderts, die sich überwiegend auf diese Bezeichnungen stützen und so eine nähere Bestimmung des Werkstoffs nicht zuließen.

Aufgrund ihrer Fügetechnik wurden die schmiedeeisernen Bauteile in dieser Arbeit auch als **Genietete Blechkonstruktionen** bezeichnet.

Der Begriff des Flusseisens wurde weitaus seltener benutzt. Erst der Begriff des Stahls (eng.: „Steel“; ital.: „Acciaio“) entwickelte sich Ende des 19. Jahrhunderts zu einem geläufigen Begriff. ²

¹ Nach Schilling, 1860 war es in der deutschen Gasindustrie üblich, den englischen Fuß als Maßeinheit zu benutzen. Dies folgte aus dem Umstand, dass der deutsche Fuß nicht einheitlich definiert werden konnte. (Schilling, 1860, p. IV).

² Nach Tucker, 2014 wurde Flusseisen (Mild Steel) ab 1890 im Gasbehälterbau eingesetzt (Tucker, 2014, p. 9). Weiterführende Literatur zu Eisenwerkstoffen des 19. Jahrhunderts in England siehe Herring, 1893, pp. 50–66.

DEFINITIONEN

In diesem Abschnitt werden die zentralen Begriffe zum historischen Gasbehälterbau definiert. Eine Aufführung der vollständigen Nomenklatur, einschließlich der englischen und italienischen Übersetzung befindet sich im Anhang (*Siehe Kap. F.2.*).

Führungsgerüst	Bestandteil des hydraulischen Gasbehälters, der zur Führung eines oder mehrerer Hubteile diente.
Gasbehälter	Technisches Bauwerk zur Speicherung von lokal produziertem Steinkohlengas.
Gasometer	Messinstrument für den aktuellen Speicherinhalt eines Gasbehälters.
Gasbehältergebäude	Zusätzliches, massives Schutzbauwerk für Gasbehälter.
Glocke	Erstes bzw. oberstes Hubteil eines Gasbehälters, bestehend aus einem geraden Zylinder, der an der Oberseite geschlossen war und so eine glockenähnliche Form bildete.
Glockengasbehälter	Hydraulischer Gasbehälter mit nur einem Hubteil; auch einfacher oder einhübiger Gasbehälter genannt.
Haktasse	Wichtiges Anschlussbauteil bei Teleskopgasbehältern: Die unteren Hubteile verhakten sich jeweils mit einer Haktasse, die sich am oberen Abschluss befand, mit der <i>Schöpftasse</i> des vorgehenden Hubteils.
Hochdruckgasbehälter	Gasbehälter mit einem Betriebsdruck von 10 bis zu 100bar. Möglich als Kugelgasbehälter (max. 50bar), Röhrenspeicher (max. 100bar) und Kavernen-/ Untertagespeicher.
Hübigkeit	Anzahl der Hubteile eines hydraulischen Gasbehälters.
Hubteil	Zentraler Bestandteil des hydraulischen Gasbehälters, der das Gas tatsächlich aufnahm und speicherte. Das Auf- und Abbewegen des Hubteils wurde allein durch den variablen Gasinhalt gesteuert. Somit war das Hubteil ein Indikator des aktuellen Speicherinhalts. Um einen betriebssicheren Bewegungsmechanismus gewährleisten zu können, benötigten die Hubteile ein feststehendes <i>Führungsgerüst</i> , oder eine integrierte Führungstechnik, siehe <i>Schraubengasbehälter</i> . Das erste bzw. oberste Hubteil wurde auch als <i>Glocke</i> bezeichnet.
Hydraulischer Gasbehälter	Gasbehälter, dessen Abdichtungstechnik auf Wasser basierte; deshalb wurde er auch als Nassgasbehälter bezeichnet.
Mitteldruckgasbehälter	Gasbehälter mit einem Betriebsdruck von 50 bis 1000mbar. Möglich als Membrangasbehälter.

Niederdruckgasbehälter	Gasbehälter mit einem Betriebsdruck von 10 bis 50mbar. Möglich als hydraulischer und Scheibengasbehälter.
Scheibengasbehälter	Wasserloser Gasbehälter, dessen zentrales, gasbegrenzendes Bauteil aus einer Scheibe bestand. Entlang des Scheibenrands war die Abdichtung integriert, durch die der Gas- und der Luftraum voneinander getrennt wurden. Aufgrund des wasserlosen Aufbaus wurde diese Form auch wasserloser oder <i>Trockengasbehälter</i> genannt.
Schöpftasse	Unterer Abschluss eines <i>Hubteils</i> , das sich beim Verlassen des Wasserbeckens mit Wasser füllte und sich mit der <i>Haktasse</i> des nachfolgenden Hubteils verhakte. Durch die wassergefüllte Tasse erfolgte der gasdichte Abschluss der Hubteile untereinander.
Schraubengasbehälter	Hydraulischer Gasbehälter ohne Führungsgerüst. Die Hubteile waren mit einer integrierten, spiralen Führungstechnik ausgestattet. Da diese Form kein Führungsgerüst benötigte, etablierte sich auch die Bezeichnung des gerüstlosen Gasbehälters.
Teleskopgasbehälter	Hydraulischer Gasbehälter mit mehreren Hubteilen.
Teleskopierung	Erweiterung eines hydraulischen Gasbehälters mit einem zusätzlichen Hubteil, z.B. von einem zweihübigen zu einem dreihübigen Gasbehälter.
Trockengasbehälter	Gasbehälter, dessen Abdichtungstechnik nicht auf Wasser basierte. Siehe <i>Scheibengasbehälter</i> .

A. EINFÜHRUNG

A.1. Dem Leser zum Geleit

Gasbehälter? – Im Laufe meiner Forschungen blickte ich in viele ratlose Gesichter bei der Frage, was denn mein Thema sei. Umso mehr sah ich es als meine Aufgabe, die Geschichte der Gasbehälter zu verbreiten, zumal die Einführung der Gasbeleuchtung im 19. Jahrhundert einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung des Lebensstandards darstellte und der Gasbehälter sich zum Symbol dieser Innovation entwickelte.

Bei meinen Ausführungen widerfuhr es mir nicht selten, dass sich meine eigene Faszination für dieses Bauwerk und seine Geschichte schließlich auf mein Gegenüber übertrug.

Der Gasbehälter als Bautypus wurde als umfassendes Standardwerk konzipiert, das die 100-jährige Baukonstruktions- und Technikgeschichte des Gasbehälters beinhaltet und diesen als ingenieurtechnische Leistung würdigt. Wie es schon das ausführliche Inhaltsverzeichnis erahnen lässt, handelt es sich hier um eine Art Enzyklopädie: Neben der Entwicklung des Gesamtgefüges wurde der Gasbehälter auch getrennt nach seinen Einzelbauteilen beleuchtet.

Zum einen möchte dieses Werk dem Leser die Baukonstruktionsgeschichte, die Funktion und die Bedeutung des historischen Gasbehälters näher bringen, zum anderen zielt es auf dessen richtige Wahrnehmung ab: Damit dieser heute nicht mehr als nutzloses, industrielles Relikt *verkannt*, sondern vielmehr als geschichtsträchtiges Kulturgut und Industriedenkmal *erkannt* wird.

Der Aufstieg der Gasindustrie im 19. Jahrhundert zeichnete sich auch am Gasbehälter ab, der sich vom kleinen bis hin zum weit aufragenden Bauwerk entwickelte. Die Geschichte des Gasbehälters wurde aber nicht nur durch die Konstruktion diktiert, vielmehr verwies diese auf wesentliche, interdisziplinäre Einflüsse: Von der Ur-Form des Gasbehälters, die Ende des 18. Jahrhunderts als kleine Apparatur in der experimentellen Chemie zum Einsatz kam, über die Technik, die einen sicheren Betrieb gewährleistete, bis hin zur anthropologischen Komponente. Letztere äußerte sich sowohl in Form von euphorischer Begeisterung für die neue Innovation, als auch in der ängstlichen Haltung wegen des Explosionsrisikos von Gasbehältern.

Mit der Stilllegung der Gasbehälter in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts nahmen diese eine passive Rolle ein und wurden überwiegend dem Verfall überlassen. Um die Jahrhundertwende erfuhr der historische Gasbehälter schließlich eine Art Wiedergeburt in der modernen Architektur, indem er mit neuen Nutzungen und somit auch mit neuem Leben gefüllt wurde.

Besonders weil die Geschichte des Gasbehälters so viele verschiedene Facetten aufweist, möchte sich diese Arbeit an eine ebenso weit gefächerte Leserschaft richten: Z.B. um dem neugierigen Passanten seine Frage „Was ist ein Gasbehälter und wie funktioniert er?“ zu beantworten, um dem Ingenieur die raffinierte Konstruktion bis in das Detail zu erläutern oder dem Architekten das architektonische Potenzial eines Gasbehälters vor Augen zu führen.

Um diesen unterschiedlichen Erwartungshaltungen gerecht zu werden, ermöglicht **Der Gasbehälter als Bautypus** mit historischen und aktuellen Fotos, Skizzen (*Abb. 1*), Zeichnungen und Beschreibungen einen individuellen Zugang zu diesem Thema.

Bezüglich der praktischen Handhabung des Buches weist die Verfasserin auf folgende Kennzeichnungen hin:

- *Leben und Wirken von Ingenieuren, deren Name mit * versehen ist, sind im Anhang F.1. zu finden.*
- *Bei Abbildungen, deren Unterschrift mit ** endet, wurde das Original von der Verfasserin be-/überarbeitet, neu zusammengestellt bzw. mit eigenen Kennzeichnungen versehen.*

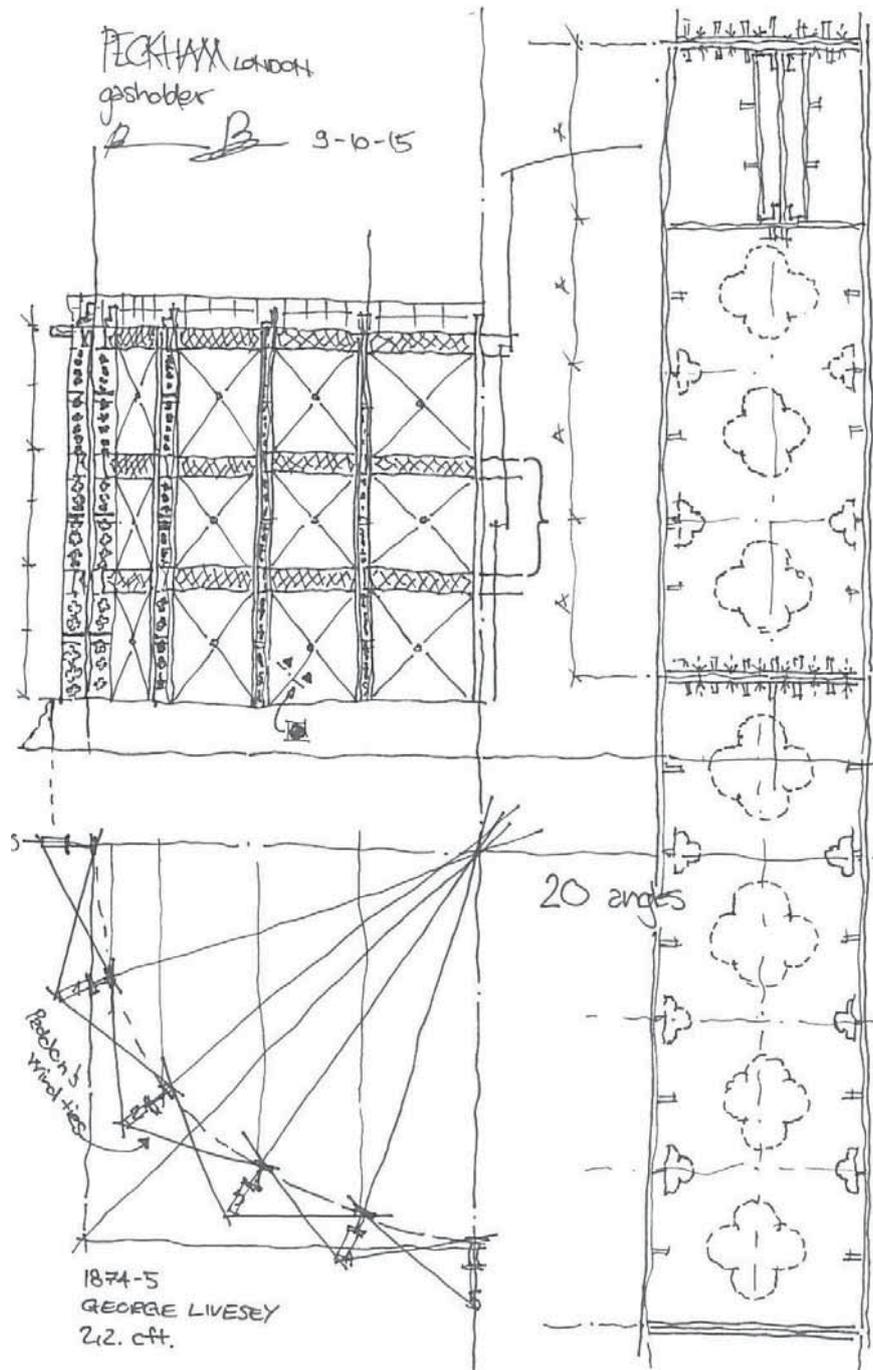


Abb. 1: Analyse eines Führungsgerüsts mit gusseisernen, I-förmigen Stützen an der Old Kent Road, London (BB, 2015).

A.2. Desiderat

In den vergangenen 30 Jahren rückten die noch bestehenden Gasbehälter des 19. und frühen 20. Jahrhunderts immer mehr in das Licht des öffentlichen Interesses. Dies lag jedoch nicht an deren geschichtsträchtigen Hintergrund, sondern vielmehr an der meist zentralen Lage, die einen attraktiven Baugrund für etwaige Neubauprojekte darstellte. Deshalb bedeutete dies oft den rückstandslosen Abbruch der Gasbehälter – unwissend ihrer Geschichte und Bedeutung – und nicht die Einstufung zu einem denkmalgeschützten Bauwerk. Vielmehr wurde der Gasbehälter als nutz- und wertloses Industrierelikt angesehen, als dass man sich sein architektonisches Potential bewusst gemacht hätte.

Im Zeitalter des Steinkohlengases, dessen Herstellung dunkle Rußschwaden über die Städte legte, war der Gasbehälter mit seiner Funktion ein wohl bekanntes Bauwerk. Mit dem Aufkommen des Erdgases und der Stilllegung der Gaswerke geriet dieses Wissen jedoch allmählich in Vergessenheit. Die Anlagen schlossen ihre Tore, waren unzugänglich und somit dem Verfall preisgegeben.

Heute – knapp 50 Jahre später – wird der Gasbehälter als solcher kaum mehr erkannt. Wenn überhaupt, so sind es meist unsere Großeltern, die von ihren Erinnerungen über den Gasbehälter und seinen auf- und abfahrenden Hubteilen erzählen.

Um das Wissen über diesen Bautypus auch für die nachfolgenden Generationen bewahren zu können, mangelt es somit an Zeitzeugen und insbesondere an Fachliteratur, die über die Entstehung, die Funktion und die technisch-konstruktive Evolution des Gasbehälters aufklärt (*Siehe Kap. A.4.*).

So besteht das Desiderat dieser Arbeit darin, die **100-jährige Baukonstruktionsgeschichte des Gasbehälters** als Gesamtgefüge zu erforschen: Beginnend beim hydraulischen Gasbehälter, der 1813 in England debütierte, bis hin zur deutschen Erfindung des Scheibengasbehälters, der 1915 den Wendepunkt im Gasbehälterbau darstellte.

Aus dem Anspruch, den Gasbehälter sowohl als Gesamtgefüge, als auch in seinen einzelnen Bestandteilen zu beleuchten, resultierte ein Standardwerk **enzyklopädischen Charakters**, das zu einem bewussteren Wahrnehmen, Erkennen und Verstehen von historischen Gasbehältern beitragen soll.

In der weitreichenden, **zusammenhängenden Darstellung** des historischen Gasbehälterbaus äußert sich das Primat der Arbeit, die mit zahlreichen Fotografien und Plänen durch die verschiedenen Entwicklungsstufen und -formen führt. So wird der Gasbehälter – als Ergebnis eines komplexen Zusammenspiels von Technik und Konstruktion – einer möglichst breit gefächerten Leserschaft zugänglich gemacht.

Die Baukonstruktionsgeschichte des Gasbehälters spiegelt außerdem die voranschreitende Eisentechnologie des 19. Jahrhunderts wider und stellt somit einen wichtigen Beitrag zu den historischen Eisenkonstruktionen dar.

Schließlich dient dieses Werk nicht nur zum Erhalt des technisch-konstruktiven Gedankengutes, sondern soll auch den bewussteren Umgang und vor allem den Erhalt von historisch bedeutenden Gasbehältern fördern. So steht es den jeweiligen Entscheidungsträgern als Handbuch bereit, mit dem die historische Bausubstanz besser erkannt und eingestuft werden kann.

A.3. Inhaltliche, zeitliche und geographische Eingrenzung

Die Baukonstruktionsgeschichte des Gasbehälters hat ihre Wurzeln im frühen 19. Jahrhundert und unterliegt auch heute noch einer fortwährenden Entwicklung, da die Notwendigkeit für Speicherbehältnisse dieser Art anhält.

Daraus ergibt sich ein sehr weites Forschungsfeld, das im Rahmen dieser Arbeit mit folgenden Ansätzen eingegrenzt wurde:

Innovationshistorisch

1813 wurde die Gasbeleuchtung in England eingeführt. Diese neue Beleuchtungstechnik basierte auf Steinkohlengas und veränderte die Stadtbilder (Abb. 2). Dazu trugen vor allem auch die Gaswerke bei, auf denen das Gas hergestellt wurde. Bevor die Einspeisung in das öffentliche Netz erfolgte, war ein geeigneter Behälter zur Zwischenspeicherung notwendig – nämlich der Gasbehälter. Dieser entwickelte sich im Laufe des 19. Jahrhunderts zu einem Wahrzeichen der Gasindustrie.

Gasbehälter, die für andere Produktionsstätten errichtet wurden – z.B. für Hüttenwerke – wurden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

Technikhistorisch/ Zeitlich

Die Abdichtungstechnik hatte einen wesentlichen Einfluss auf die Form und die Konstruktion der Gasbehälter: Im 19. Jahrhundert war der hydraulische Gasbehälter vorherrschend (Abb. 3), dessen gasdichter Abschluss durch Wasser erzeugt wurde.

1915 revolutionierte die erfolgreiche Inbetriebnahme des ersten Trocken- bzw. Scheibengasbehälters in Deutschland den bisherigen Gasbehälterbau (Abb. 4). Durch eine neuartige Abdichtungstechnik konnte gänzlich auf das Wasser verzichtet werden.

Diese beiden Abdichtungstechniken spannen zugleich den zeitlichen Rahmen dieser Arbeit auf, der sich auf ein Jahrhundert (1813–1915) beläuft. Beide Abdichtungstechniken gehören der Gruppe der Niederdruckgasbehälter an. Mittel- und Hochdruckgasbehälter, die die technische Evolution des Gasbehälterbaus fortsetzten, wurden nicht näher behandelt.



Abb. 2: Gaslaterne in London (BB, 2015).



Abb. 3: Glockengasbehälter, Dinslaken (BB, 2013).

Konstruktionshistorisch

Der technikhistorische Rahmen bewirkte gleichzeitig die Eingrenzung der Baukonstruktionsgeschichte:

Der hydraulische Gasbehälter bestand aus einem oder mehreren Hubteilen, einem Führungsgerüst und einem Wasserbecken (*Abb. 3*); die Konstruktion dieser Bestandteile durchlief jeweils zahlreiche Entwicklungsstufen und Formen.

Der Trocken- bzw. Scheibengasbehälter setzte sich aus einer Mantel-, Scheiben- und Dachkonstruktion zusammen, die jeweils einem einheitlichen Ausführungsschema folgten (*Abb. 4*).

Da der Membran- und der Kugelgasbehälter der Gruppe der Mittel- bzw. Hochdruckgasbehälter angehören (s.o.), waren diese nicht Teil der Untersuchungen.



Abb. 4: Scheibengasbehälter, Brescia (BB, 2013).

Geographisch

Der geographische Rahmen leitete sich schließlich ebenfalls aus dem technikhistorischen, aber auch dem innovationshistorischen Ansatz ab:

Da die erste Bestrebung im Gasbehälterbau auf die englischen Pioniere zurückzuführen waren, konzentriert sich diese Arbeit primär auf die Baukonstruktionsgeschichte, die von England ausging.

Die Einflüsse und Entwicklungen aus Frankreich, wo man sich 1819 für die Gasbeleuchtung entschied, wurden in dieser Arbeit nicht weiter berücksichtigt.

Anfang des 20. Jahrhunderts wurde der Fokus umgelenkt: Durch die Einführung des Scheibengasbehälters machte Deutschland auf sich aufmerksam und nahm eine wichtige Rolle in der Geschichte des Gasbehälterbaus ein.

Im zweiten Teil dieser Arbeit wurde am Beispiel Italiens die Entwicklung eines Landes vorgeführt, das den Gasbehälter vielmehr importierte, als dass es eigene Beiträge zu diesem neuen Bautypus hervorgebracht hätte.

Die Wahl fiel auf Italien, da es unmittelbar an die Länder angrenzt, durch die der Gasbehälterbau am stärksten geprägt wurde – England, Frankreich und schließlich auch Deutschland.

A.4. Forschungsstand

Der konstruktive Werdegang des Gasbehälters des 19. und frühen 20. Jahrhunderts wurde **in seiner Gesamtheit** bislang nur unzureichend erforscht und aufgearbeitet.¹

Wie schon Lorenz, 1995 bei seiner Dokumentation zu einem Behältergebäude der Englischen Gasanstalt von 1845 bemerkte, ist der Gasbehälter als Bautypus ein **unbeschriftetes Forschungsgebiet**, das als rein technisches Bauwerk bislang verkannt wurde.²

Im Laufe des 19. Jahrhunderts erschienen regelmäßig Handbücher, die die jeweiligen Errungenschaften in der Gasindustrie dokumentierten; darunter befand sich jeweils eine Sektion über die Technik und die Konstruktion des Gasbehälters. Neben diesen Monographien wurden die Neuerungen im Gasbehälterbau auch in Form von Aufsätzen und Berichten verbreitet, die u.a. in zahlreichen Ausgaben des Journals of Gas Lighting (Abb. 5) erschienen. Letzteres entwickelte sich zu einer Art Plattform, über die etwaige Verbesserungen ob ihrer Zweckmäßigkeit und Funktionstauglichkeit rege diskutiert wurden. Die Verfasser dieser Handbücher und Berichte waren meist Gas-Ingenieure.

Anfang des 20. Jahrhunderts ging die Anzahl der Fachbeiträge deutlich zurück, was darauf zurückzuführen war, dass sich der hydraulische Gasbehälter am Ende seiner Entwicklung befand (Abb. 5).

Mit der Stilllegung der Gaswerke ab den 1970er Jahren verloren diese Schriftstücke an Relevanz und wurden schließlich nicht weiter erstellt.

Neuzeitliche Arbeiten über den historischen Gasbehälterbau entstanden nur in geringer Anzahl und konzentrierten sich meist nur auf zeitlich oder lokal begrenzte Phänomene oder behandelten nur bestimmte Techniken oder Formen.

Der Forschungsstand zum historischen Gasbehälter wird nach den Ländern dargelegt, aus denen die Protagonisten dieser Arbeit hervorgingen:

- **England** – Wegbereiter der Gasindustrie. Das erste, öffentliche Gaswerk wurde 1813 in England errichtet. Dies bildete den Anfang des Gasbehälterbaus, der durch die englischen Ingenieure wesentlich vorangetrieben wurde.
- **Deutschland** – Erfindung des Scheibengasbehälters. Basierend auf einer neuartigen Abdichtungstechnik leitete diese Gasbehälterform Anfang des 20. Jahrhunderts einen Wendepunkt im Gasbehälterbau ein, der zugleich den zeitlichen und thematischen Rahmen dieser Arbeit schließt.

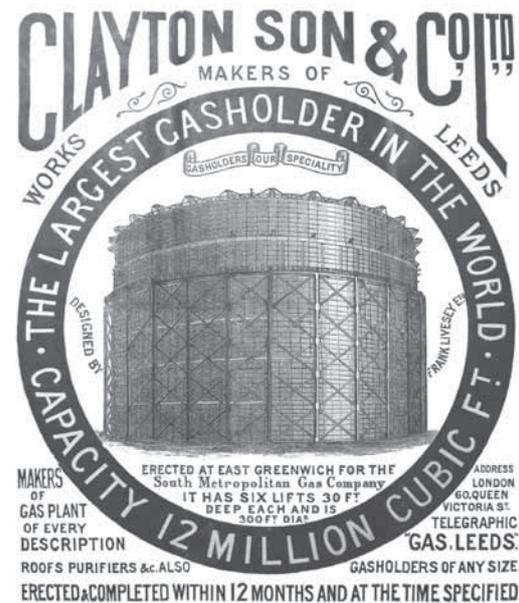


Abb. 5: Werbung für den weltweit größten Gasbehälter in East Greenwich, London (JGL-61, 1893, p. 75).

1 Anm. d. Verfasserin: Von Richtlinien und Vorschriften, die sich im Laufe des 20. Jahrhunderts etablierten, wird an dieser Stelle abgesehen, da diese zwar das Bauwerk grob beschreiben, aber vielmehr auf die Anlagentechnik (Betrieb, Heizung, etc.), Sicherheit- und Wartungsbestimmungen abzielen. In England wurden diese z.B. von der „Institution of Gas-Engineers“ und in Deutschland von dem „Deutschen Verband von Gas- und Wasserfachmännern e.V.“ herausgegeben.

2 Lorenz, 1995, p. 348

- **Italien** – Das Beispiel Italiens zeigt die Einführung und Entwicklung des Gasbehälters in einem Land, das die ausländischen Standardmodelle schlichtweg übernahm, ohne dass die landeseigenen Ingenieure zur Weiterentwicklung des Gasbehälters beitrugen.

Neben England, Deutschland und Italien folgt anschließend noch ein grober Überblick über den Stand der Fachliteratur in Frankreich und den USA.

England

Ein Großteil bedeutender Handbücher und Aufsätze über die Gasbeleuchtung des 19. Jahrhunderts kam aus England, so auch das Ur-Werk von Friedrich C. Accum, 1815 „A Practical Treatise on Gas Light“, das innerhalb kurzer Zeit in das Französische (1816), Deutsche (1816) und Italienische (1817) übersetzt wurde.

Eine wichtige Monographie des späten 19. Jahrhunderts, auf das sich viele nachfolgende Arbeiten stützten, wurde 1879 von Thomas Newbigging und W.T. Fewtrell herausgebracht – nämlich das „King`s Treatise on the Science and Practice of the Manufacture and Distribution of Coal Gas, Vol. II“³.

Der Gasbehälter wurde in zwei Kapiteln behandelt:

- „III. Gasholder tanks“ (Dt.: Wasserbecken),
- „IV. Gasholders“ – Dieses Kapitel schloss sowohl die Hubteile, als auch das Führungsgerüst mit ein.

Das King`s Treatise basierte überwiegend auf Konstruktionsbeschreibungen zu gebauten Beispielen, die meist mit Zeichnungen veranschaulicht wurden. Die fast nahtlose Aneinanderreihung der verschiedenen Gasbehälter erschwerte jedoch das Erkennen eines übergeordneten Systems sowie der konstruktiven Entwicklung. Die aufgeführten Beispiele verfügten zwar teilweise über eine bemerkenswerte Detailtiefe, dennoch mangelte es mitunter an Angaben zu Ingenieur und Baujahr, was einer Zuordnung wiederum zuträglich gewesen wäre.

Ende des 20. Jahrhunderts setzte ein gegenläufiger Trend ein, der den Gasbehälter nicht mehr innerhalb einer Produktionskette betrachten ließ, sondern diesen allmählich als singuläres Bauwerk in den Mittelpunkt der Baukonstruktions- und Technikgeschichte rückte. Die dabei entstehenden Aufsätze und Berichte basierten auf der eingangs erwähnten Primärliteratur – u.a. dem King`s Treatise.

- Sturt, Brian⁴: „Low-Pressure Gas Storage“, 1980.
Sturt initiierte die Aufarbeitung des historischen Gasbehälterbaus in seiner Gesamtheit, indem er dessen wichtigste Meilensteine in einem Aufsatz, der in der Zeitschrift London`s Industrial Archaeology erschien, zusammenfasste.
- Tucker, Malcom T.⁵: „London Gasholders Survey“, London, 2000 bzw. 2014.
Im Jahr 2000 übergab Tucker erstmals einen umfangreicheren Bericht bzw. Leitfaden über die historischen Gasbehälter Londons an English Heritage⁶, der zu deren richtigen Bewertung und Einstufung beitragen sollte. Im Fokus stand die Untersuchung von hydraulischen Gasbehältern, die zwischen 1866 und 1892 errichtet wurden; frühere Gasbehälter wurden kurz und der Schraubengasbehälter gar nicht aufgeführt. Tucker konzentrierte sich primär auf die Baukonstruktionsgeschichte der Führungsgerüste und legte diesen eine weit gefächerte Typologie zugrunde. Der

3 Gleichzeitig bediente sich das King`s Treatise vorgehender Werke wie z.B. von Hughes, 1853 und 1865 oder Colburn, 1865. Einige Teile des Werks wurden vorab im Journal of Gas Lighting veröffentlicht, nämlich zwischen 1875 bis 1876, Vol. 25–27.

4 Sturt ist Mitglied des Gas History Panels bei der Institution of Gas Engineers and Managers, London.

5 Tucker ist beratender Ingenieurbauhistoriker (consultant engineering historian) und eingetragener Bauingenieur MA, CEng., MICE. Die erste Fassung erschien im Jahr 2000; Tucker ergänzte und aktualisierte sie mehrfach. Der Verfasserin wurde dankenswerterweise die überarbeitete Version von 2014 zur Verfügung gestellt.

6 Amt für Natur-/ Kulturdenkmalschutz in England.

allgemeine Teil basierte weitgehend auf Konstruktionsbeschreibungen, während im zweiten Teil 14 herausragende Gasbehälter ausführlich dokumentiert wurden, bei denen u.a. auch eigens angefertigte Zeichnungen und Fotos zum Einsatz kamen. Eine Publikation dieser Arbeit blieb leider aus.

Neben Sturt und Tucker, die sich ausschließlich auf den Gasbehälterbau konzentrierten, entstanden auch Arbeiten, die sich nach dem Vorbild der historischen Handbücher des ganzen Gaswerks annahmten und so dem Gasbehälter nur ein Kapitel widmeten, wie z.B.:

- Thomas, Russell: „Gasworks Profiles“, London, 2014.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die historischen Gaswerke einschließlich ihrer verschiedenen Gasgewinnungsprozesse und den entsprechenden Anlagen untersucht. In dem Abschnitt „Gasholders and their Tanks“ hat Thomas die Entwicklung des Gasbehälters in seinen Grundzügen erläutert und unterschied hierbei zwischen a) Gerüst-geführten, b) Seil-geführten, c) Spiral-geführten und d) Trockengasbehältern. Wie schon der Titel des Kapitels ankündigt, richtete Thomas den Fokus auf die Beckenkonstruktionen – insbesondere die Kegelstumpfform.

Deutschland

Es existiert zwar eine Reihe von Monographien über die Geschichte zur Gasbeleuchtung verschiedener Städte und über die Gasindustrie im Allgemeinen, aber nur sehr wenige Arbeiten zielten auf den Gasbehälterbau an sich ab. An dieser Stelle seien insbesondere genannt:

- Wehrmann, Fritz: „Die Gasspeicherung“, 1954.

Wehrmann behandelte den Gasbehälter als Gesamtgefüge, ausgehend vom Niederdruckgasbehälter (hydraulisch oder als Trockengasbehälter) bis hin zum Hochdruckgasbehälter (Walzen- und Kugelbehälter). Dabei konzentrierte er sich mehr auf den damals gegenwärtigen Stand der Technik: Während er die Beckenkonstruktionen besonders umfangreich behandelte (ausgenommen die Kegelstumpfform), beschränkte er sich bei den Hubteilen auf die Kuppelkonstruktion (binderlos, unterspannt und als Schwedlerkuppel) und auf die Tassen- und Rollenanschlüsse. Bei den Führungsgerüsten stand ausschließlich die Form des Verbandgerüsts im Vordergrund. Neben dem klassischen Aufbau erläuterte Wehrmann auch den Schraubengasbehälter sowie das Gasbehältergebäude in seinen Grundzügen.

- Gross, Fritz: „Stahlbehälter für flüssige und gasförmige Stoffe“, 1960.

Diese Monographie führt vor allem durch den modernen Behälterbau – insbesondere unter Hochdruck – und skizziert nur die wichtigsten Meilensteine in der Entwicklung der Niederdruckgasbehälter.

- Nöhring, Nis: „Gasometer. Technische Entwicklung, Typologie und Nutzungswandel historischer Gasspeicher in Deutschland“, 2006.

Nöhring behandelte die Gasbehälter Deutschlands im Rahmen seiner Examensarbeit. Er untersuchte die Gasbehälter unter dem Aspekt der Kulturlandschaftsforschung und der Industriearchäologie und stellte hierfür einen Kartierschlüssel auf. Die Arbeit fußte mitunter auf Wehrmann (s.o.).

Eine besondere Arbeit bzw. Dokumentation zum Gasbehälterbau in Deutschland, Frankreich, Belgien, Großbritannien und den USA stellte der Bildband „Gasbehälter“ von dem Fotografenpaar Hilla und Bernd Becher dar, der 1993 erstmals erschien.

Die Bechers differenzierten zwischen Glocken-, Teleskop-, Schrauben-, Scheiben- und Kugelgasbehältern. Diese Arbeit gab mitunter Anstoß, den Gasbehälter als eigenständigen Bautypus anzusehen und verstärkte den Diskurs der Industriearchäologie ⁷.

Die Brillanz der Fotografien (Abb. 6) äußerte sich insbesondere darin, dass ihnen immer die gleichen Parameter zugrunde lagen (Licht, Wetter, Himmel, Abstand, u.a.) und dies so den direkten Vergleich der einzelnen Gasbehälter erleichterte.



Abb. 6: Teleskopgasbehälter in Alsdorf-Aachen (Becher, 2013).

Italien

Im Gegensatz zu England und Deutschland ging in Italien keine neuere Literatur über den historischen Gasbehälter hervor – ausgenommen die zahlreichen Veröffentlichungen über die Gasbeleuchtungsgeschichte verschiedener Städte.

1899 – in etwa 10 Jahre nach dem Erscheinen des King`s Treatise – machte jedoch ein Handbuch im italienischsprachigen Raum auf sich aufmerksam: „L`industria del gaz illuminante“ von Vittorio Calzavara schilderte in einem Kapitel den Gasbehälter, basierend auf den vorherrschenden Konstruktionen aus England, Frankreich und Deutschland. Dabei legte Calzavara den Schwerpunkt auf gemauerte und betonierte Wasserbecken und die Ausführung von Hubteilen. Das Führungsgerüst wurde nur reduziert behandelt.

Frankreich

Auch wenn diese Arbeit den historischen Gasbehälterbau ausgehend von England erläutert, so sind die Einflüsse und parallelen Entwicklungen aus Frankreich trotzdem unumgänglich.

Deshalb sei an dieser Stelle auf ein neuzeitliches Werk hingewiesen, das sich um eine zusammenhängende Darstellung des historischen Gasbehälterbaus bemühte:

Die „Monographie des Gazomètres“ von 1960 besteht aus mehreren Aufsätzen verschiedener Autoren (Le Paslier; Blanc; David; et al.) und reicht von Niederdruck- bis zu Hochdruckgasbehältern. Der hydraulische Gasbehälter wurde getrennt nach Hubteil, Führungsgerüst und Wasserbecken erläutert. Dabei stand jedoch mehr das Gesamtsystem im Fokus, als die technisch-konstruktiven Besonderheiten. Insgesamt ist der Formenkanon dennoch unvollständig und etwaige Sonderformen, wie z.B. Seil-geführte Gasbehälter sind nicht enthalten. ⁸

⁷ Der Begriff „Industrial Archaeology“ wurde 1955 zum ersten Mal in England verwendet und in Deutschland übernommen „(...) als Synonym für die Beschäftigung mit den Denkmälern der Technik-, Industrie- und Verkehrsgeschichte, (...)“ (Bock, 2011, p. 223).

⁸ Die Autorenschaft griff u.a. auf die englische Fachliteratur wie z.B. den King`s Treatise von 1879, sowie die Handbücher von Peckston, 1819 oder Clegg, 1841 zurück.

USA

Obwohl die Entwicklungen des Gasbehälters in den USA nicht Gegenstand dieser Arbeit waren, so ist dennoch das äußerst umfassende Buch „Remediation of Former Manufactured Gas Plants and Other Coal-Tar Sites“ von Allen W. Hatheway zu nennen, das 2011 erschien und die (Baugrund-) Sanierung von Gaswerken zum Thema hatte.

In diesem Rahmen wurde auch die Entwicklung des Gasbehälters bis 1950 aufgeführt; bei den hydraulischen Gasbehältern fokussierte Hatheway das Wasserbecken – Hubteile und Führungsgerüst wurden nicht näher behandelt. Die eher kurz gehaltenen Beschreibungen wurden mit ausführlichen Tabellen ergänzt – u.a. einer Auflistung herausragender Gasbehälter, die überwiegend in den USA, England und Deutschland bis 1955 errichtet wurden.

A.5. Methode

Im 19. Jahrhundert wurde in zahlreichen Handbüchern, Aufsätzen und „Gas-Journalen“ über den historischen Gasbehälterbau berichtet (*Siehe Kap. A.4.*). Diese befinden sich heute überwiegend in den Händen von öffentlichen und Firmenarchiven; letztere bestachen zudem mit einem besonders bild- und planreichen Fundus, wie es vor allem in den Archiven von National Grid in England oder Italgas in Italien der Fall war.

Diese Archivalien wurden systematisch gesichtet und chronologisch geordnet und den entsprechenden Entwicklungsstadien zugewiesen. Der weitgespannte Untersuchungszeitraum führte zu einer immensen Anzahl an Gasbehältern, die in den vielzähligen Archivalien enthalten waren. Um den Überblick zu wahren, wurden diese knapp 900 Gasbehälter in einer ausführlichen Datenbank verwaltet, sowie in digitalen Karten verankert.

Die klassische Datenerhebung war das alleinige Forschungsinstrument, das zur Untersuchung der frühen bzw. bereits rückgebauten Beispiele diente. Bei bestehenden Gasbehältern wurden die Kenntnisse durch eigene Primärbefunde erweitert und vertieft: Diese wurden vor Ort eingehend studiert und dokumentiert, wofür analytische Skizzen (*Abb. 7*) und Fotos zum Einsatz kamen ⁹.

Anhand der gesichteten Archivalien und der erfassten Befunde wurde der konstruktive Werdegang des Gasbehälters rekapituliert und ein Standard festgelegt. Dies geschah mittels einer zweistufigen Kategorisierung, die die Gasbehälter im ersten Schritt nach deren gasbegrenzendem Bauteil und im zweiten Schritt nach deren unterschiedlichem Führungsgerüst bzw. -technik differenzierte. Diese Kategorisierung unterlag mit der fortschreitenden Forschung und dem zunehmenden Kenntnissgewinn einer kontinuierlichen Anpassung bzw. Verfeinerung und diente schließlich auch als Grundlage für die finale Gliederung der Arbeit.

Folglich basierte die Untersuchungsmethode nicht nur auf dem induktiven, sondern auch auf dem deduktiven Ansatz ¹⁰: Die aufgestellte Kategorisierung war nämlich ein wichtiges Instrument zur Einstufung und Bewertung der Gasbehälter bzgl. Datierung, Entwurfsverfasser und der Konstruktion. So war es möglich, eine für die Erforschung des historischen Gasbehälterbaus (*Siehe Kap. A.2*) geeignete Auswahl zu treffen, an der die Neuheit oder Einzigartigkeit der einzelnen Konstruktionsstufen besonders bestach. Anhand dieser Beispiele erfolgte die chronologische Rekonstruktion des historischen Gasbehälterbaus, wofür neben reinen Konstruktionsbeschreibungen auch historische Plandarstellungen und Fotos zum Einsatz kamen, um den Zugang zu diesem komplexen Gefüge zu erleichtern.

Entgegen dieses Auswahlverfahrens wurden aufgrund der stellenweise sehr eingeschränkten Quellenlage auch einige Phänomene auch an Beispielen erläutert, deren Konstruktion nicht ein Novum darstellte, sondern vielmehr auf einem gewissen Standard basierte ¹¹.

Neben dieser Untersuchungsmethode wurde zudem im letzten Kapitel ein historischer Vergleich angestellt, der vor Augen führt, wie gegensätzlich die Entwicklung und Verbreitung des Gasbehälters in zwei verschiedenen Ländern von statten ging.

An dieser Stelle wurde die aktive Rolle Englands, wo der Gasbehälter hervorging und wesentlich vorangetrieben wurde, der eher passiven Haltung Italiens gegenübergestellt (*Siehe Kap. A.3.*).

9 Da diese Arbeit auf die Gesamtabwicklung des Gasbehälters abzielt, wurde von einem umfassenden Aufmaß abgesehen. Zudem konnte aufgrund der schwierigen Besitzverhältnisse nur in wenigen Fällen ein Zutritt auf die abgesperrten Areale erwirkt werden. So basierte die Bestandsaufnahme vor Ort überwiegend aus Skizzen und Fotos.

10 Anm. d. Verfasserin: Da diese Arbeit im Bereich der Ingenieurwissenschaften angesiedelt ist, fiel die Entscheidung auf den hier gewählten in-/ deduktiven Ansatz. Aus der Sicht der Sozialwissenschaften wäre an dieser Stelle auch die Untersuchung nach dem Ansatz der transnationalen Kulturgeschichte von großem Wert, wurde aber in dieser Arbeit nicht weiter vertieft.

11 Dies traf v.a. bei dem Beispiel Italiens zu. Die Pläne und Fotos, von denen einen großer Teil im Zeitraum 1950 bis 1965 im Rahmen einer fotografischen Katalogisierung bestehender Gasbehälter entstand, gaben überwiegend die Führungsgerüste wieder. Daher beschränkte sich die Verfasserin allein auf deren Untersuchung.

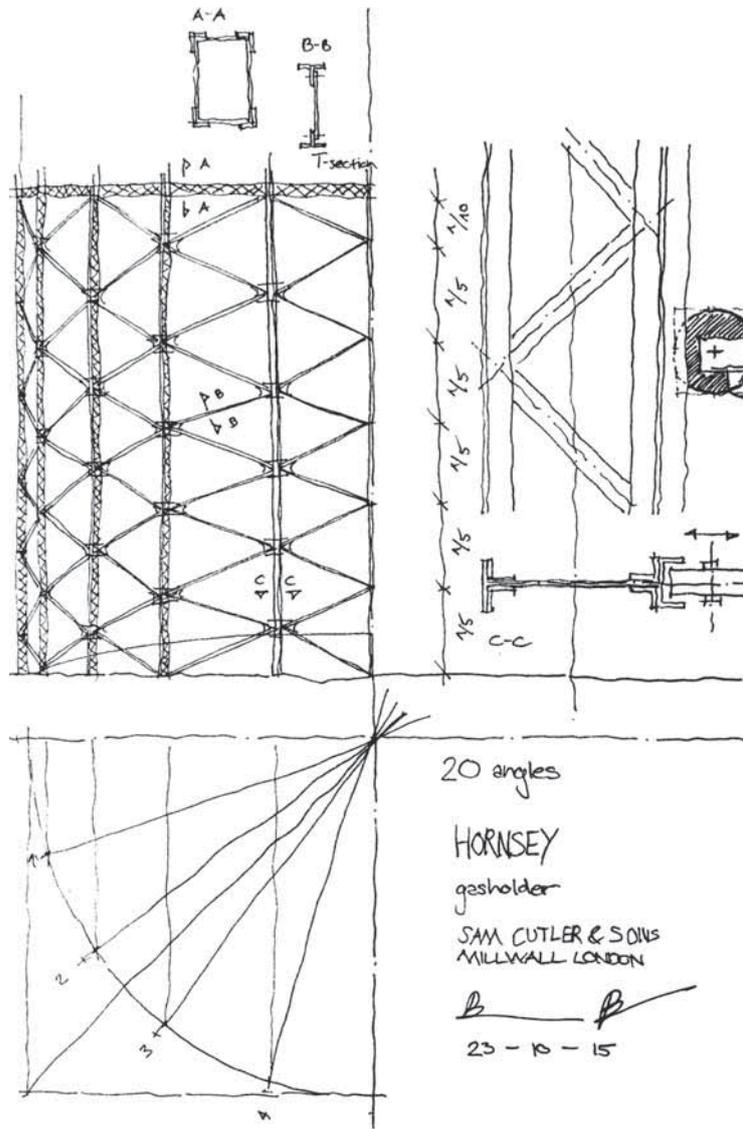


Abb. 7: Analyse eines der ersten Führungsgerüste nach Samuel Cutler in Hornsey, London (BB, 2015).

A.6. Aufbau

Grundsätzlich ist diese Arbeit in drei Teile gegliedert: Die allgemeine Entstehungs- und Baukonstruktionsgeschichte ausgehend von England und ein zusätzlicher dritter Teil, der die Entwicklung und Verbreitung des Gasbehälters in Italien vorführt.

Die **Entstehungsgeschichte** führt chronologisch von der Entdeckung und Etymologie des Begriffes Gas über die erste Ur-Form des Gasbehälters, die Ende des 18. Jahrhunderts in der experimentellen Chemie entstand, bis zur Erfindung des Leuchtgases bzw. Gaslichts. An dieser Stelle wird zunächst der Aufbau eines Gaswerks und der komplexe Ablauf der Steinkohlengasherstellung erläutert, bevor der Gasbehälter selbst und seine Funktionsweise in den Fokus gerückt wird.

Auf dieser Grundlage folgt die Einführung der ersten öffentlichen Gasbeleuchtung und somit auch des ersten Gasbehälters in London.

Die **Baukonstruktionsgeschichte** des Gasbehälters stellt den zweiten und zentralen Teil dieser Arbeit dar und ist grundsätzlich unterteilt nach den zwei Gasbehälterformen, die aus den verschiedenen Abdichtungstechniken resultierten: Dem hydraulischen und dem Scheibengasbehälter.

Die weitreichende, konstruktive Evolution des hydraulischen Gasbehälters wird getrennt nach seinen Hauptbestandteilen erläutert, nämlich dem Hubteil, dem Führungsgerüst und dem Wasserbecken.

Diese Abschnitte besitzen jeweils den gleichen Aufbau: Nach der Skizzierung des Gesamtsystems, der Kategorisierung und den spezifischen Anforderungen, werden die jeweiligen Einzelbauteile und ihre technisch-konstruktiven Besonderheiten aufgeführt.

Im Anschluss folgen die beiden Sonderformen des hydraulischen Gasbehälters, die von dem vorgeannten klassischen Aufbau abwichen, nämlich der gerüstlose Gasbehälter und das massive Gasbehältergebäude, das als vierter Bestandteil den eigentlichen Gasbehälter umhüllte.

Nach knapp 100 Jahren erfuhr der Gasbehälterbau, der bislang auf der hydraulischen Form basierte, einen Wendepunkt mit der Einführung des Scheibengasbehälters, dessen Funktion und Konstruktion abschließend in diesem zentralen Kapitel behandelt werden.

Der letzte Teil führt nach einem kurzen Überblick über die Verbreitung der Gasbeleuchtung in Europa zu der Entwicklung in **Italien**, die sich ausgehend von Turin auf die Halbinsel ausdehnte und sich im Gegensatz zu den empirischen Leistungen Englands lediglich der standardisierten Modelle bediente. Dies wird besonders an der Entwicklung der Gerüstkonstruktion vorgeführt.

Im Anschluss befindet sich die ausführliche Dokumentation eines zweihübrigen Gasbehälters in Venedig, die als Leitfaden oder Schema für die Bestandsaufnahme und Aufbereitung von historischen Gasbehältern dienen soll.

Das Schlusskapitel dieser Arbeit beinhaltet zudem einen Ausblick über die Rolle des Gasbehälters im 21. Jahrhundert.

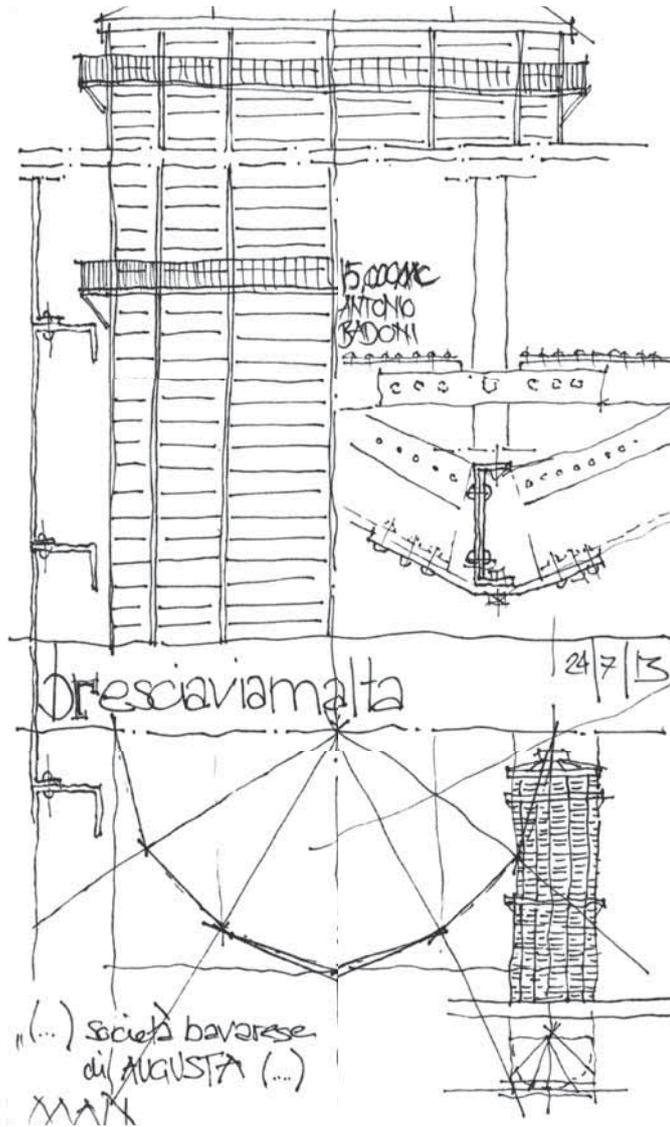


Abb. 8: Analyse des MAN-Scheibengasbehälters in Brescia (BB, 2013).

B. ENTSTEHUNGSGESCHICHTE

EINFÜHRUNG

Die Ursprünge des Gasbehälterbaus liegen in der experimentellen Chemie begründet, in der verschiedene Behältnisse zur Untersuchung von gasförmigen Stoffen verwendet wurden. Diese waren die Grundlage zur Entstehung erster Gasbehälterformen, die zur Speicherung von lokal produziertem Steinkohlengas dienten.

Das Steinkohlengas wurde erstmals 1813 in London zur öffentlichen Beleuchtung angewendet. Dies war der Verdienst des Zusammenwirkens von verschiedenen Protagonisten: Der Ingenieur *William Murdock*¹, unter dessen Hand ein erstes fabrikeigenes Gaswerk für Boulton & Watt entstand, der Kaufmann *Friedrich Albert Winzer*^{*}, der diese Technik verbreitete und eine Gasbeleuchtungsgesellschaft gründete, der Chemiker *Christian Friedrich Accum*^{*}, der das erste Handbuch zur Gasbeleuchtung verfasste und schließlich *Samuel Clegg*^{*}, der als erster Gasingenieur das Gaswerk in Westminster plante und somit auch wichtige Impulse im frühen Gasbehälterbau setzte.

Dieses Kapitel stellt die Entstehung und Entwicklung der ersten Gasbehälter dar, die von kleinen Apparaturen aus der Chemie bis zum essenziellen Bestandteil eines öffentlichen Gaswerks reichte. Zudem wird der allgemeine Aufbau und die Funktion eines hydraulischen Gasbehälters erläutert.

¹ Anm. d. Verfasserin: Die Protagonisten des historischen Gasbehälterbaus sind mit einem Stern gekennzeichnet – deren Leben und Wirken sind in der Tabelle im Anhang zusammengefasst aufgeführt (Siehe Anhang).

B.1. Definition des Gasbehälters

„Gasometer“ oder „Gasbehälter“? Im heutigen Sprachgebrauch werden diese Begriffe nicht einheitlich verwendet, da man mit beiden irrtümlicherweise ein bestimmtes Bauwerk zum Ausdruck bringen möchte. Die Begriffe Gasbehälter und Gasometer stehen in dieser Arbeit für ein Bauwerk bzw. Messgerät. Die etymologische Betrachtung schafft eine klare Definition von „Gas-o-meter“: Der Einheitsbegriff „Meter“ indiziert das Messen eines Gegenstands oder Stoffes – in diesem Fall von Gas. Daher wird die Messeinrichtung als **Gasometer** bezeichnet. Das Bauwerk für die eigentliche Gasspeicherung trägt den Begriff **Gasbehälter**. Dieser bestand grundsätzlich aus einem Wasserbecken, einem Führungsgerüst und einem oder mehreren Hubteilen.²

Dieses Kapitel führt die Einführung und Verwendung dieser beiden Begriffe vor, die sich in England, Frankreich, Deutschland und Italien primär durch Handbücher verbreitet haben (*Tab. 1*).

England

London war der Ursprungsort der öffentlichen Gasbeleuchtung (*Siehe Kap. B.5.*) und somit auch des Gasbehälters.

Die Einführung der Begriffe geschah durch eine Reihe von Handbüchern, die sich unterschiedlichen Definitionen bedienten: Während der deutsche Chemiker *Friedrich Christian Accum** in seinem „Practical Treatise on Gas Light“ von 1815 noch Erklärungen zum „Gasometer“³ machte, so bezeichnete er diesen 1819 bereits als „Gas-Holder“ (dt.: Gas-Behälter). Des Weiteren nannte er das Hubteil selbst „Gas Holder“, da allein dieses Bauteil das Gas tatsächlich beinhaltete.⁴

Der am Gaswerk zu Westminster tätige Ingenieur *Thomas S. Peckston** war sehr präzise bei der Verwendung von Begriffen und nannte sowohl das gesamte Bauwerk, als auch alle Hubteile konsequent „Gas-Holder“.⁵

1841 beschrieb *Samuel Clegg jun.**, Sohn des ersten Gas-Ingenieurs, das Bauwerk wiederum als „Gasometer“ und die Messapparatur als „Gas-Meter“ (*Siehe Kap. B.5.*)⁶.

Die technischen Eigenschaften eines „Gas Meter“ wurden von C. J. Malin 1887 sogar in Form eines Gedichts niedergeschrieben, das im Co-Partners' Magazine der Gas Light and Coke Company in London erschien (*Abb. 1*)⁷.

Im Laufe des 21. Jahrhunderts setzte sich überwiegend die richtige Bezeichnung „Gasholder“ durch. So wurde 2016 in London beispielsweise der *Gasholder Park* bei King's Cross eröffnet – direkt daneben befindet sich die laufende Baustelle des Revitalisierungsprojekts *Gasholders*, das die Umnutzung von drei bestehenden Gasbehältern zu luxuriösen Wohnappartments vorsieht (*Siehe Kap. E.1.-1.*).

Frankreich

Der französische Chemiker *Antoine Laurent de Lavoisier** war der Schöpfer des Begriffs „Gazomètre“, den er 1789 für eine komplette Messapparatur eingeführt hatte (*Siehe Kap. B.2.-2.*).

Der deutsche Kaufmann *Friedrich Albrecht Winzer** übersetzte 1816 das Handbuch von Accum ins Französische und verwendete das französische Pendant „Gazomètre“ für das Bauwerk⁸.

2 Anm. d. Verfasserin: Neben dem „Gasometer“ wurde der Gasbehälter in der Fachliteratur vereinzelt auch als „Maschine“ bezeichnet. In dieser Arbeit wird der Gasbehälter jedoch als Architektur verstanden und wahrgenommen.

3 Accum, 1815, p. 95

4 Accum, 1819, pp. 164–167

5 Peckston, 1819, p. 257

6 Clegg, 1841, p. 130

7 Malin, 1887, p. 72

8 Accum, 1816c, p. 45

Anm. d. Verfasserin: Eine mögliche Übersetzung, die funktional und konstruktiv dem deutschen Begriff „Gasbehälter“ entsprechen könnte, wäre „Réservoir de Gaz“.

The Gas Meter.

A Gas Meter, what is it?—'Tis but a machine
To measure a something that cannot be seen,
Has a back and a front, an inside and out,
Is connected with tubes to distribute about
The gas we consume and for which we must pay,
That renders the night nearly equal to day.

A Gas Meter's a measure to measure the gas,
By a Wheel or a Leather through which it must pass,
Has an index with fingers not unlike a clock,
Which moves when it's working, and halts when it stops
If you study its movements you soon may detect,
When your gas bill comes in, if the charge is correct.

Some Meters are round and others are square,
Some shaped like a fiddle you see at a fair,
No matter what system, be it Leather or Wheel,
They are each guaranteed by a Corporate Seal;
Some are called Wet, others called Dry,
But which is the best? I leave you to try.

—C. J. MALINS (1887)

Abb. 1: Gedicht zum Begriff des „Gas Meter“ (links; Malam, 1887, p. 72) und Übersetzung (rechts) der Verfasserin.

Der Gas Meter

Ein Gas Meter, was ist das? – Es ist eine Maschine zum Messen für etwas, was man nicht sehen kann, es hat eine Vorder- und Rückseite, eine Innen- und Außenseite, es ist verbunden mit Röhren zur Verteilung des Gases, das wir verbrauchen und wofür wir zahlen müssen, das die Nacht fast dem Tag gleich macht.

Ein Gas Meter ist eine Messeinrichtung, um das Gas zu messen, durch ein Rad oder einen Lederlappen muss es laufen, es hat eine Anzeige mit Pfeilen, einer Uhr ähnlich, die sich bewegt, wenn sie arbeitet und anhält, wenn sie stoppt; wenn man seine Bewegung studiert, kannst man zügig feststellen, wenn seine Gasrechnung kommt, ob der Betrag korrekt ist.

Einige Meter sind rund und andere sind eckig, manche wie eine Fiedel, die man vom Jahrmarkt kennt, egal welches System, sei es Leder oder Rad, ein Firmenstempel garantiert für ein jedes; manche werden „Hydraulisch“, manche „Trocken“ genannt, aber welches das beste ist? Findet es selbst heraus.

Deutschland

Analog zu England war auch in Deutschland die Einführung eines Begriffs für das neue Bauwerk kontrovers. Von Accums erstem Werk von 1815 existieren zwei verschiedene Übersetzungen in das Deutsche: *Wilhelm August Lampadius**, Professor der Freiburger Bergakademie, übernahm in seiner Arbeit den englischen Begriff „Gasometer“⁹, während eine andere Übersetzung sich auf die Begriffe „Gasammler“ und „Gasbehälter“ bezog (*Tab. 1*)¹⁰.

Heute wird das Bauwerk überwiegend als „Gasometer“ bezeichnet. So ist beispielsweise der „Gasometer“ in Berlin-Schöneberg bekannt, der seit 2006 als Eventlocation, u.a. für TV-Sendungen genutzt wurde. Ein weiteres Beispiel stellt der „Gasometer“ in Oberhausen dar (*Abb. 2*), der 1994 zu einem exklusiven Ausstellungsort umgenutzt wurde (*Siehe Kap. E.1.-1.*). Darüber hinaus gibt es auch einige lokale Bezeichnungen wie z.B. „Gaskessel“ in Augsburg oder „Gasturm“ in Stuttgart¹¹.

Italien

In Italien hat sich von Anfang an allein die Bezeichnung „Gasometro“ bzw. „Gazometro“¹² für das Bauwerk durchgesetzt, die bereits von Silvio Pellico¹³ in der italienischen Version von Accums Werk 1817 verwendet wurde¹⁴.

In seltenen Fällen wurde dieser auch „Serbatoio“ oder „Recipiente“ (dt.: Behälter, Behältnis) genannt, was der korrekten Bezeichnung „Gasbehälter“ zwar näher kommt, aber keine Aussage zum Speichergehalt macht.

9 Accum, 1816a, p. 168

10 Accum, 1816b, p. 114

11 Diese Bezeichnung gilt jeweils den hoch aufragenden MAN-Scheibengasbehältern.

12 Calzavara, 1899, p. 296

Die richtige und vollständige Übersetzung der Bezeichnung „Gasbehälter“ in das Italienische lautet „Contentore di Gas“ oder „Serbatoio di Gas“.

13 Pittalug, Signorelli, 2009, p. 23

14 Accum, 1817, p. 110

Da der Gasbehälter ein wichtiges technisches Versorgungsbauwerk war, das sich im Laufe eines Jahrhunderts zu einem weit aufragenden Landmark entwickelte, trug eine Reihe von Straßen- und Platzbezeichnungen den Namen Gasbehälter.

In Porta Nuova, Turin wurde 1839 das erste italienische Gaswerk in Betrieb genommen (Siehe Kap. D.2.1.). Von diesem einstigen Standort zeugt heute nur noch der Straßennamen *Via Gasometro* (Abb. 2), der auf einen Bossenquader eines Gebäudes aufgezeichnet wurde.

Ein weiteres Beispiel ist in Padua zu finden, wo die *Via del vecchio Gasometro* auf das Areal des ersten Gaswerks hinweist. Heute befindet sich dort ein Parkplatz.

In Rom ist heute noch das dritte Gaswerk mit einem vierteiligen Gasbehälterensemble erhalten (Siehe Kap. D.3.2.-1.4.4.), dem ein Platz – nämlich die *Piazza del Gazometro* (Abb. 3) vorgelagert ist.

Auch in Deutschland lassen sich einige wenige dieser Straßenbezeichnungen finden:

In Unna erinnert z.B. die Straße *Am Gasometer* an den nicht mehr bestehenden Gasbehälter.

In Dresden führt die *Gasanstaltstraße* zu dem Gaswerk Dresden-Reick, wo heute noch zwei Gasbehälterhäuser und ein Wasserbecken stehen.



Abb. 2: Altes Straßenschild „IX Via Gasometro 225^{bis}“ beim Gaswerk Porta Nuova in Turin (Versetti, 2016).



Abb. 3: Rom, Straßenschild der „Piazza del Gazometro“ (BB, 2013).



Abb. 4: Wegbeschreibung zum „Gasometer“ Oberhausen“ (BB, 2013).

Tab. 1: Erste Handbücher zur Gasbeleuchtung in Europa (1815–1820) *			
Jahr	Handbuch	Verfasser	Erscheinungsort
1815	A practical Treatise on Gas Light: exhibiting a summary description of the apparatus and machinery best calculated for illuminating streets, houses and manufactories with carburetted hydrogen, or coal gas: with remarks on the utility, safety and general nature of this new branch of civil economy. 1st and 2nd edition	Accum, Friedrich Christian	UK London
1816	A practical Treatise on Gas Light (...). 3rd edition	Accum, Friedrich Christian	UK London
1816	Praktische Abhandlung über das Gaslicht – vollständige Beschreibung des Apparats und der Maschinerie, um Straßen, Häuser und Manufacturen zu beleuchten, enthaltend; (Übersetzung von Accums Werk, 1. Ausgabe)	Accum, Friedrich Christian (Übersetzer: Lampadius, Wilhelm August)	DE Freiberg
1816	Praktische Abhandlung über die Gaserleuchtung; enthaltend eine summarische Beschreibung des Apparats und der Maschinerie, welche am tauglichsten sind, Straßen, Manufacturen und Privatgebäude mit Kohlen-Wasserstoffgas oder Kohlengas zu erleuchten, mit Bemerkungen über die Nützlichkeit und Sicherheit dieses neuen Zweiges, des bürgerlichen Haushalts und dessen Natur im allgemeinen (Übersetzung von Accums Werk, 1. Ausgabe)	Accum, Friedrich Christian (Übersetzer unbekannt)	DE Berlin
1816	Traité pratique de l'éclairage par le Gaz inflammable, contenant une description sommaire de l'appareil e du mécanisme employés pour illumination des rues, des maisons et des manufactures, A l'aide du gaz hydrogène carburé, tiré du charbon de terre; Accompagné de remarques sur l'utilité, la sûreté et la nature générale de cette nouvelle branche d'économie civile; 3e édition. (Übersetzung von Accums Werk, 3. Ausgabe)	Accum, Friedrich Christian (Übersetzer Winzer, Friedrich Albrecht)	FR Paris
1817	Trattato pratico sopra il gas illuminante, contenente una completa descrizione dell'apparecchio e delle macchine oppurtune per illuminare col gas idrogeno carbonato, ossia gas di carbonio, le contrade, le case e le manifatture. (Übersetzung von Accums Werk, 2. Ausgabe)	Accum, Friedrich Christian (Silvio Pellico)	IT Mailand
1817	Anleitung zur zweckmäßigsten Einrichtung der Apparate zur Beleuchtung mit Steinkohlen-Gas. Nach eigenen Erfahrungen.	Precht, Johann Josef von	AT Wien
1818	A practical Treatise on Gas Light (...). 4th edition	Accum, Friedrich Christian	UK London
1819	Description of the process of manufacturing coal gas. For the lighting of streets houses, and public buildings, with elevations, sections and plans, of the most improved sorts of apparatus, now employed at the Gas Works of London and the principal provincial towns of Great Britain	Accum, Friedrich Christian	UK London
1819	The theory an practice of gas-lighting: in which is exhibited an historical sketch of the rise and progress of the science; and the theories of light, combustion, and formation of coal; with descriptions of the most approved apparatus for generating, collecting, and distributing, coal-gas for illuminating purposes	Peckston, Thomas S.	UK London
1820	2nd edition of Description of the process of manufacturing coal gas.	Accum, Friedrich Christian	UK London

* Die Innovation der Gasbeleuchtung aus England fasste früh auch in den USA Fuß. 1816 erschien ein Handbuch von Thomas Cooper mit dem Titel „Some Information concerning Gas Lights“, das sich auf die Entstehung in London stützt.

B.2. Entwicklung erster Gasbehälter in der Chemie ¹⁵

Im 16. Jahrhundert entwickelte sich die Verwendung des Gas-Begriffes in der Chemie: Es wurden luft- bzw. gasförmige Stoffe zum Ausdruck gebracht, die beim Verbrennungsvorgang freigesetzt wurden. Um diese entweichenden Gase isoliert studieren zu können, gab es erste Behälterformen zur Speicherung. Dies waren die Anfänge des Gasbehälters.

1. Einführung des Gas-Begriffes und erste Apparaturen zur Untersuchung von Stoffen

Der Begriff „Gas“ wurde erstmals von Johann Baptista van Helmont (1577–1644) eingeführt, dem Begründer der pneumatischen Chemie. Er untersuchte u.a. die Verbrennung von Stoffen und das Phänomen des dabei entweichenden Geistes oder Rauches, dem er das Wasser als Bestandteil zugrunde legte, und nannte diesen Geist „Gas“. Seine Werke erschienen überwiegend posthum, wie z.B. „Opera Omnia“ im Jahre 1682: ¹⁶

„14. Hunc spiritum , incognitum hactenus, novo nomine Gas , voco , qui nec vasis cogi , nec in corpus visibile reduci, nisi extincto prius semine, potest. (...)“ ¹⁷

„28. Si ergo omne corpus mistum redeat tandem in meram aquam pluviam: necesse est, quod Gas omne, è corporibus mistis prodiens, sit materialiter ex elemento aquae. Gas ergo, quod per ignem è carbone exhalat , etsi accendatur ; materialiter tamen non nisi aqua est, (...)“ ¹⁸

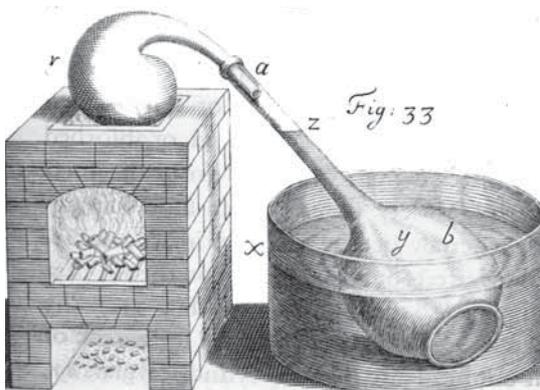


Abb. 5: Apparatur zur Einschätzung der Luftmenge bei der Verbrennung eines Stoffes (Hales, 1727, p. 262)

Die Arbeit von Helmont wurde von Stephen Hales (1677–1761) weitergeführt, dessen Versuchsreihe „Analysis of Air“ 1727 veröffentlicht wurde. Er entwickelte eine erste Apparatur (Abb. 5) zur Einschätzung der entstehenden Gasmenge¹⁹ bei der Verbrennung eines Stoffes. Diese setzte sich aus einer Retorte, einem Glasgefäß und einer Blase zusammen ²⁰.

¹⁵ Der folgende Abschnitt erläutert die Entwicklung des Gasbegriffes anhand einer Auswahl von bedeutenden Chemikern und stellt keine vollständige Abhandlung dar. Weiterführende Literatur siehe Tomory, 2009.

¹⁶ Den Begriff „Gas“ hatte Helmont bereits für sein Werk „Ortus Medicinae“ verwendet, in dem er ein Kapitel mit dem Titel „Gas aquae“ verfasst hat (Helmont, 1648, pp. 71–79).

¹⁷ Helmont, 1682, p. 102
„14. Diesen Geist [Luft], [der] bisher unbekannt [gewesen ist], benenne ich mit dem neuen Namen Gas, der weder durch Gefäße zusammengezwungen, noch in einen sichtbaren Körper zurückgeführt werden kann, wenn er nicht vorher durch einen Grundstoff gelöscht worden ist. (...)“
(Übers. der Verfasserin und Andreas Fleischmann).

¹⁸ Helmont, 1682, p. 104
„28. Wenn jeder gemischte Körper endlich zu reinem Regenwasser zurückgehen könnte: ist es notwendig, dass jedes Gas, das aus gemischten Körpern hervorgeht, stofflich aus dem Element des Wassers ist. Wenngleich man dieses Gas entzündet, das durch Feuer aus der Kohle ausdünstet; stofflich ist es dennoch nichts als Wasser, (...)“
(Übers. der Verfasserin und Andreas Fleischmann).

¹⁹ Im Originaltext verwendete Hales den Ausdruck „Luftmenge“.
Anm. der Verfasserin: Im 18. Jahrhundert bezeichneten die Chemiker gasförmige Stoffe als „Luft“ bzw. „luftförmig“. In den folgenden Abschnitten wurden die historischen Begriffe durch die aktuelle Nomenklatur ersetzt.

²⁰ Hales, 1727, p. 157.
Diese Apparatur war von Hales auch für „Schmelzversuche“ ausgelegt.

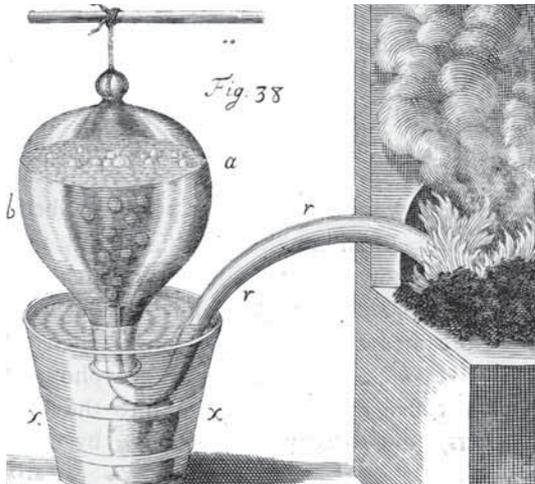


Abb. 6: Apparatur zur Destillation (Hales, 1727, p. 160).

Ein weiterführendes Experiment richtete er allein auf die Destillation aus. Die Anlage bestand aus einer eisernen Retorte, einem Wasserbehälter und einem gläsernen „Luftempfänger“ bzw. Gasempfänger (Abb. 6) ²¹.

Joseph Black (1728–1799) erläuterte 1754 in seiner Dissertation „De humore acido e cibus orto, e magnesia alba“ zum ersten Mal die Bedeutung von Kohlenstoffdioxid, der Entwicklung eines Stoffes, der sich aus einem gasförmigen und einem festen Körper bilden konnte.

Diesen Stoff nannte er „Fixed Air“. ²²

1766 studierte Henry Cavendish (1731–1810) die Entzündbarkeit von „factitious air“ (künstlicher Luft), die er aus der Verbindung von unedlen Metallen mit Säuren gewann und entdeckte so die „inflammable air“ (brennbare Luft) – das Wasserstoffgas (Abb. 7). ²³

1774 gelang Joseph Priestley (1733–1804) eine bedeutende Entdeckung: Er konnte aus „mercurius calcinatus“ (Quecksilberoxid), einen gasförmigen Stoff gewinnen. Dies war die Entdeckung des Sauerstoffs, den er zunächst als „dephlogisticated air“ – nichtentzündliche Luft – bezeichnete (Abb. 8). ²⁴ Dieser gasförmige Stoff ermöglichte einen andauernden Verbrennungsprozess ²⁵.

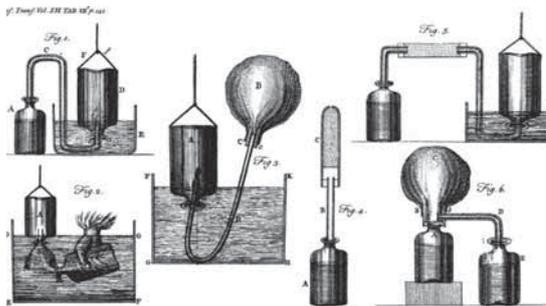


Abb. 7: Versuchsanordnung von Cavendish zur künstlichen Gewinnung von Luft (Cavendish, 1766, p. 141).

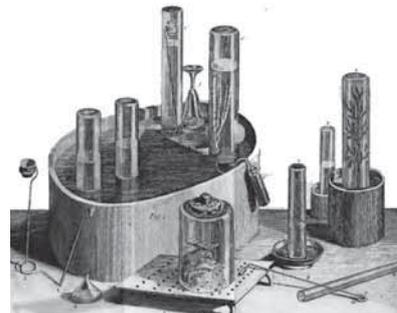


Abb. 8: Versuchsanordnung von Priestley zur Untersuchung der Luft (Priestley, 1775, p. 1).

Sowohl Cavendish (Abb. 7), als auch Priestley (Abb. 8) benutzten nach unten geöffnete Glasgefäße oder Blasen, die zum Isolieren und Untersuchen von entweichenden, gasförmigen Stoffen dienten. Damit sich diese nicht verflüchtigen, waren Wasserbehälter ein fester Bestandteil der Anordnung.

21 Hales, 1727, pp. 183–184

22 Leicester, Klickstein, 1952, p. 80

23 Cavendish, 1766, p. 144. Weitere Experimente von Cavendish wurden von ihm in *XIX: Three papers, containing Experiments on factitious Air*, 1766 dokumentiert.

24 Priestley, 1776, pp. 34–35

25 Wurtz, 1870, p. 7

Schließlich war es Antoine-Laurent de Lavoisier (1743–1794) ²⁶, der die Erkenntnisse von Priestley studierte und 1775 dieses Gas „oxygène“ (Sauerstoff) nannte – ein Element der atmosphärischen Luft ²⁷. Dieser Sauerstoff ermöglichte die Bildung von Oxiden, Säuren und Salzen ²⁸.

Nachdem vorrangig Glasgefäße bei derartigen Experimenten eingesetzt wurden, entstanden um 1780 Behälter, die das Gas mit einer Blase aufnahmen (Abb. 9): Dieses Behältnis bestand aus einem Zylinder, in dem eine Blase (a), ein Teller und eine Feder (d) eingesetzt waren. Wenn sich die Blase füllte, wurde die Feder zusammengedrückt und der Behälter konnte über einen Hahn (b) geschlossen werden. Mit dem Öffnen des Hahnes wurden die gasförmigen Stoffe wieder freigesetzt. ²⁹

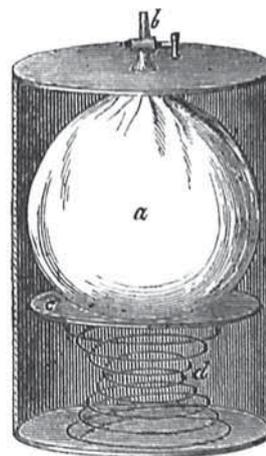


Abb. 9: Die Gasblase (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 41).

1789 grenzte Lavoisier in seinem Werk „Traité de Chimie“ die drei Aggregatzustände von Stoffen voneinander ab und legte so eine klare Definition für den Begriff „Gas“ für gasförmige Stoffe fest:

„(...) que presque tous les corps de la Nature sont susceptible dans trois états différens: dans l'état de solidité, dans l'état de liquidité, & dans l'état aériforme, & que ces trois états d'un même corp dépendant de la quantité de calorique qui lui est combinée. Je désignerai dorénavant ces fluides aériformes sous le nom générique de gaz; (...)“ ³⁰

Die Etymologie des Wortes selbst ist nicht eindeutig herleitbar. Es könnte von dem griechischen „χάος“ („kaòs“, dt.: Luftraum) oder dem deutschen „Gischt“ stammen ³¹. Ein anderer Ansatz bestand darin „Gas“ von dem holländischen „Ghoast“ bzw. dem englischen „Ghost“ und dem deutschen „Geist“ abzuleiten. ³²

26 Lavoisier war ein bedeutender Chemiker aus Paris, der als Mitbegründer der modernen Chemie gilt. Nach Volhard, 1870, löste dieser sogar eine Art „Lavoisierkult“ in Deutschland aus. Lavoisier beschäftigte sich mit Verbrennungsprozessen, der Verkalkung und der Synthese von Wasser.

27 Wurtz, 1870, p. 7

28 Wurtz, 1870, p. 9

Mit diesen Ergebnissen widerlegte er die sogenannte Phlogistontheorie: Das Phlogiston wurde als „brennliche Erde“ aufgefasst, die zu bestimmten Teilen in allen brennbaren Körpern vorhanden war und beim Verbrennungsprozess entwich (Wurtz, 1870, pp. 4–5).

29 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 41

30 Lavoisier, 1789a, p. 17

„(...) dass fast alle Körper der Natur in drei verschiedenen Zustände wahrzunehmen sind: Im festen Zustand, im flüssigen Zustand, und im luftförmigen Zustand, und dass diese drei Zustände desgleichen Körpers abhängig sind von dem Wärmegehalt, der mit ihm verbunden ist. Ich werde in Zukunft diese luftförmigen Stoffe mit dem Gattungsnamen Gas bezeichnen; (...)“
(Übers. d. Verfasserin)

31 Knapp, 1860, p. 4

32 GLCC, 1912, p. 8

2. Appareil de soufflet hydrostatique – Die Urform des Gasbehälters

Nach einer Reihe von unterschiedlichen Glasgefäßen, die zur Aufnahme von kleineren Gasmengen aus verschiedenen Experimenten dienten, konzipierte der französische Chemiker **Antoine Laurent de Lavoisier** einen Behälter, der durch seinen Aufbau und seine Funktionsweise die erste Gasbehälterform kennzeichnete ³³.

Lavoisier stand in regem Austausch mit Priestley, der bereits Vorarbeit zur Konstruktion eines Speicher- und Durchgangsbhähalters leistete: Priestley verwendete einen Wassertrog, ein Glasgefäß und Röhrchen zur Gaseinführung, was dem üblichen Aufbau der vorgehenden Experimente entsprach. ³⁴ Lavoisier optimierte Priestleys Ansätze und entwickelte 1782 einen „Appareil de soufflet hydrostatique“ für seine Schmelzversuche. Diese Apparatur bestand aus einem hydrostatischen Blasebalggerät (B), dessen Sauerstoff-Zufuhr über einen Druckbehälter (D) beliebig eingestellt werden konnte (Abb. 10). Im gleichen Jahr teilte er diese Erfindung der Académie Royale des Sciences mit. ³⁵

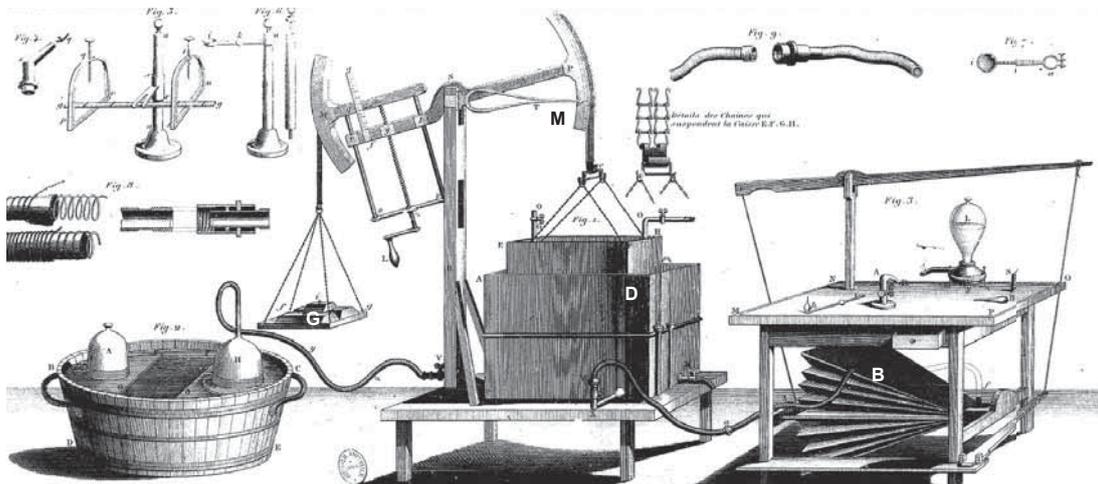


Abb. 10: Apparatur für konstante, messbare Sauerstoff-Gaszufuhr (Lavoisier, 1782, Plate V).**

Das zentrale Element dieser Apparatur war ein Behälter zur Regulierung des Luftstroms. Der Ingenieur und Mathematiker Jean-Baptiste Meusnier (1754–1795) ³⁶ war zuständig für die konstruktive Umsetzung und beschrieb diese in seinem Aufsatz „Description d`un appareil propre à manoeuvrer différentes espèces d`air, dans les expériences, qui en exigent des volumes considérables par un écoulement continu parfaitement uniforme e variable à volonté, et donnant, à chaque instant, la mesure des quantités d`air employées avec toute la précision, qu`on peut désirer“ ³⁷.

33 Tabor, 1822, p. 438

34 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 41

35 Lavoisier, 1782, pp. 426–427

36 Eigentlich Jean-Baptiste Meusnier de la Place.

37 „Beschreibung eines eigenständigen Apparates zum Regulieren verschiedener Luftarten, in Experimenten, die davon geraume Mengen brauchen für einen fortlaufenden Luftstrom, der fehlerfrei gleichmäßig und beliebig variierbar ist, und der stets die Mengennmessung der verbrauchten Luft mit all der Präzision angibt, die man sich wünschen kann.“ – (Übers. d. Verfasserin)

Der Behälter bestand aus zwei kastenförmigen Elementen (D) aus Eisen, deren Grundform quadratisch war. Das untere Bauteil war mit Wasser gefüllt und die zweite, etwas kleinere Kiste wurde mit nach unten gerichteter Öffnung in das Wasserbecken gesetzt (Abb. 10, Abb. 11).

Zur individuellen Einstellung der Sauerstoff-Gaszufuhr war die obere Kiste mit einer Kette und einem Hebelarm für Gegengewichte (G) angeschlossen, die für den entsprechenden Druck sorgten. Gleichzeitig besaß die Konstruktion eine Messvorrichtung (M) – hier ein Pfeil, der jeweils den aktuellen Luftverbrauch maß.³⁸

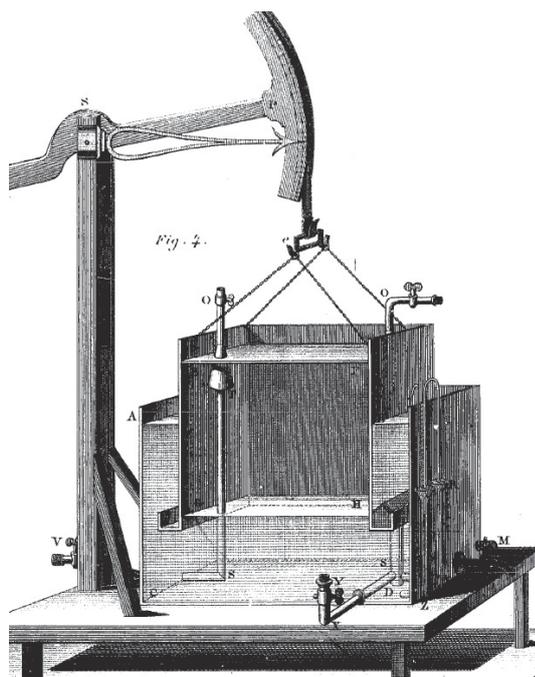


Abb. 11: Behälter zur Regulierung der Sauerstoff-Gaszufuhr (Lavoisier, 1782, Plate IV).

Der Appareil de soufflet hydrostatique wurde von Lavoisier und Meusnier dahingehend optimiert, dass der Messmechanismus verfeinert wurde. Lavoisier wollte dadurch Gasvolumina bestimmen. An dieser Stelle führte Lavoisier den neuen Fachterminus **Gazomètre** ein, der für die komplette Apparatur galt (Abb. 12). Dieser wurde 1789 in Lavoisiers Werk „Traité Élémentaire de Chemie“ veröffentlicht. In dem Kapitel über Gasmesskunde – „De la Gazométrie, (...)“ – definierte Lavoisier den „Gazomètre“ wie folgt:³⁹

„ Je donne le nom de gazomètre à un instrument dont j'ai eu la première idée, & que j'avois fait exécuter dans la vue de former un soufflet qui pût fournir continuellement e uniformément un courant de gaz oxygène pour des expériences de fusion. (...) Le nom seul de cet instrument indique assez qu'il est destiné a mesurer le volume des gaz.“ [sic]⁴⁰

Das zentrale Element des Gazomètre (Abb. 12) war ein zylindrischer Gasbehälter (B), der mit Gegengewichten (G) und einer Inhaltsanzeige (I) ausgestattet war. Auf einer Säule (S) war ein Hebelarm befestigt, der zu beiden Seiten einen segmentförmigen Abschluss besaß. Auf einer Seite wurden über eine angehängte Platte Gewichte (G) positioniert und das andere Ende war mit der Glocke verbunden und funktionierte zugleich als Inhaltsanzeiger (A).

Ein weiterer Gasbehälterentwurf für Verbrennungsversuche wurde 1802 von William Haseldine Pepys jun. (1775–1856) vorgestellt.

In seinem Aufsatz „Description of a new Gas-Holder“ beschrieb er einen zylindrischen Gas-Behälter, der dafür geeignet war, Gas zu transportieren, es vor Kontaminierung zu schützen und für Experimente

38 Meusnier, 1782, pp. 433–434

39 Lavoisier, 1789b, pp. 346–347. – Die Erfindungen und Überlegungen von Lavoisier wurden von seiner Frau Marie-Anne Pierrette Paulze Lavoisier begleitet und illustriert.

40 *Chap. II: De la Gazométrie, ou de la mesure du poids absolu & du volume des substance aeriformes*
„Ich gebe den Namen Gasometer einem Instrument, für das ich die erste Idee hatte, und das ich mit dem Ziel ausführen ließ, einen Blasebalg zu bilden, der einen kontinuierlichen und gleichmäßigen Sauerstoff-Gasstrom liefert für Schmelzversuche. (...) Allein der Name dieses Instruments zeigt zur Genüge, dass er zum Messen des Gasvolumens bestimmt ist.“

Aus: Kap. II: Über die Gasmesskunde (Gasometrie), oder das Messen des absoluten Gewichts und des Volumens von gasförmigen Stoffen. – (Übers. d. Verfasserin)

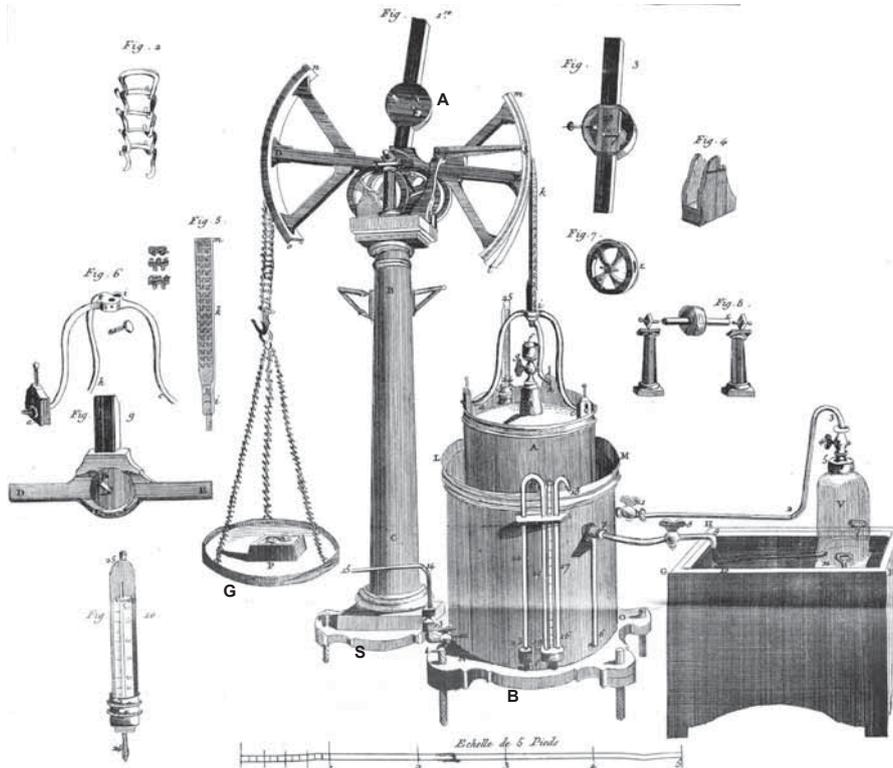


Abb. 12: Lavoisiers „Gazomètre“ (Lavoisier, 1789, Planche XIII).**

einzusetzen, die eines kontrollieren Gasstroms aus einem Rohr bedurften.

Der Hauptbestandteil dieser Apparatur (Abb. 13) war das geschlossene, zylindrische Behältnis (G) zur Gasspeicherung, das mit einem vertikalen Rohr (R) zur Inhaltsanzeige ausgestattet war. Darauf befanden sich ein flaches Becken (C) und ein Glaszylinder, die als Vorrichtung für Verbrennungs-, bzw. Verpuffungsversuche dienten. Über den Rohransatz (O) wurde zunächst das komplette Behältnis mit Wasser gefüllt und danach mit einer gasproduzierenden Anlage angeschlossen. Der Behälter füllte sich mit Gas und verdrängte gleichzeitig das Wasser, das über ein weiteres Behältnis (nicht dargestellt) wieder aufgefangen wurde.⁴¹

Trotz Pepys Bemühungen war es der Aufbau von Lavoisiers *gazomètre*, der sich später in der Gasindustrie durchsetzte.



Abb. 13: Pepys Gasbehälter für Verbrennungsexperimente (Pepys, 1802, Pl. IV.).

41 Pepys, 1802, pp. 153–155
 Nachdem der Gasspeicher (G) gefüllt war, konnte dieser an verschiedene Orte getragen und eingesetzt werden. Des Weiteren wurde diese Apparatur auch verwendet: Erstens als Blaserohr – der Schlauch (S) wurde hierfür an den Hahn (Ck) angeschlossen, zweitens zum Befüllen von Blasen mit Gas über den Hahn (Ck) und drittens für Verbrennungs-/ Verpuffungsexperimente von Stoffen – hierfür kam der Glaszylinder (Rc), anhand verschiedener Geräte (S, D) zum Einsatz.

B.3. Gaslicht

Das Steinkohlengas erzielte Ende des 18. Jahrhunderts Erfolge in der Beleuchtung von einzelnen Privathäusern, Gärten, Fabriken und Schulen (*Tab. 7*) und erwies sich als geeignetes neues Leuchtmittel, das allmählich an Bedeutung für die öffentliche Beleuchtung gewann.

Das Steinkohlengas – oder auch Leuchtgas ⁴² – wurde auf Gaswerken hergestellt, gereinigt und gespeichert, bevor es in das öffentliche Leitungsnetz der Stadt eingespeist wurde.

Dieses Kapitel veranschaulicht den Herstellungsprozess von der Steinkohle zum Gas, das die Städte in neuem Licht erscheinen ließ, was verschiedene Reaktionen bei der Bevölkerung auslöste.

1. Gasherstellung ⁴³

Die Herstellung von Steinkohlengas gliederte sich Ende des 19. Jahrhunderts in drei grundlegende Phasen (*Abb. 14*):

- I. Trockene Destillation bzw. Vergasung der Steinkohle unter Luftabschluss ⁴⁴
(Zersetzung/ Dekomposition der Steinkohle),
- II. Kondensation der flüssigen Elemente (physikalische Reinigung),
- III. Chemische Reinigung (von leuchtkraftreduzierenden Elementen).

I. Trockene Destillation

Die Steinkohle wurde in horizontale, vertikale oder schräge Kammern – in sogenannten Retorten (R) – gefüllt, die von einer Ofenanlage (O) beheizt wurden. Die Destillation der Steinkohle begann bei 100°C und das Gas wurde bei einer Temperatur von ca. 1000–1200°C in den Retorten freigesetzt. ⁴⁵

In diesem Stadium war das Rohgas ein dichter, brauner Dampf. Mit einem Exhaustor (E), einer Absauganlage, wurde es anschließend aus den Retorten gesogen und durchlief bei einer Temperatur von ca. 100°C zunächst ein Wassersyphon (S), wo bereits ein Großteil des Teers abgeschieden und in die Teergrube (Tg) abgeleitet wurde. ⁴⁶

Da die Gasfreisetzung bei der Destillation keinen konstanten Vorgang darstellte, war am Ende der Produktionskette ein Ausgleichsbehälter – der Gasbehälter – zur kumulativen Speicherung notwendig ⁴⁷.

Bei der Destillation von Steinkohle entstanden weitere feste, flüssige und gasförmige Stoffe (*Tab. 2*).

Tab. 2: Destillation von 100kg Steinkohle in 6h (nach Calzavara, 1899, p.166)	
Gas	25m ³
Koks (K)	1,84hl (1hl = 35,94kg)
Teer (T)	2,964 (Dichte von 1,177) 41% im Syphon (Dichte 1,196), 59% in der Kühlung (Dichte 1,165)
Ammoniakwasser	5,927l

⁴² Accums Werk „A Practical Treatise on Gas Light“ beginnt mit einem Zitat von Horaz „ex fumo dare lucem“ und bringt die Faszination für den neuen Beleuchtungsstoff zum Ausdruck:
Aus Rauch werde Licht. Deswegen wurde dieses Gas auch als Leuchtgas bezeichnet.
Auch in Kokereien und Stahlwerken entstand Gas. Je nachdem wie ein Werk benannt wurde, lag der Fokus auf einem bestimmten Produkt: Gaswerk – Gas, Kokerei – Koks, etc.

⁴³ Siehe hierzu auch Berger, 2015, pp. 204–205

⁴⁴ Heute wird der Prozess der trockenen Destillation als sogenannte „Pyrolyse“ bezeichnet.

⁴⁵ Calzavara, 1899, p. 163

⁴⁶ Calzavara, 1899, pp. 173–174

⁴⁷ Peckston, 1819, pp. 222–223

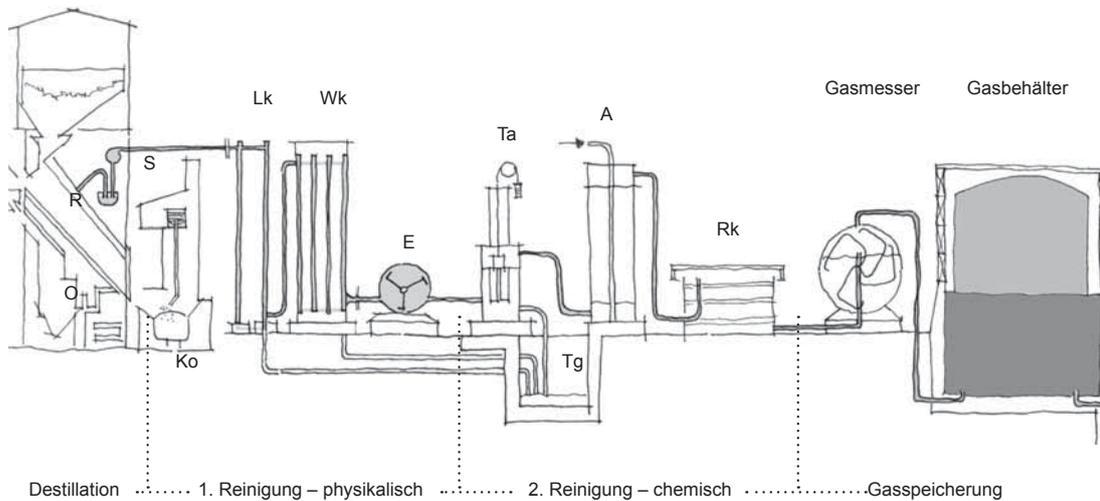


Abb. 14: Schema zur Herstellung von Steinkohlengas um 1940 (Berger, Brenner, 2008, p. 12 – nach Haug, 2007).

Nach dem Verbrennungsprozess blieb von der Steinkohle nur noch der glühende Koks (Ko) übrig, der nach dem Verlassen der Retorten mit Wasser gelöscht und zur Weiterverwendung gelagert wurde⁴⁸.

II. Kondensation

Mit der Kondensation setzte das erste Reinigungsverfahren ein. Das Gas wurde in turmartige Kühlungs-Behälter eingeleitet, in denen das Gas zunächst mit Luft (Lk) und dann mit Wasser (Wk) gekühlt wurde.⁴⁹

Dieser Vorgang wurde als physikalische Reinigung bezeichnet. Hier wurden neben Teer und Naftalin auch Anteile von Kohlen- und Schwefelsäure sowie Ammoniak absorbiert. Ein zu hoher Naftalinanteil führte z.B. zu Ablagerungen in den Leitungsrohren.⁵⁰

III. Reinigung

Bei der anschließenden zweiten oder chemischen Reinigung wurden durch den Teerabscheider (Ta) letzte Teerbestandteile abgesondert. Anschließend wurde Ammoniak durch ein spezielles Beregnungssystem im Ammoniakwascher (A – „Scrubber“) absorbiert und Schwefel in Reinigungskästen (Rk) mit einer speziellen Reinigungsmasse gebunden.⁵¹

Das Steinkohlengas war in diesem Stadium zwar von leuchtkraftreduzierenden Stoffen gereinigt – verbreitete aber dennoch einen unangenehmen Geruch.⁵²

48 Das gewonnene Koks hatte einen besseren Brennwert als die Kohle und eignete sich aufgrund seiner staub- und rauchfreien Brennweise z.B. für den häuslichen Heizgebrauch; nur der Ascheanteil, den das Koks nach dem Verbrennen hinterließ, war beträchtlich größer als der von Kohle oder Holz (Accum 1815, pp. 158–159).

49 Calzavara, pp. 261–268

50 Calzavara, 1899, pp. 173–178.

Nach der ersten Reinigung bzw. Kondensation wurde das Gas nach Calzavara, 1899 (pp. 178–179) in zwei Gruppen von Stoffen unterteilt:

1. Nützliche Stoffe:	a) Leuchtgas: Ethen, Acetylen, Benzol, Schwercarbid (carburi pesanti)
	b) Gase, die nützliche Wärme zur Lichterzeugung entwickeln: Wasserstoff, Kohlenmonoxid, Moorgas (gaz delle paludi).
2. Schädliche Stoffe:	c) nicht leuchtfähiges und leuchtschädigendes Gas: Kohlensäure, Schwefel
	d) Schädigende Gase für Leuchtkraft: Schwefelwasserstoff, Ammoniak, Kohlenstoffdioxid (soffuro di carbonio).

51 Calzavara, 1899, pp. 178–182.

52 Accum, 1819, p. 6

IV. Speicherung

Schließlich durchlief das Gas einen Gasmesser bzw. -zähler⁵³ und wurde anschließend in einem geeigneten Behälter gespeichert – dem **Gasbehälter**. Das Gas wurde über das Einlassrohr in den Gasbehälter eingespeist. Über das Auslassrohr passierte es eine Druckregulierungsmaschine (Siehe Kapitel „2. Betriebsdruck“)⁵⁴, bevor es in das öffentliche Netz abgegeben wurde. So konnte der Druck für das Leitungsnetz – entkoppelt zu dem Betriebsdruck im Gasbehälter – angepasst werden. Ein konstanter Gasstrom war notwendig, um eine gleichmäßige Flamme in den Lampen zu erzeugen⁵⁵.

Falls die verwendete Steinkohle nicht ausreichende Anteile an Schwefelwasserstoff hatte, verbreitete die Gasflamme einen unangenehmen und gesundheitsschädigenden Geruch, der durch die freigesetzte Schwefelsäure ausgelöst wurde. Bei guter Qualität der Kohle war die Gasflamme ansonsten geruchsneutral.⁵⁶

Gaswerke wurden rund um die Uhr betrieben, da jede Außerbetriebnahme bzw. Abkühlung der Retorten zu deren irreversiblen Defekt führte⁵⁷. Im Gegensatz dazu stand der Verbrauch des Gases, der ungleichmäßig über einen Tag verteilt war. Um diesem ungleichen Verhältnis von Produktion und Verbrauch gerecht zu werden, war der **Gasbehälter** mit seinem flexiblen Speichervolumen die Schnittstelle zwischen Produktion und Verbrauch.⁵⁸

53 Anm. d. Verfasserin: An dieser Stelle wäre die Bezeichnung Gaso“Meter“ zutreffend. (Siehe Kap. B.1.).

54 Sowohl die Druckregulierungsmaschine (engl. governor), als auch der Gasmesser (engl. gas-metre) wurden 1815 von Clegg patentiert (Clegg, 1841, p. 21; GLCC, 1912, p. 66).

55 Accum, 1815, pp. 103–104

56 Accum, 1815, pp. 139–141

57 Accum, 1819, p. 94

58 Weiterführende Literatur zur historischen Gasherstellung und zur Gasbeleuchtung siehe Accum, 1815–1819; Prechtel, 1817; Peckston, 1819; Tabor, 1822; Rutter, 1835; Clegg, 1841; Hughes, 1853; Schilling, 1860; West, 2008; Tomory, 2009

2. Die öffentliche Gasbeleuchtung



Abb. 15: „A PEEP AT THE Gas Lights IN PALL MALL“ (Chandler, 1936, Frontispiece).

Die Einführung der öffentlichen Stadtbeleuchtung mit Gas war Anfang des 19. Jahrhunderts umstritten. Zunächst wurde die Gasbeleuchtung als technische Innovation aus London gefeiert (Siehe Kap. B.5.) und galt als soziokulturelle Verbesserung des allgemeinen Lebensstandards, wie es auch Accum 1815 in dem ersten Traktat zur Gasbeleuchtung (Tab. 1) beschrieb:

*„It is an undoubted truth, that the successive improvements in the condition of man, from a state of ignorance and barbarism, to that of the highest cultivation and refinement, are usually effected by the aid of machinery and expedients, calculated to procure the necessaries, the comforts, and elegancies of life; (...)“*⁵⁹

Das Gaslicht änderte nicht nur das Bild der öffentlichen Straßen, Plätze und Bauwerke, sondern auch das der Privathäuser⁶⁰. 1813 erkannte John Maiben, dass das Gas nicht nur für Beleuchtungszwecke, sondern auch für Heizzwecke eingesetzt werden konnte.⁶¹

59 Accum, 1815, p. 1

„Es ist von zweifelloser Wahrheit, dass die voranschreitenden Verbesserungen des Lebensstandards der Menschheit, ausgehend von Ignoranz und Barbarentum, bis hin zur erhabenen Zivilisation und Veredelung, meist durch die Hilfe von Maschinen und Behelfen erlangt wurden, ausgerichtet auf die Bedürfnisse, den Komfort und elegante Lebensweisen; (...)“ (Übers. der Verfasserin)

60 Accum, 1815, p. V.

Neben der Beleuchtung von Straßen und wichtigen öffentlichen Bauwerken, wie Museen, Kirchen, Theater, wurde Gaslicht für Leuchttürme, Schiffe, Arsenale eingesetzt (Accum, 1819, pp. 11–14).

61 Maiben, 1813, p. 42

Auch Accum kündigte 1815 die baldige Einführung des Gaslichts in den Privathäusern an. Im Vergleich zum Kerzenlicht konnte die Gasflamme nicht „herunterbrennen“ oder umfallen und auch keine Funken entwickeln. Zudem war das Gaslicht viel wirtschaftlicher und von besserer Qualität (Accum, 1815, pp.147–148). Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf die Geschichte des Gasbehälterbaus, der auf der Gasbeleuchtung fußt. Daher wird auf das Heizen mit Gas nicht näher eingegangen.

Nachdem 1817 Johann Josef Prechtl (1778–1854), Direktor des Kaiserlich Königlichen Polytechnischen Instituts zu Wien die Gasbeleuchtung an seinem Institut erfolgreich einführte, beschrieb er die verbesserte Qualität und Leuchtkraft des neuen Gaslichts im Vergleich zum bisherigen Kerzenlicht:

„Niemand der das Gaslicht gesehen hat, kann ihm seinen Beifall versagen. Es ist eine reine, helle Flamme, die das Auge weniger beleidigt, als Kerzenlicht oder das Licht einer Argand'schen Lampe⁶² und doch mehr und mit weißerem Lichte leuchtet. Die Helligkeit, welche das Gaslicht verbreitet, nähert sich am meisten unter allen bekannten Lichtarten dem Tageslichte, weil es ein reines, weißes wenig ins bläulich nüanciertes Licht ist gleich dem Tageslichte. [sic]“⁶³

Obwohl die neue Gasbeleuchtung als Innovation anerkannt wurde, lösten das Gaslicht (Abb. 16) und der Gasbehälter zugleich Ängste in der Bevölkerung aus, die ihrer Gesundheit und Sicherheit galten:

„In the early days of gas-lighting, before the non-explosive nature of coal gas was generally understood, the gasholder was viewed with great apprehension, as being simply a magazine of dangerously explosive material, that might at any time burst and scatter death and destruction around their neighbourhood. (...)“⁶⁴

Das Aufkommen der elektrischen Beleuchtung ab 1877 (in England) war der größte Rivale des Gaslichts. Selbst zu dieser Zeit wurde das Gaslicht bzw. der Gasbehälter noch als Gefahr karikiert (Abb. 17) und musste sich gegenüber der neuen Technik behaupten.⁶⁵

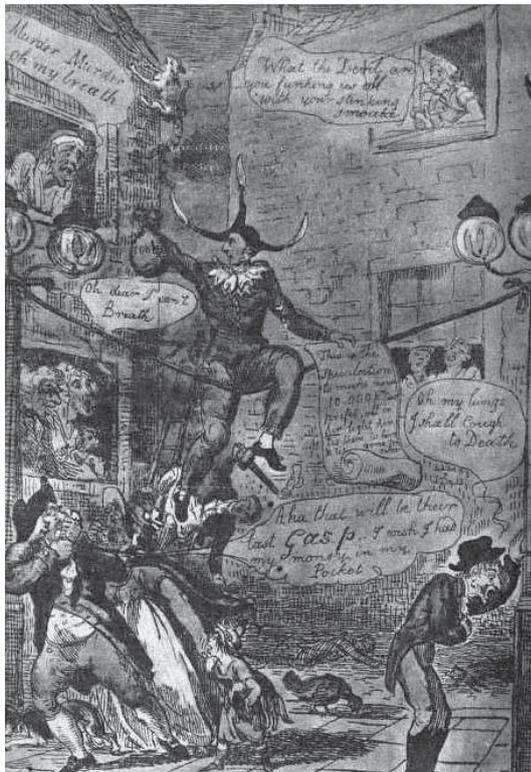


Abb. 16: Bürger beschweren sich über den Geruch des Gaslichts, Karikatur von 1808 (GLCC, 1912, p. 20).

62 Knapp (1860, pp. 2–3) beschreibt die Argand'sche Lampe als „ingenueuse Vervollkommnung in der Speisung der Flamme mit Licht“. Diese Lampe wurde nach Aimè Argand benannt, der 1789 einen speziellen Brenner erfand, der mit einem röhrenförmigen Docht und einem künstlichen Luftzug konzipiert war.

63 Prechtl, 1817, p. 123

64 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 44

„In den frühen Tagen der Gasbeleuchtung, bevor man die nicht-explosive Beschaffenheit des Gases überhaupt verstanden hatte, wurde der Gasbehälter mit großer Besorgnis betrachtet, lediglich als ein Magazin für gefährliche, explosive Stoffe, das jederzeit explodieren und Tod und Zerstörung in ihrer Nachbarschaft verbreiten konnte. (...)“ (Übers. d. Verfasserin)

65 Chandler, 1936, pp. 176–177

Beide Karikaturen sind ursprünglich im „The Gas Journal“ 1901 erschienen. Auf das neue elektrische Licht reagierte der bislang herrschende King Gas mit einem Zitat von Macbeth:

„Avaunt ! and quit my sight ! Let the earth hide thee
Thy bones are marrowless, thy blood is cold ;
Thou has no speculation in those eyes
Which thou dost glare with ;
Hence horrible shadow ! Unreal mockery, hence!“

Zusammenfassend revolutionierte das Gaslicht die abendlichen Stadtbilder und verdrängte die bisher üblichen Beleuchtungsmittel Kerze und Öl.

Die Vorteile der Gasbeleuchtung – die verbesserte Lichtqualität, die Kosten- und Zeitersparnis, Sauberkeit und Sicherheit⁶⁶ – wurden früh erkannt und ließen die Nachfrage rasch ansteigen. Dies erforderte wiederum eine kontinuierliche Erhöhung der täglichen Produktionsmenge der Gaswerke, was permanente Erweiterungen bzw. Aufstockungen zur Folge hatte.



Abb. 17: „THE ELECTRIC LIGHT CHALLENGE TO THE GAS LIGHTING“ (Chandler, 1936, p. 176).



Abb. 18: „THE ANSWER“ of the Gas King (Chandler, 1936, p. 177)

B.4. Funktionsweise der ersten Gasbehälter

Der Gasbehälter war ein technisches Bauwerk zur Speicherung von lokal produziertem Steinkohlengas, dessen Form und Konstruktion sich aus den technischen Anforderungen entwickelte.

In diesem Kapitel wird die Funktionsweise der ersten Gasbehälterform erläutert, die auf einer hydraulischen Abdichtungstechnik ⁶⁷ basierte. Diese ermöglichte eine variable Behälterform, die mit einem konstanten Druck betrieben und zu einem Teleskopgasbehälter erweitert werden konnte.

1. Hydraulische Abdichtungstechnik

Ein Gasbehälter musste primär folgende Anforderungen erfüllen:

- Ein variables Speicherbehältnis, das sich verschiedenen Speicherständen anpasste. Diese waren abhängig von der Gaszu- und -abfuhr, die in ungleichem Verhältnis zueinander standen: Die ungleichmäßige Gasherstellung in den Retorten stand dem variierendem Verbrauch gegenüber.
- Einen gasdichten Abschluss zur Verhinderung von Gasaustritten.
- Einen konstanten Betriebsdruck, der für einen gleichmäßigen Gasstrom in den Lampen sorgte. ⁶⁸

1.1. Funktionsweise bei Glockengasbehältern

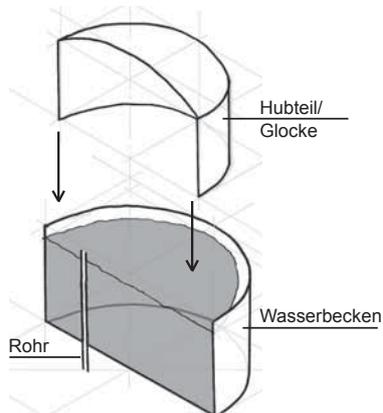


Abb. 19: Schematischer Aufbau eines Gasbehälters (Skizze, BB, 2016).

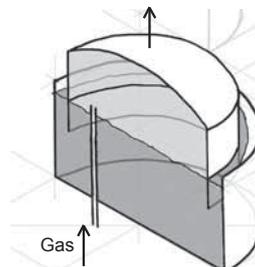


Abb. 20: Schema eines sich füllenden Hubteils (Skizze, BB, 2016).

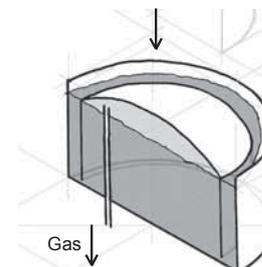


Abb. 21: Schema eines leeren Hubteils (Skizze, BB, 2016).

Dieser Anforderung wurde mit dem Aufbau von zwei zylindrischen Behältern und der Anwendung einer hydraulischen Abdichtungstechnik Genüge geleistet (Abb. 19): Der erste etwas größere Behälter wurde vollständig mit Wasser gefüllt. Der zweite Zylinder war kleineren Durchmessers und wurde mit nach unten gerichteter Öffnung in den Wasserbehälter gesetzt. Wegen seiner geometrischen Form erhielt dieses Bauteil auch die Bezeichnung **Glocke** – die auch dem Glockengasbehälter seinen Namen gab (Siehe Kap. C.1.1.-1.).

Das Gas wurde am Boden des Wasserbeckens über ein Rohr ⁶⁹ eingespeist und hebte die Glocke aus dem Wasser (Abb. 20). Allein der Gasinhalt regulierte das Auf- und Absteigen der Glocke und erfüllte so das Kriterium eines variablen Speicherbehältnisses. Aufgrund des Bewegungsmechanismus wurde für die Glocke der übergeordnete Begriff **Hubteil** eingeführt.

⁶⁷ Anm. d. Verfasserin: Dieses Kapitel beschreibt ausschließlich die Funktionsweise der ersten hydraulischen Gasbehälter. Zu der Entstehung und Funktion des Trocken-, bzw. des Scheibengasbehälters, siehe Kapitel C.3.

⁶⁸ Prechtl, 1817, p. 81

⁶⁹ Die Rohröffnung lag um einige Zentimeter höher als der Wasserspiegel des Beckens, damit das Wasser nicht in die Rohre laufen konnte (Peckston, 1819, p. 254).

Folglich hatte das Hubteil auch die Funktion eines Indikators inne: War das Hubteil leer (Abb. 21), so war es im Wasserbecken abgesetzt und nicht sichtbar. Mit zunehmender Höhe wurde der tatsächliche Gasinhalt auch nach außen hin sichtbar. Das Wasser diente als Abdichtungsmedium und stellte einen gasdichten Abschluss mit dem Hubteil her, das den Gasaustritt verhinderte.

Diese hydraulische Abdichtungstechnik brachte zwei elementare Bestandteile des Gasbehälters hervor: Das Wasserbecken und die Glocke bzw. das Hubteil. Letztere war das zentrale Element, weil es das Gas aufnahm und so den eigentlichen Gas-Behälter darstellte. Durch die Ergänzung eines Führungsgerüsts wurde der Gasbehälter vervollständigt; dieses sicherte ein lineares, gleichmäßiges Heben und Senken des Hubteils..

Wegen der „nassen“ Betriebs- und Abdichtungsweise wurden diese Gasbehälter als **hydraulische Gasbehälter** oder auch Nassgasbehälter bezeichnet.

1.2. Funktionsweise bei Teleskopgasbehältern

Die hydraulische Abdichtungstechnik wurde von dem einfachen Glockengasbehälter auch auf den mehrhubigen Teleskopgasbehälter übertragen und angepasst. Die Schwierigkeit bestand darin, den Anschluss der einzelnen Hubteile ⁷⁰ kraftschlüssig, luft- und wasserdicht herzustellen. Mit einem Tassenanschluss (Abb. 22) konnten diese Anforderungen erfüllt werden:

- **Die Schöpftasse:** Am unteren Rand des ersten Hubteils war eine nach oben gerichtete Schöpftasse angebracht. Beim Erreichen des maximalen Speichervolumens verließ das Hubteil das Wasserbecken und die Schöpftasse füllte sich dabei mit Wasser (Abb. 22-b).
- **Die Haktasse:** Am oberen Abschluss des zweiten Hubteils befand sich eine nach unten gerichtete Haktasse. Der Begriff beschreibt bereits den Mechanismus dieser Vorrichtung: Wenn sich das erste Hubteil aus dem Becken hob, verhakte sich die Haktasse mit der Schöpftasse, sodass eine fortlaufende Gaseinspeisung möglich war (Abb. 22-c-d).

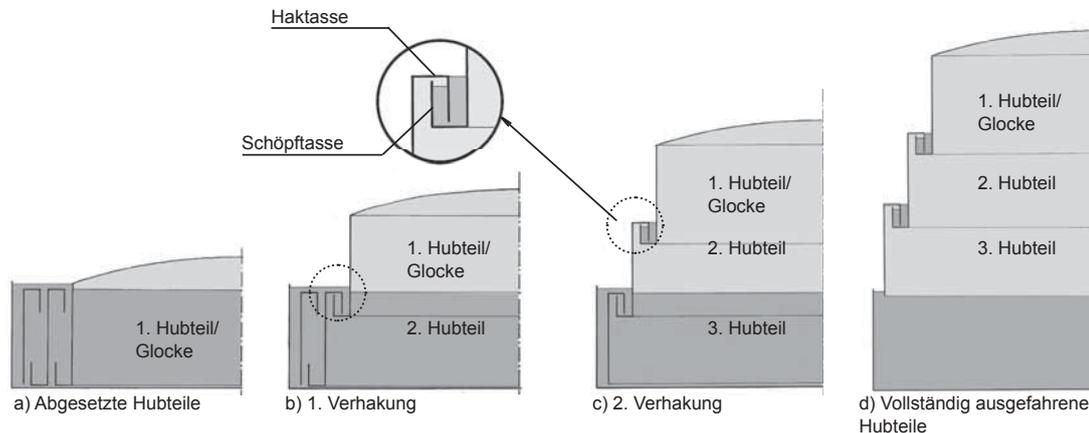


Abb. 22: Schemazeichnungen zur Funktionsweise eines Teleskopgasbehälters (Schema, BB, 2017).

Der Wasserkanal in der Schöpftasse stellte den gasdichten Abschluss her, der unkontrollierte Gasverflüchtigungen verhinderte und war eine wichtige Grundlage für die Realisierung von mehrhubigen Gasbehältern ⁷¹. Diese Abdichtungstechnik war v.a. im Winter gefährdet, wenn das Wasser im Becken und in den Tassen drohte zu gefrieren ⁷². Deshalb wurden Heizungen oder feststehende Schutzbauwerke (Siehe Kap. C.2.5.) angeordnet, um dies zu verhindern. ⁷³

⁷⁰ Das erste bzw. oberste Hubteil wurde weiterhin häufig als Glocke bezeichnet.

⁷¹ Hughes, 1853, pp. 212–213

⁷² Colburn, 1865, p. 82

⁷³ Weiterführende Literatur zur Konstruktion und zum Wasserstand in den Tassen siehe Wehrmann, 1954, pp. 45–50

2. Betriebsdruck

Bei hydraulischen Gasbehältern handelt es sich um **Niederdruckgasbehälter** (Tab. 3), deren Betriebsdruck primär durch das Eigengewicht der Glockenkonstruktion bestimmt wurde.⁷⁴

Da die ersten Konstruktionen sehr massiv ausgeführt wurden, erhöhte sich der Druck beim Aufsteigen der Glocke so stark, dass **Gegengewichte** (M) angeordnet wurden, um die Differenz des Drucks zu verringern und diesen konstant halten zu können (Abb. 23). Das Gewicht der Kette entsprach dem Gewicht, das die Glocke beim Eintauchen in das Wasser verlor⁷⁵. Die Gegengewichte selbst waren gleichzustellen mit dem absoluten Gewicht der Glocke.⁷⁶

Der Kreisumfang dieser Räder entsprach ungefähr der Glockenhöhe. Bei der rechteckigen Grundform wurden meist zwei Gegengewichte eingesetzt – bei der zylindrischen auch bis zu drei (Siehe Kap. B.5.).⁷⁷

Die Anordnung von Gegengewichten konnte allmählich reduziert werden, als die Glockenkonstruktion zunehmend leichter ausgeführt wurde. Zudem erfand Clegg 1815 eine Druckregulierungsmaschine⁷⁸, die zwischen den Gasbehälter und das Leitungsnetz geschaltet wurde und für einen konstanten Gasstrom – und folglich auch für eine ebene Flamme – sorgte.⁷⁹

Der Mindestdruck betrug nach Peckston 1,96mbar bzw. 0,02mmWS (Tab. 3). Dieser Überdruck hatte zur Folge, dass der Wasserspiegel innerhalb der Glocke um ca. 2cm niedriger war, als außerhalb.⁸⁰ Ende des 19. Jahrhunderts stellte Calzavara die gegebenen Druckverhältnisse zwischen 7 und 12,5mbar dar – je nach Größe des Gasbehälters. Eine weitere Möglichkeit das Gewicht der Glo-

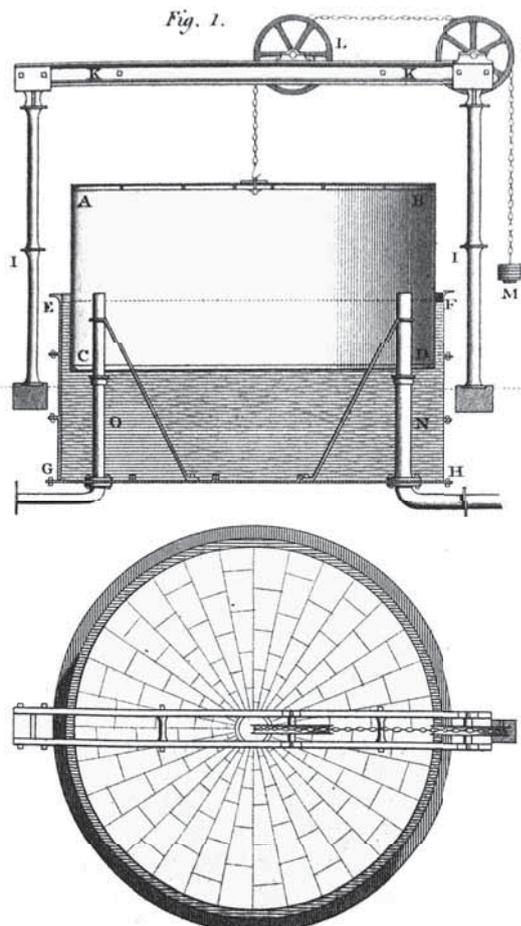


Abb. 23: Zylindrischer Gasbehälter mit einem mittig angeordneten Gegengewicht (Peckston, 1819, Plate IX).

Tab. 3: Niederdruckgasbehälter

1815	2,4mbar (Accum, 1815, p. 184)
1819	mind. 1,96mbar (Peckston, 1819, p. 221)
1841	5,97mbar (Clegg, 1841, p. 132)
1865	12,45mbar (Colburn, 1865, p. 81)
1899	7–12,5mbar (Calzavara, 1899, p. 319)

74 In den Reglements der „Compagnie Parisienne d' Eclairage e de Chauffage par le Gaz“ sind die Formeln zu Druck, Gewicht und Kräfteinwirkungen auf eine Glocke aufgeführt (Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 189–191).

75 Deswegen bezeichnete Hughes diese Kette auch als „chain of equilibration“ – Gleichgewichtskette (Hughes, 1853, p. 209).

76 Accum, 1815, pp. 95–104; Hughes, 1853, p. 197

77 Siehe auch Peckston, 1819, pp. 220–225

Berechnung zu Druck, Gewicht und Bemessung eines Behältnisses: Peckston, 1819, p. 225 Hughes, 1853, pp. 208–212

77 Prechtl, 1817, p. 82

78 Clegg, 1841, p. 21

79 Tabor, 1822, p. 429

80 Peckston, 1819, p. 221

Eine weitere Messeinheit war „atü“ für Atmosphären-Überdruck, die aber durch „bar“ ersetzt wurde.

ckenkonstruktion zu reduzieren bestand in der Anordnung eines Holzkranzes oder -ringes am unteren Rand der Glocke (Abb. 24), wie es von Clegg jun. beschrieben wurde ⁸¹:

Während des Füllprozesses sorgte dieser für den notwendigen Auftrieb. Sobald die Glocke sich ihrem Maximalstand näherte, durchbrach der Balken die Wasseroberfläche, das Eigengewicht stieg an und initiierte das Absenken der Glocke. ⁸²

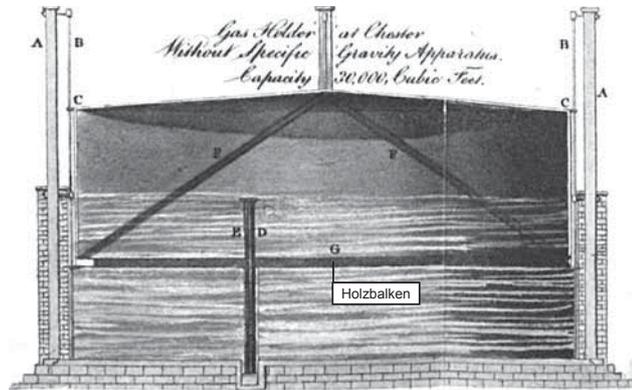


Abb. 24: Glockenkonstruktion mit Holzbalken am unteren Zylinderrand in Chester (Accum, 1819, Plate VI).**

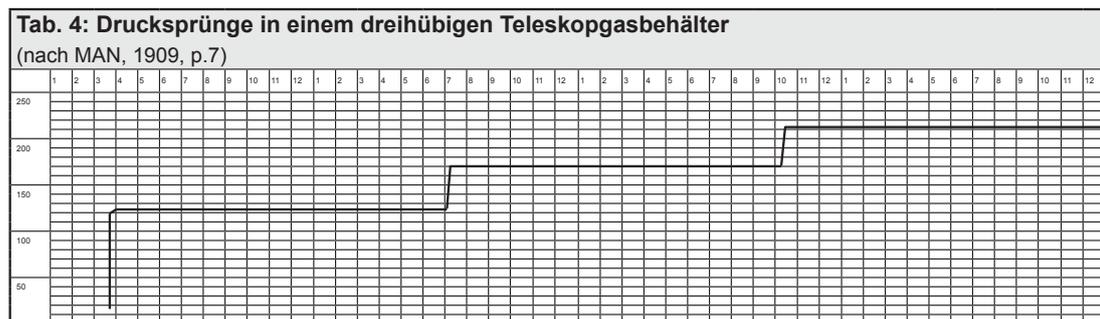
Zudem erkannte Clegg, dass mit steigendem Glockendurchmesser der Druck gesenkt werden konnte: Für eine Glocke mit 424,75m³ sah er einen Durchmesser von 12,80m und eine Höhe mit 3,35m – anstatt einem Durchmesser von 10,06m und einer Höhe von 5,18m – und konnte so den Betriebsdruck von 4,73mbar auf 3,11mbar reduzieren. ⁸³

Nach King`s Treatise war ab einem Durchmesser von 21,3m der Betrieb ohne Anordnung von Gegengewichten möglich ⁸⁴.

Bei Teleskopgasbehältern blieb der Druck innerhalb der einzelnen Hubteile konstant. Nur das Verhaken und Herausheben eines weiteren Hubteils löste einen sprungartigen Druckanstieg aus, was auf die Erhöhung des Eigengewichts zurückzuführen war. Das Beispiel zeigt den Verlauf des Betriebsdrucks eines dreihübrigen Gasbehälters. ⁸⁵

Zusammenfassend waren die Konstruktionsweise und das Eigengewicht der Hubteile ausschlaggebende Faktoren für den Betriebsdruck eines hydraulischen Gasbehälters, der in der Anfangsphase v.a. durch die Anordnung von Gegengewichten eingestellt wurde.

Letztere erforderten eine Aufhängungskonstruktion, die zum Vorläufer des klassischen Führungsgerüsts (Siehe Kap. C.2.3.-3.) wurde.



81 Schilling, 1860, pp. 175, 181

82 Clegg, 1841, pp. 131–133

83 Peckston, 1819, pp. 244–245

„(...) Nun hängt aber die Kostbarkeit oder Wohlfeilheit eines Gasbehälters, vorzüglich von der Größe seiner Oberfläche ab, wie das bei allen hohlen Gefäßen der Fall ist. (...) Daher wird auch der Gasbehälter am wohlfeilsten seyn, der die kleinste Oberfläche hat. Ferner, je höher ein Gasbehälter ist, desto tiefer muß auch der Wasserbehälter, oder die Cisterne seyn, in welche er eingetaucht werden soll (...)“
(Tabor, 1822, p. 439).

Zur Proportionalität von Durchmesser und Höhe einer Hubteile, siehe auch Kapitel C.2.2.-3.

84 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 112; p. 123

85 MAN, 1909, p. 7

B.5. London – Schauplatz der ersten öffentlichen Gasbeleuchtung, des ersten Gaswerks und der ersten Gasbehälter



Abb. 25: Gasbeleuchtung am Parliament Square in London (British Commercial Gas Association, 1931, p. 16).

London war der Schauplatz, an dem das erste öffentliche Gaswerk mit dem ersten Gasbehälter weltweit zur Beleuchtung einer Stadt errichtet wurde.

William Murdock und Friedrich Albert Winzer waren die Wegbereiter für diese Innovation, die Samuel Clegg dazu verhalfen, das erste öffentliche Gaswerk weltweit in Westminster zu planen. Die Standortbedingungen führten Clegg zu verschiedenen Gasbehältern, von denen sich schließlich das zylindrische Modell durchsetzte.

Dieses Kapitel soll die ersten technisch-konstruktiven Entwicklungen des Gasbehälters als eigenständiges Bauwerk erläutern, einschließlich seiner anfänglichen Schwierigkeiten und Auflagen.

1. Murdock und Winzer – Erste Wegbereiter

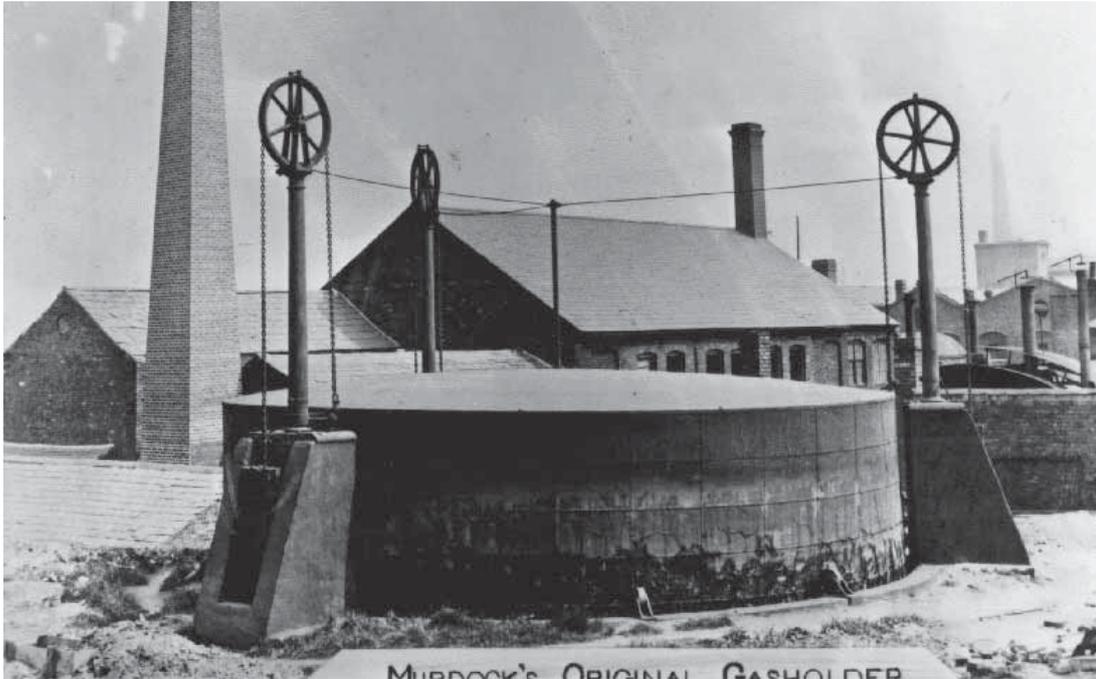


Abb. 26: Murdock's freistehender Glockengasbehälter (NGA, BG34/EM/ZP/XXE/P/1).

Nach anfänglichen Experimentierreihen in der Chemie gelang es dem schottischen Ingenieur *William Murdock** Steinkohlengas als allgemeines Beleuchtungsmittel einzusetzen. Gemeinsam mit seinem Schüler *Samuel Clegg** entwickelte und verbesserte er die Anlagen zur Gasherstellung, sodass er 1792 zunächst sein eigenes Privathaus in Redruth, Cornwall mit Gasbeleuchtung ausstatten konnte. 1798 ließ Murdock ein kleines Gaswerk zur Beleuchtung der Baumwollspinnerei von Boulton & Watt in Soho, Birmingham errichten:⁸⁶

Der hierfür konzipierte zylindrische Gasbehälter (Abb. 26) setzte sich aus einem vollständig versenkten Wasserbecken, drei gusseisernen Säulen und einer genieteten Glocke zusammen. Die Säulen wurden jeweils in einem gemauerten Widerlager verankert und am Kopf mit Rädern versehen, über die die Gegenwichte liefen.⁸⁷

1802 wurde die Beleuchtung des gesamten Fabrikgeländes von Boulton & Watt als Zeichen des Friedens von Amiens öffentlich vorgeführt. Dies war der erste Schritt zur öffentlichen Gasbeleuchtung⁸⁸.

Die erste Einführung der Gasbeleuchtung war der Verdienst von Murdock, jedoch war es der deutsche Kaufmann *Friedrich Albrecht Winzer**⁸⁹, der die Verbreitung und Vermarktung dieser neuen Beleuchtungstechnik initiierte. Winzer hielt 1803 einen Vortrag am Theatre Lyceum in London über die Erfindung und Anwendung des Gaslichtes. Ein Jahr später war er bereits Patentinhaber zum Speichern und Reinigen von entzündlichem Gas⁹⁰.

86 Clegg, 1841, p. 5 – Weiterführende Biographie zu Murdock siehe Birse, 2002, pp. 458–460

87 Nach Colburn wurde von Murdock 1803 ein weiterer bzw. neuer Gasbehälter errichtet, dessen Glocke einen Durchmesser von 2,44m und eine Höhe von 1,83m hatte (Colburn, 1865, p. 70)
Anm. d. Verfasserin: Vermutlich handelt es sich dabei um den ersten Gasbehälter oder aber um einen Ersatz oder eine Erweiterung, dessen Bauart wohl dem vorherbeschriebenen folgt.

88 Clegg, 1841, p. 6

89 Winzer nannte sich im englischsprachigen Raum Fredrick Albert Winsor.

90 Accum, 1815, p. 79

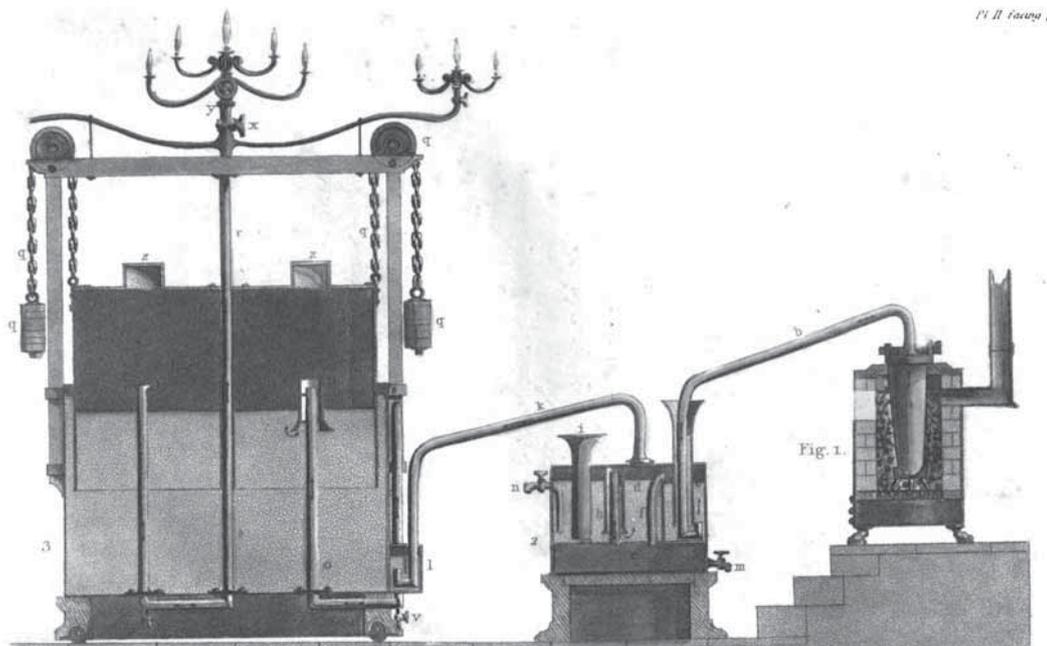


Abb. 27: Accums tragbare Apparatur zur Demonstration der Gasbeleuchtung (Accum, 1815, facing p. 95, Pl. II).

Um ein größeres Publikum von der Gasbeleuchtungstechnik begeistern zu können, veranstaltete er 1807 eine öffentliche Vorführung, indem er einen Straßenabschnitt der Pall Mall im Gaslicht erstrahlen ließ. Winzer gründete 1809 die erste Gasbeleuchtungsgesellschaft, nämlich die „National Light and Heat Company“ (später „The London and Westminster Chartered Gas-Light and Coke Company“ – kurz GLCC⁹¹), für die er noch im gleichen Jahr Accum als Partner gewinnen konnte.⁹²

Der deutsche Chemiker *Christian Friedrich Accum**, im Englischen zu Frederick Accum abgewandelt, verfügte über langjährige Erfahrung in der Ausführung und allgemeinen Anwendung von Steinkohlengas und wurde von der neu gegründeten Gasbeleuchtungsgesellschaft mit der Erstellung des ersten vollständigen Handbuchs zur Gasbeleuchtung von Straßen, Häusern und Fabriken beauftragt, das 1815 erschien⁹³. Dieses Traktat konzentrierte sich auf die lokale Beleuchtung einzelner Bauwerke und kleiner Stadtgebiete. Ebenso beschrieb er eine tragbare Apparatur für die Demonstration der Gasbeleuchtung im kleinen Maßstab. Diese bestand aus einem tragbaren Ofen, einem Reiniger und einem zylindrischen Gasbehälter mit Gegengewichten, die mit Ketten über ein Holzgerüst liefen (Abb. 27).⁹⁴ Accum's Werke zur Gasbeleuchtung stützten sich überwiegend auf die technischen Entwürfe von *Samuel Clegg**.

91 Zur Chronik siehe auch „The Gas Light and Coke Company, 1812–1912.“

92 1808 schrieb William Gifford „An heroic epistel to Mr. Winsor: the patentee of the hydro-carbonic gas lights, and founder of the National Light and Heat Company“. Der letzte Absatz endet mit
„Then some sage Sidrophel, with HERSCHEL eye, A bright WINSORUM SIDUS shall descry ;
The VOX STELLARUM shall record thy name, and THINE outlive ANOTHER WINSOR'S fame !“

93 Accum, 1819, p. 27

94 Accum, 1815, pp. 95–102

2. Samuel Clegg – Der erste „Gasingenieur“

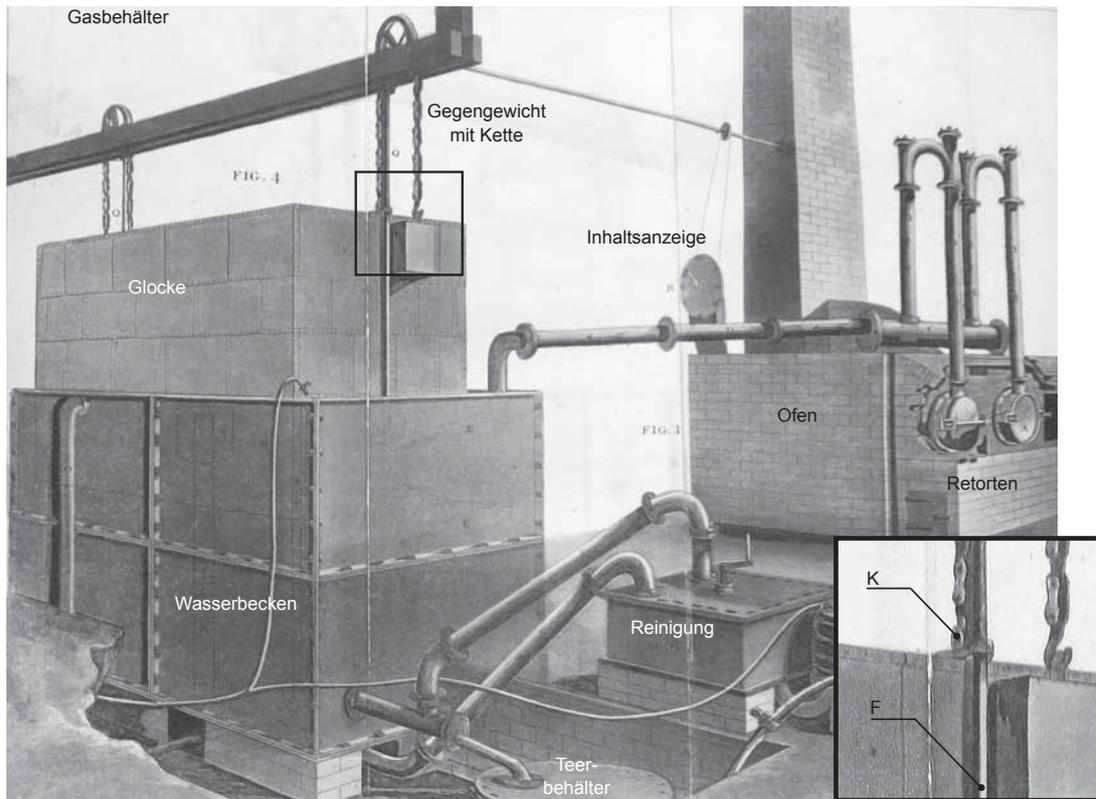


Abb. 28: Cleggs Gasapparatur für die Buchhandlung Ackermann (Accum, 1816, facing p. 1).**

2.1. Apparatur zur Beleuchtung der Buchhandlung Ackermann

Clegg war ein Ingenieur aus Manchester, der Murdock als Lehrmeister hatte und eine Reihe von erfolgreich umgesetzten Referenzprojekten vorweisen konnte ⁹⁵.

So sorgte er besonders mit einer Apparatur für Aufsehen, die er 1812 für die Buchhandlung Ackermann installieren ließ (Abb. 28) ⁹⁶. Diese Anlage entwarf er für Fabriken oder kleinere Wohnanlagen, bestehend aus einem Ofen mit horizontalen Retorten, einem Teerbehälter, einem Reiniger und einem Gasbehälter, der mit einer zugehörigen Messeinrichtung bzw. Inhaltsanzeige verbunden war. ⁹⁷

Der Gasbehälter hatte eine rechteckige Grundform mit einem Seitenverhältnis von ca. 1 : 2. Das Wasserbecken bestand aus großformatigen, verschraubten Platten aus Gusseisen und war auf gemauerten Blöcken aufgesetzt. Die Glocke setzte sich aus kleinformatischen Blechen aus Schmiedeeisen zusammen und war über Ketten mit zwei Gegengewichten angeschlossen. An einem abgehängten Holzrahmen waren Räder angebracht, die für einen senkrechten Verlauf der Kette sorgten. Die Führung der Glocke erfolgte über zwei Führungsstäbe (F) ⁹⁸, die an den Stirnseiten des Beckens und an dem Holzrahmen befestigt waren. Diese Stäbe wurden von zwei U-förmigen Klammern (K), die auf der Oberseite der Glocke angebracht waren, umschlossen und verbesserten so das lineare Auf- und Abbewegen.

95 Clegg erhielt bereits um 1805 die Silbermedaille von der Society of Arts für seine Verdienste, Fabriken mit Gasbeleuchtung auszustatten (Accum, 1815, p. 81).

Weiterführende Biographie zu Clegg, siehe Woolrich, 2002, pp. 138–140

96 Clegg, 1841, p. 15

97 Accum, 1815, pp. 103–104

98 Anm. d. Verfasserin: Diese Führungsstäbe stellen Vorläufer der späteren Führungsschienen dar (Siehe Kap.C.2.2.-6.4.1.).

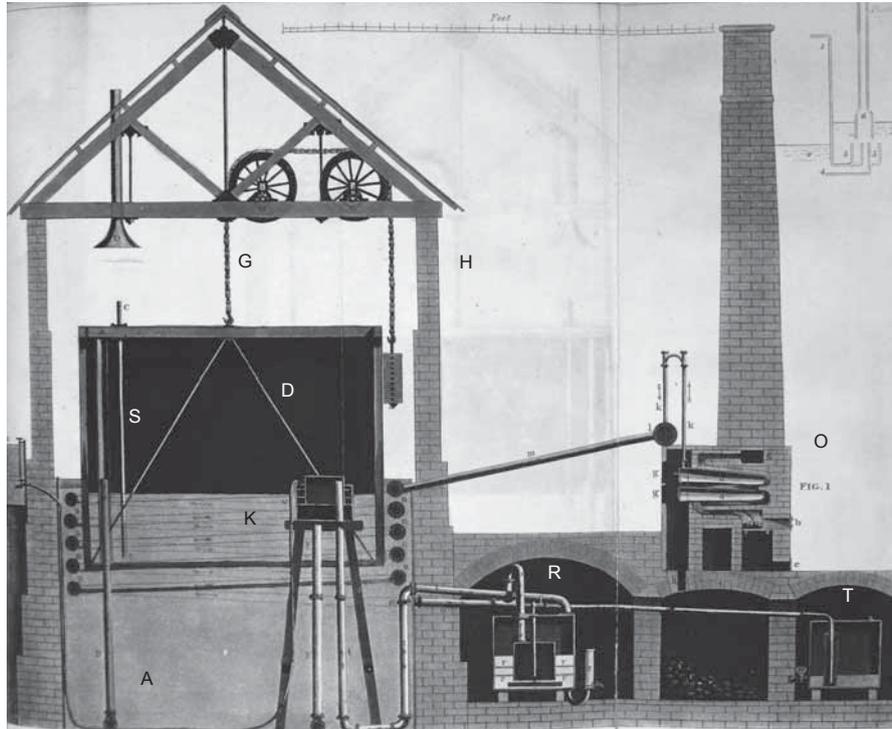


Abb. 29: Gaswerk mit separatem Gasbehältergebäude (Accum, 1816, Pl. VII).**

2.2. Planung und Bau des Gaswerks zu Westminster 1813

Nachdem Londons erste Gasbeleuchtungsgesellschaft daran scheiterte, funktionsfähige Anlagen in eigener Regie zu planen, wurde 1813 Clegg als verantwortlicher Ingenieur engagiert. Ihm oblag die technische Planung und Koordination der Ausführung des ersten Gaswerks in der Peter Street, Westminster, was in diesem Maßstab noch ein Novum auf dem Gebiet des Ingenieurbaus darstellte.⁹⁹

Diese Aufgabe stellte Clegg vor mehrere Herausforderungen:

1. Schwierige Standortbedingungen: Der Baugrund war eine Sumpflandschaft und zugleich unmittelbares Überschwemmungsgebiet der Themse.¹⁰⁰
2. Wirtschaftliche Forderungen: Die Stadt London gab ihre Einwilligung zum neuen Beleuchtungssystem nur unter der Voraussetzung, dass dieses günstiger betrieben werden sollte als die Beleuchtung mit Öl und begrenzte die Einführung zunächst auf Straßen¹⁰¹.
3. Fehlendes Fachwissen: In der Entstehungsphase der ersten öffentlichen Gaswerke konnte man nicht auf erfahrene Arbeiter und Handwerker zurückgreifen. Vielmehr mussten diese anfangs geschult und angeleitet werden¹⁰².

Für die Gasbeleuchtung einer Stadt oder eines größeren Gebiets von Straßen und Häusern entwarf Clegg eine Muster-Anlage (Abb. 29):

⁹⁹ Clegg, 1841, pp. 15–17
Peckston – dem Autor von *The Theory an Practice of Gas-Lighting*, war bei derselben Gasbeleuchtungsgesellschaft im Rechnungswesen angestellt und zeigte sich gegenüber Clegg und seinen Erfindungen nicht wohlgesonnen (Tabor, 1822, p. 11).

¹⁰⁰ Clegg, 1841, p. 17

¹⁰¹ Accum, 1815, p. 44

¹⁰² Clegg, 1841, p. 16

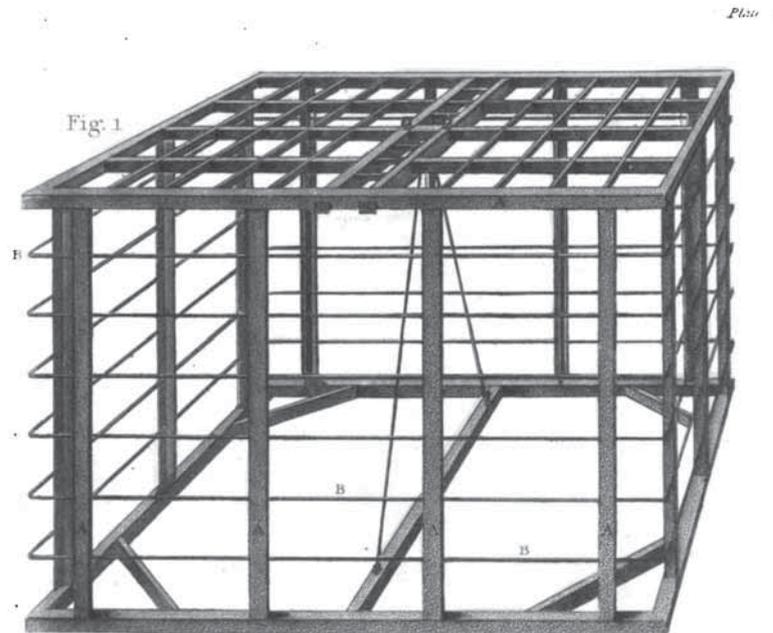


Abb. 30: Unterkonstruktion der Glocke (Accum, 1815, p. 195).

Diese setzte sich zusammen aus einer Ofenanlage (O), einem Teerbehälter (T), einem Reiniger (R), einem wurmartig angelegten Leitungssystem zur Kondensation (K) und einem rechteckigen Gasbehälter (G).

Im Vergleich zu Murdocks Gasbehälter war dieser von einem massiven Gebäude umgeben – einem gemauerten Gasbehältergebäude (H) mit einem hölzernen Dachstuhl.

Das Wasserbecken befand sich innerhalb der nach unten stärker werdenden Fundamente, die innen-seitig mit Gusseisenplatten ausgekleidet und mit Eisenzement abgedichtet waren.

Die Glocke (Abb. 30) bestand aus einer hölzernen Ständerkonstruktion mit einer Decke, die durch sechs horizontale Eisenringe verstärkt wurde. Zwei diagonale Streben (D) entlang der Mittelachse dienten zur Aussteifung des kastenartigen Gefüges. Beide Strebenköpfe trafen genau am zentralen Aufhängungspunkt der Glocke zusammen, wo die Kette mit dem Gegengewicht angeschlossen war. Die Kette lief über zwei Räder ¹⁰³, die im Dachstuhl befestigt waren. Die Verkleidung bestand aus einzelnen, vernieteten Eisenblechen ¹⁰⁴. Neben einem Auslassrohr (A) für das öffentliche Netz wurde die Glocke mit einem Sicherheitsrohr (S) ausgestattet, dessen Höhe kleiner war als die der Glocke und das die Decke durchdrang. Sobald das maximale Fassungsvermögen erreicht wurde, verließ dieses Sicherheitsrohr das Wasser und konnte das überschüssige Gas über einen trichterförmigen Anschluss nach draußen abgeben. ¹⁰⁵

Das Gasbehältergebäude diente nicht nur zur Aufhängung der Glocke, sondern auch als Schutz vor Wind ¹⁰⁶.

¹⁰³ Nach Prechtl wurden diese Räder vermutlich aus Gusseisen gefertigt. Ihr Umfang entsprach ungefähr der Höhe der Glocke (Prechtl, 1817, p. 82).

¹⁰⁴ Teilweise wurden auch Kupferbleche für die Verkleidung der Glocke verwendet. Die Nietnaht wurde abschließend innen- und außenseitig mit Leinölfirnis verkittet, dem Bleipulver und Ziegelmehl zu gleichen Teilen beigemischt wurden. Bei Glocken aus Eisenblech wurde dieser Vorgang nach dem Austrocknen mit einem zweiten Kit wiederholt. Die zweite Kitschicht bestand aus Leinölfirnis mit Bleipulver oder Menningen oder einer verschmolzenen Kombination aus Steinkohlenteer mit Pech (Prechtl, 1817, pp. 81–82).

¹⁰⁵ Accum, 1815, pp. 110–114 und 120, Prechtl, 1817, p. 86
Die Kosten zur Ausführung eines derartigen Gasbehälters mit einer Speicherkapazität von 283m³ beliefen sich auf 1.296 Pfund, wobei das Wasserbecken (B/H= 11/7,3m; T= 4,9m) in Schmiedeeisen und das Gasbehältergebäude in Holzbauweise konzipiert war (Accum, 1815, p.193).

¹⁰⁶ Accum, 1819, p. 165

Nach anfänglichen Schwierigkeiten wurde **das Gaswerk Westminster am 31.12.1813** in Betrieb genommen und die Beleuchtung der Westminster Bridge gefeiert. Dies war die Geburtsstunde der öffentlichen Gasbeleuchtung, dessen verbesserte Leuchtkraft im Vergleich zum gewöhnlichen Öllicht über die Landesgrenzen hinaus für Aufsehen sorgte. Clegg selbst übernahm anfangs das Anzünden der Lampen. Die erste Gemeinde Londons, die danach einen Vertrag zur Gasbeleuchtung der Straßen unterzeichnete, war St. Margarets. Am 01.04.1814 wurden die Öl-Laternen durch die Gas-Laternen ersetzt.¹⁰⁷

Während der Bauarbeiten in Westminster war man sich unsicher, ob der Explosionsgefahr¹⁰⁸ von Gasbehältern. 1814 kam eine Delegation der Royal Society um diesen Sachverhalt zu überprüfen. Zu diesem Zeitpunkt befand sich nur ein einziger Gasbehälter (V= 396,44m³) auf dem Gaswerk¹⁰⁹. Die Inspektion hatte zum Ergebnis, dass Sicherheitsauflagen von der Regierung festgelegt wurden. Diese besagten, dass neue Gasbehälter nur mit einer Kapazität von maximal 170m³ und einem sicheren Gebäude aus Mauerwerk errichtet werden sollten¹¹⁰. Obwohl Clegg erfolgreich demonstrierte, dass das unmittelbar von einem Gasbehälter austretende Gas nicht entzündbar war – er schlug mit einer Spitzhacke ein Loch in die Seitenwand der Glocke, hielt eine brennende Kerze daran und entgegen aller Befürchtungen geschah nichts – war er gezwungen seine geplanten Gasbehälter mit einem massiven Gebäude zu versehen. Wenn es ihm auch in London nicht gelang, so war es Clegg jedoch außerorts wie in Chester und Birmingham (*Siehe Kap. C.2.3.-3.2. und C.2.3.-4.1.*) möglich, erste freistehende Gasbehälter zu errichten, die keiner baulichen Schutzhülle bedurften.¹¹¹

107 Clegg, 1841, pp. 18–19

1815 befand sich der Münchner *Joseph von Baader** auf seiner dritten Englandreise und besichtigte das Gaswerk in Westminster, um 1817 diese Apparatur in Nymphenburg in kleinem Maßstab nachzubauen und die neue Technik der Gasbeleuchtung zu testen (Schilling, 1887, pp. 12–13). Weiterführende Literatur zu den Experimenten Baaders zu Nymphenburg, siehe laufende Forschungsarbeit von Michael Eckert „Physik auf dem Schlosspark“.

108 Der Gasbehälter wurde aufgrund seines Speicherinhalts von der Bevölkerung für lange Zeit als explosiv und gefährlich gehalten. Diese Vorstellung beruhte auf einem Missverständnis, denn Steinkohlengas konnte nur in Verbindung mit einer gewissen Menge an Luft innerhalb geschlossener Behältnisse (also in dem Hubteil oder unter einer Scheibe eines Gasbehälters) durch einen brennenden Körper entzündet werden (Accum, 1815, p. 183, Colburn, 1865, p. 71). Wehrmann beschrieb 1954 die Explosionsgefahr von Scheibengasbehältern (*Siehe Kap. C.3.*) wie folgt: *„Gasexplosionen sind nur möglich, wenn die Bildung eines explosiblen Gas-Luft-Gemischs gegeben ist (bei Stadtgas-Luft-Gemischen im Bereich von etwa 6–35% Gas im Gemisch, bei Wassergas im Bereich von 6–70% Gas). Dies kann durch Unachtsamkeit oder ungenügende Kontrolle geschehen bei Außer- und Inbetriebnahme für Reparaturzwecke bei nassen und trockenen Behältern, ferner bei Umbauten, nassen Behältern durch Gasaustritt in den Umbauraum und bei trockenen Behältern durch Gasaustritt in den Raum über der Scheibe. (...)“*

109 Matthews, 1827, p. 145

110 Hughes, 1853, p. 194

111 Clegg, 1841, pp. 17–18, Colburn, 1865, p. 71

Zur baulichen Schutzhülle bzw. dem Gasbehältergebäude, siehe *Kapitel C.2.5.*

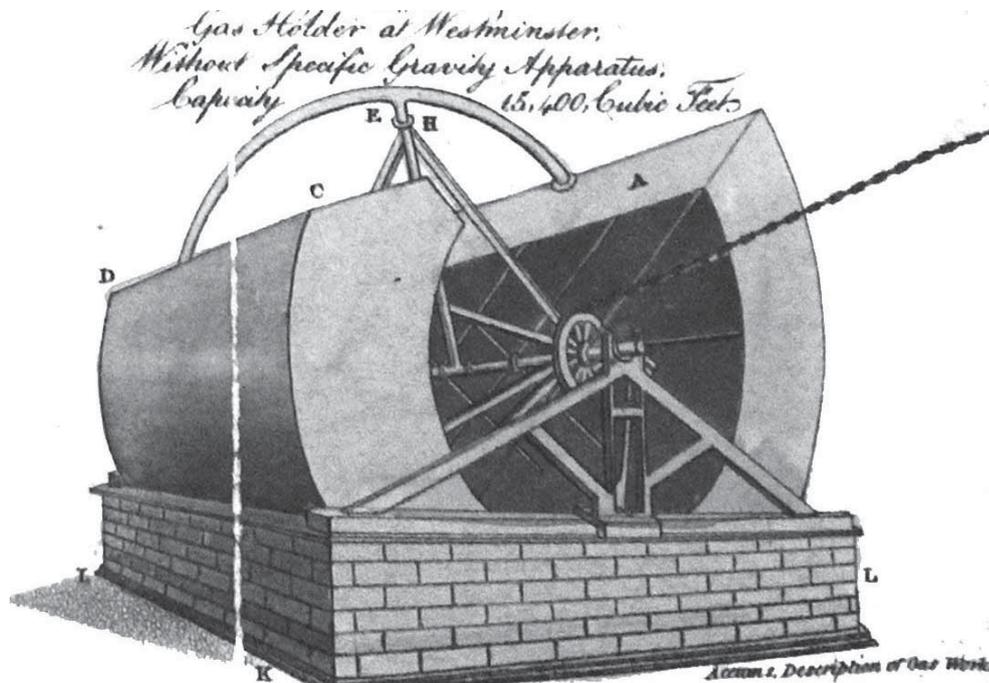


Abb. 31: Cleggs Rotierender Gasbehälter auf dem Gaswerk Westminster (Accum, 1819, Plate VI, Fig. 8).

2.3. Rotierender Gasbehälter

Die ungünstigen Baugrundverhältnisse in Westminster erwiesen sich v.a. bei der Erweiterung des Gaswerks als problematisch und bewogen Clegg zu neuen Entwurfsansätzen: Er strebte danach, einen Gasbehälter mit einem möglichst flachen Wasserbecken zu konstruieren, der zugleich ein konstantes Druckverhältnis garantieren konnte. Das Ergebnis war der sogenannte **Rotierende Gasbehälter** oder auch Walzengasbehälter (Abb. 31), der für eine Kapazität von ca. 410m³ ausgelegt wurde: ¹¹²

Auf einem niedrigen, gemauerten Wasserbecken (H= ca. 2,3m) war eine hölzerne Bockkonstruktion aufgebracht, die zur Lagerung eines liegenden, ringförmigen Zylinders (L= 10,7m) ¹¹³ aus Eisen diente. Dieser Walze fehlte ein Segment, so dass sich zwei Schnittstellen ergaben: Ein Ende war offen (C,D) und somit im direkten Austausch mit Luft, während das andere Ende geschlossen war (A), um das Gas speichern zu können. Damit der zylindrische Körper trotz des fehlenden Segments jederzeit sein Gleichgewicht aufrecht halten konnte, verband ein gebogenes Rundrohr (E) beide Schnittstellen. Dieses Rundrohr war zugleich das Einlassrohr für das Gas ¹¹⁴. Je nach Speicherinhalt drehte sich die geschlossene Zylinderseite nach oben. Anders als beim linear angeordneten Gasbehälter, dessen Hubteil sich beim Anstieg des Speichervolumens anhob, drehte sich hier der Zylinder um seine eigene Achse. Bei dieser Bauweise nimmt das „Drehteil“ die Position des sonst üblichen „Hubteils“ ein. Im Betrieb überzeugte dieser Gasbehälter durch seinen gleichmäßigen Mechanismus, jedoch war die Instandhaltung eher kompliziert ¹¹⁵.

Ein rotierender Gasbehälter wurde 1817 auf dem Royal Mint Gaswerk gebaut und bestand aus einem länglichen Wasserbecken und drei hintereinander angeordneten Drehteilen, die mit einer horizontalen Achse verbunden waren. ¹¹⁶

¹¹² Accum, 1819, pp. 181–185

Weitere Bemessungshilfen für Walzengasbehälter siehe auch Peckston, 1819, pp. 247–253, Tabor, 1822, pp. 494–506.

¹¹³ Peckston, 1819, p. 248

¹¹⁴ Das Rundrohr war so konstruiert, dass das Gas ausschließlich in die geschlossene Seite des Zylinders fließen konnte.

¹¹⁵ Clegg, 1841, p. 17

¹¹⁶ Accum, 1819, p. 217; Matthews, 1827, p. 83

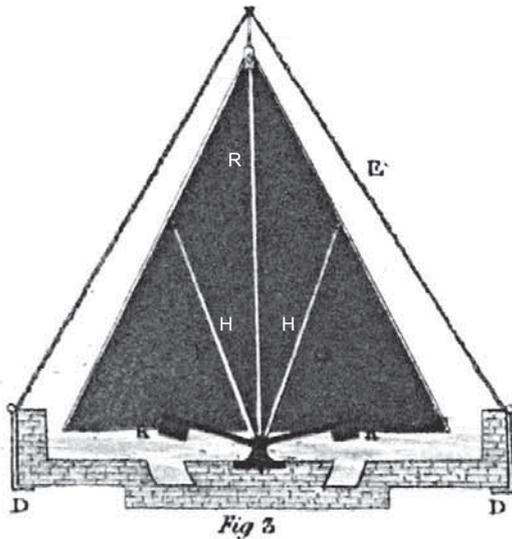


Abb. 32: Cleggs Faltdruckbehälter, maximal gefüllt (Accum, 1819, Plate VI).

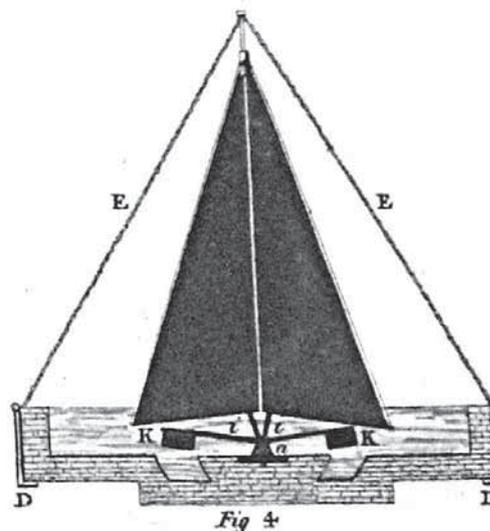


Abb. 33: Cleggs Faltdruckbehälter, halb gefüllt (Accum, 1819, Plate VI).

2.4. Faltdruckbehälter

Nachdem Clegg sich mit dem Rotierenden Gasbehälter nicht zufrieden gab, entwarf er 1817¹¹⁷ einen weiteren Gasbehälter für das Gaswerk Westminster, dessen Becken er noch flacher ausführen konnte: Der sogenannte **Faltdruckbehälter** oder Kollabierender Gasbehälter, wie er ihn selbst nannte (Abb. 32, Abb. 33, Abb. 34), wurde in Accums Werk wie folgt beschrieben:¹¹⁸

Die Tiefe des Wasserbeckens für dieses Modell betrug nur erstaunliche 46cm. Wie es die Bezeichnung schon andeutet, entwickelte Clegg eine raffinierte Behälterform für das Gas, deren Mechanismus ebenso neuartig war. Die Glocke hatte die Form eines Daches oder Zeltes, das sich durch zwei rechteckige und zwei dreieckige Seitenflächen zusammensetzte. Die Anschlüsse wurden jeweils gelenkig ausgeführt und mit Ledereinsätzen versehen, um eine gasdichte und zugleich bewegliche Konstruktion zu schaffen. Zur linearen Sicherung des Scheitels wurden zwei senkrechte Eisenstäbe (R) montiert, die mit diagonalen Ketten (E) am gemauerten Wasserbecken verankert waren. Beim Anstieg des Speichervolumens senkte sich der Scheitel und die Unterkante der rechteckigen Seitenflächen bewegte sich nach außen (Abb. 32) und der Winkel des Dachfirsts nahm zu. Im leerenden Zustand verringerte sich dieser Winkel (Abb. 33), da sich die Seitenplatten wieder annäherten. Dieser Mechanismus war nur durch die vierteilige Ausführung der dreieckigen Stirnseiten möglich, die sich auf- und zusammenfallen konnten.

Im Vergleich zu Cleggs vorherigem Entwurf, der mit einem „Drehteil“ ausgestattet war, könnte man folglich das tatsächliche Speicherbehältnis des Faltdruckbehälters als „faltbares Hubteil“ bezeichnen, da sich seine Form während des Betriebs in horizontaler und vertikaler Achse veränderte. Die Gegengewichte des Faltdruckbehälters wurden innerhalb des Wasserbeckens als längliche Balken (K,D) angeordnet, die über senkrechte bzw. geneigte Hebelarme (H) mit den rechteckigen Seitenplatten verbunden waren. Dieser Gasbehälter wurde in Accums Werk als der einfachste, günstigste und effizienteste unter den Modellen des frühen 19. Jahrhunderts gerühmt, der mit einer beliebigen Kapazität bis zu ca. 850m³ errichtet werden konnte.

117 Matthews, 1827, p. 83

118 Accum, 1819, pp. 185–196

Weiterführende Literatur zu Faltdruckbehältern um 1820 in Deutschland siehe Tabor, 1822, pp. 450–490.

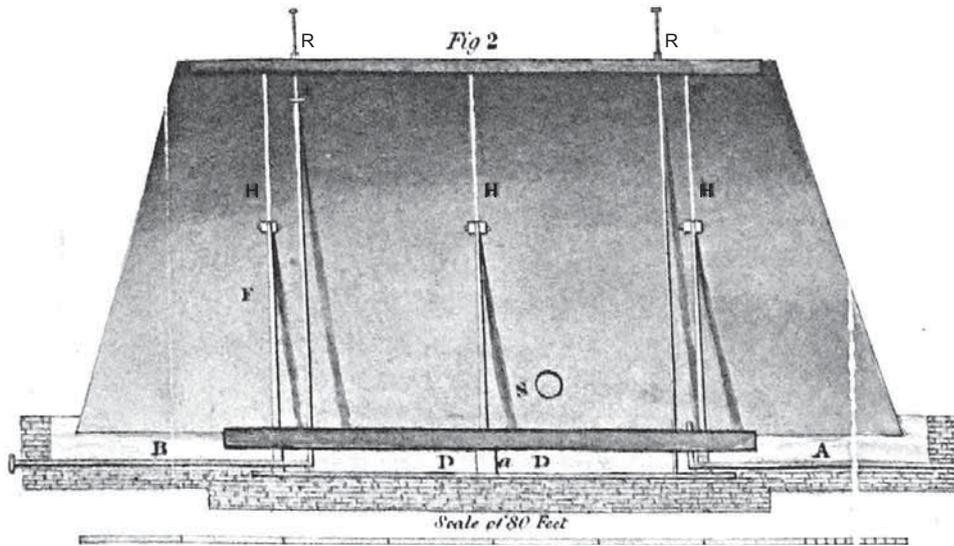


Abb. 34: Cleggs Falgasbehälter im Längsschnitt (Accum, 1819, Plate VI).

Die Nachteile dieser Konstruktion bestanden jedoch in dem großen Ausmaß des Beckens, der unsicheren Beständigkeit der flexiblen Ledereinsätze und des daraus resultierenden ungleichmäßigen Drucks ¹¹⁹. Trotz aller Bemühungen Cleggs wurde dieser Falgasbehälter ¹²⁰ auf dem Gaswerk zu Westminster nie in Betrieb genommen ¹²¹.

Trotz der ambitionierten Entwurfsansätze Cleggs setzte sich schließlich die Form des Glockengasbehälters durch. Ab 1815 wurde die rechteckige Grundform allmählich von der **Zylinderform** abgelöst ¹²²; dies war v.a. der Verdienst von *John Malam** ¹²³. Die Vorteile lagen v.a. in dem homogenen Druckverhältnis und der besseren Abdichtungsausbildung – die Ecken des rechtwinkligen Vorgängers waren die konstruktive Schwachstelle ¹²⁴.

119 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 45

120 Ein weiterer Entwurf für einen Falgasbehälter beschrieb Ruttor, 1835, dessen Aufbau eher einem „Orgelblasebalg“ ähnelte. Weiterführende Entwürfe von faltbaren Gasbehältern, die zugleich ohne ein Wasserbecken auskamen, wurden von Nicholson und Barwell Cole erstellt (Ruttor, 1835, 273–278; 287–291).

121 Clegg, 1841, p. 17

122 Hunt, 1900, p. 153

In Deutschland wurden nach Tabor 1822 neben der rechteckigen und zylindrischen Grundform auch die quadratische und die ovalrunde Form verwendet. Sowohl die ovale, als auch die rechteckige Grundform waren nach Tabor jedoch nur als zweite Wahl in Betracht zu ziehen, falls die örtlichen Gegebenheiten eine quadratische oder runde Form nicht zuließen. (Tabor, 1822, pp. 422–423; 441–444).

123 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 44–45

Vereinzelt wurden aber auch noch rechteckige Gasbehälter gebaut. W. Brodie berichtete 1880, dass auf dem Gaswerk in Blantyre noch zwei rechteckige Gasbehälter in Betrieb sind (JGL-35, 1880, p. 924).

124 Peckston, 1819, pp. 242–247; Hughes, 1853, p. 194

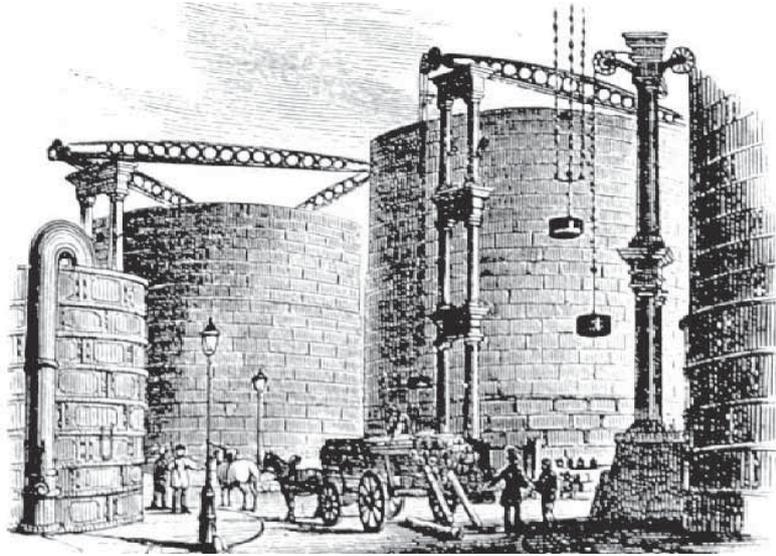


Abb. 35: Gaswerk in Westminster, 1840 (NGA, from engraving, g02773).

2.5. Entwicklung des Gaswerks Westminster bis 1840

Um 1822 berichtete William Congreve, dass sich auf dem Gaswerk Westminster insgesamt 18 (!!)-Gasbehälter mit einem Volumen von je 424,75m³ befanden. Diese wurden mit einem erhöhten Wasserbecken aus Eisen oder Holz gebaut und die Glocken waren mit Gegengewichten ausgestattet. Gemäß der Vorschrift von 1814 waren alle Gasbehälter in insgesamt vier Schutzbauwerken untergebracht, in denen sie mit Trennwänden voneinander abgegrenzt wurden.¹²⁵

Clegg, der danach strebte einen Gasbehälter mit den Ausmaßen von St. Paul's ($D_{\text{außen}} = 44,2\text{m}$) zu entwerfen¹²⁶, war bis 1823 als Gasingenieur tätig. Bis zu diesem Zeitpunkt plante er Gasbehälter und andere Anlagen auf über 30 Gaswerken.¹²⁷

Um 1840 stand auf dem Gaswerk in Westminster (Abb. 35) ein Ensemble von freistehenden, zylindrischen Teleskopgasbehältern ($D = \text{ca. } 18\text{m}$; $H = \text{ca. } 11\text{m}$)¹²⁸, die dem Gaswerk ein neues Gesicht verliehen und richtungsweisend für die folgende Gasbehälterentwicklung waren. Die Speicherkapazitäten zu dieser Zeit reichten fast bis zu 12.000m³¹²⁹.

125 Matthews, 1827, p. 136

Der Bau von mehreren Gasbehältern innerhalb eines Schutzgebäudes war kein Einzelfall – zur gleichen Zeit waren auf dem Gaswerk in der Dorset Street auch mehrere Behälter ($\dot{a} V = 1.132,67\text{m}^3$) innerhalb eines Bauwerks.

126 Clegg, 1841, p. 17, GLCC, 1912, p. 31

127 Woolrich, 2002, p. 139

In Saltisford, Warwick sind heute noch zwei Gasbehälter – bzw. deren Schutzbauwerke – aus dieser Frühphase erhalten. (Siehe Kap. C.2.5.).

128 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 125

129 Hughes, 1853, p. 194

Nach Colburn, 1865 betrug das Speichervermögen aller Gasbehälter Londons insgesamt ca. 991.000m³; je nach Gasbehälterzahl pro Gaswerk variierte deren Durchmesser von ca. 24m bis zu ca. 30m – bei einer durchschnittlichen Höhe von ca. 21m (Colburn, 1865, p. 67).

3. Zusammenfassung London

Nachdem der Ingenieur *William Murdock** sein eigenes Privathaus erfolgreich mit Gaslicht ausstattete, wendete er 1798 diese revolutionäre Beleuchtungstechnik bei einem größeren Gebäude an – nämlich der Fabrik Boulton & Watt in Birmingham-Soho. Dort wurde ein werkeigenes Gaswerk errichtet mit einem kleinen, freistehenden Gasbehälter. *Friedrich Albert Winzer** sorgte für die Verbreitung dieser Technik und gründete die erste Gasbeleuchtungsgesellschaft Londons – die Gas Light & Coke Company (GLCC). Für letztere verfasste der Chemiker Christian Friedrich Accum das erste Handbuch zur Gasbeleuchtung – „A practical Treatise on Gas Light“, das 1815 zum ersten Mal erschien.



Abb. 36: Schild mit Verweis auf den einstigen Standort des Gaswerks in Westminster (BB, 2016).

*Samuel Clegg** wurde von der GLCC als zuständiger Ingenieur auserwählt, unter dessen Hand die ersten Gasbehälter, sowie auch die übrigen Anlagen des Gaswerks in Westminster entstanden. Mit der Inbetriebnahme des Gaswerks am 31.12.1813 und der Beleuchtung der Westminster Bridge wurde der ersten öffentlichen Gasbeleuchtung weltweit ein Zeichen gesetzt. Ein Schild bezeugt auch heute noch den einstigen Standort des Gaswerks, nämlich der Great Peter Street, Höhe St. Ann's Street (Abb. 36).

Aufgrund seiner empirisch-geprägten Entwurfstätigkeit leistete Clegg einen wesentlichen Beitrag in der frühen Baukonstruktionsgeschichte des Gasbehälters ¹³⁰.

„(...) Perhaps there is not another individual to whose zeal and ability the art of Gas-lighting is so much indebted for the variety as well as extensive utility of his inventions and improvements ; indeed, every gas establishment now possess [sic] some proof of his superior ingenuity.“ ¹³¹

Deshalb ist er als der erste Gas-Ingenieur im Zeitalter der Gasindustrie anzusehen, der auch eine Reihe von weiteren wichtigen Apparaturen zur Gasherstellung erfunden hat ¹³² – wie z.B. den „governor“ (Druckregulierungsmaschine) und den „gas-meter“, den er im Jahr 1815 patentierte ¹³³.

130 Zahlreiche Ingenieure versuchten in die Fußstapfen Cleggs treten zu können: Malam, Rackhouse, Greighton oder Grafton gelangten jedoch nur Verbesserungen einzelner bestehender Apparaturen, die kaum mit dem Erfindertum Cleggs zu vergleichen waren (Tabor, 1822, p. 12).

131 Matthews, 1827, p. 81

„(...) Vielleicht gibt es keinen anderen, dank dessen Eifer und Fertigkeit die Kunst der Gasbeleuchtung [in diesem Maße] Varietät und einen weitreichenden Nutzen seiner Erfindungen und Verbesserungen erfahren hat; tatsächlich besitzt jedes Gaswerk einen Beweis seiner ausgezeichneten Erfindungsgabe.“ (Übers. d. Verfasserin).

132 Clegg, 1841, p. 16

Weiterführende Literatur zu Clegg: Matthews, 1827 pp. 68–81

133 Clegg, 1841, p. 21

B.6. Zusammenfassung – Entstehungsgeschichte

Der Gasbehälter ist ein technisches Bauwerk des 19. und frühen 20. Jahrhunderts, das zur Speicherung von lokal produziertem Steinkohlengas diente.

Da im heutigen Sprachgebrauch aber oft der falsche Ausdruck – nämlich Gasometer – benutzt wird, muss man an dieser Stelle zwischen zwei verschiedenen Bestandteilen differenzieren: Der Gasbehälter stellt das Bauwerk dar, wohingegen der Gasometer oder Gasmesser für die Messung von Gasmen gen ausgerichtet war.

Die Einführung des Gasbehälters als Bautypus zeigt eine komplexe, mit verschiedenen Fachrichtungen verwobene Entstehungsgeschichte.

Der Ursprung des Gasbehälters liegt in den Versuchsanordnungen der Chemie begründet, die verschiedene Behältnisse zur Untersuchung von freigesetzten gasförmigen Stoffen dienten. *Antoine Laurent de Lavoisier** erfand schließlich 1782 eine Apparatur für seine Schmelzversuche – den „Appareil de soufflet hydrostatique“. Das zentrale Element dieser Apparatur war ein rechteckiger Behälter zur Regulierung des Luftstroms, der den prinzipiellen Aufbau des Gasbehälters wesentlich prägte.

Lavoisier nannte die überarbeitete Form dieser Apparatur schließlich „Gazomètre“, der die Bestimmung von Gasmen gen ermöglichte.

Ende des 18. Jahrhunderts erkannte man, dass sich Steinkohlengas auch für Beleuchtungszwecke eignete, wie es der schottische Ingenieur *William Murdock** zum ersten Mal 1798 in größerem Maßstab bei der Fabrik Boulton & Watt in Soho-Birmingham bewies und dort ein fabrikeigenes Gaswerk errichten ließ.

Der Gasbehälter war ein wichtiger Bestandteil eines Gaswerks, das primär für die Gewinnung von Steinkohlengas ausgerichtet war. Das freigesetzte Gas durchlief eine Reihe von komplexen Kühlungs- und Reinigungsanlagen bevor es schließlich im Gasbehälter gespeichert wurde.

Die ersten Gasbehälter folgten dem Aufbau Lavoisiers, basierten auf der hydraulischen Abdichtungstechnik und bestanden aus drei wesentlichen Bauteilen: Einer Glocke, einem Führungsgerüst und einem Wasserbecken. Diese hydraulischen Gasbehälter waren Niederdruckgasbehälter, deren Betriebsdruck allein durch deren Eigengewicht bestimmt wurde. Deshalb waren bei den ersten, tendenziell zu schweren Ausführungen Gegengewichte notwendig, um den Druck zu regulieren.

London war schließlich der Schauplatz der ersten öffentlichen Gasbeleuchtung weltweit (*Tab. 5*), die 1813 an der Westminster Bridge inauguriert wurde. Die Wegbereiter waren Murdock (Siehe oben) und der Kaufmann Friedrich Albert Winzer; letzterer gründete die erste Gasbeleuchtungsgesellschaft Londons, engagierte *Friedrich Christian Accum** zur Erstellung des ersten Handbuchs zur Gasbeleuchtung „A Practical Treatise on Gas Light“ und beauftragte den Ingenieur *Samuel Clegg** mit der Planung des ersten Gaswerks in Westminster. Clegg leistete Pionierarbeit, da die Gasindustrie einen vollkommen neuen Industriezweig darstellte und eine neue Anlagentechnik forderte. Dies führte zur Schaffung eines neuen Bautypen – nämlich den Gasbehälter, der sich zum identitätsstiftenden Bauteil der Gaswerke entwickelte.

Die Bau- und Konstruktionsweise der ersten Gasbehälter war gezeichnet von Cleggs unermüdlichem, empirischem Schöpfergeist, der über verschiedene Formen und Techniken doch die Vorzüge der zylindrischen Grundform erkannte – wie z.B. gleichmäßigen Druckverhältnissen innerhalb des Hubteils und den Entfall der anfälligen, senkrechten Eckanschlüsse. Die Zylinderform bildete die Grundlage seiner weiteren Entwürfe und war richtungsweisend für den Gasbehälterbau des 19. Jahrhunderts.

Tab. 5: Die Anfänge der öffentlichen Gasbeleuchtung			
(nach Winzler 1803, p. Prechtl, 1817, pp. 3–4; Clegg, 1841, pp. 5–21; Rödel, 1983, p. 116)			
Jahr	Erfindung	Von	Erscheinungsort
1785	Gasbeleuchtung eines Hörsaals an der Universität zu Löwen	Minckelers, Jan Pieter	BE Löwen
1792	Gasbeleuchtung des Wohn-/ Bürogebäudes mit Steinkohlenlicht	Murdock, William	UK Redruth, Cornwall
1798	Gasherstellung und Beleuchtung der Fabrik Boulton & Watt	Murdock, William	Soho-Birmingham
1799	Erfindung der „Thermolampe“: Gewinnung von Leuchtgas aus Holz im Destillationsverfahren.	Lebon, Philippe	FR Paris
1801	Erste Beleuchtungsversuche der Thermolampe bei einem Wohnhaus und Garten.	Lebon, Philippe	FR Paris
1802	Öffentliche Vorführung des Gaslichts auf dem Fabrikgelände von Boulton & Watt zum Frieden von Amiens	Murdock, William	UK Soho-Birmingham
1803	Einführung der Thermolampe Lebon's in Deutschland in „Die Thermolampe in Deutschland“	Winzler, Zachäus Andreas	CZ Brünn
1803	Vortrag am Lyceum Theatre in London zur Erfindung des Gaslichts	Winzer, Friedrich Albrecht	UK London
1805	Gasbeleuchtung der Baumwollspinnerei Phillips & Lee	Murdock, William	UK Salford
1807	Vorführung der Straßenbeleuchtung mit Gas in der Pall Mall, London	Winzer, Friedrich Albrecht	UK London
1807	Transportierbares Gas (Zur Vorführung am Stonyhurst College)	Clegg, Samuel	UK
1807–1808	Einführung des Gaslichts im Catholic College of Stonyhurst: Gasbehälter mit 18m ³	Clegg, Samuel	UK Lancashire
1809	Gründung der 1. Gasbeleuchtungsgesellschaft: The London and Westminster Chartered Gas-Light and Coke Company	Winzer, Friedrich Albrecht (Gründer)	UK London
1812	Gasbeleuchtung des Buchladens von Ackermann (101, Strand)	Clegg, Samuel	UK London
1812	Anwendung des Steinkohlengases zum Heizen	Maiben, John	UK Perth
1813	GLCC unter Winsor, Accum, Hargraves. Samuel Clegg als erster Ingenieur bei GLCC und in der Gasindustrie überhaupt		UK London
1813	Beginn der Bauarbeiten für das Gaswerk Westminster, Peter Street	Clegg, Samuel	UK London
1813	Gasbeleuchtung der Westminster Bridge: 31.12.1813	Clegg, Samuel	UK London
1814	1. Vertrag zur Gasbeleuchtung der Gemeinde St. Margaret's	Clegg, Samuel	UK London

C. BAUKONSTRUKTIONSGESCHICHTE

EINFÜHRUNG

Der Gasbehälterbau des 19. und frühen 20. Jahrhunderts war geprägt von seiner Funktion und den jeweils gegenwärtigen technisch-konstruktiven Möglichkeiten. Im Laufe eines Jahrhunderts entwickelte sich der Gasbehälter zu einem bedeutenden, technischen Bauwerk von beachtlicher Größe und prägte einen neuen Bautypus.

Das Kapitel BAUKONSTRUKTIONSGESCHICHTE beschreibt diesen konstruktiven Werdegang des hydraulischen Gasbehälters, bestehend aus einem Hubteil, einem Führungsgerüst und einem Wasserbecken; letzterem kam die Funktion des gasdichten Abschlusses zu, der durch das Wasser hergestellt wurde. 1813 debütierte der Gasbehälter auf dem ersten öffentlichen Gaswerk in London (*Siehe Kap. B.5.-2.2.*). Der Trocken- bzw. Scheibengasbehälter leitete 1914 einen Wendepunkt im Gasbehälterbau ein: Um einen gasdichten Abschluss herstellen zu können, benötigte dieser kein konventionelles Wasserbecken mehr (*Siehe Kap. C.3.*), da die Abdichtung ausschließlich entlang des Scheibenrandes erfolgte.

Beide Abdichtungstechniken bedingten unterschiedliche Konstruktionsformen und -weisen und spannen zugleich den zeitlichen Rahmen dieser Arbeit von 1813 bis 1914 auf.

Der primäre Untersuchungsgegenstand ist die Konstruktion des hydraulischen Gasbehälters, die in knapp 100 Jahren zahlreiche Entwicklungsstadien durchlief und deshalb eine große Bandbreite an unterschiedlichen Ausführungsmöglichkeiten aufzeigte. Im Gegensatz dazu steht der Scheibengasbehälter, der seine finale, einheitliche Bauform innerhalb eines kürzeren Entwicklungszeitraumes erlangte.

Als Schauplatz dieses neu entstehenden Bautypus wurde London bzw. England gewählt – der Ursprungsort der öffentlichen Gasbeleuchtung und daher auch der ersten Gasbehälter. Die englischen Ingenieure leisteten Pionierarbeit bei der Entstehung und Etablierung des Gasbehälterbaus, der weltweit Anerkennung und Verbreitung fand. Das Kapitel BAUKONSTRUKTIONSGESCHICHTE basiert grundsätzlich auf den englischen Errungenschaften und wurde ergänzt durch wichtige Erfindungen aus Deutschland; letztere wurden jeweils als EXKURS markiert.

Der Aufbau des Kapitels BAUKONSTRUKTIONSGESCHICHTE folgt zunächst den Hauptbestandteilen des hydraulischen Gasbehälters – Hubteil, Führungsgerüst und Wasserbecken. Diese werden jeweils separat kategorisiert, auf ihre technisch-konstruktiven Besonderheiten beleuchtet und nach ihren Einzelbestandteilen enzyklopädisch aufgeführt. Im Anschluss folgt die Darstellung von Sonderformen, die von dem vorgenannten dreiteiligen Aufbau abweichen, wie der gerüstlose Gasbehälter oder der Einsatz von massiven Gasbehältergebäuden.

Das Kapitel BAUKONSTRUKTIONSGESCHICHTE schließt mit der Erfindung und Einführung des Scheibengasbehälters, der seine Form ebenfalls aus dem Zusammenwirken von Funktion und Konstruktion erlangte.

C.1. GRUNDLAGEN

In diesem Kapitel werden die GRUNDLAGEN zum Gasbehälterbau und dessen Baukonstruktionsgeschichte erläutert: Die allgemeine **Nomenklatur** verschafft dem Leser einen ersten Überblick über die verschiedenen Gasbehälterformen und veranschaulicht deren prinzipiellen **Aufbau**.

Die zweistufige **Kategorisierung** stellt ein Instrument zur Einordnung der verschiedenen Gasbehälterformen dar: Diese wurden primär als Gesamtgefüge nach dem gasbegrenzenden Bauteil und sekundär nach der Führungstechnik der Hubteile differenziert.

Eine kurze Abhandlung über die **Geschichte des Eisens** als Werkstoff erklärt die Rolle und die Bedeutung des Gasbehälters als Eisenkonstruktion im 19. Jahrhundert.

Der Werkstoff Eisen spielte eine entscheidende Rolle in der Baukonstruktionsgeschichte des Gasbehälters, da die zunehmend besseren Materialeigenschaften des Eisens zusehends die konstruktiven Möglichkeiten erweiterten und den Bau von hoch aufragenden Gasbehältern ermöglichten.

C.1.1. ALLGEMEINE KATEGORISIERUNG UND NOMENKLATUR

In diesem Abschnitt wird eine allgemeine, übergreifende Nomenklatur zum hydraulischen Gasbehälter, sowie zum Trockengasbehälter eingeführt, die deren Konstruktion ¹ als Gesamtsystem skizziert. Die anschließende Kategorisierung ist ein wichtiges Instrument, das zum Verständnis der Entwicklungsgeschichte beiträgt und eine erste Einordnung der verschiedenen Gasbehälterformen in ihrer Gesamtheit ermöglicht. Weitere Fachtermini zu den einzelnen Bauteilen werden in den entsprechenden Kapiteln ausführlich behandelt.

1. Allgemeine Nomenklatur

1.1. Hydraulischer Gasbehälter

Der Aufbau eines hydraulischen oder Nass-Gasbehälters setzte sich grundsätzlich aus einem **Wasserbecken** (B), einem **Führungsgerüst** (F) und einem oder mehreren **Hubteilen** ($H_{1,2}$) zusammen (Abb. 1, I-II.). Der sogenannte gerüstlose Gasbehälter wich von diesem Aufbau ab, da dessen Hubteile kein Führungsgerüst benötigten und in der Regel einen spiralen Bewegungsmechanismus hatten (Abb. 1, III.), wohingegen die Gerüst-geführten Hubteile einen linearen Bewegungsablauf innehatten (Abb. 1, I-II).

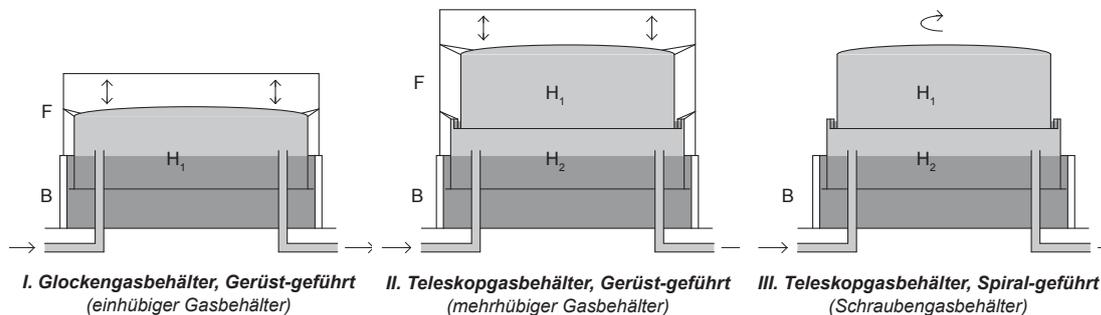


Abb. 1: Entwicklung vom Gerüst-geführten Glocken- und Teleskopgasbehälter (I. und II.) zum Spiral-geführten Teleskopgasbehälter ohne Führungsgerüst (III.; Schema, BB, 2016).

Je nach Anzahl und Bewegungsmechanismus der Hubteile wurden die Gasbehälter bezeichnet als:

- I: **Glockengasbehälter, Gerüst-geführt** (einhübiger oder einfacher Gasbehälter),
- II: **Teleskopgasbehälter, Gerüst-geführt** (mehrhübiger Gasbehälter),
- III: **Teleskopgasbehälter, Spiral-geführt** (auch Schraubengasbehälter ²).

Dem Bewegungsmechanismus der Hubteile lag das **Teleskopprinzip** (Siehe Kap. B.4.) zugrunde: Je nach Inhalt führen die Hubteile nacheinander fernrohrartig aus und ein. Die Hubteilanzahl konnte auch mit der sogenannten **Hübigkeit** ausgedrückt werden: So bezeichnete man einen Gasbehälter mit drei Hubteilen auch als **dreihübigen** Gasbehälter. Die Hubteile waren mit außen- und innen liegenden **Rollen**

¹ Zur Funktionsweise der hydraulischen Abdichtungstechnik siehe Kapitel B.4.

² Der Schraubengasbehälter war auch als einhübige Ausführung möglich. Jedoch wurde aufgrund seiner effizienten Bautechnik meistens die mehrhübige Variante favorisiert (Siehe auch Kap. C.2.6.).

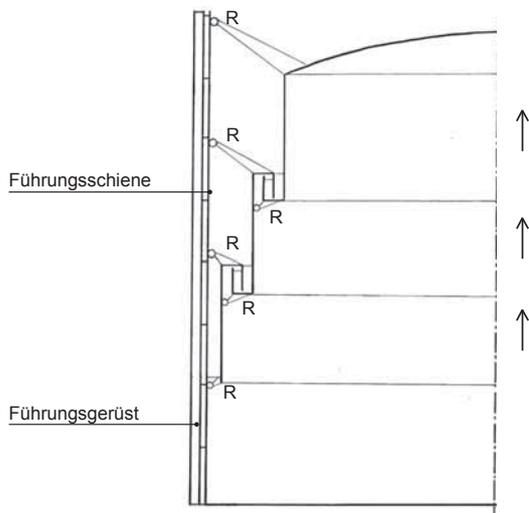


Abb. 2: Gerüst-geführte Hubteile – lineare Führungstechnik (Schema, BB, 2016).

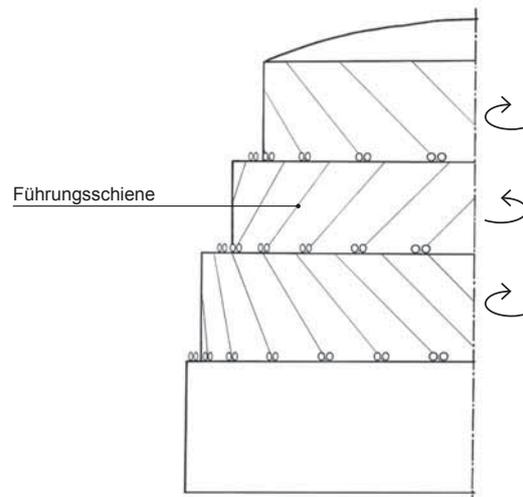


Abb. 3: Spirale-geführte Hubteil – gerüstlose Führungstechnik (Schema, BB, 2016).

(R) ausgestattet, die den Anschluss zum Führungsgerüst (F) herstellten.

Für ein sicheres Auf- und Abbewegen der Hubteile waren Führungstechniken zuständig:

- Die ursprüngliche **lineare Führungstechnik** (Abb. 2) beruhte auf einem externen, feststehenden Führungsgerüst, das den senkrechten Verlauf der Hubteile sicherte, daher folgt die Bezeichnung des **Gerüst-geführten Hubteils**. Dem Gerüst und dem anschließenden Becken waren sogenannte **Führungsschienen** vorgesetzt, an denen die Rollen (R) der Hubteile auf- und abfahren.³
- Die **spirale Führungstechnik** (Abb. 3) funktionierte ohne externes Führungsgerüst. Das Gerüst wurde bis auf die Führungsschienen selbst reduziert, die diagonal an den Mantelflächen der Hubteile montiert wurden. Daraus resultierte ein schraubenartiger Bewegungsmechanismus, der zu der Bezeichnung **Schraubengasbehälter** führte.⁴

Eine weitere Sonderform stellte das **Gasbehältergebäude** (Siehe Kap. C.2.5.) dar, das als zusätzliches Schutzbauwerk über den eigentlichen Gasbehälter errichtet wurde.

1.2. Trockengasbehälter

Der Trockengasbehälter bestand aus einem geschlossenen **Polygon oder Zylinder**, in den eine auf- und abfahrende **Scheibe** eingesetzt war (Abb. 4). Der gasdichte Abschluss wurde entlang der Scheibe und nicht über ein extra Wasserbecken erzeugt, daher folgte die Bezeichnung des **Scheibengasbehälters** oder auch des wasserlosen Gasbehälters. Die Scheibe trennte den Luft vom Gasraum.⁵

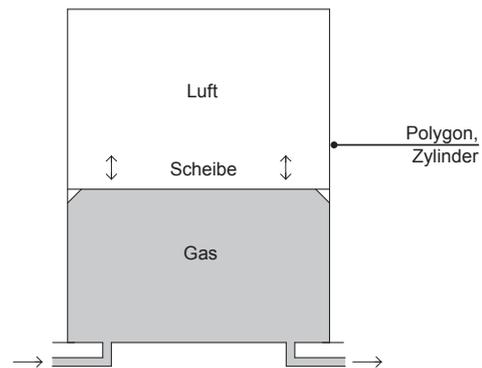


Abb. 4: Aufbau eines Scheibengasbehälters (Schema, BB, 2016).

³ Auf die innen liegenden Mantelständer bzw. -schienen, die zur Führung der Mantelrollen dienen, wird an dieser Stelle nicht näher eingegangen (Siehe dazu Kap. C.2.2.-6.4.).

⁴ Eine weitere Technik, die ohne feststehendes Gerüst auskam, war der Seil-geführte Gasbehälter, der jedoch einen linearen Bewegungsmechanismus innehatte. Da diese Gasbehälterform bei Weitem nicht so große Verbreitung fand wie der Schraubengasbehälter, handelt es sich eher um eine Randerscheinung, die hier nicht näher aufgeführt wird. Zu Funktion und Konstruktion des Seil-geführten Gasbehälters siehe Kapitel C.2.6.-2.

⁵ Zu Funktion und Konstruktion des Scheibengasbehälters siehe Kapitel C.3.

2. Kategorisierung des Gesamtbauwerks

Die Entwicklung des Gasbehälterbaus war geprägt von verschiedenen technischen und konstruktiven Anforderungen. Daher gibt es prinzipiell mehrere Ansätze, Kategorien nach verschiedenen Merkmalen zu bilden.

Eine Kategorisierung nach der Abdichtungstechnik würde die hier behandelten Gasbehälter lediglich in zwei Gruppen unterteilen, nämlich Nass- und Trockengasbehälter, ohne auf die Formenvielfalt der hydraulischen Gasbehälter näher einzugehen.

Deswegen wurde für eine genauere Differenzierung eine zweistufige Kategorisierung vorgenommen, die auf zwei wiederkehrende Bauteile gerichtet ist – nämlich das gasbegrenzende Bauteil (Hubteil bzw. Scheibe) und das Führungsgerüst bzw. die Führungstechnik.

Hauptkategorie – Das gasbegrenzenden Bauteil (Tab. 1):

Die Gasbehälter werden im ersten Schritt nach dem gasbegrenzende Bauteil differenziert:

Als singuläres Hubteil (einhübiger, bzw. Glockengasbehälter), mit mehreren Hubteilen (mehrhübiger Teleskopgasbehälter) oder mit einer Scheibe (Scheibengasbehälter).

Zur Bestimmung der Hübigkeit sind grundsätzlich die Anzahl der Gerüstringe und die Beckenhöhe – die der Höhe eines Hubteils entspricht – dienlich. In diesem Schritt soll aber nur zwischen ein- und mehrhübig differenziert werden.⁶

Unterkategorie – Das Führungsgerüst (Tab. 1):

Im zweiten Schritt werden die Gasbehälter nach der Konstruktion des Führungsgerüsts verschiedenen Unterkategorien zugewiesen. Diese folgen der Entwicklung des Gerüsts, das zunächst nur aus Stützen, bzw. Pfeilern bestand, dann zu Rahmen erweitert und schließlich mit Verbänden verstärkt wurde. Einen Sprung in der Evolution des klassischen Führungsgerüsts stellte der „gerüstlose“ Gasbehälter dar, dessen Hubteile entweder Seil- oder Spiral-geführt wurden und kein externes Führungsgerüst mehr benötigten.

Beim Scheibengasbehälter findet keine weitere Differenzierung statt⁷. Haupt- und Unterkategorie sind identisch. Die Bezeichnung Führungsgerüst ist an dieser Stelle nicht mehr zutreffend, da dieses im Vergleich zu den vorgehenden Formen kein offenes, sondern ein geschlossenes Gefüge darstellt.⁸

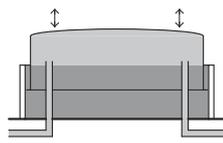
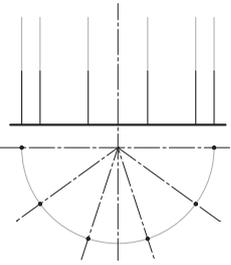
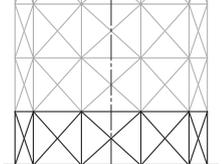
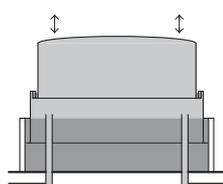
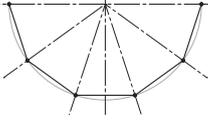
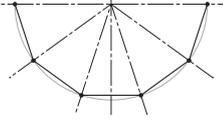
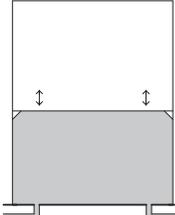
Dieses zweistufige Ordnungssystem soll als Instrument oder Leitfaden dienen, um einen historischen Gasbehälter beim ersten analytischen Betrachten richtig einordnen zu können. Deshalb erfolgt die sekundäre Zuordnung durch das von außen gut einsehbare Führungsgerüst bzw. die Führungstechnik (Abb. 5). Das Hubteil und das Wasserbecken sind hierfür ungeeignet, da deren Form und Konstruktion erst in einer Schnittdarstellung näher bestimmt werden können.

6 Obwohl das Führungsgerüst und die Beckenhöhe geeignete Instrumente zur Bestimmung der Hübigkeit sind, kann dieser Leitsatz nicht bei gerüstlosen Gasbehältern oder fliegenden Hubteilen angewendet werden, da diese ohne externe Gerüstführung funktionieren (Siehe Kap. C.2.2.-7 und C.2.6).

7 Da die Kategorie Trockengasbehälter über keine Unterkategorien verfügt, wie es bei den hydraulischen Gasbehältern der Fall ist, sondern sich nur auf die Scheibengasbehälter beschränkt, wird im Folgenden nur noch die Bezeichnung **Scheibengasbehälter** verwendet.

8 Im 19. und frühen 20. Jahrhundert existierten verschiedene Ansätze zur Kategorisierung von Gasbehältern: Milbourne unterteilte die Gasbehälter in a) Gasbehälter mit Führungsgerüst, b) Gasbehälter mit Führungsgerüst und fliegenden Hubteilen, c) „gerüstlose“ Gasbehälter bzw. Schraubengasbehälter (Milbourne, 1923, pp. 4–5). Nach Meade waren die hydraulischen Gasbehälter zuerst nach deren Hübigkeit – ein- oder mehrhübig – und im zweiten Schritt nach deren Führungstechnik zu bestimmen: a) Seil-geführte Gasbehälter, b) Gasbehälter mit Führungsgerüst, mit oder ohne fliegendem Hubteil, c) Schraubengasbehälter, d) „Nürnberger“-Gasbehälter bzw. Scheibengasbehälter (Meade, 1916, pp. 422–423).

Tab. 1: Kategorisierung nach dem gasbegrenzenden Bauteil und dem Führungsgerüst
(Schemazeichnungen, Berger, 2016)

	Hauptkategorie: Bauteil, gasbegrenzend	Unterkategorie: Führungsgerüst *)		
Hydraulischer Gasbehälter	 Glockengasbehälter (einhübig)	 Stützensgerüst		
	 Teleskopgasbehälter (mehrhübig)			
Trockengasbehälter	 Scheibengasbehälter			

*) Die Unterkategorie **Ohne Führungsgerüst** (Spiral- oder Seil-geführter Gasbehälter) ist bereits in der Spalte Hauptkategorie dargestellt.

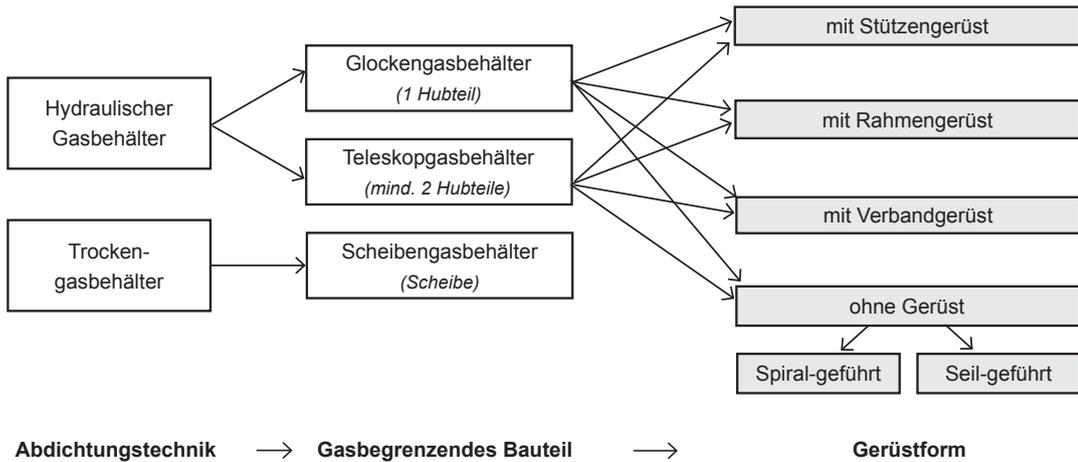


Abb. 5: Leitfaden zur Einstufung von historischen Gasbehältern (Schema, BB, 2016).

Bei dem sogenannten Gasbehältergebäude kann dieser Leitfadens nicht konsequent angewendet werden (Abb. 6), da der eigentliche Gasbehälter durch eine zusätzliche, massive Konstruktion vollständig eingefasst wurde.



Abb. 6: Gasbehältergebäude „Fichtebunker“ in Berlin (BB, 2013).

Beispielhafte Anwendung des eingeführten Leitfadens



Abb. 7: Dinslaken (BB, 2013).

1. Hydraulischer Gasbehälter
2. Ein Gerüstring → Glockengasbehälter
3. Mit Verbandgerüst



Abb. 8: Bromley-by-Bow, London (BB, 2015).

1. Hydraulischer Gasbehälter
2. Zwei Gerüstringe → Teleskopgasbehälter
3. Mit Rahmengerüst



Abb. 9: Burbach-Saarbrücken (BB, 2014).

1. Hydraulischer Gasbehälter
2. Teleskopgasbehälter mit drei Hubteilen
3. Kein externes Gerüst, Spiral-geführt (Schraubengasbehälter)



Abb. 10: Augsburg-Oberhausen (BB, 2013).

1. Trockengasbehälter
2. = 3. Scheibengasbehälter

Kategorisierung von Gasbehältern im 21. Jahrhundert

Im Gasbehälterbau des 21. Jahrhunderts wird die Kategorisierung überwiegend von der Anlagentechnik bestimmt: Je nach Betriebsdruck werden die Gasbehälter verschiedenen Gruppen zugewiesen (Tab. 2): Nieder-, Mittel- und Hochdruckgasbehälter⁹.

Tab. 2: Kategorisierung nach Betriebsdruck			
Kategorie	Druck	Bauformen	Zeit
Niederdruckgasbehälter	10–50mbar	Glocken-, Teleskop-, Scheibengasbehälter	seit 1813
Mitteldruckgasbehälter	50–1000mbar	Membrangasbehälter „Wiggins“	seit 1936
Hochdruckgasbehälter	bis zu 100bar	Kugelgasbehälter (bis zu 50 bar), Röhrenspeicher (bis zu 100 bar), Untertage-/ Kavernenspeicher	seit 1923

In der vorliegenden Arbeit wurden ausschließlich Niederdruckgasbehälter untersucht. Deswegen wurde eine Kategorisierung nach diesem Ansatz nicht weiter verfolgt¹⁰.

9 *John Henry Wiggins** erfand den **Mitteldruckgasbehälter** 1936, den er permanent weiterentwickelte und der vier Jahre später zum ersten Mal in Amerika gebaut wurde (Wiggins, 1936; Sturt, 1980, p. 20). Der **Kugelgasbehälter** ist eine Erfindung aus den USA, die auf *Horace Ebenezer Horton** zurückzuführen ist. 1923 wurde der erste Behälter gebaut und trägt seitdem die Bezeichnung „Hortonsphere“. Horton gründete 1889 die Brückenbaufirma Chicago Bridge and Iron Company (CB&I) (American Oil & Gas History Society, 2016). 1947 wurde der Behälter als „Spherical Tank“ patentiert (Horton, 1947).

10 Weiterführende Literatur zu Mitteldruckgasbehälter: Modell Wiggins vgl. Wehrmann, 1954, pp. 105–106; Gross, 1960, pp. 26–31; Sturt, 1980, p. 20. Hochdruckgasbehälter: vgl. Milbourne, 1929, pp. 15–21; Wehrmann, 1954, pp. 109–140; Le Paslier; Blanc; et al., 1960, pp. 129–143; Gross, 1960, pp. 38–50.

C.1.2. MATERIALWAHL – Das Eisen und seine Füge­technik

Die Einführung des Eisens als neuer Werkstoff im Bauwesen war die Grundlage für die Entstehung neuer Bauformen und Typen. Für den historischen Gasbehälterbau spielten die Materialeigenschaften des Eisens eine bedeutende Rolle: Die Entwicklungsstadien von Guss-, über Schmiede- zu Flusseisen bzw. -stahl definierten und begrenzten jeweils die Konstruktionsmöglichkeiten der Gasbehälter, was besonders an der Konstruktion des Führungsgerüsts deutlich wurde.

Neben den Materialeigenschaften war auch die Füge­technik der einzelnen Bauteile eine wichtige Komponente für den Gasbehälterbau. Der Niet war das meist verwendete Verbindungsmittel, gefolgt von der Schraube ¹¹.

Die voranschreitende Eisenbauweise war eine wichtige Stellschraube für die Entwicklung des Gasbehälters und wurde sowohl beim Hubteil, als auch beim Führungsgerüst und beim Wasserbecken eingesetzt. Deshalb dient dieses Kapitel als Grundlage für die Baukonstruktionsgeschichte des Gasbehälters und stellt keine vollständige, geschichtliche Abhandlung über den Eisenbau im Allgemeinen dar. ¹²

1. Eisen als Werkstoff

Durch die Erschmelzung von Eisenerz im Hochofen gewann man reines Eisen, das im Hochofenprozess sofort Kohlenstoff aufnahm. Das hierbei entstehende Roheisen enthielt ca. 2,5–4,5% Kohlenstoff. Nach der Erstarrung wurde der Werkstoff dann als **Gusseisen** bezeichnet und war ein sehr druckfester, aber gering zugfester und spröder Werkstoff, der nicht schmied- oder schweißbar war. ¹³

Beim Eisen unterschied man generell zwischen Guss-, Schweiß-, Schmiede- und Flusseisen und beim Stahl zwischen Schweiß-, Schmiede- oder Flussstahl.

Die Vor- und Nachsilben der o. g. Werkstoffbezeichnungen werden mit Blick auf die Herstellungstechniken und die spezifischen Werkstoffeigenschaften in der nachstehenden Tabelle gegenüber gestellt:

Tab. 3: Vor- und Nachsilben von Eisen- und Stahlbezeichnungen (nach Villain, 2016)	
„Guss-“	Der Werkstoff wurde in eine Form gegossen und erzeugte so ein Bauteil, das nachträglich kaum weiter bearbeitet wurde.
„Schweiß- oder Schmiede-“	Das Eisen lag nach dem Frischen im teigigen Zustand vor (Puddelverfahren). Die sogenannten Luppen (fester Zustand) wurden anschließend „verschweißt“ – d. h. hier verschmiedet.
„Fluss-“	Nach dem Frischen erhielt man das Eisen in flüssiger Form.
„-eisen“	Der gewonnene Werkstoff war nicht härtbar, aber schmiedbar.
„-stahl“	Der gewonnene Werkstoff war härtbar und schmiedbar.

Vor 1794 wurde das **Gusseisen** als sehr dickflüssige Masse direkt aus dem Hochofen gewonnen. Nach der Einführung einer weiteren Umschmelzung mit Stahlschrott und Gussbruch im Kupolofen war es möglich, Gusseisen mit einem besser definierbaren Kohlenstoffgehalt herzustellen, was zu einem dünnflüssigeren Zustand führte. Dieser ermöglichte es geometrisch komplexere Bauteile zu gießen. (Siehe Tab. 4) ¹⁴

11 Anm. d. Verfasserin: Die Einführung der Schweißtechnik erfolgte um 1920 v.a. in den USA, England, Belgien, Australien (Werner, Seidel, 1992, p. 107) und liegt somit außerhalb des zeitlichen Rahmens dieser Arbeit (1813–1914).

12 Weiterführende Literatur zum historischen Eisenbau siehe Werner, Seidel, 1992; Lorenz, 1995; Prokop, Ines: Vom Eisenbau zum Stahlbau, Berlin, 2012.

13 Lorenz, 1995, p. 407

14 Der folgende Abriss über die Entwicklung der Eisenwerkstoffe basiert auf der nachstehenden Tabelle (Tab. 4).

Durch die voranschreitende Hüttentechnik und die steigenden Anforderungen der weiterverarbeitenden Gewerke gelang es ab ca. 1800 durch Frischherde oder Puddelöfen den Kohlenstoffgehalt des Roheisens deutlich zu vermindern, sodass zuerst schmiedbares Eisen und später auch schmied- und härtbare Stähle hergestellt werden konnten.

Das **Schmiedeeisen** ermöglichte zunächst eine qualitative und quantitative Steigerung bei der Produktion von Blechen und Profilen¹⁵. In den 20er Jahren des 19. Jahrhunderts begann der Einsatz von Schmiedeeisen im Bauwesen, das im Vergleich zum Gusseisen eine bessere Zugfestigkeit und Duktilität besaß, sowie die Stabilität von Eisenkonstruktionen erhöhte. Die Qualität und somit die Einsatzfähigkeit des Eisenwerkstoffes war grundsätzlich abhängig von der stark handwerklich geprägten Herstellung, dem Grad an Verunreinigung und den Einschlüssen (z.B. durch Schlacke).¹⁶

Als **Schweißeeisen** wurde im Allgemeinen das vor ca. 1900 im Puddelverfahren erzeugte Schmiedeeisen bezeichnet, das nach heutiger Definition nicht schmelzschweißbar war (z. B. nicht schweißbar mit Lichtbogenschweißverfahren). Nach ca. 1900 wurden schmelzschweißbare Stähle mit einem C-Kohlenstoffgehalt unter 0,22 % und geringem Phosphor- und Schwefelanteil als Schweißeeisen bezeichnet, da sich die Werkstoffdefinition von der Weltausstellung in Philadelphia (USA) von 1876 nicht durchgesetzt hatte¹⁷. Diese Bezeichnung bedeutet aber, dass dieses Eisen schweißbar nach der heutigen Definition war.¹⁸

Die Entwicklung eines härtbaren Eisens, das dann als **Stahl** bezeichnet wurde, hing zu Beginn der Hüttentechnik vom Geschick und dem Wissen der Handwerker ab und wurde erst im Laufe der Zeit technologisch verbessert. Die Erklärung für die Härtbarkeit eines Stahlwerkstoffes lag darin, dass zum Einen der Kohlenstoff mit Eisen chemisch gebunden ist (Fe_3C – Zementit) und zum Anderen durch bestimmte Erwärmungs- und Abkühlungsprozesse eine Verspannung oder Feinkristallinität im Werkstoff erzeugt wird, die sich dann in einer höheren Härte des Werkstoffes zeigt.¹⁹

Mit dem Stahl lagen schließlich Werkstoffe vor, die eine erhöhte Festigkeit mit einer guten Duktilität verknüpften und die Konstruktion von filigranen Eisenbauwerken ermöglichten.

Die Meilensteine der Eisentechnologie, einschließlich deren Herstellungsprozesse und Eigenschaften sind in der nachfolgenden Tabelle (Tab. 4) zusammengefasst.

2. Bauteile

Das Baumaterial Eisen war ein wesentlicher Protagonist in der Baukonstruktionsgeschichte des hydraulischen Gasbehälters. Jeder einzelne Bestandteil – Hubteil, Führungsgerüst und Becken – profitierte von den sich verbessernden Materialeigenschaften vom Guss- zum Schmiedeeisen²⁰, was sich unmittelbar auf deren konstruktive Möglichkeiten auswirkte.

15 Lorenz, 1995, p. 408
Zu Profilen in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts in England siehe auch Addis, Bill: *Building: 3000 Years of Design, Engineering and Construction*, London, 2007, pp. 354–355.

16 Werner, Seidel, 1992, pp. 38–41

17 Werner, Seidel, 1992, p. 37

18 Helmerich, 2005, pp. 13–20

Die einzelnen Begriffe waren im 18. und 19. Jhd. nicht immer einheitlich. So wurde z.B. die Definition des Begriffes *Stahl* erstmals 1925 in einer DIN allgemeingültig festgelegt (Werner, Seidel, 1992, p. 42).

19 Weiterführende Fachliteratur siehe Bergmann, W.: *Werkstofftechnik*, 2013.

20 Anm. d. Verfasserin: Die vorliegende Arbeit differenziert nur zwischen Guss- und Schmiedeeisen (*Siehe Abschnitt A. EISENWERKSTOFFE*).

Tab. 4: Die Entwicklung des Eisens im Bauwesen im 18. und 19. Jahrhundert *				
(nach Beck, 1899; Beckert, 1900; Hönigsberg, 1914; Lorenz, 1995; Meyers, 1909, Meyer, 1914; Pockrandt, 1929)**				
Jahr Patent/ Einsatz	1713/ 1735	1784/ 1824 in Deutschland	1790/ 1790	1818/ 1818
Werkstoff	Gusseisen	Puddeleisen = Schmiedeeisen = Schweißeisen (ab 1876); Puddelstahl = Schweißstahl (ab 1876)		
Ofentechnik	Kokshochofen, ab 1794 Einsatz von nachgeschalteten Kupolöfen	Herdföfen		
Beschreibung des Verfah- rens	Erschmelzen von Ei- senerz durch Koks- verbrennung (Stein- kohle); Gewinnung von dickflüssigem Roheisen (Gusseisen). Ab 1794: Verarbeitung des Roh- eisens mit Stahlschrott und Gussbruch nach- träglich im Kupolofen, um den Kohlenstoffge- halt besser einstellen zu können (dünnflüssigeres Gusseisen).	Umrühren des vorerst flüssigen Roheisens mit Stangen (Puddeln). Ziel: Frischen mit Luft und Oxiden (saure Auskleidung mit Sand SiO_2); Trockenpuddeln; keine phosphorhaltigen Erze; Austreiben von Schla- cken (Zänghämmern).	Verknüpfung eines Puddelofens mit Kaliberwalzwerk zur Erhöhung der Produktionsmenge von Halbzeugen.	Basische Auskleidung des Puddelofens; Fruschen auch durch Zugabe von Oxiden (Schlacke-puddeln oder Nasspuddeln); phos- phorhaltige Erze.
Metallurgie	Reduktion von Eisenerz (Eisenoxid) und Koh- lenstoffanreicherung bis zu 5%.	Oxidation von Koh- lenstoff, Silizium und Mangan im Roheisen. C: 2–5% (Fruschen)		Oxidation von Kohlen- stoff, Silizium, Phosphor und Mangan im Rohei- sen. C: 2–5% (Fruschen)
Zustand nach dem Frischen	flüssig	teigig	teigig	teigig
Wichtige Eigenschaften des Eisens	<u>Gusseisen:</u> C: 2–5% („weißes Gusseisen“: C als Zementit, Fe_3C , für Stahlherstellung, begünstigt durch Mn; „graues Gusseisen“: C als Graphit, begünstigt durch Si für Gussherstel- lung); nicht umformbar, geringe Zugfestigkeit, hohe Druckfestigkeit, sehr spröde.	<u>Puddeleisen:</u> Stark schlackehaltig; schmiedbar, aber nicht härtbar; starke Anisotropie der Werkstoffeigenschaften; gute Zug- und Druckfestigkeit, deutlich duktiler als Gusseisen.		
Wichtige Ei- genschaften des Stahls		<u>Puddelstahl:</u> Starke Anisotropie der Werkstoffeigenschaften; schmied- und härtbar; gute Zug- und Druck- festigkeit, aber kleinere Werte als Flussstahl.	<u>Puddelstahl:</u> Geringerer Anisotro- pie der Werkstoffeig- enschaften; schmied- und härt- bar.	<u>Puddelstahl:</u> Kohlenstoffärmere Form des Puddelstahls; schmied- und härtbar.

Alle %-Angaben sind Gew.-%. Ein Kupolofen ist ähnlich aufgebaut wie ein Hochofen, erreicht aber max. 1600°C, sodass Erz nicht erschmolzen werden kann. Er dient hauptsächlich zur Steuerung des Kohlenstoffgehalts von Roheisen, das aus dem Hochofen kommt.

1855/ ca. 1862	1856/ 1864	1877/ 1878	1879/ ca. 1900
Flusseisen Flussstahl			Elektrostahl
Bessemer Verfahren (Birne; Konverterverfahren)	Siemens-Martin Verfahren (Herdföfen)	Thomas Verfahren (Birne; Konverter-Verfahren)	Elektroofen (Herdföfen)
Saure Ofenauskleidung (SiO ₂); Frischen durch Durchblasen des flüssigen, siliziumreichen und phos- phorarmen Roheisens mit heißen Verbrennungsgasen (Windfrischen).	Saure oder basische Auskleidung; hauptsäch- lich Schrott und wenig Roheisen ; Frischen mit oberflächlichen, heißen Verbrennungsgasen (Herdfischen).	Basische Ofenauskleidung (Dolomit); Frischen durch Durchblasen des flüssigen, phosphor- und schwefel- reichen Roheisens mit heißen Verbrennungsgasen (Windfrischen).	Umschmelzen von Stahl mittels Strahlungswärme eines Lichtbogens oder In- duktion unter Luftabschluss.
Oxidation von Kohlenstoff, Silizium und Mangan im Roheisen. C: 2–5% (Fruschen)	Oxidation von Kohlenstoff, Silizium, Phosphor und Man- gan im Roheisen. C: 2–5% (Fruschen)		Oxidations- und Reduktions- prozesse; Verfeinern und Legieren von Stahl, z.B. mit Chrom und Nickel.
flüssig	flüssig	flüssig	flüssig
<u>Flusseisen:</u> Schlackearm; schmiedbar, aber nicht härtbar; bessere Festigkeitswerte.			
<u>Bessemer Stahl:</u> Sehr geringerer Schlacken- anteil; P- und S-Seigerun- gen; empfindlich gegen Oberflächenverletzungen (Nietlöcher müssen z. B. gerieben werden); nahezu isotrope Werkstoffeigen- schaften; relativ hohe Ver- schleißfestigkeit; schmied- und härtbar. N < 0,008%	<u>Siemens-Martin Stahl:</u> Höhere Güte als Besse- mer- und Thomasstähle; relativ weicher Stahl; schmied- und härtbar.	<u>Thomas Stahl:</u> Weicher als Bessemerstahl; schmied- und härtbar. N > 0,008%.	<u>Elektrostahl:</u> Hochwertige Stähle, z. B. Baustahl für hochbean- spruchte Teile, Werkzeug- stahl; schmied- und härtbar.

* Abkürzungen: C – Kohlenstoff, Si – Silizium, SiO₂ – Siliziumdioxid, Mn – Mangan, N – Stickstoff

** Beratung durch Prof. Jürgen Villain, 20.12.2016



Abb. 11: Gusseiserne, zweiteilige Säule mit innen liegenden Flanschen in Manchester (BB, 2015).



Abb. 12: Gusseiserne, mehrteilige Säule in Swan Village-West Bromwich (BB, 2015).

2.1. Gusseisen

Das Gusseisen spielte eine wichtige Rolle im Gasbehälterbau und ermöglichte die Ausführung von dünnwandigen Wasserbecken mit Eisenplatten (Siehe Kap.C.2.4.-4.1.2.), sowie Führungsgerüsten mit gegossenen Säulen, Stützen und Trägern (Siehe Kap. C.2.3.-4.).

Der Vorteil von stabförmigen Bauteilen aus Gusseisen lag nicht nur in der Druckbeständigkeit, sondern auch in den Gestaltungsmöglichkeiten, die die Gießtechnik begünstigte. Die Hohl-säulen und Stützen waren pro Gerüsting meist mehrteilig gefertigt. In Manchester wurden z.B. zweiteilige Säulen verwendet, die mit einem innen liegenden Flansch montiert waren (Abb. 11). In Swan Village, Stadtteil von West Bromwich (Abb. 12) besteht heute noch ein Gasbehälter mit Säulen, die aus einzelnen, kürzeren Rundrohrelementen zusammengesetzt und über einen äußeren Flansch befestigt wurden.

Die gestalterischen Möglichkeiten der Gießtechnik wurden v.a. bei der Ausführung von gitterförmigen oder durchsetzten Bauteilen ausgenutzt.



Abb. 13: Gusseiserne Stützen mit Vier- und Dreipässen in der Old Kent Road, London (BB, 2015).

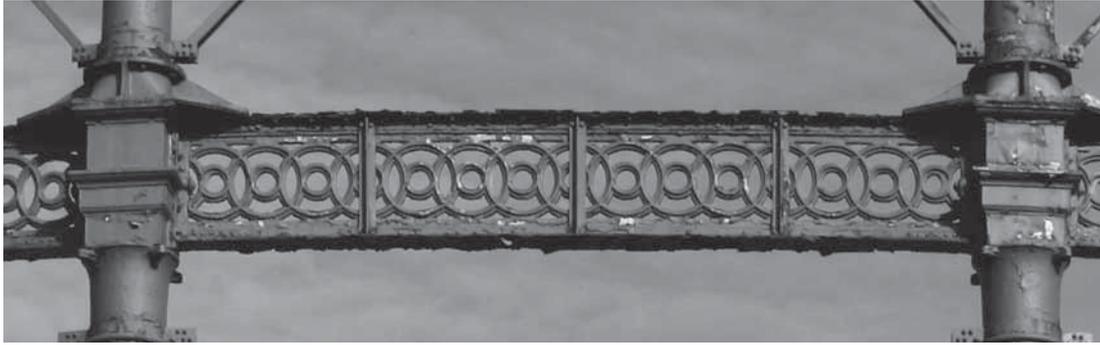


Abb. 14: Gusseiserner Steg aus überlappenden Kreisen in Bromley-by-Bow, London (BB, 2015).

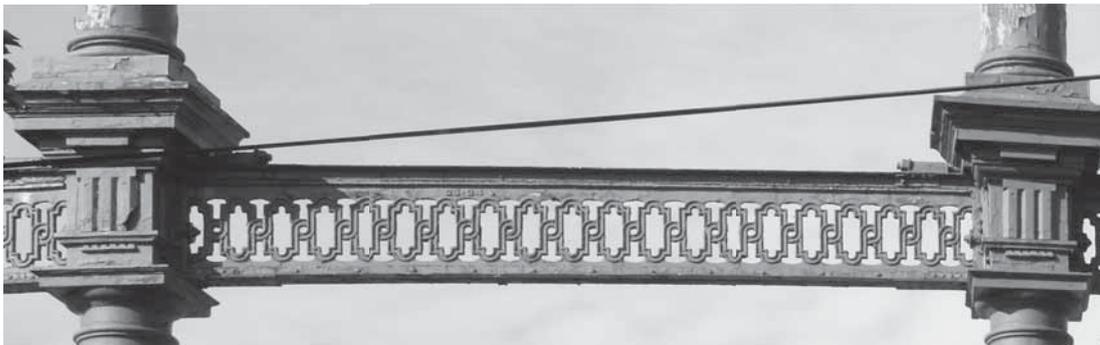


Abb. 15: Gusseiserner Steg mit mäanderartigem Muster in Bromley-by-Bow, London (BB, 2015).

Davon zeugt auch heute noch ein Gasbehälter an der Old Kent Road in London (Abb. 13), dessen mehrteilige Stützen im Stegbereich mit gotischen Formen durchsetzt sind: Durch den Einsatz von Vier- und Dreipässen wurde der Materialaufwand gesenkt und zugleich erhielt die Stütze, die für gewöhnlich nur funktionalen Charakter war, ein schmückendes Ornament (Siehe Kap. C.2.3.-7.1.2.).

Die horizontalen Träger bewiesen v.a. die filigrane Komponente der Gießtechnik – ein Beispiel dafür ist das Gasbehälterensemble in Bromley-by-Bow, London. Die Stege sind einteilig gegossene Formbauteile, die mit sich verschneidenden Kreisen (Abb. 14) bzw. einem mäanderartigem Muster (Abb. 15) gestaltet wurden.²¹

Auch beim Bau von Wasserbecken kam das Gusseisen zum Einsatz: Die Mantel- und Bodenflächen bestanden aus einzelnen, verschraubten Gusseisenplatten. Die Mantelplatten wurden mit Ringankern aus Schmiedeeisen verstärkt (Abb. 16).

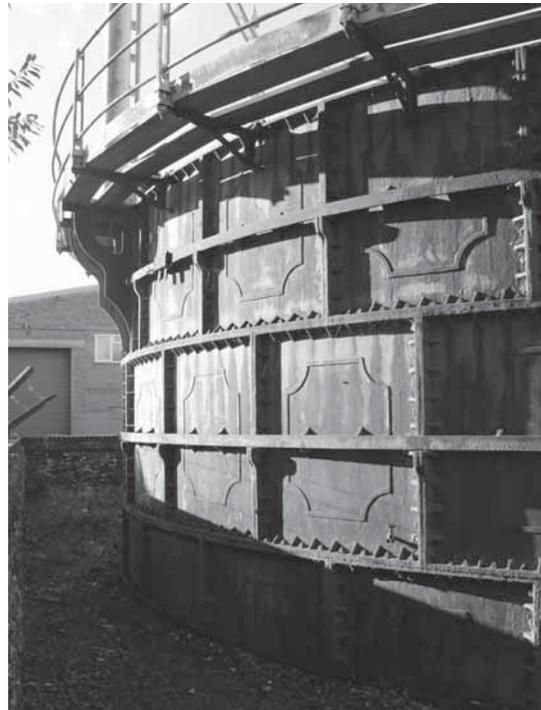


Abb. 16: Freistehendes Wasserbecken aus gusseisernen Platten und schmiedeeisernen Ringankern in Fakenham (BB, 2015).

²¹ Zur ausführlichen Konstruktionsbeschreibung des Führungsgerüsts in Bromley-by-Bow siehe Kapitel C.2.3.-6.1.1.



Abb. 17: Genietete T-förmige Stütze in einem Gerüst in Kennington, London (BB, 2015).



Abb. 18: Anschluss von einer kastenförmigen Stütze mit einem liegenden Gitterträger in Bethnal Green, London (BB, 2015).

Ein großer Nachteil der gusseisernen Bauteile äußerte sich in der spröden Beschaffenheit des Werkstoffes, was zur Folge hatte, dass v.a. schlanke Säulen bereits bei geringen (Biege-) Zugbeanspruchungen „zu Bruch“ gingen²².

Gusseiserne Bauteile dominierten die Baukonstruktionen v.a. in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts, danach wurden zunehmend genietete Blechträgerkonstruktionen eingesetzt.²³

2.2. Schmiedeeisen

Das Schmiedeeisen verdrängte aufgrund seiner verbesserten Zugfestigkeiten die gusseisernen Bauteile allmählich aus dem Gasbehälterbau. Mit dem Aufkommen von gewalzten Eisen²⁴, insbesondere der Winkeleisen, waren ab 1830 zusammengesetzte, filigrane Bauteile möglich²⁵. Diese Technik des Zusammenfügens leitete eine Wende im Gasbehälterbau ein, durch die die einzelnen Bauteile eine größere Formenvielfalt, Stabilität und Leichtigkeit erlangten.

Die Entwicklung der genieteten Blechkonstruktionen zeichnete sich v.a. am Führungsgerüst ab: Diese wurden zunächst bei den horizontalen Trägern und um 1870²⁶ auch für Stützen eingesetzt²⁷.

- Das Führungsgerüst eines heute noch bestehenden Gasbehälters in Kennington, London (Abb. 17) zeigt eine fast ausschließlich genietete Konstruktion aus Schmiedeeisen: Die T-förmigen Stützen und die horizontalen Fachwerkträger – mit Ausnahme der gusseisernen, profilierten, senkrechten

22 Werner, Seidel, 1992, p. 38

23 Herring, 1893, p. 273; Käpplein, Wiegolsch-Frey, 2001, p. 91

24 Durch den Verdienst von John Berkinshaw war ab 1820 die Herstellung von Profileisen im Walzverfahren möglich (Käpplein, Wiegolsch-Frey, 2001, p. 91).

25 Werner, Seidel, 1992, p. 131

26 Tucker, 2014, p. 8

27 Somerville, 1886, p. 1244; Tucker, 2014, p. 8. – Dies gilt für die englischen Gasbehälter.



Abb. 19: T-Eisen als Führungsschiene in San Francesco della Vigna, Venedig (BB, 2008).



Abb. 20: Genietetes Wasserbecken, San Francesco della Vigna, Venedig (BB, 2009).

- Stäbe. Auch der Windverband besteht aus zwei sich kreuzenden Flacheisenstäben.
- Eine andere Konstruktionsweise zeigt das Führungsgerüst eines Gasbehälters in Bethnal Green, London (Abb. 18). Das Gefüge besteht aus genieteten, kastenförmigen Fachwerkstützen und liegenden Gitterträgern.
 - Neben rechteckigen oder T-förmigen genieteten Stützen waren auch Rundrohrelemente möglich, die zu Säulen zusammengefügt wurden – hier gezeigt am Beispiel eines Führungsgerüsts in Venedig (Abb. 19 – Siehe Kap. D.4.4.-1.2.).

Nicht nur die stabförmigen Bauteile des Gasbehälters profitierten von den Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten des Schmiedeeisens, sondern auch die flächigen: Mantel-, Boden- und Kuppelbleche wurden aus einzelnen Eisenblechen²⁸ zusammengesetzt und vernietet, wie es das Becken eines venezianischen Gasbehälters zeigt (Abb. 20 – Siehe Kap. D.4.4.-1.3).

Bei der Hubteilkonstruktion – besonders bei der Kuppel – spielte das Schmiedeeisen ebenfalls eine wichtige Rolle, da dieser Werkstoff leichte Konstruktionen ermöglichte (Siehe Kap. C.2.2.-4.).

²⁸ In der Anfangsphase wurden nach Prechtl, 1817 für die Konstruktion von Hubteilen auch Kupferbleche eingesetzt (Prechtl, 1817, pp. 81–82).

3. Fügetechnik

Sowohl bei der Fertigung von stabförmigen und flächigen Bauteilen, als auch bei der Montage zum finalen Bauwerk war die Fügetechnik von großer Bedeutung und musste auf die verwendeten Materialien und Bauformen abgestimmt werden.

3.1. Der Niet

Mitte des 19. Jahrhunderts, als die Walzprofile aufkamen und die Basis für unterschiedliche Blechträgerformen bildeten, war das Nieten die gängige Verbindungstechnik²⁹. Der Niet war im Gegensatz zur Schraube (Siehe folgender Abschnitt) kein seriell vorgefertigtes Verbindungsmittel, sondern gelangte erst durch das Einbauverfahren zu seiner finalen Form (Abb. 21):

Der Rohriet bestand aus einem Setzkopf und einem Schaft, dessen Durchmesser kleiner war als der Lochdurchmesser im Blech. Der Schließkopf formte sich erst beim manuellen oder maschinellen Zusammenschlagen bzw. Hämmern des erwärmten Rohriets – bei ca. 1000°C³⁰.

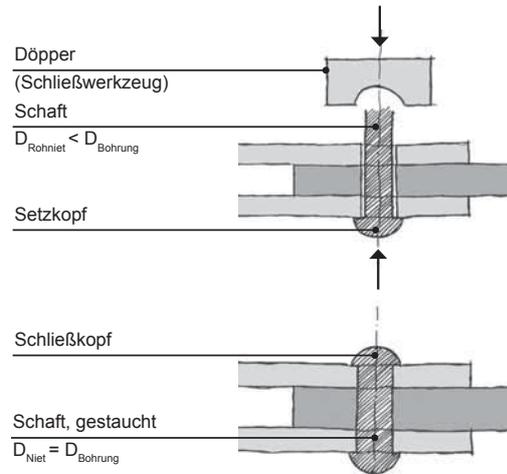


Abb. 21: Herstellung eines Nieten: Einsetzen des Rohriets (oben) und fertig gestellter Niet (unten) (Skizze, BB, 2016, nach Käßlein, Wielgosch-Frey, 2001, p. 58).



Abb. 23: Nietvorgang bei den Hubteilen eines Schraubengasbehälters um 1955 (NGA, BG11/SE/TS/1/3).

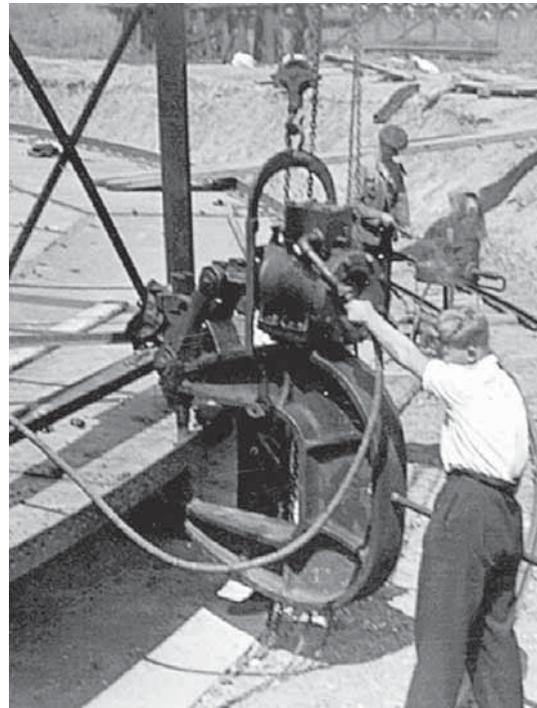


Abb. 22: Einsatz einer hydraulischen Nietmaschine in Seven-Oaks, 1937 (NGA, SE/SOS/EF/12).

²⁹ Das Nieten gehört nach Definition zu den unlösbaren, formschlüssigen Verbindungen (Wittel, Muhs, 2007, p. 186). Bei Gasbehältern spricht man von dichten Vernietungen, bei Stahlbauten von festen Nietverbindungen.

³⁰ Pasternack, Hoch, 2010, p. 14

Dabei wurde zugleich der Schaft gestaucht und füllte so das Blechloch vollständig und kraftschlüssig aus. Das Nieten wurde zunächst als anstrengende Handarbeit von mehreren Arbeitskräften ausgeführt, bevor der Einsatz von hydraulischen Nietmaschinen (*Abb. 23, Abb. 22*) diesen Arbeitsvorgang erleichterte. Je nach Einbauort und Funktion wurde der Niet zwei verschiedenen Kategorien zugewiesen: Dem sogenannten Kraftniet, der primär zur Kraftübertragung von einzelnen Bauteilen bzw. Stäben diente (z.B. bei Gitterträgern), oder dem Heftniet, der flächige Bauteile aneinanderfügte (z.B. Bleche).³¹

Im Gasbehälterbau war der Niet ein fester Bestandteil der genieteten Blechkonstruktionen, die sowohl beim Führungsgerüst (z.B. bei der Stütze oder dem Träger), als auch beim Hubteil (z.B. bei der Kuppelkonstruktion oder den Kuppel-/ Mantelblechen) oder auch beim Wasserbecken eingesetzt wurde.

3.2. Die Schraube

Die Schraubverbindung kam überwiegend für Montagezwecke bei Eisenkonstruktionen und im Vergleich zum Niet eher seltener zum Einsatz; dies lag grundsätzlich am höheren Produktionspreis der Schraube und an der besseren Qualität und Sicherheit einer Nietverbindung bis ca. Mitte des 20. Jahrhunderts³². Aufgrund ihrer schnellen und einfachen Montage wurde die Schraube jedoch bevorzugt verwendet bei schwierigen Einbausituationen, großen zu verbindenden Blechstärken und bei Anschlüssen, die nachträglich noch justier- oder lösbar sein sollten.

Auch bei der Verbindung von einzelnen, gusseisernen Bauelementen wurde wegen dem spröden Materialverhalten fast ausschließlich die Schraube als Befestigungsmittel gewählt, da das Gusseisen bei dem Einhämmern des Nietvorgangs zu Bruch gegangen wäre.³³

Folglich wurde die Schraubverbindung im Gasbehälterbau vorrangig bei gusseisernen Bauteilen – wie z.B. bei gestoßenen, mehrteiligen Stützen (Old Kent Road – *Abb. 13*) bzw. Säulen (Swan Village – *Abb. 12*) – und bei der Montage angewendet.

31 Werner, Seidel, 1992, pp. 95–96

32 Pasternack, Hoch, 2010, p. 14

33 Werner, Seidel, 1992, pp. 102–103

4. Zusammenfassung – Eisen

Die fortschreitende Eisentechnologie legte einen wichtigen Grundstein für die Weiterentwicklung des Gasbehälterbaus im 19. Jahrhundert, dessen Konstruktion von kleinen, eher massiven Gefügen bis hin zu optimierten, weit aufragenden Strukturen reichte.

Insbesondere das Aufkommen des Schmiedeeisens – das die einteilig gegossenen durch mehrteilige, genietete Bauteile ersetzte – führte zu einer Wende im historischen Gasbehälterbau, die sich besonders am Führungsgerüst sichtbar machte. Letzteres entwickelte sich zum Charakteristikum des hydraulischen Gasbehälters.

Ob Hubteil, Führungsgerüst oder Wasserbecken, jeder Bestandteil vollzog eine individuelle, den Anforderungen entsprechende Optimierung durch den Einsatz von sich kontinuierlich verbessernden Eisenwerkstoffen:

- Beim Führungsgerüst wurden die gusseisernen Säulen, Stützen und horizontalen Träger durch genietete Blechträgerkonstruktionen (*Abb. 24*) ersetzt. Auf Grund der verbesserten Werkstoffeigenschaften konnten nun filigranere und größere Führungsgerüste gebaut werden.
- Auch die Hubteile profitierten von dieser Entwicklung: Mussten die ersten Hubteile noch mit schweren Unterkonstruktionen und den daraus erforderlichen Gegengewichten (*Siehe Kap. C.2.3.-3.*) ausgestattet werden, so ermöglichten die zunehmend besseren Eisenwerkstoffe die Entstehung von weit spannenden Kuppeltragwerken. Zudem war das Eisen bzw. die Eisenbleche ein essenzieller Werkstoff zur Verkleidung der Hubteile.
- Die Entwicklung des Eisens trat auch in der Baukonstruktionsgeschichte des Wasserbeckens zu Tage: Die gusseisernen Platten – verstärkt von schmiedeeisernen Ringankern – wurden schließlich durch genietete Blechen ersetzt.

Als der Scheibengasbehälter Anfang des 20. Jahrhunderts entstand und der Konstruktion durch die gegenwärtig existierenden Eisenwerkstoffe kaum Grenzen gesetzt schienen, blickte die Konstruktion des hydraulischen Gasbehälters bereits auf eine hundertjährige Entwicklungsgeschichte zurück, die von der Eisentechnologie nachhaltig geprägt war.

Aufgrund seiner Baukonstruktionsgeschichte kann der hydraulische Gasbehälter deshalb als Beispiel für die Entwicklung der Eisentechnologie im 19. Jahrhundert betrachtet werden.

Joists, Channels, Compound Girders, Angles, Bulbs, &c.,
To any Section in Iron or Steel.

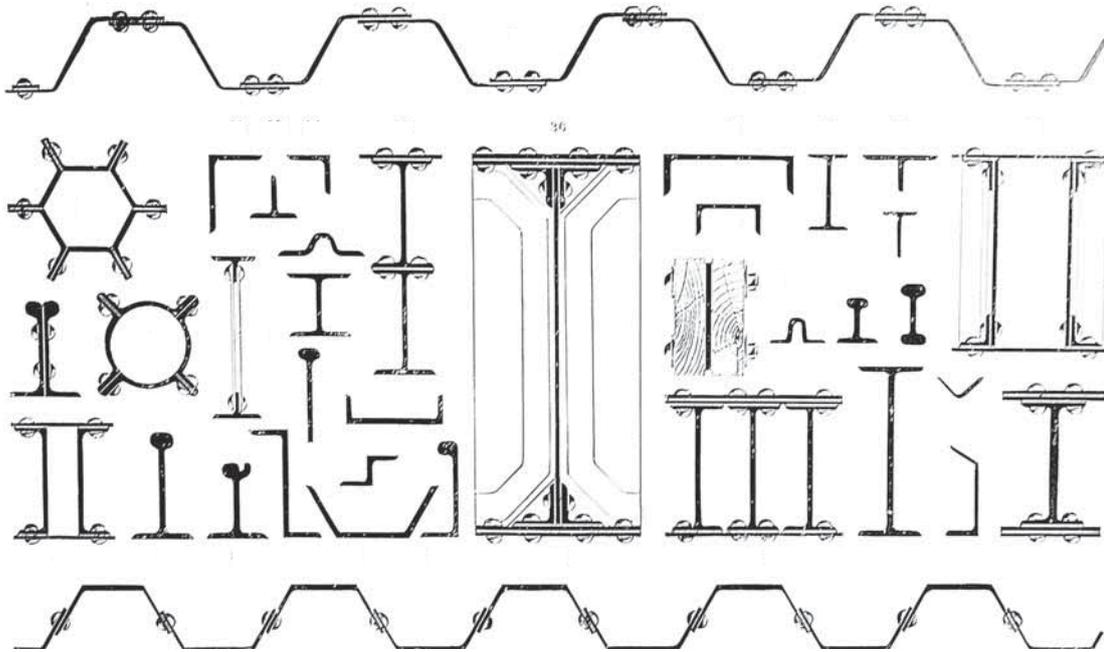


Abb. 24: Eisen-/ Stahlprofile um 1925 (Dempster, 1925, p. H103).

C.2. HYDRAULISCHER GASBEHÄLTER

C.2.1. EINLEITUNG

Die Baukonstruktionsgeschichte folgt bei dem Abschnitt HYDRAULISCHE GASBEHÄLTER einem dreiteiligen Aufbau: Hubteil, Führungsgerüst und Wasserbecken. Jedem Bestandteil wohnt eine individuelle Entwicklung von Form und Konstruktion inne, da sie jeweils unterschiedliche Anforderungen erfüllen mussten und dahingehend optimiert wurden.

Diese drei Bestandteile werden jeweils separat beleuchtet bezüglich deren konstruktiver Evolution, die durch die voranschreitende Eisentechnologie und die steigende Nachfrage vorangetrieben wurde, und geht dabei enzyklopädisch auf alle Einzelbauteile ein.

Das Kapitel HUBTEIL führt durch die verschiedenen Kuppel- und Mantelkonstruktionen, die Erweiterungstechnik des Teleskopierens bis zur Sonderform des fliegenden Hubteils.

Die Entwicklung vom einhübigen Glocken- zum mehrhübigen Teleskopgasbehälter erforderte nicht nur eine Anpassung der Hubteilkonstruktion, sondern auch die Aufstockung des FÜHRUNGSGERÜSTS. Letzteres vollzog unabhängig zur Hubteilanzahl eine kontinuierliche Weiterentwicklung vom einfachen Stützensgerüst, über das Rahmen- zum Verbandgerüst und verlieh dem hydraulischen Gasbehälter sein charakteristisches Erscheinungsbild.

Das WASSERBECKEN, dessen Positionierung von vollständig und teilweise versenkt bis zu freistehend variierte, durchlief verschiedene Formen, die vom Flachboden- und Kegelstumpfbecken zum Ringbecken, bis hin zu den Sonderformen des Wölbmantel- und Kugelbodenbeckens reichte.

Die gerüstlosen Gasbehälter, deren Führungstechnik kein feststehendes Gerüst mehr benötigte, und der Einsatz von Gasbehältergebäuden sind Sonderformen und werden in gesonderten Kapiteln behandelt.

Nachdem im Kapitel LONDON bereits die Entstehung von ersten Gasbehälterformen diskutiert wurde, knüpft das Kapitel der HYDRAULISCHEN GASBEHÄLTER an ein Entwicklungsstadium an, das im Wesentlichen durch zwei Eigenschaften geprägt ist:

- **Der zylindrische Gasbehälter**

Nachdem die ersten Gasbehälter rechteckig gebaut wurden, setzte sich ab 1815 allmählich die zylindrische Grundform durch. Diese reduzierte nicht nur den Materialaufwand, der durch die Biegebeanspruchung bedingt war, sondern umging auch die konstruktive Schwachstelle der rechteckigen Form – nämlich die Eckanschlüsse (*Siehe Kap. B.5.-2.4.*).

- **Der freistehende Gasbehälter**

Obwohl anfangs noch die Vorschrift bestand (*Siehe Kap. B.5*), neue Gasbehälter mit einem schützenden Bauwerk zu errichten, entwickelte sich ab 1817 der freistehende Gasbehälter zum Standard (*Siehe Kap. C.2.3.-3*).

Die Beispiele, die die Entwicklung der Baukonstruktionsgeschichte des hydraulischen Gasbehälters veranschaulichen, wurden nach unterschiedlichen Kriterien ausgewählt: Zum Einen werden Gasbehälter gezeigt, die sich erstmals neuartiger Techniken und Details bedienten, zum Anderen stellen diese v.a. besonders große oder ornamentreiche Beispiele für den jeweiligen Zeitraum dar.³⁴

³⁴ Ein weiterer Aspekt, der die Verfasserin zur Auswahl bestimmter Beispiele bewog, waren schlichtweg die vorhandenen Planunterlagen, die zur Erläuterung von Standardkonstruktionen verwendet wurden.

Kapitelübersicht und allgemeine Nomenklatur

Das Kapitel HYDRAULISCHE GASBEHÄLTER setzt sich entsprechend der Hauptbestandteile aus drei Blöcken zusammen: Hubteil, Führungsgerüst und Wasserbecken. Diese sind jeweils nach ihren verschiedenen konstruktiven und geometrischen Formen, sowie deren Einzelbauteilen (Siehe nebenstehende Seite) gegliedert.

HUBTEIL

- Flachdach (Siehe Kap. C.2.2.-4.2.)
- Kuppeldach, unterspannt (Siehe Kap. C.2.2.-4.3.)
- Kuppeldach, binderlos (Siehe Kap. C.2.2.-4.4.)
- Kuppeldach, gerippt (Siehe Kap. C.2.2.-4.5.)
- Stabwerkkupeel (Siehe Kap. C.2.2.-4.6.)

FÜHRUNGSGERÜST

- Stützengerüst (Siehe Kap. C.2.3.-5.)
- Rahmengerüst (Siehe Kap. C.2.3.-6.)
- Verbandgerüst (Siehe Kap. C.2.3.-7.)

WASSERBECKEN

- Flachbodenbecken (Siehe Kap. C.2.4.-4.1.)
- Kegelstumpfbecken (Siehe Kap. C.2.4.-4.2.)
- Kugelbodenbecken (Siehe Kap. C.2.4.-4.3.)
- Ringbecken (Siehe Kap. C.2.4.-4.4.)
- Wölbmantelbecken (Siehe Kap. C.2.4.-4.5.)

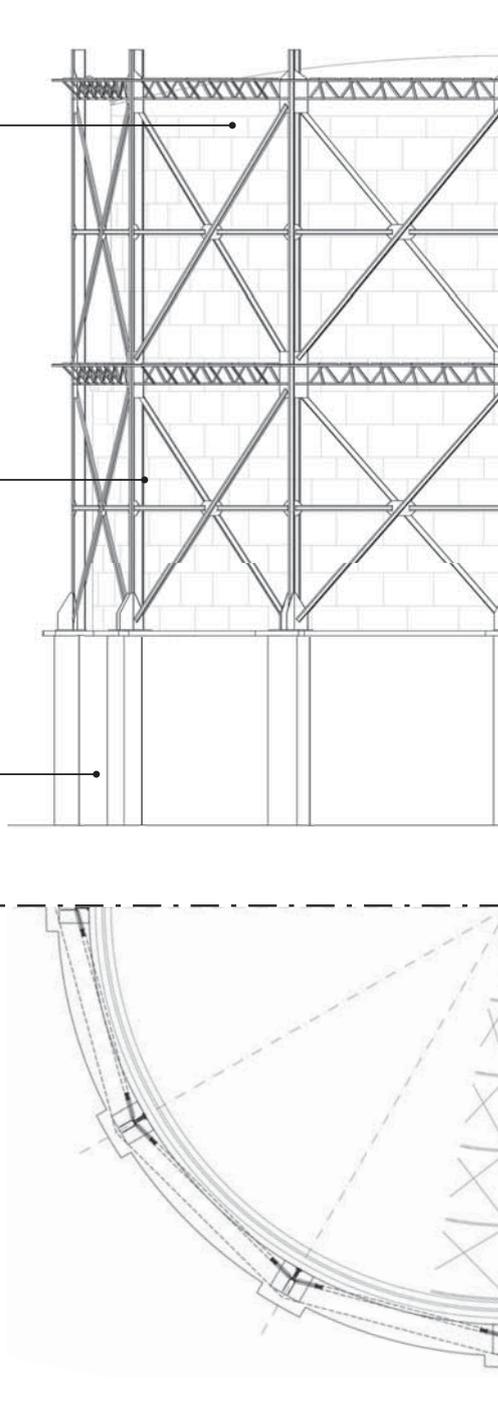


Abb. 25: Rekonstruktion von Gasbehälter VI, Venedig (Berger, Brenner, 2009, pp. 89-90).

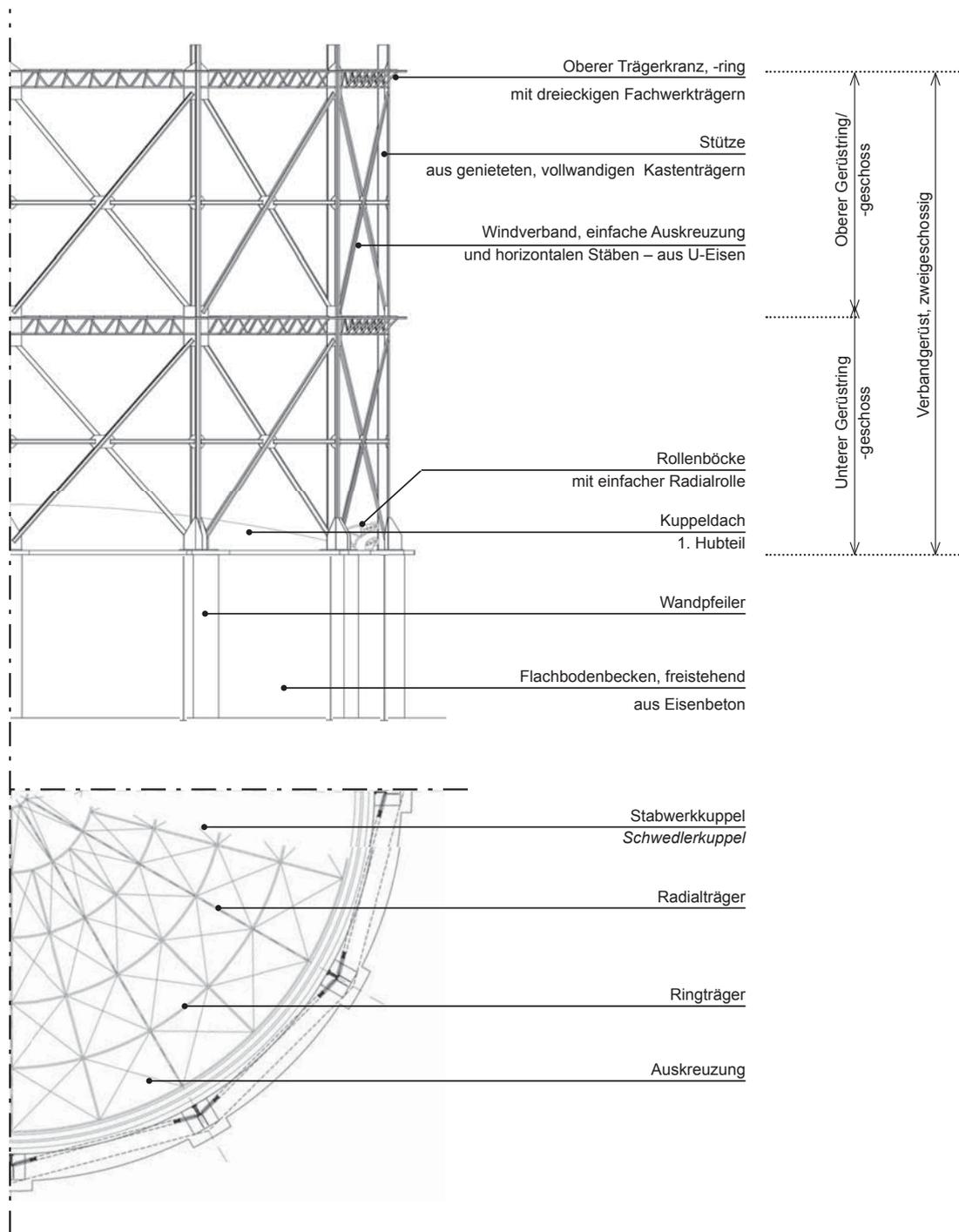


Abb. 26: Rekonstruktion von Gasbehälter VI, Venedig
 (Berger, Brenner, 2009, pp. 89-90).

C.2.2. HUBTEIL



Abb. 27: Überholungsanstrich einer Kuppel im 2. Weltkrieg in Cambridge (NGA, EM/ZP/CAM/E/F/1).

Das Hubteil – auch Glocke genannt – war der zentrale Bestandteil des Gasbehälters, der das Gas aufnahm und umhüllte; daher stellte das Hubteil den eigentlichen „Gas-Behälter“ dar. Der Glocken-gasbehälter verfügte nur über ein einziges Hubteil, die sich aus einem Zylinder und einem Flach- bzw. Kuppeldach zusammensetzte und über Rollen an das Führungsgerüst und das Becken angeschlossen wurde.

Mit der Einführung der Teleskopiertechnik wurde das einhübige zum mehrhübigen System erweitert und das Nutzvolumen vervielfachte sich jeweils um die Anzahl der Hubteile. Bei der Konstruktion eines Teleskopgasbehälters musste v.a. auf einen gasdichten und kraftschlüssigen Anschluss von zwei aufeinanderfolgenden Hubteilen geachtet werden – nämlich mit einer Hak- und Schöpftasse.

Die Kategorisierung der Hubteile erfolgt nach der Kuppelkonstruktion, die sich mit zunehmender Spannweite zu einem dominanten Bauteil entwickelte: Vom Flachdach zum Kuppeldach, das in unter-spannter, binderloser, gerippter Form sowie als Stabwerkkuppel zur Ausführung kam.

Das Kapitel HUBTEIL führt seinem Aufbau entsprechend von der Kuppel- und Mantelkonstruktion zu den Tassen- und Rollenanschlüssen. Abschließend wird die Sonderform des fliegenden Hubteils dargestellt – eine Erweiterungstechnik, die keines Gerüsts bedurfte.³⁵

35 Das fliegende Hubteil war die Grundlage zur Entstehung von gerüstlosen Gasbehältern, siehe *Kapitel C.2.2.-7.*

1. Überblick und Kategorisierung des Hubteils

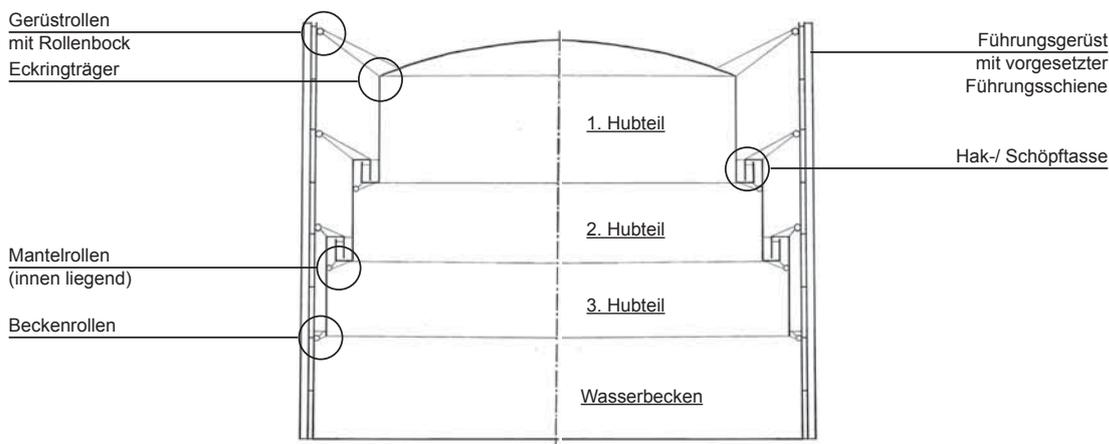


Abb. 28: Aufbau und Anschluss von Hubteilen (Schemaskizze, BB, 2016).

Die Baukonstruktionsgeschichte der Hubteile – insbesondere die der Kuppel – vollzog im Laufe des 19. Jahrhunderts eine weitreichende Entwicklung, die durch die steigende Gasnachfrage kontinuierlich angetrieben wurde. Daraus wurden immer größere Speicherbehältnisse notwendig, deren Konstruktion jeweils von den gegenwärtigen Werkstoffen und Bautechniken abhängig war.

Grundsätzlich war das Hubteil der zentrale Bestandteil des Gasbehälters, der das Gas aufnahm. Seine Grundform bestand aus einem Zylinder, der oberseitig mit einem Flach- bzw. Kuppeldach geschlossen war. Der Glockengasbehälter beschränkte sich auf ein einziges Hubteil, wohingegen der Teleskopgasbehälter (Abb. 28) für die Aufnahme von mehreren Hubteilen ausgelegt war. Letztere waren jeweils mit einer Hak- und Schöpftasse ausgestattet, die den Anschluss zum nächsten Hubteil herstellten. Über Rollen setzten die Hubteile an die Führungsschiene an, die wiederum am Führungsgerüst, den einzelnen Hubteilen und dem Wasserbecken befestigt war.

Die Kategorisierung der Hubteile folgt der Entwicklung der Kuppelkonstruktion (Tab. 5):

Nachdem die frühen Hubteile überwiegend mit einem **Flachdach** (Siehe Kap. C.2.2.-4.3.) ausgestattet waren, entwickelte sich schließlich das **Kuppeldach** zum Standardabschluss des Hubteils.

Die Kuppel, die während des Füllvorganges vom Gas selbst getragen wurde, benötigte v.a. im Leerstand eine Unterstützung – entweder als Kuppelkonstruktion oder als feststehende Stützkonstruktion im Wasserbecken. Die erste Konstruktionsform bildete das **unterspannte Kuppeldach** (Siehe Kap. C.2.2.-4.3.), dessen zentrales Bauteil – die Luftstütze – im Leerstand auf einer Beckenstütze auflag. Mit zunehmendem Hubteildurchmesser entwickelte sich diese Form von der einfachen und doppelten Unterspannung bis hin zur aufgelösten Unterspannung. Ende des 19. Jahrhunderts erreichte die unterspannte Kuppel derart große Spannweiten, die zu aufwendigen und schweren Konstruktionsgefügen führten. Deshalb wurde das sogenannte **binderlose Kuppeldach** (Siehe Kap. C.2.2.-4.4.) eingeführt, das – bis auf einen Eckringträger (Tab. 6) – auf den Einsatz von weiteren Bauteilen verzichtete. Die gewölbte Blechhaut benötigte aber im Leerstand ein flächiges Stützgerüst, auf dem sie sich formgetreu ablegen konnte. Diese beiden Konstruktionsformen – das unterspannte und binderlose Kuppeldach – waren die favorisierten Kuppelkonstruktionen in England.³⁶

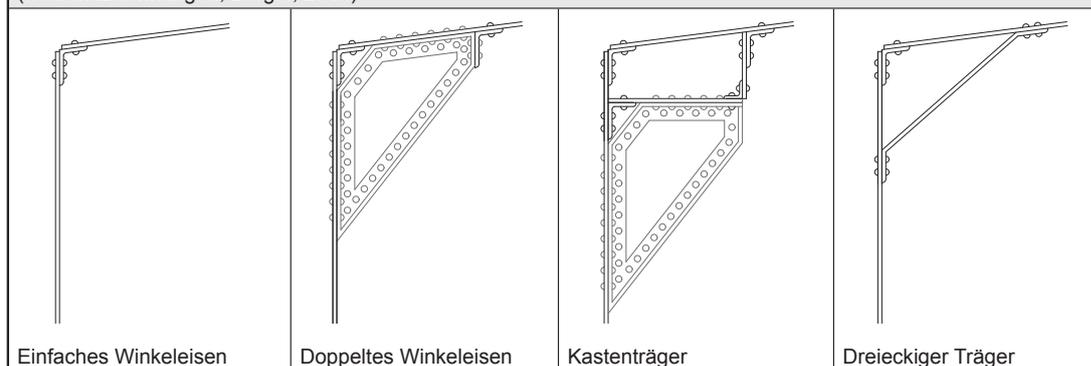
Eine weitere Kuppelkonstruktion, die aber bedeutend seltener eingesetzt wurde, war das **gerippte Kuppeldach** (Siehe Kap. C.2.2.-4.5.) von *Vitruvius Wyatt**, das keine aufwendigen Unterspannungen

³⁶ In England wurden die Kuppeldächer grundsätzlich in nur zwei Gruppen unterteilt: Kuppeln mit (eng.: „Trussed Crowns“) und ohne Kuppelkonstruktion (eng.: „Untrussed Crowns“) – siehe auch Anhang F.2. (Cripps, 1884, p. 1128; Hunt, 1900, p. 154).

Tab. 5: Kategorisierung der Hubteile – nach der Kuppelkonstruktion (Schemazeichnungen, Berger, 2016)		
Bauform	Beschreibung	Zeit
<p>a) Flachdach – mit Stützkonstruktion</p> <p>Stützkonstruktion</p>	<p>Horizontaler Abschluss des Hubteils. Ausführung mit Unterkonstruktion (gestrichelt) – und/ oder mit einer feststehenden Stützkonstruktion im Wasserbecken.</p>	<p>1813 – 1870</p>
<p>b) Kuppeldach, unterspannt – mit Beckenstütze</p> <p>Beckenstütze</p>	<p>Kuppeldach mit Unterspannung und zentraler Luftstütze. Ausführung möglich als – Einfache Unterspannung, – Doppelte Unterspannung, – Aufgelöste Unterspannung (Fachwerkträger). Für den Leerstand war eine zentrale Stütze im Becken erforderlich.</p>	<p>ab 1817</p>
<p>c) Kuppeldach, binderlos – mit Stützkonstruktion</p> <p>Stützkonstruktion</p>	<p>Kuppeldach <u>ohne</u> Unterkonstruktion. Das Gas übernahm die tragende Funktion. Für den Leerstand war eine feststehende Stützkonstruktion notwendig.</p>	<p>ab 1841</p>
<p>d) Kuppeldach, gerippt – mit Beckenstütze</p> <p>Beckenstütze</p>	<p>Kuppeldach mit Unterkonstruktion aus radialen und konzentrischen Rippen und Trägern. Für den Leerstand war eine zentrale Beckenstütze notwendig.</p>	<p>ab 1874</p>
<p>e) Stabwerkkuppel – selbsttragend (Schwedlerkuppel)</p>	<p>Kuppeldach mit Unterkonstruktion aus radialen und konzentrischen Trägern, sowie Auskreuzungen. Eine zusätzliche Stützkonstruktion war nicht mehr notwendig.</p>	<p>ab 1863</p>

Tab. 6: Konstruktion des Eckringträgers

(Schemazeichnungen, Berger, 2016)



benötigte; für den Leerstand war aber eine zentrale Beckenstütze erforderlich.

Die **Stabwerkku**pel (Siehe Kap. C.2.2.-4.6.) von *Johann Wilhelm Schwedler** perfektionierte schließlich den Konstruktionsgedanken Wyatts, indem er sie als freitragende, in sich steife Kuppel ausbildete, die im Leerstand gar keine Stützkonstruktion mehr benötigte. Dennoch setzte sich diese innovative Kuppelkonstruktion nicht im englischen Gasbehälterbau durch.

Der Anschluss von der Kuppel- zur Mantelkonstruktion erfolgte über den sogenannten **Eckringträger** (Siehe Kap. C.2.2.-4.8.), der auch zur Aufrechterhaltung der zylindrischen Form des Hubteils wesentlich beitrug (Tab. 6). Zudem unterstützte dieses Bauteil auch den Anschluss der Rollenböcke. Je nach Hubteilgröße und Kuppelkonstruktion wurde der Eckringträger als einfaches oder doppeltes Winkelleisen ausgeführt oder zum Kastenträger ausgebaut; seltener wurde der dreieckige Träger eingesetzt. Durch die Ergänzung von Ecksteifen wurde dieser Anschluss noch zusätzlich verstärkt. Wyatt gelang eine besonders elegante Lösung, indem er die Ecksteife als segmentförmigen Übergang vom Radialträger der Kuppelkonstruktion zum senkrechten Mantelständer ausbildete. Diesen Konstruktionsgedanken wendete er auch bei der Ecke selbst an, indem er diese abrundete.

Die **Mantelkonstruktion** (Siehe Kap. C.2.2.-5.) bestand aus senkrechten Mantelständern, die zwischen den oberen und unteren Ringträger gesetzt wurden. Bei der mehrhübrigen Ausführung übernahmen die Hak- und die Schöpftasse die Funktion des Ringträgers und die Mantelständer des ersten Hubteils waren stärker bemessen als die unteren.

Je nach Hubteilgröße wurden die Mantelständer als einfaches Winkel-, U- oder T-Eisen – ggf. mit Unterspannung, als Holzständer oder als genietete Blechträgerkonstruktion ausgeführt; teilweise kamen auch schienenförmige Querschnitte oder Trogeisen zum Einsatz. Die Mantelständer der unteren Hubteile wurden häufig mit U-Eisen erstellt, weil sich dieser Querschnitt zugleich als Schiene für die innen liegenden Mantelrollen eignete³⁷. Der untere Mantelabschluss, also der Ringträger des letzten Hubteils stabilisierte die kreisrunde Form und nahm gleichzeitig die Beckenrollen auf (Siehe folgende Seite).

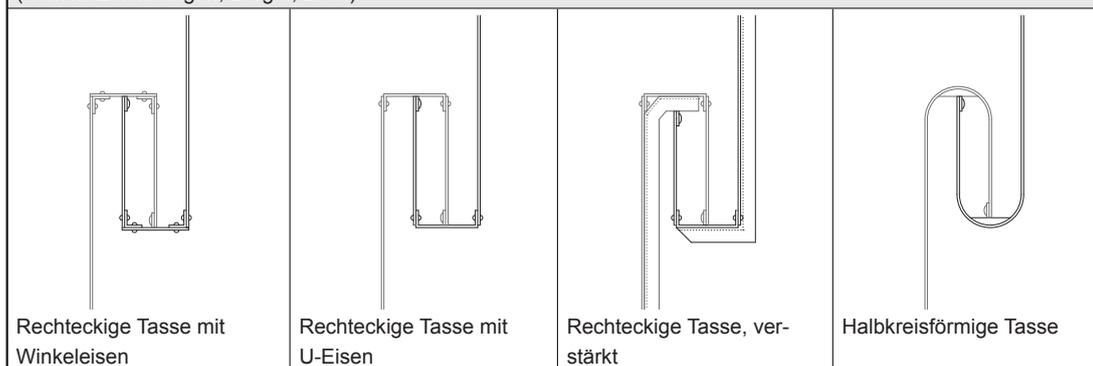
Die Einführung der **Teleskopiertechnik** von *William Tait** (Siehe Kap. C.2.2.-6.) ermöglichte den Bau von mehrhübrigen Gasbehältern, die bei gleichbleibender Grundfläche die doppelte, dreifache, usw. Speicherkapazität aufnehmen konnten als der konventionelle, einhübrige Gasbehälter. Mit dieser neuen Technik ging eine Erweiterung und zugleich Optimierung der Hubteilkonstruktion einher – nämlich in Form von Tassen.³⁸

³⁷ Herring, 1893, p.264; Hunt, 1900, p. 157

³⁸ Newton, 1824; pp. 305–307; Hoffmann, 1845, pp. 54–55

Tab. 7: Konstruktion von Hak- und Schöpftasse

(Schemazeichnungen, Berger, 2016)



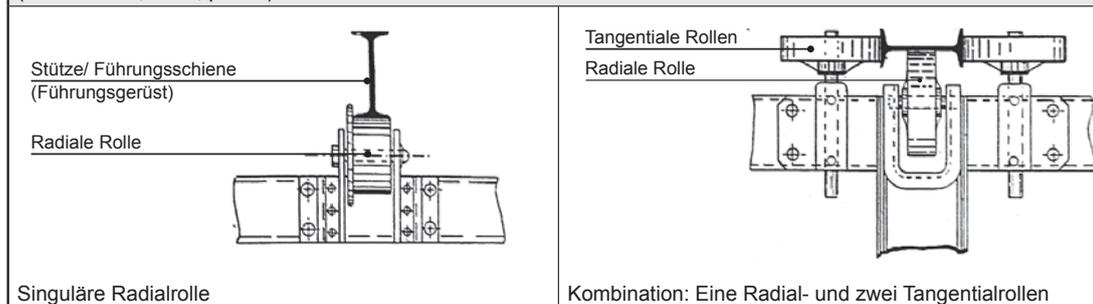
Die Teleskopiertechnik wurde auch bei der Erweiterung bestehender Gasbehälter angewendet.

Die **Hak- und Schöpftassen** (Siehe Kap. C.2.2.-6.3.) stellten das Schlüsseldetail der Hubteilkonstruktion dar (Tab. 7), da sie die Anforderungen zu Stand- und Betriebssicherheit erfüllen mussten – nämlich ein kraftschlüssiges Verhaken der Hubteile untereinander und eine ausreichende Wasseraufnahme, die für einen gasdichten Abschluss notwendig war (Siehe Kap. B.4.). Parallel zur Kuppel- und Mantelkonstruktion unterlag auch der Tassenanschluss einem kontinuierlichen Optimierungsprozess: Die Tassenform war rechteckig und bestand zunächst aus Blechstreifen und Winkelisen; letztere wurden später durch U-Eisen ersetzt³⁹. Eine Alternative zu diesem Konstruktionsgefüge stellte um 1865 die halbkreisförmige Tasse von *George Piggott** dar⁴⁰, die ihre Form durch das Umbiegen der Mantelbleche erlangte.

Die Führung der Hubteile erfolgte über **Rollen** (Siehe Kap. C.2.2.-6.4.) entlang senkrechter Schienen, die an einem feststehenden Gerüst befestigt waren. Die Laufrichtung war überwiegend radial – der Radiuslinie des Hubteils folgend. Ende des 19. Jahrhunderts wurden die Radialrollen von großen, mehrhubigen Gasbehältern mit zwei Tangentialrollen⁴¹ erweitert, die jeweils senkrecht an die Schienenseiten ansetzten (Tab. 8).

Tab. 8: Rollenordnung

(nach Meade, 1916, p. 427)



39 JGL-53, 1889, p. 535

40 Livesey, 1889, p. 493

41 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 189; Hunt, 1900, p. 157

Je nach Einbauort wurden die Rollen verschiedenen Gruppen zugewiesen (*Abb. 28*): Die Gerüstrollen – die sich auf der Oberkante der Hubteile befanden und sich ausschließlich im Gerüstbereich bewegten – und die Beckenrollen – die an der Unterkante des letzten Hubteils positioniert waren und das Wasserbecken in der Regel nicht verließen. Die dritte Gruppe umfasste die Mantelrollen, die das Ein- und Ausfahren der Hubteile untereinander stabilisierten; diese Rollen waren direkt auf der Hak- und Schöpftasse angebracht.

Die Lager der Gerüstrollen wurden auf einer Bockkonstruktion und die der Becken- und Mantelrollen an Winkel- oder U-Eisen befestigt. Je mehr Hubteile ein Gasbehälter aufnahm, desto größer fielen v.a. die Bockkonstruktionen der Gerüstrollen aus.

Eine Ausnahme zu den sogenannten Gerüstgeführten Hubteilen stellten die **fliegenden Hubteile** (*Siehe Kap. C.2.2.-7.*) dar, die sich über das bestehende Führungsgerüst hinweg hoben.

Nachdem *George Thomas Livesey** das erste Hubteil 1887 ohne jegliche Führungstechnik erfolgreich realisierte, folgte die Seilgeführte Variante von *Edward Lloyd Pease** und das spiralgeführte Pendant von *William Gadd** und *William F. Mason** (*Abb. 29*).

Die Einführung der fliegenden Hubteile legte den Grundstein für die Entstehung der gerüstlosen Gasbehälter (*Siehe Kap. C.2.6.*).

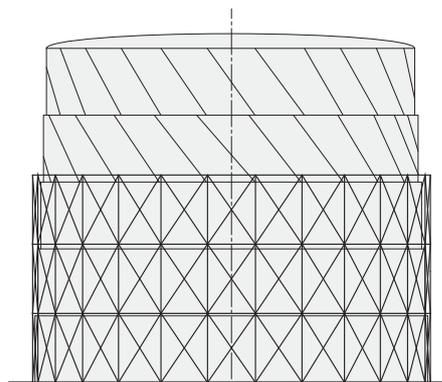


Abb. 29: Zwei fliegende Hubteile – spiral geführt, Bromley-by-Bow, London (Schema, BB, 2016).

Auch wenn das Hubteil den eigentlichen „Gasbehälter“ darstellte und diesem Bestandteil große Sorge getragen wurde ob seiner Stand- und Betriebssicherheit, so war doch dem Führungsgerüst (*Siehe Kap. C.2.3.*) ein weitaus größeres Gefahrenpotenzial beizumessen.⁴²

Insgesamt zeichnete sich an der konstruktiven Evolution des Hubteils das Voranschreiten der Eisen-technologie des 19. Jahrhunderts ab.

42 Pease, 1896, p. 60

2. Anforderungen

Die Hubteile waren im Vergleich zum feststehenden Führungsgerüst und dem Wasserbecken ein kinematisches Bauteil, das folgende Anforderungen erfüllen musste:

Einwirkende Kräfte:

- Gasdruck: Das Gewicht der Hubteilkonstruktion hatte einen direkten Einfluss auf den Betriebsdruck, der wiederum auf die Mantel- und Kuppelflächen ausgeübt wurde.
- Wind: Mit steigendem Speicherinhalt nahmen die Hubteilgröße sowie die Hübigkeit zu, sodass sich auch die vertikalen Windangriffsflächen vergrößerten.
- Schnee und Regen: Ungleichmäßige Schnee- oder Wasseransammlungen auf der Kuppel gefährdeten deren Stand- und Betriebsicherheit.

Die Kräfte, die von außen auf die Hubteile einwirkten, wurden allein über die Rollen an das Führungsgerüst übertragen.⁴³

Wichtige Anschlussdetails:

- Eckringträger – Anschluss von Kuppel und Mantel.
- Tassenanschluss – bestehend aus Hak- und Schöpftasse.
- Rollenanschluss – in Form von Gerüst-, Becken- und Mantelrollen.
- Unterer Mantelabschluss bzw. Ringträger.
- Stützkonstruktion – je nach Kuppelkonstruktion war eine feststehende Stützkonstruktion oder eine zentrale Stütze im Wasserbecken erforderlich, die die Kuppelform im Leerstand aufrecht erhielt.

Betrieb und Wartung:

- Gasdichte Ausführung: Die Innenflächen waren mit einer flächigen Abdichtungsschicht zu versehen.
- Korrosion: Durch das wiederkehrende Ein- und Austauchen der Hubteile aus dem Wasser waren besonders die Mantelflächen anfällig für Korrosion. Um derartige Schäden zu vermeiden, galt es regelmäßige Überholungsanstriche auszuführen.
- Heizung: In den Wintermonaten mussten die wassergefüllten Schöpftassen – sowie das Becken (*Siehe Kap. C.2.4.*) beheizt werden.⁴⁴
- Wartung: In der Kuppelhaut waren Revisionsöffnungen – sogenannte Mannlöcher – vorzusehen, die sich direkt oberhalb der Gaszu- und -ausfuhrrohre befanden.

Das Kapitel HUBTEIL zielt auf die Analyse von Form und Konstruktion ab. Die Grundzüge der einwirkenden Kräfte, deren Einleitung und Abtragung sind in den Konstruktionsbeschreibungen enthalten und sind nicht Schwerpunkt dieser Arbeit. Sämtliche anlagen- und sicherheitstechnische Ausstattungen des Hubteils wie Revisionsöffnungen, Beheizung der Tassen oder Geländer wurden nicht weiter berücksichtigt.

43 Weiterführende Fachliteratur zu einwirkenden Kräften und Bemessung von Hubteilen: Peckston, 1819, pp. 225–226; Newbigging, 1870, pp. 30–36; Cripps, 1884, pp. 1128–1133; Cripps, 1889, pp. 9–13; Herring, 1893, pp. 267, 270; Meade, 1916, pp. 441–444; Monnier, Thibaudet, 1881, pp. 562–563.

44 Weiterführende Literatur zum Beheizen siehe Wehrmann, 1954, pp. 61–68.

3. Nutzvolumen und Proportion eines Hubteils

Die erste Planungsphase eines Gasbehälters zielte weniger auf diesen als Gesamtbauwerk ab, sondern auf zwei grundlegende Eigenschaften des Hubteils:

- Das Nutzvolumen⁴⁵, das vom Hubteil aufzunehmen war,
- Die Proportion des Hubteils.

Diese beiden Faktoren bestimmten die Grundform des Hubteils, die zugleich die Basis für die Planung von Wasserbecken und Führungsgerüst darstellte.⁴⁶

Nutzvolumen

Der Bemessung des Nutzvolumens lagen die Variablen Zeit, Verbrauch und Bedarf zugrunde, die sich im Laufe des 19. Jahrhunderts durch die ansteigende Nachfrage veränderten.

Die Kapazität des Gasbehälters wurde grundsätzlich von dem Tagesbedarf bestimmt. 1817 waren z.B. für eine vierstündige Gasbeleuchtung ca. 126m³ Gas notwendig. Bei einer Beleuchtung von acht bis zehn Stunden musste der Gasbehälter nur für ca. fünf Stunden bemessen werden, da während dem Verbrauch des vorrätigen Gases die restliche Menge produziert wurde. Ab einer Kapazität von 474m³ wurde die kostenintensivere Ausführung von zwei Gasbehältern in Erwägung gezogen.⁴⁷

Ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde die Gesamtkapazität eines Gaswerks durch die maximale Gaserzeugung binnen 24 Stunden festgelegt; diese Gasmenge wurde, je nachdem wie hoch der Wert ausfiel, auf einen oder mehrere Gasbehälter verteilt.⁴⁸

Proportion

Neben der nachgefragten Gasmenge spielte das Verhältnis von Höhe zu Durchmesser eine wichtige Rolle bei der Planung eines Hubteils. Nachdem die frühen Hubteile meist einen recht hohen Mantel hatten, wie z.B. Prechtl, 1817 in einem Verhältnis von 2:3 beschrieb⁴⁹, so senkte sich die Höhe mit zunehmendem Volumen und voranschreitender Technik (*Siehe Kap. B.4.-2.*)⁵⁰

Anfang des 20. Jahrhunderts waren nach Meade die meisten Hubteile so geplant, dass deren Höhe ein Viertel bis ein Fünftel des Durchmessers betrug; dies entsprach den Vorgaben Cripps', nach denen das Verhältnis von Durchmesser zu Höhe ein Siebtel nicht unterschreiten sollte.⁵¹

Bei schlechten Baugrundverhältnissen wurden die Hubteile von Teleskopgasbehältern teilweise sehr flach gebaut. 1852 wurde beispielsweise in Rotherhithe, London ein dreihübiger Gasbehälter errichtet, dessen Hubteile auf einem Verhältnis von fast 1:10 basierten (*Siehe Kap. C.2.2.-6.2.2.*)⁵²

45 Bei dem Nutzvolumen wurde der Flächeninhalt des Kugelsegments nicht berücksichtigt, da diese Gasmenge das Hubteil nie verließ (Meade, 1916, p. 425).

46 Von weiteren Faktoren – wie von außen einwirkende Kräfte – wird an dieser Stelle abgesehen. Zur Größenbemessung von Gasbehältern im 20. Jahrhundert in Deutschland siehe Wehrmann, 1954, pp. 13–21.

47 Prechtl, 1817, pp. 78–81

48 Hughes, 1853, pp. 194–195; Newbigging, 1870, p. 28
Anfang des 20. Jahrhunderts empfahl Milbourne die Kapazität eines Gaswerks um 50 bis 75% des Tagesbedarfes zu erhöhen (Milbourne, 1923, p. 5).

49 Prechtl, 1817, p. 79

50 Vergl. auch Tabor, 1822, pp. 457–458

51 Meade, 1916, p. 426

52 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 176

4. Flachdach und Kuppeldach

Der obere Abschluss des Hubteils entwickelte sich vom Flachdach zum Kuppeldach; letzteres setzte sich ab Mitte des 19. Jahrhunderts endgültig als Standard durch. Die verschiedenen Kuppelkonstruktionen – die zugleich das Charakteristikum für die Hubteilkategorien darstellen (s.o.) – werden in diesem Kapitel einzeln aufgeführt und hinsichtlich Aufbau und möglichen Variationsformen beleuchtet. Neben den Kuppelblechen wird abschließend ein zentrales Bauteil aufgeführt, das allen Konstruktionsformen gemein war – der sogenannte Eckringträger.

4.1. Bauteilspezifische Anforderungen

Das Kuppeldach, war ein sehr verformungsempfindliches Bauelement des Hubteils. Der Stich des Kuppeldachs spielte eine entscheidende Rolle; je größer der Stich war, desto formstabiler war die Kuppel⁵³. Eine zu flache Kuppel konnte zu Wasseransammlungen im Scheitelpunkt führen, die wiederum eine Druckerhöhung⁵⁴ und Verformungen bewirkten (Abb. 30-B).

Die Ermittlung des Kuppelstichs war durch verschiedene Ansätze möglich:

- Die optimale Stichhöhe ergab nach W. Brodie, 1880 die Multiplikation des geplanten Durchmessers mit dem Faktor 0,04425.⁵⁵
- Im King's Treatise, 1879 wurde das Verhältnis von Stich zu Durchmesser mit 1 : 20 empfohlen⁵⁶, das bis in das 20. Jahrhundert weiter Verwendung fand. Nach Meade, 1916 lag ein ideales Verhältnis im Bereich von 1 : 15 (eher selten) und 1 : 20. Bei binderlosen Kuppeln (Siehe Kap. C.2.2.-4.4.) wurde der Stich teilweise noch zusätzlich erhöht⁵⁷.

Während der Gaszufuhr wurde das Flach- bzw. Kuppeldach primär vom Gas selbst getragen. Im Leerstand war hingegen eine Stütz- oder Kuppelkonstruktion erforderlich (Siehe Kap. C.2.2.4.4.2.):

- **Gasdruck** – Solange die Hubteile mit Gas gefüllt waren, übernahm der Gasdruck die tragende Funktion und hielt die Kuppelform stabil; etwaige Unterkonstruktionen verloren ihre Funktion und führten zu unnötigem Gewicht.
- **Stütz- oder Kuppelkonstruktion** – Im Leerstand setzten sich die Hubteile am Beckenboden ab und die Kuppel hatte durch den fehlenden Gasdruck keine Unterstützung mehr. Deshalb war eine Kuppelkonstruktion – je nach Form mit oder ohne feststehender Stützkonstruktion im Becken – erforderlich, damit sich die Kuppelhaut nicht nach unten verformte⁵⁸. Eine wichtige Funktion kam dem Eckringträger zu, der den Anschluss von Kuppel, Mantel sowie den Rollenböcken (Siehe Kap. C.2.2.-6.4.) und der Bleche darstellte. Falls dieser unzureichend bemessen war, konnte dies zu Verformungen entlang des Kuppelrandes führen (Abb. 30-C), was zur Folge hatte, dass die Rollen den Kontakt zur Führungsschiene verloren⁵⁹.

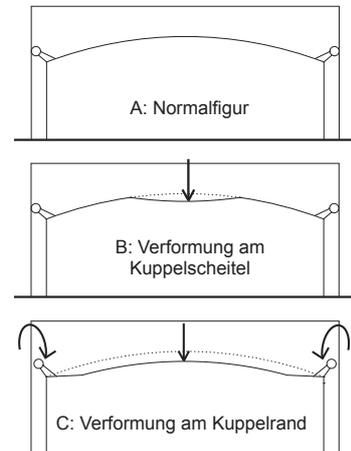


Abb. 30: Normalfigur und mögliche Verformungen der Kuppel (Schemata, BB, 2016).

53 Cripps, 1889, p. 84; Hunt, 1910, p. 157; Meade, 1916, p. 426

54 Peckston, 1819, p. 257

55 JGL-35, 1880, p. 925

56 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 110

57 Meade, 1916, p. 426

58 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 111, Meade, 1916, p. 446

59 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 110

Anm. d. Verfasserin: Auf weitere mögliche Verformungsschäden der Kuppel wird an dieser Stelle verzichtet. Die aufgeführten Beispiele sollen exemplarisch zeigen, wie sich aufgetretene Schadensbilder auf die Weiterentwicklung der Kuppelkonstruktion ausgewirkt haben.

4.2. Flachdach

In den ersten Jahren des Gasbehälterbaus bestand der obere Abschluss des Hubteils in der Regel aus einem Flachdach ⁶⁰.

Dieses wurde bei kleineren Hubteilen meist verstärkt und bei größeren Durchmessern komplett binderlos ausgeführt.

Verstärktes Flachdach

Bei frühen Hubteilen, die über eine zentrale Aufhängung mit Gegengewichten angeschlossen waren, war eine Unterkonstruktion des Flachdachs erforderlich ⁶¹:

Peckston beschrieb 1819 z.B. ein Hubteil mit einem Flachdach (Abb. 31) ⁶², das mit Trägern und einem zentral angeschlossenen Gegengewicht ausgestattet war. Letzteres diente auch zur Aufhängung des Dachs, wenn der Gasbehälter leer war.

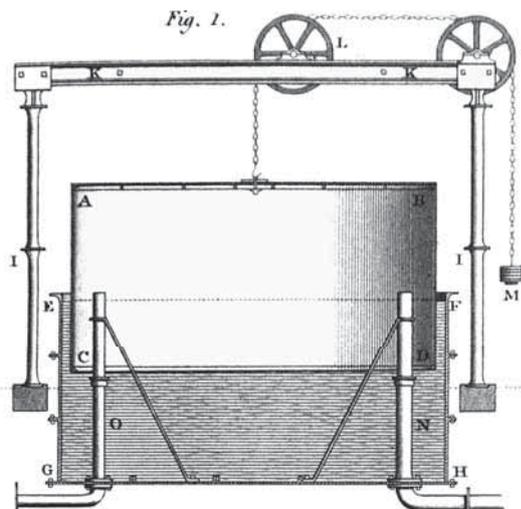


Abb. 31: Zylindrischer Gasbehälter mit verstärktem Flachdach (Peckston, 1819, Plate IX).

Binderloses Flachdach

Als die zentrale Aufhängung des Hubteils allmählich von verbesserten Führungs- und Bautechniken ersetzt wurde (Siehe Kap. C.2.3.-3.), entfiel auch die Verstärkung des Flachdachs. Folglich setzte sich dieses lediglich aus den vernieteten Blechen sowie einem äußeren Eckringträger zusammen; zudem war eine flächige Stützkonstruktion im Becken notwendig (Siehe Kap. C.2.2.-4.3.), auf die sich das Flachdach im Leerstand ablegen konnte.

1829 wurde beispielsweise auf dem Gaswerk in Fulham, London ein Gasbehälter (D= 15,20m; T= 5,50m) mit einem binderlosen Flachdach errichtet (Abb. 32), das nur mit wenigen radial angeordneten Verstrebungen ausgesteift wurde. ⁶³

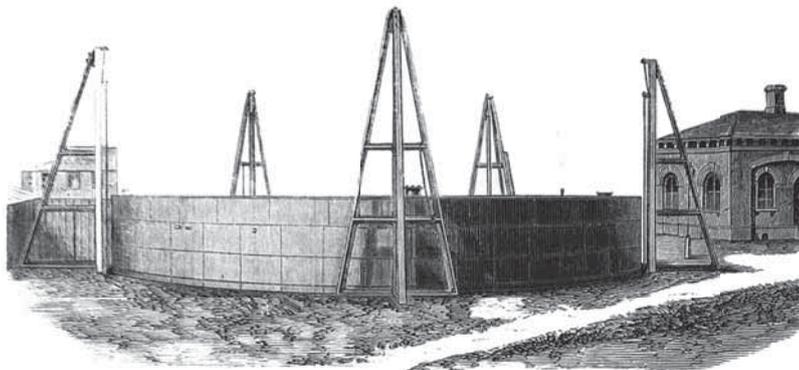


Abb. 32: Flachdachabschluss eines Hubteils von 1829 in Fulham, London (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 117).

⁶⁰ Teilweise wurden das Flachdach mit einem leichten, zur Mitte ansteigenden Gefälle versehen, sodass das Dach viel mehr zu einem flachen Kegeldach modifiziert wurde (Accum, 1819, p. 176).

⁶¹ Siehe hierzu auch Cleggs erste Glockenkonstruktionen (Siehe Kap. B.5.-2.2).

⁶² Peckston, 1819, p. 253

⁶³ Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 117

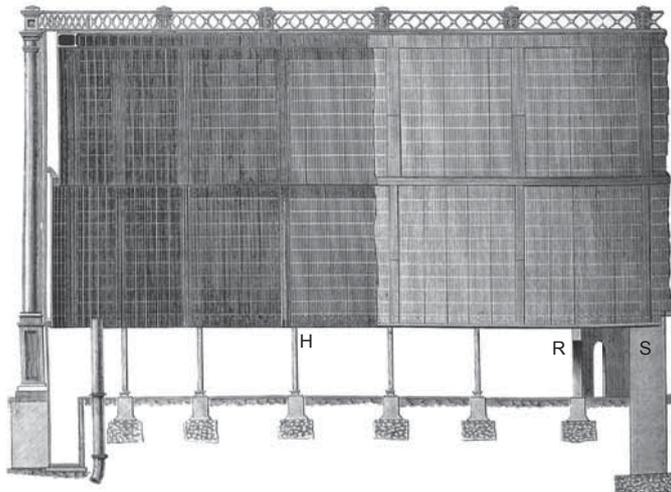


Abb. 33: Zweihübiger Gasbehälter mit Flachdach in Westminster – halbe Schnittdarstellung (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 104).

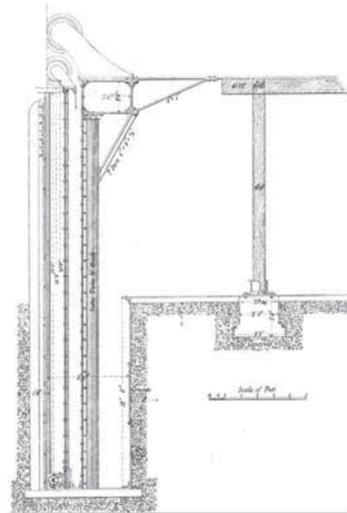


Abb. 34: Eckringträger der Flachdach in Westminster (Clegg, 1866, Plate XXVII).

Das binderlose Flachdach wurde auch bei Teleskopgasbehältern eingesetzt; bei den zunehmenden Hubteildurchmessern war v.a. der Ausbildung des Dachrandes sowie dem Eckringträger große Bedeutung zuzumessen (Siehe Kap. C.2.2.-4.8.).

Nach den Plänen von *Alexander Croll** entstanden um 1850 vier zweihübige Teleskopgasbehälter ($V=11.327\text{m}^3$) in Bow Common, London, die jeweils mit einem Flachdach ($D=30,89\text{m}$) ausgeführt waren. Der Anschluss von Dach und Mantel erfolgte lediglich über einen Ringträger aus Winkeleisen ($b/h=127/127\text{mm}$; $t=16\text{mm}$).⁶⁴

*Frederick John Evans** plante um 1865⁶⁵ ein binderloses Flachdach ($D=60,35\text{m}$) für einen Teleskopgasbehälter ($V=42.475\text{m}^3$) für das Gaswerk Westminster in London (Abb. 33, Abb. 34). Der Eckringträger bestand aus einer genieteten Kastenkonstruktion, die beidseits mit zusätzlichen Diagonalen verstärkt wurde. Die Kuppelbleche wurden durch radial verlaufende Flacheisenstreifen verstärkt. Im Leerstand wurde das Flachdach von einer Stützkonstruktion aus Holzstützen (H), einem Mauerring (R) – der mit Rundbogenöffnungen durchsetzt war – und einer zentralen, gemauerten Stütze (S) getragen.⁶⁶

Obwohl sich das aufkommende Kuppeldach (Siehe folgendes Kapitel) zum favorisierten Abschluss für größere Glocken- und Teleskopgasbehälter entwickelte, wurde das binderlose Flachdach noch vereinzelt bis Ende des 19. Jahrhunderts ausgeführt⁶⁷; wie z.B. 1891 bei einem vierhübigen Gasbehälter ($V=212.376\text{m}^3$) in Kensal Green⁶⁸.

64 Hughes, 1853, pp. 224–225; Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 126–127

65 Clegg, 1866, p. 252

66 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 106, 145. – Zur Beckenkonstruktion siehe Kapitel C.2.4.-4.4.1.

67 JGL-26, 1875, p. 612

Es war erstaunlich, wie lange sich diese Abschlussform bewähren konnte. Livesey behalf sich mit eher einfachen Argumenten wie „(...) they always have been so made (...)“ und „(...) it is supposed to be easier to construct the timber framing (...) of a flat than a domed shape.“ (JGL-26, 1875, p. 612).

„(...) diese wurden immer so gemacht (...)“ und „(...) es ist vermutlich einfacher eine hölzerne Stützkonstruktion für ein Flachdach zu bauen (...), als ein Kuppeldach.“ – (Übers. d. Verfasserin)

68 Sturt, 1980, p. 22.

4.3. Kuppeldach mit Unterspannung



Abb. 35: Luftstütze einer unterspannten Kuppel in Mailand (AEM, o. J.).

Das Flachdach wurde im Laufe der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts fast vollständig von dem Kuppeldach abgelöst, da sich dessen gewölbte Form positiv auf die Lastabtragung auswirkte⁶⁹. Die Kuppeldächer wurden zunächst mit einer **Unterspannung** konstruiert⁷⁰. Das zentrale Bauteil war eine Luftstütze (Abb. 35), die direkt unter dem Kuppelmittelpunkt angeordnet und radial zum Eckringträger der Kuppel abgespannt war. Nach Brodie ergab sich die optimale Höhe der Luftstütze aus dem dreifachen Stich der Kuppel⁷¹. Zur Verstärkung der Kuppelhaul waren radiale und konzentrische Träger direkt an der Kuppelunterseite angebracht.

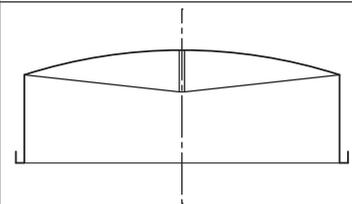
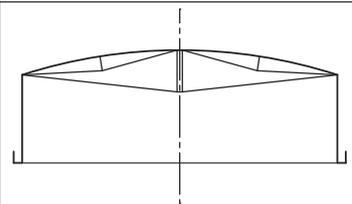
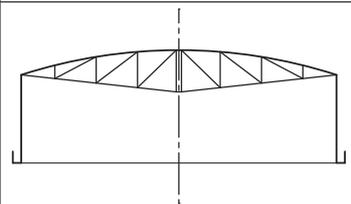
Im Leerstand benötigte die Luftstütze ein Auflager im Wasserbecken, auf das es sich absetzen konnte – dies erfolgte entweder über einen Kegelstumpf und/ oder eine zentrale Stütze (Siehe Kap. C.2.4.-4.2.).

Dieses Kapitel erläutert die Entwicklung des unterspannten Kuppeldachs, das mit zunehmendem Durchmesser als einfache, doppelte oder als aufgelöste Form und schließlich auch als Fachwerkträger ausgeführt wurde (Tab. 9).

69 JGL-40, 1882, p. 172; Cripps, 1889, p. 84

70 Schwedler bezeichnete diese Tragsysteme als sogenanntes „Spannstangensystem“ (Hertwig, 1930, p. 92).

71 JGL-35, 1880, p. 925

Tab. 9: Formen von unterspannten Kuppeldächern (Schemazeichnungen, Berger, 2016)		
Einfache Unterspannung	Doppelte Unterspannung	Aufgelöste Unterspannung – Fachwerkträger (Sonderform)
		
Unterspannte Luftstütze	Unterspannte Luftstütze <u>und</u> unterspannter Radialträger	Gemeinsame Unterspannung von Luftstütze und Radialträger

4.3.1. Einfache Unterspannung

Eine frühe Konstruktionsform des Kuppeldachs fußte auf dem Prinzip der einfachen Unterspannung: Diese setzte sich aus einer zentralen, abgespannten Luftstütze und radialen Trägern entlang der Kuppelhaut zusammen.

*John Malam** bediente sich 1817 dieser Konstruktionsform bei einem zentral-geführten Hubteil ($V= 425\text{m}^3$; *Siehe Kap. C.2.3.-3.2.*), um die bisherigen, schweren Kuppelkonstruktionen einschließlich deren Aufhängungsvorrichtungen zu umgehen (*Abb. 36*): Die Höhe der Luftstütze – bestehend aus einem Führungsrohr, entsprach in diesem Fall der Gesamthöhe des Hubteils und wurde im oberen Drittel zum Eckringträger hin aufgehängt.⁷²

Die einfache Unterspannung wurde wohl nur über einen kürzeren Zeitraum und bei wenigen, kleineren Kuppeldächern angewendet, war aber ein Wegbereiter der doppelten Unterspannung.

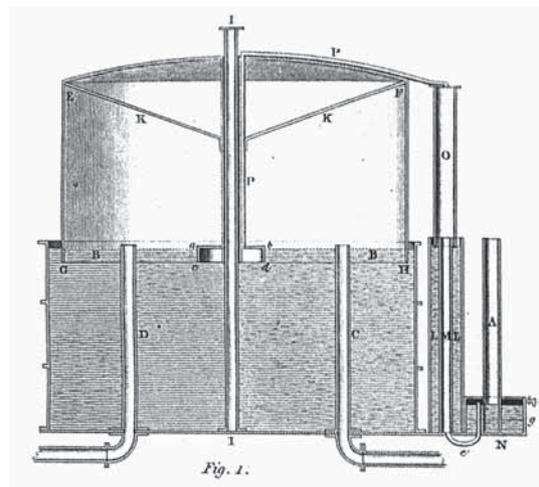


Abb. 36: Malams Gasbehälter mit einfach unterspannter Kuppel (Peckston, 1819, Plate XI).

4.3.2. Doppelte Unterspannung

Mit zunehmender Spannweite war neben der Unterspannung der Luftstütze auch eine Unterstützung der Radialträger erforderlich, was zur Erweiterung des Systems von der einfachen zur doppelten Unterspannung führte.

Der Aufbau des unterspannten Radialträgers war im Vergleich zur Luftstütze unterschiedlich möglich: Das Kuppeldach eines kleineren Hubteils ($D= 12,19\text{m}$; $H= 4,57\text{m}$) wurde mit einer Unterspannung ausgeführt (*Abb. 37*)⁷³, die primär zur Aufhängung der Luftstütze ($h= \text{ca. } 1,50\text{m}$) diente, aber zugleich Teil der Unterspannung des radialen Kuppelträgers war. Letztere wurde noch mit einem diagonalen und vertikalen Stab ergänzt. Die Radialträger wurden insgesamt mit drei Ringträgern gekoppelt. Im Leerstand diente eine niedrige, zentrale Stütze aus Mauerwerk als Auflager für die Kuppel.

⁷² Peckston, 1819, pp. 254–257; Hunt, 1900, p. 154

⁷³ Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 119–120. – Zur Beschreibung des Beckens siehe auch *Kapitel C.2.4.-4.3.1.*

Eine Kuppel mit ungefähr doppelt so großem Durchmesser ($D= 25,60\text{m}$; $H= 6,71\text{m}$) folgte einem ähnlichen Unterspannungskonzept, nur dass hier die Luftstütze entfiel (Abb. 38): Diese wurde auf ein ringförmiges Bauteil ($d= 1,52\text{m}$) reduziert, das mit zwölf Rundenisen ($t= 38\text{mm}$) zum Eckringträger – einem Winkeleisen ($b/h= 127/127\text{mm}$; $t= 13\text{mm}$) mit Ecksteifen – abgespannt wurde. Die Radialträger bestanden aus T-Eisen ($b/h= 127/76\text{mm}$; $t= 13\text{mm}$), die mit einer symmetrischen Unterspannung verstärkt wurden. Sechs weitere Ringträger aus Winkeleisen ($b/h= 76/64-51/51\text{mm}$; $t= 10-6\text{mm}$) verbanden die radialen Hauptträger und unterteilten die Kuppelfläche in sieben Ringe. In den äußeren drei Ringen wurden zusätzliche radiale Nebenträger aus T-Eisen ($b/h= 89/64\text{mm}$; $t= 10\text{mm}$) eingesetzt. Die Kuppelbleche ($t= 3\text{mm}$; BWG-12) waren in acht ringförmigen Bahnen mit einem zentralen, kreisförmigen Scheitelblech ($d= 213\text{cm}$; $t= 13\text{mm}$) ausgelegt. Im Becken befand sich eine zentrale Stütze ($h= 610\text{cm}$; $d= 30,48\text{cm}$ – nicht in der Zeichnung dargestellt), auf die sich die Kuppelkonstruktion im Leerstand ablegen konnte.⁷⁴

Die Ausführung einer Unterspannung ohne Luftstütze war eher selten und ist hier als Sonderform einzustufen.

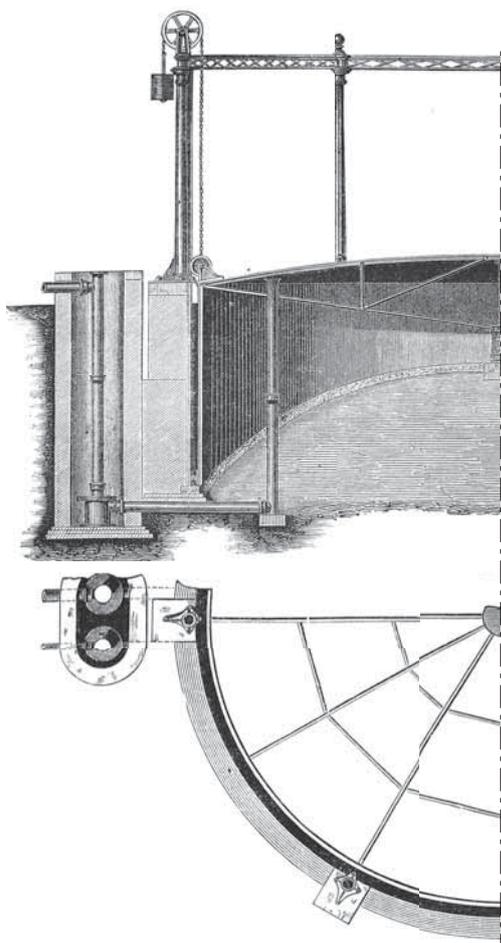


Abb. 37: Doppelt unterspannte Kuppel (Newbigging, Fewtrell, 1879, p.119).**

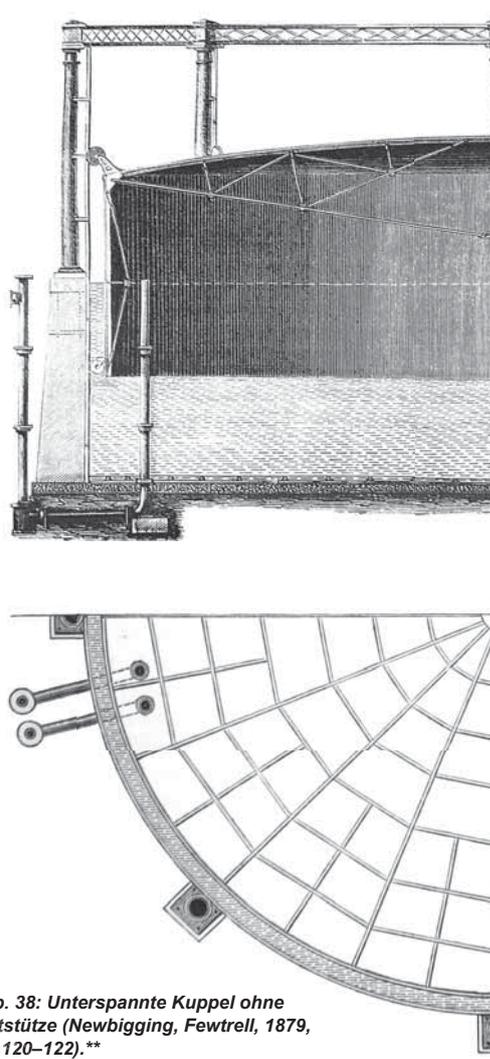


Abb. 38: Unterspannte Kuppel ohne Luftstütze (Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 120-122).**

⁷⁴ Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 121-122
Die äußeren Blechreihen waren 4,75mm (BWG n. 7) stark und die erste am Scheitelblech ansetzende Reihe betrug eine Blechstärke von 4,72mm (BWG n. 12). – Siehe auch Kapitel C.2.2.-4.7. und 5.5.

Im Zuge einer Teleskopierung (Siehe Kap. C.2.2.-6.) wurde 1876 in Redcar die neue Kuppel (D= 23,77m) mit einer doppelten Unterspannung geplant (Abb. 39): Die Luftstütze und die Radialträger wurden jeweils unabhängig voneinander in und zwischen den Säulenachsen unterspannt. Die Radialträger wurden über acht konzentrische Träger zusammengeschlossen. Zudem wurden radiale Nebenträger in den äußeren vier Ringen ergänzt. Für den Leerstand war ein gemauerter Säulenstumpf im Becken vorgesehen.

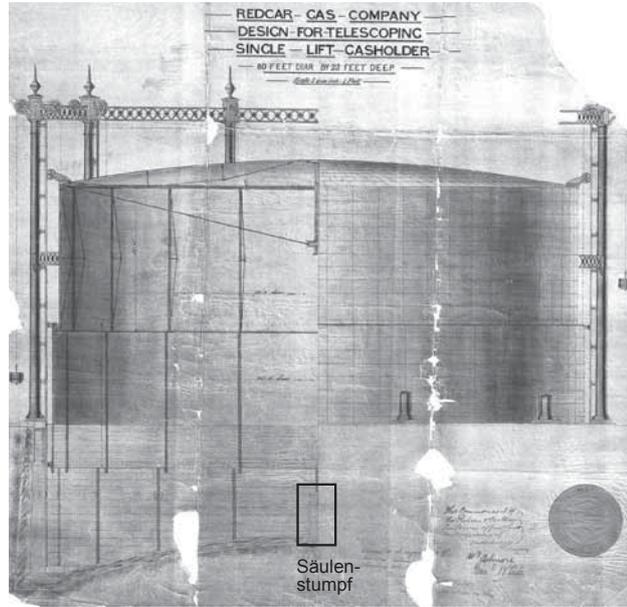


Abb. 39: Doppelt unterspannte Kuppel in Redcar, 1876, (NGA, NO-REC/E/T/5).**

Evans plante die Kuppel (D= 54,86m; f= 2,13m) eines einhübrigen Gasbehälters in Beckton, London ebenfalls mit einer doppelten Unterspannung (Abb. 40):

Die schmiedeeiserne Luftstütze (d= 152,40cm; h= 640,10cm) wurde mit Rundeisenstäben (t= 38mm) jeweils an Ecksteifen angeschlossen. Die Radialträger waren genietete Blechträger (h= 304,80cm), die fischbauchartig unterspannt wurden. Die senkrechten Stäbe bestanden aus doppelten T-Eisen (b/h= 102/76mm; t= 10mm), Auskreuzungen aus einfachen T-Eisen und segmentförmig angeordneten Rundeisenstäben. Letztere wurden mit drei weiteren Stäben mit der Unterspannung der Luftstütze gekoppelt. Für den Leerstand war auf dem Kegelstumpf ein Betonpolster vorgerichtet, auf das sich die Luftstütze absetzen konnte.⁷⁵

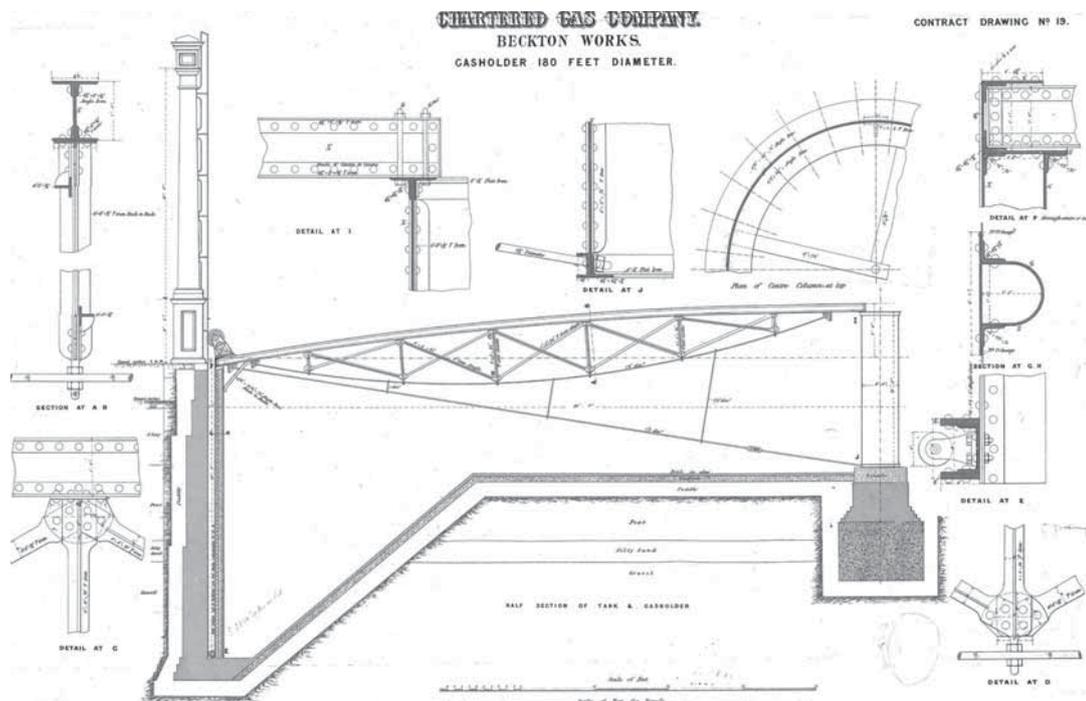


Abb. 40: Doppelt unterspannte Kuppel in Beckton, London (NGA, NTGAL/BEC/E/T/1-19B).

⁷⁵ Zum Aufbau des Kegelstumpfbeckens siehe Kapitel C.2.4.-4.2.

4.3.3. Sonderform: Aufgelöste Unterspannung – Fachwerkträger

Die aufgelöste Unterspannung in Form eines Fachwerkträgers war eine Sonderform, bei der sich die Unterspannung des Radialträgers mit der Unterspannung der Luftstütze zu einem Fachwerkträger verschmolz.

In Salford plante *S. Hunter** um 1878 ein unterspanntes Kuppeldach ($D= 45,42\text{m}$; $f= 2,44\text{m}$) für einen zweihübrigen Gasbehälter ($V= 39.643\text{m}^3$) (Abb. 41):

Die zentrale, genietete Luftstütze ($d= 77,20\text{cm}$; $h= 651\text{cm}$) wurde zunächst mit Rundeisenstäben ($d= 50,80\text{–}38,10\text{mm}$) zum Eckringträger abgespannt. Letzterer bestand aus einem doppelten Winkeleisen ($b/h= 127/127\text{mm}$; $t= 13\text{mm}$). Die 24 radialen Hauptträger aus T-Eisen ($b/h= 102/152\text{mm}$; $t= 13\text{mm}$) wurden mit vier vertikalen Kreuzisenstäben und vier diagonalen Rundeisen an die Unterspannung der Luftstütze angeschlossen. Die Ringträger wurden in mehreren Ringen als T- oder Flacheisen ausgeführt.⁷⁶

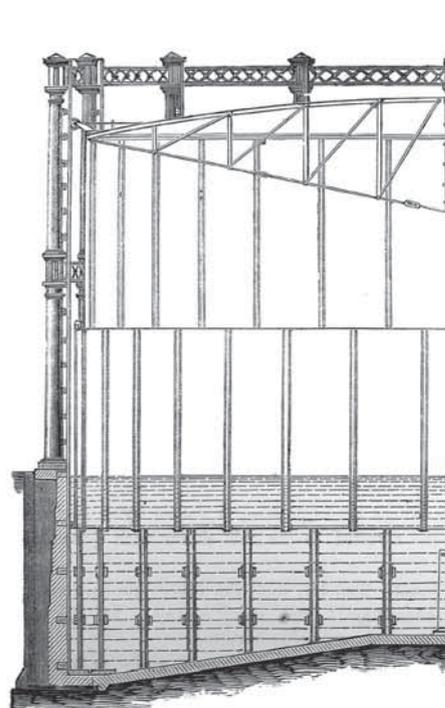


Abb. 41: *Unterspannte Kuppel eines Gasbehälters in Salford (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 143).***

In Bromley-by-Bow wurde 1873 ein Teleskopgasbehälter ($V= 56.634\text{m}^3$) des neunteiligen Ensembles errichtet (Abb. 42). Die Kuppelkonstruktion ($D= 60,19\text{m}$; $f= 2,74\text{m}$) trug die Handschrift von *Thomas Kirkham**⁷⁷ und bestand aus Fachwerkträgern (Abb. 42): Die Luftstütze war mit Rundeisenstäben aufgehängt, die zugleich den unteren Abschluss der 28 radialen Hauptträger – bestehend aus vollwandigen, genieteten Blechträgern ($b/h= 210/305\text{mm}$) – bildeten. Über sieben weitere, vertikale und diagonale Stäbe wurde das Gefüge zum Fachwerk ausgebaut. Die Radialträger wurden mit acht Ringträgern gekoppelt. In den äußeren vier Ringen wurden 28 radiale Nebenträger aus T-Eisen ($b/h= 13/10\text{mm}$; $t= 11\text{mm}$) eingesetzt, die jeweils mit vertikalen und diagonalen Stäben symmetrisch unterspannt waren. Um die Knotenpunkte von Ring- und Radialträger zu verstärken, wurden jeweils zwei zusätzliche, diagonale Stäbe angeordnet.⁷⁸

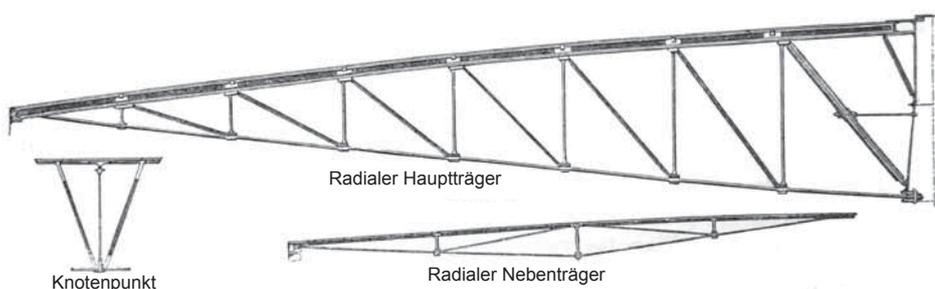


Abb. 42: *Kuppeldach mit Fachwerkträgern (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 161).***

76 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 143–144. – Die ausführende Firma war *Thomas Piggott & Co**.

77 Tucker, 2014, p. 30 – Bei den anderen wurde das gerippte Kuppeldach nach Wyatt angewendet – siehe Kapitel C.2.2.-4.5.

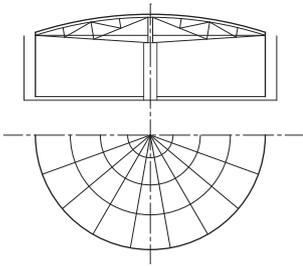
78 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 160–162. – Die Ausführung oblag der Firma Westwood & Wrights.

4.3.4. Zusammenfassung – Kuppeldach, unterspannt

Die Unterspannung war im englischen Raum eine sehr häufig verwendete Kuppelkonstruktion, deren charakteristisches Bauteil die Luftstütze war. Je nach Spannweite variierte die Anordnung der Unterspannung:

- **Einfache Unterspannung** – Bei kleineren Kuppeln ($D < 15\text{m}$) wurde lediglich die Luftstütze abgespannt.
- **Doppelte Unterspannung** – Bei mittleren bis großen Kuppeln wurden sowohl die Radialträger, als auch die Luftstütze mit einer Unterspannung ausgestattet.
- **Aufgelöste Unterspannung bzw. Fachwerkträger** – Diese Sonderform verschmolz die einzelnen Unterspannungen von Luftstütze und Radialträger zu einem gemeinsamen Fachwerkträger.

Da sich mit zunehmendem Durchmesser das Gewicht der Konstruktion erhöhte, begrenzte Cripps, 1884 den Einsatz von unterspannten Kuppeln bis zu einem Durchmesser von 51,82m, um Verformungen der Kuppelfigur zu vermeiden (*Siehe Kap. C.2.2.-4.1.*). Die Unterspannung von Kuppeldächern zeigte sich v.a. bei kleinen bis mittelgroßen Gasbehältern als kostengünstige Konstruktionsweise. Bei größeren Spannweiten bestach jedoch die aufkommende binderlose Ausführung (*Siehe folgendes Kapitel*).⁷⁹

Tab. 10: Zusammenfassung – Kuppeldach, unterspannt (nach Peckston, 1819; Newbigging, Fewtrell, 1879; Cripps, 1884; Hunt, 1900; Meade, 1916)		
Kuppeldach, unterspannt – mit Beckenstütze	Vorteile	Nachteile
 <p><u>Aufbau:</u> Radial-, Ringträger, Luftstütze, Unterspannung, Kuppelbleche.</p> <p><u>Leerstand:</u> Beckenstütze.</p>	<ul style="list-style-type: none"> + Leerstand: Vollflächige Kuppelkonstruktion als Unterstützung, + Erweiterbares Konstruktionssystem: Einfache/ doppelte/ aufgelöste Unterspannung, + Im Vergleich zur binderlosen Kuppel (Siehe folgendes Kapitel) war im Becken eine einzige feststehende Stütze ausreichend. 	<ul style="list-style-type: none"> - Im Betrieb: Kuppelkonstruktion als nutzloses Gewicht, - Steigender Konstruktionsumfang und Gewicht bei größeren Spannweiten, - Leerstand: Bauteile teilw. in Wasser eingetaucht, - Leerstand: Trotz aufwendiger Kuppelkonstruktion zentrale Beckenstütze erforderlich, - Anfällig für Korrosionsschäden, - Verformungsgefahr bei zunehmender Größe und Gewicht der Konstruktion, - Verformungsgefahr bei falschem Anschluss mit den Kuppelblechen, - Zusätzliches Lehrgerüst zur Montage der Kuppel erforderlich.

79 Cripps, 1884, p. 1128; Meade, 1916, pp. 446–447
Weiterführende Literatur zum Tragverhalten unterspannter Kuppeln, siehe Cripps, 1884, pp. 1128–1133.

4.4. Kuppeldach, binderlos

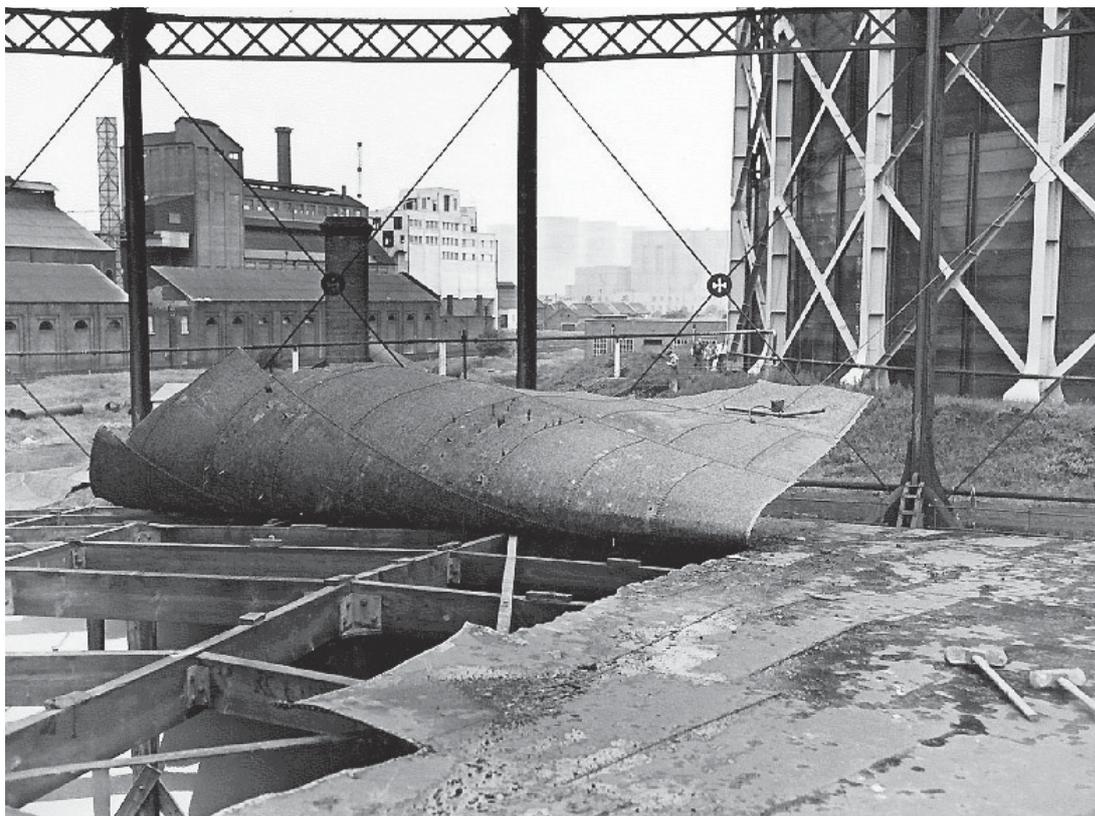


Abb. 43: Demontage eines binderlosen Kuppeldachs: Die Kuppelbleche lagen auf einem hölzernen Stützgerüst auf. Gasbehälter N°4 in Croyden, London (NGA, SE/CRD/CRG/E/F/3).

Wie der Begriff schon sagt, revolutionierte das **binderlose Kuppeldach** (Abb. 43)⁸⁰ die bislang vorherrschende unterspannte Kuppel, indem es bis auf den Eckringträger auf jegliche Unterkonstruktion verzichtete. Für den Leerstand war jedoch im Wasserbecken eine permanente Stützkonstruktion notwendig, die für ein formgetreues Ablegen der Kuppelbleche sorgte. Während des Füllvorgangs übernahm das Gas selbst die „tragende“ Funktion.⁸¹

Das Kuppeldach bestand folglich nur aus Kuppelblechen und dem Eckringträger – diesem Detailanschluss kam somit besondere Gewichtung zu⁸², was nicht selten zu dessen unnötiger Überdimensionierung führte.⁸³

4.4.1. Gebaute Beispiele

Ein frühes binderloses Kuppeldach (Abb. 44) beschrieb Clegg jun. 1841 bei einem Glockengasbehälter ($V= 4.250\text{m}^3$; $D= 26,67\text{m}$; $H= 7,62\text{m}$): Die vernieteten Kuppelbleche ($t= 2\text{mm}$; BWG-14) wurden nur mit fünf Flacheisenringen ($b/h= 76/13\text{mm}$; $e= 1829\text{mm}$) und dazwischen gesetzten, diagonalen Flacheisen unterstützt. Der Anschluss der Kuppel an den Mantel erfolgte mit einem Eckringträger aus einem Winkelisen ($b/h= 76/76\text{mm}$) und diagonalen Stäben.⁸⁴

80 Im Englischen wurde diese Kuppelform aufgrund ihrer binderlosen Ausführung auch als „untrussed crown“ bezeichnet.

81 Hughes, 1865, p. 193

82 Cripps, 1884, p. 1128

83 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 110–111

84 Clegg, 1841, pp. 130–133. – Zur Konstruktion des Mantels siehe auch Kapitel C.2.2.-5.1.

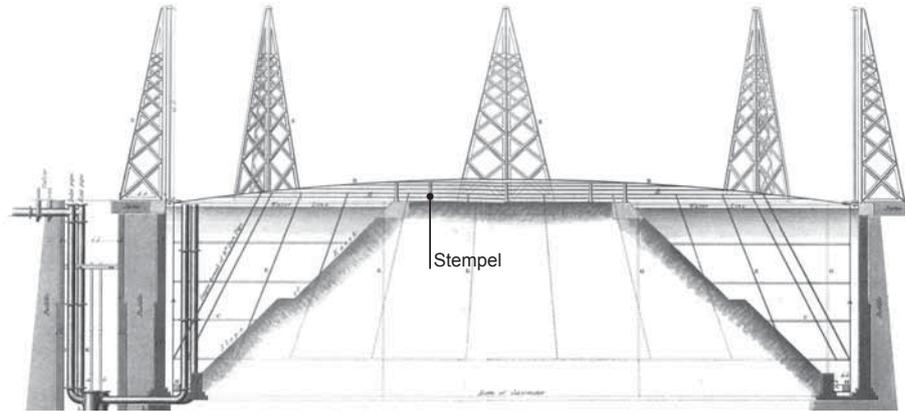


Abb. 44: Binderlose Kuppel eines Glockengasbehälters (Clegg, 1841, Plate XVI).**

Im Leerstand lagerte die Kuppel auf Stempeln auf, die auf dem Kegelstumpf des Beckens angebracht waren.

1850 erhoben *George Holworthy Palmer** und *Joshua Horton** den Patentanspruch für ein binderloses Kuppeldach (D= 30,48m), das von aufwendigen Unterspannungen absah: Die Kuppelbleche wurden lediglich mit radialen Blechstreifen verstärkt. Der Eckringträger bestand aus einem einfachen Winkeleisen, das zu einem Kastenträger ausgebaut wurde.⁸⁵

In Southport wurde ein binderloses Kuppeldach (D= 45,72m) nach den Plänen von *George Anderson** gebaut (Abb. 45), das sich aus zwölf konzentrischen Blechreihen zusammensetzte. Die Blechstärke betrug am äußeren Ring 13mm und 10mm bei den folgenden Ringen, sowie dem zentralen, mehrteiligen Scheitelblech.⁸⁶

Anderson war vom Anbeginn an ein Verfechter der binderlosen Variante und empfahl diese ab einem Kuppeldurchmesser von 15m⁸⁷. Bezüglich dem Kritikpunkt, dass durch die fehlende Unterkonstruktion das Eigengewicht der Hubteile einen zu geringen Druck erzeugte, konterte Anderson, dass hierfür lediglich die Blechstärke der Mantel- und Kuppelbleche zu erhöhen sei.⁸⁸

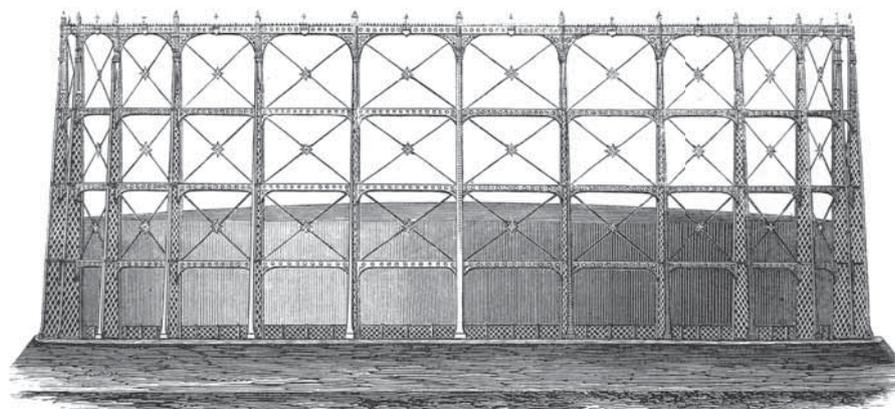


Abb. 45: Binderloses Kuppeldach eines Gasbehälters von Anderson in Southport (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 136).

85 JGL- 1, 1850, pp. 285–286

86 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 136–137

87 Anderson verlas 1868 ein Paper vor der British Association of Gas Managers, in dem er den Bau von binderlosen Kuppeln erläuterte und die Notwendigkeit von aufwendigen Kuppelkonstruktionen widerlegte (Herring, 1893, p. 261).

88 Herring, 1893, p. 261



Abb. 46: Bau der Stützkonstruktion für die binderlose Kuppel in der Old Kent Road (NGA, SE/SOM/E/F/12).

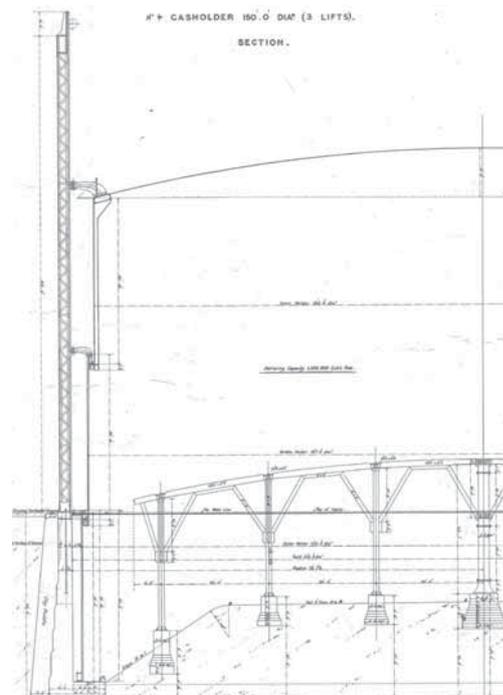


Abb. 47: Binderlose Kuppel eines zweihübrigen Gasbehälters in der Hendon Station, Sunderland (NGA, NOSUG/E/T/1).

1875 plante *George Thomas Livesey** einen dreihübrigen Gasbehälter ($V= 155.742\text{m}^3$) mit einer binderlosen Kuppel ($D= 54,86\text{m}$; $f= 2,74\text{m}$) für das Gaswerk in der Old Kent Road in London (Abb. 46).⁸⁹

1893 entwarf *Charles Hawksley** für die Hendon Station in Sunderland (Abb. 47) einen dreihübrigen Gasbehälter ($V= 42.475\text{m}^3$) mit einer binderlosen Kuppel ($D= 44,20\text{m}$; $f= 2,74\text{m}$). Der Eckringträger war mit einem kastenförmigen Querschnitt vorgesehen.

4.4.2. Stützkonstruktion⁹⁰

Solange das Hubteil gefüllt war, wurde die binderlose Kuppel vom Gas getragen. Im Leerstand war eine feststehende, flächige Stützkonstruktion erforderlich, die eine Verformung verhinderte (Abb. 46)⁹¹. Die Stützkonstruktion bestand aus einem aufgeständerten Gitterrost, der sich aus radialen und konzentrischen Trägern zusammensetzte⁹². Bei zunehmenden Kuppelgrößen wurde der Rost verstärkt, indem z.B. die Felder trianguliert (Abb. 48) oder die einfachen Stützen zu Baumstützen (Abb. 49) erweitert wurden. Außerdem wurde die zentrale Stütze häufig massiver (Abb. 48) ausgeführt.⁹³

In Birmingham (Abb. 48) entstanden zwei Gasbehälter mit binderlosen Kuppeln nach den Plänen *Charles Hunts**, die jeweils mit einer hölzerne Stützkonstruktion ($D_{\text{max}} = 61\text{m}$, $T= 11\text{m}$) errichtet wurden:

- 89 JGL-26, 1875, pp. 612–613
Noch im Entwurfsprozess untersuchte er den Einfluss von der Stichhöhe auf die Lasten in den Kuppelblechen und stellte fest, dass die Variante mit dem größeren Stich die Lasten erheblich reduzierte. So wurde die Kuppel nicht wie ursprünglich konzipiert mit 0,91m, sondern mit 2,74m ausgeführt. So war es Livesey möglich das Gewicht, die Kosten und den Druck zu senken.
- 90 Anm. d. Verfasserin: Dieser Abschnitt soll eine Auswahl von möglichen Stützkonstruktionen vor Augen führen und stellt keine umfassende Abhandlung über Stützkonstruktionen dar.
- 91 Meade, 1916, pp. 446–447
- 92 Meade, 1916, pp. 446–448
- 93 Die Stützkonstruktion hatte nicht nur die tragende Funktion der Kuppel im Leerstand inne, sondern diente auch als Arbeitsgerüst bei der Montage der Mantelkonstruktion und der Kuppelbleche. Für letztere übernahm der Gitterrost vielmehr die Funktion einer Schalung oder eines Lehrgerüsts (Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 197–198).

Der Gitterrost setzte sich aus elf radialen Hauptträgern und vier Ringträgern zusammen. Der äußere Ring wurde mit elf radialen Stichträgern ergänzt und die Felder trianguliert. Die Holzständer befanden sich unterhalb der Knotenpunkte und waren jeweils über eine köcherartige Aufmauerung mit dem Beckenboden verankert. Die zentrale kegelstumpfförmige Stütze bestand aus einem ringförmigen Mauerwerk mit einem innen liegenden Betonkern; die Stütze wurde an jeder sechsten Ziegel- lage mit einem Ringeisen verstärkt.⁹⁴

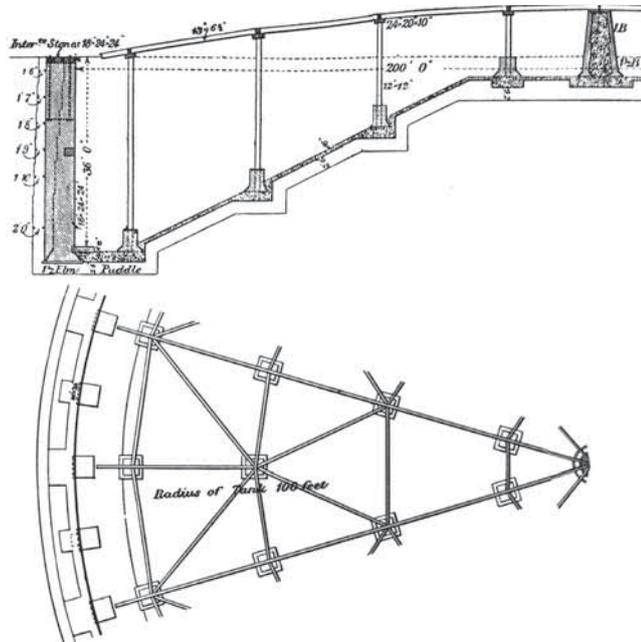


Abb. 48: Hölzerne Stützkonstruktion für eine binderlose Kuppel in Birmingham (Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate III).**

Auf dem Gaswerk in Kennington, London (Abb. 49) plante Corbet Woodall* eine hölzerne Stützkonstruktion aus Holz auf Betonstützen für eine binderlose Kuppel ($D=64,92\text{m}$; $f=2,44\text{m}$):⁹⁵ Der Gitterrost setzte sich aus neun durchlaufenden Radialträgern und aus sechs Ringträgern zusammen; zwischen letzteren waren insgesamt 27 radiale Nebenträger angeordnet. Im Vergleich zum vorgehenden Beispiel waren hier nur die Felder zwischen den beiden inneren Ringträgern trianguliert. Um die Stützenanzahl zu reduzieren setzte Woodall Baumstützen ein, die er zwischen dem ersten und zweiten Ring sowie in der Achse des dritten und fünften Ringes positionierte. Die hölzernen Baumstützen waren auf Betonstützen aufgesetzt, deren Fundamente auf den Seitenflächen und der Plattform des Kegelstumpfes verankert wurden.

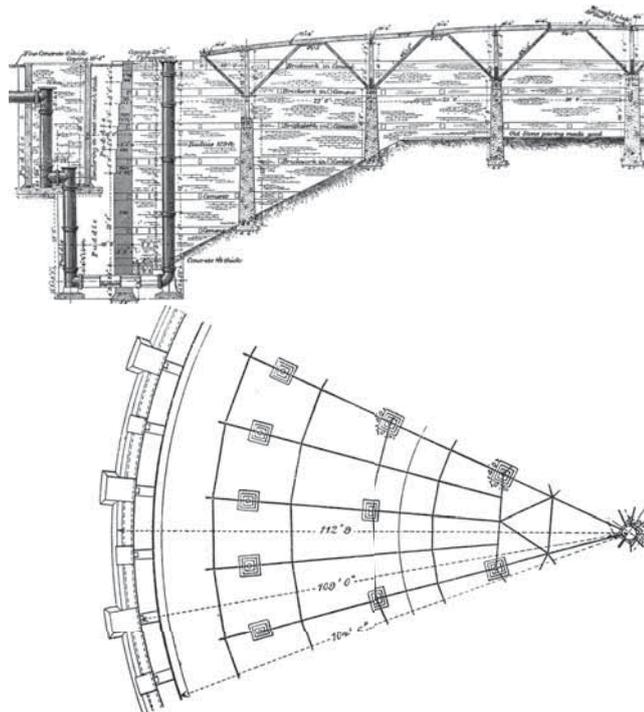


Abb. 49: Stützkonstruktion aus Holz und Beton für eine binderlose Kuppel in Kennington, London, 1878 (Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate VI).**

Verglichen mit den hölzernen Stützkonstruktionen bot die Eisenbauweise weitaus vielfältigere Ausführungsmöglichkeiten. Der Gitterrost folgte grundsätzlich dem Aufbau der Radial- und Ringträger, wie sie bei der unterspannten Kuppel eingesetzt wurden.

94 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 67–69

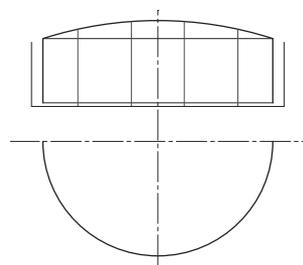
95 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 76, 169–175. – Der Gasbehälter wurde um 1878 fertig gestellt und war der seinerzeit größte in London.

4.4.3. Zusammenfassung – Kuppeldach, binderlos

Die Einführung des binderlosen Kuppeldaches, das bis auf den Eckringträger auf jegliche Unterkonstruktion verzichtete, stieß zunächst auf Unstimmigkeit unter den Ingenieuren:

*„Gas engineers are not unanimous in opinion as to the necessity of trussing roofs of holders. The majority adhere to the old system of trussing, whilst others dispense with it entirely. (...) Without doubt this system has several advantages, being simpler, cheaper, and possessing the same durability as when trussed.“*⁹⁶

Nach anfänglichem Zweifel erkannte man aber die Vorzüge der binderlosen Kuppel, die sich v.a. bei größeren Spannweiten bewährte: Die erforderlichen Stützkonstruktionen im Leerstand z.B. aus Holz waren nämlich weitaus billiger als die eiserne Konstruktion der unterspannten Kuppel. Auf diese Weise wurde das Eigengewicht der Kuppel stark reduziert.⁹⁷

Tab. 11: Zusammenfassung – Kuppeldach, binderlos (nach Hughe, 1865; Newbigging, Fewtrell, 1879; Cripps, 1884; Herring, 1893; Hunt, 1900; Meade, 1916)		
Kuppeldach, binderlos – mit Stützkonstruktion	Vorteile	Nachteile
 <p><u>Aufbau:</u> Eckringträger, Kuppelbleche.</p> <p><u>Leerstand:</u> Vollflächige Stützkonstruktion.</p>	<ul style="list-style-type: none"> + Einfachere Konstruktionsweise, + Minimierter Aufbau und Gewicht der Kuppel, + Nur ein wichtiges Anschlussdetail – nämlich der Eckringträger, + Kein zusätzliches Stützgerüst für die Montage der Kuppel erforderlich, + Reduzierung des Materialaufwandes, + Reduzierung der Bauzeit und -kosten. 	<p><u>Stützkonstruktion im Becken:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Steigender Konstruktionsumfang bei größeren Spannweiten, - Hölzerne Stützkonstruktion: Entstehung von Fäulnisschäden, - Genietete Stützkonstruktion: Entstehung von Korrosionsschäden.

⁹⁶ Hughes, 1865, p. 193

„Die Gas Ingenieure sind ungleicher Meinung bzgl. der Notwendigkeit einer Binderkonstruktion für Kuppeln. Die Mehrheit besteht auf das alte Konstruktionsprinzip, während andere vollständig darauf verzichten. (...) Zweifellos hat das binderlose System die Vorteile, bei gleicher Dauerhaftigkeit einfacher zu konstruieren und günstiger zu sein.“ – (Übers. d. Verfasserin)

⁹⁷ Hughes, 1865, p. 194; Cripps, 1884, p. 1128; Hunt, 1900, p. 157

Durch den Entfall der Unterspannung wurde das Gewicht der Kuppel derart reduziert, dass die Mantelbleche (Siehe Kap. C.2.2.-5.5.) wieder stärker zu wählen waren, um einen ausreichenden Druck zu erzeugen (Hughes, 1865, p. 194). Weiterführende Literatur zum Tragverhalten binderloser Kuppeln, siehe Cripps, 1884, pp. 1128–1133.

4.5. Kuppeldach, gerippt

Die Entwicklung des **gerippten Kuppeldachs** ist dem Ingenieur Vitruvius Wyatt zu verdanken, der hierfür die Vorteile des binderlosen und des unterspannten Kuppeldachs kombinierte: Die konstruktive Verstärkung der Kuppelform erfolgte ausschließlich in der Kuppelenebene und bestand aus radialen Trägern, bzw. Rippen und Ringträgern. Diese „Aufrippung“ benötigte im Leerstand lediglich eine zentrale Stütze und konnte vollständig auf die weit in den Kuppelraum ragende Unterspannung verzichten.

Um 1874 ⁹⁸ plante Wyatt ein geripptes Kuppeldach ($D= 44,92\text{m}$; $\text{Stich}= 2,20\text{m}$) für einen zweihübrigen Gasbehälter ($V= 28.317\text{m}^3$) in Redheugh (Abb. 50).

Für die Konstruktion wurden drei verschiedene Radialträger eingesetzt:

- acht Hauptträger, bestehend aus vollwandigen, I-förmigen Blechträgern ($h= 4572\text{--}6000\text{mm}$),
- acht Nebenträger erster Ordnung, bestehend aus I-förmigen Gitterträgern,
- acht Nebenträger zweiter Ordnung, bestehend aus T-Eisen ($b/h= 102/127\text{mm}$; $t= 10\text{mm}$).

Von den Hauptträgern waren vier als Trägerkreuz zusammengeschlossen (Abb. 51); die anderen vier wurden an dem zentralen Scheitelblech befestigt. Die radialen Träger wurden über drei Ringträger – zwei Gitterträger (R2) und ein vollwandiger Blechträger (R1) – sowie vier konzentrisch angeordnete Winkelisen (L) kraftschlüssig verbunden; die radialen Nebenträger reichten nur vom äußeren bis zum inneren Ringträger. Das Anschlussdetail von Kuppel und Mantel zeigte eine Sonderform, da die radialen Träger zum Kuppelrand hin so aufgeweitet wurden, dass sich ein segmentförmiger Übergang vom radialen Träger zum senkrechten Mantelständer ergab (Siehe Kap. C.2.2.-4.8.).

Im Leerstand wurde die Kuppel von einem zentralen Mauerwerkspfeiler gestützt. ⁹⁹

In den 70er Jahren des 19. Jahrhunderts wurden weitere Gasbehälter mit gerippten Kuppeldächern nach den Plänen Wyatts gebaut – zwei in Fulham, zwei in Beckton und einer in Shoreditch ¹⁰⁰. Verglichen mit dem o.g. Beispiel in Redheugh waren diese für die Aufnahme des doppelten Nutzvolumens ausgelegt. Die Konstruktion des gerippten Kuppeldachs ($D= 57,91\text{m}$; $f= 2,45\text{m}$) setzte sich wie folgt zusammen:

Sowohl die zehn radialen Hauptträger, als auch die zehn Nebenträger erster Ordnung bestanden aus Gitterträgern. Die Nebenträger zweiter Ordnung waren T-Eisen. Über vier Ringträger (vollwandige bzw. Gitterträger) wurden die Radialträger verbunden. Das Anschlussdetail von Radialträger und Mantelständer war hier jedoch nicht fließend ausgebildet wie in Redheugh, dafür führte Wyatt hier einen abgerundeten Kuppelrand ein (Siehe Kap. C.2.2.-4.8.). ¹⁰¹

Nachdem Wyatt 1876 zum Chief-Engineer in Bromley-by-Bow wurden bei sechs Gasbehältern die Kuppeln ($D= 60,19\text{m}$ ¹⁰²) ebenfalls gerippt ausgeführt ¹⁰³.

Insgesamt wurde das gerippte Kuppeldach vermutlich nur von Wyatt selbst angewendet, der dieses zu seinem Markenzeichen machte. Nach Wyatt waren die sogenannten „ribbed roofs“ effizienter als die die binderlosen Kuppeldächer:

„, They are lighter and stronger than those whose roofs are unsupported except by wooden posts and framing from the cone in tank, and consequently they give less pressure (...). The upper curb can be

98 JGL-24, 1874, p. 1

99 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 138–142

100 In Kensal Green wurde ein Flachdach gewählt (Sturt, 1980, p. 22).

101 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 153–157

102 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 160

103 Tucker, 2014, pp. 21, 30, 82

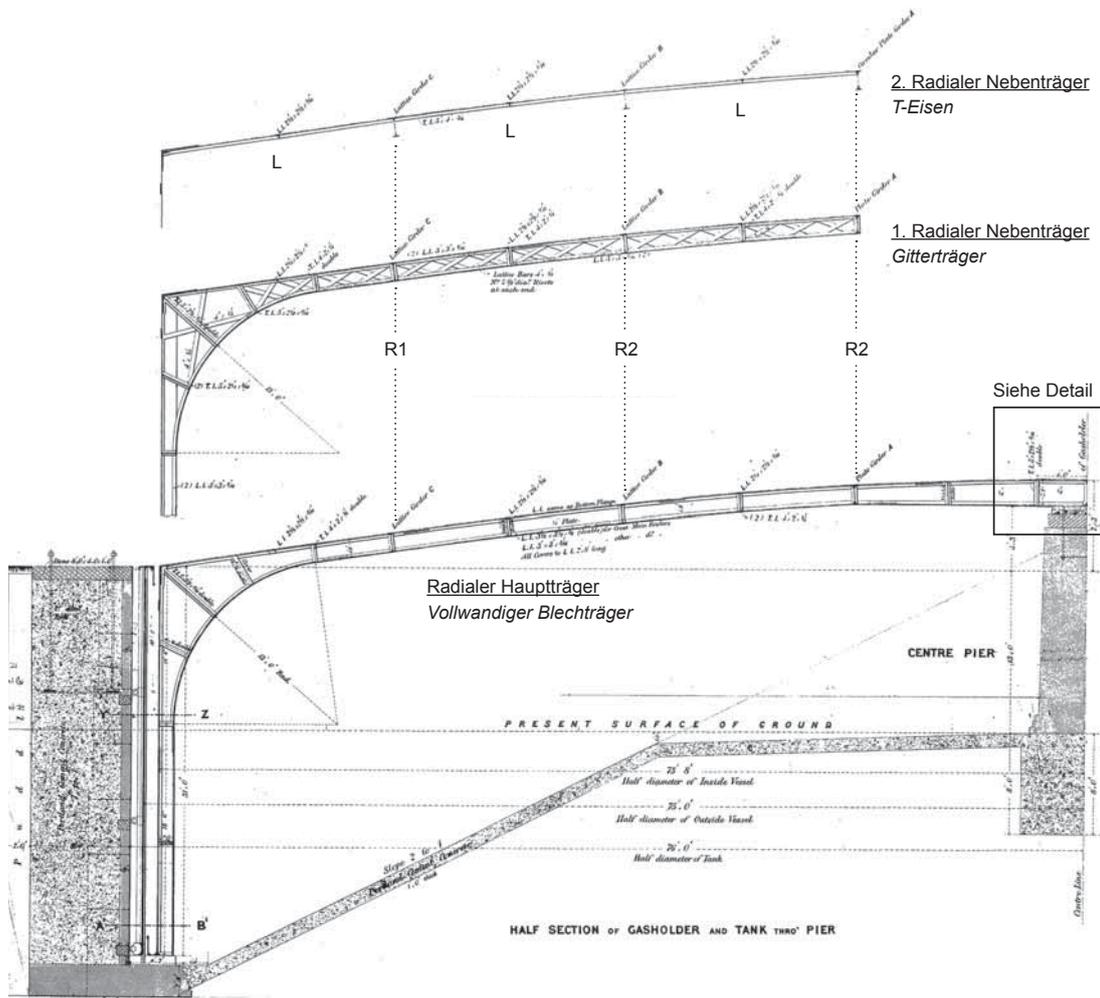


Abb. 50: Gerippte Kuppelkonstruktion mit unterschiedlichen radialen Haupt- und Nebenträgern in Redheugh (NGA, NONWG/E/A/12).**

made lighter, (...). The internal wooden supports and scaffolding, (...), being dispensed with“ 104

Verglichen mit der binderlosen oder unterspannten Kuppel einte diese Kuppelkonstruktion zwar beider Vorzüge, wurde aber verhältnismäßig selten eingesetzt und blieb deshalb eher eine Randerscheinung.

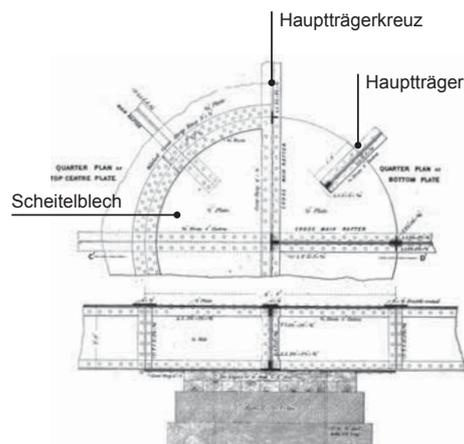


Abb. 51: Anschluss des Hauptträgerkreuzes und zentrale Stütze, Redheugh (NGA, NONWG/E/A/12).**

104 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 160
 „ Sie sind leichter und stabiler als diejenigen, deren Dächer allein mit Holzständer und Gerüsten auf dem Kegelstumpf des Beckens gestützt werden, und üben folglich einen geringeren Druck aus (...). Der Eckringträger kann schlanker ausgeführt werden (...). Das innen liegende Holzgerüst (...) ist nicht notwendig“ – (Übers. d. Verfasserin).

4.6. EXKURS: Stabwerkkuppel

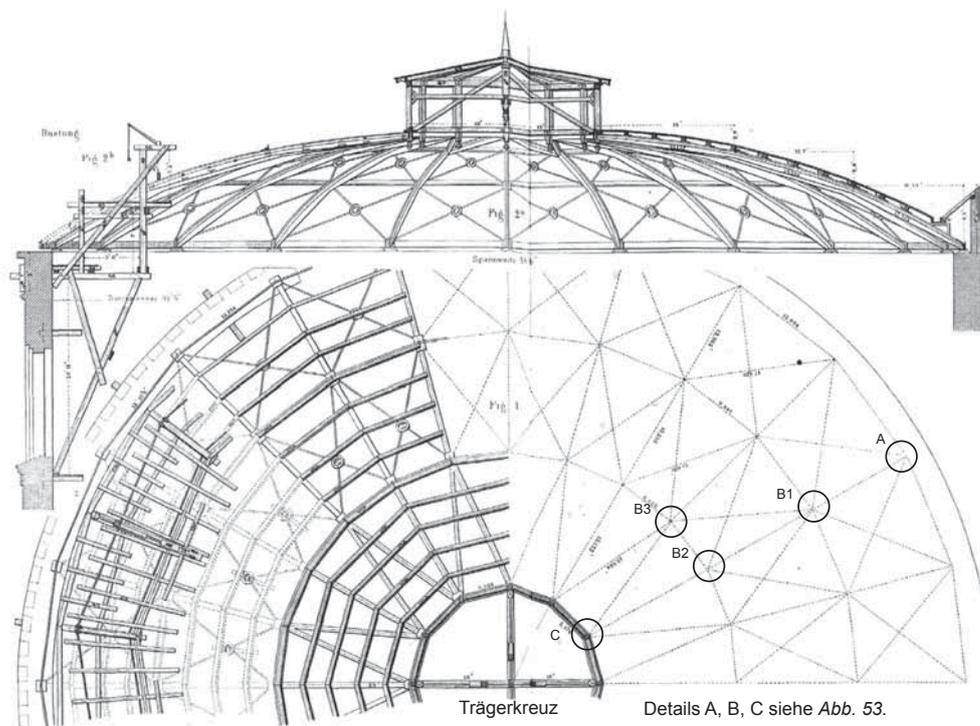


Abb. 52: Erste Schwedlerkuppel auf einem Gasbehältergebäude in der Holzmarktstr. 28, Berlin (ZfB, 1866a, Bl. 10).**

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden in England überwiegend unterspannte oder binderlose Kuppeldächer gebaut. Die innovative Konstruktionsweise der **Stabwerkkuppel** – der sogenannten **Schwedlerkuppel** aus Deutschland – etablierte sich nicht im englischen Raum.

Da die Stabwerkkuppel aber eine wichtige Entwicklung der Kuppelkonstruktionen darstellt, wird sie in diesem Abschnitt als parallele Entwicklung außerhalb Englands positioniert.

4.6.1. Entstehung: Als Kuppel für Gasbehältergebäude ¹⁰⁵

Nachdem der Ingenieur *Johann Wilhelm Schwedler** ¹⁰⁶ 1861 die eingestürzte Dachkonstruktion eines Gasbehältergebäudes nach dem damaligen Usus – einer unterspannten Kuppelkonstruktion – erneuerte ¹⁰⁷, beschäftigte er sich damit, diese aufwendige Konstruktionsweise zu optimieren und zu vereinfachen:

„(...) leitete (...) auf den Gedanken, eine solche Construction von allen inneren Spannstangen zu befreien, und durch Anordnung von Ringen und Kreuzen sämtliche Constructionstheile in die sphäroidische Dachfläche zu legen [sic].“ ¹⁰⁸

So gelang es ihm eine Kuppelkonstruktion zu entwickeln, deren Radialträger keine abgespannte Luftstütze oder andere Unterkonstruktionen benötigte: Schwedler stattete jedes einzelne Kuppelfeld mit

¹⁰⁵ Zur Funktion und Konstruktion von Gasbehältergebäuden, siehe *Kapitel C.2.5*.

¹⁰⁶ Weiterführende Literatur zu Leben und Wirken Schwedlers siehe Hertwig, 1930, pp. 1–39; Kurrer, 2013

¹⁰⁷ Schwedler, 1863, pp. 151–166. – Der Gasbehälter befand sich am Hellweg Nr. 8 in Berlin und die Dachkonstruktion bestand aus 32 radialen Fachwerkträgern, die über den zentralen Laternenring zusammengeschlossen wurden.

¹⁰⁸ Schwedler, 1866, p. 7. – Schwedler bezeichnete die unterspannten Kuppelkonstruktionen als Spannstangensystem.

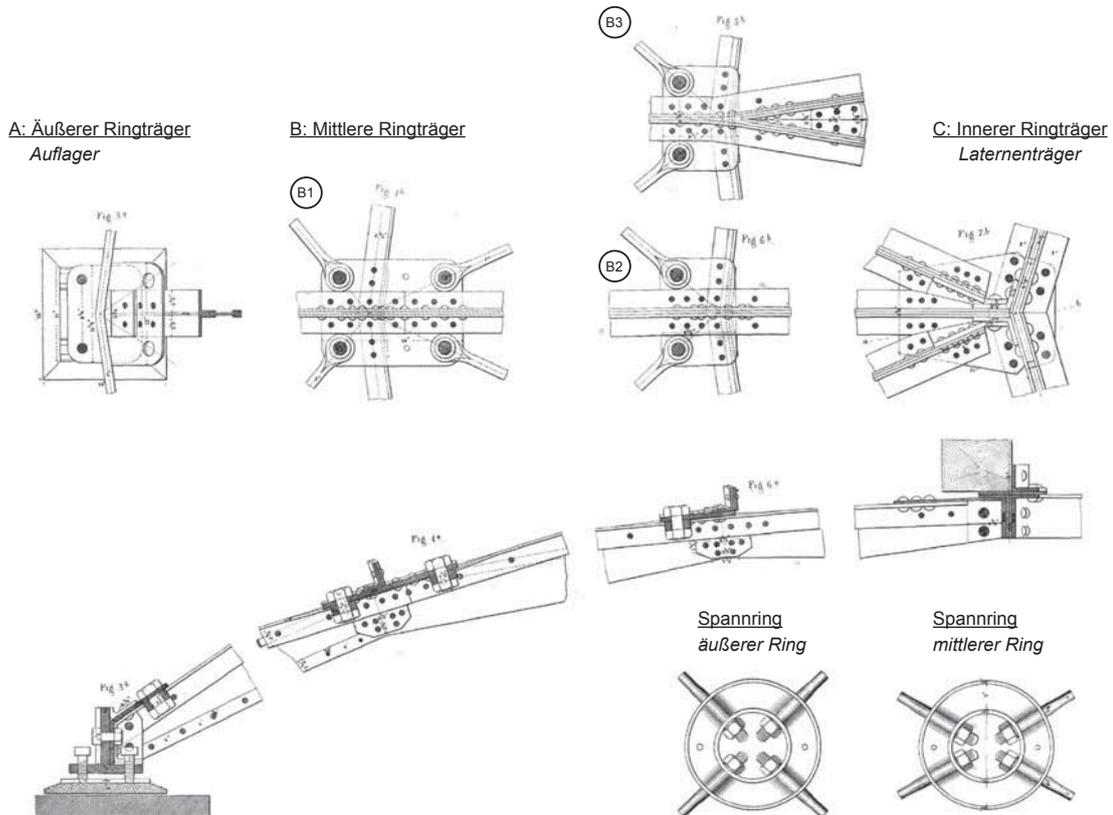


Abb. 53: Knotenpunkte der Schwedlerkuppel (ZfB, 1866a, Bl. 10).**

einer kreuzweisen Ausfachung aus, die Ringkräfte wurden kurzgeschlossen und die Kuppelkonstruktion nicht mehr auf Biegung beansprucht. Des Weiteren blieb der weit gespannte Raum unterhalb der Kuppel frei von jeglichen Bauteilen. Diese innovative Kuppelkonstruktion trug bald seinen Namen und wurde als **Schwedlerkuppel** bekannt.

Die erste Schwedlerkuppel wurde 1863 für ein Gasbehältergebäude auf dem Gaswerk in der Holzmarktstr. 28 in Berlin ($D=30,90\text{m}$; $f=3,96\text{m}$) errichtet (Abb. 52, Abb. 53):¹⁰⁹

Die Konstruktion setzte sich aus vier radialen Kreuzträgern, die sich am Scheitel trafen, und 20 weiteren Radialträgern zusammen, von denen die Hälfte vom ersten bis zum vierten Ringträger reichte und die andere Hälfte nur vom ersten bis zum dritten Träger. Die Felder der beiden äußeren Ringe waren jeweils mit einer Auskreuzung ausgestattet, die aus vier Rundeisenstäben ($t=26\text{mm}$) und einem zentralen Ringträger bestand; über Bindebleche wurden die Stäbe an die Knotenpunkte angeschlossen. Der innere Ring diente zu Halbierung der Eckanzahl des Polygons von 24 auf 12; die einzelnen Felder wurden lediglich mit einem diagonalen Stab trianguliert. Der letzte, innere Ringträger – der sogenannte Laternenträger (C), diente zur Aufnahme der hölzernen Laternenkonstruktion. Die Radialträger bestanden aus einem T-förmigen Blechträger aus zwei Winkeleisen ($b/h=65/65\text{mm}$; $t=7\text{mm}$) und einem Flacheisen ($t=7\text{mm}$); am äußeren Ring (A) wurden die Träger jeweils am freistehenden Steg noch durch beidseits angeordnete Flacheisen verstärkt. Die konzentrischen Träger waren ebenfalls mit einem Winkeleisenpaar konzipiert, wobei der Laternenring stärker bemessen wurde ($b/h=78/131\text{mm}$; $t=10\text{mm}$), als die beiden mittleren Ringträger (B) ($b/h=65/65\text{mm}$; $t=7\text{mm}$). Der äußere Ringträger (A) bestand lediglich aus einem umlaufenden Flacheisenband ($h=170\text{mm}$; $t=26\text{mm}$). Die Radialträger

¹⁰⁹ Schwedler, 1866, pp. 21–24; Hertwig, 1930, p. 23; Werner, Seidel, 1992, pp. 145–148

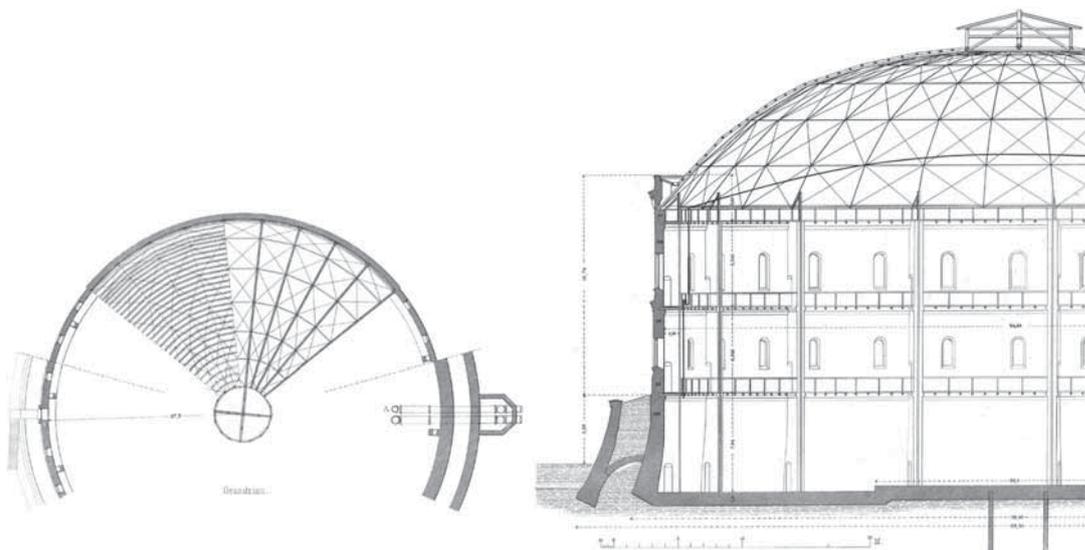


Abb. 54: Gasbehältergebäude mit Schwedlerkuppel in der Fichtestraße, Berlin (ZfB, 1876a, Bl.31).

wurden am Fuß über T-Eisen in der Mauerkrone verankert. 1866 berichtete Schwedler bereits von der erfolgreichen Umsetzung weiterer Kuppeln nach dieser neuen Façon in Berlin: 1865 für ein Gasbehältergebäude im Hellweg Nr. 9 ($D= 40,79\text{m}$) und in der Müllerstraße ($D= 43,93\text{m}$).¹¹⁰

4.6.2. Als Kuppel für Hubteile

Die Schwedlerkuppel wurde schließlich auch auf die Konstruktion von Hubteilen übertragen. Die ersten Beispiele entstanden wohl ab 1874 an der Fichtestraße in Berlin¹¹¹.

Schwedler plante einen zweihübrigen Gasbehälter ($V= 30.000\text{m}^3$) einschließlich Gebäude ($D_{\text{innen}} = 54,60\text{m}$; $H_{\text{Ringmauer}} = 21,99\text{m}$). Die Bauzeit des Gasbehälter betrug zwei Jahre; 1876 wurde er fertig gestellt und in Betrieb genommen (Abb. 54).

Beide Kuppeln wurden nach Schwedler-Manier konstruiert:

- Das Kuppeldach des Gebäudes ($D= 54,92\text{m}$; $f= 12,24\text{m}$) folgte grundsätzlich dem Aufbau des Beispiels in der Holzmarktstraße (Siehe vorgehendes Kapitel), nur dass hier 32 radiale und sieben konzentrische Träger eingesetzt wurden¹¹². Zudem waren die inneren Kuppelfelder nicht durch vier, sondern nur mit zwei Stäben trianguliert (Abb. 55).
- Das Kuppeldach des Hubteils ($D= 50,72\text{m}$; $f= 4,00\text{m}$) bestand aus 48 Radialträgern und insgesamt acht Ringträgern (Abb. 56). Die Hälfte der Radialträger lief vom Eckringträger (K8) bis zum Scheitelringträger (K1); die sekundären Radialträger reichten nur bis zum zweiten Ringträger. Sowohl Radial-, als auch Ringträger waren als genietete, T-förmige Blechträger konstruiert, für die jeweils ein Winkeleisenpaar ($b/h= 65/65\text{mm}$; $t= 7\text{mm}$) und ein dazwischenliegendes Flacheisen verwendet wurden. Die Kuppelfelder wurden nur mit einem diagonalen Stab ausgestattet, hierfür kamen einfache Winkeleisen ($b/h= 65/78\text{mm}$; $t= 10\text{mm}$) zum Einsatz, die über weitere Winkeleisenstücke an die Knotenpunkte angeschlossen wurden. Die Kuppelbleche wurden nur am Eckringträger kraftschlüssig vernietet.¹¹³

110 Schwedler, 1866, pp. 25–32. – Zudem wurde die Schwedlerkuppel 1863 ebenfalls für den Bau eines Lokomotivschuppens ($D= 25,10\text{m}$; $f= 3,82\text{m}$) in St. Johann und die Synagoge in der Oranienburger Straße, Berlin ($D= 13,81\text{m}$; $H= 10,04\text{m}$) eingesetzt. Weiterführende Literatur zu Konstruktion und Berechnung siehe Schwedler, 1877.

111 Die Gasbehälter auf der Fichtestraße dienten als ausgelagerte Zwischenspeicher für das Gaswerk am Halle'schen Tor, dessen zu bebauende Grundfläche erschöpft war. Das Areal wurde 1873 erworben; es waren drei Gasbehälter à 30.000m^3 und ggf. ein weiterer à 25.000m^3 vorgesehen (o. A., 1876, pp. 179–181).

112 o. A., 1876, pp. 185–186

113 o. A., 1876, pp. 190–193

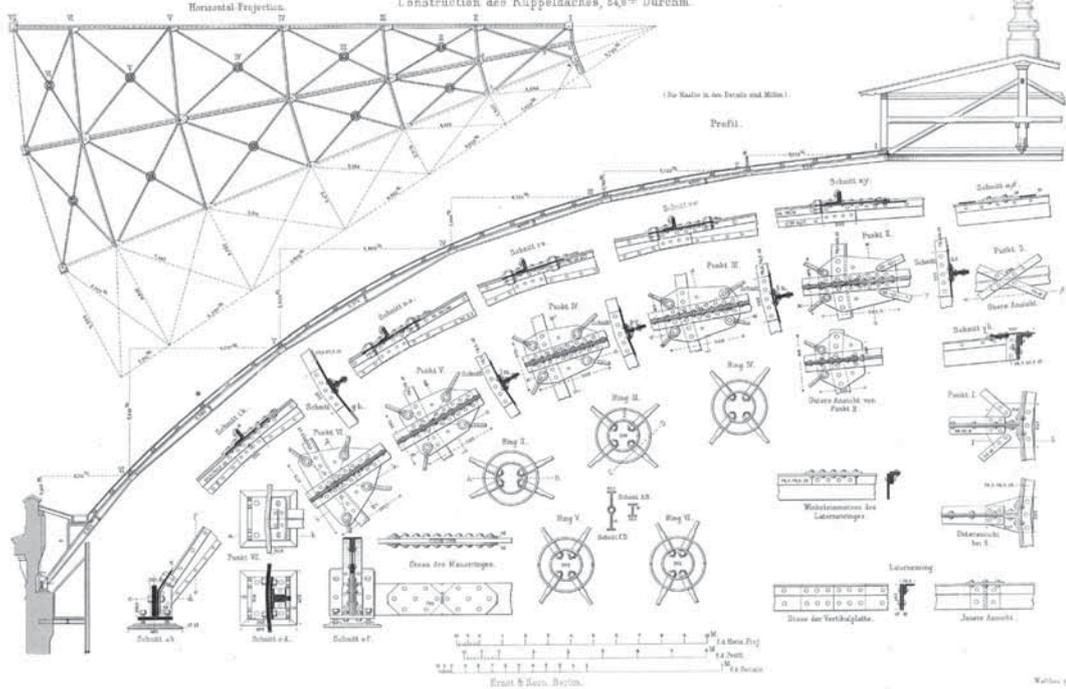


Abb. 55: Gasbehältergebäude mit Schwedlerkuppel in der Fichtestraße, Berlin (ZfB 1876a, Bl. 32).

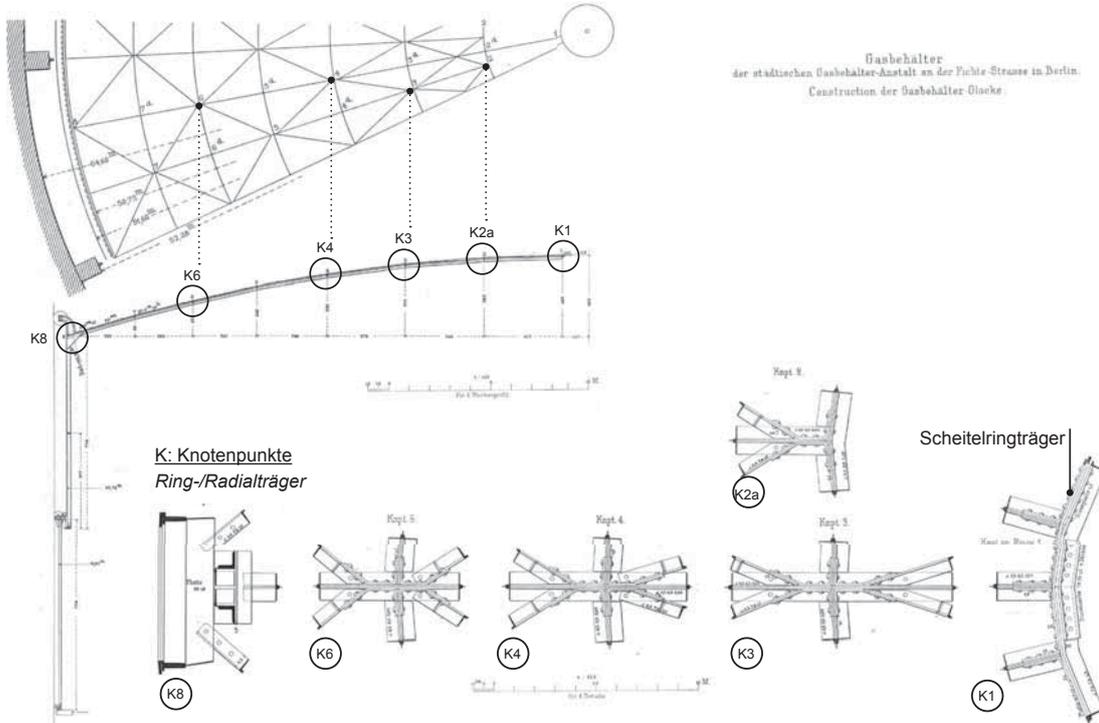


Abb. 56: Hubteilkonstruktion mit Schwedlerkuppel in der Fichtestraße, Berlin (ZfB, 1876a, Bl. 33+34).**

4.6.3. Zusammenfassung – Stabwerkkuppel

Durch die Einführung der kreuzweisen Ausfachung der Kuppelfelder gelang es *Johann Wilhelm Schwedler** eine nahezu biegefreie und damit leichte Kuppelkonstruktionen zu bauen. Alle Bauteile befanden sich ausschließlich in der Kuppel Ebene und ermöglichten einen freien Raum unter der Kuppel.

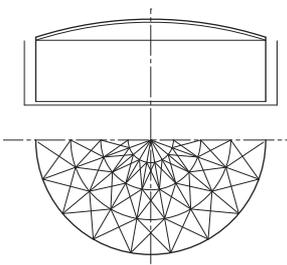
Im Gasbehälterbau bestach die reduzierte Konstruktionsweise der sogenannten Schwedlerkuppel nicht nur hinsichtlich dem reduzierten Zeit- und Kostenfaktor, sondern auch im Betrieb: Bei abgesetztem Zustand benötigte die Kuppel weder eine feststehende Stützkonstruktion, noch ragten Bauteile der Kuppelkonstruktion in das Wasser; dies wirkte sich positiv auf das Schadensausmaß der Korrosion aus.

Die Schwedlerkuppel war richtungsweisend für den Bau von großen Gasbehältergebäuden, Hubteilkonstruktionen, sowie anderen Zentralbauwerken mit großen Spannweiten und fand nicht nur deutschland-, sondern auch weltweit ¹¹⁴ (*Siehe Kap. D.3.2.-2.2.*) Anerkennung und Verbreitung.

England hielt dennoch an den konventionellen, binderlosen und unterspannten Kuppelkonstruktionen fest.

Tab. 12: Zusammenfassung – Stabwerkkuppel

(nach Schwedler, 1866–1877; o.A., 1876, Hertwig, 1930)

Stabwerkkuppel	Vorteile	Nachteile
 <p><u>Aufbau:</u> Radial-/ Ringträger, Auskrenzungen, Kuppelbleche.</p> <p><u>Leerstand:</u> Keine Stützkonstruktion erforderlich.</p>	<ul style="list-style-type: none"> + Selbsttragende Kuppeldach, + Freier Kuppelraum, + Leerstand: Keine Stützkonstruktion erforderlich, + Leerstand: Keine ins Wasser ragenden Bauteile der Kuppelkonstruktion (Senkung der Korrosionsschäden), + Auch bei weit gespannten Kuppeln möglich, + Reduzierung des Materialaufwandes, + Reduzierung der Bauzeit und -kosten. 	<ul style="list-style-type: none"> - Hohes Maß an Genauigkeit bei Planung und Ausführung notwendig, - Zusätzliches Lehrgerüst zur Montage der Kuppel erforderlich.

114 1867 erhielt Schwedler auf der Weltausstellung in Paris die goldene Preismedaille für seine Leistungen (Sarrazin, Hossfeld, 1894, pp.45–246).

4.7. Kuppelbleche

Die Kuppelhaut bestand aus vernieteten Blechen, die in konzentrischen Bahnen angeordnet waren ¹¹⁵. Die Bleche wurden in größtmöglichen Formaten hergestellt, um den Arbeitsaufwand zu senken. Gleichzeitig galt es jedoch, auf einen gewissen Nietanteil zu achten, um den statischen Erfordernissen zu genügen ¹¹⁶. Die Kuppelbleche waren grundsätzlich dicker als die Mantelbleche (*Siehe Kap. C.2.2.-5.5.*) ¹¹⁷, da diese je nach Kuppelstich größeren Beanspruchungen ausgesetzt waren ¹¹⁸.

Die Stärke der Kuppelbleche war abhängig vom Durchmesser der Kuppel, wobei die äußeren Blechringe und das zentrale Scheitelblech grundsätzlich stärker waren als die inneren Ringe ¹¹⁹.

Der kraftschlüssige, durchgehende Anschluss der Radialträger mit den Kuppelblechen war zu vermeiden, da sich die Kuppelhaut im Füllvorgang leicht von den radialen Trägern abhob und zur Entstehung von Spalten führte, an denen das Wasser nicht abließ und Korrosionsschäden verursachen konnte. Deshalb sollten die Bleche nur entlang des Kuppelrandes kraftschlüssig mit dem Eckringträger vernietet werden, sodass die übrigen Kuppelbleche nur auf der Kuppelkonstruktion „auflagen“. ¹²⁰

Nach Clegg jun., 1841 waren die Hubteile von Glockengasbehältern (D= 10–27m) eher mit dünnen Kuppelblechen (t= 1–2mm) ausgestattet. ¹²¹

Mit zunehmenden Hubteildurchmessern etablierte sich ein gradueller Verlauf der Blechstärke vom Kuppelrand und dem Scheitelblech zu den mittleren Blechringen. Die Blechstärke spielte v.a. bei den binderlosen Flach- und Kuppeldächern eine wichtige Rolle, da diese keine permanente Unterkonstruktion besaßen (*Siehe Kap. C.2.2.-4.4.*). Bei mittelgroßen, binderlosen Kuppeln waren Bleche von 3,10mm (BWG-11) ausreichend; bei größeren Durchmessern empfahl sich die Anwendung von 3,40mm (BWG-10) ¹²².

Der um 1878 größte Gasbehälter (V= 84.950m³) Londons befand sich in Kennington und wurde von Woodall mit einer binderlosen Kuppel (D= 64,92m; f= 2,44m) geplant (*Abb. 57*): Die Kuppelfläche wurde durch zwölf radiale Blechstreifen in gleichmäßige Sektoren unterteilt. Innerhalb der Sektoren befanden sich jeweils 22 linear verlaufende Blechreihen. Die Bleche selbst waren an den äußeren Kuppelringen (t= 16–11mm) und am Scheitelblech (10mm) am stärksten. Bei den dazwischen liegenden Blechen verringerte sich die Blechstärke bis auf ein Fünftel im Vergleich zu den Randblechen (*Tab. 13*). ¹²³

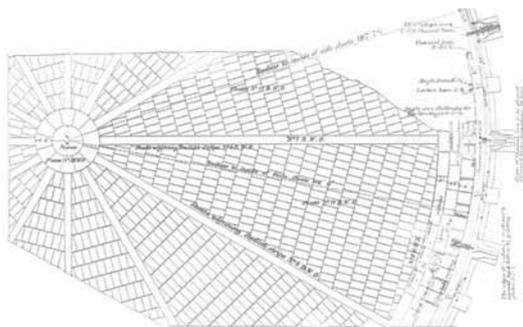


Abb. 57: Anordnung der Kuppelbleche eines binderlosen Kuppeldachs in Kennington, London, 1878 (Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XV).

Tab. 13: Kuppelblechstärke – Zweihübriger Gasbehälter in Kennington, London (um 1878)
(nach Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 169)

Blechreihen	Anordnung	Kuppel (in mm)
1.	konzentrisch	15,87
2.	konzentrisch	11,11
3.	konzentrisch	6,35
4.	linear	4,72 (BWG-8)
5.–25.	linear	3,10 (BWG-11)
26.	konzentrisch	5,39
27. Scheitelblech	konzentrisch	9,53

115 Ende des 19. Jahrhunderts wurden die Kuppelbleche bis auf die äußeren Randbleche auch im rechtwinkligen Verband verlegt (Herring, 1893, p. 267).

116 Meade, 1916, p. 446

117 Hunt, 1900, p. 157; Milbourne, 1929, pp. 32–33

118 Herring, 1893, p. 266

119 Meade, 1916, p. 446

120 JGL-35,1880, p. 925; Meade, 1916, p. 447

121 Clegg, 1841, pp. 139–142

122 Herring, 1893, p. 267

123 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 169–170

4.8. Eckringträger: Anschluss von Kuppel und Mantel

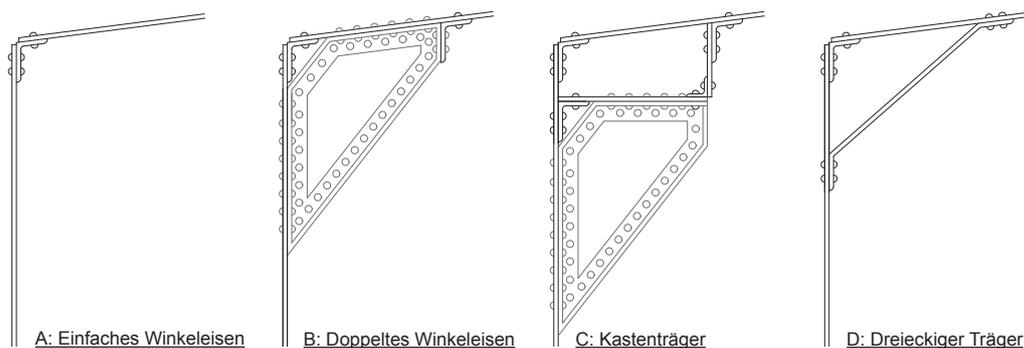


Abb. 58: Formen des Eckringträgers (Schema, BB, 2017).

Eine wichtige Schnittstelle der Hubteilkonstruktion war der Anschluss von Kuppel und Mantel (Siehe Kap. C.2.2.-5.), die sich an der Ecke ein Bauteil teilten – nämlich den sogenannten **Eckringträger**.¹²⁴ Mit zunehmenden Hubteilabmessungen wurden die Größe und der Aufbau des Eckringträgers angepasst – vom einfachen Winkeleisen zum Kastenträger – und häufig mit Ecksteifen ergänzt.¹²⁵

Ein weiterer Faktor, den es bei der Planung des Eckanschlusses zu berücksichtigen galt, waren die Rollenböcke, die am Kuppelrand befestigt wurden und v.a. bei mehrhubigen Gasbehältern größere Ausmaße annahmen. Bei unzureichender Bemessung des Eckanschlusses drohten Verformungen¹²⁶ entlang des Kuppelrandes¹²⁷. Dies traf insbesondere bei binderlosen Kuppeldächern (Siehe Kap. C.2.2.-4.4.) zu, deren Konstruktion sich allein auf den Eckringträger selbst beschränkte¹²⁸.

Je nach Hubteilabmessung wurde der Eckringträger ausgeführt (Abb. 58): Als Einfaches Winkeleisen (A), Doppeltes Winkeleisen (B), Kastenträger (C) oder als Dreieckiger Träger (D)¹²⁹.

Das **einfache Winkeleisen** war die erste Form des Eckringträgers, die überwiegend bei kleineren Hubteilabmessungen eingesetzt wurde¹³⁰.

So beschrieb Clegg jun. in seinem Handbuch von 1841 einen Glockengasbehälter (D= 26,67m; H= 7,62m; V= 4.250m³), dessen Hubteil mit einem einfachen Winkeleisen (b/h= 76/76mm) gebaut wurde (Abb. 59)¹³¹.

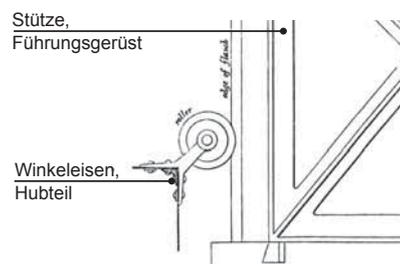


Abb. 59: Einfaches Winkeleisen (Clegg, 1841, p. 131).**

Das **doppelte Winkeleisen** bestand aus einem äußeren und einem inneren Ringträger aus Winkeleisen, meist in Kombination mit einer Ecksteife. Letztere hatte die Form eines Dreiecks – teilweise mit segmentförmig abschließendem Schenkel – und wurde entweder aus einer vollwandigen oder einer Gitterkonstruktion erstellt.

124 Anm. d. Verfasserin: Beim Ausfahren des Hubteils entsteht durch das Gewicht der Mantelkonstruktion mitunter eine große Ringdruckkraft am Anschluss von Mantel und Kuppel.

125 Weiterführende Literatur zu Untersuchungen der einwirkenden Kräfte am Eckringträger siehe Cripps, 1882.

126 Siehe hierzu Kapitel C.2.2.4.1.

127 Diesen Anschluss galt es besonders sorgfältig zu planen und auszuführen, da hier vermehrt Gaslecks auftraten (Dempster, 1925, p. H25).

128 Cripps, 1884, p. 1128; Wehrmann, 1954, p. 42

129 Meade, 1916, p. 441

130 Hughes, 1853, pp. 222–223; Herring, 1893, p. 262

131 Clegg, 1841, pp. 130–133

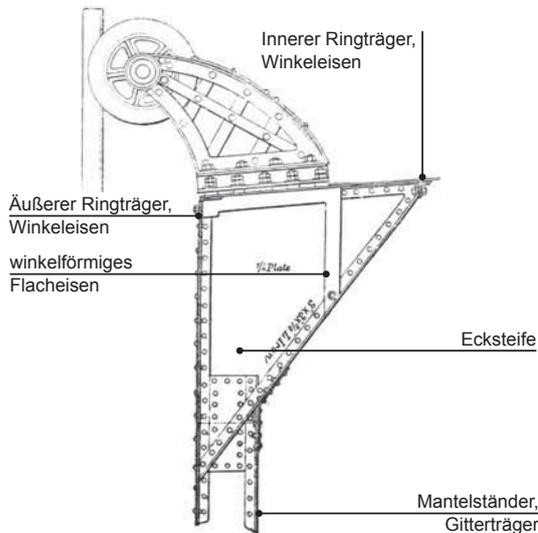


Abb. 60: Eckanschluss mit zwei Winkeleisen und einem Ecksteif, Kennington, London, 1875 (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 135).**

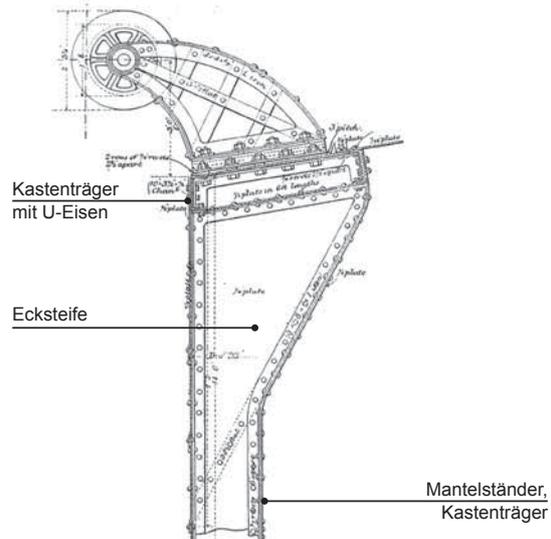


Abb. 61: Eckringträger, bestehend aus einem Kastenträger und einem Ecksteif, Kennington, London, 1878 (Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XVI).**

Das doppelte Winkeleisen kam z.B. 1875 bei einem Gasbehälter in Kennington, London zur Ausführung (Abb. 60): Die binderlose Kuppel ($D=41,67\text{m}$; $f=0,91\text{cm}$) wurde nach den Plänen Woodalls erstellt und der Eckanschluss bestand aus einem äußeren und einem inneren Ringträger aus Winkeleisen ($b/h=152/152\text{mm}$; $t=16\text{mm}$), sowie einer Ecksteife ($t=6\text{mm}$); letztere wurde mit einem Winkeleisenpaar ($b/h=76/76\text{mm}$; $t=10\text{mm}$) an die Mantel- bzw. Kuppelbleche genietet. Auch die Mantelständer wurden direkt an die Ecksteife angeschlossen.¹³²

Unterhalb des Rollenbockes befand sich ein winkelförmiges Flacheisen, um dessen Auflagerfläche zu verstärken.

Der **Kastenträger** wurde v.a. bei großen Hubteildurchmessern – insbesondere bei dem binderlosen Kuppeldach – eingesetzt; meist wurde dieser Eckringträger auch mit einer Ecksteife kombiniert.

So stattete Evans um 1865¹³³ das Flachdach ($D=60,35\text{m}$) eines Gasbehälters ($V=42.475\text{m}^3$) in Westminster mit einem Kastenträger ($b/h_{\text{innen}}=914/610\text{mm}$) aus, der zu den Dachblechen hin mit zusätzlichen, diagonalen Flacheisenstreifen ($b/h=102/25\text{mm}$) und zu den Mantelständern mit diagonalen T-Eisen ($b/h=102/102\text{mm}$; $t=6\text{mm}$) verstärkt wurde.¹³⁴

Auf dem vorgenannten Gaswerk in Kennington wurde um 1878 ein weiterer Gasbehälter errichtet, dessen binderlose Kuppel ($D=64,92\text{m}$; $f=2,44\text{m}$) am Rand mit einem Kastenträger verstärkt wurde (Abb. 61): Zwei U-Eisen ($b/h=254/89\text{mm}$; $t=13\text{mm}$) wurden gemeinsam mit den Kuppelblechen ($t=16\text{mm}$), einer unteren Blechlage ($t=13\text{mm}$) und

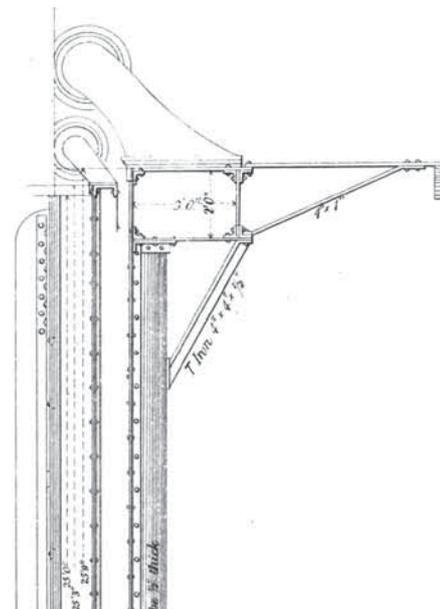


Abb. 62: Eckringträger der Flachdach in Westminster (Clegg, 1866, Plate XXVII).

132 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 133–135

133 Clegg, 1866, p. 252

134 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 106; p. 145

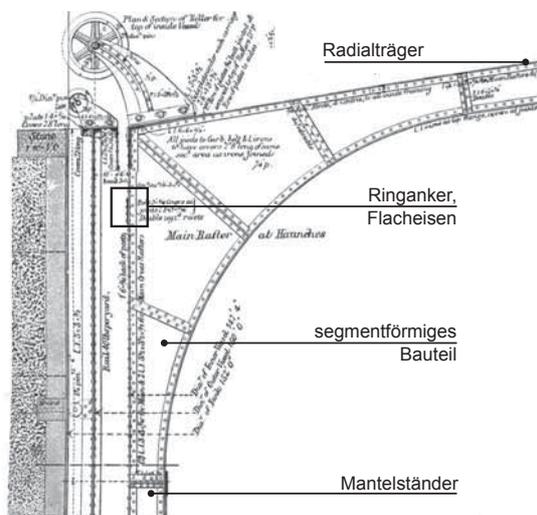


Abb. 63: Segmentförmiger Übergang von Kuppel- zur Mantelkonstruktion, Redheugh (Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XII).**

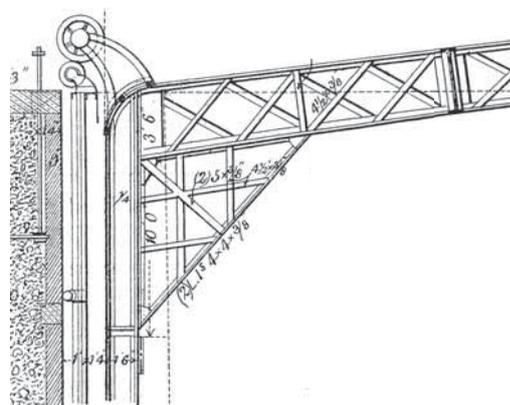


Abb. 64: Abgerundete Ecke einer Kuppel in Beckton, London (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 159).**

innen liegenden Winkeleisen ($b/h= 152/127\text{mm}$; $t= 19\text{mm}$) zu einem Kastenträger ausgebaut. An der Unterseite wurde eine Ecksteife ($t= 6\text{mm}$) angesetzt, die von einem Winkeleisenpaar ($b/h= 76/76\text{mm}$) gefasst wurde; die untere Ecke wurde zugleich als Übergang für die Mantelständer ausgebildet.¹³⁵

Der **Dreieckige Träger** vereinte die Vorteile der dreieckigen Form des Ecksteifs mit der Konstruktionsweise des Kastenträgers, kam jedoch eher selten zur Ausführung und wenn, dann in Kombination mit dem Kastenträger, wie es in Westminster der Fall war (Abb. 62).

Wyatt beschäftigte sich eingehend mit diesem Eckdetail und brachte zwei herausstechende Sonderanschlüsse hervor:

- Bei dem gerippten Kuppeldach ($D= 44,92\text{m}$; $f= 2,20\text{m}$) eines Gasbehälters ($V= 28.317\text{m}^3$) in Redheugh (Siehe Kap. C.2.2.-4.5.) setzte er einen **segmentförmigen Eckanschluss** ein (Abb. 63). Als Eckringträger wählte Wyatt einen konventionellen Eckringträger aus einem einfachen Winkeleisen ($b/h=152/152\text{mm}$; $t= 16\text{mm}$)¹³⁶. Anstatt diesen beispielsweise zu einem Kastenträger auszubauen und mit einem Ecksteif zu verstärken, schuf er einen fließenden Übergang vom Radialträger zum Mantelständer – nämlich durch eine viertelkreisförmige Ecksteife ($r= 3,96\text{m}$). Letztere wurde mit Winkeleisenpaaren ($b/h= 76/76\text{mm}$; $t= 8\text{mm}$) gefasst und mit radial ausgerichteten T-Eisen ($b/h= 102/50\text{mm}$; $t= 6\text{mm}$) verstärkt. Zusätzlich wurde der Eckanschluss mit einem außen liegenden Flacheisenring ($b/h= 229/8\text{mm}$) ertüchtigt.¹³⁷
- Eine weitere Verbesserung erfuhr das Eckdetail, indem Wyatt 1879 die **abgerundete Ecke** einführte (Abb. 64) und so die Kraftübertragung von der Kuppel zum Mantel optimierte: Bei dem Bau von zwei Gasbehältern ($D_{1, \text{Hubteil}} = 57,91\text{m}$; $f= 2,45\text{m}$ $V= 56.634\text{m}^3$) in Beckton war jeweils die Ecke des Kuppelabschlusses mit einem Viertel-Rohr ($r= 91,44\text{cm}$; $t= 10\text{mm}$) ausgeführt und mit zwei gebogenen Flacheisenstreifen ($b/h= 127/10\text{mm}$) verstärkt. Die Radialträger liefen bis zur abgerundeten Ecke durch und wurden dort an die Mantelständer gestoßen. Dieser Anschluss wurde durch eine aufgelöste Ecksteife verstärkt. Die Ecksteife ($h= 3,05\text{m}$) bestand

135 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 169–170

136 Anm. d. Verfasserin: Die Zeichnung scheint jedoch von der Konstruktionsbeschreibung abzuweichen, da der nach unten gerichtete Schenkel des Winkeleisens fast doppelt so lang wie der andere zu sein scheint.

137 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 138–142. – Das segmentförmige Bauteil wurde in den Achsen des Trägerkreuzes mit stärkeren Winkelblechen ($b/h= 89/89\text{mm}$; $t= 10\text{mm}$) ausgestattet.



Abb. 65: Montage der Ecksteifen, Linacre (NGA, BG1/NW/1/29-53).**

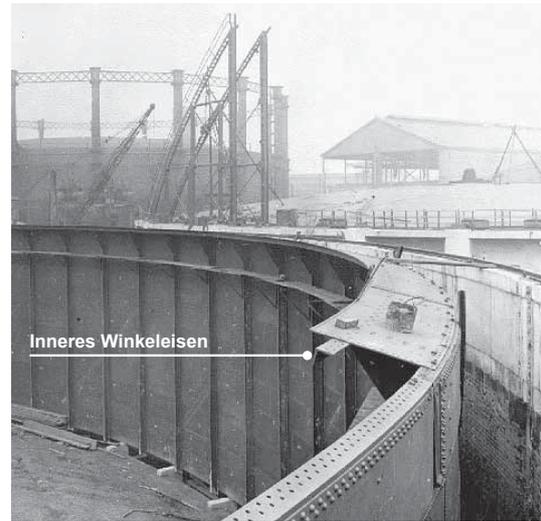


Abb. 66: Montage des inneren Winkelblechs und der ersten Kuppelblechreihe, Linacre (NGA, BG1/NW/1/30-53).**

aus einer genieteten Gitterkonstruktion aus Winkelblechen ($b/h= 102/102\text{mm}$; $t= 10\text{mm}$) und Flacheisenstäben ($b/h= 114/10\text{mm}$).¹³⁸

Die meist gewählte Ausführung des Eckringträgers war die des zweifachen Winkelblechs in Kombination mit einer Ecksteife¹³⁹. Dies bewies z.B. der Bau eines mehrhübrigen Schraubengasbehälters (Siehe Kap. C.2.6.-1.) in Linacre, Liverpool um 1948 (Abb. 65, Abb. 66): Die Ausbildung des Kuppelabschlusses erfolgte durch zwei zueinander gerichtete Winkelbleche und einer vollwandige Ecksteife. Bei Gasbehältern mit großen Durchmessern wurde das innen liegende Winkelblech teilweise aufgedoppelt oder verstärkt ausgeführt. Robert J. Milbourne* plante den Kuppelabschluss ($D_{1. \text{Hubteil}} = 87,78\text{m}$; $f= 7,62\text{m}$; $H_{1. \text{Hubteil}} = 14,17\text{m}$) eines Gasbehälters ($V= 353.961\text{m}^3$) in Sydney mit einem äußeren Winkelblech ($b/h= 203/203\text{mm}$; $t= 25\text{mm}$) und einem innen liegenden U-förmigen Blechträger, der sich aus zwei Winkel- und einem Flacheisen zusammensetzte (Abb. 67).¹⁴⁰

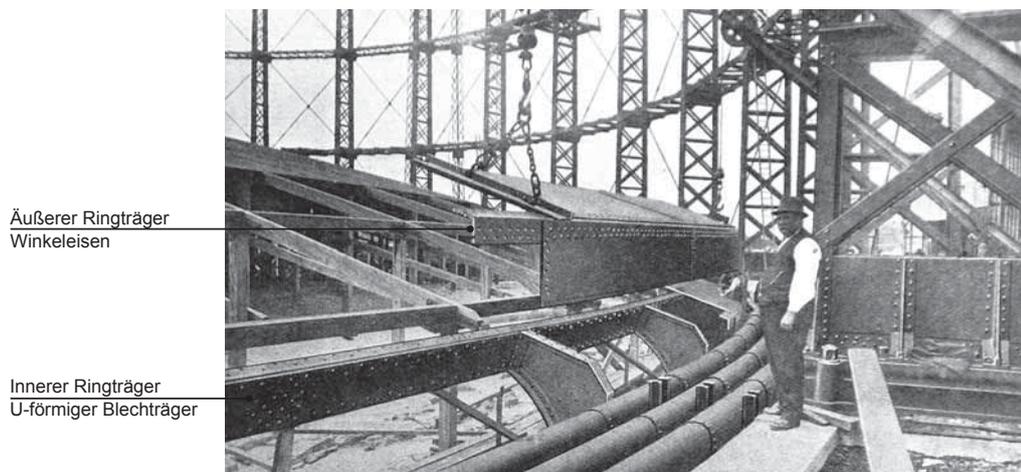


Abb. 67: Montage des Eckringträgers in Sydney (Milbourne, 1923, p. 25).**

138 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 153–159
Die halbrunde Ecke wurde auch um 1907 bei einem Gasbehälter ($D= 73,45\text{m}$; $V= 198.218\text{m}^3$) in Granton-Edinburgh eingesetzt (Herring, 1907, p. 203).

139 Herring, 1893, pp. 261–262

140 Milbourne, 1923, pp. 20–23

Weiterführende Fachliteratur zu den einwirkenden Kräften und der Bemessung des Eckringträgers, siehe Cripps, pp. 74–83.

4.9. Zusammenfassung – Flach- und Kuppeldach

Der obere Abschluss des Hubteils vollzog im Laufe des 19. Jahrhunderts eine Entwicklung, die sich in Form und Konstruktion abzeichnete (Tab. 14): Die ersten, einfachen Hubteile wurden mit einem Flachdach gebaut, bis dieses aufgrund der zunehmenden Hubteilgrößen ihre konstruktiven Grenzen erreichte und sich das Kuppeldach zum Standard erhob. In England konkurrierten bei der Kuppelkonstruktion v.a. zwei Modelle:

- Das **unterspannte Kuppeldach**, dessen zentrales Bauteil die Luftstütze war. Diese Kuppelkonstruktion entwickelte sich von der einfachen, doppelten bis hin zur aufgelösten Unterspannung, dem sogenannten Fachwerkträger. Im Leerstand war eine zentrale, im Becken feststehende Stütze erforderlich, auf die sich die Luftstütze absetzte.
- Die **binderlose Kuppel**, deren Konstruktion sich allein auf die Blechhaut und den Eckringträger beschränkte. Im Leerstand war eine feststehende, flächige Stützkonstruktion im Becken notwendig, auf die sich die Kuppelhaut ablegen konnte.

Ende des 19. Jahrhunderts erwies sich v.a. das binderlose Kuppeldach bei großen Spannweiten kostengünstiger als die unterspannte Ausführung, da z.B. eine hölzerne Stützkonstruktion weitaus billiger war als die eiserne Unterspannung.

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts führten die zunehmenden Kuppeldurchmesser zur Entstehung von neuen Konstruktionsformen:

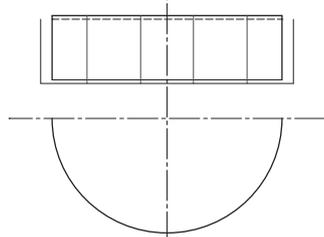
- Das **gerippte Kuppeldach** von *Vitruvius Wyatt**, dessen Träger und Rippen ausschließlich in der Kuppellinie lagen und auf die Anordnung von weiteren Unterspannungen verzichteten; auch bei dieser Konstruktionsform war für den Leerstand eine zentrale Auflagerstütze notwendig.
- Die **Stabwerkkuppel** von *Johann Wilhelm Schwedler**, deren Bauteile allein innerhalb der Kuppellinie angeordnet waren, sodass ein freier Raum unterhalb der Kuppel entstand. Diese Kuppelkonstruktion war freitragend und benötigte keine weitere Stützkonstruktion im Becken.

Beide Kuppelkonstruktionen konnten sich jedoch nicht gegenüber dem binderlosen bzw. unterspannten Kuppeldach durchsetzen.

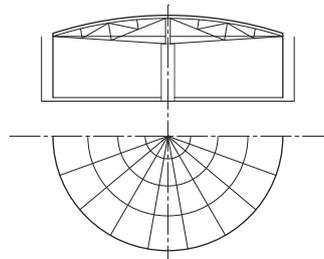
Die gerippte Ausführung wurde nur vereinzelt von Wyatt selbst eingesetzt und die Schwedlerkuppel war

Tab. 14: Flach- und Kuppeldach
(Schemazeichnungen, Berger, 2016)

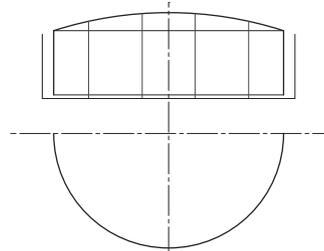
Flachdach – mit Stützkonstruktion



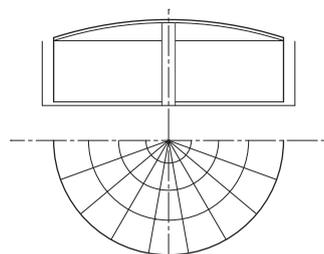
Kuppeldach, unterspannt – mit Beckenstütze



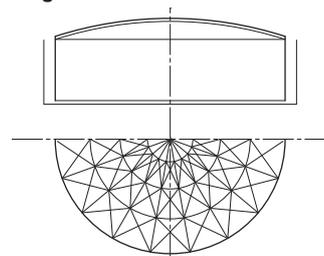
Kuppeldach, binderlos – mit Stützkonstruktion



Kuppeldach, gerippt – mit Beckenstütze



Stabwerkkuppel – selbsttragend



eine deutsche Errungenschaft, die sich international – jedoch kaum im englischen Gasbehälterbau – verbreitete.

Allen Kuppelkonstruktionen war ein Bauteil gemein, nämlich der **Eckringträger**. Dieser stellte ein wichtiges Anschlussdetail von Kuppel und Mantel, sowie den Rollenböcken dar. Zudem sorgte er für den kreisförmigen Ab- und Anschluss von Kuppel und Mantel. Die ursprüngliche Ausführung basierend auf einem Winkeleisen hielt bis Ende des 19. Jahrhunderts Bestand. Insbesondere bei großen Hubteildurchmessern sowie bei binderlosen Ausführungen empfahl sich jedoch der Einsatz von einem doppelten Winkeleisen oder einem Kastenträger.

Insgesamt lässt sich an der Kuppelkonstruktion des Gasbehälters exemplarisch die Evolution einer Bauform ablesen, die von dem Flachdach über das binderlose, unterspannte und gerippte Kuppeldach führt und in der Stabwerkkuppel Schwedlers gipfelte.

5. Mantel



Abb. 68: Mantelständer eines Schraubengasbehälters in Darlington, 1948 (NGA, BG21/DAC/E/F/1/21).

Nicht nur die Kuppel-, sondern auch die Mantelfläche benötigte insbesondere mit zunehmender Hubteilgröße eine Unterkonstruktion, die die zylindrische Form des Hubteils sowohl in der ausgefahrenen, als auch in der abgesetzten Position aufrecht erhielt ¹⁴¹.

„(...) The sides in large holders have also trussing to prevent the holder „bulging“ or „buckling“ when on the ground.“ ¹⁴²

Die Unterkonstruktion und die Blechverkleidung eines Hubteils waren primär von der jeweiligen Hubteilgröße und der Hübigkeit abhängig: Von ersten kleineren Hubteilen, deren Unterkonstruktion eher aus wenigen aber massiven Bauteilen bestand und mit gleichstarken Mantelblechen verkleidet war, über die Kombination mit mehreren Ringträgern und diagonalen Stäben, bis hin zur standardisierten Form, die durch zwei Ringträger und dazwischen gesetzte, senkrechte Mantelständer ¹⁴³ geprägt war.

Das Kapitel MANTEL führt durch die einzelnen Bestandteile der Mantelkonstruktion, deren unterschiedliche Anforderungen und ihre Entwicklung.

141 Herring, 1893, p. 263

142 Hughes, 1865, p. 191

„(...) Die Seiten eines großen Behälters waren ebenfalls mit vertikalen Trägern auszustatten um ein „Ausbauchen“ oder „Ausbeulen“ des Behälters zu verhindern, wenn sich dieser am Boden befindet.“ – (Übers. d. Verfasserin)

143 Anm. d. Verfasserin: Dieses Kapitel behandelt die Mantelkonstruktion sowohl bei Glocken-, als auch bei Teleskopgasbehältern. Von einer separaten Beleuchtung des ein- und mehrhübligen Modells wird an dieser Stelle abgesehen, da die Mantelkonstruktion eine kontinuierliche Entwicklung der beiden Modelle vorweist.

5.1. Ringträger und diagonale Stäbe

Nachdem die ersten Hubteile mit eher massiven Unterkonstruktionen, wie Holzrahmen oder schweren Eisenständern ¹⁴⁴ (Siehe Kap. B.5.2.) ausgeführt wurden, reduzierte man diese allmählich bis auf zwei konzentrische Träger, die am oberen und unteren Mantelabschluss positioniert wurden. ¹⁴⁵ Ab einem Durchmesser von ca. 15m wurde im King's Treatise empfohlen, zusätzliche Bauteile zur Stabilisierung und Aussteifung der Glockenform zu verwenden ¹⁴⁶.

Clegg verstärkte die Hubteilkonstruktion (Abb. 69) eines Gasbehälters ($D = 26,67\text{m}$; $H = 7,62\text{m}$; $V = 4.250\text{m}^3$), indem er zusätzliche Ringträger (RZ) sowie diagonale Stäbe (D) einsetzte:

Die Mantelbleche ($t = 2\text{mm}$; BWG-16) wurden an insgesamt sechs Ringträgern befestigt. Der Eckringträger (R1) war als Winkeleisen ($h = 76\text{mm}$), die Zwischenträger als T-Eisen ($h = 76,20\text{mm}$, $e = 152,40\text{cm}$) und der untere Träger als Holzbalken (H), ($b/h = 30,48/30,48\text{cm}$) ausgebildet. Die diagonalen Rundeisenstäbe (D) waren aus schmiedeeisernen Rundeisen ($d = 38,10\text{mm}$) und versteiften den Eckanschluss von Kuppel und Mantel. ¹⁴⁷

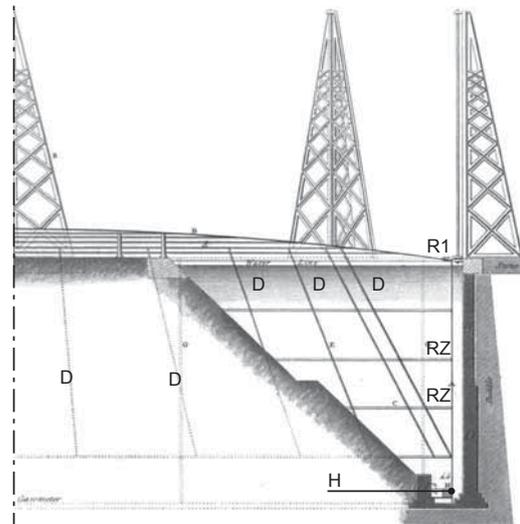


Abb. 69: Hubteilkonstruktion aus Ringträgern und Diagonalen (Clegg, 1841, Plate XVI).**

Das Winkeleisen war bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts die gängige Ausführung des oberen und unteren Ringträgers, da seine Schenkel ideale Anschlussflächen für die Mantel- und Kuppelbleche boten (Siehe Kap. C.2.2.4.8.). ¹⁴⁸

Der Einsatz von diagonalen Stäben und sekundären Ringträgern – wie es Clegg zeigte – war schließlich mit der Einführung der vertikalen Mantelständer (Siehe folgendes Kapitel) nicht mehr notwendig. Als die Teleskopgasbehälter bereits viel größere Ausmaße erreichten, wurden teilweise zusätzliche Ringträger auf halber Mantelhöhe, den Drittels-, oder Viertelpunkten eingesetzt:

- Um 1875 wurden in Beckton zwei zweihübrige Gasbehälter nach den Plänen Wyatts errichtet, deren untere Hubteile ($D = 58,72\text{m}$; $H = 11,16\text{m}$) jeweils in den Drittelpunkten mit zusätzlichen Ringträgern aus Flacheisen verstärkt wurden. ¹⁴⁹
- 1875 wurde ein Teleskopgasbehälter ($V = 28.316\text{m}^3$) in Kennington, London nach den Plänen Woodalls gebaut, bei dem beide Hubteile mit einem zusätzlichen, mittigen Ringträger verstärkt wurden: Im unteren Hubteil ($D_{2,\text{Hubteil}} = 42,37\text{m}$; $H = 10,97\text{m}$) wurde dieser mit einem schienenförmigen Profil und im oberen ($D_{1,\text{Hubteil}} = 41,67\text{m}$) mit einem T-Eisen ausgeführt (Abb. 73). ¹⁵⁰

¹⁴⁴ Hunt, 1900, p. 153

¹⁴⁵ Peckston, 1819, pp. 242–247

¹⁴⁶ Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 121

¹⁴⁷ Clegg, 1841, pp. 130–132. – Zur weiteren Funktion dieses Holzbalkens zur Druckregulierung siehe auch Kapitel B.4.-2.

¹⁴⁸ JGL-1, 1849, p. 89; Hughes, 1853, pp. 222–223

Oberer und unterer Ringträger des ersten Hubteils ($D = 45,72\text{m}$) eines zweihübrigen Gasbehälters in Southport wurden mit Winkeleisen ($b/h = 152/152\text{mm}$; $t = 16\text{mm}$) ausgeführt (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 137).

¹⁴⁹ Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 155–156. – Diese Ringträger wurden im King's Treatise als „internal belts“ bezeichnet. Einige Jahre später wurde in Kennington ein weiterer Teleskopgasbehälter unter Woodall errichtet, der ebenfalls mit schienenförmigen Zwischenringträgern aus T-Eisen ausgestattet war (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 171).

¹⁵⁰ Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 133–136

5.2. Mantelständer

Gemeinsam mit dem oberen und unteren Ringträger sowie den Hak- und Schöpftassen bildeten die senkrechten Ständer die aussteifende Konstruktion des Mantels.¹⁵¹

Die Ausführung des Mantelständers war abhängig von der Hubteilgröße und der Hüblichkeit eines Gasbehälters. Grundsätzlich wurde ab einem Durchmesser von 15m der Einsatz von Mantelständern empfohlen.¹⁵²

Die Anordnung der Mantelständer und ihre Anzahl entsprach zunächst der Säulenzahl des Führungsgerüsts, wurde aber mit zunehmender Hubteilgröße verdoppelt: Die Ständer waren nicht nur in, sondern auch zwischen den Säulen- oder Stützenachsen eingesetzt.

Bei Teleskopgasbehältern waren die Mantelständer im ersten Hubteil meist stärker gebaut als in den unteren, weil diese das Gewicht der Kuppelkonstruktion im Leerstand aufnahmen. Die verstärkte Ausführung von Mantelständern kam auch bei einhübrigen Gasbehältern mit großen Durchmessern zum Einsatz.

Winkel- und T-Eisen (mit/ ohne Unterspannung)

Mantelständer aus Winkel- oder T-Eisen wurden überwiegend bei einhübrigen Gasbehältern eingesetzt.¹⁵³

1865 beschrieb Hughes beispielsweise einen Glockengasbehälter, dessen Hubteil ($D= 12,19\text{m}$; $H= 4,57\text{m}$) mit vier Mantelständern aus T-Eisen ($b/h= 76/64\text{mm}$; $t= 10\text{mm}$) gebaut wurde. Bei größeren Hubteildurchmessern sollten nach Hughes die Ständer mit einer Unterspannung ergänzt werden.¹⁵⁴

Dieser Empfehlung folgte die Konstruktion eines Hubteils (Abb. 70) mit ungefähr doppelt so großem Durchmesser ($D= 25,60\text{m}$; $H= 6,71\text{m}$), das im King's Treatise aufgeführt wurde: Der Mantel war mit senkrechten, unterspannten T-Eisen ($h= 127\text{mm}$) ausgestattet.¹⁵⁵

Die Variante des unterspannten T-Eisens wurde auch bei mittelgroßen, zweihübrigen Gasbehältern eingesetzt.¹⁵⁶

Holzständer (mit/ ohne Unterspannung)

Mantelständer aus Holz waren eher ungeeignet, da diese im Betrieb dem permanenten Wechsel von Wasser und Luft ausgesetzt waren und deshalb mit Fäulnisschäden zu rechnen war.

Dennoch wurde 1855 in Kennington, London einer der größten zweihübrigen Gasbehälter ($V= 39.219\text{m}^3$) dieser Zeit mit zweifach angeordneten Holzständern nach den Plänen *William Innes** fertig gestellt:

- 1. Hubteil ($D= 48,08\text{m}$; $H= 10,67\text{m}$): Von den insgesamt 48 Holzständern befanden sich 16 in und die übrigen zwischen den Säulenachsen ($b/h= 305$ bzw. $229/76\text{mm}$); diese waren beidseitig mit Winkeleisen verstärkt.

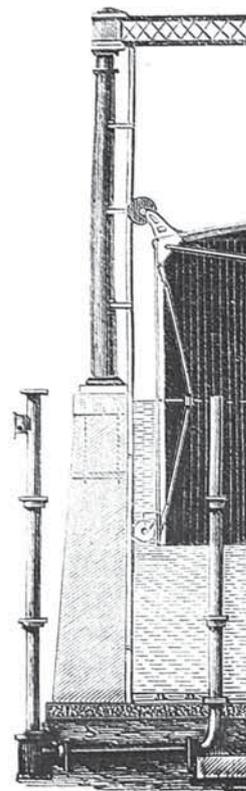


Abb. 70: Hölzerne Mantelständer mit Unterspannung (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 120).**

151 Herring, 1893, pp. 263–264

152 Hughes, 1865, p. 196; Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 121

153 Hughes, 1865, p. 196; Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 121

154 Hughes, 1865, p. 196

155 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 121 – Baujahr unbekannt.

156 Herring, 1893, p. 264 – Bei größeren Abmessungen tendierte man jedoch zur Ausführung mit Blechträgern (Siehe gleichnamiger Abschnitt).

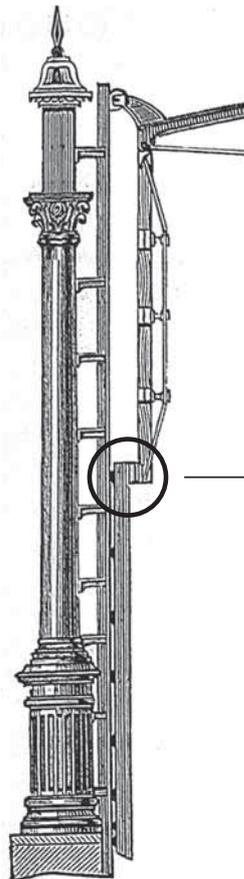


Abb. 71: Holzerne Mantelständer in Fulham-London (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 165).**

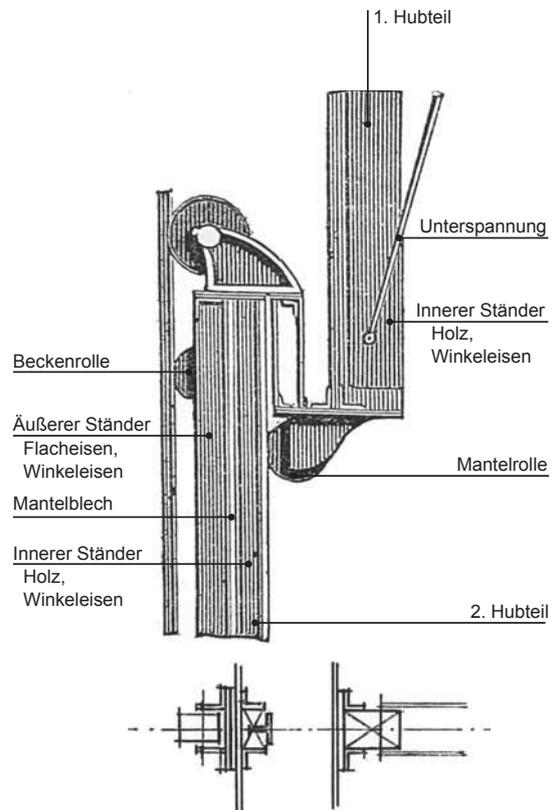


Abb. 72: Aufbau und Anschluss der hölzernen Mantelständer (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 164; Skizze BB, 2017).**

- 2. Hubteil (D= 48,77m; H= 10,67m): Insgesamt 48 Holzständer (b/h= 152/76mm) unterstützten die Mantelfläche; in der Säulenachse waren diese paarweise und zwischen den Achsen einzeln angeordnet. Außenseitig wurde der Mantel mit zusätzlichen, vertikalen Blechstreifen (b/h= 310/5mm) verstärkt. ¹⁵⁷

Thomas Kirkhams* ¹⁵⁸ zueihübiger Gasbehälter (V= 73.624m³) in Fulham, London (Abb. 71) wurde 1867 in Betrieb genommen; die Mantelständer waren ebenfalls aus Holz (Abb. 72):

- 1. Hubteil (D= 69,49m; H= 9,91m): Insgesamt 56 unterspannte Holzständer (b/h= 305/152mm) wurden über Flacheisenstreifen und beidseitig angeordneten Winkeleisen an der Mantelfläche befestigt.
- 2. Hubteil (D= 70,10m; H= 9,82m): Analog zum oberen Hubteil waren 56 innen liegende Holzständer eingebaut, die jeweils mit zwei Winkel- und einem T-Eisen kombiniert waren. Letzteres diente zugleich als Führungsschiene für die Mantelrollen des ersten Hubteils. Die in den Säulenachsen befindlichen Holzständer wurden an der Mantelaußenseite mit einem Winkeleisenpaar (b/h= 76/76mm; t= 10mm) und darunterliegenden Flacheisenstreifen (2x b/h= 203/13mm) verstärkt. Das Winkeleisenpaar diente zugleich zur Aufnahme von insgesamt sechs Beckenrollen. ¹⁵⁹

¹⁵⁷ Colburn, 1865, pp. 68, 75–79; Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 131–133

¹⁵⁸ Nach Chrimes stammte nur das Becken von Kirham (Chrimes, 2008, p. 448–449).

¹⁵⁹ Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 163–168

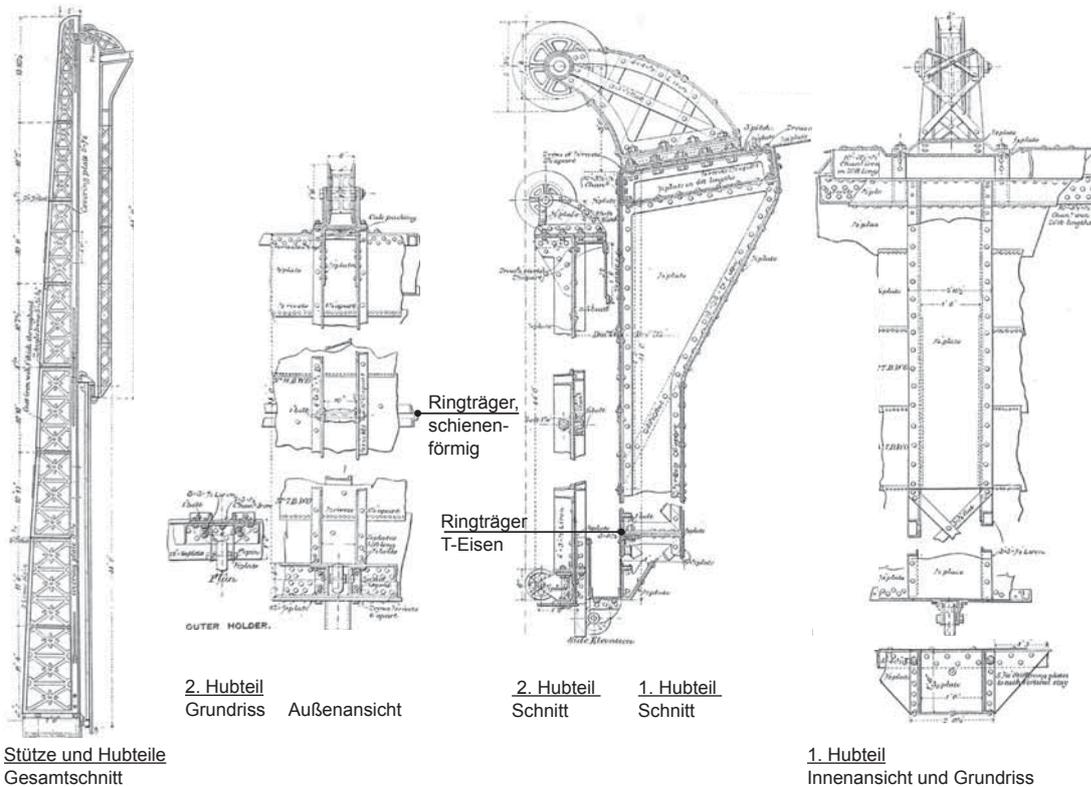


Abb. 73: Mantelkonstruktion eines zweihübrigen Gasbehälters in Kennington, London, 1878 (Newbigging, Fewtrell, Plate XVI, XVIII).**

Genietete Blechträger

Bei großen Hubteildurchmessern, mehrhübrigen Gasbehältern und binderlosen Kuppeln kamen überwiegend genietete Blechträger zum Einsatz ¹⁶⁰. Diese Ständerkonstruktion wurde grundsätzlich ab einer Mantelhöhe von ca. 9 bis 12m empfohlen ¹⁶¹.

Bei den untergeordneten Hubteilen wurde meist das U-Eisen favorisiert, dessen Querschnitt sich gleichzeitig als Schiene für die innen liegenden Mantelrollen eignete (Siehe Kap. C.2.2.-6.4.3.) ¹⁶².

Auf dem Gaswerk Kennington, London, wurden zwei Gasbehälter nach den Plänen Woodalls realisiert, deren Mantelkonstruktionen im Folgenden beschrieben werden:

1875 wurde ein zweihübriger Gasbehälter ($V= 28.317\text{m}^3$) fertig gestellt, bei dem das erste Hubteil ($D= 41,67\text{m}$; $H= 10,97\text{m}$) mit I-förmigen Gitterträgern ($h_{\text{Steg}} = 38,10\text{cm}$) und das zweite ($D= 42,37\text{m}$; $H= 10,97\text{m}$) mit U-Eisen ($b/h= 152/126\text{mm}$; $t= 13\text{mm}$) ausgestattet war (Abb. 60). Die Mantelständer befanden sich in und zwischen den Stützenachsen. ¹⁶³

Um 1878 entstand ein größerer Teleskopgasbehälter ($V= 84.951\text{m}^3$), dessen Ständer im oberen Hubteil ($D= 64,92\text{m}$; $H= 13,41\text{m}$) als genietete Kastenblechträger ausgeführt wurden (Abb. 73); die Mantelständer plante Woodall sowohl in, als auch zwischen den Stützenachsen des Führungsgerüsts. Diese Kastenträger hatten in den Hauptachsen einen größeren Querschnitt ($b/h= 457/457\text{mm}$) als in den Nebenachsen ($b/h= 457/305\text{mm}$) und bestanden aus zwei Gitterträgern, die stirnseitig direkt

160 Schäfer, 1910, p. 622 – Bei sehr großen Hubteilabmessungen wurde die Mantelkonstruktion zusätzlich verstärkt, indem zwischen die Mantelständer diagonale Stäbe gesetzt wurden.

161 Herring, 1893, p. 264

162 Herring, 1893, p.264; Hunt, 1900, p. 157

163 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 133–136

an die Mantelbleche montiert wurden. Die beiden nach innen gerichteten Flansche wurden mit kreuzweise angeordneten Blechstreifen verbunden. Im unteren Hubteil wurden U-Eisen (b/h= 178/76mm; t= 13mm) eingesetzt.¹⁶⁴

Stevenson plante in Chester 1880 (Abb. 74) einen zweihübrigen Gasbehälter. Die Mantelständer des ersten Hubteils (D= 27,13m; H= 7,32m) bestanden aus I-förmigen, vollwandigen Blechträgern (h= 254mm), aus vier Winkeleisen (b/h= 64/64mm; t= 10mm) und einem Flacheisen (t= 6,35mm), während im zweiten Hubteil lediglich Flacheisenstreifen¹⁶⁵ (b= 178mm; t= 19mm) eingesetzt wurden.

Neben dem vorwiegenden Einsatz von Blechträgerkonstruktionen und Winkeleisen wurden teilweise auch **Sonderformen** eingebaut:

- Trogeisen – Ende des 19. Jahrhunderts wurden diese als Mantelständer bei den ersten Hubteilen verwendet, wie es das Beispiel eines einhübrigen Gasbehälters (D_{Hubteil} = 54,864; H_{Hubteil} = 12,19m) in Beckton (Abb. 75) zeigt; der Ingenieur war Wyatt. 1880 plante Livesey das erste Hubteil (D= 63,36m; H= 16,31m) eines dreihübrigen Gasbehälters in der Old Kent Road, London ebenfalls mit Trogeisen¹⁶⁶.
- Schienenförmige Querschnitte – Für das untere Hubteil (D= 45,72; H= 9,44m) eines zweihübrigen Gasbehälters in Redheugh (Abb. 76) plante Wyatt ein schienenförmiges Profil.¹⁶⁷

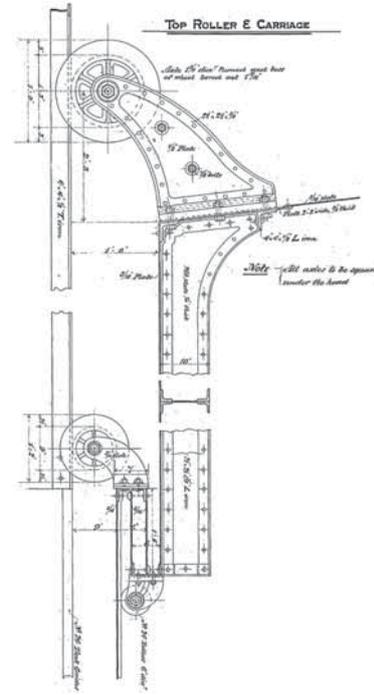


Abb. 74: Mantelständer eines zweihübrigen Gasbehälters in Chester (NGA, NWCHU/E/T/3).

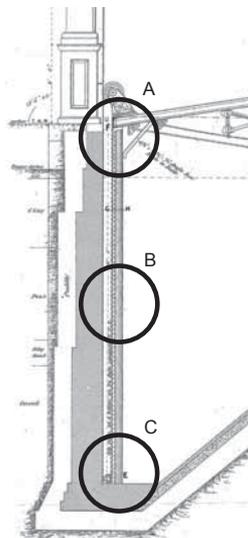


Abb. 75: Mantelständer aus Trogeisen in Beckton (NGA, NTGAL/BEC/E/T/1-19C).**

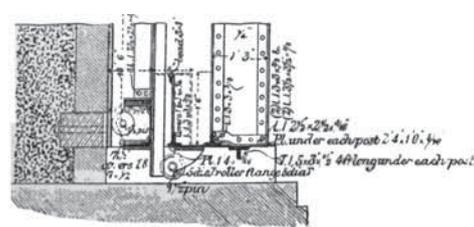
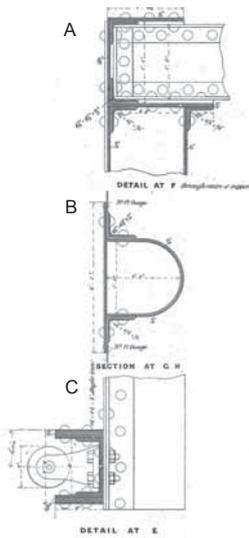
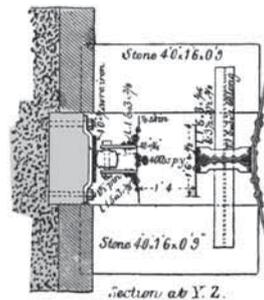


Abb. 76: Mantelständer mit schienenförmigem Profil in Redheugh (Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XII).**



164 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 170

165 Nach Herring gefährdeten Flacheisenstreifen die Mantelform und neigten eher zu Verformungen (Herring, 1893, p. 264).

166 JGL-38, 1882, Nov. 13th

Auch Jones versah 1882 das erste Hubteil eines zweihübrigen Gasbehälters mit Trogeisen (JGL-40, 1882). Weiterführende Literatur zu Trogeisen siehe auch Hunt, 1900, p. 157.

167 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 138–139

5.3. Unterer Mantelabschluss

Zur Sicherung der kreisrunden Zylinderform des Hubteils war dieses nicht nur am oberen, sondern auch am unteren Abschluss verstärkt auszuführen. Bei Teleskopgasbehältern war lediglich das unterste Hubteil derart auszubilden, da bei den mittleren Hubteilen die Tassenkonstruktion diese Funktion übernahm.

Deshalb wurde an das freie Ende des letzten Hubteils außenseitig ein Ringträger angebracht.

Dieser bestand entweder aus (Abb. 77):

- einem U-Eisen,
- zwei Winkeleisen,
- einem mehrteiligen Aufbau mit Doppel-T-Profilen und einem Deckblech.

Teilweise wurde unterseitig noch ein zusätzliches Flach- oder Winkeleisen ergänzt.

Der Ringträger nahm an den entsprechenden Achsen zugleich die Rollenböcke für die Beckenrollen auf (Siehe Kap. C.2.2.-6.4.2.).

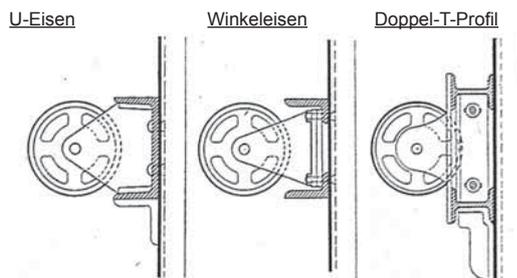


Abb. 77: Ausführungsmöglichkeiten des unteren Ringträgers, einschl. Beckenrolle (Meade, 1916, p. 441).**

Bei mehrhubigen Gasbehältern wurde meist die Anordnung eines Winkeleisenpaares favorisiert, wie die vorgenannten Beispiele in Beckton (Abb. 75), Redheugh (Abb. 76) und in Kennington, London (Abb. 73) zeigen. Bei einhubigen Gasbehältern war auch die Ausführung mit einem Winkel- oder T-Eisen ausreichend ¹⁶⁸.

5.4. Klammern

Um das letzte Hubteil großer, mehrhubiger Gasbehälter in der abgesetzten Position zusätzlich zu unterstützen, wurden Klammern eingesetzt. Diese waren am oberen Rand des Hubteils jeweils zwischen den Rollen montiert (Abb. 78). Durch die Klammern konnte das Hubteil im abgesetzten Modus in das entsprechende Gegenstück am Beckenrand einrasten.

Diese Vorrichtung verstärkte zudem die Mantelwand, an der die innen liegenden Rollen des vorgehenden Hubteils auf- und abfahren.

Das Beispiel zeigt einen zweihubigen Gasbehälter ($V= 28.317\text{m}^3$) in Kennington, London, der nach den Plänen Woodalls 1875 fertig gestellt wurde. Das äußere Hubteil ($D= 42,37\text{m}$; $H= 10,97\text{m}$) war mit Klammern dieser Art ausgestattet. ¹⁶⁹

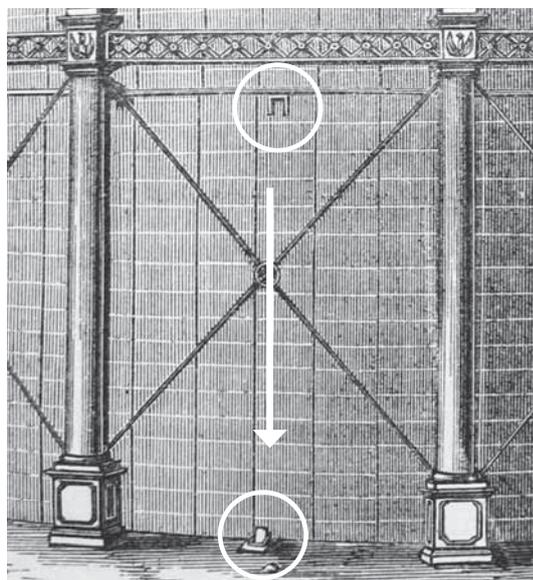


Abb. 78: Klammer und Gegenstück zur Verstärkung des äußeren Hubteils in Kennington, London, 1875 (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 134).**

¹⁶⁸ Herring, 1893, p. 261

¹⁶⁹ Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 133–134

5.5. Mantelbleche

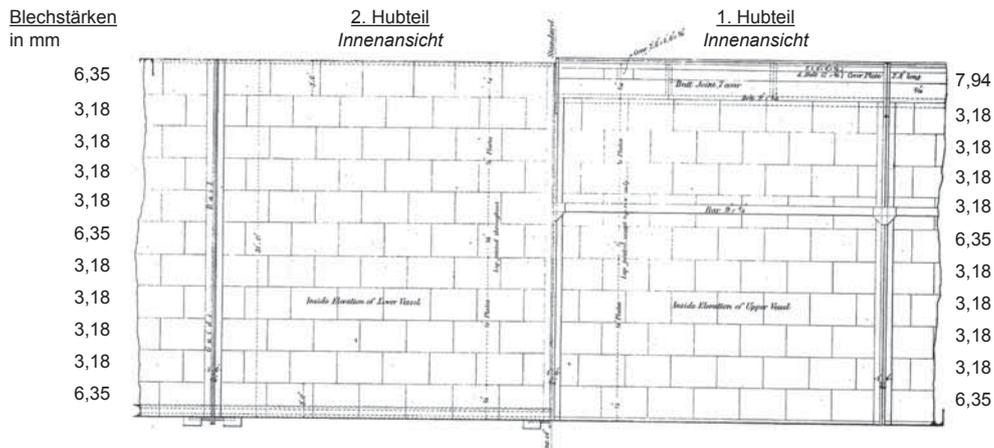


Abb. 79: Mantelblechstärken eines zweihübrigen Gasbehälters in Redheugh (NGA, NONWG/E/A/12).**

Die Anordnung der Mantelbleche erfolgte in horizontalen Bahnen¹⁷⁰. Die Blechstärke war grundsätzlich von der Hubteilgröße abhängig und musste zwei wesentliche Anforderungen erfüllen: Einhaltung einer Mindeststärke, die die Nutz- und Haltbarkeit des Hubteils für einen bestimmten Zeitraum hinweg gewährleistete¹⁷¹, und das Erreichen eines Mindestgewichts, das für den Betriebsdruck innerhalb des Hubteils erforderlich war.¹⁷²

Bei Teleskopgasbehältern galt es, einen dritten Faktor zu berücksichtigen – nämlich die innen liegenden Mantelrollen (Siehe Kap. C.2.2.-6.4.3.), die zum Abtrag der Mantelbleche beitrugen. Durch den Einsatz von Mantelständern oder einfachen Blechstreifen (Siehe Kap. C.2.2.-5.2.) konnte diesem Verschleißprozess entgegengewirkt werden. Analog zu den äußeren Kuppelblechringen (Siehe Kap. C.2.2.-4.7.) wurden die erste und die letzte Blechreihe des Mantels ebenfalls mit dickeren Blechen ausgestattet¹⁷³, um einen graduellen Übergang zu den dünneren Blechen in der Feldmitte zu erzeugen.

Mit zunehmender Hubteilgröße erwies sich grundsätzlich der Einsatz von stärkeren Blechen von Vorteil, da diese schlankere Mantelständer ermöglichten und zugleich den Nietvorgang selbst erleichterten¹⁷⁴.

Nach Clegg jun., 1841 waren die Hubteile von Glockengasbehältern ($D=10\text{--}27\text{m}$) eher mit dünnen Mantelblechen ($t=1\text{--}2\text{mm}$) ausgestattet¹⁷⁵.

Um 1874¹⁷⁶ plante Wyatt einen zweihübrigen Gasbehälter ($V=28.317\text{m}^3$) in Redheugh (Abb. 79)¹⁷⁷: Die Mantelfläche der Hubteile ($D_{1.\text{Hubteil}}=44,91\text{m}$; $D_{2.\text{Hubteil}}=45,72\text{m}$; $H=9,45\text{m}$) bestand aus 11 Blechreihen. Der Großteil der Mantelbleche betrug 3,18mm. Die ersten, mittleren und letzten Blechbahnen waren 6,35mm stark; die oberen Mantelbleche des ersten Hubteils hatten eine Blechstärke von 7,94mm.

170 Nur in seltenen Fällen, wie bei einem Glockengasbehälter in Nine Elms, London, wurde die vertikale Anordnung angewendet (JGL-25, 1875, p. 1).

171 Bei dem Einsatz von 1,63mm (BWG-16) ging man z.B. von 25 Jahren aus; je dicker das Blech ausfiel, desto länger blieb das Hubteil intakt (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 115).

172 Herring, 1893, p. 266

173 Hughes, 1853, p.214; Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 133; Hunt, 1900, p. 157

174 Hughes, 1853, p. 214 – Nach Hughes, 1853 betrug die Blechstärke zwischen 1,22mm (BWG-18) und 3,10mm (BWG-11).

175 Clegg, 1841, pp. 139–141

176 JGL-24, 1874, p. 1

177 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 138–140

Nach Brodie, 1880 lag die Mindestblechstärke für Mantel- und Kuppelbleche bei 1,63mm. Ab einem Hubteildurchmesser von 12,19m wurde diese auf 2,03mm erhöht und bei Hubteilen, deren Durchmesser 30,48m überschritt, empfahl er eine Blechstärke von 2,74mm (Tab. 16).¹⁷⁸

Der um 1878 größte Gasbehälter ($V = 84.951\text{m}^3$) Londons befand sich in Kennington und war von Woodall mit zwei Hubteilen ($D_{1, \text{Hubteil}} = 64,92\text{m}$; $D_{2, \text{Hubteil}} = 65,60\text{m}$; $H_{\text{je Hubteil}} = 13,41\text{m}$) geplant, deren Mantelflächen mit unterschiedlichen Blechstärken ausgestattet waren (Tab. 15). Im Bereich des Ständers wurde die Blechstärke noch dicker ausgeführt – die erste Blechreihe des zweiten Hubteils betrug an diesen Stellen z.B. 9,35mm (anstatt 7,94mm).¹⁷⁹

Vor Inbetriebnahme des Gasbehälters wurden die Hubteile außenseitig mit einem Schutzanstrich versehen, um Korrosionsschäden¹⁸⁰ vorzubeugen, die u.a. durch die schädlichen Rückstände im Wasser beschleunigt wurden.¹⁸¹

Tab. 16: Mantelblechstärken um 1880

(nach Brodie, JGL-35, 1880, p. 925)

D (in m)	t _{regulär} (in mm)	t _{oberste/ unterste Reihe} (in mm)
< 12,19	1,63 (BWG-16)	2,03 (BWG-14)
12,19 < D < 30,48	2,03 (BWG-14)	2,74 (BWG-12)
30,48 < D < 48,77	2,74 (BWG-12)	3,40 (BWG-10)
+/- 48,77	2,74 (BWG-12)	6,35

Tab. 15: Mantelblechstärken – Zweihübiger Gasbehälter in Kennington, London (um 1878)

(nach Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 169)

Reihe	1. Hubteil t (in mm)	2. Hubteil t (in mm)
1. (oben)	12,7	7,94
2.	6,35	6,35
3.	4,75 (BWG-7)	4,75 (BWG-7)
4.–19.	3,10 (BWG-11)	3,10 (BWG-11)
21.	3,10 (BWG-11)	4,75 (BWG-7)
22. (unten)	6,35	6,35

178 JGL-35, 1880, p. 925

Nach Meade betragen die üblichen Mantelblechstärken Anfang des 20. Jahrhunderts immer noch zwischen 2,74mm und 3,40mm; bei mehrhübigen Gasbehältern betonte er aber die Ausführung des oberen Hubteils mit 4,72mm (BWG 8) starken Blechen (Meade, 1916, p. 446).

179 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 169

180 Anm. d. Verfasserin: Die Korrosion war ein wiederkehrendes, lokales Schadensbild, das nicht nur beim Hubteil, sondern auch bei Gerüst und Wasserbecken in unterschiedlichen Formen und Ausmaßen auftrat.

Korrosionsschäden an Gasbehältern wurden im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht weiter untersucht.

Weiterführende Literatur zur Korrosion bei Gasbehältern siehe Milbourne, 1929, pp. 31–44.

Allg. Literatur zu Korrosion siehe Käßlein, Wiegolsch-Frey, 2001; Wittel, Muhs, et al., 2007; Kaesche, 2011.

181 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 115 – Für den Schutzanstrich wurde teilweise auch eine Mischung aus Teer, Asphalt, Talg und Naftalin verwendet (Newbigging, 1870, p. 28).

5.6. Zusammenfassung – Mantel

Der Aufbau der Mantelkonstruktion vollzog eine Entwicklung von einem ursprünglich eher massiven Gefüge, über eine Kombination aus mehrfach angeordneten Ringträgern und diagonalen Stäben, bis sich schließlich folgende Anordnung als Standard durchsetzte: Der Mantel bestand aus senkrechten Mantelständern, die zwischen den unteren und oberen Ringträger gesetzt wurden. Letzterer stellte zugleich den Anschluss zur Kuppelkonstruktion dar.

Die Ausführung des Mantelständers war grundsätzlich von der Hubteilgröße und Hübigkeit abhängig: Als einfaches Winkel-, U- oder T-Eisen oder als genietetes Blechträger; teilweise kamen auch Holzständer, schienenförmige Querschnitte oder Trogeisen zum Einsatz.

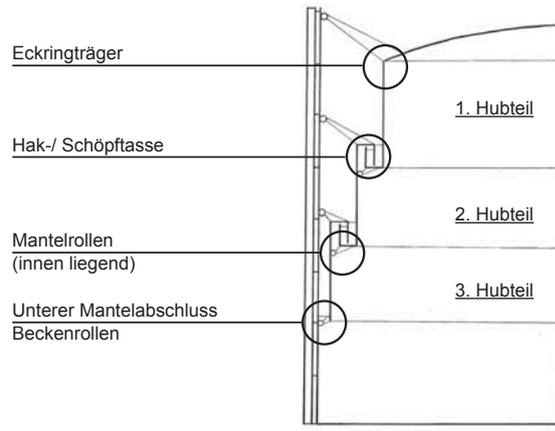


Abb. 80: Aufbau und Anschluss von Hubteilen (Schemaskizze, BB, 2016).

Bei Teleskopgasbehältern waren die Mantelständer des ersten Hubteils stärker bemessen, da diese im Leerstand die Kuppelkonstruktion unterstützen mussten. In den unteren Hubteilen dienten die Ständer zugleich als Führungsscheinen für innen laufende Mantelrollen, deshalb kam hier vermehrt das U-Eisen zum Einsatz. Die Funktion des Ringträgers übernahmen die Hak- und die Schöpftasse.

Der untere Mantelabschluss bzw. der Ringträger des letzten Hubteils, wurde ebenfalls verstärkt ausgeführt, da dieser – analog zum Eckringträger des ersten Hubteils – für die zylindrische Form des Hubteils sorgte; gleichzeitig diente der untere Ringträger zum Anschluss der Beckenrollen.

6. Teleskopierung

Mit der steigenden Gasnachfrage musste nicht nur die tägliche Produktionsmenge, sondern auch die Speicherkapazität eines Gaswerks erhöht werden. Zunächst kam man dem nach, indem man zusätzliche Gasbehälter errichtete. Da jedoch die freie Baufläche auf einem bestehenden Gaswerk begrenzt, der Erwerb von neuem Land teuer oder die Bodenverhältnisse ungeeignet waren¹⁸², entstanden erste Überlegungen, bestehende Gasbehälter zu erweitern. Das sogenannte **Teleskopieren**, das Einfügen eines zweiten Hubteils, ermöglichte eine Aufstockung des Gasbehälters, ohne den begrenzten Baugrund unnötig zu schmälern.

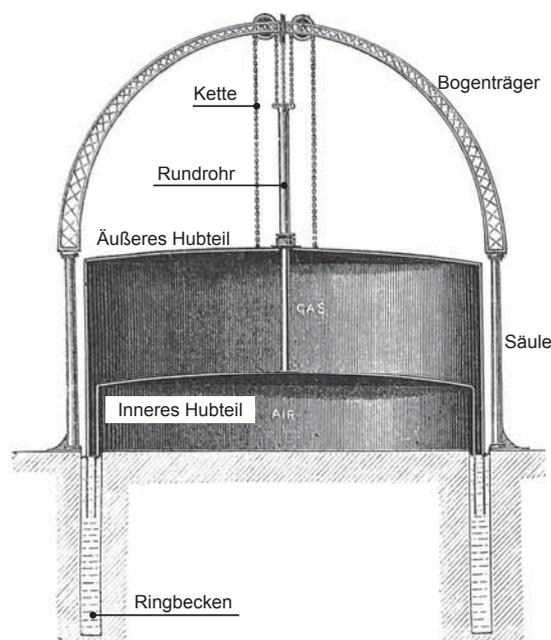
Dieses Kapitel zeigt die Entwicklung der Teleskopiertechnik auf, die über verschiedene erste Entwürfe ihre standardisierte Form erlangte und den Aufbau des Hubteils mit neuen Tassen- und Rollenanschlüssen erweiterte.

6.1. Erste Entwürfe

6.1.1. Doppelter Gasbehälter (Stratton)

Der Mechaniker *William Stratton** aus London patentierte 1818 den **Doppelten Gasbehälter**:¹⁸³

Bei gleichbleibender Beckengröße wurde die Speicherkapazität durch das Einfügen eines zweiten Hubteils verdoppelt. Strattons Entwurf (*Abb. 81, Abb. 82*)¹⁸⁴ sah ein Führungsgerüst vor, das aus vier Säulen (S) und zwei Bogenträgern (B) bestand, sowie mit zwei Rollen am Bogenscheitel ausgestattet war. Das gusseiserne Ringbecken (D= 11,44m, T= 5,15m)¹⁸⁵ – was zur damaligen Zeit ein Novum darstellte (*Siehe Kap. C.2.4.-4.4.*) – wurde innenseitig mit vorgesetzten Mauerwerkspfeilern (P) verstärkt. Das äußere Hubteil (H_a) war mit einer Höhe von 10,70m ungefähr doppelt so hoch wie das innere. Die Kopplung beider Hubteile erfolgte über ein zentrales Rohr und Ketten, die am Scheitel der leicht gewölbten Kuppeln angeordnet waren: Das Rohr (Ro) wurde mit einer Fußplatte auf dem innen liegenden Hubteil (H_i) befestigt, während es durch die Kuppel des äußeren Hubteils hindurch geführt wurde. Über Ketten (K) wurde die Kopfplatte des Rohres an den Kuppelscheitel des äußeren Hubteils angeschlossen. So wurde eine Anordnung von Gegengewichten überflüssig, da das äußere Hubteil als Gegengewicht für das innere wirkte und umgekehrt. Im Leerstand ragte das äußere Hubteil zur Hälfte aus dem Becken (*Abb. 82, links*) und das innere Hubteil befand sich unmittelbar darunter. Mit einsetzendem Füllen des Gasbehälters bewegten sich beide Hubteile gleichzeitig auseinander (*Abb. 82, Mitte*) – bei gleichbleibendem Betriebsdruck.¹⁸⁶



*Abb. 81: Darstellung des doppelten Gasbehälters im King's Treatise – Ringbecken ohne innen liegende Mauerwerkspfeiler (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 124).***

182 Clegg, 1841, pp. 130–134, Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 191 – Dies traf v.a. für Gaswerke zu, die in Stadtzentren waren.

183 Clovis, 1836b, p. 414

184 Anm. d. Verfasserin: Die Prinzipskizzen stellen eine mögliche Rekonstruktion nach der Beschreibung von Peckston, 1819 dar.

185 Tabor, 1822, pp. 491–492

186 Peckston, 1819, pp. 267–270; Tabor, 1822, pp. 490–493; Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 124
Weitere Beschreibungen zum Aufbau nach Stratton siehe Rutter, 1835, pp. 271–273

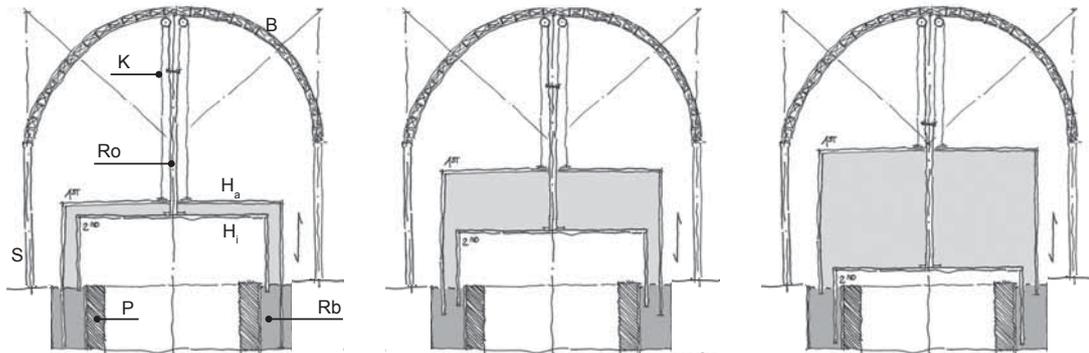


Abb. 82: Mechanismus des Doppelten Gasbehälters: Im nahezu leeren Zustand (links), halb gefüllten (mittig) und fast vollen Zustand (rechts; Prinzipskizzen, BB, 2016).

Wenn der Gasbehälter sein maximales Speichervolumen erreicht hatte (Abb. 82, rechts), legte sich das innere Hubteil auf die Beckenoberkante bzw. die Pfeiler ab und das äußere Hubteil fuhr zu seiner fast vollständigen Höhe aus.

6.1.2. Gazomètre à Lunette (Tait)

1824 erschien William Tait's „Improved Gasholder“ im „London Journal of Arts and Sciences“. Seine Erfindung bediente sich einer Technik, die sogar Gasbehälter mit bis zu vier Hubteilen ermöglichte (Abb. 83): Während des Füllvorgangs fuhren die Hubteile einzeln und nacheinander aus – wie bei einem Fernrohr. Deshalb nannte Tait diesen Gasbehälter auch **Gazomètre à Lunette** (dt.: Fernrohr/ Teleskop-Gasbehälter) ¹⁸⁷. Die einzelnen Teleskope bzw. die Hubteile waren gleichhoch; der Durchmesser des ersten war am größten und nahm bei den folgenden ab, sodass das erste Hubteil im Leerstand alle untergeordneten aufnahm. Das Schlüsseldetail waren die Rinnen, über die sich die einzelnen Hubteile ineinander verhakten. Zudem verhinderte die wassergefüllte Rinne den Gasaustritt. Die Führung und zugleich Unterstützung der Hubteile erfolgte durch die Anordnung von zwei Gegengewichten, die seitlich an den Mantel angeschlossen wurden. ¹⁸⁸

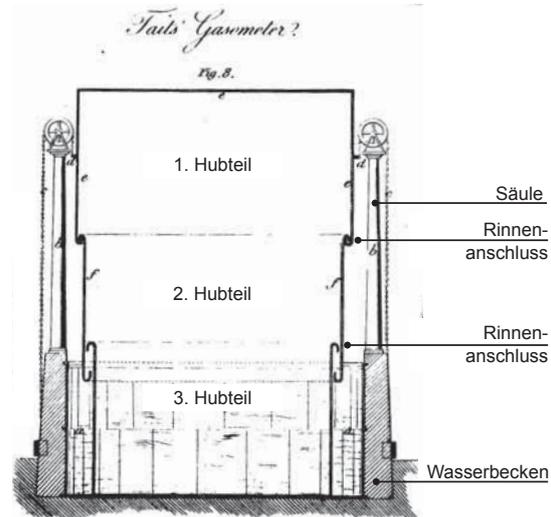


Abb. 83: Tait's Teleskopgasbehälter mit drei Hubteilen (Newton, 1824, Plate XVI).**

Die Rollen wurden erstmals auf den Säulenköpfen befestigt, sodass horizontale, bogenförmige Träger – die von Tait als nicht notwendig befunden wurden – entfallen konnten ¹⁸⁹.

Im gleichen Jahr war Tait in Leeds und besichtigte das dortige Gaswerk, auf dem zu seinem Erstaunen bereits ein zweihübiger Gasbehälter betrieben wurde. Dieser wurde nach den Plänen Hursts* vor einigen Jahren mit einem sehr ähnlichen Aufbau zu seiner Erfindung gebaut, nur dass das obere Hubteil auf konventionelle Art zentral aufgehängt wurde und daher einen horizontalen Träger benötigte. Beide Ingenieure waren jeweils unwissend der theoretischen und praktischen Arbeit des anderen. ¹⁹⁰

187 Hoffmann, 1845, p. 55

188 Newton, 1824; pp. 305–307; Hoffmann, 1845, pp. 54–55

Tait's Entwurf lag der Ansatz des Ingenieurs Philippe Gengembre von 1817 zugrunde (Soulange, 1859, p. 86).

189 Tait, 1836a, p. 380

190 Tait, 1836b, p. 443; Clegg, 1866, p. 251

Anm. d. Verfasserin: Erfolgreich in Betrieb genommene Beispiele nach Tait sind nicht überliefert.

6.2. Standardform

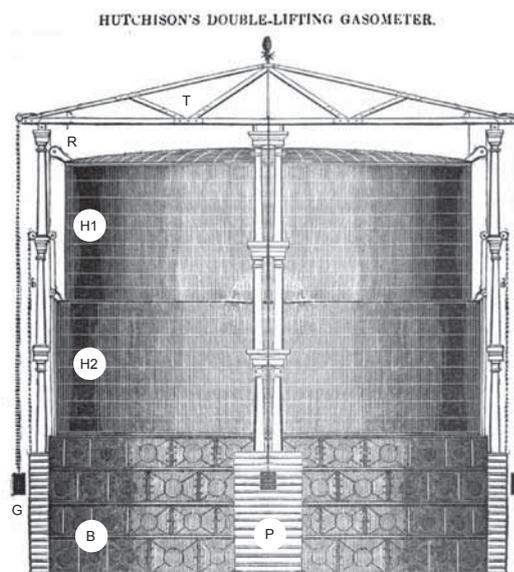
Taits Technik legte den theoretischen Grundstein für die Standardform des Teleskopgasbehälters, dessen Hübigkeit und Nutzvolumen sich im Laufe des 19. Jahrhunderts um ein Vielfaches steigerten.

6.2.1. Bau des ersten Teleskopgasbehälters

1834 bediente sich der Ingenieur *Stephen Hutchison** des Ansatzes von Tait und setzte diesen erstmals einschließlich eigener Modifikationen auf dem Gaswerk Vauxhall in London ¹⁹¹ in die Praxis um:

Dort wurde der **erste Teleskopgasbehälter** errichtet, dessen Gefüge (*Abb. 84*) sich aus zwei Hubteilen (H1, H2), einem Führungsgerüst – bestehend aus vier gusseisernen Doppelsäulen und einem hölzernen, kreuzförmigen Trägerrost (T) – und einem gusseisernen Wasserbecken (B) zusammensetzte. Die Säulen wurden auf gemauerten Wandpfeilern (P) verankert.

Die Führung der Hubteile erfolgte jeweils über die Aufhängung mit vier Gegengewichten (G) und zusätzlichen Rollen (R). ¹⁹²



Ansicht

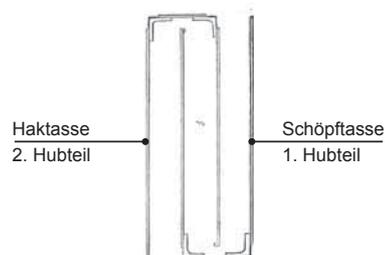


Abb. 84: Hutchisons Teleskopgasbehälter (Clovis, 1836, p. 321).**

Insgesamt unterschieden sich die Gasbehälter von Hutchison und Tait in fünf wesentlichen Punkten:

1. Die Reihenfolge der Hubteilgrößen wurde umgekehrt: Das erste Hubteil hatte den kleinsten Durchmesser.
2. Die halbkreisförmigen Rinnen wurden durch rechteckige Tassen ersetzt (*Abb. 84*).
3. Die Ketten wurden jeweils an der Oberkante der Hubteile angeschlossen.
4. Die Hubteile wurden mit Rollen ausgestattet.
5. Auf die Säulen wurde ein hölzernes Trägerkreuz gesetzt – das in Taits Ansatz nicht vorgesehen war (*Siehe Kap. C.2.2.-6.1.2.*).

Dieser sogenannte **Double-Lifting Gasometer** (dt.: Doppel-hübiger Gasbehälter) von Hutchison war als der erste Teleskopgasbehälter anzusehen, dessen Funktionstauglichkeit überzeugte und der zum Leitbild der folgenden Teleskopgasbehälter wurde.

Nachdem die Funktionstauglichkeit des Teleskopgasbehälters in Vauxhall erfolgreich unter Beweis gestellt wurde, fand diese Technik rasche und weite Verbreitung.

191 Clovis, 1836, p. 322

192 Clovis, 1836, p. 322

6.2.2. Etablierung und Weiterentwicklung

Clegg jun. beschrieb 1841 einen Gasbehälter (Abb. 85) mit zwei Hubteilen ($D_{2, \text{Hubteil}} = 15,24\text{m}$; $H_{2, \text{Hubteil}} = 7,62\text{m}$; $V = \text{ca. } 2.800\text{m}^3$). Das obere Hubteil wurde am Kuppelrand an drei Punkten aufgehängt; die Ketten liefen jeweils über eine Rolle die auf einer Doppelsäule befestigt war. Das untere Hubteil wurde lediglich durch die Tassen angeschlossen.¹⁹³

Beim Füllvorgang des zweiten Hubteils verhakten sich die rechteckigen Tassen (Abb. 86). Auf der Haktasse befanden sich Rollen, die zu der Mantelfläche des oberen Hubteils gerichtet waren und deren Aus- und Einfahrmechanismus unterstützten (Siehe Kap. C.2.2.-6.3. und 6.4.).

Ein Teleskopgasbehälter mit fast vierfachem Nutzvolumen entstand 1844 auf dem Gaswerk der Blackfriars Station ($D_{\text{Hubteil}} = 30,48\text{m}$; $H_{\text{Hubteil}} = 6,85\text{m}$; $V = \text{ca. } 10.000\text{m}^3$). Dieser war der seinerzeit größte Gasbehälter.¹⁹⁴

Kaum 20 Jahre nach der Inbetriebnahme des ersten zweihübrigen Gasbehälters begann man, den Gasbehälter durch ein drittes Hubteil zu erweitern. Einer der ersten **dreihübrigen Gasbehälter** ($D = 32,92\text{m}$; $V = 25.486\text{m}^3$) wurde um 1852 in Rotherhithe, London errichtet.¹⁹⁵

1861 wurde an der Blackfriars Station in London ein dreihübriger Gasbehälter (Abb. 87) nach den Plänen *William Manns** gebaut. Die Hubteile ($D_1 = 25\text{m}$; $D_2 = 24,38\text{m}$; $D_3 = 23,77\text{m}$; $H_{\text{je Hubteil}} = \text{ca. } 10\text{m}$) waren mit Rollen ausgestattet, die entlang den vorgesetzten Schienen fuhren. Zusätzlich waren die Hubteile mit Gegengewichten versehen. Diese liefen über Rollenpaare, die auf nur drei Säulenköpfen angeordnet waren. Die Gegengewichte am unteren Trägerkranz wurden nachträglich hinzugefügt, um das untere Hubteil zu unterstützen (Siehe Kap. C.2.3.-7.1.3.).¹⁹⁶

Um 1866 wurden nach Clegg jun. die meisten Gasbehälter mit zwei Hubteilen gebaut; nur in seltenen Fällen entschied man sich für die dreihübrige Ausführung.¹⁹⁷

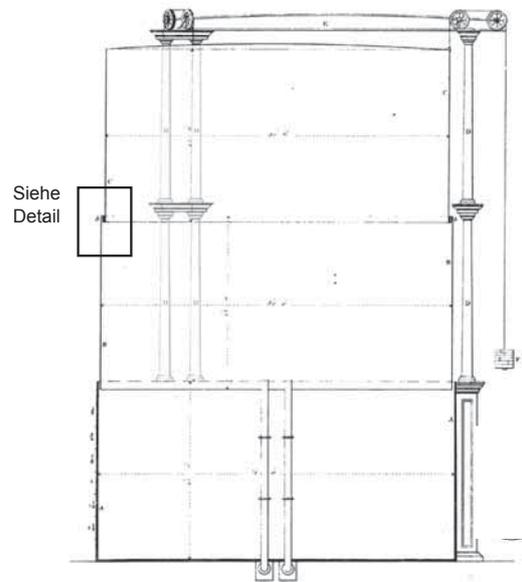


Abb. 85: Zweihübriger Gasbehälter mit gusseisernem Becken (Clegg, 1841, Plate XVII, modifiziert von BB, 2016).**

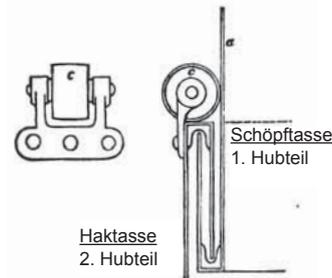


Abb. 86: Mantelrollen auf der Haktasse des 2. Hubteils (Clegg, 1841, p. 136).**

193 Clegg, 1841, pp. 134–135

194 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 176

Das Gaswerk an der Blackfriars Station gehörte der City of London Gas Company und war bekannt für seine fortschrittlichen Gasbehälter: 1822 wurde dort laut Sir William Congreve ein Gasbehälter mit ca. 1.130m³ Speichervolumen errichtet, während bei anderen Gesellschaften nur Gasbehälter mit ca. 280m³ die Regel waren.

195 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 176; Tucker, 2014, p. 38

Aufgrund schlechter Baugrundverhältnisse basierten die Abmessungen von Wasserbecken und Hubteilen auf einem unausgewogenen Verhältnis: Die Höhe war mit 3,81m beträchtlich gering im Vergleich zum Durchmesser, der 32,92m betrug (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 176).

196 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 176–178

Der Firma Westwood & Wrights oblagen die Ausführungsarbeiten. 1875 wurde dieser Gasbehälter abgerissen.

197 Clegg, 1866, p. 251

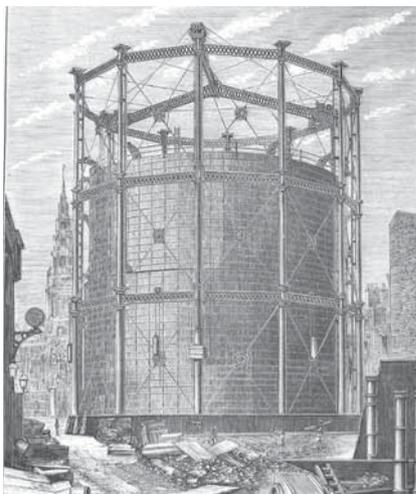


Abb. 87: Dreihübiger Gasbehälter an der Blackfriars Station, London (Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XXII).

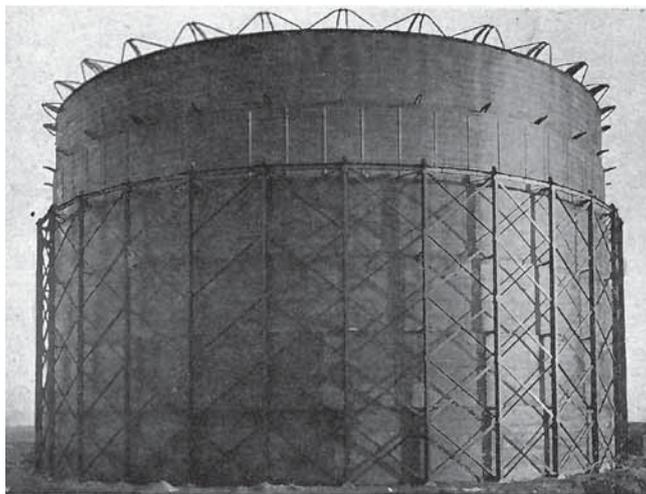


Abb. 88: Sechshübiger Gasbehälter in East Greenwich, London (Stevenson, 1901, p. 60).

Nachdem um 1866 ein zweihübiger Gasbehälter noch teurer in der Ausführung war als ein einhübiger¹⁹⁸, so betrug um 1879 die Kostenersparnis bei dem Neubau eines zweihübigen Teleskopgasbehälters von ca. 10.000m³ gegenüber zwei kleineren Glockengasbehältern fast 40%¹⁹⁹.

Ende des 19. Jahrhunderts stellte die Teleskopiertechnik ihre technisch-konstruktiven Möglichkeiten bei dem Bau von sehr großen Gasbehältern unter Beweis. Schauplatz war das Gaswerk East Greenwich in London:

Nach den Plänen der Livesey Brüder George und Frank entstand ab 1886 der erste **vierhübige Gasbehälter** (D= 76,20m; H_{Gerüst} = 60,35m; V= 232.198m³)²⁰⁰. 1892 folgte dort ein **sechshübiger Gasbehälter** (D= 89,31m; H_{Gerüst} = 54,86m; V= 339.802m³), von denen zwei fliegend konzipiert waren (Abb. 88; Siehe Kap. C.2.2.-7.)²⁰¹. Mit diesem Gasbehälter schufen George und Frank Livesey **den größten hydraulischen Gasbehälter Großbritanniens**²⁰², der sich als erhabenes Bauwerk auf East Greenwich präsentierte und den Stand der Technik im Gasbehälterbau zur Schau stellte.

Die Teleskopiertechnik wurde nicht nur beim Neubau von Gasbehältern eingesetzt, sondern war auch eine bewährte Erweiterungstechnik bei bestehenden Gasbehältern. Teilweise wurde in der Planung von Glockengasbehältern bereits eine mögliche Teleskopierung zu einem späteren Zeitpunkt berücksichtigt:

- Im King's Treatise, 1879 wurde der Neubau eines Glockengasbehälters aufgeführt, dessen spätere Erweiterung in der Planung inbegriffen war. Deswegen wurde das Hubteil mit einem verhältnismäßig großen Durchmesser (D= 25,60m; H= 6,71m) gebaut.²⁰³
- 1900 plante *Thomas Newbigging** einen einhübigen Gasbehälter in Wapping, London, dessen Hubteil (D= 42,10m; H= 9,14m) er bereits am unteren Rand nicht nur mit Beckenrollen, sondern auch mit Mantelrollen ausstattete – die an den Mantelständern des später folgenden zweiten Hubteils entlang laufen sollten.

198 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 123

199 Clegg, 1866, p. 251

200 Tucker, 2014, pp. 31, 58
Ein weiterer vierhübiger Gasbehälter (V= 212.377m³) entstand 1891 in Kensal Green; dieser wurde auch „The Colonel“ genannt (Sturt, 1980, p. 22).

201 Stevenson, 1901, p. 60

202 Tucker, 2014, p. 42

Der Gasbehälter in East Greenwich wurde nur von drei Gasbehältern übertroffen:

1913–1917 wurde ein Gasbehälter in Sydney mit 353.961m³ (Siehe Kap. C.2.2.-4.8.) und zwei Gasbehälter in New York mit 396.436m³ errichtet (Tucker, 2014, p. 35).

203 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 120–121

Das nachträgliche Hinzufügen eines Hubteils „in situ“ wurde von Newbigging, Fewtrell jedoch als eher aufwendig und teuer eingestuft²⁰⁴, was sich auch in der Aufstockung des Führungsgerüsts zeigte. Erst die Einführung von fliegenden Hubteilen ermöglichte das Einsetzen eines zusätzlichen Hubteils ohne das Führungsgerüst aufwendig zu erweitern (*Siehe Kap. C.2.2.-7.*).

6.2.3. Zusammenfassung – Standardform

Nachdem die Erweiterung des einhübigen Gasbehälters lange nur auf Entwurfsebene stattfand, zeigten der „Doppelte Gasbehälter“ von *William Stratton** und der „Gazometre à Lunettes“ (dt.: Fernrohr-/Teleskopgasbehälter) von *William Tait** erste, umsetzbare Ansätze auf.

Taits Teleskopiertechnik bestach schließlich durch einen einfachen Aufbau und durch die Aufnahme von bis zu vier Hubteilen.

Der erste, erfolgreich realisierte Teleskopgasbehälter entstand 1834 nach den Plänen von *Stephen Hutchison** auf dem Gaswerk Vauxhall in London.

Der Teleskopgasbehälter revolutionierte den bislang vorherrschenden Gasbehälterbau und bildete die Grundlage für die Entstehung von weit aufragenden Gasbehältern mit großen Nutzvolumen.

Im Laufe der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts brachte die Teleskopiertechnik ihre technisch-konstruktiven Möglichkeiten zur vollen Entfaltung, wie es 1892 der sechshübige Gasbehälter auf dem Gaswerk East Greenwich in London unter Beweis stellte (*Abb. 88*).

204 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 120–121

6.3. Hak- und Schöpftassen

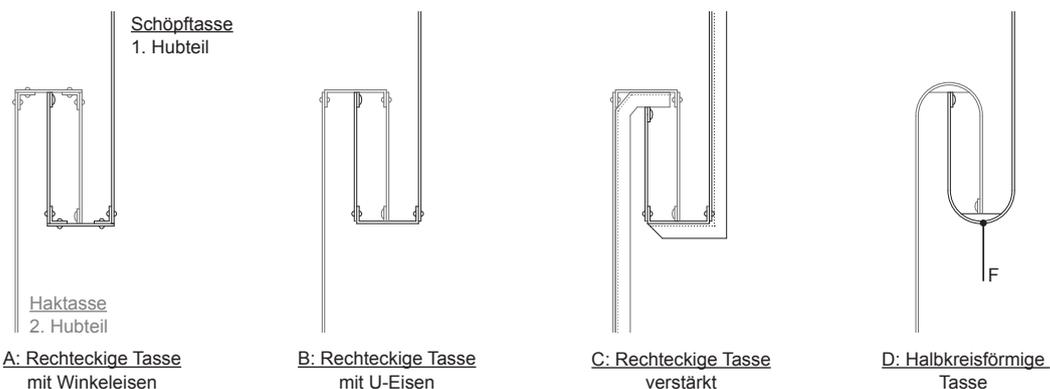


Abb. 89: Entwicklung des Anschlussdetails von Hak- und Schöpftasse (Schemazeichnung, BB, 2017).

Die Tassenkonstruktion spielte eine wichtige Rolle für den sicheren Betrieb von Teleskopgasbehältern. Zum Einen musste sie ausreichend Sperrwasser aufnehmen, um einen gasdichten Abschluss erzeugen zu können²⁰⁵, zum Anderen war die Tassenkonstruktion so zu bemessen²⁰⁶, dass sie eine ausreichende Kraftübertragung zwischen zwei Hubteilen gewährleistete und zur Aufnahme von Rollenböcken bzw. deren -lagern geeignet war (Siehe Kap. C.2.2.-6.4.).

Der Tassenanschluss (Abb. 89) setzte sich aus einer Schöpftasse (1. Hubteil) und einer Haktasse (2. Hubteil) zusammen und war entweder rechteckig oder halbrund ausgebildet.²⁰⁷

Im „eingehakten“ Zustand stabilisierten sich die Hubteile gegenseitig²⁰⁸.

6.3.1. Eckige Tassen mit Winkel- und U-Eisen

Die rechteckige Tassenkonstruktion folgte grundsätzlich dem Aufbau eines vollwandigen, schmalen Kastenträgers, der nach oben bzw. unten geöffnet war: Der Mantelrand wurde mit einem vertikalen und einem horizontalen Schenkel zu einer Tasse ausgebaut. Der freistehende Blechrand der Tasse wurde jeweils mit einem halben Rundeisen versehen²⁰⁹, um die Kontaktstelle zum Boden- und Deckblech zu verstärken.²¹⁰

Die erste Tassenkonstruktion basierte auf einem **Winkeleisen** (Abb. 89-A), das den horizontalen und den vertikalen Blechstreifen zu einem U-förmigen Querschnitt zusammenfügte.

Clegg jun. veranschaulichte in seinem Handbuch von 1866 diesen Konstruktionsgedanken (Abb. 90), der bei dem Tassenanschluss eines zweihübrigen Gasbehälters angewendet wurde. Beide Tassen waren zudem mit Mantelrollen ausgestattet, die den Fahrmechanismus des oberen Hubteils unterstützten.

Durch die verbesserte Hüttentechnik war es **Walter Mabon*** um 1862 erstmals möglich²¹¹, die Tassenkonstruktion durch den

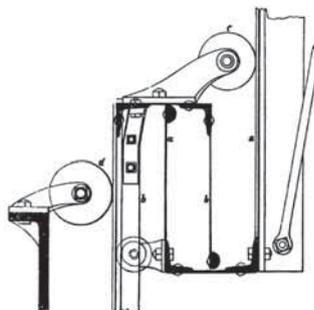


Abb. 90: Tassenanschluss mit Winkeleisen (Clegg, 1866, p. 252).

205 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 191

Zum Mechanismus und zur Abdichtungsweise von Hak- und Schöpftasse, siehe Kapitel B.4.-1.2.

206 Weiterführende Berechnungen von Tassen siehe JGL-37, 1881, pp. 657–658.

207 Da die wassergefüllten Tassen das Gewicht der Hubteile deutlich steigerten wurden v.a. kleinere bis mittelgroße Hubteile mit Gegengewichten ausgestattet. Diese waren an der Haktasse des zweiten Hubteils montiert und reduzierten den Gewicht- und folglich auch Druckanstieg beim Ausfahren des zweiten Hubteils (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 125).

208 Newbigging, 1870, p. 30

209 Herring, 1893, p. 265

210 Hughes, 1853, p. 218; Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 124

211 JGL-53, 1889, p. 535

Einsatz von **U-Eisen** (Abb. 89-B) zu optimieren. Das U-Eisen vereinfachte die Konstruktion, reduzierte die notwendigen Nietverbindungen und verbesserte dadurch die Tragfähigkeit der Tasse ²¹².

1875 wendete beispielsweise Woodall diese Tassenkonstruktion für einen Gasbehälter ($V= 28.317\text{m}^3$) in Kennington, London (Abb. 91) an: Die Hak- und die Schöpftasse waren jeweils 40,64cm tief und bestanden aus einem U-Eisen ($b/h= 229/1143\text{mm}$, $t= 13\text{mm}$) und einem senkrechten Tassenblech ($t= 6\text{mm}$), das am freistehenden Rand beidseitig mit einem halben Rundeisen verstärkt wurde. ²¹³

Anfang des 20. Jahrhunderts erforderten die zunehmenden Hubteilgrößen eine verstärkte Ausführung der Tassenkonstruktion: Deshalb wurden zum Einen die Blechstreifen – analog zu den äußeren Mantel- und Kuppelblechen (Siehe Kap. C.2.2.-4.7. und 5.5.) – stärker gewählt, um der erhöhten, mechanischen Beanspruchung standzuhalten ²¹⁴. Zum Anderen wurden die innen liegenden Mantelständer erweitert, indem deren Fuß und/ oder Kopf in die Horizontale umgelenkt wurde und so die Auflagerfläche des Boden- bzw. Deckblechs ertüchtigte (Abb. 89-C; Abb. 92). ²¹⁵

6.3.2. Halbkreisförmige Tassen (Piggott)

George Piggott* ²¹⁶ beschäftigte sich mit dem rinnenförmigen Hubteilabschluss, dessen Grundzüge bereits in Taits Entwurf von 1824 enthalten waren (Siehe Kap. C.2.2.6.1.2.), und realisierte 1862 erstmals halbkreisförmige Tassen bei einem zweihübrigen Gasbehälter ($D= 33,53\text{m}$; $H= 9,14\text{m}$) in der Old Kent Road in London ²¹⁷: Der trogförmige Abschluss ergab sich, indem die untere und die obere Blechreihe des Hubteils jeweils um 180° in die entgegengesetzte Richtung umgebogen wurden (Abb. 94).

Durch diese Herstellungstechnik gelang es Piggott, den konventionellen, rechteckigen Aufbau deutlich zu vereinfachen (Abb. 93): Die gewölbte Form wurde am Scheitel lediglich mit senkrechten Blechstreifen verstärkt, um die Auflagerfläche für die jeweils ansetzende Tasse zu ertüchtigen. ²¹⁸

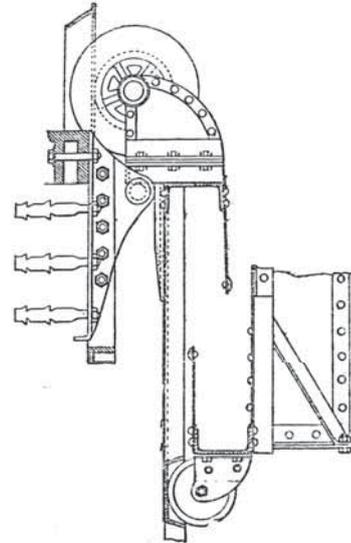


Abb. 91: Tassenanschluss mit U-Eisen (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 135).**

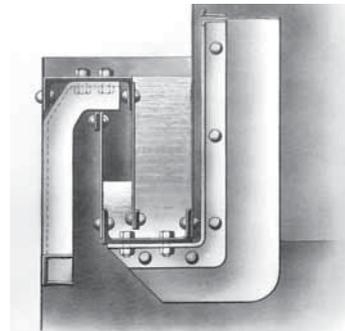


Abb. 92: Verstärkter Tassenanschluss (Dempster, 1925, p. H37).

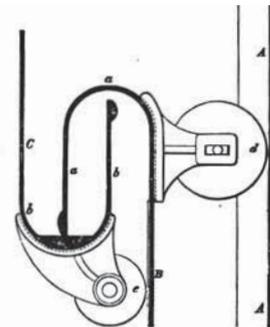


Abb. 93: Aufbau des halbkreisförmigen Tassenanschlusses nach Piggott (Clegg, 1866, p. 259).

212 Clegg, 1866, p. 259

213 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 134

214 Meade, 1916, pp. 444–446

215 Dempster, 1925, p. H37; Milbourne, 1929, pp. 11–12 – Eine weitere Verstärkungsmaßnahme enthielt das Patent von Prof. Karl Löhle 1912: Er ergänzte die Schöpftasse von großen Hubteilen ($V > 170.000\text{m}^3$) mit einem liegenden Träger. Samuel Cutler (Siehe Kap. C.2.3.-7.5.) brachte dies 1908 erstmals zur Ausführung (Milbourne, 1929, pp. 10–11).

216 Piggott brachte 1854 ein Patent zur Sicherung der verhakten Tassen hervor, um ein ungeplantes Auf- oder Abbewegen eines Hubteils außerhalb der üblichen Reihenfolge zu verhindern (JGL-4, 1854, p. 267; JGL-5, 1856, p.169). Dieser Erfindung lag die Patentschrift von Joshua Horton zugrunde, der bereits 1851 den Einsatz von umgebogenen Blechen für Tassen vorsah (JGL-2, 1851–1853, p. 145).

217 Livesey, 1889, p. 493 – Selbst nach mehr als 25 Jahren Betrieb betonte Livesey die einwandfreie Tassenkonstruktion und Funktionsweise nach Piggott.

218 Clegg, 1866, p. 259; JGL-35, 1880, p. 925; Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 124

Analog zum rechteckigen Pendant war auch das halbkreisförmige Tassendetail als verstärkte Ausführung möglich; hierfür waren grundsätzlich T-Eisen besser geeignet als U-Eisen ²¹⁹.

Die charakteristische Form dieses Tassenanschlusses entwickelte sich zu einem Markenzeichen Piggotts, weshalb sie auch als **Piggott-Tasse** bezeichnet wurde.

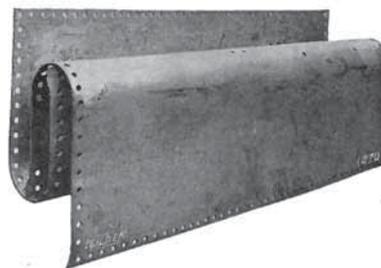


Abb. 94: Gebogene Mantelbleche für Tassenanschluss nach Piggott (Stevenson, 1901, p. 58).

Ein frühes Beispiel stellte der zweihüblige Gasbehälter in Rotherhithe, London von 1865 dar, dessen Hubteile ($D_{2.Hubteil} = 45,87\text{m}$; $H_{Hubteil} = 7,77\text{m}$) mit halbkreisförmigen Tassen konstruiert waren (Abb. 95) ²²⁰.

1899 plante Newbigging einen kleineren, zweihübligen Gasbehälter ($D_{2.Hubteil} = 27,43\text{m}$; $H = \text{ca. } 5,80\text{m}$) in Lytham mit halbkreisförmigen Tassen (Abb. 96); jedoch wurde hier nur die obere Haktasse mit senkrechten Steifen ausgestattet.

Dass die Piggott-Tasse auch bei großen Ausführungen geeignet war, bewies um 1907 der Bau eines vierhübligen Gasbehälters ($D_{1.Hubteil} = 73,45$; $H_{1.Hubteil} = 10,97\text{m}$) in Granton-Edinburgh (Abb. 97) ²²¹.

Um 1900 herrschte Uneinigkeit unter den Ingenieuren ob der geeigneten Tassenform und -konstruktion ²²². Auch wenn die Piggott-Tasse eine effizientere Form besaß, so bestach insgesamt die rechteckige Tassenkonstruktion, was sich in der Anzahl der gebauten Beispiele zeigte. Die Ausführung mit U-Eisen war weitaus tragfähiger als das halbkreisförmige Pendant ²²³. Außerdem war bei den Tassen nach Piggott ein axiales Einhaken im Scheitelpunkt zwingend erforderlich, um mögliche Verformungen der Tassen zu verhindern. ²²⁴

6.3.3. Zusammenfassung – Hak- und Schöpftassen

Mit der Einführung des Teleskopgasbehälters wurde die Hubteilkonstruktion mit einem neuen Anschlussdetail erweitert – der Hak- und der Schöpftasse. Diese sorgten für ein kraftschlüssiges Verhalten der Hubteile untereinander und verhinderten durch ihre wassergefüllten Tassen den Gasaustritt. Die Tassenkonstruktion durchlief mit den zunehmenden Hubteildurchmessern und der voranschreitenden Hüttentechnik eine Entwicklung: Die Tassenform war zunächst rechteckig und wurde aus Blechstreifen und Winkeleisen konstruiert; letztere wurden schließlich durch U-Eisen ersetzt.

George Piggotts* halbkreisförmige Tasse hingegen entstand allein durch das Umbiegen der Mantelbleche und benötigte deshalb keine weiteren Bauteile.

Die Tassenkonstruktion diente zugleich als oberer sowie unterer Ringträger und trug zur Sicherung der zylindrischen Form bei; außerdem wurden die Rollenböcke jeweils direkt auf bzw. unterhalb der Tasse befestigt.

219 JGL-35, 1880, p. 925

220 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 108

221 Herring, 1907, p. 205

222 JGL-53, 1889, p. 581; Herring, 1893, p. 265; Meade, 1916, pp. 444–445

223 JGL-53, 1889, p. 535

224 Meade, 1916, pp. 444–445

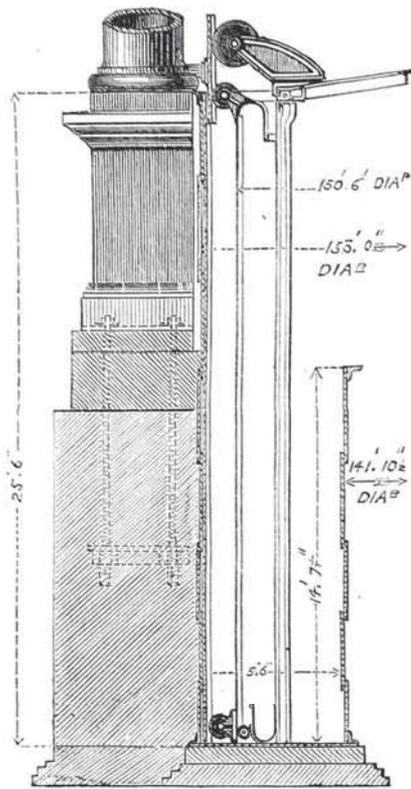


Abb. 95: Piggott-Tassen eines Gasbehälters in Rotherhithe (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 108).**

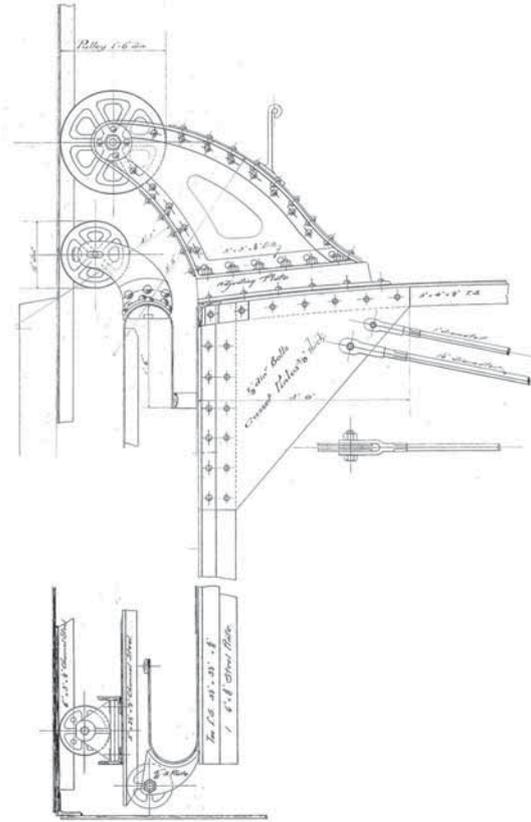


Abb. 96: Piggott-Tassen in Lytham Saint Annes on the Sea (NGA, NWLYS/E/T/3).**

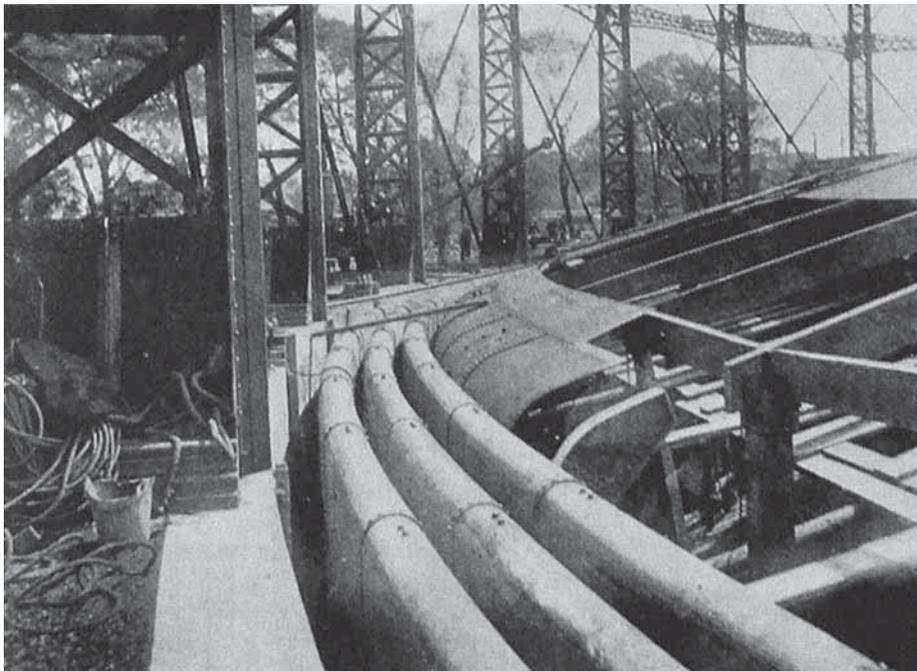


Abb. 97: Piggott-Tassen eines vierhübrigen Gasbehälters in Granton-Edinburgh (Herring, 1907, p. 203).

6.4. Schienen und Rollen



Abb. 98: Rollenanschluss eines Hubteils zum Führungsgerüst, Glockengasbehälter in Fakenham (BB, 2015).

Der „kinematische“ Regelanschluss von Hubteil, Führungsgerüst und Becken erfolgte über Rollen und Schienen (Abb. 98). Die Rollen befanden sich auf der Ober- und Unterkante des Hubteils jeweils in den Achsen des Führungsgerüsts, an das sie über vorgesezte oder integrierte Schienen ansetzten. Je nachdem ob die Rollen am Gerüst oder im Becken verliefen, wurden diese als **Gerüst- oder Beckenrollen** bezeichnet.

Bei Teleskopgasbehältern wurden die Hubteile an der Unterkante mit sogenannten **Mantelrollen** ausgeführt: Diese waren nicht nach außen zum Gerüst, sondern nach innen zu den Mantelflächen gerichtet; nur das unterste Hubteil verfügte über nach außen gerichtete Beckenrollen.

Dieses Kapitel zeigt die Entwicklung der linearen Führungstechnik²²⁵, deren Ursprung in der Aufhängung der frühen Hubteile mit Ketten und Gegengewichten (Siehe Kap. C.2.3.-3.) liegt und über die Führung mittels Stäben und Ösen hin zum standardisierten Aufbau bestehend aus Schienen und Rollen²²⁶ reicht.

6.4.1. Stäbe und Ösen

Die Führung von frühen Glockenkonstruktionen erfolgte nur in der vertikalen Achse, da diese allein mit Ketten und Gegengewichten ausgestattet war. Ein Verdrehen oder gar Kippen des Hubteils konnte daher nicht vermieden werden.

Um den Bewegungsablauf auch horizontal zu unterstützen, wurden den Säulen und Stützen des Gerüsts zunächst Stäbe vorgesezt und der Kuppelrand mit Ösen ausgestattet.

225 In diesem Kapitel wird ausschließlich die Entwicklung der linearen Führungstechnik dargestellt, die auf der Anordnung von Schienen und Rollen in Kombination mit einem feststehenden Gerüst basiert; die gerüstlose Führungstechnik und ihre systembedingten Bauteile werden in einem separaten Kapitel erläutert (Siehe Kap. C.2.6.).

226 Anm. d. Verfasserin: Die Untersuchung der unterschiedlichen Rollenformen und Querschnitte ist nicht Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit, die vielmehr auf die Konstruktion des Gasbehälters abzielt.

Dies ermöglichte ein geordnetes, lineares Auf- und Abwegan des Hubteils.

Clegg jun. beschrieb diese Technik an einem einhübligen Gasbehälter ($V= 4.250\text{m}^3$, $D= 26,67\text{m}$, $H= 7,62\text{m}$), dessen Hubteil entlang acht Dreibein-Stützen (Abb. 99) geführt wurde: Jeder Stütze war ein Rundeisenstab mit gleicher Höhe vorgesetzt, an denen die Ösen „eingefädelt“ wurden. Somit wurde der Bewegungsablauf an acht Punkten unterstützt.²²⁷

Diese Anordnung von Stäben und Ösen währte nur über einen kurzen Zeitraum (Anm. d. Verfasserin: ungefähr 10 Jahre), da sich schließlich die Führungstechnik mit Schienen und Rollen durchsetzte.

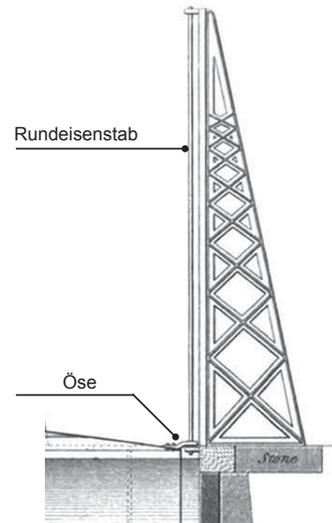


Abb. 99: Führungstechnik bestehend aus Stab und Öse nach Clegg (Clegg, 1841, Plate XVI).**

6.4.2. Schienen und Rollen – Gerüst- und Beckenrollen

Da der Aufbau von Öse und Stab zu viel „Spiel“ hatte und einen kraftschlüssigen Anschluss erschwerte, wurden diese Bauteile durch Rollen und Schienen ersetzt (Abb. 98), deren Kontaktflächen eine eindeutige Richtung der Krafteinwirkungen erzeugten.

Grundsätzlich differenzierte man je nach Einbauort zwischen zwei verschiedenen, außen liegenden Rollen (Abb. 100)

- Die **Gerüstrollen** befanden sich auf der Kuppel und der Haktasse und wurden jeweils in den Säulen- bzw. Stützenachsen des Gerüsts angeordnet.
- Die **Beckenrollen**²²⁸ waren am unteren Rand des letzten Hubteils in den vorgenannten Achsen positioniert; bei größeren Hubteildurchmessern wurde deren Anzahl verdoppelt, indem man weitere Rollen zwischen die Achsen setzte²²⁹. Teilweise wurde die Rollenanzahl nicht nur entlang des unteren Randes, sondern auch in den Drittels-, Viertelpunkten etc. der Mantelhöhe ergänzt (Abb. 102)²³⁰.

Die Rollen wurden jeweils über Bockkonstruktionen (Siehe Kap. C.2.2.-6.4.2.) auf den Hubteilen montiert und liefen entlang der Gerüst- und Beckenschiene.

Der Rollenanschluss, die entsprechende Schiene und der Rollenbock waren auf die Hubteilgröße, die Hübigkeit sowie die Konstruktion des Führungsgerüsts abzustimmen.

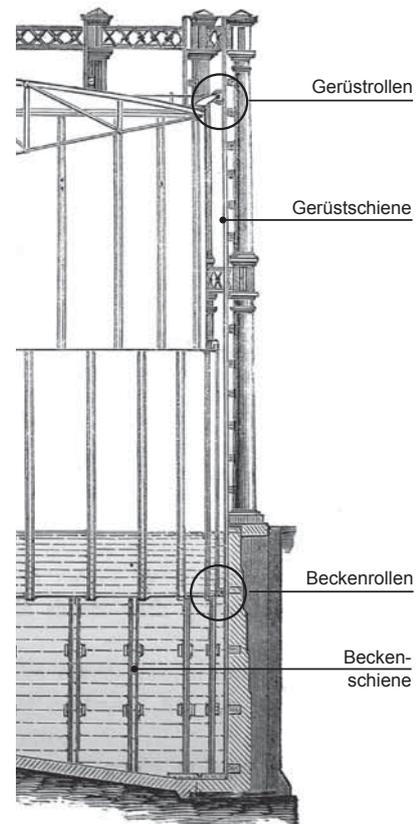


Abb. 100: Anordnung von Rollen und Schienen, Salford (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 143).**

227 Clegg, 1841, pp. 130–131

228 Da sich diese Rollen überwiegend im Wasser bewegten, bezeichnete man diese auch als Wasserrollen.

229 Newbigging, Fewtrell, 1897, p. 72

230 Bei dem äußeren Hubteil ($D= 40,23\text{m}$; $H= 9,45\text{m}$) eines Gasbehälters in Redheugh wurden zwei zusätzliche Beckenrollen in den Drittelpunkten des Mantels angeordnet (Newbigging, Fewtrell, 1897, p. 139).

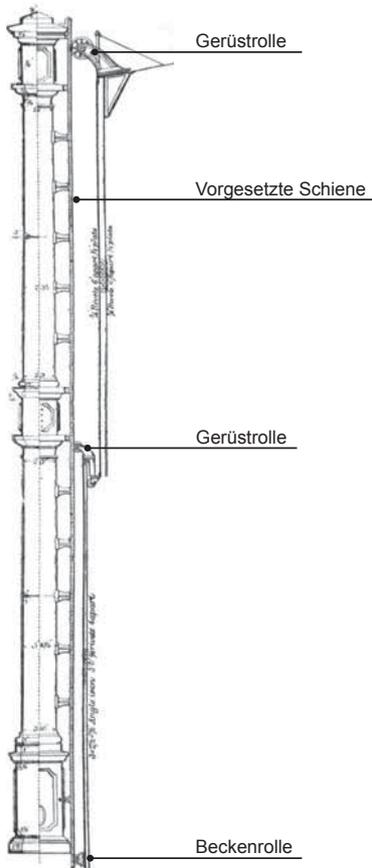


Abb. 101: Vorgesetzte Gerüstschiene eines Gasbehälters in Birmingham (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 151).**

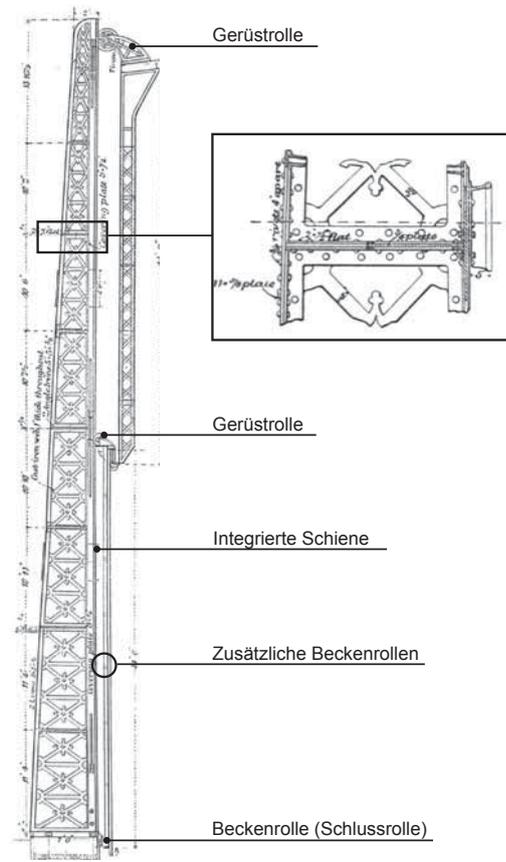


Abb. 102: Integrierte Gerüstschiene eines Gasbehälters in Kennington, London, 1878 (Newbigging, Fewtrell, Plates XVI, XIX).**

a) Schiene

Die Schiene bestand aus zwei Abschnitten – der Gerüst- und der Beckenschiene; der Übergang war meist nahtlos²³¹. Für die Gerüstschiene gab es zwei verschiedene Konstruktionsweisen:

- Die **vorgesetzte Schiene** (Abb. 101) wurde als eigenständiges Bauteil innenseitig über Stempel an das Gerüst angeschlossen und kam v.a. bei Gerüsten mit Säulen zum Einsatz, da sie aufgrund ihres Aufbaus keinen einheitlichen Querschnitt hatten (z.B. durch Postamente und Kapitelle). Das Beispiel zeigt einen zweihübrigen Gasbehälter ($V= 56.634\text{m}^3$) in Birmingham, dessen Schienen ($H= \text{ca. } 22,50\text{m}$) mit U-Eisen ($b/h= 125/56\text{mm}$; $t= 16\text{mm}$) ausgeführt wurden (Siehe auch Abb. 108)²³². Bei frühen Glockengasbehältern wurden die Säulen einschließlich einer sogenannten Zunge gegossen, die als Führungsschiene diente (Abb. 98)²³³.
- Die **integrierte Schiene** (Abb. 102) wurde direkt an der Stützenkonstruktion befestigt – ohne weitere Distanzstücke²³⁴. In Kennington wurde um 1878 ein zweihübriger Gasbehälter ($V= 84.951\text{m}^3$) fertig gestellt. Das Führungsgerüst ($H= 27,53\text{m}$) bestand aus I-förmigen, genieteten Stützen, an die die Führungsschiene – mit schienenförmigem Querschnitt (s.o.) – direkt befestigt wurde.²³⁵

231 Versprünge von Becken- zur Schienenrolle waren möglich (JGL-35, 1880, p. 925), wurden aber eher selten ausgeführt.

232 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 150–151

233 Clegg, 1866, pp. 242–246

234 Anfang des 20. Jahrhunderts wurden die Stützenquerschnitte teilweise so konzipiert, dass der innen liegende Flansch gleichzeitig als Schiene genutzt werden konnte.

235 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 169

Für die Ausführung der Schienen war ein Eisenquerschnitt erforderlich, der auf die jeweilige Rollenform und -anordnung abgestimmt war. Im Gerüstbereich wurde meist ein T- oder U-förmiger Querschnitt gewählt; teilweise wurden auch schienenförmige Querschnitte (Abb. 102) eingesetzt²³⁶. Die Beckenschiene bestand meist aus einem U- oder Trogeisen und war jeweils direkt an der Beckenwand fixiert²³⁷.

b) Rolle

Der Anschluss der Rollen an die Führungsschiene war mit verschiedenen Laufrichtungen möglich:

- **Radialrollen** – Der Anschluss erfolgte jeweils über eine einzige Rolle (Abb. 103), deren Laufrichtung der Radiuslinie des Hubteils entsprach. Der Nachteil der radialen Rollen lag darin, dass diese nur von einer Seite an die Schiene ansetzten und deswegen ein „Entgleisen“ nicht ausgeschlossen werden konnte²³⁸. Dieses Risiko konnte aber durch eine erhöhte Rollenanzahl verringert werden.
- **Tangentialrollen**²³⁹ – Diese Anordnung bestand aus einem tangential ausgerichteten Rollenpaar, das die Schiene von zwei Seiten einfasste. Daher war ein „Entgleisen“ wie bei der vorgenannten Radialrolle kaum mehr möglich²⁴⁰. Dieser Rollenanschluss kam v.a. bei Teleskopgasbehältern zum Einsatz.
- **Tangential- und Radialrollen** – Bei großen, mehrhubigen Gasbehältern war eine Radialrolle ebenso wenig ausreichend wie ein tangenciales Rollenpaar. Dies führte zur Kombination beider Rollentypen (Abb. 104), die die geradlinige Führung der Hubteile in beide Richtungen absicherte²⁴¹. Diese Rollenkombination wurde z.B. bei dem 1880 errichteten, dreihubigen Gasbehälter (V= 155.743m³) in der Old Kent Road, London eingesetzt.²⁴²
- **30/ 60°-Rollen** – Teilweise wurden die Tangentialrollen auch im 30 bis 60° Winkel an die Schiene gesetzt – wie es z.B. um 1907 bei drei Hubteilen eines Gasbehälters (V= 198.218m³) in Granton-Edinburgh (Abb. 105) der Fall war.²⁴³

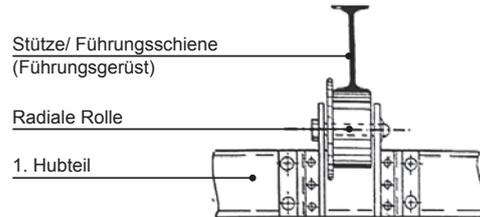


Abb. 103: Einfache Radialrolle (Meade, 1916, p. 427).**

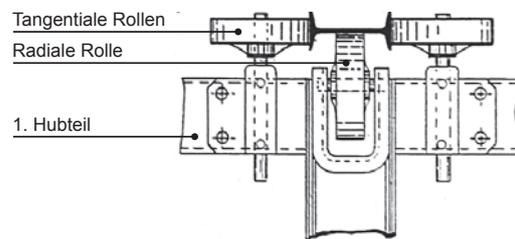


Abb. 104: Kombination aus einer radialen und zwei tangentialen Rollen (Meade, 1916, p. 427).**

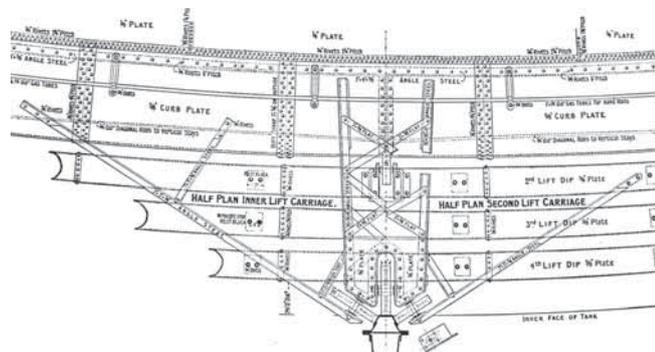


Abb. 105: Erstes Hubteil mit diagonal und radial ausgerichteten Rollen, Granton-Edinburgh (Herring, 1907, p. 206).

236 Hughes, 1853, p. 220; Meade, 1916, p. 460

237 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 136–138, 153, 172

238 Clegg, 1841, pp. 130–131

239 Die Tangentialrollen kamen überwiegend in Frankreich zum Einsatz, zumal sie dort entwickelt wurden (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 189; Hunt, 1900, p. 157). Daher wurden sie auch als „French rollers“ bezeichnet (Tucker, 2014, p. 41). In Deutschland wendete v.a. Klönne die Tangentialführung an; zudem erfand er die sogenannte „Vollstrahlführung“ – eine Erweiterung des radialen Systems, bei der eine Radialrolle vor und eine hinter die Stütze positioniert war. Diese Technik wurde erstmals 1908 in Wesel eingesetzt (o.A., 1929, p. 52)

240 Herring, 1893, p. 269

241 Herring, 1893, pp. 269–270; Hunt, 1900, pp. 157–158.

242 Layton, 1920, p. 39; Milbourne, 1923, p. 2

243 Herring, 1907, p. 206. – In East Greenwich wurde diese Anordnung ebenfalls bei dem sechshubigen Gasbehälter eingesetzt (Hunt, 1900, pp. 157–158).

c) Rollenbock

Die Gerüstrollen wurden jeweils mit einer Bockkonstruktion auf den Hubteilen befestigt.

Bei kleineren Glockengasbehältern mit einfacher Radialrolle bestand dieser Bock aus einem sehr einfachen Aufbau – z.B. aus Flacheisenschenkeln und Winkeleisen, wie ein Beispiel von Clegg zeigt (Abb. 106). Mit zunehmender Hubteilgröße wurde dieser Aufbau zunächst durch gusseiserne Formbauteile (Abb. 98) und später – analog zur Stützenkonstruktion – von genieteten Blechkonstruktionen abgelöst.

Bei Teleskopgasbehältern war die Bockkonstruktion als Ausleger konzipiert, um die Distanz vom Hubteil zur Schiene zu überbrücken. Da dieser Abstand mit jedem Hubteil zunahm, fiel die Bockkonstruktion v.a. bei den oberen Hubteilen größer und aufwändiger aus.

Der Rollenbock wurde überwiegend als genietete Blechkonstruktion ausgeführt (Abb. 107).

Die Bockkonstruktion für die Beckenrollen konnte auf ein Mindestmaß beschränkt werden, da das äußere Hubteil stets den geringsten Abstand zum Becken hatte und je Anschluss eine einzige Radialrolle ausreichend war. Deren Lager war meist mit Flach- und Winkeleisen an dem unteren Ringträger (Siehe Kap. C.2.2.-5.3.) des Hubteils befestigt.

Hunts Gasbehälter in Birmingham (Abb. 101) hatte zwei Hubteile ($D_{1, \text{Hubteil}} = 60,19\text{m}$; $D_{2, \text{Hubteil}} = 59,45\text{m}$; $H = 10,97\text{m}$), die ebenfalls mit einfachen Radialrollen ausgestattet waren (Abb. 108). Die Bockkonstruktionen für Gerüst- und Becken wurden jeweils auf ihre Position angepasst: ²⁴⁴

1. Hubteil: Der Rollenbock auf der Kuppel war eine genietete Blechkonstruktion, die im Wesentlichen aus Flach- und Winkeleisen bestand. Der Bock wurde über Distanzstücke und eine Kopfplatte auf der Kuppel befestigt – beide Bauteile waren aus Schmiedeeisen.

Die Mantelrolle (Siehe Kap. C.2.2.-6.4.3.) wurde mit einer Blechkonstruktion und einer schmiedeeisernen Kopfplatte an das U-Eisen der Schöpf-tasse geschraubt.

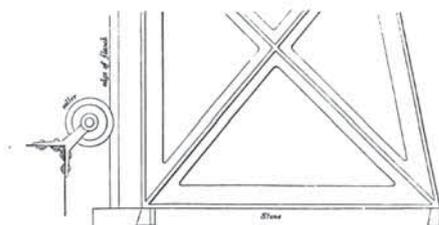


Abb. 106: Anschlussdetail der Stütze mit Führungsschiene und Rolle (Clegg, 1841, p. 131).

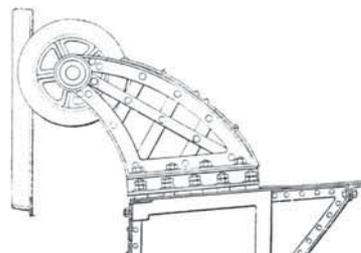


Abb. 107: Rollenbock als genietete Blechkonstruktion (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 135).

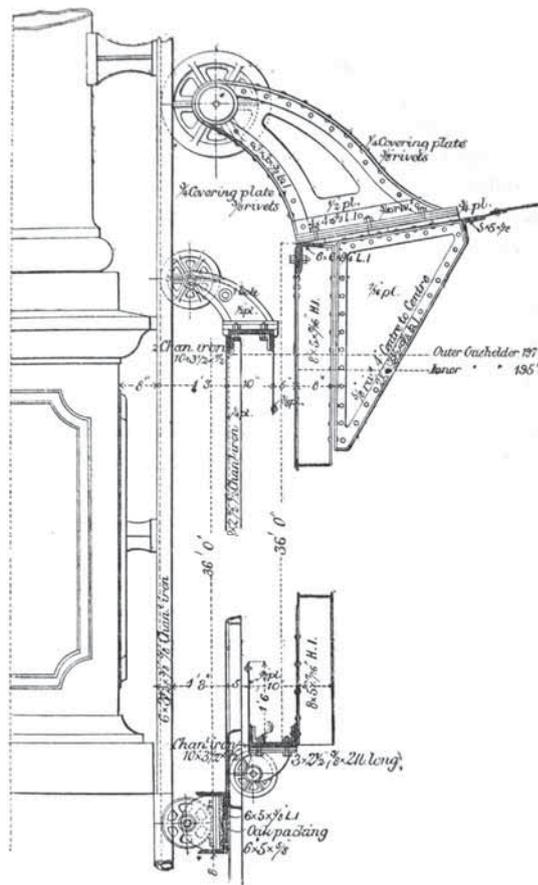


Abb. 108: Gerüst- und Beckenrollen eines zweihubigen Gasbehälters in Birmingham (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 151).

244 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 150–153

2. Hubteil: Der Rollenbock auf der Haktasse hatte einen ähnlichen Aufbau wie das erste Hubteil, nur dass er vollwandig und kleiner konzipiert war. Die Beckenrollen waren über Winkeleisen, eine Kopfplatte und ein Futterholz an den unteren Ringträger befestigt.

Woodall konzipierte das äußere Hubteil (D= 66,29m; H= 13,41m) eines Gasbehälters (V= 84.951m³) in Kennington, London mit folgenden Rollenanschlüssen (Abb. 109):

Die Beckenrollen („C“) wurden über Flach- und Winkeleisen (à b/h= 152/127mm; t= 16mm) am unteren Ringträger befestigt. Zudem erfuhr die Mantelaußenseite eine vertikale Stabilisierung durch die Anordnung von sechs zusätzlichen Beckenrollen („B“), die zwischen zwei senkrechte Winkeleisen (à b/h= 452/76mm; t= 13mm) gesetzt waren. Die Beckenschiene war als U-Eisen (b/h= 152/102mm; t= 13mm) ausgeführt.

Auf der Haktasse befand sich eine radiale Rolle („A“). Der Rollenbock war eine vollwandige, genietete Blechkonstruktion, die über eine Konsole und eine Kopfplatte mit der Haktasse verschraubt wurde.

An der Mantelinnenseite waren senkrechte U-Eisen (b/h= 178/76mm; t= 13mm) befestigt, die sowohl als Mantelständer, als auch als Schiene für die Mantelrollen fungierten (Siehe Kap. C.2.2.-6.4.3.).²⁴⁵

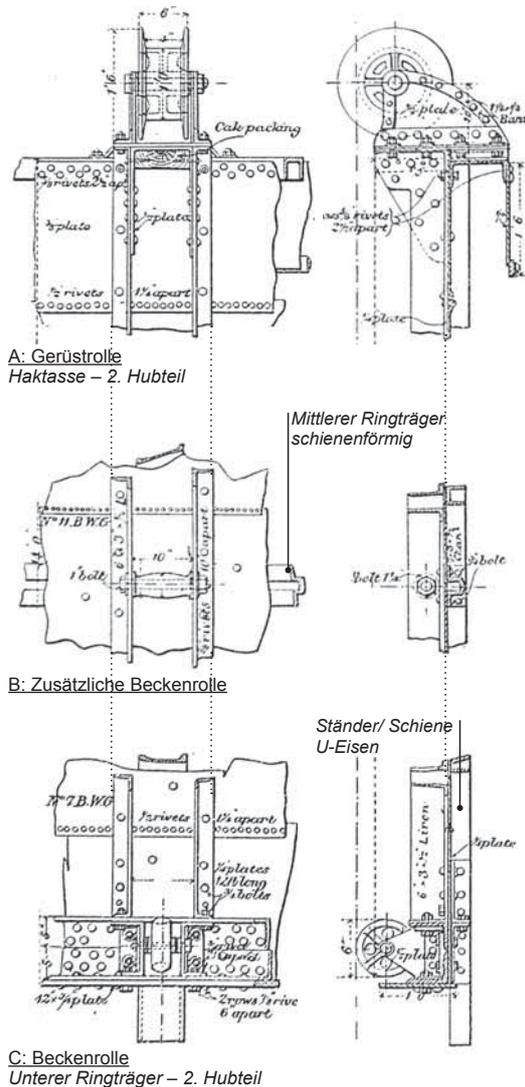


Abb. 109: Becken- und Gerüstrollen des äußeren Hubteils in Kennington, London, 1878 (Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XVI).**

Ende des 19. Jahrhunderts wurde bei großen, mehrhubigen Gasbehältern vermehrt die Kombination von Tangential- und Radialrolle eingesetzt. Da die Bockkonstruktion bei dieser Rollenordnung nicht nur frontal, sondern auch tangential oder seitlich beansprucht wurde, mussten diese mit seitlichen Streben verstärkt werden (Abb. 105).

²⁴⁵ Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 169–173 – Der Gasbehälter wurde um 1878 fertig gestellt.

6.4.3. Schienen und Rollen – Mantelrollen

Bei einhübrigen Gasbehältern wurden ausschließlich außen liegende Gerüst- und Beckenrollen verwendet. Letzteres war bei Teleskopgasbehältern aufgrund des Tassenanschlusses (Siehe Kap. C.2.2.6.3.) nicht mehr möglich²⁴⁶; deshalb wurden die Rollen nicht mehr zum Gerüst, sondern zum Mantel des vor- bzw. nachgehenden Hubteils ausgerichtet.

Die Anordnung der sogenannten **Mantelrollen** war an zwei unterschiedlichen Einbauorten möglich:

- Als **außen liegende Mantelrollen** auf der Haktasse, die den Bewegungsablauf des vorgehenden Hubteils unterstützten.
- Als **innen liegende Mantelrollen** an der Unterseite der Schöpftasse.

Die Mantelrolle lief entweder direkt an den Mantelblechen oder – um den dadurch entstehenden Verschleiß zu vermeiden – an zusätzlichen Flacheisenstreifen²⁴⁷ oder entlang der Schienen und Mantelständer (Siehe Kap. C.2.2.-5.2.). Die Bockkonstruktionen folgten den Ausführungen der Gerüstrollen in vereinfachter Form.

Im Gegensatz zu den Gerüst- und Beckenrollen sorgten die Mantelrollen nur für ein geradliniges Ein- und Ausfahren der Hubteile untereinander und stellten keine Krafteinleitung in das Führungsgerüst her. Außerdem dienten die Mantelrollen gleichzeitig als Schutzvorrichtung für die empfindliche Tassenkonstruktion. Anfangs wurden überwiegend außen liegende Mantelrollen eingesetzt, bis sich schließlich die innen liegende Anordnung als Standard durchsetzte.

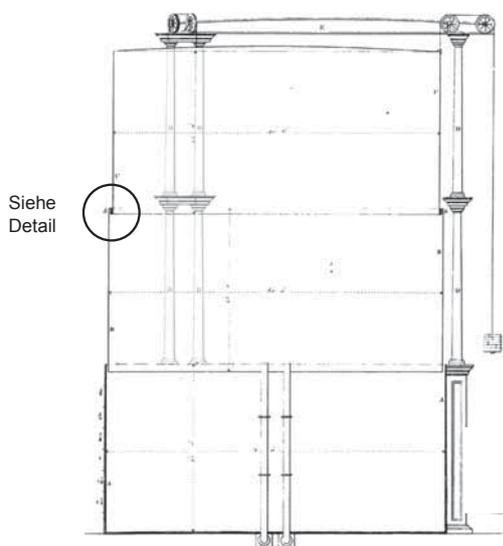


Abb. 110: Zweihübiger Gasbehälter mit außen liegenden Mantelrollen (Clegg, 1841, Plate XVII, bearbeitet und ergänzt durch BB, 2016).**

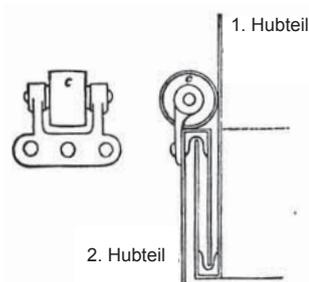


Abb. 111: Mantelrollen auf der Haktasse des 2. Hubteils (Clegg, 1841, p. 136).**

Außen liegende Mantelrollen

Die außen liegenden Mantelrollen spielten eine wichtige Rolle bei der Entwicklung der Teleskopgasbehälter. Wie ein Beispiel von Clegg jun. zeigt (Abb. 110), war das obere Hubteil durch die Anordnung von Gegengewichten unterstützt. Auf der Haktasse des zweiten Hubteils befanden sich Mantelrollen (Abb. 111), die das lineare Aufsteigen des ersten Hubteils sicherten. Die Rollen waren im regelmäßigen Abstand von 183cm angebracht und liefen direkt auf den Mantelblechen.²⁴⁸

Mit zunehmenden Hubteilgrößen wurden die außen liegenden Mantelrollen allmählich von dem innen

246 Mit einer Ausnahme – das letzte Hubteil konnte mit konventionellen Beckenrollen ausgestattet werden.

247 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 162–163

248 Clegg, 1841, p. 136

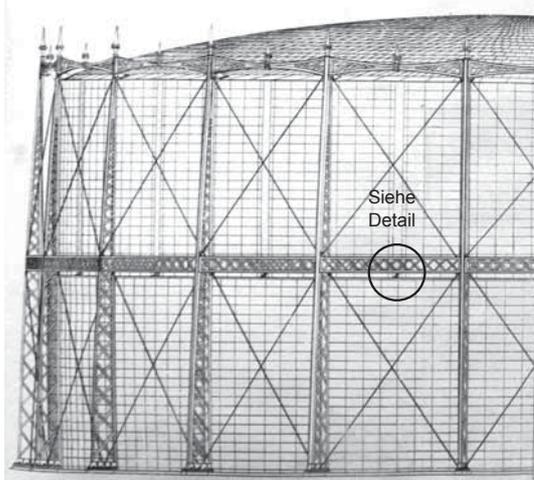


Abb. 112: Zweihübiger Gasbehälter mit außen liegenden Mantelrollen in Stepney, London (JGL-40, 1882, Dec. 12th).**

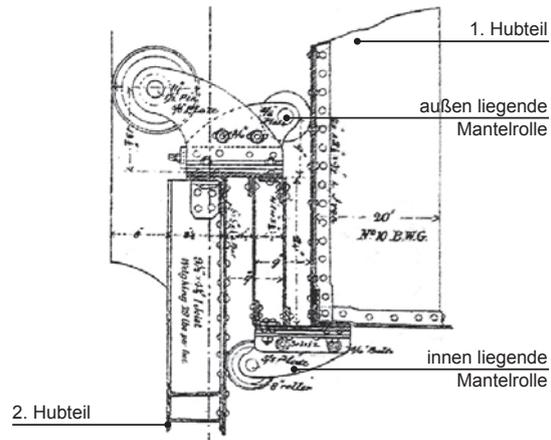


Abb. 113: Mantelrollen an Hak- und Schöpftasse (JGL-40, 1882, Dec. 12th).**

liegenden Pendant abgelöst (s.u.). Erst bei der Ausführung von sehr großen Hubteilen wurde wieder auf diese Rollenanordnung zurückgegriffen – jedoch als zusätzliches, stabilisierendes Element, das jeweils zwischen den Hauptachsen installiert wurde:

1882 plante *Henry Edward Jones** einen zweihübigen Gasbehälter in Stepney, London (Abb. 112), dessen erstes Hubteil (D= 65,84m; H= 13,72m) mit zusätzlichen Rollen an der Mantelaußenseite (Abb. 113) unterstützt wurde.

Innen liegende Mantelrollen

Bei der außen liegenden Anordnung wurde das ausfahrende Hubteil jeweils durch eine Gerüstrolle an der Oberkante und eine Mantelrolle unterstützt, die sich je nach Füllstand an der Mantelwand auf- und abbewegte. Folglich erfuhren die Unterkante des Hubteils sowie die Schöpftasse keine weitere Unterstützung.

Deshalb wurden die Mantelrollen um 1850 an die Unterseite der Schöpftasse verlagert²⁴⁹. Die innen liegende Mantelrolle entwickelte sich zum standardisierten Rollenanschluss bei mehrhübigen Gasbehältern²⁵⁰.

Für einen zweihübigen Gasbehälter in St. Annes on the Sea, Lytham (Abb. 114) plante Newbigging 1899 innen liegende Mantelrollen, die sowohl in als auch zwischen den Stützenachsen angeordnet waren. Die Rollen waren an der halbrunden Schöpftasse des oberen Hubteils (D= 26,82m; h= ca. 6m) montiert und liefen entlang U-Eisen.

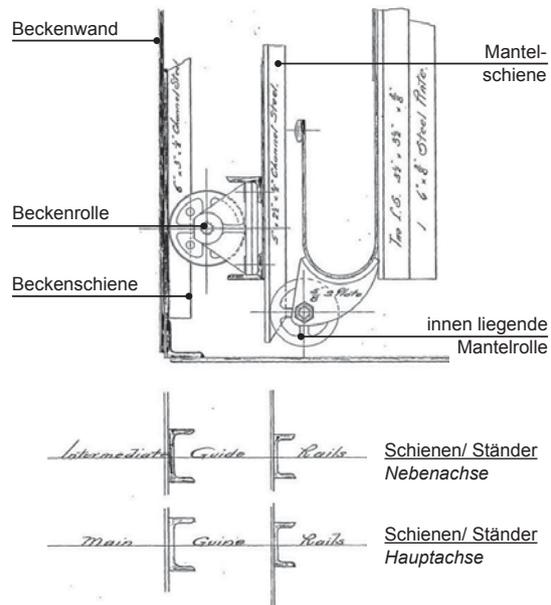


Abb. 114: Innen liegende Mantelrolle, Lytham St. Annes on the Sea (NGA, NWLYS/E/T/3).**

249 Hughes, 1853, p. 222

250 Im Gegensatz zu den Gerüstrollen, deren Anzahl jeweils der Säulen- oder Stützenanzahl entsprach, konnte die Menge der Mantelrollen unabhängig verdoppelt oder verdreifacht werden (Hughes, 1853, p. 222).

6.4.4. Zusammenfassung – Schienen und Rollen

Das Hubteil war ein kinematisches Bauteil, das im Betrieb größtenteils allein vom Gas getragen wurde. Um die axiale Ausrichtung des Hubteils zu sichern, war es auf ein Führungssystem angewiesen, das auf einem feststehenden Führungsgerüst basierte: Dieses wurde zunächst mit vorgesetzten Stäben ausgestattet, an denen die am Hubteil befestigten Ösen auf- und abfuhr. Diese Technik wurde schließlich durch den Einsatz von Schienen und Rollen verbessert, die eine eindeutige Richtung der Krafteinwirkung besaßen.

Je nach Einbauort differenzierte man zwischen Gerüst-, Becken- und Mantelrollen: Die Gerüstrollen befanden sich auf der Kuppel und der Schöpftasse und stellten den Kontakt zum Führungsgerüst her. Die Beckenrollen waren am unteren Rand des letzten Hubteils angebracht und bewegten sich lediglich entlang der im Becken befindlichen Schiene. Die Mantelrollen dienten primär zur Stabilisierung des Ein- und Ausfahrmechanismus der Hubteile untereinander, sowie zur Unterstützung der Tassenkonstruktion. Bei der Laufrichtung der Rollen unterschied man grundsätzlich zwischen Radial- und Tangentialrollen. Die Radialrollen setzten an der Stirnseite der Schiene an und liefen in der Radiuslinie des Hubteils, wohingegen die Tangentialrollen immer als Paar an die Schienenseiten ansetzten; eine Kombination beider wurde v.a. Ende des 19. Jahrhunderts bei großen, mehrhubigen Teleskopgasbehältern eingesetzt²⁵¹.

Die Lager der Gerüstrollen wurden auf einer Bockkonstruktion und die der Becken- und Mantelrollen an Winkel- oder U-Eisen befestigt. Je mehr Hubteile ein Gasbehälter aufnahm, desto größer fielen v.a. die Bockkonstruktionen der Gerüstrollen aus. Dies zeigte v.a. der oberste Rollenbock, der am Kuppelrand montiert war und den größten Kragarm besaß.

Der Bewegungsmechanismus eines Hubteils war umso sicherer und genauer, je mehr Rollenanschlüsse ein Hubteil besaß (*Siehe auch Kap. D.3.2.-1.2.4.*).

Insgesamt vollzogen die Konstruktion und der Aufbau des einzelnen Rollenanschlusses ebenfalls eine kontinuierliche Weiterentwicklung, die mit den zunehmenden Hubteilgrößen und der Mehrhubigkeit einherging.

251 Herring, 1893, p. 269

6.5. Zusammenfassung – Teleskopierung

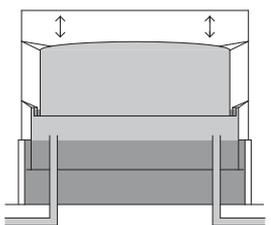
Die steigende Gasnachfrage forderte größere Speicherbehältnisse. Dies führte die Ingenieure zu verschiedenen Überlegungen, wie man die bestehende Form des einhübrigen Gasbehälters systemgetreu erweitern könnte. Die Teleskopiertechnik von *William Tait** legte schließlich den Grundstein für die Entstehung von mehrhübrigen Gasbehältern, deren Hubteile nacheinander – wie die Teleskope eines Fernrohres – ein- und ausfahren.

Das Schlüsseldetail des Teleskopgasbehälters war die **Tassenkonstruktion**, bestehend aus einer Hak- und einer Schöpfasse, die die Hubteile untereinander verhakten. Zugleich wurde durch die was-sergefüllte Tasse der gasdichte Abschluss hergestellt. Die Tassenform war entweder rechteckig – konstruiert mit Winkel- und später U-Eisen – oder halbrund möglich; letztere erlangte ihre Form durch das Umbiegen der Mantelbleche und war eine Erfindung von *George Piggott**. Die Tassenkonstruktion übernahm zugleich die Funktion des Ringträgers und des Auflagers für die Befestigung der Rollen.

Die Erweiterung vom ein- zum mehrhübrigen System bedingte auch die Anpassung der Führungstechnik: Neben den **Gerüstrollen** auf der Kuppel und den **Beckenrollen** am unteren Hubteilabschluss befanden sich weitere Gerüst- und **Mantelrollen** auf der Tasse, die den Ein- und Ausfahrmechanismus der Hubteile unterstützten. Die Rollen wurden entweder in radialer oder tangentialer Laufrichtung an die Schienen gerichtet; bei großen Durchmessern wurde auch die Kombination beider Laufrichtungen eingesetzt. Die Befestigung der Rollen erfolgte mit Rollenböcken auf dem Hubteil, die je nach Hubteildurchmesser und Hübigkeit verschiedene Ausmaße annahmen.

Die Erhöhung der Speicherkapazität eines Gaswerks mit Teleskopgasbehältern zeigte sich weitaus kosten-, zeit- und platzsparender als der Bau von vielzähligen, einhübrigen Gasbehältern, die die Freiflächen eines Gaswerks schnell reduzierten. Die Teleskopiertechnik eignete sich sowohl beim Bau von neuen, als auch als Erweiterungsmaßnahme bei bestehenden Gasbehältern.

Zusammenfassend prägte die Teleskopiertechnik die Standardform des Gasbehälters im 19. Jahrhundert und stellte ihre technisch-konstruktiven Möglichkeiten als große, weit aufragende Konstruktionen gegen Ende des 19. Jahrhunderts unter Beweis, die von der Einführung des fliegenden Hubteils (*Siehe Kap. C.2.2.-7.*) noch gegipfelt wurde.

Tab. 17: Zusammenfassung – Teleskopierung (nach Clegg, 1841; Hughes, 1853; Newbigging, Fewtrell, 1879; Herring, 1893; Meade, 1916, Milbourne, 1923)		
Teleskopierung	Vorteile	Nachteile
	<ul style="list-style-type: none"> + Platzsparende Erweiterung, + Steigerung des Nutzvolumens, + Reduzierung der Baukosten und -zeit, + Reduzierung des Materialaufwandes, + Auch als Erweiterungstechnik bei bestehenden Gasbehältern geeignet, + Tassen als Ringträger, + Tassen als Auflager für Rollenböcke. 	<ul style="list-style-type: none"> - Steigendes Gewicht, - Drucksprünge, - Erweiterung des Führungsgerüsts. <p><u>Empfindliche Tassenkonstruktion:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Zusätzliche Mantelrollen erforderlich, - Hohes Maß an Genauigkeit bei Planung und Ausführung notwendig, - Beheizen des Sperrwassers in Wintermonaten.

7. Fliegende Hubteile

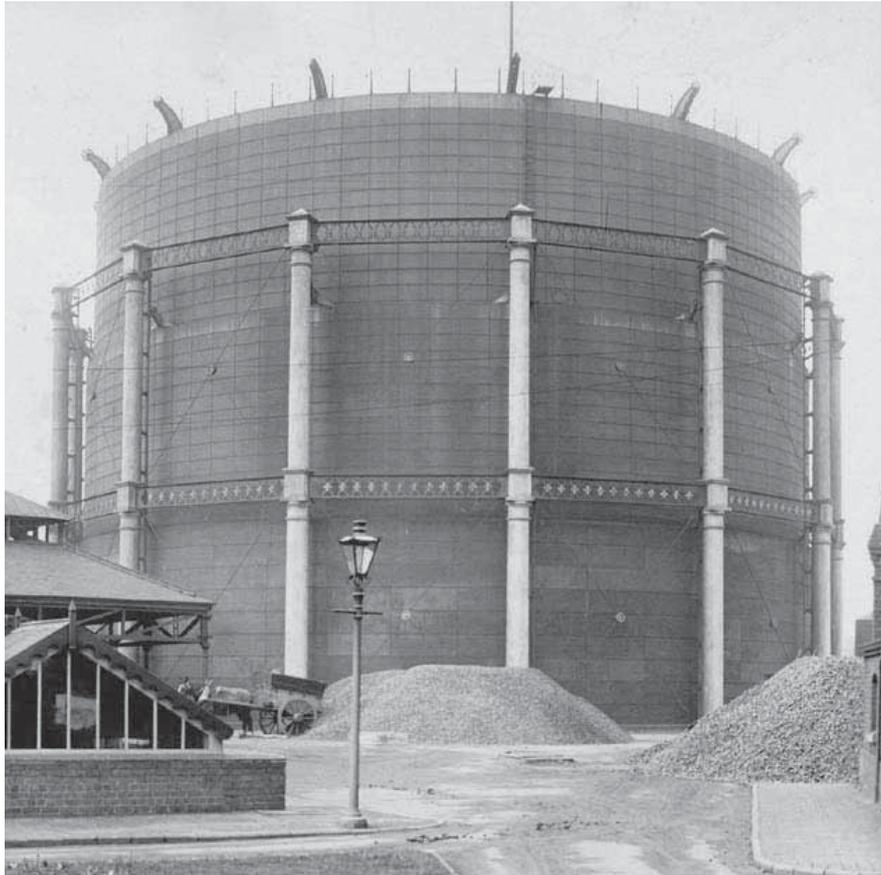


Abb. 115: Zueihübigiger Gasbehälter mit fliegendem Hubteil bei der Albion Station, West Bromwich, 1906 (NGA, WM/WEB/E/F/1).

Die Technik des Teleskopierens ermöglichte das Bereitstellen von größeren Speicherkapazitäten bei gleichbleibender Grundfläche. Jedoch stieg mit der Hühigkeit eines Gasbehälters auch die Geschosigkeit des Führungsgerüsts, was den Material-, Kosten- und Zeitfaktor erheblich erhöhte. Mit der Einführung des fliegenden Hubteils war es möglich, das Nutzvolumen bestehender Gasbehälter schnell und effizient zu erweitern²⁵², ohne das Gerüst aufwendig aufzustocken.

Grundsätzlich unterschied man zwischen drei verschiedenen Techniken:

- **Fliegende Hubteile mit Kurzsäulen** nach Horton,
- **Fliegende Hubteile ohne Führungstechnik** nach Livesey,
- **Seil-geführte, fliegende Hubteile** nach Pease und
- **Spiral-geführte, fliegende Hubteile** nach Gadd.²⁵³

252 Owler, 1894, p. 32

253 Dieses Kapitel erläutert das fliegende Hubteil als Einzelsystem. Die daraus resultierende neue Gasbehälterform – die ganz ohne externes Führungsgerüst funktioniert – wird separat behandelt (Siehe Kap. C.2.6.).

7.1. Fliegende Hubteile mit Kurzsäulen

Knapp 20 Jahre nach der ersten erfolgreichen Realisierung eines zweihübrigen Gasbehälters (Siehe Kap. C.2.2.-6.2.1.) erfand *Joshua Horton** eine Technik, die eine reduzierte Ausführung der zunehmend kostspieligeren Führungsgerüste ermöglichte.

1851 patentierte er einen zweihübrigen Gasbehälter (Abb. 116), dessen Führungsgerüst nur für ein Hubteil ausgerichtet war. Dies hatte zur Folge, dass sich das obere Hubteil während der Füllphase über das Führungsgerüst hinweg hob. Zur Unterstützung des frei aufsteigenden Hubteils dienten Kurzsäulen²⁵⁴, die auf der Haktasse des unteren Hubteils angebracht waren. Diese Säulen befanden sich jeweils in den Gerüstachsen und bestanden aus zwei Winkeleisen, zwischen denen drei Rollen befestigt wurden: Zwei waren zum Mantel des oberen Hubteils gerichtet und eine Rolle stellte den Kontakt zum Führungsgerüst her. Die Kurzsäulen wurden über einen horizontalen Trägerkranz untereinander gekoppelt und damit zusätzlich stabilisiert.

Durch die Anordnung der Kurzsäulen erfuhr das Hubteil eine Unterstützung, die sich jeweils auf die halbe Mantelhöhe erstreckte.²⁵⁵

Einer der ersten Gasbehälter, bei dem Hortons Technik angewendet wurde, befand sich an der Wellington Street, Blackfriars Road in London. Dort wurde 1859 ein zweihübriger Gasbehälter mit einem fliegenden Hubteil erweitert.

Diese innovative Technik zeigte jedoch bei der Umsetzung erhebliche Mängel und der Gasbehälter stand vier bis fünf Jahre außer Betrieb, bis er schließlich wieder zu seiner ursprünglichen, zweihübrigen Form rückgebaut wurde.²⁵⁶

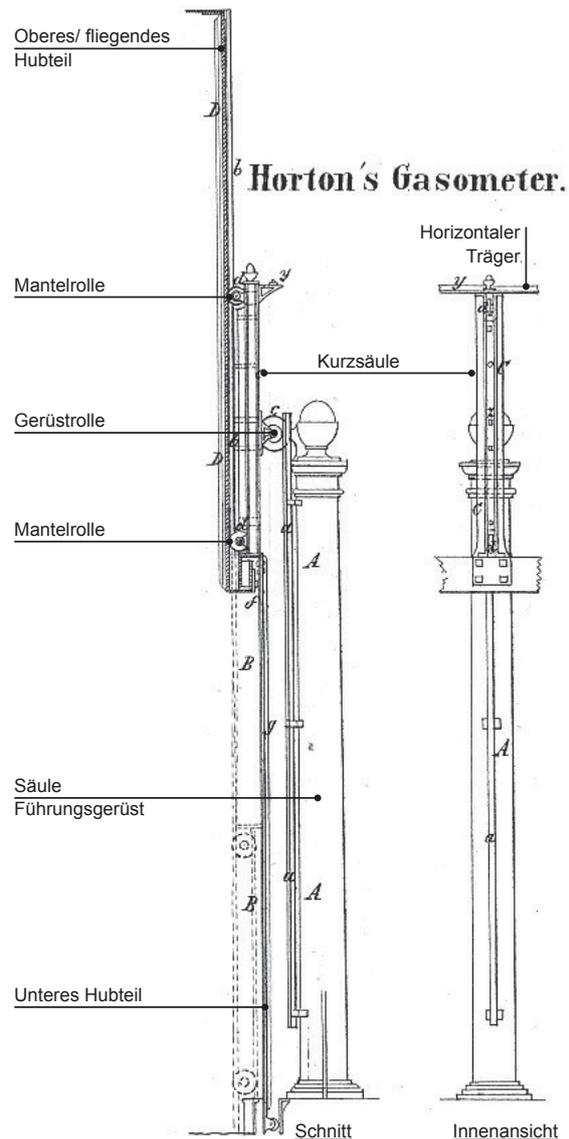


Abb. 116: Hortons Patent zum fliegenden Hubteil (Dingler, Dingler, 1852, Tab. IV).**

Obwohl Hortons Ansatz technisch-konstruktiv noch nicht ausgereift war, um sich im gegenwärtigen Gasbehälterbau etablieren zu können, so legte er dennoch den theoretischen Grundstein für die fliegende Hubteile, die von Livesey Ende des 19. Jahrhunderts erfolgreich eingeführt wurden (Siehe folgendes Kapitel).

254 Im Englischen auch „guiding shoots“ genannt (Somerville, 1887, p. 949).

255 Dingler, Dingler, 1852, pp. 289–290

256 Mann, Ker, 1887, p. 907; Somerville, 1887, p. 949 – Weitere Angaben zu Nutzvolumen, Durchmesser und Höhe sind nicht bekannt.

Die Bewertung zur Funktionstauglichkeit dieser Technik war kontrovers: Mann und Kerr berichteten von weiteren, erfolgreich errichteten Beispielen im Ausland. Dem widersprach Somerville mit seinem Bericht über die unzureichende Funktionstauglichkeit des Beispiels an der Blackfriars Road in London.

7.2. Fliegende Hubteile ohne Führungstechnik

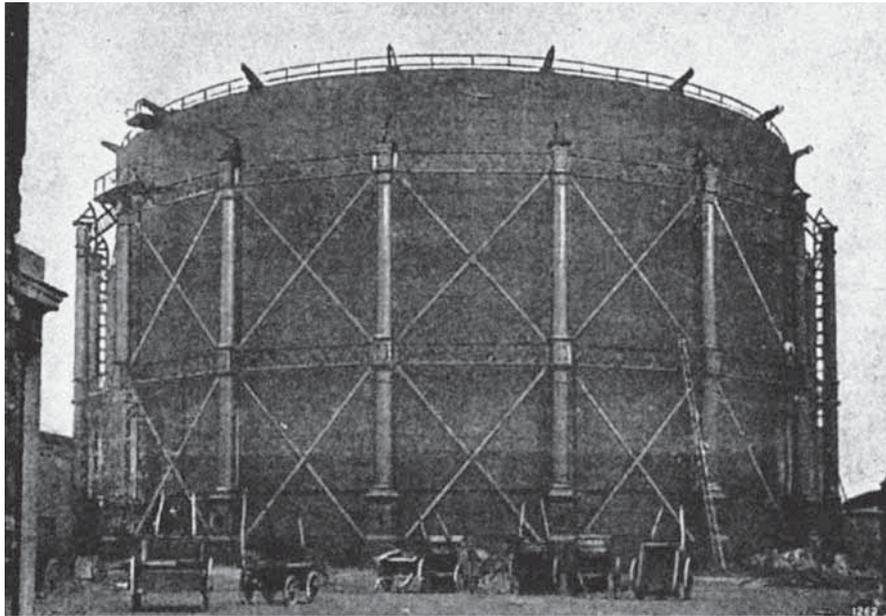


Abb. 117: Liveseys erstes fliegendes Hubteil 1887 in Rotherhithe, London (Stevenson, 1901, p. 59).

Nach der Fertigstellung des um 1880 größten, dreihübrigen Gasbehälters an der Old Kent Road in London (Siehe auch Kap. C.2.3.-7.2.) griffen *George Thomas Livesey** und sein Bruder *Frank**²⁵⁷ den Ansatz Hortons wieder auf. Er beschäftigte sich mit der Entwicklung eines dreihübrigen Gasbehälters, bei dem nur ein eingeschossiges Führungsgerüst ausreichte, sodass bei maximalem Füllstand nur das untere Hubteil an das Gerüst angeschlossen war und die beiden oberen frei über dem Gerüst emporragten – als fliegende Hubteile. Diese wurden, sobald die Gerüstrollen die Schienen verließen, von keiner weiteren Führungstechnik unterstützt.

1887 wurde dieses Prinzip erstmals erfolgreich in die Praxis umgesetzt²⁵⁸, indem ein bestehender, zweihübriger Gasbehälter ($D= 45,72\text{m}$; $H_{\text{je Hubteil}}=7,62\text{m}$) in Rotherhithe, London mit einem dritten, fliegenden Hubteil erweitert wurde (Abb. 117). Das bestehende Führungsgerüst wurde mit Diagonalen ertüchtigt und die unteren Hubteile mit zusätzlichen Tangentialrollen ergänzt.²⁵⁹

Die Livesey Brüder wendeten diese Technik beim Neubau des seinerzeit größten Gasbehälters ($D= 89,31\text{m}$; $H= 54,86\text{m}$; $V= 339.802\text{m}^3$) in East Greenwich, London an (Abb. 118), der 1892 fertig gestellt wurde²⁶⁰: Das Führungsgerüst war nur für vier Hubteile ausgelegt, sodass sich die zwei oberen Hubteile über die Gerüstoberkante hinweg hoben. Das zweite, fliegende Hubteil war mit außen liegenden Mantelständern ausgestattet, die sowohl zur Verstärkung der Mantelfläche, als auch als Führungsschienen

257 George Thomas Livesey wuchs quasi auf dem Gaswerk an der Old Kent Road in London auf, war mit 21 Jahren bereits „assistant engineer“ und sieben Jahre später (1862) begann seine Karriere als Gasingenieur. Aufgrund der Vielzahl von Erfindungen, die er im Gasbehälterbau bewirkte wurde er 1902 zum „Sir“ ernannt. Sein Bruder Frank unterstützte ihn bei seinen Planungen als Assistent und übernahm die Bauleitung für das Gaswerk in East Greenwich (Chrimes, 2008, pp. 482 – 483). – Weiterführende Literatur zum Leben und Wirken von George T. Livesey siehe Mills, 2013 und Mills, 2019.

258 Livesey schrieb die Idee des fliegenden Hubteils jedoch nicht Horton zu, sondern *W.H.Y. Webber**, der im gleichen Jahr einen Aufsatz zur Theorie über Hubteile ohne Gerüstführung veröffentlichte (Livesey, 1888, p. 847).

259 Livesey, 1887, p. 622; Livesey, 1888, p. 846; Cripps, 1889, p. 65; Stevenson, 1901, p. 60
Weitere Erweiterungsbeispiele folgten zeitnah auf den Gaswerken in der Old Kent Road und in Kennington.

260 Stevenson, 1901, p. 60

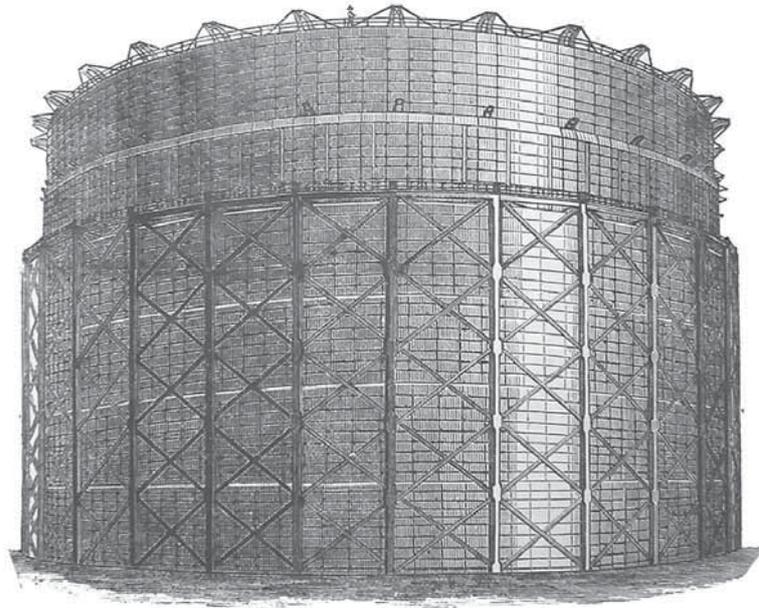


Abb. 118: East Greenwich Gasbehälter (JGL-61, 1893, p. 75).

für die Mantelrollen (Siehe Kap. C.2.2.-6.4.3.) fungierten. Analog zum Prototypen in Rotherhithe achtete Livesey darauf, dass die Höhe der beiden fliegenden Hubteile insgesamt nicht ein Drittel der Gerüsthöhe selbst überstieg²⁶¹.

Um das Ein- und Ausfahren der Rollen zu erleichtern, wurden teilweise die Schienenköpfe trichterförmig aufgeweitet²⁶², wie es ein Beispiel in Kennington, London zeigt (Abb. 119).

Im ausgefahrenen Zustand wurde das fliegende Hubteil nur über die Tassenkonstruktion (Siehe Kap. C.2.2.-6.3.) gehalten, deshalb war dieser Anschluss sowie auch die Mantelkonstruktion im Allgemeinen stärker auszuführen als bei Gerüst-geführten Hubteilen.²⁶³

Bei bestehenden Gasbehältern, die durch ein fliegendes Hubteil erweitert wurden, empfahl es sich grundsätzlich, die Konstruktion des Führungsgerüsts zu ertüchtigen.

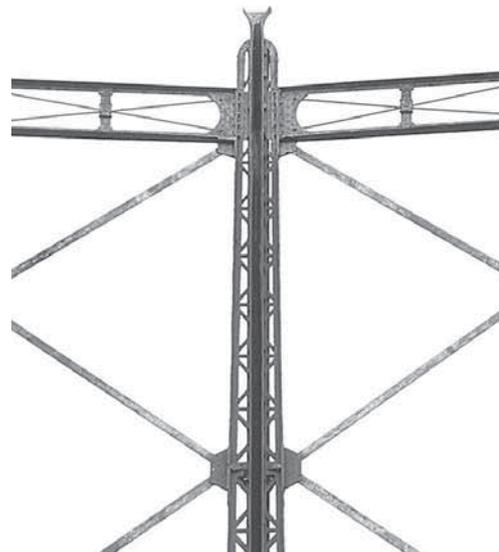


Abb. 119: Trichterförmige Aufweitung der Führungsschiene, Kennington, London (BB, 2015).

Insbesondere Rahmengerüste sollten mit Windverbänden erweitert werden.²⁶⁴

1897 wurde z.B. der zweihübige Gasbehälter ($V= 62.297\text{m}^3$) in der Old Kent Road, London mit einem

261 Livesey, 1892, p. 948

262 Tucker, 2014, p. 43

263 Herring, 1893, p. 277

264 JGL-52, 1888, p. 588 – Vorabzug von Cripps' "The Guide-Framing of Gasholders"

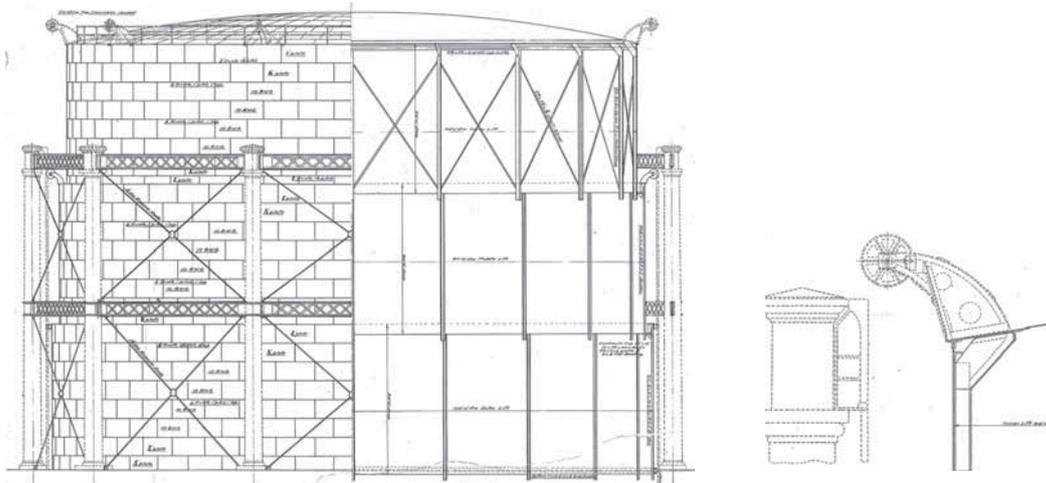


Abb. 120: Erweiterung eines Gasbehälters mit einem dritten, fliegenden Hubteil in Darlington. Ansicht (links; NGA, NODAC/E/T/40), Detail (rechts; NGA, NODAC/E/T/39).**

ritten, fliegenden Hubteil erweitert: Das bestehende Kuppeldach wurde vom Mantel getrennt; letzterer wurde am oberen Abschluss mit einer Haktasse ausgestattet und das Kuppeldach mit einem neuen Mantel sowie einer Schöpftasse. ²⁶⁵

Diese Erweiterungstechnik hielt auch im 20. Jahrhundert bestand, so wurde z.B. 1931 der zweihübrige Gasbehälter in Darlington (Abb. 120) mit einem dritten, fliegenden Hubteil (D= 28,96m; H= 7,62m) aufgestockt. In diesem Zuge wurde auch das Gerüst ertüchtigt: Die horizontalen Träger wurden komplett erneuert und die Gerüstfelder mit zusätzlichen Auskreuzungen ausgestattet. Auch das fliegende Hubteil selbst wurde ertüchtigt, indem jeweils Auskreuzungen zwischen die Mantelständer gesetzt wurden.

265 Tucker, 2014, pp. 23–24, 68

7.3. Fliegende Hubteile – Seil-geführt

Edward Lloyd Pease* entwickelte 1887 eine neue Führungstechnik für fliegende Hubteile: Durch die Anordnung von vertikal und horizontal verlaufenden Seilen erhielt das Hubteil ein unabhängiges Führungssystem, das das lineare Auf- und Abbewegen unterstützte ²⁶⁶.

Ein frühes, fliegendes Hubteil entstand um 1890 bei der Erweiterung eines kleineren, einhübrigen Gasbehälters ($D_{\text{Hubteil}} = 24,38\text{m}$; $H = 6,71\text{m}$) in Haslingden (Abb. 121).

Das neue Hubteil wurde mit einer Seil-Führung ausgestattet. ²⁶⁷

Entsprechend der Säulenanzahl waren die Seile und Rollen in acht Achsen angeordnet. Die Seile wurden auf der Kuppel umgelenkt.

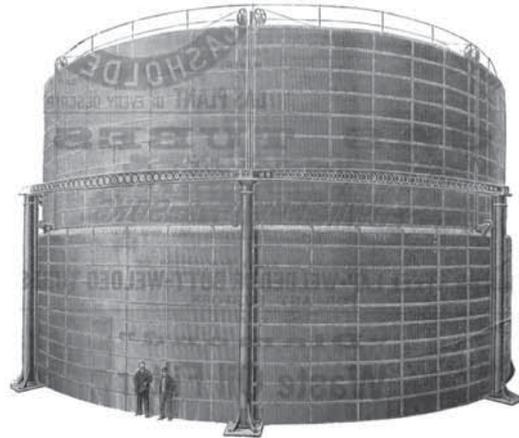


Abb. 121: Gasbehälter mit fliegendem Hubteil in Haslingden – Ausschnitt aus einer Werbeschrift von Ashmore, Benson, Pease (JGL-55, 1890, p. 1112).

Insbesondere die erfolgreiche Erweiterung der bestehenden Gasbehälter in Nottingham spielte eine entscheidende Rolle für die Einführung und Etablierung der Seil-geführten Technik: 1890/91 wurden vier Gasbehälter mit je einem fliegenden Hubteil ($D = 36,58\text{m}$) aufgestockt (Abb. 122), das jeweils mit acht Seilen und entsprechenden Rollen ausgestattet war. ²⁶⁸

Die erfolgreiche Anwendung der Seil-geführten Technik bei fliegenden Hubteilen veranlasste Pease, diese Führungstechnik ganzheitlich auf alle Hubteile eines Gasbehälters zu übertragen (Siehe Kap. C.2.6.-2).

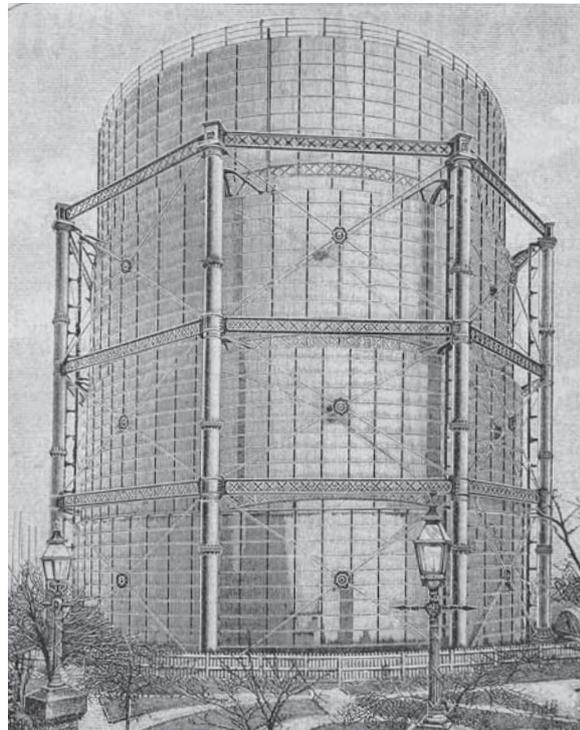


Abb. 122: Fliegendes, Seil-geführtes Hubteil eines dreihübrigen Gasbehälters in Nottingham (Owler, 1894, p. 33).

²⁶⁶ Zur detaillierten Funktions- und Konstruktionsweise der Seil-geführten Gasbehälter, siehe Kapitel C.2.6.-2.

²⁶⁷ JGL-55, 1890, March 4th, 1890; Hunt, 1900, p. 165

²⁶⁸ Owler, 1894, pp. 31–32; Pease, 1896, pp. 38–42; 65

Anm. d. Verfasserin: Die Beschreibung und die Abbildung von Pease, 1896 sind nicht konklusiv: Obwohl die Erweiterung eines zweihübrigen Gasbehälters erläutert wurde, stellt das Bild einen dreihübrigen Gasbehälter mit nur einem fliegenden Hubteil dar.

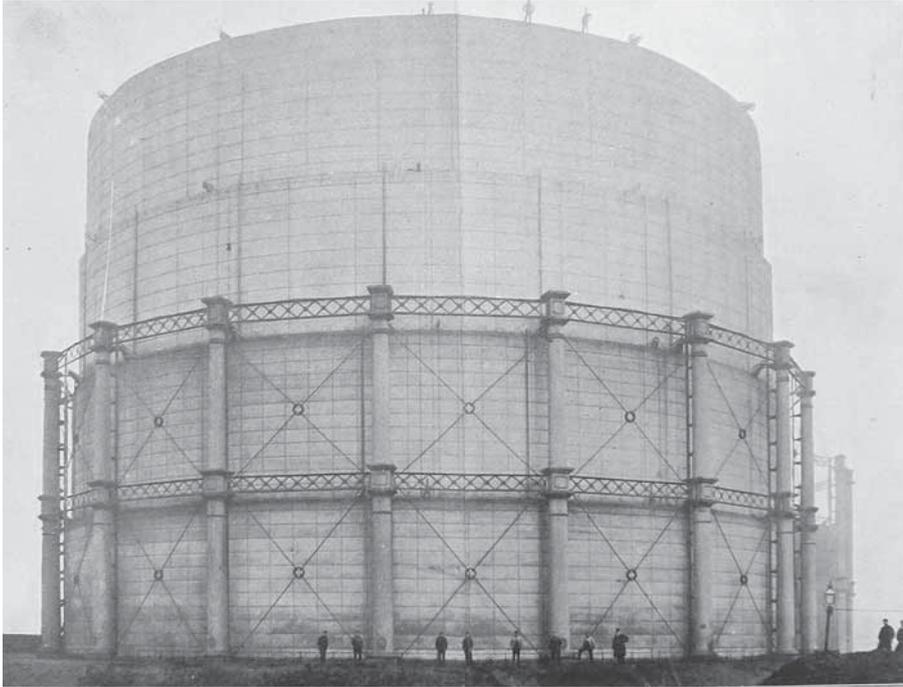


Abb. 123: Zwei fliegende Hubteile in Birkenhead (Pease, 1896, p. 56j).

In Birkenhead (Abb. 123) wurde das Nutzvolumen eines zweihübrigen Gasbehälters sogar verdoppelt, indem zwei Seil-geführte Hubteile ($D = 48,78\text{m}$; $H_{\text{Hubteil}} = 9,14\text{m}$) ergänzt wurden.²⁶⁹ Analog zu den fliegenden Hubteilen Liveseys wurde das zweite Hubteil offensichtlich auch mit außen liegenden Mantelständern und -rollen ausgestattet.

269 Pease, 1896, pp. 38–42; 65

7.4. Fliegende Hubteile – Spiral-geführt

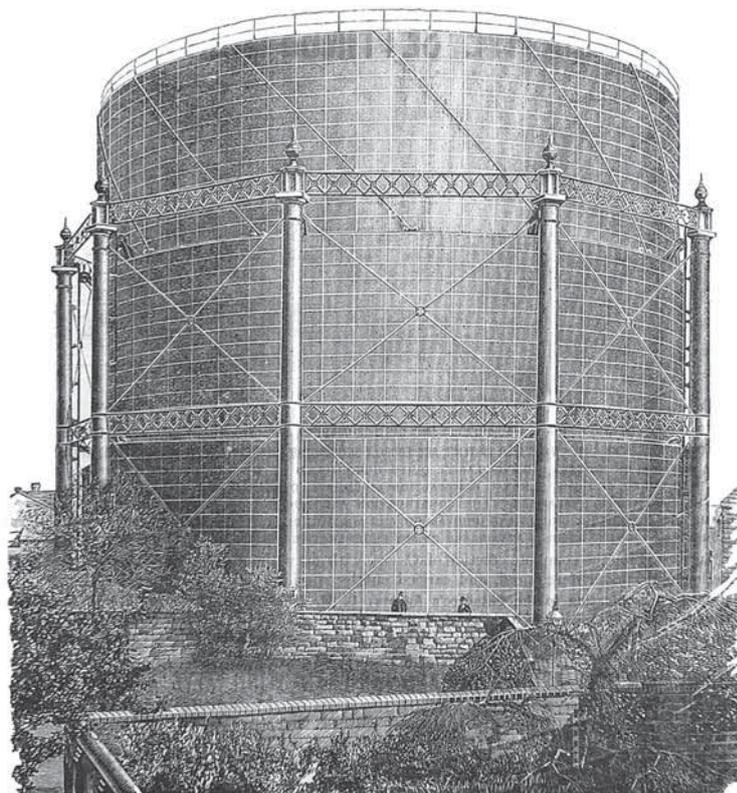


Abb. 124: Dreihübiger Gasbehälter mit fliegendem, spiral-geführtem Hubteil (JGL-63, 1894, p. 214).

Nachdem *William Gadd** und *William F. Mason** 1887 die spirale Führungstechnik patentierten und somit den Weg für vollständig gerüstlose Gasbehälter bereiteten (*Siehe Kap. C.2.6.-1.*), wurde diese Technik auch als Erweiterungsmaßnahme bei bestehenden Gasbehältern eingesetzt – nämlich bei fliegenden Hubteilen.

An den Mantelflächen der fliegenden Hubteile wurden diagonale Schienen und auf den Haktassen tangentielle Rollenpaare befestigt. Daraus ergab sich der für Gadd & Mason bekannte, schraubenartige, unabhängige Aus- und Einfahrmechanismus und das Hubteil bedurfte keines weiteren Anschlusses an das bestehende Gerüst.

Ein frühes Beispiel, das die spirale Führungstechnik als geeignete Erweiterungstechnik unter Beweis stellt, wurde 1894 im *Journal of Gas Lighting* aufgeführt (*Abb. 124*):

Ein bestehender, zweihübiger Gasbehälter ($D= 31,09\text{m}$; $H= 15,85\text{m}$) wurde mit einem dritten, fliegenden Hubteil erweitert, das sich der spiralen Führungstechnik bediente.

Der Firma Dempster oblagen die Ausführungsarbeiten, die 1892 fertig gestellt wurden. Seitdem war der Gasbehälter einwandfrei im Betrieb. ²⁷⁰

270 JGL-63, 1894, p. 214



Abb. 125: Stillgelegter Gasbehälter in Bromley-by-Bow, London (BB, 2016).

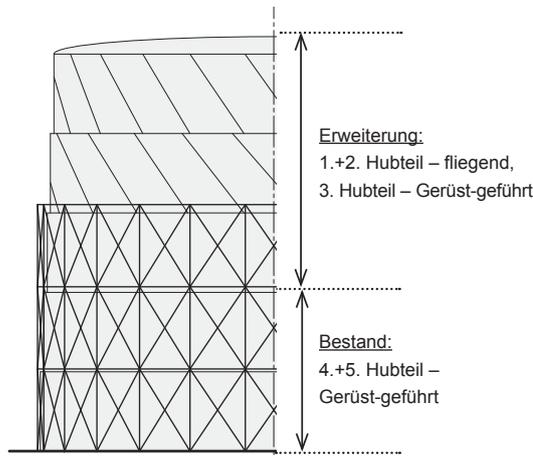


Abb. 126: Zwei fliegende Hubteile – Spiral-geführt, Bromley-by-Bow, London (Schema, BB, 2016).

Diese Technik hielt bis in das 20. Jahrhundert Bestand und wurde z.B. 1927 bei einem Gasbehälter des Ensembles in Bromley-by-Bow, London eingesetzt (Abb. 100):

Der ursprünglich zweihüblige Gasbehälter ($D_{1.Hubteil} = 60,19m$; $H_{Gerüst} = ca. 22,50m$; $V = 56.634m^3$)²⁷¹ wurde mit drei zusätzlichen Hubteilen aber nur einem neuen Gerüststring erweitert²⁷². Deshalb waren die beiden oberen Hubteile fliegend konzipiert und mit der spiralen Führungstechnik ausgestattet (Abb. 101); die tangentialen Rollenpaare wurden jeweils auf der Haktasse des zweiten sowie dritten Hubteils fixiert (Abb. 102). Aufgrund der unabhängigen Führungstechnik konnten die ursprünglichen Kapitelle, die den horizontalen Abschluss der Säulen und der vertikalen Führungsschienen darstellten, erhalten werden und bekrönen nun den neuen, dritten Gerüststring.



Abb. 127: Rollenanschlüsse des ersten fliegenden Hubteils in Bromley-by-Bow, London (BB, 2015).

271 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 160–162. – Zur Beschreibung des ursprünglichen Führungsgerüsts siehe Kapitel C.2.3.-6.2.2.

272 Tucker, 2014, p. 22

7.5. Zusammenfassung – Fliegende Hubteile

Dem Ansatz *Joshua Hortons** folgend gelang *George Thomas Livesey** die erfolgreiche Einführung des fliegenden Hubteils und leitete eine neue Ära im Gasbehälterbau ein: Das Hubteil hob sich über die Oberkante des feststehenden Gerüsts hinweg und benötigte weder dessen Unterstützung noch Führung mehr. Diese Technik diente nicht nur als effiziente Erweiterungsmöglichkeit von bestehenden Gasbehältern, sondern bildete zugleich die Grundlage für die Entwicklung von gerüstlosen Gasbehältern (Siehe Kap. C.2.6.).

Liveseys fliegendem Hubteil, das frei von jeglicher Führungstechnik war, folgten weitere Variationen, die auf eine Verbesserung der Führung abzielten:

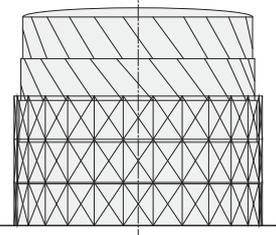
- *Edward Lloyd Pease** unterstütze den Ein- und Ausfahrmechanismus des Hubteils mit einer eigens entwickelten Technik, die auf Seilen basierte.
- *William Gadd** und *William F. Mason** übertrugen die spirale Führungstechnik, die bereits erfolgreich in Form des Schraubengasbehälters (Siehe Kap. C.2.6.-1.) angewendet wurde, auf das fliegende Hubteil. Durch die Anordnung von diagonalen Schienen erfuhr das Hubteil eine exakte Bewegungs- und Führungsrichtung.

Der Nachteil der fliegenden Hubteile bestand darin, dass man die Materialkosten beim Führungsgerüst zwar einsparen konnte, die einzelnen Bauteile aber stärker zu bemessen waren als bei einem vollständig Gerüst-geführten Gasbehälter. Dies traf insbesondere auf den Tassen- und Rollenanschluss zu.

Insgesamt kam überwiegend Liveseys fliegendes Hubteil zur Ausführung, das in seiner Einfachheit gegenüber der Seil- und spiral-geführten Technik bestach. ²⁷³

Tab. 18: Zusammenfassung – Fliegendes Hubteil

(nach Newbigging, Fewtrell, 1879; Livesey, 1888; Herring, 1893; Owler, 1894; Pease, 1896; Hunt, 1900; Stevenson, 1901)

Fliegendes Hubteil	Vorteile	Nachteile
	<ul style="list-style-type: none"> + Hubteil benötigte kein Führungsgerüst, + Reduzierung des Materialaufwandes beim Führungsgerüst, + Kostengünstige und schnelle Steigerung des Nutzvolumens, + Für Neubau und als Erweiterungstechnik geeignet. 	<ul style="list-style-type: none"> - Verstärkte Ausführung des Führungsgerüsts erforderlich oder nachträgliche Ertüchtigung (z.B. durch Windverbände), - Verstärkte Ausführung der Tassenkonstruktion, - Verstärkte Ausführung der Mantelkonstruktion (z.B. durch zusätzliche Mantelständer).
	<p><u>Mit Kurzsäulen (nach Horton)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> + Führung durch Kurzsäulen. 	<p><u>Mit Kurzsäulen (nach Horton)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Unausgereifter, mangelhafter Ansatz.
	<p><u>Ohne Führungstechnik (nach Livesey)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> + Keine weiteren Bauteile zur Unterstützung notwendig. 	<p><u>Ohne Führungstechnik (nach Livesey)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Unkontrollierter Bewegungsmechanismus.
	<p><u>Seil-geführt (nach Pease)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> + Führung durch Seile. 	<p><u>Seil-geführt (nach Pease)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Hohe Korrosionsgefahr der Seile.
	<p><u>Spiral-geführt (nach Gadd & Mason)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> + Führung durch diagonale Schienen, + Stabilisierung des Mantels durch die Anordnung der Schienen. 	<p><u>Spiral-geführt (nach Gadd & Mason)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Erhöhtes Konstruktionsgewicht.

273 Weiterführende Fachliteratur zu einwirkenden Kräften und Bemessung von fliegenden Hubteilen: Cripps, 1889, pp. 5–33.

8. Sonderformen

Ring-Gasbehälter

Um die Kosten von Gasbehältern mit großen Nutzvolumen zu senken, erfand Vitruvius Wyatt um 1880 einen Ring-Gasbehälter ($V_{\text{max}} = 283.168\text{m}^3$), bestehend aus einem zentralen, zweihübrigen Gasbehälter ($D_{\text{Hubteil}} = 30,48\text{--}39,62\text{m}$), an dessen Gerüst zwei weitere, ringförmige Hubteile ansetzten (Abb. 128); so konnte die Spannweite der zylindrischen und ringförmigen Hubteile verringert und die Kuppelkonstruktion einfacher und leichter ausgeführt werden.²⁷⁴
Dieser Gasbehälter blieb wohl im Entwurfsstadium und wurde nicht weiter verfolgt.

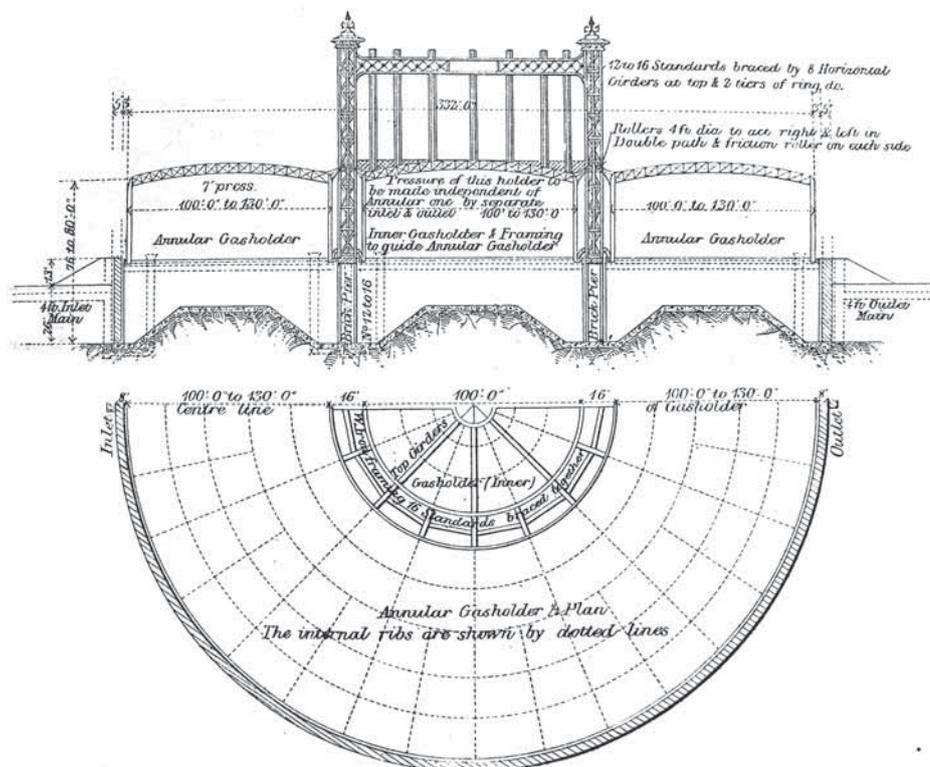


Abb. 128: Wyatts Ring-Gasbehälter (JGL-40, 1882, p. 739).

Ein- und Auslassrohr – Sonderformen

Die Hubteile der in dieser Arbeit behandelten Gasbehälter wurden jeweils mit Ein- und Auslassrohren befüllt und bedient, die senkrecht im Wasserbecken angeordnet waren. Es existierte aber noch eine andere Einspeisungsart – nämlich direkt über die Kuppel – die v.a. in Frankreich angewendet wurde. Die Zu- und Ableitungsrohre wurden direkt an die Kuppeloberseite angeschlossen. Um dem Bewegungsmechanismus folgen zu können, waren die Rohre teleskopförmig (Abb. 129, Abb. 130) oder gelenkig (Abb. 131) ausgeführt. Diese direkte Einspeisungstechnik wurde in England nur äußerst selten bei kleineren, einhübrigen Gasbehältern eingesetzt.²⁷⁵

274 JGL-40, 1882, p. 739; JGL-52, 1888, p. 588

275 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 194–195

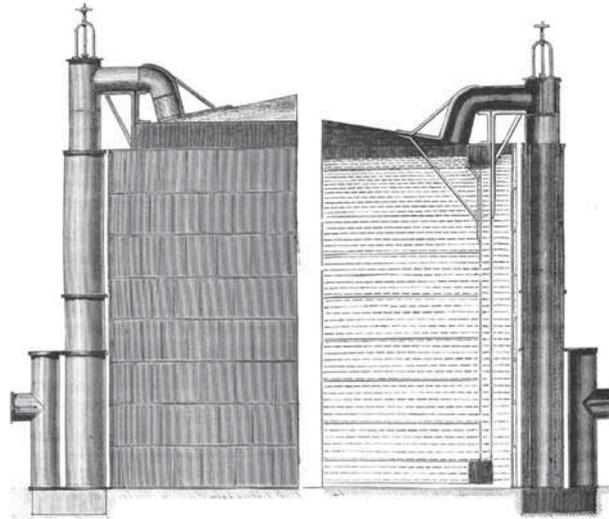


Abb. 129: Einhübiger Gasbehälter mit externen Teleskoprohren, die zugleich zur Führung des Hubteils dienen. Ort und Ingenieur unbekannt (Newbigging, Fewtrell, 1879, p.198).

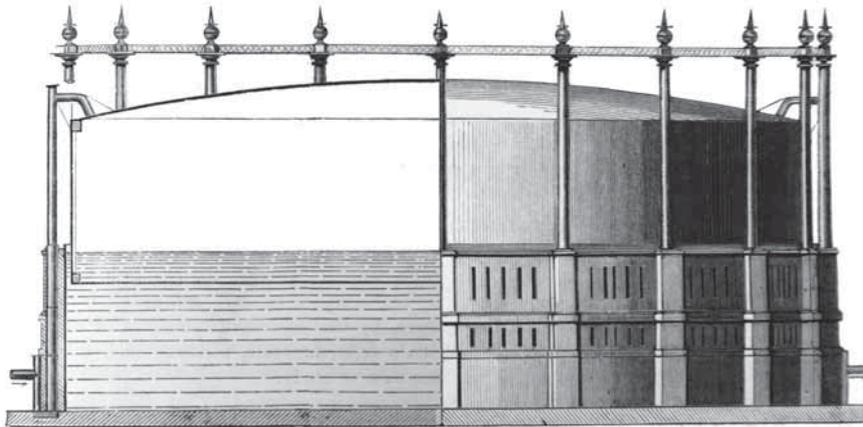


Abb. 130: Einhübiger Gasbehälter mit externer Bespeisung in Brüssel, Ing.: Somzée (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 199).

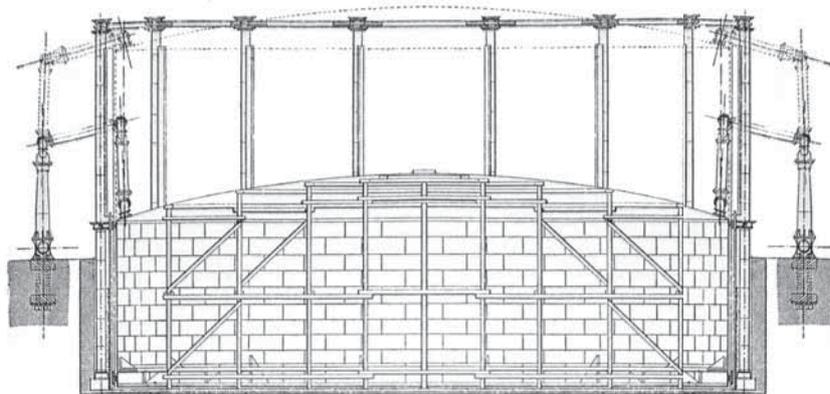


Abb. 131: Einhübiger Gasbehälter mit gelenkigen Rohren zur Gaszu- und -abfuhr in Gérard-Champs Gasworks, Verviers (Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XXIV).

9. Chronologie zur Baukonstruktionsgeschichte des Hubteils

Tab. 19: Baukonstruktionsgeschichte des Hubteils			
Jahr	Erfindung	Ingenieur	Ort
1815	Zylindrischer Gasbehälter als Standardform		UK
1817	1. Freistehender Gasbehälter (V= 850m ³) (Siehe Kap. C.2.3.-3.2.)	Clegg, Samuel	UK Birmingham
1817	Kuppeldach mit einfacher Unterspannung (V= 425m ³) (Siehe Kap. C.2.2.-4.3.1.)	Malam, John	UK
1818	Patentschrift zum doppelten Gasbehälter – „Doubled Gasholder“ (Siehe Kap. C.2.2.-6.1.1.)	Stratton, William	UK London
ca. 1822	Bau eines Teleskopgasbehälters – sehr ähnlich zum Ansatz von Tait (Siehe Kap. C.2.2.-6.1.1.)	Hurst	UK Leeds
1824	Erfindung des Telekopgasbehälters – „Gazomètre à Lunette“ (Siehe Kap. C.2.2.-6.1.1.)	Tait, William	UK London
1834	1. Erfolgreiche Realisierung eines zweihübrigen Gasbehälters (Siehe Kap. C.2.2.-6.2.1.)	Hutchison, Stephen	UK London, Vauxhall
1845	1. Teleskopgasbehälter in Berlin mit Gebäude (Siehe Kap. C.2.5.-3.)	Kühnell, A.	DE Berlin, Holzmarktstr.
1850	Patentschrift zum binderlosen Kuppeldach (Siehe Kap. C.2.2.-4.4.)	Palmer, George H. Horton, Joshua	unbekannt
1858	1. Fliegendes Hubteil mit Kurzsäulen (Siehe Kap. C.2.2.-7.1.)	Horton, Joshua	UK London, Blackfriars Road
1862	1. Anwendung der halbkreisförmigen Tassen bei einem zweihübrigen Gasbehälter (D= 33,53m) (Siehe Kap. C.2.2.-6.3.2.)	Piggott, George	UK London, Old Kent Road
1863	1. Schwedlerkuppel auf einem Gasbehältergebäude (D= 30,90m) (Siehe Kap. C.2.2.-4.6.1.)	Schwedler, J. Wilhelm	DE Berlin, Holzmarktstr.
1874	1. Schwedlerkuppel bei einem Hubteil (D= 50,72m) (Siehe Kap. C.2.2.-4.6.2.)	Schwedler, J. Wilhelm	DE Berlin, Fichtestr.
ca. 1874	1. Geripptes Kuppeldach (D= 44,92m), einschl. eines segmentförmigen Eckringträgers (Siehe Kap. C.2.2.-4.5.)	Wyatt, Vitruvius	UK Redheugh
1886	1. Vierhübriger Gasbehälter (D= 76,20m; V= 240.693m ³) (Siehe Kap. C.2.2.-6.2.2.)	Livesey, George T.	UK London, East Greenwich
1887	1. Fliegendes Hubteil – ohne zusätzliche Führungstechnik (Siehe Kap. C.2.2.-7.2.)	Livesey, George T.	Rotherhithe
1887	Erfindung der spiralen Führungstechnik (Siehe Kap. C.2.6.-1.1.)	Gadd, William Mason, William F.	UK
1887	Erfindung der Seil-geführten Technik (Siehe Kap. C.2.6.2.1.)	Pease, E. Llyod	UK
1889	1. Zweihübriger Schraubengasbehälter nach Gadd & Mason (D= 17,98m) (Siehe Kap. C.2.6.-1.1.)	Newbigging, Thomas	UK Northwich-Cheshire
1890/91	1. Fliegendes Hubteil – Seil-geführt (D= 36,58m) (Siehe Kap. C.2.7.-3.)	Pease, E. Llyod	UK Nottingham
1892	1. Fliegendes Hubteil – Spiral-geführt (D= 31,09m) (Siehe Kap. C.2.7.-4.)	Gadd, William; Mason, William F.	UK
1892	1. Sechshübriger Gasbehälter (D= 89,31m; V= 339.803m ³), einschl. zweier fliegender Hubteile (Siehe Kap. C.2.2.-6.2.2.)	Livesey, George Thomas	UK London, East Greenwich
1897	Anschluss von Kuppel und Mantel mit abgerundeter Ecke (D= 57,91m) – (Siehe Kap. C.2.2.-4.8.)	Wyatt, Vitruvius	UK London, Beckton

C.2.3. FÜHRUNGSGERÜST



Abb. 132: Abbruch von Gasbehälter IV in Croyden, London, 1954 (NGA, SE/CRD/CRG/E/F/39).

Wie die Bezeichnung „Führungsgerüst“ schon zeigt, bestand dessen primäre Aufgabe in der Unterstützung der geordneten, linearen Auf- und Abbewegung der Hubteile.

Die konstruktive Evolution reichte vom Stützengerüst, das sich aus einzelnen, freistehenden Stützen zusammensetzte, über das Rahmengerüst, dessen Stützen mit horizontalen Trägern verbunden wurden, bis zum Verbandgerüst, dessen Felder mit diagonalen Windverbänden besetzt waren.

Die horizontalen Träger unterteilten das Gerüst in Ringe und ergaben einen polygonalen Grundriss.

Das Führungsgerüst wurde wegen seinem aufragenden, feststehenden Gefüge zum auffälligsten Bauteil und somit zum Markenzeichen des klassischen Glocken- und Teleskopgasbehälters.

Im Gegensatz dazu stand der gerüstlose Gasbehälter (*Siehe Kap. C.2.6.*), der durch eine neuartige Führungstechnik kein externes Gerüst benötigte. Eine weitere Sonderform stellte das Gasbehältergebäude dar (*Siehe Kap. C.2.5.*), das als zusätzliches Bauteil über den Gasbehälter gestülpt wurde und sowohl als Schutzbauwerk, als auch zur Befestigung des Gerüsts diente. Beide Sonderformen werden separat behandelt.

Dieses Kapitel zeigt die Baukonstruktionsgeschichte des feststehenden, externen Führungsgerüsts basierend auf der Entwicklung der Einzelbauteile und deren Kombinations- und Erweiterungsmöglichkeiten. Da die Stütze das wiederkehrende Bauteil aller Führungsgerüste ist, werden die einzelnen Gerüstformen jeweils nach deren Säulen- bzw. Stützenform aufgeführt.

1. Überblick und Kategorisierung des Führungsgerüsts

Das Führungsgerüst diente primär zur Aufnahme der Hubteile (*Siehe Kap. C.2.2.*) und für deren sichere, lineare Auf- und Abbewegung. Deshalb waren die Form und die Konstruktion des Gerüsts grundsätzlich abhängig von der Größe und der Anzahl der Hubteile. Da das Gerüst als reine Eisenkonstruktion konzipiert war, stellten der jeweils gegenwärtige Eisenwerkstoff und dessen mit einhergehende Bautechnik weitere wichtige Faktoren dar, die die Gerüstkonstruktion beeinflussten und zugleich die Grenzen der konstruktiven Möglichkeiten festsetzten.

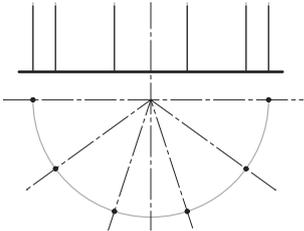
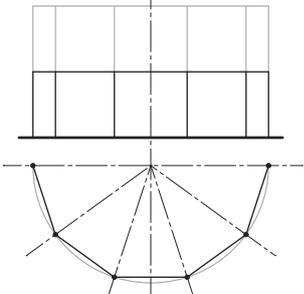
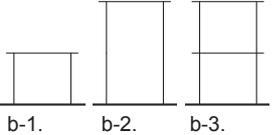
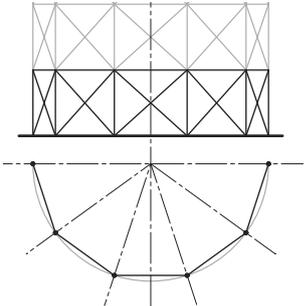
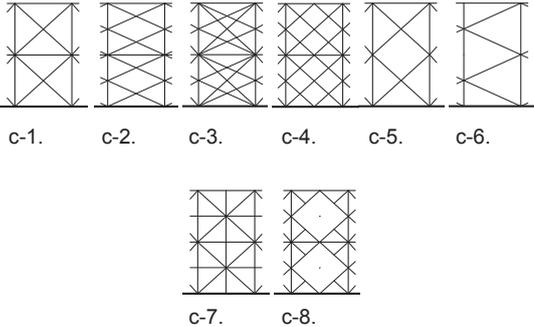
Nachdem die ersten Hubteile durch ein zentrales Führungsrohr gesichert wurden, setzte sich schließlich die **tangentiale Führung** mit feststehenden, polygonalen Gerüsten durch, die die Hubteile an der Mantelfläche unterstützen.

Die Gesamthöhe des Gerüsts entsprach in der Regel der kumulativen Höhe aller ausgefahrenen Hubteile bei maximalem Füllstand – außer der Gasbehälter verfügte über fliegende Hubteile (*Siehe Kap. C.2.2.-7*). Dadurch war es prinzipiell möglich, die Hübigkeit eines Gasbehälters anhand der Anzahl der Gerüstringe zu bestimmen ²⁷⁶.

Die Kategorisierung des Führungsgerüsts basiert auf dessen Entwicklungsgeschichte (*Tab. 20*); da die Säulen bzw. Stützen das einzige gemeinsame Bauteil aller Kategorien sind, werden die einzelnen Gerüstformen außerdem nach den verschiedenen Stützenformen behandelt:

- **Stützensgerüst** (a) – Bei den ersten, einhübrigen Gasbehältern bestand das Führungsgerüst nur aus einzelnen Stützen, die auf der Kreislinie des Beckens errichtet wurden. Nachdem frühe Beispiele noch mit hölzernen Ständern ausgeführt wurden, setzten sich bei dieser Gerüstform gusseiserne Bauteile durch – in Form von schlanken Säulen oder von Dreibein-Stützen.
- **Rahmengerüst** (b) – Durch das Hinzufügen von horizontalen Trägern wurde das ursprüngliche Stützensgerüst zum Rahmengerüst ausgebaut. Gemeinsam mit den Stützen bildeten die Träger den sogenannten Gerüstring. Die ersten Rahmengerüste waren eingeschossig und basierten auf der **Einfachen Ordnung** (b-1), d.h. ein Gerüstring entsprach einem Hubteil. Bei den ersten zweihübrigen Gasbehältern behielt man zunächst die eingeschossige Ausführung bei – als sogenannte **Hochordnung** (b-2) – bis man schließlich dazu überging, je Hubteil einen Gerüstring einzusetzen – nach der **Additiven Ordnung** (b-3). Die Rahmengerüste wurden überwiegend mit gusseisernen Säulen ausgeführt; der Einsatz von Stützen aus genieteten Blechträgerkonstruktionen kennzeichnete bereits die Übergangsphase zum Verbandgerüst. Neben der zunehmenden Gerüsthöhe hatte die Entwicklung des Rahmengerüsts einen Zuwachs bei der Säulen- bzw. Stützenanzahl, durch die die Führung des Hubteils deutlich verbessert wurde.
- **Verbandgerüst** (c) – Indem die einzelnen Gerüstfelder mit Auskreuzungen ausgestattet wurden, erfuhr das Gerüst eine verbesserte Aussteifung und der Bau von großen, mehrhübrigen Gasbehältern wurde ermöglicht. Die erste Form bestand aus der **Einfachen Auskreuzung** (c-1). *George T. Livesey** und sein Bruder *Frank** brachten 1880 die **Zweifache Auskreuzung** hervor (c-2), die durch ihren Aufbau die damals vorherrschenden Gerüstkonstruktionen revolutionierte. Durch die Kombination bzw. Variation dieser beiden Auskreuzungen gingen Sonderformen hervor, wie z.B. die **Dreifache Auskreuzung** (c-3) – ebenfalls von den Livesey-Brüdern – oder das **Netzförmige Verbandgerüst** (c-4); beide wurden nur einmal realisiert. Eine reduzierte Gerüstform stellte schließlich das **Aufgelöste Verbandgerüst** (c-5) dar, bei dem alle Trägerlagen bis auf die obere entfielen; der größte Gasbehälter Großbritanniens wurde mit dieser Gerüstform 1892 in East

²⁷⁶ Zu dieser Regelung gab es aber drei Ausnahmen
 - Gerüste mit Hochordnung: Eingeschossiges Gerüst, aber zwei Hubteile.
 - Gasbehälter mit fliegenden Hubteilen, die keine Unterstützung durch ein Gerüst benötigten.
 - Große, mehrhübrige Gasbehälter, die Ende des 19. Jahrhunderts entstanden: Die Hubteilhöhe entsprach eineinhalb oder zwei Gerüstringen.

Tab. 20: Kategorisierung des Führungsgerüsts (Schemazeichnungen nach Berger, 2016)		
Gerüstform	Beschreibung	Zeit
a) Stütze 	Führung des Hubteils durch einzelne, freistehende Stützen – ohne horizontale Verbindung. <i>(Siehe Kap. C.2.3.-5.)</i>	1813– ca. 1850
b) Rahmen  <u>Entwicklung:</u> 	Führung des Hubteils durch ein polygonales, ein-/ mehrgeschossiges Rahmengerüst, bestehend aus Säulen/ Stützen und horizontalen Trägern. <u>b-1.: Einfache/ Niedrige Ordnung</u> Bei einhübrigen Gasbehältern <u>b-2.: Hochordnung</u> Bei den ersten zweihübrigen Gasbehältern <u>b-3.: Additive Ordnung</u> Standardisierte Form für mehrhübrige Gasbehälter <i>(Siehe Kap. C.2.3.-6.)</i>	ca. 1830– 1890 ca. 1830– ca. 1850 1834– ca. 1890 ca. 1850– ca. 1890
c) Verband  <u>Entwicklung:</u> 	Führung des Hubteils durch ein polygonales, ein-/ mehrgeschossiges Verbandgerüst, bestehend aus Säulen/ Stützen, horizontalen Trägern und Auskrenzungen. <u>c-1.: Einfache Auskreuzung</u> <u>c-2.: Zweifache Auskreuzung</u> <u>c-3.: Sonderform: Dreifache Auskreuzung</u> <u>c-4.: Sonderform: Netzförmiges Verbandgerüst</u> <u>c-5.: Aufgelöstes Verbandgerüst</u> <u>c-6.: Trianguliertes Verbandgerüst</u> <u>c-7.: Sternförmiges Verbandgerüst</u> <u>c-8.: Rautenförmiges Verbandgerüst</u> <i>(Siehe Kap. C.2.3.-7.)</i>	1852– 20.Jhd. ab 1852 ab 1880 1892 1905 ab 1892 ab 1888 ab 1903 1909

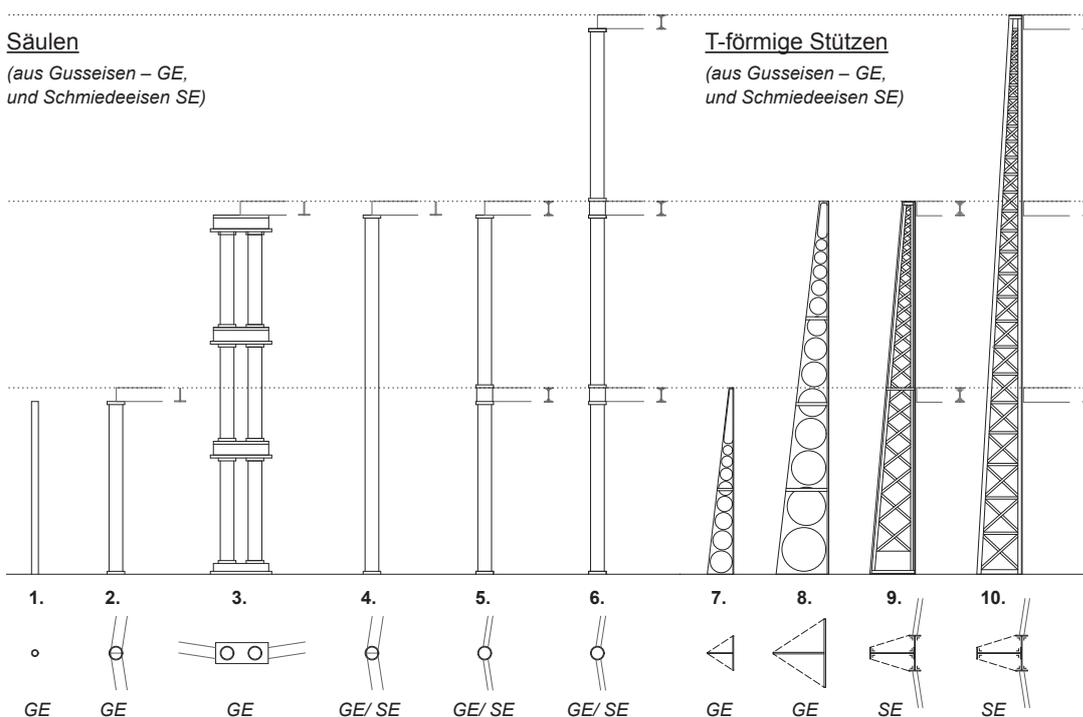


Abb. 133: Baukonstruktionsgeschichte des Führungsgerüsts – von der Säule zur T-förmigen Stütze. Vereinfachte Darstellung der horizontalen Träger, ohne Windverbände (Schema, BB, 2017 – Vergl. auch Cripps, 1889; Tucker, 2014).

Greenwich von den Gebrüdern Livesey gebaut. *Samuel Cutler** führte diese reduzierte Konstruktionsweise fort und erfand 1888 das **Triangulierte Verbandgerüst** (c-6), das durch seine innovative Anordnung eine sehr günstige und optimierte Gerüstkonstruktion darbot.

Außerhalb Englands entstanden weitere Sonderformen, wie z.B. das **Sternförmige Gerüst** (c-7) der Firma *August Klönne**, das die Führungsschienen in die Feldmitte verlagerte und sich zu einem Standardmodell entwickelte, oder das **Rautenförmige Gerüst** (c-8) der Firma *MAN**; letzteres wurde nur einmal in dieser Form gebaut. Nachdem die ersten Verbandgerüste noch mit gusseisernen Säulen und Stützen gebaut wurden, setzten sich schließlich genietete Stützenkonstruktionen aus Schmiedeeisen durch. Letztere vollzogen eine weitreichende Entwicklung, die zunächst den dekorativen Aspekt aufnahm, diesen aber schließlich ablegte und als rein funktionales Bauteil ausgeführt wurde.

So entwickelte sich das Führungsgerüst im Laufe des 19. Jahrhunderts vom einfachen Stützensgerüst bis hin zum weit aufragenden Verbandgerüst und wurde zum identitätsstiftenden Bestandteil des Gasbehälters. Einen Umbruch erfuhr der Stellenwert des Gerüsts durch die Einführung des gerüstlosen Gasbehälters um 1890, durch den die Gestalt des Gasbehälters grundlegend geändert wurde (Siehe Kap. C.2.6.).

Die voranschreitende Eisentechnologie des 19. Jahrhunderts spiegelte sich insbesondere in den Säulen- und Gerüstkonstruktionen wider (Abb. 133, Abb. 134): Die Säulenformen dominierten das Erschei-

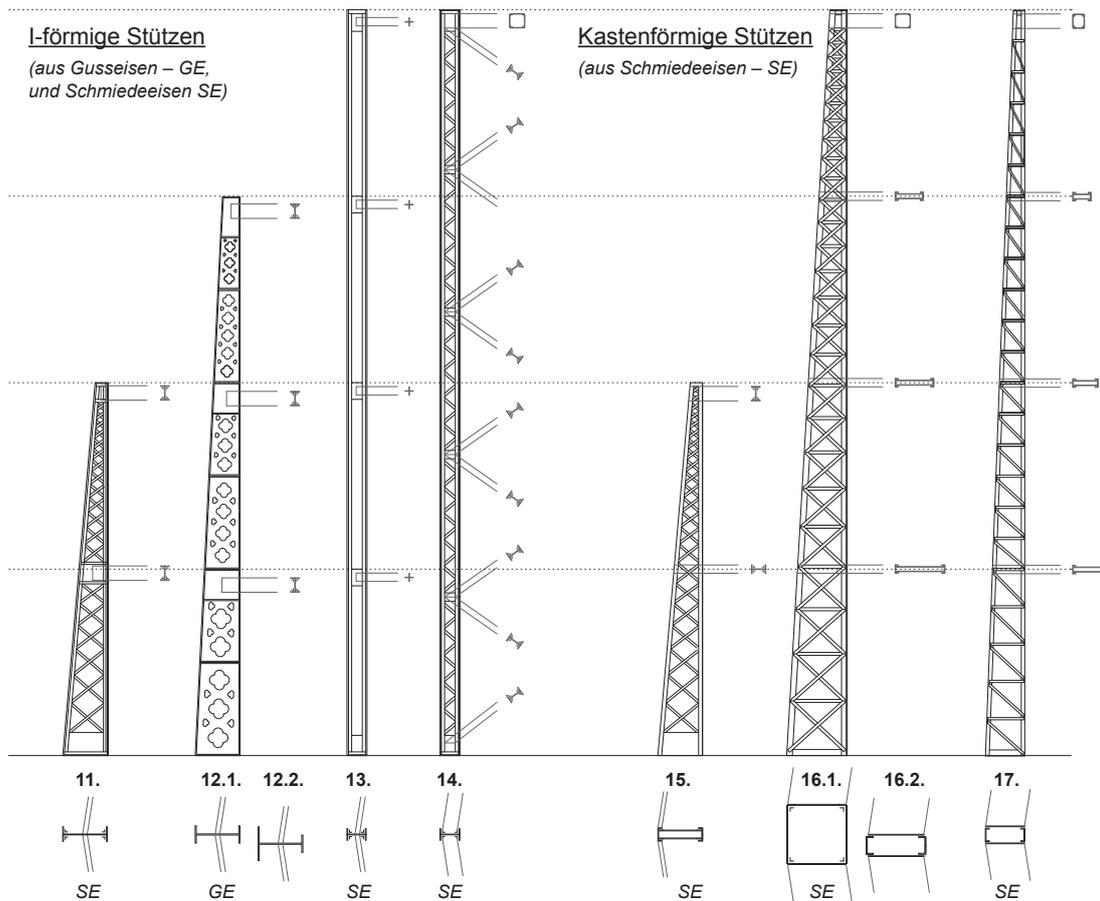


Abb. 134: Baukonstruktionsgeschichte des Führungsgerüsts – von der I-förmigen zur Kastenstütze. Vereinfachte Darstellung der horizontalen Träger, ohne Windverbände (Schema, BB, 2017 – Vergl. auch Cripps, 1889; Tucker, 2014).

nungsbild der Führungsgerüste fast bis Ende des 19. Jahrhunderts²⁷⁷: Bei frühen Stützengerüsten als schlanke, freistehende Säulen aus Gusseisen (1) sowie bei den Rahmengerüsten, wo sie mit einem größeren Querschnitt eingesetzt wurden (2). Bei den Gerüsten der ersten Teleskopgasbehälter wurden anfangs Doppelsäulen (3) basierend auf der Hochordnung verwendet, die schließlich von einzelnen Hochsäulen (4) ersetzt wurden. Durch die additive Ordnung wurde die Säulenhöhe reduziert (5, 6) und je Gerüstring in sich abgeschlossene Säulen angeordnet. Führungsgerüste, bei denen Säulen zum Einsatz kamen, erreichten in der Regel einen hohen Gestaltungsgrad, da die ornamentreichen Säulen in der Regel in ein klassisches, architektonisches Ordnungssystem eingebettet waren; letzteres wurde maßgeblich von *Joseph Clark** geprägt.

Säulen aus genieteten Rundrohrelementen aus Schmiedeeisen wurden bedeutend seltener verbaut, zumal die Stützenform viel einfacher und günstiger in der Herstellung war (siehe unten).

Die gusseisernen Stützen wurden nur über einen kurzen Zeitraum ausgeführt: Die Dreibein-Stützen (7), die bei den frühen Stützengerüsten debütierten, kamen vereinzelt auch für zweihüblige Gasbehälter zum Einsatz (8). Neben der T-förmigen Stütze wurden auch I-förmige Stützen hergestellt (12), deren Steg meist mit einem ornamentreichen Muster durchsetzt war.

Das Aufkommen des Schmiedeeisens novellierte die Konstruktion des Führungsgerüsts: Durch die genieteten Blechträger wurde das Konstruktionsgewicht erheblich reduziert und betrug – verglichen zum

277 Hunt, 1900, p. 159

gusseisernen Pendant – nur noch ein Fünftel²⁷⁸. Zudem bildete diese Konstruktionsweise die Grundlage zur Entstehung von größeren, stabileren und günstigeren Gerüsten.

Nachdem das Schmiedeeisen bereits erfolgreich bei horizontalen Trägern verwendet wurde²⁷⁹, debütierte die genietete Stützenkonstruktion wohl 1876: *John B. Paddon** verwendete T-förmige Stützen aus Fachwerkträgern bei einem dreigeschossigen Rahmengerüst in Hove. Weitere Stützenformen gingen als T-Form (9, 10), als quadratische oder schmale Kastenform (15, 16.1, 16.2, 17) oder als I-Form (13) hervor. Die ersten vollwandigen, I-förmigen Stützen (14) wurden 1880 von den Gebrüdern Livesey bei dem ersten Verbandgerüst mit zweifacher Auskreuzung eingeführt; auch die Stützen des triangulierten Verbandgerüsts von Cutler basierten auf der schlanken I-Form, wurden aber als Fachwerkträger ausgeführt. Ab ca. 1890 war die I-förmige Stütze grundsätzlich auch als Walzprofil möglich (*Abb. 141*)²⁸⁰.

1896 stellte Cripps einen Vergleich zu den gegenwärtig verbauten Stützenkonstruktionen an:²⁸¹

- Die vollwandige, genietete, I-förmige Stütze bestach durch die einfache Herstellung und die geringen Korrosionsangriffsflächen; im Vergleich zu den Gitterkonstruktionen erforderte diese Form aber eine höhere Nietanzahl.
- Quadratische Kastenträger erwiesen sich als sehr steife, wenn auch aufwendige und materialintensive Konstruktion. Der Anschluss der stirnseitigen Führungsschiene, sowie der horizontalen Träger und der Auskreuzungen gestaltete sich eher schwierig. Eine günstigere und einfachere Alternative stellte die schmale Kastenform dar, die auf zwei U-Eisen basierte.
- Die genietete, T-förmige Stütze überzeugte – wie die Kastenform – als steifes Konstruktionsgefüge. Sie hatte aber trotz der aufwendigen, kostspieligen Konstruktionsweise die gleichen Nachteile: Anschlussprobleme bei Schiene und horizontalen Trägern. Dennoch wurde diese Stützenform häufig eingesetzt.

Das Gerüstgefüge selbst unterlag im Laufe des 19. Jahrhunderts unterschiedlichen Entwurfsprozessen: Basierten die frühen Stützen- und Rahmengerüste mit ihren massiven, gusseisernen Säulen noch auf den individuellen Erfahrungswerten der Ingenieure, so setzte mit der filigranen Konstruktionsweise des Schmiedeeisens ein Wendepunkt im Planungsprozess ein: Die Gerüste wurden berechnet.

*„(...) mechanical principles of assembly and structural action dictated the form (...)“*²⁸²

Dieser Schritt stellte einen Meilenstein für das Berufsbild des Gasingenieurs dar. Der Ingenieur *Robert J. Milbourne**, nach dessen Plänen einer der weltweit größten Gasbehälter 1917 in Sydney, Australien fertig gestellt wurde ($V = 353.961 \text{ m}^3$), fasste die Herausforderung zur richtigen Planung und Bemessung eines großen Gasbehälters wie folgt zusammen:

„(...) large gasholders are not infrequently designed and constructed according to the same principles as small ones, and the same errors comitted in the construction of both. But whereas these

278 JGL-10, 1861, p. 73

279 Bei den horizontalen Trägern wurde das Schmiedeeisen zunächst als Komponente des sogenannten Kompositrähgers (*Siehe Kap. C. 2.3.-4.2.*) eingeführt, bei dem jeweils zwei Winkeleisenpaare den gusseisernen Steg umfassten, und später als vollständig genietete Blechkonstruktion.

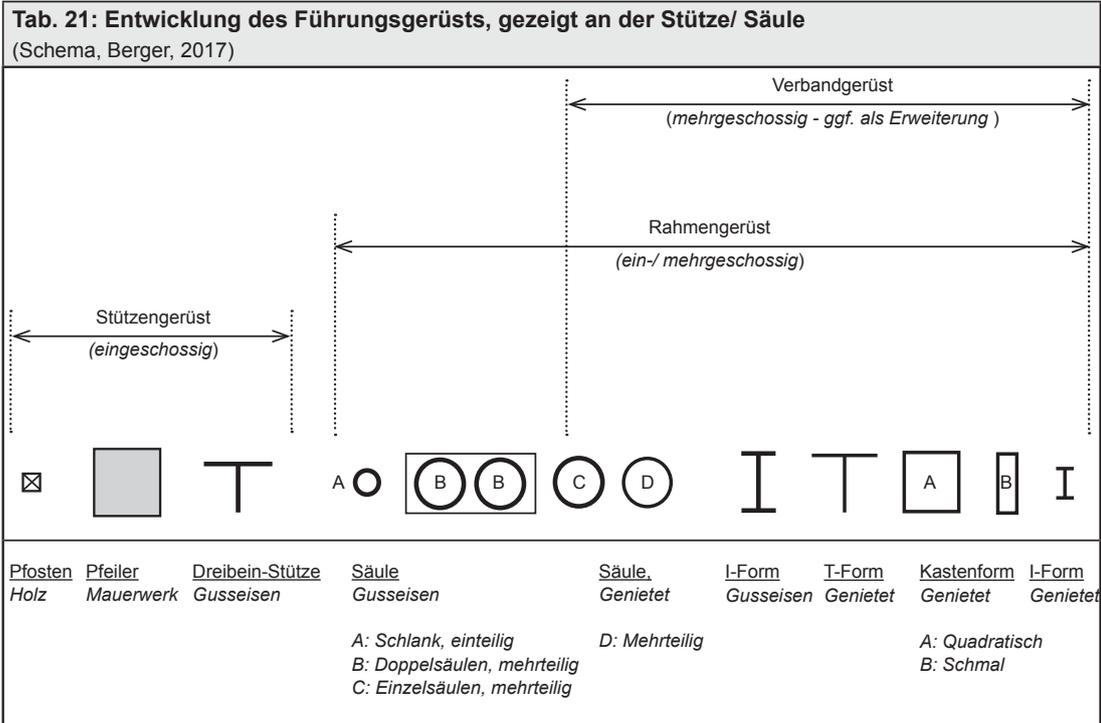
280 Cripps, 1889, p. 50

281 Cripps, 1898, pp. 14–15

282 Tucker, 2014 beschrieb die Form dieser Führungsgerüste wie folgt:

„(...) der Kräfteverlauf und mechanische Konstruktionsprinzipien bestimmten die Formgebung (...)“ (Übers. d. Verfasserin). (Tucker, 2014, p. 60).

Nach Tucker, 2014 gab es aufgrund der hohen Komplexität der statischen Berechnung, sowie den fehlenden Werten zu Windstärken kein festes Regelwerk; die Ingenieure orientierten sich aber grundsätzlich am Brückenbau, bei dem Schmiedeeisen ab den 40er Jahren des 19. Jahrhunderts eingesetzt wurde (Tucker, 2014, pp. 46–47; 60).



errors may be considered insignificant in the case of small gasholders, their importance increases with the size, and may result in dangerous strains.“ ²⁸³

Zusammenfassend entwickelte sich das Führungsgerüst zum identitätsstiftenden, dominanten Bestandteil des Gasbehälters, das zugleich eine repräsentative Rolle innehatte: Es spiegelte den Erfolg und den Stolz der jeweiligen Gasbeleuchtungsgesellschaften wider und erhob so den Gasbehälter zum Statussymbol ²⁸⁴.

Um dieser Wirkmacht gerecht zu werden, bestachen die Führungsgerüste zunächst mit den ornamentreichen Säulen, Stützen und Trägern aus Gusseisen, das eine breite Formenvielfalt ermöglichte. Nachdem in der Übergangsphase von Guss- zu Schmiedeeisen teilweise noch einzelne Ornamente – wie z.B. die Fiale – beibehalten wurden, setzte sich um 1880 schließlich die rein funktionale Form durch, da die Gerüstkonstruktionen allein schon Zeugnis von den herausragenden Leistungen der Gasingenieure ablegten.

²⁸³ Milbourne, 1923, p. 1
„(...) große Gasbehälter werden nicht selten nach denselben Prinzipien der kleineren Ausführungen geplant und errichtet, und die gleichen Fehler treten bei der Konstruktion von beiden auf. Nur dass diese Fehler bei kleinen Gasbehältern als unbedeutend angesehen werden können, deren Wichtigkeit aber mit der Größe [des Gasbehälters] zunahm und gefährliche Lasten zur Folge haben konnten.“ (Übers. d. Verfasserin).

²⁸⁴ Tucker, 2014, pp. 17–18. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts hatte z.B. jede Gasbeleuchtungsgesellschaft in London ihre eigenen Ingenieure, die unterschiedliche Gasbehälter entwarfen. Weiterführende Literatur zu Londons Gasbehältern und Gasindustrie in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, siehe Tucker, 2014.

2. Anforderungen

Die Konstruktion des Führungsgerüsts hatte folgende Anforderungen zu erfüllen:

Einwirkende Kräfte: ²⁸⁵

- Horizontalkräfte: Das Führungsgerüst diente zur Abtragung der ankommenden Lasten aus den Hubteilen. Die Lasteinleitung erfolgte punktuell über die Rollen.
- Wind: Die Windlasten auf das Gerüst selbst waren zu vernachlässigen, da die Konstruktion nur wenig Angriffsfläche bot.

Konstruktion:

- Führungsschiene: Die Säulen bzw. Stützen des Gerüsts wurden jeweils mit einer Führungsschiene ausgestattet.
- Gegengewichte: An den frühen Gerüsten waren zusätzliche Vorrichtungen, wie Räder oder Rollen angebracht, über die die Ketten der Gegengewichte liefen (*Siehe Kap. C.2.3.-3.*).
- Anschluss und Verankerung am Wasserbecken.

Betrieb und Wartung:

- Wartung: Revisionsumgänge, Leitern oder Treppenaufgänge zur Inspektion und Reparatur der Hubteile und des Führungsgerüsts selbst.
- Korrosion: Regelmäßige Überholungsanstriche zur Vermeidung von Korrosionsschäden.

Das Kapitel FÜHRUNGSGERÜST zielt auf die Analyse von Form und Konstruktion ab. Die Grundzüge der einwirkenden Kräfte, deren Einleitung und Abtragung sind in die Konstruktionsbeschreibungen integriert und sind nicht Schwerpunkt dieser Arbeit. Sämtliche anlagen- und sicherheitstechnische Ausstattungen des Gerüsts wie Wartungsstege, Treppen oder Leitern wurden nicht berücksichtigt.

285 Weiterführende Fachliteratur zu einwirkenden Kräften und Bemessung von Führungsgerüsten: Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 195–197; Cripps, 1889, pp. 34–57; Meade, 1916, pp. 427–440
Zu statisch-konstruktiven Untersuchungen an einem Führungsgerüst von 1882 in Venedig, siehe Grabmeier, 2015.

3. Entstehung

Eine gesicherte, lineare Führung des Hubteils war seit Anbeginn des Gasbehälterbaus eine wichtige Anforderung an die Konstruktion, der die Gasingenieure mit verschiedenen Techniken versuchten gerecht zu werden. Aufgrund der geometrischen Form lag der Schwerpunkt des Hubteils weit über dem Mittelpunkt und geriet folglich schnell aus dem Gleichgewicht, sobald sich beide Punkte nicht mehr in einer lotrechten Achse befanden ²⁸⁶.

Die Führung der frühen Hubteile übernahmen zunächst an der Oberseite befestigte Gegengewichte (Siehe Kapitel B.5.) oder ein zentrales Führungsrohr. Beide Techniken erforderten unterschiedliche Aufhängungs- und Gerüstkonstruktionen, die die Vorreiter der klassischen Führungsgerüste darstellten.

3.1. Rahmenkonstruktionen für Gegengewichte

Die Anordnung von Gegengewichten – wie es von dem Aufbau chemischer Experimente übernommen wurde (Siehe Kapitel B.2.) – bedingte eine geeignete Konstruktion, an der die Räder für die Aufhängung des Hubteils befestigt werden konnten.

Nachdem die ersten Aufhängungskonstruktionen eher massiv ausfielen, wie z.B. als hölzerner Dachstuhl (Siehe Kap. B.5.), beschrieb Peckston eine sehr einfache, zweckmäßige Rahmenkonstruktion (Abb. 135) zur Aufhängung des Hubteils: Der Rahmen setzte sich aus zwei dem Becken vorgesetzten, gusseisernen Säulen (I) und zwei zangenartig angeordneten Trägern (K) zusammen, zwischen denen die beiden Räder (L) montiert waren. ²⁸⁷

Das Hubteil wurde nur mit einer einzigen, mittig angeordneten Kette aufgehängt und somit zentral geführt.

Das geradlinige Heben und Senken des Hubteils war jedoch abhängig von der Anzahl der Aufhängungspunkte: Je mehr Anschlusspunkte vorhanden waren, desto sicherer war der Bewegungsverlauf und das Risiko, dass das Hubteil an das Wasserbecken stoßen, sich verdrehen oder gar verkanten konnte, wurde reduziert. ²⁸⁸

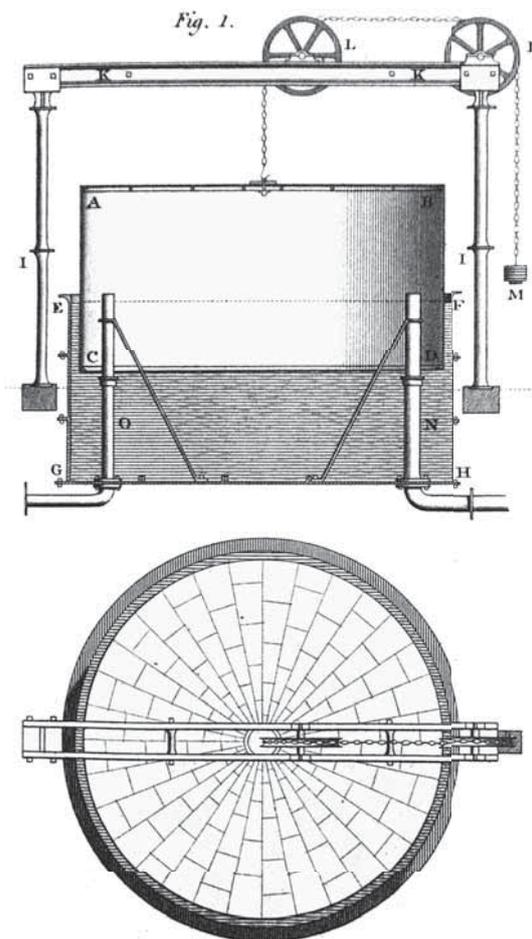


Abb. 135: Rahmenkonstruktion zur zentralen Aufhängung des Hubteils (Peckston, 1819, Plate IX).

286 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 195

287 Peckston, 1819, pp. 253–254

288 Prechtl, 1817, p. 82

3.2. Zentrales Führungsrohr

Eine alternative Führungstechnik basierte auf einem zentralen Führungsrohr. Dieses war am Beckenboden befestigt und diente zur Führung eines zweiten Rundrohres, das wiederum Teil der Hubeilkonstruktion war.

Um 1815 plante *Samuel Clegg** ein zylindrisches Hubteil, die sowohl mit zwei angeschlossenen Gegengewichten, als auch mit einem zentralen Führungsrohr ausgestattet war (Abb. 136):

Ein Rundrohr (R1), dessen Höhe dem Hubteil entsprach, war an dem oberen und unteren speichenradähnlichen Trägerrost (T) des Hubteils befestigt. In der Abbildung ist der untere Rost dargestellt, bestehend aus einem ringförmigen Randträger und 12 Radialträgern.

Im gemauerten Wasserbecken befand sich das eigentliche Führungsrohr (R2), das einen kleineren Durchmesser hatte und so die Führung des Rohres in dem Hubteil (R1) innehatte.²⁸⁹

In Birmingham plante Clegg 1817²⁹⁰ einen freistehenden Gasbehälter ($V = 850\text{m}^3$), der aber im Vergleich zum vorgehenden Beispiel mit einem zentralen Führungsrohr von doppelter Höhe konzipiert war, das das Hubteil vollständig durchdrang (Abb. 137):

Dieses Rundrohr (G) war am Beckenboden und an den kreuzförmig angeordneten Trägern (T) fixiert. Gemeinsam mit vier gusseisernen Säulen (B) bildete dieses Trägerkreuz ein feststehendes Gerüst. Die Säulen wurden auf der Mauerkrone des Beckens verankert.

Die Hubeilkonstruktion bestand aus diagonalen Holzstreben (C), einem abschließenden Randträger aus Holz (F) und einem weiteren Rundrohr (R), das analog zum vorgehenden Beispiel ausgeführt war.²⁹¹

*John Malam** bewies um 1817, dass zur Führung des Hubteils weder Holzrahmen, noch Gegengewichte notwendig waren (Abb. 138):

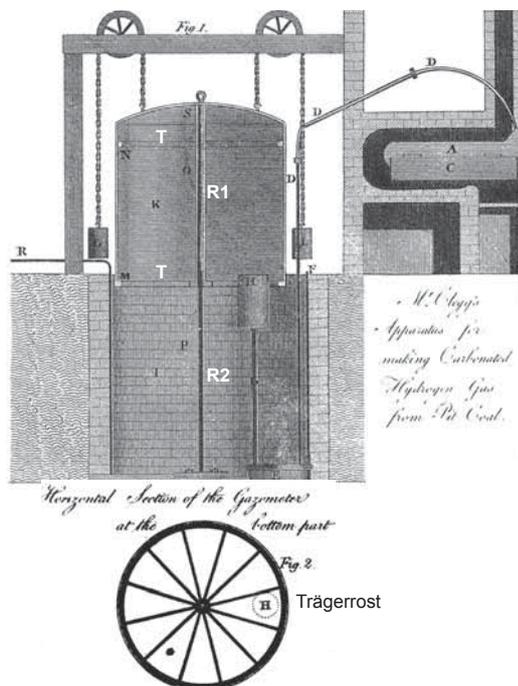


Abb. 136: Führung des Hubteils mit Gegengewichten und zentralem Führungsrohr nach Clegg (Cooper, 1816, Plate 2).**

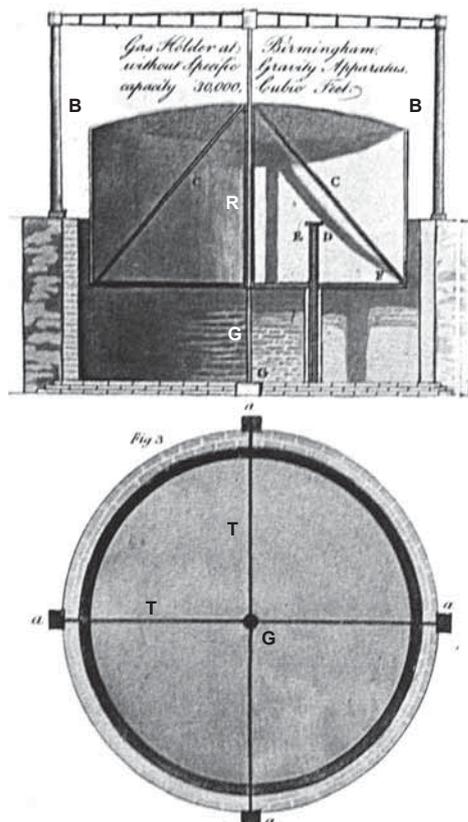


Abb. 137: Freistehendes Gerüst mit zentralen Führungsrohr, in Birmingham (Accum, 1819, Plate V).**

289 Cooper, 1816, pp. 142–145

290 Woolrich, 2002, p. 140

291 Accum, 1819, p. 177; Colburn, 1865, p. 71

Er entwarf einen zylindrischen Gasbehälter ($V=425\text{m}^3$) mit einem zentralen Führungsrohr aus Gusseisen.

Das Rohr ($H=10,67\text{m}$) reichte vom Beckenboden bis über die Oberkante des Hubteils bei maximalem Füllstand und wurde mit einer horizontalen Kopfplatte abgeschlossen. Ein zweites Rundrohr mit geringfügig größerem Durchmesser war Teil der Hubteilkonstruktion und wurde durch radial ausgerichtete Stäbe (K) mit dem Kuppelrand fixiert. Ein flacher, ringförmiger Luftbehälter (Z), der über ein dünnes Rohr (P) bespeist wurde, regulierte den Druck innerhalb des Hubteils.

Der Vorgänger dieses Aufbaus war noch mit Gegengewichten ausgestattet, die sich mit Rädern und Ketten innerhalb des Rohres ($d=1210\text{--}1520\text{mm}$) auf und ab bewegten.²⁹²

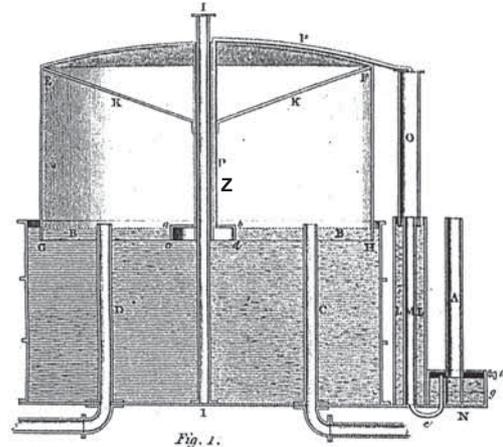


Abb. 138: Malams Gasbehälter mit zentralem Führungsrohr (Peckston, 1819, Plate XI).**

1833 wurde das von George Holworthy Palmer geplante Gaswerk in der Old Kent Road, London in Betrieb genommen. Darauf befanden sich zwei Gasbehälter ($D=15,24\text{m}$; $H_{\text{Hubteil}}=5,49\text{m}$), die sich dieser zentralen Führungstechnik bedienten (Abb. 139)²⁹³:

Das Rundrohr der Hubteilkonstruktion war jedoch an der Ober- und Unterkante mit zusätzlichen Rollen (R) ausgestattet, die entlang der zentralen Säule auf- und abfuhren.

Als zusätzlicher Schutz für das Hubteil wurde 1835 jeweils ein Mauerring (M) ergänzt, der mit Okuli und Rundbogendurchgängen gegliedert war.

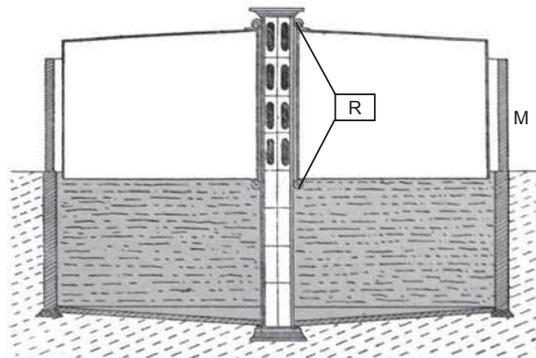
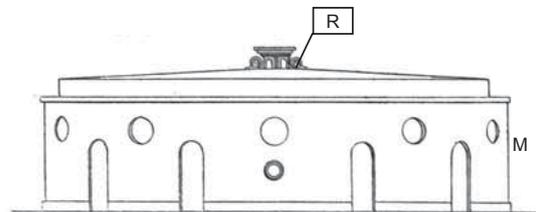


Abb. 139: Gasbehälter mit zentralem Führungsrohr am Gaswerk an der Old Kent Road, London (Layton, 1920, p. 6).**

Der Vorteil des zentralen Führungsrohrs bestand darin, dass das Hubteil zwar eine vertikale, konstruktive Durchdringung erfuhr, dafür aber mit einem einzigen Anschluss die Führung des Hubteils sicherstellen und seitliche Verschiebungen verhindern konnte.²⁹⁴

Der Nachteil bestand jedoch in der unzureichenden Betriebssicherheit²⁹⁵. Deshalb setzte sich schließlich die tangentielle Führungstechnik durch, die zwar die beiden Elemente Rolle und Säule übernahm, diese aber vor das Hubteil positionierte und so den zentralen Durchdringungspunkt vermied (Siehe Kap. C.2.3.-5.).

292 Peckston, 1819, pp. 254–264

293 Layton, 1920, pp. 5–6, 9

294 Peckston, 1819, p. 255

Die Idee des zentral-geführten Gasbehälters wurde 1885 von den französischen Ingenieuren Meizel und Couffinal wieder aufgegriffen (JGL-45, 1885, pp. 668–670).

295 Layton, 1920, pp. 6–13

4. Aufbau

Nachdem die ersten Führungsgerüste allein aus Stützen bestanden, wurde diese Gerüstform nach kurzer Zeit mit horizontalen Trägern und schließlich mit Verbänden ergänzt bzw. ertüchtigt, was den Bauteilkanon des Gerüsts kontinuierlich erweiterte.

Dieses Kapitel stellt eine Art „Baukasten“ für Führungsgerüste dar, der die vertikalen, horizontalen und diagonalen Bauteile und deren Entwicklung im Vorfeld behandelt. Im Anschluss folgen die Kapitel über die verschiedenen Gerüstformen, die sich je nach Konzept, Größe und Bauzeit unterschiedlicher Bauteile bedienen.

4.1. Vertikale Bauteile

4.1.1. Säulen

Die Säulenkonstruktion und -gestaltung entwickelte sich von stark ornamentierten, gusseisernen Säulen bis hin zur schmiedeeisernen Ausführung von standardisierten Rundroherelementen.

Die Ausführung von **gusseisernen Säulen** war möglich als (Tab. 22):

- Einteilige, schlanke Säule,
- Zweiteilige Säule mit innen liegendem Flansch ²⁹⁶,
- Mehrteilige Säule mit innen liegendem Flansch ²⁹⁷,
- Mehrteilige Säule mit außen liegendem Flansch ²⁹⁸.

Die einzelnen gegossenen Säulentrommeln wurden jeweils an den Flanschen verschraubt.

Um die gusseisernen Säulen in ein architektonisches Ordnungssystem einzubetten, wurde der Schaft jeweils mit einer Basis und einem Kapitell ausgestattet (Abb. 140). Bei mehrgeschossigen Anordnungen wurden zusätzliche Bauglieder eingesetzt:

- Postament – Die Gesamthöhe der Säulenchse wurde durch den Einsatz eines Sockels bzw. Postaments gesteigert; letzteres bestand aus Mauerwerk oder einem gusseisernen Hohlkasten ²⁹⁹ und wurde bis zu einer Höhe von bis zu 2,00m errichtet ³⁰⁰.
- Architrav – Zwischen den einzelnen Säulen befand sich ein kastenförmiges Bauteil in Form eines Architravs, das zum Anschluss der Säulen und der horizontalen Träger diente.

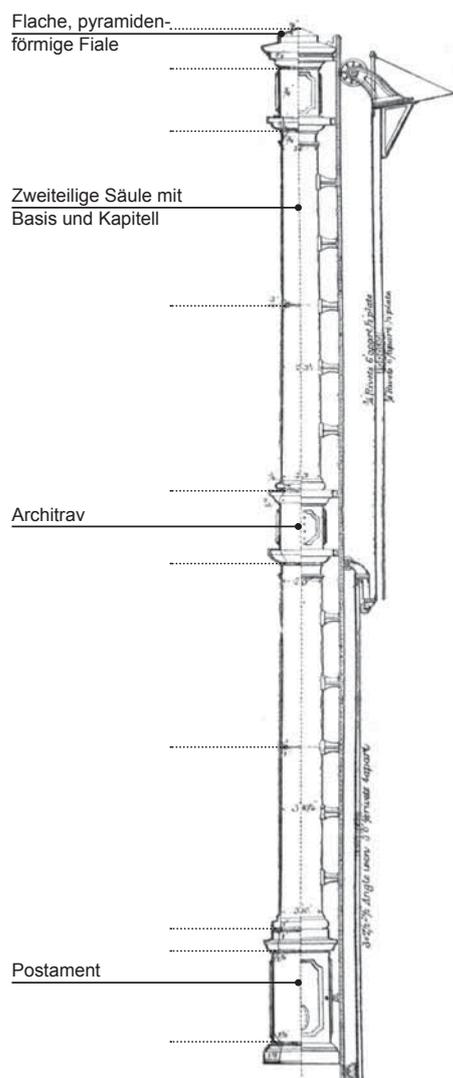


Abb. 140: Gusseiserne Säulenkonstruktion mit innen liegenden Flanschen, Birmingham (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 151).**

296 Ab einer Höhe von ca. 7,00m wurden die Säulen mindestens zweiteilig mit nach innen ausgebildeten Flanschen hergestellt und vor Ort mit Keilen zusammengefügt (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 121).

297 Clegg, 1866, p. 257

298 Thomas Hawksley* führte diese Bautechnik um 1875 ein (Tucker, 2014, p. 51).

299 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 98

300 Hughes, 1865, p. 205

Tab. 22: Konstruktionsweise von Säulen (Schemazeichnungen nach Berger, 2016)						
	Gusseisen			Schmiedeeisen		
Aufbau	Einteilig	Zweiteilig	Mehrteilig		Gerade Rundrohre $d_1 > d_2 > d_3$ etc.	Konische Rundrohre $d_1 = d_2 = d_3$ etc.
Anschluss		Flansch innen	Flansch innen	Flansch außen		
Ansicht						
Grundriss						
Detail Anschluss						

- Fialen – Um das Erscheinungsbild des Führungsgerüsts noch weiter auszuschnücken wurden die Architrave der obersten Säulen teilweise mit Fialen ausgestattet. Deren Formenvielfalt reichte von flachen, pyramidenförmigen Ausführungen bis hin zu weit aufragenden, spitzen Aufsätzen.

Das aufgeführte Beispiel (Abb. 140) zeigt die Säulenchse eines Führungsgerüsts, das von *Charles Hunt** in Birmingham entworfen wurde. Der Säulenschaft bestand jeweils aus zwei Trommeln, die über nach innen gerichtete Flansche verschraubt wurden.

Insgesamt ermöglichte der Werkstoff Gusseisen eine sehr ornamentreiche Gestaltung der Säulen, die trotz der aufwendigen Herstellung und ihrem Konstruktionsgewicht bis ca. 1890 so hergestellt wurden.³⁰¹

Die Einführung des Schmiedeeisens ermöglichte schließlich den Bau von genieteten, leichteren Säulen aus Rundrohrelementen, die im Gegensatz zum gusseisernen Pendant rein funktionalen Charakters waren und ohne Ornamente gefertigt wurden.

*Joseph Emerson Dowson** erhob 1863 ein Patent, das die Herstellung von Rundrohrelementen aus Schmiedeeisen beinhaltete. Diese wurden jeweils aus einem länglichen Blechstreifen erstellt, der zu einem Zylinder gebogen und vernietet wurde.³⁰²

Die Konstruktion von **schmiedeeisernen Säulen** basierte auf zwei verschiedenen Modellen:

- Mehrteilig mit geraden Rundrohrelementen, deren Durchmesser jeweils um die Blechstärke des Vorgängers abnahm ($d_1 > d_2 > d_3 > d_4$ etc.).
- Mehrteilig mit konischen, identischen Rundrohrelementen ($d_1 = d_2 = d_3 = d_4$ etc.).

301 Somerville berichtete vom Versagen einiger Säulenkonstruktionen in z.B. Sittingbourne (1863), Dublin (1869), Limerick (1869), Beckton (1871) oder Northampton (1872) (Somerville, 1886, pp. 1244–1245).

302 JGL-12, 1863, p. 494

4.1.2. Stützen

Im Gegensatz zur Säule war die Form der Stütze unterschiedlich: Der Grundriss variierte von T- und I-förmig (symmetrisch und asymmetrisch) bis hin zum Kastenquerschnitt und weiteren Sonderformen. Je nach Werkstoff unterlag die Stütze unterschiedlichen Konstruktions- und Fertigungsprinzipien (*Siehe Kap. C.1.2*): Stützen aus Gusseisen wurden in mehreren Teilen gegossen und vor Ort verschraubt – analog zur Säulenform. Genietete Stützen aus Schmiedeeisen wurden in den 70er Jahren des 19. Jahrhunderts eingeführt ³⁰³; die Blechträgerkonstruktionen wurden ebenfalls in Abschnitten gefertigt und auf dem Gaswerk zusammengebaut.

Folgende Stützenquerschnitte etablierten sich bei dem Bau von Führungsgerüsten (*Tab. 23*): ³⁰⁴

T-Form

Diese Stützenform hatte drei Schenkel, die sich in der Regel zum Stützenkopf hin verjüngten. Die T-förmige Stütze wurde zunächst in Gusseisen und später als genietete Blechträgerkonstruktion gefertigt:

- Gusseisen: Die sogenannte Dreibein-Stütze bestand aus drei identischen Schenkeln. Um den Materialaufwand zu reduzieren, war deren Steg durchsetzt, z.B. in Form von Kreisen. Dreibein-Stützen wurden v.a. in der Frühphase des Gasbehälterbaus eingesetzt (*Siehe Kap. C.2.3.-5.2.*).
- Schmiedeeisen: Die Stütze bestand meist aus einem radial und einem tangential zum Hubteil gerichteten Bauteil und wurde als genietetes Fachwerk- oder Gitterträger ausgeführt.

Die T-förmigen Stützen wurden bei zunehmender Höhe in regelmäßigen Abständen mit liegenden, dreieckigen Steifen verstärkt.

I-Form

Die I-förmige Stütze war grundsätzlich mit einem symmetrischen oder asymmetrischen Grundriss – d.h. mit unterschiedlichen Flanschbreiten – möglich und verjüngte sich ebenfalls zum Stützenkopf hin:

- Gusseisen: Analog zur T-Form wurde der Steg der gegossenen Einzelbauteile durchsetzt – z.B. mit Vierpässen, Kreisen oder einer Netzstruktur. Teilweise wurden sogar die Flansche mit länglichen, schlitzartigen Aussparungen erstellt.
- Schmiedeeisen: Die Stützen waren als Gitter-, Fachwerk- oder vollwandiger Träger konzipiert. Letzterer wurde ab ca. 1890 auch als Walzprofil verbaut (*Abb. 141*) ³⁰⁵.

Eine Sonderposition nahmen die schlanken Stützen des Führungsgerüsts von *Samuel Cutler** ein, die im Vergleich zu der konventionellen, verjüngenden Form einen gleichbleibenden Querschnitt besaßen (*Siehe Kap. C.2.3.-7.5.*).

Kastenform

Der Kastenquerschnitt wurde ausschließlich als genietete Blechträgerkonstruktion hergestellt, die sich nach oben verjüngte, und war in zwei Ausführungen möglich:

- Mit einem rechteckigen, annähernd quadratischen Querschnitt,
- Mit einem schmalen, eher länglichen Querschnitt.

303 Tucker, 2014, p. 8

304 Anm. d. Verfasserin: In diesem Kapitel werden nur die Stützenformen aufgeführt, die am häufigsten zum Einsatz kamen; weitere Sonderformen werden bei den Gerüstbeispielen in den Kapiteln Stützen-/ Rahmen- /Verbandgerüst behandelt.

305 Cripps, 1889, p. 50

Die Einführung der Walzprofile ermöglichte I-förmige Stützen bis zu einer Bauteil höhe von 457mm.

Bei größeren Abmessungen wurden jedoch die genieteten Blechträgerkonstruktionen favorisiert, da diese u.a. mit einem sich zum Stützenkopf hin verjüngenden Querschnitt ausgeführt werden konnten. Bei Stützen aus I-Profilträgern wurde empfohlen, dass deren Gesamtbauhöhe nicht das 65-fache der Bauteilhöhe überschreiten sollte (Meade, 1916, pp. 424, 434).

Tab. 23: Konstruktionsweise von Stützen					
(Schemazeichnungen nach Berger, 2017; vergl. auch Cripps, 1889 und Tucker, 2014)					
	T-Form		I-Form		Kastenform
Material	Gusseisen	Schmiedeeisen	Gusseisen	Schmiedeeisen	Schmiedeeisen
Ansicht					
Grundriss			<p style="text-align: center;">symmetrisch</p> <p style="text-align: center;">asymmetrisch</p>		<p style="text-align: center;">quadratisch</p> <p style="text-align: center;">schmal</p>

Ende des 19. Jahrhunderts kamen nach Cripps, 1889 folgende Stützenquerschnitte zum Einsatz (Abb. 141):

- T-Form: Als genietete Fachwerk- oder Gitterträger (F), teilweise mit zusätzlichem Deckblech (G).
- I-Form: Als Walzprofil (A), als genietetem Träger (B, D).
- Kastenform: Schmalere Querschnitt, basierend auf I-förmigen Walzprofilen (C) oder Winkelisen (H).
- Sonderformen: Hantelförmiger (E) oder kreuzförmiger (I) Querschnitt.

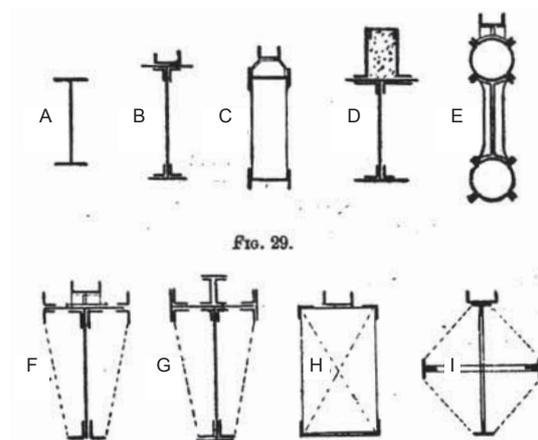


Abb. 141: Verschiedene Säulen- und Stützenquerschnitte nach Cripps (Cripps, 1889, p. 50).**

4.2. Horizontale Bauteile

Die Form und die Konstruktion des horizontalen Bauteils bzw. Trägers³⁰⁶ durchlief ebenso wie die Säule und die Stütze mehrere Entwicklungsstadien, die durch die gegenwärtigen Eisenwerkstoffe sowie die geforderten Einzellängen maßgeblich beeinflusst wurden.

Das Aufkommen des Schmiedeeisens verdrängte die schweren gusseisernen Träger und ermöglichte stabilere, günstigere und leichtere Blechkonstruktionen³⁰⁷. Eine Sonderstellung nahm der sogenannte **Kompositträger** ein (Tab. 24), der in der Übergangsphase entstand und die künstlerischen Gestaltungsmöglichkeiten des Gusseisens mit der Zugfestigkeit des Schmiedeeisens kombinierte³⁰⁸:

„(...) girders of wrought iron and cast iron combined, the upper and lower edges of the girder being made of angle-iron or T iron, and the web of the said girder of plates of cast iron bolted or riveted to the bars of angle iron or T shaped iron as described.“³⁰⁹

Der horizontale Träger verfügte insgesamt über eine große Formen- und Ausführungsvielfalt, bei der sich v.a. der T-, I- und kastenförmige, dreieckige und der kreuzförmige Querschnitt durchsetzten (Tab. 24):³¹⁰

T-Form

Der T-förmige Träger wurde überwiegend als gegossenes Bauteil hergestellt und mit nach oben gerichtetem Steg zwischen oder auf den Säulen montiert. Der Steg war entweder vollwandig oder durchsetzt – z.B. mit Kreisen³¹¹ – und wurde teilweise mit einer oberseitigen Verdickung oder einem schmalen Flansch verstärkt. Die Steghöhe nahm meist zur Feldmitte hin zu, was sich in der Ansicht mit einer leichten Wölbung oder einer flachen Satteldachform zeigte.

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden auch einfache, T-förmige Walzeisen eingesetzt³¹².

I-Form

An der Entwicklung des I-förmigen Trägers ließ sich die voranschreitende Eisentechnologie des 19. Jahrhunderts am besten ablesen; dieser ging hervor als:

- Gusseiserner I-Träger, mit symmetrischen oder asymmetrischen Flanschen.
- Kompositträger (s.o.): Der Steg wurde z.B. mit einem mäander- oder kreisförmigen Muster gegossen und an beiden Seiten von Winkel- oder T-Eisen gefasst. Teilweise waren auch nur einzelne Bauteile aus Gusseisen – wie z.B. die vertikalen Stäbe von Fachwerkträgern.
- Genieteteter Gitter- oder Fachwerkträger aus Schmiedeeisen: Der Steg bestand aus diagonalen und/oder vertikalen Stäben, die teilweise auch als engmaschiges Netz angeordnet waren; als Ober- oder auch Untergurt wurden Winkel- oder T-Eisen eingesetzt³¹³.
- Genieteteter, vollwandiger oder durchsetzter Blechträger mit symmetrischem oder asymmetrischem

306 Grundsätzlich verband jeweils ein Einzelträger zwei Säulen. Nach Hughes, 1865 wurden aber bei eingeschossigen Rahmengerüsten mit Säulen auch Trägerpaare eingesetzt (Hughes, 1865, p. 220).

307 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 120–121
Bei gusseisernen Trägern äußerte sich ein wesentlicher Nachteil beim Transport, bei dem sehr lange und gleichzeitig filigrane Formbauteile schnell zu Bruch gingen.

308 Somerville, 1886, p. 1244

309 JGL-7, 1858, p. 608. Nach einer Beschreibung von Joshua Horton in einer Patentschrift von 1858:
„(...) kombinierte Träger aus Schmiedeeisen und Gusseisen, bei denen der obere und untere Abschluss aus Winkeleisen oder T Eisen besteht, und der Steg aus gusseisernen Platten, die an die vorbeschriebenen Winkeleisen oder T förmigen Eisen geschraubt oder genietet werden.“ (Übers. d. Verfasserin).

310 Anm. d. Verfasserin: Dieses Kapitel behandelt die meist verwendeten Trägerformen des historischen Gasbehälterbaus; weitere Träger- und Konstruktionsformen waren grundsätzlich möglich.
Die dreieckige Form und die Kreuzform kamen überwiegend bei Verbandgerüsten zum Einsatz (Siehe Kap. C.2.3.-7).

311 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 130

312 Tucker, 2014, p. 12

313 Nach Brodie wurden bei kleineren Trägerlängen meistens T-Eisen für den oberen und unteren Flansch eingesetzt. Bei größeren Spannweiten empfahl er die Anordnung von je einem Winkeleisenpaar an den Flanschen (JGL-35, 1880, p. 926).

Querschnitt.

- Walzprofil, ab Ende des 19. Jahrhunderts³¹⁴.
Bei größeren Spannweiten wurden die Winkeleisenpaare häufig mit einem zusätzlichen Deck- oder Bodenblech verstärkt³¹⁵.

Je nach Geschossigkeit und Größe des Gerüsts wurden die I-Träger liegend oder stehend eingebaut.

Kastenform

Große, mehrgeschossige Gerüste wurden häufig mit kastenförmigen Gitter- oder Fachwerkträgern ausgeführt. Hier unterschied man zwischen annähernd quadratischen und schmalen Kastenträgern. Letztere wurden je nach Lage und Gerüstgröße liegend oder stehend eingebaut (s.o.). Eine Sonderform stellten der sich zur Feldmitte hin verjüngende Kastenträger (Siehe Kap. C.2.3.-7.1.3.) sowie der segmentförmig verlaufende Kastenträger (Siehe Kap. C.2.3.-6.2.2.) dar.

Dreieckige Form

Der dreieckige Trägerquerschnitt war das Ergebnis von zwei aneinander gesetzten Trägern, deren freie Enden mit diagonalen Stäben zusammengeschlossen wurden. Diese Trägerform kam ab Anfang des 20. Jahrhunderts zum Einsatz³¹⁶.

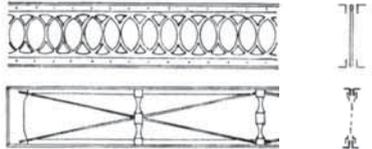
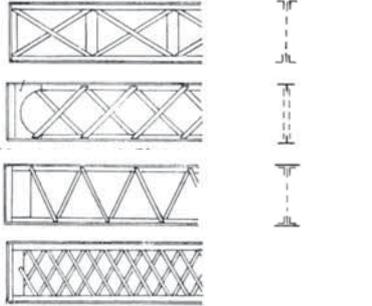
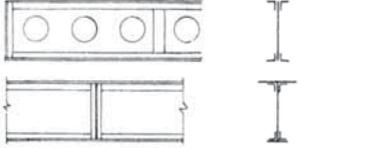
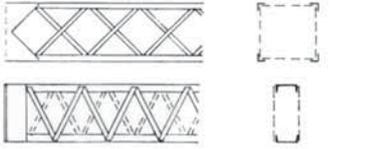
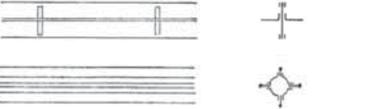
Kreuzform

Eine Sonderform stellten die genieteten, kreuzförmigen Blechträger dar, für die Flach- und Winkeleisen oder auch Quadranteisen zum Einsatz kamen.

Die Proportionen des Trägers wurden grundsätzlich von der Spannweite bestimmt. Nach Herring, 1893 betrug die Trägerhöhe 1/10 bis 1/16 von dessen Spannweite, wobei er selbst das Verhältnis 1 : 12 favorisierte³¹⁷.

Zudem erforderte die Spannweite unterschiedliche Trägerformen, diese wurden 1879 festgelegt und orientierten sich an den Vorschriften des Brückenbaus: Bis ca. 5,00m waren einfache Walzeisen ausreichend; bis 12,00m wurden vollwandige, genietete Blechträger verwendet und bis 22,00m empfahl sich der Einsatz von genieteten Gitter- bzw. Fachwerkträgern.³¹⁸

Tab. 24: Konstruktion von Trägern
(Tucker, 2014, pp. 12–16)**

T-Form	
I-Form – Kompositträger	
I-Form – Gitter-/ Fachwerkträger	
I-Form, vollwandig	
I-Form, gewalzt	
Kastenform	
Dreieckige Form	
Kreuzform	

314 Tucker, 2014, p. 12

315 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 146

316 Tucker, 2014, p. 57

317 Herring, 1893, p. 81

318 JGL-49, 1887, p. 671

4.3. Diagonale Bauteile

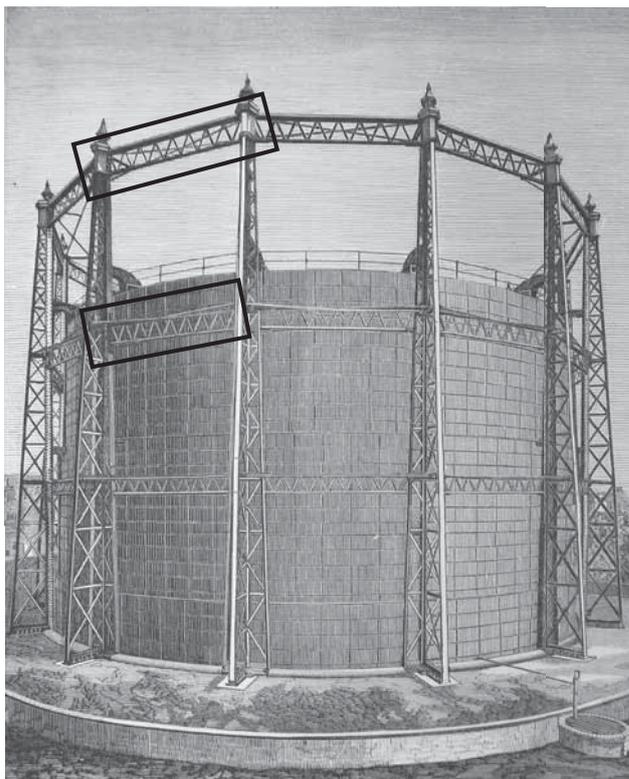


Abb. 142: Dreigeschossiges Rahmengerüst in Hove (Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XXIII).**

Oberer Trägerkranz



Liegender Verband innenseitig, Anschluss über Ausleger

Mittlerer Trägerkranz



Liegender Verband außenseitig, Anschluss an Stütze

4.3.1. Liegender Verband nach Paddon

Der liegende oder horizontale Verband, der sich aus zwei diagonalen Stäben zusammensetzte, wurde teilweise als zusätzliche, horizontale Aussteifung des Gerüsts eingesetzt.

Dieses Bauteil brachte *John Birch Paddon** hervor, als er bei der Planung eines Führungsgerüsts in Hove auf erschwerte Bedingungen stieß: Aufgrund der vorherrschenden starken Windverhältnisse entschied er sich für ein dreigeschossiges Rahmengerüst (H= ca. 22,20m), dessen horizontale Träger jeweils mit einem liegenden Verband verstärkt wurden (Abb. 142). Das Gerüst wurde 1876 fertig gestellt.³¹⁹

Der obere Trägerkranz wurde innenseitig je Feld mit zwei kreuzförmig angeordneten Flacheisenstäben ergänzt, für deren Befestigung je Stützenkopf ein Ausleger vorgesehen war. Bei den unteren Trägerlagen waren die Verbände außenseitig angesetzt und wurden direkt an der Stütze befestigt.³²⁰

Der liegende Windverband – nach seinem Erfinder auch als „Paddon-Wind-Ties“ (Dt.: Paddon-Verband) bekannt – wurde in der Regel nur bei dem oberen, abschließenden Trägerkranz eingesetzt und kam bevorzugt bei Gerüsten größeren Ausmaßes oder bei solchen, die eine erhöhte Tragfähigkeit erforderten, zum Einsatz.

Der Verband nach Paddon wurde entweder mit Flach-, oder Rundeisenstäben ausgeführt.

319 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 178

1875 wurde bereits ein Verbandgerüst in Kennington, London nach den Plänen Woodalls fertig gestellt, das ebenfalls mit einem liegenden Verband ausgestattet war. Jedoch war es Paddon, der den Patentanspruch für dieses Bauteil erhob.

320 Zur vollständigen Konstruktionsbeschreibung des Gerüsts, siehe Kapitel C.2.3.-6.2.3.

Verband aus Flacheisen

Das zweigeschossige Rahmengerüst des Gasbehälters in Great Yarmouth (Abb. 143) wurde entlang des oberen Trägerkranzes mit einem liegenden Verband nach Paddon ausgestattet. Die Flacheisenstäbe verliefen jeweils vom Kapitell der ersten Säule zum Kapitell der dritten Säule; an den Architraven waren horizontale Ausleger angebracht, die die Flacheisenstäbe unterstützten (Abb. 144).³²¹



Abb. 143: Rahmengerüst mit liegendem Windverband in Great Yarmouth (BB, 2015).



Abb. 144: Liegender Verband nach Paddon bei einem zweigeschossigen Rahmengerüst in Great Yarmouth (BB, 2015).

Verband aus Rundeisen

1880 wurde in der Old Kent Road, London ein Gasbehälter nach den Plänen der Livesey Brüder fertig gestellt.

Der obere Abschluss des Gerüsts war mit einem liegenden Verband (Abb. 146) aus Rundeisenstäben ausgestattet. Letztere wurden jeweils über Vorrichtungen auf den Auslegern umgelenkt (Abb. 145).³²²

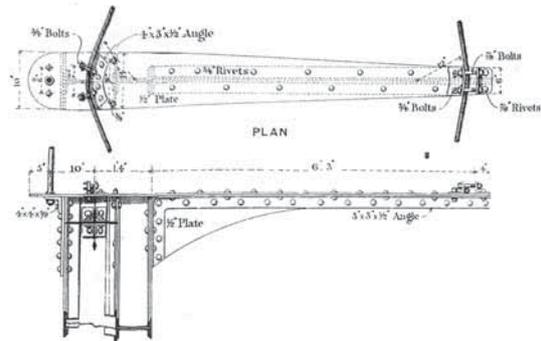


Abb. 145: Anschluss des Paddon-Verbands (JGL-38, 1881, Plate N°7).**

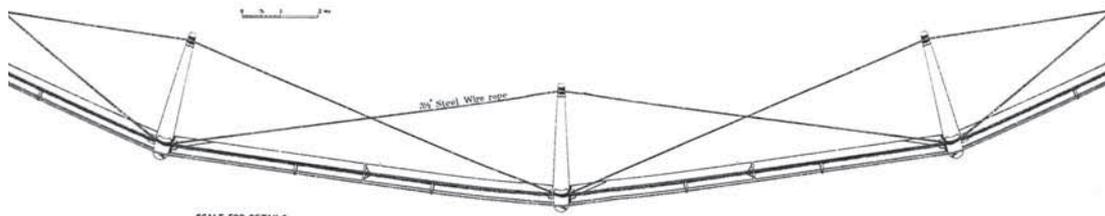


Abb. 146: Anordnung des Paddon-Verbands (JGL-38, 1881, Plate N°7).**

321 Vollständige Beschreibung des Rahmengerüsts in Great Yarmouth siehe Kapitel C.2.3.-6.2.2.

322 Vollständige Beschreibung des Verbandgerüsts in der Old Kent Road, London siehe Kapitel C.2.3.-7.2.

Trägerstern oder Rost

Eine Sonderform oder möglicher Vorgänger des liegenden Verbands nach Paddon war der sogenannte Trägerstern oder Rost.

Dieser kam vermutlich nur einmal bei einem Führungsgerüst zum Einsatz – nämlich bei einem Teleskopgasbehälter an der Blackfriars Station in London (Abb. 147): Dort wurde 1861 von dem Ingenieur *William Mann** das dreigeschossige Gerüst mit einer zusätzlichen horizontalen Aussteifung bedacht. Innerhalb des oberen, abschließenden Trägerkranzes wurden drei weitere schmiedeeiserne Gitterträger eingesetzt: Diese waren radial angeordnet und wurden an drei Architraven angeschlossen. Zudem befanden sich auf diesen Architraven die Rollenpaare, über die die Ketten der Gegengewichte liefen.³²³

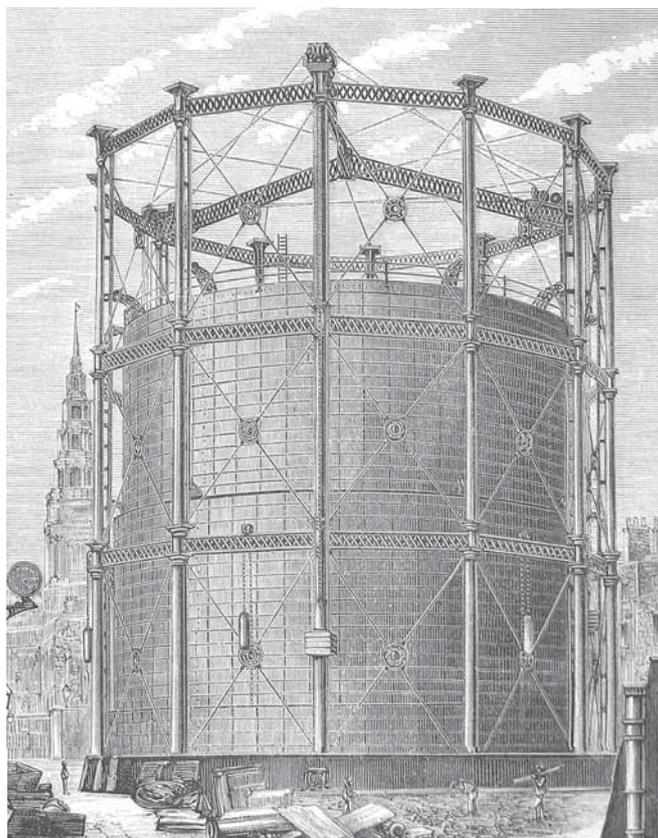


Abb. 147: Dreihübiger Gasbehälter bei der Blackfriars Station, London (Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XXII).

4.3.2. Vertikaler Verband

Ein weiteres, wichtiges Bauteil war der vertikale Verband, der jeweils in die einzelnen Gerüstfelder gesetzt wurde und sich zum Charakteristikum des Verbandgerüsts entwickelte (Siehe Kap. C.2.3.-7)³²⁴.

Dieser Verband basierte auf kreuzförmig angeordneten Stäben: Zum Einsatz kamen Rund-, Flach- und Winkeleisen; stellenweise wurden auch U-Eisen, sowie T- und kreuzförmige Querschnitte verwendet. Rundeisenstäbe wurden in der Regel mit einem zentralen Spannring³²⁵ (Abb. 147) bzw. später Spannschlössern in die Gerüstfelder eingesetzt. Flach- oder Winkeleisenstäbe hingegen wurden mit einem zentralen Bindeblech oder einer Klammer fixiert.³²⁶

³²³ Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 176–178

³²⁴ Anm. d. Verfasserin: An dieser Stelle werden nur die einzelnen Bauteile erläutert. Die Anordnungsmöglichkeiten, durch die mehrere Verbandformen hervorgingen, werden in dem Kapitel C.2.3.-7. behandelt.

³²⁵ Nach Herring, 1893 war der zentrale Ring meist zu schwach ausgebildet, sodass dieser sich eher für die durchlaufende Variante der Stäbe eignete, um diese Schwachstelle zu umgehen (Herring, 1893, p. 275). Schäfer, 1910 differenzierte die Ausführung einer Auskreuzung mit oder ohne Spannschloss als „Offene“ oder „Geschlossene Diagonalen“ (Schäfer, 1910, p. 615).

³²⁶ Nach Meade, 1916 war das Rundeisen für die Verwendung als Windverband am besten geeignet, da dieser Querschnitt einfachere Anschlüsse ermöglichte und den Beanspruchungen besser entsprach (Meade, 1916, p. 440).



Abb. 148: Trägerstoß an gusseisernes Architrav in King's Cross, London (BB, 2015).



Abb. 149: Trägerstoß an gusseisernes Formbauteil in der Old Kent Road, London (BB, 2015).



Abb. 150: Trägerstoß an den Flansch einer T-förmigen, genieteten Stütze in Kennington, London (BB, 2015).

4.4. Anschlussdetails

4.4.1. Trägeranschluss

Der Trägeranschluss war primär abhängig von seiner Lage und dem Stützen- bzw. Säulenquerschnitt. Bei Stützen erfolgte der Anschluss in der Regel als Stoß; bei Säulen kam auch der umlaufende Manschettenanschluss zum Einsatz.

Stoß

Bei gusseisernen Stützen oder Säulen wurden die Träger meist über ein Formbauteil (Abb. 149), ein Architrav (Abb. 148) oder hervorspringende Konsolen (Abb. 159) angeschlossen.

Bei genieteten Blechkonstruktionen war der Trägerstoß abhängig von der Stützenform: Die T-Form ermöglichte z.B. den Anschluss am Flansch des tangentialen Bauteils (Abb. 150). Hingegen bei kastenförmigen Querschnitten erstreckte sich der Anschluss der meist liegenden Träger über den gesamten Stützenquerschnitt (Abb. 151, Abb. 152).

Um einen Trägerstoß bei durchgehenden, schmiedeeisernen Säulen zu ermöglichen, war das jeweilige Rundrohrenlement mit einem hervorspringenden Bindeblech bzw. einer Lasche auszustatten, an das der Träger angeschlossen werden konnte³²⁷.



Abb. 151: Anschluss von liegenden Gitterträgern an kastenförmige Stütze in Bethnal Green, London (BB, 2015).

327 JGL-12, 1863, p. 494

Manschette

Insbesondere bei mehrgeschossigen Gerüsten, die aus einem durchlaufenden Säulenschaft ohne dazwischen gesetzte Architrave bestanden, bewährte sich der umlaufende Trägeranschluss – nämlich die sogenannte Manschette (Abb. 153). Dadurch wurden jeweils die beiden Träger, die an eine Säule ansetzten, mit einem umlaufenden Bauteil wie z.B. einem Winkeleisen gekoppelt. Boden- und Deckblech wurden häufig mit einem zusätzlichen, dreieckigen Bindeblech ausgestattet, um den Knotenpunkt zu verstärken. Dieser Manschetten-Anschluss kam bei guss- und schmiedeeisernen Säulenkonstruktionen zum Einsatz (Abb. 153, Abb. 154). Außerdem eignete sich die Manschette auch beim nachträglichen Hinzufügen von zusätzlichen Trägerlagen (Abb. 155).

4.4.2. Anschluss des vertikalen Verbands

Für den Anschluss des vertikalen Windverbands gab es grundsätzlich zwei Möglichkeiten:³²⁸

- Mit sogenannten ein- oder zweifachen Nasen, an denen die Rundeisenstäbe fixiert wurden (Abb. 149, Abb. 152, Abb. 154, Abb. 155).
- Mit Bindeblechen, die sich v.a. zur Befestigung von Flach-, Winkel- und U-Eisen eigneten (Abb. 150).

Die Nase bzw. das Bindeblech selbst wurden direkt am Träger und/ oder der Stütze befestigt.

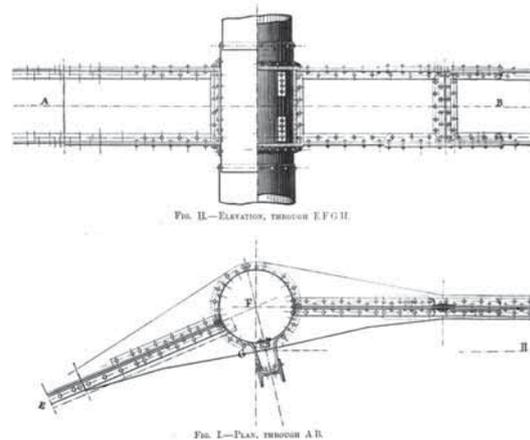


Abb. 153: Umlaufender Trägeranschluss „Manschette“ an eine geneigte Säule (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 196).



Abb. 154: Umlaufender Trägeranschluss an gusseiserne Säule in Swan Village bei Birmingham (BB, 2015).



Abb. 152: Trägerstoß an schmale, kastenförmige Stütze in Eastbourne (BB, 2015).



Abb. 155: Träger mit Manschettenanschluss an gusseiserne Säule, Liverpool Road, Manchester-Salford (BB, 2015).

³²⁸ Nach Herring, 1893 empfahl es sich den vertikalen Verband grundsätzlich am stärkeren Flansch der Stütze zu befestigen. (Herring, 1893, pp. 274–275).

4.4.3. Durchlaufender Trägerkranz

Die oberen Träger wurden entweder seitlich an die Stütze gestoßen (Siehe vorgehendes Kapitel) oder als in sich geschlossener Trägerkranz auf die Säulen- oder Stützenköpfe aufgesetzt (Abb. 156). Die Träger wurden untereinander mit einem Kopfplattenstoß gekoppelt und auf der Kopfplatte der Stütze bzw. Säule fixiert.

Bei gusseisernen Säulen und Stützen wurde dieser rein funktionale Anschluss in der Regel von einem darüber gestülpten Architrav verdeckt (Abb. 156). Der verdeckte Trägerstoß wurde teilweise auch noch bei genieteten Stützenkonstruktionen eingesetzt – insbesondere der kastenförmige Querschnitt eignete sich für dieses dekorative Abschlussdetail, wie ein Beispiel in York zeigt (Abb. 157, Abb. 158).

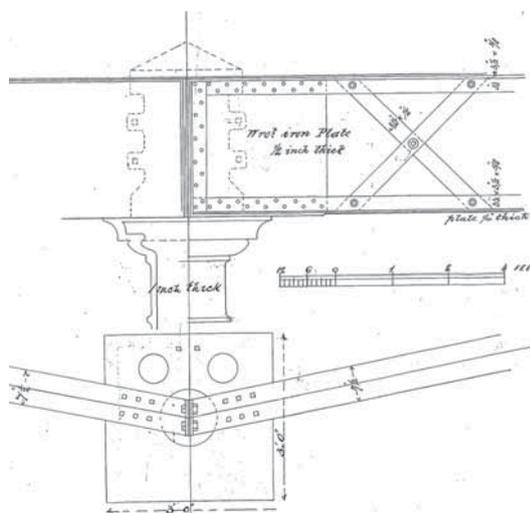


Abb. 156: Trägerstoß eines eingeschossigen Führungsgerüsts in Altrincham (NGA, NWALG/E/T/5).

Die ornamentreiche Ausgestaltung des Architravs steigerte jedoch die Angriffsfläche für Korrosion. Deshalb wurden die Architrave häufig nachträglich wieder abgenommen, wie ein Beispiel in Kensal Green heute unter Beweis stellt.³²⁹



Abb. 157: Verborgener Trägerstoß auf einer kastenförmigen, genieteten Stütze in York (Foto, Malcom T. Tucker, 1994).



Abb. 158: Hinterbliebener Stützenkopf mit Trägeranschluss und Fiale in York (Foto, Sandra Garside-Neville, 2016).

³²⁹ Tucker, 2014, p. 8

Beispiel: Träger- und Verbandanschluss an eine gusseiserne Säule in Chester um 1880:

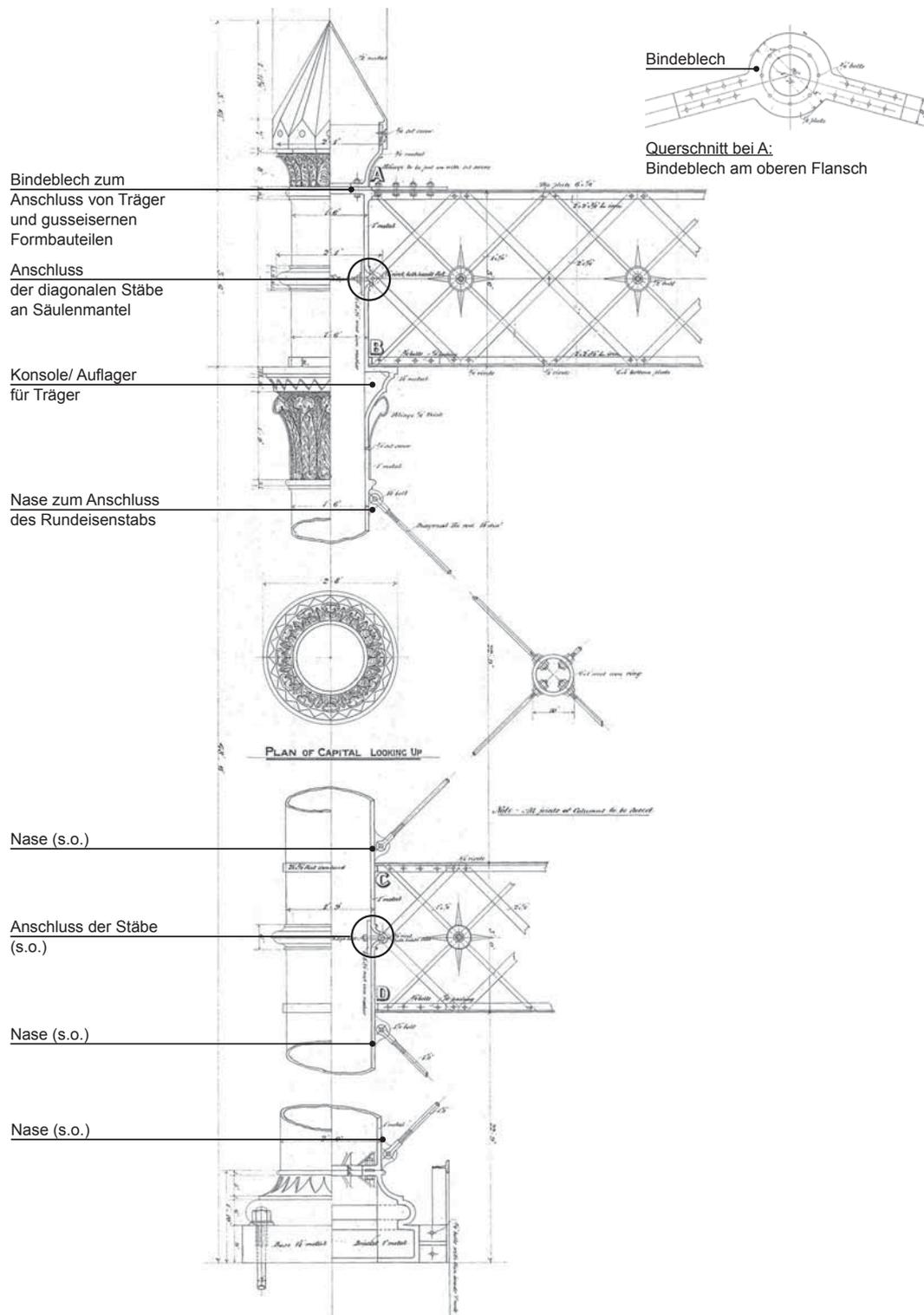


Abb. 159: Anschlussdetails von Träger und Verband an eine gusseiserne Säule in Chester (NGA, NWCHU/E/T/3).**

5. Stützengerüst

Die erste freistehende Gerüstform, die sich im Gasbehälterbau durchsetzte, war das **Stützengerüst**. Die Anordnung von freistehenden Stützen entlang des Kreisumfanges ermöglichte dem Hubteil eine tangential Führung an der Mantelfläche. Jede einzelne Stütze wurde mit einem Stab oder einer Schiene ausgestattet (Siehe Kap. C.2.2.-6.4.), an der sich das Hubteil mit entsprechenden Ösen oder Rollen auf und ab bewegte. So entstand auch der Begriff des „Gerüst-geführten Hubteils“. Die Stützen selbst wurden als Holzständer, gusseiserne Hohlensäulen oder Dreibein-Stützen gebaut³³⁰ und hatten kein horizontales Verbindungsbauteil.

5.1. Holzständer

In Chester (Abb. 160) wurde 1819³³¹ nach den Plänen Cleggs (Siehe Kap. B.5.-2.) einer der ersten freistehenden Gasbehälter (D= 14,60m; H= ca. 4,00m) gebaut, der im Vergleich zum zeitgleichen Pendant in Birmingham (Siehe Kap. C.2.3.-3.2.) mit einer tangentialen Führung konzipiert war. Das Führungsgerüst bestand aus vier Holzständern (A), die köcherartig über die gesamte Höhe des gemauerten Wasserbeckens verankert wurden. Diesen Ständern waren Führungsschienen aus Rundeisenstäben (B) vorgesetzt, an denen das Hubteil mit am oberen und unteren Rand angebrachten Ösen (C) auf- und abgeführt werden konnte.³³²

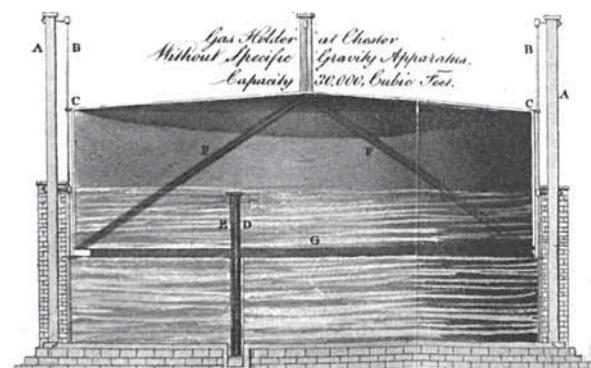


Abb. 160: Glockengasbehälter mit vier Holzständern in Chester (Accum, 1819, Plate VI).

Insgesamt kamen die einfachen Holzständer nur selten zum Einsatz³³³, da sich dieser Baustoff weniger für die ständigen Witterungseinflüsse und die variierenden Lasteinwirkungen eignete.

5.2. Gusseiserne Säulen

Die beiden Gasbehälter des Stoneyhurst College in Hurst Green (Abb. 161) wurden mit einem Stützgerüst aus sehr schlanken, gusseisernen Säulen mit vorgesetztem Führungsstab und Gegengewicht gebaut.³³⁴

Diese Stützenform wurde v.a. in der Frühphase bei sehr kleinen Gasbehältern eingesetzt. Da die Hubteilgrößen rasch anstiegen, erwiesen sich diese Säulen wegen ihrer schlanken Beschaffenheit eher als ungeeignet.

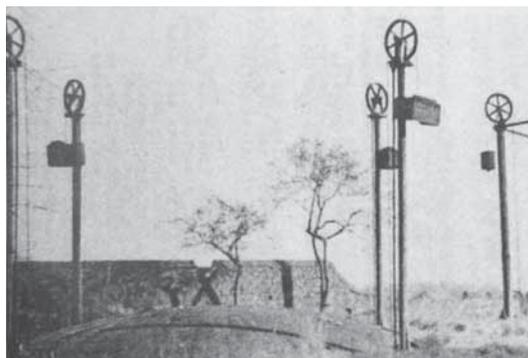


Abb. 161: Stützengerüst der Gasbehälter am Stoneyhurst College, 1922 (Bennett, 1986, p. 25).

330 Massive Mauerwerks Pfeiler wurden in England sehr selten verwendet (Hughes, 1865, p.179; Milbourne, 1923, p. 2). In anderen Ländern, wie z.B. Italien kamen diese jedoch vermehrt zum Einsatz (Siehe Kap. D.3.2.-1.2.3.).

331 Woolrich, 2002, p. 140

332 Accum, 1819, pp. 175–176; Colburn, 1865, p. 71

333 Hughes, 1865, p.179

334 Bennett, 1992, p. 20. Die erste Gasbeleuchtung dieses College wurde von Samuel Clegg 1811 eingerichtet.

5.3. Dreibein-Stützen aus Gusseisen

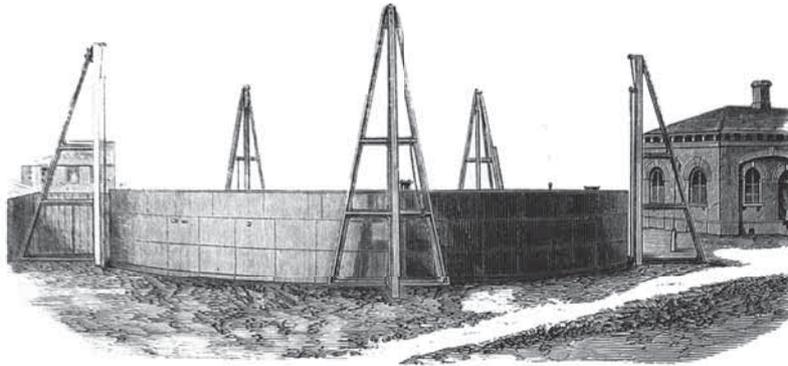


Abb. 162: Gasbehälter von 1829 mit Dreibein-Stützen am Gaswerk Fulham in London (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 117).

Mit zunehmendem Hubteildurchmesser wurde auch die Führungstechnik verbessert: Zum Einen wurde die Stützenanzahl erhöht, zum Anderen erhielt die Stütze eine stabilere Konstruktion – nämlich als gusseiserne Dreibein-Stütze, die sich aus drei T-förmig angeordneten, nach oben verjüngenden Schenkeln zusammensetzte.

Auf dem Gaswerk in Fulham, London wurde 1829 ein Stützengerüst (Abb. 162) für einen einhubigen Gasbehälter ($D= 15,20\text{m}$; $T= 5,50\text{m}$) gebaut. Die fünf gusseisernen Dreibein-Stützen setzten sich aus drei identischen, dreieckigen Schenkeln zusammen, die durch zwei horizontale Riegel in drei Felder gegliedert waren. An der Stirnseite angeordnete Rundeisenstäbe übernahmen die Führung des Hubteils.³³⁵

Clegg jun. beschrieb 1841 das Führungsgerüst eines Gasbehälters ($V= 4.248\text{m}^3$; $D= 26,67\text{m}$) mit acht gusseisernen Dreibein-Stützen (Abb. 163)³³⁶: Diese bestanden aus drei identischen Gitterträgern ($b_{\text{Fuß}}/h= 1,83/ 7,62\text{m}$), denen jeweils ein Stab zur Führung des Hubteils vorgesetzt war.

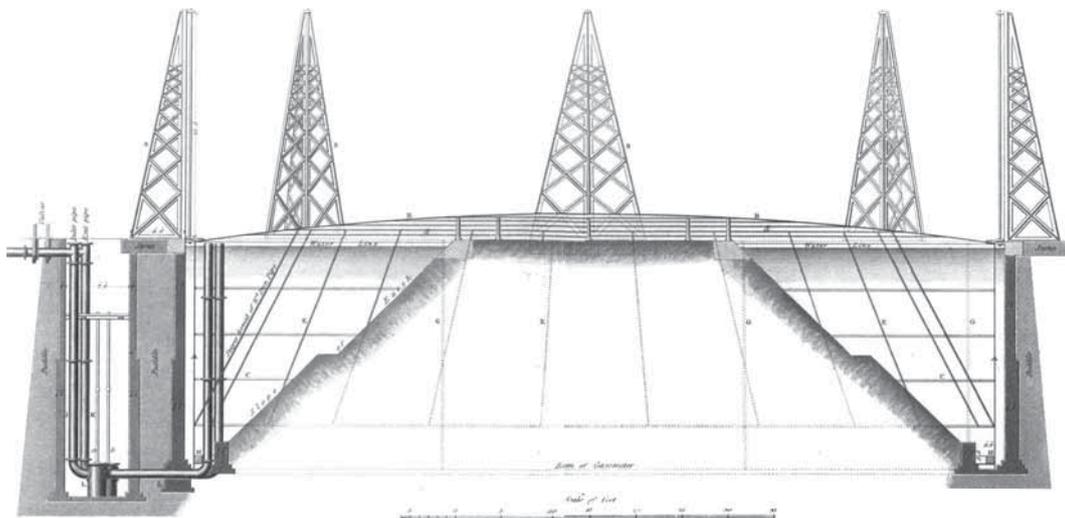


Abb. 163: Gasbehälter mit Dreibein-Stützen (Clegg, 1841, Plate XVI).

335 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 117
Die erfolgreiche Umsetzung dieses Stützengerüsts führte zum Bau von weiteren Gasbehältern wie die um 1850 in Bow Common und in Rotherhithe.

336 Clegg, 1841, pp. 130–131



Abb. 164: Dreibein-Stützen des Gasbehälters „Falkus“ auf dem Gaswerk Fulham, London (LMA, COLLAGE: the London Picture Archive, ref 214671).

Auf dem Gaswerk in Fulham, London wurde um 1830 der seinerzeit größte Gasbehälter (D= 30,48m; H= 9,14m; V= 5.663m³) nach den Plänen von *John Kirkham** fertig gestellt, dessen Hubteil von 12 gusseisernen Dreibein-Stützen geführt wurde (Abb. 164).³³⁷

Die drei Schenkel waren jeweils mit Kreisen und Ellipsen durchsetzt und auf halber Höhe mit liegenden Steifen verstärkt (Abb. 165).

Dieser Gasbehälter repräsentiert bis heute den weltweit ältesten, erhaltenen Gasbehälter.

Nach Tucker, 2014 entstanden Mitte des 19. Jahrhunderts die letzten und zugleich größten Gasbehälter, die mit Dreibein-Stützen konzipiert waren. Jedoch waren diese bereits mit horizontalen Rundeisenstäben bzw. Gitterträgern verstärkt (Siehe Seite 240).³³⁸



Abb. 165: Dreibein-Stützen des Gasbehälters in Fulham, London (BB, 2015).

337 Chrimes, 2008, p. 448–449; Tucker, 2014, p. 29

338 Tucker, 2014, p. 44

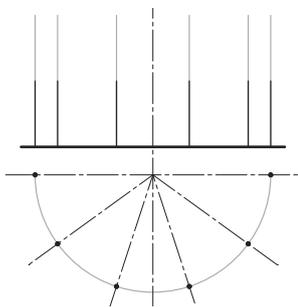
5.4. Zusammenfassung – Stützensgerüst

Nachdem das Hubteil zunächst zentral über Aufhängungen oder ein zentrales Rohr geführt wurde, setzte sich schließlich die tangentielle Führung durch, die auf einem fest- und freistehenden Gerüst basierte.

Dieses debütierte zunächst in Form eines Stützensgerüsts, das sich aus einzelnen, freistehenden Stützen zusammensetzte und überwiegend bei einhübrigen Gasbehältern eingesetzt wurde³³⁹. Jede Stütze war mit einem vorgesetzten Stab bzw. Schiene ausgestattet, an der die entsprechenden Ösen oder Rollen des Hubteils entlangliefen (Siehe Kap. C.2.2.-6.4.2.).

So wurde der lineare und symmetrische Bewegungsmechanismus des Hubteils – verglichen zum vorgehenden Führungsrohr – deutlich verbessert: Je größer die Stützenanzahl des Gerüsts war – und folglich auch die der Rollenanschlüsse – desto genauer und sicherer war das Heben und Senken des Hubteils. Teilweise nahmen die Stützenköpfe noch die Rollen auf, über die die Ketten der aufgehängten Hubteile liefen.

Bei zunehmendem Hubteildurchmesser war es zwar möglich, die Stützenanzahl weiter zu erhöhen, oder aber die Stützen horizontal zu koppeln und damit zur nächsten Gerüstform nämlich dem Rahmengerüst überzugehen (Siehe folgendes Kapitel).

Tab. 25: Zusammenfassung Stützensgerüst (nach Accum, 1819; Clegg, 1841; Hughes, 1865; Newbigging, Fewtrell, 1879)		
Stützensgerüst	Vorteile	Nachteile
 <p><u>Hübigkeit:</u> In der Regel einhübig. In einigen Fällen auch zweihübig.</p> <p><u>Geschossigkeit:</u> Eingeschossig.</p> <p><u>Bauweise:</u> Holz, Gusseisen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> + Tangentiale Führung des Hubteils ohne zentralen Durchdringungspunkt (wie beim zentralen Führungsrohr), + Einfacher Aufbau und Montage, + Hoher Vorfertigungsgrad, + Kostengünstiger als die Errichtung eines massiven Gasbehältergebäudes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Kein horizontaler Anschluss der Stützen untereinander, - Nur für einhübrige Gasbehälter bis zu einem Durchmesser von ca. 30,00m geeignet, - Teilweise Aufnahme von Rollen für Gegengewichte.

339 Auf dem Gaswerk in St. Pancras, London bestand um 1841 ein zweihübriger (!!) Gasbehälter (V= 8.495m³; D= 30,48m) mit 12 gusseisernen Dreibein-Stützen (H= 11,88m) (Clegg, 1841, pp. 140–141).

6. Rahmengerüst

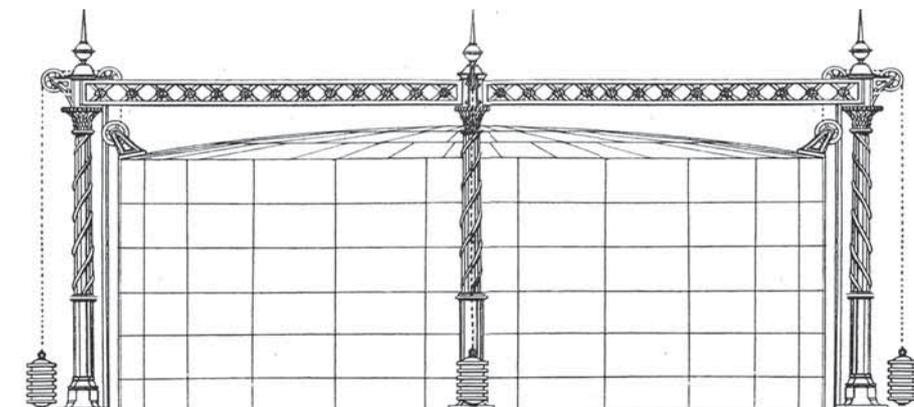


Abb. 166: Rahmengerüst mit Säulen und Gitterträgern in Sandringham (Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XXV.)

Um 1830 begann man, die freistehenden Stützen mit horizontalen Trägern zusammenzuschließen und erweiterte das bestehende Stützengerüst zum **Rahmengerüst**. Durch die Ergänzung der horizontalen Träger (Siehe Kap. C.2.3.-4.2.) entstanden dreiseitige Rahmen, die in ihrer Aneinanderreihung einen Gerüstring bildeten und so die Stabilität der Konstruktion deutlich verbesserten. Im Vergleich zum Stützengerüst war das Rahmengerüst sowohl für ein-, als auch für mehrhüblige Gasbehälter geeignet. Dieses Kapitel erläutert die Entstehung und die Entwicklung des Rahmengerüsts, das von der eingeschossigen, niedrigen und hohen Ausführung bis hin zum standardisierten, mehrgeschossigen Modell für Teleskopgasbehälter reicht.

6.1. Rahmengerüste für einhüblige Gasbehälter – Einfache Ordnung

Für einhüblige Gasbehälter wurden grundsätzlich eingeschossige Rahmengerüste gebaut. Da die Höhe eines Gerüstrings einem Hubteil entsprach, spiegelte dieses Gefüge die sogenannte **einfache** oder **niedrige Ordnung** wider.

6.1.1. Rahmengerüste mit Säulen

Die ersten Rahmengerüste waren für kleinere Behälter konzipiert und bestanden lediglich aus drei oder vier Säulen, die über einen dreieckigen oder quadratischen Trägerkranz horizontal zusammengeschlossen wurden. Mit zunehmenden Gasbehältergrößen wurde auch die Säulenanzahl erhöht. Für die Ausführung der Säulen wurden einteilige, schlanke Säulen oder zweiteilige Säulen mit nach innen gerichtetem Flansch verwendet.

Im King`s Treatise wurde ein Glockengasbehälter ($D= 9,14\text{m}$; $H= 3,66\text{m}$)³⁴⁰ eines kleineren Gaswerks in Sandringham mit einem eingeschossigen Rahmengerüst dargestellt (Abb. 166), bestehend aus vier stark ornamentierten Säulen und vier Gitterträgern. Jede Säule setzte sich aus einem Postament, einem Säulenschaft, einem Architrav – zum Anschluss der Träger und Räder der Gegengewichte – und einer spitzen Fiale zusammen; die Führungsschienen waren jeweils vor den Säulen positioniert.

340 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 279. Die ausführende Firma war C. & W. Walker. Hughes beschrieb die vier Säulen eines ähnlichen Glockengasbehälters ($D_{\text{Hubteil}} = 12,19\text{m}$; $H_{\text{Hubteil}} = 4,57\text{m}$) mit einem verjüngenden Durchmesser ausgehend von 230mm bis 180mm am Kopf; die Führungsschiene war als hervorspringende Rippe bereits in dem gusseisernen Formbauteil integriert. Die Säulen wurden mit vier genieteten Blechträgern aus T-Eisen ($b/h= 76/102\text{mm}$; $t= 13\text{mm}$), Rundeisen ($d= 19\text{mm}$) und Flacheisen ($b= 25\text{mm}$) angeschlossen. (Hughes, 1865, pp. 197–198).

Als die Hubteile größere Abmessungen annahmen, empfahl sich die Erhöhung der Säulenzahl, um die korrekte Position des Hubteils aufrecht zu erhalten und so einem Verschieben oder Verkippen vorzubeugen, was wiederum zu Verformungen des Gerüsts führte.

Verformung des Gerüsts – Erhöhung der Säulenzahl

Anfang des 19. Jahrhunderts stellte der Gasbehälterbau einen neuen Sektor in der Baubranche dar und man konnte kaum auf konstruktive Erfahrungswerte zurückgreifen. Somit unterlag insbesondere die Gerüstkonstruktion einem ständigen Optimierungsprozess.

In der Regel wurde das Auf- und Abbewegen des Hubteils (*Abb. 167, links*) zu gleichen Teilen auf die

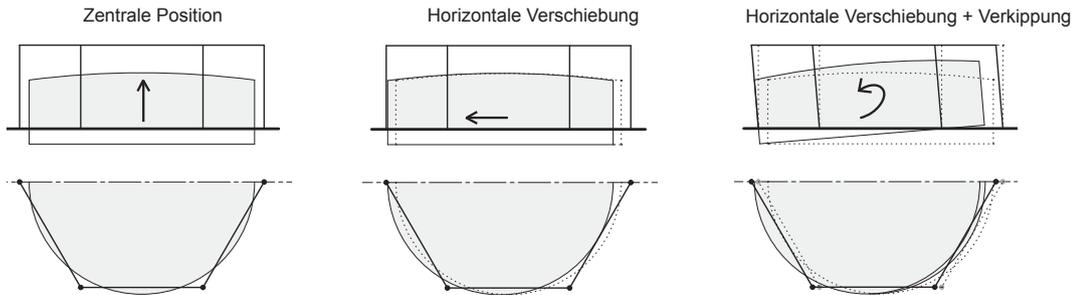


Abb. 167: Position des Hubteils (Schemata, BB, 2016).

Säulen des Führungsgerüsts übertragen. Falls jedoch das Hubteil seine zentrale Position verließ – z.B. durch ungleichmäßig angeordnete Gewichte entlang des Kuppelrandes, führte dies zu asymmetrischen Belastungen und Verformungen des Gerüsts, die bis hin zu dessen Versagen führen konnten (*Siehe Kap. D.3.2.-1.2.4.*).

Das Ausmaß der Verformungsschäden war von der Art der Fehlstellung des Hubteils und dem Gerüstaufbau abhängig:

- **Fehlstellung des Hubteils:** Eine horizontale Verschiebung des Hubteils (*Abb. 167, Mitte*) – z.B. durch Wind³⁴¹ – führte tendenziell zu leichten bis mittleren Verformungsschäden am Gerüst. Eine zusätzliche Verkipfung (*Abb. 167, rechts*) konnte hingegen starke Verformungsschäden verursachen, da das Gerüst nun neben der horizontalen auch die vertikale Fehlstellung des Hubteils aufnehmen musste. Eine Verkipfung war beispielsweise durch eine ungleichmäßige Belastung der Kuppel mit zusätzlichen Gewichten möglich³⁴². Eine Disposition dieser Art endete meist mit dem Versagen des Gerüsts.
- **Gerüstaufbau:** Frühe Rahmengerüste basierten auf einer geringen Säulenzahl, weshalb diese etwaigen Fehlstellungen des Hubteils weniger standhalten konnten und den Verformungsverlauf des Gerüsts eher begünstigten.

Aus dieser Verformungsfigur wurde ersichtlich, dass die Aussteifung der frühen, eingeschossigen Rahmengerüste unzureichend war. Dies hatte zur Folge, dass die Säulenzahl erhöht wurde.³⁴³

³⁴¹ Herring, 1893, p. 279

³⁴² Zum Versagen eines Rahmengerüsts Lendinara siehe *Kapitel D.3.2.-1.2.4.*

³⁴³ Bei mehrhubigen Gasbehältern gefährdete eine Schiefstellung der Hubteile nicht nur das Gerüst, sondern auch die Tassenkonstruktion, was v.a. bei Gasbehältern mit großen Nutzvolumina zutrif. (Dempster, 1925, p. H37).

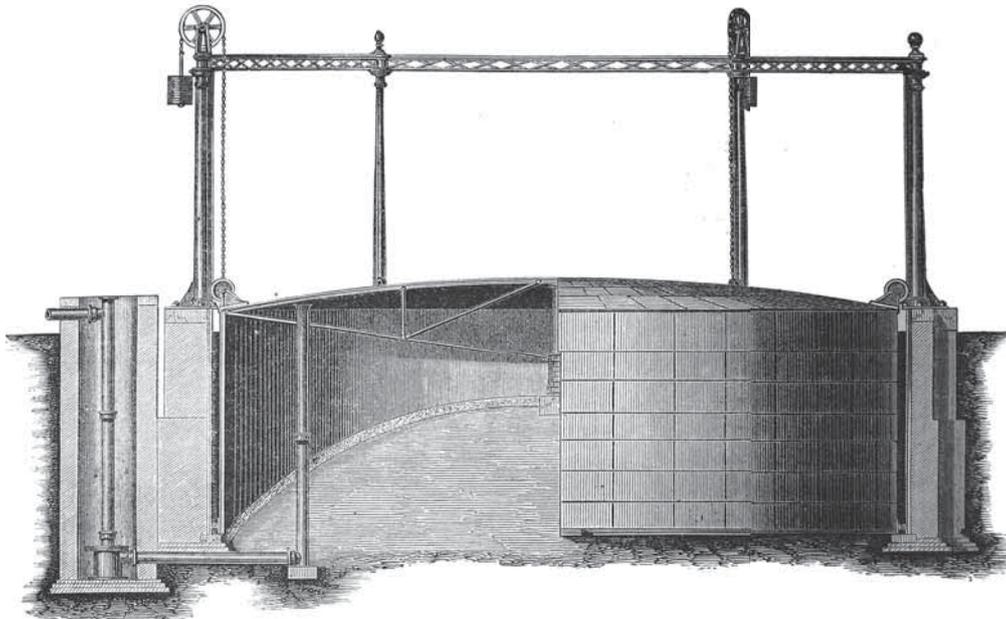


Abb. 168: Rahmengerüst mit schlanken, einteiligen Säulen aus Gusseisen und schmiedeeisernen Gitterträgern (Newbigging, Fewtrell, 1879, p.119).

Das Rahmengerüst eines etwas größeren Gasbehälters ($D = 12,20\text{m}$; $H_{\text{Gerüst}} = 4,60\text{m}$) war mit sechs schlanken, gusseisernen Säulen konzipiert (Abb. 168). Jede Säule hatte einen sich nach oben verjüngenden Querschnitt und war mit einem Kapitell, sowie mit einer Basis ausgestattet. Drei Säulen hatten ein bekrönendes, dekoratives Abschlusselement – eine Kugel; die anderen Säulen waren mit einem Rad für die Kette der Gegengewichte ausgestattet. Die Führungsschiene war als Rippe in den Säulenquerschnitt integriert. Für den Anschluss zum gemauerten Wasserbecken waren die Säulen jeweils am Fuß mit Steifen und einer Fußplatte ausgebildet.³⁴⁴

In Fakenham wurde 1888³⁴⁵ ein ähnliches Rahmengerüst vermutlich nach den Plänen von *Robert Spice** gebaut (Abb. 169)³⁴⁶, und zwar bestehend aus sechs schlanken Säulen mit Architraven und Fialen sowie einem Trägerkranz aus Gitterträgern.

Nach Hughes, 1865 wurde ein einhübiger Gasbehälter ($D_{\text{Becken}} = 44,20\text{m}$; $T_{\text{Becken}} = 16,76\text{m}$) mit einem eingeschossigen Gerüst aus 16 gusseisernen Säulen gebaut: Jede Säule ($d_{\text{Fuß}} = 914\text{mm}$; $d_{\text{Kopf}} = 685\text{mm}$) setzte sich aus maximal vier Teilen zusammen, die über innen liegende Flansche verschraubt wurden³⁴⁷. Mit zunehmenden Hubteilgrößen stieg neben der Säulenzahl auch der Säulendurchmesser, wie ein Beispiel in Spennymore zeigt, das mit neun – vermutlich zweiteiligen – Säulen und Gitterträgern gebaut wurde (Abb. 170); der Säulenkopf war jeweils mit einem Aufsatz für das Rollenpaar ausgestattet, über das ursprünglich Ketten für die Gegengewichte liefen.

Da die ersten Rahmengerüste überwiegend mit Säulen ausgeführt wurden, bezeichnete man diese auch oft als **Säulengerüst**³⁴⁸.

344 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 119–120

345 Tucker, 2014, p. 22

346 Tweedie, 2019

347 Hughes, 1865, p. 202

348 Rödel, 1983, p. 121

„(...) Bei der Säulenform umgaben den Behälter aus Blechprofilen zusammengesetzte Säulen oder Ständer, (...) die am unteren Ende eingespannt und durch Fachwerkträger je nach Höhe in einem oder mehreren Ringen horizontal verbunden waren. Die Standfestigkeit der Säulengerüste beruht auf der Biegesteifigkeit der einzelnen Säulen. (...)“

Dieser Begriff wurde auch dann noch beibehalten, als T-, I- oder kastenförmige Stützen die Säulen ersetzt hatten.

Im Englischen etablierte sich der Begriff „column-guided“ (dt.: säulen-geführt) für Gerüst-geführte Hubteile, wobei auch hier der Begriff mit der Einführung der Stützen nicht angepasst wurde.



Abb. 169: Rahmengerüst eines Gasbehälters mit schlanken, gusseisernen Säulen in Fakenham, Baujahr 1882 (BB, 2015).



Abb. 170: Rahmengerüst mit neun Säulen in Spennymoor, um 1949 (NGA, NO/TE/X/P/5).

Als Ertüchtigungsmaßnahme



Abb. 171: Dreibein-Stützen mit horizontalem Gitterträger, Old Kent Road, London, 1871 (Layton, 1920, p. 34i).**

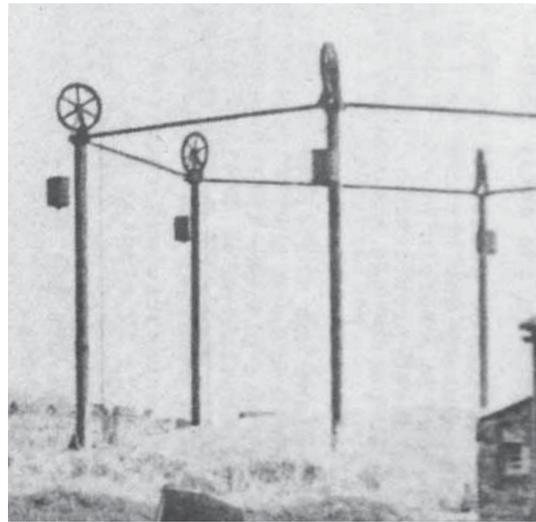


Abb. 172: Rahmengerüst am Stoneyhurst College um 1922 (Bennett, 1986, p. 25).

Rahmengerüste entstanden nicht nur als Neubauten, sondern auch durch Ertüchtigungsmaßnahmen: Bestehende Stützengerüste wurden durch das nachträgliche Ergänzen von horizontalen Trägern zu Rahmengerüsten erweitert:

- Die horizontalen Gitterträger eines Gasbehälters an der Old Kent Road, London wurden vermutlich erst nachträglich zwischen die Dreibein-Stützen eingebaut (Abb. 171, im Hintergrund).
- Die schlanken – einst freistehenden – Säulen eines Gasbehälters des Stoney Hurst Colleges wurden ebenfalls später mit horizontalen Trägern aus Flach- oder Winkeleisen verstärkt (Abb. 172).
- Auf dem Gaswerk in Longport befand sich ein Rahmengerüst, bestehend aus drei gusseisernen Säulen mit aufgesetzten Rollenböcken und jeweils drei unterspannten Trägern (Abb. 173), die wohl nachträglich eingebaut wurden.³⁴⁹



Abb. 173: Säulengerüst mit nur drei Säulen und Rollen für Gegengewichte, Longport Gasworks (NGA, BG29/SW/EB/82).

349 Keine Angaben zu Nutzvolumen, Ingenieur und Baujahr noch darüber wann das Foto erstellt wurde.

6.1.2. Rahmengerüste mit Stützen

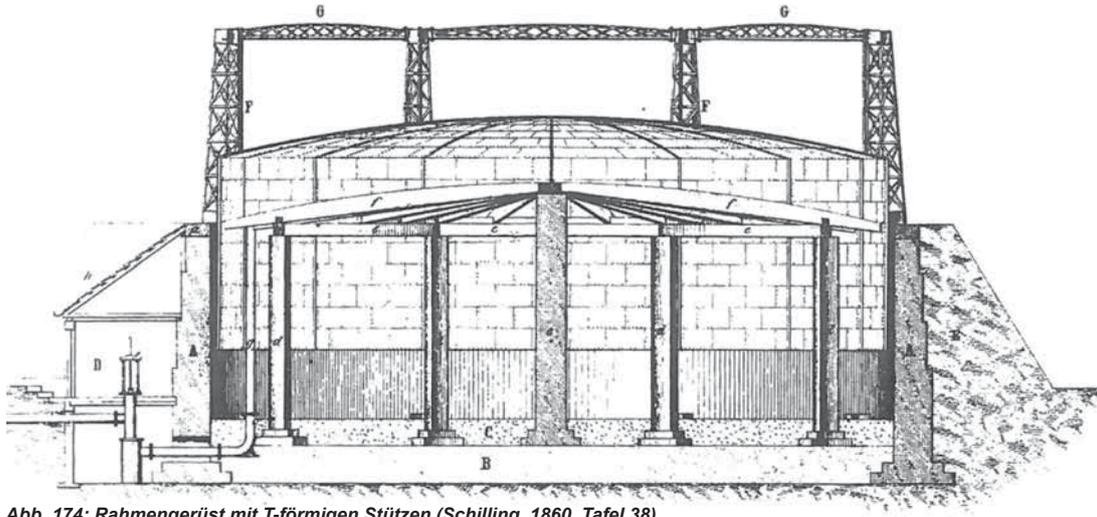


Abb. 174: Rahmengerüst mit T-förmigen Stützen (Schilling, 1860, Tafel 38).

Da der Einsatz von Stützen zu dem Zeitpunkt aufkam, als der Bau von Teleskopgasbehältern bereits etabliert war, waren Rahmengerüste mit Stützen bei einhübigen Gasbehältern eher selten. Schilling beschrieb 1860 das Rahmengerüst (Abb. 174) eines Gasbehälters ($D_{\text{Becken}} = 21,34\text{m}$; $T_{\text{Becken}} = 6,20\text{m}$) mit acht genietet, T-förmigen, sich verjüngenden Fachwerkstützen, die am Kopf mit nach oben gewölbten Gitterträgern zusammengeschlossen wurden; vorgesetzte Eisenbahnschienen dienten zur Führung des Hubteils.³⁵⁰

Diese Gerüstform kam überwiegend bei kleineren Gaswerken zum Einsatz, wie es das Beispiel in Somerton zeigt (Abb. 175).³⁵¹

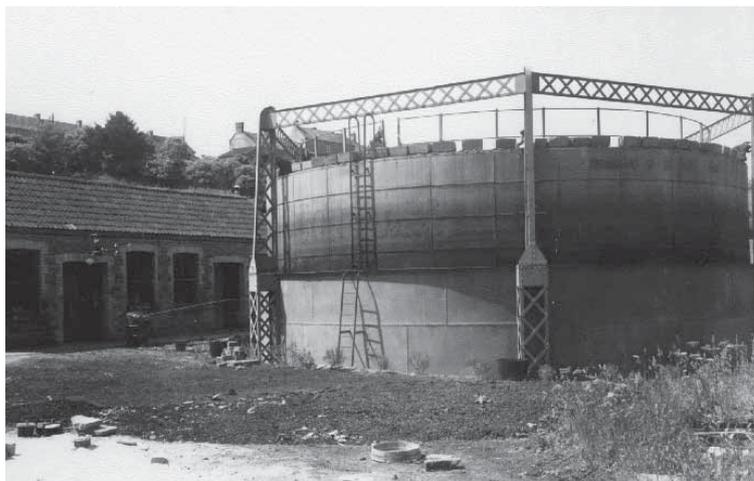


Abb. 175: Rahmengerüst eines Gasbehälters in Somerton (NGA, BG29/SW/EB/90).

350 Schilling, 1860, pp. 178–180

351 Anm. d. Verfasserin: Der Durchmesser des Gasbehälters wird auf ca. 15,00m und die Gesamthöhe des Gerüsts auf ca. 7,00m geschätzt. Das Datum der Fotoaufnahme ist unbekannt.

6.2. Rahmengerüste für mehrhubige Gasbehälter

Mit der Einführung der Teleskopiertechnik (*Siehe Kap. C.2.2.-6.*) war auch eine entsprechende Erweiterung des Führungsgerüsts erforderlich, das nun zur Führung von zwei Hubteilen diente.

Der Aufbau des Rahmengerüsts durchlief die Entwicklung von der Hochordnung zur additiven Ordnung.

6.2.1. Eingeschossige Rahmengerüste – Hochordnung

Die ersten zweihubigen Gasbehälter wurden mit eingeschossigen Rahmengerüsten gebaut, die der sogenannten **Hochordnung** folgten.

Dabei wurde grundsätzlich mit zwei verschiedenen Säulenarrangierungen ausgeführt:

- Als **Doppelsäule** – In jeder Achse wurden mehrere aufeinander gesetzte Säulenpaare angeordnet.
- Als **Einfache Säule** – Für jede Achse war jeweils eine durchlaufende, singuläre Säule vorgesehen.

Doppelsäulen

Diese Gerüstform debütierte bei der ersten erfolgreichen Realisierung eines zweihubigen Gasbehälters (*Abb. 176*), der 1834 nach den Plänen *Stephen Hutchisons** in Vauxhall, London errichtet wurde (*Siehe Kap. C.2.2.-6.2.1.*)³⁵²:

Die Hubteile wurden durch vier Doppelsäulen unterstützt. Diese setzten sich jeweils aus einem Postament (P) und drei Säulenpaaren zusammen. Letztere waren jeweils mit einer Basis, einem Kapitell, einem Halsring und einem Architrav ausgestattet. Das hölzerne Trägerkreuz (K) lagerte auf den oberen Architraven und nahm die Rollen (R) auf, über die die Ketten zur Führung des ersten Hubteils (H1) liefen.³⁵³

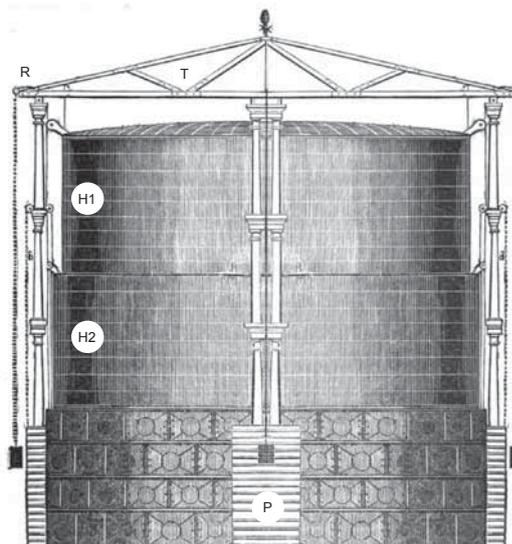


Abb. 176: Hutchisons Teleskopgasbehälter mit Doppelsäulen in Vauxhall, London (Clovis, 1836, p. 321).**

Um 1840 bestanden bereits drei weitere, zweihubige Gasbehälter ($D_{\text{Becken}} = \text{ca. } 18,30\text{m}$; $H_{\text{Gerüst}} = \text{ca. } 11,00\text{m}$)³⁵⁴ auf dem Gaswerk in Westminster,

London (*Abb. 177*): Die Rahmengerüste setzten sich jeweils aus drei Doppelsäulen zusammen, die mit einem dreieckigen Trägerkranz (T) gekoppelt wurden. Der Aufbau der Säulenachse folgte grundsätzlich dem Beispiel von Hutchison.

Der Trägerkranz bestand aus drei gusseisernen Trägern, deren Steg mit Kreisen durchsetzt war und sich zur Feldmitte hin wölbte. Die Hubteile wurden ausschließlich über Gegengewichte geführt, deren Räder auf zwei Ebenen montiert waren: Zum Einen an den Ecken des Trägerkranzes (G1) und zum Anderen am Architrav (G2).

In York wurde nach den Plänen von *Joseph Braddock** einer der größten, zweihubigen Gasbehälter errichtet: Das untere Hubteil hatte einen Durchmesser von 32,14m und das Rahmengerüst bestand aus zehn gusseisernen Doppelsäulen ($H = \text{ca. } 16,50\text{m}$). Jede Achse bestand jeweils aus drei Säulen-

352 Clovis, 1836, p. 322

353 Eine ähnliches Rahmengerüst wurde von Clegg jun. 1841 in seinem Handbuch aufgeführt (*Siehe Kap. C.2.2.-6.2.2.*). Im Vergleich zu dem Gerüst von Hutchison wurden die beiden Hubteile jedoch nur an drei vertikalen Achsen mit Doppelsäulen unterstützt und das Trägerkreuz durch einen dreieckigen Trägerkranz ersetzt (Clegg, 1841, pp. 134–139).

354 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 125

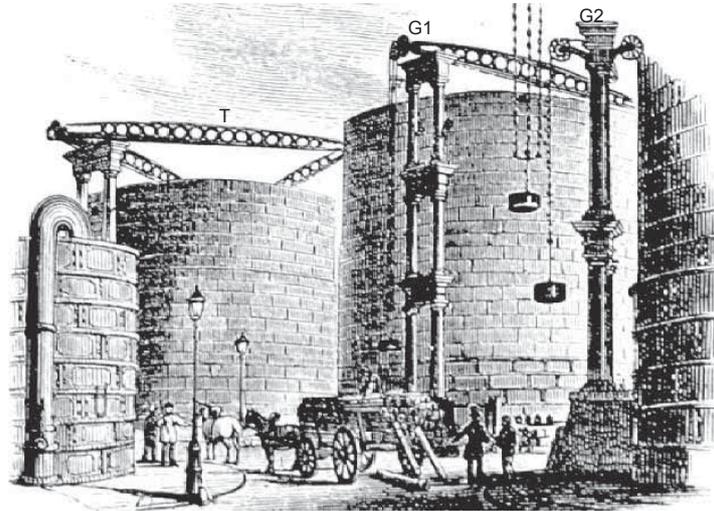


Abb. 177: Zweihüblige Gasbehälter mit eingeschossigen Rahmengerüsten auf dem Gaswerk in Westminster, London (NGA, from engraving, g02773).**

paaren, die mit eigenen Kapitellen, Basen und Architraven ausgestattet waren. Das untere Säulenpaar fußte auf einem mehrteiligen Postament und der Architrav des oberen Säulenpaares wurde mit einem Giebdreieck abgeschlossen. Die Höhe und der Durchmesser der Säulenpaare nahmen von den unteren zu den oberen ab. Auf dem Architrav des zweiten Säulenpaares befanden sich Rollen, über die die Ketten zur Unterstützung des zweiten Hubteils liefen. Die gusseisernen Träger ($L = 9,14\text{m}$) wurden jeweils paarweise angeordnet und hatten einen asymmetrischen Querschnitt – der untere Flansch ($b/h = 127/25\text{mm}$) war breiter als der obere ($b/h = 76/25\text{mm}$). Der Steg wölbte sich zur Mitte hin ($h_{\text{max}} = 761\text{mm}$) und war kreisförmig durchsetzt. Je Doppelsäule waren zwei Führungsschienen angeordnet, die zur Führung der Hubteile dienten.³⁵⁵

Um 1890 wurden die Rahmengerüste für Teleskopgasbehälter kaum noch mit Doppelsäulen gebaut, da sich diese Gerüstform durch die steigende Säulenanzahl als kostspielig erwies und dieser Aufbau dem damaligen Stand der Technik weit nicht mehr entsprach (Siehe folgende Kapitel).³⁵⁶

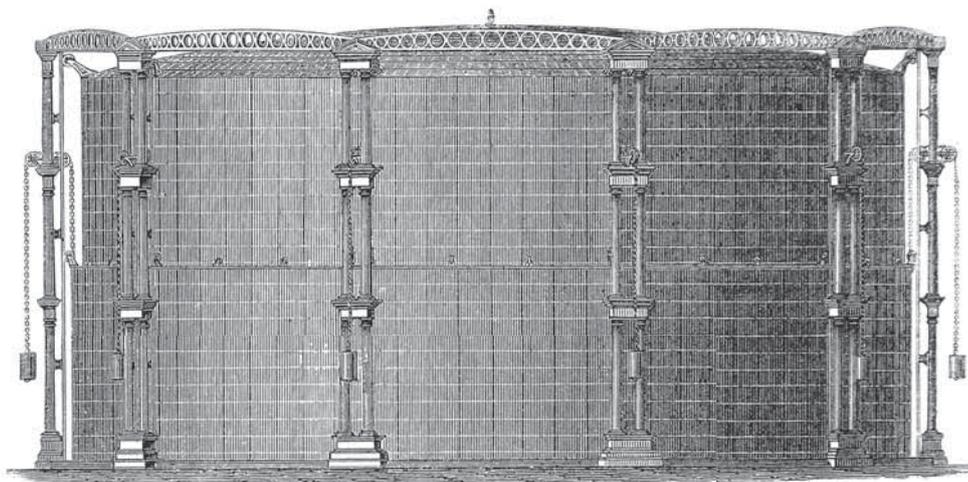


Abb. 178: Zweihübliger Gasbehälter mit Doppelsäulen in York (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 130).

355 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 130

356 JGL-52, 1888, p. 588

Einfache Säule – Hochsäule

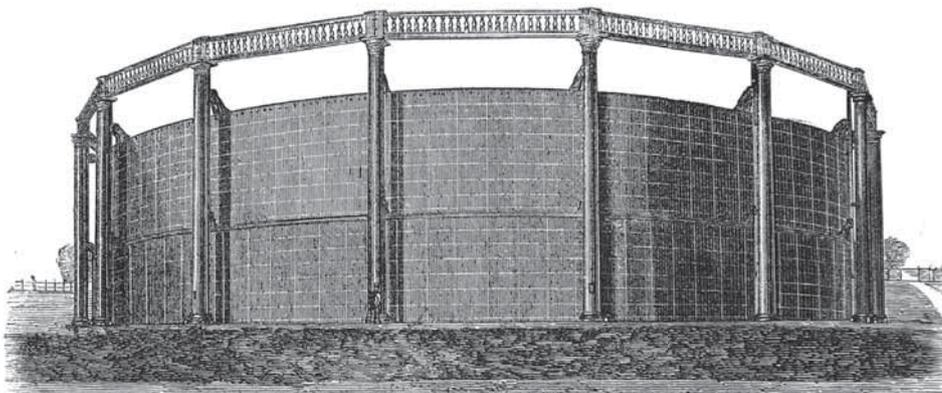


Abb. 179: Rahmengerüst mit Hochsäulen in Kennington, London (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 131).

Mit zunehmendem Durchmesser wurde die Säulenzahl erhöht und die Doppelsäule allmählich von der einfachen Säule ersetzt, die durch einen einzigen, durchlaufenden Säulenschaft gekennzeichnet war und deshalb auch als **Hochsäule** bezeichnet wurde.

1844 wurde ein kleiner, zweihübiger Gasbehälter ($V = \text{ca. } 5.000\text{m}^3$) an der Blackfriars Station gebaut, dessen Gerüst sich aus 12 Hochsäulen und nur einem Trägerkranz zusammensetzte.³⁵⁷

Um 1847 wurde der seinerzeit größte, zweihübige Gasbehälter ($D = 45,72\text{m}$; $V = 17.840\text{m}^3$) in Kennington, London errichtet (Abb. 179). Das Gerüst ($H = \text{ca. } 12,00\text{m}$) bestand aus 16 Hochsäulen aus Gusseisen, die jeweils mit einer Basis und einem Kapitell ausgestattet waren. Auf letzterem war ein Trägerkranz aufgesetzt, der wohl aus Kompositrägern mit ornamentreich gestalteten Mäanderbändern bestand. Den Hochsäulen waren Führungsschienen vorgelagert.³⁵⁸

1856 wurde auf dem Gaswerk an der Old Kent Road in London ein zweihübiger Gasbehälter ($D = 33,53\text{m}$) nach den Plänen von *George Thomas Livesey** errichtet (Abb. 180): Das Rahmengerüst bestand aus 12 Hochsäulen ($H = 13,70\text{m}$) und wabenförmigen Gitterträgern aus Gusseisen.³⁵⁹

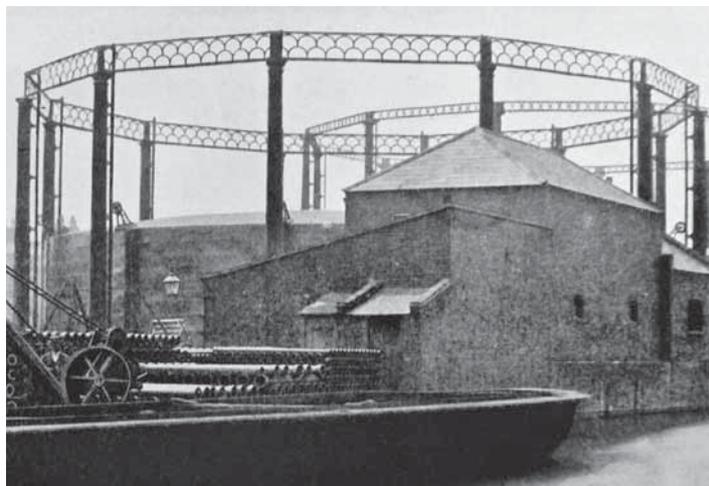


Abb. 180: Hochsäulen mit Gitterträger des Gasbehälter N°7 auf dem Gaswerk in der Old Kent Road, London (Layton, 1920, p. 24i).

³⁵⁷ Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 176

³⁵⁸ Colburn, 1865, p. 83; Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 131–132
In Bethnal Green, London wurde um 1853 ein ähnliches Rahmengerüst für einen Gasbehälter ($V = 17.840\text{m}^3$) errichtet (Tucker, 2014, p. 80).

³⁵⁹ Layton, 1920, pp. 25–26
Ausführende Firmen: Piggott (Eisenbau – Schmiedeeisen), Mackenzie (Wasserbecken), Westwood & Wright (Gusseisen)
Weiterführende Literatur zum Leben und Wirken von George T. Livesey siehe Mills, 2013 und Mills 2019.

Das Rahmengerüst eines zweihübrigen Gasbehälters ($V=73.624\text{m}^3$), der 1867 auf dem Gaswerk in Fulham, London in Betrieb genommen wurde, sorgte ob seines ornamentreichen Rahmengerüsts für besonderes Aufsehen (Abb. 181) als

„(...) one of the handsomest structures of its kind.“³⁶⁰

Thomas Kirkham* entwarf dafür 28 gusseiserne Hochsäulen ($H_{\text{gesamt}} = 21,34\text{m}$), die sich aus folgenden Formteilen zusammensetzten:³⁶¹

- Das zylindrische Postament gliederte sich in Plinthe, Basis, kanelliertem Schaft und einem Kapitell und bestand insgesamt aus drei gegossenen Einzelteilen.
- Die Säule bestand aus vier kanellierten Säulentrommeln, die wiederum aus vier segmentförmigen Teilen gebaut wurden. Die Basis und das Kapitell wurden additiv an den Schaft angesetzt; das korinthische Kapitell setzte sich aus acht Einzelbauteilen zusammen. Zu beiden Seiten des Kapitells waren vorspringende Kämpferelemente für die anschließenden Träger angebracht.
- Der Architrav war als hoher, kastenförmiger Aufsatz konzipiert, der zum Anschluss der Träger diente.
- Die Fiale bekrönte den Architrav und schuf einen Übergang von dessen rechteckiger Form zu einer filigranen, rautenförmigen Spitze.
- Die Kompositräger stellten eine Sonderform dar – die voutenförmige Aufweitung verlieh der konventionellen, orthogonalen Form der Gerüstfelder nahezu den Charakter einer Arkade. Der obere Flansch des Trägers setzte sich aus einem Winkeleisenpaar und zwei vertikalen Blechstreifen zusammen. Beim unteren Flansch wurden nur Winkeleisen eingesetzt. Zwischen den Flanschen befand sich der durchsetzte Steg, der sich mit geschwungenen, floralen Strängen präsentierte.

Aufgrund seines repräsentativen Erscheinungsbildes wurde dieser Gasbehälter auch als „The Sultan“ bezeichnet.³⁶²

Die sogenannte Hochordnung basierte zwar überwiegend auf Säulen, wurde aber auch in einigen Fällen mit **Stützen** umgesetzt:

Nach den Plänen Alexander Crolls* entstanden z.B. um 1850 vier zweihübrige Teleskopgasbehälter ($V=11.327\text{m}^3$) in Bow Common, London – mit 12 T-förmigen, gusseisernen Stützen ($H=16,15\text{m}$). Diese bestanden aus drei identischen, sich nach oben verjüngenden, dreiteiligen Schenkeln, deren Stege mit Vierpässen durchsetzt waren. Die Stützen waren jeweils am Kopf mit T-Eisen ($h=152\text{mm}$) zusammengeschlossen; die Rahmengerüste der vier Gasbehälter waren zudem untereinander verbunden.³⁶³

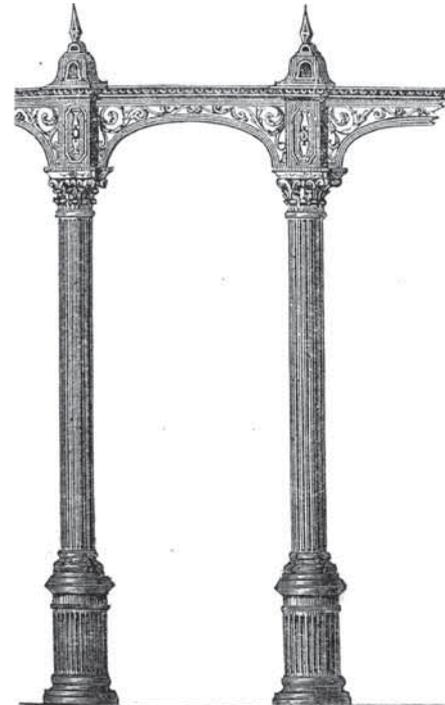


Abb. 181: Ornamentreich gestaltete Hochsäulen in Fulham, London (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 163).

360 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 163. „(...) eine der ansehnlichsten Konstruktionen dieser Art.“ (Übers. d. Verfasserin).

361 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 163–169. Die ausführenden Firmen waren: Westwood & Wrights (Hubteile), Staveley Coal and Iron Company (Gusseisenbauteile), John Aird & Sons (Wasserbecken).

362 Tucker, 2014, p. 46

363 Hughes, 1853, pp. 224–225; Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 126–127

Im King's Treatise waren die Stützen jeweils mit kegelförmigen Fialen bekrönt und die Stege nicht mit Vierpässen – wie es Hughes schilderte, sondern mit Kreisen durchsetzt.

6.2.2. Mehrgeschossige Rahmengerüste – Mit Säulen

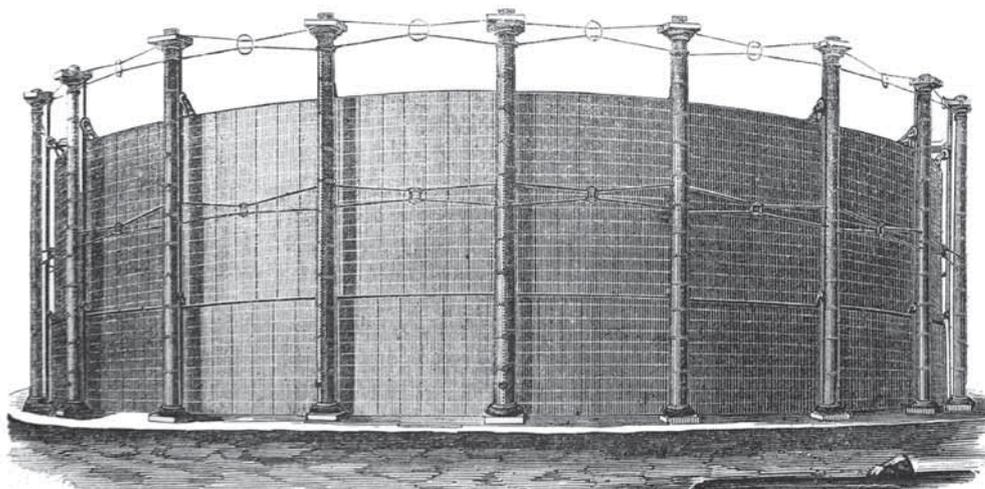


Abb. 182: Genietete Hochsäulen mit zweifacher Trägerlage in Kennington, London (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 131).

Durch die Einführung eines zweiten Trägerkranzes erhielt das ursprünglich eingeschossige Rahmengerüst einen zweigeschossigen Aufbau. Basierend auf Säulen waren zwei Ausführungen möglich:

- Als **Verstärkte Hochordnung**: Die durchlaufenden Hochsäulen (Siehe vorgehendes Kapitel) wurden mit einer zweiten Trägerlage verstärkt.
- Als **Additive Ordnung**: Mehrere eigenständige Gerüstringe, die jeweils aus Säulen und Trägern bestanden, wurden aufeinander gesetzt.

Verstärkte Hochordnung

In Kennington, London wurde 1855 ein zweihübiger Gasbehälter ($D_{2, \text{Hubteil}} = 48,77\text{m}$) mit 16 Hochsäulen ($H = 22,25\text{m}$) nach den Plänen *William Innes** gebaut (Abb. 182); letztere bestanden aus genieteten, schmiedeeisernen Rundrohren ($L = 1830\text{mm}$; $d_{\text{Rohr}} = 810\text{--}1000\text{mm}$; $t = 21\text{--}31\text{mm}$). Jede Säule war mit einem Kapitell und einer Basis ausgestattet; letztere verbarg den Anschluss an die gusseiserne Fußplatte³⁶⁴. Die einzelnen Säulen wurden am Kopf und ungefähr auf halber Säulenhöhe mit jeweils vier Rundeisenstäben ($d = 38$ bzw. 51mm) zusammengeschlossen, die jeweils mit einem zentralen Spannring eingepasst wurden.³⁶⁵

Ende des 19. Jahrhunderts wurden die Rundeisenstäbe durch Gitterträger ersetzt (Abb. 183). Innes Gasbehälter blieb das einzige Beispiel mit genieteten Hochsäulen³⁶⁶.

Ein ähnliches Gerüst wurde 1876 auf dem Gaswerk Battersea, London fertig gestellt – jedoch mit 20 gusseisernen Hochsäulen ($H = 19,00\text{m}$) und einem oberen Gitterträgerkranz.³⁶⁷

1876 wurde für Redcar ein zweihübiger Gasbehälter ($D_{2, \text{Hubteil}} = 24,38\text{m}$) geplant (Abb. 184), dessen zweigeschossiges Rahmengerüst aus 10 gusseisernen Hochsäulen ($H = \text{ca. } 13,50\text{m}$) bestand. Diese waren mit einer Basis, einem Kapitell, einem Architrav und einer Fiale ausgestattet. Die oberen Gitterträger wurden am Architrav befestigt, wohingegen die mittleren Träger an den Säulenschaft gestoßen wurden, der an dieser Stelle jeweils mit kleinen Nasen bzw. Konsolen ausgebildet war.

364 Dieser Anschluss bestand aus einem umlaufenden Winkeleisen, mit dem das untere Rundrohr mit der Fußplatte vernietet wurde (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 132).

365 Colburn, 1865, pp. 68, 75–77; Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 132; Tucker, 2014, p. 45

366 Tucker, 2014, p. 45

367 Tucker, 2014, pp. 126–127; Tucker, 2014b, p. 18

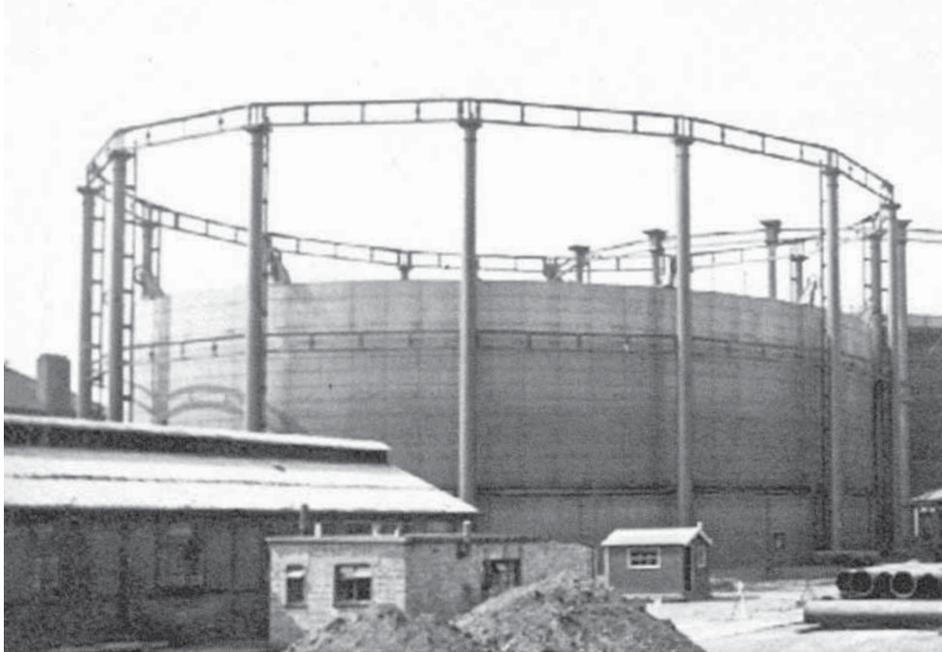


Abb. 183: Neue Trägerlagen zwischen den Hochsäulen, Kennington - London, 1960 (NGA, BG11/SE/EB3/1).

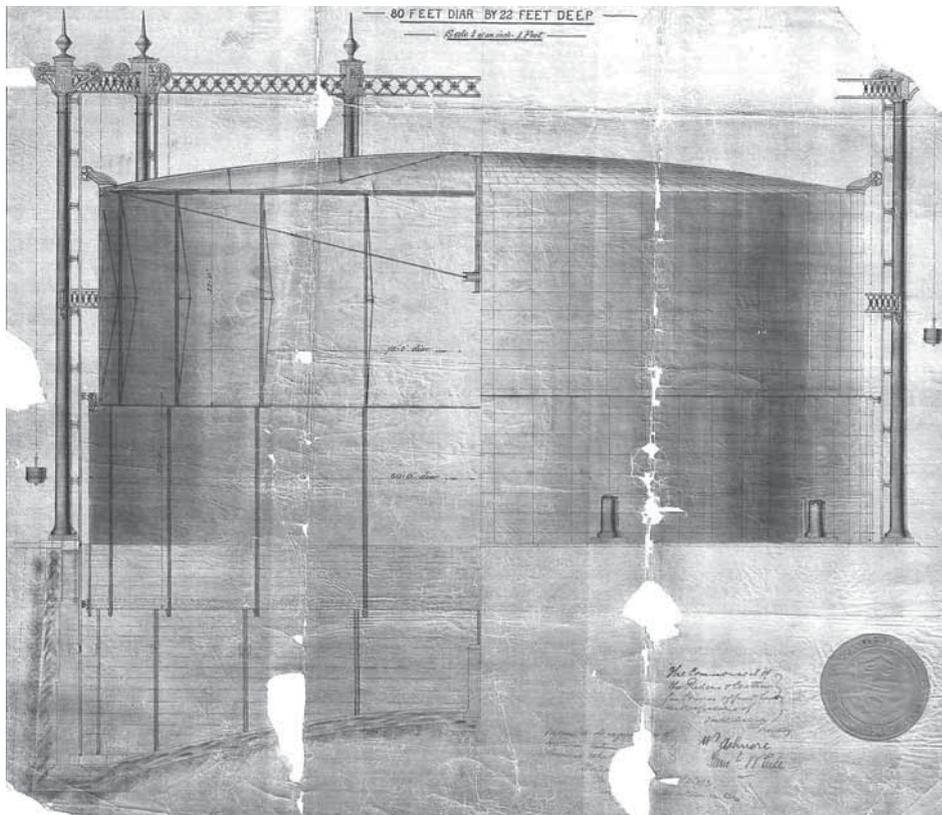


Abb. 184: Hochsäulen mit zwei Trägerlagen in Redcar, 1876 (NGA, NOREC/E/T/10).



Abb. 185: Zweigeschossiges Rahmengerüst nach Clark in Bethnal Green, London (BB, 2015).

Additive Ordnung

Mit dem Ziel größere Gerüsthöhen zu erreichen entstanden erste zweigeschossige Rahmengerüste, die auf der additiven Ordnung basierten: Jeder Gerüstring bestand aus einzelnen, in sich abgeschlossenen Säulen, die über Architrave mit den Säulen des zweiten Gerüstrings angeschlossen wurden.

Ein frühes Beispiel wurde in Bethnal Green, London errichtet und trug die Handschrift von *Joseph Clark**: Dort wurde 1858 ein zweihübriger Gasbehälter ($D=62,18\text{m}$; $V=69.376\text{m}^3$) mit zwei aufeinander gesetzten Gerüstringen fertig gestellt. Durch die differenzierte Gestaltung der Bauteile verlieh Clark dem Gerüst eine zweistufige Ordnung: Die 24 Säulen im unteren Ring befanden sich auf Postamenten und waren jeweils mit einer Basis und dorischem Kapitell ausgestattet; der Steg der Träger hatte ein mäanderartiges Muster. Der obere Gerüstring zeigte eine leichte Variation: Die Kapitelle waren korinthisch und die Träger besaßen einen durchsetzten Steg, der sich durch überlagernde Kreise bildete. Auf den Kapitellen waren jeweils Architrave angebracht, die zur Befestigung der Träger dienten. Der Abschluss des Gerüsts erfolgte mit weiteren, ausladenden Kapitellen.

Mit diesem ornamentreichen Gerüstgefüge schuf Clark einen frühen Prototypen der additiven Ordnung, der teilweise sogar noch bei frühen Verbandgerüsten (*Siehe Kap. C.2.3.-7.1.1.*) wiederzufinden war.

1866 folgte ein weiterer, zweihübriger Gasbehälter ($D_{\text{Becken}}=40,64\text{m}$; $V=25.485\text{m}^3$) in Bethnal Green, London der mit einem Rahmengerüst nach diesem Vorbild gebaut wurde (*Abb. 185*). Da dieser Gasbehälter aber der kleinste aus der Clark-Reihe war, reichten pro Gerüstring 16 sich verjüngende Säulen ($H=ca. 22,00\text{m}$) aus. Die Gestaltung der Bauteile entsprach dem Prototypen.³⁶⁸

Zwischen 1872 und 1882 wurde in Bromley-by-Bow ein Ensemble aus neun zweihübrigen Gasbehältern ($D=61,00\text{m}$; $V=56.634\text{m}^3$) ebenfalls nach den Plänen Clarks gebaut (*Abb. 186*); ab 1876 übernahm *Vitruvius Wyatt** als leitender Chief-Engineer deren Ausführung. Die ersten fünf Gerüste basierten jeweils auf 28 Säulenachsen ($H=ca. 23\text{m}$)³⁶⁹ und die letzten vier wurden – in Anlehnung an den Prototy-

368 Tucker, 2014, pp. 81–87. Aufgrund der aufwendigen Wartungsarbeiten an den korinthischen Kapitellen wurden dessen angesetzten Akanthusblätter, ebenso wie das abschließende Kapitell nachträglich wieder abgenommen (Siehe Foto).

369 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 160–163. Die gusseisernen Bauteile wurden von der Firma Westwood & Wrights ausgeführt.

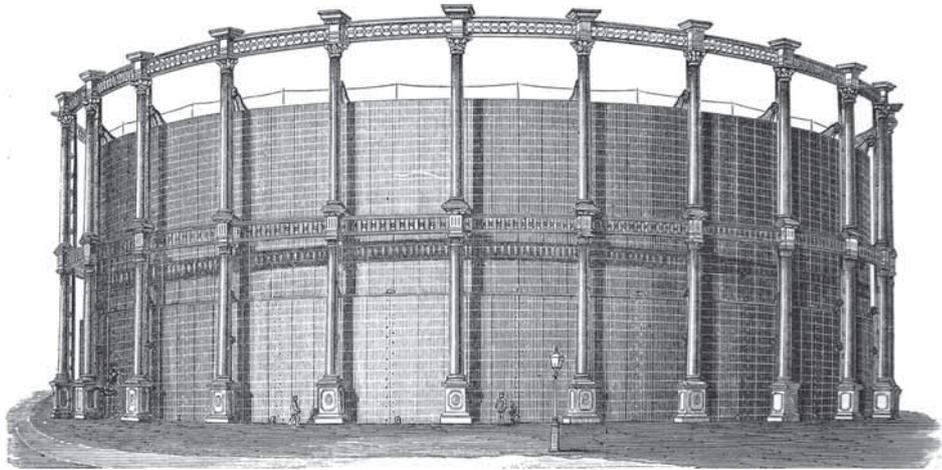


Abb. 186: Zweigeschossiges Rahmengerüst mit Säulen in Bromley-by-Bow, London (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 161).

pen in Bethnal Green – mit 24 Achsen konzipiert. Bei dem Gasbehälter-Ensemble in Bromley-by-Bow erreichte die Ausschmückung der Führungsgerüste ihren Höhepunkt und verlieh den Gasbehältern ein elegantes, eindrucksvolles Erscheinungsbild.³⁷⁰

Diese Gerüstform wurde auch dreigeschossig ausgeführt. Ein besonderes Beispiel stellte das sogenannte „Triplet“ auf dem Gaswerk St. Pancras, London dar (Abb. 187): 1880 wurden dort drei tangential gekoppelte Führungsgerüste (H= ca. 33,00m) errichtet, die jeweils zwei Hubteile aufnahmen ($V_1 = 39.644\text{m}^3$; $V_2 = 48.139\text{m}^3$; $V_3 = 25.485\text{m}^3$). Der Anschluss von je zwei Gerüsten erfolgte jeweils über eine gemeinsame Säule (S). Das Gerüst entstand nach den Plänen *John Clarks**, der den Prototypen seines Vaters leicht modifiziert fortführte: Auf den Einsatz von Postamenten wurde verzichtet und die Gitterträger bestanden aus einfachen, netzförmig angeordneten Flacheisenstäben. Außerdem war der Stützen-Träger Anschluss mit zusätzlichen, liegenden Flacheisenstäben verstärkt (F).³⁷¹



Abb. 187: Dreigeschossiges Rahmengerüst des „Triplets“ in St. Pancras, London um 1976 (LMA, COLLAGE: the London Picture Archive, ref 214725). **

370 Tucker, 2014, pp. 82, 87. Vor Wyatt hatte Thomas Kirkham die Leitung des Gaswerks inne; 1876 traten sowohl er, als auch Clark zurück und Wyatt übernahm den Posten.

Zur Erweiterung des zweigeschossigen Rahmengerüsts zum dreigeschossigen Verbandgerüst – einschließlich zwei fliegenden Hubteilen, siehe Kapitel C.2.3.-7.1.1.; C.2.2.-7.4.

371 Miele, 1997, p. 3; Clark, 2002, p. 83; Tucker, 2014, pp. 22, 30, 87

Bei dem Triplet wurden die drei Wasserbecken der vorgehenden Gasbehälter weiterverwendet; zur Vorgeschichte des Triplets siehe auch Miele, 1997, pp. 2–3.

Anm. d. Verfasserin: Einen Eindruck, welche Wirkmacht dieses Gasbehälter-Trio hatte, als es noch in Betrieb war, vermittelt der Film „The Lady Killers“ von 1955, in dem die Gasbehälter Teil der Kulisse waren.

Sonderformen

Neben dem standardisierten Rahmengerüst nach Clark, das auch von anderen Ingenieuren in modifizierter Form übernommen wurde³⁷², entstanden weitere Gerüstkonstruktionen, die wohl einzigartig in ihrer Ausführung waren:

1884 entstand in Great Yarmouth für einen zweihübrigen Gasbehälter ($D_{\text{Becken}} = \text{ca. } 29,00\text{m}$; $H_{\text{Gerüst}} = \text{ca. } 21,00\text{m}$; $V = 10.477\text{m}^3$) ein weiteres dreigeschossiges Rahmengerüst, das die Handschrift von *Robert Spice** trug³⁷³: Aufgrund des freistehenden Wasserbeckens wurden die 14 gusseisernen Säulen bis zur Geländeoberkante verlängert. Die Gestaltung der Säulen folgte den vorgehenden Beispielen und bestand aus Basis, Kapitell, Halsring und Architrav. Die horizontalen, kastenförmigen Fachwerkträger stellten jedoch eine Sonderform dar, da sie nicht linear zwischen den Säulen verliefen, sondern segmentförmig. Der obere Trägerkranz wurde durch liegende Verbände nach Padon zusätzlich verstärkt (Siehe Kap. C.2.3.-4.3.1.).

Das Führungsgerüst in Great Yarmouth stellte eines der letzten Beispiele dar, die noch mit gusseisernen Säulen gebaut wurden.

Ein herausragendes Beispiel für ein besonders ausgeschmücktes, zweigeschossiges Rahmengerüst stellte der zweihübrige Gasbehälter in Fulham, London dar (Abb. 189), der 1873³⁷⁴ nach den Plänen Kirkhams fertig gestellt wurde.



Abb. 188: Zweigeschossiges Rahmengerüst mit segmentförmigen, kastenförmigen Fachwerkträgern (BB, 2015).

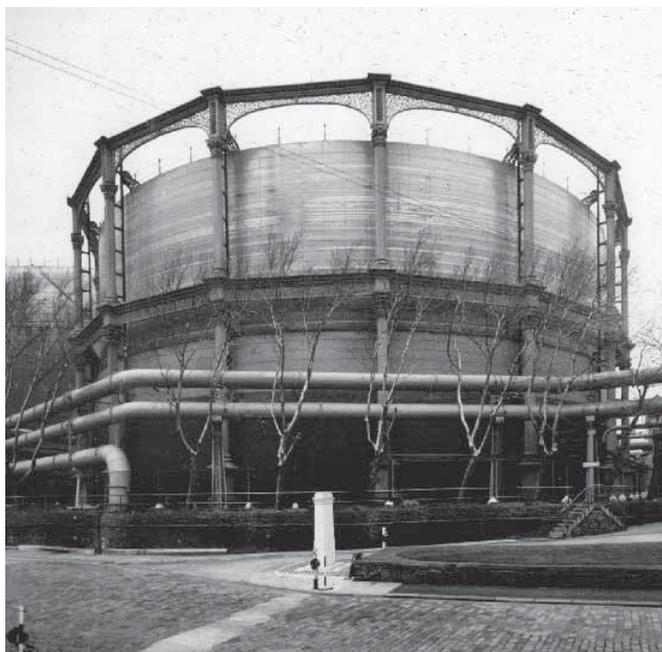


Abb. 189: Zweigeschossiges Rahmengerüst in Fulham, London (NGA, BG41/NT/EB/15).

372 Wie z.B. von George Livesey in der Old Kent Road (1866) oder von Corbet Woodall in Kennington (1873). (Tucker, 2014, p. 23)

373 Tucker, 2014, p. 22. Anm. d. Verfasserin: Die Abmessungen des Gasbehälters sind geschätzt.

374 Tucker, 2017



Abb. 190: Oberer Architrav mit anschließenden Trägern und vorgesetzter Führungsschiene in Fulham, London (NGM, o.J.).



Abb. 191: Unterer Architrav mit anschließenden Trägern, Säulen und Führungsschiene in Fulham, London (NGM, o. J.).

Die Gestaltung seiner 16 Säulen und des oberen Trägers orientierte sich an dem bereits bestehenden Gerüst des benachbarten „Sultans“ (Siehe Kap. C.2.3.-6.2.).

Der Aufbau der Säulen bestand jeweils aus

- einer Basis (Abb. 192),
- einem kanelliertem Schaft (Abb. 192),
- einem korinthischen Kapitell (Abb. 190, Abb. 191),
- einem Architrav (Abb. 190, Abb. 191).

Die oberen Träger (Abb. 190) bestanden jeweils aus zwei vollständig gusseisernen (!!), symmetrischen Teilen, die in der Feldmitte gestoßen wurden und sich zum Architrav hin voutenförmig aufweiteten. Der filigrane Steg wurde mit einem floralen Muster durchsetzt.

Der untere Träger (Abb. 191) war als konventioneller Kompositträger konzipiert, dessen Steg einen gleichbleibenden Querschnitt hatte.

Beide Trägerkränze wurden jeweils mit einem Gesims abgeschlossen.



Abb. 192: Kanellierter Schaft mit Basis der oberen Säule in Fulham, London (NGM, o. J.).

6.2.3. Mehrgeschossige Rahmengerüste – Mit Stützen



Abb. 193: Zweigeschossiges Rahmengerüst mit gusseisernen Stützen in Beckton, London (BB, 2015).

I-förmige Stützen aus Gusseisen

Um den Materialaufwand der gusseisernen Säulen zu reduzieren und den Trägeranschluss zu verbessern, begann man in der Mitte des 19. Jahrhunderts den kreisrunden Querschnitt der Säule durch die I-Form zu ersetzen³⁷⁵, deren Steg durchsetzt war.

In Redheugh wurde um 1874³⁷⁶ ein zweihübiger Gasbehälter ($D_{\text{Becken}} = 46,33\text{m}$; $V = 28.317\text{m}^3$) nach den Plänen Wyatts gebaut (Abb. 195). Das zweigeschossige Rahmengerüst bestand aus 16 I-förmigen, fünfteiligen Stützen ($H = 18,40\text{m}$, ohne Fiale) aus Gusseisen, deren Querschnitt sich nach oben verjüngte. Der Steg war netz- bzw. rautenförmig durchsetzt. Zwei Trägerkränze aus genieteten Gitterträgern verbanden die einzelnen Stützen. Die unteren Träger ($h = 772\text{mm}$) wurden jeweils zwischen die Stützen gesetzt, die an dieser Anschlussstelle als rechteckiges Hohlprofil ausgeführt waren, und mit acht Bolzen fixiert. Die oberen Träger ($h = 91,44\text{m}$) wurden auf dem Kapitell der Stütze zu einem Kranz verbunden. Dieser Anschluss wurde durch einen kastenförmigen Aufsatz in Form eines Architravs verdeckt. Die vorgesetzte Führungsschiene hatte einen schienenförmigen Querschnitt.³⁷⁷

Weitere Gasbehälter nach dem Vorbild Wyatts entstanden um 1879 in Beckton (Abb. 193)³⁷⁸, Fulham (Abb. 194), Kensal Green und Shoreditch: Deren Rahmengerüste setzten sich jeweils aus 20 gusseisernen Stützen ($H = 21,41\text{m}$) und zwei Trägerkränzen zusammen.³⁷⁹

375 Tucker, 2014, p. 52

376 JGL-24, 1874, p. 1

377 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 142

378 Der auf dem Bild dargestellte Gasbehälter in Beckton hatte folgende Abmessungen:
 $D_{\text{Becken}} = 59,30\text{m}$; $H_{\text{Gerüst}} = 21,41\text{m}$; $V = 56.634\text{m}^3$ (Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 93, 151–160).

379 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 153–158



Abb. 194: Zweigeschossiges Rahmengerüst mit gusseisernen Stützen in Fulham, London (BB, 2015).

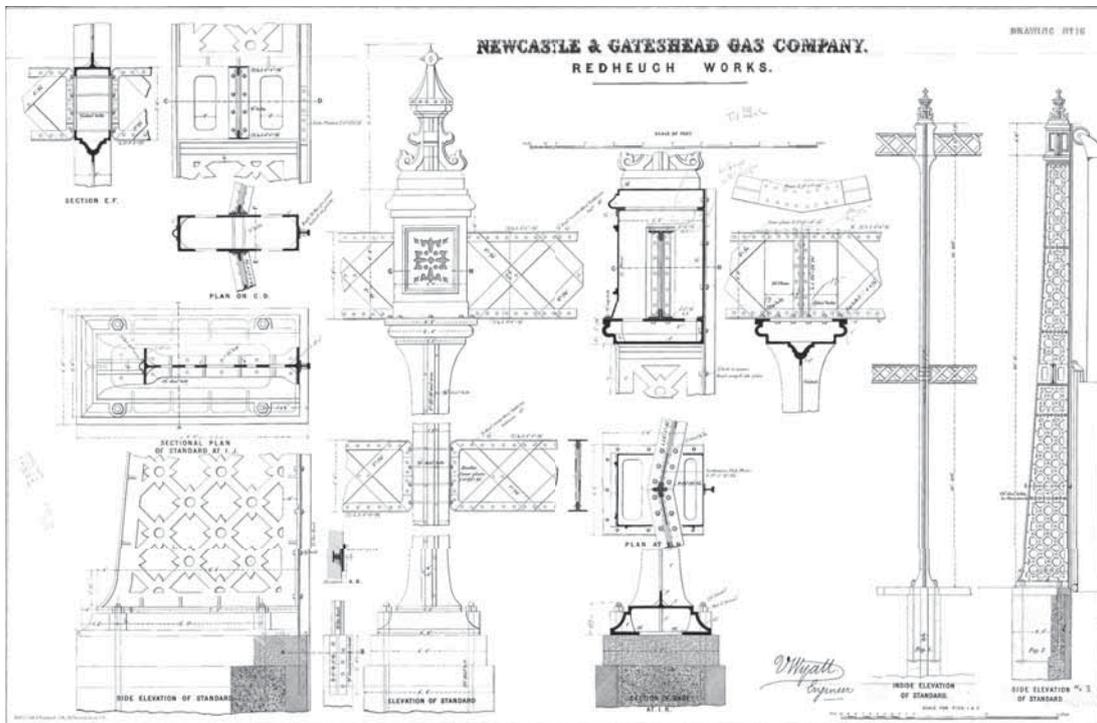


Abb. 195: Anschlussdetails des zweigeschossigen Rahmengerüsts in Redheugh (NGA, NONWG/E/A/14).

T-förmige Stützen aus Schmiedeeisen

Die womöglich ersten genieteten Stützen wurden 1876 in Hove bei einem dreihübrigen Teleskopgasbehälter ($V = \text{ca. } 16.000\text{m}^3$; $D_{\text{Becken}} = \text{ca. } 31,00\text{m}$) eingesetzt. Das dreigeschossige Rahmengerüst ($H = \text{ca. } 22,20\text{m}$) wurde von John Paddon mit 12 T-förmigen Stützen geplant (Abb. 196). Letztere bestanden jeweils aus zwei aneinander gesetzten, sich verjüngenden Fachwerkträgern und wurden am Stützenkopf mit einem Architrav ausgestattet, das zugleich zum Anschluss des oberen Trägerrings diente. Jeder Architrav wurde mit einem Kapitell und einer Fiale bekrönt. Die drei horizontalen Trägerringe waren Fachwerkträger, deren Steghöhe vom unteren bis zum oberen Ring zunahm. Die Besonderheit dieser Träger bestand darin, dass diese erstmals mit einem liegenden Verband nach Paddon ergänzt und verstärkt wurden (Siehe Kap. C.2.3.-4.3.1.).³⁸⁰

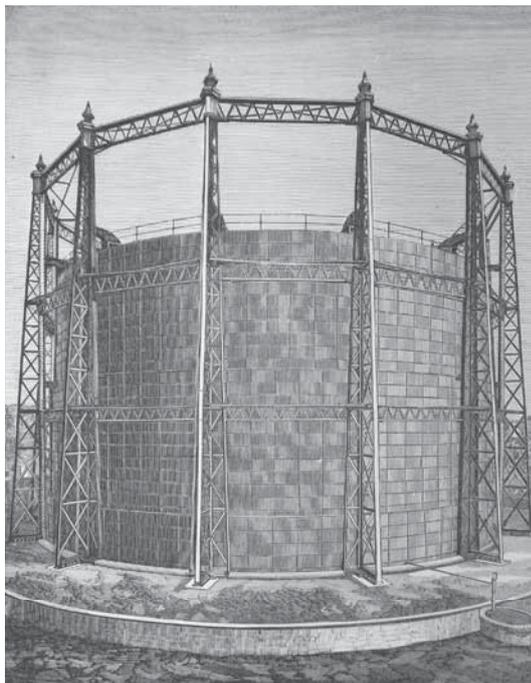


Abb. 196: Dreigeschossiges Rahmengerüst in Hove (Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XXIII).

Kastenförmige Stützen aus Schmiedeeisen

George Trewby* war einer der ersten Ingenieure, die die kastenförmige Fachwerkstütze für den Bau von mehrgeschossigen Rahmengerüsten vorsahen.³⁸¹

Seine ersten Rahmengerüste dieser Art plante Trewby für das Gaswerk St. Pancras, London, die dort ab 1885 errichtet wurden:

Das Beispiel zeigt einen Gasbehälter ($D = \text{ca. } 30,00\text{m}$; $V = 24.069\text{m}^3$), dessen dreigeschossiges Rahmengerüst aus 12 sich nach oben verjüngenden Stützen ($H = \text{ca. } 30,00\text{m}$) und drei Trägerkränzen bestand. Letztere wurden als abschließender Kastenträger bzw. als Gitterträger ausgeführt.

Trewby positionierte die unteren beiden Trägerkränze erstmals liegend – ein Novum, das den Trägeranschluss sowie die Aussteifung verbesserte.³⁸²

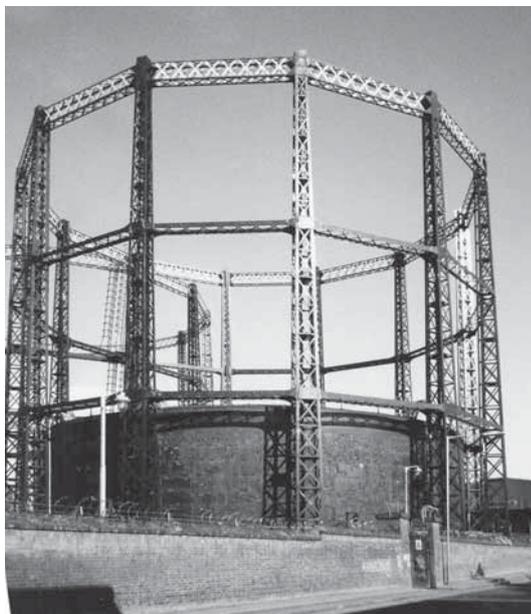


Abb. 197: Dreigeschossiges Rahmengerüst in St. Pancras, London (Foto, Michael Bussell, 1997). **

380 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 178. Die ausführende Firma war Samuel Cutler & Sons, London.

381 Einige Jahre zuvor wurde die kastenförmige Stütze bereits von Robert Morton* bei einem Verbandgerüst eingesetzt (Siehe Kap. C.2.3.-7.1.).

382 Tucker, 2014, pp. 30, 55, 87



Abb. 198: Viergeschossiges Rahmengerüst mit kastenförmigen Stützen in Bethnal Green, London (BB, 2015).

In Bethnal Green, London folgte 1889 ein dreihü-
biger Gasbehälter ($D= 60,96\text{m}$; $V= 118.931\text{m}^3$)
ebenfalls nach den Plänen Trewbys (Abb. 198).
Das viergeschossige Rahmengerüst basierte auf
22 kastenförmigen, sich nach oben verjüngenden
Fachwerkstützen ($b/h= 1930/1370\text{mm}$; $H_{\text{gesamt}} =$
ca. $44,50\text{m}$), die mit vier Trägerkränzen gekoppelt
waren (Abb. 199); davon wurden die drei middle-
ren als liegende Gitterträger und der abschließen-
de als kastenförmiger Gitterträger ausgeführt.
In Bethnal Green erreichte das Rahmengerüst
nach Trewby sein größtes Ausmaß und stellte zu-
gleich das letzte dieser Serie dar. Bei den folgen-
den Gerüsten stattete Trewby nämlich die Gerüst-
felder mit einfachen Auskreuzungen aus (Siehe
Kap. C.2.3.-7.1.3).³⁸³



Abb. 199: Anschlussdetail von Bethnal Green, London (BB, 2016).

383 Tucker, 2014, p. 85–86

I-förmige Stützen aus Schmiedeeisen

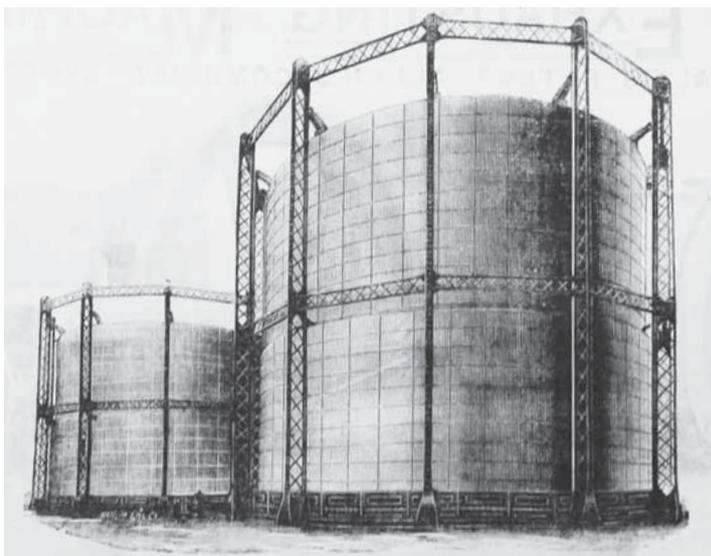


Abb. 200: Rahmengerüste mit I-förmigen Stützen (JGL.54, 1889, p. 108).

Verglichen zu den T- und kastenförmigen Stützen kam der I-förmige Querschnitt bei mehrgeschossigen Rahmengerüsten eher seltener zum Einsatz.

Kleinere Rahmengerüste mit I-förmigen Stützen wurden z.B. von der Firma Dempster ausgeführt, die 1889 im Journal of Gas Lighting dafür warb (Abb. 200). Selbst in der Firmenbroschüre von 1925 wurden zweigeschossige Rahmengerüste (Abb. 201) aufgeführt, deren Stützen und Trägerkränze sich aus I-förmigen Gitterträgern zusammensetzten.

Die Einführung der I-förmigen, genieteten Stützenkonstruktionen im großen Maßstab erfolgte schließlich bei den Verbandgerüsten nach Livesey (Siehe Kap. C.2.3.-7.2.) und Cutler (Siehe Kap. C.2.3.-7.5.).

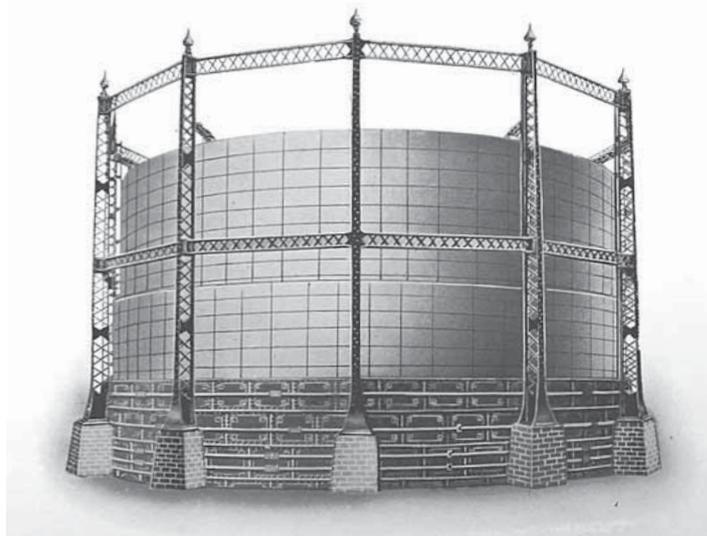


Abb. 201: Zweigeschossiges Rahmengerüst mit I-förmigen Stützen (Dempster, 1925, p. H61).

Telegrams: "GASOMETER GLASGOW."

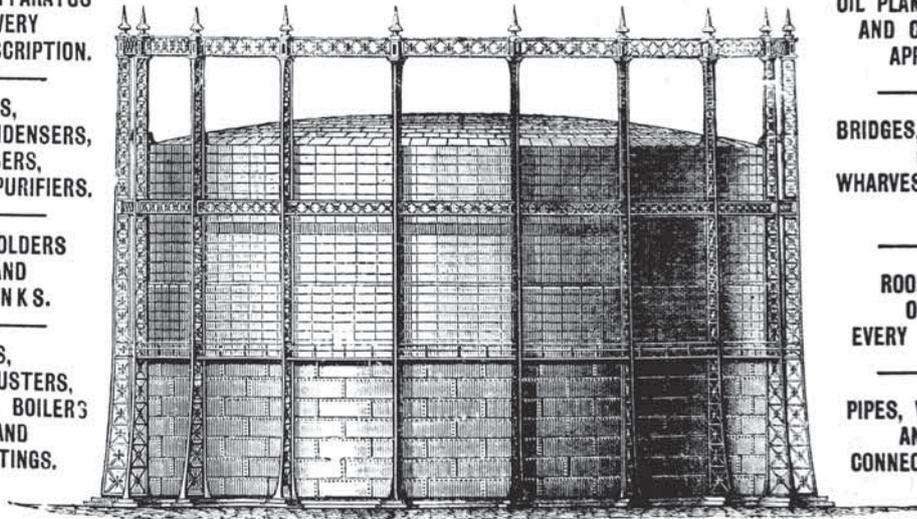
GLASGOW.

**GAS APPARATUS
OF EVERY
DESCRIPTION.**

**RETORTS,
CONDENSERS,
SCRUBBERS,
PURIFIERS.**

**GASHOLDERS
AND
TANKS.**

**ENGINES,
EXHAUSTERS,
STEAM BOILERS
AND
FITTINGS.**



**OIL PLANT
AND CHEMICAL
APPARATUS.**

**BRIDGES,
GIRDERS,
WHARVES,
PIERS.**

**ROOFING
OF
EVERY STYLE.**

**PIPES, VALVES,
AND
CONNECTIONS.**

Abb. 202: Werbung der Fa. Barrowfield für Rahmengerüste (JGL-54, 1889, p. 195).

Die Firma „The Barrowfield Iron-Works, limited“ aus Glasgow warb mit einer besonders ornamentreichen Trägerkonstruktion: Der zweihüblige Gasbehälter war mit einem freistehenden Wasserbecken konzipiert und hatte demzufolge ein dreigeschossiges Rahmengerüst. Die Stützen bestanden aus I-förmigen, sich nach oben verjüngenden Fachwerkträgern. Sowohl die Stützen, als auch die beiden Trägerkränze waren mit einem Ornament bedacht: Die diagonalen Stäbe wurden jeweils mit einem zentralen, sternförmigen Bindeblech fixiert. Außerdem befand sich auf den Stützenköpfen jeweils ein Architrav, der mit einer spitz zulaufenden Fiale bekrönt wurde.

6.3. Zusammenfassung Rahmengerüst

Durch die zunehmenden Hubteildurchmesser stiegen auch die Anforderungen an das Führungsgerüst. Deshalb wurde das Stützensgerüst zum Rahmengerüst erweitert, das den Bau von größeren, ein- und mehrhubigen Gasbehältern ermöglichte.

- **Rahmengerüste für einhubige Gasbehälter** – Die ersten Gerüste entstanden nach der sogenannten **Einfachen Ordnung**. Ein Gerüsting entsprach der Einhubigkeit des Gasbehälters. In der Regel kamen hierfür gusseiserne Säulen zum Einsatz; genietete Stützenkonstruktionen waren eher selten. Das eingeschossige Rahmengerüst wurde nicht nur als vollständiger Neubau realisiert, sondern auch als Ertüchtigungsmaßnahme von Stützensgerüsten eingesetzt.
- **Eingeschossige Rahmengerüste für mehrhubige Gasbehälter** – Die ersten, zweihubigen Gasbehälter wurden zunächst mit eingeschossigen Rahmengerüsten ausgestattet, die auf der sogenannten **Hochordnung** basierten. Das Gerüst wurde sowohl mit Doppelsäulen (*Abb. 203, unten rechts*), als auch mit durchlaufenden, einfachen Säulen ausgeführt (*Abb. 203, oben*). Letztere Anordnung bestach v.a. bei zunehmenden Gasbehältergrößen und setzte sich als Standard durch. Das eingeschossige Rahmengerüst wurde ausschließlich bei zweihubigen Gasbehältern eingesetzt.
- **Mehrgeschossige Rahmengerüste für mehrhubige Gasbehälter** – Um die Standsicherheit der Hochordnung zu gewährleisten wurden schließlich die Säulen mit einem zweiten Trägerkranz verstärkt. Dies führte zur sogenannten **Additiven Ordnung**, bei der prinzipiell je Hubteil ein Gerüsting vorgesehen wurde (*Abb. 203, unten links*). Diese Ordnung basierte zunächst ebenfalls auf gusseisernen Säulen. Diese waren beispielsweise Teil von *Joseph Clarks** ornamentreichem Rahmengerüst, das sich in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts zu einem Prototypen entwickelte. Um Material einzusparen wurden die Säulen zunächst durch gusseiserne, I-förmige Stützen ersetzt. Ab 1880 kamen T- und kastenförmige, genietete Stützen aus Schmiedeeisen zum Einsatz, die eine leichtere und v.a. stabilere Konstruktion darstellten.

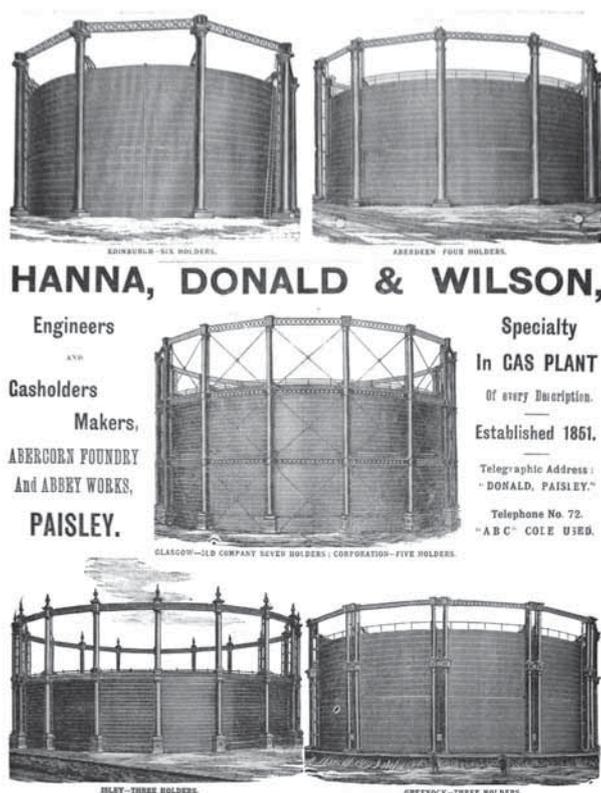
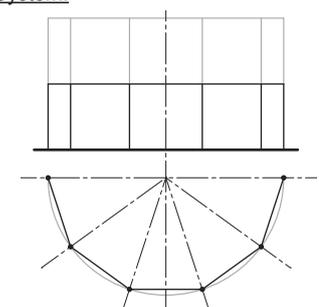
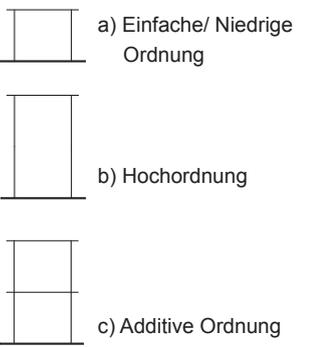


Abb. 203: Werbung der Fa. Hanna, Donald & Wilson für verschiedene Führungsgerüste mit Säulen (Owler, 1894, p. 64).

Verglichen mit den frühen Rahmengerüsten stieg parallel zu den Hubteildurchmessern auch die Säulen- bzw. Stützenanzahl, um eine stand- und betriebssichere Führung zu gewährleisten³⁸⁴.

Insgesamt wurden bis ca. 1890 überwiegend gusseiserne Säulen bei dem Bau von Rahmengerüsten eingesetzt, wie das Beispiel in Great Yarmouth zeigt. I-förmige Stützen aus Gusseisen, wie sie in besonders

384 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 125

Tab. 26: Zusammenfassung Rahmengerüst (nach Clovis, 1836; Clegg, 1841; Schilling, 1860; Colburn, 1865; Hughes, 1865; Newbigging, Fewtrell, 1879; Layton, 1920; Rödel, 1983; Tucker, 2014)		
Rahmengerüst	Vorteile	Nachteile
<p><u>System:</u></p>  <p><u>Entwicklung:</u></p>  <p>a) Einfache/ Niedrige Ordnung</p> <p>b) Hochordnung</p> <p>c) Additive Ordnung</p>	<ul style="list-style-type: none"> + Hoher Vorfertigungsgrad, + Verbesserung der Stabilität des Gerüsts, + Verbesserung der Betriebssicherheit bzw. Führung der Hubteile, + Geeignet für ein- und mehrhubige Gasbehälter. <p><u>a) Einfache/ Niedrige Ordnung</u></p> <ul style="list-style-type: none"> + Frühform: Meist nur mit geringer Stützenanzahl. <p><u>b) Hochordnung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> + Einfache Variation der einfachen Ordnung, + Kein zweiter Trägerkranz. <p><u>c) Additive Ordnung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> + Geeignet für größere Gasbehälter mit zwei oder mehreren Hubteilen. 	<ul style="list-style-type: none"> - Teilw. Aufnahme von Rollen für Gegengewichte. <p><u>a) Einfache/ Niedrige Ordnung</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Frühform: Nur für kleinere Gasbehälter geeignet. <p><u>b) Hochordnung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Fehlende horizontale Unterstützung in Feldmitte der Säulen, - Nur für zweihubige Gasbehälter geeignet, - Bei Doppelsäulen: Hoher Materialaufwand. <p><u>c) Additive Ordnung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Eingeschränkte Stabilität des Gefüges bei großen Abmessungen (D > ca. 50,00m).

ornamentreicher Form von *Vitruvius Wyatt** hervorgegangen, stellten nur ein kurzzeitiges Phänomen dar, da die genieteten Stützen aus Schmiedeeisen weitaus leichter und tragfähiger waren. Dies bewies u.a. *George Trewby**, der mit einem Gefüge aus kastenförmigen Stützen und liegenden Gitterträgern zur Entstehung großer Gerüstkonstruktionen beitrug, die durch die Einführung der Verbandgerüste (*Abb. 203, Mitte*) noch gesteigert wurden (*Siehe folgendes Kapitel*).

7. Verbandgerüst

Durch die Erweiterung des Rahmengerüsts zum **Verbandgerüst**³⁸⁵ erfuhr das polygonale Gefüge eine zusätzliche Aussteifung und bildete die Grundlage zur Entstehung von großen, weit aufragenden Gasbehältern.

Dieses Kapitel führt durch die Entwicklung des Verbandgerüsts, aus der verschiedene Formen hervorgingen: Von der einfachen und zweifachen Auskreuzung, über die Sonderformen der dreifachen Auskreuzung und der netzförmigen Anordnung bis hin zum aufgelösten und schließlich zum triangulierten Verbandgerüst. Als Exkurs werden abschließend zwei Gerüstformen aus Deutschland aufgeführt.

7.1. Verbandgerüste mit einfacher Auskreuzung

Die ersten Verbandgerüste wurden mit einfachen Auskreuzungen in den einzelnen Gerüstfeldern ausgestattet. Diese bestanden jeweils aus vier diagonalen Stäben, die über einen zentralen Spannring verbunden waren, oder zwei diagonalen, durchlaufenden Stäben³⁸⁶. Der Anschluss der diagonalen Stäbe war abhängig von der Ausführung der Säulen bzw. Stützen, sowie der Träger (Siehe Kap. C.2.3.-4.).

7.1.1. Verbandgerüste mit gusseisernen Säulen

Ein frühes Verbandgerüst (Abb. 204) entstand 1861 nach den Plänen von *William Mann** für einen dreihübrigen Gasbehälter ($D_{3.\text{Hubteil}} = 23,77\text{m}$) an der Blackfriars Station in London: Das dreigeschossige Gerüst setzte sich aus 12 gusseisernen Säulen ($H = 32,92\text{m}$; $d_{\text{Basis}} = 762\text{mm}$; $d_{\text{Kopf}} = 306\text{mm}$), drei Trägerkränzen und je Gerüstfeld mit einer einfachen Auskreuzung zusammen. Letztere bestand aus vier Rundeisenstäben und einem zentralen, sternförmigen Spannring. Mann bedachte dieses Führungsgerüst nicht nur mit vertikalen Verbänden, sondern auch mit einem liegenden Trägerstern (Siehe Kap. C.2.3.-4.3.1.).³⁸⁷

1875 wurde ein Verbandgerüst für einen zweihübrigen Gasbehälter ($D_{2.\text{Hubteil}} = 42,37\text{m}$) nach den Plänen von *Corbet Woodall** in Kennington, London gebaut (Abb. 205). Die zwölf Säulen ($H = 22,10\text{m}$; $d_{\text{Fuß}} = 914\text{mm}$; $d_{\text{Kopf}} = 610\text{mm}$) wurden mit zwei Trägerkränzen verbunden und jedes Feld mit einem Verband aus

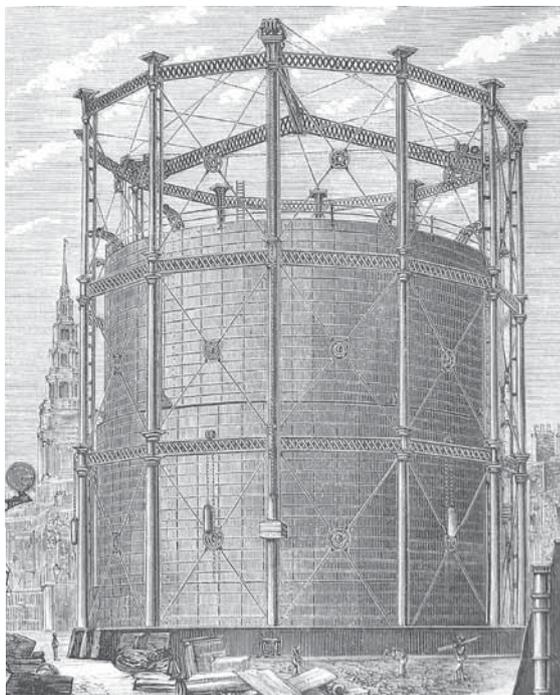


Abb. 204: Verbandgerüst mit einfacher Auskreuzung eines Gasbehälters bei der Blackfriars Station, London (Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XXII).

385 Nach Rödel war diese Gerüstform ein **Zylindrisches Fachwerk**: „Als zylindrisches Fachwerk war das Führungsgerüst aufzufassen, wenn seine Konstruktion aus vertikalen Ständern, horizontalen Gurtungen und diagonalen, gekreuzten Stäben bestand. Durch die geringere Knicklänge zwischen den Knotenpunkten verringerte sich die Biegebeanspruchung des einzelnen Ständers, er brauchte bei kräftiger Verstrebung am Fuß nur gehalten, nicht aber eingespannt zu sein und konnte insgesamt schwächer dimensioniert bleiben.“ Insgesamt unterschied Rödel nur zwischen dieser Form und der Säulenform (für die die Verfasserin die Bezeichnung „Rahmengerüst“ eingeführt hat). (Rödel, 1983, p. 121)

386 Meade, 1916, p. 424

387 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 176–178

Der Firma Westwood & Wrights oblagen die Ausführungsarbeiten. 1875 wurde der Gasbehälter abgerissen.

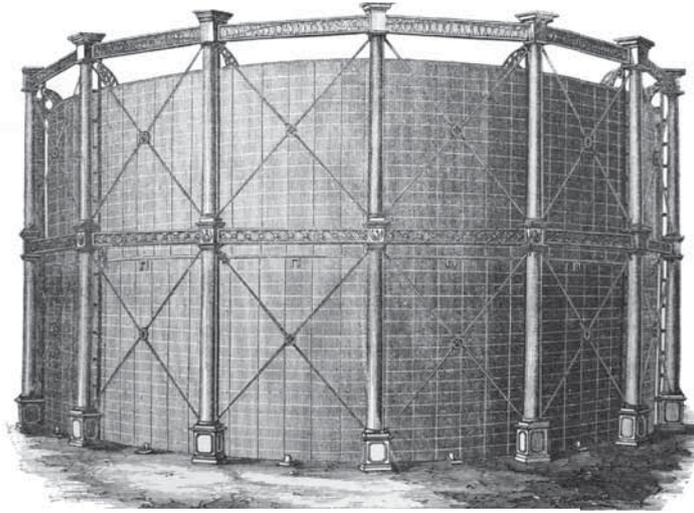


Abb. 205: Zweigeschossiges Verbandgerüst mit einfacher Auskreuzung eines Gasbehälters in Kennington, London (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 134).

vier Rundeisenstäben ($t = 32\text{mm}$) und einem zentralen Spannring – einem U-Eisen – besetzt. Die Gestaltung der Säulen und Träger im oberen und unteren Gerüststring wurde differenziert – in Anlehnung an den Prototypen von Clark (Siehe Kap. C.2.3.-6.2.2.). Das Gerüst war zudem mit liegenden Verbänden nach Paddon bestehend aus Flacheisen ($b/h = 76/19\text{mm}$) ausgestattet (Siehe Kap. C.2.3.-4.3.1.).³⁸⁸

Ein ähnliches zweigeschossiges Verbandgerüst wurde um 1890 in Leicester für einen zweihubigen Gasbehälter ($D_{\text{Becken}} = 60,96\text{m}$; $V = 63.713\text{m}^3$) nach den Plänen von A. Colson* errichtet (Abb. 206), jedoch wurden die Bauteile mit weitaus weniger Dekor ausgestattet. Die 22 Säulen bestanden jeweils aus einzelnen Rundrohren, die über nach außen gerichtete Flansche befestigt wurden. Der untere Trägerkranz wurde über Manschetten angeschlossen und die oberen Träger wurden auf den Kapitellen gestoßen; der Trägerstoß wurde jeweils von einem Architrav verdeckt.³⁸⁹

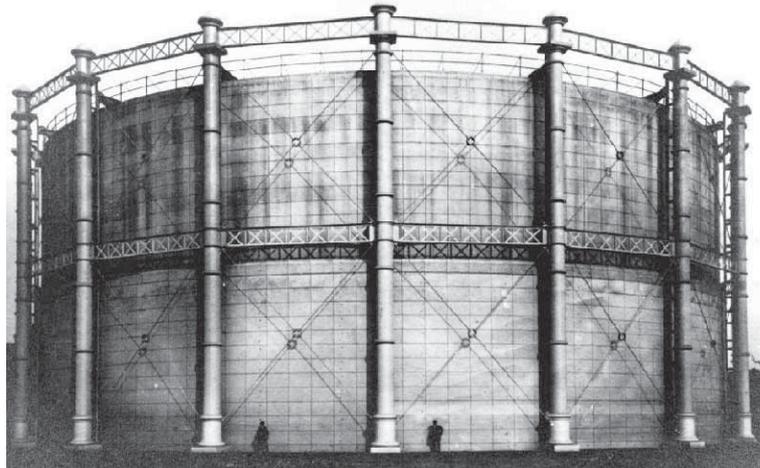


Abb. 206: Zweigeschossiges Verbandgerüst mit einfacher Auskreuzung in Leicester (NGA, EM/ZP/LEA/E/F/1).

³⁸⁸ Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 133–136

Die Einzelsäule war jeweils achteilig und wurde über innen liegende Flansche zusammengebaut. Die oberen Gitterträger ($h = 838\text{mm}$) bestanden aus einem gusseisernen Steg und Flanschen aus Winkeleisen ($b/h = 102/102\text{mm}$; $t = 13\text{mm}$), die mit einem Boden- bzw. Deckblech verstärkt wurden. Die unteren Träger waren genietete Blechträger ($h = 76\text{mm}$) aus Schmiedeeisen, deren kreuzförmig angeordnete Blechstreifen ($b/h = 76/13\text{mm}$) an den Knotenpunkten mit zusätzlichen, floralen Bindeblechen versehen waren.

³⁸⁹ Colson, 1891, p. 1014

Als Ertüchtigungsmaßnahme



Abb. 207: Erweiterung und Ertüchtigung eines bestehenden Gasbehälters in Bromley-by-Bow (BB, 2015).

Häufig wurden auch bestehende Rahmengerüste zu Verbandgerüsten ausgebaut bzw. verstärkt: 1927 wurde z.B. ein Gasbehälter des Ensembles in Bromley-by-Bow mit drei zusätzlichen Hubteilen erweitert (Abb. 208)³⁹⁰. Im Zuge dessen wurde das Führungsgerüst mit einem dritten Ring ergänzt und die Gerüstfelder mit einer einfachen Auskreuzung ausgestattet. Letztere bestand aus einem durchlaufenden und zwei angeetzten I-förmigen Walzprofilen, die in Feldmitte mit zwei Bindeblechen fixiert wurden (Abb. 208). Die Diagonalen wurden über Manschetten an die Säulen angeschlossen und die bestehenden Kompositräger mit senkrechten T-Eisen ertüchtigt. Die neue Trägerlage wurde mit vollwandigen, genieteten Blechträgern ausgeführt, deren oberer Rand mit einem horizontal liegenden Verband aus Fachwerkträgern verstärkt wurde. Die Kapitelle des ursprünglichen zweigeschossigen Gerüsts wurden nun als Abschluss auf den dritten Gerüstring gesetzt.

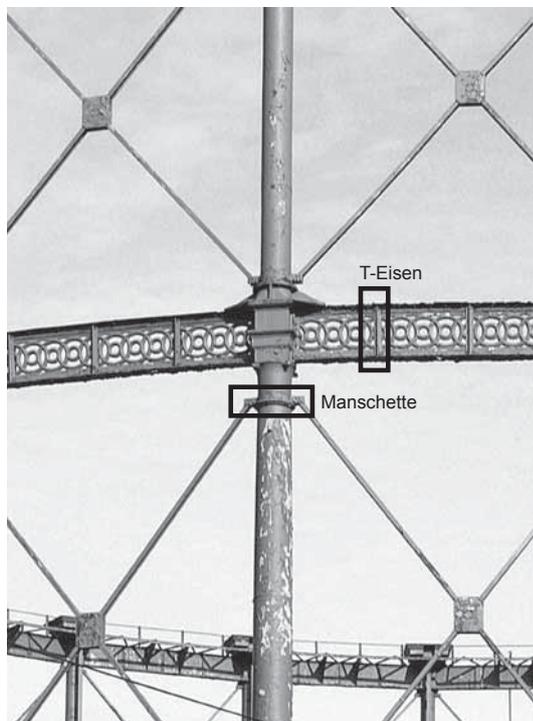


Abb. 208: Erweiterung und Verstärkung des ursprünglichen Rahmengerüsts in Bromley-by-Bow (BB, 2015).

390 Tucker, 2014, p. 30
 Zum ursprünglichen, zweigeschossigen Rahmengerüst siehe Kapitel C.2.3.-6.2.2.
 Zu den fliegenden Hubteilen siehe Kapitel C.2.2.-7.4.

7.1.2. Verbandgerüste mit gusseisernen Stützen

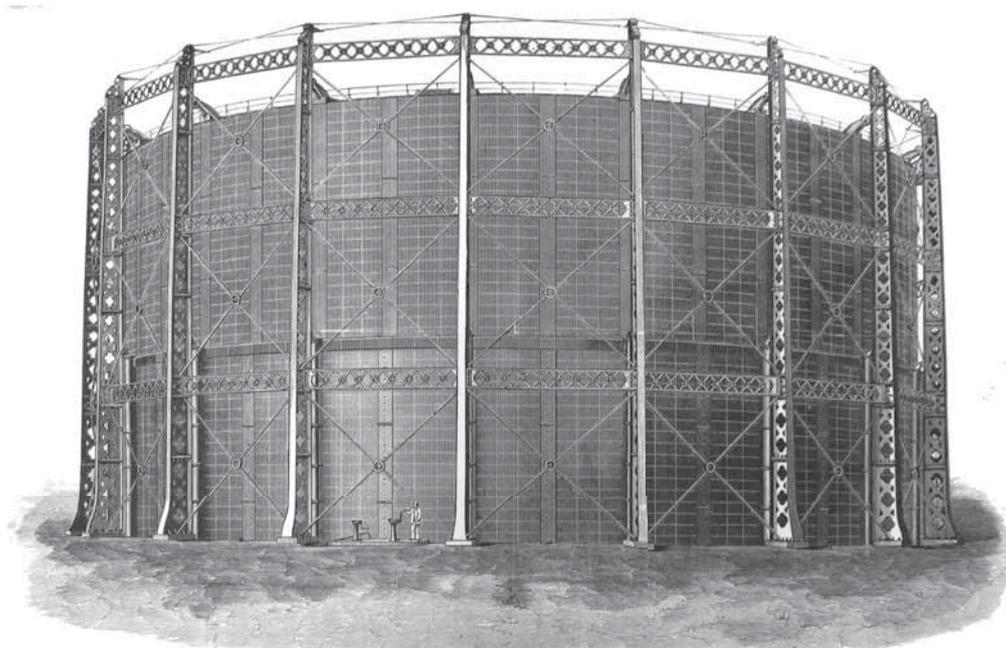


Abb. 209: Dreigeschossiges Verbandgerüst mit gusseisernen Stützen und genieteten Gitterträgern in der Old Kent Road, London (Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XIV).

Die gusseisernen, I-förmigen Stützen wurden nicht nur beim Rahmengerüst (Siehe Kap. C.2.3.-6.2.3.), sondern auch bei den Verbandgerüsten eingesetzt.

1852 wurde einer der ersten dreihübrigen Gasbehälter ($V= 25.486\text{m}^3$) in Rotherhithe, London errichtet. Das Führungsgerüst bestand aus sich verjüngenden Stützen ($H_{\text{gesamt}} = 10,67\text{m}$; $b_{\text{unten}} = 916\text{mm}$; $b_{\text{oben}} = 229\text{mm}$) aus Gusseisen, deren Steg mit Vierpässen durchsetzt war. Die Stützen wurden mit zwei horizontalen Trägerkränzen und die Gerüstfelder mit einem Windverband verstärkt.³⁹¹

Diese Stützenform wurde von *George T. Livesey** bei der Planung eines zweihübrigen Gasbehälters ($D_{\text{Becken}} = 46,63\text{m}$) aufgegriffen, der 1875³⁹² mit einem dreigeschossigen Verbandgerüst an der Old Kent Road in London errichtet wurde (Abb. 209): Das Gerüst war aus 20 I-förmigen, sich verjün-



Abb. 210: Anschluss von Träger und Rundeisenstäben an Stütze, Old Kent Road, London (BB, 2015).

391 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 176

392 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 87. 1879 wurde der Gasbehälter mit einem dritten, fliegenden Hubteil erweitert (Tucker, 2014, p. 146).

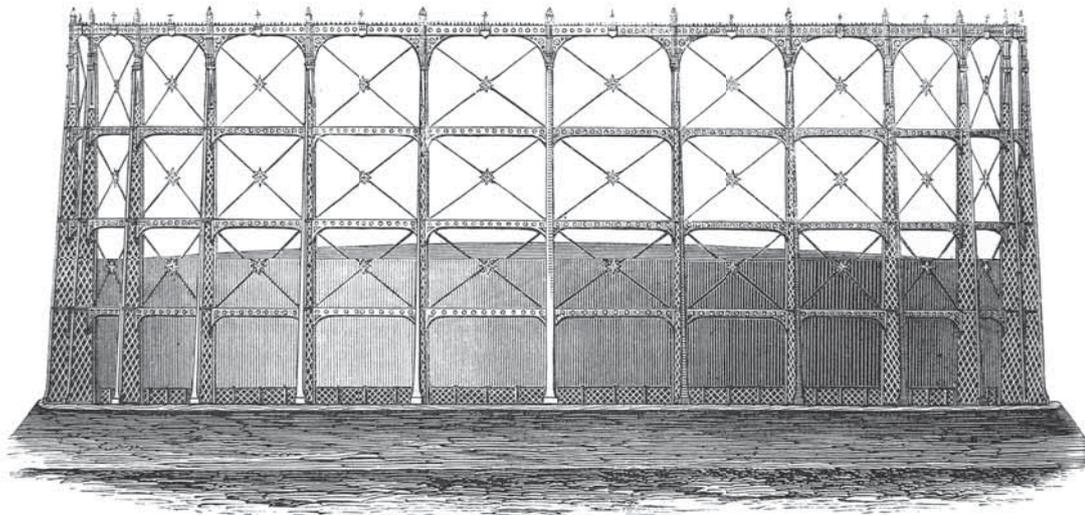


Abb. 211: Viergeschossiges Verbandgerüst in Southport (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 136).

genden Stützen ($H = 28,04\text{m}$; $h_{\text{Fuß}} = 1830\text{mm}$; $h_{\text{Kopf}} = 915\text{mm}$), drei Trägerkränzen und einfach ausgekreuzten Gerüstfeldern aufgebaut. Jede Stütze war sechsteilig und mit entsprechenden Formbauteilen zum Anschluss der genieteten Gitterträger ($h = 1066\text{mm}$) und der Rundeisenstäbe ausgestattet (Abb. 210). Der Windverband bestand jeweils aus vier Rundeisenstäben ($d = 44\text{mm}$) und einem zentralen Spannring. Außerdem war an den Stützenköpfen ein liegender Verband nach Paddon eingebaut, der sich je Feld aus zwei kreuzenden Rundeisenstäben ($d = 57\text{mm}$) und einem Ausleger zusammensetzte.

393

Ungefähr zur gleichen Zeit wurde in Southport ein zweihübiger Gasbehälter ($D = 46,17\text{m}$) errichtet (Abb. 211). Das von *George Anderson** entworfene Verbandgerüst bestand aus 24 gusseisernen Stützen ($H = 18,90\text{m}$) und vier Trägerkränzen; es wurden jedoch nur die drei oberen Gerüstringe mit Windverbänden ausgestattet. Der Querschnitt der I-förmigen Stütze war asymmetrisch: Der äußere Flansch verjüngte sich ausgehend von dem 760mm breiten Fuß bis auf 230mm ($t = 25\text{--}38\text{mm}$). Hingegen der innere Flansch, der zugleich als Führungsschiene fungierte, hatte eine konstante Breite von nur 76mm . Der Steg bestand aus einem engmaschigen, rautenförmigen Netz, das im oberen Gerüstring durch ein offenes, dreieckiges Feld abgelöst wurde. In den letzten $2,00\text{m}$ ging die Stützenform in eine vermutlich oktogonale Halbsäule über, die jeweils mit einer Fiale bekrönt war. Die Stützen waren zu beiden Seiten mit Konsolen ausgebildet, die zur Aufnahme der kreisförmig durchsetzten Träger dienten. Die oberste Trägerlage erfuhr im Vergleich zu den darunter befindlichen Trägern eine gesteigerte, ornamentierte Gestaltung: Der obere Flansch war mit dreieckigen Spitzen und in der Feldmitte mit einem emblemartigen Element ausgeschmückt. Die von der Stütze hervorspringende Konsole wurde als kreisförmig durchsetzte Voute ausgeführt. Die Auskreuzung bestand jeweils aus vier Rundrohrstäben ($d = 38\text{mm}$) die mit einem zentralen, sternförmigen Spannring zusammengeschlossen wurden.³⁹⁴

393 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 146–149. Der liegende Verband wurde 1897 nach außen verlagert, da der Gasbehälter ein fliegendes Hubteil erhielt (Tucker, 2014, p. 24).

394 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 136–138

Anm. d. Verfasserin: Die Konstruktionsbeschreibung im King's Treatise und die entsprechende Zeichnung sind nicht konkludent: Im Text wird ein stufenartiger Vorsprung der Stütze zur Aufnahme der Träger beschrieben, wohingegen die Zeichnung v.a. die drei unteren Trägerlagen mit einer voutenförmigen Aufweitung darstellt.

7.1.3. Verbandgerüste mit genieteten Stützen aus Schmiedeeisen



Abb. 212: Verbandgerüst mit einfacher Auskreuzung und T-förmigen Stützen in Poplar, London (BB, 2015).

T-förmige Stützen

Das wohl erste Verbandgerüst, bei dem T-förmige Stützen eingesetzt wurden, entstand ab 1876 in Poplar, London (Abb. 212): Robert Jones* und sein Sohn Harry* planten für den zweihübrigen Gasbehälter ($D_{\text{Becken}} = 52,50 \text{ m}$; $V = 42.475 \text{ m}^3$) ein zweigeschossiges Gerüst aus 19 T-förmigen, sich verjüngenden Stützen ($H = \text{ca. } 22,00 \text{ m}$), zwei Trägerkranzen und einfachen Auskreuzungen. Die Stütze war eine vollständig genietete Blechkonstruktion, deren tangential ausgerichteter Schenkel vollwandig und der senkrecht dazu ansetzende als Gitterträger ausgeführt wurde (Abb. 213). Die elegante Trägerkonstruktion war ein Novum: Diese bestand aus einem sich zur Feldmitte hin konkav verjüngenden, kastenförmigen Gitterträger; der obere Trägerkranz wurde später durch ein Walzprofil ersetzt (Abb. 212). Die Auskreuzung folgte dem konventionellen Aufbau aus vier Runden Eisenstäben und einem zentralen Spanning.³⁹⁵



Abb. 213: Knotenpunkt Poplar, London (BB, 2015).

395 Tucker, 2014, pp. 91–96. – Jones' Stützen erinnerten sowohl an die T-förmigen Stützen von Paddons Rahmengerüst in Hove (Siehe Kap. C.2.3.- 6.2.3.), als auch an die massiven Dreibein-Stützen von Kirkham in Fulham (Siehe Kap. C.2.3.-5.2.). Der Gasbehälter wurde 1878 in Betrieb genommen.

Dieses Gefüge kennzeichnete den Anbeginn großer Gerüstkonstruktionen – die rein funktionalen Charakters waren – frei von Ornamenten.

Ein weiteres, frühes, zweigeschossiges Gerüst mit T-förmigen Stützen wurde 1878 in Kennington, London bei einem zweihübligen Gasbehälter ($D_{2, \text{Hubteil}} = 65,60\text{m}$; $V = 84.951\text{m}^3$) nach den Plänen von *Corbet Woodall** errichtet (Abb. 214). Das Gerüst bestand aus 24 T-förmigen, sich verjüngenden Stützen ($H = 27,53\text{m}$; $b = 2133\text{--}610\text{mm}$; $h = 1372\text{--}610\text{mm}$), zwei Trägerkränzen und einfachen Auskrenzungen in den Gerüstfeldern (Abb. 214). Die Stützen stellten ein frühes Beispiel dar, bei dem Schmiedeeisen eingesetzt wurde³⁹⁶. Woodall wich von der ursprünglichen Planung, die einen gusseisernen Steg beim radial ausgerichteten Schenkel vorsah (Abb. 215, A), ab und führte die gesamte Stütze als genietete Blechkonstruktion aus, wie es schon beim tangential ausgerichteten Schenkel vorgesehen war (Abb. 215, B)³⁹⁷. Jeder Stütze war ein schienenförmiges Bauteil vorgesetzt, das als Führungsschiene diente. Die horizontalen Fachwerkträger ($h = 838\text{mm}$) stellten eine Sonderform des Kompositrähgers dar. Sie bestanden aus T-Eisen ($b/h = 152/102\text{mm}$; $t = 16\text{mm}$), kreuzförmig angeordneten Rundeisen ($d = 32\text{mm}$) und vertikalen, ornamentierten Stäben aus Gusseisen. Der Anschluss an die Stütze erfolgte über die Flansche des tangentialen Schenkels (Abb. 215). Die Auskreuzung setzte sich jeweils aus vier Rundeisenstäben ($d = 38\text{mm}$) und einem zentralen Spanning zusammen; letzterer bestand aus einem U-Eisen ($b/h = 152/76\text{mm}$; $t = 13\text{mm}$) mit nach außen gerichteten Schenkeln. Der Anschluss der Rundeisenstäbe an die Stütze bzw. den Träger erfolgte über ein Bindeblech (Abb. 215).³⁹⁸ Knapp 15 Jahre später wurde der Gasbehälter erweitert – mit zwei Hubteilen und einem dritten Gerüstring. In diesem Zuge wurde die einfache Auskreuzung durch eine zweifache ersetzt (Siehe Kap. C.2.3.-7.2.).

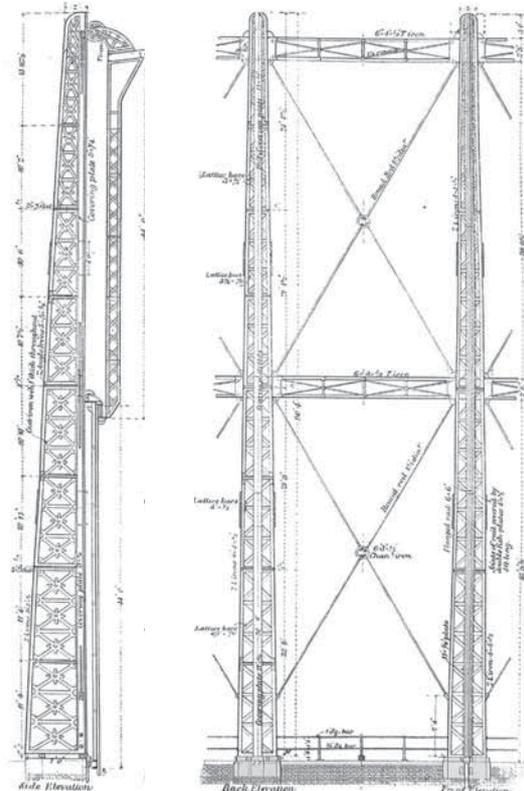


Abb. 214: Zweigeschossiges Verbandgerüst in Kennington, London (Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XVIII).**

A: Radialer Schenkel
Kompositrähger

A: Tangentialer Schenkel
Blechträhger

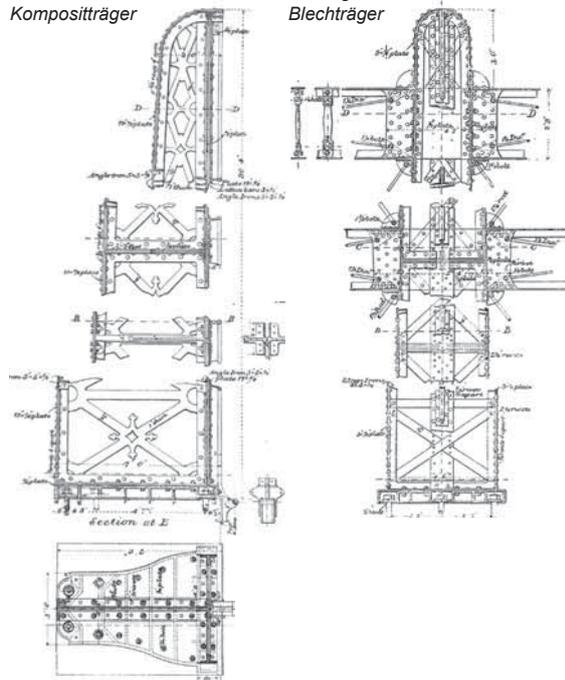


Abb. 215: Ursprünglich geplante T-förmige Stütze, Kennington – London (Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XIX).**

396 Tucker, 2014, p. 24

397 Tucker, 2014, p. 53

398 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 169–174

Kastenform, quadratisch

Nach Tucker, 2014 befand sich das erste Verbandgerüst, dessen Stützen mit kastenförmigen Fachwerkträgern ausgeführt wurden, auf dem Gaswerk Battersea in London. 1883 wurde dort ein zweihübiger Gasbehälter ($D_{2, \text{Hubteil}} = 60,10\text{m}$; $V = 73.624\text{m}^3$) mit einem dreigeschossigen Gerüst nach den Plänen von Robert Morton* fertig gestellt. Die 22 sich nach oben verjüngenden Stützen ($H = \text{ca. } 28,00\text{m}$) hatten einen annähernd quadratischen



Abb. 216: Dreigeschossiges Verbandgerüst mit kastenförmigen Stützen und einfacher Auskreuzung in Battersea, London (Foto, Malcolm T. Tucker, 1998).

Grundriss ($b/h_{\text{Fuß}} = 1750/1370\text{mm}$) und wurden mit drei Trägerkränzen verbunden; letztere bestanden aus Gitterträgern, wobei der abschließende ebenfalls als Kastenträger ausgeführt wurde. Die Auskreuzung setzte sich aus vier Rundeisenstäben und einem zentralen Spannring zusammen, der von einem wappenartigen Emblem verdeckt wurde. ³⁹⁹

Eines der größten Verbandgerüste entstand 1891 für „The Colonel“ ⁴⁰⁰ – einen vierhübigen Gasbehälter ($D_{\text{Becken}} = 76,20\text{m}$; $V = 212.377\text{m}^3$) in Kensal Green, London. ⁴⁰¹

Das fünfgeschossige Verbandgerüst ($H = 50,75\text{m}$) war eine Weiterentwicklung des Vorgängers in Bethnal Green (Siehe Kap. C.2.3.-6.2.3.). Trewby ertüchtigte das Gerüstgefüge, indem er jeweils ein Paar Rundeisenstäbe in die Felder setzte (Abb. 217). ⁴⁰²

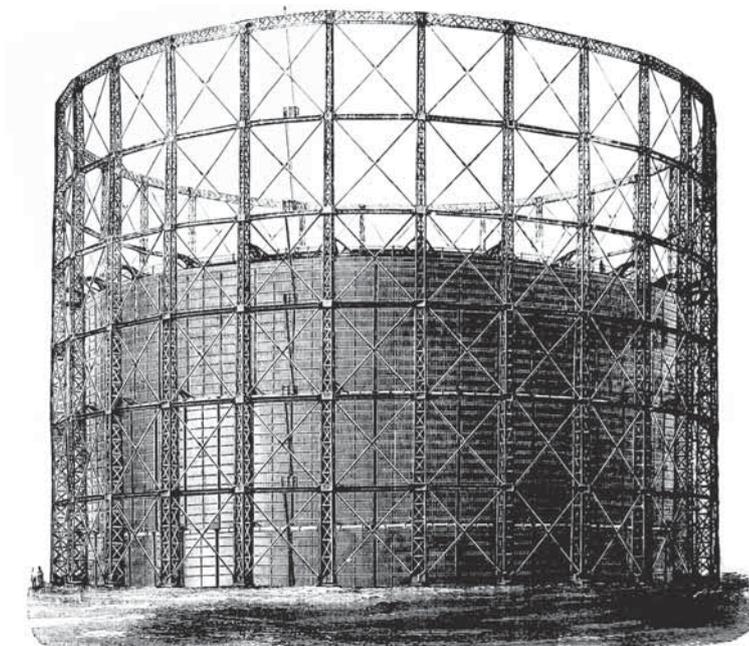


Abb. 217: Fünfgeschossiges Verbandgerüst mit einfacher Auskreuzung und kastenförmigen Stützen in Kensal Green, London (JGL-61, 1893, p. 435).

399 Tucker, 2014, pp. 127–131; Tucker, 2014b, p. 18

400 JGL-69, 1897, p. 1028. Die ausführende Firma war Sam Cutler & Sons.

401 Sturt, 1980, p. 22; Tucker, 2014, p. 25

402 Tucker, 2014, pp. 79, 86; Tucker 2017.

Dieses Führungsgerüst war ein frühes Beispiel, bei dem Bauteile aus Stahl eingesetzt wurden.



Abb. 218: Fünfgeschossiges Verbandgerüst in Hornsey mit quadratischen Stützen (BB, 2015).

Diese wurden nicht mehr über einen zentralen Spannung justiert, sondern über Gewindemuffen sowie Spannschlösser (Abb. 219).

Insgesamt bestand das Gerüst aus 24 kastenförmigen Stützen und fünf Trägerkränzen, die als Kastenträger konzipiert waren; die unteren hatten einen flachen Querschnitt und waren liegend eingesetzt (Abb. 219). Der obere, abschließende Kastenträger hatte einen annähernd quadratischen Querschnitt. Analog zum Prototypen in St. Pancras war auch diese Gerüstform völlig frei von jeglichem Dekor.

Ein kleineres, baugleiches Verbandgerüst nach Trewby wurde 1929 in Hornsey errichtet, das für einen Gasbehälter von 84.951m³ ausgelegt war (Abb. 218).⁴⁰³



Abb. 219: Knotenpunkt des Verbandgerüsts in Hornsey (BB, 2015).

403 Tucker, 2014, p. 55

Kastenform, schmal



Abb. 220: Dreigeschossiges Verbandgerüst in Eastbourne basierend auf sich verjüngenden Kastenträgern (BB, 2015).

Eine Sonderposition innerhalb der Verbandgerüste mit kastenförmigen Stützen nahmen die schmalen bzw. schlanken Kastenquerschnitte ein, die dem Führungsgerüst ein filigranes Erscheinungsbild verliehen.

Diese wurden zuerst in 1882 in Poplar, London nach den Plänen von Harry Jones eingeführt.

Ein weiteres Beispiel folgte 1882 in Eastbourne, wo ein Gasbehälter ($D = \text{ca. } 41,00\text{m}$; $V = 23.361\text{m}^3$) mit einem dreigeschossigen Verbandgerüst errichtet wurde (Abb. 220).⁴⁰⁴

Die 18 Stützen basierten auf dieser schlanken Kastenform und auch die drei Trägerkänze bestanden aus sich verjüngenden Kastenträgern (Abb. 221)⁴⁰⁵.

Die Gerüstfelder wurden mit einfachen Auskrenzungen ausgestattet; diese bestanden aus zwei Rundeisenstäben, die über Spannschlösser justiert wurden.



Abb. 221: Stützen-Träger-Verband Anschluss in Eastbourne (BB, 2015).

404 Tucker, 2014, pp. 55, 104;; Tucker 2017

405 Die kastenförmigen, sich verjüngenden Träger debütierten bereits in Poplar, London (Siehe Kap. C.2.3.-7.1.3, T-Form).



Abb. 222: Sechsgeschossiges Verbandgerüst mit einfacher Auskreuzung in der Bradford Road, Manchester (BB, 2015).

Der Bau von Verbandgerüsten mit einfacher Auskreuzung, basierend auf schmalen, kastenförmigen Stützen bewährte sich bis in das 20. Jahrhundert hinein.

So wurde z.B. in der Bradford Road in Manchester 1910 ⁴⁰⁶ ein vierhübriger Gasbehälter ($D_{\text{Becken}} = 78,64\text{m}$; $V = 283.168\text{m}^3$) mit einem sechsgeschossigen Verbandgerüst nach den Plänen von *Thomas Newbigging** fertig gestellt. Sowohl die 30 Fachwerkstützen ($H = 51,21\text{m}$), als auch die mittleren vier Trägerkränze basierten auf einem schmalen Kastenquerschnitt. Die einfache Auskreuzung setzte sich aus zwei durchlaufenden Flacheisenstäben zusammen, die in der Mitte untereinander fixiert wurden. An der Stütze wurden die vier Flacheisen jeweils mit einem gemeinsamen Bindeblech (Abb. 223) angeschlossen. ⁴⁰⁷



Abb. 223: Knotenpunkt des Verbandgerüsts in der Bradford Road, Manchester (BB, 2015).

406 Tucker, 2014, p. 35. Der baugleiche, dreihübriger Vorgänger wurde dort 1897 fertig gestellt – mit 28 Stützen ($H = 45,68\text{m}$). (JGL-69, 1897, pp. 1297–1298).

407 Newbigging, o. J. – Ein weiteres Gerüst dieser Art wurde 1928 in Poplar fertig gestellt (Tucker, 2014, p. 55).

7.2. Verbandgerüste mit zweifacher Auskreuzung



Abb. 224: Liveseys erstes Verbandgerüst mit zweifacher Auskreuzung in der Old Kent Road, London (BB, 2015).

1870 brach eine neue Ära in der Konstruktion von Führungsgerüsten an: Das eher empirische Vorgehen wurde durch exakte Berechnungsmethoden abgelöst. *Frederick Southwell Cripps** war ein wichtiger Wegbereiter dieser Bewegung, der das Führungsgerüst des Gasbehälters als herausragendes Beispiel der damaligen Ingenieurbaukunst erscheinen ließ: ⁴⁰⁸

„(...) such structures were considered to be entitled to be the highest consideration of the most eminent engineers and mathematicians of the day. (...)“

„Livesey Pattern Gasholder“ (Dt.: Livesey-Gasbehälter)

*George Thomas Livesey** schuf eine neuartige Gerüstkonstruktion, die den damaligen Stand der Technik grundlegend aushebelte. Er veränderte den Aufbau, die Position und den Anschluss des Windverbandes an die Stützen: Jedes Gerüstfeld war mit einer doppelten Auskreuzung konzipiert. Die diagonalen Stäbe wurden so an die Stützen gesetzt, dass sie von einem Gerüstfeld in das nächste „durchliefen“ und gemeinsam mit den horizontalen Trägern das Gerüst zu einer konstruktiven Einheit verbanden. ⁴⁰⁹ 1880 wurde das erste Verbandgerüst nach Livesey für einen dreihübrigen Gasbehälter ($D_{\text{Becken}} = 64,01\text{m}$)

408 Milbourne, 1923, p. 2
„(...) solche Konstruktionen erfuhren die höchste Beachtung der herausragendsten Ingenieure und Mathematiker ihrer Zeit (...)“ (Übers. d. Verfasserin)
Cripps beschäftigte sich mit der Berechnung und Bemessung von Führungsgerüsten, die er 1889 veröffentlichte – „The Guide-Framing of Gasholders“.

409 JGL-52, 1888, p. 587; Stevenson, 1901, p. 60; Meade, 1916, p. 434; Layton, 1920, p. 39; Milbourne, 1923, p. 2
Milbourne fasste diese neue Konstruktionsweise wie folgt zusammen:
„This holder introduced an entirely new principle of construction-viz., the lashing together of the standards by struts and ties of such strength as to make the guide-framing into one cylindrical cantilever, instead of what was before a group of practically independent posts.“
„Dieser Gasbehälter führte eine vollkommen neue [Gerüst-] Konstruktion ein, die die Stützen mit ausreichend starken, horizontalen Trägern und Windverbänden so zusammenschloss, dass sie nicht mehr als einzelne Kragarme funktionierten, sondern einen ganzheitlicher Kragarm in Zylinderform bildeten.“ (Übers. d. Verfasserin)
Cripps unterschied zwischen dem „simple cylinder type“ (dt.: einfacher Zylinder-Typ) und dem „multipost type“ (dt.: Multi-Stützen Typ; JGL-52, 1888, p. 587).



Abb. 225: Neuartiger Verbandanschluss nach Livesey (BB, 2015).

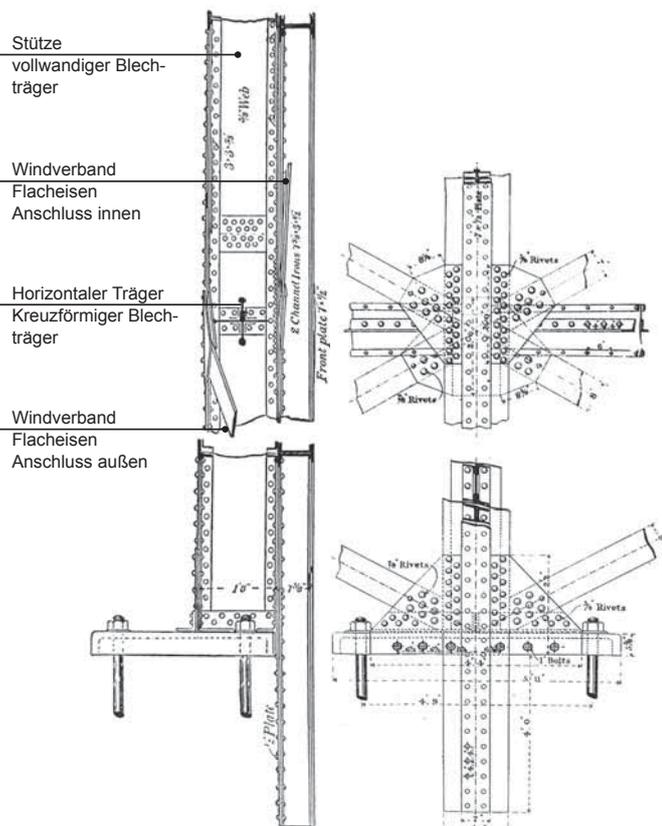


Abb. 226: Verbandgerüst nach Livesey (JGL-38, 1881, Nov. 8th; Hunt, 1900, p. 160).**

auf dem Gaswerk in der Old Kent Road, London errichtet (Abb. 224); mit einem Nutzvolumen von 155.743m³ war der neuartige „Livesey Pattern Gasholder“ zugleich der seinerzeit größte weltweit ⁴¹⁰. Das fünfgeschossige Verbandgerüst nach Livesey war eine vollständig genietete Blechkonstruktion (Abb. 226, Abb. 225):

- Bei den 24 Stützen (H= 48,77m) wurden erstmals vollwandige, I-förmige Blechträger eingesetzt, die sich nach oben leicht verjüngten (b= 306–307mm). Am innen liegenden Flansch war eine ebenfalls I-förmige Schiene befestigt, die sich aus zwei Winkeleisen zusammensetzte.
- Die horizontalen Blechträger hatten einen kreuzförmigen Querschnitt, der sich aus einem Flach- und zwei Winkeleisen ergab. Das breite Flacheisen wurde jeweils an den Enden mit zwei halbrunden Eisenstäben verstärkt. Der oberste Trägerkranz war mit einem liegenden Verband nach Paddon ausgestattet (Siehe Kap. C.2.3.-4.3.1.).
- Das Novum dieser Gerüstkonstruktion stellte der Windverband dar: Zum Einen, weil die Diagonalen erstmals mit zwei durchlaufenden Flacheisenstäben ausgeführt wurden ⁴¹¹ und zum Anderen, weil diese jeweils am vorderen und am hinteren Flansch der Stütze befestigt wurden und somit das Gesamtgefüge verstärkten; beide Flacheisen wurden über eine zentral angeordnete Platte bzw. Klammer gekoppelt (Abb. 225). ⁴¹²

Mit diesem Verbandgerüst führte Livesey das rein funktionale Erscheinungsbild fort, das bereits von

410 Layton, 1920, p. 39; Milbourne, 1923, p. 2
Die ausführende Firma war Ashmore, Benson & Pease and Co., limited, Stockton-on Tees (JGL-49, 1887, p. 159).

411 Tucker, 2014, p. 58

412 JGL-38, 1881, Nov. 8th, Nov. 16th, Nov. 22nd; Hunt, 1900, p. 160
Weitere Planunterlagen zum Führungsgerüst siehe JGL-38, 1881, Nov. 8th, Nov. 16th, Nov. 22nd



Abb. 227: Fünfgeschossiges Verbandgerüst mit zweifacher Auskreuzung in der Windsor Street, Birmingham (BB, 2015).

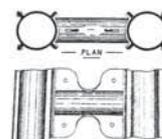
Jones eingeleitet wurde und frei von jedwedem Ornament war (Siehe Kap. C.2.3.-6.2.3.).⁴¹³

1889 wurde in East Greenwich, London ein weiteres Verbandgerüst gebaut, das auf diesem Konstruktionsgedanken fußte, aber von Livesey mit einer dreifachen Auskreuzung bedacht wurde (Siehe Kap. C.2.3.-7.3.1.).⁴¹⁴

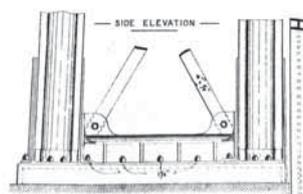
In Birmingham wurden 1883⁴¹⁵ die Führungsgerüste von zwei Gasbehältern ($D_{\text{Becken}} = 73,15\text{m}$; $H = 46,02\text{m}$) ebenfalls mit einer zweifachen Auskreuzung gebaut (Abb. 227); die Pläne stammten von Charles Hunt*.⁴¹⁶

Die Besonderheit des fünfgeschossigen Verbandgerüsts zeigte sich in der Konstruktion der einzelnen Bauteile: Die 26 Stützen (Abb. 228) waren als I- bzw. hantelförmige, sich nach oben verjüngende Fachwerkträger konzipiert: Die kreisförmigen Flansche ($d = 304\text{mm}$) bestanden aus

Schnitt, Ansicht
Stütze auf halber Höhe



Ansicht
Stützenfuß



Grundriss
Stützenfuß

Quadranteisen
Fußplatte

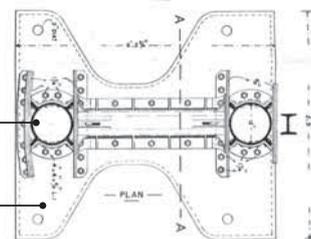


Abb. 228: Hantelförmige Stütze, Birmingham (JGL-47, 1886, Feb. 2, N° 18).**

413 Zur Bemessung des Gerüsts – siehe Cripps, 1889, pp. 59–61.

414 Milbourne, 1923, p. 2

415 Elton, 2014, p. 161. Die ausführende Firma war „Samuel Cutler & Sons“ (JGL-47, 1886, p. 864).

1888 wurde in New York ein dreihübriger Gasbehälter ($V = 92.030\text{m}^3$) mit einem sehr ähnlichen Führungsgerüst ($H = 38,10\text{m}$) errichtet; die 24 Stützen bestanden jedoch aus einem Winkeleisenpaar. Dieser Gasbehälter war der seinerzeit größte in den USA (JGL-52, 1888, p. 937).

416 JGL-47, 1886, N° 17–25

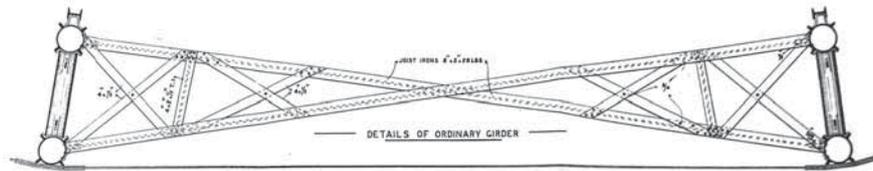


Abb. 229: Verjüngender Fachwerkträger, Birmingham (JGL-47, 1886, Feb. 16, N° 19).

Quadranteisen. Der Steg gliederte sich in horizontale Rundrohre aus Gusseisen und kreuzförmig angeordneten Blechstreifen. Die Fachwerkträger (Abb. 229) basierten auf einem kreuzförmigen Gefüge. Die Winkelisen ($b/h = 203/127\text{mm}$) verliefen jeweils vom vorderen zum hinteren Quadranteisen und kreuzten sich in der Feldmitte.

Die zweifache Auskreuzung bestand aus zwei Flacheisen ($b/h = 114/9\text{mm} - 229/10\text{mm}$), die am äußeren Quadranteisen der Stütze befestigt wurden (Abb. 230). Beide Flacheisen wurden in der Mitte über eine Klammer gesichert.⁴¹⁷

Beide Führungsgerüste wurden an drei Stützen zusammen geschlossen (Abb. 227).⁴¹⁸

Mit dieser wohlgeplanten Konstruktion, die den Gedanken Liveseys fortführte, gelang Hunt ein einzigartiges Verbandgerüst, für das er von dem Council of the Gas Institute sogar mit der Goldmedaille ausgezeichnet wurde. Seine detaillierten, aufschlussreichen Plandarstellungen wurden dahingehend gewürdigt, dass sie

„(...) constitute in themselves a compendium of gas engineering design.“⁴¹⁹

Insgesamt waren diese Führungsgerüste von Livesey und Hunt herausragende Beispiele der neuen Konstruktionsweise (Ebenso wie das Beispiel in East Greenwich, siehe Kap. C.2.3.-7.3.1.). Diese ermöglichte eine verbesserte Aussteifung und einen reduzierteren Materialeinsatz, erhöhte aber zugleich die Baukosten, wozu u.a. die schwierigere Montage beitrug.⁴²⁰

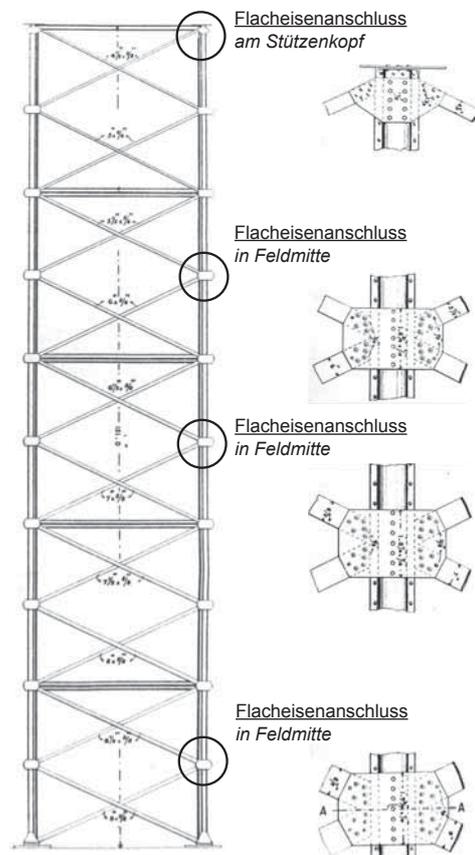


Abb. 230: Anschluss der Auskreuzungen an die Stützen, Birmingham (JGL-47, 1886, Feb. 16, N° 19).**

417 JGL-47, 1886, N° 17–25; Hunt, 1900, pp. 160–161

418 Zur Bemessung des Gerüsts, siehe Cripps, 1889, pp. 61–62.

419 JGL-47, 1886, p. 998 „(...) in sich selbst ein Compendium über die Entwicklung des Ingenieurbaus in der Gastechnik darstellen.“ (Übers. d. Verfasserin).

Zudem bezeichnete Hunt selbst dieses Verbandgerüst als

„(...) neatly worked, and everything done to secure sound and eyeable work.“

„(...) vollkommen darauf ausgelegt, ein standsicheres und ansehnliches Werk zu vollbringen.“

(Übers. d. Verfasserin).

420 Cripps, 1889, p. 36

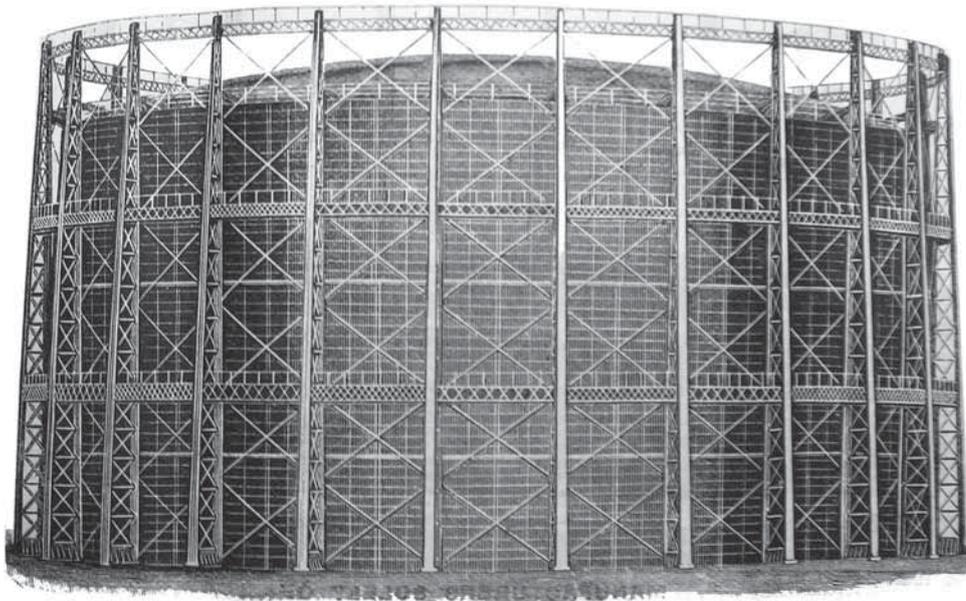


Abb. 231: Dreigeschossiges Verbandgerüst mit zweifacher Auskreuzung und I-förmigen Stützen in Glasgow (JGL-65, 1895, p. 351).

Ein weiteres Beispiel, das sich jedoch der konventionellen, I-förmigen Fachwerkstützen bediente, wurde 1893 in Glasgow fertig gestellt (Abb. 231)⁴²¹: Das dreigeschossige Verbandgerüst (D= 73,15m; H= ca. 42,00m) nahm drei Hubteile auf ($V_{\text{gesamt}} = 169.901\text{m}^3$) und setzte sich aus 24 Stützen – sich stark verjüngenden Fachwerkträgern – und drei Trägerkränzen aus Gitterträgern zusammen. Die Auskreuzungen wurden jeweils am inneren Flansch der Stütze befestigt.

421 JGL-65, p. 351; Tucker, 2014, pp. 54, 59

Als Ertüchtigungsmaßnahme



Abb. 232: Erweitertes, dreigeschossiges Verbandgerüst mit zweifacher Auskreuzung in Kennington, London (BB, 2015).

Der um 1878 errichtete zweihübrige Gasbehälter ($V= 84.951\text{m}^3$) in Kennington, London (Siehe Kap. C.2.3.-6.2.2.) wurde 1890 mit zwei Hubteilen erweitert ($V= 172.733\text{m}^3$); dies geschah nach den Plänen von *Frank Livesey**⁴²².

Dies hatte eine Aufstockung des Führungsgerüsts mit einem dritten Gerüststring zur Folge (Abb. 232). Aufgrund der bestehenden Stützenkonstruktion, die sich nach oben verjüngte, erfolgte die Verlängerung der Stütze in der Feldmitte: Der neue Gerüststring wurde zwischen die beiden bestehenden eingesetzt. Der Stützenquerschnitt blieb in diesem Abschnitt somit konstant. Der neue, mittlere Trägerkranz wurde mit standardisierten Fachwerkträger ausgeführt – ohne Ornamente.

Um das Gefüge insgesamt zu verstärken, wurde die ursprünglich einfache Auskreuzung durch eine zweifache ersetzt. Diese bestand aus Flacheisenstäben, die über Bindebleche an die Stützen und Träger befestigt wurden (Abb. 233).



Abb. 233: Anschlussdetail Träger-Verband-Stütze, Kennington, London (BB, 2015).

422 Tucker, 2014, p. 24

7.3. Sonderformen



Abb. 234: Verbandgerüst mit dreifacher Auskreuzung in East Greenwich, London (BB, 2015).

Neben der einfachen und zweifachen Auskreuzung, die beim Bau von Verbandgerüsten dominierten, gingen auch einige Sonderformen hervor, die durch das Ergänzen von weiteren Bauteilen entstanden.

7.3.1. Verbandgerüst mit dreifacher Auskreuzung

Nach der erfolgreichen Einführung des neuartigen Verbandgerüsts in der Old Kent Road (Siehe Kap. C.2.3.-7.2.) sorgten die Livesey Brüder 1889 erneut für Aufsehen unter den Gasingenieuren: Nach vierjähriger Bauzeit wurde der erste vierhüblige Gasbehälter ($D= 76,20\text{m}$; $H_{\text{Gerüst}} = 60,35\text{m}$; $V= 232.198\text{m}^3$) in East Greenwich, London mit einem besonders eleganten, sechsgeschossigen Verbandgerüst fertig gestellt:⁴²³

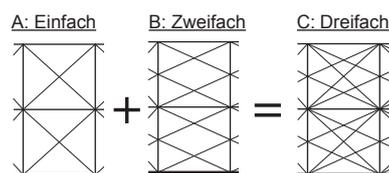


Abb. 235: Anordnung der Auskreuzung in East Greenwich, London (Schema, BB, 2017).

Dieses bestand aus 28 I-förmigen Stützen – wobei der innere Flansch deutlich breiter war als der äußere – und sechs Trägerkränzen und bestach mit einer dreifachen Auskreuzung (Abb. 235, C), die sich aus der Überlagerung der einfachen (A) mit der zweifachen (B) Anordnung ergab. Die diagonalen Stäbe bestanden aus Flacheisen. Die charakteristische Befestigungsmethode des Prototypen wurde hier nur bei der einfachen Auskreuzung (A) angewendet. Die übrigen Diagonalen wurden entweder ausschließlich an den hinteren oder an den vorderen Flanschen befestigt. Der obere, abschließende Trägerkranz wurde mit einem liegenden Verband nach Paddon verstärkt.⁴²⁴

423 Tucker, 2014, pp. 31, 58

424 Zur Bemessung des Gerüsts, siehe Cripps, 1889, pp. 62–64.

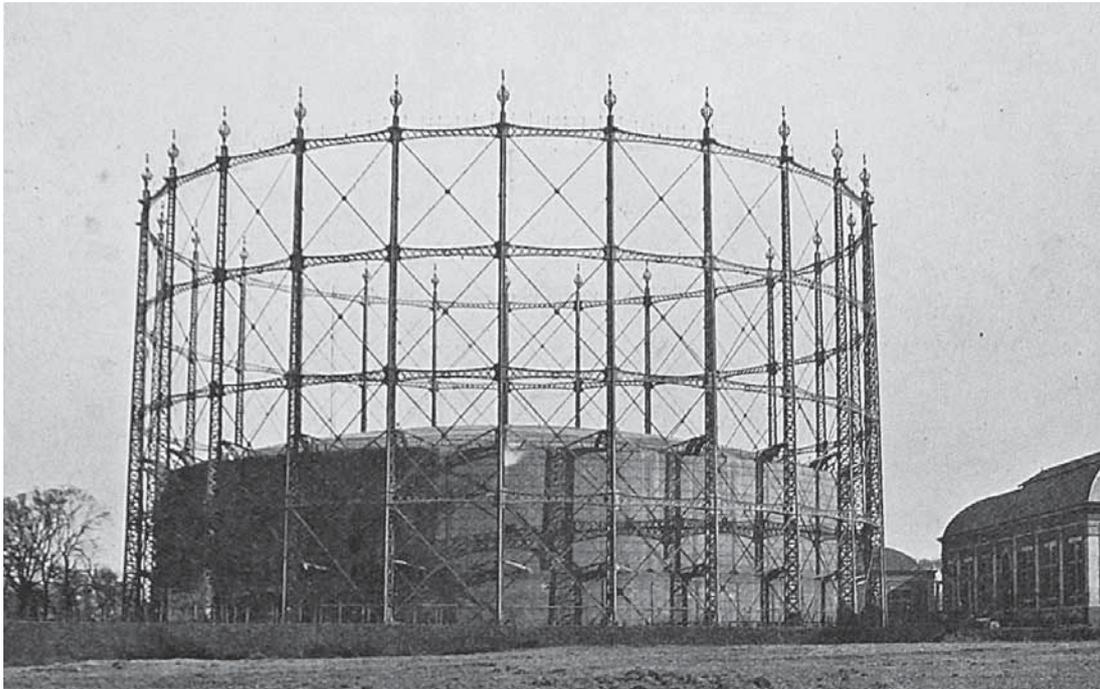


Abb. 237: Verbandgerüst des Gasbehälters in Granton, Edinburgh – mit netzförmiger Ausfachung der Gerüstfelder (Herring, 1907, p. 210).

7.3.2. Netzförmiges Verbandgerüst

Ralph Herring* entwarf um 1900 einen vierhübrigen Gasbehälter ($V= 198.218\text{m}^3$) für das Gaswerk Granton in Edinburgh (Abb. 237), dessen Verbandgerüst sich aus 26 Stützen ($H= 43,74\text{m}$), vier Trägerkränzen und netzförmig angeordneten Windverbänden zusammensetzte (Abb. 236):⁴²⁵

- Die Stütze war ein schmaler, kastenförmiger Fachwerkträger mit außen liegendem, halbkreisförmigen Eisen; die Schiene bestand aus einem vorgesetzten, gespreizten U-Eisen.
- Die Gitterträger hatten einen kastenförmigen Querschnitt, der sich zur Feldmitte hin leicht verjüngte.
- Der netzförmige Verband ergab sich aus einer einfachen Auskreuzung aus T- und Kreuzeisen und zusätzlichen, parallel angeordneten Rundeisenstäben.

Das Gerüst hatte den Anschein, lediglich mit einer einfachen Auskreuzung – so wie es ursprünglich auch geplant war⁴²⁶ – gebaut zu sein, da die sekundären, diagonalen Stäbe sehr dünn gewählt waren.

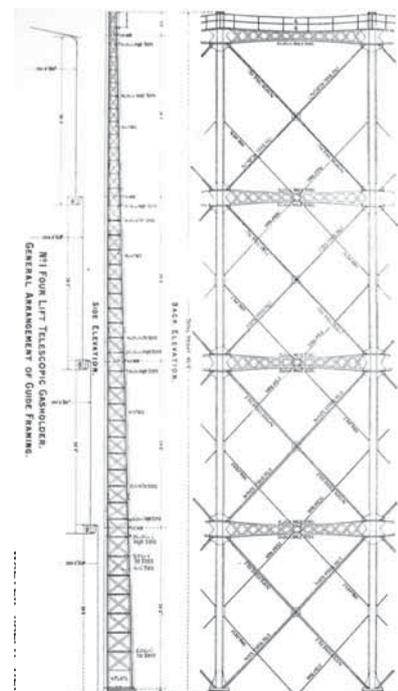


Abb. 236: Netzförmiges Verbandgerüst in Granton-Edinburgh (Herring, 1907, Pl. N. 26).**

425 Herring, 1907, Plate N. 26

426 Herring, 1907, p. 210

7.4. Trianguliertes Verbandgerüst nach Cutler

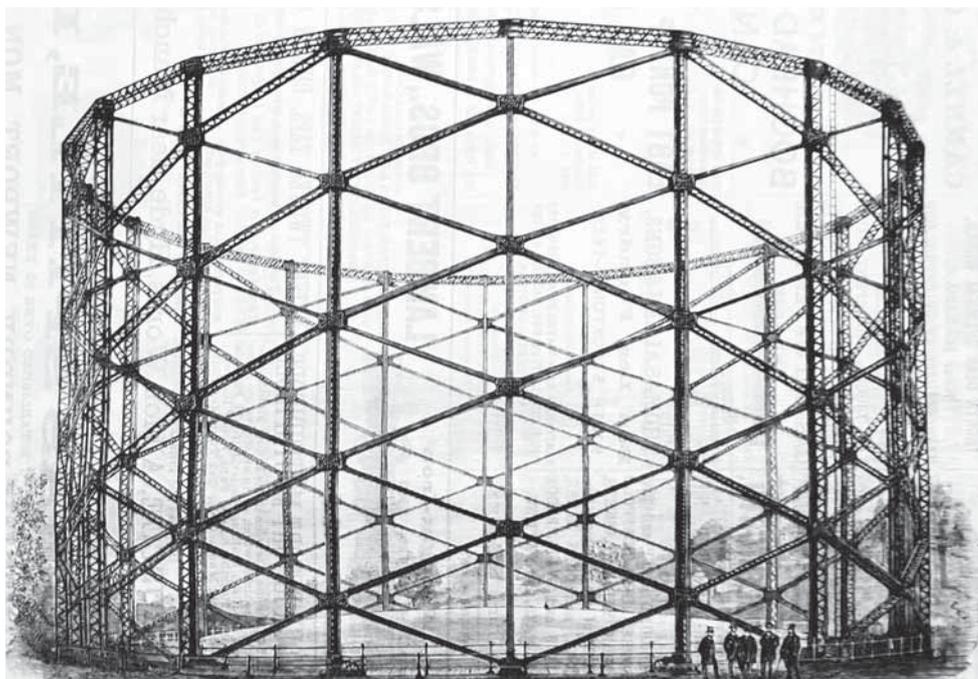


Abb. 238: Erster Gasbehälter mit trianguliertem Verbandgerüst in Tunbridge Wells (JGL-55, 1890, p. 460).

Dem Konstruktionsgedanken Liveseys (Siehe Kap. C.2.3.-7.2.) folgend revolutionierte und rationalisierte Samuel Cutler jun.*⁴²⁷ die bisherigen Verbandgerüste mittelgroßer Gasbehälter, indem er das sogenannte **Triangulierte Verbandgerüst** 1888 patentierte (Abb. 239).

Die Gerüstfelder wurden nicht horizontal unterteilt, sondern trianguliert, sodass die horizontalen Träger bis auf die obere abschließende Lage reduziert werden konnten. Die dabei entstehenden diagonalen Träger wanden sich in Form einer Doppel-Helix an den Stützen empor und verbesserten so die Aussteifung des Gerüsts. Der obere Abschluss des Gerüsts wurde mit einem kastenförmigen Trägerkranz verstärkt.⁴²⁸

Sowohl die Stützen, als auch die diagonalen Träger bestanden aus I-förmigen, genieteten Fachwerkträgern. Letztere wurden liegend zwischen die Stützen gesetzt, was den Anschluss an die Stütze verbesserte. Die Größe des Bindeblechs war an diesen Knotenpunkten auf ein Minimum reduziert, um das filigrane Gesamtgefüge nicht zu beeinträchtigen.

Bei zunehmenden Gerüstabmessungen wurden die I-Träger als schmale Kastenträger ausgeführt (Abb. 245).

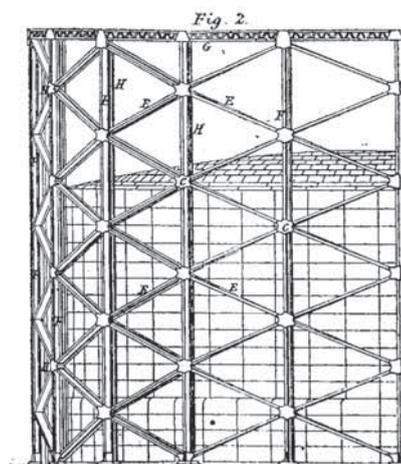


Abb. 239: Das triangulierte Verbandgerüst nach Cutler (JGL-54, 1889, p. 215).

427 Cutler war von Kindesbeinen an im Eisenbetrieb seiner Familie integriert, die sich schließlich auf den Bau von Gasbehältern spezialisierte und sich damit – weltweit – einen Namen machte. Nachdem sein Vater starb, übernahm Samuel Cutler zusammen mit seinem Bruder die Firma, die seit ca. 1866 als „Samuel Cutler & Sons“ bekannt war.

428 Neben der Erfindung des triangulierten Verbandgerüsts brachte Cutler ab 1909 auch einige Verbesserungen für spiralgeführte Gasbehälter hervor (Elton, 2014, pp. 160–163). Siehe auch Kapitel C.2.6-1.1. JGL-54, 1889, p. 215; Tucker, 2014, p. 59

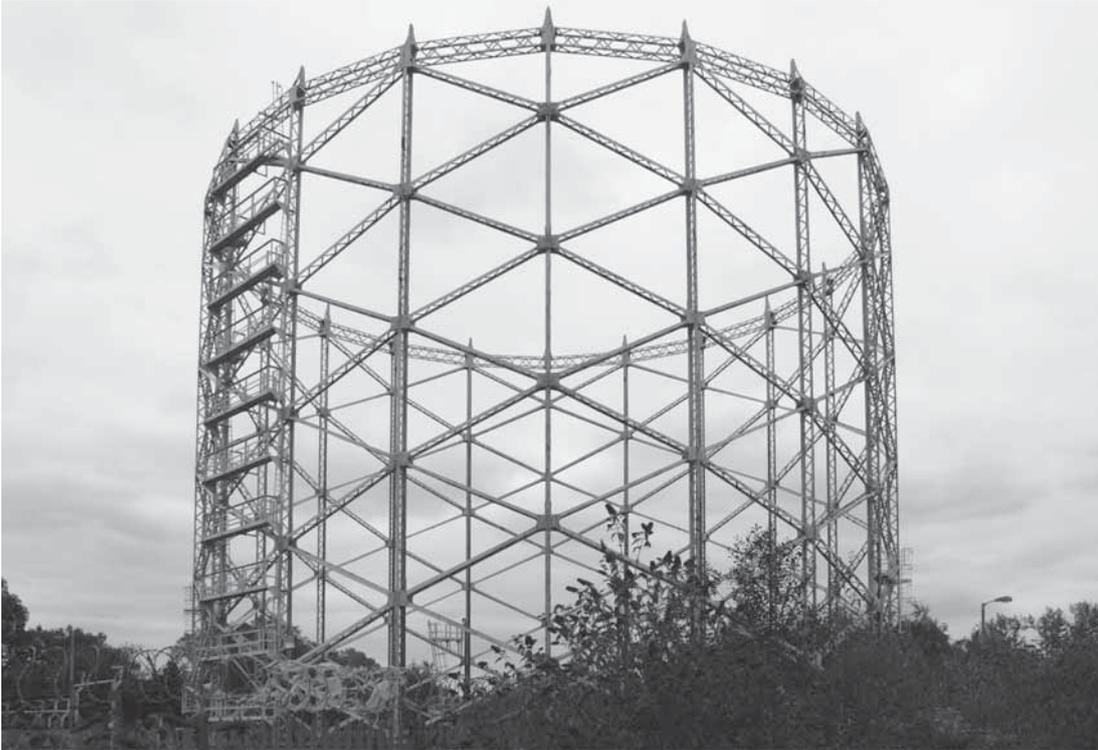


Abb. 240: Trianguliertes Verbandgerüst in Hornsey (BB, 2015).

Das erste triangulierte Verbandgerüst wurde 1889 für einen zweihubigen Gasbehälter in Tunbridge Wells ($H_{\text{Gerüst}} = \text{ca. } 21,50\text{m}$) fertig gestellt (Abb. 238) und stellte sein filigranes sowie elegantes Erscheinungsbild unter Beweis, das sich zu Cutlers alleinigem Markenzeichen (Abb. 243) entwickelte und in Großbritannien auch als „Cutler-type“ bekannt war.

Cripps, der als ein bedeutender und kritischer Ingenieur dieser Zeit (Siehe Kap.C.2.3.-7.2.) galt, lobte dieses neuartige Gerüstgefüge, das trotz seiner reduzierten Bauteilanzahl die erforderliche Standsicherheit gewährleistet und somit dem Slogan Cutlers „Strong – Safe – Cheap“ gerecht wurde. Zudem hebte er die vereinfachte Montage hervor, die sich günstig auf die Bauzeit und die -kosten auswirkte.⁴²⁹

Das wohl dritte Führungsgerüst nach Cutler folgte 1892 in Hornsey ($D = 34,44\text{m}$; $H_{\text{Gerüst}} = \text{ca. } 33,50\text{m}$; $V = 26.561\text{m}^3$) und diente zur Führung von drei Hubteilen (Abb. 240)⁴³⁰. Das Gefüge bestand aus 20 Stützen, zwischen denen jeweils elf diagonale



Abb. 241: Knotenpunkt mit I-förmigen Gitterträgern in Hornsey (BB, 2015).

429 JGL-56,1890, p. 1260 – In Shanklin wurde das zweite Gerüst nach Cutler errichtet (JGL-56, 1890, p. 1260).

430 Tucker, 2014, pp. 25–28, 59; Elton, 2014, p. 161

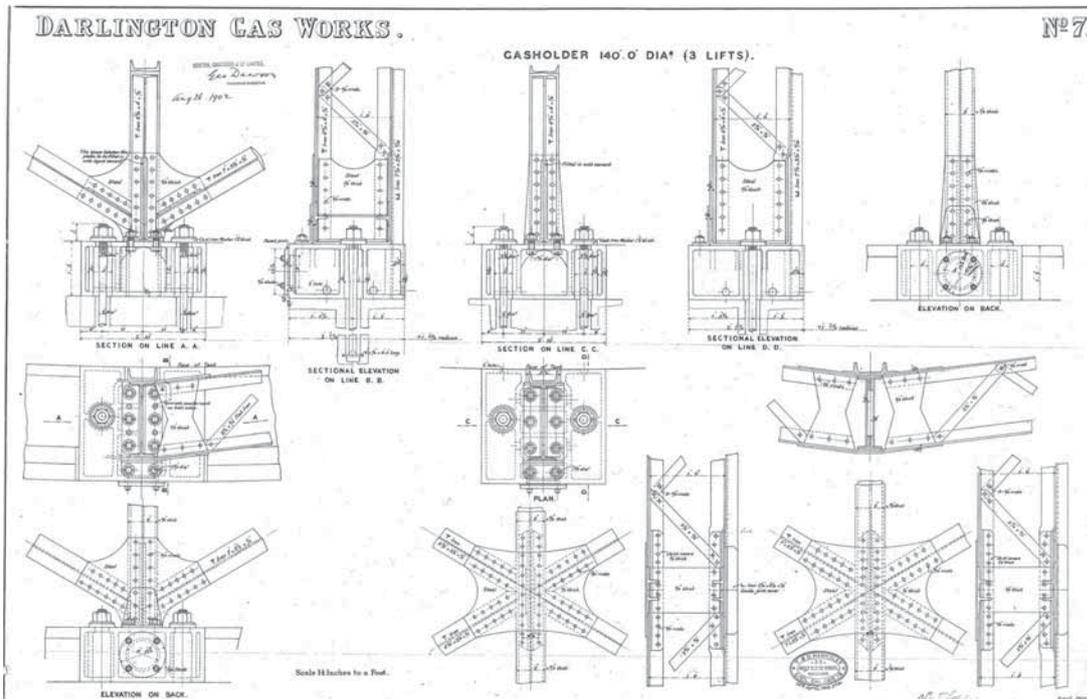


Abb. 242: Anschlussdetails des triangulierten Verbandgerüsts in Darlington (NGA, NO/TE/DAC/E/T/9).

Träger gesetzt wurden; beide Bauteile basierten auf der I-Form. Ein Novum stellte hier die Ausführung der Stützenköpfe dar: Entgegen dem glatten, horizontalen Gerüstabschluss – wie er in der Patentschrift vorgesehen war – führte Cutler die Führungsschiene über den horizontalen Trägerkranz hinaus und bewirkte so einen eleganten, spitzenförmigen Abschluss des Gerüsts, der an die Fialen seiner ornamentreichen Vorgänger erinnern ließ. Dieses Detail wurde bei allen weiteren Gerüsten nach Cutler beibehalten.

Die Anschlüsse der diagonalen Träger und der Stützen sind am Beispiel eines Verbandgerüsts in Darlington dargestellt, das 1902 für einen dreihübrigen Gasbehälter geplant wurde (Abb. 242): Die Stützen (H= 27,43m) waren I-förmige Fachwerkträger, die sich aus zwei T-Eisen (b/h= 171/102mm; t= 13mm) und diagonalen Flacheisen zusammensetzten. Dies ergab eine konstante Bauteiltiefe von insgesamt 533mm. Die diagonalen Träger folgten dem gleichen Aufbau, jedoch mit kleineren T-Eisen (b/h= 162/79mm und 178/89mm) und wurden liegend zwischen die Stützen gesetzt.

SAMUEL CUTLER & SONS.
Cutler's Patent Guide Framing for Gasholders
 HAS BEEN ADOPTED FOR MANY IMPORTANT HOLDERS.

This Guide Framing does not require Piers for its support and the Cost of the Tank is thus much reduced
It has been adopted in many places, including the following:—

Tunbridge Wells	112 x 35 2 Lifts	Sunderland	150 x 32 3 Lifts	Copenhagen	174 x 30 3 Lifts
Northside	100 x 24 4 "	Horsey	111 x 35 3 "	Southend	90 x 35 2 "
Shanklin	80 x 30 2 "	St. Albans	48 x 33 1 "	Hull	85 x 30 "
Ryde	82 x 28 3 "	Jersey	100 x 35 3 "	Aldershot	82 x 24 3 "
St. Mary Cray	78 x 24 2 "	Ipswich	122 x 32 3 "	Stroudford	65 x 22 "
Bushill	99 x 28 2 "	King's Lynn	60 x 35 3 "	Southend (2nd)	122 x 32 3 "
Barnet	114 x 36 2 "	Crease	43 x 30 3 "	Luton	122 x 30 "
Hampton Court	111 x 32 3 "				

CARBURETTED WATER-GAS PLANT.
 EVERY REQUIREMENT FOR GASWORKS.
PROVIDENCE IRONWORKS, MILLWALL, LONDON.

Abb. 243: Werbung für das triangulierte Verbandgerüst nach Cutler (Stevenson, 1901, p. vii).

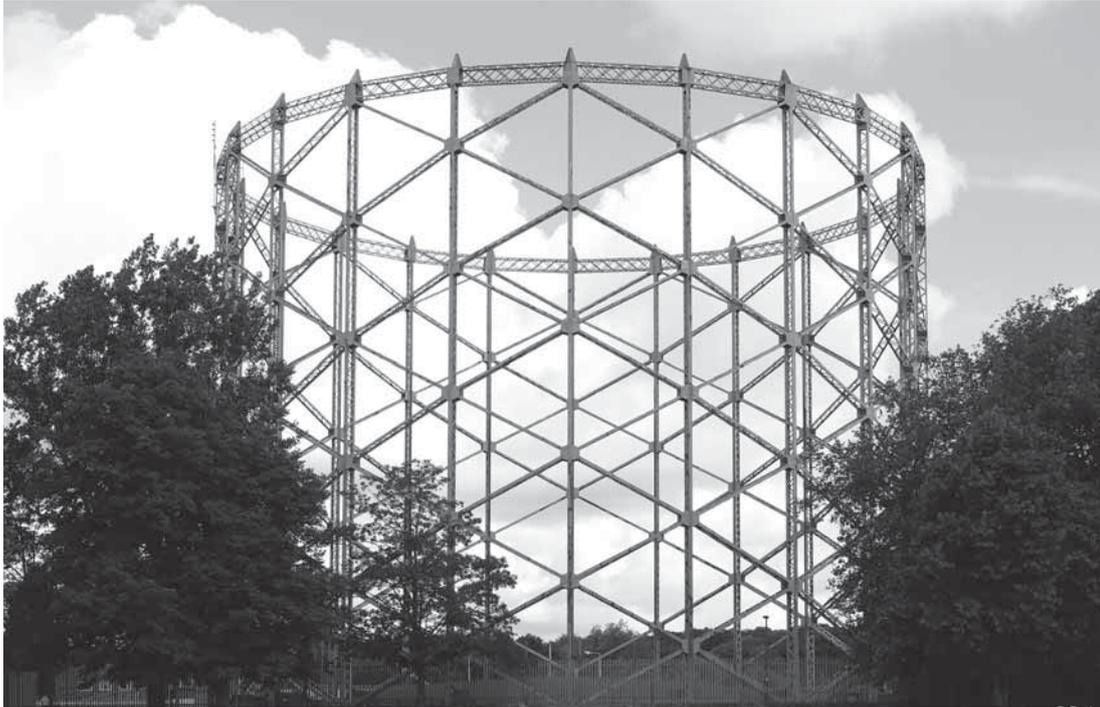


Abb. 244: Trianguliertes Verbandgerüst nach Cutler in New Barnet (BB, 2016).

Der Trägeranschluss erfolgte als Stoß über die gesamte Bauteilbreite der Stütze und wurde mit Bindeblechen verstärkt.

Der „Cutler-type“ verzeichnete eine Erfolgsgeschichte, die die erfolgreiche, weltweite Verbreitung widerspiegelte: Gasbehälter in Metropolen wie Rom, Paris, Wien, Hongkong, Amsterdam, Berlin, Bombay, Kalkutta, Kopenhagen, u.a. wurden mit triangulierten Verbandgerüsten ausgeführt.⁴³¹

Bis in die 30er Jahre des 20. Jahrhunderts hielt diese Erfolgsgeschichte an.

So entstand beispielsweise um 1935 in New Barnet ein Gasbehälter (D= ca. 47,00m; V= ca. 54.000m³) mit einem triangulierten Verbandgerüst (H= ca. 35,00m), das sich aus 22 Stützen, einem umlaufenden Kastenträger und jeweils 10 diagonalen Gitterträgern zusammensetzte. Sowohl die Stützen, als auch die diagonalen Träger wurden mit schmalen, kastenförmigen Fachwerkträgern ausgeführt (Abb. 245).⁴³²



Abb. 245: Knotenpunkt mit schmalen Kastenträgern (BB, 2016).

431 Elton, 2014, p. 161. Zu den Gasbehältern in Rom und Turin siehe auch *Kapitel D.3.2.-1.4.4.*

432 Tucker, 2017

7.5. Aufgelöstes Verbandgerüst

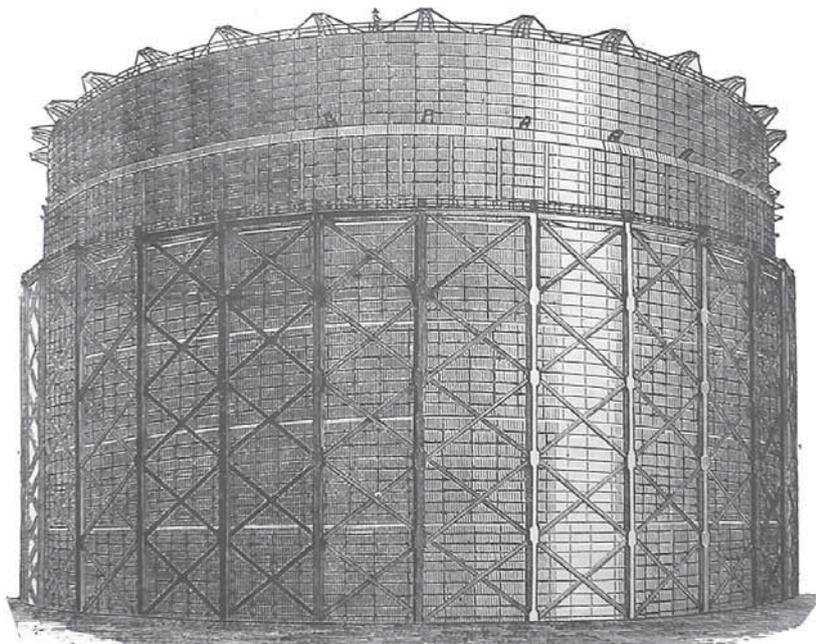


Abb. 246: Sechshübiger Gasbehälter mit aufgelöstem Verbandgerüst in East Greenwich, London (JGL-61, 1893, p. 75).

Parallel zum triangulierten Verbandgerüst ging eine weitere Verbandform hervor, die v.a. bei großen, mehrhübigen Gasbehältern eingesetzt wurde: Das sogenannte **Aufgelöste Verbandgerüst** entstand durch die Verschmelzung von mehreren Gerüstungen zu einem einzigen⁴³³. Die Stützen wurden nur am Kopf mit einem horizontalen Trägerkranz gekoppelt. Daraus ergaben sich hohe, längliche Gerüstfelder, die keine weiteren Zwischenträger besaßen und mit mehreren, gestaffelten Auskreuzungen bestückt waren.

Eine Frühform dieses Gerüsts erschien bereits 1888 in der Patentschrift von Cutler (Siehe vorgehendes Kapitel). Die Besonderheit dieses Gerüsts bestand in dem kreisförmigen Grundriss: Die Diagonalen waren nämlich segmentförmig gebogen.⁴³⁴

Diese Frühform blieb vermutlich im Entwurfsstadium, da sich in der Praxis die gerade Trägerform als günstiger erwies.

Das wohl bekannteste Beispiel wurde 1892 in East Greenwich, London fertig gestellt und im Journal of Gas Lighting als „(...) *valuable record of remarkable work*“ gerühmt.⁴³⁵

Die Gebrüder Livesey planten dort einen sechshübigen Gasbehälter ($D = 89,31\text{m}$; $H_{\text{Gerüst}} = 54,86\text{m}$; $V = 339.802\text{m}^3$)⁴³⁶. Das Verbandgerüst war nur für vier Hubteile ausgelegt und setzte sich aus 28 Stützen, einem abschließenden Trägerkranz und

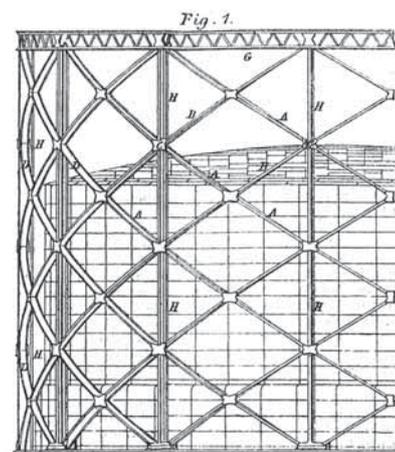


Abb. 247: Das aufgelöste Verbandgerüst nach Cutler (JGL-54, 1889, p. 215).

433 Anm. d. Verfasserin: Diese Verschmelzung zeigt Parallelen zur Hochordnung der Rahmengerüste der frühen, zweihübigen Gasbehälter (Siehe Kap. C.2.3.-6.2.1.).

434 JGL-54, 1889, p. 215

435 JGL-60, 1892, p. 940. „(...) *stichhaltiger Beweis für eine herausragende Leistung.*“ (Übers. d. Verfasserin)

436 Stevenson, 1901, p. 60. Zu der Entwicklung der fliegenden Hubteile, siehe Kapitel C.2.2.-7.



Abb. 248: Aufgelöstes Verbandgerüst in Croyden (BB, 2016).

je Feld mit fünf gestaffelten Auskrenzungen zusammen. Analog zu dem Verbandgerüst in der Old Kent Road (Siehe Kap. C.2.3.-7.2.) wählte Livesey für die I-förmigen Stützen vollwandige Blechträger, für die Diagonalen kamen T-förmige Querschnitte zum Einsatz⁴³⁷.

Mit diesem Gasbehälter schufen George und Frank Livesey den **größten hydraulischen Gasbehälter Großbritanniens**, der sich als erhabenes Bauwerk auf East Greenwich präsentierte und den Stand der Technik im Gasbehälterbau zur Schau stellte.

Das aufgelöste Verbandgerüst wurde bei weiteren Gasbehältern eingesetzt, deren Größe und Ausmaß aber lange nicht dem Beispiel in East Greenwich gleichkamen.

So wurde z.B. in Croydon 1921 ein dreihübiger Gasbehälter (D= 67,06m; V= 184.060m³) fertig gestellt (Abb. 248):⁴³⁸

Sowohl die 28 Stützen (H= ca. 55,00m), als auch der Trägerkranz bestanden aus vollwandigen, I-förmigen Blechträgern. Jedes Gerüstfeld war mit sieben Auskrenzungen ausgestattet, die sich aus genieteten, T-förmigen Trägern zusammensetzten. Letztere wurden mit Bindeblechen untereinander und am Steg der Stütze befestigt (Abb. 249). An den Stützenköpfen war ein liegender Verband nach Paddon angebracht.



Abb. 249: Anschluss des Windverbands an die Stützen (BB, 2016).

437 Tucker, 2014, p. 58

438 Tucker, 2014, pp. 31, 58; Tucker, 2017

7.6. EXKURS: Verbandgerüste aus Deutschland

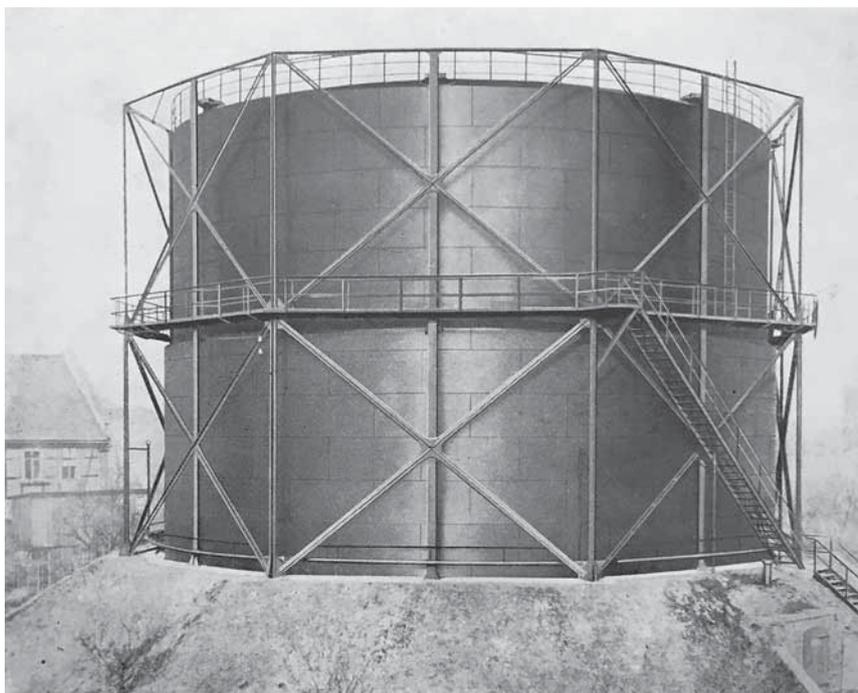


Abb. 250: Verbandgerüst nach Klönne in Wernigerode (o.A., 1929, Bild 63).

In Deutschland wurden Verbandgerüste tendenziell eher mit der einfachen Auskreuzung gebaut. Darauf basierend entstanden aber auch neue Verbandformen, die in diesem Abschnitt als Sonderformen in einem Exkurs dargestellt werden.

Die Entstehung und Verbreitung deutscher Verbandgerüste wird exemplarisch an zwei Gerüstformen dargestellt, nämlich am sternförmigen Verbandgerüst der Firma Klönne und dem rautenförmigen Gerüst der Firma MAN ⁴³⁹.

7.6.1. Sternförmiges Verbandgerüst mit Hubteilmführung in Feldmitte – Klönne

Die Firma *August Klönne** aus Dortmund brachte die sternförmige Verbandform hervor, welche die einfache Auskreuzung zunächst mit einem vertikalen Stab erweiterte. Dieser bestand aus der Führungsschiene, die von der Stützenachse jeweils in Feldmitte verlagerte wurde ⁴⁴⁰ und dadurch die Gerüstringe verband.

1903 entstand ein frühes Beispiel für einen einhubigen Gasbehälter ($V= 2.500\text{m}^3$) in Wernigerode, der 1928–29 mit einem zweiten Hubteil ausgestattet wurde (Abb. 250). ⁴⁴¹

Das zweigeschossige Verbandgerüst bestand aus acht Stützen (Doppel-T-Profile), zwei Trägerkränzen (vermutlich liegende Doppel-T-Profile) und einem sternförmigen Verband. Dieser setzte sich aus zwei

439 Anm. d. Verfasserin: Die Auswahl beinhaltet allein die Gerüstkonstruktionen der Firmen Klönne und MAN, da beide Pionierarbeit auf der Entwicklung des Scheibengasbehälters leisteten (Siehe Kapitel C.3.).

440 Nach Schäfer, 1910 bediente sich die Firma Klönne hier des Patents „Müller-Breslau“, das die Schienenanordnung in Feldmitte beinhaltete (Schäfer, 1910, p. 614).

441 o. A., 1929, p. 54

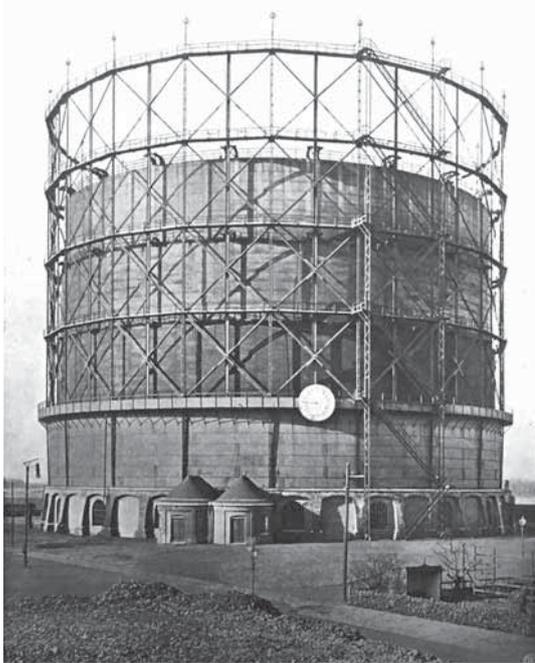


Abb. 251: Viergeschossiges, sternförmiges Verbandgerüst (o. A., 1929, Bild 59).

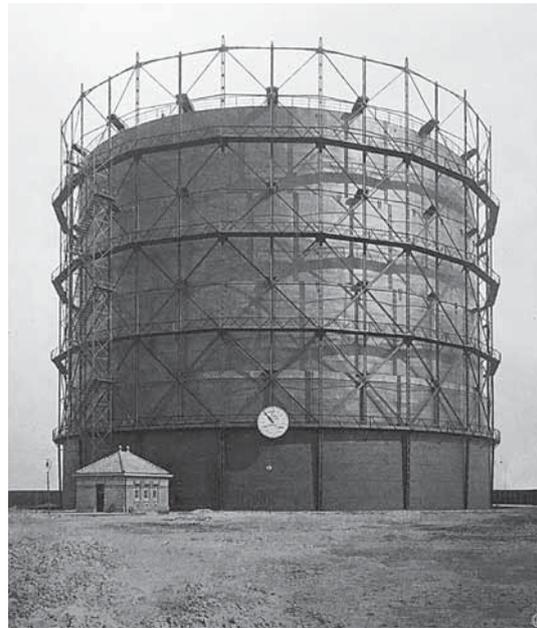


Abb. 252: Standardausführung des sternförmigen Verbandgerüsts in Rotterdam (o. A., 1929).

diagonalen, schlanken Koppelträgern⁴⁴² und einer zentralen Führungsschiene – einem nach innen gerichteten U-Profil – zusammen. Die oberen Gerüstecken wurden zusätzlich mit diagonalen Stäben ausgesteift.

Dieses Verbandgerüst wurde in Amsterdam (Abb. 251) bei dem Bau eines vierhübrigen Gasbehälters ($V= 100.000\text{m}^3$) angewendet⁴⁴³ – in viergeschossiger Ausführung. Der zentrale Stab diente nicht nur als Führungsschiene. Sowohl die Stützen, als auch die diagonalen Stäbe bestanden aus gekoppelten, schmalen Trägern. Das Gerüst erhielt einen dekorativen Abschluss, indem auf jeden Stützenkopf eine weit aufragenden Fiale gesetzt wurde.

Neben der Verlegung der Führungsschiene wurde um 1929 dem Gefüge noch ein horizontaler Stab hinzugefügt und die Sternform vervollständigt. Dieser Aufbau wurde zum Markenzeichen Klönnes, das weltweit verbreitet wurde:

Ein frühes Beispiel dieses Standards wurde in Rotterdam ($V= 75.000\text{m}^3$) errichtet (Abb. 252)⁴⁴⁴. Im Vergleich zu dem Beispiel in Amsterdam war die Konstruktion rein funktionalen Charakters – ohne Fialen.

442 Anm. d. Verfasserin: Die für Klönne typischen Träger bestanden in der Regel aus zwei zueinander gerichteten U-Eisen, die über mehrere Flacheisen gekoppelt wurden. Daher folgt an dieser Stelle die Bezeichnung des **Koppelträgers**.

443 o. A., 1929, p. 53. Das freistehende Becken war als Ringbecken gebaut (Siehe Kap. C.2.4.-4.4.). Anm. d. Verfasserin: Dieser Gasbehälter entstand vermutlich zwischen 1908 und 1929.

444 o. A., 1929, p. 53

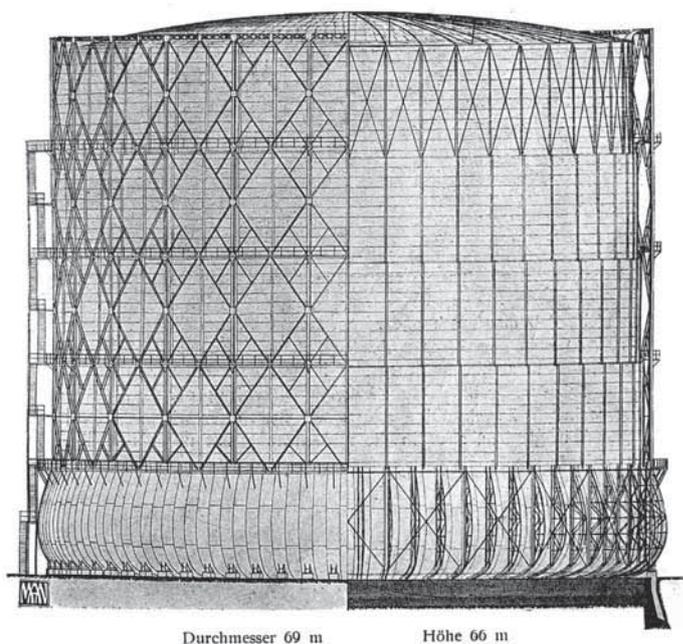


Abb. 253: Verbandgerüst eines vierhübrigen Gasbehälters in Wien-Simmering (MAN, 1909b, p. 7).

7.6.2. Rautenförmiges Verbandgerüst – MAN

Die Firma MAN* aus Gustavsburg entwarf für das Gaswerk Simmering in Wien (Abb. 253) einen vierhübrigen Gasbehälter ($D=69,00\text{m}$; $H_{\text{gesamt}}=66,00\text{m}$; $V=150.000\text{m}^3$), der 1908/09 gebaut wurde⁴⁴⁵. Das Verbandgerüst bestach durch die außergewöhnliche Anordnung des Verbands: In jedem Gerüstfeld befand sich eine Raute; in den Dreiecksflächen zwischen Raute und Gerüstfeld wurde jeweils eine weitere Diagonale eingesetzt.

Das standardisierte MAN-Führungsgerüst zeigte Parallelen zum sternförmigen Verbandgerüst nach Klönne: Der einfachen Auskreuzung wurde ein horizontaler und teilweise ein halber vertikaler Stab hinzugefügt. Jedoch blieb die Führungsschiene an den Stützenachsen.

In München wurde 1907 ein solches Verbandgerüst für einen dreihübrigen Gasbehälter ($D=58,00\text{m}$; $H_{\text{gesamt}}=44,00\text{m}$; $V=75.000\text{m}^3$) auf dem Gaswerk Moosach in München gebaut⁴⁴⁶.

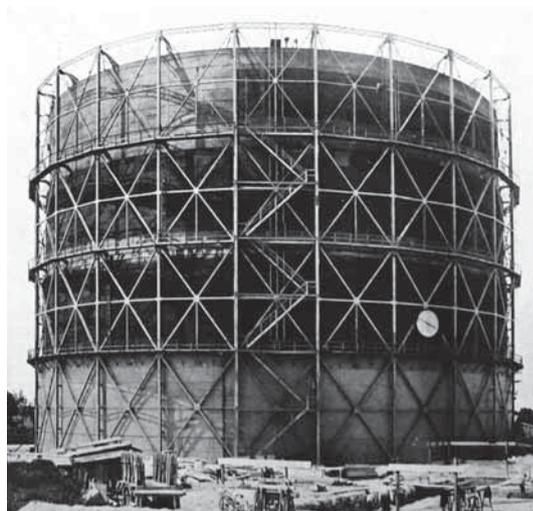


Abb. 254: Dreihübriger Teleskopgasbehälter in München-Moosach, 1907 (MAN, 1909b, p. 6).

445 MAN, 1909b, p. 7

446 MAN, 1912, p. 35

7.7. Zusammenfassung Verbandgerüst

Indem die einzelnen Gerüstfelder mit Verbänden ausgestattet wurden, erlangte das ursprüngliche Rahmengerüst eine bessere Aussteifung und führte zur Entstehung des **Verbandgerüsts**. Dieses ermöglichte die Konstruktion von weit aufragenden, mehrhubigen Gasbehältern, die ihren Höhepunkt Ende des 19. Jahrhunderts erreichten.

Das Verbandgerüst wurde in der Regel beim Bau von neuen Teleskopgasbehältern, oder als Ertüchtigungsmaßnahme bei bestehenden Rahmengerüsten verwendet.

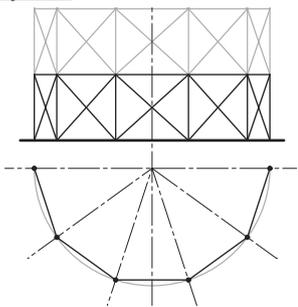
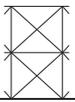
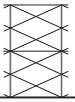
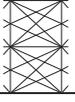
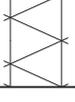
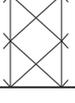
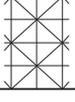
Die Baukonstruktionsgeschichte des Verbandgerüsts basierte auf der Anordnung, dem Aufbau und dem Anschluss des Verbands (Tab. 27):

- **Einfache Auskreuzung** – Bei den ersten Verbandgerüsten wurden schlichtweg die konventionellen Rahmengerüste – mit gusseisernen Säulen oder T-, I- und kastenförmigen Stützen – mit einer einfachen Auskreuzung (a) erweitert. Diese bestand zunächst aus vier Rundeisenstäben und einem zentralen Spannring. Später wurden lediglich zwei durchlaufende Stäbe eingesetzt, die jeweils mit einem Spannschloss justiert wurden. Neben Rundeisenstäben wurden schließlich auch Flach-, Winkel-, U- und T-Eisen eingesetzt.
- **Zweifache Auskreuzung** – *George Thomas Livesey** und sein Bruder *Frank** revolutionierten 1880 das Verbandgerüst, indem jedes Gerüstfeld mit einer zweifachen Auskreuzung (b) – bestehend aus insgesamt vier Flacheisenstäben – bestückt wurde. Die Besonderheit lag an der Befestigung: Die Flacheisenstäbe wurden jeweils zwischen zwei Stützen am vorderen und am hinteren Flansch angeschlossen. Dies bewirkte nach Livesey eine konstruktive Einheit des gesamten Gerüstgefüges. Die I-förmigen Stützen bestanden bei dieser Gerüstform in der Regel aus vollwandigen, genieteten Blechträgern.
- **Sonderformen** – Basierend auf der ein- und zweifachen Auskreuzung ergaben sich vereinzelt auch Sonderformen, wie z.B. die **dreifache Auskreuzung** (c), bei der Livesey beide Anordnungen überlagerte und ein einzigartiges Verbandgefüge in East Greenwich schuf. *Ralph Herring** entwarf ein **Netzförmiges Verbandgerüst** (d) für einen Gasbehälter in Edinburgh. Beide Gerüste stellten jeweils ein Unikat dar, da sie jeweils nur einmal in dieser Form gebaut wurden.
- **Trianguliertes Verbandgerüst** – *Samuel Cutler jun.** entwickelte eine Gerüstform, die bis auf den oberen Trägerkranz auf weitere horizontale Träger verzichtete (e): Die Gerüstfelder wurden trianguliert und die Diagonalen wanden sich als Doppel-Helix an den Stützen nach oben. Beide Bauteile – Stützen und Diagonalen – wurden als I- oder schmale, kastenförmige Fachwerkträger ausgeführt. Diese bewirkten zusammen mit der triangulierten Anordnung ein sehr filigranes und elegantes Erscheinungsbild:

„(...) The distinguishing features are the slenderness of the standards, the absence of conventional horizontal girders, and the prominence of the diagonals.(...)“ ⁴⁴⁷

Das triangulierte Verbandgerüst entwickelte sich zu Cutlers Markenzeichen und wurde weltweit errichtet.
- **Aufgelöstes Verbandgerüst** – Eine weitere Gerüstform, die ebenfalls auf weitere Trägerlagen verzichtete, war das aufgelöste Verbandgerüst (f). In die hohen, länglichen Gerüstfelder wurden mehrere Auskreuzungen aufeinander gesetzt – ohne weitere Zwischenträger. Die Livesey Brüder planten den **größten hydraulischen Gasbehälter Großbritanniens** in East

447 Tucker, 2014, p. 58
 „(...) Die entscheidenden Merkmale sind die Schlankheit der Stützen, das Fehlen der üblichen, horizontalen Trägern, und die Wirkmacht der Diagonalen . (...)“ (Übers. d. Verfasserin)

Tab. 27: Zusammenfassung Verbandgerüst		
(nach Newbigging, Fewtrell, 1879; Hunt, 1900; Stevenson, 1901; Herring, 1907; MAN 1909b; MAN, 1912; Meade, 1916; Layton, 1920; Milbourne, 1923; o.A., 1929; Sturt, 1980; Tucker, 2014; JGL-28/ 47/ 52)		
Verbandgerüst	Vorteile	Nachteile
<p><u>System:</u></p> 	<ul style="list-style-type: none"> + Hoher Vorfertigungsgrad, + Verbesserung der Stabilität des Gerüsts, + Verbesserung der Betriebssicherheit bzw. Führung der Hubteile, + Geeignet v.a. für große, mehrhüblige Gasbehälter. 	<ul style="list-style-type: none"> - Großer Materialaufwand, - Zunehmende Bauzeit und -kosten.
<p><u>Entwicklung:</u></p> <p>a) Einfache Auskreuzung</p>  <p>b) Zweifache Auskreuzung</p>  <p>c) Dreifache Auskreuzung</p>  <p>d) Netzförmiges Verbandgerüst</p>  <p>e) Trianguliertes Verbandgerüst</p>  <p>f) Aufgelöstes Verbandgerüst</p> 	<p>a) <u>Einfache Auskreuzung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> + Universell einsetzbar, + Als Ertüchtigung von bestehenden Rahmengerüsten geeignet. <p>b) <u>Zweifache Auskreuzung</u></p> <ul style="list-style-type: none"> + Optimierter Anschluss nach Livesey <p>c) <u>Dreifache Auskreuzung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> + Optimierter Anschluss nach Livesey, + Ansprechende, einzigartige Ansicht. <p>d) <u>Netzförmiges Verbandgerüst:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> + Bessere Aussteifung des Gerüsts, + Filigrane, einzigartige Ansicht. <p>e) <u>Trianguliertes Verbandgerüst:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> + Nur ein horizontaler Trägerkranz, + Reduzierung der Bauteilanzahl, + Reduzierung der Bauzeit und -kosten, + Einheitliche Ausführung der Stützen u. Diagonalen als I-förmiger Gitterträger. <p>f) <u>Aufgelöstes Verbandgerüst:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> + Nur ein horizontaler Trägerkranz, + Reduzierung der Bauteilanzahl, + Reduzierung der Bauzeit und -kosten. 	<p>a) <u>Einfache Auskreuzung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Bei Säulen: Aufwendiges Anschlussdetail. <p>b) <u>Zweifache Auskreuzung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Erhöhter Materialaufwand, - Erhöhte Anzahl von Anschlüssen. <p>c) <u>Dreifache Auskreuzung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Erhöhter Materialaufwand, - Erhöhte Anzahl von Anschlüssen. <p>d) <u>Netzförmiges Verbandgerüst:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Sehr schlanke Ausführung, - Erhöhte Anzahl von Anschlüssen. <p>e) <u>Trianguliertes Verbandgerüst:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Nur für mittelgroße Gasbehälter (D bis zu ca. 50,00m). <p>f) <u>Aufgelöstes Verbandgerüst:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -
<p><u>EXKURS: Verbandgerüste aus Deutschland:</u></p> <p>g) Sternförmiges Verbandgerüst</p>  <p>h) Rautenförmiges Verbandgerüst</p> 	<p><u>EXKURS: Verbandgerüste aus Deutschland:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> g) Zusätzliche Verstärkung durch Verlagerung der Führungsschiene. h) Filigrane, einzigartige Ansicht. 	<p><u>EXKURS: Verbandgerüste aus Deutschland:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> g) + h) Erhöhter Materialaufwand und erhöhte Anzahl von Anschlüssen.

Greenwich, London mit dieser Gerüstkonstruktion ⁴⁴⁸.

- **EXKURS: Verbandgerüste aus Deutschland** – Weitere Gerüstformen, die auf der einfachen Auskreuzung basierten, entstanden z.B. auch in Deutschland: Die Firma *August Klönne** verlagerte die Führungsschiene jeweils in die Mitte des Gerüstfeldes und bewirkte so ein **sternförmiges Verbandgerüst** (g), das später noch mit einem horizontalen Stab ergänzt wurde. Dieses Gerüst fand als standardisierte Form weltweit Verbreitung. Eine weitere, besonders elegante Sonderform brachte die *Firma MAN* hervor – nämlich das **rautenförmige Verbandgerüst** (h), das jedoch nur einmal zum Einsatz kam.

Bei den Verbandgerüsten kamen in der Regel genietete Stützenkonstruktionen zum Einsatz; lediglich in der Übergangsphase wurden noch einige Gerüste basierend auf gusseisernen Säulen oder Stützen errichtet, wie z.B. der „Siamese Twin“ in Kennington, London.

Ab 1876 kamen genietete Stützenkonstruktionen aus Gitter- und Kastenträgern zum Einsatz. Diese debütierten zunächst in T-Form, wie es das Beispiel von *Robert und Harry Jones** in Poplar, London zeigte, und waren schließlich auch in I- und Kastenform möglich.

1880 wurde der Formenkanon durch den **vollwandigen**, I-förmigen Querschnitt – den Livesey für das Gerüst in der Old Kent Road vorsah – ergänzt; Cutler hielt an diesem schlanken Querschnitt fest, konzipierte aber die Stützen seiner triangulierten Gerüste als Fachwerkträger.

Insgesamt entwickelten sich die Verbandgerüste im Laufe der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts zu einem dominanten, weit aufragenden Bestandteil des Gasbehälters. Dies lag zum Einen an der voranschreitenden Eisentechnologie und zum Anderen an der Pionierarbeit der Gasingenieure: Die schweren, gusseisernen Säulen wurden durch genietete Blechträgerkonstruktionen ersetzt und wurden Teil von weit aufragenden Verbandgerüsten. Diese erlangten ihre Wirkmacht allein durch die neuartigen Konstruktionsweisen und die dekorative Gestaltung, wie sie noch bei den Rahmengerüsten betrieben wurde, entfiel.

448 Tucker, 2014, p. 42. Der Gasbehälter in East Greenwich wurde nur von drei Gasbehältern übertroffen: 1913–17 wurde ein Gasbehälter in Sydney mit 353.961m³ und zwei Gasbehälter in New York mit 396.436m³ errichtet (Tucker, 2014, p. 35).

8. Chronologie zur Baukonstruktionsgeschichte des Führungsgerüsts

Tab. 28: Baukonstruktionsgeschichte des Führungsgerüsts (GE – Gusseisen; SE – Schmiedeeisen)			
Jahr	Erfindung	Ingenieur	Ort
1815	Glockengasbehälter mit zentralem Führungsrohr (GE) (<i>Siehe Kap. C.2.3.-2.</i>)	Clegg, Samuel	UK
1817	1. Freistehender Gasbehälter (V= 850m ³) mit zentralem Führungsrohr (GE) – (<i>Siehe Kap. C.2.3.-2.</i>)	Clegg, Samuel	UK Birmingham
1817	1. Gasbehälter (V= 425m ³) mit zentralem Führungsrohr (GE), aber ohne Gegengewichte (<i>Siehe Kap. C.2.3.-2.</i>)	Malam, John	UK
1819	Stützengerüst (H= ca. 4,00m) mit Holzständer (<i>Siehe Kap. C.2.3.-5.1.</i>)	Clegg, Samuel	UK, Chester
1830	Stützengerüst (H= 9,14m) mit Dreibein-Stützen (GE) für einhübrigen Gasbehälter „Falkus“ (<i>Siehe Kap. C.2.3.-5.2.</i>)	Kirkham, John	UK London, Fulham
1834	Rahmengerüst – Hochordnung mit Doppelsäulen (GE) 1. Teleskopgasbehälter mit eingeschossigem Rahmengerüst aus Doppelsäulen (GE) – (<i>Siehe Kap. C.2.3.-6.2.1.</i>)	Hutchison, Stephen	UK London, Vauxhall
1847	Rahmengerüst – Hochordnung mit Einzelsäulen (GE) Eingeschossiges Rahmengerüst (H= 12,00m) für zweihübrigen Gasbehälter – (<i>Siehe Kap. C.2.3.-6.2.1.</i>)	unbekannt	UK London, Kennington
1852	1. Verbandgerüst mit einfacher Auskreuzung mit gusseisernen Stützen (<i>Siehe Kap. C.2.3.-7.1.1.</i>)	unbekannt	UK London, Rotherhithe
1855	Rahmengerüst – Verstärkte Hochordnung Zweigeschossiges Rahmengerüst (H= 22,25m) mit Hochsäulen (SE) – (<i>Siehe Kap. C.2.3.-6.2.1.</i>)	Innes, William	UK London, Kennington
1858	Rahmengerüst – Additive Ordnung „Prototyp“ für ein zweigeschossiges Rahmengerüst mit klassischer Gliederung der Säulen (GE) und Träger (<i>Siehe Kap. C.2.3.-6.2.2.</i>)	Clark, Joseph	UK London, Bethnal Green
1861	Dreigeschossiges Verbandgerüst mit gusseisernen Säulen und einfacher Auskreuzung (<i>Siehe Kap. C.2.3.-7.1.1.</i>)	Mann, William	UK London, Blackfriars Station
1867	Stark ornamentiertes Rahmengerüst (H= 21,34m) mit Hochsäulen für „The Sultan“ – einen zweihübrigen Gasbehälter (<i>Siehe Kap. C.2.3.-6.2.1.</i>)	Kirkham, Thomas	UK London, Fulham
1872– 1882	Neunteiliges Gasbehälter-Ensemble mit zweigeschossigen Rahmengerüsten (H= ca. 23,00m) nach Clarks Prototyp (<i>Siehe Kap. C.2.3.-6.2.2.</i>)	Clark, Joseph, Wyatt, Vitruvius	UK London, Bromley-by-Bow
1874	Zweigeschossiges Rahmengerüst (H= ca. 19,50m) mit gusseisernen, I-förmigen Stützen (<i>Siehe Kap. C.2.3.-6.2.3.</i>)	Wyatt, Vitruvius	UK Redheugh
1875	Einführung von gusseisernen Säulen mit nach außen gerichteten Flanschen (<i>Siehe Kap. C.2.3.-4; C.2.3.-7.3.1.</i>)	Hawksely, Thomas	UK
1876	1. Liegender Verband nach Paddon Dreigeschossiges Rahmengerüst (H= 22,20m): Einführung der ersten, genieteten, T-förmigen Stützen (<i>Siehe Kap. C.2.3.-4.3.1.; C.2.3.-6.2.3.</i>)	Paddon John B.	UK Hove
1876	Beginn der funktionalen, ornamentfreien Führungsgerüste (SE) Zweigeschossiges Verbandgerüst (H= 22,00m): Einführung von T-förmigen, genieteten Stützen und horizontalen, konkav verjüngenden Kastenträgern – (<i>Siehe Kap. C.2.3.-7.1.3.</i>)	Jones Harry & Robert	UK London, Poplar
1880	1. Verbandgerüst mit zweifacher Auskreuzung – Größter Gasbehälter um 1880 Verbandgerüst (H= 48,77m) mit ersten I-förmigen Stützen aus vollwandigen, genieteten Blechträgern – und ersten diagonalen Stäben aus Flacheisen (<i>Siehe Kap. C.2.3.-7.2.</i>)	Livesey, George T.	UK London, Old Kent Road,

1880	„Triplet“ – Drei gekoppelte, dreigeschossige Rahmengerüste (H= ca. 33,00m); modifizierte Version des Prototypen – (Siehe Kap. C.2.3.-6.2.2.)	Clark, John	UK London, St. Pancras
1882	Fünfgeschossiges Verbandgerüst (H= 46,00m) mit zweifacher Auskreuzung: Hantelförmige Stützen und horizontale, kreuzförmige Fachwerkträger (Siehe Kap. C.2.3.-7.2.)	Hunt, Charles	UK Birmingham
1883	Dreigeschossiges Verbandgerüst mit kastenförmigen Stützen (Siehe Kap. C.2.3.-7.1.3.)	Morton, Robert	UK London, Battersea
1884	Zweigeschossiges Rahmengerüst (H=21,00m) mit Säulen (GE) und segmentförmig gebogenen Kastenträgern (Siehe Kap. C.2.3.-6.2.2.)	Spice, Robert	UK Great Yar- mouth
1885	Dreigeschossiges Rahmengerüst mit kastenförmigen Stützen (SE) und erstmals liegenden Trägerkränzen (Siehe Kap. C.2.3.-6.2.3.)	Trewby, George	UK London, St. Pancras
1887	Erfindung des gerüstlosen Gasbehälters – mit spiraler Führungstechnik (Siehe Kap. C.2.6.-1.1.)	Gadd & Mason	UK Manchester
1888	Patentschrift zum Triangulierten und zum aufgelösten Verbandgerüst (Siehe Kap. C.2.3.-7.4.)	Cutler, Samuel jun.	UK
1889	1. Trianguliertes Verbandgerüst (H= ca. 21,50m) (Siehe Kap. C.2.3.-7.5.)	Cutler, Samuel jun.	UK Tunbridge Wells
1889	Viergeschossiges Rahmengerüst (H= ca. 44,50m) mit kastenförmigen Stützen – (Siehe Kap. C.2.3.-6.2.3.)	Trewby, George	UK London, Bethnal Green
1889	Verbandgerüst mit dreifacher Auskreuzung – Größter Gasbehälter (V= 232.198m³) um 1890 Sechsgeschossiges, einzigartiges Verbandgerüst (H= 60,35) – (Siehe Kap. C.2.3.-7.3.1.)	Livesey, George T. und Frank	UK London, East Green- wich
1890	Erweiterung eines zweigeschossigen Verbandgerüsts (Einfache Auskreuzung) zum dreigeschossigen Verbandgerüst (Zweifache Auskreuzung) – (Siehe Kap. C.2.3.-7.2.)	Livesey, Frank	UK London, East Greenwich
1891	Fünfgeschossiges Verbandgerüst (H= ca. 55,00m) mit kastenförmigen Stützen (Einfache Auskreuzung) – (Siehe Kap. C.2.3.-7.1.3.)	Trewby, George	UK London, Kensal Green
1892	Aufgelöstes Verbandgerüst Sechshübiger Gasbehälter mit aufgelöstem Verbandgerüst (H= 54,86m) – (Siehe Kap. C.2.3.-7.4.) Größter hydraulischer Gasbehälter Großbritanniens (V= 339.802m³) aller Zeiten	Livesey, George T. und Frank	UK London, East Greenwich
1903	Frühes zweigeschossiges, sternförmiges Verbandgerüst (Siehe Kap. C.2.3.-7.6.1.)	Klönne, August	DE Wernigerode
1905	Netzförmiges Verbandgerüst Viergeschossiges, einzigartiges Verbandgerüst (H= 43,74m) – (Siehe Kap. C.2.3.-7.3.2.)	Herring, Ralph	UK Edinburgh- Granton
1908/09	Viergeschossiges, rautenförmiges Verbandgerüst (H= 53,00m) (Siehe Kap. C.2.3.-7.6.2.)	MAN	AT Wien, Simmering

C.2.4. WASSERBECKEN



Abb. 255: Befüllung des Wasserbeckens in Wien Simmering, 1909 (MAN, 1909c, p. 11).

Das Wasserbecken diente zur Aufnahme des Sperrwassers, dem eine essenzielle Rolle zukam, da es den Gasaustritt aus dem oder den Hubteilen verhinderte (Siehe Kap. B.4.).

Die Grundform und der Aufbau des Beckens wurden in erster Linie von den Hubteilen selbst bestimmt, die sich je nach Füllstand aus dem Becken hoben oder sich vollständig darin absetzten.

Demzufolge ergab sich ein zylindrisches Behältnis, das nach oben geöffnet war und dessen Durchmesser etwas größer als der des untersten Hubteils war⁴⁴⁹. Das Becken war standardgemäß mit vertikalen Führungsschienen ausgestattet, an denen die Beckenrollen des Hubteils entlang liefen, sowie mit Lagerblöcken unterhalb der Kreislinie, auf denen sich die Unterkante des Hubteils im Leerstand absetzte. Je nach Kuppelkonstruktion befand sich eine feststehende Stützkonstruktion im Becken: Bei binderlosen Kuppel- oder Flachdächern war eine flächige Stützkonstruktion erforderlich, wohingegen die gerippte und die unterspannte Kuppel nur eine zentrale Beckenstütze benötigten (Siehe Kap. C.2.3.-4.4.2.).

Die Positionierung des Beckens variierte von vollständig über teilweise versenkt bis hin zu freistehend. Bei der teilweise versenkten und der freistehenden Ausführung war die Anordnung einer umlaufenden Anböschung möglich.

Die Kategorisierung des Wasserbeckens erfolgt nach dessen geometrischer Form – vom Flachbodenbecken, über das Kegelstumpf- und Kugelbodenbecken, bis hin zum Ring- und Wölbmantelbecken.

Die unterschiedlichen Bauweisen, mit denen der Großteil der Beckenformen ausgeführt werden konnten, vergrößerten die Bandbreite der möglichen Beckenkonstruktionen noch zusätzlich.

449 Nach Monnier und Thibaudet musste der Durchmesser eines Beckens für ein Hubteil zwischen 40,00 bis 60cm größer sein – bei mehreren Hubteilen zwischen 60 bis 120cm (Colburn, 1865, p. 72; Calzavara, 1899, p. 297).

1. Überblick und Kategorisierung des Wasserbeckens

Die Baukonstruktionsgeschichte des Wasserbeckens wurde von drei wesentlichen Faktoren bestimmt: Der vorherrschenden Baugrundverhältnisse, der erforderlichen Beckengröße, sowie den vorhandenen Baumaterialien.

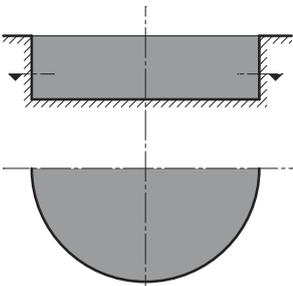
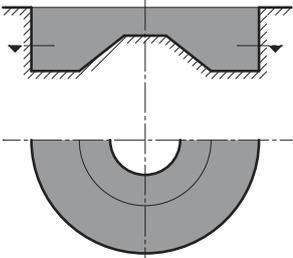
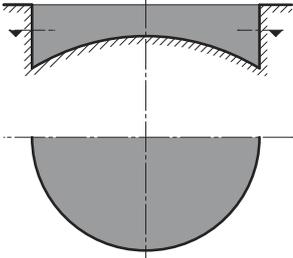
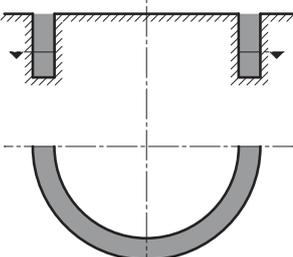
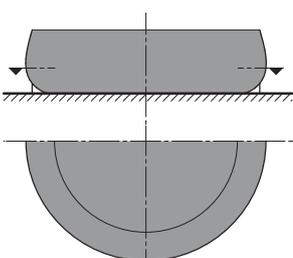
Diese Faktoren hatten direkten Einfluss auf die Beckenkonstruktion, nämlich:

- **Positionierung** – vollständig oder partiell versenkt oder freistehend.
- **Beckenform** – vom Flachboden-, Kegelstumpf-, Ring-, Kugelboden- zum Wölbmantelbecken.
- **Bauweise** – Leichtbauweise (aus Gusseisen oder genietete Blechkonstruktion), als Massivbau (Mauerwerk, Beton oder Eisenbeton) oder auch als Mischbauweise.

Die Kategorisierung der Wasserbecken erfolgt anhand ihrer geometrischen Grundform, die einen nach oben geöffneten Kreiszyylinder darstellte, der sich primär aus einer Mantel- und einer Bodenfläche zusammensetzte. Die einzelnen Beckenformen waren in Kombination mit unterschiedlichen Positionierungen und Bauweisen möglich (Tab. 29):

- Das **Flachbodenbecken** (Siehe Kap. C.2.4.-4.1.) bestand aus einem geraden Kreiszyylinder mit flachem Boden. Diese Beckenform wurde in eingetiefter Position meist mit einer massiven Beckenwand (Mauerwerk, Beton) oder freistehend in Eisenbauweise ausgeführt.
- Im 19. Jahrhundert entwickelte sich v.a. das **Kegelstumpfbecken** (Siehe Kap. C.2.4.-4.2.) zum standardisierten Beckenmodell in England: Der Boden wurde nicht mehr flach, sondern mit einem Kegelstumpf ausgebildet. Dies erforderte eine eingetiefte Positionierung des Beckens. Das erste Becken in Betonbauweise wurde 1875 ebenfalls mit einem Kegelstumpf gebaut.
- Das **Kugelbodenbecken** (Siehe Kap. C.2.4.-4.3.) stellte eine Variation zur Kegelstumpfform dar, bei der der Boden entweder halbkugel- oder segmentförmig war; diese abgewandelte Form kam aber nur selten zum Einsatz.
Unter *Otto Intze** erfuhr diese Form eine Weiterentwicklung, indem die untere Ecke abgeschragt wurde. Das Becken wurde in freistehender, erhöhter Position als genietete Blechkonstruktion gebaut. Das sogenannte Intze-Becken war eine Sonderform aus Deutschland, die sich in England nicht etablierte.
- Das **Ringbecken** (Siehe Kap. C.2.4.-4.4.) erhielt seine Form durch zwei ineinander gesetzte Zylinder, die einen ringförmigen Wasserkanal erzeugten. Diese Form wurde v.a. bei besonderen Baugrundverhältnissen eingesetzt – vollständig oder teilweise versenkt – und bestach gegenüber den vorgehenden Beckenformen durch den minimalen Erdaushub und der folglich reduzierten Wassermenge. Das Ringbecken wurde in der Regel als Eisenkonstruktion ausgeführt; falls das Becken partiell eingetieft war, wurden die Mantelbleche meist mit einer zusätzlichen, äußeren Ringmauer verstärkt.
- Das 1907 patentierte, freistehende **Wölbmantelbecken** (Siehe Kap. C.2.4.-4.5.) von *Konrad Jagschitz** umging den problematischen Eckanschluss der vorgehenden geraden Kreiszyylinder aus Eisen, indem die gewölbten Mantelbleche einen direkten Übergang zu den Bodenblechen erstellten. Dies ermöglichte zwar geringere, gleichbleibende Blechstärken bei größeren Becken, aber die Wassermenge wurde dabei nicht reduziert. Das Wölbmantelbecken war eine deutsche Erfindung, die sich in England nicht durchsetzte.

Insgesamt wurden die Wasserbecken in England in der Regel eingetieft; hierbei wurde meist die vollständig versenkte Positionierung gegenüber der partiellen bevorzugt. Die freistehende Form kam eher selten zum Einsatz. So wurden beispielsweise um 1916 die meisten vollständig und teilweise versenkten Becken aus Mauerwerk, Beton oder Eisenbeton gebaut, während die freistehenden Becken in der

Tab. 29: Kategorisierung des Wasserbeckens (Schemazeichnungen, BB, 2016)		
Beckenform	Beschreibung	Zeit
a) Flachbodenbecken 	<p>Gerader Kreiszyylinder mit flacher Grundfläche. Das Becken hatte über den gesamten Querschnitt die gleiche Höhe.</p> <p><u>Positionierung:</u> Vollständig oder teilweise versenkt oder freistehend möglich.</p> <p><u>Bauweise:</u> Mauerwerk, Beton, Guss-/Schmiedeeisen.</p>	ab 1813
b) Kegelstumpfbecken 	<p>Gerader Kreiszyylinder mit zentralem Kegelstumpf. Durch den Kegelstumpf wurden der Erdaushub und das Wasservolumen reduziert.</p> <p><u>Positionierung:</u> Vollständig oder teilweise versenkt möglich.</p> <p><u>Bauweise:</u> Mauerwerk, Beton, Guss-/Schmiedeeisen.</p>	ab ca. 1820
c) Kugelbodenbecken 	<p>Gerader Kreiszyylinder mit halb- oder segmentförmigem Boden. Durch den Kugelboden wurden der Erdaushub und das Wasservolumen reduziert.</p> <p><u>Positionierung:</u> Vollständig oder teilweise versenkt möglich.</p> <p><u>Bauweise:</u> Mauerwerk, Beton.</p> <p><u>Sonderform:</u> Freistehendes Intze-Becken (Als genietete Blechkonstruktion).</p>	ab ca. 1850
d) Ringbecken 	<p>Ringförmiges Becken, das aus zwei geraden Kreiszyindern und einer ringförmigen Grundfläche bestand. Durch den ringförmigen Wasserkanal wurden Erdaushub und Wasservolumen minimiert.</p> <p><u>Positionierung:</u> Meist vollständig oder teilweise versenkt, aber auch freistehend möglich.</p> <p><u>Bauweise:</u> Meist Guss-/Schmiedeeisen.</p>	ab 1818
e) Wölbmantelbecken 	<p>Gewölbter Kreiszyylinder mit gerader Grundfläche. Die gewölbten Mantelflächen stellen einen kontinuierlichen Übergang zur Bodenfläche her und umgehen den Eckanschluss.</p> <p><u>Positionierung:</u> Nur freistehend möglich.</p> <p><u>Bauweise:</u> Als genietete Blechkonstruktion.</p>	ab 1907

Regel in Eisenbauweise errichtet wurden. Das Gusseisen wurde im „modernen“ Gasbehälterbau nicht mehr verwendet, obwohl es noch um 1880 als favorisierter Eisenwerkstoff galt, da Schmiedeeisen sehr teuer war und nicht in ausreichender Stärke für die Becken hergestellt werden konnte.⁴⁵⁰

Zusammenfassend wurde die Baukonstruktionsgeschichte des Wasserbeckens primär durch die stetig zunehmende Gasnachfrage, sowie die voranschreitende Baustofftechnologie beeinflusst. Daher unterlag die Beckenform und -konstruktion einem kontinuierlichen Optimierungsprozess, der entsprechende Gasbehältergrößen ermöglichte.

Um die Jahrhundertwende stieß die Technik des hydraulischen Gasbehälters allmählich an ihre konstruktiven Grenzen: Dadurch, dass das Wasserbecken derart große Mengen an Sperrwasser aufnehmen musste, stiegen durch den zunehmenden Wasserdruck auch die Anforderungen an die Beckenkonstruktion.

Da das Wasserbecken aber ein zentrales Bauteil der hydraulischen Abdichtungstechnik darstellte, gab dies Anlass zu einem Umdenken bzgl. einer adäquateren Abdichtungstechnik und bereitete den Weg für die Entstehung des Scheibengasbehälters (*Siehe Kap. C.3.*), der sich einer neuartigen Technik bediente.

450 Meade, 1916, p. 452

2. Anforderungen

Die Konstruktion des Beckens hatte folgende Anforderungen zu erfüllen:

Einwirkende Kräfte: ⁴⁵¹

- Wasserdruck: Je größer der Beckenradius, desto größer die Ringzugkraft in der Mantelfläche. Je tiefer das Becken, desto größer der hydrostatische Wasserdruck, der von der Oberkante zur Unterkante des Beckens hin kontinuierlich zunimmt ⁴⁵².
Überdies wurde der Wasserdruck durch das Eigengewicht der abgesetzten Hubteilkonstruktion erhöht ⁴⁵³.
- Erddruck: Besonders vollständig versenkte Wasserbecken mussten auch dem Erddruck standhalten, der aber zugleich den größeren Wasserdruck kompensierte. ⁴⁵⁴
- Wind: Mit steigendem Speicherinhalt verließen mehr Hubteile das Becken und die vertikalen Angriffsflächen für die Windlast nahmen zu.
- Vertikalkräfte: Das Becken musste die ankommenden Lasten aus dem Führungsgerüst aufnehmen.

Konstruktion:

- Wasserdichte Ausführung.
- Anschluss der Führungsschiene.
- Anschluss und Verankerung der Säulen bzw. Stützen des Führungsgerüsts.
- Hubteile: Lagerblöcke für den Leerstand.
- Kuppel: Ggf. flächige Stützkonstruktion oder zentrale Beckenstütze.

Betrieb und Wartung:

- Ein-/ Auslassrohre.
- Heizung: In den Wintermonaten musste das Becken beheizt werden. ⁴⁵⁵
- Wartung: Bei freistehenden Becken war die Anordnung von Treppenaufgängen oder Leitern, sowie umlaufenden Revisionsgängen notwendig.

Das Kapitel WASSERBECKEN zielt auf die Analyse von Form und Konstruktion ab. Die Grundzüge der einwirkenden Kräfte, deren Einleitung und Abtragung sind in den Konstruktionsbeschreibungen eingearbeitet und sind nicht Schwerpunkt dieser Arbeit. Sämtliche anlagen- und sicherheitstechnische Ausstattungen des Beckens wie Ein-/ Auslassrohre, Revisionsöffnungen, Wartungsstege oder Geländer wurden nicht weiter berücksichtigt.

451 Weiterführende Fachliteratur zu einwirkenden Kräften und zur Bemessung siehe Peckston, 1819, pp. 225–238; Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 184–186; JGL-37, 1881, pp. 563, 606–608.

452 MAN, 1907, p. 1; MAN, 1909b, p. 2; Meade, 1916, p. 455

453 Meade, 1916, p. 422

454 Calzavara, 1899, p. 298; MAN, 1909d, p. 4

455 Wehrmann, 1954, pp. 61–68

3. Positionierung

Die Festlegung der Beckenposition war abhängig von unterschiedlichen Faktoren, insbesondere von der gewählten Form und den anstehenden Baugrundverhältnissen. Grundsätzlich unterschied man zwischen dem vollständig und teilweise versenkten Becken, sowie der freistehenden Ausführung⁴⁵⁶. Die Positionierung des Wasserbeckens hatte zudem optische Auswirkungen auf das Erscheinungsbild des Gasbehälters, da es für das darauf aufgesetzte Führungsgerüst eine Art „Basis“ darstellte und die Gesamthöhe steigerte.

Grundsätzlich kamen drei verschiedene Positionierungen zum Einsatz:

- **Vollständig versenktes Wasserbecken** (*Tab. 30 a*) – Das Wasserbecken wurde über die gesamte Beckenhöhe in den Baugrund eingetieft. Diese Positionierung entwickelte sich zur meist ausgeführten Form im englischen Gasbehälterbau.⁴⁵⁷
Im Großraum Londons wurde diese zudem von dem überwiegend anstehenden, plastischen Ton begünstigt, der sich aufgrund seiner wasserundurchlässigen und druckbeständigen Materialeigenschaften besonders für diese Positionierung eignete.⁴⁵⁸
Die vollständig versenkte Positionierung wurde angewendet bei: Flachboden-, Ring-, Kegelstumpf- und Kugelbodenbecken.
- **Teilweise versenktes Wasserbecken** (*Tab. 30 b*) – Diese Positionierung wurde v.a. bei besonderen Baugrundverhältnissen⁴⁵⁹ oder angetroffenem Grundwasser eingesetzt⁴⁶⁰. Im Gegensatz zur vollständigen Versenkung ragte dieses Wasserbecken bis zu einer bestimmten Höhe aus dem Erdreich heraus. Die teilweise versenkte Positionierung wurde angewendet bei: Flachboden-, Ring-, Kegelstumpf- sowie Kugelbodenbecken und war mit und ohne Böschung möglich (s.u.).
- **Freistehendes Wasserbecken** (*Tab. 30 c*) – Das freistehende Becken wurde vollständig auf der Geländeoberkante errichtet und steigerte so die Gesamtbauhöhe. Diese Positionierung wurde im englischen Raum eher selten eingesetzt.
Die freistehende Positionierung wurde bei Flachboden-, Wölbmantel- und Kugelbodenbecken verwendet – in seltenen Fällen auch als Ringbecken – und war mit und ohne Böschung möglich.

Bei dem teilweise versenkten oder dem freistehenden Becken war die Ausführung mit einer zusätzlichen **Böschung** möglich. Diese bestand aus einem Erdwall, der entweder bis zur Oberkante (*Tab. 30 b*) aufgeschüttet wurde oder den oberen Abschnitt der Beckenwand frei ließ (*Tab. 30 c*).

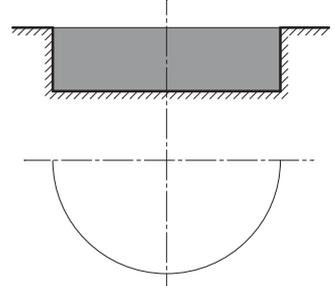
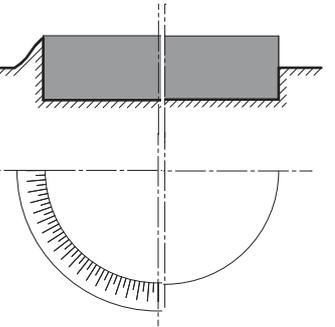
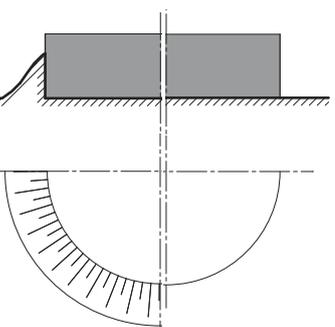
456 Meade differenzierte die Wasserbecken ausschließlich über diese drei möglichen Positionierungen und ergänzte eine vierte Ausführungsmöglichkeit – nämlich die aufgeständerte (Meade, 1916, p. 452). Auf diese vierte Möglichkeit wird in dieser Arbeit nicht separat eingegangen – sie wurde aber bei dem Ringbecken der Firma MAN eingesetzt (*Siehe Kap. C.2.4.-4.4.3.*).

457 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 62

458 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 46; Herring, 1893, p. 232

459 Hunter, 1897, p. 82

460 Herring, 1893, p. 233 – Herring empfahl das Becken nicht mehr als 3,70 bis 4,60m aus dem Boden ragen zu lassen und die freistehenden Wände anzuböschten.

Tab. 30: Positionierung des Wasserbeckens (nach Newbigging, Fewtrell, 1879; Herring 1893; Hunter, 1897; Meade, 1916)		
Positionierung	Vorteile	Nachteile
<p>a) Vollständig versenkt</p> 	<ul style="list-style-type: none"> + Wasserdruck wird durch Erddruck kompensiert, + Bei anstehendem plastischem Ton: Reduzierung des Bodenaufbaus, + Anschluss des Gerüsts an OK_{Becken} ohne Verlängerung der Stützen, + Bei Kegelstumpf-/ Kugelbodenbecken: Modellierung des Beckenbodens parallel zum Erdaushub, + Bei Ringbecken: Minimaler Aushub und Wassermenge. 	<ul style="list-style-type: none"> - Längere Bauzeit und höhere Baukosten durch Erdaushub, - Schwierige Revision und Reparatur, - Zusätzliche Abdichtung an der Mantelaußenfläche erforderlich.
<p>b) Teilweise versenkt</p>  <p>Mit Böschung Ohne Böschung</p>	<ul style="list-style-type: none"> + Reduzierter Erdaushub/ Kosten i. Vergl. zu a), + Partielle Kompensation des Wasserdrucks im eingetieften Abschnitt, + Kegelstumpf-/ Kugelboden-/ Ringbecken siehe a), + Plastischer Ton, siehe a). <p><u>Ohne Böschung (rechts)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> + Partielle Revision und Reparatur an der Mantelaußenfläche möglich. <p><u>Mit Böschung (links)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> + Erdaushub wurde für Böschung verwendet. 	<ul style="list-style-type: none"> - Unterschiedliche Druckbeanspruchungen der Beckenwand im oberen/ unteren Abschnitt, - Außenseitige Abdichtung im unteren Mantelabschnitt erforderlich. <p><u>Ohne Böschung (rechts)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Schmiedeeisen: Korrosionsschäden am freistehenden Mantelabschnitt, - Sockel oder Verlängerung der Stützen/ Säulen des Gerüsts. <p><u>Mit Böschung (links)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Außenseitige Abdichtung im oberen Mantelabschnitt erforderlich, - Schwierige Revision und Reparatur - Zusätzlicher Zeit- und ggf. Materialaufwand durch Böschung.
<p>c) Freistehend</p>  <p>Mit Böschung Ohne Böschung</p>	<ul style="list-style-type: none"> + Kein Bodenaushub, schnellere Bauzeit, geringere Kosten. <p><u>Ohne Böschung (rechts)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> + Vollständige Revision und Reparatur an der Mantelaußenfläche möglich. <p><u>Mit Böschung (links)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> + Keine/ reduzierte Verlängerung oder Sockel für Stützen/ Säulen, + Partielle Kompensation des Wasserdrucks. 	<ul style="list-style-type: none"> - Wasserdruck wurde nicht kompensiert durch Erddruck. <p><u>Ohne Böschung (rechts)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Frostgefahr bei dünnwandigen Mantelausführungen (Guss-/ Schmiedeeisen), - Anfällig für Korrosionsschäden, - Sockel oder Verlängerung der Stützen/ Säulen. <p><u>Mit Böschung (links)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Zusätzlicher Material-/ Kostenaufwand durch Böschung, - Schwierige Revision.

Zusammenfassung und Gegenüberstellung

Die Positionierung des Beckens wirkte sich – neben der finalen Form und Konstruktion – unmittelbar auf die Faktoren Baukosten und -zeit sowie Materialaufwand aus. So bestachen freistehende Becken durch eine relativ kurze Bauzeit, niedrige Baukosten und ermöglichten Wartungsarbeiten sowie Reparaturen von der Mantelaußenseite aus. Dafür musste beispielsweise ein erhöhter Aufwand zur Vorbeugung von Korrosionsschäden betrieben werden (*Tab. 30*).⁴⁶¹

461 Meade, 1916, p. 457

4. Beckenformen

Die Konstruktion und die Form des Beckens waren abhängig von der Größe, den vorherrschenden Standortbedingungen, dem jeweiligen Stand der Technik und den vorhandenen Baustoffen ⁴⁶²: Vom Flachboden- zum Kegelstumpf- und Kugelbodenbecken, bis hin zum Ring- und Wölbmantelbecken. Im Gegensatz zum Führungsgerüst und zum Hubteil, bei denen allein die Eisenbauweise dominierte, wurden beim Wasserbecken verschiedene Bauweisen – Mauerwerk, Eisen, Beton und Eisenbeton – eingesetzt. ⁴⁶³

Je nach Kuppelkonstruktion war ggf. eine feststehende, flächige Stützkonstruktion (*Siehe Kap. C.2.2.-4.4.*) oder eine zentrale Beckenstütze (*Siehe Kap. C.2.4.-4.2.*) erforderlich.

4.1. Flachbodenbecken

Diese Beckenform bestand aus einem geraden Kreiszylinder und zeichnete sich durch eine ebene Bodenfläche aus ⁴⁶⁴, sodass die Beckenhöhe an jedem Punkt der Grundfläche gleich blieb. Da der vollständige Zylinder mit Wasser gefüllt war, bezeichnete man diese Form teilweise auch als **Vollbecken**. Die Wahl der Bauweise war jeweils von der Positionierung des Flachbodenbeckens abhängig, die grundsätzlich sowohl versenkt, als auch freistehend möglich war. ⁴⁶⁵

4.1.1. Holzfässer und -bottiche

Eine Frühform des zylindrischen Wasserbeckens stellen größere Holzfässer oder -bottiche dar, die mit eisernen Fassreifen verstärkt wurden. So verwendete beispielsweise B. Cook 1810 ein halbiertes Holzfass (*Abb. 256*) für den Gasbehälter seiner Apparatur ⁴⁶⁶. Als innenseitige Abdichtung diente eine Schicht aus Pech und Teer. Die Haltbarkeit eines Holzfasses im Gasbehälterbau war meist nur von kurzer Dauer, da selbst kleinere Lecks unweigerlich zur Korrosion der dünnen Fassreifen und somit zum Versagen des Beckens führten. ⁴⁶⁷

Ein weiterer Nachteil zeigte sich beim Fassungsvermögen: 1817 wurde der Durchmesser der Holzfässer auf nur 3,00m beschränkt. Eines der letzten Holzfässer wurde 1843 auf dem Gaswerk in der Brick Lane in London rückgebaut. ⁴⁶⁸

Die Holzfässer wurden schließlich von Beckenkonstruktionen aus Mauerwerk und Gusseisen abgelöst, die besser auf die technisch-konstruktiven Anforderungen des Gasbehälters abgestimmt werden konnten (*Siehe folgende Kapitel*).

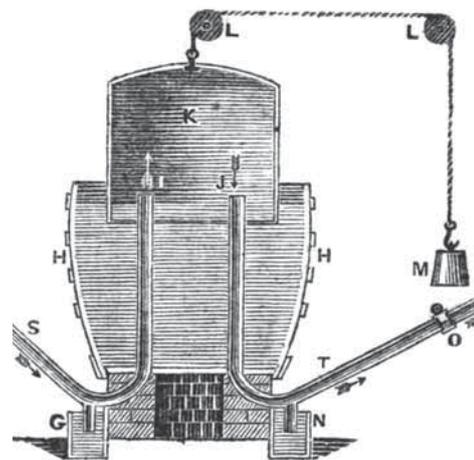


Abb. 256: Umfunktioniertes Holzfass (Cooper, 1816, Plate 3).

⁴⁶² Meade, 1916, p. 425

⁴⁶³ Anm. d. Verfasserin: Die unterschiedlichen Bauweisen werden jeweils bei der Beckenform, bei der sie erstmals zum Einsatz kamen, besonders ausführlich erläutert.

⁴⁶⁴ Durch die flache Ausbildung der Bodenfläche musste ein erhöhter Aufwand für etwaige Stützkonstruktionen der Kuppel betrieben werden (Meade, 1916, p. 457).

⁴⁶⁵ Anm. d. Verfasserin: Das Flachbodenbecken wird als erste Form behandelt, deshalb werden die unterschiedlichen Bauweisen hier besonders ausführlich behandelt

⁴⁶⁶ Cooper, 1816, pp. 146–152. – Cook stammte aus Birmingham und wurde für die Erfindung der gesamten Apparatur von der „Society for Encouragement of Arts, Manufacture and Commerce“ mit der Silbermedaille ausgezeichnet.

⁴⁶⁷ Prechtl, 1817, p. 81; Hughes, 1853, p. 194; Colburn, 1865, p. 72; Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 44

⁴⁶⁸ Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 44

4.1.2. Aus Gusseisen

Freistehende Flachbodenbecken aus Gusseisen wurden v.a. bei schwierigen Baugrundverhältnissen eingesetzt, die nur eine minimale oder keine Eintiefung erlaubten ⁴⁶⁹. Des Weiteren wurde diese Beckenkonstruktion auch in Überschwemmungsgebieten sowie bei Mangel an geeigneten Baustoffen oder Fachkräften eingesetzt ⁴⁷⁰.

Die Konstruktion folgte einer modularen Bauweise: Sowohl der Beckenboden als auch die Beckenwand bestanden aus einzelnen, verschraubten Platten.

Aufbau

Die Mantelplatten hatten eine rechteckige oder annähernd quadratische Grundform (*Abb. 257*), die zwischen 120 bis 165cm breit und 90 bis 150cm hoch war ⁴⁷¹. Die Platten waren mit umlaufenden Flanschen ausgebildet, an denen sie untereinander verschraubt wurden.

Die Beckenwand setzte sich aus mehreren horizontalen Plattenreihen zusammen, was eine Ausführung mit verschiedenen Plattenstärken – entsprechend dem zunehmenden Wasserdruck – ermöglichte. Um die Stabilität der einzelnen Platten zu erhöhen, wurden diese mit diagonalen Rippen ⁴⁷² oder kleinen Steifen (*Abb. 258*) ausgestattet, die jeweils zwischen den Schraubverbindungen positioniert wurden ⁴⁷³. Da die gusseisernen Platten nur gering auf Zug belastet werden konnten, wurden sie in der Regel mit außenliegenden Zugbändern (*Abb. 257, Abb. 258*) aus Schmiedeeisen verstärkt; hierfür wurden die Platten an den Flanschen und in der Feldmitte mit Nasen (*Abb. 258*) ausgestattet, auf die die Ringanker aufgesetzt wurden. ⁴⁷⁴

Bei der Bauausführung erwies sich der Einsatz von identischen Platten von Vorteil.

Deren Bemessung war mit zwei verschiedenen Ansätzen möglich:

- Die Stärke der Eisenplatten wurde nach der maximal belasteten Stelle gewählt – der untersten Plattenreihe, wo der Wasserdruck am größten war. Dies führte aber zur Überdimensionierung der oberen Reihen und zur unnötigen Material- und Kostensteigerung.
- Die Eisenplatten wurden mit einer geringeren Stärke geplant – dafür aber mit zusätzlichen Eisenringen in den unteren Reihen. Dieser Ansatz setzte sich schließlich aufgrund seines niedrigeren Materialeinsatzes gegenüber dem vorgenannten durch. ⁴⁷⁵

Die Bodenplatten wurden auf einem Beton- oder Sandbett ⁴⁷⁶ konzentrisch angeordnet; dabei waren die Flansche nach oben gerichtet, was die Montage erleichterte ⁴⁷⁷. Die zentrale Platte war kreisrund und je nach Beckengröße ein- oder mehrteilig. Die Platten des äußeren Ringes wurden meist als Sonderform gefertigt, um den Eckanschluss mit den senkrechten Mantelplatten zu erleichtern (*Abb. 262*).

Auf die Ausführung der Bodenplatten konnte verzichtet werden, falls der anstehende Untergrund aus gut gesättigtem Ton war. In diesem Fall musste das Becken im unteren Abschnitt etwas in das Gelände eingetieft und die unteren Mantelplatten sorgfältig mit Ton abgedichtet werden. Bei ungünstigeren

469 Falls das Becken dennoch eingetieft werden musste, empfahl sich eher die Ausführung als Ringbecken (*Siehe Kap. C.2.4.-4.4.*). (Herring, 1893, p. 236).

Bei sandigen Böden wurde die Oberfläche lediglich planiert, bei etwas schlechteren Gegebenheiten wurde das Becken auf mehrere Holzbalken oder einen Rost gesetzt. Falls die Baugrundverhältnisse eher einer Sumpflandschaft glichen, war eine Pfahlgründung notwendig (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 97).

470 Clegg, 1841, p. 133; Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 97

471 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 97

472 Teilweise wurden die Platten auch mit Ornamenten ausgestattet (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 99).

473 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 97

474 Hughes, 1853, p. 216; Peckston, 1819, pp. 240–241; Colburn, 1865, p. 75; Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 97–99

Zur Befestigung der Führungsschiene wurden bei den jeweiligen Platten bereits bei der Fertigung Klammern eingelassen, mit denen die Schienen verschraubt werden konnten (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 98).

475 Clegg, 1841, p. 135

476 Herring, 1893, p. 234

477 Hughes, 1853, p. 216

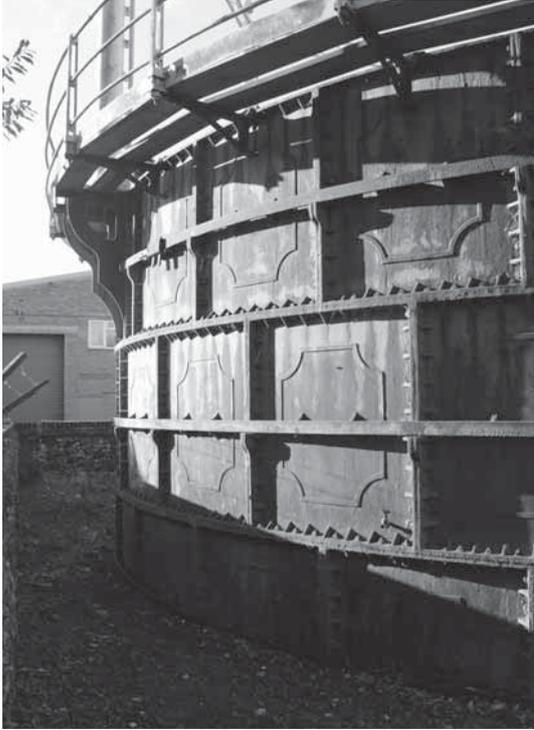


Abb. 257: Freistehendes, gusseisernes Flachbodenbecken in Fakenham (BB, 2015).



Abb. 258: Verschraubte Eisenplatten mit Steifen am Flansch und Nasen für Ringanker, Fakenham (BB, 2015).

Bodenbeschaffenheiten wurde der Beckenboden teilweise auch als Ziegel- oder Betonschicht ausgeführt.⁴⁷⁸

Da die gusseisernen Mantelplatten eine sehr dünnwandige Konstruktion ergaben, war für den Anschluss der Säulen bzw. Stützen ein Unterbau notwendig. Je nach Größe und Geschossigkeit des Führungsgerüsts wurde dieser unterschiedlich ausgeführt: Bei kleinen bis mittelgroßen Gasbehältern waren einfache Konsolen ausreichend (Abb. 259). Bei größeren Ausmaßen wurde der Unterbau entweder als massiver Mauerwerkspfeiler oder als gusseiserne Hohlkastenstütze gebaut; letztere bestand aus einzelnen – meist profilierten Paneelen, die direkt an die Beckenwand geschraubt wurden (Abb. 261, Abb. 260).⁴⁷⁹

Eine weitere Möglichkeit bestand darin, die Säule bzw. Stütze direkt bis zur Geländeoberkante fortzuführen und zu verankern (Abb. 265, Abb. 266).



Abb. 259: Gusseiserne Konsole zur Befestigung der Säule, Fakenham (BB, 2015).

478 Hughes, 1865, p. 182–183; Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 101

479 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 98

Den gusseisernen Beckenkonstruktionen waren jedoch Grenzen gesetzt – nach Hughes, 1853 empfahl sich deren Einsatz maximal bis zu einem Durchmesser von 30,00m bei einer Höhe von knapp 8,00m.⁴⁸⁰ Für größere Abmessungen erwies sich das gemauerte Wasserbecken als deutlich günstigere und effizientere Bauweise (*Siehe Kap. C.2.4.-4.1.1.*)⁴⁸¹. Zudem kam es aufgrund der schlanken Ausführung der Beckenwand schneller zur Frostbildung als bei gemauerten Becken⁴⁸².

Gebaute Beispiele

Clegg jun. beschrieb 1841 ein freistehendes, gusseisernes Becken (D= 15,54m; H= 7,62m), dessen Wand aus acht gusseisernen, verschraubten Plattenreihen ($b/h= 1524/ 944\text{mm}$) bestand (*Abb. 261*). Die Plattenstärke betrug in der obersten Reihe 16mm und nahm in den darunterliegenden Reihen kontinuierlich zu. Die unterste Reihe hatte eine Stärke von 32mm. Die Platten waren jeweils mit diagonalen Rippen verstärkt, die über einen zentralen Ring zusammengeschlossen wurden (*Abb. 260*). Abschließend wurden die Plattenstöße mit Eisenzement zur Abdichtung verstemmt. Die Platten wurden mit außenliegenden Ringankern aus Schmiedeeisen zusammengebunden. Der Beckenboden wurde in der gleichen Façon ausgeführt; die Bodenplatten hatten eine Stärke von 19mm. Die Doppelsäulen des Führungsgerüsts wurden auf vorgesetzten Sockeln bzw. Stützen verankert, die – wie die Säulen selbst – jeweils in eine Basis und ein Kapitell ausgestattet waren.⁴⁸³

Im King's Treatise, 1879 wurde das gusseiserne Becken (D= 18,75m; H= 4,95m) eines einhübrigen Gasbehälters beschrieben (*Abb. 262*): Die Beckenwand bestand aus drei Plattenreihen ($t_{\text{unten}} = 22\text{mm}$; $t_{\text{Mitte}} = 19\text{mm}$; $t_{\text{oben}} = 16\text{mm}$). Die einzelnen Mantelplatten waren in der Ansicht fast quadratisch und jeweils durch vier Rippen und einen zentralen Ring verstärkt; zudem befand sich in jeder Plattenmitte eine Nase für die schmiedeeisernen Ringanker ($h= 102\text{mm}$; $t= 16\text{--}19\text{mm}$). Die Bodenplatten wurden in sechs konzentrischen Bahnen ($t= 19\text{mm}$) und einer zentralen, kreisrunden Platte ($t= 22\text{mm}$) ausgeführt. Die Form der äußeren Platten (B) wich von den regulären ab: Um einen geeigneten Eckanschluss (*Abb. 262, Detailausschnitt*) mit den Mantelplatten (M) zu ermöglichen, waren diese mit einem winkelförmigen Flansch ausgestattet. Der Anschluss der Säulen erfolgte über vorgesetzte Hohlkastenstützen, bestehend aus drei gusseisernen, ornamentierten Paneelen. Diese wurden über Stempel direkt an der Beckenwand befestigt; die Plattenstärke betrug an diesen Stellen durchgehend 22,2mm.⁴⁸⁴

Ende des 19. Jahrhunderts wurden nur noch vereinzelt gusseiserne Flachbodenbecken mit größeren Ausmaßen gebaut; so berichtete z.B. Herring, 1893 von dem Bau eines Beckens mit einem Durchmesser von 34,14m und einer Höhe von 7,62m; das untere Viertel war in den Boden eingetieft. Die Beckenwand setzte sich aus fünf Plattenreihen ($t= 19\text{--}32\text{mm}$) zusammen; die Bodenplatten waren konzentrisch angeordnet ($t= 25\text{--}32\text{mm}$).⁴⁸⁵

Zusammenfassung – Gusseiserne Flachbodenbecken

Das freistehende sowie das leicht eingetieft Flachbodenbecken aus Gusseisen wurden bevorzugt bei kleinen bis mittelgroßen Gasbehältern eingesetzt, auf deren Standorten mit besonderen Baugrundverhältnissen zu rechnen war. Diese Bauweise bestach v.a. durch ihren hohen Vorfertigungsgrad, der eine schnelle Montage der Mantel- und Bodenplatten vor Ort ermöglichte, und ihre Positionierung, die eine außenseitige Wartung und Instandsetzung erlaubte⁴⁸⁶.

Diese Beckenkonstruktion kam bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts zum Einsatz – bis sie

480 Hughes, 1853, p. 199

481 Hughes, 1853, pp. 198–199; Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 96; Meade, 1916, p. 453

482 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 102

483 Clegg, 1841, pp. 134–135

Weitere gusseiserne Flachbodenbecken dieser Größenordnung wurden 1849 in Chichester (D= 10,06m; H= 4,57m) und 1847 in Great Yarmouth (D= 18,59m; H= 5,18m) errichtet (Clegg, 1866, p. 236).

484 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 97–100

485 Herring, 1893, pp. 234–235

486 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 97

schließlich durch die Einführung von schmiedeeisernen Blechen grundlegend novelliert wurde (Siehe folgendes Kapitel).⁴⁸⁷

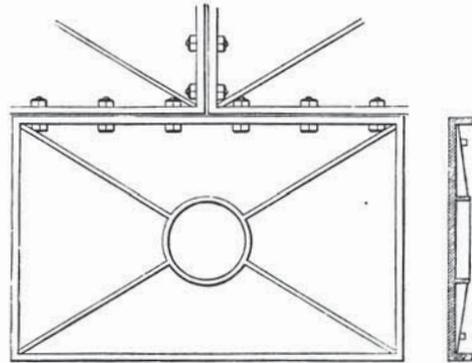


Abb. 260: Gusseiserne Platte eines Wasserbeckens nach Clegg (Clegg, 1841, p. 134).^{**}

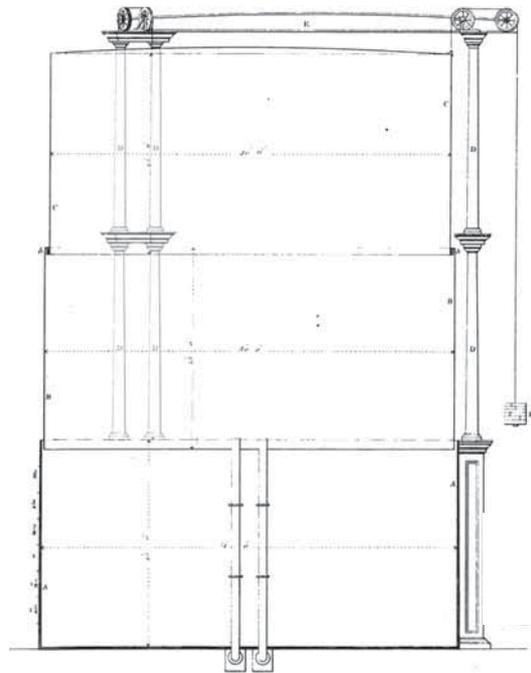


Abb. 261: Gusseisernes Flachbodenbecken nach Clegg (Clegg, 1841, Plate XVII, modifiziert durch BB, 2016).^{**}

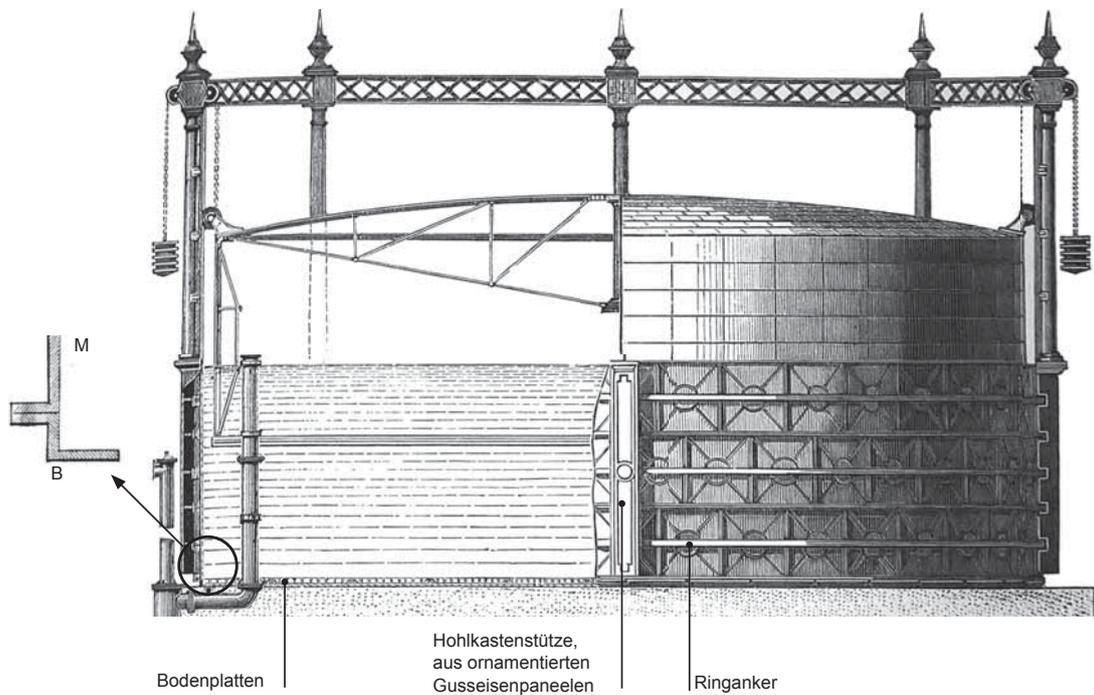


Abb. 262: Glockengasbehälter mit Becken aus gusseisernen Platten (Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate IX); Anschluss von Mantel- und Bodenplatten (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 98).^{**}

487 Siehe auch George Livesey, 1880 „Gasholder-Tanks: Difficulties and Mistakes in their Construction“ (JGL-35, 1880, pp. 1049–1050).

4.1.3. Als genietete Blechkonstruktion

Das genietete Flachbodenbecken wurde in der Regel freistehend errichtet⁴⁸⁸. Das Gefüge der genieteten Blechkonstruktion entsprach grundsätzlich dem gusseisernen Vorgänger, nur dass die Mantel- und Bodenbleche keinen umlaufenden Flansch hatten und untereinander nicht verschraubt, sondern vernietet wurden.

Aufbau

Die Konstruktion der Beckenwandung setzte sich aus mehreren, horizontalen Mantelblechreihen und den jeweils in Säulenachse verlaufenden, senkrechten Führungsschienen zusammen. Die Mantelblechstärke nahm grundsätzlich entsprechend des Wasserdrucks von der oberen zu den unteren Reihen schrittweise zu, während die Bodenbleche relativ dünn bemessen waren⁴⁸⁹.

Die Einzelblechgröße und deren Fügetechnik war grundsätzlich abhängig von der Beckengröße (Abb. 263): Bei kleineren und mittelgroßen Becken wurden senkrechte oder geneigte Bleche überlappt angeordnet und vernietet (A). Bei größeren Beckenabmessungen wurden die horizontalen Blechränder überlappt und die senkrechten mit Laschen vernietet⁴⁹⁰; letztere wurden entweder einfach (B) oder doppelt angeordnet (C).⁴⁹¹

Die Schwachstelle der Beckenkonstruktion stellte der Eckanschluss der Mantel- und Bodenbleche dar⁴⁹², der mit einem Ringträger erfolgte (Abb. 264). Dieser bestand aus einem innen oder außen liegenden Winkeleisen oder einem Winkeleisenpaar⁴⁹³.

Zum Schutz der Bodenbleche wurde die Grundfläche sorgfältig egalisiert und verdichtet⁴⁹⁴; anschließend wurden die Bodenbleche linear oder konzentrisch verlegt und vernietet.

Der Anschluss des Führungsgerüsts war unterschiedlich möglich: Entweder wurden die Säulen und Stützen bis zur Geländeoberkante fortgeführt und dann über Fundamente im Erdreich verankert oder das Wasserbecken war mit Konsolen ausgestattet, auf denen die Säulen und Stützen befestigt wurden.

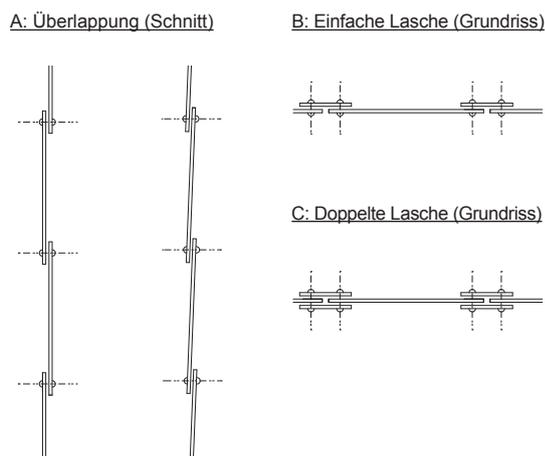


Abb. 263: Blechanschlüsse (Schema, BB nach Wehrmann, 1954, p. 27).

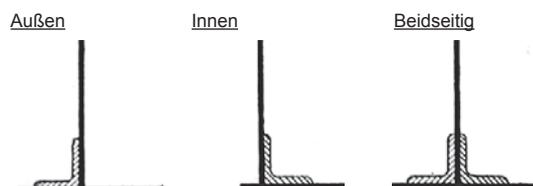


Abb. 264: Eckanschlüsse von Boden- und Mantelblechen mit Winkeleisen (Meade, 1916, p. 458).**

488 MAN, 1909d, pp. 4–5; Meade, 1916, p. 457

489 Meade, 1916, p. 458. – Die Bodenblechstärke betrug zwischen 8mm und 10mm; die Anschlussbleche am äußeren Rand waren bis zu 13mm stark.

Zur Berechnung der Stärke von Mantelblechen siehe Meade, 1916, pp. 460–461.

490 MAN, 1909d, p. 5. – Anfang des 20. Jahrhunderts wurde die beidseitige Anlaschung mit Zickzacklaschen ausgeführt.

491 Wehrmann, 1954, p. 27. – Ab einer Blechstärke von 15mm empfahl Wehrmann den Laschenanschluss.

492 MAN, 1908, p. 28

493 Meade, 1916, p. 458; Wehrmann, 1954, p. 29

Nach Meade wurde in den meisten Fällen das einfache, innenliegende Winkeleisen angewendet.

494 Die MAN empfahl 1909 eine eingeschlämmte, eingewalzte Schotterschicht, auf die eine ca. 3cm hohe Asphaltsschicht aufzubringen war (MAN, 1909d, p. 5).

Wehrmann, 1954 beschrieb eine Ausgleichsschicht in Form von Sand oder einer dünnen Eisenbetonplatte (Wehrmann, 1954, p. 26).

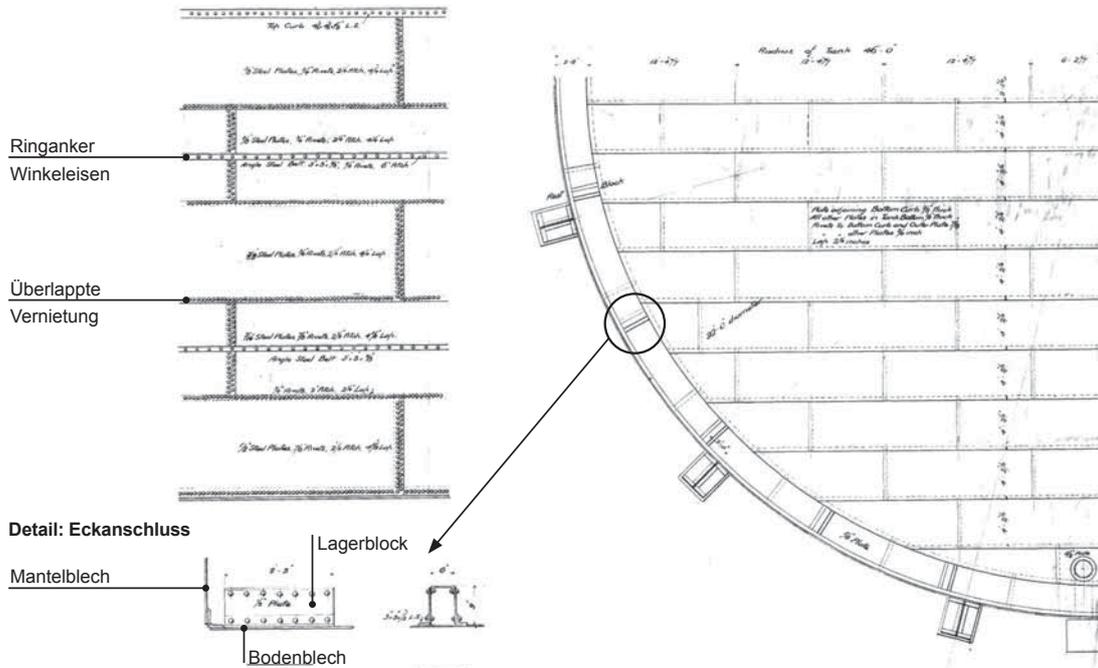


Abb. 265: Genietetes Flachbodenbecken in Saint Annes, Lytham (NGA, NWLYS/E/T/4).**

Gebaute Beispiele

Freistehende, genietete Flachbodenbecken wurden im 19. Jahrhundert eher selten gebaut⁴⁹⁵. Im King's Treatise wurde ein kleines, schmiedeeisernes Flachbodenbecken (D= 15,60m; H= 4,30m) aufgeführt: Als Unterkonstruktion des Mantels dienen zwölf Mantelständer und vier Ringträger aus Winkeleisen, die sowohl am oberen und am unteren Abschluss, als auch in den Drittelpunkten angeordnet wurden. Die Blechstärke betrug bei allen Blechbauteilen 10mm; nur die Mantelbleche, an denen die Führungsschienen befestigt waren, und der äußere Ring der Bodenbleche wurden dicker ausgeführt.⁴⁹⁶

1899 plante *Thomas Newbigging** für das Gaswerk Saint Annes on the Sea in Lytham (Abb. 265) ein genietetes, freistehendes Flachbodenbecken (D= 28,04m; H= 6,39m) mit Stahlblechen: Die oberen drei Mantelblechreihen waren 10mm stark, die vierte 11mm und die fünfte 13mm. Die zweite und die vierte Bahn wurden jeweils von einem außen liegenden Ringanker – einem Winkeleisen (l/b= 127/76mm, t= 10mm) – verstärkt. Der obere und der untere Ringträger bestanden ebenfalls aus einem Winkeleisen (h/b= 114/114mm; t= 16mm). Die Bodenbleche (t= 16mm) wurden innerhalb des äußeren Ringes (t= 10mm) parallel verlegt und genietet.

Die Lagerblöcke, auf die sich die Hubteile im Leerstand absetzten, bestanden aus U-förmig vernieteten, länglichen Bauteilen.

Die voranschreitende Weiterentwicklung des Eisenwerkstoffes, sowie die Verbesserung der Fügetechnik ermöglichten Anfang des 20. Jahrhunderts den Bau von weitaus größeren Wasserbecken, deren Einsatz nach Meade, 1916 besonders ab einem Nutzvolumen von 56.000m³ vorteilhaft war⁴⁹⁷.

Durch die verbesserten Materialeigenschaften war die Herstellung von größeren, länglichen Einzel-

495 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 101; Wehrmann, 1954, p. 26

496 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 101

Die einzelnen Bleche wurden noch im Werk mit einer Erstbeschichtung aus Leinölfirnis und auf der Baustelle mit einem zweifachen Oxidanstrich versehen.

497 Meade, 1916, p. 457



Abb. 266: Genietetes Wasserbecken in Poplar, London (BB, 2015).

lechen möglich, was die Gesamtlänge der kumulativen Nietnaht erheblich senkte und sich wiederum günstig auf Bauzeit und -kosten auswirkte.

Dies zeigt das Beispiel des vierhübrigen Gasbehälters ($V= 104.772\text{m}^3$) in Poplar, London (Abb. 266), der 1928⁴⁹⁸ mit einem freistehenden, genietetem Wasserbecken ($D= 58,50\text{m}$; $H= 11,40\text{m}$)⁴⁹⁹ aus Stahlblechen gebaut wurde.

Die Beckenwandung setzte sich aus acht Blechreihen zusammen, die überlappt vernietet wurden; der vertikale Blechstoß wurde jeweils mit einer doppelten Lasche ausgeführt. Die Stützen des Führungsgerüsts wurden bis zur Geländeoberkante fortgeführt und verankert; der Anschluss an die Mantelbleche erfolgte jeweils an den Drittelpunkten der Beckenhöhe.

Bei genieteten Flachbodenbecken mit sehr großen Ausmaßen wurde es zunehmend schwieriger, einen kraftschlüssigen Eckanschluss herzustellen, zumal der zunehmende Wasserdruck größere Blechstärken erforderte:

Bei einem Behälter für z.B. 150.000m^3 wäre die unterste Mantelblechreihe ca. 40mm dick und das entsprechende Winkeleisen betrüge 150/150/15mm⁵⁰⁰. Daher empfahl die MAN, 1909 den Bau von genieteten Flachbodenbecken maximal bis zu einem Wasservolumen zwischen 80.000 und 100.000m³ zu beschränken.⁵⁰¹

498 Tucker, 2014, p. 31

499 Tucker, 2017

500 MAN, 1909d, p. 5

501 MAN, 1908, p. 28

Das Problem derart dicker Mantelbleche und deren kraftschlüssiger Eckverbindung führte zur Entwicklung des Wölbmantelbeckens (Siehe Kap. C.2.4.-4.5.).

Zusammenfassung – Genietete Flachbodenbecken

Insgesamt erwies sich die freistehende, genietete Konstruktion – als Weiterentwicklung des gusseisernen Vorgängers – als günstige Alternative zu mittelgroßen, gemauerten Flachbodenbecken: Sie beschleunigte die Bauausführung, senkte die Kosten und erleichterte spätere Wartungsarbeiten und Reparaturen; jedoch war an der Blechhaut mit wiederkehrenden Korrosionsschäden zu rechnen⁵⁰².

Im Laufe des 19. Jahrhunderts wurden die Flachbodenbecken in England eher selten und nur bei kleineren Ausführungen⁵⁰³ als genietete Blechkonstruktion gebaut, da das Gusseisen hierfür lange der favorisierte Werkstoff blieb⁵⁰⁴. Erst um die Jahrhundertwende stieg die Anzahl der genieteten Flachbodenbecken leicht an⁵⁰⁵.

Ihre konstruktiven Möglichkeiten stellte die genietete Blechkonstruktion jedoch nicht bei den Flachbodenbecken unter Beweis, sondern bei der Ringbeckenform (*Siehe Kap. C.2.4.-4.4.*), was durch die Erfindung des freistehenden Wölbmantel- und des Intze-Beckens noch gegipfelt wurde (*Siehe Kap. C.2.4.-4.3.2.*)⁵⁰⁶.

502 Meade, 1916, p. 457

503 Hughes, 1865, p. 179

504 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 101; Wehrmann, 1954, p. 26

In Deutschland war es eher umgekehrt: Fast alle eisernen Flachbodenbecken waren aus Schmiedeeisen. (Wehrmann, 1954, p. 26).

505 Wehrmann, 1954, p. 26

Nach Wehrmann war das optimale Verhältnis $H : D = 1 : 5$. In Schöneberg, Berlin wurde sogar ein Wasserbecken mit einem Durchmesser von 76,00m bei einer Höhe von 15,00m als genietete Blechkonstruktion ausgeführt.

506 Zu weiterführenden Parameteruntersuchungen zum Spannungsverlauf eines freistehenden Flachbodenbeckens aus Schmiedeeisen siehe auch Pils, 2015.

4.1.4. Aus Mauerwerk

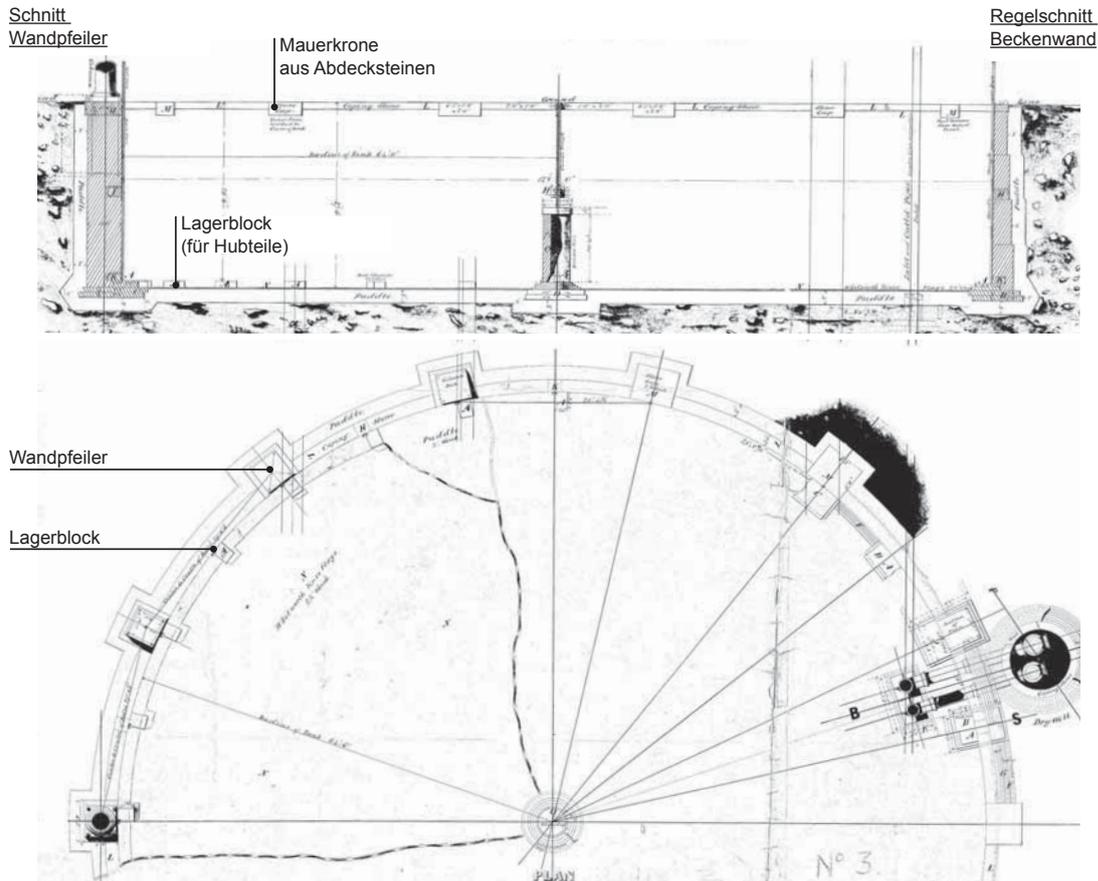


Abb. 267: Flachbodenbecken eines Gasbehälters in Rochdale, Baujahr 1871 (NGA, NWROC/E/E/4).**

Das gemauerte Flachbodenbecken⁵⁰⁷ wurde in England in der Regel vollständig oder teilweise versenkt ausgeführt⁵⁰⁸. Die Beckenwand bestand aus einem ein- oder mehrschaligen Mauerwerk – auch in Kombination mit Beton möglich. Die Stärke der Ringmauer war von der Beckengröße und dem daraus resultierenden Wasserdruck abhängig; deshalb wurde der Mauerquerschnitt entsprechend dem nach oben abnehmenden Druck stufenweise reduziert, wie es das Beispiel eines gemauerten Beckens in Rochdale zeigt (Abb. 267)⁵⁰⁹. Die Ringmauer war an der Außenseite mit Wandpfeilern ausgestattet, die zur Verankerung der Säulen bzw. Stützen des Führungsgerüsts dienten. Bei größeren Durchmessern wurden häufig zusätzliche, sekundäre Wandpfeiler eingesetzt, die sich zwischen den Hauptpfeilern befanden.⁵¹⁰

Die Mauerkrone bestand aus großformatigen Abdecksteinen und war unterhalb der Säulen jeweils mit senkrechten Bohrungen versehen, die zur Verankerung des Führungsgerüsts mit seinen Säulen bzw. Stützen dienten. In diese Bohrlöcher wurden Ankerbolzen eingesetzt, die über horizontale Ankerplatten fixiert wurden (Abb. 268)⁵¹¹. Der Beckenboden war je nach der Beschaffenheit des Untergrunds

507 Anm. d. Verfasserin: Da der Wandaufbau bei einem vollständig versenkten Flachboden- und einem Kegelstumpfbecken (Siehe Kap. C.2.4.-4.2.) gleich ist, wurden in diesem Kapitel einige Beispiele verwendet, die Teil eines Kegelstumpfbeckens sind.

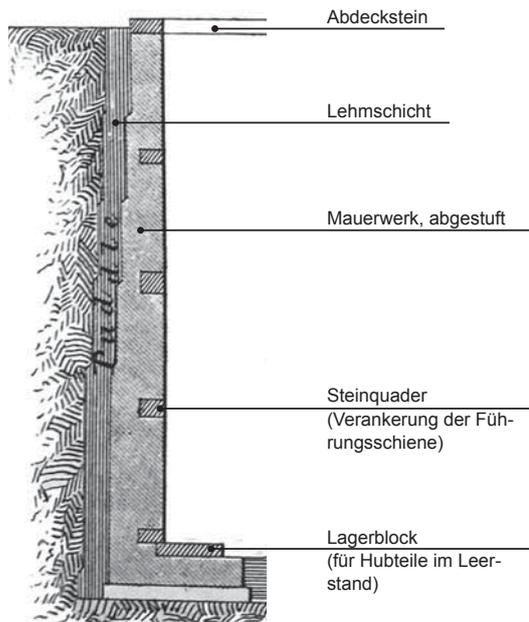
508 Nach Hughes, 1865 ragte die Mauerkrone zwischen 1,83m bis 2,44m über die Geländeoberkante hinaus (Hughes, 1865, p. 183). In anderen Ländern fand auch die freistehende Variante Anwendung (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 62).

509 Meade, 1916, p. 455

510 Hughes, 1853, pp. 200–201; Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 58–64, 184

511 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 63–64

Regelschnitt



Schnitt durch Wandpfeiler

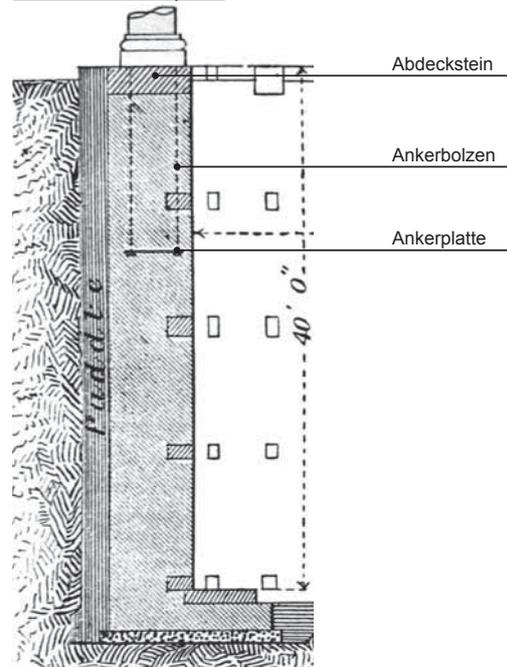


Abb. 268: Gemauerte Beckenwand mit abgetrepptem Regelquerschnitt (links) und Wandpfeiler für Säulenanschluss (rechts) in Salford (Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate II).**

unterschiedlich aufgebaut. Zudem befanden sich im Becken großformatige Lagerblöcke⁵¹², auf die sich die Mantelkonstruktion der Hubteile im Leerstand absetzen konnte.

Einschalige Beckenwand aus Mauerwerk

Für die Erstellung des Mauerwerks eignete sich gut gebrannter Ziegelstein wegen der guten Festigkeitseigenschaften. Diese wurden zunächst mit Kalkmörtel gesetzt, der sich aber in Verbindung mit Wasser wieder auflöste und so zu undichten Stellen führte. Deswegen wurde das Mauerwerk außenseitig mit einem 46 bis 61cm starken Lehm Schlag⁵¹³ versehen, der die Wasserundurchlässigkeit wiederherstellte.⁵¹⁴

Diese Bautechnik bewährte sich über einen langen Zeitraum: Sowohl bei kleineren, versenkten Wasserbecken – wie z.B. das von Clegg jun. aufgeführte Becken ($D=26,67\text{m}$; $T=7,62\text{m}$), an dessen Ringmauerwerk ($t_{\text{unten}}=76\text{cm}$; $t_{\text{oben}}=66\text{cm}$) außenseitig eine dicke Lehmschicht angebracht war (Abb. 269)⁵¹⁵ – als auch bei größeren Ausmaßen, wie sie von S. Hunter* bei der Ringmauer eines Beckens ($D=46,94\text{m}$; $T_{\text{max}}=12,19\text{m}$) in Salford (Abb. 268) eingesetzt wurde⁵¹⁶.

Da Lehm ein teurer Baustoff war, begann man um 1860 die Mörtelzusammensetzung zu modifizieren und Kalk allmählich durch Portlandzement zu ersetzen⁵¹⁷, der sich v.a. wegen der Wasserundurchläss-

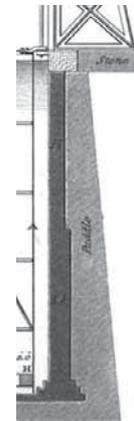


Abb. 269: Beckenwand aus Mauerwerk (Clegg, 1841, Plate XVI).**

512 Colburn, 1865, p. 73

513 Meade, 1916, p. 454. – Meade unterschied zwischen Beckenwänden die entweder mit einer Lehmschicht oder einem Zementglattstrich abgedichtet waren, als „puddled tanks“ und „rendered tanks“.

514 Clegg, 1841, p. 133; Hughes, 1853, p. 201; Colburn, 1865, p. 72; Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 51–52

515 Clegg, 1841, pp. 130–133

516 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 65. – Der Boden dieses Wasserbeckens war mit einem sehr flachen Kegelstumpf ausgebildet (Siehe Kap. C.2.4.-4.2.).

517 Hughes, 1863, pp. 184–185

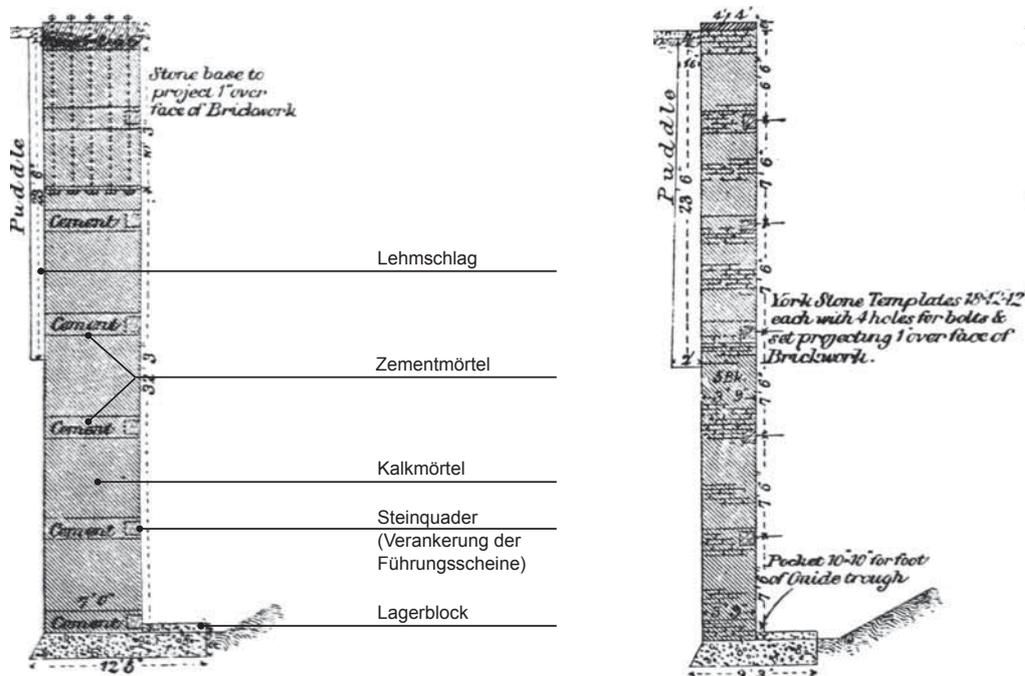


Abb. 270: Querschnitt von einem Wandpfeiler für Säule (links), Wandpfeiler zur Verstärkung des Beckens (rechts) in Kennington, London (Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate VI).**

sigkeit als geeigneterer Baustoff erwies.⁵¹⁸

Die Abdichtungstechnik mit Lehm entwickelte sich v.a. in England zum Standard und wurde als „puddling“ bezeichnet; andernorts, wo keine geeigneten Lehmvorkommnisse oder nur eine unzureichende Steinqualität vorhanden war, wurde die Innenseite des Mauerwerks vorsorglich mit einem dünnen Zementglattstrich abgedichtet⁵¹⁹. Der Zementmörtel wurde bevorzugt auch bei besonders beanspruchten Anschlüssen verwendet – so wurden z.B. die Ziegellagen eines Beckens (D= 66,45m; T= 9,82m) in Kennington, London (Abb. 270), in denen sich die Steinquader zur Verankerung der Führungsschiene befanden, mit Zementmörtel versetzt.⁵²⁰

Je mehr Ziegellagen mit Zementmörtel ausgeführt wurden, desto tragfähiger war die Beckenwand. So beschrieb Hughes, 1865 ein Becken (D= 44,20m; T= 16,76m) auf dem Gaswerk in St. Pancras, London, wie folgt:

„Six courses of brickwork in every 5 feet of height, as also the three finishing courses, and the corresponding courses in piers to be set in cement.“⁵²¹

Zudem empfahl Colburn, 1865 den Einsatz von zusätzlichen Zementmörtellagen jeweils ober- und unterhalb einer jeden Abstufung der Beckenwand – in Kombination mit außen liegenden Eisenringen⁵²². In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts entwickelte sich schließlich die innenseitige Abdichtung

518 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 51–54
Bei einem Mauerwerk aus porösen Natursteinen und Kalkmörtel war besonders darauf zu achten, dass die Ringmauer abschnittsweise mit großen Steinblöcken, Kies und hydraulischem Mörtel hinterfüllt und im festen Zustand mit zwei Pechschichten versiegelt wurde (Hughes, 1865, pp. 185–186). Weiterführende Literatur zu Kalk-, Zementmörtel und Mauerwerk siehe Hughes, 1865, pp. 185–186; Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 53–54 Herring, 1893, pp. 27–47.

519 Hunt, 1900, p. 152
Hunt empfahl diese Zementschicht zweilagig auszuführen: Die erste 13 bis 19mm dick, bestehend aus Portlandzement und Sand zu gleichen Teilen, versiegelt durch eine zweite reine Zementschicht, deren Stärke nur 6,4mm betrug. (Herring, 1893, p. 248).

520 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 78

521 Hughes, 1865, p. 189
„Sechs Ziegellagen alle 1,52m, ebenso die drei letzten Lagen und die entsprechenden Lagen der Wandpfeiler sind in Zement zu versetzen.“ – (Übers. d. Verfasserin)

522 Colburn, 1865, p. 73

der Beckenwand mit einem Zementglattstrich ($t = \text{min. } 6 \text{ mm}$) zum Standard ⁵²³. Die außenseitige Baugrube wurde parallel zum Aufmauern hinterfüllt und verdichtet ⁵²⁴.

Um die wasserundurchlässige Eigenschaft der Ringmauer zu verbessern, war – neben hochwertigen Materialien – beim Mauervorgang ein hohes Maß an Sorgfalt erforderlich ⁵²⁵. Selbst kleinere Ungenauigkeiten im Mauerwerksgefüge hatten unweigerlich Risse zur Folge, die im Winter zu gefährlichen Frostsprengungen führen konnten. ⁵²⁶

War das Wasserbecken nur teilweise versenkt, wurden Eisenringe und Ringanker eingesetzt, um den oberen Abschluss zu verstärken. Diese wurden entweder außenseitig ⁵²⁷ oder – falls nur eine geringe Höhe aus dem Erdreich ragte – direkt in das Mauerwerk der Mauerkrone eingesetzt. Der Maueranteil, der über die Geländeoberkante hinausragte, wurde oftmals mit Erdreich angeböschet.

Der Ringanker erwies sich schließlich als probates Bauteil, das die Stabilität der Beckenwand grundlegend verbesserte. Deshalb setzte z.B. *Charles Hunt** bei einem Becken ($D = 61,00 \text{ m}$; $T = 11,00 \text{ m}$) in Birmingham (Abb. 271) diese auf sechs verschiedenen Höhen ein. ⁵²⁸

Entstehung der zweischaligen Beckenmauer

*Alfred King** aus Liverpool wendete ein zweischaliges Mauerwerk an: Die äußere, abgestufte Ringmauer wurde nach der herkömmlichen, abgestuften Bauweise mit Kalkmörtel errichtet, während für die innen liegende, vorgesetzte Schale Zementmörtel verwendet wurde. Die Außenseite der Beckenwand wurde zusätzlich mit einem Zementglattstrich versehen, sodass etwaige abdichtende Lehmschichten nicht mehr notwendig waren. Diese Technik wurde 1873 von *Harrison Veevers** für ein Becken ($D = 43,43 \text{ m}$; $T = 9,75 \text{ m}$) auf dem Gaswerk in Bolton angewendet (Abb. 272); die senkrechten Führungsschienen wurden jeweils mit Ankerbolzen und senkrechten, schmiedeeisernen Platten im Mauerwerk befestigt. ⁵²⁹

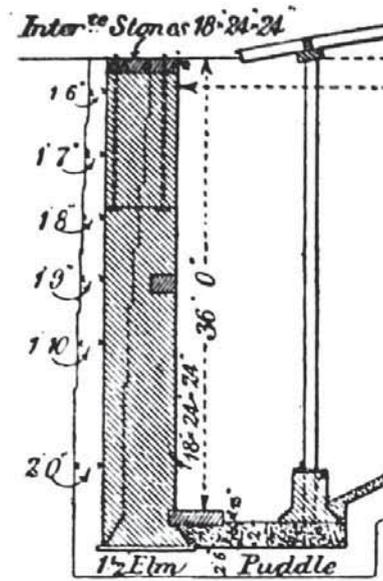


Abb. 271: Becken mit außen liegenden Eisenringen, Birmingham (Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate III).**

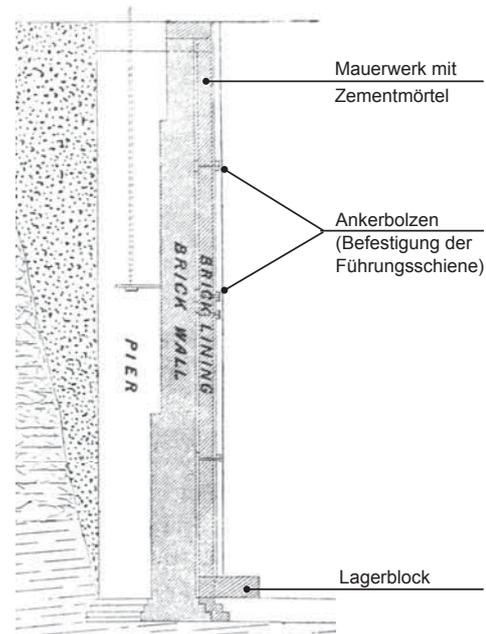


Abb. 272: Beckenwand aus zweischaligem Mauerwerk in Bolton (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 63, Fig. 28).**

⁵²³ Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 58; Wehrmann, 1954, p. 23

⁵²⁴ Hughes, 1853, pp. 201–202; Meade, 1916, p. 454

⁵²⁵ Hughes, 1853, p. 201

⁵²⁶ Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 62; MAN, 1909d, pp. 4–5

Siehe auch den Bericht von George Livesey, 1880 über die Schwierigkeit und die auftretenden Probleme bei gemauerten Wasserbecken „Gasholder-Tanks: Difficulties and Mistakes in their Construction“ (JGL-35, 1880, pp. 1049–1050).

⁵²⁷ Hughes, 1865, p. 183

⁵²⁸ Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 62–68

⁵²⁹ Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 62–64

1871 begannen die Bauarbeiten des ersten sogenannten **Kompositbeckens** (D= 46,63m; T= 11,58m) auf dem Gaswerk in der Old Kent Road in London, bei dem *George Thomas Livesey** erstmals für die Beckenwand eine Kombination von Mauerwerk und Beton vorsah: Die konventionelle Ringmauer wurde mit einer außenseitigen Betonschicht geplant. Der gemauerte Ring hatte eine reguläre Stärke von 23cm; jede siebte Steinlage wurde auf 36cm verbreitert, um einen besseren Verband zur Betonschale herzustellen. Die Gesamtstärke dieser zweischaligen Wand betrug am Fuß des Beckens 130cm und am oberen Abschluss 69cm.⁵³⁰

Der erfolgreiche Einsatz von Beton bei dem Kompositbecken führte Livesey schließlich zur Entwicklung eines Wasserbeckens in reiner Betonbauweise (Siehe Kap. C.2.4.-4.2.2.).

Um 1874⁵³¹ entstand in Redheugh (Abb. 273) ein Becken (D= 46,30m; T= 9,68m) mit einer zweischaligen Wandung aus Mauerwerk und Beton nach den Plänen *Vitruvius Wyatts**. Die Gesamtstärke der Wand betrug am Fuß 102cm und an der Mauerkrone 81cm. Im Abstand von 138cm wurden jeweils geteerte und gesandete Ringanker (b/h= 38/2mm) eingesetzt.⁵³²

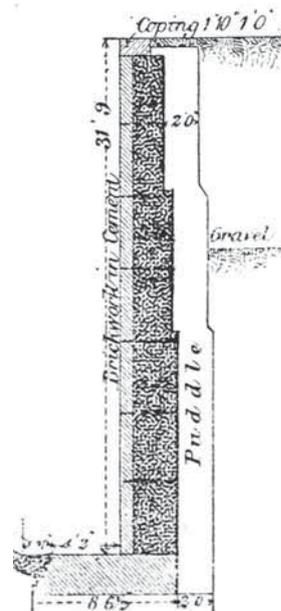


Abb. 273: Zweischalige Beckenwand aus Mauerwerk und Beton in Redheugh (Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate VII).

Bodenplatte

Der Aufbau der Bodenplatte, einschließlich einer adäquaten Abdichtungstechnik, war abhängig von den jeweiligen Bodenbeschaffenheiten. Oftmals bestand die Bodenplatte nur aus einer dicken Lehm-schicht (t= 46–61cm)⁵³³. Bei Böden mit unzureichender Festigkeit empfahl es sich, den Beckenboden mit einer Betonschicht auszuführen. Diese wurde abschließend mit einer Zement- oder zweilagigen Ziegelschicht versiegelt. Bei anstehendem festen Ton waren aufgrund der guten wasserundurchlässigen Eigenschaften keine zusätzlichen Abdichtungsschichten erforderlich.⁵³⁴

Insbesondere bei lockeren oder inhomogenen Böden erwies sich schließlich die Ausbildung eines Kegelstumpfes anstelle einer horizontalen Fläche von Vorteil (Siehe Kap. C.2.4.-4.2.)⁵³⁵.

Zusammenfassung – Gemauerte Flachbodenbecken

Die Ringmauer des gemauerten Flachbodenbeckens vollzog im Laufe des 19. Jahrhunderts eine Entwicklung vom einschaligen zum mehrschaligen Aufbau, bei dem schließlich auch Beton zum Einsatz kam. Diese Bauweise erforderte ein hohes Maß an Genauigkeit bei der Planung und Ausführung, um ein wasserundurchlässiges Mauerwerksgefüge zu erhalten und spätere Rissbildungen zu vermeiden. Das Aufmauern und Abdichten erforderte Fachpersonal und verlängerte die Bauzeit.

Insgesamt bewährte sich diese Bauweise v.a. mit zunehmendem Beckendurchmesser: Obwohl Eisen zwar ein billigerer Baustoff war als Ziegelstein, betrug die Bausumme bei der gemauerten Ausführung nur ungefähr die Hälfte, als z.B. mit Gusseisen⁵³⁶.

530 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 55, pp. 78–79
Weiterführende Literatur zum Leben und Wirken von George T. Livesey siehe Mills, 2013 und Mills 2019.

531 JGL-24, 1874, p. 1

532 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 81
Ursprünglich plante Wyatt diese Technik für eine dreischalige Wand, die aus zwei äußeren Mauerwerksschalen und einem Betonkern bestand. Die zweischalige Variante erwies sich jedoch als günstiger und setzte sich deutlich gegenüber dem dreischaligen Modell durch.

533 Colburn, 1865, p. 72

534 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 50–52; Hunt, 1900, p. 152
So eignete sich z.B. der im Großraum Londons anstehende Ton sehr gut zum Bau von versenkten Wasserbecken (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 47).

535 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 53

536 Hughes, 1853, pp. 198–199; Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 96

4.1.5. Zusammenfassung – Flachbodenbecken

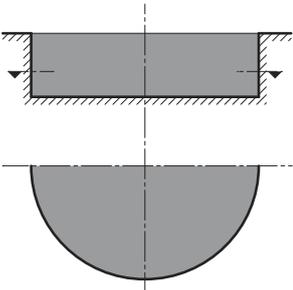
Die ersten Wasserbecken basierten auf der Grundform eines geraden Kreiszylinders, der mit einem flachen Boden geschlossen wurde – so ergab sich die Bezeichnung des Flachbodenbeckens.

Nachdem anfangs Holzfässer als Wasserbecken zweckentfremdet wurden, begann man freistehende oder auch leicht eingetieft Flachbodenbecken aus **Eisen** zu konstruieren: Zunächst bestanden diese aus verschraubten Gusseisenplatten, die schließlich von der genieteten Blechkonstruktion aus Schmiedeeisen abgelöst wurden. Die Eisenbauweise verfügte über einen hohen Vorfertigungsgrad. Deshalb war die Montage verglichen mit z.B. gemauerten Becken (s.u.) schneller und einfacher.

Insgesamt wurden Flachbodenbecken aus Guss- oder Schmiedeeisen meist nur in den Fällen eingesetzt, die den Bau eines gemauerten, vollständig versenkten Beckens nicht erlaubten, wie z.B. bei besonderen Baugrundverhältnissen ⁵³⁷.

Das Flachbodenbecken aus **Mauerwerk** wurde in der Regel vollständig oder teilweise versenkt und zeichnete sich v.a. durch seine vielseitigen Ausführungsmöglichkeiten – ein- oder mehrschalig, teilweise auch in Kombination mit Beton – aus. Diese Bauweise erforderte erfahrene Facharbeiter und hatte eine längere Bauzeit als bei Eisenbecken. Durch die eingetieft Positionierung gestalteten sich zudem die Revision und etwaige Reparaturen der Beckenwand schwierig.

Insgesamt bestach das gemauerte Flachbodenbecken als kostengünstige Ausführung v.a. bei großen Beckendurchmessern.

Tab. 31: Zusammenfassung Flachbodenbecken (nach Clegg, 1841; Newbigging, Fewtrell, 1879; Herring, 1893; Meade 1916)		
Flachbodenbecken	Vorteile	Nachteile
 <p><u>Form:</u> Gerader Kreiszylinder mit flacher Grundfläche.</p> <p><u>Positionierung:</u> Vollständig/ teilweise versenkt oder freistehend.</p> <p><u>Bauweise:</u> Guss-/ Schmiedeeisen, Mauerwerk, Beton.</p>	<p><u>Guss-/ Schmiedeeisen</u> (freistehend, leicht eingetieft) + Anpassung der Mantelplattenstärke an den Wasserdruck, + Hoher Vorfertigungsgrad, + Einfache Montage, + Freistehend: Einfache Montage/ Wartung/ Reparatur.</p> <p><u>Mauerwerk – ein-/ mehrschalig</u> (meist vollständig/ teilweise versenkt) + Auch für große Beckendurchmesser geeignet, + Ringmauer als Frostschutz, + Ringmauer mit integrierten Wandpfeilern zur Verankerung des Führungsgerüsts, + Günstige Bauweise v.a. für große Becken.</p>	<p><u>Guss-/ Schmiedeeisen</u> - Erhöhte Frostgefahr wg. dünnwandigem Aufbau, - Zusätzliche Konsolen/ Stützen zum Anschluss des Führungsgerüsts, - Gusseisen: Zusätzliche Ringanker erforderlich. Beckendurchmesser bis zu ca. 35,00m, - Schmiedeeisen: Korrosionsschäden, - Schwieriger Eckanschluss von Mantel und Boden.</p> <p><u>Mauerwerk – ein-/ mehrschalig</u> - Vollständig versenkt: Schwierige Wartung und Reparatur, - Undichte Stellen durch Risse in der Ringmauer, - Längere Bauzeit.</p>

537 Herring, 1893, p. 234

4.2. Kegelstumpfbecken

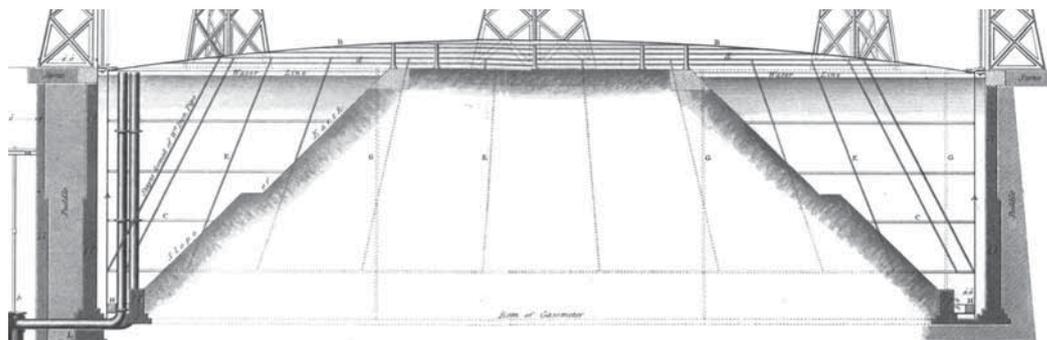


Abb. 274: Gemauertes Wasserbecken mit beckenhohem Kegelstumpf (Clegg, 1841, Plate XVI).

Der Begriff **Kegelstumpf** beschreibt bereits die geometrische Besonderheit dieses Beckens. Der Boden war nicht flach, sondern mit einem zentralen Kegelstumpf ausgebildet, der von der flachen, niedrigen bis hin zur steilen, beckenhohen Ausführung möglich war. Grundsätzlich wurde diese Beckenform meist vollständig versenkt, da der Kegelstumpf im Zuge der Abtragungsarbeiten des Erdreichs modelliert wurde⁵³⁸.

Das Kegelstumpfbecken, das sich v.a. bei englischen Gasbehältern zum Standard entwickelt hatte⁵³⁹, war eine frühe Weiterentwicklung des Flachbodenbeckens und bot mehrere Vorteile:

- Reduzierung des Erdaushubs,
- Reduzierung des Wasservolumens und folglich auch des Wasserdrucks,
- Reduzierung des Materialeinsatzes bei Stützkonstruktionen für binderlose Kuppeln (*Siehe Kap. C.2.2.-4.4.*),
- Reduzierte Höhe der zentralen Beckenstütze, die als Auflager für unterspannte und gerippte Kuppeln diente (*Siehe Kap. C.2.2.-4.3. und 4.5.*).

Nach Clegg jun. eignete sich das Kegelstumpfbecken ab einem Durchmesser von ca. 18,00m⁵⁴⁰.

Prinzipiell waren beim Kegelstumpfbecken die gleichen Wand- und Bodenaufbauten wie beim Flachbodenbecken möglich. Am häufigsten wurde die Beckenwand in Massivbauweise mit Mauerwerk oder Beton hergestellt; Konstruktionen aus Guss- oder Schmiedeeisen kamen eher selten zum Einsatz⁵⁴¹.

4.2.1. Kegelstumpf

Die Höhe des Kegelstumpfes sowie der Neigungswinkel der Seitenflächen waren grundsätzlich von der anstehenden Bodenbeschaffenheit abhängig: Bei Sand oder Kies konnte der Kegel nicht so steil und hoch ausgeführt werden, wie bei einem festen Boden.⁵⁴²

Niedriger Kegelstumpf

Die Höhe des Kegelstumpfes entsprach maximal dem Viertel der Beckenhöhe, was einen relativ flachen Neigungswinkel zur Folge hatte. Der niedrige Kegelstumpf eignete sich v.a. bei lockeren Böden.

538 Meade, 1916, p. 454

539 Colburn, 1865, p. 72

540 Clegg, 1841, p. 133. – Bei kleineren Becken war die Ausführung als Flachbodenbecken günstiger (*Siehe Kap. C.2.4.-4.1.*).

541 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 51

542 Clegg, 1841, p. 133; Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 50

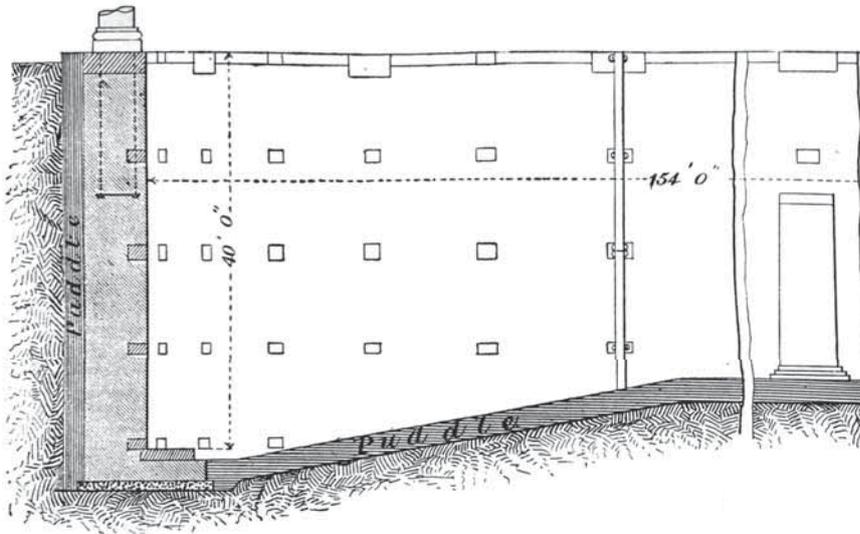


Abb. 275: Flacher Kegelstumpf eines gemauerten Wasserbeckens in Salford (Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate II).

Ein Beispiel wurde in Salford (Abb. 275) nach den Plänen Hunters um 1878 errichtet: Das Becken ($D=46,94\text{m}$, $T_{\text{max}}=12,19\text{m}$) war mit einem sehr niedrigen Kegelstumpf ($h_{\text{Kegel}}=1,93\text{m}$) konzipiert, der erst nach der Fertigstellung des Ringmauerwerks modelliert wurde. Die Oberflächen des Kegelstumpfes und die Außenseite der Ringmauer wurden abschließend mit einer durchgehend 61cm starken Lehm-schicht abgedichtet. Auf der Plattform war eine zentrale Beckenstütze, die als Auflager für die unter-spannte Kuppel im Leerstand fungierte.⁵⁴³

Der niedrige Kegelstumpf wurde – verglichen mit dem hohen Pendant (Siehe folgender Abschnitt) – eher selten eingesetzt.

Hoher Kegelstumpf

Diese Kegelstumpfform war in der Regel mindestens halb so hoch wie das Becken, was zu steileren Seitenflächen führte; das Steigungsverhältnis von 1:1 wurde jedoch nur in seltenen Fällen überschritten. Der Einsatz von Abtreppungen oder Böschungsabsätzen ermöglichte auch bei lockeren Böden die Modellierung von steileren Kegelstumpfformen, die mit einer Lehm- oder Betonschicht fixiert wurden, um das Abrutschen von losen Stellen zu verhindern.⁵⁴⁴

Clegg jun. führte in seinem Handbuch von 1841 ein gemauertes Becken ($D=26,67\text{m}$; $T=7,62\text{m}$) auf, das mit einem Kegelstumpf gebaut wurde (Abb. 274): Die Grundfläche erstreckte sich fast über die gesamte Bodenfläche und die Kegelhöhe entsprach der Beckenhöhe. Die Seitenflächen waren mit einer Abtreppung ausgebildet. Der obere Rand der Plattform wurde mit einem Ring aus Natursteinen eingefasst, während der Kegelfuß durch einen umlaufenden Mauerwerksstreifen gesichert wurde. Auf der Plattform waren Stempel angeordnet, die zur Unterstützung der binderlosen Kuppel dienten.⁵⁴⁵

In Beckton plante *Frederick J. Evans** für vier identische Gasbehälter (Abb. 276) jeweils ein gemauertes Becken mit einem Kegelstumpf ($D_{\text{oben}}=33,53\text{m}$; $H=7,62\text{m}$), der bis in die obere Hälfte des Beckens hineinragte. Der Bodenaufbau bestand aus 60cm Lehm, 23cm Beton und einer abschließenden Zie-

543 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 65

544 Clegg, 1841, p. 133; Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 50
Bei manchen Becken wurden sogar Flechtwerke aus Staken und Weiden verwendet (Colburn, 1865, p. 72).

545 Clegg, 1841, pp. 130–133

gellage ($t= 12\text{cm}$). In der zentralen Achse des Kegelstumpfes befand sich ein verstärktes Auflager, auf das sich die Kuppel im Leerstand absetzen konnte.

Eine Sonderform des Kegelstumpfbeckens stellte das erste Betonbecken von Livesey dar (*Abb. 277*), dessen Kegelstumpf mit einem ringförmigen Aufsatz ausgebaut wurde (s.u.).

Je höher der Kegelstumpf ausgeführt wurde, desto besser konnte man von dieser Beckenform profitieren – dies zeigte der reduzierte Erdaushub, der gesenkte Materialaufwand bei Stützkonstruktionen sowie die geringere Wassermenge, die das Becken aufnahm. Bei Kegelstümpfen, die genauso hoch waren wie das Becken selbst, zeigten sich Parallelen zum Ringbecken, da das Wasservolumen kein zylindrisches Kontinuum mehr darstellte, sondern einen breiten, nach unten spitz zulaufenden, ringförmigen Wasserkanal (Siehe Kapitel ring).

Zentrale Beckenstütze

Unterspannte oder gerippte Kuppelkonstruktionen benötigten im Leerstand eine fest im Becken verankerte, massive Stütze, auf die sie sich ablegen konnten; teilweise wurde auch bei flächigen Stützkonstruktionen eine zentrale, massivere Stütze eingesetzt (*Siehe Kap. C.2.2.-4.4.2.*).

Die Beckenstütze hatte einen runden oder quadratischen Grundriss, der sich meist nach oben verjüngte; die Stützhöhe war von der jeweiligen Kuppelkonstruktion und der Höhe des Kegelstumpfes abhängig: Bei binderlosen oder gerippten Kuppeln überragte die Stütze die Oberkante des Beckens, um unmittelbar unter dem Kuppelscheitel anzusetzen. Bei unterspannten Kuppeln fiel die Beckenstütze in der Regel niedriger aus; teilweise setzte die Luftstütze sogar direkt auf dem Kegelstumpf auf.⁵⁴⁶

Auf dem flachen Kegelstumpf des Gasbehälters in Salford (*Abb. 275*) wurde z.B. eine quadratische Beckenstütze aus Mauerwerk direkt auf der Lehmschicht errichtet. Die Stütze war ca. 6,10m hoch und verjüngte sich nach oben ($b/h_{\text{unten}} = 1,83\text{m}$; $b/h_{\text{oben}} = 1,60\text{m}$). Der Stützenkopf wurde mit einem Abdeckstein ($t= 31\text{cm}$) abgeschlossen.⁵⁴⁷

4.2.2. Das erste Betonbecken – mit Kegelstumpf⁵⁴⁸

1875⁵⁴⁹ wurde in der Old Kent Road in London das erste Becken ($D= 56,10\text{m}$; $T= 14,33\text{m}$) in reiner Betonbauweise fertig gestellt (*Abb. 277*)⁵⁵⁰. Dies war ein weiterer Verdienst von Livesey, der das Kegelstumpfbecken mit der Ringform kombinierte: In den äußeren Betonring – der sich hier nicht stufenweise, sondern kontinuierlich zur Mauerkrone ($t_{\text{unten}} = 152\text{cm}$; $t_{\text{oben}} = 69\text{cm}$) hin verjüngte – wurde der Kegelstumpf ($h_{\text{max}} = 10,98\text{m}$) eingesetzt, der eine Abstufung besaß. Die Seitenflächen ($t= 23\text{cm}$) waren im 45° -Winkel geneigt. Auf den Kegelstumpf war ein zweiter, kleinerer Betonring ($d_{\text{außen}} = 28,66\text{m}$; $h= \text{ca. } 3,35\text{m}$; $t= 61\text{cm}$) gesetzt, der die Wasseroberfläche durchstieß und so dem Becken eine Ringform gab; die Ringbreite betrug $13,72\text{m}$. Ein dritter Betonring ($d_{\text{innen}} = 3,05\text{m}$; $t= 61\text{cm}$) diente schließlich als zentrale Beckenstütze für die Kuppel; diese wurde innerhalb der wasserfreien Plattform errichtet.

Nachdem das Becken bereits nach den ersten Wintern deutliche Risschäden davontrug, empfahl

546 Nach Brodie betrug die Höhe der zentralen Stütze mindestens das Dreifache der darauf aufsetzenden Luftstütze der unterspannten Kuppel (JGL-35, 1880, p. 925).

547 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 66

548 Die Einführung von Wasserbecken aus Eisenbeton wird im Rahmen dieser Arbeit nur angeschnitten, da diese Bauweise außerhalb des untersuchten Zeitraums liegt.

Weiterführende Literatur zu betonierten Becken siehe Wehrmann, 1954, pp. 23–26.

Zur Entstehung und Entwicklung des Eisenbetons Ende des 19. Jahrhunderts siehe Rehm, Jörg: *Die Anwendung von Eisenbeton im Hochbau – Dokumentation und Analyse realisierter Skelettbauten in München bis 1918*, laufende Dissertation bei Prof. Dr.-Ing. Rainer Barthel, TUM.

549 J. Douglas aus Portsea trug 1874 ein Paper über seine Erfahrungen mit dem Einsatz von Beton im Gasbehälterbau bei der British Association of Gas Engineers vor und zeigte die Vorzüge des Betons, wie z.B. die besseren Festigkeitswerte und die Senkung der Baukosten (Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 79–80).

550 Weitere Pläne siehe JGL-36, 1880, Oct. 26, Nov. 16, Dec. 7.

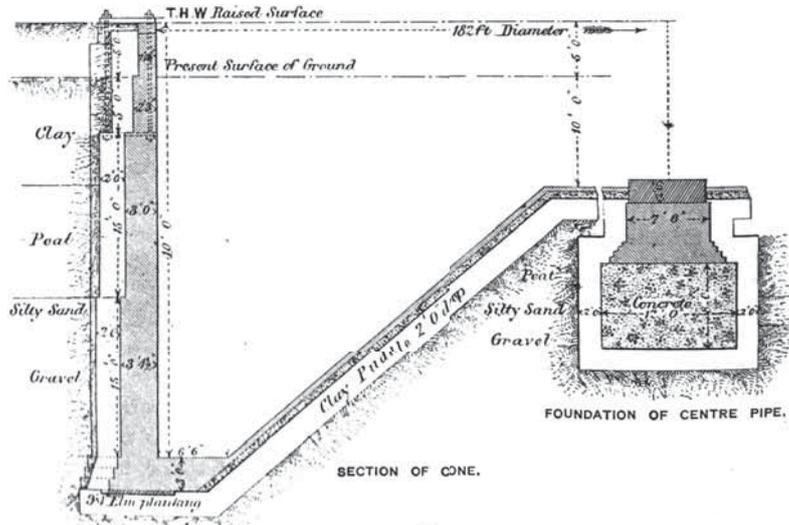


Abb. 276: Kegelstumpf Becken in Beckton, London (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 70).

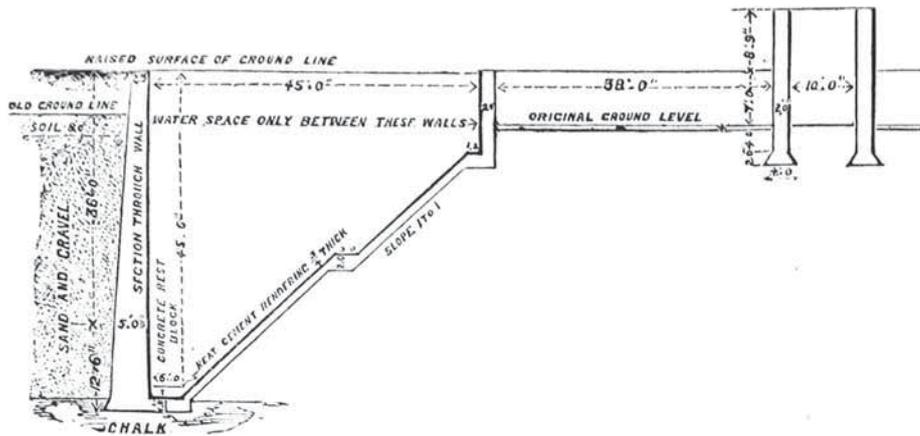


Abb. 277: Liveseys erstes Betonbecken mit erweitertem Kegelstumpf. Old Kent Road, London (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 86).

Livesey, zukünftige Becken aus Beton mit außen liegenden Ringankern aus Schmiedeeisen zu verstärken, wie es schon bei den gemauerten Becken zur gängigen Praxis gehörte.⁵⁵¹

Für den Bau von einschaligen Betonwänden empfahl Wyatt, dass die Wandstärke des Beckens ($D_{\max} = 45,72\text{m}$; $T_{\max} = 10,97\text{m}$) mit einem Zehntel des Durchmessers bemessen werden sollte⁵⁵².

Die Erstellung der Betonwand erfolgte abschnittsweise und mit Hilfe einer Holzschalung (Abb. 278).

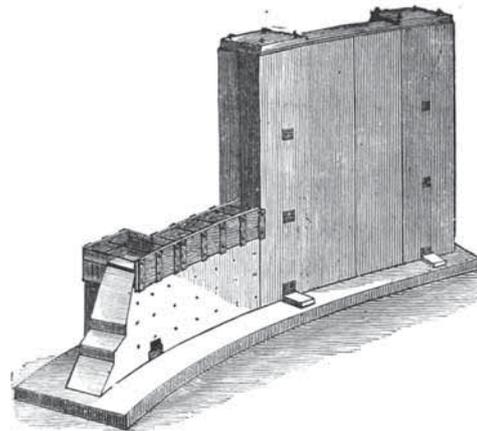


Abb. 278: Erstellung einer Betonwand mit Holzschalung nach (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 80).

551 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 85–88

In einer Patentschrift von 1874 beschrieb bereits P. Jensen ein Wasserbecken, das aus einzelnen Betonblöcken und in seltenen Fällen vollständig aus Beton gegossen bzw. gestampft wurde. Zudem empfahl auch er den Einsatz von Eisenringen (JGL-24, 1874, 478).

552 Meade, 1916, p. 456

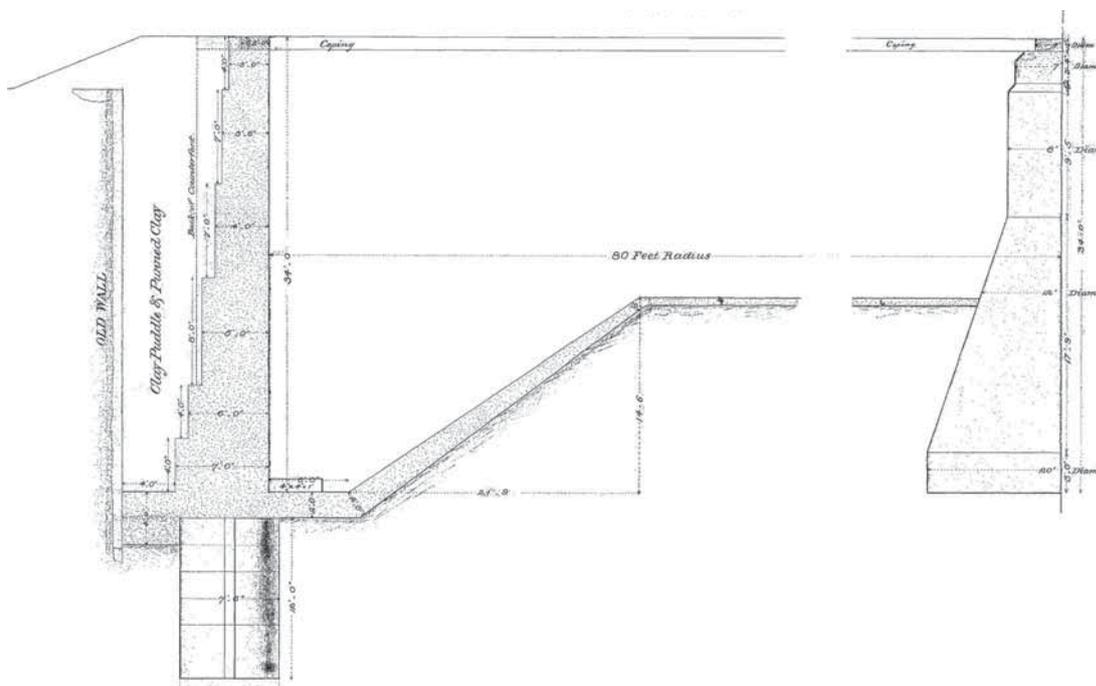


Abb. 279: Kegelstumpfbecken aus Beton in Middlesbrough, 1877 (NGA, NOMIC/E/9).

Ein außenseitiger Lehmschlag war nicht notwendig, jedoch sollte die Innenseite mit einem Glatzstrich ($t = 10\text{mm}$) aus Zement sorgfältig egalisiert und zugleich versiegelt werden.⁵⁵³

Wenige Jahre nachdem diese neue Bauweise auf dem Gaswerk der Old Kent Road debütierte, entstand ein weiteres Becken ($D_{\text{gesamt}} = 24,38\text{m}$; $H = 10,67\text{m}$) aus Beton in Middlesbrough (Abb. 279). Der Aufbau des Beckens folgte der klassischen Kegelstumpfform bestehend aus einem äußeren, abgetreppten Betonring, einem Kegelstumpf ($h = 4,57\text{m}$) und einer zentralen Beckenstütze.

Verglichen mit den gemauerten Becken ermöglichte die Betonbauweise eine Reduzierung der Baukosten⁵⁵⁴. Der Nachteil bestand jedoch in den anfänglich unzureichenden Fachkenntnissen, die diese Technik bei der Planung und bei der Ausführung erforderte.⁵⁵⁵

Nach Newbigging, Fewtrell, 1879 war die Betonbauweise eine der größten Errungenschaften für den Behälterbau der Gasindustrie.⁵⁵⁶

Das wohl größte Becken aus Beton wurde 1892 für einen Gasbehälter ($V = 212.377\text{m}^3$) in Kensal Green, London gebaut: Der Durchmesser betrug $76,20\text{m}$, bei einer Tiefe von $16,92\text{m}$.⁵⁵⁷

553 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 80

554 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 85, Meade, 1916, p. 456

555 JGL-35, 1880, pp. 1018–1019; Meade, 1916, p. 456

556 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 48

J. Douglas aus Portsea trug 1874 ein Paper über seine Erfahrungen mit dem Einsatz von Beton im Gasbehälterbau bei der British Association of Gas Engineers vor und zeigte die Vorzüge des Betons, wie z.B. die besseren Festigkeitswerte und

die Senkung der Baukosten (Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 79–80).

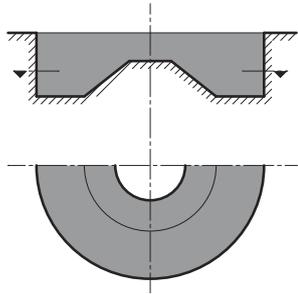
557 Tucker, 2014, p. 25

4.2.3. Zusammenfassung – Kegelstumpfbecke

Das Kegelstumpfbecke war eine Weiterentwicklung des vollständig versenkten Flachbodenbeckens und entwickelte sich zur Standardform in England. Die Einführung eines zentralen Kegelstumpfes brachte mehrere Vorteile mit sich: Er verringerte den Erdaushub, die aufzunehmenden Wassermengen sowie den Materialaufwand bei etwaigen Stützkonstruktionen.

Die Form des Kegelstumpfes variierte von der flachen bis zur hohen Ausführung, die teilweise sogar bis an die Oberkante des Beckens reichte; in der Regel war der Kegelstumpf mindestens halb so hoch wie die Beckenhöhe. Je nach Kuppelkonstruktion wurde auf dem Kegelstumpf ggf. eine flächige Stützkonstruktion oder eine singuläre, zentrale Beckenstütze positioniert, um die Kuppel im Leerstand zu tragen.

Aufgrund der vollständig versenkten Positionierung wurde diese Beckenform überwiegend in Massivbauweise errichtet – nämlich in Mauer- oder Betonbauweise. Das erste Betonbecke wurde 1875 als Kegelstumpfbecke nach den Plänen Liveseys in der Old Kent Road, London errichtet und revolutionierte die damals bestehende Bautechnik für versenkte Wasserbecke.

Tab. 32: Zusammenfassung Kegelstumpfbecke		
(nach Clegg, 1841; Colburn, 1865; Newbigging, Fewtrell, 1879; Meade 1916)		
Kegelstumpfbecke	Vorteile	Nachteile
 <p><u>Form</u>: Gerader Kreiszyylinder mit Kegelstumpf.</p> <p><u>Positionierung</u>: Vollständig/ Teilweise versenkt</p> <p><u>Bauweise</u>: Mauerwerk, Beton</p>	<ul style="list-style-type: none"> + Reduzierter Bodenaushub, + Reduzierte Wassermengen, + Senkung des Materialaufwandes bei der Stützkonstruktion der Kuppel, + Beckenwand als Frostschutz, + Beckenwand mit integrierten Wandpfeilern zur Verankerung des Führungsgerüsts, + Auch für größere Beckendurchmesser geeignet. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vollständig versenkt: Schwierige Wartung und Reparatur, - Mauerwerk: Undichte Stellen durch Risse in der Ringmauer, - Beton: Zusätzliche Ringanker erforderlich, - Aufwendige Modellierung.

4.3. Kugelbodenbecken

Das **Kugelboden- oder Stützkugelbecken** war ursprünglich eine Variation des eingetieften Kegelstumpfbeckens: Der Boden wurde nicht mit einem Kegelstumpf, sondern mit einer Halbkugel oder einem Kugelsegment modelliert. In Anlehnung an das Kegelstumpfbecken wurde diese Beckenform meist vollständig eingetieft und in Massivbauweise errichtet. In Deutschland wurde das Kugelbodenbecken als freistehende Eisenkonstruktion gebaut, die von Intze zu einer Sonderform mit einem abgechrägten Eckanschluss weiterentwickelt wurde.

4.3.1. In Massivbauweise

Analog zum Kegelstumpfbecken bestach auch die eingetiefte Kugelbodenform durch den reduzierten Bodenaushub und die daraus resultierenden, geringeren Wassermengen, die das Becken aufnehmen musste. Jedoch war die Modellierung der Halbkugel teurer als beim Kegelstumpf⁵⁵⁸. Der Becken- und der Bodenaufbau entsprachen grundsätzlich denen des Flach- und Kugelbodenbeckens.

Im King's Treatise wurde ein versenktes Wasserbecken ($D = \text{ca. } 12,60\text{m}$, $T = 4,57\text{m}$) aufgeführt, das sich aus einer gemauerten Beckenwand und einem Kugelboden ($f = \text{ca. } 3,00\text{m}$) zusammensetzte (Abb. 280). Der Bodenaufbau bestand aus einer Betonschicht und einem abschließenden Zementglattstrich. Ein zentraler, niedriger Pfeiler aus Mauerwerk fungierte als Auflager für die Luftstütze der Kuppelkonstruktion.⁵⁵⁹

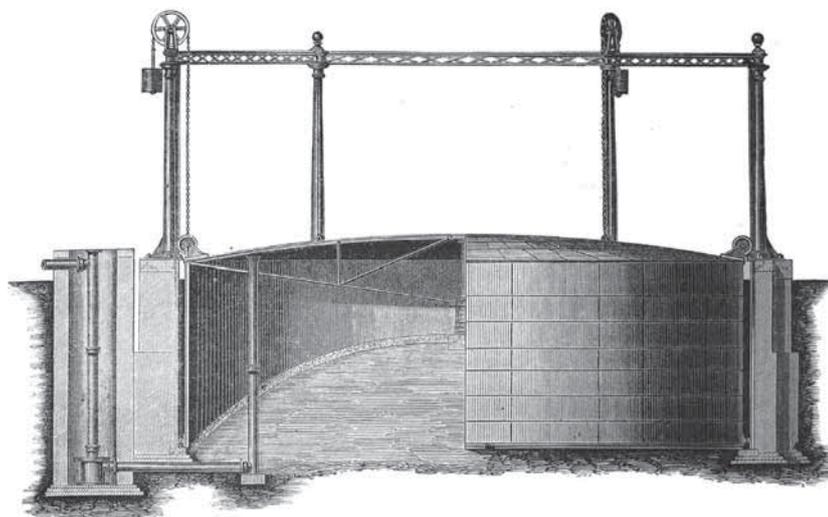


Abb. 280: Versenktes Kugelbodenbecken (Newbigging, Fewtrell, 1879, p.119).

Bei größeren Beckendurchmessern ließ sich die Halbkugelform schwieriger umsetzen, da der Kugelscheitel die Oberkante des Beckens überragt hätte. Daher wurde bei derartigen Abmessungen die flachere Ausführung mit einem Kugelsegment bevorzugt.

558 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 119–120

559 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 119–120

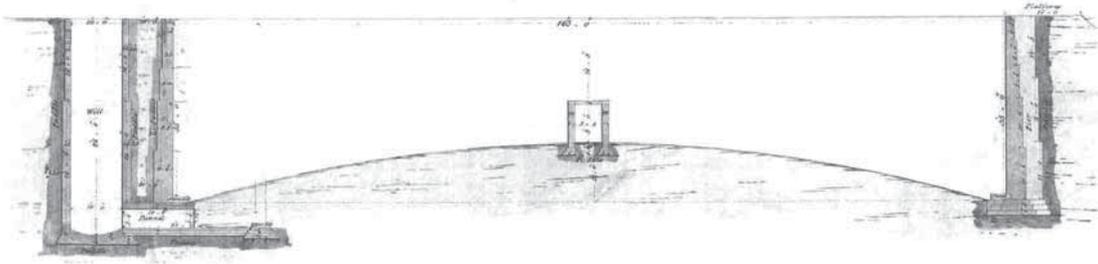


Abb. 282: Flaches Kugelbodenbecken in Kensal Green, London (NGA, NTGAL/WEG/E/T/5).

In Kensal Green, London wurde 1860 ein flaches Kugelbodenbecken ($D= 49,68\text{m}$; $T= 10,67\text{m}$) für einen Gasbehälter vorgeschlagen (Abb. 282): Das vollständig versenkte Becken bestand aus einer Ringmauer und einer schwach gewölbten Bodenfläche, die auf ungefähr ein Drittel der Beckenhöhe anstieg. Auf dem Scheitel befand sich ein niedriger, zylindrischer Sockel, der als Auflager für die Kuppelkonstruktion vorgesehen war.

Ein ähnliches Gefüge stellte das Wasserbecken ($D= \text{ca. } 25,00\text{m}$; $T= 6,71\text{m}$) eines zweihübrigen Gasbehälters in Redcar (Abb. 281) dar, das 1876 mit einem flachen Kugelboden geplant wurde.

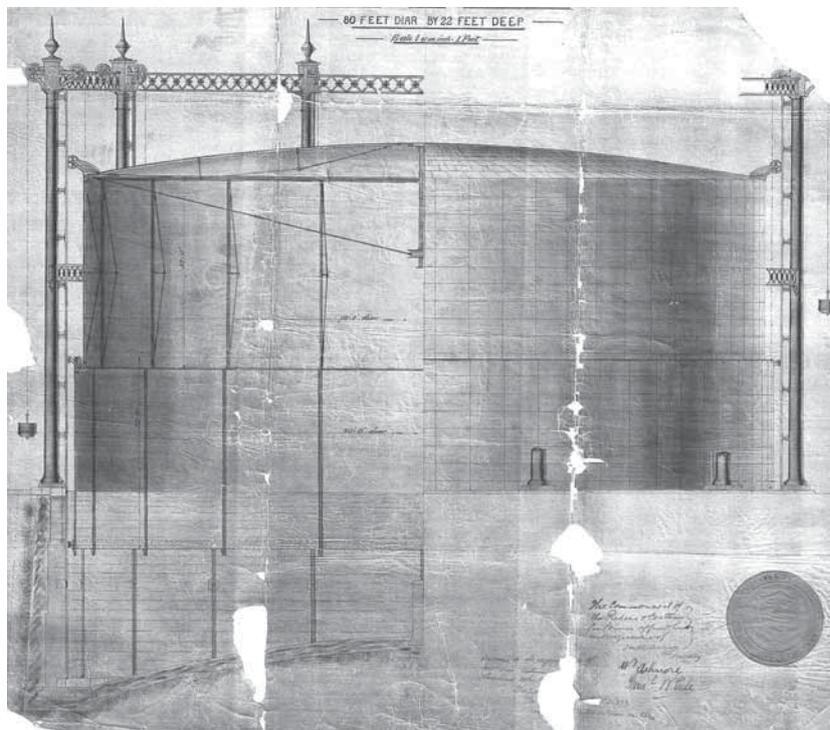


Abb. 281: Kugelbodenbecken eines zweihübrigen Gasbehälters in Redcar, 1876 (NGA, NO-REC/E/T/10).

4.3.2. EXKURS: Als genietete Blechkonstruktion (Intze-Becken)

In Deutschland wurden überwiegend freistehende Wasserbecken errichtet – in Massiv- und Leichtbauweise. Auch der Konstruktionsgedanke des Kugelbodenbeckens wurde in die Eisenbauweise übertragen, worum sich besonders der Wasserbau-Ingenieur *Otto Intze**⁵⁶⁰ verdient machte.⁵⁶¹

„Angespitztes“ Kugelbodenbecken

Intze brachte 1883 ein Patent hervor, das den klassischen Aufbau des Kugelbodenbeckens modifizierte, wie folgt (Abb. 283):⁵⁶²

Die Verschneidung der beiden Formen Zylinder und Halbkugel am Beckenfuß wurde durch eine zusätzliche Abschrägung von außen ergänzt. Dies ergab einen trichterförmigen, symmetrischen Beckenabschluss und bewirkte eine sogenannte **Ringstützung**⁵⁶³; die Verankerung erfolgte in ein Ringfundament.

Die Halbkugel selbst bestand aus einer ausgesteiften, freitragenden Kuppelkonstruktion – z.B. mit radialen, abgespannten Trägern und Ringträgern (Abb. 284). Das Ringfundament war mit Zugängen ausgestattet und ermöglichte erstmals eine wiederkehrende Inspektion und Reparatur der Beckenunterseite⁵⁶⁴; auch eine Heizung konnte hier untergebracht werden, um das Gefrieren des Wassers im Winter zu vermeiden. Die Rohre für die Gaszu- und -abfuhr wurden an dem schrägen Abschluss in das Becken geführt.

Das „angespitzte“ Kugelbodenbecken oder Stützbodenbecken entwickelte sich zu einem Markenzeichen Intzes und trug deshalb auch seinen Namen als

Intze-Becken.⁵⁶⁵

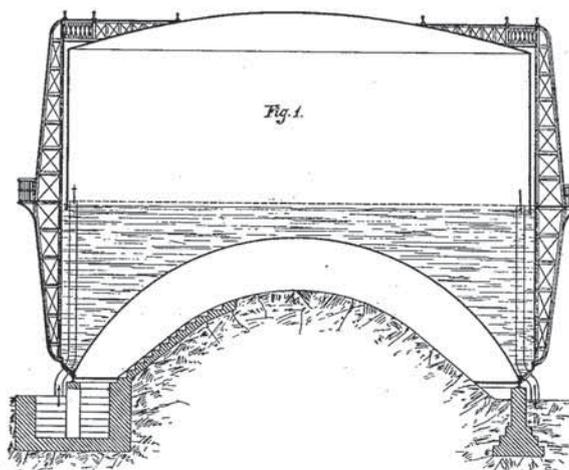


Abb. 283: Freistehendes Intze-Becken (Intze, 1883, Fig. 1).

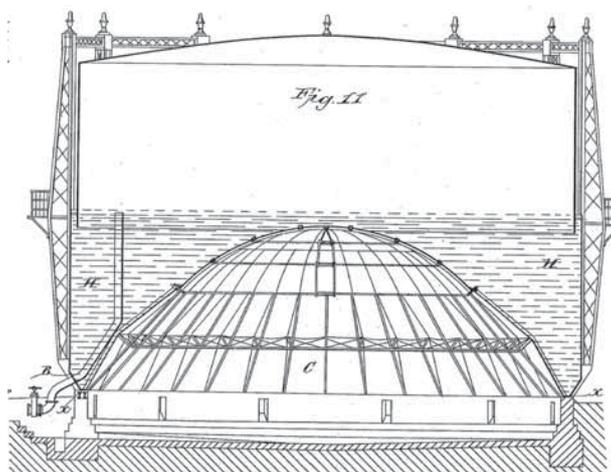


Abb. 284: Ausgesteifte Kuppelkonstruktion des Intze-Beckens (Intze, 1886, Fig. 11).

⁵⁶⁰ Intze war Ordinarius für Baukonstruktion und Wasserbau an der RWTH Aachen.

Neben Kugelbodenbecken beschäftigte er sich auch mit freistehenden Ringbecken und Führungsgerüsten – siehe hierzu folgende Patente: DE65401: „Verticalführung für Gasbehälterglocken“, 1891; DE37501: „Schutzschirm zur Sicherung der Gasbehälterglocken gegen Sturmdruck“, 1885; CH23639: „Eisernes Gasbehälter-Ringbassin“, 1901.

⁵⁶¹ Anm. d. Verfasserin: An dieser Stelle wird nur das sog. „Intze-Becken“ behandelt, um die Weiterentwicklung der klassischen versenkten Kugelbodenform außerhalb Englands aufzuzeigen. Neben dem Entwurf Intzes existierten noch weitere Formen, auf die hier aber nicht weiter eingegangen werden soll. Zum „Kuppelboden-Ringbecken“ siehe Wehrmann, 1954, p. 33

⁵⁶² Intze, 1883, p. 1; Intze, 1886, pp. 1–3; Gross, 1960, pp. 12–13

⁵⁶³ o. A., 1900, p. 73

⁵⁶⁴ o. A., 1900, p. 73

⁵⁶⁵ Von A.E. Barthel aus Westminster, London wurden 1887 zwei Patente registriert, die exakt dem Aufbau Intzes folgten (JGL-51, 1888, pp. 961–962).

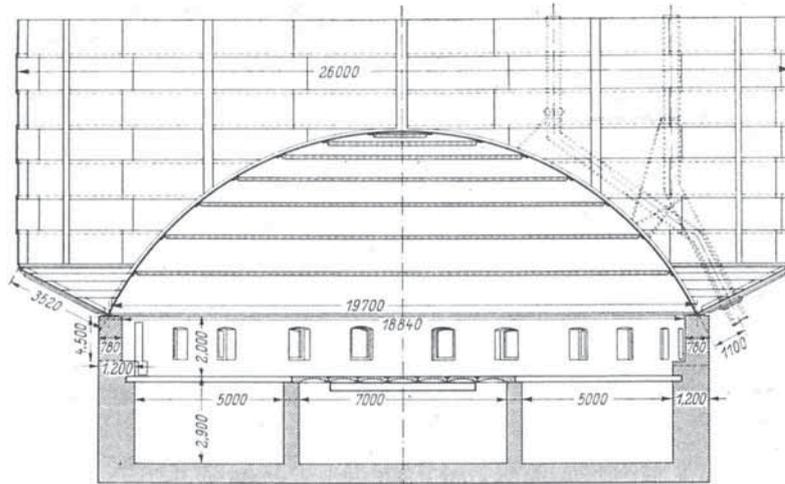


Abb. 285: Intze-Becken mit ausgebautem Sockelgeschoss (Wehrmann, 1954, p. 34).

Das Intze-Becken erwies sich nicht nur als geeignete Beckenform und Positionierung bei besonderen Baugrundverhältnissen⁵⁶⁶, sondern brachte einen weiteren Vorteil mit sich:

Dadurch, dass das Becken nicht mehr im Erdreich versenkt war, entstand unterhalb des Kugelbodens ein zugänglicher Innenraum, der auch für Lagerzwecke o.ä. genutzt werden konnte (Abb. 284)⁵⁶⁷.

Indem man die Ringfundamente verlängerte, war es möglich, das Beckenauflager zu einem Sockelgeschoss auszubauen (Abb. 285). So wurden die Zugänglichkeit, Belichtung und die Nutzungsmöglichkeiten des Innenraumes verbessert.⁵⁶⁸

Eine Schwachstelle dieser Konstruktion stellte jedoch der Kugelscheitel dar. Sobald das Becken nicht mehr vollständig gefüllt war und der Scheitel aus dem Wasser ragte, drohte sich dieser zu verformen. Um dies zu verhindern, empfahl Intze den Kugelscheitel zu invertieren oder abzusenken und ein sogenanntes **Scheitelbecken** zu schaffen (Abb. 286). Dieses musste beim Füllvorgang zuerst befüllt werden.⁵⁶⁹

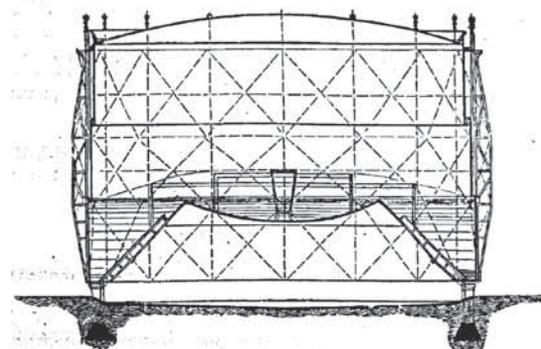


Abb. 286: Kugelbodenbecken mit abgesenktem Scheitel (Schilling, 1885, p. 22).

Das abgesenkte Scheitelbecken kam v.a. bei großen und flachen Wasserbecken zum Einsatz, bei denen der Halbkugelboden aufgrund der resultierenden Kreisradien den Wasserspiegel durchbrochen hätte (s.o.).⁵⁷⁰

Eine weitere Möglichkeit bestand darin, anstelle der geometrischen Form der Halbkugel – oder eines Segmentabschnitts – einen elliptischen oder korbboogenförmigen Querschnitt zu wählen⁵⁷¹.

566 o. A., 1900, p. 74; MAN, 1909d, p. 5

567 Wehrmann, 1954, p. 33

568 o. A., 1900, p. 74

569 Wehrmann, 1954, p. 34

570 o. A., 1900, p. 73

571 Schäfer, 1910, p. 606; Wehrmann, 1954, pp. 33–34

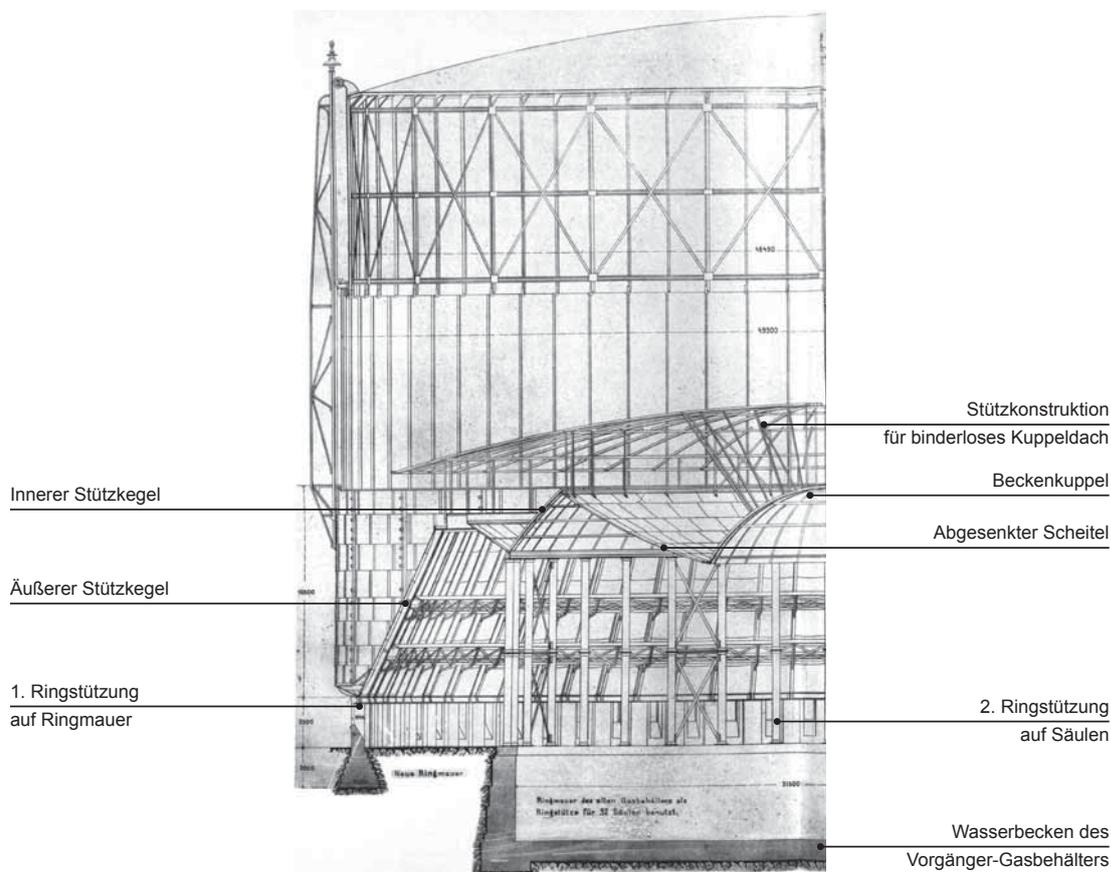


Abb. 287: Intze-Becken mit doppelter Ringstützung in Essen a.d. Ruhr (o. A., 1900, p. 78).

Ab einem Beckendurchmesser von 35,00m wurde grundsätzlich die **gestaffelte Stützkugelform** empfohlen, die auf einer mehrfachen Ringstützung basierte.⁵⁷²

Diese Sonderform wird am Beispiel des „Krupp’schen Teleskopgasbehälters“ ($V_{\text{Gas}} = 37.000\text{m}^3$) erläutert (Abb. 287), der 1889 auf der firmeneigenen Gasanstalt der Gussstahlfabrik in Essen a.d. Ruhr errichtet wurde: Das genietete Intze-Becken zeigte nach außen die typische Form eines geraden Kreiszylinders ($D= 50,00\text{m}$; $H_{\text{gesamt}} = 13,00\text{m}$; $V_{\text{Wasser}} = 9.000\text{m}^3$); das Gefüge des Kugelbodens setzte sich aus einem äußeren und einem inneren Stützkegel, sowie einer kleinen, zentralen Kuppel im abgesenkten Scheitelbereich zusammen. So ergab sich eine doppelte Ringstützung für die Bodenkonstruktion, die vielmehr an ein raffiniertes Faltnetz erinnerte als an die ursprüngliche Halbkugelform.⁵⁷³

Die erste, äußere Ringstützung bestand aus der üblichen Ringmauer; die zusätzliche innen liegende Ringstützung übernahmen 32 genietete Säulen, die auf dem gemauerten Flachbodenbecken des vorgehenden Gasbehälters verankert waren. Die Stützkonstruktion für die binderlose Kuppel wurde auf dem äußeren Stützkegel, den Graten und der zentralen Kuppel aufgesetzt.

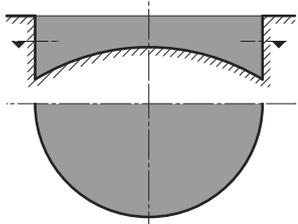
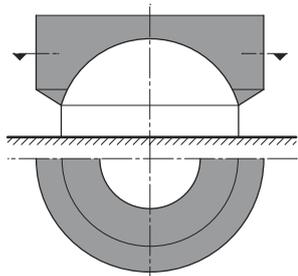
572 o. A., 1900, p. 74

573 o. A., 1900, p. 73–76

4.3.3. Zusammenfassung – Kugelbodenbecken

Bei der versenkten Ausführung in Mauerwerk erwies sich das Kugelbodenbecken als stabilere, wenn auch aufwendigere Variante im Vergleich zur Kegelstumpfform; trotzdem blieb letztere das favorisierte Modell in England.

In Deutschland wurde diese Beckenform auch als freistehende Eisenkonstruktion ausgeführt und von Intze zum angespitzten Kugelbodenbecken optimiert⁵⁷⁴. Der genietete Kugelboden war zwar teurer, zeichnete sich aber besonders durch die selbsttragende Halbkugelkonstruktion, sowie durch die gewonnene Fläche unterhalb des Beckens aus, die auch eine unterseitige Revision zuließ. Bei zunehmenden Beckenabmessungen wurde der Kugelboden mit einem abgesenkten Scheitelbecken oder gestaffelt ausgeführt, da die reine Halbkugelform die Beckenoberkante weit überragt hätte.

Tab. 33: Zusammenfassung Kugelbodenbecken (nach Newbigging, Fewtrell, 1879; Intze, 1883; o.A., 1900; Wehrmann, 1954)		
Kugelbodenbecken	Vorteile	Nachteile
 <p><u>Form:</u> Gerader Kreiszyylinder mit Kugelboden.</p> <p><u>Positionierung:</u> Vollständig/ Teilweise versenkt.</p> <p><u>Bauweise:</u> Mauerwerk, Beton.</p>	<ul style="list-style-type: none"> + Reduzierter Bodenaushub, + Reduzierte Wassermengen, + Beckenwand als Frostschutz, + Beckenwand mit integrierten Wandpfeilern zur Verankerung des Führungsgerüsts, + Senkung des Materialaufwandes bei der Stützkonstruktion der Kuppel, + Auch für größere Beckendurchmesser geeignet. 	<ul style="list-style-type: none"> - Schwierige Wartung und Reparatur, - Mauerwerk: Undichte Stellen durch Risse in der Ringmauer, - Beton: Zusätzliche Ringanker erforderlich, - Aufwendige Modellierung.
<p>Sonderform: Angespitztes Kugelbodenbecken nach Intze</p>  <p><u>Positionierung:</u> Freistehend</p> <p><u>Bauweise:</u> Schmiedeeisen</p>	<ul style="list-style-type: none"> + Kein Erdaushub erforderlich, daher auch bei besonderen Baugrundverhältnissen geeignet, + Reduzierte Wassermengen und Wasserdruck, + Beheizbarer Raum unterhalb des Kugelbodens, + Zusätzliche, geschützte Frei-/ Lagerfläche unterhalb des Kugelbodens, + Vereinfachte Wartung und Reparatur an Beckenwand <u>und Kugelboden.</u> 	<ul style="list-style-type: none"> - Erhöhte Frostgefahr wegen dünnwandigem Aufbau, - Zusätzliche Konsolen/ Stützen zum Anschluss des Führungsgerüsts, - Anfällig für Korrosionsschäden, - Schwierige, „spitzförmige“ Anschlussdetails.

574 Zwischen 1883 und 1900 wurden 74 Intze-Becken bei Gasbehältern in Deutschland, Österreich, Schweiz, Italien (*Siehe Kap. D.3.2.-3.3.*), Dänemark, Schweden, Belgien, Holland, Frankreich, Spanien und Südamerika gebaut. Die Ausführung oblag den Firmen F.A. Neumann (Eschweiler), BAMAG (Berlin), Probst Chappius & Wolf (Bern), Société Cockerill (Seraing) und Schläper & Co (Turin). Das Intze-Becken wurde auch bei einer Vielzahl von Wasser- und Ölbecken eingesetzt (o. A., 1900, pp. 1, 75–77). Cripps führte 1889 das Intze-Becken zwar als Sonderform auf, wies aber darauf hin, dass sich diese Form nicht durchsetzte (Cripps, 1889, p. 72).

4.4. Ringbecken

Das **Ringbecken** bestand aus zwei ineinander gesetzten Zylindern, die am Boden zusammengeschlossen wurden; die Mindestbreite des entstehenden Wasserkanals war durch die Aufnahme der Hubteile bestimmt. Diese Beckenform eignete sich v.a. bei besonderen Baugrundverhältnissen, da der Erdaushub auf ein Minimum reduziert werden konnte⁵⁷⁵. Je nach anstehendem Baugrund kam das Ringbecken meist vollständig oder auch teilweise versenkt zur Ausführung. Durch die kanalartige Beckenform wurde auch das Wasservolumen verringert, was den auf die Beckenwand ausgeübten Wasserdruck erheblich senkte.

Grundsätzlich war das Ringbecken analog zu den vorgehenden Beckenformen in Mauerwerk-, Eisen-, Betonbau oder einer Mischbauweise möglich, jedoch wurde die Ausführung in Eisen deutlich favorisiert. Die Konstruktion des Außenmantels entsprach der des Flachbodenbeckens. Der Innenmantel hingegen bedurfte einer zusätzlichen Verstärkung⁵⁷⁶, da diese unterschiedlich belastet wurden.

Die Wurzeln des Ringbeckens liegen bereits in der Frühphase des Gasbehälterbaus begründet: Stratton entwarf 1818 einen Teleskopgasbehälter mit einem ringförmigen Becken aus Gusseisen (*Siehe Kap. C.2.2.-6.1.1.*), das vollständig in das Erdreich eingetieft war.⁵⁷⁷

4.4.1. Teilweise versenkte Ringbecken

Indem das Ringbecken nicht über die gesamte Beckenhöhe, sondern nur partiell eingetieft wurde, entstand meist eine Kombination von zwei Beckenformen: Nämlich eine Ringform im eingetieften Abschnitt, die sich zu einem vollflächigen Flachbodenbecken im oberen Abschnitt öffnete. Daher wäre für diese Kombination auch die Bezeichnung des **Partiellen Ringbeckens** oder des **Ring-Flachbodenbeckens** zutreffend. In seltenen Fällen wurde die Ringform bis zur Beckenoberkante weitergeführt.

In den 40er Jahren des 19. Jahrhunderts wurden die Ringbecken in der Regel mit gusseisernen Platten gebaut: So entstand 1848 z.B. in der Brick Lane in London ein Becken (D= 31,39m; H= 6,71m), das am Fuß leicht eingetieft war. Der Außenmantel setzte sich aus fünf Plattenreihen (t= 19–32mm) und der Innenmantel aus nur einer Plattenreihe (h= 1220mm; t= 19mm) zusammen. Der Wasserkanal war 167cm breit. Die Plattenreihen wurden – wie es auch bei den Flachbodenbecken Usus war – jeweils mit einem doppelten, schmiedeeisernen Zugband verstärkt.⁵⁷⁸

Aufgrund der schlechten Bodenverhältnisse in Rotherhithe, London wurde 1865 ein Teleskopgasbehälter (*Abb. 288*) mit einem halb versenkten Ringbecken geplant, das vollständig aus Schmiedeeisen erstellt wurde. Der Außenmantel

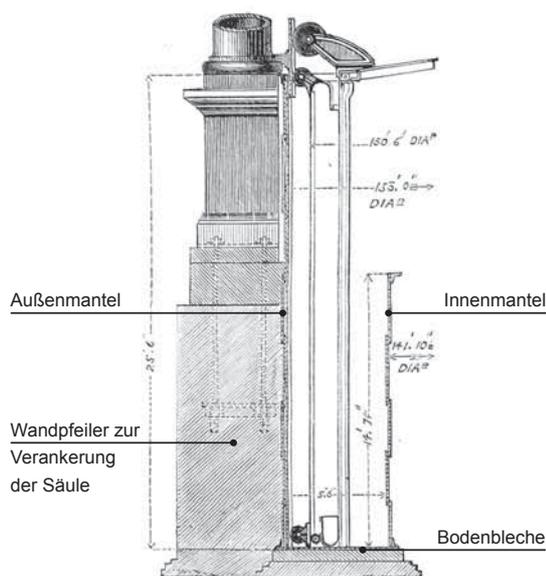


Abb. 288: Ringbecken in Rotherhithe, London (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 108).**

575 Clegg, 1866, p. Herring, 1893, p. 234

576 Wehrmann, 1954, p. 32

577 Peckston, 1819, p. 268

578 Clegg, 1866, pp. 237–239. – Ein weiteres Ringbecken (D= 33,53m; H= 7,32m) wurde von der Bristol and Clifton Gas Company errichtet; das Becken ragte 1,83m aus dem Boden. Clegg führte neben britischen Ringbecken auch ein venezianisches Beispiel (D= 21,33m; H= 5,91m; *siehe Kap. D.3.2.-3.*) von 1845 auf (Clegg, 1866, pp. 237).

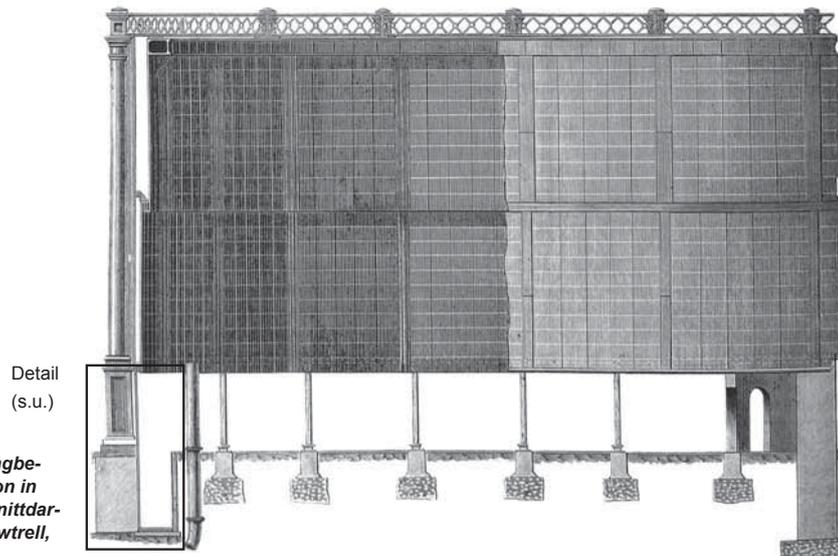


Abb. 289: „Partielles“ Ringbecken mit Stützkonstruktion in Westminster – halbe Schnittdarstellung (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 104).**

($D = 46,63\text{m}$; $T = 7,77\text{m}$) bestand aus acht überlappend vernieteten Blechreihen ($t = 13\text{--}19\text{mm}$); der Innenmantel ($D = 43,24\text{m}$; $T = 4,44\text{m}$) setzte sich aus vier Blechreihen zusammen. Die Breite des Wasserkanals betrug $1,70\text{m}$.

Die Mantelbleche wurden über außen liegende Winkeleisen ($b/h = 127/127\text{mm}$; $t = 19\text{mm}$) an das Bodenblech ($t = 19\text{mm}$) angeschlossen. Der obere Beckenabschluss wurde mit einem Ringträger – einem Trogeisen – verstärkt.⁵⁷⁹

Ungefähr zur gleichen Zeit stand Evans vor dergleichen Problematik: Die schwierigen Baugrundbeschaffenheiten auf dem Gaswerk Westminster bewogen ihn dazu, die halb versenkte Ringbeckenform ($D = 61,60\text{m}$; $H_{\text{außen}} = 10,67$; $H_{\text{innen}} = 4,60\text{m}$) für einen Teleskopgasbehälter anzuwenden (Abb. 262).

Der Aufbau und die Konstruktion des Beckens entsprachen grundsätzlich dem vorgehenden Beispiel in Rotherhithe.

Der Innenmantel wurde durch genietete Mantelständer verstärkt; der Wasserkanal hatte eine Breite von 152cm .

Der Aufbau des Flachbodens setzte sich aus einer Beton- und einer Ziegelschicht sowie einer abschließenden Fläche aus genieteten Eisenblechen zusammen.⁵⁸⁰

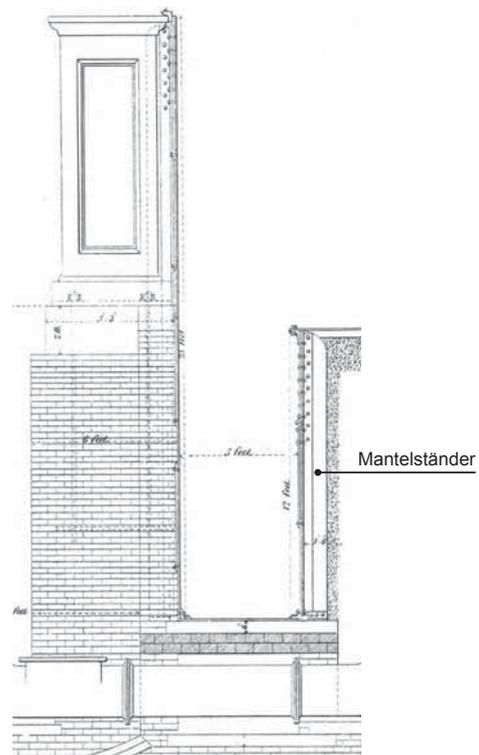


Abb. 290: Aufbau des halb versenkten Ringbeckens in Westminster (Clegg, 1866, Plate XXVI).**

579 Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 108. – Die ausführende Firma war *Piggott & Co.**, Birmingham. An der Blackfriars Station, London fiel 1861 aus dem gleichen Grund die Wahl auf ein Ringbecken ($D_{\text{außen}} = 25,60\text{m}$; $B_{\text{Kanal}} = 92\text{cm}$; $T = 10,10\text{m}$): Die Platten wurden mit nach innen gerichteten Flanschen montiert, mit Zement abgedichtet und außenseitig mit Beton hinterfüllt (Colburn, 1865, pp. 72–73; Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 176–177).

580 Clegg, 1866, p. 239; Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 106–107

4.4.2. Vollständig versenkte Ringbecken

Bei der vollständig versenkten Positionierung des Ringbeckens wurde in der Regel die gesamte Beckenhöhe ringförmig ausgeführt.

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts entstand ein vollständig versenktes Ringbecken ($D_{\text{außen}} = 38,70\text{m}$; $D_{\text{innen}} = 36,50\text{m}$; $T = 6,30\text{m}$) aus Schmiedeeisen (Abb. 291), das einen 114cm breiten, ringförmigen Wasserkanal hatte. Der Außen- und der Innenmantel bestanden jeweils aus fünf überlappt genieteten Blechreihen ($t = 9\text{--}11\text{--}13\text{mm}$) und wurden am Fuß über innen liegende Winkeleisen mit den Bodenblechen ($t = 13\text{mm}$) zusammengeschlossen. Die oberen Beckenabschlüsse wurden mit Ringträgern aus Winkeleisen verstärkt. Zur Aufnahme der Gerüststützen des Führungsgerüsts dienten vorgesetzte, genietete Hohlkastenstützen ($b/h = 228/381\text{mm}$). Zwei dieser Stützen nahmen gleichzeitig das Ein- bzw. Auslassrohr auf (Abb. 291), die am Beckenboden und an der Innenseite fortgeführt wurden.⁵⁸¹

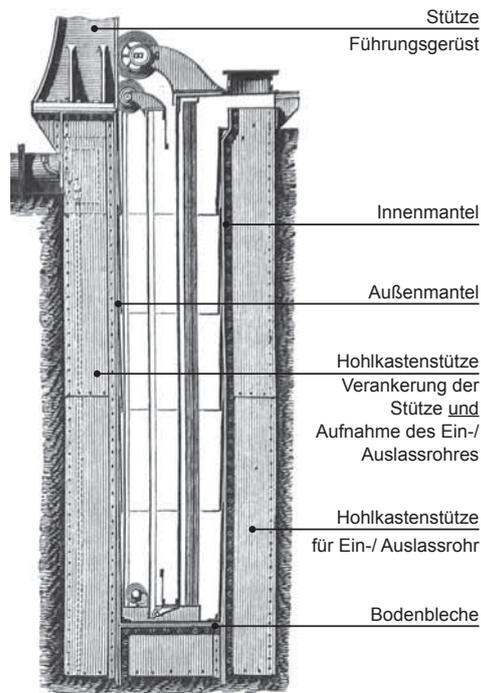
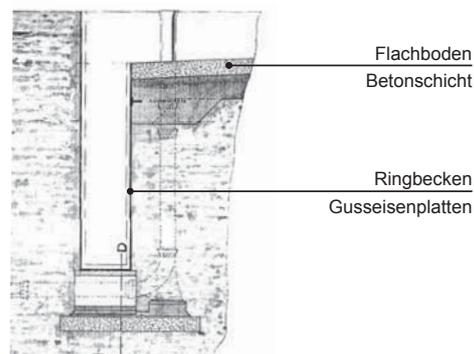


Abb. 291: Vollständig versenktes Ringbecken aus Schmiedeeisen (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 103).**

In Chester (Abb. 292) wurde um 1880 ein Ringbecken ($D_{\text{außen}} = 27,43\text{m}$; $T_{\text{gesamt}} = 7,62\text{m}$) für einen zweihübrigen Gasbehälter gebaut. Der ringförmige Kanal bezog sich jedoch nicht auf die ganze Höhe, sondern weitete sich im oberen Fünftel auf den gesamten Querschnitt aus.

Die Beckenkonstruktion bestand ausschließlich aus gusseisernen Platten, deren Flansch nach innen gerichtet war; der Flachboden wurde mit einer Betonschicht abgeschlossen.

Die Säulen des Führungsgerüsts wurden in vorgesetzte Wandpfeiler verankert.



Vollständig versenkte Ringbecken wurden überwiegend als Eisenkonstruktion ausgeführt, da sich der dünnwandigen Aufbau und die Montagetechnik besonders für enge Baugruben eignete⁵⁸². Bei anstehendem Fels war es sogar möglich, komplett auf den Einsatz einer konstruktiven Hülle zu verzichten, da die Beckenform direkt aus dem Felsen geschlagen wurde.

1918 wurde z.B. in Sydney ein Ringbecken sehr großen Ausmaßes ($D_{\text{außen}} = 91,44\text{m}$; $H = 14,63\text{m}$, $B_{\text{Ring}} = 2,74\text{m}$) in dem anstehenden Felsen erstellt; die Planung oblag Robert John Milbourne*.⁵⁸³

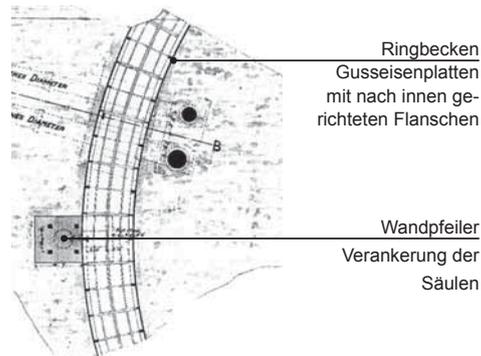


Abb. 292: Ringbecken aus Gusseisenplatten in Chester, 1880 (NGA, NWCHU/E/T/1).**

581 Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 103–104. – Anm. d. Verfasserin: Baujahr und -ort unbekannt.

582 W.H.Y. Webber* schlug 1877 eine Mischbauweise aus Beton und schmiedeeisernen Blechen bei einem Ringbecken ($D = 21,95\text{m}$; $T = 5,49\text{m}$) vor: Der Wasserkanal wurde mit schmiedeeisernen Blechen gebaut und zum anstehenden Erdreich hin mit einer dicken Betonschicht ($t = 46\text{cm}$) hinterfüllt (JGL-30, 1877, p. 332).

583 Milbourne, 1923, pp. 6–11. – Das Volumen betrug 353.961m³.

Insgesamt machte sich eine Reduzierung des Materialeinsatzes sowie der Kosten erst dann bemerkbar, wenn die Abmessungen von Höhe und Durchmesser mindestens in einem Verhältnis von 1 : 4 standen.⁵⁸⁴

4.4.3. EXKURS: Freistehende Ringbecken in Deutschland

Anfang des 20. Jahrhundert beschäftigte sich auch die Firma MAN⁵⁸⁵ mit Ringbeckenkonstruktionen, die nicht nur in freistehender, sondern sogar in erhöhter Positionierung konzipiert waren (Abb. 293); das Ringbecken war nämlich auf einem Sockelgeschoss aufgesetzt, sodass der Raum unter dem Becken für Lagerzwecke genutzt werden konnte. Das Becken bestand aus einer genieteten Blechkonstruktion, dessen Innenmantel und Decke mit einer Stützkonstruktion – einem räumlichen Fachwerk – verstärkt wurden. Dieses Fachwerk nahm zugleich die Stützkonstruktion der binderlosen Kuppel auf, die auf der Deckenoberfläche angebracht wurde.

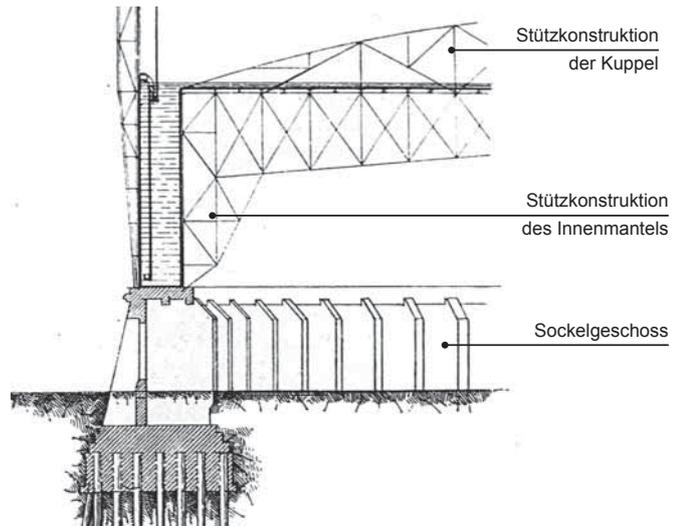


Abb. 293: Genietetes MAN-Ringbecken (MAN, 1909b, p. 2).**

Über eine Reihe von verschiedenen, gebauten, freistehenden Ringbecken⁵⁸⁶, die sich aufgrund der innen liegenden Stützkonstruktionen eher als aufwendig und kostspielig erwiesen, gelangte die MAN schließlich zur Erfindung des Wölbmantelbeckens (Siehe Kap. C.2.4.-4.5.), das die konstruktiven Schwachstellen der Ringform ausmerzte.⁵⁸⁷

⁵⁸⁴ Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 102

⁵⁸⁵ Anm. d. Verfasserin: Die Form des freistehenden Ringbeckens wurde nicht nur von der Firma MAN eingesetzt, sondern auch von der Firma Klönne, wie ein Beispiel in Amsterdam zeigt (Siehe Kap. C.2.3.-7.6.1.). An dieser Stelle werden jedoch nur die Ringbecken der Firma MAN beleuchtet, da diese die Grundlage für die Erfindung des Wölbmantelbeckens bildeten (Siehe Kap. C.2.4.-4.5.).

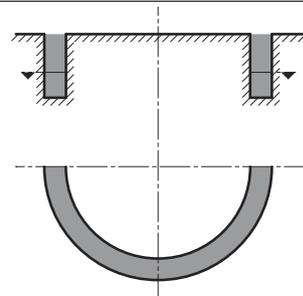
⁵⁸⁶ Die MAN modifizierte den klassischen o.g. Ringbeckenaufbau z.B. durch (MAN, 1908, p. 29; MAN, 1909b, pp. 2–3):
 - Ausführung des Innenmantels mit stehenden Tonnenblechen (Erstmals eingesetzt von Schwedler),
 - Verstärkung des Innenmantels mit einer Eisenbetonschale (Erstmals eingesetzt von Neumann).

⁵⁸⁷ MAN, 1909b, pp. 2–4

4.4.4. Zusammenfassung – Ringbecken

Aufgrund seiner geometrischen Form zeichnete sich das Ringbecken v.a. durch den reduzierten Materialaufhub aus und wurde deshalb überwiegend bei besonderen Baugrundverhältnissen eingesetzt. Die Positionierung war entweder vollständig oder teilweise versenkt. Durch die doppelwandige Ausführung war die Ringform jedoch sehr zeit- und kostenintensiv und kam deshalb weitaus seltener zum Einsatz als z.B. die Kegelstumpfform.

Eine Sonderform stellte die erhöhte Position dar, die die Firma MAN in Deutschland einführte, indem sie die eiserne Beckenkonstruktion auf einen Sockel stellte.

Tab. 34: Zusammenfassung Ringbecken (nach Clegg, 1866; Newbigging, Fewtrell, 1879; Herring, 1893; Milbourne, 1923; Wehrmann, 1954)		
Ringbecken	Vorteile	Nachteile
 <p><u>Form:</u> Gerader, doppelter Kreis-zylinder.</p> <p><u>Positionierung:</u> Vollständig/ Teilweise versenkt.</p> <p><u>Bauweise:</u> Meist Guss-/ Schmiedeeisen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> + Minimaler Bodenaushub, daher auch bei besonderen Baugrundverhältnissen geeignet, + Reduzierte Wassermengen, + Senkung des Materialaufwandes bei der Stützkonstruktion der Kuppel, + Auch für größere Beckendurchmesser geeignet, + Bei anstehendem Fels: Ringform wird direkt aus dem Fels geschlagen. 	<ul style="list-style-type: none"> - Unterschiedliche Ausführung von Außen- und Innenmantel, - Erhöhte Frostgefahr wegen dünnwandigem Aufbau, - Zusätzliche Bauteile zum Anschluss des Führungsgerüsts, - Anfällig für Korrosionsschäden, - Schwierige Wartung und Reparatur, - Schwieriger Eckanschluss von Mantel und Boden.

4.5. EXKURS: Wölbmantelbecken



Abb. 294: Bau eines Wölbmantelbeckens auf dem Gaswerk Oberhausen in Augsburg, 1911 (GWF, img003, 18.04.1911).

Der gerade Kreiszyylinder war über Jahrzehnte hinweg die Standardform. Der zunehmende Wasserdruck erforderte jedoch mitunter sehr starke Mantelbleche – v.a. in den unteren Reihen (Siehe Kap. C.2.4.-4.1.3.).

Deshalb suchte man nach einer neuen, geeigneten Beckenform, die mit geringeren Blechstärken auskam. Über das Ringbecken – das zwar reduzierte Blechstärken zuließ, aber einen erhöhten Konstruktionsaufwand darstellte (Siehe vorgehendes Kapitel) – gelangte man schließlich zum **Wölbmantelbecken** – auch tropfenförmiges Becken genannt (Abb. 294). Seine Form ergab sich aus dem Wasserdruck und führte zu einem günstigeren Kräftezustand, da die konstruktive Ecke zwischen Mantel und Boden entfiel:

„Füllt man (...) einen runden Gummibeutel mit Wasser und setzt ihn lose auf eine ebene Fläche, so nimmt der Beutel unter dem Druck des Wasserinhalts eine ringsum ausgebauchte Tropfenform an. (...)“⁵⁸⁸

In diesem Kapitel wird das Wölbmantelbecken als Exkurs vorgeführt. Auch wenn diese deutsche Konstruktionsweise sich nicht in England etablieren konnte, so stellt sie dennoch eine wichtige Entwicklungsstufe innerhalb der Beckenformen und -konstruktionen dar.

588 Wehrmann, 1954, p. 29
Cripps erfand eine weitere Beckenform, die die Bedingung gleichmäßiger Druckverhältnisse erfüllte: Die Beckenwand setzte sich aus einer Aneinanderreihung von senkrecht angeordneten, segmentförmigen Tonnenstreifen zusammen (Meade, 1916, p. 462).

4.5.1. Erfindung – Gewölbter Kreiszyylinder

Konrad Jagschitz* ⁵⁸⁹, Ingenieur bei der MAN Gustavsburg, hatte die Idee des Wölbmantelbeckens, dessen Aufbau 1907 erstmals als Patentschrift mit folgendem Anspruch erschien (Abb. 295):

„Flüssigkeitsbecken, bestehend aus Ringen und zwischen ihnen liegenden, gewölbten Blechen, (...)“

Dieses Gefüge ergab einen **gewölbten Kreiszyylinder**. Das Mantelblech (a, e) war zwischen zwei liegenden Ringträgern (c, b, f) gespannt und durch die Mantelstützen (d) ausgesteift. ⁵⁹⁰

Die Beckenwandung war bei dieser Form nur auf Zug beansprucht und ermöglichte die Ausführung der Mantelbleche mit einer wesentlich dünneren Blechstärke. ⁵⁹¹

Dieser erste Entwurf ermöglichte zwar Mantelbleche mit einer konstanten Stärke, aber der problematische Eckanschluss von Mantel und Boden blieb weiterhin bestehen.

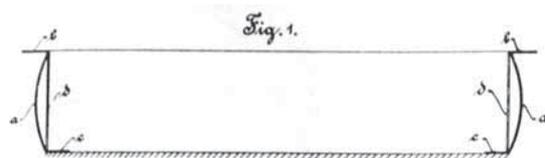


Abb. 295: Schemazeichnung des ersten MAN-Wölbbeckens (MAN, 1907, p. 4).

4.5.2. Standardmodell – Tropfenform

Um diesen diffizilen Eckanschluss zu eliminieren, bediente man sich der eingangs erwähnten **Tropfenform**, die sich aus dem Wasserdruck ergab (Abb. 296):

Die gewölbten Mantelbleche (a) erfuhren einen fließenden Übergang zu den Bodenblechen (c); nur der obere Rand wurde senkrecht ausgebildet. Die Mantelstützen (b) waren als gewölbte Fachwerkträger konstruiert, die sowohl in, als auch zwischen den Achsen der Gerüststützen angeordnet waren (e= 2,83m) ⁵⁹². Der Stützenfuß durchdrang die Mantelhaut (k) und wurde an einem punktförmigen Fundament, das sich außerhalb des Beckens befand, verankert. ⁵⁹³

Am Stützenkopf setzte der liegende Ringträger und der Umgang an. Alle Stützen wurden mit Auskreuzungen untereinander gekoppelt (Abb. 301).

Der Übergang vom Durchdringungspunkt der Stütze zur ebenen Fläche des Beckenbodens wurde mit einem U-Eisen-Fuß (Abb. 300) verstärkt; dieser diente zugleich als Auflager für die Hubteile im Leerstand ⁵⁹⁴.

Der Mantelstütze kam v.a. im nicht- oder nur partiell gefüllten Zustand die Funktion zur Aufrechterhaltung der Tropfenform zu ⁵⁹⁵. Im Betrieb diente sie auch als Führungsschiene für die Beckenrollen des letzten Hubteils.

Die Mantelbleche bestanden aus länglichen, vertikal gerichteten Blechstreifen, die überlappt vernietet waren. Die Bodenbleche wurden bis auf den äußeren Ring linear angeordnet und vernietet.

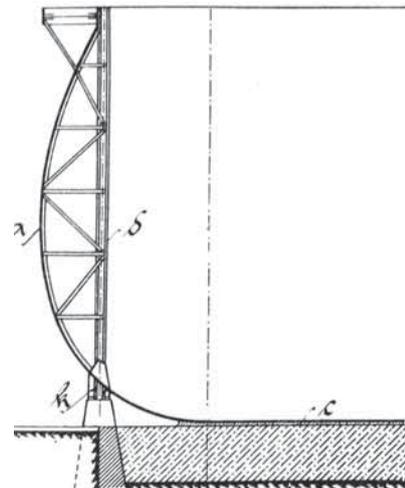


Abb. 296: Tropfenförmiges Wölbmantelbecken (MAN, 1909a, p. 2).

⁵⁸⁹ Weitere Angaben zur Vita von Jagschitz und zu dessen Erfindung des Scheibengasbehälters siehe Kapitel C.3.

⁵⁹⁰ MAN, 1907, p. 1

⁵⁹¹ Meade, 1916, pp. 461–462; Wehrmann, 1954, pp. 29–31; MAN, 1957, p. 6

⁵⁹² Wehrmann, 1954, p. 30

⁵⁹³ MAN, 1909a, p. 1. – Diese Verbesserung wurde in einem entsprechenden Zusatzpatent 1909 festgelegt.

⁵⁹⁴ MAN, 1909a, p. 11. – Die MAN bezeichnete diese Füße als „Auflagerbänkchen“.

⁵⁹⁵ Wehrmann, 1954, p. 30

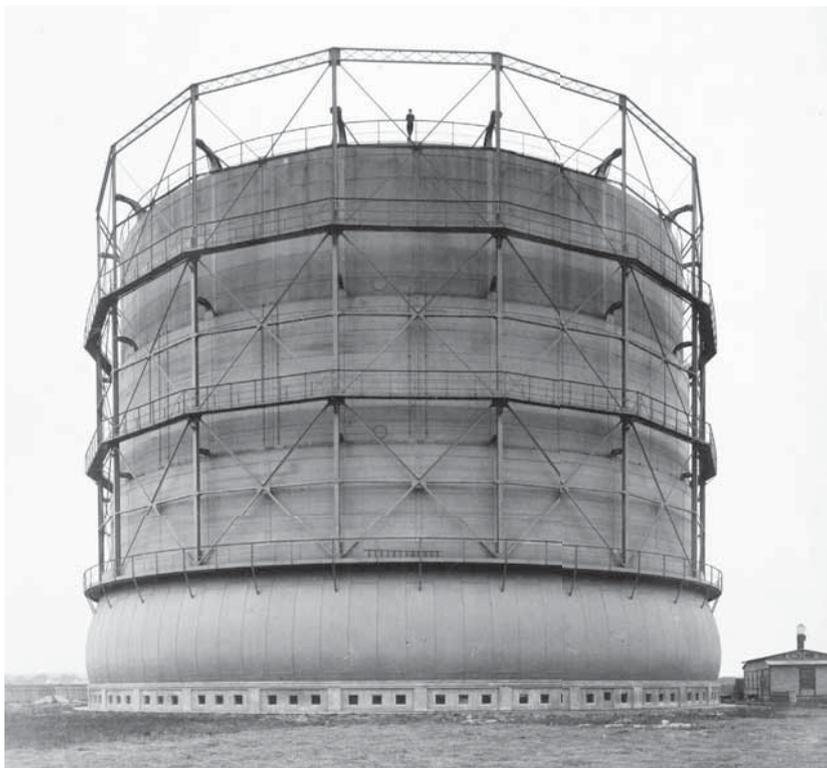


Abb. 297: Wölbmantelbecken des dreihübrigen Gasbehälters ($V= 25.000\text{m}^3$) in Augsburg-Oberhausen (GWF, Img 104).

Um Korrosionsschäden an der Außenseite der Bodenbleche vorzubeugen, wurde eine Asphaltsschicht unterhalb des Beckenbodens erstellt. Anschließend erfolgte das Vernieten der Bodenbleche – auf einem temporären Holzgerüst (Abb. 298, Abb. 300). Der Beckenboden wurde schließlich an den fertig gestellten Mantelstützen aufgehängt, sodass das Holzgerüst entfernt und die Asphaltfläche ggf. noch ausgebessert werden konnte, bevor die vernieteten Bodenbleche darauf abgesetzt wurden. Diese Aufstellungstechnik wurde von der MAN speziell für das Wölbmantelbecken entwickelt und patentiert.⁵⁹⁶

Auf dem Gaswerk Oberhausen in Augsburg entstanden zwischen 1910–1915 zwei dreihübrige Teleskopgasbehälter mit Wölbmantelbecken: Der erste Gasbehälter ($D= 39,80\text{m}$; $H_{\text{gesamt}} = 32,50\text{m}$; $V= 25.000\text{m}^3$) wurde 1911 fertig gestellt (Abb. 297)⁵⁹⁷; 1914 begann der Bau des Wölbmantelbeckens für den zweiten Gasbehälter ($D= 53,40\text{m}$; $H_{\text{gesamt}} = 34,40\text{m}$; $V= 50.000\text{m}^3$).⁵⁹⁸

Die wichtigsten Montageabschnitte sind in folgenden Abbildungen dargestellt:

- Fertigstellung des Beckenbodens auf dem Holzgerüst (Abb. 300). Entlang des Bodenrandes waren U-Eisen-Füße angebracht, die zur Aufnahme der Stützen und Hubteile dienten.
- Aufstellung der bauchförmigen Stützen (Abb. 298). Diese hatten einen kastenförmigen Querschnitt und setzten sich aus zwei senkrechten und zwei gewölbten L-Profilen sowie Quer- und Diagonalstäben zusammen.
- Anbringung der Mantelbleche (Abb. 299) in vertikaler Schussrichtung. Die Streifen bestanden jeweils aus drei Blechen.

Das Wölbmantelbecken debütierte jedoch auf dem Gaswerk Simmering in Wien (Abb. 301), wo 1908/09

⁵⁹⁶ MAN, 1908, pp. 32–34

⁵⁹⁷ MAN-A, 1909, pp. 1–3; MAN, 1912, p. 34

⁵⁹⁸ Frühschütz, 2019

Beide Gasbehälter sind auch heute noch als Teil des historischen Gaswerk-Ensembles erhalten, das zukünftig eine Um-nutzung erfahren soll (Siehe hierzu Ganser, Frühschütz, 2007).

Weiterführende Informationen zum Gaswerk Oberhausen in Augsburg siehe Frühschütz, 2019.

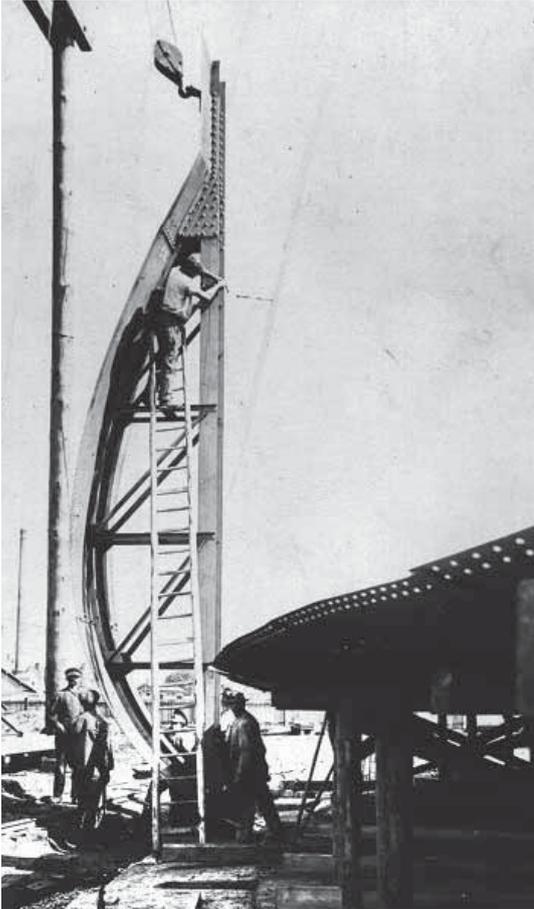


Abb. 298: Montage der Mantelstütze und aufgeständerter Beckenboden in Oberhausen, Augsburg (GWF, Bild 101).

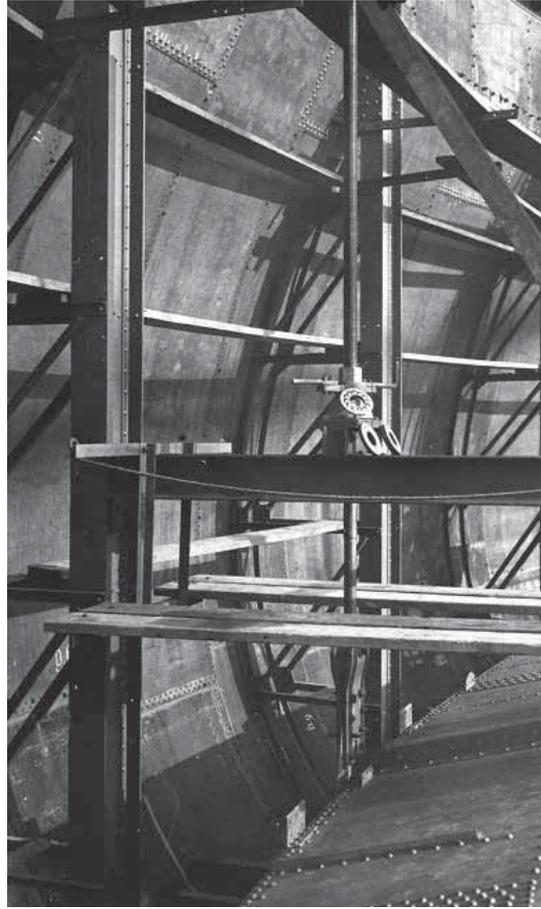


Abb. 299: Anbringung der Mantelbleche (GWF, Bild 125).



Abb. 300: Montage der Bodenbleche mit U-Eisen-Füßen am Rand (GWF, Bild 100).

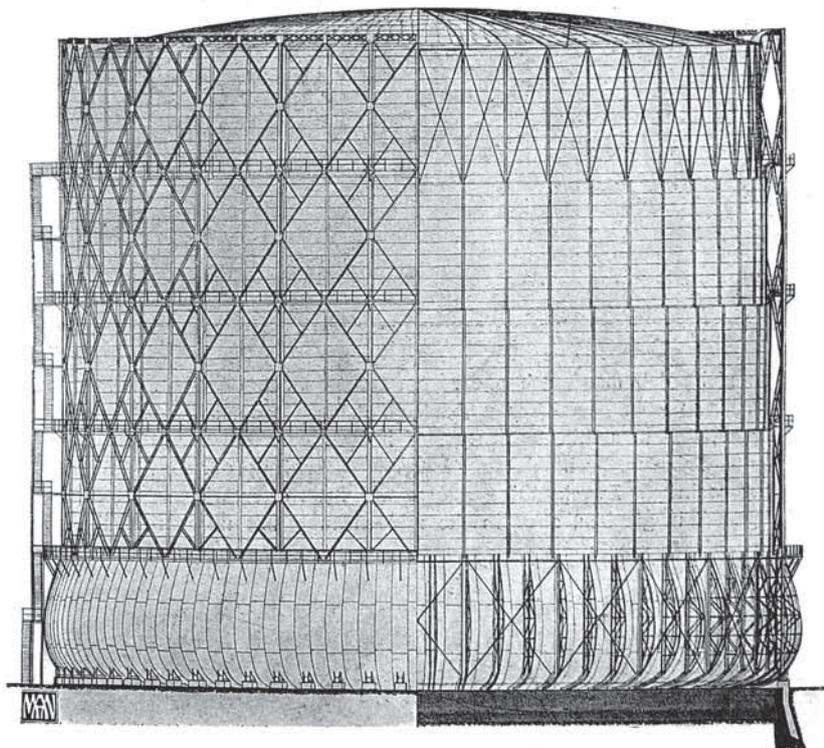


Abb. 301: Vierhübiger Teleskopgasbehälter mit Wölbmantelbecken in Wien-Simmering (MAN, 1909b, p. 7).

ein vierhübiger Gasbehälter ($D= 69,00\text{m}$; $H_{\text{gesamt}} = 66,00\text{m}$; $V= 150.000\text{m}^3$) errichtet wurde; die Blechstärke des Beckens betrug 8mm .⁵⁹⁹

Die erfolgreiche Fertigstellung und Inbetriebnahme dieses Gasbehälters führte umgehend zu einer weiteren Auftragserteilung für einen Gasbehälter auf dem Gaswerk Brigittenau in Wien, dessen Nutzvolumen fast doppelt so groß war: In den Jahren 1910/11 wurde dort ein fünfhübiger Gasbehälter ($D= 84,00\text{m}$; $H_{\text{gesamt}} = 70,20\text{m}$; $V= 250.000\text{m}^3$) mit einem Wölbmantelbecken errichtet.⁶⁰⁰

Diese beiden Gasbehälter stellten die schnelle Adaption des Wölbmantelbeckens im Gasbehälterbau dar und eigneten sich insbesondere für große Nutzvolumina. Laut MAN waren diese grundsätzlich für Gasbehälter bis zu einem Nutzvolumen von $1.000.000\text{m}^3$ einsetzbar⁶⁰¹.

1920 erschien die Firma Cutler aus London zwar als Lizenznehmer des MAN-Wölbmantelbeckens⁶⁰², jedoch wurde diese Beckenform nicht in England realisiert.

599 MAN, 1909b, p. 7; MAN, 1912, p. 36; Wehrmann, 1956, p. 30

Bei einem klassischen Flachbodenbecken dieser Größe, hätten die Mantelbleche teilweise eine Stärke bis zu 35mm erreicht (Wehrmann, 1956, p. 30).

Weiterführende Literatur zur Planung und Berechnung des Wölbmantelbeckens in Wien siehe MAN, 1909d, pp. 6–14

600 MAN, 1912, p. 36

601 MAN, 1909b, p. 4

Die MAN übertrug die Vorteile der Wölbmantelform auch auf das klassische Flachbodenbecken: Das gewohnt genietete Becken aus Schmiedeeisen wurde mit einer Eisenbetonkonstruktion umgeben, die sich aus einer Ringwand mit außen liegenden, gewölbten Betonrippen zusammensetzte (Wehrmann, 1954, p. 31).

602 MAN-A, 1920, p. 1

Meades Treatise von 1916 enthielt zwar das Wölbmantelbecken „(...) designed on Bonnet's-system, (...)“ (Meade, 1916, p. 462), verweist aber nicht auf den Erfinder Jagschitz.

Anm. d. Verfasserin: **Gebaute Beispiele sind der Verfasserin bei der Recherche nicht begegnet.**

4.5.3. Sonderformen

Gewölbtes Ringbecken

Die ursprüngliche Patentschrift von 1907 enthielt bereits Entwürfe für ein Ringbecken mit gewölbten Mantelflächen (Abb. 303):

Die rein zugbeanspruchte Variante hatte nach außen gewölbte Mantelflächen und innen liegende Stützen (A), und das druckbeanspruchte Pendant hatte nach innen gerichtete Wölbungen (B) mit entsprechend außen liegenden Stützen; letzteres erforderte die Ausführung in Beton oder Eisenbeton.⁶⁰³

Das erste – und wohl einzige⁶⁰⁴ – gewölbte Ringbecken wurde 1908⁶⁰⁵ für einen kleinen Glockengasbehälter ($D=5,50\text{m}$; $H_{\text{gesamt}}=9,70\text{m}$; $V=70\text{m}^3$) auf dem MAN-Werk in Nürnberg (Abb. 302) errichtet, um dessen Konstruktion und v.a. Funktionsfähigkeit zur Schau zu stellen⁶⁰⁶.

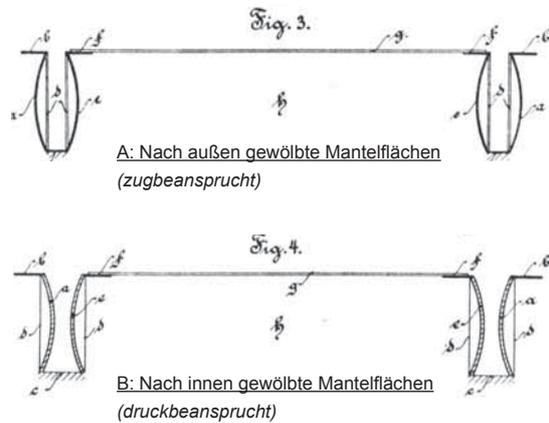


Abb. 303: Gewölbte Ringbecken (MAN, 1907, p. 4).



Abb. 302: Gewölbtes Ringbecken auf dem MAN-Werk, Nürnberg (MAN-A, 1958, 356a, 4.).

⁶⁰³ MAN, 1907, p. 2

⁶⁰⁴ Auf der Rückseite des Fotos befindet sich ein Vermerk vom 26.08.1958, dass dieser Gasbehälter wohl der einzige ist, der mit einem gewölbten Ringbecken ausgeführt wurde.

⁶⁰⁵ Zuvor wurde ein Angebot der MAN zum Bau eines Gasbehälters ($V=200.000\text{m}^3$) einschl. gewölbten Ringbeckens abgelehnt, da die Bauherren Zweifel an dieser neuartigen Konstruktionsweise hatten und ihnen kein bestehendes, voll funktionsfähiges Beispiel gezeigt werden konnte (MAN, 1908, p. 30).

⁶⁰⁶ MAN, 1908, pp. 30–32; MAN, 1912, p. 34

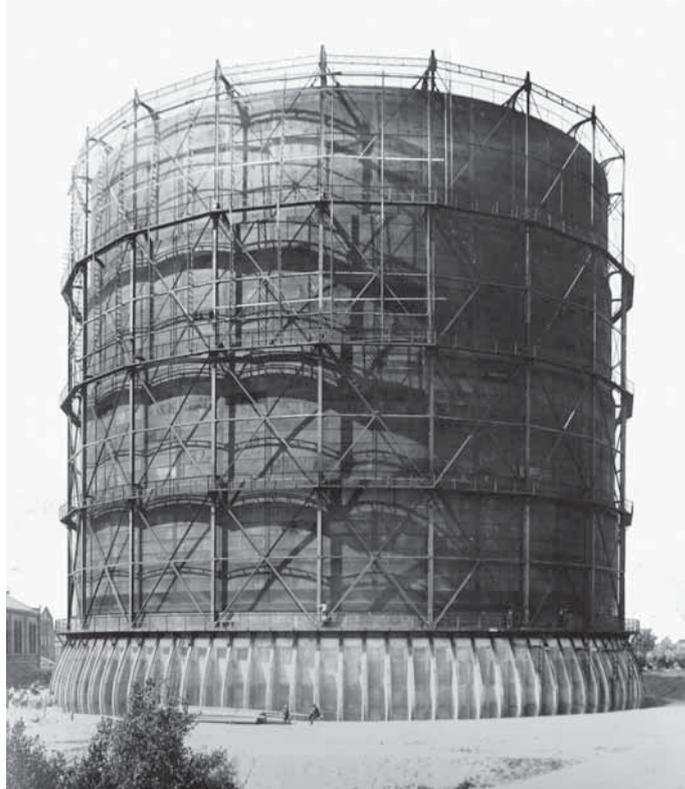


Abb. 304: Vierhübiger Gasbehälter mit Flachbodenbecken, einschl. gewölbten Betonrippen (MAN-A, 356c Fotos, A) 9.)

Gewölbte Eisenbetonrippen (Flachbodenbecken)

Die MAN übertrug die Vorteile der Wölbmantelform auch auf das konventionelle Flachbodenbecken (Abb. 305): Das freistehende, genietete Becken wurde mit einer Eisenbetonkonstruktion ummantelt, die sich aus einer Ringwand mit außen liegenden, gewölbten Betonrippen zusammensetzte.

Der Vorteil des Eisenbetons gegenüber der reinen Betonbauweise lag in der Materialersparnis, besserer Dichtheit und keiner notwendigen Eintiefung oder Anböschung.⁶⁰⁷

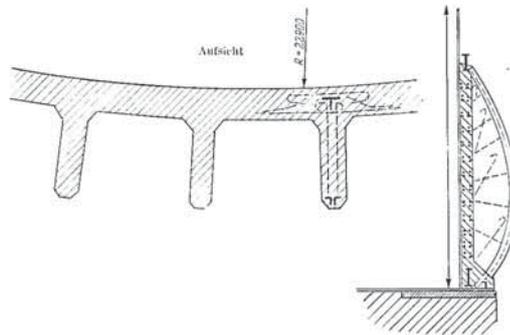


Abb. 305: Flachbodenbecken mit gewölbten Eisenbetonrippen (Wehrmann, 1954, p. 31).

Diese kombinierte Konstruktionsweise wurde 1912/13 auch für zwei vierhübige Gasbehälter ($D_{\text{Becken}} = 56,40\text{m}$; $H_{\text{gesamt}} = 58,00\text{m}$; $V = 100.000\text{m}^3$) in Budapest eingesetzt.⁶⁰⁸

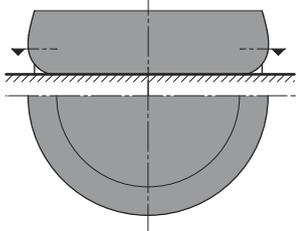
607 Wehrmann, 1956, p. 31

608 MAN, 1912, p. 35

4.5.4. Zusammenfassung – Wölbmantelbecken

Die innovative Konstruktionsweise des Wölbmantelbeckens umging den Eckanschluss, der sich v.a. bei großen, genieteten Flachbodenbecken zum Problem entwickelte, indem die gewölbten Mantelbleche einen kontinuierlichen Übergang von der Beckenwand zu den horizontalen Bodenblechen schufen. Dies ermöglichte den Einsatz von dünneren Blechstärken und den Bau von weitaus größeren Eisenbecken, als es die konventionelle Flachbodenform erlaubte (Siehe Kap. C.2.4.-4.1.). Zudem wurden so das Konstruktionsgewicht und folglich auch die Kosten gesenkt.⁶⁰⁹

Das Wölbmantelbecken fand innerhalb kürzester Zeit nicht nur in Deutschland, wo die freistehende Beckenkonstruktionen favorisiert wurden, sondern auch international weite Verbreitung (u.a in Österreich, Frankreich und Ungarn)⁶¹⁰. In England konnte sie sich jedoch nicht durchsetzen.

Tab. 35: Zusammenfassung Wölbmantelbecken (nach MAN, 1907/ 1908/ 1909a/ 1909b/ 1912/ 1916/ 1920/ 1957; Wehrmann, 1954)		
Wölbmantelbecken	Vorteile	Nachteile
 <p><u>Form:</u> Gewölbter Kreiszyylinder mit flachem Boden.</p> <p><u>Positionierung:</u> Freistehend.</p> <p><u>Bauweise:</u> Schmiedeeisen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> + Kein Bodenaushub, daher auch bei besonderen Baugrundverhältnissen geeignet, + Gleichbleibende Stärke der Mantelbleche, + Vereinfachte Wartung und Reparatur der Mantelbleche, + Entfall des rechtwinkligen Eckanschlusses, + Auch für größere Beckendurchmesser geeignet. 	<ul style="list-style-type: none"> - Große Wassermengen, daher zunehmender Wasserdruck, - Ggf. aufwendige Stützkonstruktion für Kuppel, - Erhöhte Frostgefahr wegen dünnwandigem Aufbau, - Zusätzliche, innen liegende Stützen zum Anschluss des Führungsgerüsts, - Anfällig für Korrosionsschäden, - Schwierige Wartung und Reparatur der Bodenbleche.

609 MAN, 1908, p. 35

610 MAN, 1912, pp. 31–36

5. Chronologie zur Baukonstruktionsgeschichte des Wasserbeckens

Tab. 36: Baukonstruktionsgeschichte des Wasserbeckens			
Jahr	Erfindung	Ingenieur	Ort
1798	Zylindrischer Glockengasbehälter, vermutlich mit Flachbodenbecken – (Siehe Kap. B.5.-1.)	Murdock, William	UK Birmingham
1810	Gasbehälter mit halbiertem Holzfass (Siehe Kap. C.2.4.-4.1.1.)	Cook, B.	unbekannt
1815	Standardisierung von zylindrischen Gasbehältern (Siehe Kap. B.5.-2.2.)		UK
1818	Vollständig versenktes Ringbecken des „Doubled Gasholders“ (Siehe Kap. C.2.2.-6.1.1.)	Stratton, William	UK London
ca. 1840	Vollständig versenktes Kegelstumpfbecken (D= 26,67m) (Siehe Kap. C.2.4.-4.2.1.)	Clegg, Samuel	UK
1843	Rückbau der letzten Wasserbecken, bestehend aus Holzfässern (Siehe Kap. C.2.4.-4.1.1.)		UK Brick Lane, London
1853	Gusseiserne Flachbodenbecken mit Durchmesser bis zu 30,00m (Siehe Kap. C.2.4.-4.1.2.)	unbekannt	UK
1860	Vollständig versenktes Kugelbodenbecken (D= 49,68m) (Siehe Kap. C.2.4.-4.3.1.)	unbekannt	UK London, Kensal Green
ca. 1860	Gemauerte Beckenwände mit Portlandzement (Siehe Kap. C.2.4.-4.1.4.)	unbekannt	UK
1865	Halb versenktes Ringbecken aus Schmiedeeisen (D= 46,63m) – (Siehe Kap. C.2.4.-4.4.1.)	unbekannt	UK London, Rotherhithe
1871	1. Kompositbecken (D= 46,63m) mit zweischaliger Beckenwand aus Mauerwerk und Beton in der Old Kent Road (Siehe Kap. C.2.4.-4.1.4.)	Livesey, George T.	UK London, Old Kent Road
1875	1. Wasserbecken (D= 56,10m) in reiner Betonbauweise mit Kegelstumpf (Siehe Kap. C.2.4.-4.2.2.)	Livesey, George T.	UK London, Old Kent Road
1880	Vollständig versenktes Ringbecken aus Gusseisen (D= 27,43m) – (Siehe Kap. C.2.4.-4.4.2.)	unbekannt	UK Chester
1883	Patentanmeldung: „Angespitztes“ Kugelbodenbecken (Siehe Kap. C.2.4.-4.3.2.)	Intze, Otto	DE Aachen
1889	Intze-Becken mit doppelter Ringstützung (D= 50,00m) (Siehe Kap. C.2.4.-4.3.2.)	Intze, Otto	DE Essen
bis ca. 1890	Letzte Flachbodenbecken aus Gusseisen (D bis zu 35,00m) – (Siehe Kap. C.2.4.-4.1.2.)		UK
1899	Freistehendes, genietetes Flachbodenbecken (D= 28,04m) (Siehe Kap. C.2.4.-4.1.3.)	Newbigging, Thomas	UK Lytham
1907	Patentschrift: Freistehendes, genietetes Wölbmantelbecken (Siehe Kap. C.2.4.-4.5.)	Jagschitz, Konrad (MAN)	DE Gustavsburg
1908	1. Wölbmantelbecken (D= 69,00m) (Siehe Kap. C.2.4.-4.5.)	Jagschitz, Konrad (MAN)	AT Wien, Simmering
1908	1. Gewölbtes Wölbmantelbecken (D= 5,50m) (Siehe Kap. C.2.4.-4.5.)	Jagschitz, Konrad (MAN)	DE Nürnberg
1918	Vollständig versenktes Ringbecken (D= 91,44m), in Fels geschlagen (Siehe Kap. .2.4.-4.4.1.)	Milbourne, Robert John	AU Sydney

C.2.5. GASBEHÄLTERGEBÄUDE



Abb. 306: Gasbehältergebäude auf dem Gaswerk Saltisford, Warwick (Foto, West Ian, 2003).

Nachdem die frühen Gasbehälter Englands überwiegend in feststehenden Gebäuden errichtet wurden, die zum Schutz vor Explosionen und Wind dienen sollten, setzte sich ab 1817 allmählich die freistehende Form durch.

In anderen Ländern wurde das Gasbehältergebäude⁶⁰⁹ aus frostschutztechnischen und ästhetischen Gründen beibehalten und entwickelte sich mit zunehmender Größe zu einem erhabenen Zentralbauwerk.

Dieses Kapitel beschreibt die Entstehung und den Aufbau des Gasbehältergebäudes. Des Weiteren wird die Entwicklung des Gasbehältergebäudes in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts am Beispiel Deutschlands vorgeführt⁶¹⁰.

609 In Deutschland werden Gasbehälter mit Gebäuden teilweise auch als „Umbauter Gasbehälter“ bezeichnet (MAN, 1909b, p. 1). Schäfer unterschied die hydraulischen Gasbehälter primär zwischen „Offene“ und „Geschlossene Behälter“ – womit er das Vorhandensein oder eben das Nichtvorhandensein eines umschließenden Schutzbauwerks zum Ausdruck brachte (Schäfer, 1910, p. 591).

Da dieses Kapitel aber ausschließlich auf das Schutzbauwerk eingeht, wurde an dieser Stelle der Begriff „Gasbehältergebäude“ eingeführt.

610 In diesem Kapitel wird die Entwicklung des Gasbehältergebäudes am Beispiel Deutschlands vorgeführt, weil aus diesem Land weitere bedeutende Protagonisten des Gasbehälterbaus hervorgingen – wie z.B. die Firmen MAN und Klönne, die sich nicht nur durch den Scheibengasbehälter verdient gemacht haben (Siehe Kap. C.3.), sondern auch beim Bau von hydraulischen Gasbehältern Zeichen setzten, die sie u.a. auch mit Gebäuden realisierten.

1. Entstehung

In der Anfangsphase wurde der eigentliche Gasbehälter als solcher kaum wahrgenommen, da dieser überwiegend mit einem zusätzlichen Schutzbauwerk errichtet wurde (*Siehe Kap. B.5.-2.*). Dieses Gasbehältergebäude diente nicht nur dazu, das Hubteil und dessen Auf- und Abbewegung vor asymmetrischen Windeinwirkungen zu schützen⁶¹¹, sondern auch als Vorsichtsmaßnahme für etwaige Explosionen, die sich v.a. in London zur Vorschrift entwickelt hatte⁶¹². Zudem eignete sich insbesondere das Dachtragwerk dieser Gebäude zur Aufhängung der erforderlichen Gegengewichte.

Ab 1817 wurden schließlich die ersten freistehenden Gasbehälter errichtet⁶¹³ – nämlich in Birmingham und Chester (*Siehe Kap. C.2.3.-3.2. und 5.1.*), die sich mit ihren feststehenden Führungsgerüsten als standardisierte Gasbehälterform durchsetzten; durch den Entfall der massiven Einhausung konnten die Bauzeit, der Einsatz von Baumaterialien und folglich auch die Kosten gesenkt werden.

Eine Ausnahme stellten jedoch die zentral-geführten Glockengasbehälter dar, die teilweise nachträglich durch eine Ringmauer – aber ohne Dach – ergänzt wurden (*Siehe Kap. C.2.3.-3.2.*)⁶¹⁴.

Die letzten zwei bestehenden Gasbehältergebäude Englands befinden sich heute in Warwick (*Abb. 306*): Die Planung Cleggs sah zwei oktagonale Schutzbauwerke vor, die über ein riegelförmiges Bauwerk zusammengeschlossen wurden. 1822 erfolgte die Fertigstellung des symmetrischen Ensembles.

⁶¹⁵

In anderen Ländern wurde der Bau von Gasbehältergebäuden über einen weit längeren Zeitraum hinfert beibehalten. Dies lag zum einen an kälteren Winterperioden – wie z.B. in Deutschland, den USA oder Skandinavien⁶¹⁶ – wo sich die Ausführung eines Gasbehältergebäudes durchaus empfahl, um einen ausreichenden Frostschutz – neben einem allgemeinen Schutz vor Wind und Wetter⁶¹⁷ – sicherstellen zu können; zudem ermöglichte das geschlossene Gebäude ein Beheizen des Luftraumes.⁶¹⁸ Zum anderen war es wohl auch das gesteigerte Sicherheitsbefinden, das die Bauherren dazu tendieren ließ, eine massive, schützende Hülle um den eigentlichen Gasbehälter zu errichten. Ein letzter Aspekt war schlichtweg das Erscheinungsbild des Gasbehälters, das den architektonischen Ansprüchen nicht entsprach und durch eine wohlgestaltete Fassade aufgewertet werden konnte⁶¹⁹.

2. Aufbau

Das Gasbehältergebäude setzte sich – wie das frühe Beispiel *Samuel Cleggs** bereits zeigte – aus zwei Hauptbestandteilen zusammen, nämlich einer massiven, zylindrischen oder polygonalen Tambour- bzw. Ringwand und einem Kegel-, Kuppel- oder Pyramidendach. Die Ringwand wurde in Massivbauweise errichtet – aus Mauerwerk, Eisenbeton oder in Mischbauweise (z.B. als Eisenskelett mit gemauerten Ausfachungen) – und war mit repetitiven Öffnungselementen ausgestattet. Letztere trugen zur Gestaltung der Fassade bei, die meist mit weiteren architektonischen Gliederungselementen – wie

⁶¹¹ Accum, 1819, p. 165

⁶¹² Clegg, 1841, pp. 17–18; Hughes, 1853, p. 194

⁶¹³ Accum, 1819, p. 165; Woolrich, 2002, p. 140

⁶¹⁴ Layton, 1920, p. 9. – Auf dem Gaswerk an der Old Kent Road in London wurden 1835 Ringmauern um die bestehenden zentral-geführten Glockengasbehälter gebaut.

⁶¹⁵ Woolrich, 2002, p. 140; Tucker, 2014, p. 22

⁶¹⁶ Zum Bau eines Gasbehältergebäudes in Chicago ($D_{\text{innen}} = 47,26\text{m}$; $H_{\text{Zylinder}} = 20,73\text{m}$; $V = 30.027\text{m}^3$) siehe Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 180–181.

Zu bestehenden Gasbehälterhäusern in Skandinavien siehe auch Etholén, 2012, pp. 35–37.

⁶¹⁷ Schäfer, 1910, p. 591

⁶¹⁸ Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 102, 180–181, 193; MAN, 1909b, p. 7; Wehrmann, 1954, pp. 57–58

⁶¹⁹ Wehrmann, 1954, p. 57

Nach Lorenz, 1995 dominierte das Gasbehältergebäude den historischen Gasbehälterbau in Deutschland wegen mangelnder Technikakzeptanz: „(...) war es hier offenbar noch unvorstellbar, eine bloße eiserne Konstruktion ungeschminkt zu zeigen. (...)“ – Lorenz, 1995, p. 348.



Abb. 307: Gasbehältergebäude auf dem Gaswerk am Halle`schen Tor, Berlin (BPK, Bild-Nr. 00010159).

z.B. Gesimsen oder Wandpfeilern – versehen war. An der Tambourinnenseite wurde eine stark reduzierte Form des Führungsgerüsts angeschlossen, das zugleich die Wartungsumgänge aufnahm. In den Achsen der Führungsschienen wurde die Ringmauer teilweise mit Pfeilern verstärkt ⁶²⁰. Die Dachkonstruktion war aus Holz oder Eisen und lehnte sich grundsätzlich an die unterspannte oder ausgesteifte Konstruktionsweise des Hubteils (Siehe Kap. C.2.2.-4.3. und 4.5.), nur dass am Kuppelscheitel eine Laterne aufgesetzt war, die gemeinsam mit den Fensteröffnungen für einen notwendigen Luftaustausch sorgte ⁶²¹.

3. Deutschland

Das massive Gasbehältergebäude prägte das Erscheinungsbild der Gasbehälter in Deutschland bis in das 20. Jahrhundert hinein ⁶²².

Ostdeutschland – insbesondere Berlin – nahm um 1850 eine Sonderstellung ein:

„(...) Berlin war ein Sonderfall in der Geschichte der Gaswirtschaft. Die Stadt verzeichnete in jenen Jahren ein beispielloses Wachstum ihrer Einwohnerzahl und der Wirtschaft und stieg hinter London, Paris und St. Petersburg zur viertgrößten Stadt Europas auf. Nur wenige Städte konnten sich in dieser Zeit den Luxus der Gasbeleuchtung leisten; (...)“ ⁶²³

Gaswerk Halle`sches Tor, Berlin ⁶²⁴

Auf dem Gaswerk am Halle`schen Tor in Berlin (heute Gitschinerstraße 18–31) wurde 1845 ein Gas-

⁶²⁰ MAN, 1909d, p. 2

⁶²¹ Wehrmann, 1954, p. 58

⁶²² MAN, 1908, p. 28

⁶²³ Karlsch, 2008, p. 19

⁶²⁴ Am Halle`schen Tor wurde 1826 das erste Gaswerk Berlins unter Regie des englischen Vertragspartners, nämlich der „Imperial Continental Gas Association“ (ICGA) in Betrieb genommen; die Vertragslaufzeit betrug 21 Jahre. Das **erste Gaswerk Deutschlands** wurde aber bereits 1825 von der ICGA in Hannover gebaut (Karlsch, 2008, p. 16). Die ersten **städtischen Gaswerke** Berlins wurden nach den Plänen Blochmanns (siehe Abschnitt Dresden) – am Halle`schen und am Stralauer Platz errichtet und 1847 in Betrieb genommen (Streichert, 1899, p. 11; Karlsch, 2008, p. 18). Weiterführende Literatur zur ostdeutschen Gaswirtschaft in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, siehe Karlsch, 2008.

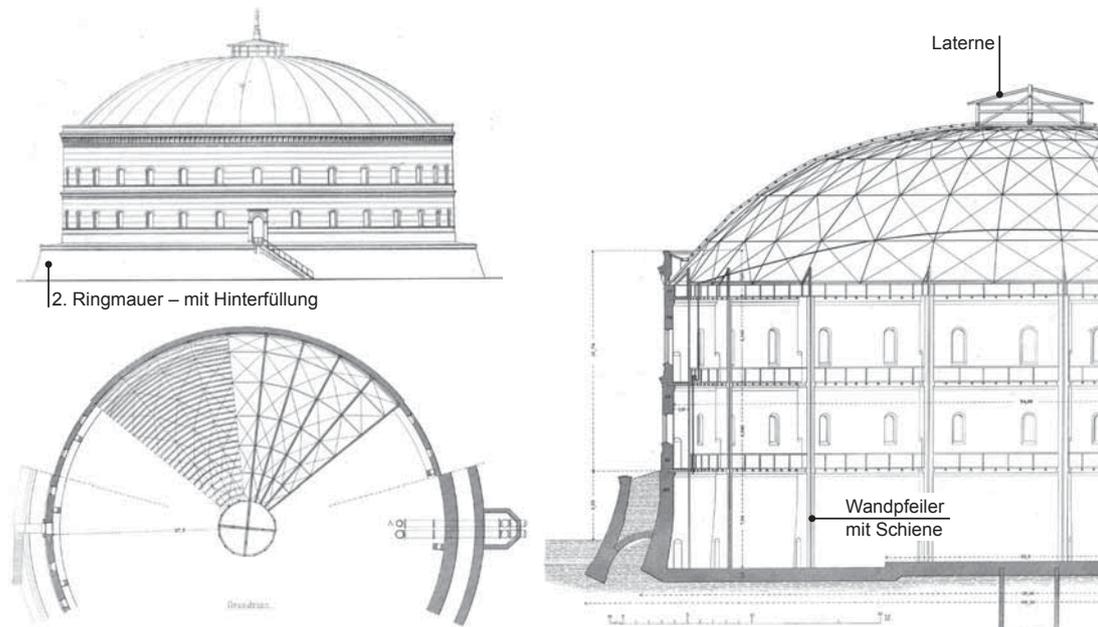


Abb. 308: Gasbehältergebäude in der Fichtestraße, Berlin (ZfB 1876a, Bl. 31). **

behälter ($V= 9.600\text{m}^3$) mit einem Gebäude ($D_{\text{außen}} = 35,77\text{m}$; $H_{\text{Mauerring}} = 24,79\text{m}$; $t= 94\text{--}126\text{cm}$) errichtet (Abb. 307)⁶²⁵; dem Architekten und Privatbaumeister A. Kühnell*⁶²⁶ oblag die Planung dieses Gasbehälters, der zugleich der erste Teleskopgasbehälter Deutschlands war und für den Berliner Gasbehälterbau der folgenden Jahrzehnte richtungsweisend sein sollte.

Die Fassade war horizontal in drei Abschnitte gegliedert: Einen Sockel, in dem sich vier Zugänge befanden und zwei Fensterringe, die die Zweihübigkeit des Gasbehälters nach außen abzeichneten. Die Rundbogenfenster, deren Anzahl in der unteren Reihe 16 und in der oberen 32 betrug, setzten jeweils auf einem umlaufenden Gesims auf. Die abschließende Zinnenbekrönung verdeckte die Dachkonstruktion fast ganz und verlieh dem Bauwerk einen wehrhaften Charakter. Die ungegliederte, ebene Mauerfläche war verputzt. Das flache Kegeldach bestand aus 32 unterspannten Radialträgern, die über einen Ringträger zusammengeschlossen wurden; letzterer nahm die hölzerne Laternenkonstruktion auf.⁶²⁷

Fichtestraße, Berlin – Zwischenspeicherstation⁶²⁸

30 Jahre später erreichten die Gasbehälter weitaus größere Dimensionen und dreimal so große Nutzvolumina – verglichen zum vorgehenden Beispiel am Halle'schen Tor. Auf der Zwischenspeicherstation an der Fichtestraße begann 1874 der Bau eines Gebäudes ($D_{\text{innen}} = 54,60\text{m}$; $H_{\text{Ringmauer}} = 21,99\text{m}$) für einen zweihübrigen Gasbehälter ($V= 30.000\text{m}^3$) nach den Plänen Johann Wilhelm Schwedlers* (Abb. 308): Das Gebäude war aufgrund der unzureichenden Baugrundeigenschaften nur minimal eingetieft und im Bereich des Wasserbeckens durch eine vorgelagerte, niedrige, zweite Ringmauer verstärkt. Letztere

625 Kühnell, 1845, p. 179

626 Kühnell hatte die Leitung der Niederlassung der ICGA in Berlin inne und wechselte einige Jahre später zu den städtischen Werken Berlins (Lorenz, 1995, p. 350). Nach Schilling, 1885 wurde Kühnell 1867 pensioniert und verstarb 1878. Neben ihm waren ebenfalls die Baumeister Schnuhr (+ 1868) und der damals aktuelle „Ober-Dirigenten“ Baumeister O. Reissner für den Bau weiterer Gaswerke in Berlin zuständig (Schilling, 1885, pp. 46–47).

627 Lorenz, 1995, p. 344–348

Weiterführende Literatur zum Dachtragwerk siehe Kühnell, 1845, pp. 179–180, sowie Lorenz, 1995, pp. 344–363.

628 Die Gasbehälter an der Fichtestraße – ursprünglich drei à 30.000 und ein weiterer à 25.000m^3 – waren eine Zweigstelle des Gaswerks am Halle'schen Tor, dessen Grundstück um 1870 den Bau eines weiteren Gasbehälters nicht mehr zuließ (o. A., 1876, pp. 180–181).



Abb. 309: Gasbehältergebäude – bekannt als „Fichtebunker“ – in der Fichtestraße, Berlin (BB, 2013).

war mit Strebebögen ($b= 100\text{cm}$; $t= 50\text{cm}$) an die Beckenmauer angesetzt; beide Mauerfüße waren nach außen geneigt und der Zwischenraum mit Erdreich aufgeschüttet, das obenauf gepflastert und asphaltiert wurde. Die aufragende Fassade erfuhr durch die Rundbogenfenster und Gesimse eine horizontale Gliederung in zwei Abschnitte, die der Hübigkeit des Gasbehälters entsprach. Die Fenster waren jeweils in den 32 Achsen der radialen Kuppelträger angeordnet und auf einem Sockelgesims platziert; das Gebäude war nur über ein einziges Tor zugänglich. Den oberen Abschluss der Ringmauer bildete ein Konsolgesims. Die Fassade erschien nach außen hin als Sichtmauerwerk, das durch die farbliche Differenzierung von einzelnen Ziegellagen die horizontale Ausrichtung noch zusätzlich betonte; innenseitig war das Mauerwerk verputzt. Die Wandstärke betrug am Wasserbecken 103cm und an den Stellen, an denen das Dachtragwerk und die Umgänge ansetzten, 77cm .

An der Innenseite der Ringmauer befanden sich 16 Wandpfeiler, die zur Aufnahme der Führungsschienen – aus Eisenbahnschienen – und der drei Umgänge dienten.

Die Schwedlerkuppel – bestehend aus 32 Radial- und sieben Ringträgern – wurde ca. $2,00\text{m}$ unterhalb der Mauerkrone angeschlossen (*Zur Kuppel siehe Kap. C.2.2.-4.6.1.*).

Dieser Gasbehälter wurde 1876 fertig gestellt, dem zwei weitere, baugleiche Behälter à 30.000m^3 folgten; von diesem Trio ist heute noch ein Gebäude als Industriedenkmal erhalten (*Abb. 309*); die Hubteile fielen jedoch den zahlreichen Umnutzungen⁶²⁹ zum Opfer (*Siehe Kap. E.1.-1.*)⁶³⁰

Ende des 19. Jahrhunderts befanden sich auf den Berliner Gasanstalten nach Streichert, 1899 insgesamt 22 Gasbehälter, die mit einem Gebäude errichtet wurden.⁶³¹

629 Nachdem dieser Gasbehälter mit seinem Gebäude im zweiten Weltkrieg als Bunker genutzt wurde, ist er bis heute als „Fichtebunker“ bekannt.

630 o. A., 1876, pp. 181–184

631 Streichert, 1899, p. 14. – Hierbei handelte es sich um die Gaswerke am Halle`schen Tor, am Stralauer Platz, in der Danzigerstraße und in Schmargendorf.



Abb. 310: Gasbehälter II des Gaswerks Dresden-Reick (BB, 2013).

Gaswerk Reik, Dresden ⁶³²

1881 wurde der erste zweihübrige Gasbehälter ($V = 28.500\text{m}^3$) des Gaswerks Reick in Dresden in Betrieb genommen; der Architekt *Theodor Friedrich** ⁶³³ plante den Gasbehälter mit einem Gebäude ($D_{\text{außen}} = \text{ca. } 53,00\text{m}$; $H_{\text{Ringmauer}} = \text{ca. } 18,00\text{m}$) ⁶³⁴.

Das Gebäude hatte eine erhöhte Position (das Wasserbecken war nur teilweise versenkt); über die ringsum laufende Böschung gelangte man zu den Zugängen. Die Ringmauer bestand aus Natursteinmauerwerk und präsentierte sich mit einer harmonisch gegliederten Fassade, die ursprünglich verputzt war. Die Komposition der Fassade wurde durch die 36 Fensterachsen vorgegeben: Jede Achse bestand aus einem unteren Rundbogenfenster, das auf dem Sockelgeschoss aufsaß und einem oberen, höheren Rundbogenfenster, das in jeder zweiten Achse der gekuppelten Ausführung alternierte; beide Fensterformen erfuhren jeweils mit einem Riegel oder einem kassettenförmigen Bauteil eine Unterteilung in zwei Fensterflächen. Die einzelnen Fensterachsen wurden über Blendarkaden zusammengefasst. Der obere Abschluss der Ringmauer wurde mit einem mehrteiligen Dachgesims gebildet, das mit Konsolen und verblendeten Okuli ausgestattet war. Die Dachkonstruktion war als Schwedlerkuppel konzipiert, die die zentrale Laterne trug.

Um 1889 folgte ein zweiter, identischer Gasbehälter (Abb. 310), von dem heute nur noch das Gebäude erhalten ist und zu einem Ausstellungsraum (Siehe Kap. E.1.-1.) umgenutzt wurde ⁶³⁵.

632 Dresden war die erste Stadt Deutschlands, in der 1828 ein städtisches Gaswerk in Betrieb genommen wurde (das Gaswerk befand direkt am Zwingerwall). Dies war der Verdienst des Ingenieurs **Rudolf Sigismund Blochmann** – einem Pionier des deutschen Gasfaches. Das zuvor unterbreitete Angebot der ICGA wurde abgelehnt. Die sogenannte „Großgasanstalt Reick“ wurde zwischen 1877 bis 1881 als viertes Gaswerk Dresdens errichtet (Exner, 2003, pp. 26–38).

633 Hales, Will, 1997, p. 96

634 Schilling, 1885, pp. 168–172. – Maßangaben aus googlemaps vom 23.07.2017.

635 Gasbehälter I wurde 1973 gesprengt (Exner, 2003, p. 59).

Anm. d. Verfasserin: Auch in Leipzig befanden sich Gasbehältergebäude dieser Art, wovon eines ebenfalls für Ausstellungszwecke umgenutzt wurde.



Abb. 311: Gasbehälter-Ensemble um 1910 in Reick, Dresden mit dem Erlwein-Gasbehälter im Vordergrund (LHD, Schl. II6968, 467).

Anfang des 20. Jahrhunderts meldete das Gaswerk den Bedarf für drei neue Gasbehälter an. Der Architekt und Stadtbaurat *Johann Jakob Erlwein**⁶³⁶ zeigte mit seinem Entwurf, dass dem mit einem einzigen Gasbehälter ($V= 110.000\text{m}^3$) Genüge geleistet werden konnte: Er sah ein massives, zylindrisches Gebäude ($D= 65,00\text{m}$; $H_{\text{gesamt}} = 68,00\text{m}$) vor, das insgesamt vier Hubteile aufnahm.⁶³⁷ Die Ringwand wurde mit fünf stark hervorspringenden Treppentürmen verstärkt, die die Fassade in fünf Abschnitte unterteilte. Letztere wurden ausschließlich durch die sechs Fensterreihen gegliedert. Eine vertikale Fensterachse setzte sich jeweils zusammen aus zwei kleinen, quadratischen Fenstern im Sockelgeschoss, vier großen, quadratischen übereinander gestaffelten Fenstern und drei schlitzzartigen Fenstern als Mantelabschluss. Das Kuppeldach bestand aus einer Eisenkonstruktion aus 20 unterspannten Radialträgern, die eine massive Laterne aus Eisenbeton trugen. Für die Ausführung der Ringwand bediente sich Erlwein des damals innovativen Eisenbetons⁶³⁸ und beließ die Fassade in einem eher nüchternen, schlichten Erscheinungsbild, das die Zweckmäßigkeit des Gasbehälters widerspiegeln sollte – ganz im Gegenteil zu den bestehenden Gebäuden, die nach Erlwein vielmehr den Anschein eines Kolosseums oder einer Engelsburg hatten.

Der „Erlwein-Gasbehälter“ – wie man ihn heute nennt – wurde in den Jahren 1907/08⁶³⁹ gebaut und war bis 1973 in Betrieb. Die Kuppel wurde 1998 gesprengt.⁶⁴⁰

636 Bekannt als „Hans Erlwein“. Weiterführende Literatur zu Leben und Werk Erlweins, siehe Helas, Will, 1997; Kloss, 2002.

637 Helas, Will; 1997, pp. 96–97

638 Vermutlich diente Erlwein das Anatomiegebäude in München als Vorbild, das 1904–1907 nach den Plänen Max Littmanns errichtet wurde (Helas, 1997, p. 27).

639 Erlwein steigerte diesen Entwurfsgedanken, indem er ein weiteres Gasbehältergebäude für einen Behälter von 180.000m^3 für das Gaswerk Neustadt in der Lößnitzstraße einreichte, dessen Monumentalität das vorgehende Beispiel in Dresden weit übertraf; dieser Entwurf kam aber nicht zur Ausführung (Helas, Will; 1997; pp. 13–15).

640 Weiterführende Literatur zu den Gaswerken Dresdens, siehe Schilling 1885, pp. 167–173; Karlsch, 2008, pp. 16–18.

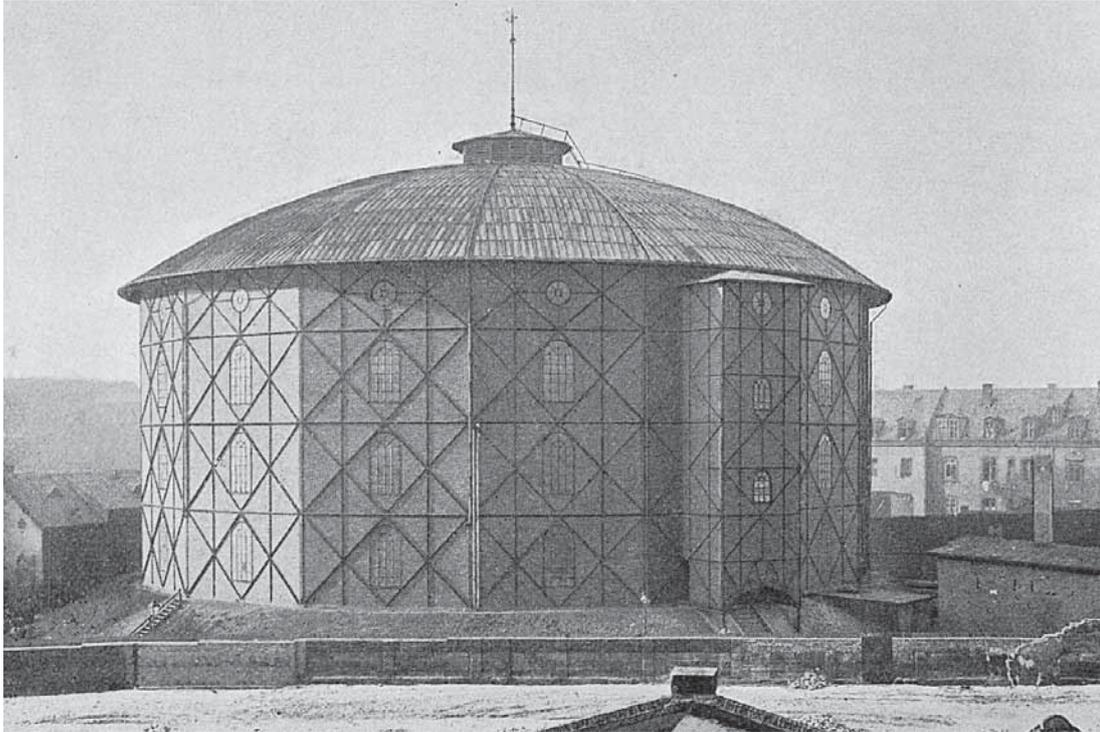


Abb. 312: Gasbehältergebäude des Gaswerks Am Plärrer, Nürnberg (Terhaerst, 1906, p. 114).

Gaswerk Am Plärrer, Nürnberg ⁶⁴¹

Am Gaswerk Am Plärrer in Nürnberg wurde 1891 ein zweihübiger Gasbehälter (D= 40,00m; H= 29,00m; V= 18.500m³) mit einem Gasbehältergebäude errichtet (Abb. 312) ⁶⁴².

Das Gebäude entstand nach den Plänen der Firma MAN* ⁶⁴³, war leicht erhöht mit einer umlaufenden Böschung (da das Wasserbecken nur partiell versenkt war) und hatte einen polygonalen Grundriss. Die prismatische Hülle wurde in Skelettbauweise ausgeführt: Jede Seitenfläche wurde in vier rechteckige Felder unterteilt, in die jeweils eine doppelte Auskreuzung mit einem zusätzlichen, vertikalen Stab gesetzt wurde. Jedes Feld war zudem mit einer Fensteröffnung ausgestattet: Im oberen befand sich ein Okulus und in den unteren drei jeweils ein Rundbogenfenster. Die Eisenkonstruktion wurde schließlich mit Mauerwerk ausgefacht. Das Dach wurde als Schwedlerkuppel ausgeführt, auf deren Scheitel die Laterne saß.

Das Gebäude wurde über einen angesetzten Turm, der in selbiger Bauweise und Fassadengestaltung konzipiert war, erschlossen.

Gasbehältergebäude in Skelettbauweise stellten in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts eher eine Sonderform dar, da zu dieser Zeit die Gebäude überwiegend aus Mauerwerk oder Beton erstellt wurden. ⁶⁴⁴

641 Das Gaswerk Am Plärrer in Nürnberg wurde 1847 mit zwei Gasbehältern eröffnet und war das erste in Bayern (Terhaerst, 1906, p. 9). Weiterführende Literatur zur Gasbeleuchtung in Bayern siehe Schilling, 1887.

642 MAN, 1912, p. 34

643 Zu weiteren Verdiensten der Firma MAN im Gasbehälterbau, siehe Kap. C.3.2. und C.2.4.-4.5.

644 Eine Darstellung des Gaswerks Am Plärrer um 1905 zeigte die maximale Bebauung mit insgesamt vier Gasbehältern. Darunter befand sich der hier behandelte Gasbehälter, sowie ein kleineres Pendant, das ebenfalls mit einem Gebäude in selbiger Bauweise ausgeführt wurde (Terhaerst, 1906, Tafel 1).

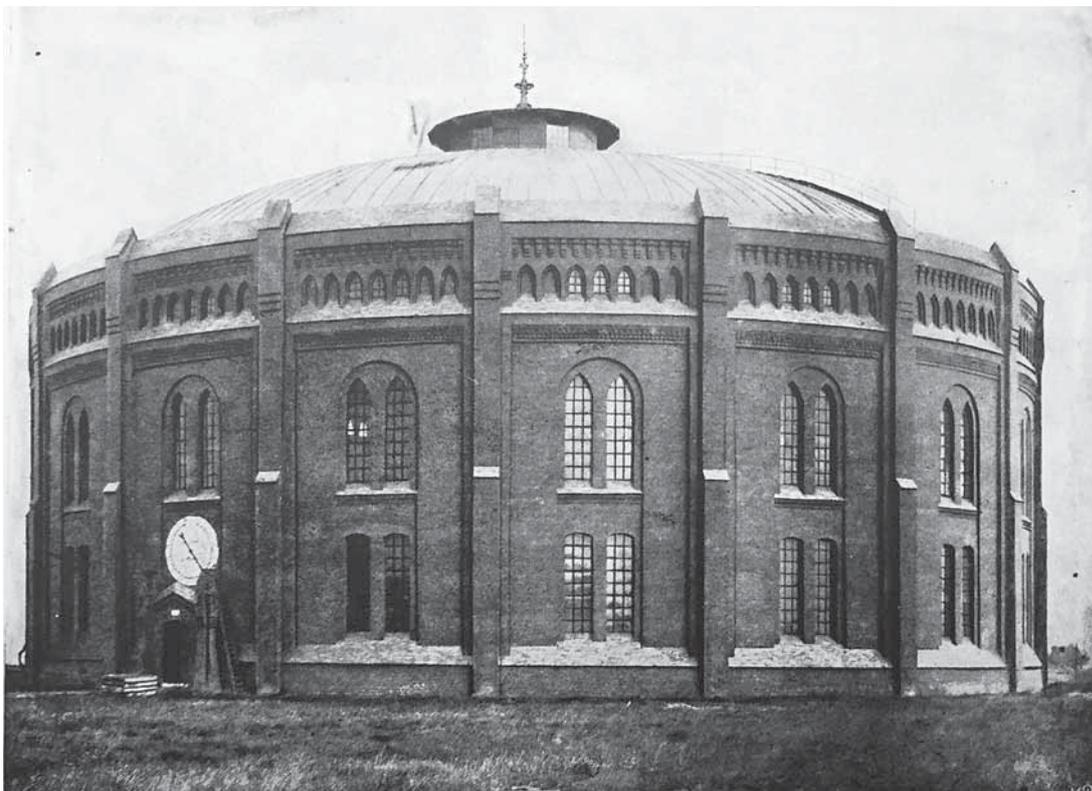


Abb. 313: Gasbehältergebäude des Gaswerks Billwärder, Hamburg (o.A., 1929, Bild 60).

Gaswerk Billwärder, Hamburg

1895 entstand ein Gasbehältergebäude für einen zweihübrigen Gasbehälter ($V= 30.000\text{m}^3$) auf dem Gaswerk Billwärder in Hamburg⁶⁴⁵; von der *Firma Klönne** stammte die Planung⁶⁴⁶.

Die Fassade der Ringmauer erfuhr eine starke vertikale Gliederung durch die vorspringenden, zweistufigen Pilastern, die über die Mauerkrone hinausragten und am Kopf stark abgeschrägt waren.

Die einzelnen Zylinderfelder wurden dominiert von jeweils zwei schlanken, gekuppelten Fenstern, die in einer Rundbogennische zusammengefasst waren. Die unteren Fenster waren segmentförmig und die oberen mit einem Spitzbogen abgeschlossen. Die Rundbogennische wurde von einer zweiten rechteckigen Nische eingerahmt und fußte auf einem stark abgeschrägten Sockel; der obere Nischenabschluss wurde durch einen mehrstufigen Fries gebildet.

Auf dieser Nische folgte je Feld ein Band aus sieben Spitzbogenfenstern, von denen aber vier Stück als Blendelemente konzipiert waren; das Fensterband war ebenfalls leicht eingetieft und wurde unterseitig mit einem abgeschrägten Sockel und oberseitig mit einem Fries eingefasst. Die Abschrägung der Mauerkrone erfolgte mit der gleichen Neigung, die auch bei den Pilastern verwendet wurde.

Das Kuppeldach setzte unterhalb der Mauerkrone an und trug die Laterne.

645 o. A., 1929, p. 53

Auf selbigem Gaswerk wurde 1903 ein zweihübriger Gasbehälter ($V= 50.000\text{m}^3$) mit einem baugleichen Gasbälterhaus – angepasst auf Durchmesser und Höhe – errichtet; die Hubteile lieferte die Firma MAN (MAN, 1912, p. 35).

646 Zu weiteren Verdiensten der Firma Klönne im Gasbehälterbau siehe Kap. C.3.3. und C.2.3.-7.6.1.

4. Zusammenfassung – Gasbehältergebäude

Das Gasbehältergebäude wurde außerhalb Englands v.a. in Ländern mit kälteren Wintern eingesetzt. Es diente ursprünglich als baulicher Frost- und Wetterschutz und entwickelte sich beispielsweise in Deutschland zu einem erhabenen Zentralbauwerk, das den eigentlichen Gasbehälter zwar verbarg, dafür aber die Stadtbilder durch seine Fassadengestaltung bereicherte; je nach Entwurf erweckte dies einen sakralen oder wehrhaften Anschein.

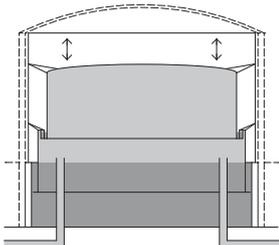
Auch wenn diese bauliche Hülle die Eisbildung verhinderte, das Beheizen des Luftraumes ermöglichte und zugleich den empfindlichen Hebe- und Senkmechanismus der Hubteile vor Wind und Regen schützte, so stellte es dennoch einen material-, zeit- und kostensteigernden Faktor dar, den ein freistehender Gasbehälter umgehen konnte.

Anfang des 20. Jahrhunderts bekannte man sich zu dem technischen Erscheinungsbild des Gasbehälters und errichtete diese fortan freistehend und ohne massives Gebäude.

„(...) freistehenden Behältern immer mehr den Vorzug geben wird, da die Anlagekosten gegenüber umbauten Behältern erheblich geringer sind. Der zuweilen noch erhobene Einwand, daß in architektonischer Beziehung der umbaute Behälter den Vorzug verdient, wird, wie auf anderen Gebieten, auch hier zurücktreten. Der Zug der Zeit drängt ohnehin zu der Auffassung, daß alles wahrhaft Zweckmäßige mit seinen natürlichen Formen auch höhere ästhetische Bedürfnisse befriedigt. (...)“⁶⁴⁷

1910 berichtete Schäfer, dass der freistehende Gasbehälter seinen massiven Vorgänger bereits abgelöst hatte und den allgemein Stand der Technik im Gasbehälterbau repräsentierte.⁶⁴⁸

Nachdem die stillgelegten Gasbehälter lange Zeit vernachlässigt oder aufgrund ihrer Nutzlosigkeit schlichtweg abgerissen wurden, erkannte man in den 90er Jahren des 20. Jahrhunderts⁶⁴⁹ allmählich das architektonische Potenzial von Gasbehältern – insbesondere deren Gebäuden: Der große, weit aufragende, stützenfreie Innenraum eignete sich für verschiedene Umnutzungen, die den obsoleten Bauwerken wieder neues Leben einhauchten (Siehe Kap. E.1.-1.).

Tab. 37: Zusammenfassung – Gasbehältergebäude (nach Accum, 1819; Clegg, 1841; Hughes, 1853; Newbigging, Fewtrell, 1879; MAN 1909b–1909e; Schäfer, 1910; Wehrmann, 1954)		
Gasbehältergebäude	Vorteile	Nachteile
	<ul style="list-style-type: none"> + Schutz vor Witterung: Wind, Regen, Schnee, + Verbesserter Frostschutz, + Reduzierung des Führungsgerüsts, + Beheizung des Luftraums in Wintermonaten möglich, + Repräsentative Fassadengestaltung. 	<ul style="list-style-type: none"> - Stark erhöhter Materialaufwand, - Längere Bauzeit, - Stark erhöhte Baukosten.

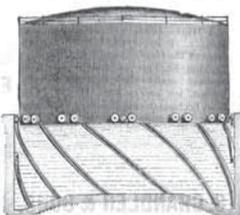
⁶⁴⁷ MAN, 1909b, p. 8

⁶⁴⁸ Schäfer, 1910, p. 591

⁶⁴⁹ Mit der Ausnahme eines Gasbehälters in der Fichtestraße, der im zweiten Weltkrieg zu einem Bunker umgebaut wurde (Siehe Kap. E.1.-1.).

C.2.6. GASBEHÄLTER OHNE FÜHRUNGSGERÜST

REVOLUTION
IN GASHOLDER CONSTRUCTION.
(GADD & MASON'S PATENTS.)

<p>IMMENSE SAVING IN COST. IMMENSE SAVING IN COST. IMMENSE SAVING IN COST.</p> <p>NO COLUMNS. NO FRAMING. NO COLUMNS. NO FRAMING. NO COLUMNS. NO FRAMING.</p> <p>NO PIERS ROUND TANK. NO PIERS ROUND TANK. NO PIERS ROUND TANK.</p>		<p>IMMENSE SAVING IN COST. IMMENSE SAVING IN COST. IMMENSE SAVING IN COST.</p> <p>NO COLUMNS. NO FRAMING. NO COLUMNS. NO FRAMING. NO COLUMNS. NO FRAMING.</p> <p>NO PIERS ROUND TANK. NO PIERS ROUND TANK. NO PIERS ROUND TANK.</p>
---	--	---

GREATER STABILITY. TILTING IMPOSSIBLE.

Tank Construction rendered far simpler and very much cheaper; the Piers and heavy Base Stones being dispensed with.

In Holders for Export a very large additional saving is effected in Carriage, Freight, Transport, and Insurance; the weight being reduced nearly **50 per cent.**

Admitted by eminent Engineers to be the system of the future.

Our Alternative Arrangements of Torsional and Tensional Gearing **WE DO NOT RECOMMEND.** The former, by means of Geared Shafting, or Rack and Pinion, IS **CLUMSY**; whilst the latter, by means of Chains or Ropes, IS **UNRELIABLE AND DANGEROUS.**

Engineers intending to extend their Gas Storage should not fail to see the **TWO-LIFT HOLDER** erected for the Northwich Gas Company.

Abb. 314: Werbung für den revolutionären Gasbehälter nach Gadd & Mason (JGL-55, 1890, p. 356).

Ende des 19. Jahrhunderts erreichten die Gasbehälter sehr große Ausmaße, was sich v.a. in den weit aufragenden Führungsgerüsten abzeichnete und den Material-, Zeit- und Kostenfaktor in die Höhe trieb.

Die erfolgreiche Einführung des ersten fliegenden Hubteils 1887 in Rotherhithe (Siehe Kap. C.2.2.-7.2.) entfachte bereits die Diskussion zur allgemeinen Notwendigkeit von Gerüsten im Gasbehälterbau⁶⁵⁰ und veranlasste die Gasingenieure, neue Führungstechniken für die Hubteile zu entwickeln, die kein feststehendes Gerüst erforderten.

Zwei Systeme setzten sich schließlich durch, die diesen Anspruch erfüllten:⁶⁵¹

- Der **Spiral-geführte Gasbehälter**, auch **Schraubengasbehälter**⁶⁵² genannt,
- Der **Seil-geführte Gasbehälter**.

Durch die gerüstlosen Führungstechniken brach eine neue Ära im Gasbehälterbau an, die eine neue, reduzierte Bauform des hydraulischen Gasbehälters prägten (Abb. 314). Dieses Kapitel erläutert die Entstehung, Funktion und Konstruktion der zwei wichtigsten „gerüstlosen“ Gasbehälterformen.

⁶⁵⁰ Stevenson, 1901, p. 61

⁶⁵¹ Weitere Entwürfe entstanden u.a. von Vitruvius Wyatt (JGL-40, 1882, pp. 739–741).

⁶⁵² Im Englischen wurde der spiral geführte Gasbehälter deswegen auch als „columnless gasholder“ (dt.: säulenloser Gasbehälter) bezeichnet (Owler, 1894, pp. 29–30).

Im Italienischen existierte neben dem Begriff „gasometro elicoidale“ (dt.: Schraubengasbehälter) auch „gasometro autoportante“ (dt.: Selbsttragender Gasbehälter), der nicht auf das Führungssystem, sondern auf die sich selbst tragenden Eigenschaft der Hubteile ausgelegt war.

1. Spiral-geführter Gasbehälter

1.1. Erfindung

Dem Ingenieur *William Gadd** gelang es 1887⁶⁵³ mit der Unterstützung von *William F. Mason**⁶⁵⁴ eine neuartige Führungstechnik herzubringen, die ganz auf das Gerüst verzichten konnte (*Abb. 315*): Die Führungsschienen wurden im Winkel von meist 45° direkt auf die Mantelfläche der Hubteile und am Becken angebracht, an denen tangential angeordneten Rollenpaare entlang fahren konnten. Aus dieser Schienenanordnung ergab sich ein schraubenartiger Bewegungsmechanismus der Hubteile, auf den die Entstehung des Begriffes Schraubengasbehälter zurückzuführen ist.

1888 stellte *Thomas Newbigging** diese neue, spirale Führungstechnik von Gadd beim Jahrestreffen der Manchester District Institution of Gas Engineers vor und war der erste Ingenieur, der diese Technik umsetzte: Er ließ 1889 den ersten spiral-geführten, zweihübrigen Gasbehälter (D_2

$H_{\text{je Hubteil}} = 18,29\text{m}$; $H_{\text{je Hubteil}} = 6,10\text{m}$; $V = 3.086\text{m}^3$) für das Gaswerk in Northwich, Cheshire errichten. Die Schienen waren jeweils am Becken und an der Innenseite des unteren Hubteils angebracht; deshalb befanden sich dessen Mantelständer zum ersten Mal auf der Außenseite (*Siehe Kap. C.2.6.-1.3.*)⁶⁵⁵

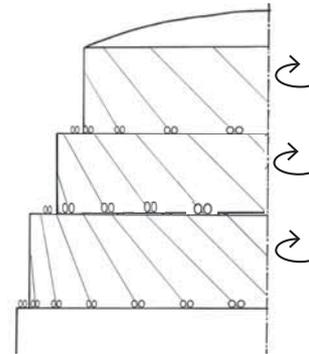


Abb. 315: Spiral-geführter Gasbehälter (Schema, BB, 2016).

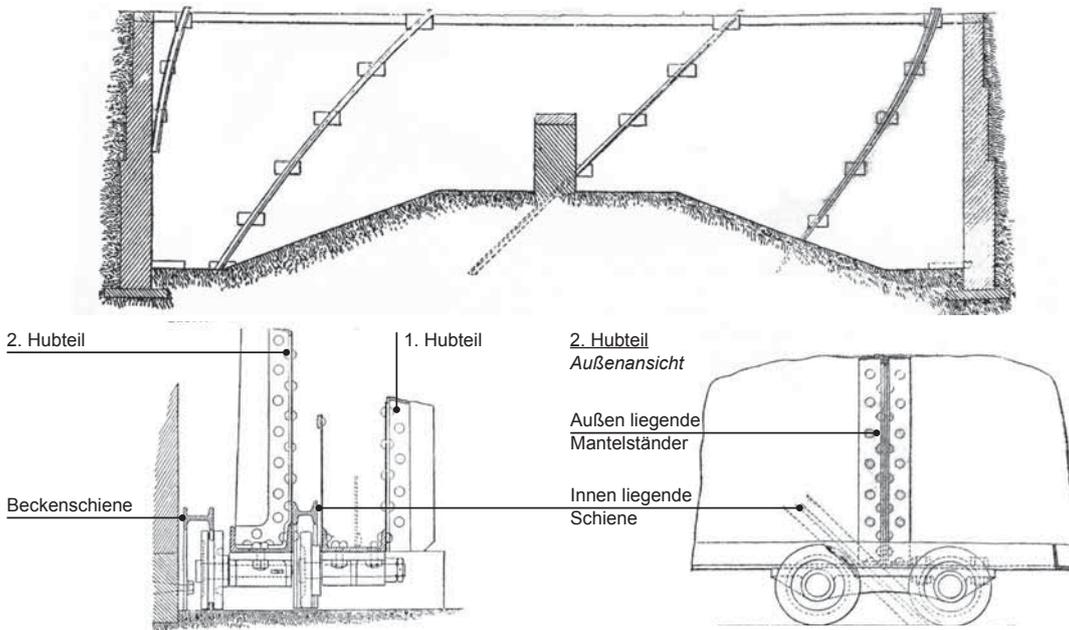


Abb. 316: Der erste, erfolgreich realisierte Schraubengasbehälter in Northwich (JGL-55, 1890, p. 194).**

653 W.H.Y. Webber stellte im gleichen Jahr einen Entwurf mit niedrigen Gerüststützen vor, die lediglich zur Sicherung der unteren Beckenrollen des Hubteils dienen sollten (Hunt, 1900, p. 162). Nach Stevenson wurde Webbers Entwurf – hier mit einer Stützhöhe bis zu 1,80m – stark kritisiert und als ungeeignet eingestuft (Stevenson, 1901, p. 61).

654 Diese Erfindung, einschl. aller folgenden Verbesserungen ist v.a. Gadd zuzuschreiben. Mason unterstützte Gadd nur in den ersten Jahren. Trotzdem lief dieser Gasbehälter auch weiterhin unter dem Namen „Gadd & Mason Holder“. Zur Biografie von Gadd und Mason siehe Elton, 2014, pp. 222–224. Im Jahr 1888 brachten Gadd und Mason eine weitere Führungstechnik hervor, die auf Zahnrädern und Ketten basierte; diese Erfindung stammte aber ursprünglich von J.B. Terrace (JGL-54, 1889, p. 599; JGL-57, 1891, pp. 798–799; Hunt, 1900, pp. 163–167). Diese Technik konnte sich jedoch nicht gegenüber dem spiralen Prinzip durchsetzen. 1890 legte Terrace einen weiteren Entwurf zu einem gerüstlosen Gasbehälter vor, auch dieser konnte sich gegenüber dem Gasbehälter von Gadd & Mason nicht durchsetzen (JGL-55, 1890).

655 JGL-55, 1890, pp. 106–107; Owler, 1894, pp. 29–30; Stevenson, 1901, p. 61; Dempster, 1925, p. H3, H88

Neben Newbigging und den Erfindern Gadd und Mason gab es eine Reihe von Ingenieuren und Firmen, die sich ebenfalls mit dieser innovativen Führungstechnik beschäftigten und einzelne Verbesserungen hervorbrachten – wie z.B. die Firma von *Samuel Cutler** (Siehe Kap. C.2.3.-7.5.) und die Firma *Dempster**.⁶⁵⁶

1.2. Bauteilspezifische Anforderungen

Durch den Entfall des Führungsgerüsts änderten sich auch die technisch-konstruktiven Anforderungen im Vergleich zum konventionellen Gasbehälter mit Führungsgerüst: Während der Beckenaufbau vereinfacht wurde, kam den Hubteilen, die im ausgefahrenen Zustand als freistehende, ungesicherte Konstruktion emporgingen, besondere Bedeutung zu.

Einwirkende Kräfte:

Durch das schraubenartige Auf- und Abbewegen gab es keine konstante, einheitliche Ausrichtung der Hubteile. Die Lastabtragung, die zuvor von den Säulen oder Stützen des Führungsgerüsts übernommen wurde, war nun Aufgabe der Hubteilkonstruktion selbst, die lediglich durch die Rollen- und Tassenanschlüsse zwischen den Hubteilen gesichert war. Die ankommenden Lasten wurden am unteren Ringträger des letzten Hubteils gebündelt und über die Rollen in das Wasserbecken eingeleitet⁶⁵⁷.

Konstruktion:

Während die Anforderungen an die Hubteilkonstruktion mit der Aufnahme der diagonalen Schienen und der verstärkten Ausführung des Tassenanschlusses⁶⁵⁸ zunahm, sanken die Anforderungen an die Konstruktion des Beckens, das nicht mehr für die Aufnahme sowie die Verankerung des Führungsgerüsts ausgelegt werden musste⁶⁵⁹.

Betrieb und Wartung:

Da die spirale Führungstechnik allein auf dem Laufen der Rollen entlang der geneigten Mantelschienen basierte, war die Tassenkonstruktion und deren ausreichender Wasserstand besonders wichtig: Solange der Wasserkanal eisfrei blieb, war ein störungsfreier Betrieb der Hubteile möglich. Dies konnte mit geeigneten Heizsystemen erreicht werden⁶⁶⁰. Für Wartungsarbeiten wurden die Hubteile jeweils mit senkrechten Leitern oder dreieckigen, feststehenden oder flexiblen Treppenaufgängen ausgestattet.

656 Die Firma *Dempster** war seit 1890 Lizenznehmer von Gadd & Mason und erwarb 1893 das Patentrecht (Dempster, 1925, p. H89).

Ab 1909 brachte auch Samuel Cutler (Siehe Kap. C.2.3.-7.5.) einige Verbesserungen zur spiralen Führungstechnik hervor (Elton, 2014, p. 162).

657 Pease, 1896, pp. 62–63. – Anmerkung von Isaac Carr (Widnes) nach der Vorstellung des Papers von Pease.

658 Hunt, 1900, p. 163; Milbourne, 1923, p. 4

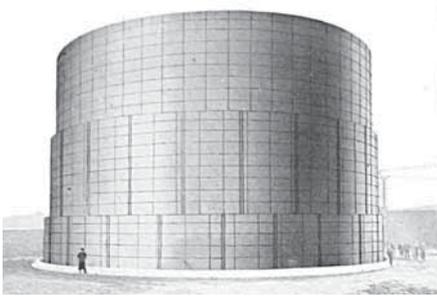
659 Owler, 1894, p. 30

Nach Dempster beeinträchtigten im Verband gemauerte Wandpfeiler die Tragfähigkeit eines Wasserbeckens (Dempster, 1925, p. H36).

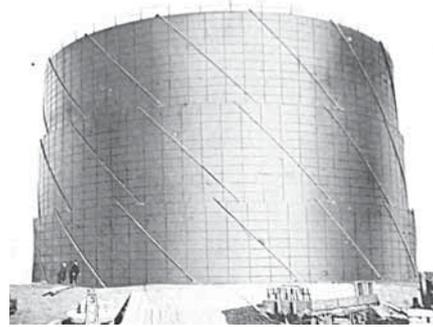
660 Owler, 1894, p. 30

Falls es jedoch zu starkem Frost kam, konnte dies zu asymmetrischen Eisbildungen führen, was ein Kippen der Hubteile und so einen Gasaustritt zur Folge hatte (Siehe Kap. D.3.2.-1.2.4.).

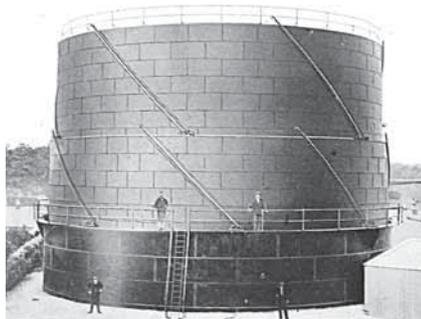
1.3. Funktion



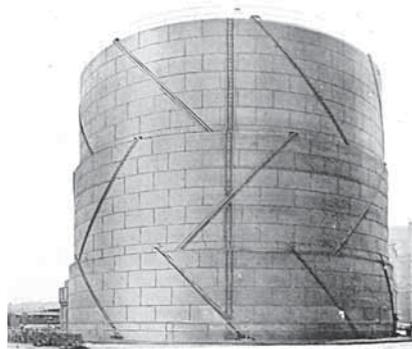
A: Innen liegende, gleichläufige Schienen



B: Außen liegende, gleichläufige Schienen



C: Außen liegende, gleichläufige Schienen
(Blechanordnung im Verband)



D: Außen liegende, gegenläufige Schienen
(Blechanordnung im Verband)

Abb. 317: Anordnungsmöglichkeiten der Schienen bei spiral-geführten Gasbehältern (Dempster, 1925, p. H2).**

Die spirale Führungstechnik basierte auf Schienen und Rollen und verlieh den Hubteilen einen schraubenförmigen Bewegungsmechanismus. Diese Technik durchlief einen Entwicklungsprozess, der sich primär in der unterschiedlichen Anordnung und der Laufrichtung der Schienen äußerte (Abb. 317):

- **Innen liegende, gleichläufige Schienen:**
Die ersten spiral-geführten Hubteile wurden mit innen liegenden, gleichläufigen Schienen und außen angeordneten senkrechten Ständern ausgestattet (A), an denen die Mantelbleche befestigt wurden.
- **Außen liegende, gleichläufige Schienen:**
Im zweiten Schritt wurden die Schienen an die Mantelaußenseite der Hubteile montiert (B, C) und die vertikalen Ständer nach innen gesetzt.⁶⁶¹
- **Außen liegende, gegenläufige Schienen:**
Bei diesem Modell wurde die vorgehende Anordnung beibehalten, nur dass die Schienen der einzelnen Hubteile jeweils gegenläufig ausgerichtet waren, sodass sich jedes Hubteil entgegengesetzt zum Vorgänger empor schraubte (D).⁶⁶²

Durch das kontinuierliche, schraubenförmige Drehen um die eigene Achse, war ein Kippen der Hubteile kaum möglich.⁶⁶³

661 Die außen liegende Anordnung verbesserte bzw. erleichterte zudem die Wartungsarbeiten (Tucker, 2014, p. 42).

662 Dempster, 1925, p. H2

663 Owler, 1896, p. 30; Stevenson, 1901, p. 61

1.4. Konstruktion

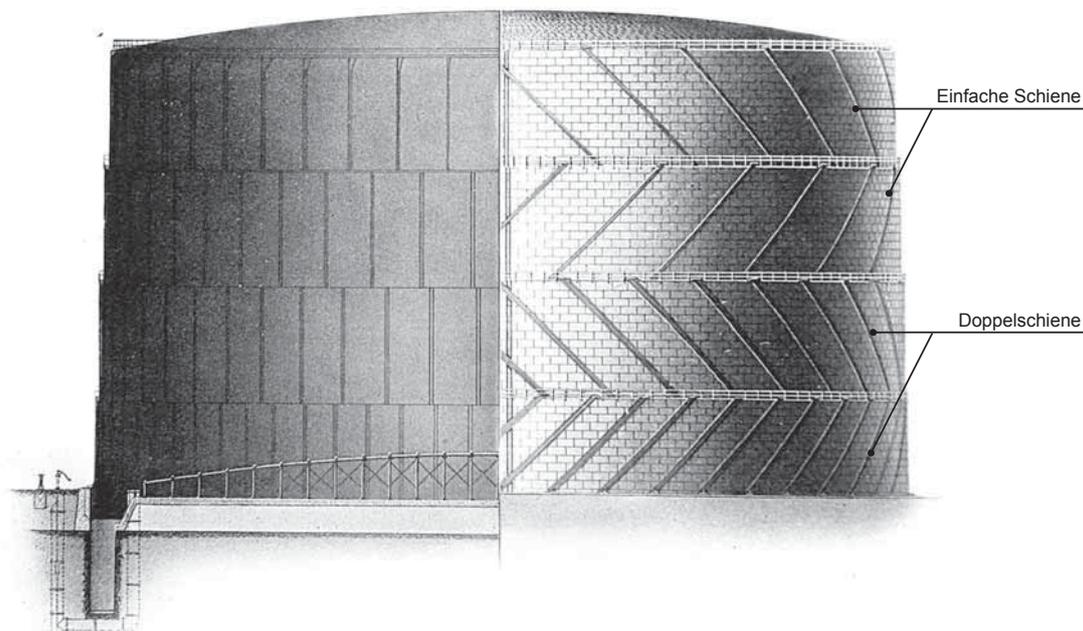


Abb. 318: Vierhubiger Schraubengasbehälter mit einfachen und Doppelschienen (Dempster, 1925, p. H8).

Die Ausführung von spiral-geführten Gasbehältern war sowohl ein- als auch mehrhubig möglich. Die Konstruktion und die Form des Wasserbeckens und der Hubteile lehnte sich grundsätzlich an die der Gerüst-geführten Gasbehälter an.

Während die Beckenkonstruktion schlanker ausfallen konnte, da anstelle der Säulen oder Stützen nur noch die Rollenanschlüsse verankert werden mussten, war verstärkt auf eine ausreichend tragfähige und formsichere Ausführung der Hubteile zu achten⁶⁶⁴: Die konventionelle Mantelkonstruktion erfuhr durch den Anschluss der diagonalen Schienen eine zusätzliche Aussteifung der Mantelfläche (Siehe Kap. C.2.2.-6.4.)⁶⁶⁵, die nun zusammen mit den Mantelständern von beiden Seiten unterstützt wurde. Zudem wurden die Tassenanschlüsse⁶⁶⁶, der untere Ringträger des letzten Hubteils⁶⁶⁷, die Mantelblechstärke und die Rollen stärker bemessen, da diese größere Kräfteinwirkungen aufzunehmen hatten als bei Gerüst-geführten Hubteilen.⁶⁶⁸

Eine weitere Verbesserung erfuhr die Mantelkonstruktion schließlich durch den Einsatz von größeren Mantelblechen, die im Verband angeordnet und vernietet wurden (Abb. 317, C, D)⁶⁶⁹.

Bei der Kuppelkonstruktion riet Meade, 1916 grundsätzlich von der binderlosen Ausführung ab⁶⁷⁰.

Die spirale Führungstechnik machte sich v.a. bei dem Bau von großen Teleskopgasbehältern bezahlt (Abb. 318)⁶⁷¹, da diese eine Kostenersparnis zwischen 15 und 20% bewirkte, verglichen zu dem kon-

664 Dempster, 1925, p. H2

665 Wehrmann, 1954, p. 59

666 Hunter, 1897, pp. 82–85; Hunt, 1900, p. 163

Deshalb wurde der Beheizung der Tassen besondere Bedeutung zugemessen (Hunter, 1897, pp. 82–85).

667 Livesey, 1888, p. 847

668 JGL-55, 1890, pp. 106–107; Herring, 1893, p. 277; Stevenson, 1901, pp. 62–63; Meade, 1916, p. 450

669 Dempster, 1925, p. H2

670 Meade, 1916, p. 450

671 Der aufgeführte, vierhubige Gasbehälter (V= ca. 340.000m³) war ursprünglich sogar mit sechs Hubteilen geplant (Dempster, 1925, H8).

ventionellen feststehenden Gerüst ⁶⁷². Bei Gasbehältern dieser Größenordnung kam es v.a. auf die Anordnung, Lage und Anzahl der Schienen und Rollen an (Siehe folgendes Kapitel); so wurden z.B. die oberen Hubteile des soeben aufgeführten Beispiels mit einer einfachen Schiene und die unteren beiden Hubteilen mit einer Doppelschiene ausgestattet. ⁶⁷³

1.5. Schienen und Rollen

1.5.1. Schiene

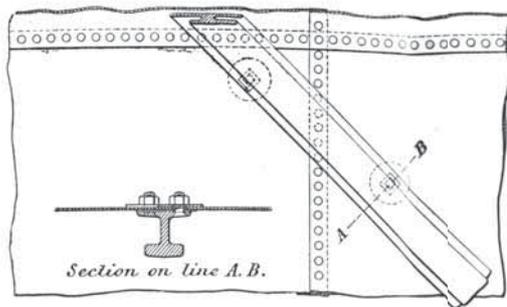


Abb. 319: Befestigung der einfachen Schiene ohne Schienenblech (Hunter, 1897, p. 84i).

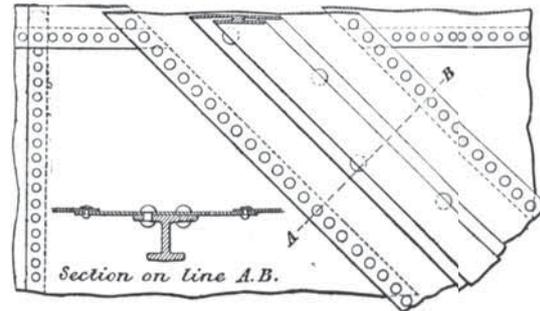


Abb. 320: Befestigung der einfachen Schiene mit Schienenblech (Hunter, 1897, p. 84i).

Die Führungsschienen hatten tatsächlich in der Regel einen schienenförmigen Querschnitt – übernommen aus dem Eisenbahnbau ⁶⁷⁴ – und wurden zunächst als **einfache Schiene** direkt auf der Mantelhaul befestigt (Abb. 319). Dieser Anschluss führte jedoch zur Entstehung von Korrosionsschäden: Die Ausführung eines vollflächigen Kontakts zwischen der Schiene und den vernieteten Mantelblechen war kaum möglich, sodass sich an diesen Stellen Wasser sammelte. Um dies zu verhindern wurde ein Bindeblech – das sogenannte **Schienenblech** als Bindeglied eingefügt (Abb. 320) ⁶⁷⁵, das sowohl den Anschluss der Schiene, als auch die Stabilität des gesamten Hubteils verbesserte. Dieses Schienenblech war ungefähr dreimal so breit ($b = \text{ca. } 254\text{--}305\text{mm}$) wie der anschließende Flansch des Schienenprofils. ⁶⁷⁶

Am oberen Ende war die Schiene mit einer Schutz- bzw. Stoppvorrichtung ⁶⁷⁷ ausgestattet (Abb. 321), die bei einem Versagen der Taschenkonstruktion für das Arretieren des Ausfahrmechanismus sorgte:

Der Schienenkopf ragte über die Oberkante der Haktasse hinaus, wurde über ein zusätzliches Bindeblech stabilisiert und mit einem

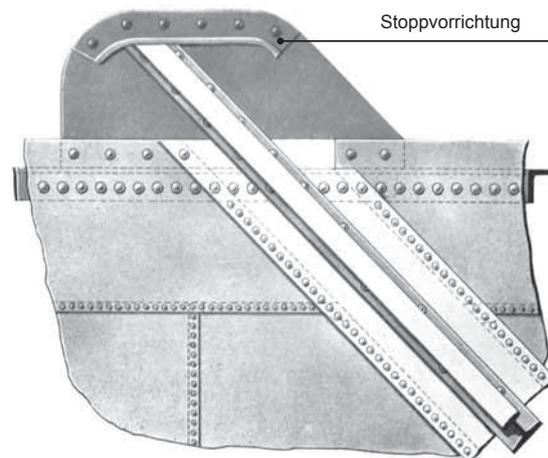


Abb. 321: Schienenan- und -abschluss (Dempster, 1925, p. H28).**

⁶⁷² Milbourne, 1929, p. 10

⁶⁷³ Meade, 1916, p. 449; Dempster, 1925, p. H5

⁶⁷⁴ Nachdem bei dem ersten spiral-geführten Gasbehälter in Northwich I-förmige Querschnitte zum Einsatz kamen und nach Newbigging grundsätzlich auch U-Eisen möglich waren, setzte sich schließlich der schienenförmige Querschnitt durch (JGL-55, 1890, pp. 106–107).

⁶⁷⁵ Das Schienenblech wurde 1894 von Dempster patentiert (JGL-64, 1894, p. 1121).

⁶⁷⁶ Hunter, 1897, p. Dempster, 1925, p. H89

⁶⁷⁷ Meade, 1916, p. 451

horizontalen Winkleisen abgeschlossen.⁶⁷⁸

Die Rollen liefen jeweils an beiden Seiten des Schienensteges auf und ab; je nach Größe wurden ein oder zwei Rollenpaare eingesetzt (Siehe folgender Abschnitt).⁶⁷⁹

Bei Gasbehältern mit einem Durchmesser über 76,20m empfahl sich der Einsatz der sogenannten **Doppelschiene** (Abb. 322), die die Betriebs- und Standsicherheit der Hubteile gewährleistete.⁶⁸⁰

Der Schienenabstand war eine wichtige Stell-schraube, der von der Hubteilgröße, Hübigkeit und Mantelblechgröße abhängig war. Das Eigengewicht der Hubteile nahm beim Ausfahren kontinuierlich zu; deshalb empfahl es sich, den Schienenabstand bei den unteren Hubteilen zu verringern (Abb. 318), um die Mantelkonstruktion zu verstärken.

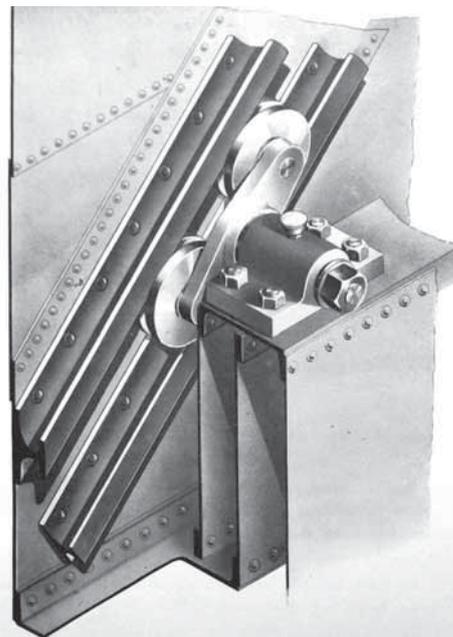


Abb. 322: Doppelschiene mit einem hintereinander geschalteten Rollenpaar (Dempster, 1925, p. H29).

1.5.2. Rollen

Der Rollenanschluss richtete sich nach der Hubteilgröße und -anzahl, sowie der Ausführung als einfache- oder Doppelschiene. Im Gegensatz zu den Gerüst-geführten Hubteilen wurden die Rollen nur außenseitig angeordnet⁶⁸¹. Man unterschied grundsätzlich zwischen dem zwei- und vierfachen Rollenanschluss.

Der zweifache Rollenanschluss

Der Anschluss mit zwei Rollen wurde bei der einfachen und der Doppelschiene verwendet:

- Die einfache Schiene wurde beidseitig von einer Rolle flankiert, deren Lager direkt oder über zusätzliche Bauteile (z.B. Kopfplatte, U-Eisen, etc.) auf der Haktasse montiert wurde (Abb. 323). Bei dem Anschluss an das Wasserbecken wurden teilweise auch größere Distanzstücke eingesetzt (Abb. 326). Diese Ausführung kam v.a. bei kleinen bis mittelgroßen Gasbehältern zum Einsatz.⁶⁸²
- Bei Doppelschienen liefen die Rollen zwischen den beiden parallel angeordneten Schienen und belasteten den Schienensteg jeweils nur einseitig (Abb. 322). Diese Anordnung eignete sich für große, mehrhübe Gasbehälter.

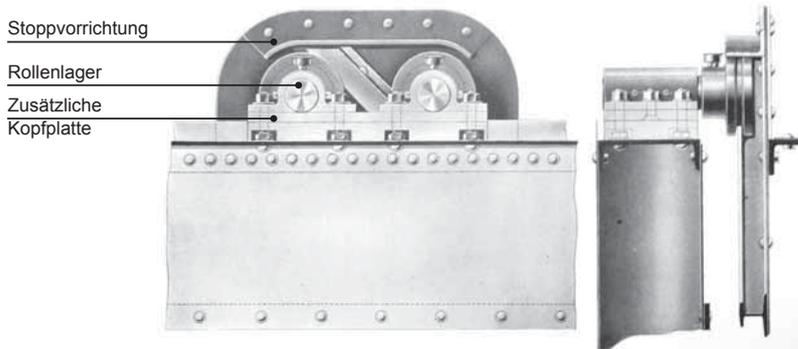


Abb. 323: Zweifacher Rollenanschluss auf einer Haktasse (Dempster, 1925, p. H32).**

678 Dempster, 1925, p. H28
 679 Dempster, 1925, p. H4
 680 Meade, 1916, p. 450; Dempster, 1925, pp. H28–H29
 681 Milbourne, 1929, p. 10
 682 Dempster, 1925, pp. H32–33

Der vierfache Rollenanschluss

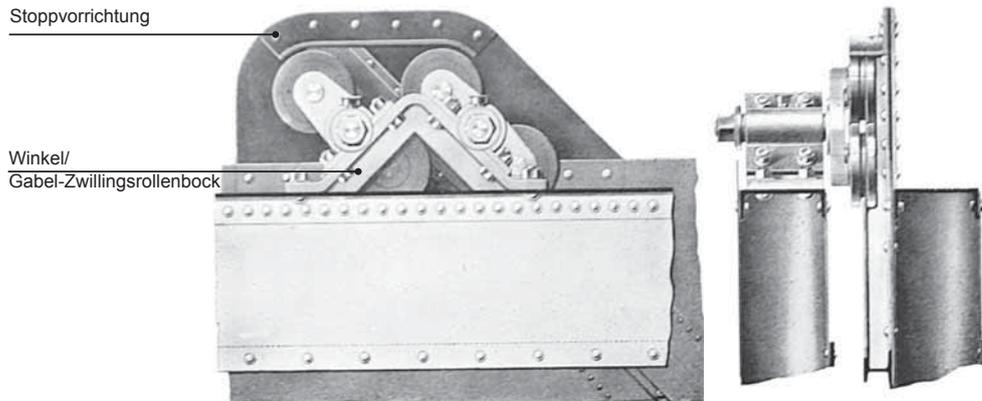


Abb. 324: Gabel-Zwillingsrollenbock (Dempster, 1925, H30).**

Bei diesem Anschluss wurde der Führungsmechanismus mit einer einfachen Schiene verstärkt und verbessert, indem zu beiden Seiten ein Rollenpaar angesetzt wurde.

Die Befestigung der Rollenlager erfolgte entweder mit einem Winkelement (Abb. 324) – dem sogenannten Gabel-Zwillingsrollenbock – oder mit einer senkrechten, quadratischen Platte (Abb. 325).⁶⁸³

Der vierfache Rollenanschluss wurde v.a. bei größeren Hubteilen eingesetzt und stellte eine Alternative zum Einsatz von Doppelschienen dar.

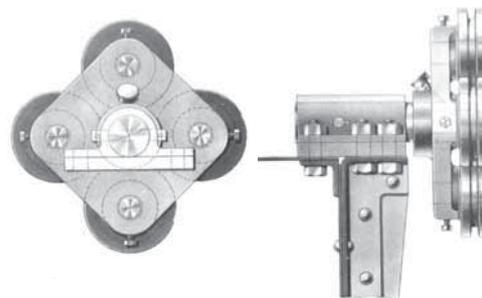


Abb. 325: Vierfacher Rollenanschluss mit Platte (Dempster, 1925, H31).

Bei gemauerten Wasserbecken wurden die Rollenlager mit Ankerbolzen und geeigneten Distanzstücken wie z.B. Doppel-T- oder U-Eisen (Abb. 326) befestigt, während bei einer Beckenkonstruktion aus Guss- oder Schmiedeeisen der Anschluss prinzipiell wie bei der Haktasse aufgebaut war (s.o.)⁶⁸⁴; ggf. wurde die Auflagerfläche durch die Anordnung von Konsolen erweitert.

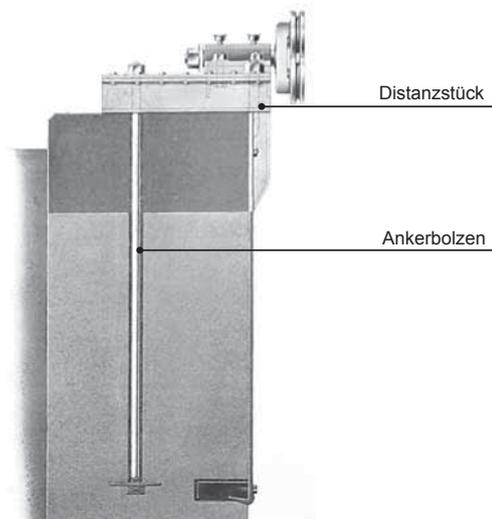


Abb. 326: Anschluss des Rollenlagers mit dem Wasserbecken (Dempster, 1925, p. H40).**

683 Dempster, 1925, pp. H30–31. – Beide dargestellten Anschlüsse folgten dem Patent Bearscoats.

684 Dempster, 1925, p. H36

1.6. Gebaute Beispiele

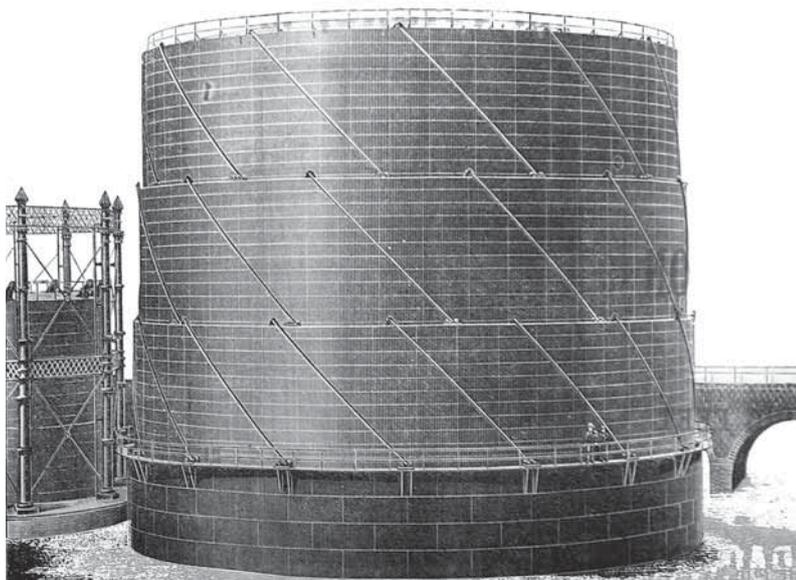


Abb. 327: Dreihübiger, gleichläufiger Schraubengasbehälter, Chester (JGL-63, 1894, p. 1063).

1894 wurde in Chester (Abb. 327) ein dreihübiger, gleichläufiger Schraubengasbehälter ($D_{\text{Becken}} = 31,09\text{m}$; $H_{\text{Becken}} = 7,46\text{m}$) gebaut. Die Schienen waren ursprünglich direkt auf die Mantelbleche montiert, bevor dieser Anschluss mit einem zusätzlichen Schienenblech ertüchtigt wurde.⁶⁸⁵

Der Schienenabstand wurde bei den unteren Hubteilen reduziert; das genietete Wasserbecken war leicht in das Gelände eingetieft und war entlang der Oberkante mit Konsolen ausgestattet, an denen die Rollenanschlüsse befestigt wurden.

Da sich diese Führungstechnik v.a. bei großen, mehrhübigen Schraubengasbehältern auszahlte, war die einhübige Ausführung, wie sie 1903 für Meltham ($D = 21,34\text{m}$; $H = 6,10\text{m}$) entworfen wurde (Abb. 328), eher selten.

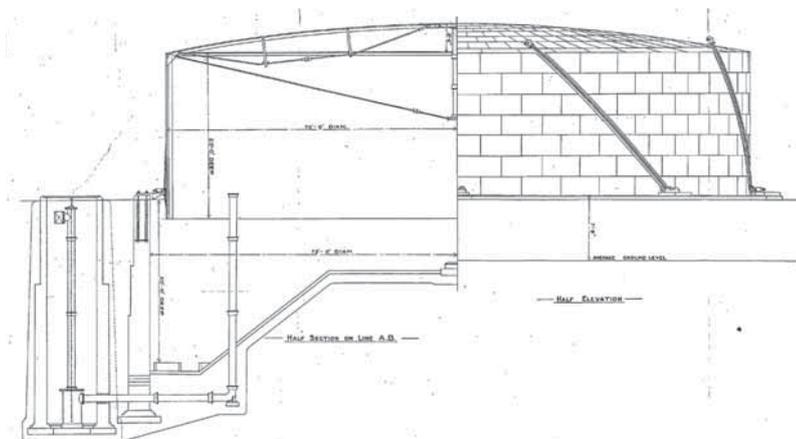


Abb. 328: Entwurf für einen einhübigen Schraubengasbehälter in Meltham (NGA, NEMEU/E/E/1).

⁶⁸⁵ Hunter, 1897, pp. 82–84
Ein Jahr davor – 1893 – wurde der erste dreihübige Schraubengasbehälter ($V = 33.000\text{m}^3$) nach dem Patent von Gadd & Mason in Deutschland – Hamburg, Altona von der Firma Klönne errichtet. Dieser blieb bis 1929 der einzige Schraubengasbehälter Deutschlands (o. A., 1929, p. 54).

Wurden die spiral-geführten Gasbehälter anfangs noch sehr kritisch ob ihrer Sicherheit und Funktionalität betrachtet und in den ersten 20 Jahren nur für mittelgroße Behälter eingesetzt⁶⁸⁶, so entwickelten sie sich doch zu einer kostengünstigen Alternative zum Gerüst-geführten Vorgänger⁶⁸⁷, dessen Effizienz v.a. bei zunehmender Gasbehältergröße bestach⁶⁸⁸. Des Weiteren eignete sich die spirale Führungstechnik auch für die Erweiterung bestehender Gasbehälter mit fliegenden Hubteilen (Siehe Kap. C.2.2.-7.3.).

1910 wurde vermutlich der erste vierhüblige Schraubengasbehälter in Oldham gebaut, dessen Proportionen Gadd hervorhob: Nachdem es ihm anfangs nicht erlaubt war, Behälter mit einer Höhe zu errichten, die 2/3 des Durchmessers überstiegen, konnte er die Funktionalität der spiralen Führungstechnik auch bei großen Gasbehältern in Oldham unter Beweis stellen. Dort war die Gesamthöhe erstmals größer als der Durchmesser.⁶⁸⁹

1925 wurde der Stadt Carlisle ein Entwurf für einen vierhübligen Schraubengasbehälter ($V = 56.634 \text{ m}^3$) vorgelegt (Abb. 329). Die Hubteile ($D_{\text{Hubteil}} = 44,50 \text{ m}$; $H_{\text{Hubteil}} = 8,99 \text{ m}$) waren gegenläufig konzipiert und sowohl der Abstand der innen liegenden Mantelständer, als auch der außen liegenden Schienen wurde zum unteren Hubteil hin deutlich kleiner. Das schmiedeeiserne Flachbodenbecken war leicht eingetieft und mit Konsolen ausgestattet.

Die flexible Anpassung der spiralen Führungstechnik auf verschiedene Gasbehältergrößen zeigte auch eine weit reichende Angebotspalette der KW Dempster von 1925: Vom einhübligen Schraubengasbehälter mit 28 m^3 Nutzvolumen bei einem Durchmesser von $3,70 \text{ m}$ bis hin zum vierhübligen Gasbehälter mit 141.584 m^3 mit einem Durchmesser von $60,96 \text{ m}$ ⁶⁹⁰.

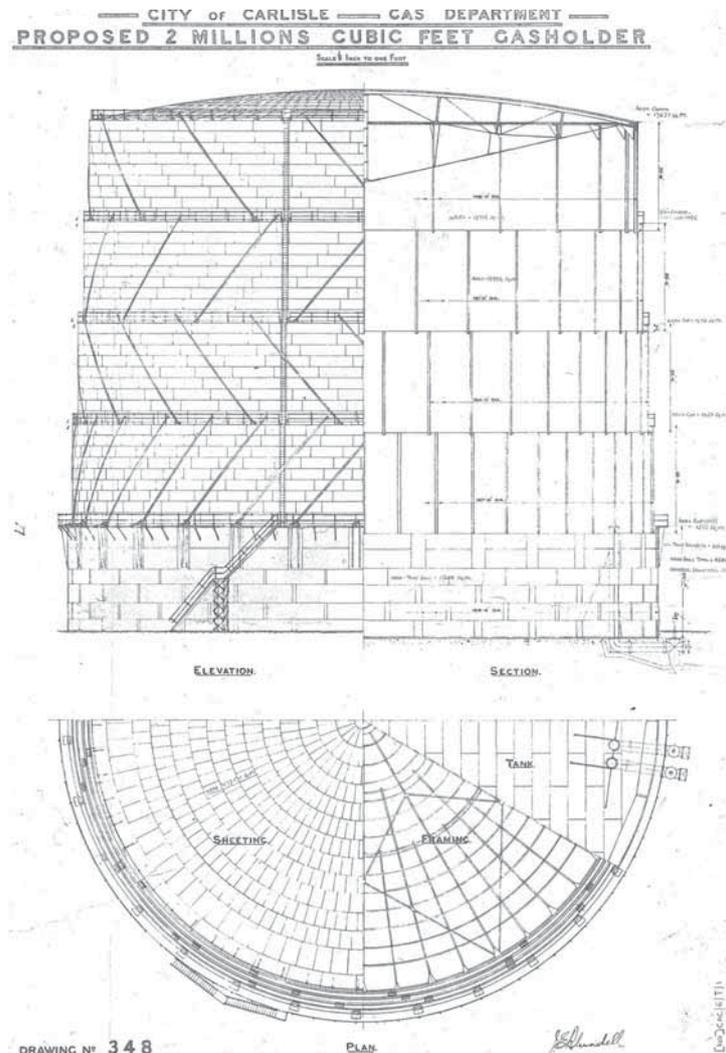


Abb. 329: Entwurf für einen vierhübligen Schraubengasbehälter in Carlisle (NGA, NOCAC/E/T/1).

686 Milbourne, 1929, p. 10. – Ende des 19. Jahrhunderts wurden schon insgesamt zwischen 40 und 50 Schraubengasbehälter errichtet (Hunt, 1900, p. 163).

687 Meade, 1916, p. 449

688 Owler, 1894, p. 30. – Nach Owler war die spirale Führungstechnik auch für Gasbehälter mit sehr flach ausfallenden Hubteilen – sogenannten „frying pan gasholders“ (dt.: Bratpfannen-Gasbehältern) – geeignet.

689 Elton, 2014, p. 224

690 Dempster, 1925, pp. H114–115

Der spiral-geführte Gasbehälter erwies sich bis weit in die Mitte des 20. Jahrhunderts als effiziente, kostensparende Konstruktionsform⁶⁹¹; so wurde z.B. in Linacre, Liverpool im Zeitraum 1947–1950 ein dreihübiger Schraubengasbehälter errichtet, dessen Schienen außen liegend und gegenläufig angeordnet waren. Die nachfolgenden Bilder zeigen den Baufortschritt von der Montage der Kuppel und dem unteren Hubteil (*Abb. 330, Abb. 331*), bis zur Fertigstellung (*Abb. 332*).

691 Hunt, 1900, p. 165; Milbourne, 1923, p. 4; Dempster, 1925, H36

Montage der Kuppel- und Mantelbleche des unteren Hubteils.

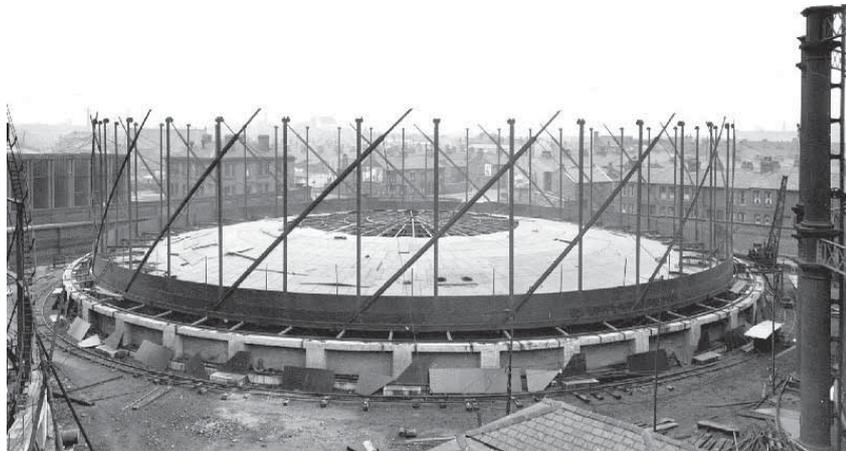


Abb. 330: Montage I, Linacre-Liverpool, 14.4.1949 (NGA, BG1/NW/1/41-53).

Montage der oberen Blechreihen des unteren Hubteils.



Abb. 331: Montage II, Linacre-Liverpool, 20.5.1949 (NGA, BG1/NW/1/43-53).

Fertigstellung und Eindeckung des Kuppelscheitels.



Abb. 332: Montage III, Linacre-Liverpool, 16.6.1950 (NGA, BG1/NW/1/50-53).

2. Seil-geführter Gasbehälter

2.1. Erfindung

Parallel zur Erfindung des Schraubengasbehälters stellte der Ingenieur *Edward Lloyd Pease** 1887 den Seil-geführten Gasbehälter vor, dessen Hubteile ebenfalls kein feststehendes Gerüst benötigten⁶⁹²:

Diese Führungstechnik basierte auf einer raffinierten Anordnung von Seilen und Rollen, die entlang der Mantel- und/ oder der Kuppelaußenseiten verliefen und dabei das lineare Auf- und Abbewegen des oder der Hubteile sicherten. Die vertikalen Seile ersetzten die vorgehenden Säulen bzw. Stützen und waren mindestens an drei vertikalen Achsen vor dem Hubteil anzusetzen.

Die grundsätzlichen Anordnungsmöglichkeiten wurden von Pease 1888 in seiner Patentschrift erläutert: Die vertikalen Seile benötigten eine horizontale Umlenkung bzw. Kopplung untereinander; dies war entweder unterhalb des Behälters, oberhalb des Wasserbeckens (*Abb. 333*) oder auf dem Hubteil möglich (*Abb. 334*).⁶⁹³

Eine frühe Planung für die Führung eines einhubigen Gasbehälters (*Abb. 333*) bestand aus vier vertikalen Seilen⁶⁹⁴, die jeweils an auf der Kuppel befindlichen Bockkonstruktionen befestigt waren und kurz oberhalb des Wasserbeckens in die Horizontale umgelenkt wurden; bei der nächsten Seilachse wurden die Seile erneut nach unten geführt und am unteren Hubteilabschluss befestigt. Insgesamt setzte sich schließlich der Aufbau mit der Seilumlenkung auf der Kuppel durch (*Siehe folgendes Kapitel*).

Obwohl Pease bis 1933 unermüdlich an verschiedenen Verbesserungen seines Systems arbeitete⁶⁹⁵, nahm der Seil-geführte Gasbehälter eher eine untergeordnete Rolle in der Gruppe der „gerüstlosen“ Gasbehälter ein und wird in diesem Abschnitt vielmehr als Exkurs dargestellt⁶⁹⁶.

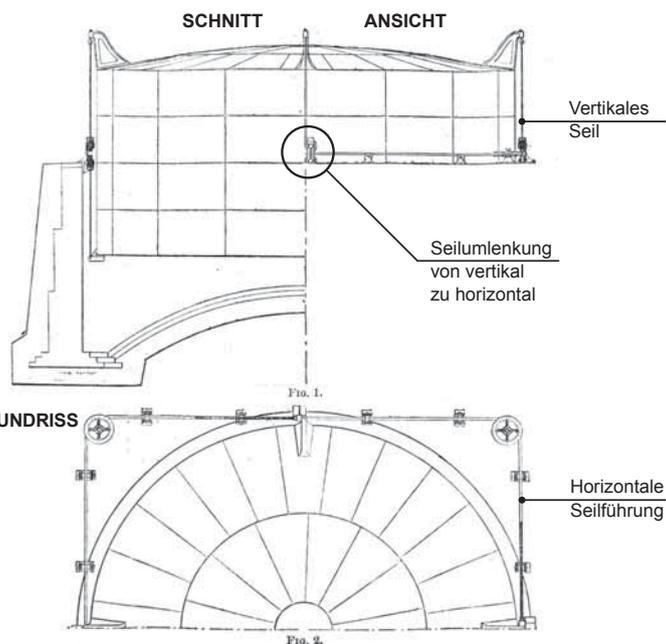


Abb. 333: Einhubiger Gasbehälter mit Seilführung mit horizontaler Kopplung der Seile oberhalb des Beckens (JGL-54, 1889, p. 699).**

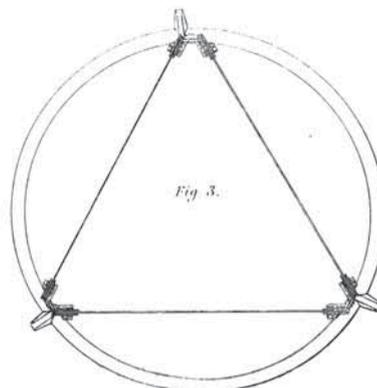


Abb. 334: Einhubiger, Seil-geführter Gasbehälter mit Anordnung der Seile auf der Kuppel (Pease, 1888, p. 1113).

692 Pease, 1896, p. 59

1851 wurde ein Patent auf Joshua Horton ausgestellt, das einen linear geführten Gasbehälter ohne Gerüst vorsah. Demnach wurden die Führungsschienen im und am Wasserbecken befestigt und ragten frei nach oben; zur gegenseitigen Stabilisierung konnten letztere ggf. am oberen Ende mit Zugseilen verbunden werden (JGL- 2, 1851, p. 145).
Anm. d. Verfasserin: Eine regelmäßige Ausführung dieser Form konnte nicht festgestellt werden.

693 Pease, 1888, pp. 1113–1114; JGL-54, 1889, p. 699; Oowler, 1894, p. 32

694 JGL-54, 1889, p. 699

695 Elton, 2014, p. 491

696 Anm. d. Verfasserin: Aus selbigem Grund wurde der Seil-geführte Gasbehälter zwar in der übergeordneten Kategorisierung der Arbeit aufgenommen, im Gesamtkontext aber nicht weiter thematisiert – mit der Ausnahme des fliegenden Hubteils.

2.2. Funktion

Grundsätzlich wurden jeweils zwei Säulen bzw. Stützen durch ein Seilpaar ersetzt.

Die Anordnung eines Seilpaares und der aus dem Betrieb resultierende Mechanismus werden im Folgenden anhand eines Glockengasbehälters nach Stevenson, 1901 dargestellt (Abb. 335):

Das Seil wurde am Becken befestigt (A) und lief über zwei auf dem Hubteildach angebrachte Rollen (B) entlang der Hubteilaußenseite bis zum Fußpunkt, an dem eine weitere Rolle (C) angeordnet war. Über letztere wurde das Seil wieder umgelenkt, an die Beckenoberkante geführt und fixiert (D).

Das zweite Seil wurde parallel zum ersten gesetzt, nur dass die Abfolge der Anschlüsse umgekehrt war. Dies war notwendig, um die axiale Position des Hubteils bei ankommenden, einseitigen Kräften wie Wind bewahren zu können.⁶⁹⁷

Durch diese Rollenordnung – insbesondere der Rolle am unteren Rand des Hubteils (C) – wurde eine gleichmäßige Spannung auf die gesamte Seillänge ausgeübt. Diese verhinderte eine Lockerung und Erschlaffung des Seils aufgrund der variierenden Hubteilposition, die von den jeweiligen Speicherständen ausging (Abb. 336):

- Bei **vollem Speicherstand** bestand die Seilfigur aus einem Rahmen, der entlang der Hülle des Hubteils verlief.
- Im **halb gefüllten Zustand** stellte das Seil einen niedrigen Rahmen dar. Die überschüssige Seillänge wurde von der unteren Rolle umgelenkt und wieder nach oben an die Beckenoberkante geführt.
- Im **Leerstand** war keine Rahmenfigur mehr erkennbar. Das Seil lief sofort horizontal über das Dach hinweg zur anderen Beckenseite, wurde über die vollständige Hubteilhöhe umgelenkt, bevor es am Beckenrand endete.⁶⁹⁸

Je mehr Seilpaare angeordnet waren, desto präziser war das Auf- und Abbewegen des Hubteils.

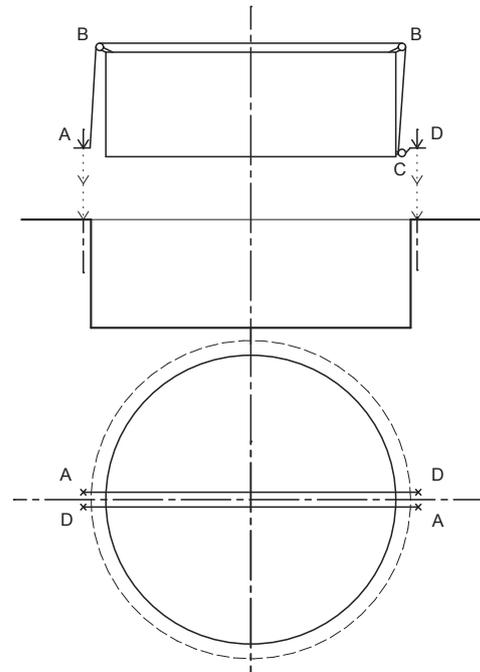


Abb. 335: Prinzipskizze zur Anordnung eines Seilpaares (Schema, BB, 2016).

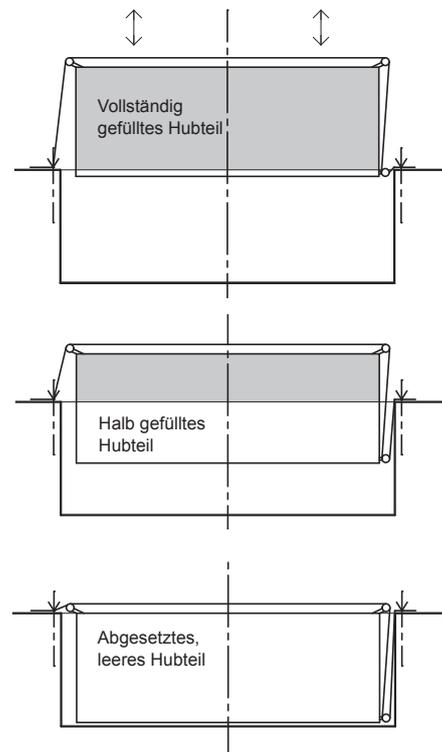


Abb. 336: Funktionsschema des Seil-geführten Gasbehälters (Schema, BB, 2016).

⁶⁹⁷ Stevenson, 1901, p. 63

Zu weiteren Anordnungsmöglichkeiten von Seilen in der Frühphase siehe auch Hunt, 1900, pp. 164–165; bei dieser Anordnung wurden die Seile nicht über die Kuppel hinweg, sondern über eine rechteckige Ringträgerkonstruktion oberhalb der Mauerkrone des Beckens umgelenkt.

⁶⁹⁸ Stevenson, 1901, p. 63

2.3. Konstruktion

Grundsätzlich musste die Hubteil- und Beckenkonstruktion eines Seil-geführten Gasbehälters die gleichen Anforderungen wie die eines spiral-geführten Gasbehälters erfüllen, nur dass die linear auf- und absteigenden Hubteile einer gleichbleibenden Windangriffsrichtung ausgesetzt waren; zudem erforderte diese Führungstechnik andere Anschlussdetails:

Diese bestanden lediglich aus dem Rollenanschluss: Die Rollen bzw. Räder waren an den oberen und unteren Abschlüssen oder der Kuppel befestigt und ermöglichten dem Seil einen sicheren Lauf – ähnlich wie bei den Rollenböcken der Gerüst-geführten Hubteile. Die Seilenden wurden am Becken befestigt. Für die Ausführung des Seiles wurde meist ein Stahlseil gewählt ⁶⁹⁹.

Bei zunehmender Hübigkeit und Größe wurden v.a. die unteren Hubteile in den Achsen der Rollen mit außen liegenden Mantelständern verstärkt, die gleichzeitig als Führungsschiene für Mantelrollen dienten, die an der Beckenoberkante montiert waren (*Abb. 338*).

Das Schlüssel-Bauteil dieses Gasbehälters – das Seil – erwies sich jedoch als Schwachstelle der Konstruktion, da hier mit wiederkehrenden Korrosionsschäden zu rechnen war und die Seile folglich in regelmäßigen Abständen erneuert werden mussten ⁷⁰⁰.

Nachdem die Seil-geführte Technik 1890/91 erfolgreich bei den fliegenden Hubteilen als Erweiterungsmaßnahme von vier bestehenden Gasbehältern angewendet wurde (*Siehe Kap. C.2.2.-7.3.*), begann man gesamte Gasbehälter mit dieser Führungstechnik zu errichten.

2.4. Gebaute Beispiele

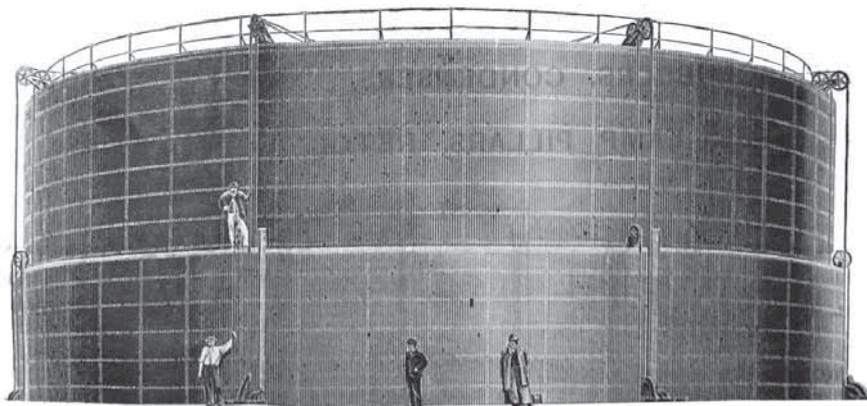


Abb. 337: Zweihübiger, Seil-geführter Gasbehälter in Bathurst nach Pease (JGL-64,1894, p. 109).

Um 1894 entstand in Bathurst, Australien ein zweihübiger, Seil-geführter Gasbehälter ($D= 24,99\text{m}$; $H_{\text{je Hubteil}} = 5,49\text{m}$) nach der Technik von Pease (*Abb. 337*); die beiden Hubteile wurden von vier Seilpaaren geführt, die oberhalb der Kuppel umgelenkt wurden.

699 Pease, 1896, p. 42; Stevenson, 1901, p. 57

700 Pease, 1896, pp. 61–66

Dieser Nachteil wurde von E.H. Millard – Präsident des Incorporated Gas Institute – nach der Vorstellung von Pease' Paper, 1896 angemerkt.

In Sligo (Abb. 338) bestand ebenfalls bereits um 1894 ⁷⁰¹ der erste Seil-geführte Gasbehälter mit drei Hubteilen ($D = 15,24\text{m}$; $H_{\text{je Hubteil}} = 9,14\text{m}$). Die Seilführung bestand aus drei Seilpaaren. Die beiden unteren Hubteile waren mit Mantelständern – aus U-Eisen – und entsprechenden Rollen ausgestattet, die jeweils an der Mauerkrone des Beckens bzw. auf der Haktasse des letzten Hubteils befestigt waren. ⁷⁰²

1895 wurde der seinerzeit größte Seil-geführte Gasbehälter in Middlesbrough fertig gestellt ($V = 63.713\text{m}^3$); dieser war mit drei Hubteilen ($D_{3\text{Hubteil}} = 56,08\text{m}$; $H_{\text{je Hubteil}} = \text{ca. } 9,14\text{m}$) konzipiert ⁷⁰³.

Nach Meade, 1916 war dieser Gasbehälter auch noch 20 Jahre später in Betrieb und war der größte seiner Art ⁷⁰⁴.

Diese Führungstechnik eignete sich für den Neubau von ein- und mehrhubigen Gasbehältern, sowie als Erweiterungsmaßnahme von bestehenden Gasbehältern (Siehe Kap. C.2.2.-7.3.). ⁷⁰⁵

Verglichen mit der vorgehenden, spiralen Führungstechnik (Siehe vorgehendes Kapitel) wurde der Seil-geführte Gasbehälter jedoch deutlich seltener gebaut.

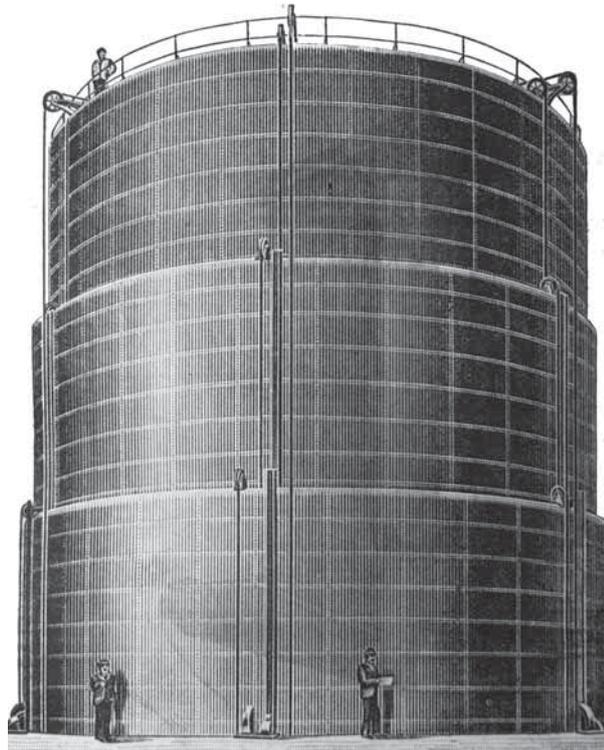


Abb. 338: Dreihübiger, Seil-geführter Gasbehälter in Sligo (JGL-65, 1895, p. 203).

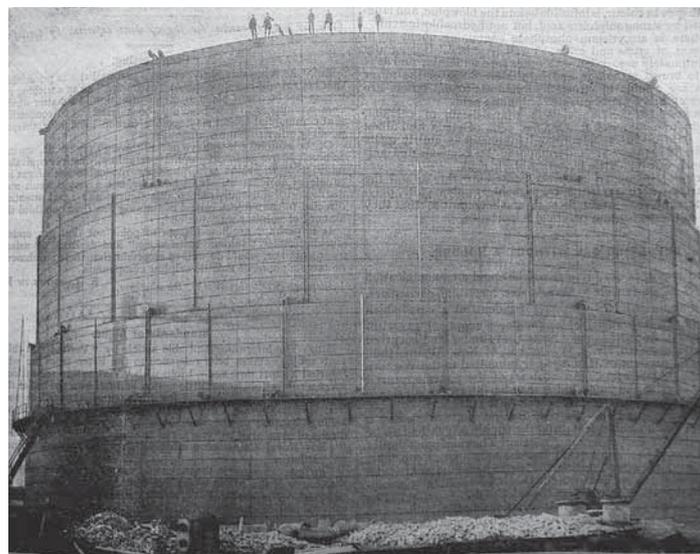


Abb. 339: Dreihübiger, Seil-geführter Gasbehälter in Middlesbrough (JGL-66, 1895p. 1089).

701 JGL-64, 1894, p. 109

702 Pease, 1896, p. 44

703 JGL-66, 1895, pp. 884, 1088–1089. – Zur genauen Seilführung siehe JGL-66, 1895, pp. 1088–1089.

704 JGL-66, 1895, p. 884; Meade, 1916, p. 424; Elton, 2014, p. 491

705 Owler, 1894, pp. 31–32

3. Zusammenfassung – Gasbehälter ohne Führungsgerüst

Ende des 19. Jahrhunderts setzte aufgrund der in die Höhe schießenden, aufwendigen, kostenintensiven Gerüstkonstruktionen ein Umdenken was die Führungstechnik von Hubteilen betrifft ein, die bislang auf besagtem Gerüst basierte. Nach der erfolgreichen Umsetzung des ersten fliegenden Hubteils 1887 durch *George Thomas Livesey** (Siehe Kap. C.2.2.-7.2.) entstanden erste **gerüstlose Gasbehälter**.

Dies war der Anbeginn einer neuen Ära im Gasbehälterbau, da sich diese innovativen Gasbehälter nicht mehr mit einem weit aufragenden Gerüst, sondern allein mit den Hubteilen präsentierten. Diese verliehen dem Gasbehälter je nach Speicherstand ein variierendes Erscheinungsbild, das bei Leerstand sogar vollständig von der Oberfläche verschwinden konnte ⁷⁰⁶.

Folglich wurde diese neue Gasbehälterform vielmehr von seiner Funktion, als von der Konstruktion bestimmt.

Die gerüstlose Gasbehälterform war durch eine spirale oder Seil-geführte Technik möglich, wobei beide Techniken sowohl für ein-, als auch für mehrhubige Gasbehälter anwendbar waren, sowie eine einfache und günstige Erweiterungstechnik für bestehende Gasbehälter darstellten:

- Die spirale Führungstechnik von *Gadd & Mason** fußte auf der Anordnung von diagonalen Führungsschienen auf der Manteloberfläche und Rollen an den Haktassen sowie dem Beckenrand; bei mehreren Hubteilen war die Schienenausrichtung entweder ein- oder gegenläufig möglich. Durch die Anordnung der Mantelständer erfuhr die Hubteilkonstruktion ein zusätzliches, verstärkendes Bauteil.
- Die Seil-geführte Technik von *Edward Llyod Pease** unterstützte den linearen Ein- und Ausfahrmechanismus der Hubteile mit Seilen, die über Rollen parallel zu den Mantel- und Kuppelflächen verliefen.

Die Form und die Konstruktion von Wasserbecken und Hubteilen entsprach grundsätzlich der Gerüst-geführten Ausführung, wobei insbesondere der Hubteilkonstruktion aufgrund der erhöhten Beanspruchung besondere Aufmerksamkeit beizumessen war.

Insgesamt war die spirale Führungstechnik die favorisierte Form des gerüstlosen Gasbehälters, die sich bis Mitte des 20. Jahrhunderts als äußerst kosten- und zeitsparende Alternative zu den konventionellen Gasbehältern mit Gerüst behauptete; dies traf v.a. bei sehr großen Ausführungen zu.

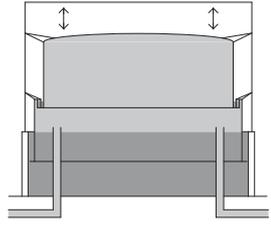
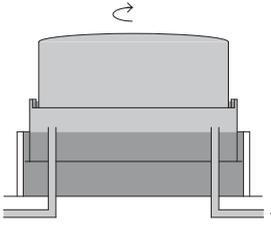
Trotz der innovativen, effizienten Bautechnik blieb der spiral-geführte Gasbehälter überwiegend ein englisches Phänomen; jedoch wurde er auch in anderen Ländern realisiert, die im Austausch mit England standen. ⁷⁰⁷

Ein abschließender Vergleich zwischen dem klassischen Führungsgerüst und der spiralen Führungstechnik, ist in der nebenstehenden Tabelle (Tab. 38) dargestellt. ⁷⁰⁸

706 Nach Hunter, 1897 war das Erscheinungsbild gerüstloser Gasbehälter rein funktional: „(...) that the appearance of those gasholders is not at all attractive. There is nothing graceful or beautiful about them, and they do not lend themselves to ornamentation ; (...)“
„(...) dass das Erscheinungsbild dieser [Schrauben-] Gasbehälter überhaupt nicht attraktiv ist. Sie haben nichts Anmutiges oder Schönes an sich, und sie eignen sich nicht zur Ornamentierung; (...)“ – (Hunter, 1897, p. 85 ; Übers. d. Verfasserin).

707 Tucker, 2014, p. 42

708 Weiterführende Versuche und Diskussionen zu Pro und Contra von gerüstlosen Gasbehältern, siehe Cripps, Pease, 1893.

Tab. 38: Vergleich des Führungsgerüsts mit der spiralen Führungstechnik		
	Führungsgerüst	Spirale Führungstechnik
		
Aufbau	Stützen/ Säulen, horizontale Träger, Windverbände, Vertikale Führungsschienen.	Diagonale Führungsschienen.
Anschluss	Verankerung der Säulen/ Stützen, an denen wiederum die Führungsschiene angeschlossen war, am Wasserbecken (Wandpfeiler, Konsolen, etc.).	Befestigung der Führungsschienen direkt an der Mantelfläche der Hubteile.
Rollenanordnung	Außen liegend ($OK_{Hubteil}$): Gerüst-, Beckenrollen, Innen liegend ($UK_{Hubteil}$): Mantelrollen.	Außen liegend ($OK_{Hubteil}$): Mantelrollen.
Rollenaufrichtung	Radial und/ oder tangential	Tangential
Ansicht	Gleichbleibende Ansicht durch das feststehende Gerüst (Ansicht wird nur durch den dynamischen Verlauf der Hubteile verändert).	Variierende Ansichtsbild bis hin zum vollständigen Verschwinden.
Bauzeit, -kosten	Hohe Bauteilanzahl > lange Bauzeit > hohe Baukosten	Reduzierte Bauteilanzahl > verkürzte Bauzeit > gesenkte Baukosten
Wartung	Nur die Gerüstrollen sind einsehbar (über Laufstege) – nicht die Beckenrollen.	Alle Rollen sind einsehbar (Laufstege, Treppenaufgänge, Leitern)
Lastabtragung der Hubteile	Hubteile > Rollen > Führungsschiene > Stützen/ Säulen > Wasserbecken > Baugrund	Hubteile > Führungsschiene > Rollen > Wasserbecken > Baugrund

C.2.7. ZUSAMMENFASSUNG – HYDRAULISCHER GASBEHÄLTER

Tab. 39: Überblick – Entwicklung des Gasbehälters bis ca. 1850

(GE – Gusseisen; SE – Schmiedeeisen; MW – Mauerwerk; *kursiv* – Annahme BB)

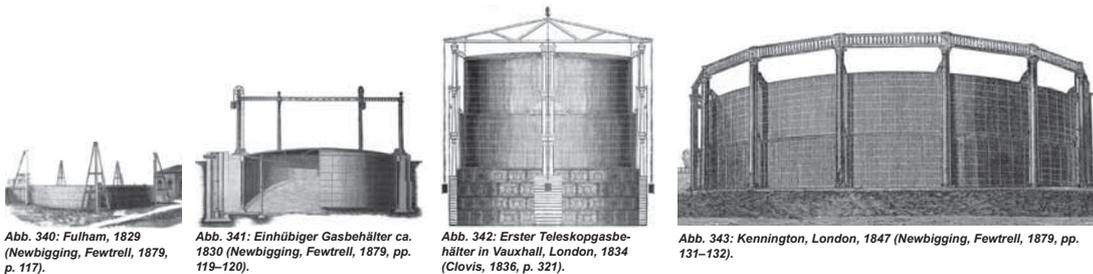


Abb. 340: Fulham, 1829 (Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 117).

Abb. 341: Einhübiger Gasbehälter ca. 1830 (Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 119–120).

Abb. 342: Erster Teleskopgasbehälter in Vauxhall, London, 1834 (Clovis, 1836, p. 321).

Abb. 343: Kennington, London, 1847 (Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 131–132).

Jahr, Ort, Ingenieur	D _{Becken} H _{Gerüst} (in m)	V (in m ³)	Hubteilanzahl	Kuppelkonstruktion	Führungsgerüst			Wasserbecken
					Gerüstform	Ringanzahl	Aufbau	
1829 Fulham, London	D= 15,20 H= ca. 5,50	ca. 1.000	1	Flachdach	Stützengerüst	1	Dreibestützen (GE)	Kegelstumpfbecken (MW)
ca. 1830 Ort/ Ing. unbek.	D= 12,20 H= 4,60	ca. 550	1	Kuppeldach, unterspannt	Rahmengerüst	1	Schlanke, 1-teilige Säulen (GE), Gitterträger (SE)	Kugelbodenbecken (MW)
1834 Vauxhall, London S. Hutchison	D= ca. 18,30 H= ca. 11,00	ca. 2.890	2	Kuppeldach, unterspannt	Rahmengerüst, Hochordnung	1	Doppelsäulen (GE), hölzernes Trägerkreuz	Flachbodenbecken (GE)
1847 Kennington, London	D= 45,72 H= ca. 12,00	17.840	2	Kuppeldach, unterspannt	Rahmengerüst, Hochordnung	1	Einzelne Hochsäulen (GE), Trägerkranz aus Kompositrägern (GE+SE)	Kegelstumpfbecken (MW)

„(...) Moreover, there is no portion of the gasworks that offers such scope for engineering skill, and certainly in only one other branch of gas engineering has such a revolution in construction taken place in recent years.“⁷⁰⁹

Anfang des 19. Jahrhunderts stellte der Gasbehälterbau sowie die Gasindustrie selbst einen neuen Sektor dar und die Ingenieure konnten kaum auf konstruktive Richtlinien zurückgreifen, sondern verließen sich auf ihre individuellen Erfahrungswerte. Deswegen hatte der Entwurfsprozess keinen standardisierten, sondern eher einen empirischen Charakter: Man lernte aus konstruktiven Fehlern und Unzulänglichkeiten.

Der hydraulische Gasbehälter war geprägt von einer weitreichenden Baukonstruktionsgeschichte, die von folgenden Faktoren beeinflusst wurde: Der ständig steigenden Gasnachfrage, den jeweils vorhandenen Baustoffen und der Bautechnik, den konstruktiven Fähigkeiten der Ingenieure und dem handwerklichen Geschick der Arbeiter. Diese Entwicklung zeichnete sich an jedem Bestandteil des Gasbehälters ab, der in der Regel einen dreiteiligen Aufbau hatte: Ein oder mehrere Hubteile, ein Führungsgerüst und ein Wasserbecken.

Das **Hubteil** – stellte den eigentlichen „Gasbehälter“ dar und bestand aus einer Mantel- und einer Kuppelkonstruktion, die über einen Eckringträger zusammengeschlossen wurden. Durch die Teleskopieretechnik war ab 1834 der Bau von mehrhubigen Gasbehältern möglich (Tab. 39, Abb. 342); der Anschluss der einzelnen Hubteile untereinander erfolgte über Tassen. Um ein geradliniges Auf- und

709 Der Ingenieur *Fletcher W. Stevenson** über den Gasbehälterbau Ende um 1900:
 „(...) Zudem gibt es keinen Bestandteil eines Gaswerks, das einen derartigen Spielraum für ingenieurtechnische Fähigkeiten bietet, und sicherlich gibt es nur einen Zweig im Gasingenieurwesen [Anm. d. Verfasserin: nämlich den Gasbehälterbau], auf dem sich in den letzten Jahren eine derartige konstruktive Evolution vollzogen hat.“ – (Übers. d. Verfasserin) (Stevenson, 1901, p. 56)

Tab. 40: Überblick – Entwicklung des Gasbehälters von 1860 bis ca. 1880

(GE – Gusseisen; SE – Schmiedeeisen; MW – Mauerwerk; *kursiv* – Annahme BB)



Abb. 344: Bethnal Green, London, 1866 (BB, 2015).

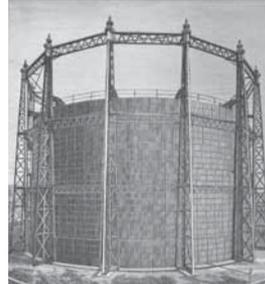


Abb. 345: Hove, 1876 (Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XXIII).



Abb. 346: Beckton, London, 1892 (BB, 2015).

Jahr, Ort, Ingenieur	D _{Becken} H _{Gerüst} (in m)	V (in m ³)	Hubteil-anzahl	Kuppelkonstruktion	Führungsgerüst			Wasserbecken
					Gerüstform	Ring-anzahl	Aufbau	
1866 (1858) * Bethnal Green, London, J. Clark	D= 40,64 H= ca. 22,00	25.485	2	Kuppeldach, unterspannt	Rahmengerüst, Additive Ordnung	2	Säulen (GE), Trägerkranz aus Kompositsträgern (GE+SE)	Kegeltumpfbecken (MW)
1876 Hove J. B. Paddon	D= ca. 31,00 H= ca. 22,20	ca. 16.000	3	Kuppeldach, unterspannt	Rahmengerüst, Additive Ordnung	3	T-förmige Stützen aus Fachwerkträgern (SE), Trägerkranz aus Fachwerkträgern (SE) + erster liegender Verband	Kegeltumpfbecken (MW)
1892 (1874) ** Beckton, London G. Trewby	D= ca. 58,00 H= ca. 22,00	226.535	4	Kuppeldach, <i>binderlos</i>	Rahmengerüst, Additive Ordnung	2	I-förmige Stützen (GE), Trägerkranz aus Gitterträgern (SE)	Kegeltumpfbecken (MW)

)* Der Prototyp wurde dort bereits 1858 errichtet.

)** Der Prototyp wurde bereits 1874 in Redeugh nach den Plänen V. Wyatts gebaut – mit gerippter Kuppel.

Abbewegen zu sichern, waren die Hubteile mit Rollen ausgestattet, die den Anschluss zum Führungsgerüst bzw. zum Wasserbecken herstellten.

Die sich stetig verbessernden Eisenwerkstoffe und die optimierte Konstruktionsweise der einzelnen Bauteile bildeten die Grundlage für größere Hubteile. Die konstruktiven Fortschritte zeigten sich v.a. an der Kuppelkonstruktion. Das ursprüngliche Flachdach wurde rasch von dem Kuppeldach abgelöst:

- Die unterspannte Kuppel war bis zu großen Spannweiten möglich, was den Konstruktionsaufwand und somit die Kosten deutlich in die Höhe trieb. Im Leerstand setzte sich die Luftstütze der Kuppel auf die zentrale Stütze im Becken ab.
- Im Gegensatz dazu stand die binderlose Kuppel, deren Konstruktion bis auf die im Becken befindliche Stützkonstruktion vollständig reduziert wurde.
- Das gerippte Kuppeldach war eher eine Randerscheinung, die sich ausschließlich zum Markenzeichen ihres Schöpfers *Vitruvius Wyatt** entwickelte. Diese Kuppelkonstruktion benötigte zwar keine Unterspannung, aber eine zentrale Beckenstütze für den Leerstand.
- Die sogenannte Stabwerkkuppel von *Johann Wilhelm Schwedler** revolutionierte 1874 die Kuppelkonstruktionen bei Gasbehältern, da sich die Bauteile ausschließlich in der Kuppel Ebene befanden und so einen stützenfreien Raum innerhalb der Hubteile ermöglichten. Die Schwedler-Kuppel verbreitete sich ausgehend von Berlin – nicht aber bei den englischen Gasbehältern, für die v.a. die unterspannte und die binderlose Kuppel favorisiert wurden.

Eine Sonderposition nahm das sogenannte fliegende Hubteil ein, das sich über die Gerüstoberkante hinweg hob; das fliegende Hubteil wurde von *George Thomas Livesey** 1887 erfolgreich eingeführt und legte den Grundstein für die gerüstlosen Gasbehälter.

Das **Führungsgerüst** – sicherte den linearen Aus- und Einfahrmechanismus der Hubteile, auf deren Größe und Anzahl das Gerüstgefüge grundsätzlich abzustimmen war. Nachdem die frühen, einhubigen

Tab. 41: Überblick – Entwicklung des Gasbehälters – von 1880 bis ca. 1890
(SE – Schmiedeeisen; MW – Mauerwerk; B – Beton; *kursiv* – Annahme BB)



Abb. 347: Old Kent Road, London, 1880 (BB, 2015).



Abb. 348: East Greenwich, London, 1889 (BB, 2015).



Abb. 349: Hornsey, 1892 (BB, 2015).

Jahr, Ort, Ingenieur	D _{Becken} H _{Gerüst} (in m)	V (in m ³)	Hubteil-anzahl	Kuppelkonstruktion	Führungsgerüst			Wasserbecken
					Gerüstform	Ring-anzahl	Aufbau	
1880 Old Kent Road, London, G. Livesey	D= 33,22 H= 38,63	155.743	3	Kuppeldach, binderlos	Verbandgerüst, Zweifache Auskreuzung	5	I-förmige, vollwandige Stützen (SE), kreuzförmige, horizontale Träger (SE), Verband aus Flacheisen	Kegelstumpfbecken (B)
1889 East Greenwich, London, G.+F. Livesey	D= 76,20 H= 60,35	232.198	4	<i>Kuppeldach, unterspannt oder binderlos</i>	Verbandgerüst, Dreifache Auskreuzung	6	Kastenförmige Stützen (SE), Trägerkranz aus Gitterträgern – kasten- förmig bzw. I-förmig (liegend) – (SE), Verband aus Flacheisenstäben	<i>Kegelstumpfbecken (MW)</i>
1892 * Hornsey S. Cutler	D= 34,44 H= ca. 33,50	26.561	3	Kuppeldach, unterspannt	Verbandgerüst, Trianguliert	1	I-förmige Stützen und diagonale Träger aus Fachwerkträgern (SE), abschlie- ßender, horizontaler Kastenträger	Kegelstumpfbecken (MW)

Gasbehälter auf einfachen Stützengerüsten basierten, wurden sie mit der Einführung des Teleskopgasbehälters zu Rahmengerüsten und ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts zu Verbandgerüsten ausgebaut. Mit jeder Erweiterung erfuhr das Gerüstgefüge grundsätzlich eine Verbesserung der Tragfähigkeit. Dazu trugen auch die optimierten Eisenwerkstoffe bei. Eine Zäsur bewirkte v.a. das Aufkommen des Schmiedeeisens: Die massiven Bauteile aus Gusseisen wurden durch zusammengesetzte, genietete Blechkonstruktionen ersetzt, die leichter und filigraner waren sowie eine größere Formenvielfalt ermöglichten. Dies zeigt die Entwicklung der Säulen bzw. Stützen:

- Gusseisen: Dreibein-Stützen für Stützengerüste (Tab. 39, Abb. 340), Säulen (Tab. 39, Tab. 40) und seltener auch als I-förmige Stützen (Tab. 40, Abb. 346).
- Schmiedeeisen: T-förmige Stützen (Tab. 40, Abb. 345), I-förmige (Tab. 41, Abb. 349) und kastenförmige Stützen (Tab. 42, Abb. 350); genietete Säulen aus Rundrohren kamen eher selten zum Einsatz. Diese Stützenkonstruktionen wurden zunächst als Gitter- und Fachwerkträger ausgeführt und ab 1880 auch als genietete, vollwandige I-Form (Tab. 41, Abb. 347).

Die einzelnen Gerüstformen – insbesondere das Rahmen- und Verbandgerüst – durchliefen jeweils mehrere Entwicklungsstadien mit verschiedenen Säulen- und Stützenformen.

Das **Rahmengerüst** debütierte als eingeschossige Ausführung und zwar bei einhübrigen Gasbehältern als einfache Ordnung (Tab. 39, Abb. 341), sowie bei zweihübrigen Gasbehältern als Hochordnung. Letztere war die Gerüstform, die beim ersten Teleskopgasbehälter von *Stephen Hutchison** in Vauxhall, London verwendet wurde und auf nur vier Säulenpaaren basierte (Tab. 39, Abb. 342). Mit zunehmenden Hubteilgrößen wurde die Säulenanzahl erhöht und die Doppelsäulen auf Einzelsäulen reduziert (Tab. 39, Abb. 343). Um 1850 setzte sich allmählich die additive Ordnung für mehrhübrige

Tab. 42: Überblick – Entwicklung des Gasbehälters – um 1890
 (SE – Schmiedeeisen; MW – Mauerwerk; B – Beton; *kursiv* – Annahme BB)

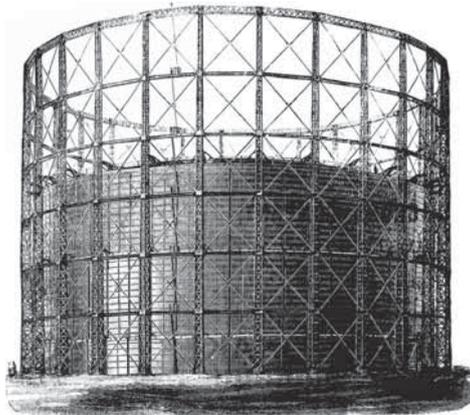


Abb. 350: Kensal Green, London, 1891 (JGL-61, 1893, p. 435).

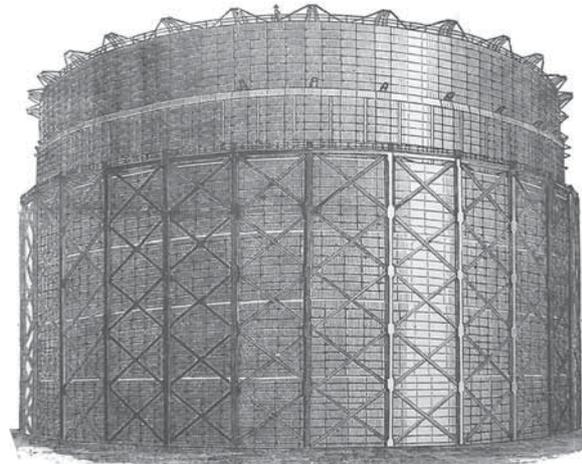


Abb. 351: East Greenwich, London, 1892 (JGL-61, 1893, p. 75).

Jahr, Ort, Ingenieur	D _{Becken} H _{Gerüst} (in m)	V (in m ³)	Hubteilanzahl	Kuppelkonstruktion	Führungsgerüst			Wasserbecken
					Gerüstform	Ringanzahl	Aufbau	
1891 Kensal Green, London, G. Trewby	D = 76,20 H = 50,75	212.377	4	<i>Kuppeldach, unterspannt oder binderlos</i>	Verbandgerüst, Einfache Auskreuzung	6	Kastenförmige Stützen (SE), Trägerkranz aus Gitterträgern – kastenförmig bzw. I-förmig (liegend) – (SE), Verband aus Rundeisenstäben	<i>Kegelstumpfbecken (MW)</i>
1892 East Greenwich, London, G.+ F. Livesey	D = 89,31 H = 54,86	339.802	6 (2 fliegend)	<i>Kuppeldach, unterspannt oder binderlos</i>	Verbandgerüst, aufgelöst	1	I-förmige, vollwandige Stützen und Träger (SE), Verband aus Flacheisenstäben	<i>Kegelstumpfbecken (MW)</i>

Behälter durch (Tab. 40, Abb. 344), die je Hubteil einen Gerüsttring vorsah. *Joseph Clark** stattete diese mehrgeschossigen Rahmengerüste mit architektonisch gegliederten Säulen und Trägern aus, die das Erscheinungsbild dieses Gerüsttypus prägten, bis 1876 genietete Stützen (Tab. 40, Abb. 345) zum Einsatz kamen. Zeitgleich debütierte ein weiteres, wohl rein Gasbehälter-spezifisches Bauteil – nämlich der sogenannte liegende Windverband von *John B. Paddon**, der teilweise als zusätzliche Verstärkung des oberen Gerüstabschlusses eingesetzt wurde (Tab. 40, Abb. 345).

Nachdem bei den ersten **Verbandgerüsten** ab 1860 der Aufbau der vorgehenden Rahmengerüste übernommen und die Gerüstfelder jeweils mit einer einfachen Auskreuzung ergänzt wurden (Tab. 42, Abb. 350), entwickelte sich diese Gerüstform Ende des 19. Jahrhunderts zum genau kalkulierten, hoch aufragenden Ingenieurbauwerk, das frei von jeglichem Dekor war. *George Thomas Livesey** war ein wichtiger Wegbereiter dieses Konstruktionsgedankens und führte 1880 das Verbandgerüst mit zweifacher Auskreuzung (Tab. 41, Abb. 347) ein. Durch ein neuartiges Anschlussdetail versuchte Livesey erstmals eine „konstruktive Einheit“ des Gerüsts zu erzeugen. Die dreifache Auskreuzung (Tab. 41, Abb. 348) folgte diesem Leitsatz und debütierte 1889. Im gleichen Jahr brachte *Samuel Cutler** das sogenannte triangulierte Verbandgerüst hervor, das durch die neuartige Anordnung der Diagonalen und mit seinem einheitlichen Stützen- und Trägeraufbau eine effizientere Konstruktion darstellte (Tab. 41, Abb. 349).

Der größte hydraulische Gasbehälter Großbritanniens wurde schließlich 1892 mit einem aufgelösten Verbandgerüst nach den Plänen der Gebrüder Livesey in East Greenwich, London errichtet (Tab. 42, Abb. 351).

Das **Wasserbecken** – vollzog ebenfalls eine konstruktive Entwicklung im Laufe des 19. Jahrhunderts, die sich in den verschiedenen Bauweisen, geometrischen Formen sowie den Positionierungen äußerte. Je nach angetroffenem Baugrund wurde das Becken freistehend (Tab. 39, Abb. 342), teilweise (Tab. 43, Abb. 353) oder vollständig versenkt (Tab. 42, Abb. 351) ausgeführt. Je nach Positionierung und

Tab. 43: Überblick – Entwicklung des Gasbehälters – Sonderformen
(SE – Schmiedeeisen; MW – Mauerwerk; *kursiv* – Annahme BB)

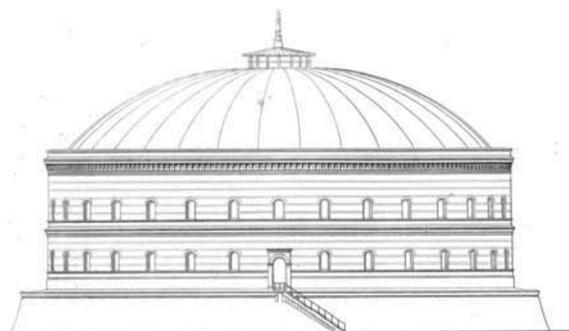


Abb. 352: Fichtestraße, Berlin (SDTM: ZfB 1876a, Bl. 31).



Abb. 353: Chester, 1894 (JGL-63, 1894, p. 1063).

Jahr, Ort, Ingenieur	D _{Becken} H _{Gerüst} (in m)	V (in m ³)	Hubteil-anzahl	Kuppelkonstruktion	Führungsgerüst			Wasserbecken
					Gerüstform	Ring-anzahl	Aufbau	
1874 Fichtestraße, Berlin, Schwedler, J.W.	D (innen) = 54,60 H (Ringmauer) = 21,99	30.000	2	Schwedlerkuppel *(Bei Gebäude und Hubteil)	Gasbehälter- gebäude	–	Führungsschienen über Revisions- gänge an Ringmauer befestigt	Flachbodenbecken (MW) – partiell versenkt
1894 ** Chester, Gadd & Mason	D = 31,09 H (Becken) = 7,46	ca. 15.000	3	Kuppeldach, unterspannt oder bindertlos	Gerüstlos	–	Spiral-geführt mit gleichläufigen Hubteilen	Kegelstumpfbecken (SE/ MW) – partiell versenkt

* Die erste Schwedlerkuppel wurde 1863 auf einem Gasbehältergebäude fertig gestellt.

dem Vorhandensein lokaler Baustoffe kamen verschiedene Beckenformen zum Einsatz:

- Das Flachbodenbecken wurde vollständig bzw. teilweise versenkt in Massivbauweise oder freistehend als Eisenkonstruktion ausgeführt.
- Das Kegelstumpfbecken – die favorisierte Beckenform in England – wurde in der Regel vollständig versenkt und bestach durch den reduzierten Erdaushub; Beckenwand und -boden wurden in Massivbauweise ausgeführt. 1880 wendete Livesey erstmals die reine Betonbauweise bei einem Kegelstumpfbecken an (Tab. 41, Abb. 347).
- Das Kugelbodenbecken stellte eine Variation der Kegelstumpfform dar. In Deutschland wurde diese Form von Otto Intze auch auf die freistehende Eisenkonstruktion übertragen – das sogenannte Intze-Becken setzte sich jedoch nicht in England durch.
- Das Ringbecken kam v.a. bei schwierigen Baugrundverhältnissen zum Einsatz – entweder vollständig oder teilweise versenkt. Der Erdaushub wurde so auf ein Minimum reduziert. In der Regel wurde der eingetiefte Abschnitt als Eisenkonstruktion ausgeführt; war das Becken partiell eingetieft, wurden die äußeren Mantelbleche häufig durch eine Ringmauer verstärkt.
- In Deutschland erfand Konrad Jagschitz* 1907 das Wölbmantelbecken, das aufgrund seiner Tropfenform auf den unteren Eckanschluss verzichten konnte. Diese freistehende Eisenkonstruktion etablierte sich jedoch nicht in England.

Insgesamt war das Wasserbecken der einzige Bestandteil des hydraulischen Gasbehälters, bei dem verschiedene Bauweisen eingesetzt wurden und der somit verschiedene, unabhängige Entwicklungsstränge aufweist.

Die **gerüstlosen Gasbehälter** – kennzeichneten einen Wendepunkt im Gasbehälterbau, indem sie vollständig auf ein externes, feststehendes Führungsgerüst verzichteten und so dem Gasbehälter ein neues Erscheinungsbild verliehen. Nach der erfolgreichen Einführung des fliegenden Hubteils von Livesey 1887 entstanden noch im gleichen Jahr zwei neue Führungstechniken: *William Gadd** und *William Mason** brachten den spiral-geführten und *Edward Llyod Pease** den Seil-geführten Gasbehälter hervor, wobei sich der sogenannte Schraubengasbehälter von Gadd & Mason hinsichtlich Betrieb und Wartung deutlich gegenüber dem Seil-geführten Pendant bewährte und sich zum Standard erhob (*Tab. 43, Abb. 353*).

Das **Gasbehältergebäude** – wurde in England ausschließlich in der Frühphase des Gasbehälterbaus eingesetzt; ab 1817 entwickelte sich der freistehende Gasbehälter allmählich zur Standardform. In Ländern, in denen kältere Winterperioden herrschten, wurde das Gasbehältergebäude beibehalten, um eine Frostbildung zu verhindern und die Hubteile sowie deren Bewegungsmechanismus vor Wind und Wetter zu schützen. Gleichzeitig verbarg diese massive, schützende Hülle den eigentlichen Gasbehälter und wirkte mitunter vielmehr als prächtiges Zentralbauwerk.

Zusammenfassend stellte der hydraulische Gasbehälter eine breit gefächerte Baukonstruktionsgeschichte dar, die sich bis in die einzelnen Bauteile erstreckte und von verschiedenen Faktoren abhängig war.

Das Führungsgerüst nahm hierbei eine besondere Position ein: Die kontinuierliche Weiterentwicklung der Gerüstkonstruktion spiegelte nämlich exemplarisch die voranschreitende Eisentechnologie des 19. Jahrhunderts wider, die den Rahmen der konstruktiven Möglichkeiten stetig erweiterte.

So war z.B. das Rahmengerüst überwiegend geprägt von den ornamentreichen Fertigungsmöglichkeiten des Gusseisens, was die teilweise sehr artikulierten Säulen, Stützen und Träger unter Beweis stellten. Diese Wirkmacht wurde ab 1876 wesentlich verändert, als genietete Blechträgerkonstruktionen als Stützen eingeführt wurden. Insbesondere das Verbandgerüst legte jegliche dekorativen Elemente innerhalb der Gerüstkonstruktion ab und präsentierte sich als rein technisches Bauwerk, dem allein wegen seiner Größe und ingenieurtechnischen Leistung Anerkennung zu zollen war.

Somit reihte sich der hydraulische Gasbehälter, der ursprünglich allein aus der Notwendigkeit entstand, lokal produziertes Steinkohlengas zu speichern und dadurch seine Gestalt erlangte, als eigenständiger Bautypus ein und prägte die Industrie- und Stadtlandschaften des 19., sowie des 20. Jahrhunderts.

Das hydraulische Abdichtungssystem stieß bei der Ausführung von Gasbehältern mit großen Kapazitäten an seine Grenzen, da diese sehr große Wasserbecken erforderten. Dies führte Anfang des 20. Jahrhunderts zu einem Umdenken und zur Entwicklung von neuen Abdichtungstechniken, die ohne große Wassermengen funktionierten. Das Ergebnis war der Scheibengasbehälter (*Siehe folgendes Kapitel*).

Eine weitere Schautafel zur Entwicklung des Gasbehälters im 19. und frühen 20. Jahrhundert befindet sich im Anhang (Kap. F.3).

C.3. SCHEIBENGASBEHÄLTER

C.3.1. EINLEITUNG

Dieser Abschnitt behandelt die Baukonstruktionsgeschichte des SCHEIBENGASBEHÄLTERS ⁷¹⁰, wobei der Fokus hier v.a. auf die Entstehungsphase ⁷¹¹ gerichtet ist.

Die Erfindung des Scheibengasbehälters stellte eine klare Zäsur dar, da dessen Abdichtungstechnik kein Wasserbecken mehr benötigte und leitete einen signifikanten Wendepunkt im Gasbehälterbau des frühen 20. Jahrhunderts ein.

Der Scheibengasbehälter wurde primär durch den MAN- und Klönne-Typ vertreten ⁷¹².

Das Kapitel MAN-TYP führt von der Erfindung des Scheibengasbehälters durch *Konrad Jagschitz** 1913 und der ersten erfolgreichen und v.a. betriebssicheren Realisierung eines Prototypen in Augsburg zum standardisierten MAN-Scheibengasbehälter, der auf einer Flüssigkeitsdichtung am Scheibenrand basierte. Die Grundform zeigte einen polygonalen Baukörper, der aus einem Mantel, einem Dach und einer Scheibe bestand.

Im Kapitel KLÖNNE-TYP wird die Standardausführung beschrieben, die auf einer zylindrischen Grundform basierte und sich aus einem zylindrischen Mantel, einem Dach und einer Scheibe zusammensetzte. Der gasdichte Abschluss erfolgte über einen Dichtungsring aus Gummi.

710 Anm. d. Verfasserin: Teilweise wurde auch der Begriff des „Trockengasbehälters“ verwendet, der jedoch nur auf den Klönne-Typ zutrifft, da dieser auf keiner Flüssigkeitsabdichtung basierte (*Siehe Kap. C.3.3.*). Daher favorisiert diese Arbeit grundsätzlich den Begriff des „Scheibengasbehälters“, der strikt dem Aufbau folgt und sowohl dem MAN-, als auch dem Klönne-Typ zugeordnet werden kann.

711 In Deutschland wurde der Scheibengasbehälter teilweise auch als „Kolbengasbehälter“ bezeichnet (Gross, 1960, p. 63).
Anm. d. Verfasserin: Eine umfassende Darstellung der Baukonstruktionsgeschichte des Scheibengasbehälters war nicht die Absicht dieser Forschungsarbeit, die primär auf den hydraulischen Gasbehälter des 19. Jahrhunderts abzielt. Deshalb beschränkt sich dieser Abschnitt überwiegend auf die Entstehung des MAN- und Klönne-Typs.

712 Eine weitere Firma, die sich mit dem Bau von Scheibengasbehältern beschäftigte, war die „Berlin-Anhaltische-Maschinenbau-AG“ (BAMAG). Diese wurde 1872 von Philipp C. Oechelhäuser und Emil Blum gegründet. Da von der BAMAG aber nur sehr wenige Behälter gebaut wurde – u.a. in Bernau – wird der BAMAG-Typ hier nicht weiter behandelt. (Karlsch, 2008, pp. 42–43).
Zum BAMAG-Behälter in Bernau siehe Wehrmann, 1954, pp. 102–103; Gross, 1960, p. 55.

C.3.2. DER MAN-TYP



Abb. 354: Gasbehälterensemble in Augsburg-Oberhausen: Scheiben- und hydraulischer Gasbehälter (BB, 2013).

1. Jagschitz` Erfindung

Im Laufe des 19. Jahrhunderts stellten sich eine Reihe von Ingenieuren der Herausforderung, eine wasserlose Abdichtungstechnik für Gasbehälter zu entwickeln ⁷¹⁰, um auf das bislang essenzielle Wasserbecken verzichten zu können. In der Praxis scheiterten diese Ansätze jedoch bei dem entscheidenden Kriterium – nämlich der Gewährleistung eines gasdichten Abschlusses.

Um die Jahrhundertwende forderten die steigenden Nutzvolumina der hydraulischen Gasbehälter sehr große Wasserbecken (Siehe Kap. C.2.4.), was die Firma MAN * aus Gustavsburg dazu bewog ⁷¹¹, die Entwicklung eines funktionstauglichen, wasserlosen Gasbehälters wieder aufzugreifen, um so eine wirtschaftlichere Konstruktionsweise von Gasbehältern zu ermöglichen ⁷¹².

Der Ingenieur Konrad Jagschitz* befasste sich mit dieser Problematik ⁷¹³ und entwickelte eine Technik, die weiterhin auf einer Dichtflüssigkeit fußte, jedoch deutlich geringere Mengen benötigte. 1913 erfand er den „Gasbehälter mit einem an der Innenwand des Behälters gleitenden Abschlußkörper“ ⁷¹⁴ und revolutionierte damit den bisherigen Gasbehälterbau (Abb. 355) ⁷¹⁵:

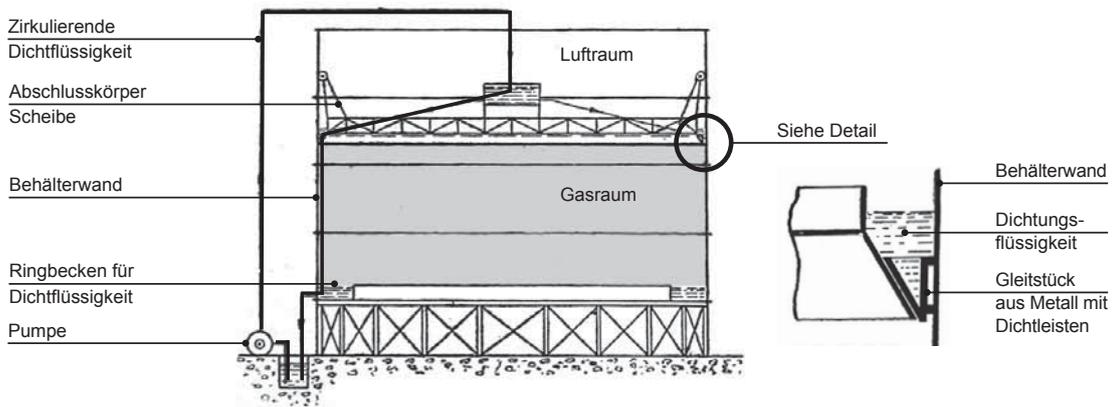


Abb. 355: Schematische Darstellung von Jagschitz` Erfindung (Meade, 1916, p. 451).**

„(...) Die Erfindung beruht darauf, daß der zweckmäßig scheibenförmig ausgebildete Abschlußkörper an seinem äußeren Umfange mittels einer Flüssigkeitsabdichtung direkt an die Behälterwand anschließt. Die Flüssigkeitsdichtung ist mit dem Abschlußkörper verbunden und mit ihm beweglich (...)“ ⁷¹⁶

So wurde das konventionelle, großflächige Wasserbecken auf einen kleinen Ring bzw. Kanal reduziert, der am äußeren Rand des Abschlusskörpers – der sogenannten **Scheibe** – angebracht war und die Dichtflüssigkeit aufnahm. Letztere wurde aufgrund ihrer Funktion auch als Sperrflüssigkeit bezeichnet

710 Wie z.B:

1822: „Von Gasbehältern die keine Cisterne bedürfen“ von Carl Wiegand Tabor (Tabor, 1822, pp. 506–519);
1835: „§. 127 Gasbehälter mit beweglichen, luftdicht schließenden Kolben“ von J.D.R. Rutter (Rutter, 1835, pp. 250–251);
1871: Mehrhübriger, rechteckiger Gasbehälter mit hölzerner Unterkonstruktion und flexiblen seitlichen Anschlüssen – von Fleming, John Allan; Moffat, James (JGL-21, 1872, p. 400).

711 Die Firma MAN war seit 1874 im Gasbehälterbau tätig; im selben Jahr wurde in Nürnberg der erste einhübrige Gasbehälter (D= 30,60m; V= ca. 5.000m³) nach deren Plänen errichtet (MAN, 1909b, p. 5).
Von der MAN entstanden im Folgenden sowohl ein-, als auch mehrhübrige Gasbehälter – freistehend oder mit Gasbehältergebäude (Siehe Kap. C.2.5.). Zu den herausragenden Errungenschaften der MAN seien auch das rautenförmige Führungsgerüst in Wien-Simmering (Siehe Kap. C.2.3.-7.6.2.), das Wölbmantelbecken (Siehe Kap. C.2.4.-4.5.) und das freistehende Ringbecken (Siehe Kap. C.2.4.-4.4.3.) genannt.

712 MAN, 1957, p. 6

713 Jagschitz war von 1888 bis 1939 für die MAN tätig (MAN, 1957, p. 6).

714 MAN, 1913, p. 1

715 Meade bezeichnete diesen Gasbehälter 1916 als „Nuremberg Holder“ (Meade, 1916, p. 452).

In Amerika wurde er auch „German-type gasholder“ genannt (MAN; 1957, p. 7).

716 MAN, 1913, p. 1

und es empfahl sich, hierfür dickflüssige Stoffe wie Teer oder Öl zu verwenden. Der Rand der Scheibe war als ringförmiger Abschluss ausgebildet, der an die Tassen der hydraulischen Gasbehälter erinnern ließ (*Siehe Kap. C.2.2.-6.3.*). Dieses Detail (*Abb. 355*) war unterschiedlich ausführbar – z.B. mit einem dreieckigen Querschnitt: Der untere Abschluss bestand aus einem spitzen, nach oben geöffneten Gleitstück aus Metall, das mit zwei Dichtungsringen ausgestattet war. Zwischen Scheibe und Behälterwand war ein schmaler Spalt vorgesehen, durch den die Flüssigkeit gleichmäßig die Mantelinnenseite benetzen und so den gasdichten Abschluss herstellen konnte. Am Fuß wurde die Flüssigkeit in einem Ringbecken gesammelt und wieder nach oben gepumpt, wo sie von einem zentralen Behältnis zum Scheibenrand geleitet wurde. Die Zirkulation sorgte für eine konstante Flüssigkeitshöhe im Ring. Diese Technik diktierte eine neue Form und Konstruktion des Gasbehälters. Die geschlossene Behälterwand bestand in der Regel aus einer Blechkonstruktion, war aber auch in Massivbauweise oder aus einer Kombination möglich. Eine Dachkonstruktion war nicht zwingend erforderlich, falls diese aber zum Einsatz kam, war sie mit einer Entlüftungshaube auszustatten (*Siehe folgendes Kapitel*). Die bewegliche Scheibe basierte auf einer Konstruktion von radial angeordneten Fachwerkträgern.⁷¹⁷

Mit dieser Technik gelang es Jagschitz, sowohl die Menge der Dichtflüssigkeit, als auch das Gewicht und somit die Belastung auf die Fundamente erheblich zu senken, was sich wiederum günstig auf die Baukosten auswirkte. Für diese Erfindung wurde Jagschitz der Ehrendokortitel (Dr. e. h.) verliehen⁷¹⁸.

Seinem Aufbau, vielmehr dem zentralen Bauteil der Scheibe, verdankte dieser Gasbehälter den Begriff des **Scheibengasbehälters**, der dieser Arbeit zugrunde gelegt wurde (*Siehe Kap. C.1.1.*).

Weitere Begriffe ergaben sich aus der Abdichtungstechnik: Da diese Gasbehälter keine Wasserbecken mehr benötigten, wurden sie auch als wasserlose Gasbehälter oder auch – fälschlicherweise – als Trockengasbehälter⁷¹⁹ bezeichnet.

717 MAN, 1913, pp. 1–3

718 o. A., 1953, p. 287

719 o. A., 1953, p. 291

2. Der Prototyp in Augsburg



Abb. 356: Bau des Gasbehältergebäudes aus Eisenbeton 1914 (GWF, Bild 134).

Der Entwurf von Jagschitz bestach nicht nur auf dem Papier, sondern auch in der Ausführung: 1913 begann der Bau eines Prototypen auf dem Gaswerk Augsburg Oberhausen, der am 31.12.1915 erfolgreich in Betrieb genommen wurde ⁷²⁰.

Dieser Scheibengasbehälter war für ein Nutzvolumen von 1.600m³ ausgerichtet und von einem massiven **Gasbehältergebäude** ($D_{\text{max, innen}} = 15,68\text{m}$; $H_{\text{gesamt}} = \text{ca. } 16,00\text{m}$) aus Eisenbeton umhüllt (Abb. 356, Abb. 357) ⁷²¹. Dieses war am Fuße in das Gelände eingetieft ($h = 1,50\text{m}$) und bestand aus einer einfach abgestuften Mantelwand ($H_{\text{ab GOK}} = 11,50\text{m}$; $t = \text{ca. } 25\text{cm}$), an deren Innenseite acht Wandpfeiler ($b/h_{\text{unten}} = 129/24\text{cm}$) angesetzt waren; letztere waren mit drei bzw. zwei Öffnungen ausgebildet, die u.a. für die beiden Wartungsgänge nötig waren. Die Mantelaußenseite wurde durch ein Zwischen- und ein Abschlussgesims gegliedert. Auf der Mauerkrone schloss die Kuppel ($f = \text{ca. } 3,25\text{m}$) an, die am Kämpfer als Holzkonstruktion ausgebildet wurde. In diesem Bereich waren die Gasabzugsrohre angeordnet. Der obere Abschnitt wurde als Eisenbetonschale ausgeführt ($t = \text{ca. } 120\text{mm}$), auf deren Scheitel eine Laterne – die sogenannte Entlüftungshaube positioniert wurde.

Der eigentliche **Scheibengasbehälter** bestand aus einer Mantel- und einer Scheibenkonstruktion, die in Eisenbauweise ausgeführt wurde.

720 Zimpell, 1925, pp. 2–3

721 Anm. d. Verfasserin: Das massive Gasbehältergebäude diente sowohl zur Befestigung der Eisenkonstruktion, als auch als Schutzbauwerk, das bereits bei den prachtvollen Vorgängern der hydraulischen Gasbehälter eingesetzt wurde (Siehe Kap. C.2.5.).

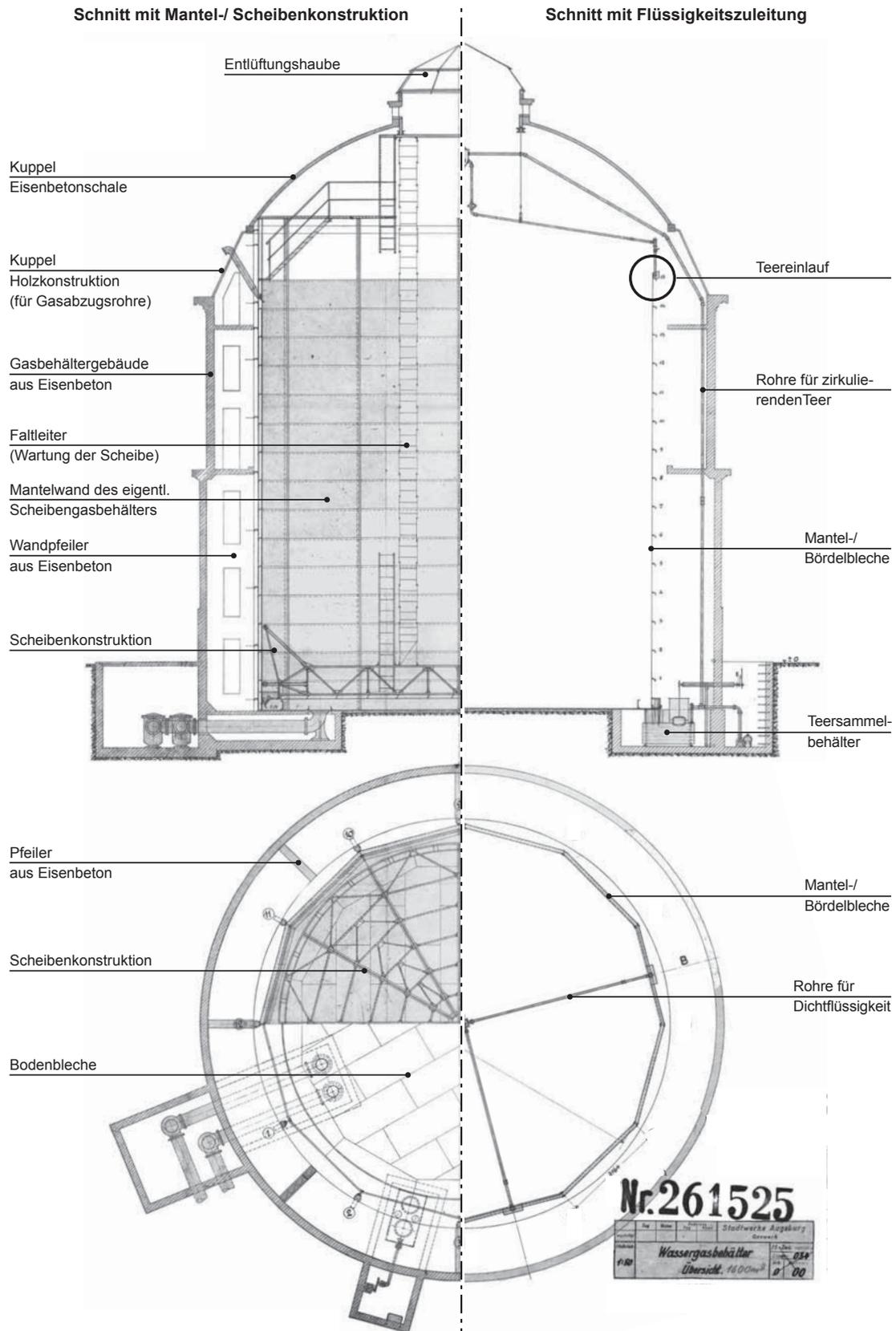
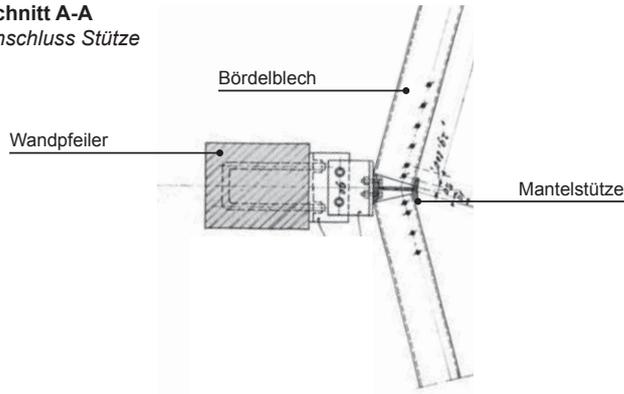
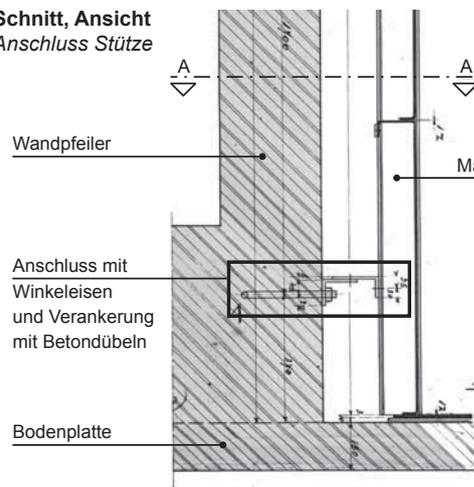


Abb. 357: Konstruktionszeichnung des ersten Gasbehälters nach Jagschitz, einschl. massivem Gasbehältergebäude (STA-A, Plan Nr. 261525, neu zusammengestellt durch BB).**

Schnitt A-A
Anschluss Stütze



Schnitt, Ansicht
Anschluss Stütze



Regelschnitt
Bördelblech

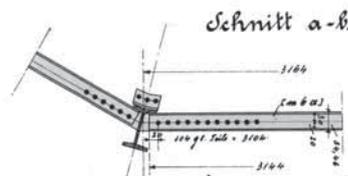
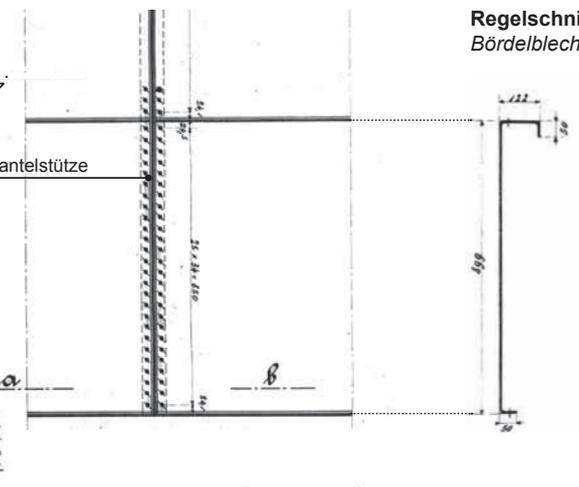


Abb. 358: Details zum Anschluss der Stütze an die Wandpfeiler aus Eisenbeton (STA-A, Plan Nr. 261532, neu zusammengestellt durch BB).**

Der **Mantel** ($H_{\text{gesamt}} = 15,25\text{m}$; $D_{\text{innen}} = 12,22\text{m}$) beschrieb im Grundriss ein Polygon mit 12 Ecken. Die Konstruktion setzte sich aus 12 Stützen – I-förmigen Walzprofilen ($b/h = 120/80\text{mm}$) – und jeweils 15 dazwischen gesetzten Bördelblechen ($L = 2.964\text{mm}$) zusammen (Abb. 358). Letztere waren jeweils an den Enden einfach bzw. zweifach gekantet; dies diente sowohl zur Aussteifung des Blechs selbst, als auch zum Anschluss mit den anderen Blechen.

Die Stützen wurden über Kopfplatten mit der Bodenplatte verankert; der Anschluss an das Gasbehältergebäude erfolgte mit Winkeleisen und Betondübeln an

- die Wandpfeiler,
- die Stirnseiten der Laufstege.

Die **Scheibenkonstruktion** basierte auf 12 radial ausgerichteten Fachwerkträgern, die mit sechs Ringträgern verbunden wurden (Abb. 357). Die vier radialen Hauptträger waren als Trägerkreuz angeordnet, an das die übrigen acht Träger angeschlossen wurden (Abb. 359). Während die Träger-

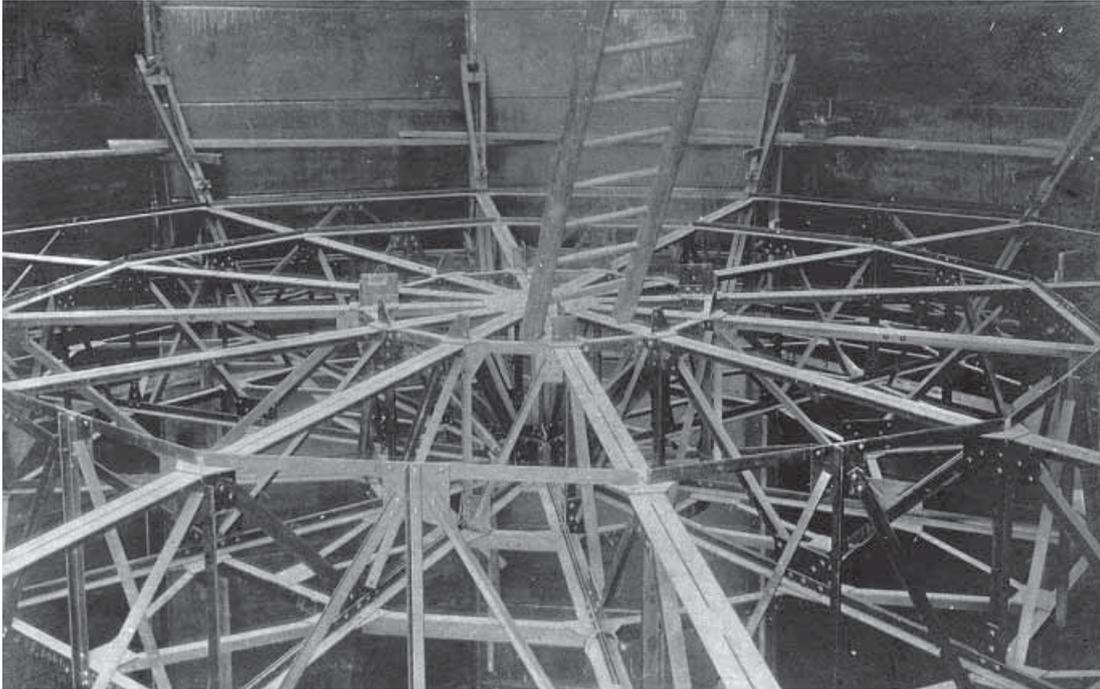


Abb. 359: Montage der Scheibenkonstruktion, 1915 (GWF, Bild 216).

höhe in den inneren Feldern konstant blieb ($h = \text{ca. } 100\text{cm}$), wurde der äußere Ring ungefähr um das 2,5-fache aufgeweitet bzw. angespitzt (Abb. 360). Zur Aussteifung der Scheibenkonstruktion wurden die Felder des äußeren Ringes sowie vier Sektoren trianguliert.

An der Unterseite wurde die Scheibenkonstruktion mit Deckblechen geschlossen. Der Anschluss an die Mantelwand erfolgte je Radialträger mit zwei Radialrollen (Abb. 360), die jeweils an der verstärkten Stirnseite der Stütze ansetzten.

Die Dichtflüssigkeit basierte auf einem Teergemisch, das kontinuierlich an die Oberkante des Mantels gepumpt wurde und von dort an der Innenseite wieder hinab lief.

Die erfolgreiche Fertigstellung und Inbetriebnahme des Prototypen in Augsburg bewies die Funktionstauglichkeit von Jagschitz' Entwurf. Die neuartige Abdichtungstechnik ebnete den Weg für eine komplett neue Gasbehälterform, deren Ausmaße in den folgenden Jahren jegliche Erwartungen übertreffen sollten.

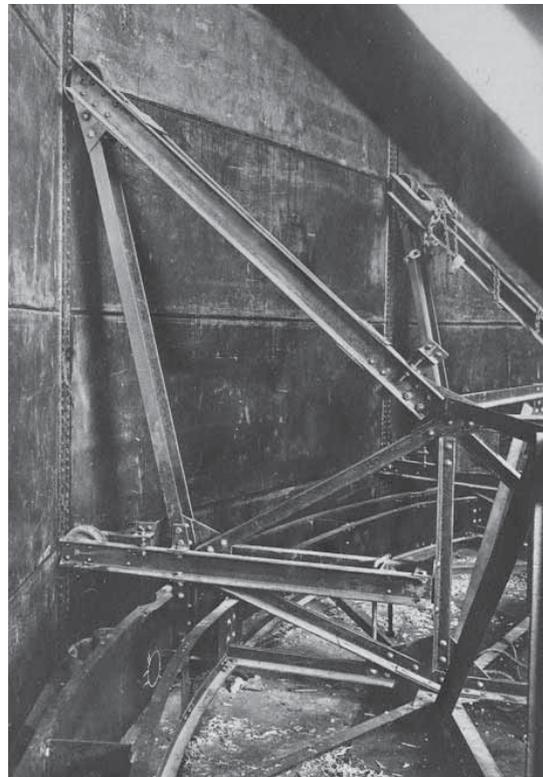


Abb. 360: Rollenanschluss der Scheibe an die Mantelstützen, 1915 (GWF, Bild 228).

3. Das MAN-Standardmodell



Abb. 361: Entwicklung des MAN-Scheibengasbehälters – vom Prototypen (rechts) zum Standardmodell (links; GWF, 1954).

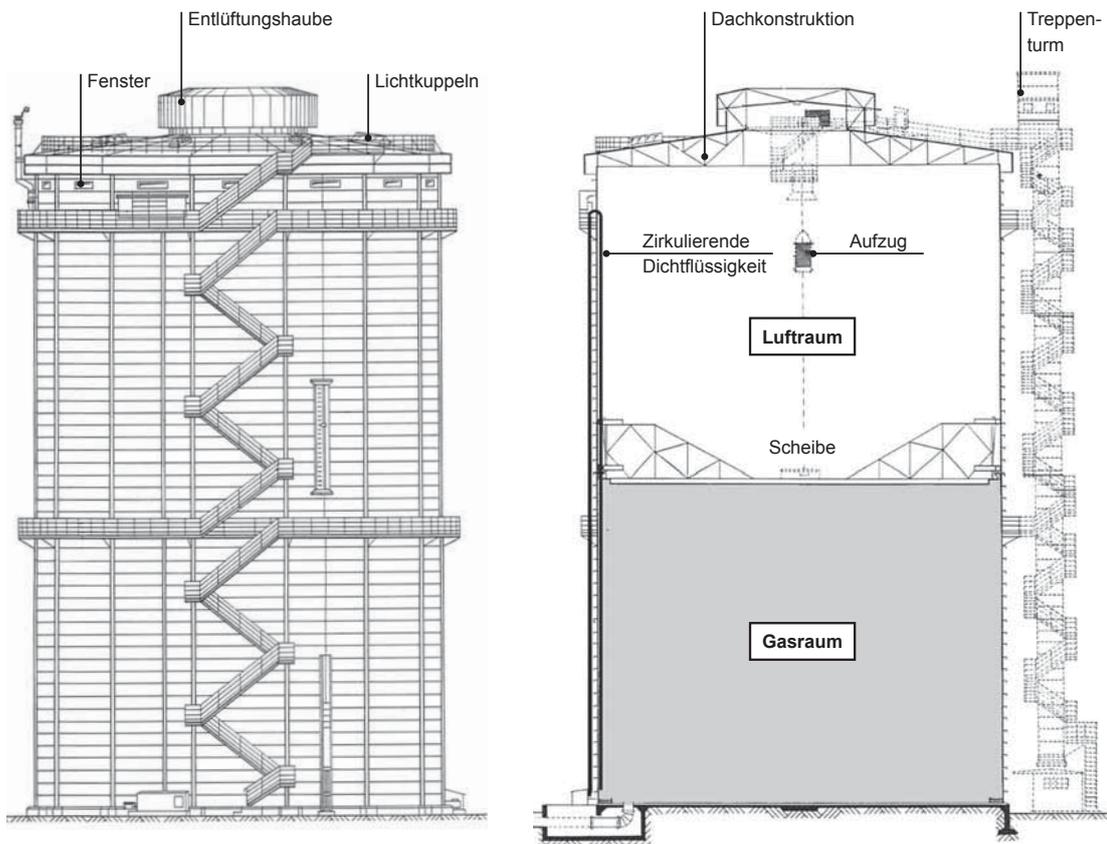


Abb. 362: Aufbau des standardisierten MAN-Scheibengasbehälters (Leffer, 2006, pp. 6–7).**

Nachdem der Scheibengasbehälter der MAN erfolgreich in Augsburg-Oberhausen debütierte, wurde der Aufbau vereinfacht, indem er zunächst buchstäblich seine „Kleid“ fallen ließ und fortan als freistehende Eisenkonstruktion ohne massives Schutzbauwerk errichtet wurde (Abb. 362).

Verglichen mit dem Prototypen wurde diese freistehende Konstruktion mit einem Dach ergänzt, das mit einer zentralen Entlüftungshaube ausgestattet war. Für Wartungs- und Reparaturarbeiten wurde außen ein Treppenturm und im Behälterinneren ein Aufzug angeordnet.⁷²²

Diese Gasbehälterform bestach mit ihrer effizienten Konstruktionsweise und deckte ein breites Größenspektrum ab. Aufgrund der erheblich reduzierten und vereinfachten Bauteile konnte der Scheibengasbehälter seriell gefertigt werden.

Die Konstruktion des standardisierten MAN-Scheibengasbehälters wird am Beispiel des 1953 bis 1954 errichteten Behälters in Augsburg-Oberhausen ($D_{\text{außen}} = 44,75\text{m}$; $H_{\text{gesamt}} = 83,30\text{m}$; $V = 100.000\text{m}^3$) erläutert (Abb. 361)⁷²³, der von den Augsburgern „Gaskessel“ genannt wird und in unmittelbarer Nähe zum Prototypen von 1915 steht (Siehe vorgehendes Kapitel).

722 Bei sehr großen Ausführungen wurde der Treppenturm meist mit einem Aufzug ausgestattet. In der Frühphase wurden für die Revision der Scheibe einfache falt- bzw. klappbare Leitersysteme eingesetzt (Leffer, 2006, p. 7).

723 LEF-A, 1953; LEF-A, 1954, p. 3

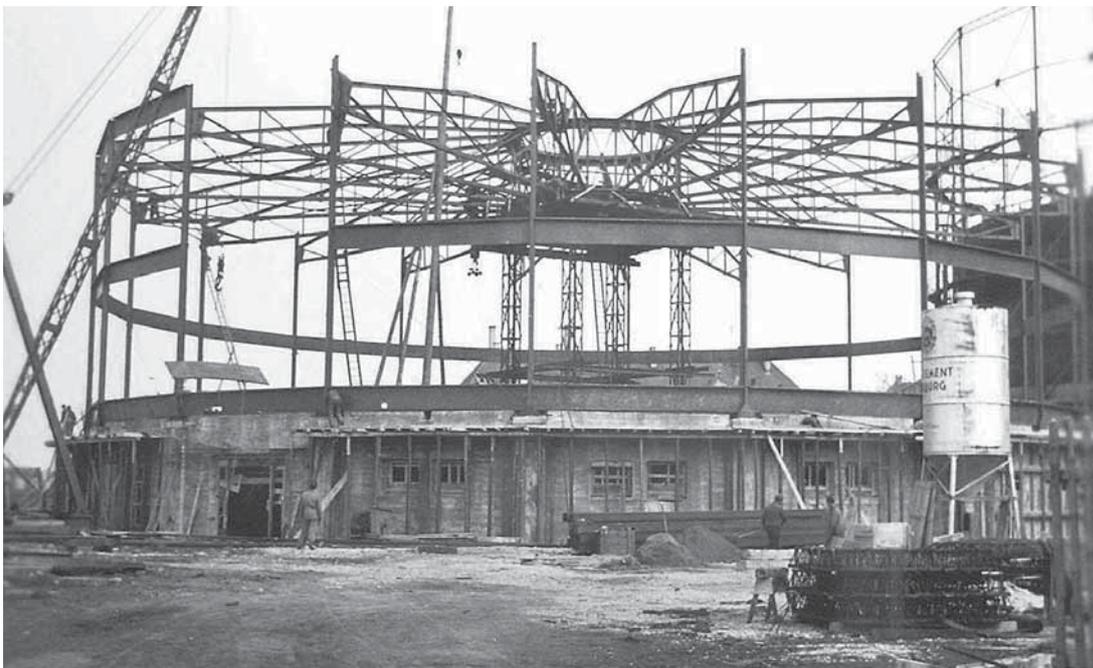


Abb. 363: Montage des Daches, Augsburg (GWF, 1954).

Das **Ringfundament** des Scheibengasbehälters wurde in Augsburg als Sockelgeschoss ($H = 4,00\text{m}$) bzw. Hochfundament ausgeführt (Abb. 363), das eine zusätzliche Lagerfläche unterhalb des Gasbehälters ermöglichte.⁷²⁴

Die **Mantelkonstruktion** bestand aus 20 Mantelstützen aus dem Profilstahl I-22 ($H_{\text{Mantel}} = 72,76\text{m}$) und 90 dazwischen gesetzten Bördelblechen ($h_{\text{gesamt}} = 810\text{mm}$; $b_{\text{oben}} = 219\text{mm}$; $b_{\text{unten}} = 40\text{mm}$; $t = 4\text{mm}$)⁷²⁵, die eine Einzellänge von 7,00m besaßen (Abb. 365). Der Anschluss an die Stütze wurde über eine zusätzliche Lamelle ($b/h = 206/20\text{mm}$) am innen liegenden Flansch und über eine Lasche am äußeren Flansch hergestellt (Abb. 364).⁷²⁶

Die Lamelle diente zudem als Führungsschiene für die Mantelrollen der Scheibe (s.u.). An der Mantelaußenseite wurden vier Wartungsgänge und ein Treppenturm einschließlich Aufzug angeordnet.

Die **Dachkonstruktion** ($H_{\text{Dach}} = 7,00\text{m}$)⁷²⁷ setzte sich aus 20 radial angeordneten Fachwerkträgern zusammen, die über einen zentralen Ringträger gekoppelt wurden (Abb. 363). Letzterer diente ebenfalls zum Anschluss der Entlüftungshaube und des Aufzuges. Die Dachbinder wurden je Sektor mit 20 parallel angeordneten Blechbahnen ($b = 100\text{cm}$; $t = 3\text{mm}$) verkleidet⁷²⁸.

Zur Belichtung des Luftraumes waren sowohl Fenster am oberen Mantelabschluss, als auch Lichtkuppel auf dem Dach angeordnet.

Analog zum Dach wurde die **Scheibenkonstruktion** ebenfalls mit 20 radialen Fachwerkträgern errich-

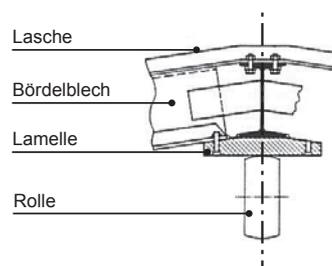


Abb. 364: Anschluss der Bördelbleche an die Stütze (Leffer, 2006, p. 8).**

724 LEF-A, 1954, p. 3

Dieses Sockelgeschoss war eine Sonderform neben dem regulären Ringfundament, das vollständig eingetieft wurde. Für Standorte, die nicht bergschadensicher waren, kam das trogförmige Fundament oder eine freitragende Bodenkonstruktionen zum Einsatz (Leffer, 2006, p. 13).

725 Die obere, weiter auskragende Abkantung wurde auch als „horizontale Rippe“ bezeichnet (LEF-A, 1954, p. 112).

726 LEF-A, 1954, pp. 110–118

727 LEF-A, 1954, p. 3

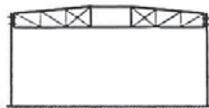
728 LEF-A, 1954, p. 23

tet (Abb. 365). Deren äußeres Feld hatte jeweils die größte Trägerhöhe und war annähernd quadratisch; die inneren Felder waren trapezförmig und das letzte dreieckig (Abb. 362; Abb. 366). Die Radialträger waren mit Ringträgern und Auskreuzungen gekoppelt, wobei das äußere Feld mit einem liegenden Fachwerkträger stabilisiert wurde. Die Scheibentasse (Abb. 367) wurde abgestuft ausgeführt (Siehe folgende Seite).

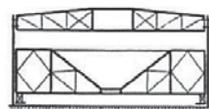
Der **Betriebsdruck** wurde ursprünglich mit 23mbar geplant, wofür insgesamt 1.820 Belastungssteine à 75kg auf der Scheibe positioniert wurden, um diesen Druck zu erreichen ⁷²⁹.

Bauablauf

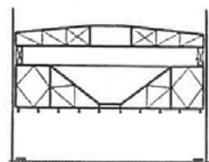
Nach der Fertigstellung des Fundaments gliedert sich die Montage im Wesentlichen in vier Abschnitte: ⁷³⁰



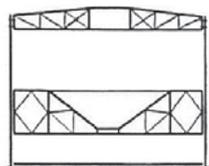
1. Aufstellung des unteren Mantelstützenabschnitts mit einigen Bördelblechlagen zur Fixierung; Montage des Daches.



2. Verlegen der Bodenbleche und Bau der Scheibe, anschließend Absetzen des Daches auf der Scheibe – mit Distanzstücken (Siehe 3.).



3. Scheibe als Arbeitsbühne: Fortsetzung der Mantelkonstruktion (Scheibe wird mit Luftdruck hochgefahren).



4. Fertigstellung der Mantelkonstruktion bzw. Erreichen der Endstellung – Anschluss mit der Dachkonstruktion.

Abb. 368: Montageablauf (Leffer, 2006, p. 13). **

⁷²⁹ LEF-A, 1954, p. 3, einschl. eingelegte Notizblätter vom 10.05.1966.

⁷³⁰ Leffer, 2006, p. 14

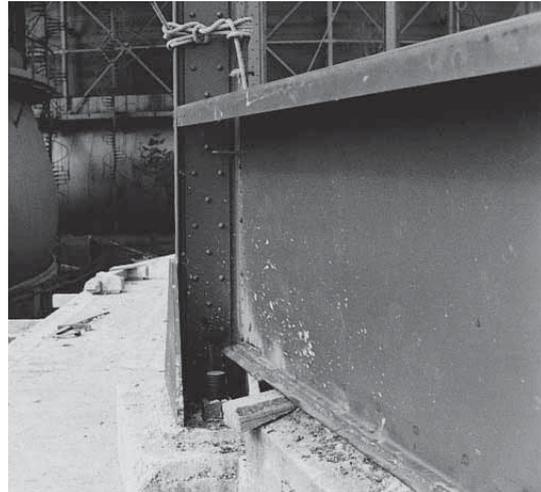


Abb. 365: Einbau des Bördelblechs, Augsburg (GWF, 1954).

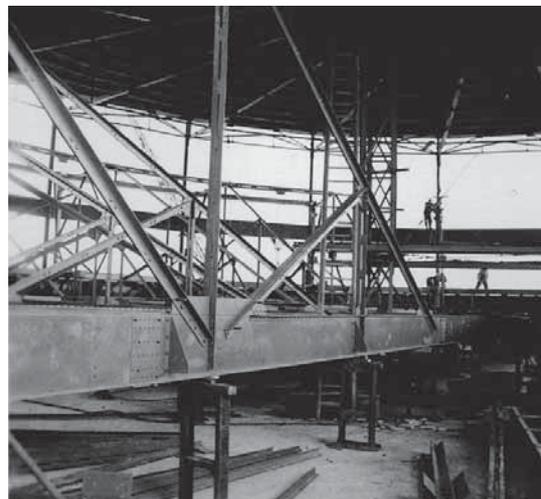


Abb. 366: Montage der Scheibe, Augsburg (GWF, 1954).



Abb. 367: Montage der Tasse, Augsburg (GWF, 1954).

Die Konstruktion der **Scheibentasse** – dem Schlüsseldetail des Scheibengasbehälters – stellte ein komplexes Gefüge dar, das seit seiner Erfindung einem weitreichenden Optimierungsprozess unterlag.⁷³¹

Bei den frühen Scheibenkonstruktionen kam in der Regel eine einfach abgetreppte Tasse zum Einsatz, deren Gleitleiste über Gegengewichte und Hebel an die Mantelwand gedrückt wurde (Abb. 369, Abb. 370) und so den gasdichten Abschluss erzeugte. Die Gleitleiste ist mit einem Gewebe verbunden, das die Abgabe der Dichtflüssigkeit – Teer oder sogenanntes „Gasometeröl“ – reguliert.⁷³²

Nach einer Vielzahl von Überarbeitungen zeigt sich die Tassenkonstruktion des 21. Jahrhunderts mit einer fein abgestimmten Technik:

Die abgetreppte Tassenform wurde beibehalten, wobei der untere Abschnitt leicht abgeschrägt wurde. Die Gleitleiste wird nun über Aufhänge- und Andrückelemente an die Mantelwand gedrückt und ist mit einem Gewebe verbunden. Eine Trennschürze, die mit einem Absetzbehälter verbunden ist, sorgt für eine saubere Beschaffenheit der Dichtflüssigkeit – in diesem Fall Mineralöl. Verunreinigungen lagern sich im vorgenannten Absetzbehälter ab.⁷³³



Abb. 369: Scheibentasse um 1930 (MAN, 1930, p. 8).

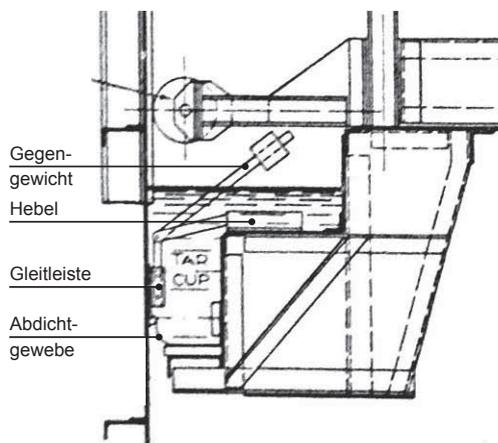


Abb. 370: Scheibentasse mit Gegengewichten (Milbourne, 1929, p. 22).**

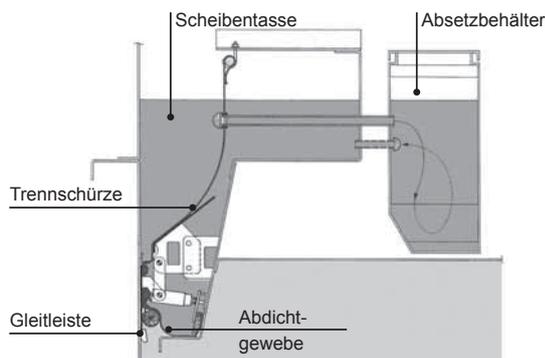


Abb. 371: Aktuelle Ausführung der Scheibenrandabdichtung nach Leffer (Leffer, 2006, p. 9).**

731 Anm. d. Verfasserin: Dieses Kapitel behandelt die Konstruktion des Gasbehälters in seiner Ganzheit und gibt einen Überblick über dessen Baukonstruktionsgeschichte. Daher wird die Entwicklung der Tassenkonstruktion an dieser Stelle nur mit zwei Ausführungsbeispielen erläutert.

732 Milbourne, 1929, pp. 23–24; MAN, 1930, pp. 7–8
Weiterführende Aufsätze zur Dichtflüssigkeit siehe Müller, 1926, pp. 5–7; MAN-A, 1949, pp. 1–2

733 Leffer, 2006, p. 9

Der Scheibengasbehälter schrieb Erfolgsgeschichte: Von 1915 bis 1936 wurden weltweit 269 MAN-Scheibengasbehälter mit einem Gesamtvolumen von ca. 20 Mio. m³ errichtet ⁷³⁴.

Der **größte MAN-Scheibengasbehälter weltweit** wurde bereits 1928 in Chicago (*Abb. 372*) in einer Rekordzeit von nur fünf Monaten fertig gestellt. 1943 wurde er jedoch durch einen Flugzeugabsturz zerstört. ⁷³⁵

Die Abmessungen und das Volumen dieses Gasbehälters betragen:

Nutzvolumen:	566.000m ³ ;
Durchmesser:	85,00m;
Höhe:	114,00m. ⁷³⁶

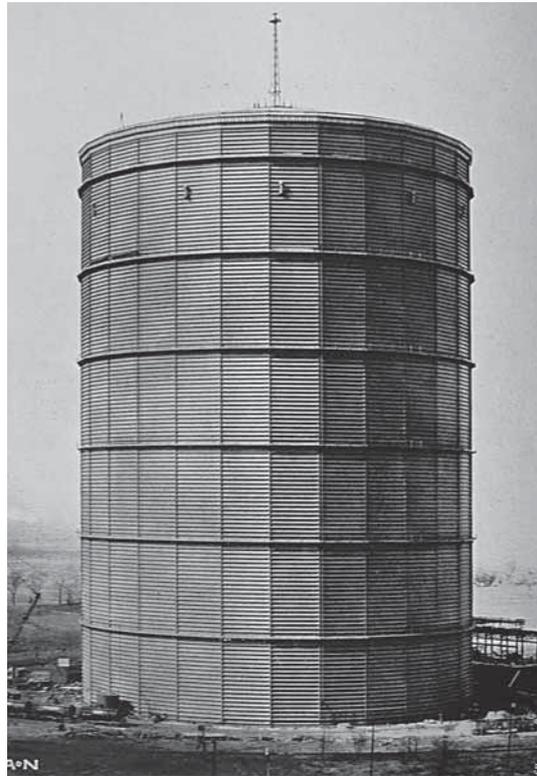


Abb. 372: Größter MAN-Scheibengasbehälter weltweit in Chicago (MAN, 1930, p. 48).

734 MAN, 1936, p. 3
Der erste MAN-Scheibengasbehälter Englands wurde 1927 in Ipswich gebaut (Sturt, 1980, p. 19).
In Italien wurde diese neue Gasbehälterform erstmals 1932 in Bologna eingeführt (*Siehe Kap. D.3.3.1.*).
Anm. d. Verfasserin: Die Firma Stahl- und Apparatebau Leffer baut seit 1984 und repariert auch heute noch MAN-Scheibengasbehälter (Leffer, 2006, p. 16), sowie hydraulische Gasbehälter (*Siehe Kap. E.1.-2.*).

735 MAN, 1959, o. S.

736 MAN, 1930, p. 48

Tab. 44: MAN – Abteilung Gasbehälterbau bis 1935			
(nach MAN, 1908–1909b–1912–1913–30–1959–2017; Zimpell, 1925; Sturt, 1980)			
Jahr	Bautyp	Volumen	Stadt
1874	1. MAN-Gasbehälter mit einem Hubteil (D= 30,60m; teleskopiert 1883)	unbekannt	DE Nürnberg
1885	2. MAN-Gasbehälter mit einem Hubteil (D= 40,00m; teleskopiert, 1891)	20.000	DE Nürnberg
1891–1892	Zweihübiger Gasbehälter mit Gasbehälterhaus	18.500	DE Nürnberg
1893	Verlegung der MAN – “Kesselschmiede“ von Nürnberg nach Gustavsburg		DE Gustavsburg
1898	Fusion der „Maschinenbau-Aktiengesellschaft Nürnberg“, ehem. Fa. Klett & Co., mit der Maschinenfabrik Augsburg zur „Vereinigten Maschinenfabrik Augsburg und Maschinenbaugesellschaft Nürnberg A.G.“		DE
1903	Lieferung der Hubteile für einen zweihübigen Gasbehälter mit Gasbehälterhaus	50.000	DE Hamburg-Billwärder
1904	Einhübiger Gasbehälter (Kugelbodenbecken; erweiterbar auf V= 6.000m ³)	3.000	DE Hamburg-Steinwärder
1907	Dreihübiger Teleskopgasbehälter (Flachbodenbecken)	75.000	DE München-Moosach
1908	Einhübiger Gasbehälter mit Wölbringbecken-Prototyp (<i>Siehe Kap. C.2.4.-4.5.</i>)	70	DE Nürnberg (MAN-Werk)
1909	Einhübiger Gasbehälter (Flachbodenbecken)	200	DE Gustavsburg (MAN-Werk)
1909	Einhübiger Gasbehälter (Flachbodenbecken)	600	DE Gustav Kuntze AG, Worms
1909	1. Wölbmantelbecken für einen vierhübigen Gasbehälter mit rautenförmigen Führungsgerüst (<i>Siehe Kap. C.2.3.-7.6.2.; C.2.4.-4.5.</i>)	150.000	AT Wien-Simmering
1910	Fünfhübiger Gasbehälter mit Wölbmantelbecken	250.000	AT Wien-Brigittenau
1910	Dreihübiger Gasbehälter mit Wölbmantelbecken	40.000	DE Mainz
1910–1911	Dreihübiger Gasbehälter mit Wölbmantelbecken	20.000	DZ Algier
1910–1911	Dreihübiger Gasbehälter mit Wölbmantelbecken	120.000	DE 1x für Nürnberg-Sandreuth 1x für Zeche Bergmannsglück
1910–1911	Dreihübiger Gasbehälter mit Wölbmantelbecken (<i>Siehe Kap. C.2.4.-4.5.</i>)	25.000	DE Augsburg-Oberhausen
1911–1912	Teleskopgasbehälter mit Wölbmantelbecken	30.000	FR Marseille
1912–1913	2x Vierhübiger Gasbehälter mit Wölbmantelbecken	100.000	HU Budapest
1912–1913	Vierhübiger Gasbehälter mit Wölbmantelbecken	150.000	FR Paris
1913	Erfindung des Scheibengasbehälters mit Flüssigkeitsabdichtung – Patenterhebung durch Konrad Jagschitz		DE MAN – Nürnberg
1913–1915	Bau des 1. MAN-Scheibengasbehälters	1.600	DE Augsburg, Oberhausen
1927	1. MAN-Scheibengasbehälter in England	unbekannt	UK Ipswich
1928	Größter MAN-Scheibengasbehälter weltweit (D= 85,00m; H= 114,00m), zerstört 1943.	566.000	US Chicago

C.3.3. DER KLÖNNE-TYP

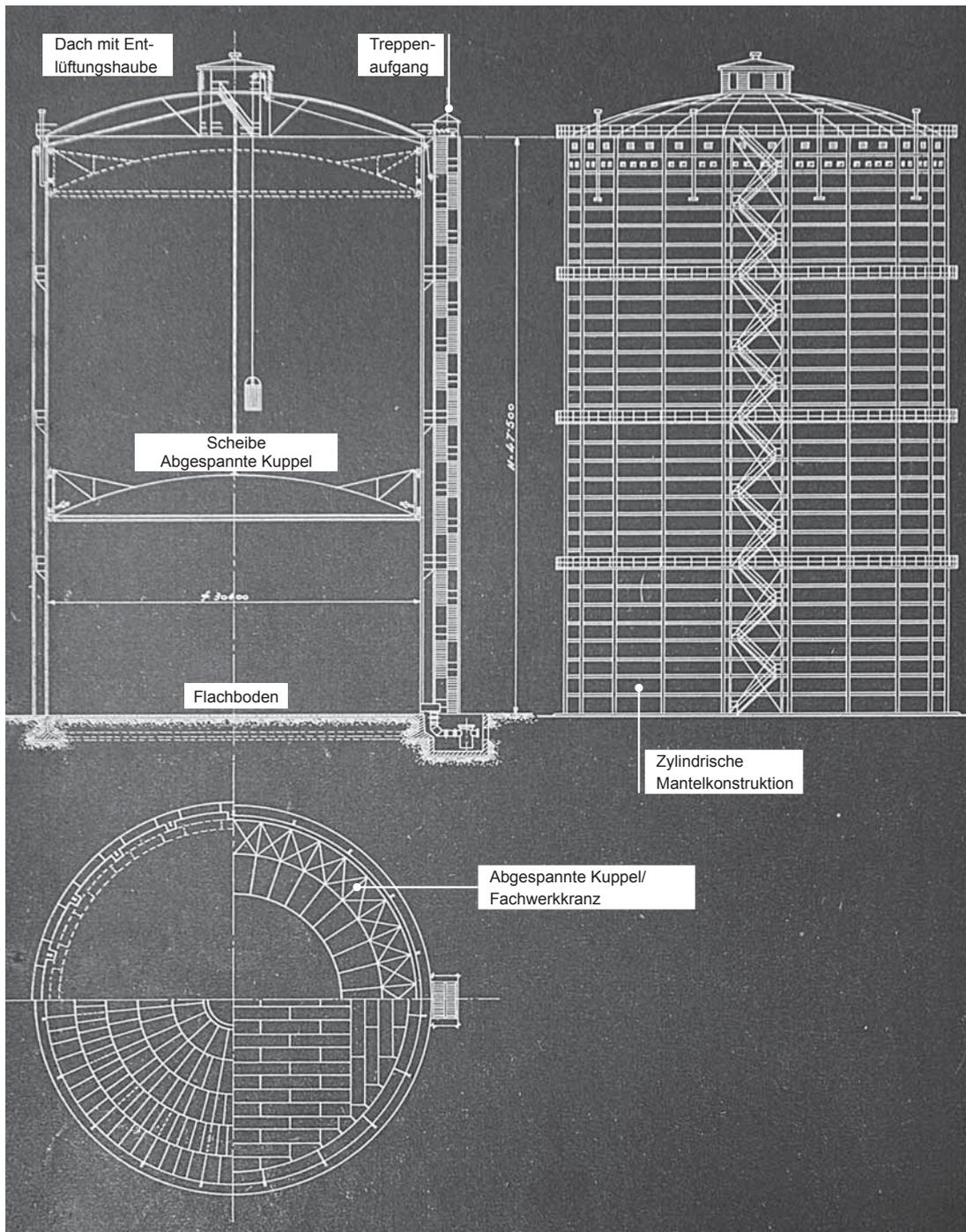


Abb. 373: Firmenprospekt mit dem Aufbau des Scheibengasbehälters nach Klönne (ITG, 1938, p. 8).**

Die Firma August Klönne* aus Dortmund, die seit 1874 auf dem Gebiet des Gasbehälterbaus tätig war⁷³⁷, patentierte 1926 eine weitere, neue Abdichtungstechnik (Abb. 374):⁷³⁸

„(...) Die Erfindung betrifft Abschlußkolben für Behälter zum Aufspeichern von Gas (...), wobei ein den Kolben umgebender Dichtungsring [f] an die Behälterwand [g] angedrückt wird. (...) Der Ring kann beispielsweise aus einem Gewebe von Baumwolle mit Gummieinlage (...) Gummi allein, Leder allein und ähnlichen Baustoffen bestehen, die dehnbar und gasdicht sind. (...)“

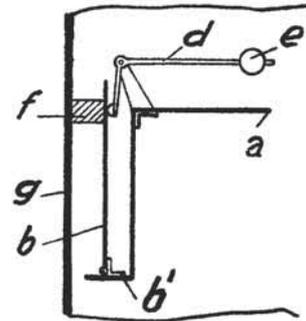


Abb. 374: Schematischer Aufbau des Dichtungsringes nach Klönne (Klönne, 1926, p. 3).

Der Dichtungsring wurde über Winkelarme (d), an deren auskragenden Enden jeweils ein Gewicht (e) angebracht war, an die Behälterwand gedrückt und bewirkte so den gasdichten Abschluss. Dem hydraulischen Vorgänger folgend war der Scheibenrand zunächst mit einem tassenförmigen Abschluss (b, b') ausgebildet.⁷³⁹

Diese Technik bedingte eine zylindrische Behälterform, bei der sich folgender Aufbau zum Standard erhob (Abb. 373):⁷⁴⁰

- Der zylindrische **Mantel** bestand aus Stützen, die in einem Ringfundament verankert wurden, und segmentförmig gebogenen Mantelblechen.
- Das **Dach** beschrieb eine unterspannte Kuppel mit einer zentralen Laterne bzw. Entlüftungshaube und wurde über einen Treppenaufgang erschlossen⁷⁴¹.
- Die **Scheibe** war als abgespannte Kuppel konzipiert. Die radial angeordneten Abspannungen waren gekoppelt und bildeten einen Fachwerkkranz, an dem sowohl die Mantelrollen, als auch der Dichtungsring angebracht wurde.
- Der **Dichtungsring** (Abb. 375) bestand aus zwei Gummiklötzen (B), zwischen denen ein hölzernes Distanzstück (C) angeordnet war, und wurde über einen Winkelhebel (D) und Gegengewichte (E) an die Mantelwand (A) gepresst.⁷⁴²

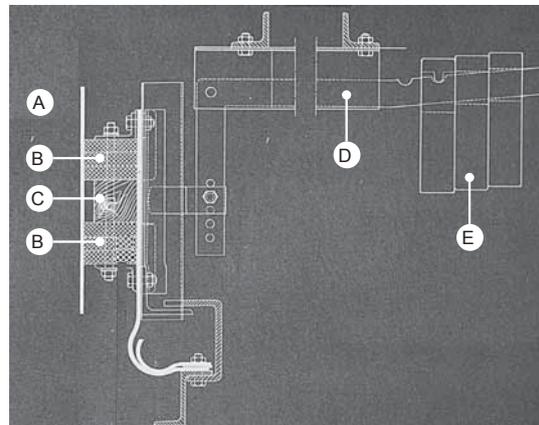


Abb. 375: Detail des Dichtungsringes (ITG, 1938, p. 5).**

737 o. A., 1929, p. 52

Klönne – der sich auf dem zweiten Bildungsweg die Ingenieur-Profession zu eigen machte und schon in seiner Ausbildung mit dem Gasfach betraut wurde – gründete das Büro 1879. Der erste hydraulische Gasbehälter nach Klönne wurde bereits 1874 in Dortmund errichtet. Nach seinem Ableben 1908 übernahmen seine beiden promovierten Söhne Max und Moritz die Geschäftsführung. (o. A., 1929, pp. 11–23, 52).

Nach den Plänen der Firma Klönne entstand u.a auch ein Gasbehältergebäude in Hamburg-Billwärder (Siehe Kap. C.2.5.-3.), der erste spiral-geführte Gasbehälter Deutschlands in Hamburg-Altona (Siehe Kap. C.2.6.-1.), das sternförmige Verbandgerüst (Siehe Kap. C.2.3.-7.6.1.), das internationale Verbreitung fand (Siehe Kap. D.) und ein freistehendes Ringbecken in Amsterdam (Siehe Kap. C.2.4.-4.4.3.).

Weiterführende Literatur zum Leben und Wirken Klönnes siehe o. A., 1929.

738 Klönne, 1926, p. 1–2

739 In der Patentschrift wurden an dieser Stelle auch weitere Abschlussmöglichkeiten mit dem sogenannten „Tauchverschluss“ aufgeführt – d.h. in dem tassenförmigen Scheibenabschluss befand sich eine Dichtflüssigkeit (Klönne, 1926, pp. 2–3).

740 o. A., 1929, pp. 54–55

741 Diese wurden schließlich von Aufzügen ersetzt, die als röhrenförmiger Annex an den Außenmantel gesetzt wurden.

742 Anm. d. Verfasserin: Analog zur Scheibentasse bei dem MAN-Typ, erfuhr auch der Dichtungsring des Klönne-Typs zahlreiche Optimierungen, die an dieser Stelle nicht näher behandelt werden, da die Konstruktion im Fokus steht.

Um die Reibung zwischen dem Dichtungsring und der Mantelwand zu reduzieren, musste dieser in regelmäßigen Abständen mit Spezialfett geschmiert werden ⁷⁴³.

Durch die Beschaffenheit des Dichtungsringes war es möglich, komplett auf eine Dichtflüssigkeit zu verzichten und diese Technik wurde deshalb auch als **Trockendichtung** bezeichnet. ⁷⁴⁴

Nachdem das Standardmodell mit einem Flachboden konzipiert war, entwickelte die Firma Klönne 1936 den gewölbten Behälterboden (Abb. 376), bei dem die Lasten direkt in das Ringfundament eingeleitet wurden. Zudem stützte der gewölbte Bodenabschluss die Scheibe im Leerstand. Der Hohlraum wurde in der Regel mit Sand aufgefüllt. ⁷⁴⁵

Bis 1929 wurden bereits zehn Scheibengasbehälter nach den Plänen Klönnes gebaut, deren Nutzvolumina von 6.000 bis 50.000m³ reichten. ⁷⁴⁶

Der weltweit größte Gasbehälter wurde als Klönne-Typ 1938 auf der Zeche Nordstern in Gelsenkirchen errichtet (Abb. 377). Der Scheibengasbehälter verfügte über ein Nutzvolumen von 600.000m³, hatte eine Höhe von 149,50m und einen Durchmesser von 80,00m.

Der Gasbehälter bestand jedoch nicht für lange Zeit, da er dem zweiten Weltkrieg zum Opfer fiel und nicht ersetzt wurde. ⁷⁴⁷

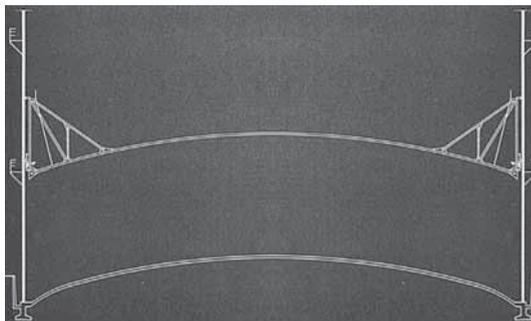


Abb. 376: Gewölbter Behälterboden (ITG, 1938, p. 5).

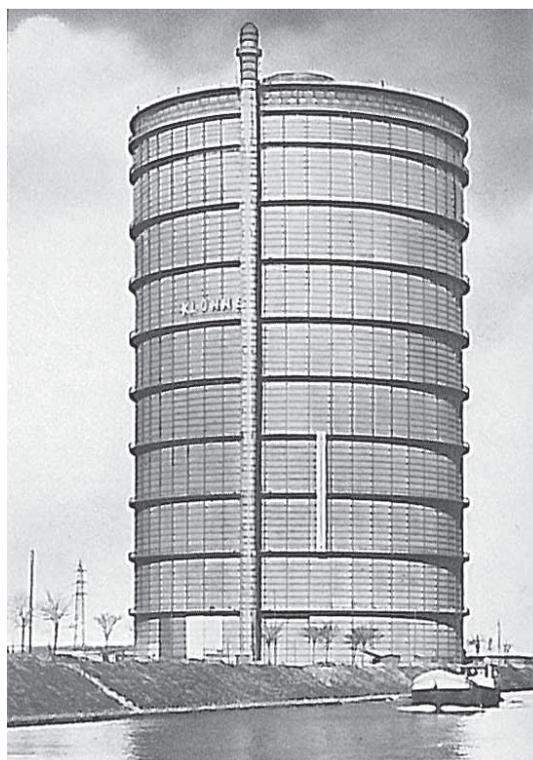


Abb. 377: Größter Klönne-Scheibengasbehälter in Gelsenkirchen (Gross, 1960, p. 148).

743 MAN-A, 1949, p. 2; Klönne, 1950, p. 296

744 MAN-A, 1949, p. 2

745 Klönne, 1936, pp. 1–2; MAN-A, 1949, p. 4

746 o. A., 1929, p. 56

In England wurde 1931 der erste Scheibengasbehälter nach Klönne in York fertig gestellt (Sturt, 1980, p. 19).

747 Gross, 1960, pp. 56–57

Tab. 45: Klönne – Abteilung Gasbehälterbau bis 1929			
(nach Klönne, 1926–1936–1950; o.A., 1929; Gross, 1960; Sturt, 1980; <i>kursiv</i> – geschätzt von BB)			
Jahr	Bautyp	Volumen	Stadt
1874	1. Klönne-Gasbehälter (vermutlich einhübig mit freistehendem, eisernen Wasserbecken)	unbekannt	DE Dortmund
1879	Gründung des IB August Klönne		DE Dortmund
1893	Bau des 1. Schraubengasbehälters in Deutschland nach dem Patente von Gadd & Mason (bis 1929 die landesweit einzige Ausführung) – (<i>Siehe Kap. C.2.6.-1.</i>)	33.000	DE Hamburg, Altona
1895	Zweihübiger Gasbehälter mit Gasbehälterhaus (<i>Siehe Kap. C.2.5.-3.</i>)	30.000	DE Hamburg, Billwärder
1903	Einhübiger Gasbehälter mit Frühform des sternförmigen Verbandgerüsts – (<i>Siehe Kap. C.2.3.-7.6.1.</i>)	2.500	DE Weringerode
1903	Zweihübiger Gasbehälter mit Gasbehälterhaus	50.000	DE Hamburg, Billwärder
1908	Einführung der sog. „Vollstrahlführung“ bei einem zweihübigen Gasbehälter	3.100	DE Wesel
*	Vierhübiger Gasbehälter mit freistehendem Ringbecken und sternförmigem Verbandgerüst (<i>Siehe Kap. C.2.3.-7.6.1.</i>)	100.000	NL Amsterdam
*	Vierhübiger Gasbehälter mit Flachbodenbecken und sternförmigem Verbandgerüst (<i>Siehe Kap. C.2.3.-7.6.1.</i>)	75.000	NL Rotterdam
ca. 1915	Dreihübiger Teleskopgasbehälter	20.000	DE Kokerei Zeche Tremonia
1926	Erfindung des Scheibengasbehälter mit Fettabdichtung – Patenterhebung durch Fa. August Klönne		DE Dortmund
ca. 1927	Scheibengasbehälter	10.000	Lünen
ca. 1928	Scheibengasbehälter	20.000	DE Bergwerksgesellschaft „Hibernia“ – Herne
1928/29	Teleskopierung des Glockengasbehälters (<i>Siehe Kap. C.2.3.-7.6.1.</i>)	5.000	DE Weringerode
1928–1931	1. Klönne-Scheibengasbehälter in England	unbekannt	UK York
1936	Patenterhebung des gewölbten Behälterbodens	unbekannt	
1938	Größter Scheibengasbehälter WELTWEIT (Zerstört im 2. Weltkrieg)	600.000	DE Zeche Nordstern, Gelsenkirchen

)* Die Bauzeit dieser Gasbehälter konnte nicht genauer bestimmt werden. Beide liegen jedoch im Zeitraum zwischen 1908 und 1928, wobei der Gasbehälter in Amsterdam deutlich vor dem Beispiel in Rotterdam ausgeführt wurde.

C.3.4. ZUSAMMENFASSUNG – SCHEIBENGASBEHÄLTER

Nachdem die hydraulische Abdichtungstechnik ein Jahrhundert lang den Gasbehälterbau diktierte, erreichte diese um die Jahrhundertwende jedoch ihre technischen und konstruktiven Grenzen, was insbesondere auf die sehr großen Wasserbecken und -mengen zurückfiel ⁷⁴⁸.

Mit der Einführung des Scheibengasbehälters betrat die *Firma Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg (MAN)** neues Terrain auf dem Sektor des Gasbehälterbaus, da dieser durch eine neuartige Abdichtungstechnik kein Wasserbecken mehr benötigte: Die Erfindung stammte von dem aus den eigenen Reihen kommenden Ingenieur *Konrad Jagschitz** und wurde 1915 erstmals erfolgreich in Augsburg in Betrieb genommen. Nachdem der Prototyp mit einem massiven Schutzbauwerk errichtet wurde, setzte sich die freistehende Form als Standard durch: Der Scheibengasbehälter hatte eine polygonale Grundform und bestand aus einem Mantel, einem Dach mit Entlüftungshaube und einer **Scheibe**. Letztere trennte den Luft- vom Gasraum und bewegte sich je nach aktuellem Gasinhalt auf und ab. Die Mantelkonstruktion setzte sich aus Mantelstützen und geraden Bördelblechen zusammen.

Aufgrund des nicht vorhandenen Wasserbeckens folgten aus diesem Aufbau weitere Bezeichnungen wie die des wasserlosen bzw. des Trockengasbehälters, wobei der Begriff „trocken“ hier nicht zutraf: Der gasdichte Abschluss erfolgte nämlich mit einer **Dichtflüssigkeit** – Teer oder Mineralöl, die kontinuierlich an der Mantelinnenseite herabließ. Der Scheibenrand war mit einer Tasse ausgebildet, in der sich eine bestimmte Menge an Dichtflüssigkeit befand und so für eine gleichmäßige Benetzung des Mantels sorgte.

Diese innovative, technische Errungenschaft spiegelte sich auch in dem veränderten Erscheinungsbild des Scheibengasbehälters wider – nämlich als ein geschlossener, turmartiger Baukörper, der so seine Speicherfunktion nach außen hin verbarg.

Die MAN wurde schließlich der Monopolstellung enthoben, als 1926 der Scheibengasbehälter von der *Firma August Klönne** aus Dortmund patentiert wurde und in der Ausführung überzeugte.

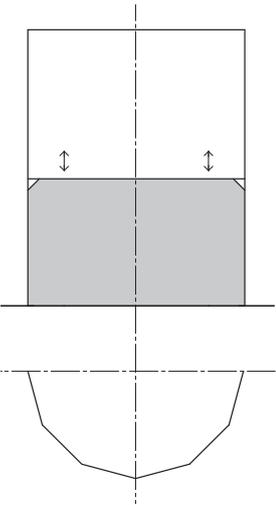
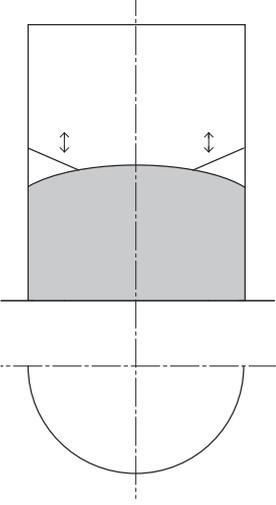
Im Gegensatz zum MAN-Typ besaß der Scheibengasbehälter von Klönne:

- Eine zylindrische Grundform – daher auch segmentförmig gebogene Mantelbleche,
- Eine abgespannte Kuppel als Scheibe,
- Eine **Trocken- bzw. Gummidichtung**, die am Scheibenrand angebracht war und regelmäßig geschmiert werden musste.

Der Vergleich (*Tab. 46*) der beiden Scheibengasbehälter zeigt, dass der MAN-Typ nicht nur aufgrund seines im Vergleich zum Klönne-Typ weitaus höheren Gasdichtheitsgrads bestach, sondern auch mit zahlreichen weiteren, konstruktiven und technischen Vorteilen überzeugte. Dies stellte auch die Anzahl der weltweit errichteten und erfolgreich in Betrieb genommenen MAN Scheibengasbehälter unter Beweis.

Insgesamt fußte die Entstehung des Scheibengasbehälters auf der innovativen Abdichtungstechnik, durch die der Gasbehälter seine typische Form und Konstruktion erhielt – so wie es auch beim hydraulischen Gasbehälter schon der Fall war.

748 MAN, 1936, pp. 4–5

Tab. 46: Zusammenfassung – Scheibengasbehälter		
(nach Gross, 1960; o. A., 1929; Klönne, 1926–1936–1950; Leffer, 2006; MAN, 1930–1936–1959; MAN-A, 1949)		
Scheibengasbehälter	Vorteile	Nachteile
 <p>MAN-Typ</p>	<ul style="list-style-type: none"> + Vereinfachter Aufbau, folglich auch vereinfachte Montage und Wartung, + Reduzierung des Materialaufwandes, folglich Kosten- und Zeiteinsparung, + Reduzierter Platzbedarf, + Stark reduzierte Menge an Dichtflüssigkeit, + Geschützter Hebe- und Senkmechanismus der Scheibe, + Konstanter Betriebsdruck, + Serienfertigung, in vielen Größen möglich. <p>MAN-Typ</p> <ul style="list-style-type: none"> + Flüssigkeitsabdichtung ermöglicht sehr hohen Grad an Gasdichtheit, + Polygonale Grundform für bessere Kraftübertragung ins Fundament, + Gerade Mantelbleche (bördelbar), + Totraumlose Scheibenform, + Gleitleisten mit verzahntem Abschluss zum Beseitigen von Eisansätzen, + Als bergschadensichere Fundamentierung möglich, + Nachträgliches Ausgleichen von Setzungen möglich, + Korrosionsschutz nur außenseitig erforderlich, da dies innenseitig die Abdichtflüssigkeit übernimmt, + Gute Belichtung des Luftraumes durch Oberlichter im Dach. 	<ul style="list-style-type: none"> - Feuchtigkeitsniederschläge und Eisbildung (bei Frosttemperaturen) an der Mantelinnenseite konnten zu Störungen/ Beeinträchtigungen führen.
 <p>Klönne-Typ</p>	<p>Klönne-Typ</p> <ul style="list-style-type: none"> + Reine Trockendichtung – ohne Dichtflüssigkeit. 	<p>Klönne-Typ</p> <ul style="list-style-type: none"> - Trockendichtung: Händisches Antragen/ Warten des Schmierfettes, daher Beeinträchtigung des Grades an Gasdichtheit, - Aufwendige Herstellung der segmentförmigen Mantelbleche, - Keine Vorkehrungen gegen Eisansätze an der Mantelinnenseite, - Bei Setzungen unter dem gewölbten Boden: Entstehung von explosivem Gas-Luftgemisch möglich, - Keine bergschadensichere Fundamentierung möglich.

C.4. VERGLEICH – HYDRAULISCHER UND SCHEIBENGASBEHÄLTER

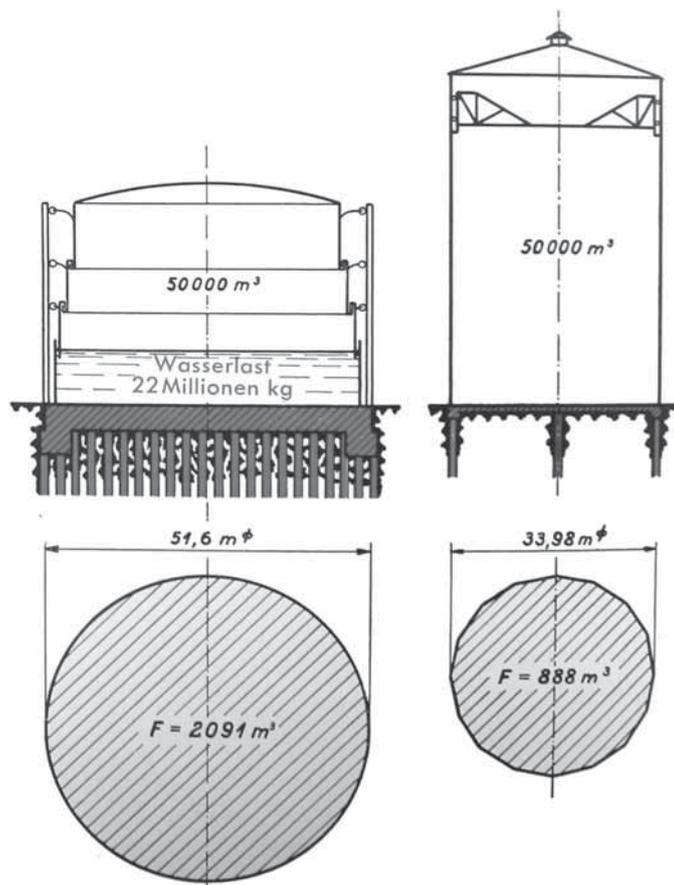


Abb. 378: Gegenüberstellung – Hydraulischer und Scheibengasbehälter (MAN, 1936, p. 4).**

In diesem Kapitel werden die hydraulischen und die Scheibengasbehälter abschließend gegenübergestellt, um die Unterschiede und Parallelen von deren Abdichtungstechnik und der daraus folgenden Konstruktionsweise in komprimierter Form darzustellen (Tab. 47).

Ende des 19. Jahrhunderts stießen die hydraulischen Gasbehälter, die sich über fast ein ganzes Jahrhundert hinweg bewährten, v.a. bei großen Ausführungen an ihre technisch-konstruktiven Grenzen: ⁷⁴⁹

- Der zunehmende Wasser- und Bodendruck erforderte stabilere Beckenkonstruktionen und Gründungen (Abb. 378).
- Bei kälteren Winterperioden musste für ein ausreichendes Beheizen der großen Wassermengen Sorge getragen werden.
- Die steigenden Nutzvolumen äußerten sich auch im Materialaufwand sowie den Kosten: Dabei betrug die Kosten für Wasserbecken und Führungsgerüst ca. 60% der Gesamtkonstruktion. Dem eigentlichen Gasbehälter – den Hubteilen kamen nur 40% zu.

Dazu kamen noch die üblichen Probleme bezüglich der Korrosion – insbesondere bei der Hubteilkonstruktion, der empfindlichen Tassenkonstruktion, den Drucksprüngen beim Verhaken der einzelnen Hubteile, sowie den direkten Witterungseinflüssen auf die gesamte Konstruktion des Gasbehälters und den daraus resultierenden Wartungs- und Reparaturmaßnahmen.

Diese technischen Nachteile wurden durch die Einführung des Scheibengasbehälters mit einem Schlag ausgemerzt, indem das Wasserbecken mit seinen großen Wassermengen nicht mehr notwendig waren, um einen gasdichten Abschluss zu erzeugen. Zudem erlangten diese wasserlosen Gasbehälter dadurch eine einfachere, effizientere Konstruktionsweise, die durch einen stark reduzierten Aufbau bestach. Einen weiteren Vorteil bewirkte die geschlossene Behälterwand, die den Abdichtungs- bzw. Bewegungsmechanismus der Scheibe schützte.

Auch wenn sich der Scheibengasbehälter der nachteiligen Eigenschaften des hydraulischen Gasbehälters entledigte, so behielt er dennoch einige opportune Bauteile und Elemente bei:

- Dies beweist in erster Linie die Dichtflüssigkeit des MAN-Scheibengasbehälters, die jedoch in weit reduzierter Menge zum Einsatz kam, indem sie allein die Mantelinnenseite benetzte, am Fuß gesammelt und dann wieder an die Oberkante des Mantels gepumpt wurde. Auch die Scheibentasse war der Schöpftasse entlehnt.
Beim Klönne-Typ trifft dieses Argument nicht zu, da dieser auf einer Gummiabdichtung basierte und so keine Dichtflüssigkeit benötigte.
- Bei den hydraulischen Gasbehältern hatten die Hubteile die eigentliche Speicherfunktion inne und stellten ein fixes, gasbegrenzendes Bauteil dar. Beim Scheibengasbehälter bildeten der Mantel und die Scheibe gemeinsam ein flexibles, gasbegrenzendes Bauteil, das man an dieser Stelle auch als flexibles Hubteil einstufen könnte, dessen Höhe je nach Speicherinhalt variierte.
- Die Mantelkonstruktion diente nicht nur zur Gasbegrenzung, sondern übernahm auch die Funktion des Führungsgerüsts: Die Rollen der Scheibe liefen an den Mantelstützen auf und ab.
- Eine weitere Parallele zeigte die Dachkonstruktion, die mit den radial angeordneten Fachwerkträgern an die unterspannten Kuppeldächer der Hubteile erinnern ließ. Der Aufbau der Scheibe folgte zwar grundsätzlich dem Flach- bzw. Kuppeldach, jedoch war die Unterkonstruktion jeweils an der *Oberseite* und nicht an der *Unterseite* der Scheibe angeordnet, wie bei den Hubteilen.
- In der Frühphase des Scheibengasbehälters äußerte sich ebenfalls eine Analogie zur Baukonstruktionsgeschichte der hydraulischen Vorgänger: Der Prototyp des ersten MAN-Scheibengasbehälters wurde mit einem massiven Schutzbauwerk umhüllt.

Insgesamt war die Baukonstruktionsgeschichte des hydraulischen Gasbehälters fast ein ganzes Jahrhundert hindurch von einer kontinuierlichen Weiterentwicklung geprägt, die sich in einer großen Formenvielfalt äußerte – wohingegen sich beim Scheibengasbehälter binnen kürzester Zeit eine einheitliche Standardform durchsetzte.

Tab. 47: Gegenüberstellung – Hydraulischer und Scheibengasbehälter (nach Calzavara, 1899; MAN, 1930; MAN, 1936; o. A., 1953; Gross, 1960; Leffer, 2006)		
	Teleskopgasbehälter	Scheibengasbehälter
Erfindung	1813: Samuel Clegg	1913: Konrad Jagschitz
Größtes Beispiel	1892: George T. und Frank Livesey, V= 339.802m ³ , in East Greenwich, London. (Siehe Kap. C.2.2.-6.2.2. und 7.2.; C.2.3.-7.4.)	1938: Klönne, V= 600.000m ³ als Klönne-Typ in Gelsenkirchen. (Siehe Kap. C.3.-2.)
KONSTRUKTION – (bei V= 250.000m³)		
Grundfläche	5.540m ²	2.980m ²
Bestandteile	<u>Hubteile</u> (Mantelständer, Ringträger, Kuppel, Tassen, Kuppel- Mantelbleche) <u>Führungsgерüst</u> (Stützen/ Säulen, horizontale Träger, Verbände, Führungsschienen, Rollenböcke) <u>Wasserbecken</u> (Beckenwand, -boden, ggf. Stützkonstruktion für Kuppel)	<u>Mantel</u> (Stützen, Mantelbleche) <u>Scheibe</u> (Radial- und Ringträger, Deckbleche) <u>Dach</u> (Aufbau siehe Scheibe)
Bauzeit	Längere Bauzeit wg. hoher Bauteilanzahl	Verkürzte Bauzeit
Fügetechnik	Nieten und Schrauben	
Fundament	Massive Bodenplatte, Pfahlgründung	Dünne Bodenplatte, Ringfundament (MAN: Auch als Hochfundament möglich)
Materialaufwand	60 % – Wasserbecken u. Führungsgерüst, 40 % – Hubteile	
Betriebsgewicht	70.000t	2.150t
ANLAGENTECHNIK		
Dichtflüssigkeit	Wasser	Teer, Öl
Beheizen von	Wasserbecken und Tassen	Minimaler Heizungsanfang, da zirkulierende Dichtflüssigkeit
Druckverhalten	Mit Sprüngen (Beim Verhaken der Tassen)	Konstant
Druck	12,50mbar (um 1899)	15,00 – 50,00mbar (max. 85,00mbar)
Gasmilieu	Feucht (Wasserbecken)	Trocken
TRAGVERHALTEN – (bei V= 50.000m³)		
Druck an Mantelfläche	Hoher Wasserdruck	Geringer Anpressdruck der Gleitleisten
Bodendruck/ Wasserlast	ca. 22.000.000 kg	ca. 1.100.000 kg
Lastabtragung Wind, Eigengewicht	Hubteile > Rollen > Führungsschiene > Stützen/ Säulen > Becken > Fundament	Scheibe > Stützen > Fundament
REVISION & SCHADENSBLDER		
Korrosionsschutz	Regelmäßiger Überholungsanstrich der kompletten freistehenden Konstruktion.	Regelmäßiger Überholungsanstrich der Behälteraußenseite. An der Mantelinnenseite übernimmt die Dichtflüssigkeit den Korrosionsschutz.

D. DER HISTORISCHE GASBEHÄLTERBAU IN ITALIEN

EINFÜHRUNG

Der HISTORISCHE GASBEHÄLTERBAU IN ITALIEN des 19. und frühen 20. Jahrhunderts war geprägt von den Pionieren der Gasindustrie, die aus Frankreich, England und Deutschland stammten. Diese schlossen mit den italienischen Städten Verträge zur Gasbeleuchtung ab und diktierten so die Konstruktion des Gasbehälters in Italien, die zudem von den jeweils gegenwärtigen technisch-konstruktiven Möglichkeiten abhängig war (*Siehe Kap. C.1.2.*).

Anfang des 20. Jahrhunderts erreichte der Gasbehälter beachtliche Ausmaße und entwickelte sich zum Landmark vieler Städte.

Dieses Kapitel beschreibt die konstruktive Evolution vom hydraulischen Gasbehälter zum Scheibengasbehälter in Italien:

Der hydraulische Gasbehälter bestand aus einem Hubteil, einem Führungsgerüst und einem Wasserbecken, letzteres bewirkte durch das Wasser den gasdichten Abschluss. Diese Gasbehälterform debütierte 1838 auf dem ersten öffentlichen Gaswerk in Turin – 24 Jahre nach der Inauguration des weltweit ersten Gaswerks in London (*Siehe Kap. B.5.-2.2.*) – und durchlief die verschiedenen Entwicklungsstadien entsprechend zeitverzögert. So wurde auch der Trocken- bzw. Scheibengasbehälter – dessen neuartige Abdichtungstechnik es erlaubte, auf ein Wasserbecken zu verzichten – erst 1930 in Italien eingeführt, während der Prototyp bereits 1915 erfolgreich in Deutschland errichtet wurde.

Basierend auf der Abdichtungstechnik bewegt sich der Untersuchungszeitraum dieses Kapitels in dem Zeitraum von 1837 bis ca. 1940.

Der Fokus der Baukonstruktionsgeschichte ist dabei auf das Führungsgerüst des hydraulischen Gasbehälters gerichtet, da dessen Ausführungsvielfalt durch die verschiedenen Einflüsse aus dem Ausland noch zusätzlich erhöht wurde.

Dieses Kapitel hat einen vierteiligen Aufbau und erläutert im ersten Schritt die Verbreitung der Gasbeleuchtung als globales Phänomen. Im zweiten Schritt folgt die Betrachtung im nationalen Maßstab am Beispiel Italiens, das durch seine unmittelbare Nähe zu Frankreich, England und Deutschland eine Sonderposition einnahm. Dies spiegelte sich nicht nur in der Geschichte der Gasbeleuchtung wider, sondern auch in der Baukonstruktionsgeschichte des Gasbehälterbaus, die den dritten und zentralen Teil des Kapitels darstellt. Abschließend wird am Beispiel Venedigs – eine der ersten Städte Italiens mit Gasbeleuchtung – das Vorgehen einer adäquaten Bestandsaufnahme und Dokumentation eines historischen Gasbehälters dargestellt.

D.1. Überblick – Einführung der Gasbeleuchtung in Europa



Abb. 1: Verbreitung der Gasbeleuchtung in Europa nach Thomas, 2014, mit Hervorhebung der Entwicklung 1813–1838 (Plangrundlage: Alexrk2, 2010; CC-BY-SA; Eintragung der Länder und Jahreszahlen durch BB, 2017).**

Dieses Kapitel skizziert die Einführung der öffentlichen Gasbeleuchtung in Europa bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts und bündelt dabei die Hauptakteure dieser Arbeit – nämlich aus England, Deutschland und Italien stammende Ingenieure – in ein internationales Gesamtgefüge ein.¹

Ausgehend von London, wo die öffentliche Gasbeleuchtung 1813 debütierte (*Siehe Kap. B.5.*), wurde diese technische Innovation zunächst von den englischen Ingenieuren voran getrieben und international verbreitet (*Abb. 1*). Neben England entwickelte sich auch Frankreich zu einem frühen, wichtigen Protagonisten der Gasbeleuchtung und deren Ausbreitung².

Das erste Gaswerk auf dem Kontinent wurde 1818 in Brüssel errichtet³. Ein Jahr später folgte die Einführung in Frankreich und die ersten Straßenzüge von Paris erstrahlten im neuen Gaslicht.

Die übrigen Länder beteiligten sich deutlich weniger an der Entstehung und Entwicklung der Gasindustrie. Vielmehr schlossen sie Verträge mit englischen oder französischen Gasbeleuchtungsgesellschaften ab und beauftragten diese mit der Errichtung von lokalen Gaswerken.

Eine wichtige Rolle nahm hier die „Imperial Continental Gas Association“ (ICGA) ein, die 1820 eigens dafür gegründet wurde und ab 1824 das Gaslicht im großen Maßstab international verbreitete. Darunter war auch das erste öffentliche Gaswerk Deutschlands, das die ICGA 1825 in Hannover errichtete, sowie 1845 das erste Gaswerk in Österreich.⁴

Die ICGA hatte aber keine Monopolstellung inne, sondern erfuhr Konkurrenz durch eine Reihe von weiteren international agierenden Gasbeleuchtungsgesellschaften, wie z.B. „The Tuscan Gas Company“, „La Compagnie générale française et continentale d'éclairage“ oder „Deutsche Continental-Gas-Gesellschaft (Dessau Gas Co.)“⁵.

In Italien fasste eine kleinere Sozietät aus Frankreich Fuß, die unter der Leitung von Gautier und Reymondon stand, und 1838 in Turin erstmals das „luce argentea“ – das silberne Licht – einführte (*Siehe Kap. D.2.1.*). Bis 1850 waren auch die an Deutschland und Frankreich angrenzenden Länder sowie Russland mit Gaslicht versorgt und bis 1870 hatte die neue Beleuchtungstechnik schließlich in großen Teilen Europas Fuß gefasst.

Neben dem Wissenstransfer durch die englischen und französischen Gaspioniere war ein weiterer Faktor ausschlaggebend für die Verbreitung der Gasindustrie in Europa: Steinkohlevorkommnisse.

Ende des 12. Jahrhunderts wurde die Steinkohle in England zum Schmieden und Schmelzen von Erzen zum ersten Mal eingesetzt. In Deutschland wurde ab dem frühen 13. Jahrhundert Steinkohle an der Ruhr und in Frankreich seit dem 14. Jahrhundert im Loire-Tal gewonnen. 1888 war Großbritannien führend im Steinkohlebergbau, gefolgt von Deutschland, das v.a. seit der Einführung der Eisenbahn seine Position behauptete.⁶

„Die Ausfuhr Großbritanniens an Steinkohle betrug 1885 nach Frankreich 4215456^t, Italien 2703471^t, Deutschland 2635436^t, Schweden und Norwegen 1835810^t, Rußland 1471207^t;

1 Anm. d. Verfasserin: Dieses Kapitel stellt lediglich eine Überleitung zur Einführung der Gasbeleuchtung bzw. des Gasbehälters in Italien dar und dient dazu, einen ersten Überblick über die Entwicklung in Europa zu verschaffen. Weiterführende Informationen und Listen zu Gaswerken weltweit wurden von Russell Thomas aufbereitet, der diese laufend aktualisiert und erweitert (Siehe auch <https://pbworld.academia.edu/RussellThomas> – retrieved on 2017, September, 29th).

2 Anm. d. Verfasserin: Diese Arbeit konzentriert sich auf die Baukonstruktionsgeschichte des Gasbehälters ausgehend von England. Daher wurde die Rolle Frankreichs im Detail nicht näher untersucht.

3 Rödel, 1983, p. 109

4 Rödel, 1983, p. 110

5 Thomas, 2014, p. 12

6 Anonym, 1888, pp. 577–580

Weitere Steinkohlebecken befanden sich in Nordamerika, Kanada, Mexiko, Brasilien, Belgien, Spanien, Österreich-Ungarn, Bulgarien, Türkei, Schweden, Norwegen, Russland, China (Anonym, 1888, pp. 578–586).

Spanien und Portugal 1328601^t, Britisch-Indien 1304994^t, Dänemark 1160409^t, Aegypten 1142516^t, nach den übrigen Ländern der Erde 5972363^t, (...)“⁷

Folglich setzte die Gasbeleuchtung in Ländern ohne Steinkohle in der Regel mit einer zeitlichen Verzögerung ein.

Insgesamt schlugen sich diese beiden entscheidenden Faktoren – nämlich das Fachwissen der Gaspioniere und die Steinkohle – auch in der Anzahl der errichteten Gaswerke in den jeweiligen Ländern nieder. So wurden in ganz Großbritannien 2.149, in Deutschland 1.700 und in Frankreich 1.087 Gaswerke errichtet (Tab. 1).

Tab. 1: Errichtete Gaswerke in Europa	
(nach Thomas, 2014, p. 19)	
Land	Anzahl der Gaswerke
Großbritannien	2.149
Deutschland	1.700
Frankreich	1.087
Russland	310
Polen	230
Niederlande	228
Italien	182
Belgien	151
Dänemark	112
Schweiz	103
Spanien	94
Tschechien	86
Irland	76
Schweden	40
Österreich	32
Norwegen	18
Portugal	17
Ungarn	12
Slowakei	9
Luxemburg	8
Kroatien	7
Griechenland	6
Rumänien	6
Serbien	3
Lettland	3
Finnland	3
Estland	2
Litauen	2
Bosnien Herzegowina	2

⁷ Anonym, 1888, p. 577

D.2. Geschichte der Gasbeleuchtung in Italien

Dieses Kapitel führt durch die Anfänge der GESCHICHTE DER GASBELEUCHTUNG IN ITALIEN, die in **Turin** begründet sind. Dort wurde 1838 das erste Gaswerk Italiens zur Stadtbeleuchtung mit Gas errichtet, das sich außerhalb der Porta Nuova befand und kontinuierlich erweitert wurde, bis der Bau eines zweiten Gaswerks im Viertel Borgo Dora 1851 unumgänglich war. Ein drittes Gaswerk folgte bereits im Jahre 1869 in Vanchiglia.

Im zweiten Teil dieses Kapitels wird die **Verbreitung** des Gaslichts in Italien skizziert, das nach der erfolgreichen Einführung in Turin in weiteren Städten Italiens Einzug fand. Der Zeitrahmen dieser Betrachtung reicht dabei bis zum Jahre 1910.

In diesem Kapitel spielen v.a. die ersten Vertragspartner eine wichtige Rolle, die in der Regel aus England und Frankreich kamen und die Städte mit der neuen Beleuchtungstechnik versorgten. Deshalb hatten sie auch großen Einfluss auf die Form und die Konstruktion der zu errichtenden Gasbehälter.

D.2.1. EINFÜHRUNG IN TURIN

Turin zählte zu den ersten Metropolen Europas, die sich neben London und Paris für die neuartige Gasbeleuchtung entschied (Abb. 2).⁸

So war Turin die erste Stadt Italiens, deren Plätze und Straßen im „l'azzurra luce“ (dt.: dem blauen Licht) erstrahlten:

Paris, Turin, Londra, Venezia insemma
 Che gh'han avuu el regal prima de ti
 De sta roba insci bella, de sta gemma,
 Sdegnaven de parlatt, disend insci:
 — Va via Milan, orbonna, senza gass
 Te see pég che la pell d'on ananass. —

Mit der Gründung der „Società anonima d'Illuminazione a Gaz per la Città di Torino“ 1837 durch den Ingenieur *Hippolyte Gautier** und dem Architekten *François Ygnace Reymondon** wurde der Grundstein für die Gasbeleuchtung in Italien gelegt.⁹

Gaswerk I – Porta Nuova

Das erste Gaswerk entstand außerhalb der Stadtgrenzen in der „Zona Crocetta“ bei der Porta Nuova¹⁰, wo 1840 auch der Bahnhof errichtet wurde (Abb. 2). Das Areal war annähernd quadratisch und hatte eine Fläche von 6.500m². Der erste Entwurf für das Gaswerk wurde von Gautier und dem Architekten Carlo Gabelli erstellt, der die Anordnung der Bauwerke entlang der Grundstücksgrenzen vorsah (Abb. 3).

1838 begannen die Bauarbeiten unter der Leitung von Gautier und Reymondon und kurz nach der Fertigstellung des ersten Gasbehälters (V= 1.100m³) wurde das Gaswerk 1839 erstmals in Betrieb genommen. 1840 wurde ein zweiter und bis 1861¹¹ drei weitere, baugleiche Gasbehälter fertig gestellt.¹²

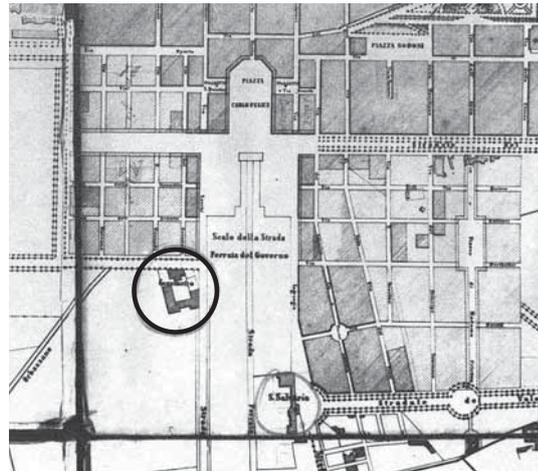


Abb. 2: Standort des Gaswerks in Turin, Porta Nuova – Lageplan um 1840, einschl. der geplanten Strada Ferrata (ITG, o. J.).

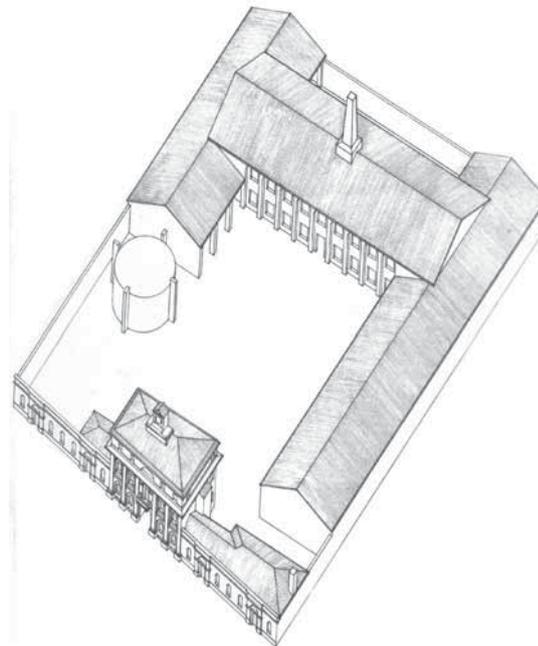


Abb. 3: Rekonstruktion des Gaswerks Porta Nuova in Turin um 1838 – mit dem ersten Gasbehälter (ITG, o. J.).

⁸ Barzaghi, 1845, p. 20

„Paris, Turin, London, Venedig allesamt, die das Geschenk vor dir hatten, dieses wunderbare Ding, dieses Juwel, alle wollten sie nichts mit dir zu tun haben und sagten: Wohlan, Mailand, zieh` von Dannen, ohne Gas Bist du schlechter als die Schale einer Ananas.“ – (Übers. d. Verfasserin)

⁹ ITG, 1837; Cerutti, Gianeri, 1983, p. 43–44

Entgegen einiger Aussagen, dass im selben Jahr die Gasbeleuchtung in Neapel eingeführt wurde, gilt zu berichtigen: 1837 wurde die Gasbeleuchtung in den Portici di San Francesco da Paola lediglich vorgeführt. Erst 1840 wurde dort ein öffentliches Gaswerk errichtet (Cerutti, Gianeri, 1983, p. 34).

¹⁰ Nach dem heutigen Stadtgefüge befand sich der Standort des Gaswerks im Carrée, das von der Via Paolo Sacchi, Via Montevecchio, Via Camerana und dem Corso Stati Uniti aufgespannt wurde. Eine historische Straßenbezeichnung zeugt dort noch heute von diesem ehemaligen Standort, nämlich „IX Via Gasometro 225 bis“ (Siehe Kap. B.1.).

¹¹ Penati, 1972, p. 73

¹² Cerutti, Gianeri, 1983, pp. 51–62. – Zur Konstruktion des ersten Gasbehälters siehe Kapitel D.3.2. 1.1.

1894 wurde der Rückbau des Gaswerks beschlossen¹³.

Gaswerk II – Borgo Dora

Im Januar 1851 erfuhren Gautier und Reymond schließlich Konkurrenz: Den beiden Turinern *Gaudenzio und Francesco Albani** wurde nämlich die Erlaubnis erteilt, auf deren Privatgrundstück, das sich im Viertel Borgo Dora (heute: Aurora) direkt am Fluss Dora Riparia befand, ein zweites Gaswerk zu errichten (Abb. 4). Der Unternehmergeist der beiden Brüder führte zur Gründung der „Società anonima Piemontese per l’Illuminazione a Gaz in Torino“.¹⁴

In der Planung des Gaswerks Borgo Dora waren vier Gasbehälter vorgesehen, von denen zunächst nur einer – mit zwei Hubteilen¹⁵ – gebaut wurde.

Um die Jahrhundertwende erreichte das Gaswerk allmählich seine maximale Ausdehnung bzw. Bebauungsdichte mit insgesamt fünf Gasbehältern – darunter war ein zweihubiger Gasbehälter ($V= 15.000\text{m}^3$) und ein dreihübiger Gasbehälter mit einem Nutzvolumen von 35.000m^3 (Abb. 5).¹⁶

Letzterer wurde mit einem freistehenden, genieteten Wasserbecken und einem dreigeschossigen Rahmengerüst gebaut.

1930 wurde das Gaswerk Borgo Dora vollständig rückgebaut.¹⁷

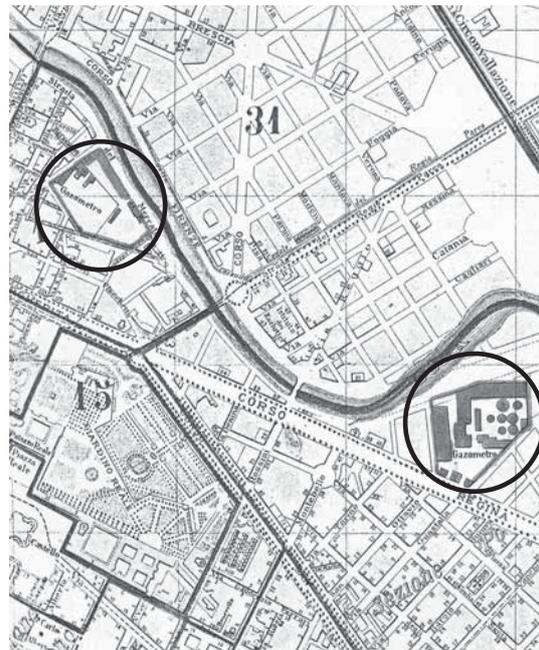


Abb. 4: Turins Gaswerke in Borgo Dora (links) und Vanchiglia (rechts) um 1895 (ITG, 1895).

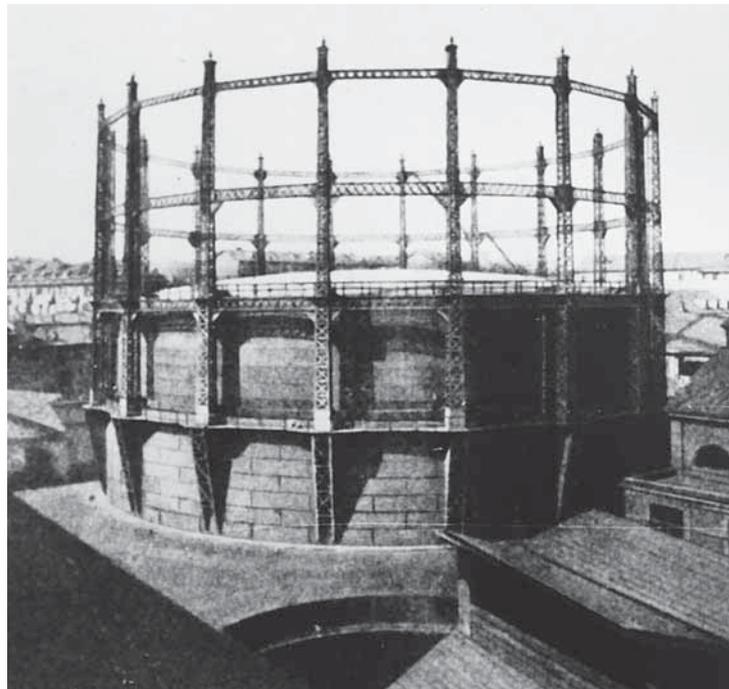


Abb. 5: Dreihübiger Gasbehälter des Gaswerks Borgo Dora (ITG, 1921).

13 ITG, 1893, pp. 428–431

14 Penati, 1972, pp. 54–58

1856 fusionierten die piemontesische und die französische Gasbeleuchtungsgesellschaft zur „Società Gas Luce di Torino“.

15 Paletta, 1987, pp. 73–74

16 Penati, 1972, pp. 72–73

17 Cerutti, Gianeri, 1983, p. 222

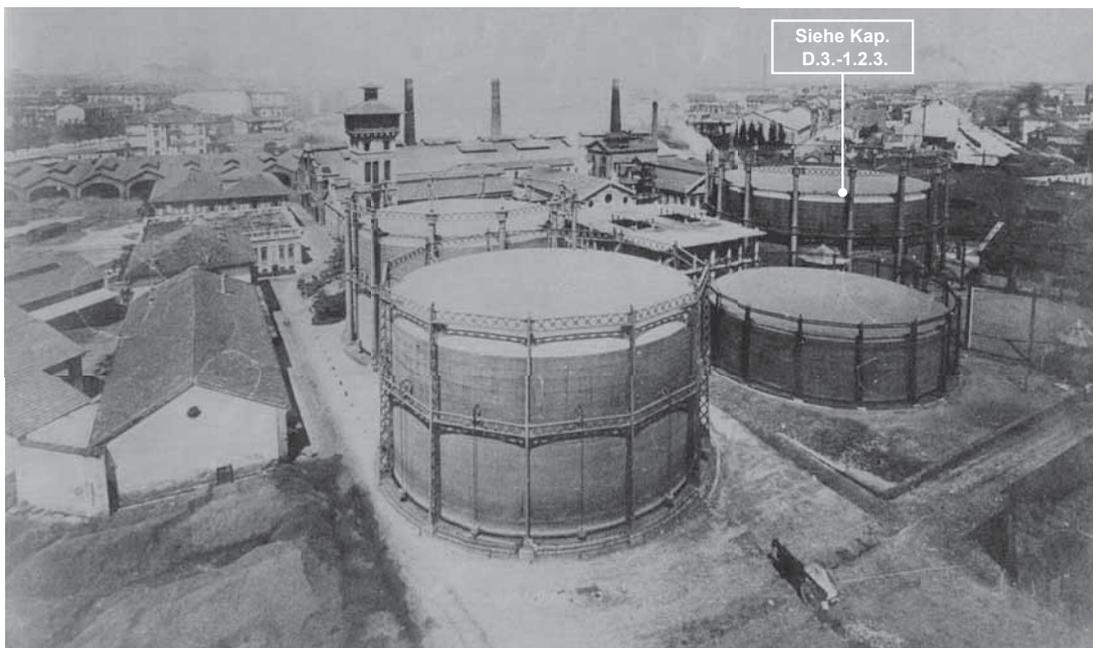


Abb. 6: Gaswerk Vanchiglia Anfang des 20. Jahrhunderts (ITG, o. J.).

Gaswerk III – Vanchiglia

Die Baugenehmigung des dritten Gaswerks wurde einer weiteren, neu gegründeten Gesellschaft 1862 erteilt, nämlich der „Società anonima Consumatori Gaz-Luce di Torino“¹⁸. Als Standort wurde ein Areal im Viertel Vanchiglia gewählt, das ebenfalls südlich des Flusses Dora Riparia gelegen war (Abb. 4). Das Gaswerk wurde stetig erweitert und dessen Speicherkapazitäten erhöht, was die zunehmende Anzahl an Gasbehältern zeigte: 1869 befanden sich drei Gasbehälter auf dem Areal¹⁹. Knapp 30 Jahre später waren es bereits sieben, dicht aneinander gebaute Gasbehälter (Abb. 6) und das Areal erstreckte sich im Süden bis hin zum Corso Regina Margherita.

Anfang des 20. Jahrhunderts erfuhr das Gaswerk Vanchiglia eine signifikante Aufstockung durch den Bau von zwei neuen Gasbehältern:

- 1910 wurde ein dreihübiger Gasbehälter von 36.000m³ (Abb. 7) nach den Plänen der Firma Samuel Cutler & Sons*, London errichtet (Siehe Kap.D.3.2.-1.4.4.)²⁰.
- 1930 folgte ein weiterer, dreihübiger Gasbehälter mit einem Nutzvolumen von 50.000m³ (Abb. 8) nach den Plänen der Firma August Klönne*, Dortmund (Siehe Kap.D.3.2.-1.4.3.)²¹. Zu diesem Zeitpunkt befanden sich insgesamt sieben Gasbehälter auf dem Areal.

In den 50er Jahren wurde der letzte Gasbehälter (V= 40.000m³) gebaut, der ebenfalls der Handschrift Klönnes folgte²².

1994 wurde das Gaswerk schließlich stillgelegt²³.

18 Paletta, 1987, p. 89; Penati, 1972, p. 74; Berger, 2014, p. 121

19 Penati, 1972, p. 90

20 Penati, 1972, p. 93; Berger, 2014, p. 121

21 Cerutti, Gianeri, 1983, p. 222

22 ITG, Foto Aeree Vanchiglia, 1962

23 Berger, 2015, p. 121



Abb. 7: Gasbehälter nach Cutler (BB, 2013).



Abb. 8: Gasbehälter nach Klönne (BB, 2013).

Einige historische Gebäude des Gaswerks Vanchiglia sind heute noch erhalten und zeugen von der einstigen Vorreiterrolle Turins in der italienischen Gasindustrie. Darunter auch die beiden Gasbehälter nach Cutler (1910) und Klönne (1930), deren hoch aufragende Führungsgerüste noch heute die Silhouette des Viertels prägen. Im nördlichen Bereich des ehemaligen Gaswerkareals befindet sich mittlerweile der Campus "Luigi Einaudi" der Università di Torino. ²⁴

Tab. 2: Die historischen Gaswerke und Gasbehälter in Turin (nach ITG, 1837–1880–1893; Penati, 1972; Cerutti, Gianeri, 1983; Castronovo, 1987; Paletta, 1987)	
1832	Vorführung der Gasflamme durch Hippolyte Gautier und François Y. Reymondon im Caffè Gran Corso, Piazza Vittorio, das sodann „Caffè del Gaz“ genannt wurde. (Heute ist es als „Caffè San Carlo“ bekannt).
12.09.1837	Gründung der ersten Beleuchtungsgesellschaft Italiens „Società anonima per l’Illuminazione a Gaz della città di Torino“ durch Gautier und Reymondon.
22.03.1838	Vertragsabschluss zum Bau des ersten Gaswerks in Turin, Porta Nuova zwischen Gautier und dem Bauunternehmen Mosca e Frasca. Baubeginn der Gebäude und der gemauerten Wasserbecken der beiden Gasbehälter (à V= 1.150m3). <i>„(...) il gasometro in lamiera, le colonne di guidaggio appoggiate su pilastri in muratura, le vasche in muratura, di particolare ed accurata esecuzione, interrate, (...)“*</i>
1839	Bekanntgabe der erfolgreichen Inbetriebnahme des Gaswerks Porta Nuova – mit einem Gasbehälter.
1840	Fertigstellung des zweiten Gasbehälters (V= 1.100m3).
1850	Beauftragung zum Bau von zwei weiteren, baugleichen Gasbehältern.
31.01.1851	Verlängerung der Vertragslaufzeit des Gaswerks – derzeit mit drei Gasbehältern (à V= 1.100m3) – um weitere 25 Jahre. Baugenehmigung für das zweite Gaswerk in Borgo Dora durch Gaudenzio und Francesco Albani auf deren Privatgrundstück, geplant mit bis zu vier zweihübrigen Gasbehältern. Gründung der „Società anonima Piemontese per l’Illuminazione a Gaz in Torino“ durch die Gebrüder Albani.
1852	<u>Borgo Dora</u> : Erster Gasbehälter.
1855	<u>Borgo Dora</u> : Versorgung des östlichen Teils von Turin. <u>Porta Nuova</u> : Versorgung des westlichen Teils von Turin.
1856	Fusion der beiden Gasbeleuchtungsgesellschaften zur „Società Gas Luce di Torino“ (Daraus ging 1863 die „Società Italiana per il Gas“ – Italgas – hervor.)
1860	<u>Borgo Dora</u> : Mit vier Gasbehältern.
1861	<u>Porta Nuova</u> : Insgesamt fünf Gasbehälter (à V= 1.100m3).
1862	Gründung der „Società anonima Consumatori Gaz-Luce di Torino“, der die Baugenehmigung des dritten Gaswerks in Vanchiglia erteilt wurde.
1869	<u>Borgo Dora</u> : Erweiterung (vermutlich Teleskopierung) eines bestehenden Gasbehälters. <u>Vanchiglia</u> : Mit drei Gasbehältern.
1876	<u>Borgo Dora</u> : Bau eines neuen, einhübrigen Gasbehälters (V= 4.000m3) mit freistehendem Wasserbecken (H= 12,00m), das kurz nach Inbetriebnahme versagte und durch einen zweihübrigen Gasbehälter – mit niedrigerem Becken – ersetzt wurde.
1880	<u>Vanchiglia</u> : Planung des fünften Gasbehälters (D= ca. 26,00m).
1885	Einführung der elektrischen Beleuchtung.
1885	<u>Vanchiglia</u> : Ausdehnung des Areals nach Norden; insgesamt sechs Gasbehälter.
1893	<u>Porta Nuova</u> : Beschluss des vollständigen Rückbaus – einschließlich der fünf Gasbehälter.
1898	<u>Borgo Dora</u> : Gaswerk erreicht maximale Ausdehnung und Bebauungsdichte mit fünf Gasbehältern – darunter befanden sich ein dreihübriger Gasbehälter (V= 35.000m3) und ein zweihübriger (V= 15.000m3). <u>Vanchiglia</u> : Ausdehnung des Areals nach Südwesten; insgesamt sieben Gasbehälter.
1910	<u>Vanchiglia</u> : Bau eines neuen Gasbehälters mit trianguliertem Verbandgerüst nach Cutler (V= 36.000m3).
1914	<u>Vanchiglia</u> : Insgesamt sieben Gasbehälter.

1930	<u>Borgo Dora</u> : Rückbau des Gaswerks. <u>Vanchiglia</u> : Bau eines neuen, dreihübrigen Gasbehälters mit sternförmigem Verbandgerüst nach Klönne (V= 50.000m ³).
50er	<u>Vanchiglia</u> : Bau des letzten Gasbehälters (V= 40.000m ³) – ebenfalls nach Klönne.
1972	Einführung des Erdgases.
1994	<u>Vanchiglia</u> : Stilllegung des Gaswerks.

*) „(...) der Gasbehälter [Anm. d. Verfasserin: das Hubteil] war aus Blech, die Führungsschienen waren an den gemauerten Säulen befestigt und die vollständig eingetieften Wasserbecken waren aus Mauerwerk – bei letzteren war die Ausführung besonders akkurat, (...)“ – (Übers. d. Verfasserin).
(Penati, 1972, p. 31)

D.2.2. VERBREITUNG

Die Gasbeleuchtung war ein Zeichen des Fortschritts, mit dem die Städte u.a. ihren modernen Lebensstandard zur Schau trugen.

Ausgehend von Turin (Siehe vorgehendes Kapitel) verbreitete sich das Gaslicht zunächst überwiegend in den nördlichen Regionen Italiens (*Tab. 3*):

Zu den ersten Städten, die sich für die Einführung der neuen Beleuchtungstechnik entschieden, gehörten Florenz (2) und Venedig (3); diese unterzeichneten 1839 Verträge mit einer französischen Gasbeleuchtungsgesellschaft aus Lyon, nämlich der „Società Lionese“, die bereits Turin unter Vertrag hatte ²⁵. Neapel (5) stellte eine Ausnahme zu dieser verstärkt im Norden stattfindenden Verbreitung dar: 1840 wurde sie als erste Stadt Süditaliens mit Gas versorgt; den Zuschlag erhielt abermals die renommierte Gesellschaft aus Lyon ²⁶.

Bis 1850 schickten sich weitere Städte Norditaliens an, ihr konventionelles Beleuchtungssystem, das auf Öl bzw. Kerzen basierte, durch das neue Gaslicht zu ersetzen. Darunter befanden sich

- 1843: Mailand (5; s.u.),
- 1844: Genua (6), Triest (7), ²⁷
- 1845: Verona (8), Padua (9), Vicenza (10), Treviso (11), ²⁸
- 1846: Bologna (12; s.u.), Parma (13) ²⁹,
- 1847: Alessandria (14) ³⁰,
- 1849: Cuneo (15) ³¹.

Bis auf Bologna wurden in diesen Städten jeweils französische Sozietäten mit der Einführung der Gasbeleuchtung beauftragt.

Ein weiterer Faktor, der wesentlich zur Verbreitung des Gaslichts in Italien beitrug, war der Anschluss an das Eisenbahnnetz (*Abb. 9*); dies kam v.a. bei Städten zum Tragen, die weder über einen Hafen, noch über schiffbare Wasserwege verfügten und deren Steinkohlenlieferung ausschließlich über den Schienenverkehr erfolgte.

Dies traf z.B. für die Städte Mailand und Bologna zu: In Mailand wurde die Planung der ersten Gasbeleuchtung 1843 ebenfalls in die Hand der „Società Lionese“ gegeben ³².

In Bologna hingegen wurde 1846 eine englische Gesellschaft mit der Einführung



Abb. 9: Eisenbahnnetz in Italien im Jahre 1861 (Arbaletta, 2010).

25 Giuntini, 1990, pp. 15–16. – Zur Geschichte der Gasbeleuchtung in Venedig, siehe *Kapitel D.4*.

26 Cerutti, Gianeri, 1983, p. 34; *Napolitanagas*, 2015

27 Schilling, 1885, pp. 751–753; Pittaluga, Signorelli, 2009, p. 29

28 Società Civile, 1845, p. 8; Paletta, 1987, pp. 96–97

29 Giuntini, 1990, p. 9

30 Paletta, 1987, pp. 96–97

31 Giuntini, 1990, p. 9

32 Cerutti, Gianeri, 1983, pp. 34–37. – Zu den ersten Gasbehältern in Mailand, siehe *Kapitel D.3.2.-1.2.3*.

Tab. 3: Die Einführung von Gaslicht in den Städten Italiens bis 1910 (ohne Tirol)



Von 1837 bis 1850:

- 1 Turin 1838
- 2 Florenz 1839
- 3 Venedig 1839
- 4 Neapel 1840
- 5 Mailand 1843
- 6 Genua 1844
- 7 Triest 1844
- 8 Verona 1845
- 9 Padua 1845
- 10 Vicenza 1845
- 11 Treviso 1845
- 12 Bologna 1846
- 13 Parma 1846
- 14 Alessandria 1847
- 15 Cuneo 1849

Von 1851 bis 1910:

- 1 Rom 1853
- 2 Brescia 1858
- 3 Rovigo 1859
- 4 Ancona 1860
- 5 Casale Monferrato 1860
- 6 Tortona 1860
- 7 Palermo 1861
- 8 Ferrara 1861
- 9 Lodi 1862
- 10 Pavia 1862
- 11 Bergamo 1863
- 12 Lucca 1863
- 13 Monza 1863
- 14 Mantua 1864
- 15 Chieti 1864
- 16 Rimini 1865
- 17 Savona 1865
- 18 Siena 1865
- 19 Bari 1865
- 20 Pisa 1866
- 21 La Spezia 1867
- 22 Reggio di Calabria 1867
- 23 Ascoli 1867
- 24 Cagliari 1868
- 25 Prato 1868
- 26 Chiavari 1869
- 27 San Remo 1869
- 28 Civitavecchia 1870
- 29 Foggia 1870
- 30 Ravenna 1870
- 31 Mondovi 1874
- 32 Catanzaro 1878
- 33 Legnago 1899
- 34 Pistoia 1907

nach ITC, 1837; o. A., 1845; Schilling, 1885; ITC, 1924-41; Cerutti, Gianeri, 1983; Paletta, 1987; Italgas Sud, 1988; Giuntini, 1990; Campigotto, Curtini, 1990; Spinoni, Taurichini, 1997; Longo, Petrillo et al., 1995; Lamia, 1999; Lami, Sassetti, 2006; Rosati, Iori, 2007; De Curto, Landi, 2008; Pittaluga, Signorelli, 2009; Paramonti, Ercolani, 2011; Napoletanagas, 2015, Rete Gas Bari, 2017.
 (Plangrundlage: Fulvio314, CC-BY-SA, 2014)

der neuen Beleuchtungstechnik betraut³³. Im Jahre 1861 spiegelte das Eisenbahnnetz bereits die Verflechtung der wichtigsten Standorte der italienischen Gasindustrie wider.

Neben der infrastrukturellen Anbindung spielte auch die unterschiedliche Haltung der Städte gegenüber neuen Errungenschaften in der Technik eine wichtige Rolle. Oft schürten Ängste vor möglichen Explosionen die Ablehnung und verzögerten die Einführung des Gaslichts.

Insbesondere das Festhalten an altbewährten Leuchtmitteln verlangsamte oder hemmte die Etablierung der Gasindustrie in Italien.

So wurde Mailand beispielsweise von Barzagli, 1845 mit anderen Metropolen wie London und Paris verglichen und seiner überholten Stadtbeleuchtung bezichtigt:

„(...) ohne Gas, bist du schlechter als die Schale einer Ananas. (...)“³⁴

Nachdem seit der Inauguration in Turin in den folgenden zehn Jahren weitere Städte folgten, in denen das Gaslicht erfolgreich in Betrieb genommen wurde, entschieden sich ab der Mitte des 19. Jahrhunderts immer mehr Städte für die neue Beleuchtungstechnik (Tab. 3). So beauftragte die Stadt Rom 1853 nach anfänglichen Bedenken schließlich erfahrene Gas-Pioniere aus England mit der Einführung der Gasbeleuchtung und die „Anglo-Roman-Gas Company“ wurde gegründet³⁵.

In den folgenden Jahrzehnten verdichteten sich die Gaswerk-Standorte v.a. in Norditalien (Abb. 9). Vom Norden zum Süden war ein deutliches Gefälle festzustellen was die Dichte der Standorte betraf: Vom engmaschigen Netz im Norden über die Konzentration entlang der Küste in Mittel- und Süditalien bis hin zu den vereinzelt Gaswerken im Süden: 1861 knüpfte Palermo als erste Stadt Siziliens an den neuen Beleuchtungsstandard an³⁶. Auf dem Festland folgten 1865 Bari – durch „The Tuscan Gas Company“ aus London³⁷ – und 1867 Reggio di Calabria³⁸. 1868 hielt das Gaslicht auch auf der Insel Sardinien – nämlich in Cagliari – Einzug³⁹.

Um 1870 wurde die Gasindustrie Italiens noch größtenteils von französischen, englischen und auch belgischen Sozietäten gesteuert, wobei die Anzahl der französischen Vertragspartner deutlich überwog. Insbesondere die international agierende „Union des Gaz“ hatte eine weitreichende Position inne:

„(...) La Union des Gaz era in particolare una vera e propria multinazionale.“⁴⁰

Einige wenige Gaswerke lagen zu diesem Zeitpunkt bereits in städtischer Hand, wie es beispielsweise in Ascoli, Casale-Monferrato, Chieti, Civitavecchia, Cuneo, Ferrara, Neapel und La Spezia der Fall war.⁴¹

Um die Jahrhundertwende waren insgesamt 182 Gaswerke in Betrieb – mehr als ein Drittel befand sich in ausländischer Leitung (darunter Mailand, Genua, Venedig, Bologna, Florenz, Neapel und Palermo).⁴²

33 Campigotto, Curti, 1990, pp. 42–45

Die englischen Vertragspartner waren namentlich: Giovanni Grafton und Edmondo Goldsmith (Sitz in Paris), die durch Enrico Saint Cyr und Adriano Trouvé vertreten wurden.

34 Barzagli, 1845, p. 20. – Siehe auch *Kapitel D.2.1*.

35 Lamia, 1999, p. 9. – Das erste Gaswerk – die *Officina dei Cerchi* – wurde damals nichtsahnend auf dem *Circus Maximus* errichtet.

36 Paramonti, Ercolani, 2011, pp. 22–23

37 Rete Gas Bari, 2019

38 Paletta, 1987, pp. 96–97

39 Paletta, 1987, pp. 96–97

40 Paramonti, Ercolani, 2011, p. 18

„(...) Insbesondere die Union des Gaz war tatsächlich ein mutinationaler Konzern (...)“ – Übers. d. Verfasserin.

41 Paletta, 1987, pp. 96–97

42 Longo, Petrillo, et al., 1995, p. 42

Weiterführende Literatur zur Gasbeleuchtung im 19. Jahrhundert siehe De Curto, Landi, 2008.

In den Jahren 1916 und 1917 verschaffte die Gazzetta Ufficiale del Regno d'Italia einen Überblick über die gegenwärtigen Gaswerke, die von den Kommunen selbst oder von verschiedenen kommunalen, privaten, nationalen und internationalen Vertragspartnern betrieben wurden: ⁴³

- **Kommunal** – z.B. Neapel, Ferrara, Domodossola, Baveno,
- **Privat** – z.B. durch die *Società Ing. Carlo Camuzzi e. C.** aus Mailand, die u.a. Gaswerke in Legnago, Moncalieri, Pistoia, Revere errichtete (*Siehe Kap. D.3.2.-1.2.2.*),
- **National** – v.a. durch die Società Italiana della Industria del Gas, Turin ⁴⁴ (Novara, Chieti, Girgenti, Cesena),
- **International** – The Malta and Mediterranean Gas Company (Marsala), L'Union des Gaz (Modena, Alessandria), The Tuscan Gas Company (Nizza Monferrato, Mondovi, Prato, Civitavecchia, Fossano, Lucca, Bari), Società Anglo-Romana per l'illuminazione di Roma; Società per l'industria del gas di Augsburg (Foggia, Ancona, Rapallo), Società franco-italiana per l'industria del gas (Aversa, Caserta, Catanzaro), Compagnie générale pour l'éclairage et le chauffage par le gaz (Catania).

1925 fusionierte schließlich die Mehrheit der italienischen Gaswerke, die mittlerweile überwiegend in kommunaler Hand waren, mit der Holding Italgas in Turin. Zu diesen Städten zählten u.a. Venedig, Rom, Florenz und Savona. ⁴⁵

43 Peruzzy, Raffaele, 1916, p. 4910; Peruzzy, Raffaele, 1917a, p. 1686; Peruzzy, Raffaele, 1917b, p. 3433

44 Später Italgas

45 Paramonti, Ercolani, 2011, p. 21

D.3. Gasbehälterbau in Italien – Baukonstruktion

D.3.1. EINLEITUNG

Die innovative Gasbeleuchtungstechnik stieß auf große Begeisterung in Italien und wurde erstmals 1838 in Turin eingeführt (*Siehe Kap. D.2.1.*). Mit dem Gaslicht hielt auch der Gasbehälter als neuer Bautypus Einzug in Italien.

Das Kapitel GASBEHÄLTERBAU IN ITALIEN verdeutlicht die besondere Stellung Italiens innerhalb dieser Arbeit: Durch seine unmittelbare Nähe zu England, Frankreich und Deutschland – den Hauptakteuren des historischen Gasbehälterbaus – wurde die Geschichte des italienischen Gasbehälterbaus nämlich wesentlich beeinflusst.

Die Baukonstruktionsgeschichte des **hydraulischen Gasbehälters** wurde in diesem Kapitel grundsätzlich in drei Blöcke gegliedert, basierend auf den Bestandteilen

- HUBTEIL – dem eigentlichen Gas-Behälter, der die variierenden Gasmengen aufnahm und sich infolgedessen hob und senkte,
- FÜHRUNGSGERÜST – das für das geradlinige Auf- und Abbewegen des Hubteils zuständig war,
- WASSERBECKEN – das das Wasser für den gasdichten Abschluss vorhielt.

Der Fokus der Baukonstruktionsgeschichte wurde an dieser Stelle auf das Führungsgerüst gerichtet. Nicht nur, weil sich dieser Bestandteil zu einem auffallenden Markenzeichen des Gasbehälters entwickelte, sondern weil es verglichen zum Hubteil oder zum Wasserbecken durch eine größere Ausführungsvielfalt bestach.

Neben dem klassischen Aufbau führt dieses Kapitel auch durch die Sonderformen des hydraulischen Gasbehälters, die in Italien zur Ausführung kamen – nämlich der gerüstlose Gasbehälter und das massive Gasbehältergebäude.

Die Evolution des Gasbehälterbaus wurde auch in Italien bekrönt mit der Einführung des **Scheibengasbehälters**, dessen Abdichtungstechnik kein Wasserbecken mehr benötigte und als MAN- und als Klönne-Typ zur Ausführung kam.

Das Kapitel GASBEHÄLTERBAU IN ITALIEN schließt mit einer Gegenüberstellung der Baukonstruktionsgeschichte von England und Italien.

D.3.2. HYDRAULISCHER GASBEHÄLTER

Die Baukonstruktionsgeschichte des hydraulischen Gasbehälters in Italien wurde primär anhand des Führungsgerüsts untersucht und entsprechend der Kategorisierung, auf der diese Arbeit basiert (*Siehe Kap. C.1.1.*), eingeordnet. Deshalb werden in diesem Kapitel zunächst die unterschiedlichen Gerüstformen und Führungstechniken aufgeführt. Danach folgen die Hubteile und das Wasserbecken, deren Konstruktion in ihren Grundzügen erläutert wird.⁴⁶

1. Führungsgerüst

Die Funktion des Führungsgerüsts bestand primär darin, das lineare Auf- und Abbewegen der Hubteile zu sichern. Die dafür notwendige Konstruktion durchlief die drei Formen des Stützen-, Rahmen- und Verbandgerüsts, bei denen sich besonders an der Konstruktion der Stützen bzw. Säulen die Weiterentwicklung abzeichnete.

1.1. Stützengerüst

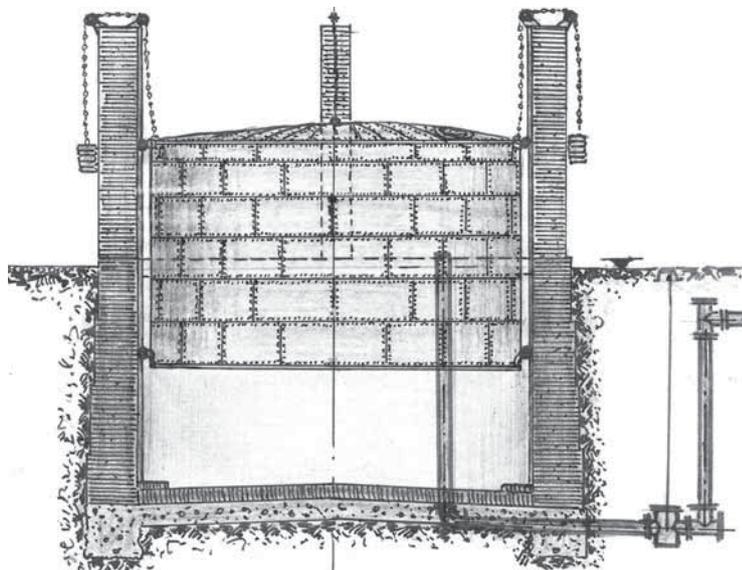


Abb. 10: Rekonstruktion eines der ersten Gasbehälter in Turin (ITG, o. J.).

Pfeiler aus Mauerwerk

Die ersten Gasbehälter Italiens, die zur öffentlichen Gasbeleuchtung dienten, befanden sich auf dem Gaswerk Porta Nuova in Turin (*Abb. 10*). Dort wurde 1838 der erste einhübrige Gasbehälter (à V= 1.100m³) nach den Plänen von *Hippolyte Gautier** und *François Ygnace Reymondon** errichtet: Das Hubteil wurde entlang vier gemauerter Pfeiler (b/h= 80/60cm) geführt. Diese waren innenseitig mit einer Schiene ausgestattet, an der die Rollen auf- und abliefen. Zudem waren auf den Stützenköpfen jeweils zwei weitere, größere Rollen angebracht: Darüber liefen Ketten, die das Hubteil mit einem Gegengewicht koppelten und so die Führung des Hubteils erleichterten (*Siehe Kap. C.2.3.-3*). 1839 folgte ein baugleicher, zweiter Gasbehälter.⁴⁷

⁴⁶ Anm. d. Verfasserin: Der Fokus dieses Kapitels ist auf das Führungsgerüst der italienischen Gasbehälter gerichtet – dem dominierenden Bestandteil des Gefüges. Deshalb werden das Hubteil und das Wasserbecken an dieser Stelle nur kurz und nicht als umfassende Baukonstruktionsgeschichte dargestellt.

⁴⁷ Cerutti, Gianeri, 1983, pp. 56–62; 1042

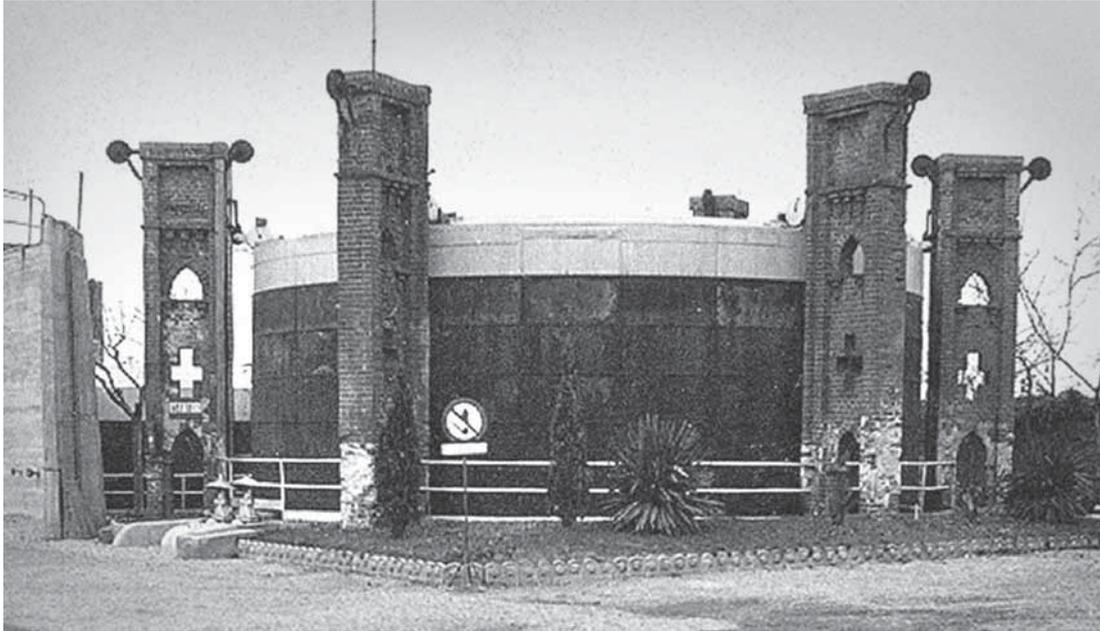


Abb. 11: Glockengasbehälter mit gemauerten Pfeilern in Saluzzo vermutlich um 1940 (ITG, o. J.).

Auf dem Gaswerk in Saluzzo befanden sich zwei Gasbehälter – die vermutlich um 1850 gebaut wurden. Das Hubteil wurde jeweils von sechs gemauerten Pfeilern ($H = \text{ca. } 7,00\text{m}$) geführt (Abb. 11)⁴⁸. Diese hatten einen rechteckigen Grundriss und bestachen durch den hohen Gestaltungsgrad, der durch die spitzbogige Durchgangsöffnung, eine kreuzförmige und eine zweite Spitzbogenöffnung, sowie deren ornamentreiche Einfassung erreicht wurde. Im oberen Viertel des Pfeilers befand sich eine weitere, quadratische Nische – jedoch ohne eine weitere Öffnung. An der innen liegenden Stirnseite war jeweils eine Schiene befestigt. Die beiden Rollen auf dem Pfeilerkopf deuteten auf die ursprüngliche Anordnung von Gegengewichten hin.

Wohl zeitgleich entstand einer der ersten Gasbehälter in Alessandria ebenfalls mit sechs gemauerten Pfeilern (Abb. 12). Im Vergleich zum vorgehenden Beispiel hatten diese jedoch einen quadratischen Grundriss und wurden mit einer pyramidenförmigen Platte abgeschlossen. Die vorgesetzte Schiene wurde mit einem U-Eisen ausgeführt.⁴⁹



Abb. 12: Gasbehälter mit gemauerten Stützpfeilern, Alessandria (ITG, o. J.).

48 Dieser Gasbehälter war 1940 noch in Betrieb (Siehe Foto).

49 Anm. d. Verfasserin: Baujahr unbekannt, vermutlich um 1870. Auf dem Gaswerk „Bastione Camuzzi“ in Treviso wurde um 1850 (Pittaluga, Lamanna, 1982, p. 63) ein weiterer Gasbehälter mit fünf gemauerten Pfeilern errichtet, dessen Aufbau dem vorgehenden Beispiel in Alessandria sehr ähnelte (Foto, ENEL, o. T., o. J.). 1917 stand das Gaswerk Alessandria im Vertrag mit der Union des Gaz (Peruzu, Raffaele, 1917b, p. 3433).

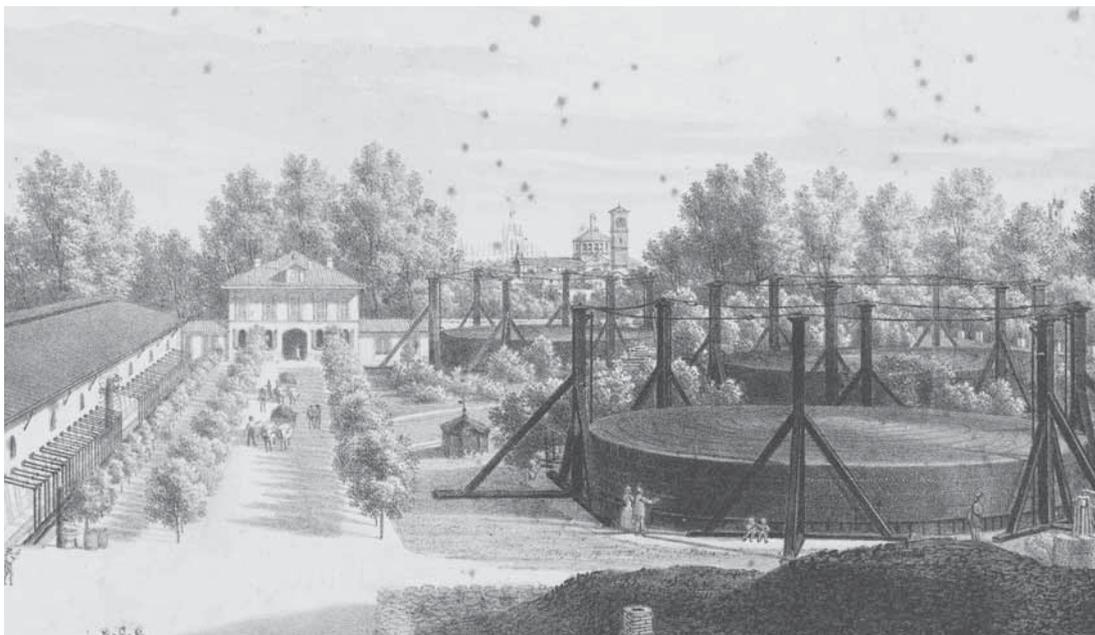


Abb. 13: Gaswerk bei der Porta Ludovica, Mailand um 1860 (CRBM, o. J.).

Auf dem Gaswerk Porta Mascarella in Bologna folgten 1863 zwei Glockengasbehälter mit jeweils acht gemauerten Pfeilern.⁵⁰

Holzstützen

Auf dem ersten Gaswerk in Mailand – das sich an der Porta Ludovica befand – war ein Ensemble aus vermutlich drei Gasbehältern (Abb. 13), die mit einem Stützengerüst errichtet wurden. Dieses setzte sich aus acht Holzständern zusammen, die am Fuß jeweils mit drei Schwellhölzern und entsprechenden Streben verstärkt waren. Die einzelnen Ständer waren über horizontale Rundeisenstäbe gekoppelt. An der Stirnseite war jeweils ein Stab vorgesetzt. Am oberen und unteren Abschluss des Hubteils waren Ösen angebracht, die entlang des Stabes auf- und abfuhren (Siehe Kap. C.2.2.-6.4.1.).

Die Gasbehälter wurden vermutlich um 1845 nach den Plänen des französischen Ingenieurs *Achille Guillard** gebaut, der der Gasbeleuchtungsgesellschaft aus Lyon – der „Società Lionese“ – angehörte⁵¹.

Diese verstärkten Holzstützen ließen an die gusseisernen Dreibein-Stützen erinnern, wie sie bei den frühen Gasbehältern in England eingesetzt wurden (Siehe Kap. C.2.3.-5.2.).

50 Campigotto, Curti, 1990, p. 101, Plananhang

51 Longo, Petrillo, et. al., 1995, p. 20

1.2. Rahmengerüst für einhübige Gasbehälter

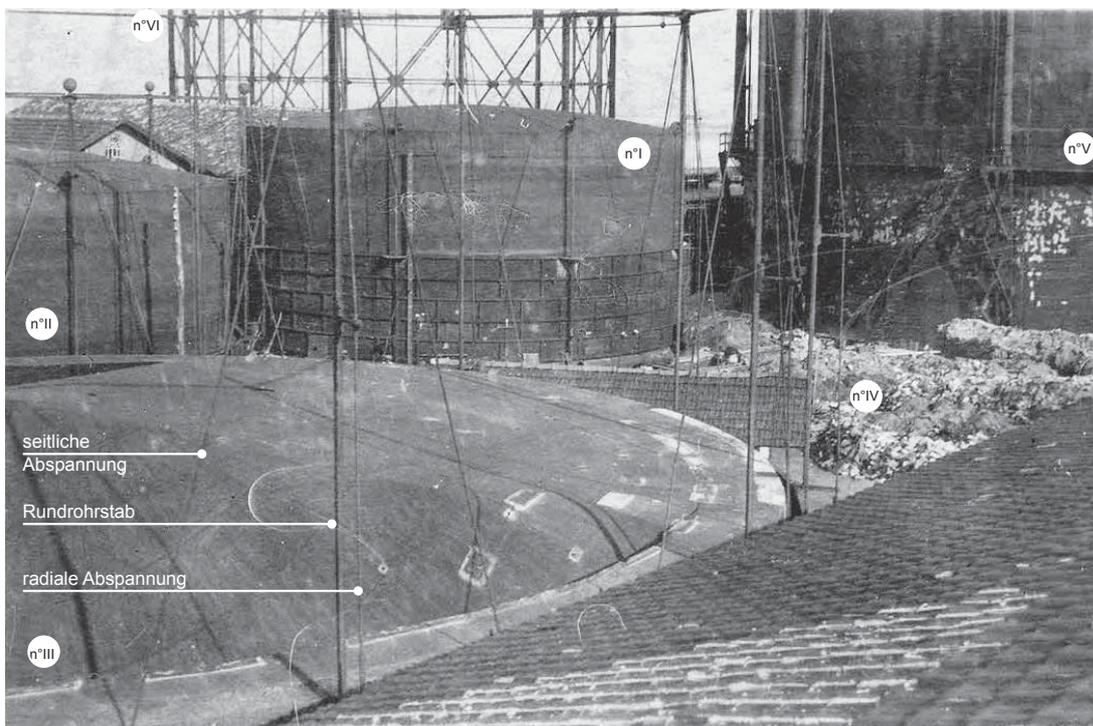


Abb. 14: Gasbehälterensemble in San Francesco della Vigna, 1928 (ITG, 1928).**

Durch das Ergänzen eines Trägerkranzes wurde das Stützengerüst zum Rahmengerüst ausgebaut. Die Baukonstruktion des eingeschossigen Rahmengerüsts, das bei einhübigen Gasbehältern verwendet wurde (Siehe Kap. C.2.3.-6.1.), zeigte auch in Italien eine kontinuierliche Weiterentwicklung. Diese war im Wesentlichen gesteuert von der zunehmenden Hubteilgröße, die sich unmittelbar auf die Gerüstkonstruktion auswirkte.

1.2.1. Abgespannte Rundrohrstützen

Auf Venedigs erstem Gaswerk in San Francesco della Vigna ⁵² entstanden zwischen 1841 und 1847 die ersten drei einhübigen Gasbehälter nach französischer Façon (Abb. 14). Der leitende Ingenieur war Rocher *, der der Gasbeleuchtungsgesellschaft aus Lyon angehörte ⁵³: Das Hubteil von Gasbehälter n°I und n°II (D= ca. 14,10m bzw. 16,50m; H= ca. 6,00m; V= ca. 900 bzw. 1.200m³) ⁵⁴ wurde jeweils von einem sehr filigranen Rahmengerüst unterstützt. Dieses bestand aus schlanken Rundrohrstäben, die dreifach abgespannt waren – nämlich mit zwei seitlich angeordneten Stäben und einer dreiteiligen Abspannung in der radialen Achse des Hubteils. Die Stützen wurden mit horizontalen Flacheisenbändern gekoppelt und jeweils mit einer Kugel bekrönt. 1847 folgte der Bau des dritten Gasbehälters (V= ca. 2.000m³) ⁵⁵, dessen Gerüstkonstruktion den Vorgängern folgte (Abb. 14) ⁵⁶.

52 Anm. d. Verfasserin: Rochers Vorname ist nicht bekannt. Zur Geschichte der Gasbeleuchtung Venedigs, siehe Kapitel D.4.

53 Sagredo, 1843a, p. 314

54 AMV, 1896, p. 94. – In der Beschreibung befindet sich vermutlich ein Schreibfehler, da der zweite Gasbehälter mit einem Beckendurchmesser von nur 6,50m beschrieben wurde. Da beide Behälter jedoch über ungefähr die gleiche Kapazität verfügten, ist an dieser Stelle wohl von 16,50m auszugehen.

55 Fontana, 1847, p. 155. – Nach Fontana war Gasbehälter n°III als Teleskopgasbehälter konzipiert; das Bild zeigt jedoch die einfache Ausführung mit nur einem Hubteil.

56 Zudem zeigt das Bild Gasbehälter n°V (Siehe Kap. D.4.4.), die Abbruchstelle von Gasbehälter n° IV sowie den noch im Bau befindlichen Gasbehälter n° VI.

Weitere gebaute Beispiele, die sich dieser Gerüstkonstruktion bedienten, wurden vermutlich in den Städten errichtet, die ebenfalls in der Mitte des 19. Jahrhunderts einen Vertrag mit der Gasbeleuchtungsgesellschaft aus Lyon abgeschlossen hatten. Darunter zählten u.a. auch die ersten Gaswerke in Florenz, Neapel und Verona ⁵⁷.

1.2.2. Säulen

Durch die Vergrößerung des Säulenquerschnitts war es möglich, auf die Abspannungen der vorgehenden Stützenkonstruktion zu verzichten. Die Säulen wurden sowohl aus Guss-, als auch aus Schmiedeeisen hergestellt (*Siehe Kap. C.1.2.*) und die Schiene war in der Regel vorgesetzt. ⁵⁸

Gusseisen

Auf dem Gaswerk in Civitavecchia wurde um 1870 der erste Gasbehälter (D= ca. 10,00m) in Betrieb genommen (*Abb. 15*) ⁵⁹. Das Rahmengerüst (H= ca. 4,00m) bestand lediglich aus vier gusseisernen Säulen, die über einen quadratischen Trägerkranz aus Gitterträgern verbunden waren. ⁶⁰

Dass dieser Gerüstaufbau mit dieser Säulenanzahl einen unzureichenden Tragwiderstand hatte, zeigten baugleiche Gasbehälter in Lendinara und Mondovì, deren Rahmengerüst bei der Schiefstellung des Hubteils versagte (*Siehe Kap. D.3.2.-1.2.4.*).

In Fiorenzuola (*Abb. 16*) entstand vermutlich um 1900 ein einhübiger Gasbehälter (D= ca. 12,00m) nach den Plänen *Carlo Camuzzis**. Das Rahmengerüst (H= ca. 4,00m) setzte sich aus fünf schlanken, gusseisernen Säulen und Fachwerkträgern zusammen. Jede Säule war mit einer Fiale bekrönt. ⁶¹

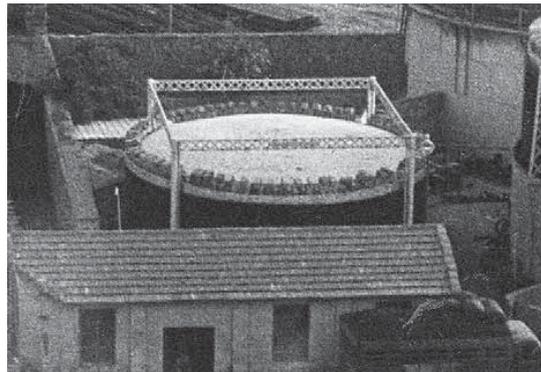


Abb. 15: Rahmengerüst mit nur vier Säulen, Civitavecchia (ITG, o. J.).

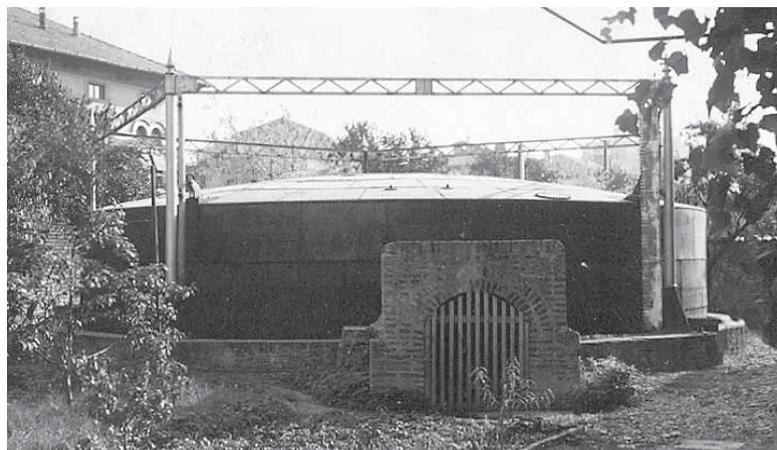


Abb. 16: Rahmengerüst mit gusseisernen Säulen in Fiorenzuola (ITG, o. J.).

⁵⁷ Giuntini, 1990, pp. 9, 15–16

⁵⁸ Zu den verschiedenen Konstruktions- bzw. Herstellungsweisen von gusseisernen Säulen siehe *Kapitel C.2.3.-4.1.1.*

⁵⁹ Longo, Petrillo, et al., 1995, p. 32

⁶⁰ Vermutlich entstand der Gasbehälter nach englischer Regie, da nach der Gazzetta Ufficiale 1917 das Gaswerk im Vertrag mit der Tuscan Gas Company stand (Peruzy, Raffaele, 1917a, p. 1686). Maße wurden von der Verfasserin geschätzt.

⁶¹ Rosati, Iori, 2007, p. 93. – Maße wurden von der Verfasserin geschätzt.

Zur gleichen Zeit war Camuzzi für den Bau eines Gasbehälters vermutlich gleicher Größe in Legnago zuständig (o. A., 1899). Bis 1935 bestanden folgende Gaswerke Camuzzis: Ascoli, Cremona, Faenza, Fiorenzuola, Legnago, Lendinara, Lodi, Oneglia, Ostiglia, Rivarolo, Rovigo, Pistoia und Montecatini (Rosati, Iori, et al., 2007, pp. 61–96).

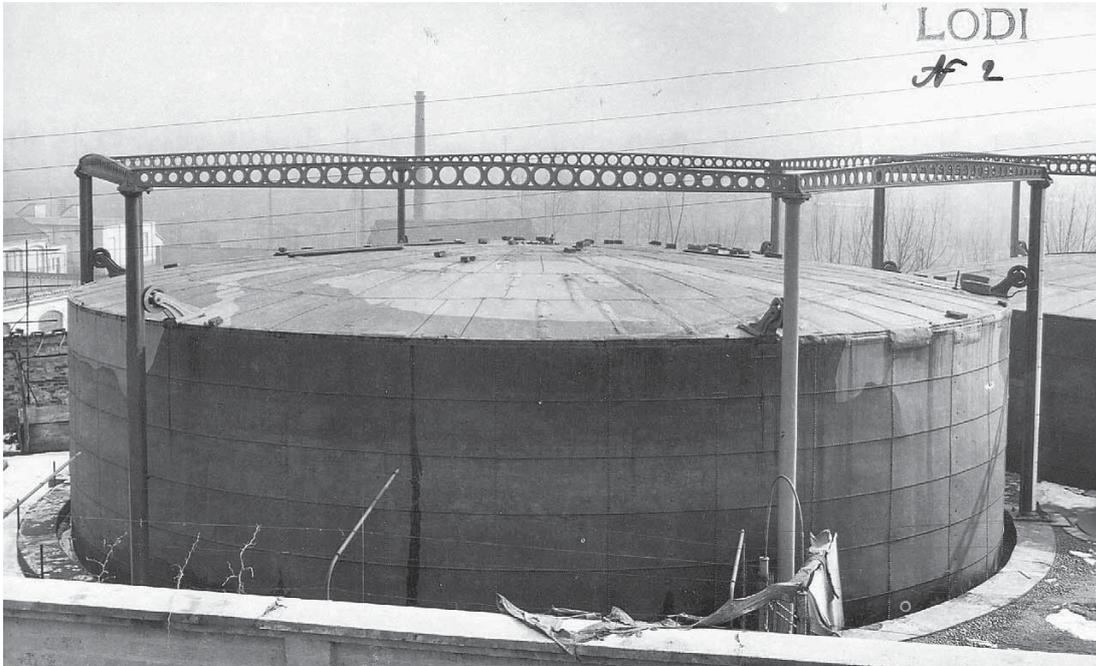


Abb. 17: Rahmengerüst eines einhübrigen Gasbehälters in Lodi (ITG, o. J.).

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde die Säulenanzahl aufgrund der zunehmenden Hubteilgrößen zusehends erhöht:

Das Rahmengerüst eines der ersten Gasbehälter in Lodi (Abb. 17) bestand aus sechs gusseisernen Säulen (H= ca. 6,00m)⁶², deren Schaft sich leicht nach oben verjüngte. Die Schiene war jeweils als

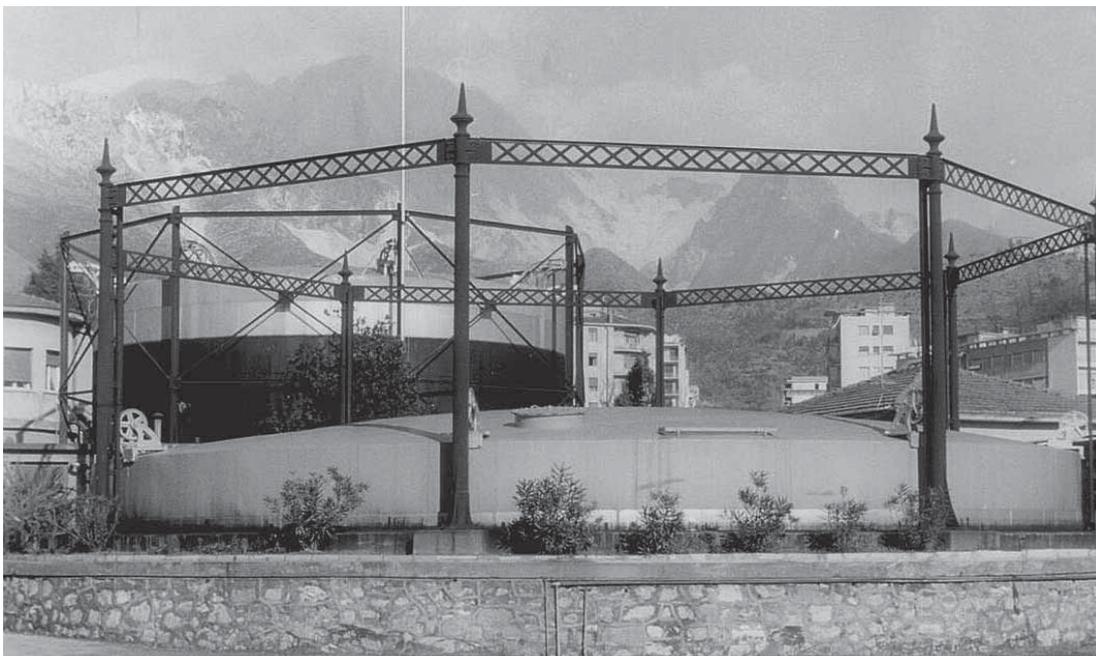


Abb. 18: Einhübriger Gasbehälter mit schlanken, gusseisernen Säulen in Carrara, 1966 (ITG, 1966).

⁶² Schätzung d. Verfasserin. Der Hubteildurchmesser lag wohl bei ca. 16,00m.

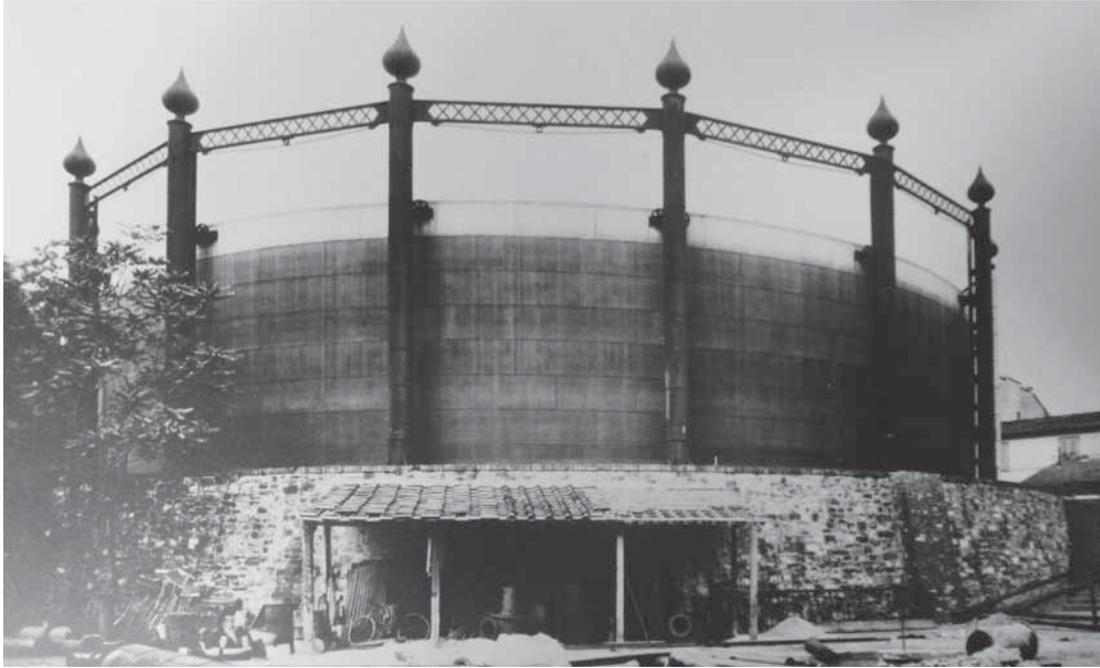


Abb. 19: Einhübiger Gasbehälter mit einem Rahmengerüst aus genieteten Säulen aus Schmiedeeisen (TOSCE, o. J.).

Rippe im Säulenquerschnitt integriert. Die Besonderheit dieses Gerüsts lag beim Trägerkranz: Der gusseiserne Trägersteg war mit Kreisen durchsetzt und nach oben gewölbt. Dieser Gasbehälter wurde wohl im Zeitraum zwischen 1860 und 1870 errichtet ⁶³.

Ein weiteres Rahmengerüst zeigte ein Beispiel in Carrara (Abb. 18): Die Gerüstkonstruktion (H= ca. 5,50m) ⁶⁴ setzte sich aus acht schlanken Säulen mit vorgesetzten Schienen und acht Gitterträgern zusammen. Durch die Anordnung von Fialen erfuhr das Gerüst einen dekorativen Abschluss.

Schmiedeeisen ⁶⁵

Auf dem Gaswerk San Frediano in Florenz ⁶⁶ wurde 1882 ein einhübiger Gasbehälter ($V= 8.000\text{m}^3$; $D_{\text{Becken}} = 35,20\text{m}$) gebaut ⁶⁷. Das Rahmengerüst bestand aus 16 genieteten Säulen aus Schmiedeeisen (H= 9,55m ohne Fiale) und genieteten Gitterträgern ⁶⁸; letztere wurden zusätzlich mit einer Unterspannung verstärkt und jeweils seitlich an den Säulenschaft angeschlossen. Die auffallend großen, flammenförmigen Fialen verliehen dem Gasbehälter ein einzigartiges Erscheinungsbild. Die Ausführung oblag der französischen Firma „V-Ve-Moussy-Constructeur-Lyon“, was heute noch von einer Plakette bezeugt wird. 1955 wurde dieser Gasbehälter erweitert (Siehe Kap. D.3.2.-1.4.5.).

In Venedig, San Francesco della Vigna entstand zur gleichen Zeit ein Gasbehälter, dessen Rahmengerüst ebenfalls aus schmiedeeisernen Rundrohrelementen bestand; die Konstruktion des vollständigen Gasbehälters ist in Kapitel D.4.4. gesondert dargestellt.

63 Giuntini, 1990, p. 9

64 Schätzung d. Verfasserin. Der Hubteildurchmesser lag wohl bei ca. 17,00m.

65 Siehe auch Kapitel C.2.3.-4.1.1.

66 Am 19.01.1839 erhielt die französische Gasbeleuchtungsgesellschaft von Jean de Frigière de Brul, Pierre Franquet, Charles Blanchet – vertreten durch Cottin, Jumel und Montgolfier Bodin – den Zuschlag zur Errichtung eines Gaswerks für Florenz. Dem Florentiner Chemiker Manteri wurde die Verantwortung der öffentlichen Stadtbeleuchtung übertragen als „Ispettore Scienziato delle Illuminazioni a Gaz di Toscana“ (Giuntini Andrea, 1990, pp. 14–16).
Weiterführende Literatur zur Geschichte der Gasbeleuchtung und Gaswerke in Florenz siehe Giuntini, 1990.

67 ASCF, 1882

68 TOSCE, o.J.

1.2.3. Stützen

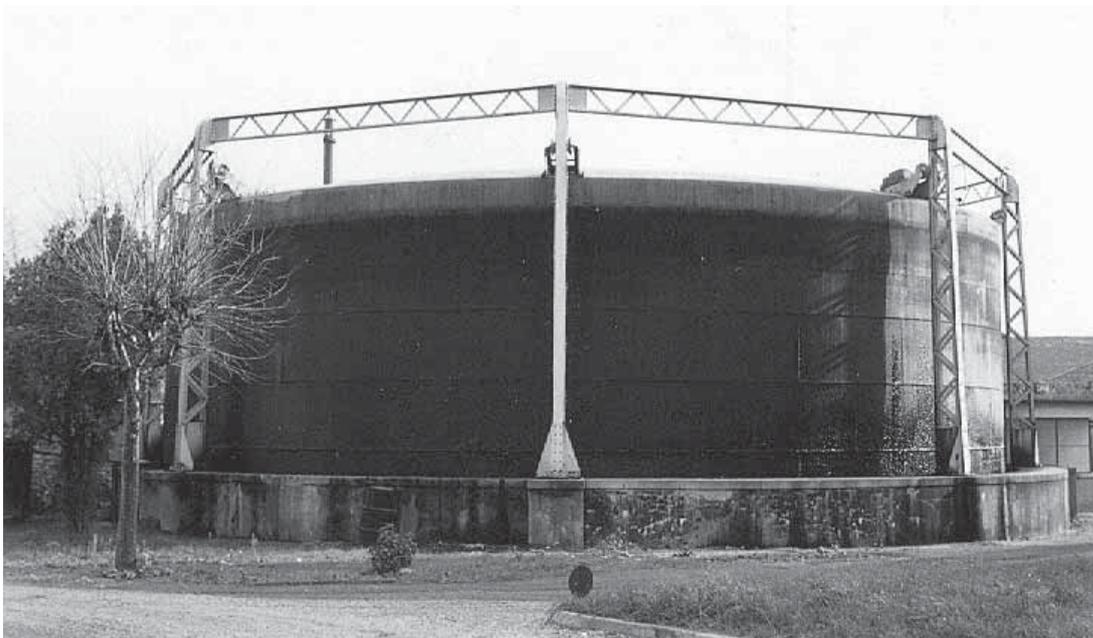


Abb. 20: Rahmengerüst mit kastenförmigen Stützen in Montecatini (ITG, o. J.).

Ende des 19. Jahrhunderts wurden allmählich die Säulen der eingeschossigen Rahmengerüste durch genietete Trägerkonstruktionen mit kasten- und I-förmigen Querschnitten ersetzt (Siehe Kap. C.2.3.-4.1.2.).

Kastenförmige Stützen

Camuzzi plante zu dieser Zeit eine Reihe von einhübligen Gasbehältern, deren Rahmengerüste mit schmalen, kastenförmigen Stützen ausgeführt waren: 1908 begannen die Bauarbeiten eines Gasbehälters ($V= 1.000\text{m}^3$; $D_{\text{Becken}} = \text{ca. } 16,00\text{m}$) in Pistoia (Abb. 21)⁶⁹. Das Gerüst ($H= \text{ca. } 5,00\text{m}$) bestand aus acht leicht verjüngenden Stützen und dazwischen gesetzten, horizontalen Trägern; beide Bauteile waren als Fachwerkträger konzipiert.

Weitere Gasbehälter, die sich dieser Gerüstkonstruktion bedienten, befanden sich z.B. in Montecatini

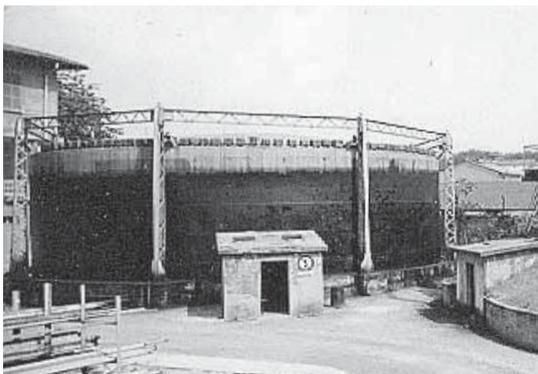


Abb. 21: Rahmengerüst mit Stützen in Pistoia (ITG, o. J.).

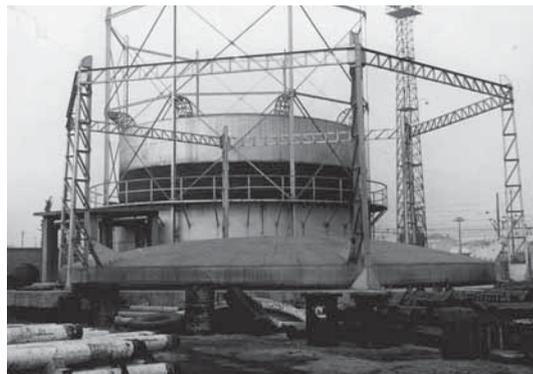


Abb. 22: Rahmengerüst mit Stützen in Faenza (ITG, o. J.).

69 Rosati, Iori, et al., pp. 73–79

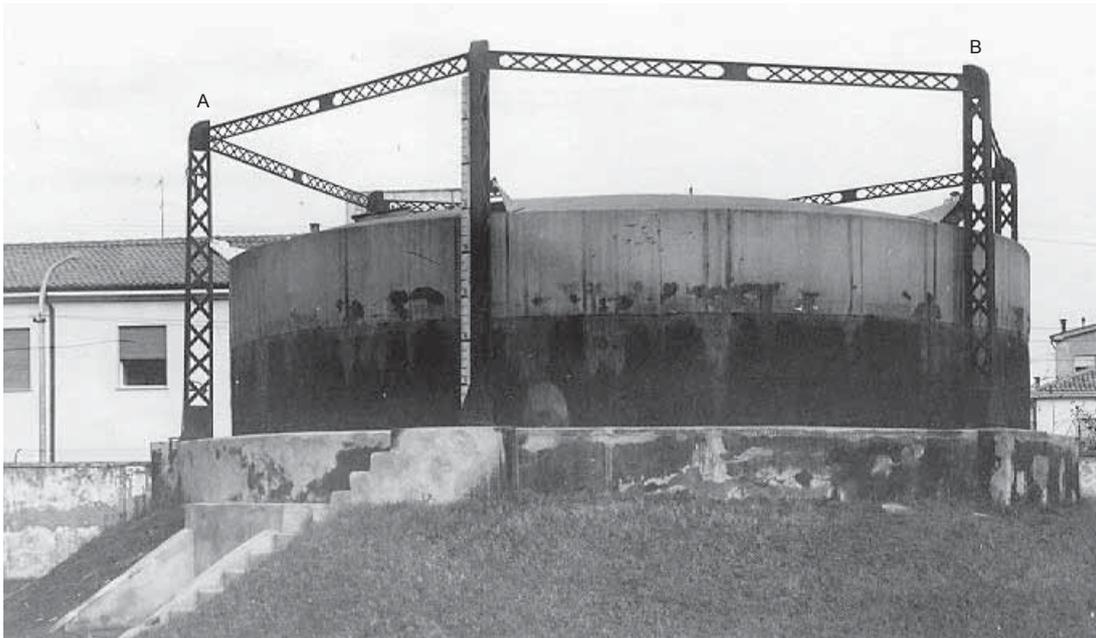


Abb. 23: Rahmengerüst eines einhübrigen Gasbehälters in Este (ITG, o. J.).

(Abb. 20) und Faenza (Abb. 22) ⁷⁰.

In Este (Abb. 23) befand sich ein kleinerer, einhübriger Gasbehälter ($V= 340\text{m}^3$; $D_{\text{Becken}} = \text{ca. } 10,50\text{m}$) ⁷¹, dessen Rahmengerüst ($H= \text{ca. } 4,00\text{m}$) sich aus sechs Stützen und einem Trägerkranz zusammensetzte. Bei den Stützen kamen jedoch zwei verschiedene Gitterkonstruktionen (A, B) zum Einsatz, was wohl auf eine Reparatur oder Wiederverwendung zurückzuführen war.

I-förmige Stützen

In Civitavecchia wurde ein einhübriger Gasbehälter ($V= 700\text{m}^3$; $D_{\text{Becken}} = \text{ca. } 14,00\text{m}$) mit einem Gerüst gebaut ⁷², dessen Stützen ($H= \text{ca. } 5,00\text{m}$) und Träger aus einer reinen Gitterträgerkonstruktion mit I-förmigem Querschnitt bestand.

Da das Becken nur leicht in das Gelände eingetieft war, wurden die sechs Stützen, die sich zum Kopf hin verjüngten, jeweils mit einer Konsole an die Beckenwand angeschlossen.



Abb. 24: Rahmengerüst eines Gasbehälters in Civitavecchia (ITG, o. J.).

⁷⁰ Rosati, Iori, et al., pp. 93–96

⁷¹ ITG, 1964

⁷² ITG, 1957a

1.2.4. EXKURS: Verformung von Rahmengerüsten

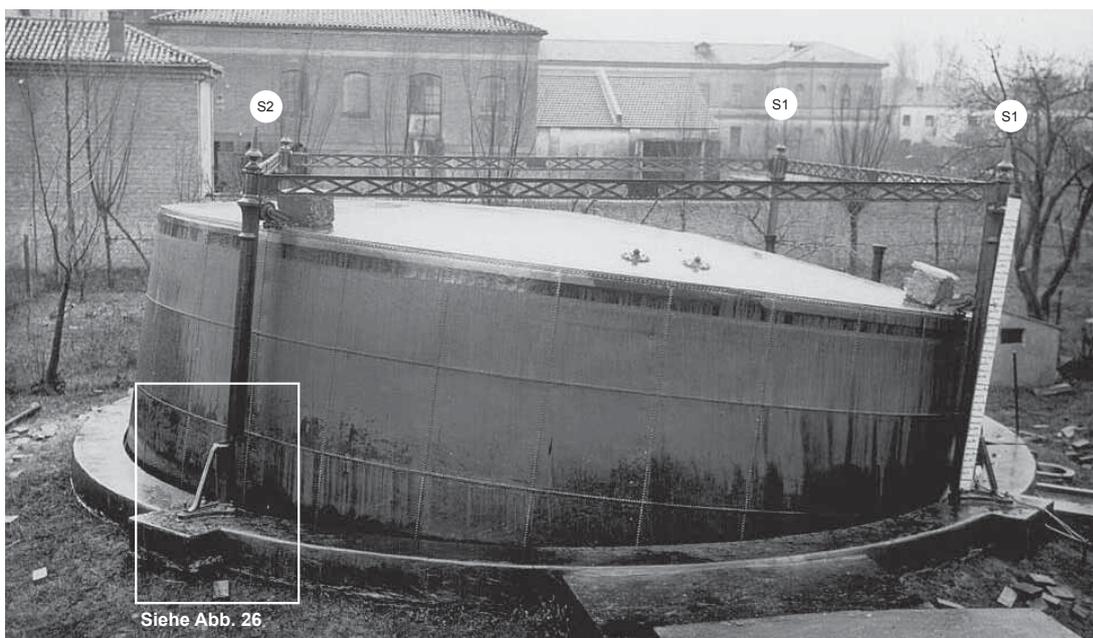


Abb. 25: Verformung des Führungsgerüsts als Folge der Verkipfung des Hubteils in Lendinara (ITG, o. J.).**

Die Führungsgerüste von frühen, einhubigen Gasbehältern wurden häufig nur mit einer geringen Anzahl an Säulen ausgeführt. Deshalb hatten diese nur einen geringen Tragwiderstand, der etwaige Schrägstellungen des Hubteils nicht verhindern oder ihnen standhalten konnte.

Das Rahmengerüst eines Gasbehälters ($V = 200\text{m}^3$; $D_{\text{Becken}} = \text{ca. } 8,50\text{m}$) in Lendinara (Abb. 25)⁷³, das aus vier schlanken Säulen ($H = \text{ca. } 3,50\text{m}$) und vier Gitterträgern bestand, versagte 1957 aufgrund des gekippten Hubteils. Die Verformung wurde durch blockförmige Gewichte ausgelöst, deren Anordnung nicht im Gleichgewicht war. Die Säulen wurden in die Kipprichtung des Hubteils gedrückt: Die rechten Säulenköpfe (S1) neigten sich nach außen und zogen so die linken Säulen (S2) nach innen. Letztere konnten der Zugbeanspruchung nicht standhalten und brachen (Abb. 26).

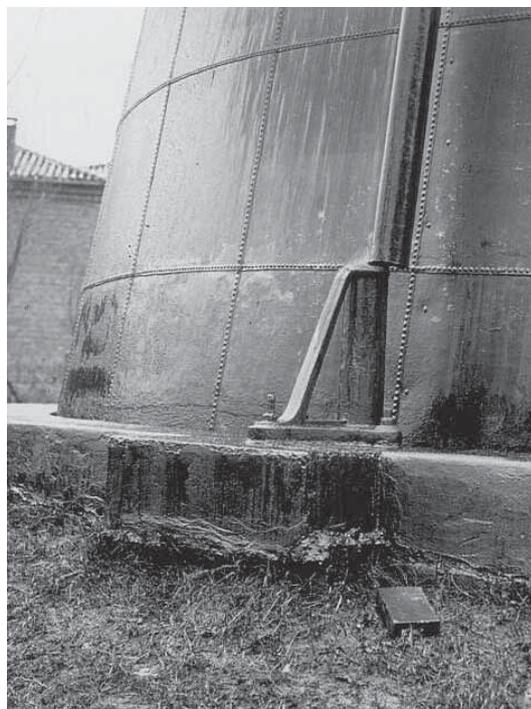


Abb. 26: Bruch der gusseisernen Säule, Lendinara (ITG, o. J.).

73 ITG, 1957b – Der Gasbehälter wurde vermutlich um 1870 errichtet.

Weitere Schadensbilder, die durch die Schrägstellung des Hubteils entstanden, waren gelockerte oder defekte Trägeranschlüsse sowie gebrochene Rollenböcke.

Eine ähnliche Verformungsfigur beschrieb der Ingenieur *Mario Sales** 1941 bei einem Gasbehälter in Mondovì, der aus dem Jahre 1874 stammte und ein Nutzvolumen von 300m³ ($D_{\text{Becken}} = \text{ca. } 10,00\text{m}$) besaß ⁷⁴: Wie beim vorgehenden Beispiel setzte sich das Rahmengerüst aus vier Säulen (H= ca. 4,00m) und vier Trägern zusammen. Die Verformungsfigur äußerte sich durch die verdrehten Säulen und gelöste Trägeranschlüsse (*Abb. 27*). Die Reparatur von Sales sah neben dem Wiederaufrichten der Säulen und der Erneuerung des Trägeranschlusses drei zusätzliche Verstärkungsmaßnahmen vor (*Abb. 28*):

- Abspannung der Säulen,
- Verbindung der Säulenköpfe mit zwei diagonalen Stäben (nicht in der Skizze dargestellt),
- Ertüchtigung der Verankerung der Säulen am gemauerten Becken.

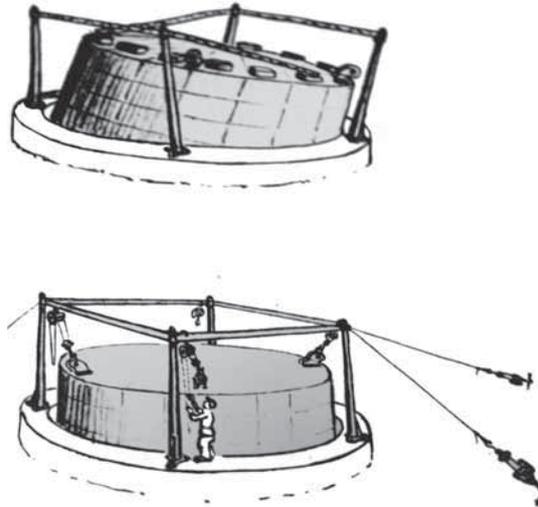


Abb. 27: Skizzen zu Verformung (oben) und Reparatur (unten) des Rahmengerüsts in Mondovì (ITG, 1941).

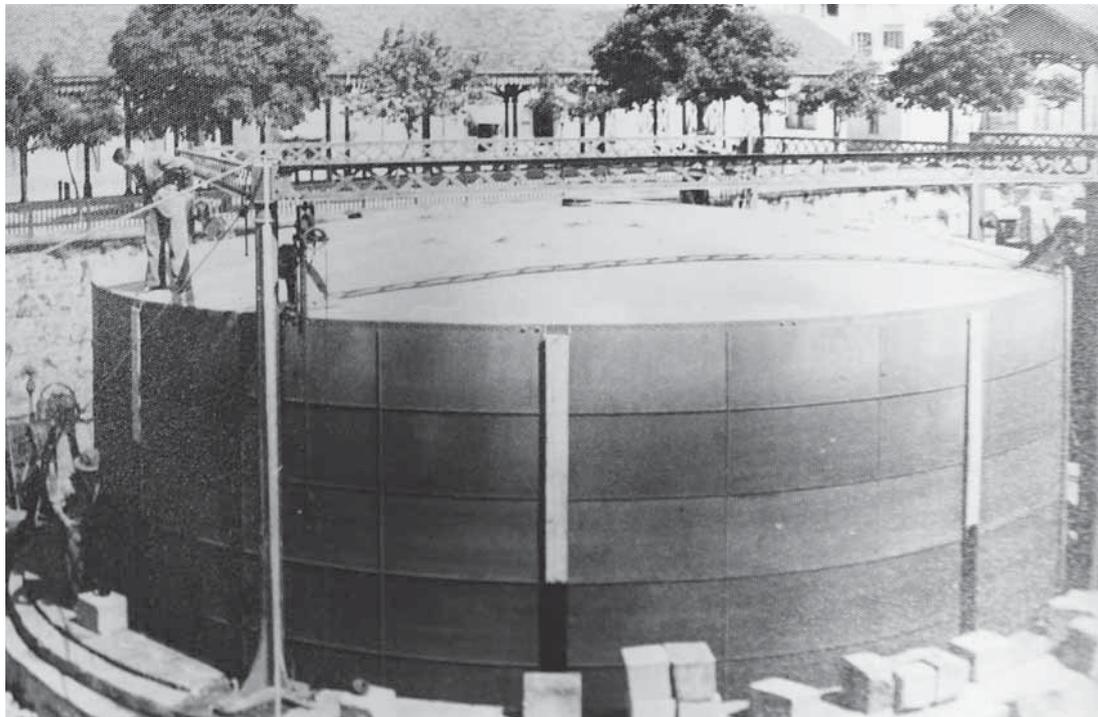


Abb. 28: Fixierung der Säulen durch Abspannungen (ITG, 1941).

⁷⁴ ITG, 1941 – Die Gerüst- und Beckenrollen waren aus Holz gefertigt und auch 1941 noch in Betrieb.

1.3. Rahmengerüst für mehrhubige Gasbehälter

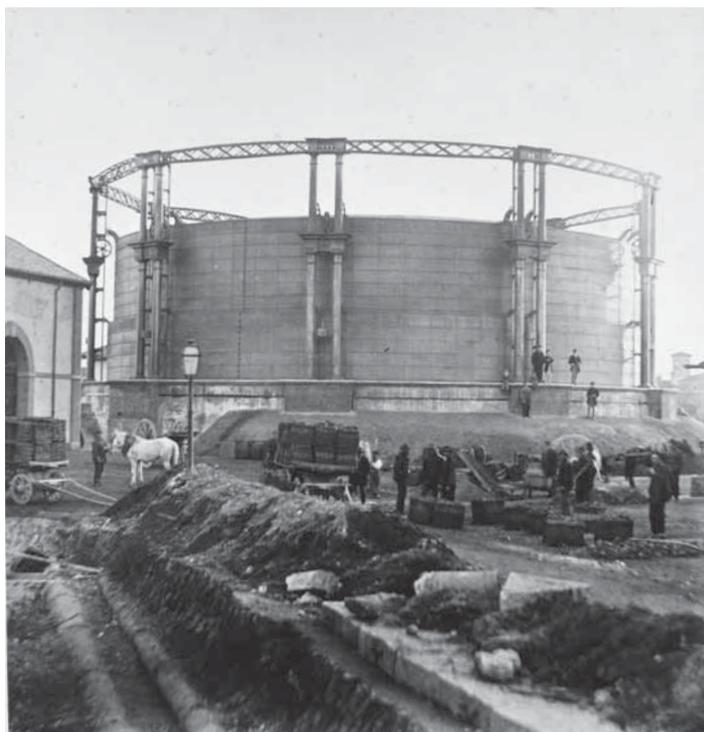


Abb. 29: Eingeschossiges Rahmengerüst nach der Hochordnung, mit Doppelsäulen auf dem Gaswerk Porta Ludovica in Mailand, 1866 (CAFM, 1866).

Mit der Einführung des Teleskopgasbehälters (Siehe Kap. C.2.2.-6.2.) ging auch die Anpassung bzw. Erweiterung der Rahmengerüste einher. Dies erfolgte nach dem Prinzip der Hoch- und der additiven Ordnung.

1.3.1. Hochordnung

Die Hochordnung war eine Übergangsform des Rahmengerüsts, die bei den frühen Teleskopgasbehältern zum Einsatz kam. Um zwei Hubteile aufnehmen zu können, wurde das eingeschossige Gerüstgefüge zunächst mit höheren Säulen bzw. Stützen ausgeführt (Siehe Kap.C.2.3.-6.2.1.).

1866 wurde auf dem Gaswerk Porta Ludovica in Mailand (Abb. 29) einer der ersten zweihübrigen Gasbehälter ($V = \text{ca. } 5.000\text{m}^3$; $D_{\text{Becken}} = \text{ca. } 24,00\text{m}$) Italiens fertig gestellt. Das Rahmengerüst ($H = \text{ca. } 12,00\text{m}$) basierte auf der Hochordnung und bestach durch die architektonische Gliederung der neun Doppelsäulen.⁷⁵

Diese setzten sich jeweils aus einem unteren und einem oberen Säulenpaar zusammen, die über ein Architrav verbunden waren. Jede einzelne Säule war mit einer Basis, einem Halsring und einem Kapitell ausgestattet. Eine weitere Besonderheit zeigte sich bei der Anordnung der Führungsschienen: Entsprechend den Doppelsäulen wurden auch die Schienen in zweifacher Ausführung angeordnet.

⁷⁵ Maße und Nutzvolumen wurden von der Verfasserin geschätzt.



Abb. 30: Hochordnung mit genieteten, kastenförmigen Stützen eines zweihübrigen Gasbehälters in Legnago, 1955 (ITG, 1955).

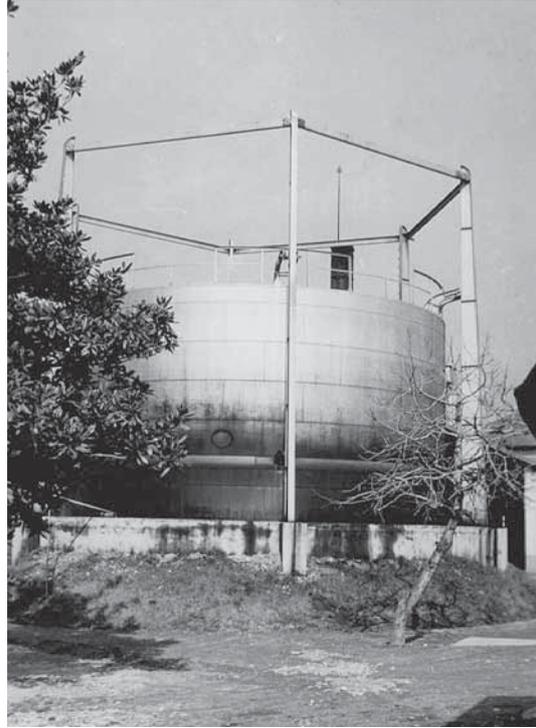


Abb. 31: Hochordnung mit vollwandigen Stützen eines zweihübrigen Gasbehälters in Bassano del Grappa, 1959 (ITG, 1959).

Zudem wurde das untere Hubteil durch angeschlossene Gegengewichte erleichtert; die Räder, die zur Führung der Ketten dienten, waren mittig auf dem Architrav positioniert.

Auf den oberen Säulen befanden sich wiederholt Architrave, die die Einzelsäulen koppelten und zum Anschluss der kastenförmigen Gitterträger dienten.

Obwohl die Hochordnung eingangs als Übergangsform eingestuft wurde, so fand sie Anfang des 20. Jahrhunderts noch vereinzelt Anwendung bei kleineren, zweihübrigen Gasbehältern. Zu diesem Zeitpunkt waren die gusseisernen Säulen bereits großteils ersetzt durch genietete Blechkonstruktionen:

Vermutlich um 1920 wurde in Legnago ein zweihübriger Gasbehälter ($V= 675\text{m}^3$; $D_{\text{Becken}} = \text{ca. } 10,00\text{m}$) gebaut, dessen Rahmengerüst lediglich aus einem Gerüstring bestand (Abb. 30). Die fünf Stützen ($H= \text{ca. } 9,00\text{m}$) folgten der Hochordnung und waren als schmale Kastenträgerkonstruktion konzipiert, die sich nach oben leicht verjüngte. Am Kopf waren die Stützen mit horizontalen Fachwerkträgern verbunden.⁷⁶ Ein etwas kleineres Pendant ($V= 450\text{m}^3$) befand sich in Ostiglia⁷⁷.

In Bassano del Grappa (Abb. 31) bestand ein ähnliches Gerüst ($V= 915\text{m}^3$), dessen Stützen jedoch jeweils aus sechs vollwandigen, I-förmigen Walzprofilen bestanden, die sich nach oben verjüngten und am Kopf mit einem Trägerkranz aus nach innen gerichteten U-Profilen gekoppelt waren.

⁷⁶ Maße wurden von der Verfasserin geschätzt. – Dieser Gasbehälter war mit o.g. Aufbau um 1955 noch in Betrieb!
⁷⁷ ITG, 1958

1.3.2. Additive Ordnung

Durch die zunehmenden Hubteilgrößen wurde schließlich der Bau von mehrgeschossigen Rahmengerüsten favorisiert, die durch den Einsatz eines zweiten Trägerkranzes ein deutlich stabileres Gefüge darstellten (Siehe Kap. C.2.3.-6.2.). Die additive Ordnung kam anfangs mit gusseisernen Säulen und später auch mit schmiedeeisernen Stützen zur Ausführung.

Säulen

Der zweihüblige Gasbehälter ($D_{\text{Becken}} = \text{ca. } 20,00\text{m}$) in Affori, Mailand (Abb. 32) wurde vermutlich um 1870 mit einem zweigeschossigen Rahmengerüst aus sechs gusseisernen Säulen ($H = \text{ca. } 17,00\text{m}$) und zwei Trägerkranzen ausgeführt. Die Säulen waren jeweils mit einer Basis, einem Halsring und einem Kapitell versehen; auf letzterem befand sich der Architrav, der zum Anschluss der oberen Gitterträger diente. Die untere Trägerlage wurde seitlich am Säulenschaft befestigt.⁷⁸

Den Gerüstabschluss bildeten die spitzen Fialen, die auf jedem Architrav angeordnet waren.



Abb. 32: Zweigeschossiges Rahmengerüst mit gusseisernen Säulen in Mailand-Affori (AEM, o. J.).

Auf dem Gaswerk Vanchiglia in Turin wurde um 1900 ein zweihübliger Gasbehälter ($V = \text{ca. } 10.000\text{m}^3$; $D_{\text{Becken}} = \text{ca. } 32,00\text{m}$) errichtet (Abb. 33)⁷⁹: Jeder der beiden Gerüstringe bestand aus 16 gusseisernen Säulen – gegliedert durch Basis, Halsring, Kapitell und Architrav. Letzterer diente zum Anschluss der horizontalen Gitterträger, von denen der obere Trägerkranz eine größere Bauteilhöhe besaß als der untere. Auf den Architraven befanden sich ebenfalls Fialen. Die Gesamthöhe des Gerüsts betrug ca. 15,00m. Zur Unterstützung des zweiten Hubteils war dieses an 16 Punkten über Ketten mit Gegengewichten angeschlossen; das dafür erforderliche Räderpaar wurde jeweils in Feldmitte der Gitterträger montiert.

Ungefähr im gleichen Zeitraum entstand in Messina ein dreigeschossiges Rahmengerüst ($H = \text{ca. } 20,00\text{m}$) für einen Gasbehälter (Abb. 34) mit drei Hubteilen ($D_{\text{Hubteil}} = \text{ca. } 25,00\text{m}$)⁸⁰. Insgesamt wurden acht Säulen mit drei Trägerkranzen verbunden. Die einzelnen Säulenabschnitte wurden jeweils durch eine Kopf- und eine Fußplatte abgeschlossen, die wiederum zum Anschluss mit der darüber bzw. darunter liegenden Säule diente. Die Gitterträger wurden direkt an den Säulenschaft gestoßen und befestigt. Den Abschluss einer jeden Säulenachse bildete eine spitze Fiale.

Bei mehrgeschossigen Rahmengerüsten kamen schmiedeeiserne Säulen eher selten zum Einsatz. Eine Ausnahme war ein Gasbehälter in Venedig, der separat behandelt wird (Siehe Kap. D.4).

78 Anm. d. Verfasserin: Sämtliche Maß- und Volumenangaben, sowie das Baujahr dieses Gasbehälters sind unbekannt und wurden geschätzt. Das Nutzvolumen lag wohl bei ca. 5.000m³.

79 Um 1880 wurde dort bereits ein baugleicher, etwas kleinerer Gasbehälter errichtet, dessen Gerüst auf 12 Säulen basierte, siehe Kapitel D.2.1.
Anm. d. Verfasserin: Sämtliche Maß- und Volumenangaben, sowie das Baujahr dieses Gasbehälters sind unbekannt und wurden geschätzt.

80 Anm. d. Verfasserin: Sämtliche Maß- und Volumenangaben, sowie das Baujahr dieses Gasbehälters sind unbekannt und wurden geschätzt. Das Nutzvolumen lag wohl bei ca. 10.000m³.

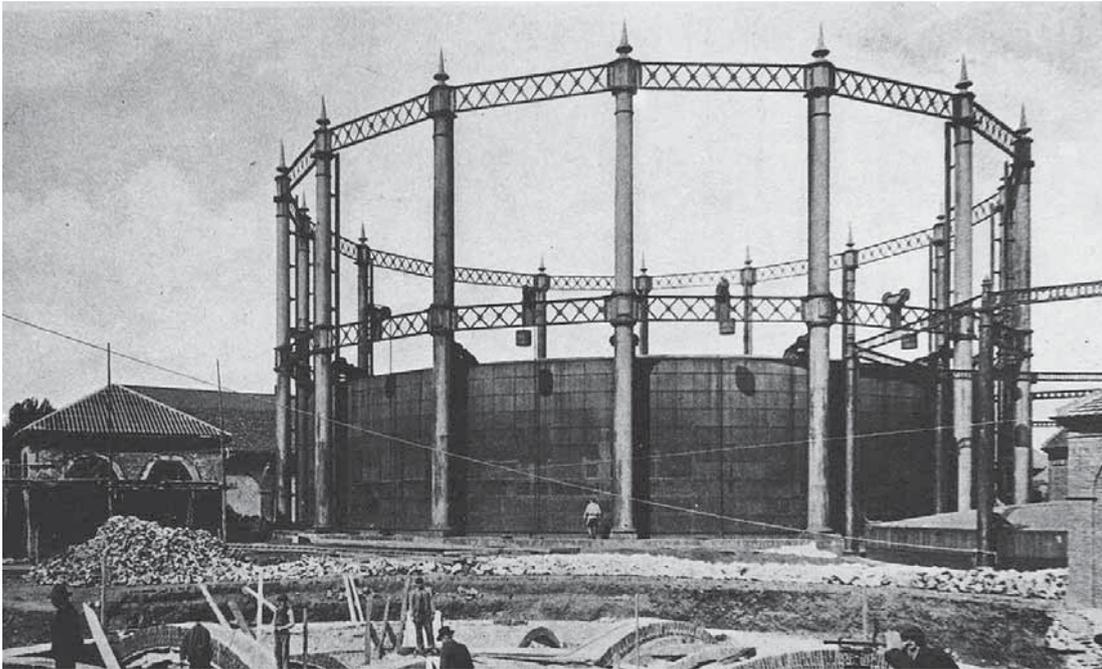


Abb. 33: Zweigeschossiges Rahmengerüst eines Teleskopgasbehälters in Turin-Vanchiglia (ITG, o. J.).

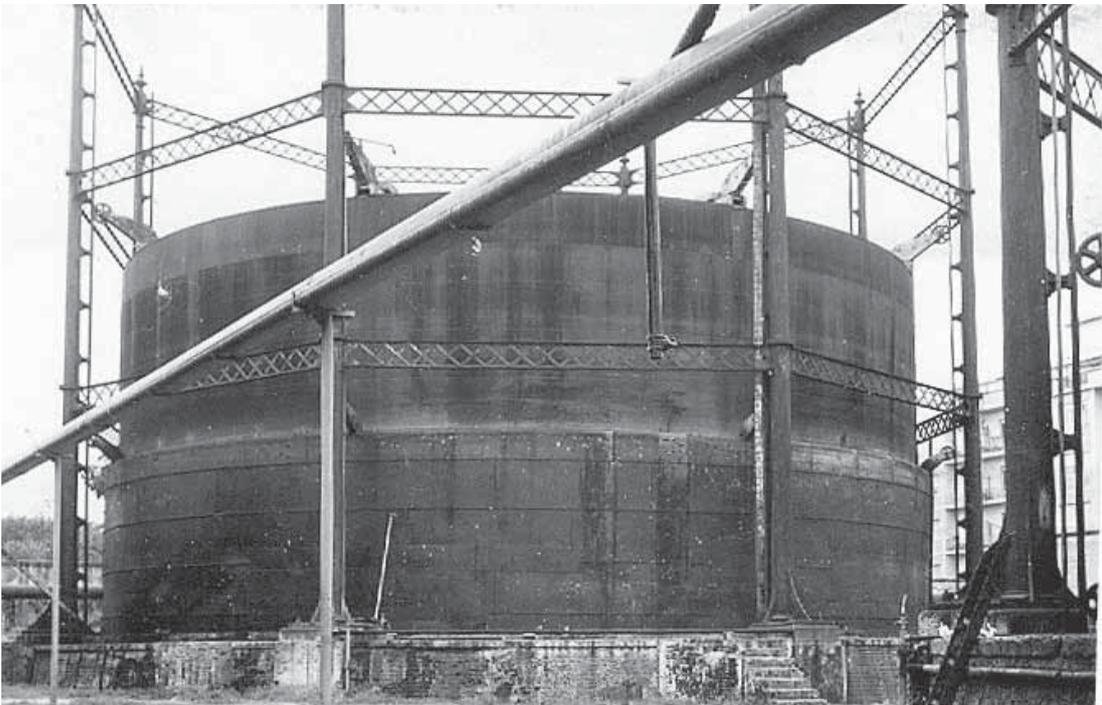
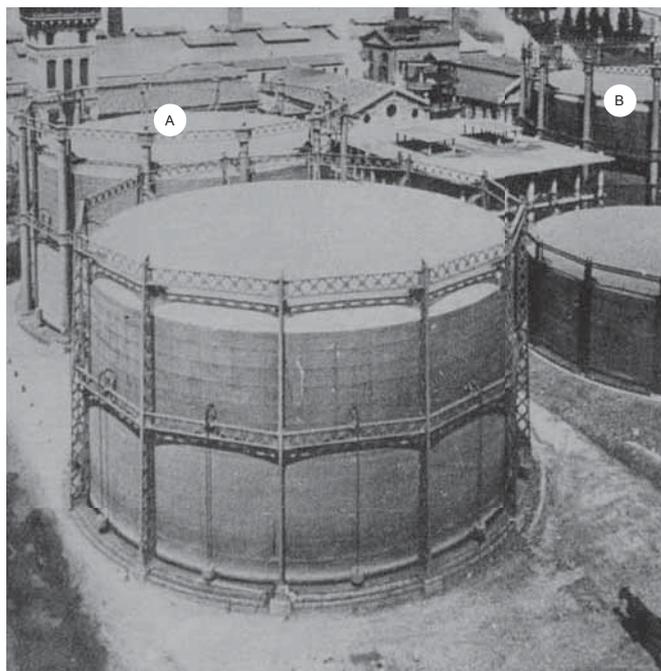


Abb. 34: Dreigeschossiges Rahmengerüst mit Säulen in Messina (ITG, o. J.).

Stützen

Um 1880 entstand auf dem Gaswerk Vanchiglia in Turin ein zweihübiger Gasbehälter ($V = \text{ca. } 7.000\text{m}^3$; $D_{\text{Becken}} = \text{ca. } 28,00\text{m}$): Das Führungsgerüst ($H = \text{ca. } 12,00\text{m}$) wurde grundsätzlich nach dem Vorbild der dort bereits bestehenden Gasbehälter geplant (A, B; *Abb. 33*), jedoch mit dem Unterschied, dass keine gusseisernen Säulen, sondern I-förmige Stützen aus Schmiedeeisen zum Einsatz kamen. Diese wurden als genietete Blechträger gefertigt, die sich zum Kopf hin verjüngten.⁸¹



*Abb. 35: Gaswerk Vanchiglia um 1911 (ITG, o. J.).***

Einige Meter flussaufwärts des Dora Riparia entstanden auf dem Gaswerk Borgo Dora bis 1898 zwei weitere Gasbehälter, deren Führungsgerüste als vollständig genietete Blechträgerkonstruktionen konzipiert wurden:⁸²

Der zweihübige Gasbehälter ($V = 15.000\text{m}^3$) wurde mit I-förmigen Stützen ($H_{\text{gesamt}} = \text{ca. } 21,00\text{m}$) aus Fachwerkträgern konstruiert, deren Querschnitt sich nach oben leicht verjüngte. Auf dem Kopf befand sich ein Architrav, der zum Anschluss der horizontalen Gitterträger diente. Die untere Trägerlage wurde direkt an den Steg der Stütze gestoßen.

Da der Gasbehälter mit einem freistehenden Wasserbecken ausgeführt wurde, wurden die Stützen bis zur Geländeoberkante fortgeführt.

Das Erscheinungsbild des Gerüsts erfuhr eine Aufwertung, indem die Stützen- und die Trägerkonstruktion mit zusätzlichen Bindeblechen an den Knotenpunkten ausgeschmückt wurden. Zudem wurde jeder Stützenkopf mit einer Fiale bekrönt.

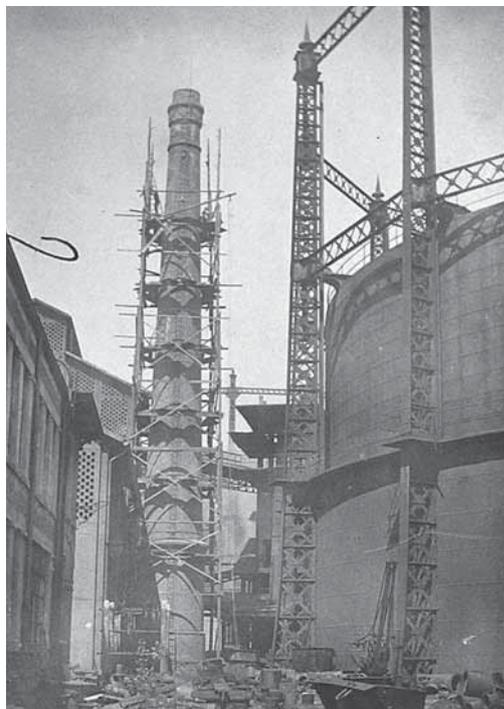


Abb. 36: Zweigeschossiges Rahmengerüst mit I-förmigen Stützen eines Gasbehälters in Turin – Borgo Dora (ITG, 1921).

⁸¹ Maße und Nutzvolumen wurden von der Verfasserin geschätzt.

⁸² Penati, 1972, pp. 72–73

Der dreihüblige Gasbehälter ($D_{\text{Hubel}} = \text{ca. } 46,00\text{m}$) hatte ein Nutzvolumen von 35.000m^3 und wurde mit drei Gerüstringen errichtet (Abb. 37).

Die 18 Stützen ($H = \text{ca. } 23,00\text{m}$) wurden als kastenförmige Fachwerkträger konstruiert, die jeweils an den Anschlussstellen der horizontalen Gitterträger beidseits mit Konsolen ausgestattet waren. Der Stützenquerschnitt verjüngte sich deutlich zum Stützenkopf hin, auf dem sich jeweils eine kleine, spitze Fiale befand.⁸³

Die Bauteilhöhe der drei Trägerkränze nahm vom unteren bis zum oberen deutlich ab.

Da auch dieser Gasbehälter ein freistehendes Wasserbecken besaß, wurde unterhalb der Stützen eine beckenhohe Konsole angesetzt.

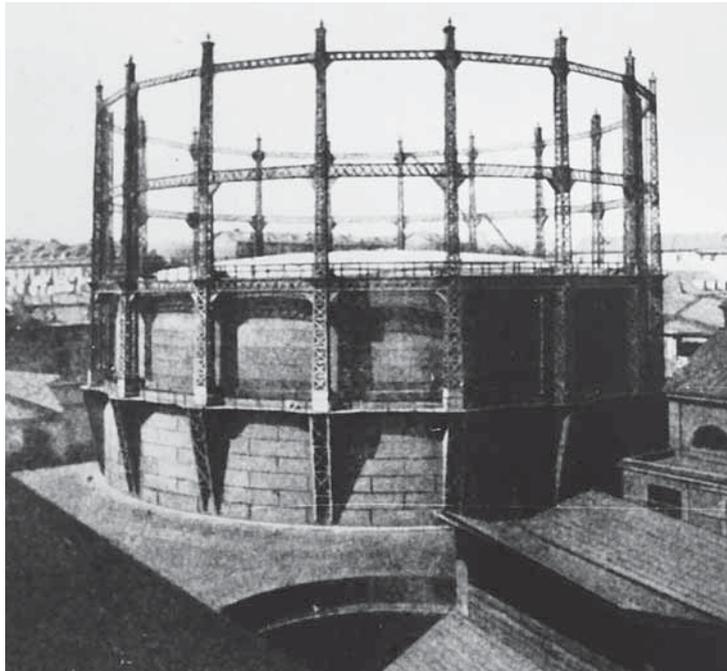


Abb. 37: Dreigeschossiges Rahmengerüst mit kastenförmigen Stützen eines Gasbehälters in Turin – Borgo Dora (ITG, 1921).

⁸³ Maße wurden von der Verfasserin geschätzt.

1.4. Verbandgerüst



Abb. 38: Gasbehälter mit Verbandgerüst auf dem Gaswerk Porta Mascarella in Bologna (Campigotto, 1990).

Um die Jahrhundertwende wurde das Verbandgerüst auch in Italien eingeführt und bestach durch ein stabileres Gerüstgefüge, das durch den Einsatz von Verbänden in den einzelnen Gerüstfeldern bewirkt wurde (Siehe Kap. C.2.3.-7.). Dieser Verband kam in Form der einfachen Auskreuzung – teilweise mit zusätzlichem horizontalem Stab, als sternförmiger oder triangulierter Verband zur Ausführung.⁸⁴

1.4.1. Verbandgerüste mit einfacher Auskreuzung

Der Aufbau der frühen Verbandgerüste folgte zunächst den konventionellen Rahmengerüsten (Siehe vorgehendes Kapitel), nur dass die Gerüstfelder jeweils mit einer einfachen Auskreuzung bestückt wurden. Letztere bestand in der Regel aus vier Rundeisenstäben und einem zentralen Spannring; Anfang des 20. Jahrhunderts kamen auch U- und Flacheisenstäbe zum Einsatz (Siehe Kap. C.2.3.-4.3.2).

Um 1900 wurde auf dem Gaswerk Porta Mascarella in Bologna ein zweihübiger Gasbehälter ($V = \text{ca. } 5.000\text{m}^3$; $D_{\text{Becken}} = \text{ca. } 25,00\text{m}$) mit einem Verbandgerüst ($H = \text{ca. } 10,00\text{m}$) errichtet (Abb. 38)⁸⁵. Dieses setzte sich aus zwölf, sich leicht verjüngenden Stützen, die jeweils mit einer Fiale einen dekorativen Abschluss erfuhren, und zwei horizontalen Trägerkränzen zusammen. Beide Bauteile waren als I-förmige Gitterträger konzipiert. Der Verband bestand jeweils aus vier Rundeisenstäben und einem Spannring. Die Schienen wurden den Stützen vorgesetzt.

In Ferrara befand sich ein zweihübiger Gasbehälter ($V = 5.000\text{m}^3$)⁸⁶ – vermutlich um 1910 gebaut,

84 Anm. d. Verfasserin: Da das Verbandgerüst aufgrund seiner verbesserten Stabilität eingesetzt wurde, die v.a. bei großen Abmessungen notwendig war, behandelt dieses Kapitel ausschließlich mehrhübige Gasbehälter.

85 Campigotto, 1990, pp. 101, 154, Plananhang. – Anm. d. Verfasserin: Die Maßangaben wurden geschätzt. 1910 folgte dort ein dreihübiger Gasbehälter ($V = 15.000\text{m}^3$) ebenfalls mit einem Verbandgerüst. Als Stützen wurden kastenförmige Fachwerkträger eingesetzt (Campigotto, 1990, pp. 101, 134).

86 ITG, 1959



Abb. 39: Verbandgerüst mit einfacher Auskreuzung in Ferrara, 1959 (ITG, 1959).

dessen Verbandgerüst grundsätzlich dem Aufbau in Bologna folgte (Abb. 39) mit dem Unterschied, dass der untere Gerüstring etwas höher war als der obere. Zudem befanden sich keine Fialen auf dem Stützenkopf; vielmehr wurde dieser noch über die Gerüstoberkante fortgeführt und bildete so den Abschluss. Die Führungsschiene wurde direkt an den innen liegenden Flansch der Stütze integriert. Eine Besonderheit dieser Gerüstkonstruktion stellte der untere Stützenabschnitt dar: Die konventionelle Ausbildung des Steges mit kreuzförmig angeordneten Stäben wurde ausgesetzt und dafür mit einer Durchgangsöffnung ausgestattet.

Verglichen mit den vorgehenden I-förmigen Stützen bewirkte der kastenförmige Stützenquerschnitt eine zusätzliche Verstärkung des Gerüstgefüges (Siehe Kap. C.2.3.-4.1.2.).

Diese Stützenform wurde bei einem Gasbehälter in Savona eingesetzt (Abb. 40).

Die Stützen besaßen einen annähernd quadratischen Grundriss und wurden über zwei Trägerkränze gekoppelt. Die Gerüstfelder waren mit einer einfachen Auskreuzung ausgestattet, die sich aus vier Rundeisenstäben und einem zentralen Spanning zusammensetzte.⁸⁷

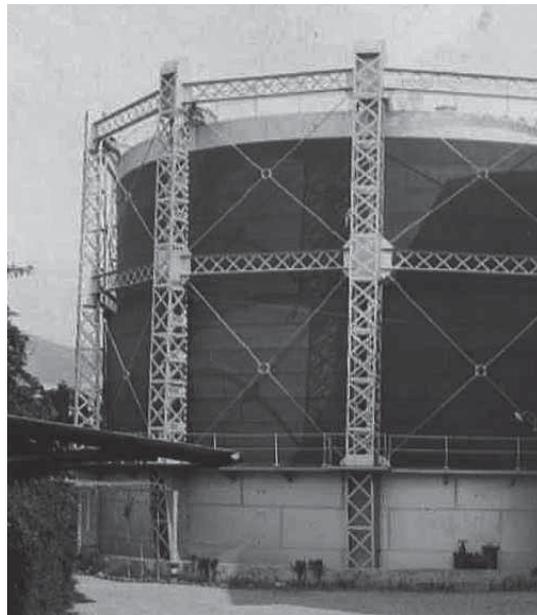


Abb. 40: Zweigeschossiges Verbandgerüst mit einfacher Auskreuzung und kastenförmigen Stützen in Savona (ITG, o. J.).

⁸⁷ Anm. d. Verfasserin: Sämtliche Maß- und Volumenangaben, sowie das Baujahr dieses Gasbehälters sind unbekannt, werden aber wie folgt geschätzt: Baujahr ca. 1910; $D_{\text{Becken}} = 25,00\text{m}$; $H_{\text{Gerüst}} = \text{ca. } 10,00\text{m}$; $V = \text{ca. } 5.000\text{m}^3$.

Da das Becken teilweise eingetieft war, wurden die Stützen bis zur Geländeoberkante fortgeführt.

Diese Gerüstform lag auch einem Gasbehälter in Arenaccia, Neapel (Abb. 41) zugrunde, der wohl um 1920 entstand. Die Stützen wurden als Fachwerkträger ausgeführt, die sich nach oben verzüngen und mit einer Fiale bekrönt waren.⁸⁸

Die beiden Trägerkränze bestanden auch aus Fachwerkträgern, die einen dreieckigen Querschnitt besaßen. Für die einfache Auskreuzung wurden hier zwei Flacheisenstäbe eingesetzt, die über ein zentrales Bindeblech gekoppelt wurden.

Um 1910 entstand ein kleinerer Gasbehälter ($V=1.900\text{m}^3$)⁸⁹ in San Remo, dessen Verbandgerüst sich besonders raffiniert konstruierter Bauteile bediente (Abb. 42): Die sechs schmalen, kastenförmigen Stützen bestanden aus Fachwerkträgern, die sich nach oben verzüngen.

Die oberen Fachwerkträger wurden standardmäßig stehend zwischen die Stützen gesetzt.

Der untere Trägerkranz wurde liegend eingebaut, was den Anschluss an die Stützen verbesserte. Eine Besonderheit zeigte sich in der Bauteilhöhe der Träger: Um den Hubteilen ausreichend Bewegungsraum zu schaffen, waren die Träger innenseitig segmentförmig ausgebildet, sodass sich der Querschnitt zur Feldmitte hin reduzierte.

Die Auskreuzung bestand aus vier Rundeisenstäben und einem zentralen Spannring.



Abb. 41: Verbandgerüst mit kastenförmigen Stützen und einfacher Auskreuzung aus Flacheisen in Arenaccia, Neapel (ITG, o. J.).

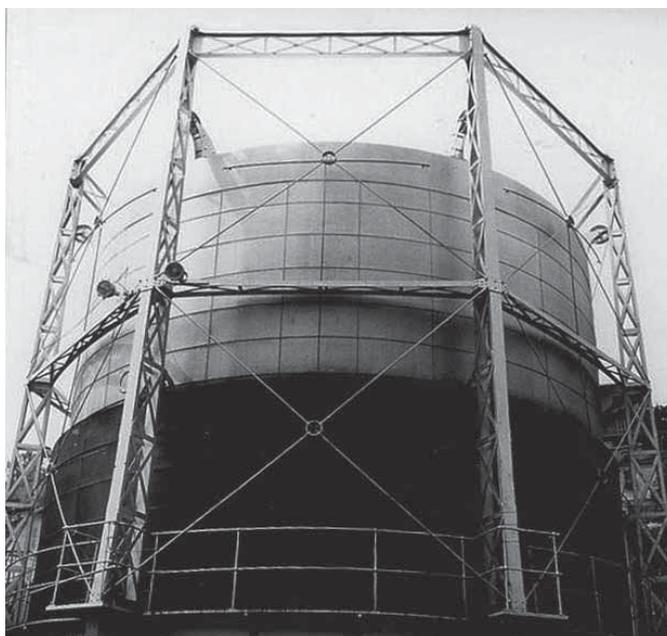


Abb. 42: Zweigeschossiges Verbandgerüst mit schmalen, kastenförmigen Stützen in San Remo, 1958 (ITG, 1958).

88 Anm. d. Verfasserin: Sämtliche Maß- und Volumenangaben, sowie das Baujahr dieses Gasbehälters sind unbekannt, werden aber wie folgt geschätzt: Baujahr ca. 1920; $D_{\text{Becken}} = 29,00\text{m}$; $H_{\text{Gerüst}} = \text{ca. } 12,00\text{m}$; $V = \text{ca. } 8.000\text{m}^3$.

89 ITG, 1954b

1.4.2. Verbandgerüst mit einfacher Auskreuzung und horizontalem Stab

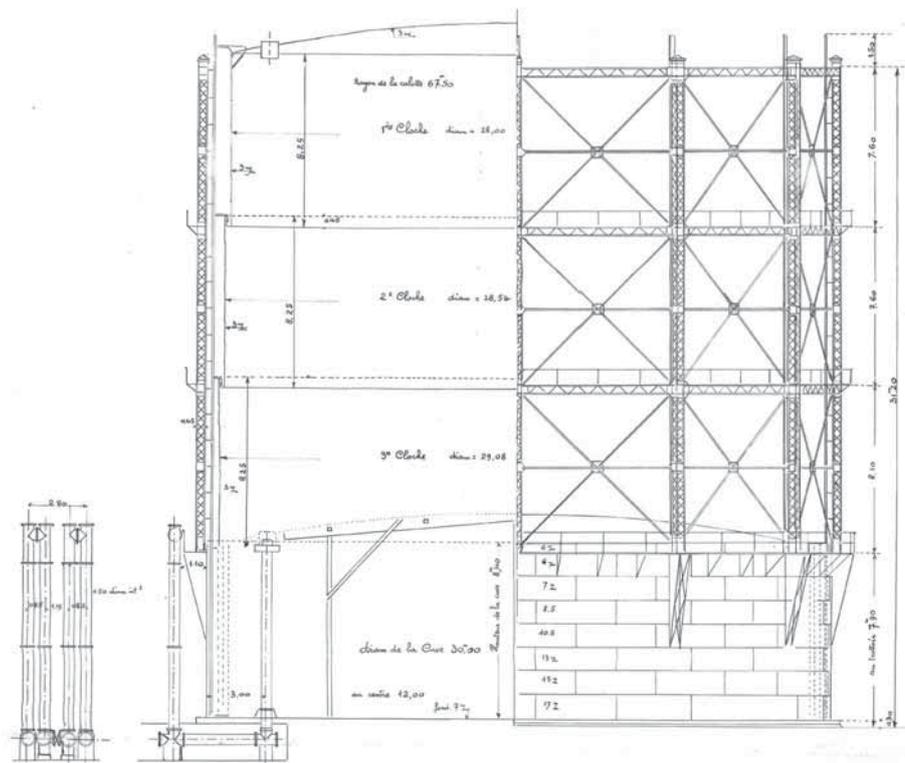


Abb. 43: Planung eines dreigeschossigen Verbandgerüsts mit einfacher Auskreuzung und horizontalem Stab in Santa Marta, Venedig (ITG, 1907).

Die einfache Auskreuzung (Siehe vorgehendes Kapitel) wurde dahingehend weiterentwickelt bzw. verstärkt, indem dem Gefüge ein horizontaler Stab hinzugefügt wurde.

Für das Gaswerk Santa Marta in Venedig wurde 1907 ein dreihübiger Gasbehälter ($V = 15.000\text{m}^3$) von dem französischen Vertragspartner, der „Società Lionese“ vorgesehen⁹⁰, dessen Verbandgerüst dreigeschossig konzipiert war: Die 12 Stützen ($H = 24,80\text{m}$) bestanden aus einer kastenförmigen Gitterträgerkonstruktion mit vorgesetzten Schienen und wurden an den Drittelpunkten jeweils mit kastenförmigen Fachwerkträgern verbunden. Der Anschluss an das freistehende, genietete Becken erfolgte über Konsolen.

In den Gerüstfeldern waren jeweils vier diagonale und ein horizontaler Stab angeordnet, die über ein zentrales Bindeblech zusammengeschlossen waren.

Um 1935 wurde die Hübigkeit des Gasbehälters von drei auf zwei Hubteile reduziert; was auch den Rückbau eines Gerüstrings zur Folge hatte.⁹¹

1928 wurde auf dem ersten venezianischen Gaswerk San Francesco della Vigna ein zweihübiger Gasbehälter ($V = 8.000\text{m}^3$; $D_{\text{Becken}} = 25,83\text{m}$) fertig gestellt (Abb. 44)⁹². Entsprechend der Hübigkeit hatte das

90 Die Ausführung oblag wohl der Firma SAFIL aus Mailand (Siehe folgende Seite). Zur Geschichte des Gaswerks in Santa Marta, siehe Kapitel D.4.3.-2.

91 ITG, 1930; Zucchetta, 1996, p. 80

92 Zucchetta, 1996, p. 66; Berger, 2014, p. 122

Ungefähr zur gleichen Zeit wurde in Livorno ein identischer Teleskopgasbehälter errichtet (ITG, o. J.). Zur Geschichte des Gaswerks in San Francesco della Vigna, siehe Kap. D.4.

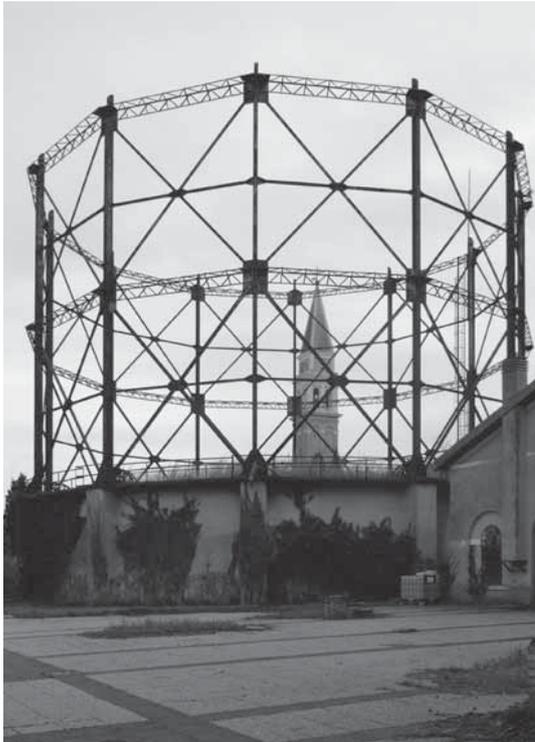


Abb. 44: Zweigeschossiges Verbandgerüst mit einfacher Auskreuzung und horizontalem Stab in San Francesco della Vigna, Venedig (BB, 2008).

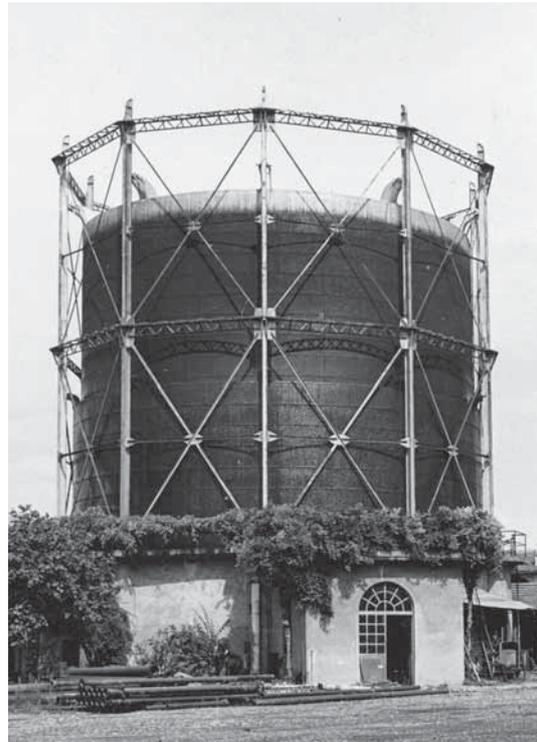


Abb. 45: Zweigeschossiges Verbandgerüst mit einfacher Auskreuzung und horizontalem Stab eines Gasbehälters in Casale Monferrato (ITG, o. J.).

Verbandgerüst (H= 15,00m) auch zwei Ringe, die aus zwölf kastenförmigen Stützen – einer vollwandigen Blechträgerkonstruktion – und dazwischen gesetzten dreieckigen Fachwerkträgern bestanden. Die Gerüstfelder waren jeweils mit einem durchlaufenden, horizontalen und vier diagonalen Stäben, die über ein zentrales Bindeblech zusammengeschlossen wurden, ausgestattet.

Die Führungsschiene, die etwas höher war als das Gerüst selbst, wurde direkt am innen liegenden Flansch befestigt.

Die Ausführung oblag vermutlich der *Firma Società Anonima di forni ed impianti industriali (SAFII)** aus Mailand⁹³.

Um 1930 wurde in Casale Monferrato ein Gasbehälter mit einem baugleichen Verbandgerüst (H= ca. 16,00m)⁹⁴ errichtet (Abb. 45). Nur die Proportionen sowie die Stützenanzahl – der Grundriss des Gerüsts beschrieb ein Dekagon – wichen von dem venezianischen Vorgänger ab.

93 Die Firma SAFII war zur gleichen Zeit auch für die Reparaturmaßnahmen am benachbarten Gasbehälter zuständig, siehe *Kapitel D.4.4.-2* (ITG, 1927).

94 Die ursprünglichen Ausführungspläne der Firma SAFII sahen einen Gasbehälter (V= 2.000m³) mit einem bedeutend niedrigeren Gerüst (H= ca. 12,00m) vor (ITG, 1925a). Ein weiterer baugleicher Gasbehälter befand sich wohl in Alessandria; das Becken war dort jedoch vollständig eingetieft (ITG, o. J. b).

1.4.3. Sternförmiges Verbandgerüst mit Hubteilmführung in Feldmitte

Das sternförmige Verbandgerüst der *Firma August Klönne** aus Dortmund schloss den Entwicklungszyklus (Siehe Kap. C.2.3.-7.6.1), der von der ursprünglich einfachen Auskreuzung ausging: Neben dem zusätzlichen horizontalen Stab wurde noch ein vertikaler Stab ergänzt. Dieser übernahm die Funktion der Führungsschiene, sodass die Hubteilmführung in die Feldmitte der horizontalen Träger verlagert wurde.

Das Konstruktionsgefüge basierte auf schlanken Koppelträgern⁹⁵, die für die Stützen und die Auskreuzung eingesetzt wurden, und Trägerkränzen aus Fachwerkträgern mit dreieckigem Querschnitt. Diese Gerüstform fand in Italien weite Verbreitung:

- Auf dem Gaswerk Bovisa, Mailand wurde um 1930 ein Gasbehälter ($V= 80.000\text{m}^3$; $D_{\text{Becken}} = \text{ca. } 55,00\text{m}$) mit einem viergeschossigen Verbandgerüst errichtet, das auf dem Konstruktionsgedanken Klönnes fußte. Bei dem Gerüst kamen insgesamt 18 Stützen ($H= \text{ca. } 41,00\text{m}$) zum Einsatz.⁹⁶
- Zur gleichen Zeit entstand auf dem Gaswerk Vanchiglia in Turin ein Gasbehälter ($V= 50.000\text{m}^3$; $D_{\text{Becken}} = 44,50\text{m}$), der ebenfalls mit einem dreigeschossigen Verbandgerüst nach Klönne ausgestattet war. Die Stützenanzahl ($H= 35,00\text{m}$) betrug insgesamt 18 (Abb. 47).⁹⁷
- 1936 wurde auf dem Gaswerk San Paolo in Rom ein fünfhubiger Gasbehälter ($V= 200.000\text{m}^3$; $D_{\text{Becken}} = 63,00\text{m}$) fertig gestellt (Abb. 48). Das Verbandgerüst ($H= \text{ca. } 75,00\text{m}$) nach Klönne wurde dementsprechend auch mit fünf Gerüstringen ausgestattet und basierte auf 20 Stützen.⁹⁸

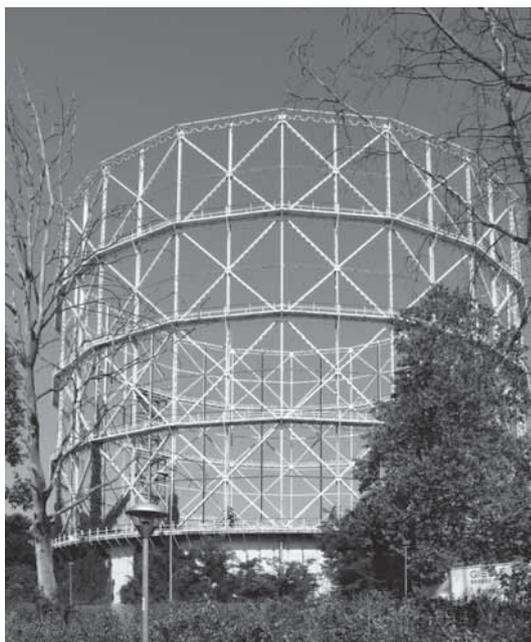


Abb. 46: Viergeschossiges Verbandgerüst nach Klönne in Bovisa, Mailand (BB, 2013).



Abb. 47: Dreigeschossiges Verbandgerüst nach Klönne in Vanchiglia, Turin (BB, 2013).

⁹⁵ Anm. d. Verfasserin: Die für Klönne typischen Träger bestanden in der Regel aus zwei zueinander gerichteten U-Eisen, die über mehrere Flacheisen gekoppelt wurden. Daher folgt an dieser Stelle die Bezeichnung des „Koppelträgers“.

⁹⁶ Paletta, Silvestrini, et al., 2010, p. 42. – Maße (D, H) wurden googlemaps entnommen am 12.09.2017. Ungefähr zur gleichen Zeit wurde in Arenaccia, Neapel ein ähnlicher Gasbehälter gebaut (Napoletanagas, 2015).

⁹⁷ Penati, 1972, p. 100; ITG, 1953

⁹⁸ Lamia, 1999, pp. 32–33. – Wegen der unzureichenden Gründungssituation – der Gasbehälter wurde in unmittelbarer Nähe zum Tiber positioniert – wurden um 1975 nur noch die ersten beiden Hubteile betrieben, die ein Nutzvolumen von 65.000m^3 besaßen.

Der „Gazometro“ – wie er von den Römern heute genannt wird – repräsentiert mit seiner Gesamthöhe von 89,10m wohl **den größten hydraulischen Gasbehälter Italiens**.

Ein wichtiger Lizenzpartner zur Ausführung der Gerüste Klönnes im italienischen Raum war die *Firma Ansaldo**.⁹⁹

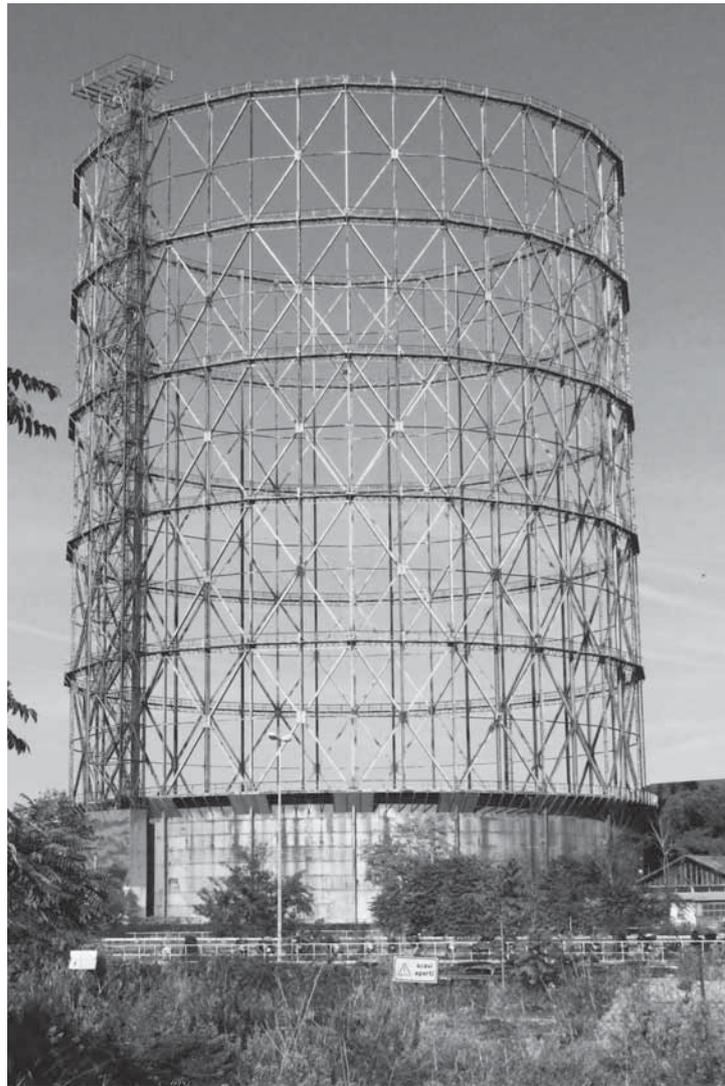


Abb. 48: Fünfhübiger Gasbehälter mit sternförmigem Verbandgerüst nach Klönne in San Paolo, Rom (BB, 2013).

1.4.4. Trianguliertes Verbandgerüst nach Cutler

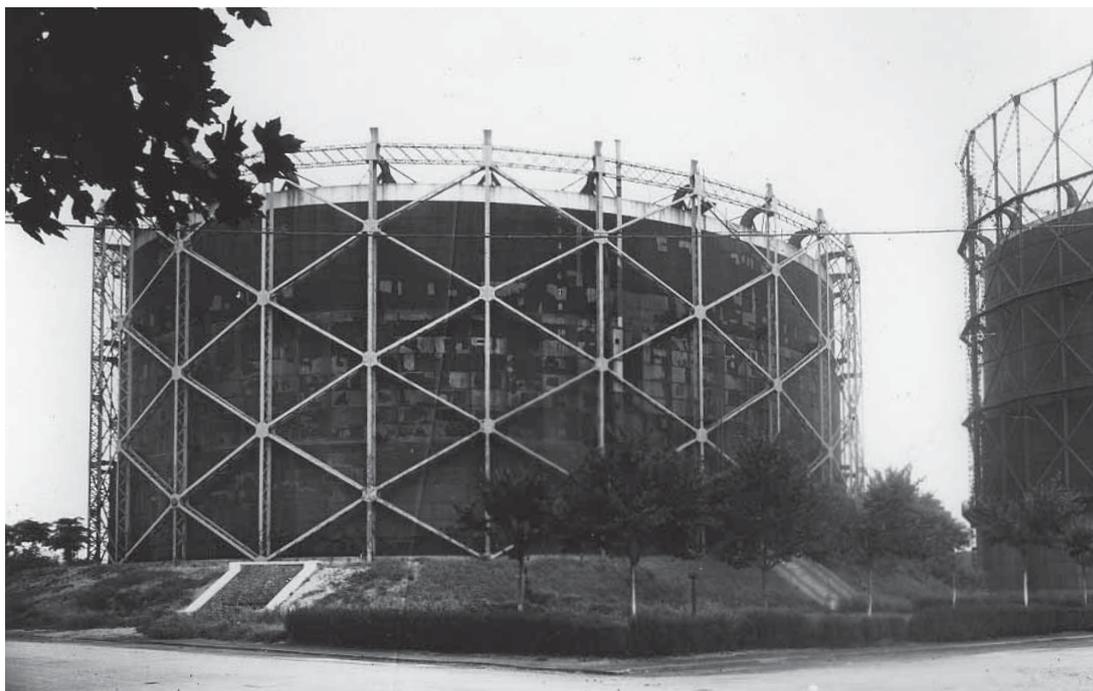


Abb. 49: Trianguliertes Verbandgerüst nach Cutler auf dem Gaswerk Bovisa in Mailand (AEM, o. J.).

Eine weitere Gerüstform bestach vor allem durch ihre effiziente und elegante Konstruktionsweise: Das triangulierte Verbandgerüst von *Samuel Cutler** aus London revolutionierte Anfang des 20. Jahrhunderts den bisher üblichen Gerüstkanon Italiens (Siehe Kap. C.2.3.-7.5.) und prägte die Stadtbilder – damals wie heute. Das Verbandgerüst nach Cutler basierte auf I-förmigen Fachwerkträgern¹⁰⁰, die sowohl für die Stützen als auch für die diagonalen Träger zum Einsatz kamen; eine Ausnahme stellte der abschließende horizontale Trägerkranz dar, der aus einem kastenförmigen Gitterträger bestand.

Einer der ersten Gasbehälter ($V = 40.000\text{m}^3$; $D_{\text{Becken}} = \text{ca. } 60,00\text{m}$) mit Verbandgerüst ($H = \text{ca. } 25,00\text{m}$) nach Cutler wurde 1905 auf dem Gaswerk Bovisa in Mailand gebaut (Abb. 49)¹⁰¹. Das Gerüst basierte auf insgesamt 28 Stützen und war für drei Hubteile ausgelegt – das vierte Hubteil war fliegend konzipiert (Siehe Kap. C.2.2.-7; D.3.2.-2.3.).¹⁰²

Ein wohl einzigartiges Ensemble aus drei Gasbehältern, deren Planung jeweils ein trianguliertes Verbandgerüst nach Cutler vorsah, entstand auf dem Gaswerk San Paolo in Rom:¹⁰³

- Zwei baugleiche, dreihübrige Gasbehälter ($V = 25.000\text{m}^3$, $D_{\text{Becken}} = 36,57\text{m}$) wurden jeweils mit einem Gerüst basierend auf 18 Stützen ($H = \text{ca. } 28,00\text{m}$) ausgeführt (Abb. 51); 1910 erfolgte die Inbetriebnahme.
- Der dritte und größte Gasbehälter ($V = 60.000\text{m}^3$; $D_{\text{Becken}} = 48,97\text{m}$) wurde 1912 fertig gestellt. Die Stützenanzahl des Verbandgerüsts ($H = \text{ca. } 37,00\text{m}$) betrug 24 (Abb. 50).

Bei allen drei Gerüsten wurden die I-förmigen Stützen jeweils entlang der Beckenaufseite fortgeführt.

100 Bei größeren Ausführungen kamen schmale, kastenförmige Fachwerkträger zum Einsatz – siehe Kapitel C.2.3.-7.5.

101 Berger, 2014, p. 125. – Maße (D, H) wurden googlemaps entnommen am 12.09.2017.

102 Drei Jahre später entstand ein Gasbehälter (60.000m^3) mit Führungsgerüst nach Cutler auf dem Gaswerk Gavette in Genua (Pittaluga, Signorelli, 2009, pp. 39–45).

103 Lamia, 1999, pp. 31–32; Berger, 2015, p. 207



Abb. 50: Trianguliertes Verbandgerüst des vierhübrigen Gasbehälters ($V=60.000\text{m}^3$) auf dem Gaswerk San Paolo in Rom (BB, 2013).

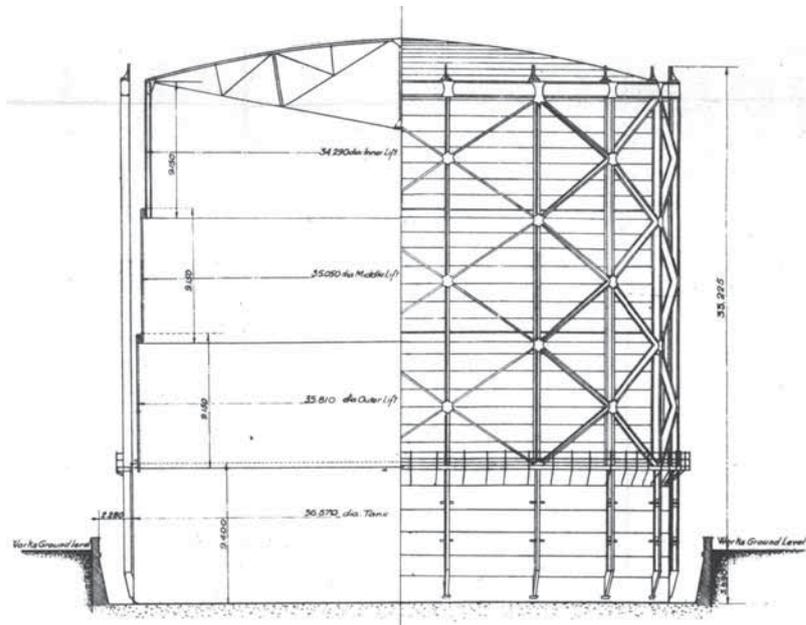


Abb. 51: Gasbehälter à 25.000m^3 mit Verbandgerüst nach Cutler in Rom (ITG, o. J.).

1.4.5. Als Ertüchtigungs- und Erweiterungsmaßnahme

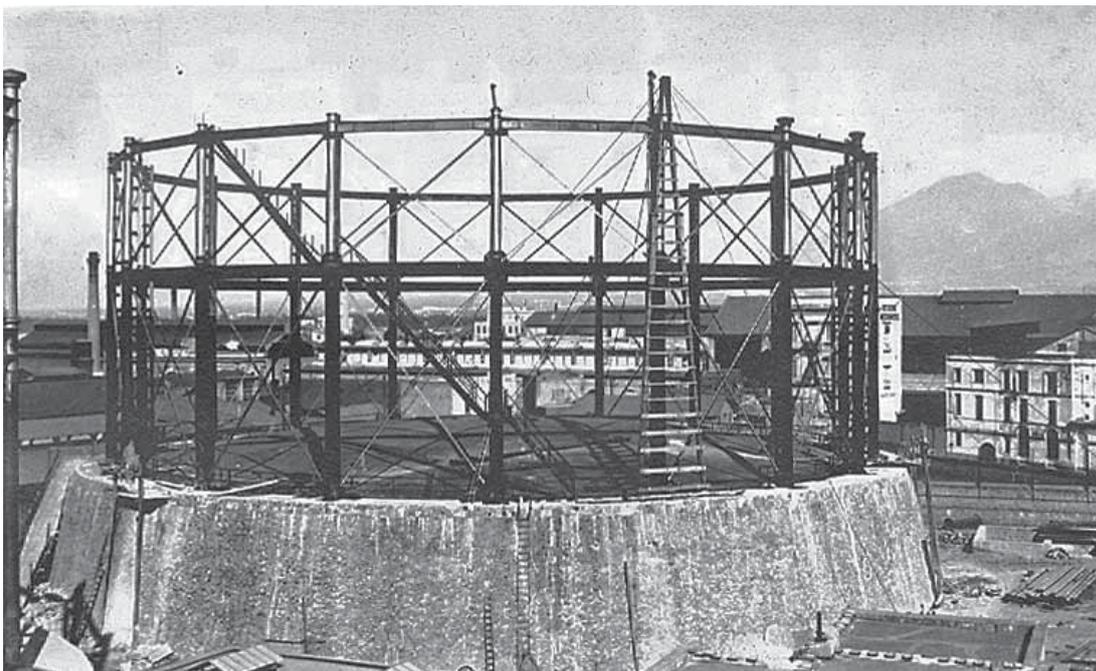


Abb. 52: Erweiterung eines bestehenden, eingeschossigen Rahmengerüsts zum zweigeschossigen Verbandgerüst in Arenaccia, Neapel 1911 (ITG, 1911).

Verbandgerüste entstanden aber nicht nur als Neubauvorhaben, sondern auch im Zuge von Ertüchtigungs- und Erweiterungsmaßnahmen von bestehenden Rahmengerüsten.

1911 wurde z.B. ein Gasbehälter ($D_{\text{Hubteil}} = 29,00\text{m}$) auf dem Gaswerk Arenaccia in Neapel mit einem zweiten Hubteil ausgestattet (Abb. 52). So wurde das ursprüngliche Rahmengerüst, das sich aus 18 Säulen und einem einzigen Trägerkranz zusammensetzte, mit einem zweiten, niedrigeren Gerüststring aufgestockt ($H_{\text{gesamt}} = \text{ca. } 12,00\text{m}$) und die Gerüstfelder mit einer einfachen Auskreuzung bestückt. Hierfür kamen wohl zwei durchlaufende U-Eisen zum Einsatz, die mit einem zentralen Bindeblech gekoppelt waren.¹⁰⁴

Ein weiteres Beispiel stellte der florentinische Gasbehälter in San Frediano dar (Siehe Kap. C.2.3.-6.2.2.). Dieser wurde 1882 mit nur einem Hubteil ($V = 8.000\text{m}^3$; $D = 34,24\text{m}$) gebaut¹⁰⁵.

1955 erfolgte die Erweiterung mit einem zweiten, fliegenden Hubteil (Abb. 53)¹⁰⁶. Aufgrund der spiralen Führungstechnik des neuen Hubteils war ein zweiter Gerüststring nicht erforderlich. Jedoch galt es, das bestehende Rahmengerüst zu verstärken. Deshalb wurden die Gerüstfelder mit Verbänden bestückt: Diese setzten sich aus zwei diagonalen und einem horizontalen Stab zusammen und wurden über ein zentrales Bindeblech zusammengeschlossen. Beide Hubteile waren sodann für die Aufnahme eines Nutzvolumens von insgesamt 14.000m^3 ausgelegt.¹⁰⁷

Durch die raffinierte Führungstechnik des zweiten Hubteils erweckte das eingeschossige Verbandgerüst weiterhin eher den Anschein eines einhubigen, als das des tatsächlichen zweihubigen Gasbehälters.

¹⁰⁴ Maße und Baujahr wurden von der Verfasserin geschätzt. Das Nutzvolumen betrug wohl ca. 8.000m^3 .

¹⁰⁵ ASCF, 1882

¹⁰⁶ Siehe Kapitel C.2.2.-7; D.3.2.-2.3.

¹⁰⁷ Magnini, o. J.; Berger, 2014, p. 123



Abb. 53: Verstärkung des ursprünglichen Rahmen- zum Verbandgerüst auf dem Gaswerk San Frediano, Florenz (BB, 2013).

1.5. Zusammenfassung – Führungsgerüst

Die Form und die Konstruktion des Führungsgerüsts wurde von den jeweils geforderten Nutzvolumina bestimmt, den vorhandenen Baustoffen, sowie der gegenwärtigen Bautechnik (*Siehe Kap. C.1.2.*). Eine weitere wichtige Rolle spielte der Wissenstransfer, der von den englischen, französischen und deutschen Ingenieuren ausging.

Die Baukonstruktionsgeschichte des Führungsgerüsts in Italien durchlief die drei Entwicklungsstadien vom Stützen-, Rahmen- zum Verbandgerüst.

Stützensgerüst (Tab. 4 a)

Die erste Gerüstform bestand lediglich aus freistehenden Stützen, die in der Regel gemauert wurden. Das Stützensgerüst kam bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts ausschließlich für kleinere, einhü- bige Gasbehälter zum Einsatz. So wurde 1838 der erste Gasbehälter Italiens in Turin mit einem Gerüst aus nur vier Mauerwerkspfeylern errichtet und zwar nach den Plänen der beiden Franzosen *Hippolyte Gautier** und *François Ygnace Reymondon**.

Mit den zunehmenden Hubteilgrößen wurde schließlich auch die Pfeileranzahl erhöht. Ein herausra- gendes Beispiel dieser Gerüstform stellte um 1850 der Gasbehälter in Saluzzo dar, dessen Pfeiler mit architektonischen Gliederungs- und Öffnungselementen ausgestattet waren. Dadurch erhielt die übli- cherweise rein technische Wirkmacht eine gestalterische Komponente.

Vereinzelt kamen neben den massiven Mauerwerkspfeylern auch Holzständer zum Einsatz, wie z.B. bei den ersten Gasbehältern in Mailand. Entgegen der vollständig freistehenden Pfeiler aus Mauerwerk besaßen diese bereits eine leichte, horizontale Verbindung am Ständerkopf – was die Überleitung zum Rahmengerüst darstellte.

Rahmengerüst (Tab. 4 b)

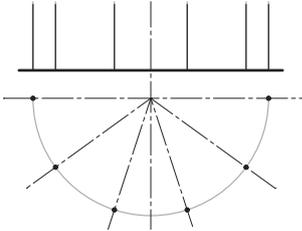
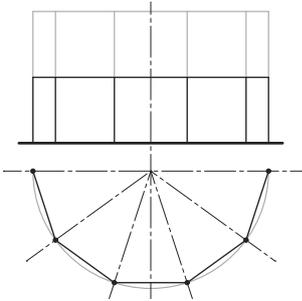
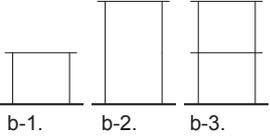
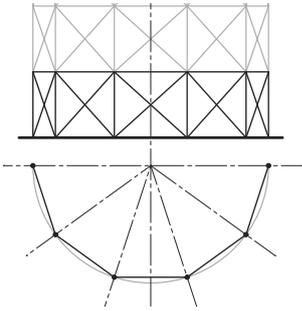
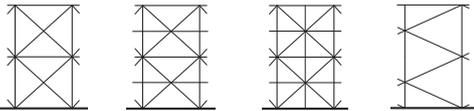
Durch die Einführung eines Trägerkranzes wurden die singulären Stützen gekoppelt und bildeten so ein stabileres Gerüstgefüge.

Bei den kleineren, einhübrigen Gasbehältern kamen zunächst eingeschossige Rahmengerüste zum Einsatz – nach der **einfachen bzw. niedrigen Ordnung** (b-1). Ein frühes Rahmengerüst mit sehr filigranen, abgespannten Rundrohrstäben wurde z.B. 1841 in Venedig errichtet; die Planung stammte aus französischer Hand. Diese leichte Konstruktionsweise wurde nach kurzer Zeit durch gusseiserne Säulen mit größerem Querschnitt ersetzt, die weitaus stabiler waren und sich deshalb zur Standardform entwickelten. Um 1900 begann allmählich der Einsatz von Schmiedeeisen und ermöglichte ein Gerüst- gefüge aus genieteten, kasten- oder I-förmigen Trägerkonstruktionen; genietete Säulenkonstruktionen aus Rundrohrelementen kamen nur selten zum Einsatz.

Die **Hochordnung** (b-2) war die erste Gerüstform für zweihübrige Gasbehälter: Die Säulenhöhe der ursprünglich niedrigen Ordnung (s.o.) wurde verdoppelt, damit die Führung von zwei Hubteilen gewähr- leistet werden konnte. 1866 kam diese Gerüstform bei einem der ersten Teleskopgasbehälter in Mai- land zur Ausführung, der besonders durch seine ornamentreich gegliederten Doppelsäulen bestach.

Die Hochordnung war in Italien eher ein kurzfristiges Phänomen, das aber eine wichtige Übergangsform zur Entstehung des mehrgeschossigen Rahmengerüsts darstellte. Dennoch kam die Hochordnung An- fang des 20. Jahrhunderts vereinzelt wieder bei kleineren, zweihübrigen Gasbehältern zum Vorschein.

Die mehrgeschossigen Gerüste entstanden ab ca. 1880 und basierten auf der **additiven Ordnung** (b-3), die durch das Einfügen eines weiteren Trägerkranzes das Gefüge deutlich verstärkte. Dabei ent- sprach die Anzahl der Gerüststrings in der Regel der Hubteilanzahl. Das Erscheinungsbild des Gerüsts wurde überwiegend dominiert durch den Einsatz der gusseisernen Säulen, die ab Ende des 19. Jahr-

Tab. 4: Baukonstruktionsgeschichte des Führungsgerüsts in Italien (Schemazeichnungen nach Berger, 2016)		
Gerüstform	Beschreibung	Zeit
<p>a) Stütze</p> 	<p>Führung des Hubteils durch einzelne, freistehende Stützen – ohne horizontale Verbindung.</p> <p>(Siehe Kap. D.3.2.-1.1.)</p>	<p>1838– ca. 1865</p>
<p>b) Rahmen</p>  <p>Entwicklung:</p>  <p>b-1. b-2. b-3.</p>	<p>Führung des Hubteils durch ein polygonales, ein-/ mehrgeschossiges Rahmengerüst, bestehend aus Säulen/ Stützen und horizontalen Trägern.</p> <p>b-1.: Einfache/ Niedrige Ordnung Bei einhübrigen Gasbehältern</p> <p>b-2.: Hochordnung Bei den ersten zweihübrigen Gasbehältern</p> <p>b-3.: Additive Ordnung Standardisierte Form für mehrhübrige Gasbehälter</p> <p>(Siehe Kap. D.3.2.-1.2-1.3.)</p>	<p>ca. 1840– ca. 1920</p> <p>ca. 1840– ca. 1900 (!!)</p> <p>ca. 1865– ca. 1880; frühes 20. Jhd.</p> <p>1880– ca. 1900</p>
<p>c) Verband</p>  <p>Entwicklung:</p>  <p>c-1. c-2. c-3. c-4.</p>	<p>Führung des Hubteils durch ein polygonales, ein-/ mehrgeschossiges Verbandgerüst, bestehend aus Säulen/ Stützen, horizontalen Trägern und Auskreuzungen.</p> <p>c-1.: Einfache Auskreuzung</p> <p>c-2.: Einfache Auskreuzung mit horizontalem Stab</p> <p>c-3.: Sternförmiges Verbandgerüst nach Klönne</p> <p>c-4.: Trianguliertes Verbandgerüst nach Cutler</p> <p>(Siehe Kap. D.3.2.-1.4.)</p>	<p>1900– ca. 1940</p> <p>1900– ca. 1920</p> <p>ca. 1905– ca. 1930</p> <p>ca. 1930– ca. 1940</p> <p>ca. 1905– ca. 1920</p>

hunderts allmählich durch genietete Blechträger ersetzt wurden. Mehrgeschossige Rahmengerüste, die als reine Blechträgerkonstruktion konzipiert waren, beschrieben eher eine kurze Phase, da sich zu diesem Zeitpunkt bereits der stabilere Nachfolger – nämlich das Verbandgerüst – zum Standard erhob.

Verbandgerüst (Tab. 4 c)

Indem die einzelnen Gerüstfelder mit Verbänden ausgestattet wurden, erfuhren die vorgehenden Rahmengerüste ein weiteres verstärkendes Element, das zu einer besseren Standsicherheit des Gefüges beitrug. Dies ermöglichte den Bau von großen, mehrhübigigen Gasbehältern; es wurde aber auch bei kleineren Ausführungen eingesetzt.

Die erste Verbandform war die der **einfachen Auskreuzung** (c-1). Hierfür kamen entweder Rundeisenstäbe in Kombination mit einem zentralen Spannring oder U- bzw. Flacheisenstäbe mit einem zentralen Bindeblech zum Einsatz.

Basierend auf der einfachen Auskreuzung entwickelten sich weitere Verbandformen:

- Zunächst erfuhr die einfache Auskreuzung eine Verstärkung, indem ein zusätzlicher horizontaler Stab ergänzt wurde (c-2).
- Die *Firma August Klönne** aus Dortmund brachte das **sternförmige Verbandgerüst** (c-3) hervor, das diesen Konstruktionsgedanken weiterführte und die Führungsschiene in die Feldmitte der Gerüstfelder verschob. Dies ergab ein sternförmiges Gebilde – das Markenzeichen des Klönne Gasbehälters. Diese wurden um 1930 in Italien eingeführt. Bereits 1936 entstand wohl der größte hydraulische Gasbehälter (V= 200.000m³) nach dieser Bauart in Rom: Das weit aufragende, fünfgeschossige Verbandgerüst dominiert – auch heute noch – das Stadtviertel San Paolo mit einer beachtlichen Gesamthöhe von 89,10m.

Das **triangulierte Verbandgerüst** (c-4) von *Samuel Cutler** aus London durchbrach ab 1900 schließlich den konventionellen Gerüstbau in Italien und bestach durch seine effiziente und elegante Konstruktionsweise; mit dem römischen Gasbehälter-Ensemble, das zwischen 1910 und 1912 entstand, setzte Cutler der ewigen Stadt ein besonderes Zeichen.¹⁰⁸

Das Verbandgerüst wurde aber nicht nur als Neubauprojekt realisiert, sondern entstand auch im Zuge von **Erweiterungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen** von bestehenden Rahmengerüsten.

Insgesamt war die Baukonstruktionsgeschichte des Führungsgerüsts in Italien stark geprägt von den Einflüssen aus dem Ausland und zeigte kaum innovative Ideen von den landeseigenen Ingenieuren, die zum Fortschritt des Gasbehälterbaus beigetragen hätten. In der Anfangsphase wurden die bewährten Modelle der englischen und französischen Vertragspartner übernommen und auch als sich die Gasbeleuchtung bereits gut etabliert hatte, verließen sich die Städte weiterhin eher auf die ausländischen Modelle, als dass sie eigene Gerüstkonstruktionen hervorgebracht hätten.

So waren es in erster Linie englische, französische und deutsche Gas-Pioniere, die die Geschichte des Führungsgerüsts in Italien schrieben.

¹⁰⁸ In den italienischen Metropolen wie Rom, Mailand und Turin ist insbesondere die Kombination der noch bestehenden Gasbehälter bzw. deren Führungsgerüste auffallend: In jeder dieser Städte bestand ein Ensemble, das von den Gerüsten Klönnes und Cutlers dominiert wurde.

2. Hubteil

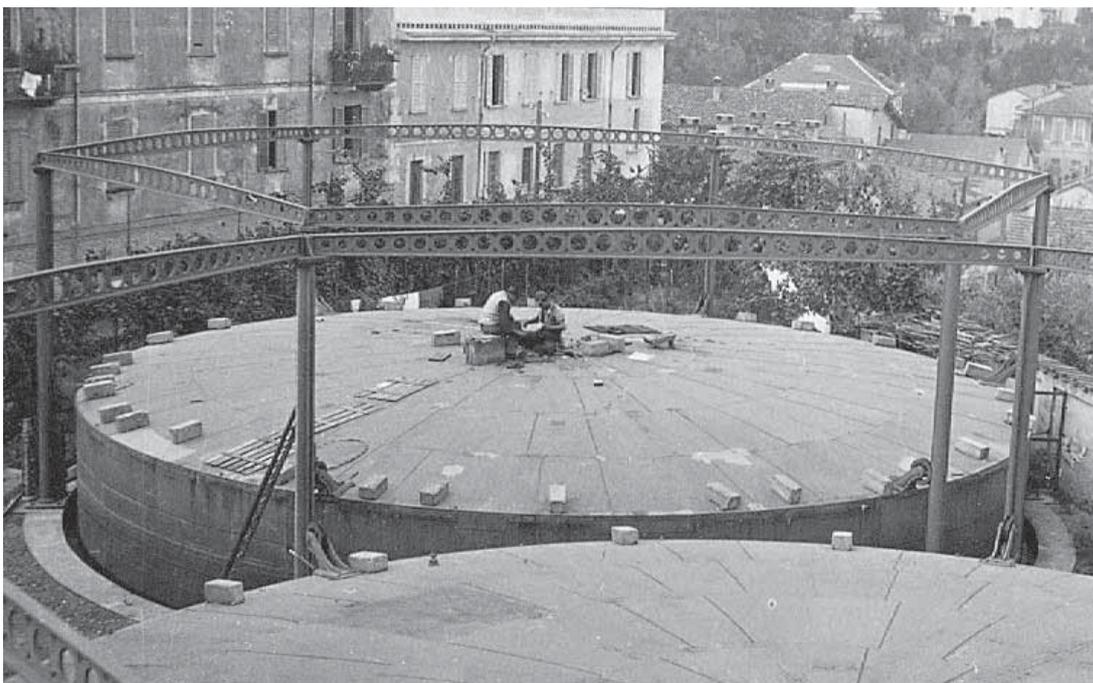


Abb. 54: Blick auf das Kuppeldach eines Gasbehälters in Prato (ITG, o. J.).

Das Hubteil war der zentrale Bestandteil des hydraulischen Gasbehälters, der das Gas aufnahm. Er bestand aus einem nach unten geöffneten Zylinder, der in ein Wasserbecken gesetzt wurde und dieses je nach aktuellem Füllstand verließ oder darin wieder eintauchte; das Wasser erzeugte dabei den gasdichten Abschluss (Siehe Kap. B.4.). Zur Sicherung eines geradlinigen, störungsfreien Bewegungsmechanismus diente grundsätzlich ein Führungsgerüst (Siehe Kap. D.3.2.-1.) – mit der Ausnahme des fliegenden Hubteils, das keine Unterstützung dieser Art benötigte (Siehe Kap. D.3.2.-2.3.). Dieses Kapitel schafft einen Überblick zu den Hubteilkonstruktionen und deren oberseitigem Abschluss, den ein Flach- bzw. Kuppeldach bildete.

2.1. Flachdach

Die Hubteile der ersten Gasbehälter wurden in der Mitte des 19. Jahrhunderts zum Teil mit Flachdächern ausgeführt, wie das Beispiel auf dem Gaswerk an der Porta Ludovica in Mailand zeigte (Abb. 55). Diese wurden vermutlich um 1845 nach den Plänen des französischen Ingenieurs *Achille Guillard** gebaut (Siehe Kap. D.3.2.-1.1.)¹⁰⁹. Das Flachdach wurde schließlich durch das Kuppeldach (Abb. 54) ersetzt, durch das die Hubteilkonstruktion deutlich an Stabilität gewann (Siehe Kap. C.2.2.-4.2.).

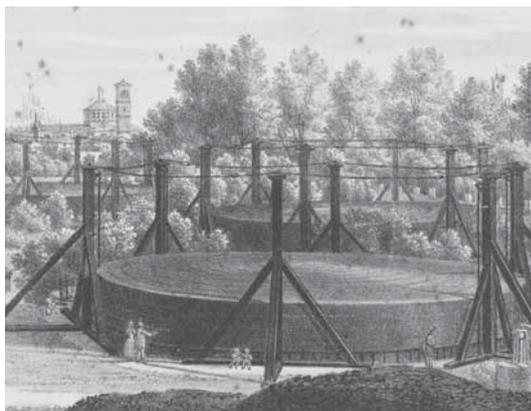


Abb. 55: Die ersten einhübigen Gasbehälter mit Flachdächern bei der Porta Ludovica in Mailand (CRBM, o. J.).

109 Longo, Petrillo, et al., 1995, p. 20

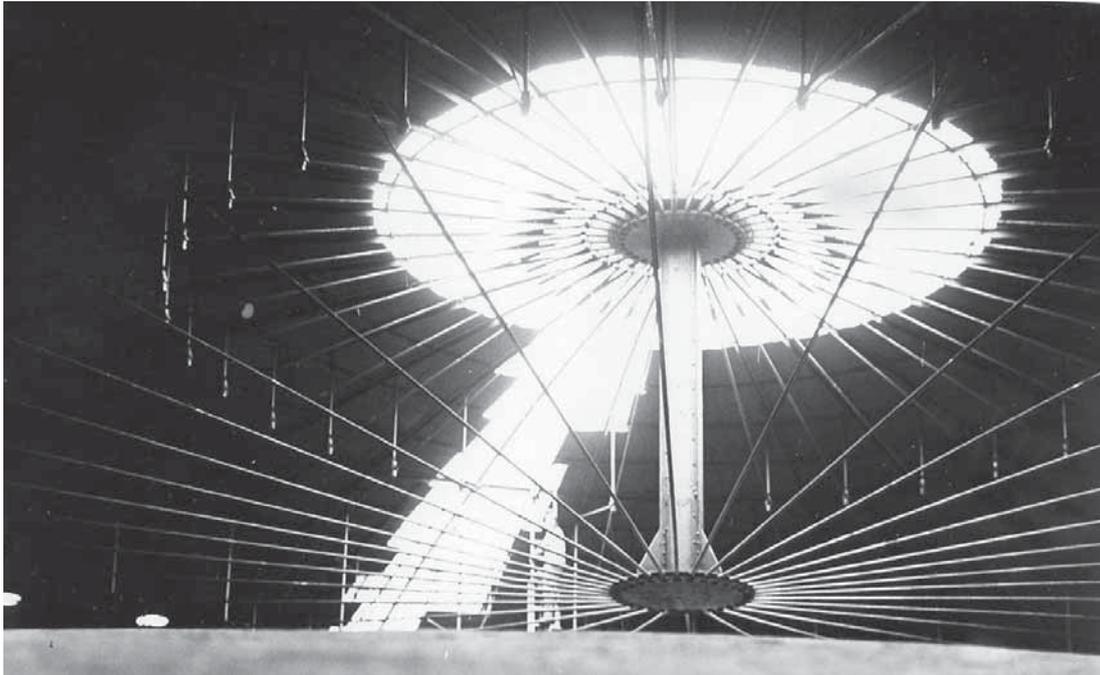


Abb. 56: *Unterspanntes Kuppeldach eines Schraubengasbehälters in Mailand (AEM o. J.).*

2.2. Kuppeldach

Das Kuppeldach erhob sich zum standardisierten Hubteilabschluss, das überwiegend als unterspannte und als Stabwerkkuppel, aber auch als binderlose Kuppel zur Ausführung kam.¹¹⁰

Kuppeldach mit Unterspannung

Das Kuppeldach eines dreihübrigen Schraubengasbehälters in Mailand – Via Salutati – wurde vermutlich um 1900¹¹¹ mit einer Unterspannung ausgestattet (Abb. 56). Die Luftstütze wurde mit radialen Rundeisenstäben abgespannt und mit einfachen Abhängern an die Träger der Kuppel verbunden.

In Rom wurden 1910 auf dem Gaswerk San Paolo zwei dreihübrige Gasbehälter ($V = 25.000\text{m}^3$) nach den Plänen Cutlers fertig gestellt: Das Kuppeldach ($D = 34,29\text{m}$) bestand aus einer doppelten Unterspannung (Abb. 57), die die zentrale Luftstütze und die Radialträger koppelte.¹¹²

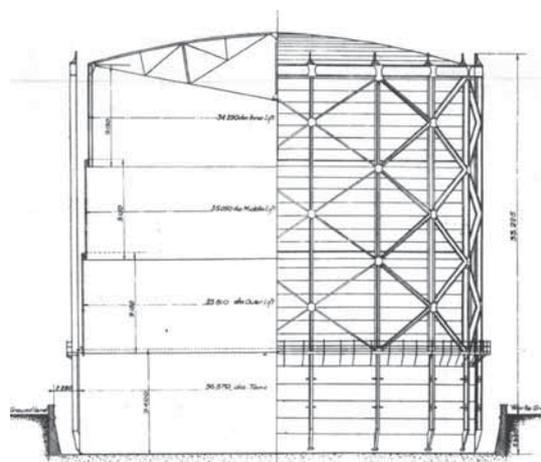


Abb. 57: *Dreihübriger Gasbehälter mit unterspanntem Kuppeldach in Rom (ITG, o. J.).*

110 Anm. d. Verfasserin: Im Rahmen der Forschungsarbeit traten nur wenige Quellen über die Kuppelkonstruktionen zu Tage. Die wenigen Beispiele, von denen eine Dokumentation vorlag, hatten eine unterspannte, ausgesteifte oder binderlose Kuppel. Das gerippte Kuppeldach kam wohl nicht zur Ausführung (Siehe Kap. C.2.2.-4.5.).

111 Trisoglio, 2016

112 Lamia, 1999, pp. 31–32. – Zum unterspannten Kuppeldach siehe auch Kapitel C.2.2.-4.3.

Stabwerkkuppel ¹¹³

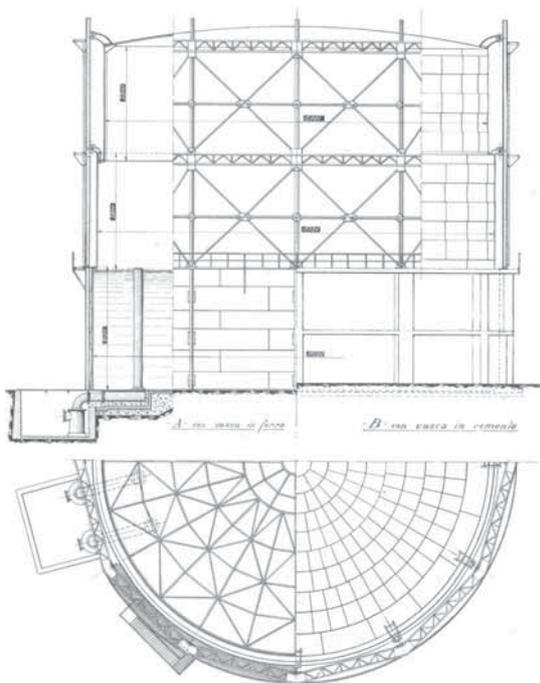


Abb. 58: Geplanter Teleskopgasbehälter für Casale Monferrato (ITG, 1925).

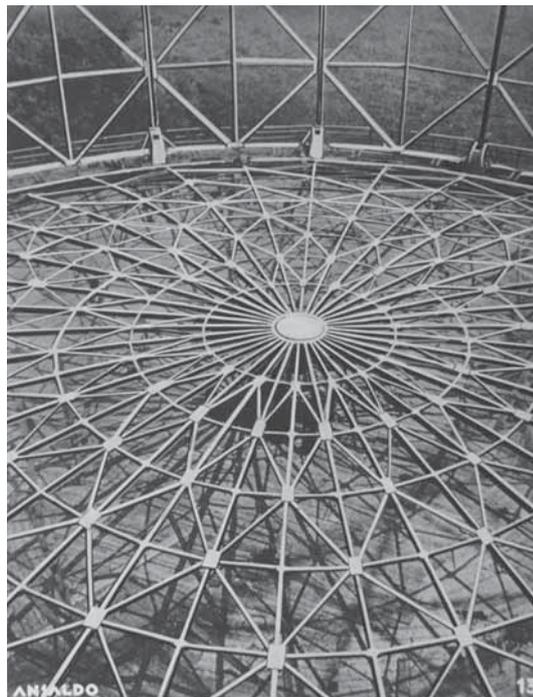


Abb. 59: Stabwerkkuppel eines Gasbehälters der Firma Ansaldo (ITG, 1938).

Für Casale Monferrato wurde um 1925 ein zweihübiger Gasbehälter mit einer Stabwerkkuppel ($D=15,04\text{m}$, $f= \text{ca. } 0,80\text{m}$) geplant (Abb. 74); diese bestand aus 20 radialen Haupt- und 20 Nebenträgern, die über sechs konzentrische Träger zusammengeschlossen wurden. Die Aussteifung der Kuppel erfolgte über diagonale Stäbe in den äußeren vier Ringen, die die Kuppelfelder triangulierten. ¹¹⁴

1928 wurde ein Gasbehälter ($V= 8.000\text{m}^3$) auf dem Gaswerk San Francesco della Vigna in Venedig fertig gestellt (Abb. 60). Die Schwedlerkuppel ($D= \text{ca. } 25,00\text{m}$; $f= \text{ca. } 0,90\text{m}$) bestand aus 24 radialen und insgesamt sechs konzentrischen Trägern. Die Kuppelfelder wurden jeweils mit zwei Rundeisenstäben ausgekreuzt. ¹¹⁵

Die Ausführung oblag vermutlich der Firma SAFFI aus Mailand ¹¹⁶.

Die Firma Ansaldo aus Genua warb 1938 für die Ausführung hydraulischer Gasbehälter, die ebenfalls mit der Stabwerkkuppel nach Schwedler ausgestattet waren (Abb. 65). ¹¹⁷

113 Zur Einführung und Konstruktion der Stabwerkkuppel, siehe auch *Kapitel C.2.2.-4.6.*

114 ITG, 1925a – Dieser Gasbehälter wurde um 1930 schließlich mit höheren Hubteilen ausgeführt (Siehe *Kap. D.3.2.-1.4.2.*).

115 Zucchetta, 1960, p. 66

116 Die Firma SAFII war zur gleichen Zeit auch für die Reparaturmaßnahmen am benachbarten Gasbehälter zuständig, siehe *Kapitel D.4.* (ITG, 1927). Zur Konstruktion des Führungsgerüsts siehe *Kapitel D.3.2.-1.4.2.*

117 ITG, 1938b, p. 2

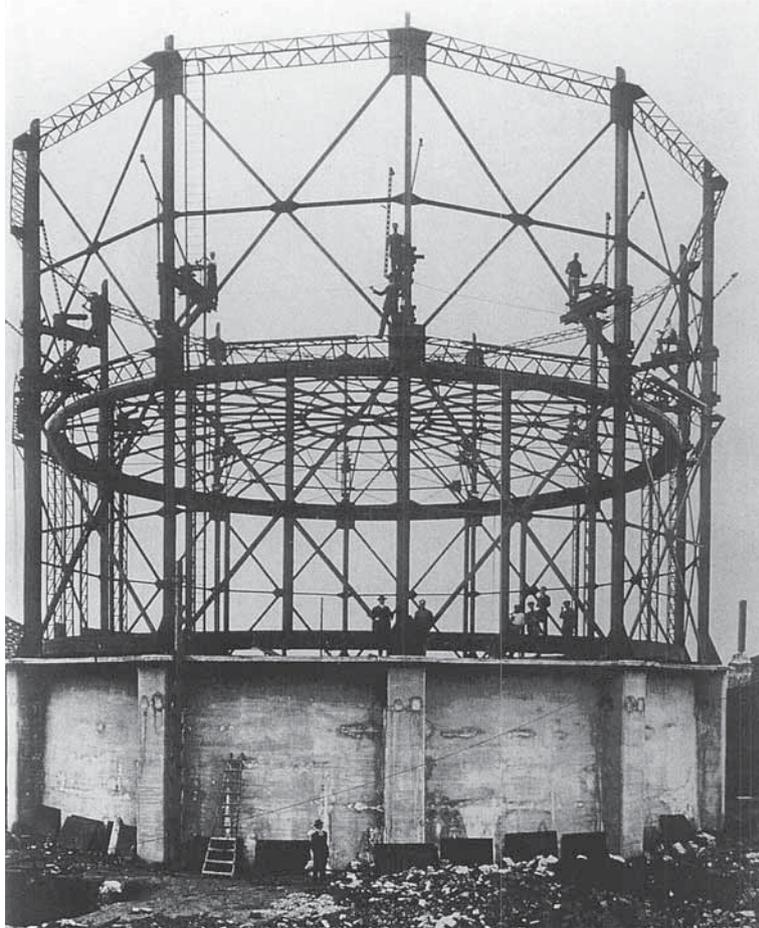


Abb. 60: Montage einer Schwedlerkuppel in San Francesco della Vigna, Venedig (Zucchetto, 1960).

Binderloses Kuppeldach ¹¹⁸

Für das Gaswerk Santa Marta in Venedig wurde 1907 ein dreihübiger Gasbehälter ($V=15.000\text{m}^3$) geplant, dessen oberes Hubteil mit einer binderlosen Kuppel ($D=28,00\text{m}$; $f=ca.1,50\text{m}$) ausgestattet war (Abb. 61). Für den Leerstand war eine hölzerne Stützkonstruktion im Becken vorgesehen, auf die sich die Kuppel ablegen konnte. ¹¹⁹

Die Planung des Gasbehälters stammte aus französischer Hand; die Ausführung oblag vermutlich der Firma SAFII, Mailand.

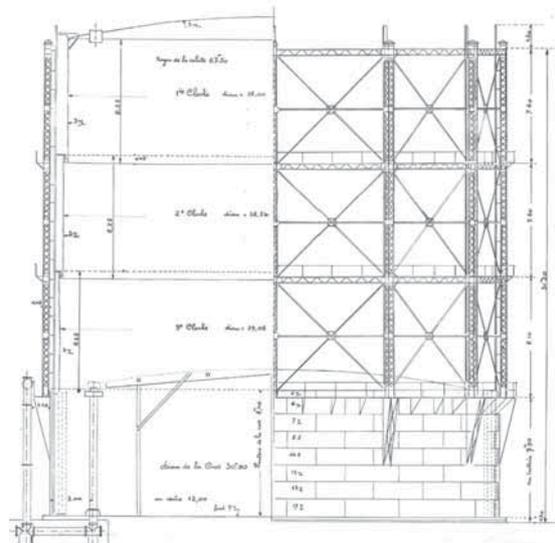


Abb. 61: Binderlose Kuppel mit Stützkonstruktion aus Holz in Santa Marta, Venedig (ITG, 1907).

¹¹⁸ Zur Entstehung der binderlosen Kuppel in England, siehe auch Kapitel C.2.2.-4.4.
¹¹⁹ Geschichte der Gasbeleuchtung in Venedig siehe Kapitel D.4.3.

2.3. Fliegende Hubteile

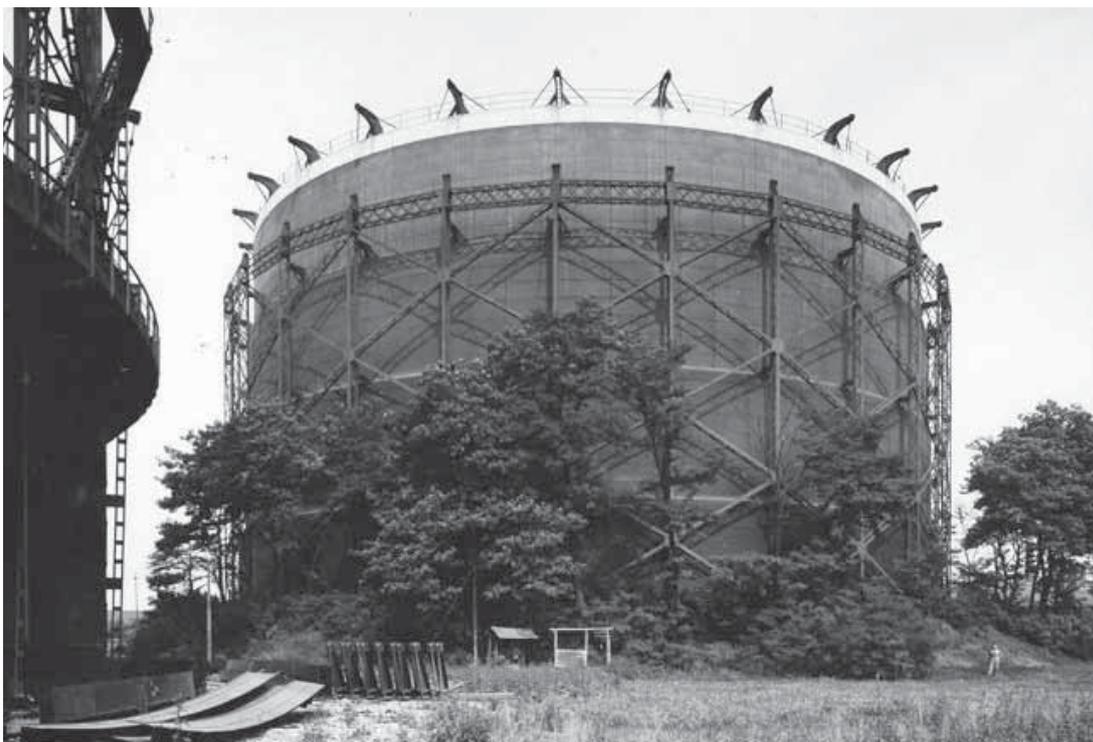


Abb. 62: Gasbehälter mit fliegendem Hubteil auf dem Gaswerk Bovisa in Mailand (AEM, o. J.).

Das sogenannte fliegende Hubteil, das keiner direkten Führungshilfe in Form eines Gerüsts mehr bedurfte, wurde erstmals in London nach den Plänen des englischen Gas-Ingenieurs *George Thomas Livesey** erfolgreich realisiert (Siehe Kap. C.2.2.-7.2.). Diese Technik fand Anfang des 20. Jahrhunderts vereinzelt auch in Italien Einzug.

Einer der ersten Gasbehälter Italiens, der mit einem fliegenden Hubteil ausgestattet wurde, entstand 1905 auf dem Gaswerk Bovisa in Mailand (Abb. 62): Dort wurde ein vierhübiger Gasbehälter ($V=40.000\text{m}^3$) mit einem triangulierten Führungsgerüst nach Cutler errichtet (Siehe Kap. D.3.2.-1.4.4.)¹²⁰. Bei maximalem Füllstand ragte das obere, fliegende Hubteil frei über dem Gerüst empor, da letzteres nur für die Aufnahme der unteren drei Hubteile ausgelegt war.

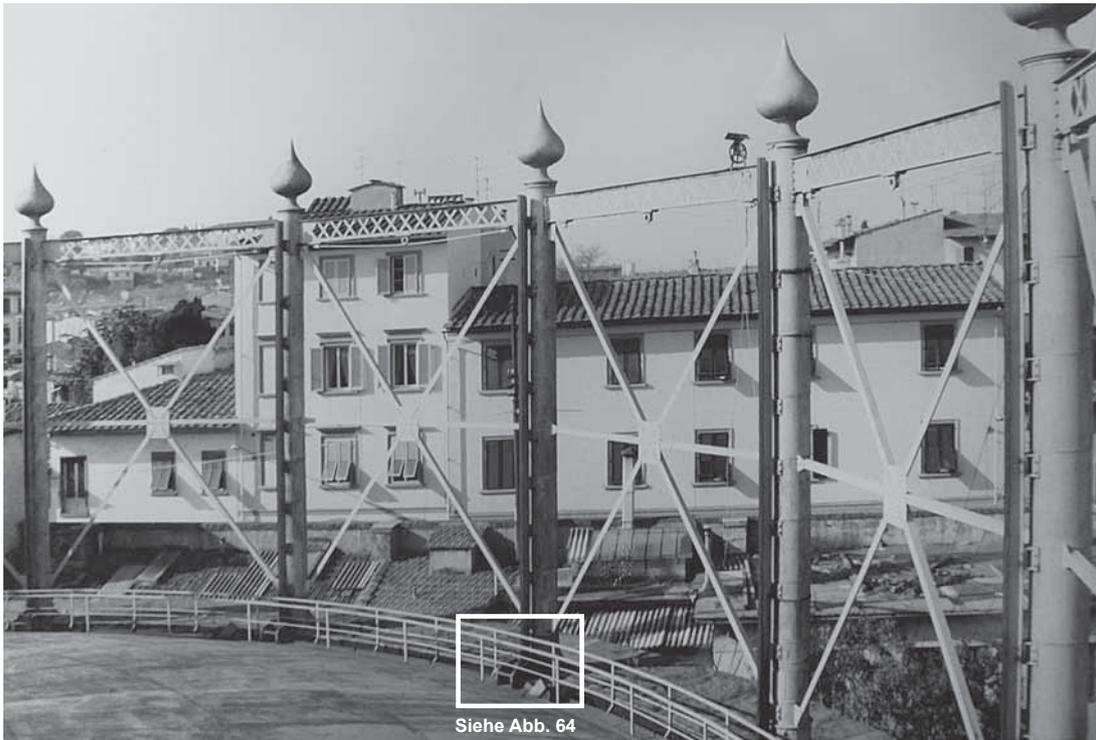
Das fliegende Hubteil kam aber auch als Erweiterungsmaßnahme zum Einsatz:

1955 wurde dem ursprünglich einhübigen Gasbehälter ($V=8.000\text{m}^3$) in San Frediano, Florenz ein zweites, fliegendes Hubteil ($V_{\text{neu}}=14.000\text{m}^3$) hinzugefügt (Abb. 63)¹²¹. Verglichen zum Mailändischen Beispiel wurde dieses Hubteil aber mit der spiralen Führungstechnik ausgestattet, was dessen Bewegungsmechanismus unterstützte und gleichzeitig das Gesamtgefüge des Gasbehälters verstärkte (Siehe Kap. D.3.2.-1.4.5.). In diesem Zuge wurde auch das Gerüst mit Windverbänden ausgebaut und ertüchtigt.¹²²

120 Berger, 2014, p. 125

121 Zur Konstruktion des ursprünglichen Führungsgerüsts, siehe Kapitel D.3.2.-1.2.

122 Magnini, o. J.



Siehe Abb. 64

Abb. 63: Erweiterung des Gasbehälters in Florenz mit einem zweiten, fliegenden Hubteil (TOSCE, o. J.).**

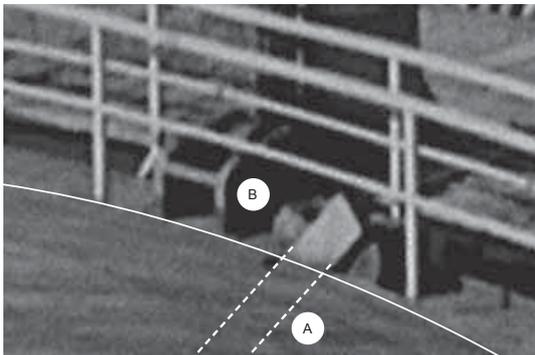


Abb. 64: Bildausschnitt – Oberes Hubteil mit sichtbarem, diagonalem Schienenkopf (A); das untere Hubteil war mit konventionellen Rollenköpfen (B) ausgestattet.**

3. Wasserbecken

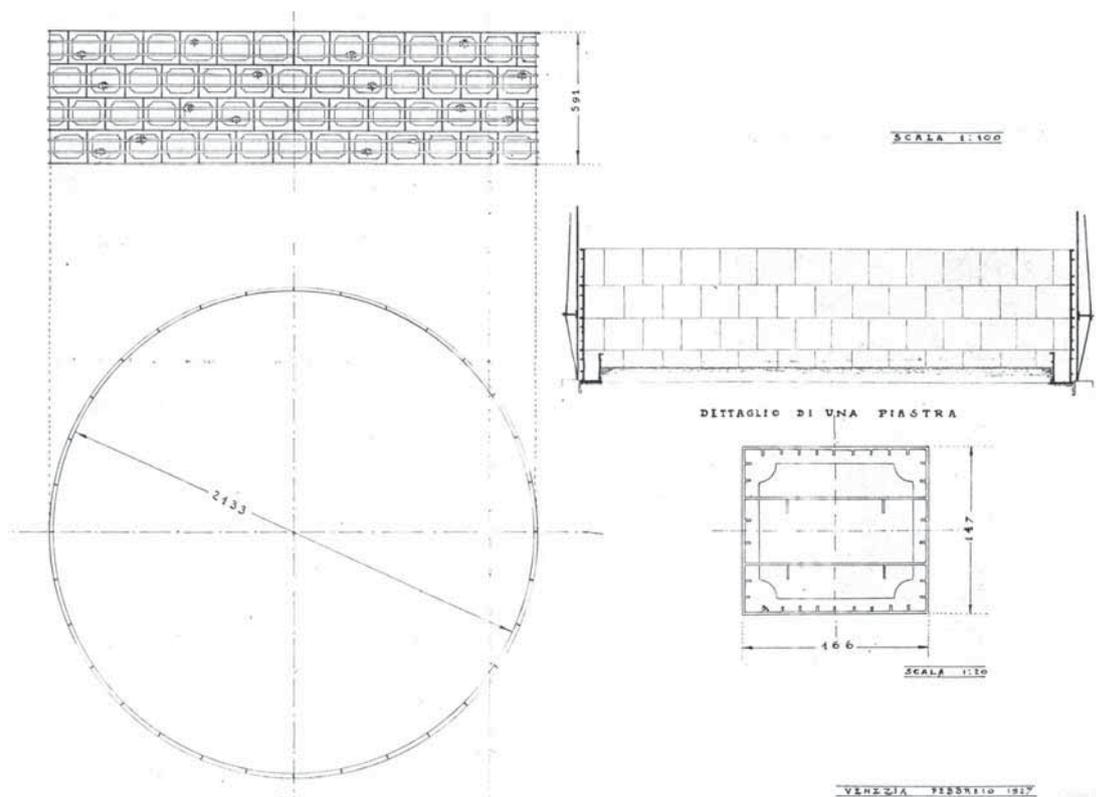


Abb. 65: Flachbodenbecken aus Gusseisen in San Francesco della Vigna, Venedig (ITG, 1927).

Das Wasserbecken bzw. das Wasser selbst hatte die essenzielle Aufgabe des gasdichten Abschlusses am unteren Hubteilrand inne; zudem versorgte das Becken die Schöpftassen mit Wasser, die wiederum den gasdichten Anschluss der Hubteile untereinander bewerkstelligten (Siehe Kap. B.4.; C.2.4.).

Die Konstruktion des Wasserbeckens war in Massiv- und Leichtbauweise möglich und seine Positionierung variierte von vollständig und partiell versenkt bis hin zur freistehenden Ausführung.

Dieses Kapitel führt durch die verschiedenen Beckenformen, die in Italien zum Einsatz kamen – nämlich das Flachboden-, Kegelstumpf- und Kugelbodenbecken sowie das Ringbecken – und erläutert diese in ihren Grundzügen.¹²³

3.1. Flachbodenbecken

In San Francesco della Vigna, Venedig bestand 1847¹²⁴ ein gusseisernes Flachbodenbecken ($D_{\text{innen}} = 21,33\text{m}$; $H = 5,91\text{m}$), das am Fuß leicht in das Gelände eingetieft war (Abb. 65).

Die Beckenwand setzte sich aus vier Plattenreihen zusammen, die jeweils mit zwei außen liegenden Flacheisenringen verstärkt wurden. Die einzelne Platte war 166mm breit und 147mm hoch.¹²⁵

123 Anm. d. Verfasserin: Die Baukonstruktionsgeschichte des Wasserbeckens wird hier nur anhand einiger Beispiele und nicht in seiner Ganzheit erläutert, da die Entwicklung des Gasbehälters in Italien primär am Führungsgerüst aufgezeigt wurde.

124 Fontana, 1847, p. 155

125 Anm. d. Verfasserin: Obwohl dieser Plan die Überschrift für den dritten Gasbehälter des Gaswerks trug, handelte es sich hier wohl eher um Gasbehälter n°IV. Siehe auch Kapitel D.4.3.

Die Besonderheit dieses Beckens zeigte sich am Beckenfuß: Die unterste Blechbahn wurde nämlich als Ring bzw. Kanal ausgebildet. Folglich war dieses Becken vielmehr eine Kombination aus Flachboden- und Ringbecken (Siehe Kap. D.3.2.-3.4.).¹²⁶

Der zweihübrige Gasbehälter in Casale Monferrato, auf den sich bereits die vorgehenden Kapitel bezogen, wurde um 1925 mit einem freistehenden Flachbodenbecken (D= 16,08; H= 6,15m) geplant (Abb. 66) und beinhaltete zwei Ausführungsmöglichkeiten: Entweder als genietete Blechkonstruktion oder als massives Betonbecken. Bei letzterem waren vorspringende Wandpfeiler unterhalb der Gerüststützen integriert, die durch horizontale Rippen gekoppelt bzw. verstärkt wurden.¹²⁷

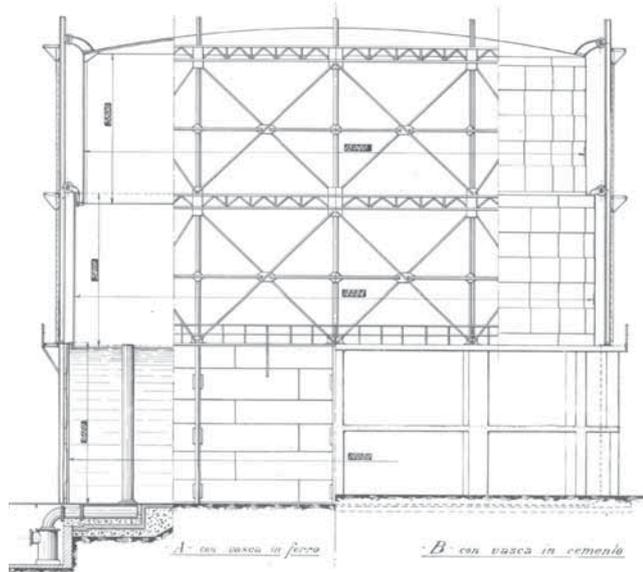


Abb. 66: Planung eines Teleskopgasbehälters mit einem freistehenden Flachbodenbecken in Casale Monferrato (ITG, 1925).

3.2. Kegelstumpfbecken¹²⁸

Auf dem bereits genannten Gaswerk San Francesco della Vigna in Venedig folgte 1928 ein weiterer Gasbehälter (V= 8.000m³)¹²⁹, dessen Wasserbecken (D_{innen} = 25,83m; H= 8,95m) einen Kegelstumpf hatte (Abb. 67) und im unteren Drittel in das Gelände eingetieft war. Sowohl die sich nach oben verzügende Beckenwand (t= 12–400mm), als auch die Flächen des Kegelstumpfes (t_{Seiten} = 100–400mm; t_{OK Kegel} = 80mm) waren in Eisenbetonbauweise erstellt. Für die Gründung kamen insgesamt 512 Holzpfähle zum Einsatz (d= 250mm; l= 5,00m)¹³⁰.

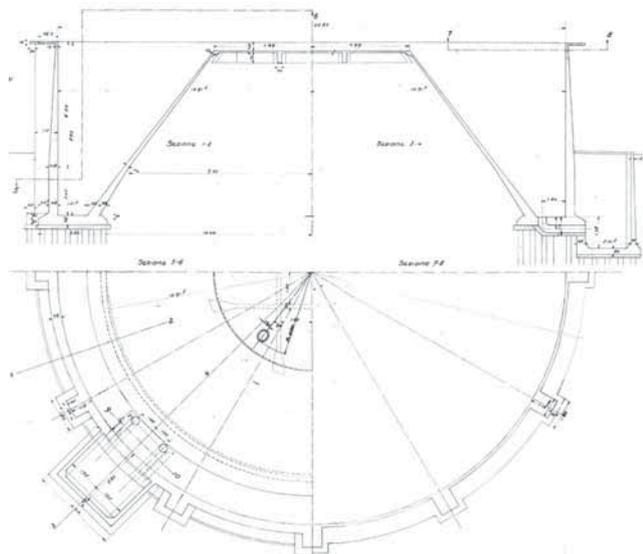


Abb. 67: Kegelstumpfbecken eines zweihübrigen Gasbehälters in Venedig (ITG, 1926).

126 Dieses Becken wurde aufgrund seiner minimalen, ringförmigen Eintiefung von Samuel Clegg jun.*, 1859 als Ringbecken eingestuft und gehörte den ersten seiner Art an (Clegg, 1859, p. 238).

127 ITG, 1925a

128 Zur Entstehung und Entwicklung des Kegelstumpfbeckens ausgehend von England siehe auch Kapitel C.2.4.-4.2.

129 Zucchetta, 1996, p. 17

130 ITG, 1954a – Der Firma Ferrobeton, Venedig oblagen die vorgehenden Baugrunduntersuchungen, sowie Planung und Ausführung des Wasserbeckens.

3.3. Kugelbodenbecken

Der Beckenboden wurde nicht nur mit einem Kegelstumpf, sondern auch mit einem Kugelboden ausgeführt (Siehe Kap. C.2.4.-4.3.):

1880 wurde ein einhübiger Gasbehälter für das Gaswerk Vanchiglia in Turin geplant (Abb. 68). Die Planung sah ein vollständig eingetieftes Kugelbodenbecken ($D_{\text{innen}} = \text{ca. } 26,50\text{m}$; $T_{\text{max}} = 7,50\text{m}$) aus Mauerwerk vor. Der Radius der gewölbten Bodenfläche betrug $16,00\text{m}$.

Um 1900¹³¹ entstand auf der „Stazione gasometrica“ (Dt.: Speicherstation) an der Via Salutati in Mailand ein dreihübiger Schraubengasbehälter (Abb. 69), dessen Becken ebenfalls mit einem Kugelboden ausgeführt wurde.

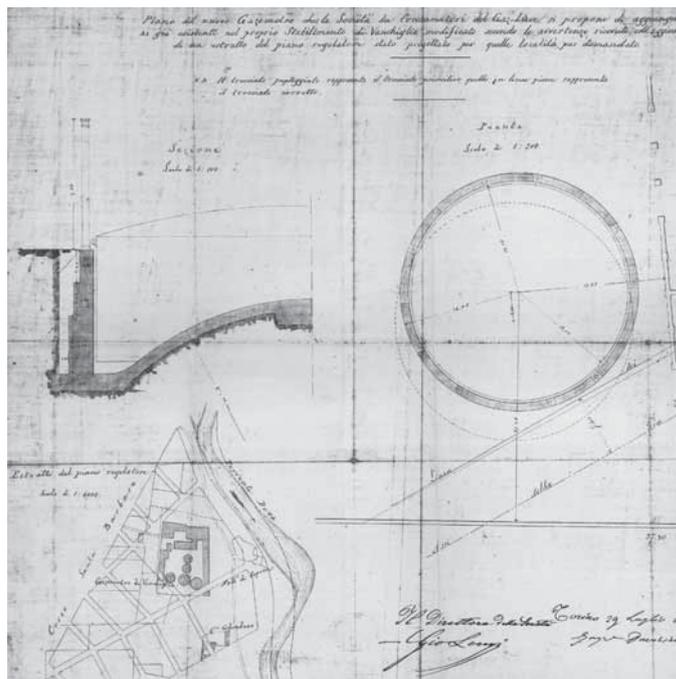


Abb. 68: Planung eines neuen Gasbehälters mit versenktem Kugelbodenbecken in Vanchiglia, Turin (ITG, 1880).

Einige wenige Beispiele bezeugen, dass das Kugelbodenbecken nicht nur in Massivbauweise realisiert wurde, sondern auch als freistehende, angespitzte Eisenkonstruktion nach Otto Intze* (Siehe Kap. C.2.4.-4.4.3). So wurden z.B. 1887 zwei kleine, einhübige Gasbehälter ($V_1 = 100\text{m}^3$; $V_2 = 50\text{m}^3$) jeweils mit einem genieteten Intze-Becken am Bahnhof Mailands gebaut.¹³²

3.4. Ringbecken

Die Ringbeckenform bestach durch den reduzierten Erdaushub und die geringe Wassermenge und kam besonders bei schwierigen Baugrundverhältnissen zum Einsatz (Siehe Kap. C.2.4.-4.4.), wie z.B. beim Gaswerk Borgo Dora in Turin, das sich in unmittelbarer Flussnähe befand. Deshalb wurde für den Bau eines zweihübigen Gasbehälters ein partiell versenktes Ringbecken gewählt (Abb. 70). Dieses Becken war ungefähr bis zu einem Drittel in das Gelände eingetieft und bestand aus einer inneren und einer äußeren Beckenwand aus Mauerwerk. Die innen liegende Ringmauer wurde innenseitig durch radial angeordnete Mauerzungen verstärkt. Die äußere Ringmauer war an der Innenseite mit gusseisernen Platten verkleidet bzw. verstärkt und an der Außenseite mit drei Ringankern aus Flacheisen. Vermutlich handelte es sich bei diesem Beispiel um den Gasbehälter ($V = 4.000\text{m}^3$), der um 1876 zunächst mit einem relativ hohen, freistehenden Becken ($H = \text{ca. } 12,00\text{m}$; $D = \text{ca. } 20,00\text{m}$) errichtet wurde, das nach kurzer Zeit versagte und durch ein neues, flacheres ersetzt wurde.¹³³

131 Trisoglio, 2016

132 o. A., 1900, pp. 1, 75. – Die Ausführung oblag der Firma Neumann.

133 Paletta, 1987, p. 105, 126

Bei der ersten Ausführung war der Gasbehälter einhübiger; bei der zweiten wurde der Einsatz von zwei – dafür niedrigeren – Hubteilen favorisiert.



Abb. 69: Kugelbodenbecken eines Schraubengasbehälters in Mailand (AEM, o. J.).

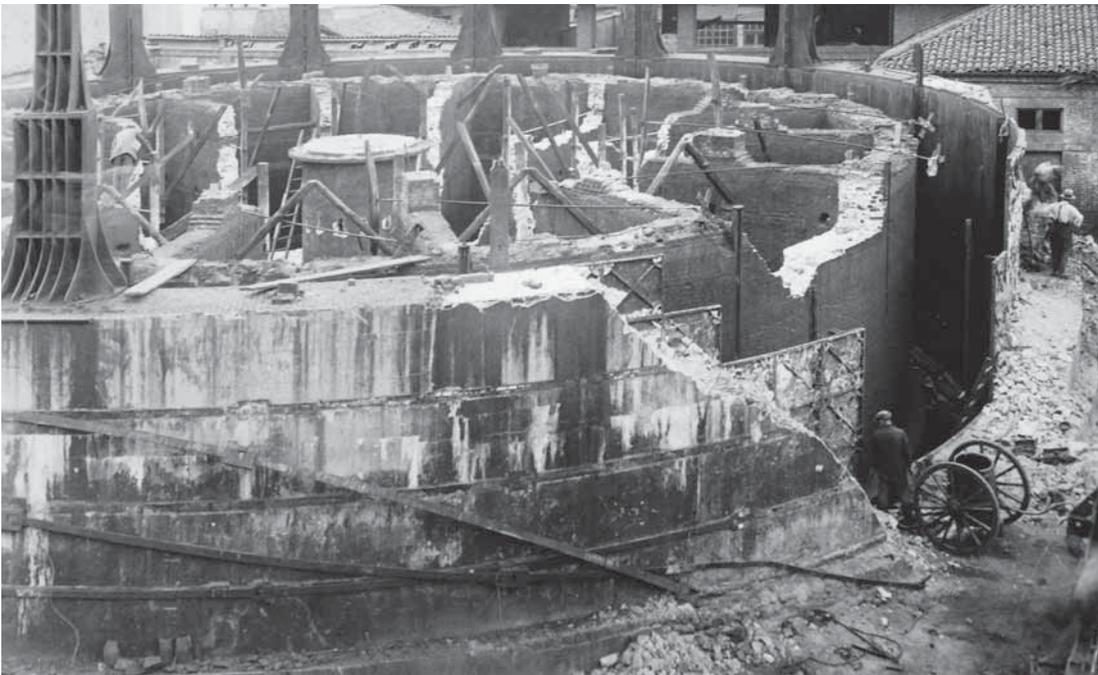


Abb. 70: Ringbecken aus Mauerwerk innenseitig verkleidet mit gusseisernen Platten und außenseitig verstärkt mit Zugbändern. Gaswerk Borgo Dora in Turin (ITG, 1930).

4. Gasbehältergebäude



Abb. 71: Gasbehältergebäude in Broletto, Triest (BB, 2014).

In Ländern bzw. Regionen, die besonders kalten Winterperioden ausgesetzt waren, kamen teils zusätzliche, massive Gasbehältergebäude zum Einsatz (Siehe Kap. C.2.5.). Da in Italien grundsätzlich eher ein mildes Klima vorherrscht, war dieses Schutzbauwerk in der Regel nicht notwendig und die Gasbehälter wurden freistehend gebaut mit der Ausnahme von einigen Regionen Norditaliens, wo derartige Witterungsverhältnisse ein massives Gasbehältergebäude erforderten.

Eine der wenigen Städte Italiens, die mit diesen Standortbedingungen konfrontiert waren, war die Hafenstadt Triest. Ab 1863 entstand in Broletto das zweite Gaswerk. Hierfür wurde der deutsche Ingenieur Kühnell* beauftragt, der bereits zahlreiche Gasbehältergebäude in Berlin plante (Siehe Kap. C.2.5.-3.)¹³⁴. 1901 folgte der Entwurf für einen neuen, zweihübrigen Gasbehälter ($V = 20.000\text{m}^3$), der von dem Ingenieur Francesco Boara* angefertigt wurde und sich wohl an die vorgehenden Beispiele von Kühnell lehnte (Abb. 71): Dieser sah ein massives Gasbehältergebäude ($D_{\text{außen}} = 45,00\text{m}$; $H_{\text{gesamt}} = \text{ca. } 35,00\text{m}$) vor, bestehend aus einem gemauerten Tambour und einer Stabwerkkuppel nach Schwedler (Siehe Kap. C.2.2.-4.6.), die mit einer Laterne ausgestattet war.¹³⁵

Das Gasbehältergebäude bestach mit einer besonders formenreichen Gestaltung und Gliederung der Fassade: Diese wurde durch 14 Pilaster in regelmäßige Wandflächen unterteilt, die jeweils durch ein schlankes, längliches Fenster dominiert wurden. Letztere befanden sich in großzügig angelegten Nischen. Horizontal wurde die Fassade durch einen hervorspringenden Sockel und zwei schmale Wandbänder gegliedert. Der obere Wandabschluss bestand je Feld aus einer Gruppe von drei Okkuli, von

134 Schilling, 1885, pp. 46–47; Marino, 2000, p. 105
Weiterführende Literatur zur Gasbeleuchtung in Triest siehe Botteri, 2000.

135 Boiti, 2007, pp. 197–198. – Die ausführende Firma war H. Rella & Co., Wien.

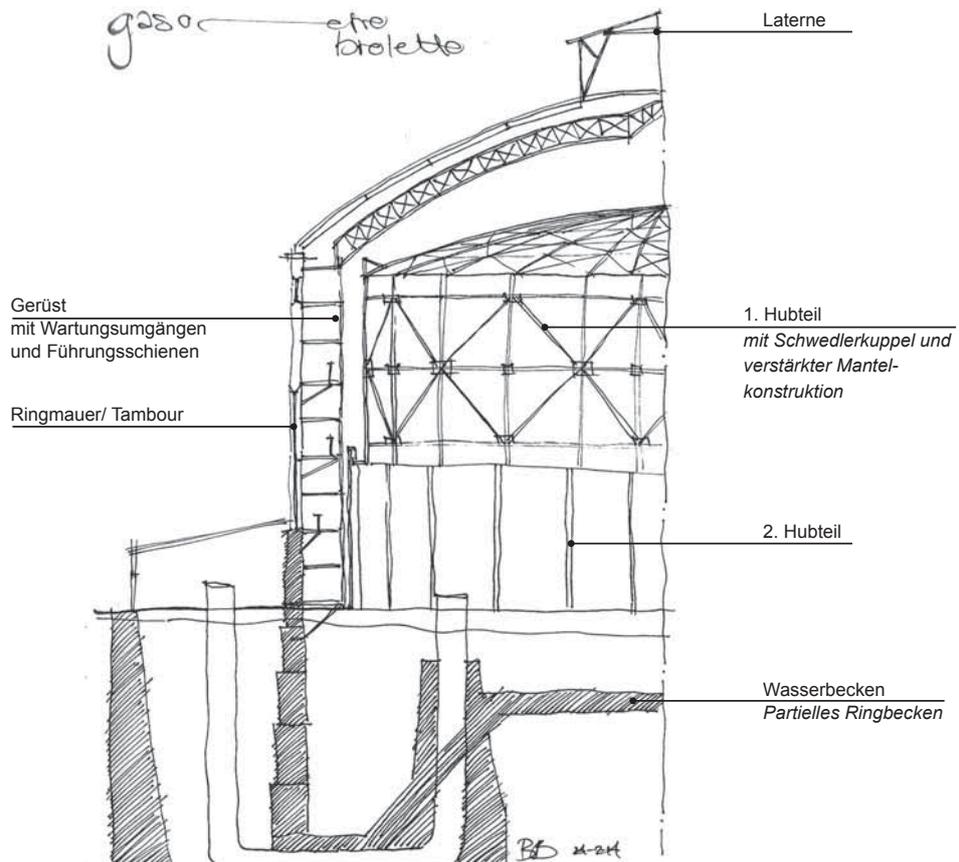


Abb. 72: Schematischer Schnitt durch das Gasbehältergebäude – einschl. Wasserbecken und zwei Hubteilen – auf dem Gaswerk Broletto in Triest (BB, 2014).

denen das mittige aber geschlossen war.

An der Innenseite der Ringmauer war ein Gerüst befestigt, das sowohl die Wartungsgänge aufnahm, als auch zum Anschluss der Führungsschienen diente. Der Tambour wurde mit einer Schwedlerkuppel abgeschlossen, die auf 28 radialen Trägern basierte.

Der Gasbehälter wurde 1962 stillgelegt und zu einem Lager umfunktioniert¹³⁶; hierfür wurde das Becken aufgefüllt und die Hubteile entfernt.

Insgesamt kam das Gasbehältergebäude in Italien nur äußerst selten zur Ausführung. Deshalb kommt dem vorgenannten Beispiel in Triest, das auch heute noch erhalten ist, besonders große Bedeutung zu.

5. Gasbehälter ohne Führungsgerüst

Die gerüstlose Führungstechnik bei Gasbehältern wurde in Italien um die Jahrhundertwende eingeführt und spiegelte unweigerlich den Einfluss der englischen Technik wider.

Hier überwog vor allem die spiral-geführte Technik. Die Seil-geführte Variante wurde eher selten eingesetzt.

5.1. Spiral-geführter Gasbehälter

Bei der spiralen Führungstechnik nach *Gadd & Mason** wurden die Führungsschienen in der Regel im 45° Winkel direkt auf den Mantelflächen der Hubteile montiert. Daraus folgte ein schraubenförmiger Bewegungsmechanismus der Hubteile.

(Siehe Kap. C.2.6.-1.).

Auf der „Stazione gasometrica“ Porta Magenta in Mailand (Abb. 73) wurde um 1900¹³⁷ ein dreihübiger, spiral-geführter Gasbehälter errichtet, dessen Hubteile jeweils in die gleiche Richtung ein- und ausgefahren sind. Der Schienenabstand war nahezu identisch – nur bei dem unteren Hubteil verringerte sich dieser.



Abb. 73: Dreihübiger Schraubengasbehälter, Mailand-Porta Magenta (AEM, o. J.).



Abb. 74: Zweihübiger Schraubengasbehälter, Civitavecchia (ITG, o. J.).

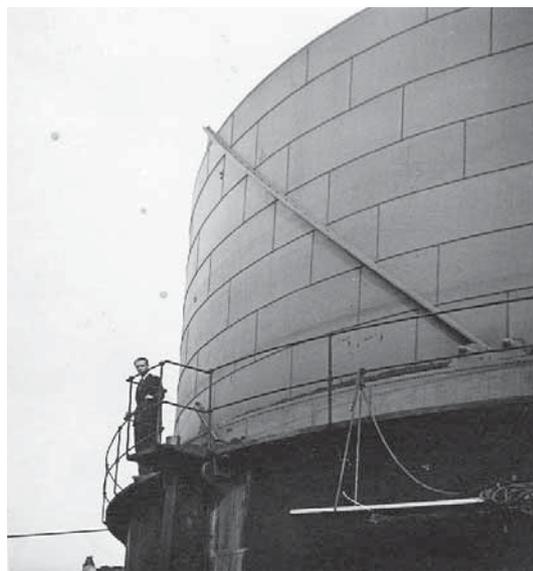


Abb. 75: Zweihübiger Schraubengasbehälter, Lucca (ITG, o. J.).

137 Trisoglio, 2016



Abb. 76: Vierhübiger Schraubengasbehälter, Mailand-Bovisa (AEM, 1956).

Anfang des 20. Jahrhunderts entstanden weitere Schraubengasbehälter insbesondere in Städten, deren Gaswerke im Vertrag mit der Tuscan Gas Company standen ¹³⁸, wie z.B. in Civitavecchia (*Abb. 74*) und Lucca (*Abb. 75*): Beide besaßen zwei gleichläufige Hubteile und ein freistehendes Wasserbecken.

Auf dem Gaswerk Bovisa in Mailand wurde 1956 wohl einer der größten Schraubengasbehälter Italiens mit einem Nutzvolumen von 130.000m³ errichtet (*Abb. 76*) ¹³⁹. Dieser bestand aus vier gegenläufigen Hubteilen ($D_{\text{max}} = \text{ca. } 60,00\text{m}$; $H = \text{ca. } 12,00\text{m}$)¹⁴⁰ und einem freistehenden Becken, sodass sich, wenn alle Hubteile ausgefahren waren, eine Gesamthöhe von ca. 60,00m ergab.

Um die Mantelkonstruktion der unteren Hubteile zu verstärken, wurde der Schienenabstand vom ersten bis zum letzten Hubteil fast halbiert und die Schienenanzahl folglich verdoppelt.

138 1917 standen beide Städte mit der Tuscan Gas Company unter Vertrag (Peruzy, Raffaele, 1917a, p. 1686).

139 Paletta, Silvestri, et al., 2010, p. 42.

Ca. 10 Jahre später wurde ein baugleicher, vierhübiger Schraubengasbehälter in Rom, San Marino errichtet (ITG, 1963). Weiterführende Literatur zu den Gaswerken Mailands siehe Longo, Petrillo, et al., 1995; Paletta, Silvestri, et al., 2010.

140 Schätzung der Verfasserin.

5.2. Seil-geführter Gasbehälter

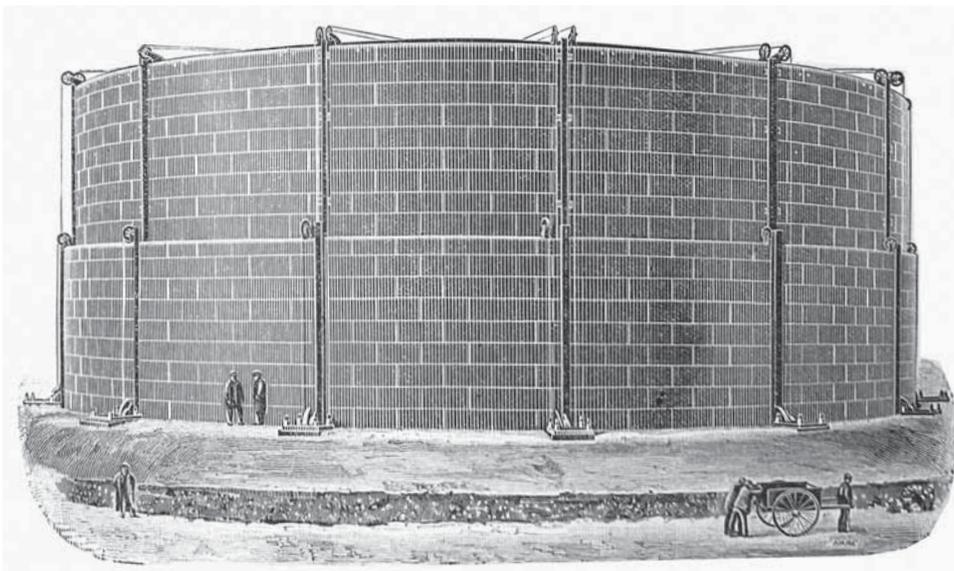


Abb. 77: Zweihübiger, Seil-geführter Gasbehälter in Mailand (Owler, 1894).

Die Seil-geführte Technik von *E. Lloyd Pease** verzichtete selbst auf den Einsatz von Führungsschienen und unterstützte das Ein- und Ausfahren der Hubteile lediglich durch die Anordnung von Seilen und Rollen (*Siehe Kap. C.2.6.-2.*).

Mailand war einer der wenigen Schauplätze ¹⁴¹, an denen die Seil-geführte Technik ganzheitlich angewendet wurde ¹⁴²:

Der zweihübige Gasbehälter ($D= 35,36\text{m}$; $H_{\text{je Hubteil}} = 7,01\text{m}$) wurde vermutlich um 1890 errichtet (*Abb. 77*) ¹⁴³: Beide Hubteile waren wohl in 12 Achsen mit Rollen und entsprechenden außen liegenden Mantelständern ausgestattet. Das Wasserbecken war fast vollständig eingetieft und die übrige aufragende Beckenwand angebösch.

141 Anm. d. Verfasserin: Weitere gebaute und erfolgreich in Betrieb genommene Beispiele, die sich der Seil-geführten Technik bedienen, sind der Verfasserin im Rahmen ihrer Forschungen nicht begegnet.

142 Die Seil-geführte Technik wurde zunächst erfolgreich bei den fliegenden Hubteilen (*Siehe Kap. C.2.2.-7.3.*) eingesetzt, bevor sie auf alle Hubteile des Gasbehälters übertragen wurde.

143 Owler, 1894, p. 32

D.2.3. SCHEIBENGASBEHÄLTER

Der Scheibengasbehälter stellte eine klare Zäsur im historischen Gasbehälterbau dar: Dieser bestand aus einem geschlossenen Baukörper, in dem sich eine Scheibe auf und ab bewegte und so den Luft- vom Gasraum trennte. Der Scheibenrand war mit einer neuartigen Abdichtungstechnik ausgestattet, sodass das Wasserbecken nicht mehr notwendig war. Dieser sogenannte wasserlose Gasbehälter fand als MAN- und Klönne-Typ in Italien weite Verbreitung.¹⁴⁴

1. Der MAN-Typ

Die *Firma MAN** aus Gustavsburg brachte den ersten vollständig funktionsfähigen Scheibengasbehälter auf den Markt. Dieser hatte eine polygonale Grundform und basierte auf einer permanent zirkulierenden Dichtflüssigkeit (*Siehe Kap. C.3.2.-1.+2.*).

Als die Stadt Bologna im Zeitraum 1925 bis 1928 Angebote für den Bau eines neuen Gasbehälters ($V = 30.000\text{m}^3$) auf dem Gaswerk an der Porta Mascarella¹⁴⁵ einholte, befanden sich darunter überwiegend hydraulische Gasbehälter mit drei Hubteilen – mit der Ausnahme der Angebote der Firmen MAN und Klönne.¹⁴⁶

Am 21.09.1928 wurde der Firma MAN der Zuschlag erteilt¹⁴⁷. Somit war Bologna **die erste Stadt Italiens, die sich für den Bau eines Scheibengasbehälters entschied** (*Abb. 78*).

Die polygonale Mantelkonstruktion ($D_{\text{innen}} = 29,66\text{m}$) bestand aus 16 Stützen ($H_{\text{gesamt}} = 48,30\text{m}$) und jeweils 56 dazwischen gesetzten Bördelblechen ($l/b = 5900/810\text{mm}$); unterhalb der obersten Bördelblechlage waren Fensterbänder angeordnet, die zur Beleuchtung des Luftraumes dienten (*Abb. 80*).

Die Mantelaußenseite war mit Teppenaufgängen und insgesamt vier Umgängen ausgestattet.

Die Dachkonstruktion (*Abb. 79*) setzte sich aus 16 radial ausgerichteten Fachwerkträgern (*Abb. 81*),



Abb. 78: MAN-Scheibengasbehälter auf dem Gaswerk Porta Mascarella, Bologna (BB, 2014).

144 Zur Entstehung und Funktion des Scheibengasbehälters siehe *Kapitel C.3.2.*

145 1862 kam ein Vertragsabschluss mit der schweizerischen Compagnie Genèveise de l'Industrie du Gaz – kurz „La Ginevrina“, (Sitz in Genf) zur Stadtbeleuchtung zustande, einschl. Neubau eines zweiten Gaswerks bei der Porta Mascarella. 1863 wurde mit dem Bau des neuen Gaswerks bei der Porta Mascarella (Grundstücksfläche von 14.670m^3) nach den Plänen des Ing. Christian Wolfsberger begonnen (Campigotto, Curti, 1990, p. 56). Weiterführende Literatur zur Geschichte der Gasbeleuchtung in Bologna siehe Campigotto, Curti 1990.

146 AMPIB, 1928 Angebote für einen hydraulischen Gasbehälter wurden eingereicht von: Antonio Badoni, Lecco – Stabilimento Tecnico Triestino – Società Nazionale di Officine di Savigliano – Società Anonima Forni ed Impianti Industriali, Mailand – Società Italiana Didier, Mailand – August Klönne, Dortmund.

147 LEF-A, 1928a, p. 1 – Von MAN war eine Montagezeit von nur knapp sieben Monaten vorgesehen.

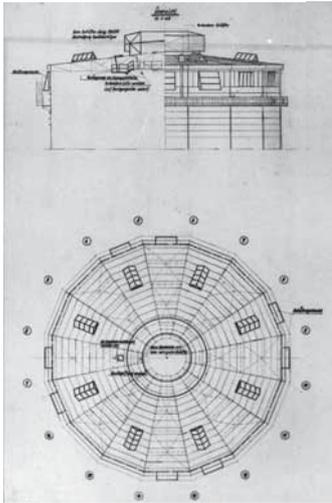


Abb. 79: Dachkonstruktion (LEF-A, o. J.).

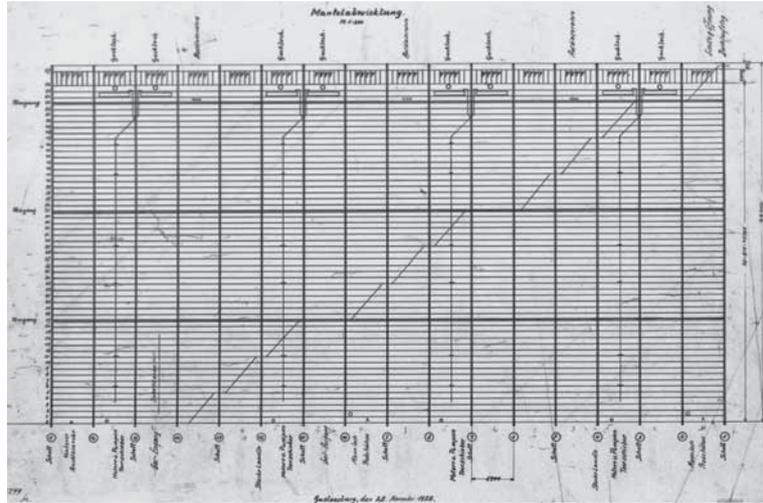


Abb. 80: Mantelabwicklung (LEF-A, 1928).

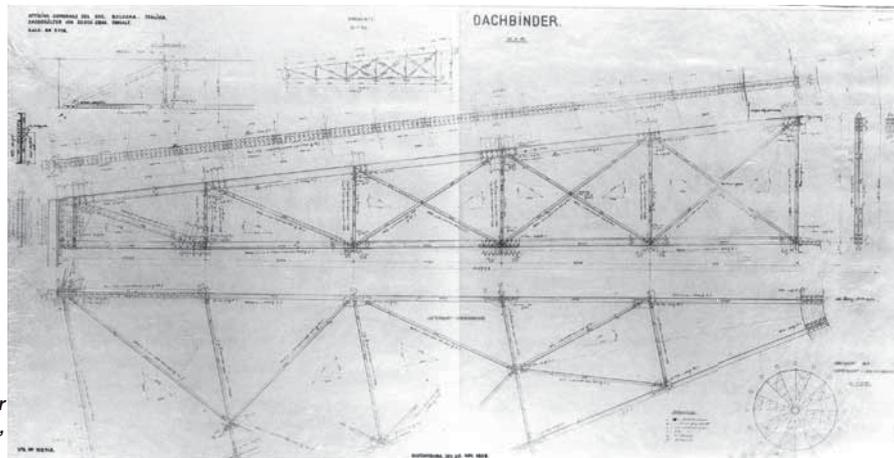


Abb. 81: Dach – radialer Fachwerkträger (LEF-A, 1928).

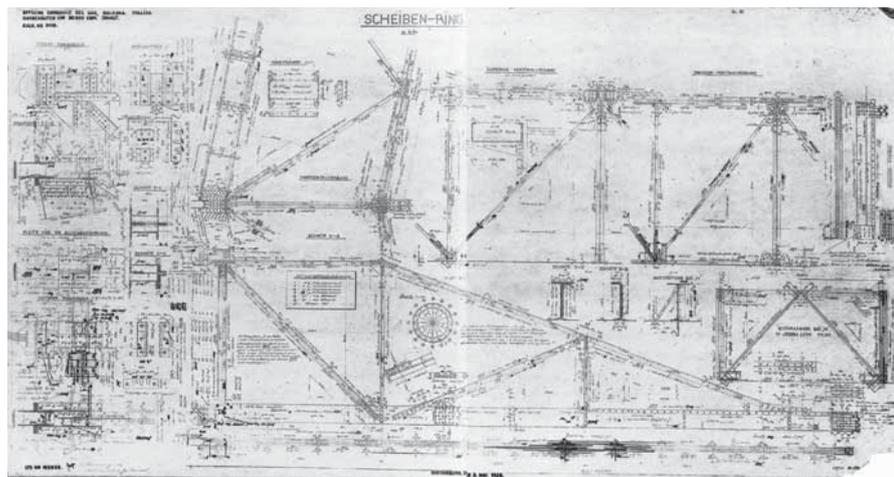


Abb. 82: Scheibe – radialer Fachwerkträger (LEF-A, 1928).

die jeweils in fünf Felder unterteilt waren ($h_{\text{außen}} = 810\text{mm}$; $h_{\text{innen}} = 2270\text{mm}$), und einem zentralen Ringträger zusammen¹⁴⁸. Auf letzterem befand sich die Entlüftungshaube.

Die Scheibenkonstruktion (Abb. 82) folgte dem MAN-Standardmodell: Die 16 radialen Fachwerkträger besaßen jeweils drei Felder – ein annähernd quadratisches ($h = 3000\text{mm}$), gefolgt von einem trapezförmigen und einem dreieckigen¹⁴⁹.

1930 wurde der MAN-Gasbehälter schließlich in Betrieb genommen¹⁵⁰.

1932 folgte der Bau eines weitaus kleineren Pendants in Brescia (Abb. 84): Bei ungefähr gleichbleibender Gesamthöhe ($H = 47,65\text{m}$) basierte die Grundform des Scheibengasbehälters auf einem polygonalen Grundriss von 12 Stützen, dessen eingeschriebener Durchmesser $21,92\text{m}$ betrug. Der Scheibengasbehälter, der sich heute als markantes Bauwerk inmitten eines Parks zeigt, ist jedoch das Ergebnis einer vollständigen Rekonstruktion, da der ursprüngliche Gasbehälter 1945 dem Krieg zum Opfer fiel; das identische Ersatzbauwerk wurde 1947 fertig gestellt¹⁵¹.

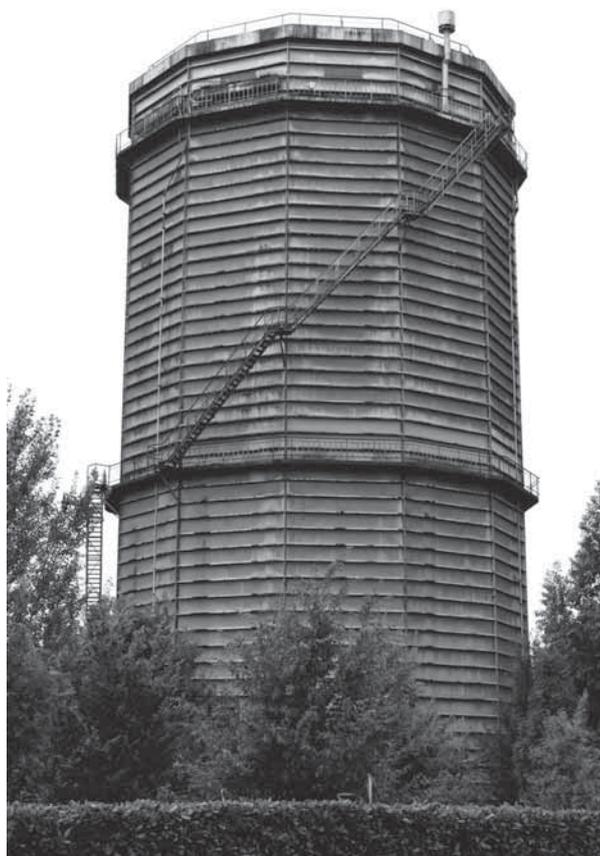


Abb. 83: MAN-Gasbehälter in Brescia (BB, 2013).

Weitere MAN-Scheibengasbehälter wurden u.a. errichtet:

- 1949 auf dem Gaswerk Broletto in Triest ($V = 40.000\text{m}^3$): Der MAN-Scheibengasbehälter verfügte über ein Nutzvolumen von 40.000m^3 . 1962 folgte der Bau eines zweiten, baugleichen Gasbehälters.¹⁵²
- Um 1950 in Campi, Genua. Dort entstand einer der größten MAN-Scheibengasbehälter Italiens mit einem Nutzvolumen von 100.000m^3 ¹⁵³, der auch heute noch erhalten ist.

Der italienische Lizenznehmer, der die Ausführung der MAN Gasbehälter innehatte, war in der Regel die *Firma Antonio Badoni** aus Lecco.

148 LEF-A, 1928b

149 LEF-A, 1928c

150 Campigotto, Curti, 1990, p. 175

151 Spinoni, Taurichini, 1992, pp. 67–71

Weiterführende Literatur zu dem ersten Gaswerk in der Via Solferini, Brescia, womit 1858 die Gesellschaft für Gasindustrie aus Augsburg (Schilling, 1885, p. 31) beauftragt wurde, und zum bestehenden Scheibengasbehälter – siehe Spinoni, Taurichini, 1992.

Diese bayerische Gasbeleuchtungsgesellschaft hatte auch die Gaswerke in Ancona, Foggia und Rovereto unter Vertrag (Schilling, 1885, p. 31).

152 Luisa, 2000, pp. 139–146. – Zwischen 1996 und 1998 wurden beide MAN Scheibengasbehälter vollständig rückgebaut.

153 Pittaluga, Signorelli, 2009, pp. 101–102.

2. Der Klönne-Typ



Abb. 85: Scheibengasbehälter Klönne, Florenz-Rifredi, 1958 (ITG, 1958).

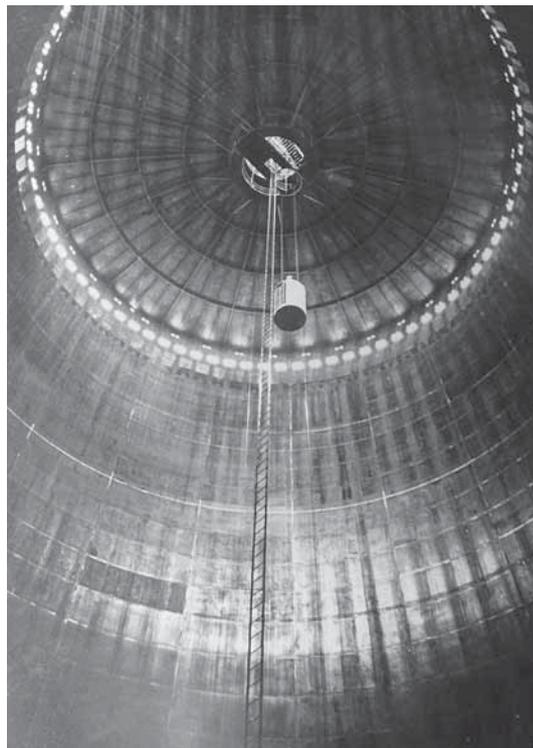


Abb. 86: Luftraum des Gasbehälters in Florenz (TOSCE, o. J.).

Neben dem polygonalen MAN-Typ etablierte sich auch der zylindrische Scheibengasbehälter, der von der Firma August Klönne* aus Dortmund patentiert wurde. Nicht nur die Grundform grenzte sich zum MAN-Typ ab, sondern auch die Scheibenabdichtung, die auf einer gefetteten Gummidichtung basierte (Siehe Kap. C.3.3.).

1933 wurde ein Scheibengasbehälter ($D= 30,40\text{m}$; $H= 47,50\text{m}$; $V= 30.000\text{m}^3$) auf dem Gaswerk Rifredi in Florenz in Betrieb genommen (Abb. 85).¹⁵⁴ Die zylindrische Mantelkonstruktion bestand aus 19 Mantelstützen und 32 Blechreihen. Die Dach-, sowie die Scheibenkonstruktion (Abb. 86, Abb. 87) basierte auf 19 Radial- und vier Ringträgern, die durch sekundäre und tertiäre Radialträger verstärkt wurden. Am zentralen Ringträger waren die Entlüftungshaube und ein innen liegender Aufzug befestigt.

Für Revisionen und Reparaturen waren an der Mantelaußenseite ein Treppenturm und insgesamt vier Umgänge angeordnet.

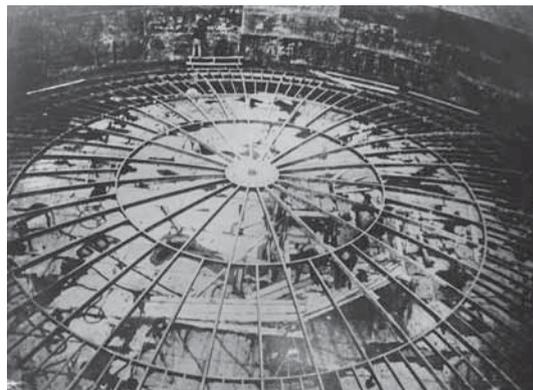


Abb. 87: Scheibenkonstruktion (TOSCE, o. J.).

¹⁵⁴ Giuntini, 1990, p. 133; ITG, 1938a, p. 4
Weiterführende Literatur zur Geschichte der Gasbeleuchtung und Gaswerke in Florenz siehe Giuntini, 1990.

In der industriellen Vorstadt Venedigs, nämlich am Porto Marghera entstand ungefähr zur gleichen Zeit ein Scheibengasbehälter, der verglichen zu dem florentinischen Beispiel dreifachen Ausmaßes ($V= 100.000\text{m}^3$) war: Die Höhe des Mantels betrug 72,00m, bei einem Durchmesser von 44,80m. ¹⁵⁵

Dieser Gasbehälter befand sich auf dem Areal der Produktionsstätte „Vetrocoke“, die direkt am Canale Industriale Nord gelegen war ¹⁵⁶.

Der vermutlich größte Klönne-Typ stand in Cornigliano auf dem Stahlwerk ILVA ($V= \text{ca. } 200.000\text{m}^3$) und hatte eine Höhe von knapp 100,00m bei einem Durchmesser von ca. 53,00m. Daneben befand sich ein zweiter, etwas kleinerer Scheibengasbehälter nach Klönne. Beide wurde 2006 gesprengt. ¹⁵⁷

Der italienische Lizenznehmer für den Bau des Klönne-Typs war in der Regel die *Firma Ansaldo S.A.* * ¹⁵⁸.

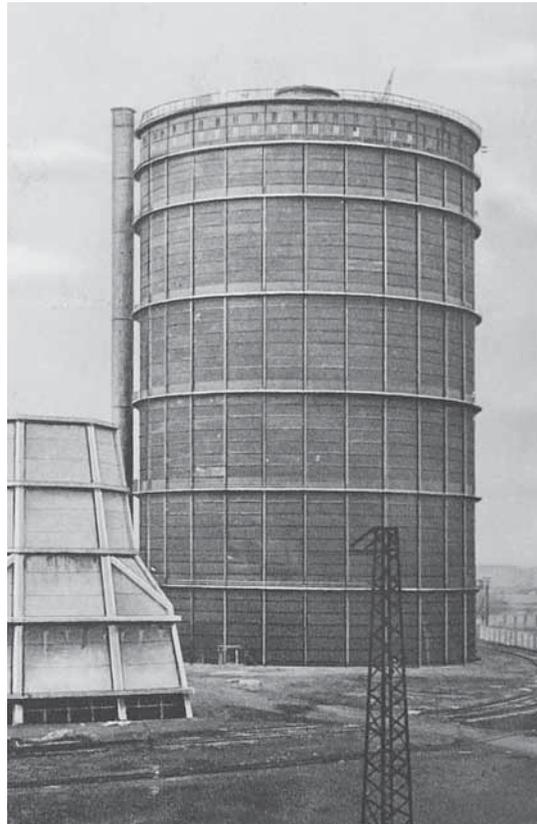


Abb. 88: Scheibengasbehälter nach Klönne in Marghera (ITG, 1938).

155 ITG, 1938a, pp. 1–4

156 Seit 1925 wurde auf diesem Areal Glas und Koks von zwei verschiedenen Betrieben hergestellt, die in den 30er Jahren zu „Vetrocoke“ fusionierten (Barizza, Resini, 2004, p. 143). Weiterführende Literatur zur Entstehung und Entwicklung des Industriehafens Porto Marghera siehe Barizza, Resini, 2004.

157 Società per Cornigliano spa, 2006

158 ITG, 1938a, p. 1

D.2.4. ZUSAMMENFASSUNG UND VERGLEICH

Ausgehend von England, wo die öffentliche **Gasbeleuchtung** 1813 in London debütierte, verbreitete sich diese innovative Beleuchtungstechnik in Europa. Dies geschah durch international agierende, englische sowie französische Gasbeleuchtungsgesellschaften, die mit den Städten Verträge abschlossen. Diese beinhalteten die Errichtung und Führung der Gaswerke und liefen in der Regel über einen längeren Zeitraum, sodass die Städte an diese Gesellschaften gebunden waren.

Nachdem das Gaslicht 1818 in Belgien, 1819 in Frankreich und 1825 in Deutschland eingeführt wurde, reihte sich 1838 auch Italien unter die ersten Länder ein, die sich dieser revolutionären Beleuchtungstechnik bedienten: Die Stadt Turin schloss einen Vertrag mit den Franzosen *François Ygnace Raymond** und *Hippolyte Gautier** zur Errichtung eines Gaswerks, das sich außerhalb der Porta Nuova befand. Nach Turin setzte sich die Einführung der Gasbeleuchtung zunächst verstärkt in Norditalien fort – mit der Ausnahme Neapels 1840 – und verbreitete sich auf der Halbinsel. Jedoch nahm die Dichte der Gaswerkstandorte deutlich vom Norden zum Süden hin ab.

Nicht nur das Gaslicht veränderte die Stadtbilder Italiens, sondern auch die Gaswerke selbst – insbesondere durch den **Gasbehälter**, der als neuer Bautypus eingeführt wurde.

Die konstruktive Evolution vom hydraulischen zum Trocken- bzw. Scheibengasbehälter, wie sie sich in Italien zeigte, war stark geprägt von den Einflüssen der englischen, französischen und deutschen Pioniere der Gasindustrie.

Als 1838 der erste, einhübrige Gasbehälter in Italien errichtet wurde, rühmte sich England bereits der erfolgreichen Realisierung des ersten Teleskopgasbehälters (1834 in Vauxhall, London). Trotz dieser neuen, effizienten Technik wurde der einhübrige Gasbehälter bis Ende des 19. Jahrhunderts beibehalten; diese Gasbehälter waren teilweise auch noch in den 1960er Jahren im Betrieb, wie die Beispiele in Fiorenzuola und Este zeigten.

Einer der ersten Teleskopgasbehälter Italiens wurde wohl um 1866 in Mailand (s.u.) gebaut; der zweihübrige Gasbehälter konnte sich erst gegen Ende des 19. Jahrhunderts als Standard gegenüber dem einhübrigen Modell durchsetzen.

Der hydraulische Gasbehälter entwickelte sich im Laufe eines Jahrhunderts zu einem weit aufragenden Landmark, bei dem sich besonders das **Führungsgestüst** zum markanten und identitätsstiftenden Bestandteil entwickelte. Aufgrund der englischen, französischen und deutschen Einflüsse zeigte die Gestüstkonstruktion eine besonders weitreichende Konstruktionsgeschichte:

- Verglichen zu England wurde das **Stützengerüst** in der Regel mit gemauerten Pfeilern realisiert, die mitunter einen beachtlichen Gestaltungsgrad erreichten, wie der Gasbehälter in Saluzzo (ca. 1850) bewies (*Abb. 89*). Hingegen ließen die Holzständer, die bei einem Beispiel in Mailand (1845) zum Einsatz kamen, durch ihren Aufbau an die gusseisernen Dreibein-Stützen in England erinnern (*Abb. 90*).
- Das **Rahmengerüst** wurde zunächst bei kleineren, einhübrigen Gasbehältern eingesetzt und zwar nach der sogenannten **einfachen bzw. niedrigen Ordnung**: Ein frühes Beispiel in Venedig zeigte die Ausführung mit filigranen, abgespannten Rundrohrstäben, die am Kopf gekoppelt waren (1841). Diese schlanken Rundrohrstäbe wurden schließlich durch stabilere, gusseiserne Säulen mit größerem Querschnitt ersetzt und erhoben sich zum Standard. Die ersten, zweihübrigen Gasbehälter – wie z.B. in Mailand (1866) wurden mit Rahmengerüsten ausgestattet, die auf der **Hochordnung** basierten. Das Gestüst blieb zwar eingeschossig, hatte aber doppelt so hohe Säulen. Dieses Gestüstgefüge stellte jedoch nur eine Übergangsform zu den mehrgeschossigen Gestüsten dar, die der **additiven Ordnung** folgten und in der Regel je Hubteil mit einem Gestüstring konzipiert wurden. Grundsätzlich kamen bei den Rahmengerüsten überwiegend Säulen zum Einsatz. Erst ge-

Tab. 5: Vergleich – Der Gasbehälterbau in England und Italien.		
Teil A – Hydraulischer Gasbehälter		
	England	Italien
Gasbeleuchtung	1813: Gaswerk Westminster, London (Kap. B.5.).	1838: Gaswerk Porta Nuova, Turin (Kap. D.2.1.)
FÜHRUNGSGERÜST		
Stützensgerüst	bis ca. 1850, i.d.R. aus Gusseisen (Kap. C.2.3.-5.).	bis ca. 1865, i.d.R. aus Mauerwerk. (Kap. D.3.2.-1.1.)
Rahmengerüst a) Einfache/ Niedrige Ordnung b) Hochordnung c) Additive Ordnung	ca. 1830–ca. 1850 1834–ca. 1890 ca. 1850–ca. 1890 (Kap. C.2.3.-6.)	ca. 1840–ca. 1900 (!!) ca. 1865–ca. 1880; Anfang d. 20. Jhd. 1880–ca. 1900 (Kap. D.3.2.-1.2.)
Verbandgerüst a) Einfache Auskreuzung b) Zweifache Auskreuzung c) Dreifache Auskreuzung d) Netzförmiges Verbandgerüst e) Aufgelöstes Verbandgerüst f) Trianguliertes Verbandgerüst g) Sternförmiges Verbandgerüst h) Rautenförmiges Verbandgerüst	ab 1852 ab 1880 1892 1905 ab 1892 ab 1888 ab 1903 1909 (Kap. C.2.3.-7.)	ab 1900 – – – – ca. 1905–ca. 1920 ca. 1930–ca. 1940 (Kap. D.3.2.-1.4.) –
HUBTEIL		
Kuppel a) Flachdach b) Kuppeldach, unterspannt c) Kuppeldach, binderlos d) Kuppeldach, gerippt e) Stabwerkkuppel, selbsttragend	1813–1870 ab 1817 ab 1841 ab 1874 ab 1863 (Kap. C.2.2.-4.)	bis ca. 1850 ab ca. 1840 ab ca. 1850 – ab ca. 1900 (Kap. D.3.2.-2.)
1. Teleskop	1834: Vauxhall, London (Kap. C.2.2.-6.2.1.)	vermutl. 1866: Porta Ludovica, Mailand (Kap. D.3.2.-1.3.1.)
1. Fliegendes Hubteil	1887: Rotherhithe, London (Kap. C.2.2.-7.)	vermutl. um 1900 – parallel zur Einführung des triangulierten Verbandgerüsts (s.o.)
WASSERBECKEN		
Flachbodenbecken Kegelstumpfbecken Kugelbodenbecken Ringbecken Wölbmantelbecken	ab 1813 ab ca. 1820 ab ca. 1850 ab 1818 (Kap. C.2.4.) –	seit 1838 vermutl. seit 1860 vermutl. seit 1860 vermutl. seit 1860 (Kap. D.3.2.-3.) –
GRÖSSTER HYDRAULISCHER GASBEHÄLTER		
	1892: George T. und Frank Livesey, V= 339.802m ³ , in East Greenwich, London. (Kap. C.2.3.-7.4.).	vermutl. 1936: August Klönne V= 200.000m ³ , in San Paolo, Rom. (Kap. D.3.2.-1.4.3.).



Abb. 89: Glockengasbehälter mit gemauerten Pfeilern in Saluzzo (ITG, o. J.)



Abb. 90: Dreibein-Stützen des Gasbehälters in Fulham, London (BB, 2015).

gen Ende des 19. Jahrhunderts wurden diese allmählich durch genietete Stützenkonstruktionen in I- oder Kastenform ersetzt. Letztere wurden jedoch überwiegend bei Verbandgerüsten eingesetzt.

- Um die Jahrhundertwende wurde das **Verbandgerüst** eingeführt und bestach durch sein verstärktes Gefüge, das den Bau von großen, mehrhubigen Gasbehältern zuließ.

Die erste Form basierte auf der **einfachen Auskreuzung** der Gerüstfelder, die schließlich mit einem horizontalen Stab erweitert wurde. Dieser Konstruktionsgedanke mündete in dem **sternförmigen Verbandgerüst** der *Firma August Klönne** aus Dortmund, das die Führungsschienen in die Feldmitte der Gerüstfelder verlagerte und so eine sternförmige Anordnung erzeugte. In Italien wurde eines der ersten Gerüste dieser Art um 1930 in Mailand gebaut; der wohl **größte hydraulische Gasbehälter (V= 200.000m³) Italiens** wurde 1936 in Rom ebenfalls mit einem fünfgeschossigen Gerüst nach Klönne errichtet (Abb. 92). Im Vergleich dazu stand der größte Gasbehälter Großbritanniens (Abb. 91), der 1892 nach den Plänen von *George und Frank Livesey** fertig gestellt wurde und dessen Nutzvolumen fast das 1,5-fache des römischen „Gazometro“ betrug.

Eine weitere Gerüstform, die ab ca. 1900 in Italien Einzug fand, war das **triangulierte Verbandgerüst** von *Samuel Cutler** aus London, das durch sein effizientes und elegantes Konstruktionsgefüge bestach. Ein herausragendes Ensemble wurde 1910 bis 1912 in Rom errichtet.

Grundsätzlich kamen bei den Verbandgerüsten überwiegend genietete Blechträgerkonstruktionen für die Stützen und Trägerkränze zum Einsatz.

Insgesamt entsprachen die Gerüstkonstruktionen in Italien überwiegend den standardisierten Ausführungen aus England, Frankreich oder Deutschland, weshalb der Formenkanon bei Weitem nicht so umfangreich war, wie z.B. in England, wo der empirische Planungsprozess und die Vielzahl an unterschiedlichen Entwurfsverfassern ein breites Spektrum an Führungsgerüsten bot.

Die italienischen Gerüste waren tendenziell eher funktionalen Charakters und zeigten – verglichen mit England – wenige dekorative Elemente.

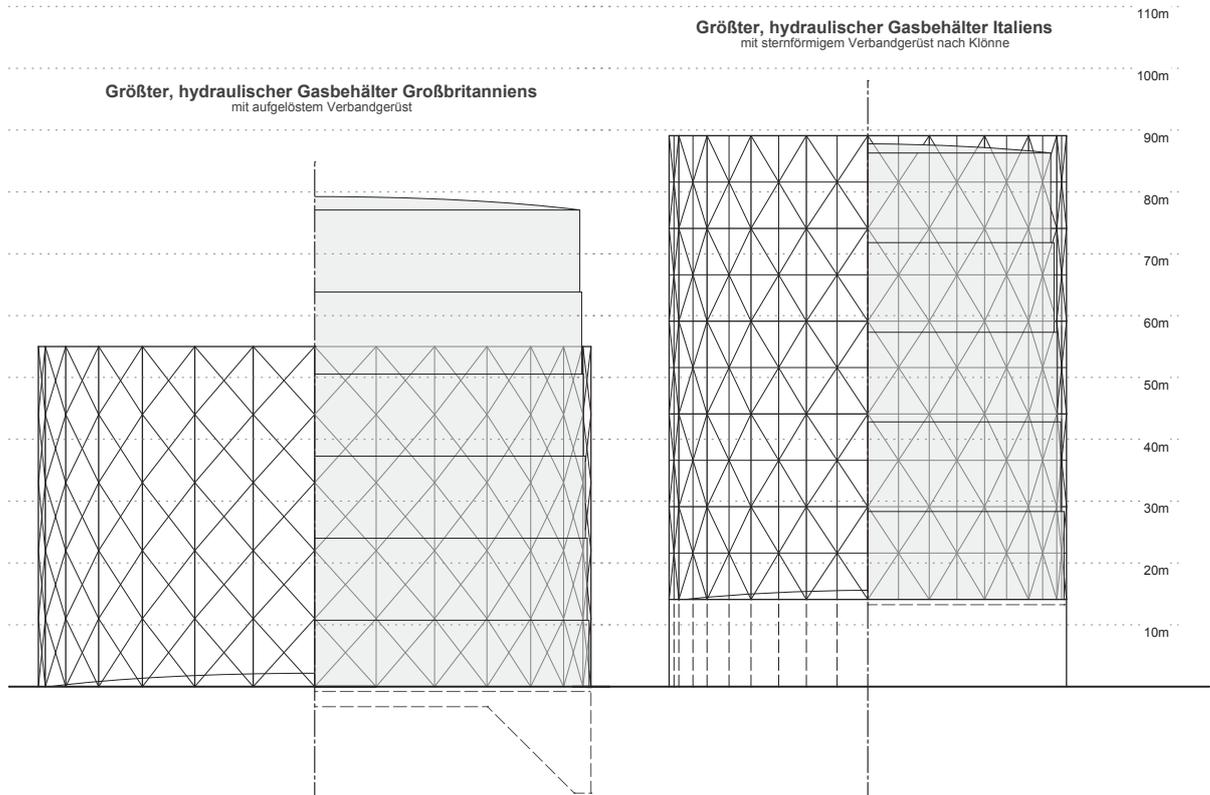


Abb. 91: Sechshübiger Gasbehälter in East Greenwich, London (BB, 2019).

Abb. 92: Fünfhübiger Gasbehälter in San Paolo, Rom (BB, 2019).

Neben dem Führungsgerüst, auf dessen Baukonstruktionsgeschichte der Fokus dieses Kapitels gerichtet ist, wurden die beiden weiteren Bestandteile des Gasbehälters – nämlich die Hubteile und das Wasserbecken – nur in ihren Grundzügen dargestellt:

- Nachdem die **Hubteile** in der Frühphase noch mit Flachdächern abgeschlossen wurden, erhob sich schließlich das Kuppeldach zum Standard. Dieses wurde meist unterspannt oder als Stabwerkkuppel ausgeführt; aber auch die binderlose Variante kam zum Einsatz. Das gerippte Kuppeldach von *Vitruvius Wyatt** war wohl nur ein englisches Phänomen. Anders verhielt es sich jedoch mit dem fliegenden Hubteil von *George Thomas Livesey**, das ab 1900 sowohl vereinzelt bei einigen Neubau-, als auch bei Erweiterungsobjekten Anwendung fand.
- Bei den **Wasserbecken** kamen überwiegend das Flachboden-, Kegelstumpf- und Kugelbodenbecken zum Einsatz. Seltener – insbesondere aber bei schlechten Baugrundverhältnissen – wurde das Ringbecken favorisiert. Die Beckenkonstruktion war grundsätzlich in Massiv- oder Leichtbauweise möglich. Die Positionierung des Beckens war abhängig vom Standort, der Bauweise und der Beckenform und erfolgte vollständig oder partiell eingetieft oder auch freistehend.

Der hydraulische Gasbehälter kam nicht nur mit dem klassischen Aufbau – Hubteil, Führungsgerüst und Wasserbecken – zur Ausführung, sondern auch als Sonderform (*Tab. 6*):

- Die englische Erfindung der **gerüstlosen Führungstechnik** ermöglichte den Bau von Gasbehältern ohne aufwendige, feststehende Gerüstkonstruktionen. Diese Form fand um die Jahrhundertwende Einzug in Italien und wurde überwiegend mit der spiralen Führungstechnik nach *Gadd & Mason** realisiert; das Seil-geführte Pendant von *E. Lloyd Pease** kam nur vereinzelt zum Einsatz.
- In einigen kälteren Regionen Norditaliens – wie z.B. Triest – wurden teilweise massive **Gasbehältergebäude** eingesetzt, um die Hubteile und deren empfindlichen Mechanismus vor den Witterungseinflüssen – insbesondere Frost – zu schützen.

Insgesamt überwog jedoch der klassische, freistehende Gasbehälter mit seinem dreiteiligen Aufbau.

Die Einführung des **Scheibengasbehälters** revolutionierte ab 1930 den bisher vorherrschenden – hydraulischen – Gasbehälterbau Italiens durch seine effiziente Bau- und Abdichtungstechnik, die ihm zudem ein neues Erscheinungsbild verlieh. Der erste Scheibengasbehälter Italiens wurde 1930 in Bologna als **MAN-Typ** fertig gestellt, der auf einem polygonalen Grundriss basierte und mit einer permanent zirkulierenden Dichtflüssigkeit ausgestattet war. Neben dem MAN-Typ kam auch der zylindrische Scheibengasbehälter der Firma August **Klönne** zum Einsatz, der eine zylindrische Grundform hatte und dessen Scheibe mit einer gefetteten Gummidichtung ausgestattet war.

Zusammenfassend war die Geschichte des Gasbehälterbaus in Italien geprägt von den Gas-Pionieren aus England, Frankreich und Deutschland. Die Ingenieure dieser Länder brachten die entscheidenden Erfindungen und Verbesserungen hervor, die in Italien jeweils erst bis zu 30 Jahre später umgesetzt wurden. Dabei kamen überwiegend die standardisierten Formen zum Einsatz, was den Formenkanon besonders beim hydraulischen Gasbehälter deutlich schmälerte.

Die italienischen Ingenieure nahmen dabei eine eher passive Rolle ein, da sie keine technisch-konstruktiven Neuerungen hervorbrachten, die zur Optimierung des Gasbehälterbaus beigetragen hätten.¹⁵⁹

159 Im Journal of Gas Lighting, Vol. XXII, 1873 wurden die italienischen Ingenieure stark in Kritik genommen bzgl. aktueller Probleme und des allgemeinen Technikstandes in Italien. Zudem zeigten sie sich tendenziell als beratungsresistent gegenüber gut gemeinten Ratschlägen aus dem Ausland. (JGL-22, 1873, p. 914).

Tab. 6: Vergleich – Der Gasbehälterbau in England und Italien. Teil B – Sonderformen des hydraulischen Gasbehälters, Scheibengasbehälter		
SONDERFORMEN DES HYDRAULISCHEN GASBEHÄLTERS		
Gerüstloser Gasbehälter a) Spiral-geführt	1887: Erfindung durch Gadd & Mason (Kap. C.2.6.-1.)	ca. 1890–ca. 1960 (Kap. D.3.2.-5.1.)
b) Seil-geführt	1887: Erfindung durch E. Lloyd Pease (Kap. C.2.6.-2.)	ca. 1890–ca. 1900 (Kap. D.3.2.-5.2.)
Gasbehältergebäude	1813–1817 (Kap. C.2.5.)	ca. 1860–1910 (Kap. D.3.2.-4.)
SCHEIBENGASBEHÄLTER		
Einführung	1927: MAN-Typ in Ipswich (Kap. C.3.2.)	1930: MAN-Typ in Bologna (Kap. D.3.3.)

D.4. Exemplarische Dokumentation eines historischen Gasbehälters: Gasbehälter V in San Francesco della Vigna, Venedig

D.4.1. EINLEITUNG

Im Rahmen dieser Arbeit wurden bestehende Gasbehälter stets nach dem gleichen Schema untersucht, kategorisiert und dokumentiert – angefangen von der lokalen Gasbeleuchtungsgeschichte, bis hin zur individuellen Baukonstruktionsgeschichte des Gasbehälters.

Diese Vorgehensweise wird in diesem Kapitel exemplarisch bei einem venezianischen Gasbehälter vorgeführt und so als allgemeines Instrument bereit gestellt, das auf weitere Beispiele übertragen werden kann; außerdem verschafft es dem Betrachter einen leichteren Zugang zu der Materie des historischen Gasbehälterbaus.

Die Auswahl fiel auf Gasbehälter V in San Francesco della Vigna in Venedig und ist sowohl innovations-, als auch konstruktionshistorisch begründet: Zum einen, weil Venedig unter den ersten Städten Italiens war, die sich für die Gasbeleuchtung entschieden.

Zum anderen besitzt der ausgewählte Gasbehälter selbst eine besonders wertvolle Baukonstruktionsgeschichte, die einige wichtige Entwicklungsstufen des historischen Gasbehälterbaus einschließt.

Dieses Kapitel erläutert zunächst die Standortwahl und die allgemeine Geschichte der Gasbeleuchtung Venedigs, bis hin zur ausführlichen Dokumentation des fünften Gasbehälters. Am Ende befindet sich zudem eine Chronologie, die sämtliche Entwicklungen der venezianischen Gaswerke aufführt.

D.4.2. STANDORT



Abb. 93: Stillgelegter Gasbehälter bei San Francesco della Vigna (BB, 2013).

Die Gasbeleuchtung veränderte das soziale Leben in Venedig. Kurz nach der Einführung im Jahr 1843 wurde folgendes Szenario auf der Piazza San Marco geschildert:

„(...) I raggi delle fiamme poste ai due lati della piazza, anche dove è più larga, quasi si incontrano, vi si vedono perfettamente delle persone i volti per modo che il bujo della notte non può più servire di scusa a chi scortese volesse negare il saluto; nè alle donne gentili il bujo della notte vale più per iscusa alle vestiti dismesse. (...)“¹⁶¹

161 Sagredo, 1843b, p. 4
„(...) Die Reichweite der Flammen, die an beiden Seiten der Piazza positioniert sind, auch wo diese breiter ist, treffen sich beinahe, man sieht die Häupter der Personen derart perfekt, dass die Finsternis der Nacht nicht mehr als Entschuldigung für jemanden dienen kann, der unhöflich einen Gruß verweigern will; auch gilt die Finsternis der Nacht nicht mehr als Entschuldigung der vornehmen Damen für unangebrachte Kleider. (...)“ – (Übers. der Verfasserin).

Das Gaswerk San Francesco della Vigna (SF) liegt in der nordöstlichen Peripherie Venedigs (Abb. 94) – nämlich im Stadtteil Castello. Seinen Namen erhielt es durch den unmittelbar angrenzenden Franziskanerkonvent (K) (Abb. 95).

Ein wichtiger Faktor für diese Standortwahl war die notwendige Anlieferung der Steinkohle. Diese erfolgte durch Schiffe, die sowohl über das nördliche Ufer, als auch den Seitenkanal Rio di Santa Giustina anlegen konnten (Abb. 95).

Heute wirkt der Vorplatz der Kirche (Abb. 95) – nämlich der Campo San Francesco della Vigna (C) – wie ein Schauplatz zweier Bautypen, wie sie unterschiedlicher kaum sein könnten: Die prächtige Fassade der Basilika (B) von Andrea Palladio und die aufragende Eisenkonstruktion der beiden stillgelegten Gasbehälter (Abb. 96).



Abb. 94: Übersichtsplan Venedig (Berger, Brenner, 2008).

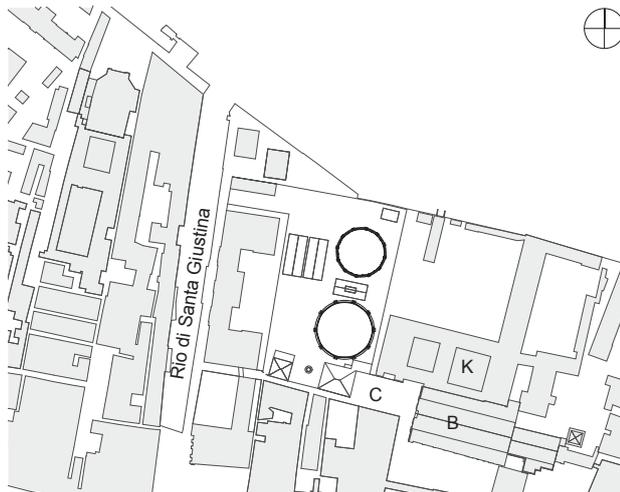


Abb. 95: Lageplan des Gaswerks San Francesco della Vigna (BB, 2014).



Abb. 96: Gaswerk San Francesco della Vigna, Venedig, Blick von der Lagune (BB, 2008).

D.4.3. GESCHICHTE DER GASBELEUCHTUNG IN VENEDIG

Venedig war eine der ersten Städte Italiens, die sich für die innovative Beleuchtungstechnik entschied (Siehe auch Kap. D.2.1.). Die Einführung des neuartigen „luce argentea“ (Dt.: Silbernes Licht)¹⁶² und der dafür notwendigen technischen Anlagen – insbesondere der Gasbehälter – veränderte das Stadtbild Venedigs.

Dieses Kapitel zeigt die wichtigsten Meilensteine in der Geschichte der Gasbeleuchtung und der Gaswerke Venedigs¹⁶³; eine vollständige Chronologie befindet sich am Ende des Kapitels.

1. Gaswerk I – San Francesco della Vigna

Venedig unterzeichnete den Vertrag zur ersten öffentlichen Stadtbeleuchtung mit Gas am 30.11.1839. Der Vertrag wurde mit der französischen Gasbeleuchtungsgesellschaft „De Frigière, Cottin, Montgolfier-Bodin“ aus Lyon abgeschlossen, der die Beleuchtung des Gebiets um die Piazza San Marco umfasste; die Vertragslaufzeit betrug 20 Jahre.

Als Standort wurde die Freifläche zwischen dem Konvent Santa Giustina (SG) und dem Franziskanerkloster (SF) gewählt (Abb. 97).¹⁶⁴

1843 wurde das Gaswerk in Betrieb genommen und die Beleuchtung der Piazza San Marco gefeiert¹⁶⁵. Zu diesem Zeitpunkt befanden sich zwei Gasbehälter ($V = 1.000\text{m}^3$) auf dem Gaswerk¹⁶⁶. Die stetig zunehmende Nachfrage diktierte die kontinuierliche Vergrößerung des Gaswerks: Ein dritter Gasbehälter wurde 1847 gebaut ($V = \text{ca. } 2.000\text{m}^3$)¹⁶⁷. 1864 beschloss man die neue Beleuchtungstechnik schließlich auf alle Stadtteile – außer der Giudecca-Insel – auszudehnen; in diesem Zuge wurde der Bau eines vierten Gasbehälters veranlasst (Abb. 98)¹⁶⁸. Nachdem 1882 ein fünfter Gasbehälter ($V = \text{ca. } 4.000\text{m}^3$) folgte¹⁶⁹, waren die Freiflächen des Areals um 1893 vollständig ausgeschöpft (Abb. 101)¹⁷⁰.

Deshalb wurde 1908 die Produktion auf das neue

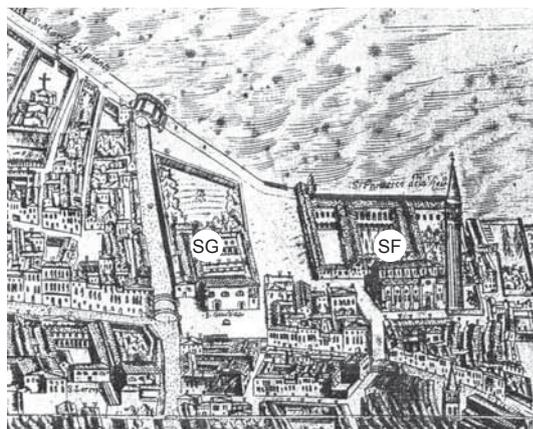


Abb. 97: Freifläche zwischen den Konventen Santa Giustina (SG) und San Francesco della Vigna (SF) (Barbari, 1500).**

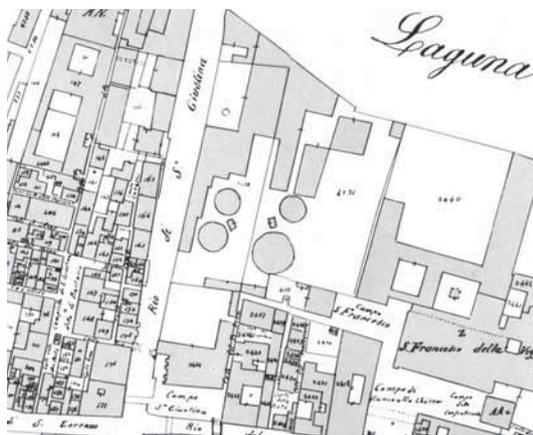


Abb. 98: Gaswerk San Francesco della Vigna mit vier Gasbehältern (Pavanello, 1981).

162 Fontana, 1847, p. 155. – Der leitende Ingenieur war Rocher* (Sagredo, 1843a, p. 314).

163 Dieses Kapitel behandelt ausschließlich die Gaswerke, die sich auf der Insel Venedigs befanden. Die späteren Gaswerke auf der Insel Murano sowie der Terra Ferma – Mestre und Marghera – sind nicht Gegenstand dieses Kapitels.

164 AMV, 1839

165 Stivanello, 1899, p. 13

166 AMV, 1896, p. 94

167 Fontana, 1847, p. 155

168 AMV, 1864, p. 5. – Zu der Konstruktion des Führungsgerüsts dieser frühen Gasbehälter, siehe Kapitel D.3.2.-1.2.1.

169 ITG, 1926, p. 1. – 1890 wurde dieser Gasbehälter mit einem zweiten Hubteil erweitert, siehe Kapitel D.4.4.

170 VESTA, 1893



Abb. 99: Vollständiges Gaswerk-Ensemble in San Francesco della Vigna um 1920 (ITG, o. J.).**



Abb. 100: Rückbau des Gaswerks um 1930, Gasbehälter V und VI sowie einige Lagerhallen blieben bestehen (AFD, 1930).**

Gaswerk Santa Marta verlegt (Siehe anschließendes Kapitel). San Francesco diente nur noch als „stazione gasometrica“ – als Speicherstation¹⁷¹, auf der 1928 ein sechster Gasbehälter (V= 8.000m³) errichtet wurde¹⁷²; in diesem Zuge wurden die vier ersten Gasbehälter und alle Produktionsanlagen rückgebaut (Abb. 100, Abb. 102). 1971 erfolgte schließlich die Stilllegung der beiden letzten Gasbehälter¹⁷³.

171 Zucchetta, 1996, p. 16

172 Zucchetta, 1996, p. 66. – Zur Konstruktion des Führungsgerüsts, siehe Kapitel D.3.2.-1.4.2., zur Beckenkonstruktion siehe Kapitel D.3.2.-3.2.

173 Bressanello, 2014; Boz, 2015

Gaswerk San Francesco della Vigna – Vergleich 1893–2013

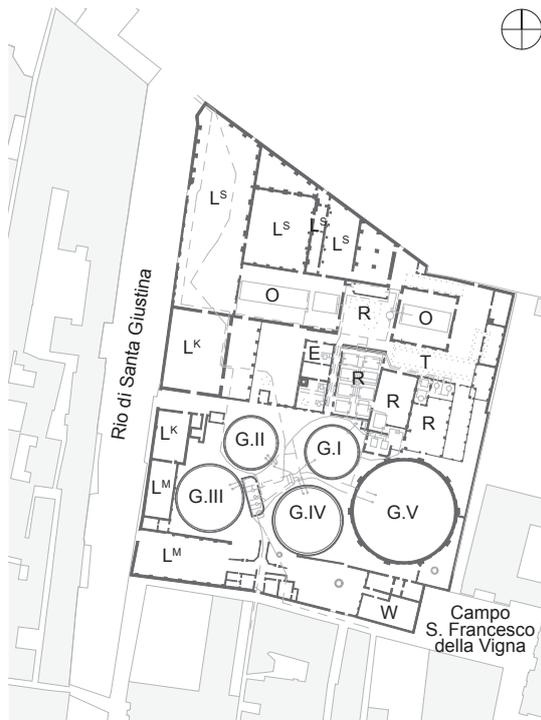


Abb. 101: Lageplan 1893: Maximale Ausdehnung des Gaswerks (Berger, Brenner, 2008, p. 31).

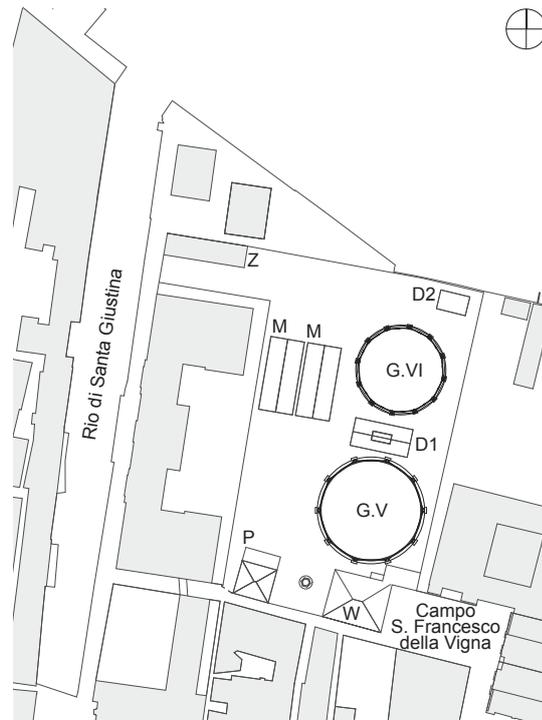


Abb. 102: Lageplan 2013 (BB, 2015).

Legende

- G Gasbehälter I, II, III, IV, V
- L^S Steinkohlelager
- L^K Kokslager
- L^M Materiallager
- W Werkstatt/ Materiallager
- O Ofenanlage
- E Exhaustor/ Ansauger
- T Transformatorenhalle
- R Kühlungs-/ Reinigungsanlagen

Legende

- G Gasbehälter V und VI
- P Palazzina (Verwaltungsgebäude)
- W Werkstatt
- M Zwei Magazzini (Lagerhallen)
- Z Wasserzufahrt am Rio di Santa Giustina
- D Alte (D1) und neue (D2) Druckregulierungsstation

2. Gaswerk II – Santa Marta

1895 entschied sich die Gasbeleuchtungsgesellschaft für den Bau eines zweiten Gaswerks und erwarb dafür ein neues Grundstück am westlichen Rand Venedigs (Abb. 94) – nämlich am Campo di Marte (heute: Santa Marta).¹⁷⁴

1908 wurde der Vertrag unterzeichnet und die Bauarbeiten begannen (Abb. 103). Der hoch aufragende, dreihübrige Gasbehälter (V= 15.000m³) dominierte nicht nur das Gaswerk, sondern auch die nordwestliche Stadtsilhouette Venedigs (Abb. 104)¹⁷⁵.

1929 wurde ein zweiter Gasbehälter (V= 2.000m³) geplant¹⁷⁶, da bei dem bestehenden Gasbehälter ein Hubteil entfernt werden musste¹⁷⁷. 1971 wurde schließlich auch das Gaswerk Santa Marta stillgelegt¹⁷⁸.

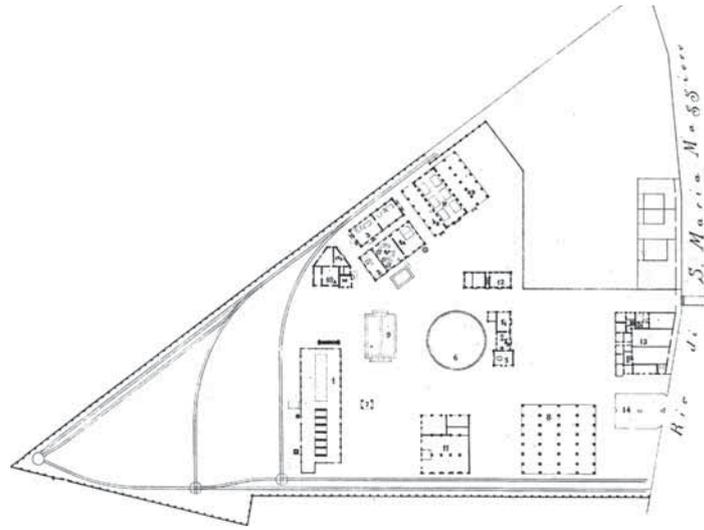


Abb. 103: Plan für das Gaswerk Santa Marta (ITG, 1908).

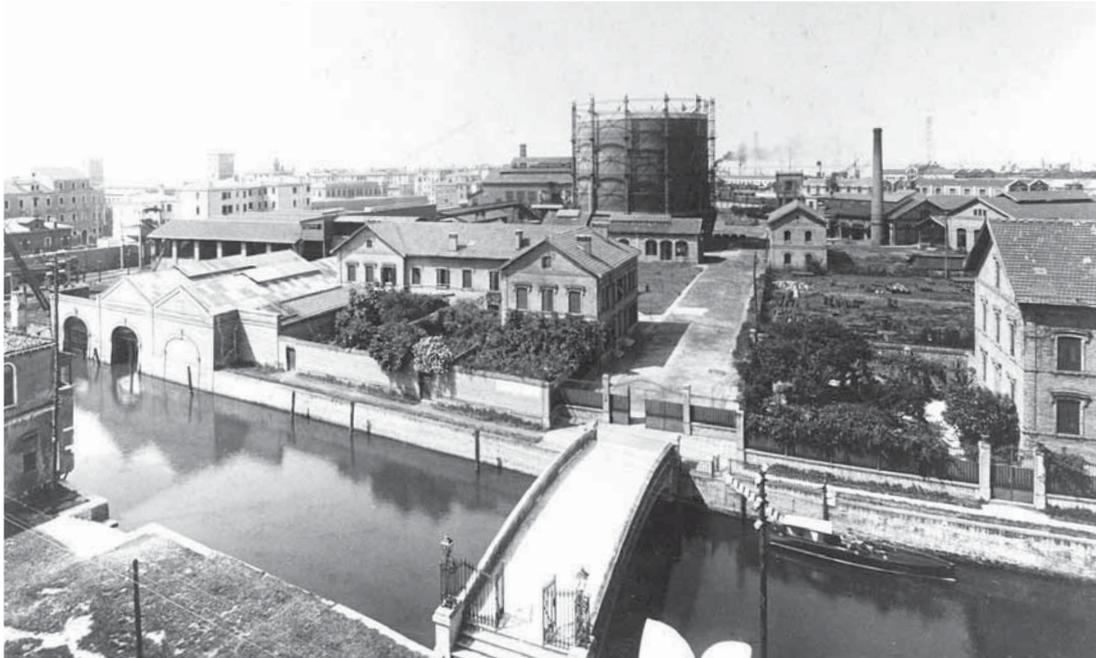


Abb. 104: Gaswerk Santa Marta um 1910 (ITG, o. J.).

174 AMV, 1897

175 Zur Konstruktion des Führungsgerüsts, siehe Kapitel D.3.2.-1.4.2.

176 ITG, 1929

177 ITG, 1930; Zucchetta, 1996, p. 80

178 Bressanello, 2014; Boz, 2015. – 2012 wurden die Hubteile sowie die Führungsgerüste der beiden Gasbehälter rückgebaut.

D.4.4. GASBEHÄLTER V – KONSTRUKTION



Abb. 105: Gasbehälter V (im Hintergrund Gasbehälter VI) des Gaswerks San Francesco della Vigna (BB, 2008).

Die Baukonstruktionsgeschichte des Gasbehälters V auf dem Gaswerk San Francesco della Vigna ist von besonderer Bedeutung, da sie die konstruktive Evolution vom einhubigen zum zweihubigen Gasbehälter bezeugt.

Dieses Kapitel dokumentiert den Ist-Zustand, der auf einer Rekonstruktion des Idealzustandes ohne Verformungen basiert¹⁷⁹, und ist nach den Hauptbestandteilen des Gasbehälters gegliedert – Hubteile, Führungsgerüst und Wasserbecken. Darüber hinaus werden die beiden Bauphasen eingehend behandelt, einschließlich der wichtigsten Reparatur- und Erneuerungsmaßnahmen.

1. Bestandsaufnahme

Der zweihubige Gasbehälter V ($V= 8.850\text{m}^3$) befindet sich an der Südostecke des Geländes (Abb. 105), die direkt zum Campo San Francesco della Vigna angrenzt. Die Gesamthöhe beträgt 21,45m (Abb. 106) und das Wasserbecken hat einen Innendurchmesser von 30,00m¹⁸⁰.

Das aktuelle Gefüge zeigt das Ergebnis einer Erweiterungsmaßnahme: Der ursprünglich einhubige Gasbehälter von 1882 wurde 1890 mit einem zweiten Hubteil zu einem Teleskopgasbehälter ausgebaut (Siehe Kap. D.4.4.-2.).

179 Anm. d. Verfasserin: Die Rekonstruktion basiert auf Archivalien (s.u.), sowie eigenen Kontrollmaßen, Fotos und daraus folgenden Annahmen; ein umfassendes Aufmaß war in diesem Rahmen nicht möglich. Die in der Konstruktionsbeschreibung aufgeführten Maßgaben sind deshalb nur als Richtwerte anzusehen.

Es existiert zwar ein Aufmaßplan der Firma *Società anonima forn ed impianti industriali (SAFI)** aus dem Jahr 1926 (Siehe Kap. D.4.4.-1.), der jedoch einige Abweichungen zum bestehenden Gefüge aufweist, wie z.B. die Anzahl der Anschlüsse der Gerüstschienen oder der obere Säulenabschluss. Daher konnten die Planinhalte nur eingeschränkt für die Rekonstruktion verwendet werden.

180 ITG, 1926, p. 1

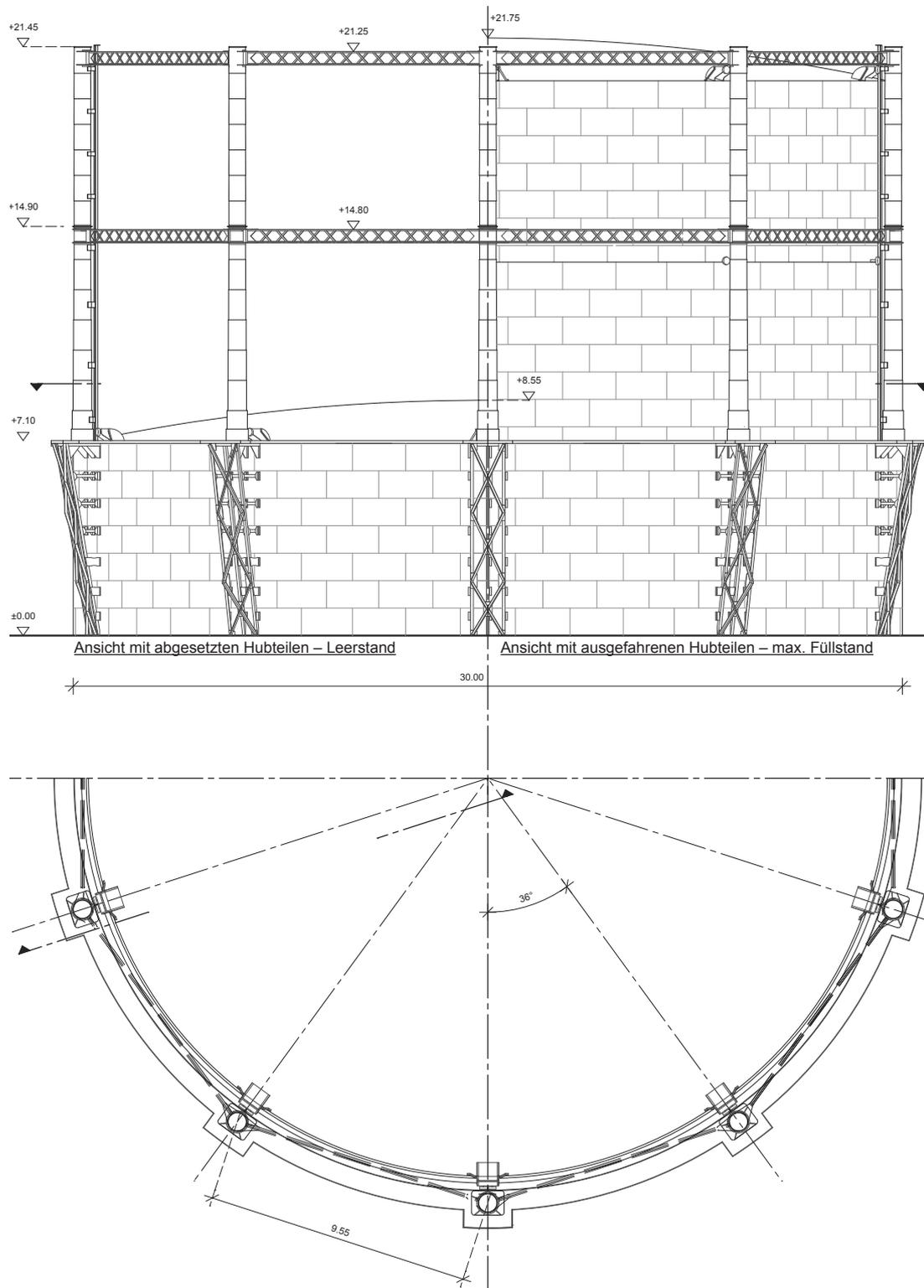


Abb. 106: Grundriss und Ansicht von Gasbehälter V, M ca. 1:200 (BB, 2015).

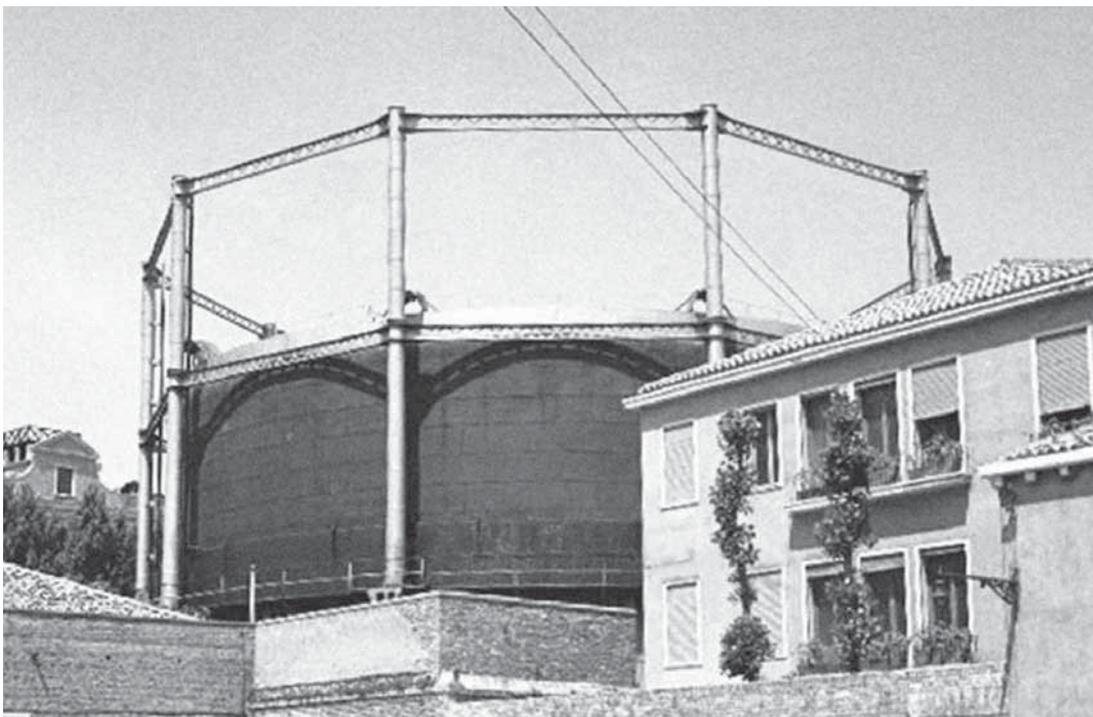


Abb. 107: Gasbehälter V mit ausfahrenden Hubteilen, 1952 (AFU, 1952).

1.1. Hubteile

Der Gasbehälter verfügte über zwei Hubteile, die mit einer Hak- und einer Schöpftasse untereinander gekoppelt waren. Der Anschluss an das Führungsgerüst und das Wasserbecken erfolgte jeweils über Rollen, die in den zehn Säulenachsen angeordnet waren.¹⁸¹

Die Mantel- sowie die Kuppelkonstruktion waren bei der Bestandsaufnahme nicht einsehbar, was u.a. der abgesetzten Position geschuldet war.

Oberes Hubteil

Das erste Hubteil bestand aus einem Kuppeldach ($D=28,80\text{m}$; $f=1,30\text{m}$) und einem Mantel ($H=7,00\text{m}$).

- Kuppel: Vermutlich handelte es sich hier um ein binderloses Kuppeldach (Abb. 108), für das ein permanentes Stützgerüst im Becken vorgesehen war¹⁸². Die Kuppelbleche wurden in breiten, linearen Bahnen verlegt und verschweißt; diese Fügetechnik deutet auf eine neuzeitlichere Reparaturmaßnahme hin (Siehe Kap. D.4.4.-2.1.).
- Anschluss Kuppel-Mantel: Der Eckringträger bestand wohl aus einem einfachen Winkeleisen (Abb. 112). Ob Steifen in Form von Eckblechen zum Einsatz kamen, konnte nicht nachgewiesen werden.
- Mantel: Die Mantelfläche setzte sich aus sieben horizontalen Blechreihen zusammen. Das Vorhandensein einer Unterkonstruktion in Form von Mantelständern oder zusätzlichen Ringträgern (Abb. 121) konnte nicht überprüft werden.
- Schöpftasse: Der untere Abschluss des Mantels war mit einer eckigen Schöpftasse ausgestattet (Abb. 112), bestehend aus einem U-Eisen (Abb. 121) oder zwei Winkeleisen¹⁸³.

181 Zur Funktion und Konstruktion der Hak- und Schöpftassen, sowie der Rollen, siehe Kapitel C.2.2.-6.3. und 6.4.

182 Für diese Annahme spricht ein Loch in der Kuppelhaut, das von zwei hölzernen Ständerköpfen verursacht wurde (Siehe Kap. D.4.4.-2.).

183 ITG, 1926, p. 2

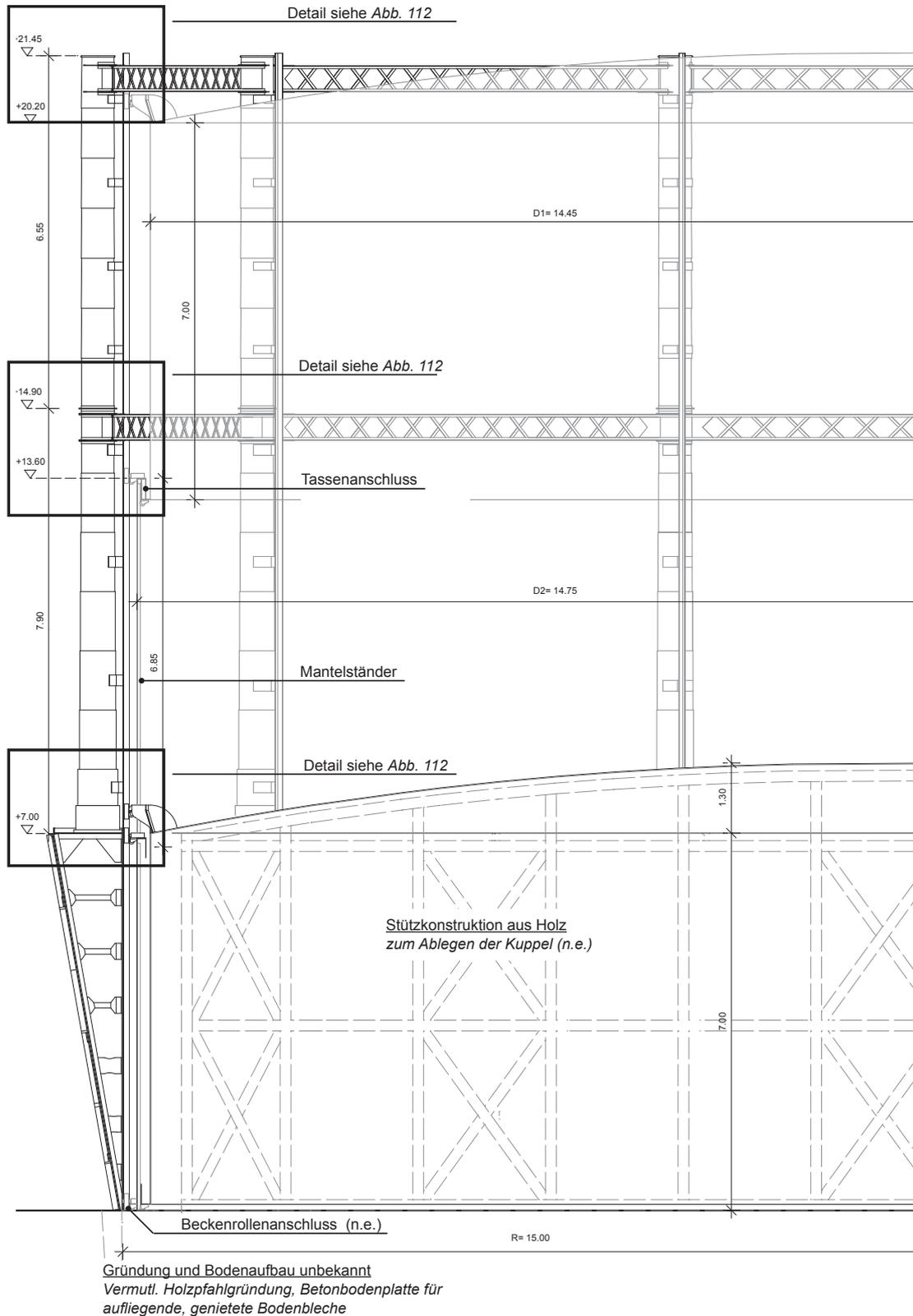


Abb. 108: Schnitt 1-1, Gasbehälter V (leerer und gefüllter Zustand), M ca. 1:100 (BB, 2015).

- **Gerüstrollen:** Entlang des Kuppelrandes waren zehn Rollenböcke angeordnet, die zur Aufnahme der Rollenlager für ein tangenciales Rollenpaar und eine radiale Rolle dienten (*Abb. 112*). Der Rollenbock (*Abb. 112*) bestand aus zwei großformatigen, senkrechten Eisenblechen, die durch Winkeleisen ($b/h= 100/100-50/50\text{mm}$; $t= 8-10\text{mm}$) und weitere Bindebleche ($t= 8-10\text{mm}$) gekoppelt wurden. Durch seitlich angeordnete Streben wurden die aufrechten Seitenbleche verstärkt.
 - **Mantelrollen:** An der Unterseite der Schöpftasse waren jeweils in den Säulenachsen Mantelrollen angebracht (*Abb. 112*), die entlang der Mantelinnenseite des zweiten Hubteils (s.u.) liefen.
- Der Einsatz von verschiedenen Fügetechniken an der Hubteilkonstruktion belegt die zahlreichen Reparaturmaßnahmen (*Siehe Kap. D.4.4.-2.1.*).

Unteres Hubteil

Die Konstruktion des zweiten Hubteils ($D= 29,40\text{m}$; $H= 6,85\text{m}$) beschrieb einen offenen Zylinder:

- **Mantel:** Obwohl die Anzahl und die Anordnung der Mantelbleche wohl dem vorgehenden Hubteil entsprachen, so lag der Unterschied bei dem Einsatz von Mantelständern; diese verstärkten die Hubteilkonstruktion und verhinderten zugleich den Materialabtrag durch die Mantelrollen ¹⁸⁴.
- **Haktasse:** Die Konstruktion der Haktasse folgte dem Aufbau der Schöpftasse (*Abb. 112*).
- **Gerüstrollen:** Analog zum oberen Hubteil setzte sich der Rollenanschluss beim unteren Pendant auch aus zwei tangentialen und einer radialen Rolle zusammen, deren Lager über Kopfplatten und Winkeleisen ($b/h= 50/50\text{mm}$; $t= 8\text{mm}$) direkt auf der Haktasse befestigt wurden (*Abb. 112*).
- **Beckenrollen:** Am unteren Rand des Hubteils waren vermutlich Beckenrollen in doppelter Anzahl angeordnet, die sich jeweils in und zwischen den Säulenachsen befanden.

1.2. Führungsgerüst ¹⁸⁵

Die Führung der beiden Hubteile übernahm ein zweigeschossiges Rahmengerüst, das sich aus zehn Säulen ($H= 14,45\text{m}$) und zwei Trägerkränzen zusammensetzte. Daraus ergab sich die dekagonale Grundform des Gerüstgefüges. Sowohl die Säulen, als auch die Träger basierten auf einer genieteten Blechkonstruktion aus Schmiedeeisen. Die Besonderheit dieses Führungsgerüsts äußerte sich in den unterschiedlichen Konstruktionsweisen der einzelnen Bauteile – insbesondere der Säulen – die auf die zwei Bauphasen von 1882 und 1890 zurückführen (*Siehe Kap. D.4.4.-2.*).

Säule

Grundsätzlich wurden die Säulen aus einzelnen, vernieteten Rundrohrelementen konstruiert, die durch den unteren Trägerkranz in zwei Abschnitte (Säule I, Säule II) gegliedert wurden:

- **Säule I:** Der untere Abschnitt bestand aus sieben Rundrohrelementen (*Abb. 110*), die eine Gesamthöhe von ca. 7,90m ergaben. Die einzelnen Rundrohre wurden jeweils aus einem länglichen Blechstreifen ($h= \text{ca. } 1200\text{mm}$, $t= \text{ca. } 8\text{mm}$) gefertigt, der zu einem geraden Zylinder gebogen und an den Querseiten vernietet wurde. Die Rohre wurden nach dem Teleskopprinzip ineinander gesteckt und vernietet (*Abb. 109*), daher nahm der Durchmesser des jeweils einzusetzenden Rohres um die doppelte Blechstärke ab, sodass sich die Säule insgesamt nach oben verjüngte ($d= 810-600\text{mm}$).

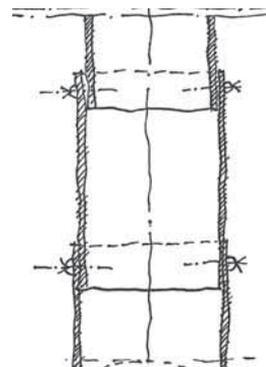


Abb. 109: Konstruktion der Säule I (BB, 2014).

¹⁸⁴ Zur Funktion und Konstruktion der Mantelständer siehe auch *Kapitel C.2.2.-5.2.*

¹⁸⁵ Weiterführende statisch-konstruktive Untersuchungen des Führungsgerüsts siehe auch Grabmeier, 2015.

Führungsgerüst

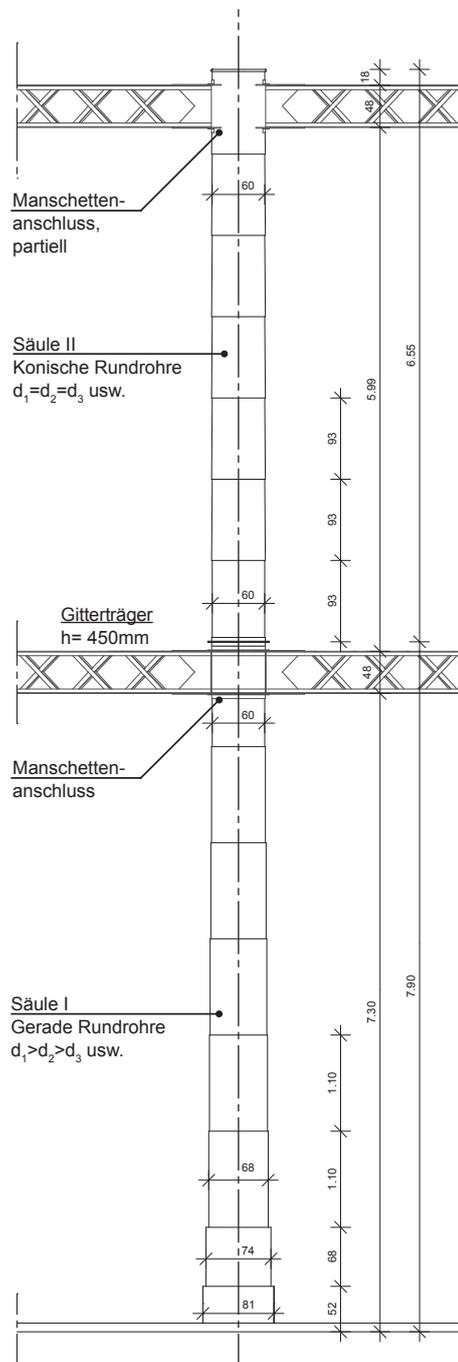


Abb. 110: Ansicht einer Säulenachse mit anschließenden Gitterträgern, M ca. 1:75 (BB, 2015).



Abb. 111: Genietetete Säule mit anschließenden Gitterträgern (BB, 2013).

Führungsgerüst und Hubteile

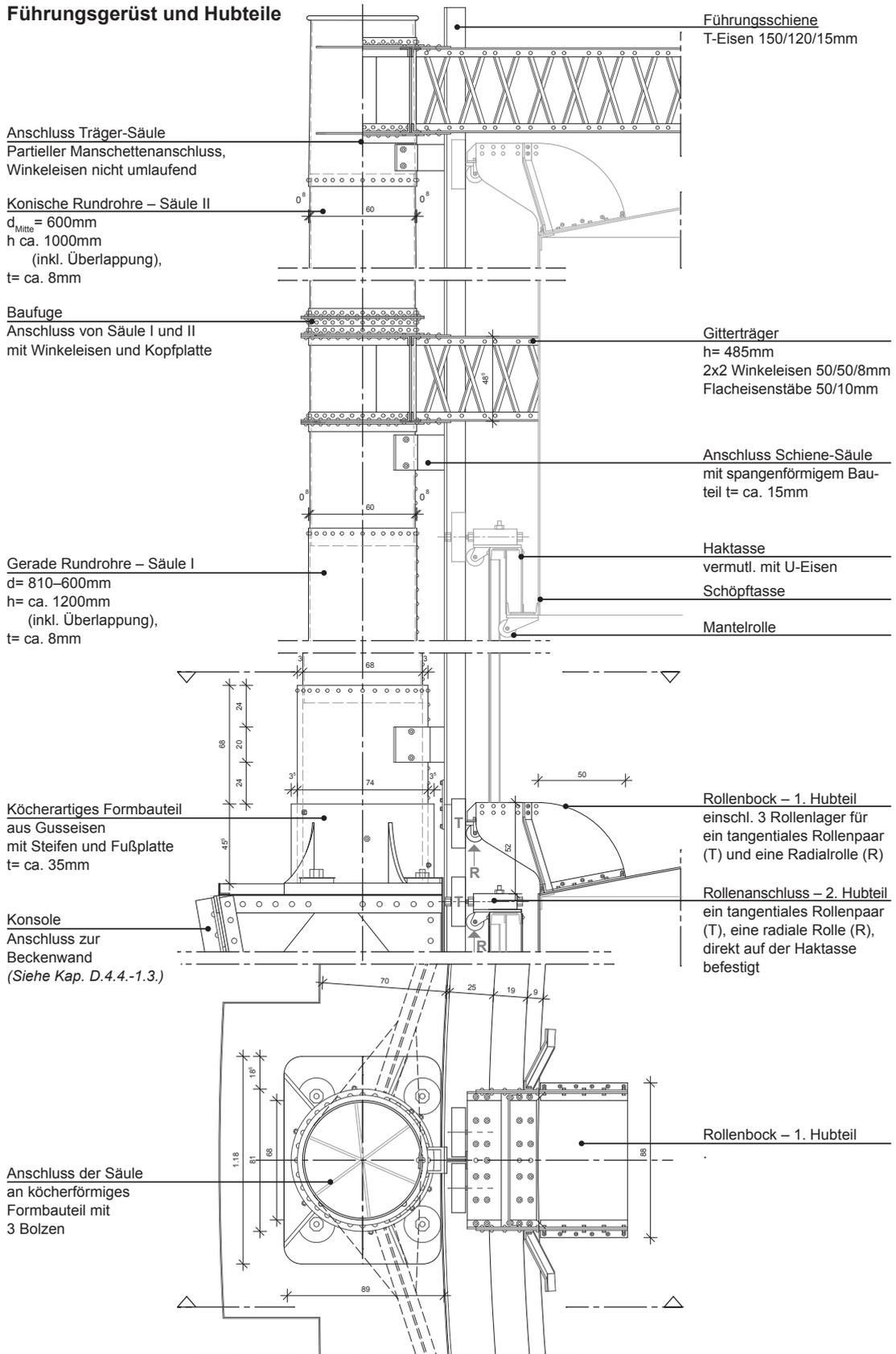


Abb. 112: Grundriss und Ansicht der Säule mit Hubteilen, M ca. 1:30 (BB, 2015).



Abb. 113: Ansicht des oberen, neueren Säulenabschnitts mit vorgesetzter Führungsschiene (Casarin, 2009).



Abb. 114: Befestigung der Führungsschiene am Säulenschaft mit spangenförmigen Bauteilen (BB, 2009).



Abb. 115: Säulenfußpunkt mit vorgesetzter Schiene und anschließendem Rollenbock (BB, 2008).

Der Anschluss an das Wasserbecken erfolgte über Konsolen (Siehe Kap. D.4.4.-1.3.), auf denen ein köcherförmiges, gusseisernes Formbauteil ($t = 35\text{mm}$) angebracht war. Das unterste Rundrohrlement wurde darin eingesetzt und kraftschlüssig mit drei horizontalen Bolzen befestigt (Abb. 112).

- **Säule II:** Der obere Säulenabschnitt setzte sich ebenfalls aus sieben Rundrohren zusammen (Abb. 110), die aber grundsätzlich eine niedrigere Bauteilhöhe hatten ($h = \text{ca. } 1000\text{mm}$). Dies ergab insgesamt eine Höhe von $6,55\text{m}$. Obwohl die Konstruktionsweise beibehalten wurde, so wich die Grundform der Rundrohre deutlich von den vorgehenden ab (Abb. 116): Diese beschrieben keinen geraden, sondern einen sich verjüngenden bzw. konischen Zylinder ($d_{\text{unten}} = 600\text{mm}$). Dies hatte zum Vorteil, dass der gesamte obere Säulenabschnitt aus identischen Rundrohren konstruiert werden konnte, die einfach aufeinander gesteckt und vernietet wurden. Somit blieb der Durchmesser des oberen Säulenabschnitts im Mittel gleich.

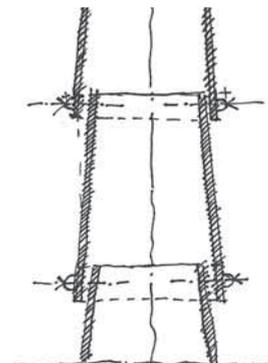


Abb. 116: Konstruktion der Säule II (BB, 2014).

Die Baufuge bzw. der Anschluss an den unteren Säulenabschnitt erfolgte über Kopfplatten und Winkeleisen.

- **Führungsschiene:** Beiden Säulenabschnitten – und dem Wasserbecken (s.u.) – war ein Bauteil gemein – die Führungsschiene. Diese bestand aus einem T-Eisen ($b/h = \text{ca. } 150/120\text{mm}$; $t = 15\text{mm}$), dessen Querschnitt sich als Kontaktfläche für tangential und radial ausgerichtete Rollen eignete. Das T-Eisen wurde über acht spangenartige Formbauteile an die Säule angeschlossen und übertrug diese um einige Zentimeter.

Horizontale Träger

Die beiden Trägerkränze wurden mit genieteten Gitterträgern ($h = \text{ca. } 480\text{mm}$) ausgeführt: Ober- und Untergurt bestanden jeweils aus zwei Winkeleisen ($b/h = \text{ca. } 50/50\text{mm}$; $t = 8\text{mm}$) und 13 kreuzweise angeordneten Flacheisen-Paaren ($b/h = 50/10\text{mm}$). Der Unterschied der beiden identischen Trägerkränze zeigte sich beim Anschluss an den Säulenschaft (Abb. 110; Tab. 7): Während die unteren Träger mit einem umlaufenden Manschettenanschluss befestigt wurden, so wurde das obere Pendant nur partiell an die Säule angesetzt.

1.3. Wasserbecken ¹⁸⁶

Das freistehende Flachbodenbecken ($D_{\text{innen}} = 30,00\text{m}$; $H = 7,10\text{m}$) wurde als Blechkonstruktion aus Schmiedeeisen errichtet (Abb. 117). Sowohl die Beckenwand, als auch der Boden basierte auf einzelnen, vernieteten Blechen ($b/h = \text{ca. } 2100/1100\text{mm}$).

Die **Beckenwand** bestand aus sieben horizontalen Blechreihen, deren Bleche jeweils einfach überlappt vernietet wurden. Entsprechend des nach unten zunehmenden Wasserdrucks wurde die Blechstärke in den unteren Reihen kontinuierlich stärker gewählt ($t = 6\text{--}12\text{mm}$). ¹⁸⁷

Analog zur Beckenwand bestand wohl auch der **Beckenboden** aus vernieteten Blechen und wurde mit einem innen liegenden Winkeleisen an die untere Mantelblechreihe angeschlossen.

Eine sorgfältig egalisierte Bodenplatte aus Beton diente als Auflagerfläche für die Bodenbleche ¹⁸⁸. Die erschwerten Baugrundverhältnisse der Lagunenstadt erforderten wohl auch bei diesem Gasbehälter

¹⁸⁶ Weiterführende Parameteruntersuchungen zum Spannungsverlauf des Beckens siehe auch Pils, 2015.

¹⁸⁷ Zur Konstruktion von freistehenden Flachbodenbecken aus Eisen, siehe Kapitel C.2.4.-4.1.3.

¹⁸⁸ ITG, 1926, p. 1

eine ringförmige Holzpfehlgründung.

In den Achsen des Führungsgerüsts wurden beckenhohe **Konsolen** an die Beckenwand angesetzt, die zur Aufnahme und Verankerung der Säulen dienten (s.o.). Die Konsolen verjüngten sich zum Beckenfuß hin und bestanden jeweils aus drei parallelen, nach außen geneigten Winkeleisen ($b/h= 100/100\text{mm}$; $t= 10\text{mm}$), die über drei kreuzweise angeordnete Winkeleisenpaare gekoppelt wurden, und sechs horizontalen Stempeln ($l_{\text{max}} = 126\text{cm}$); über letztere erfolgte auch der Anschluss an die Mantelbleche.

An der Oberkante war ein Kontrollumgang ($b= 70\text{--}126\text{cm}$) angeordnet, der über eine einläufige Treppe (nicht in den Zeichnungen dargestellt) erreicht werden konnte.



Abb. 118: Anschluss der Konsole an die Beckenwand (BB, 2008).



Abb. 119: Freistehendes Becken aus vernieteten Mantelblechen mit vorgesetzter Konsole (BB, 2008).

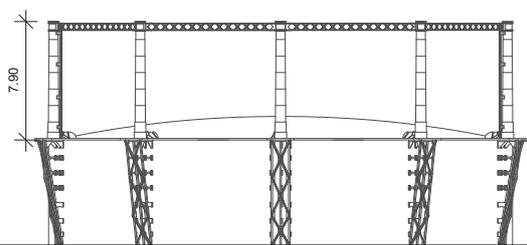
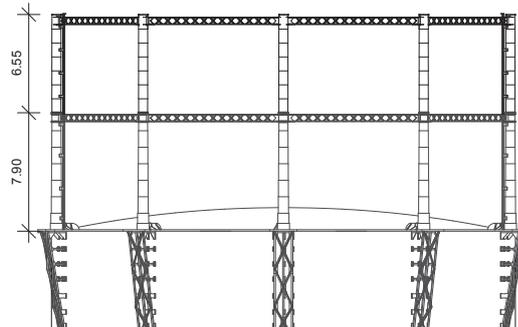


Abb. 120: Einfach überlappt genietete Mantelbleche (BB, 2008).

2. Baugeschichte

Der Gasbehälter V wurde **1882** als einfacher Glockengasbehälter ($V = \text{ca. } 4.000\text{m}^3$) mit einem eingeschossigen Rahmengerüst vermutlich nach den Plänen eines französischen Ingenieurs errichtet ¹⁸⁹. **1890** wurde dieser „teleskopiert“ ¹⁹⁰ zu einem zweihübrigen Gasbehälter und das Nutzvolumen verdoppelte sich ($V = 8.850\text{m}^3$). In diesem Zuge wurde das Führungsgerüst mit einem zweiten Gerüstring aufgestockt. ¹⁹¹

Die beiden Bauphasen (Tab. 7) äußerten sich besonders deutlich an der unterschiedlichen Konstruktionsweise der beiden Gerüstringe (Siehe Kap. D.4.4.-1.2.).

Tab. 7: Vergleich von Bauphase I und II (Zeichnungen/ Skizzen, Berger, 2014)	
<p>Bauphase I – 1882</p> 	<p>Bauphase II – 1890</p> 
<p>$H_{\text{Säule I}} = 7,90\text{m}$ Säulenkonstruktion: Basierend auf geraden Rundrohren Trägeranschluss: Manschettenanschluss</p>	<p>$H_{\text{Säule II}} = 6,55\text{m}$ Säulenkonstruktion: Basierend auf konischen Rundrohren Trägeranschluss: Partieller Manschettenanschluss</p>

2.1. Instandsetzungsmaßnahmen

In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts musste v.a. die Konstruktion der Hubteile mehrfach ertüchtigt und erneuert werden, da diese von wiederkehrenden Korrosionsschäden beeinträchtigt wurde:

- **1910** wurden die Kuppel- und die oberen Mantelblechreihen des ersten Hubteils erneuert. ¹⁹²
- **1926** zeigten die beiden Hubteile erneut starke Korrosionsschäden – insbesondere an der Tassenkonstruktion. Zudem waren die Mantelflächen des oberen Hubteils stark verformt: Auf halber Höhe des Mantels wurde ein konkaves bzw. konvexes Ausbeulen nach Norden festgestellt. So konnten beide Hubteile nicht mehr „reibungslös“ auf- und abfahren, was einen Materialabtrag der Mantelbleche zur Folge hatte. Wegen der geschädigten Konstruktion der Hubteile wurde die Stand- und Verkehrssicherheit des Gasbehälters insgesamt als unzureichend eingestuft. Die Konstruktion des Wasserbeckens und des Führungsgerüsts hingegen befand sich in unbedenklichem Zustand. ¹⁹³

Die Firma SAFII erstellte im Zuge der Ortsbegehung einen Aufmaßplan (Abb. 121).

¹⁸⁹ Anm. d. Verfasserin: Von 1882 bis 1890 lag die Führung des Gaswerks in der Hand des französischen Vertragspartners „La Lionese“ (Siehe Kap. D.4.3.). Zudem wurde in Florenz um 1882 ein ähnlicher Glockengasbehälter errichtet, dessen Säulen ebenfalls aus einer genieteten Blechkonstruktion bestanden.

¹⁹⁰ Zur Entstehung und Einführung der Teleskopiertechnik, siehe Kapitel C.2.2.-6.1.

¹⁹¹ ITG, 1926, p. 1

¹⁹² ITG, 1926, p. 2

¹⁹³ ITG, 1926, p. 2

- **1927** mussten die innen liegenden Mantelrollen des ersten Hubteils erneuert werden. Von der Firma SAFII, Mailand wurden drei Reparaturvorschläge unterbreitet (*Abb. 122*), wovon die minimalinvasivste Variante zur Ausführung kam: Lediglich die Radialrollen wurden erneuert; die bestehenden Mantelständer bzw. Schienen des zweiten Hubteils wurden weiterverwendet. ¹⁹⁴
- **1954** waren laut dem Ingenieur Mario Sales von der „Società Italiana per il Gas, Torino“ erneut Reparaturmaßnahmen erforderlich, deren Umfang die Firma SAFII durch eine Schadensaufnahme bestimmen und die Arbeiten anschließend ausführen sollte. ¹⁹⁵
- **1971** wurde der Gasbehälter V stillgelegt ¹⁹⁶.

194 ITG, 1927

195 ITG, 1954a

196 Bressanello, 2014

2.2. Bauzustand von 2013 ¹⁹⁷

40 Jahre nach seiner Stilllegung befand sich der Gasbehälter 2013 in einem desolaten Zustand:

- Die abgesetzten **Hubteile** zeigten starke Korrosionsschäden an der Kuppel- und Tassenkonstruktion. Zudem war die Kuppel so stark deformiert bzw. abgesenkt, dass es zur Bildung von Mulden kam (*Abb. 123*). In letzteren sammelte sich Wasser, was wiederum die Entstehung von Bewuchs begünstigte. Durch die Absenkung wurde die Kuppelhaut von der hölzernen Stützkonstruktion durchdrungen, sodass zwei Ständerköpfe zum Vorschein kamen (*Abb. 125*). Eine weitere Folge der Verformung äußerte sich bei den Rollenböcken, deren Rollen den Kontakt zur Führungsschiene verloren hatten (*Abb. 126*) ¹⁹⁸.
- Am **Führungsgerüst** waren überwiegend nur lokale Korrosionsschäden zu verzeichnen, wie z.B. fehlende oder lose Flacheisenstäbe innerhalb der Gitterträger (*Abb. 124*).
- Auch 40 Jahre nach der Außerbetriebnahme bleibt unklar, ob das **Wasserbecken** damals vollständig entleert wurde. Außer Korrosionsschäden am Treppenaufstieg und am Wartungsumgang zeigte die Beckenkonstruktion keine auffälligen Schäden. In einigen Abschnitten war die Beckenwand lediglich berankt mit Efeu.

Zusammenfassend blieben das Wasserbecken und das Führungsgerüst größtenteils in ihrer Originalsubstanz erhalten und wiesen keine größeren Schadensvorkommnisse auf. Wohingegen die Hubteile mehrere Erneuerungen und Reparaturen erfahren haben, was insbesondere die unterschiedlichen verwendeten Fügeverfahren widerspiegeln: Neben dem ursprünglichen Verbindungsmittel, dem Niet, wurden nämlich auch zahlreiche geschraubte und geschweißte Verbindungen eingesetzt, wie z.B. die Konstruktion des Rollenbocks zeigt.



Abb. 123: Verformte Kuppel (BB, 2008).

¹⁹⁷ Dieser Abschnitt stellt einen Überblick über den Bauzustand von 2013 dar. Von einer umfassenden Schadensaufnahme und -dokumentation wurde abgesehen, da der Fokus dieser Arbeit auf die Baukonstruktion des Gasbehälters gerichtet ist. Da die Zugänglichkeit des Gaswerkareals 2013 sehr eingeschränkt war, kamen teilweise Fotos von vorangegangenen Untersuchungen aus den Vorjahren zum Einsatz.

¹⁹⁸ Zur Verformung der Kuppel und den daraus resultierenden Schadensbildern siehe auch *Kapitel C.2.3.-6.1.1.*



Abb. 124: Gitterträger mit fehlenden bzw. losen, diagonalen Stäben (BB, 2008).**



Abb. 125: Durchstoßende Holzständerköpfe des innen liegenden Stützgerüsts für die Kuppel (BB, 2008).



Kuppeldach des 1. Hubteils Haktasse des 2. Hubteils Wasserkanal Wartungsumgang

Abb. 126: Wasserbecken mit abgesetzten Hubteilen (BB, 2008).

D.4.5. ZUSAMMENFASSUNG – VENEDIG

Mit der Vertragsunterzeichnung im Jahr 1839 war Venedig eine der ersten Städte Italiens, die die innovative Beleuchtungstechnik mit Gas einführten. Nach den Plänen des französischen Vertragspartners entstand bei San Francesco della Vigna das erste Gaswerk, das 1843 in Betrieb genommen wurde. Durch die steigende Nachfrage erfuhr das Gaswerk eine stetige Erweiterung, was sich auch an der Zahl der Gasbehälter zeigte – Ende des 19. Jahrhunderts waren es bereits fünf und das Areal erreichte seine maximale Bebauungsdichte.

Deshalb wurde 1908 bei Santa Marta ein zweites Gaswerk gebaut und das erste Gaswerk wurde nur mehr als „stazione gasometrica“ – als Speicherstation genutzt, bis es 1971 schließlich zur Stilllegung beider Gaswerke kam. Heute bezeugen auf dem ehemaligen Gaswerksgelände San Francesco della Vigna noch zwei Gasbehälter von dem einstigen Aufstieg der Gasindustrie in Venedig.

Auf diesem Areal wurde 1882 der fünfte Gasbehälter gebaut, dessen Baukonstruktionsgeschichte von besonderer Bedeutung ist: Von französischer Hand geplant, bestand dieser aus einem Hubteil ($V=4.000\text{m}^3$), einem freistehenden, genieteten Wasserbecken ($D_{\text{innen}}=30,00\text{m}$) und einem eingeschossigen Rahmengerüst. Letzteres war eines der wenigen Beispiele Italiens, bei dem schmiedeeiserne Säulen zum Einsatz kamen. Die Säulen ($h=7,90\text{m}$) waren zehn an der Zahl; am Fuß wurden sie über Konsolen an die Beckenwand angeschlossen und am Kopf durch einen Trägerkranz aus Gitterträgern gekoppelt.

Im Jahre 1890 folgte bereits die Erweiterung zum zweihübrigen Gasbehälter ($V=8.850\text{m}^3$). Dies bedingte auch die Aufstockung des Führungsgerüsts ($H_{\text{gesamt}}=14,45\text{m}$): Die Konstruktion des zweiten Gerüstrings wich jedoch von der bereits bestehenden Gerüstkonstruktion ab: Die Säulen bestanden nicht aus geraden, vernieteten, sondern aus konischen Rundrohren. Außerdem wurden die horizontalen Träger nicht mehr mit einem umlaufenden, sondern einem partiellen Manschettenanschluss an den Säulenschaft gesetzt.

Nachdem in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts eine Reihe von Reparaturen erfolgte, wurde der Gasbehälter schließlich 1971 stillgelegt.

Die Teleskopieretechnik und die daraus resultierenden Konsequenzen für die Konstruktion bezeugen den Fortschritt im Gasbehälterbau des späten 19. Jahrhunderts in Italien und unterstreichen den Stellenwert der Baukonstruktionsgeschichte des venezianischen Gasbehälters.

Tab. 8: Venedig, San Francesco della Vigna – Gasbehälter V

Überblick	
Gaswerk I	Ex-Officina del Gas, San Francesco della Vigna
Adresse	San Francesco della Vigna, Castello I-30122 Venedig
Eigentümer	Bis 2013 Gruppoveritas S.p.A.
Umnutzung	In Planung
Denkmal	ja

Baugeschichte

Baujahr	1882
Umbau/ Reparatur	1890, 1910, 1927, 1954
Stilllegung	1971

Teleskopgasbehälter, zweihüblig

Ingenieur	vermutlich aus Frankreich
Baufirma	vermutlich aus Venetien
V	8.850m ³ (urspr. 4.000m ³)
H _{gesamt}	21,45m
D _{Becken}	30,00m (innen)

Flachbodenbecken, freistehend

	Stk.	H _{in,m}	D _{in,m}	Bauweise/ Bauteil
Mantel		7,10	30,00	genietete Konstruktion, Schmiedeeisen
Konsolen	10	6,94	–	
Bodenplatte				Beton
Gründung				Holzpfähle

Rahmengerüst, zweigeschossig

	Stk.	H _{in,m}	D _{in,m}	Bauweise/ Bauteil
Säulen	10	14,45	var.	vernietete Rundrohre
Schienen	10	21,50	–	T-Eisen, SE
Träger	20	0,485	–	Gitterträger, SE
Windverband	–	–	–	–

Hubteile

Kuppeldach	Binderlos, mit Stützkonstruktion im Becken		
	H _{in,m}	D _{in,m}	Bauweise/ Bauteil
1. Hubteil (ohne MS)	8,30	28,80	vernietete Bleche, SE
2. Hubteil (mit MS)	7,00	29,40	vernietete Bleche, SE

Besonderheit

Ursprünglich einhübiger Gasbehälter (1882), der zum zweihübligen Teleskopgasbehälter erweitert wurde (1890).



Abb. 127: Standort des Gaswerks (Berger, Brenner, 2008).

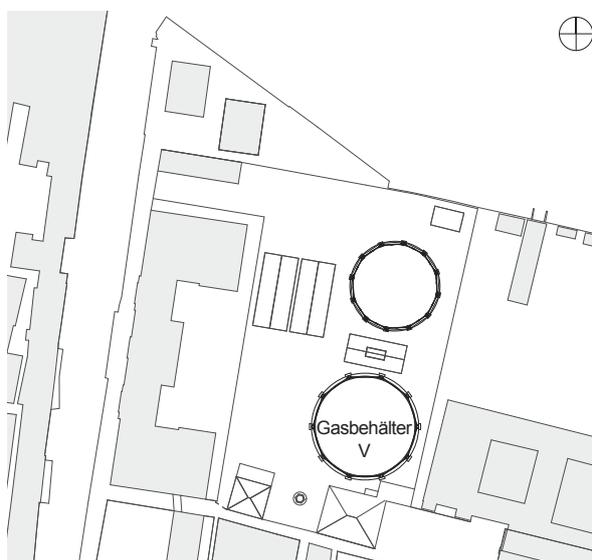


Abb. 128: Lageplan, M ca. 1:2000 (BB, 2014).



Abb. 129: Gasbehälter V, San Francesco della Vigna (BB, 2008).

D.4.6. ANHANG: Chronologie zu Gasbeleuchtung, Gaswerken und Gasbehältern in Venedig

Tab. 9: Die historischen Gaswerke in Venedig	
30.11.1839	<p>Vertragsunterzeichnung mit „De Frigière, Cottin, Montgolfier-Bodin“, Lyon für die öffentliche Stadtbeleuchtung mit Gas im Sestiere San Marco, Vertragslaufzeit (ab Inbetriebnahme): 20 Jahre.</p> <p>„(...) <i>rilevazione dello spazio denominato Campo San Francesco della Vigna designato alla fabbrica dello stabilimento del gazometro (...)</i>“¹⁹⁵</p> <p>Vertraglich festgelegt wurde die Errichtung eines Gaswerks in San Francesco della Vigna, einschl. zweier Gasbehälter:</p> <p>„3. ° <i>Gazometro. Il suo bacino a vasca è costruito in mattoni, ed ha la grossezza di un metro. I contraferti esterni sono pure di mattoni. Il diametro interno della vasca è di m. 14,50, l'altezza del mattonato è di m. 6,30. Recipiente del gaz in lamina di ferro con armi, della capacità di 1000 metri cubi munito di pompe alimentari, di viti, ecc. >> 39,500.00</i></p> <p>4. ° <i>Gazometro, che comunica coll'antecedente per mezzo di un tubo sotterraneo munito di due valvole ovvero rubinetti. Il Gazometro è formato di due vasche di ghisa legate da ferramenta, il suo diametro esteriore è di m. 6,50. Il recipiente del gas, ovvero cappello in lamina armata di ferro, e della capacità di metri cubi 1000, ed ha le relative pompe e viti come sopra. >> 60,000.00</i>“¹⁸⁶</p> <p>Der leitende Ingenieur der französischen Beleuchtungsgesellschaft war <i>Rocher</i>*.¹⁹⁷</p>
1841	Baubeginn des Gaswerks in Venedig bei San Francesco della Vigna. ¹⁹⁸
1843	<p>Inbetriebnahme des Gaswerks und Illumination der Piazza San Marco.¹⁹⁹</p> <p>Vertragspartner ändern ihren Namen zu „Società Civile per la Illuminazione a Gas della Città di Venezia“, in Venedig auch „La Lionese“ genannt.²⁰⁰</p>

199 AMV, 1839.

„(...) *Preisgabe der Fläche genannt Campo San Francesco della Vigna bestimmt für die Errichtung der Produktionsstätte des Gasbehälters (...)*“ – (Übers. d. Verfasserin).

200 AMV, 1896, p. 94

„3. ° *Gasbehälter. Sein Wasserbecken wurde aus Ziegelmauerwerk errichtet und besitzt eine Wandstärke von einem Meter. Auch die äußeren Strebpfeiler sind aus Ziegelmauerwerk. Der innere Durchmesser des Wasserbeckens beträgt m. 14,50, die Höhe des Ziegelmauerwerks m. 6,30. Der Behälter für das Gas (Anm. d. Verfasserin: Glocke) aus Eisenblechen, mit einer Kapazität von 1000 m³ ausgestattet mit Versorgungspumpen, Schrauben, etc. >> 39,500.00*

4. ° *Gasbehälter, der mit dem vorherigen verbunden ist durch ein unterirdisches Rohr ausgestattet mit zwei Klappen oder Hähnen. Der Gasbehälter besteht aus zwei Becken aus einer genieteten Gusseisenkonstruktion, sein äußerer Durchmesser beträgt m. 6,50 [sic] *. Das Behältnis für das Gas, oder die Haube aus genieteten Eisenblechen beträgt 1000 m³ und hat entsprechende Pumpen und Schrauben wie oben. >>60,000.00*“ – (Übers. d. Verfasserin).

* Anm. d. Verf.: Vermutlich handelt es sich hier um einen Schreibfehler. Der Durchmesser betrug wohl 16,50m. Zur Konstruktion der ersten beiden Gasbehälter siehe *Kapitel D.3.2.-1.2.1.*

201 Sagredo, 1843a, p. 314

202 Zucchetto, 1996, p. 15

203 Stivanello, 1899, p. 13

204 Comune di Venezia, 1980, p. 22

1847	<p>San Francesco della Vigna: Gianjacopo Fontana berichtet von zwei bestehenden Glockengasbehältern und einem dritten, im Bau befindlichen Teleskopgasbehälter (Anm. d. Verf.: Vermutlich handelt es sich hier um einen einhübrigen und keinen zweihübrigen Gasbehälter. (Siehe Kap. D.3.2.-1.2.1.).</p> <p>„Gazometro. Nell'officina del gaz, nel così detto paludo in S. Francesco della Vigna e in parte di terreno del già convento di s. Giustina, due gazometri sono attuati del diametro ognuno di 15 metri, e di 7 metri di altezza, con vasche della capacità di 1200 metri cubi, l'una di ferro fuso, l'altra di pietra cotta. Un terzo gazometro si sta ora costruendo, di capacità doppia in confronto dei due sussistenti, a forma di telescopio. Nove sono i forni per ora a triplice storta: v' hanno tettoje, per i depositi di coke, e magazzini che contengono ben oltre 3 mila tonnellate di carbon fossile. Sussiste inoltre la fucina dei fabbricanti-ferraj e la fornace per la calce, che si cuoce colla polvere stessa del coke, e serve oltrecchè agli usi interni della fabbrica anche per il commercio, che ottiene esteso al di fuori. Da questo centro diffondesi l'argentea luce ne' più leggiadri modi a vivificare la città. Le botteghe illuminate a gaz sommano ormai ad oltre 500. Gli abbonati pagano centesimi 7 per fiamma ed all'ora. Contansi 300 le macchine sparse, dette misuratori. L'impresa è condotta da una società, che ha l'uffizio a s. Maria Formosa, al ponte del rimedio, come da indicazione sovrapposta all'ingresso.“²⁰¹</p>
23.07.1851	Vertragsverlängerung bis 1927. ²⁰²
14.12.1864	<p>Vertragserweiterung: Ausweitung der Gasbeleuchtung auf alle Sestieri bzw. Stadtteile (außer Giudecca).²⁰³</p> <p>Ausdehnung des Areals nach Süden zum Campo San Francesco della Vigna. Bau von Gasbehälter IV.</p> <p>„D) (...) e ciò perchè possa essa Società erigere a sue spese un altro Gazometro necessario ai nuovi bisogni della illuminazione (...)“²⁰⁴</p>
1882	Bau von Gasbehälter V (einhübig; V= 4.000m ³). ²⁰⁵
1890	Teleskopierung von Gasbehälter V (zweihübig; V= 8.850m ³). ²⁰⁶
1893	<p>Plan „Officina a gaz di S. Francesco“ mit fünf Gasbehältern.²⁰⁷</p> <p>Maximale Ausdehnung bzw. Bebauungsdichte des Areals (Siehe Abb. 130).</p>
1895	Erwerb eines Grundstücks beim Ex-Campo di Marte (heute Santa Marta) für den Bau eines zweiten Gaswerks. ²⁰⁸

205 Fontana, 1847, p. 155

„Gasbehälter. Im Gaswerk dem sogenannten Sumpfgelände von S. Francesco della Vigna und teilweise auf dem Areal des Konvents von S. Giustina, wurden zwei Gasbehälter ausgeführt, jeder mit einem Durchmesser von 15 Metern, und einer Höhe von 7 Metern, mit Becken für eine Kapazität von 1200m³, das eine aus Gusseisen, das andere aus Backstein. Man errichtet gerade einen dritten Gasbehälter, mit der doppelten Kapazität im Vergleich zu den bestehenden als Teleskop-Bauform. Es gibt drei Öfen mit drei Retorten: dort sind Lager, für die Aufbewahrung von Koks, und Magazine die weit über 3 Tausend Tonnen Steinkohle fassen. Des Weiteren besteht eine Schmiede für Eisenzeuge und eine Kalkbrennerei, die mit dem gleichen Kokspulver kocht, und bedient neben dem werksinternen Gebrauch auch den Handel, der sich außerhalb erweitert. Von diesem Zentrum verbreitet sich das silberne Licht in anmutiger Weise um die Stadt lebendig zu machen. Die mit Gas beleuchteten Werkstätten sind immerhin schon über 500 an der Zahl. Die Abonnenten zahlen 7 Cent pro Flamme und pro Stunde. Es sind 300 verteilte Maschinen, genannt Messgeräte. Das Unternehmen wird von einer Gesellschaft geführt, die das Büro bei S. Formosa hat, bei der Ponte del Rimedio, wie der Hinweis über dem Eingang anzeigt.“ – (Übers. d. Verfasserin).

206 AMV, 1896, p. 131

207 AMV, 1864, p. 5

208 AMV, 1864, p. 13

„D (...) und daher kann diese Gesellschaft auf eigene Kosten einen weiteren Gasbehälter errichten, notwendig für die neuen Anforderungen der Beleuchtung (...)“ – (Übers. d. Verfasserin).

209 ITG, 1926, p. 1

210 ITG, 1926, p. 1

211 VESTA, 1893

212 AMV, 1897

1900	„La Lionese“ plant, die komplette Gasherstellung auf das neue Gaswerk auszulagern und das bestehende Gaswerk nur noch zur lokalen Gasspeicherung zu nutzen. ²⁰⁹
1908	Vertragsabschluss zwischen der Stadt Venedig und „La Lionese“ für den Bau des zweiten Gaswerks in Venedig bei Ex-Campo di Marte (heute Santa Marta), Vertragslaufzeit bis 1968. ²¹⁰ Bau eines dreihübrigen Gasbehälters (V= 15.000m3) ²¹¹
1910	<u>San Francesco della Vigna:</u> Reparatur des oberen Hubteils von Gasbehälter V. ²¹²
1924	„La Lionese“ wird Teil der „Società Italiana per il Gas p.A.“ (Später Italgas). ²¹³
1925	<u>San Francesco della Vigna:</u> Baubeginn von Gasbehälter VI (zweihübig; V= 8.000m3); Planung und Erstellung eines freistehenden Kegelstumpfbeckens (<i>Siehe Kap. C.2.4.-4.2.</i>) mit Pfahlgründung „Società Anonima Italiana Ferrobeton“. ²¹⁴
1926	Gründung der „Società Veneta Industrie Gas“ (SVIG) (Gaslieferung vom Porto Marghera, wo Gas als Nebenprodukt entstand). ²¹⁵
1928	<u>San Francesco della Vigna:</u> Fertigstellung von Gasbehälter VI. ²¹⁶
1929–1930	<u>Santa Marta:</u> Bau eines zweiten Gasbehälters (einhübig, V= 2.000m3). ²¹⁷
ca. 1930	<u>Santa Marta:</u> Reduzierung der Hubteilanzahl bei Gasbehälter I – von drei auf zwei Hubteile. ²¹⁸
1954	<u>San Francesco della Vigna:</u> Angebotseinholung für Reparaturmaßnahmen an Gasbehälter V und VI. ²¹⁹
1971	Vertrag mit „Venezianagas S.p.A.“, Vertragslaufzeit: 40 Jahre, Gasversorgung mit Erdgas (Venedig, Mestre, Murano). ²²⁰ Stilllegung beider Gaswerke. ²²¹
2012	<u>Santa Marta:</u> Rückbau des Führungsgerüsts und der Hubteile bei beiden Gasbehältern. ²²²

213 AMV, 1900, p. 32

214 Zucchetta, 1996, p. 16

215 ITG, 1908

216 ITG, 1926, p. 2

217 Zucchetta, 1996, p. 16

218 ITG, 1925b

219 Zucchetta, 1996, p. 16

220 Zucchetta, 1996, p. 66

221 ITG, 1929

222 ITG, 1930; Zucchetta, 1996, p. 80

223 ITG, 1954a

224 Zucchetta, 1996, p. 17

225 Bressanello, 2014; Boz, 2015

226 Boz, 2015

E. SCHLUSS

E.1. Der Gasbehälter im 21. Jahrhundert

THE GASOMETER – by Edwin Morgan ¹

*You don't care about the wildness of the sky,
my old gasometer! The kitchen window
frames your gaunt frame, the black cross-struts
stand firm, stand out, unyielding to the passion
of reds and purples in the dying day.
I have seen your stark ring taking sunlight
till you were something molten, vanishing,
magical – and when the moment passed
you were strong and dark as your dead hammermen.
(They whistle in the long-gone sheds. Listen!)
You cannot hide where your strength comes from.
You are constructivist to the core.
Did you want gargoyles to crouch in your angles?
I don't think so. Yours is the art of use.
You could be painted, floodlit, archeologized,
but I prefer the unremitting stance
of what you were in what you are, no more.
You are an iron guard or talisman,
and I hear that those who talk of eyesores
you have consigned, bless you, to the bad place.*

*Day of tearing down, day of recycling,
wait a while! Let the wind whistle
through those defenceless arms and the moon bend
a modicum of its glamorous light upon
you, my familiar, my stranded hulk – a while!*

Dieses Kapitel beinhaltet neben der zusammenfassenden Schlussbetrachtung der Baukonstruktionsgeschichte des Gasbehälters auch einen Ausblick über die Rolle des Gasbehälters im 21. Jahrhundert: Nämlich als stillgelegtes, verlassenes Relikt (s.o.), das oftmals dem rückstandslosen Abbruch zum Opfer fiel und nur selten im Zuge von diversen Umnutzungen sein architektonisches Potenzial unter Beweis stellen konnte, bis hin zum Neubauprojekt, das vor allem für Stahlwerke nach wie vor einen wichtigen Bestandteil darstellt.

¹ Morgan, 2002, p. 46

1. Revitalisierung von Gasbehältern



Abb. 1: „Fichtebunker“ – umgenutztes Gasbehältergebäude mit Loftwohnungen unterhalb der Kuppel – Fichtestraße, Berlin (BB, 2013).

Der folgende Abschnitt beleuchtet die Entstehung eines neuen, bewussteren Umgangs mit historischen Gasbehältern, die in Form von verschiedenen Umnutzungen wieder Einzug in die moderne Architektur fanden. Die weitgefächerte Vielfalt, mit der diese Revitalisierung von statten ging, wird mit einer Reihe von ausgewählten Beispielen vor Augen geführt (Siehe auch Tab. 1).²

Nach der Stilllegung der Gaswerke ab den 1970er Jahren entwickelte sich der Gasbehälter zunächst zu einem isolierten, industriellen Relikt, dem aufgrund seiner Nutzlosigkeit zunächst kaum Beachtung gezollt wurde. Erst in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts setzte eine bewusstere Wahrnehmung von industriellen Kulturgütern ein. Diese Bewegung wurde beispielsweise verstärkt durch die Arbeiten des Fotografenehepaars Hilla und Bernd Becher, das 1956 begann eine Art fotografische Katalogisierung von technischen Bauwerken in Europa anzulegen und diese ab 1968 auch auf die USA ausweitete.³ Der erste umgenutzte Gasbehälter war dennoch kein von langer Hand geplantes Revitalisierungsprojekt, sondern Teil eines kriegsbedingten Schutzprogrammes in Deutschland: In Berlin wurde der in der Fichtestraße befindliche Gasbehälter bzw. dessen Gasbehältergebäude (Abb. 1) 1940 zu einem Luftschutzbunker umfunktioniert (Siehe Kap. C.2.5.), was den vollständigen Rückbau der Hubteile und die Leerung des Beckens zur Folge hatte. In der Nachkriegszeit wurde der Bunker, der aufgrund seiner Lage auch **Fichtebunker** genannt wurde, zum Altenheim und später zum Obdachlosenasyll umfunktioniert; ab 1963 fungierten die Räume ausschließlich zur Lagerung von Lebensmitteln.⁴

2009 zog wieder Leben in den Gasbehälter ein – nämlich im sogenannten **Circlehouse**, das sich unterhalb der Gasbehälterkuppel befindet und aus radial angeordneten Loftwohnungen besteht (Abb. 1).⁵ Der ehemalige Bunkerraum dient heute als Museum zur Geschichte des Bauwerks. Somit besitzt der

2 Anm. d. Verfasserin: Dieses Kapitel stellt keine vollständige Abhandlung der Umnutzungsgeschichte des Gasbehälters dar, da die vorliegende Arbeit nicht als Machbarkeitsstudie konzipiert wurde; vielmehr gewährt es einen groben Überblick, wie historische Gasbehälter bislang umgenutzt wurden.

3 Becher, 1993/2002, Umschlagseite

4 Berliner Unterwelten, 2016

5 Ingenbleek, 2016



Abb. 2: Umnutzung als „Parc de la Barceloneta“ (Bärbel Heitzer, 2017).

Berliner Gasbehälter eine einzigartige Nutzungsgeschichte, die vom rein technischen Bauwerk bis hin zum exklusiven Wohnungsbau reicht.⁶

Das Circlehouse war aber nicht die erste Revitalisierung, die im großen Maßstab geplant wurde. Neben einigen Gasbehältergebäuden in Skandinavien, die in den 1980er Jahren Theater aufnahmen (Tab. 1), wurde das Führungsgerüst eines Gasbehälters in Barcelona 1992 zu einem Park umgestaltet: Für die Olympischen Spiele wurde der Stadt nämlich ein umfassender Maßnahmenkatalog auferlegt, der zur Aufwertung des Stadtbildes beitragen sollte. Dieser beinhaltete auch die Umgestaltung des obsoleten Gasbehälters: Aufgrund des vollständig versenkten Wasserbeckens eignete sich dieser für die Umnutzung zu einem frei zugänglichen Park, dem **Parc de la Barceloneta** (Abb. 2), der von dem historischen Führungsgerüst gefasst wird.⁷

Als weiteres Beispiel ist die Internationale Bauausstellung Emscher Park (1989–1999) zu nennen, im Zuge derer der Scheibengasbehälter (Abb. 3) in Oberhausen 1993–1994 zu einer außergewöhnlichen Ausstellungshalle umgebaut wurde – heute bekannt als

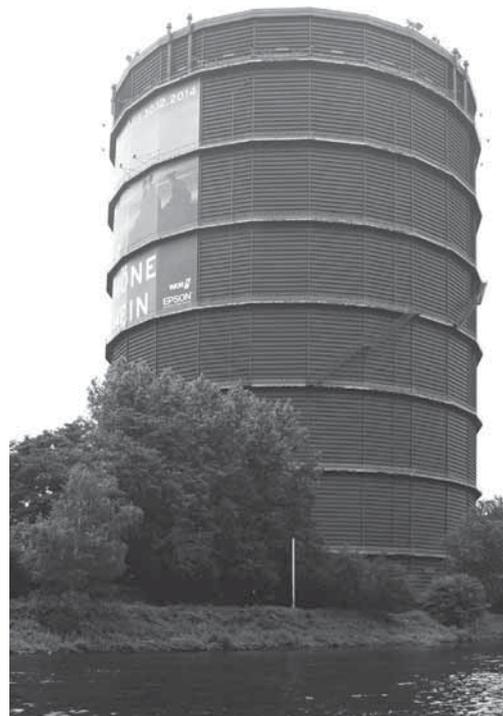


Abb. 3: Ausstellungshalle „Gasometer“ Oberhausen (BB, 2013).

6 Weiterführende Literatur zur Umnutzung des „Fichtebunkers“ siehe Thorau, Schaulinski, 2011.

7 Patrimonio industrial de Barcelona, 2009



Abb. 4: Museum „Technopolis“ in Athen – nahe der Akropolis (Yannis Stoyan, 2017).

Gasometer Oberhausen⁸. Wegen dem gewaltigen Verhältnis von Grundfläche zu Höhe besticht der Raum durch seine vertikale Wirkmacht. Der Gasbehälter entwickelte sich zu einem Ausstellungsraum vom industriellen Relikt zu einem wichtigen öffentlichen Bauwerk, das eine kulturelle Bereicherung und zugleich ein Wahrzeichen der Stadt Oberhausen darstellt.

Das ehemalige Gaswerk in Athen befindet sich in der Nähe der Akropolis und erfuhr ebenfalls eine umfassende Umnutzung: Die **Technopolis** wurde 1999 als multifunktionales Kulturzentrum bzw. Veranstaltungsort wiedereröffnet⁹. Als Teil dieses Ensembles wurde ein Gasbehälter zu einem Museum umgebaut (Abb. 4): In das bestehende Führungsgerüst wurde ein transparenter, polygonaler Baukörper eingesetzt, der das Museum aufnimmt.

Der Künstler Yadegar Asisi führte die Idee der Ausstellungsnutzung fort und installierte in den Gasbehältergebäuden in Leipzig (2003)¹⁰, Dresden (2006) und Pforzheim (2015) **360°-Panoramen**, die mit einem leichten Abstand in die massive Gebäudehülle eingefügt wurden. Diese „Respekthaltung“ zum Bestand ermöglicht weiterhin den uneingeschränkten Blick auf die Ringmauer und die Dachkonstruktion, sodass die ursprüngliche Raumwirkung partiell noch erfahrbar bleibt.

Die erste Umbaumaßnahme größeren Umfangs, die sich über ein gesamtes Gasbehälter-Ensemble erstreckte, wurde in Wien durchgeführt: Die vier repräsentativen Gasbehältergebäude wurden nach den Plänen der Architekten Jean Nouvel, Coop-Himmelb(l)au, u.a. zu einem multifunktionalen Komplex mit Wohnungs-, Einkaufs-, Büro-, Verwaltungs- und Veranstaltungsflächen ausgebaut. 2001 fand die Eröffnung des Komplexes statt, der als **Gasometer Wien** bekannt wurde.¹¹

Entgegen der Vorreiterrolle Englands auf dem Gebiet des Gasbehälterbaus begann man sich dort erst um die Jahrhundertwende mit dem weiteren Umgang der stillgelegten Gasbehälter auseinander-

8 Gasometer Oberhausen, 2019

9 City of Athens, 2017

10 asisi, 2019

11 Frühwirth, 2019



Abb. 5: Gasholder-Triplet mit neuem Wohnungskomplex in King's Cross, London (BB, 2018).

zusetzen. Seit 2012 lässt National Grid ¹² zahlreiche Gasbehälter Englands rückbauen. Nur wenige, bedeutende Beispiele konnten (noch) erhalten bzw. umgenutzt werden ¹³, wie z.B. das **Gasholder-Triplet** in King's Cross, London. 2017 wurde dieses als hochwertiger Wohnungskomplex fertig gestellt: Die bestehenden Führungsgerüste wurden sorgfältig instandgesetzt und jeweils mit einem hoch aufragenden, zylindrischen Baukörper bestückt, der durch seine großzügig verglasten Fassadenflächen (Abb. 5) eine gewisse Zurückhaltung gegenüber dem Bestand generierte ¹⁴.

Neben dem Triplet befindet sich ein viertes Führungsgerüst, das an diese Stelle transloziert wurde, und seit November 2015 als **Gasholder Park** (Abb. 6) frei zugänglich ist ¹⁵.

Mit dem Gaswerk Fulham kann London auf ein weiteres bedeutendes Revitalisierungsprojekt verweisen. Dort befand sich 2015 noch ein sechsteiliges Gasbehälter-Ensemble – darunter der weltweit älteste, erhaltene Gasbehälter von 1830 (Siehe Kap. C.2.3.-5.2.). Letzterer ist Bestandteil des aktuellen Umnut-



Abb. 6: Beleuchtetes Führungsgerüst des Gasholder Parks in King's Cross, London (BB, 2015).

¹² National Grid ist ein englischer Dienstleister für Strom- und Gasversorgung.

¹³ Von den 100 Gasbehältern, die um 2000 im Großraum Londons gezählt werden konnten, waren im Frühjahr 2017 nur noch ca. ein Drittel vorhanden (Tucker, 2014, p. 20; Tucker, 2017).

¹⁴ Archdaily, 2015

¹⁵ King's Cross, 2015



Abb. 7: Abbrucharbeiten am MAN-Scheibengasbehälter in Battersea, London (BB, 2015).

zungskonzepts – für die anderen fünf Gasbehälter ist jedoch der vollständige Rückbau vorgesehen. Weitere Abbruchmaßnahmen in London wurden 2015 in Battersea (Abb. 7) und in Southall durchgeführt.¹⁶

Der historische Gasbehälter wird zudem gerne als Entwurfs- oder Untersuchungsgegenstand im Studienplan der Architektur oder auch des Bauingenieurwesens eingesetzt:

- 2012 wurden an der Universität IUAV in Venedig für ihren Sommerworkshop „W.A.VE“ die Gasbehälter von San Francesco della Vigna als eine Entwurfsaufgabe angeboten (Siehe Kap. D.4.4.).¹⁷
- Im Wintersemester 2014/15 lief der Studentenwettbewerb „Bauen im Gasometer Berlin Schöneberg“, ausgelobt vom Kulturkreis der deutschen Wirtschaft in Kooperation mit der EUREF AG.¹⁸

Sein architektonisches Potenzial bewies der Gasbehälter auch als zentrales Thema bei Diplomarbeiten, wie z. B.:

- 1991/1992 erstellten Roberto Spinoni und Annalisa Turchini den Entwurf „La storia negli archivi, un archivio nella storia“ für den Gasbehälter in Brescia, der zu einem Archiv umgeplant wurde.¹⁹
- Die Gasbehälter von San Francesco della Vigna in Venedig wurden 2008/2009 von Esther Brenner und der Verfasserin bearbeitet. Neben dem Umnutzungsentwurf „Museo della Storia del Gas a Venezia“ (Abb. 8), der Ausstellungs- und Versammlungsflächen vorsah, wurde auch eine Dokumentation

¹⁶ National Grid, 2019

¹⁷ IUAV, 2019

¹⁸ Kulturkreis der deutschen Wirtschaft, 2019

¹⁹ Spinoni, Turchini, 1992, pp.157–163



Abb. 8: Revitalisierung der Gasbehälter von San Francesco della Vigna, Venedig (Brenner, Berger, 2008, p. 131).

zur Geschichte und Entwicklung der venezianischen Gasbehälter erstellt.²⁰

So erlebte der historische Gasbehälter, der lange Zeit auf Industriebrachen vernachlässigt wurde, eine Art Wiedergeburt. Durch den symmetrischen, stützenfreien und zugleich hohen Raum bewies er sein architektonisches Potenzial, das sich für unterschiedliche Umnutzungskonzepte eignete – von dem kriegsbedingten Schutzbauwerk, über verschiedene Theater- und Ausstellungsräume, bis hin zu exklusiven Wohnungskomplexen erhielt der Gasbehälter eine neue Identität.

²⁰ Berger, Brenner, 2008 – Weitere Bachelor- und Seminararbeiten zu den venezianischen Gasbehältern wurden am Lehrstuhl für Tragwerksplanung, Prof. Dr.-Ing. Rainer Barthel, TUM betreut:
- Grabmeier, Margarete, 2015: Statisch-konstruktive Untersuchungen an der Eisenkonstruktion eines Teleskopgasbehälters aus dem 19. Jahrhundert.
- Pils, Carina, 2015: Das genietete Wasserbassin des historischen Gasbehälters V in Venedig. Eine Parameteruntersuchung zum Spannungsverlauf.

Tab. 1: Umnutzung von historischen Gasbehältern von 1940 bis 2017			
Umbau	Ort	Konzept	Gasbehälterform
1940, 1963	DE Berlin, Fichtestraße ²¹	Bunker (Baubunkerprogramm für die Reichshauptstadt) Nachkriegszeit: Altenheim, Obdachlosenasyl Seit 1963: Lager für Lebensmittelreserven	Gasbehälter- gebäude
1986	DK Kopenhagen, Østre ²²	„Østre Gasværk Teater“ Umnutzung primär als Theater; kann aber auch für Konzerte, Konferenzen u.a. genutzt werden	Gasbehälter- gebäude
1980er	SE Gävle ²³	„Gasklockorna“ „Wiederentdeckung“ durch das Volkstheater Gävleborg. Seit- dem als multifunktionaler Kulturraum nutzbar	Gasbehälter- gebäude
1992	NL Amsterdam ²⁴	„Wester Gasfabriek - Meet, Work, Relax“ Umnutzung zu einem gleichfalls multifunktionalem Kulturraum innerhalb des ehemaligen Lagerraumes unterhalb des Beckens	Erhöhtes Wasser- becken eines Teles- kopgasbehälters
1992	ES Barcelona, La Barceloneta ²⁵	Parc de la Barceloneta Inszenierung des bestehenden Führungsgerüsts zu einem öffentlichen Platz bzw. Raum mit Basketballplätzen (Im Rahmen der Baumaßnahmen für die Olympischen Spiele)	Teleskop- gasbehälter, versenktes Becken
1993– 1994	DE Oberhausen ²⁶	Ausstellungsfläche (Im Rahmen des Projekts der Internationalen Bauausstellung Emscher Park – IBA, 1990–1999)	Scheiben- gasbehälter
2001	DE Duisburg, Landschaftspark Nord ²⁷	„Tauchrevier Gasometer“ (Im Rahmen des Projekts der Internationalen Bauausstellung Emscher Park – IBA, 1990–1999)	Glocken- gasbehälter
1999	GR Athen, Gazi ²⁸	„Technopolis“ – Multifunktionales Kulturzentrum für Ausstellun- gen, Konzerte, Veranstaltungen, etc.	Glocken-/ Teleskop- gasbehälter
1999– 2000	DE Zwickau ²⁹	„Alter Gasometer“ – Soziokulturelles Zentrum (Bauherr: Stadt Zwickau)	Gasbehälter- gebäude
1999– 2001	AT Wien, Simmering ³⁰	Multikomplex für Wohnungs-, Einkaufs-, Büro-, Verwaltungs- und Veranstaltungsflächen Architekten: AJN-Jean Nouvel, Paris; Coop-Himmelb(l)au (Prof. Wolf D. Prix & Arch. Helmut Swiczinsky + Partner); Man- fred Wehdorn, Wien; Wilhelm Holzbauer, Wien	Gasbehälter- gebäude

21 Berliner Unterwelten e.V., 2019

22 Rask, 2019

23 Gävle Kommun, 2019

24 Wester Gasfabriek, 2019

25 Patrimoni industrial de Barcelona, 2009

26 Gasometer Oberhausen, 2019

27 Herberhold, 2008

28 City of Athens, 2017

29 Alter Gasometer e.V., 2019

30 Frühwirth, 2019

31 asisi, 2019

32 O'Mahony Pike Architects, 2019; Manchester History, 2019

2003	DE Leipzig ³¹	Freiluftbühne und Ausstellungsfläche – „360° Panorama“ Künstler: Yadegar Asisi	Gasbehälter- gebäude
2006	IR Dublin ³²	„Gasworks“ – Wohn- und Bürogebäude Architekt: OMP Architects, Dublin	Teleskop- gasbehälter
2006	DE Berlin, Schöneberg ³³	Eventlocation (TV, Kongresse, Symposien, etc.)	Teleskop- gasbehälter
2006	DE Dresden, Reick ³¹	„360° Panorama“ – Ausstellungsfläche Künstler: Yadegar Asisi	Gasbehälter- gebäude
ca. 2007	NL Naaldwijk ³⁴	„HET Architectenbureau“ Bürogebäude	Schrauben- gasbehälter
2008	DE Augsburg, Oberhausen ³⁵	Ausstellungsfläche Seit 2009: Aussichtsplattform auf dem Dach Seit 2010: Attraktion „Abseilen vom Gasbehälterdach“ (Bauherr: Stadtwerke Augsburg)	Scheiben- gasbehälter
2006– 2009	DE Berlin, Fichtestraße ³⁶	„Circle House“ Loftwohnungen Architekt: Paul Ingenbleek, Berlin	Gasbehälter- gebäude
1998– 2003	IT Rom, San Paolo ³⁷	Parkhaus, Druckregulierungsstation und Lagerhalle (Bauherr: Italgas, Rom)	Teleskop- gasbehälter
2013– 2015	DE Stade ³⁸	Wohnungs- und Gewerbeflächen Architekt: Buttge, Stade	Teleskop- gasbehälter
2014– 2015	DE Pforzheim ³¹	„360° Panorama“ – Ausstellungsfläche Künstler: Yadegar Asisi	Teleskop- gasbehälter
2011– 2015	UK London, King`s Cross ³⁹	„Gasholder No. 8 Park“ – Parkanlage (Eröffnung 2015) Architekt: Bell Philipps Architects, London	Teleskop- gasbehälter
2001– 2017	UK London, King`s Cross ⁴⁰	Exklusive Apartments Architekt: Wilkinson Eyre Architects, London	Teleskop- gasbehälter

33 EUREF, 2019
34 HET-Architekten, 2019
35 Frühschütz, 2016
36 Ingenbleek, 2016
37 Tosti, 2016
38 Buttge, 2019
39 King`s Cross, 2015
40 Archdaily, 2015
41 GKM architektur, 2019

2. Der Gasbehälter als Neubauprojekt

Die Gasindustrie erfuhr im 20. Jahrhundert massive Umstrukturierungen, die in erster Linie ab 1970 durch das Aufkommen des Erdgases ausgelöst wurden. Dies bedeutete den einsetzenden Niedergang des lokal produzierten Steinkohlengases, was die Stilllegung sämtlicher Gaswerke zur Folge hatte. Die bestehenden hydraulischen Gasbehälter und Trockengasbehälter wurden zwar teilweise noch weiterverwendet zur stationären Zwischenspeicherung, jedoch konnten deren Speicherkapazitäten der großen Nachfrage langfristig nicht mehr Genüge leisten. Dies führte wiederum zur Entwicklung von neuen Gasbehälterformen und -konstruktionen, die jedoch nicht mehr als Niederdruck-, sondern als Mittel- bzw. Hochdruckbehältnisse konzipiert waren.

Der Gasbehälter als Teil eines Stahlwerk-Ensembles

Im 20. Jahrhundert kamen Gasbehälter aber nicht nur zur Speicherung von Stadtgas, sondern auch auf anderen Industriezweigen – insbesondere auf Stahlwerken – zum Einsatz: Dort entstand Gas sowohl bei der Stahlerzeugung selbst (Gichtgas), als auch auf den werkseigenen Kokereien⁴² (Koksgas) und wurde dort in Gasbehältern zwischengespeichert – das Gas wurde nämlich hauptsächlich für den werkseigenen Bedarf verwendet. Für die auf dem Stahlwerk freigesetzten Gasmengen erwiesen sich die Niederdruckgasbehälter als geeignete Behälterform. So erfuhr die Geschichte des hydraulischen Gasbehälters und des Scheibengasbehälters eine Fortführung, zumal das Stahlwerk im Gegensatz zum Gaswerk auch heute noch eine aktive Produktionsstätte und folglich einen Schauplatz des modernen Gasbehälterbaus darstellt. Auch wenn der ursprüngliche Konstruktionsgedanke beibehalten wurde, so unterlagen bzw. unterliegen die Anlagen- und Bautechnik einem fortwährenden Optimierungsprozess.

Die Wiedergeburt des „Glockengasbehälters“

Auf einem französischen Stahlwerk wurde 2014 ein neuer hydraulischer Gasbehälter fertig gestellt (Abb. 10), dessen Aufbau prinzipiell auf dem seiner Vorgänger aus dem frühen 19. Jahrhunderts fußt:

Dieser „Gazomètre a cloche“ (dt.: Glockengasbehälter)⁴³ wurde nur mit einem einzigen Hubteil ausgestattet, das ein Nutzvolumen von bis zu 15.000m³ aufnehmen kann. Die Planung und die Ausführung dieser Stahlkonstruktion, die in weiten Teilen geschweißt wurde, oblag der Firma Leffer aus Dudweiler bei Saarbrücken⁴⁴.

Der Gasbehälter besteht aus einem freistehenden Flachbodenbecken (D= 30,00m; H= 25,10m), einem Hubteil mit Stabwerkkupeel und einem dreigeschossigen Verbandgerüst, das mit einer einfachen Auskreuzung ausgeführt wurde. Die Gesamthöhe beträgt 50,35m – fast das Zehnfache der allerersten Glockengasbehälter (Siehe Kap. C.2.3.-5.) – und verleiht dem Gasbehälter ein dominantes Erscheinungsbild auf dem Stahlwerk. Der



Abb. 9: Rekonstruktion eines Glockengasbehälters (Giuseppe Giordano, 2017).

42 Anm. d. Verfasserin: **Kokereien** besaßen den gleichen Aufbau wie ein Gaswerk, nur dass die Kokerei – wie die Bezeichnung schon sagt – primär zur Herstellung von **Koks** diente und das dabei entstehende Gas lediglich als Nebenprodukt betrachtet wurde, wohingegen die Produktionsausrichtung des Gaswerks genau umgekehrt war.

43 Einhubige Gasbehälter wurden aufgrund der Hubteinform auch als Glockengasbehälter bezeichnet (Siehe Kap. B.4.-1.1.).

44 Leffer, 2015

Die Firma Stahl- und Apparatebau Hans Leffer GmbH & Co. KG übernahm 1960 das Patent des MAN-Scheibengasbehälters (Siehe Kap. C.3.1.) und besitzt seitdem eine Abteilung für Gasbehälterbau, die bereits weltweit über 100 Projekte abwickelte. Mit dem französischen Gasbehälter realisierte Leffer erstmals einen Glockengasbehälter größeren Maßstabs.



Abb. 10: Rekonstruktion eines einhübrigen Gasbehälters mit freistehendem Flachbodenbecken (Giuseppe Giordano, 2017).

einwandfreie Betrieb stellt unter Beweis, dass das technisch-konstruktive Konzept des hydraulischen Gasbehälters seit 200 Jahren seine Gültigkeit beibehält und dieser Bautypus somit seine berechnete Position auf dem Schauplatz des modernen Gasbehälterbaus einnimmt.

E.2. Fazit

Der historische Gasbehälterbau des 19. und frühen 20. Jahrhunderts geriet mit der endgültigen Stilllegung – die mit dem Aufkommen des Erdgases ab 1970 einher schritt – in Vergessenheit und der Diskurs über den historischen Gasbehälterbau verstummte allmählich. Dieser Prozess vollzog sich nicht nur auf verbaler Ebene: Die stillgelegten Gasbehälter wurden meist dem Verfall überlassen; nicht selten folgte der irreversible Abbruch, was das Geschichtsgut schmälerte und eine grundsätzlich abwertende Haltung gegenüber diesem technischen Bauwerk verstärkte.

Unwissend seiner Tragweite und Bedeutung, die dieser Bautypus in der Geschichte der Eisenkonstruktionen innehatte, werden die letzten, bestehenden Gasbehälter heute überwiegend als nutzlose, platzraubende Relikte angesehen – anstatt sie als Ergebnis einer weitreichenden Baukonstruktionsgeschichte zu würdigen.

Der GASBEHÄLTER ALS BAUTYPUS soll diese Lücke schließen und den Stellenwert des Gasbehälters als ingenieurtechnische Leistung unterstreichen: Seine Konstruktion und Form waren das Ergebnis der Symbiose zwischen der nicht versiegenden Empirie der Gas-Ingenieure und der voranschreitenden Eisentechnologie des 19. Jahrhunderts.

Baukonstruktionsgeschichte

Mit der Einführung der öffentlichen Gasbeleuchtung 1813 in London erfuhr der Gasbehälter seine Geburtsstunde als neuer Bautypus. Sein Aufbau und seine Funktionsweise waren einer kleineren Apparatur aus der experimentellen Chemie entlehnt, die auf einem gas- und einem wassergefüllten Behältnis basierte. Letzteres sorgte für den gasdichten Abschluss, was zur Bezeichnung des **hydraulischen Gasbehälters** führte, der den Gasbehälterbau des 19. Jahrhunderts dominierte und eine weitreichende Baukonstruktionsgeschichte aufzeigt. Diese wurde neben den konstruktiven Fähigkeiten der Ingenieure, dem handwerklichen Geschick der Arbeiter und der jeweils vorherrschenden Bautechnik auch noch von einem weiteren wesentlichen Faktor vorangetrieben – nämlich der ständig steigenden Gasnachfrage, die nach größeren Gasbehältern verlangte.

Der hydraulische Gasbehälter bestand aus einem oder mehreren Hubteilen, einem Führungsgerüst und einem Wasserbecken. Jeder einzelne dieser Bestandteile vollzog eine eigenständige, auf die spezifischen Anforderungen abgestimmte konstruktive Evolution:

- Das **Hubteil** stellte den eigentlichen „Gasbehälter“ dar, der die variierenden Gasmengen tatsächlich aufnahm. Nachdem die ersten Gasbehälter nur mit einem Hubteil ausgestattet waren, ermöglichte die Einführung der Teleskopieretechnik 1834 die Verdopplung der bisherigen Nutzvolumina – bei gleichbleibender Grundfläche. Die Hübigkeit des Teleskopgasbehälters beschränkte sich jedoch nicht auf zwei Hubteile, sondern war schließlich bis zur sechshübrigen Ausführung möglich. Die Hubteile wurden untereinander mit Tassen gekoppelt; der Anschluss an das Führungsgerüst erfolgte mit Rollen – mit der Ausnahme des fliegenden Hubteils, das keiner direkten Führungshilfe bedurfte. Dieses debütierte 1887 nach den Plänen von *George Thomas Livesey** – einem herausragenden Gas-Ingenieur Londons – und bildete die Grundlage zur Entstehung von gerüstlosen Gasbehältern.

Eine besondere konstruktive Herausforderung stellte die Kuppel dar, die entweder allein durch den Gasdruck – als binderlose Kuppel – oder von einem Tragwerk unterstützt wurde. Letzteres basierte auf einer unterspannten oder gerippten Kuppelkonstruktion, die durch die zunehmenden Spannweiten stetig erweitert bzw. verstärkt wurde. Dieser konstruktive Werdegang wurde 1874 bekrönt durch die Einführung der Schwedler-Kuppel, die im Vergleich zu den vorgehenden Kuppeln mit ihrer effizien-

enten Konstruktionsweise bestach und erstmals einen vollständig stützenfreien Raum ermöglichte.

- Die Anforderungen an die Form und die Konstruktion des **Führungsgerüsts** ergaben sich primär aus der Größe und der Anzahl der Hubteile. Nachdem die frühen, einhübrigen Gasbehälter auf einfachen Stützergerüsten basierten, wurden sie mit der Einführung des Teleskopgasbehälters zu Rahmengerüsten und ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts zu Verbandgerüsten ausgebaut. Mit jeder Erweiterung erfuhr das Gerüstgefüge grundsätzlich eine Verbesserung der Tragfähigkeit, wozu auch die stetige Verbesserung des Eisenwerkstoffes wesentlich beitrug. Die größte Formenvielfalt zeigte sich bei den Verbandgerüsten, deren Auskreuzung unterschiedlich möglich war. Diese Bandbreite an Gerüstformen wurde durch die Einführung des Schmiedeeisens noch zusätzlich gesteigert, indem die massiven Bauteile aus Gusseisen durch zusammengesetzte, genietete Blechkonstruktionen ersetzt wurden, die verschiedene Formen zuließen.
- Das **Wasserbecken** war der einzige Bestandteil des hydraulischen Gasbehälters, bei dem verschiedene Bauweisen eingesetzt wurden und das daher verschiedene, unabhängige Entwicklungsmechanismen innehatte: Die Form, die Konstruktion und die Positionierung wurden auf die jeweiligen Baugrundverhältnisse und die gegenwärtigen Baustoffe abgestimmt.

Neben dem klassischen dreiteiligen Aufbau gingen zwei Sonderformen des hydraulischen Gasbehälters hervor: Nämlich das massive **Gasbehältergebäude**, das die wahre Nutzung hinter teils anmutig gestalteten Fassaden verbarg, und der **gerüstlose Gasbehälter**, dessen Hubteile entweder spiral- oder Seilgeführt waren und so dem Gasbehälter eine neuartige, reduzierte Gestalt verliehen.

Der hydraulische Gasbehälter prägte ein Jahrhundert lang diesen neuen Bautypus und entwickelte sich zum weit aufragenden Bauwerk, das die Stadtbilder dominierte. Der Gasbehälter erhob sich zum Landmark. Ende des 19. Jahrhunderts erreichte er jedoch seine technischen und konstruktiven Grenzen, was an den daraus resultierenden großen Wassermengen lag, die für die Abdichtung benötigt wurden. Mit der Einführung des **Trocken- bzw. Scheibengasbehälters** läutete die *Firma Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg (MAN)** 1915 eine neue Ära auf dem Sektor des Gasbehälterbaus ein, da dieser durch eine neuartige Abdichtungstechnik kein Wasserbecken mehr benötigte. Er bestand aus einem geschlossenen Körper, in den eine Scheibe eingesetzt war. Der gasdichte Abschluss erfolgte ausschließlich entlang des Scheibenrandes. Neben dieser revolutionären Abdichtungstechnik bestach der Scheibengasbehälter durch seine effiziente Konstruktionsweise, die sich auf zahlreiche Größen übertragen ließ. Im Vergleich zum hydraulischen Gasbehälter, der über einen weit gefächerten Formenkanon verfügte, hatte der Scheibengasbehälter ein uniformes Erscheinungsbild, zumal sich neben der MAN nur noch die *Firma August Klönne** auf diese Gasbehälterform spezialisierte.

Verbreitung

Der Gasbehälterbau debütierte 1813 in London und wurde im 19. Jahrhundert überwiegend von englischen, französischen und schließlich auch deutschen Einflüssen geprägt. Die weiteren Länder Europas interessierten sich zwar für diese neue Innovation und übernahmen diese, beteiligten sich aber nicht an deren Weiterentwicklung.

Jede Gasbeleuchtungsgesellschaft hatte ihre eigenen Ingenieure, was wiederum den umfangreichen Formenkanon des hydraulischen Gasbehälters bestätigt, der durch die Handschrift verschiedener Entwurfsverfasser zustande kam und sich sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene äußerte. Anfang des 20. Jahrhunderts löste der neue Scheibengasbehälter aus Deutschland einen neuen Trend aus, da dieser als standardisierte Form weltweit Verbreitung fand.

Dass die Geschichte des Gasbehälters in Ländern, die sich nicht an der Weiterentwicklung dieses neuen Bautypus beteiligten, einen anderen Verlauf hatte, zeigte das Beispiel **Italiens**.

In Turin wurde 1838 der erste Gasbehälter errichtet – nach den Plänen der französischen Vertrags-

partner. Auch als die Gasbeleuchtung und die damit einhergehende Technik bereits fest in Italien Fuß gefasst hatte, wurde eher an den bewährten, ausländischen Modellen festgehalten, als dass die italienischen Ingenieure eigene Konstruktionsformen hervorgebracht hätten.

Dies spiegelt besonders die Entwicklung des Führungsgerüsts wider: Dieses entsprach überwiegend den standardisierten Ausführungen aus England, Frankreich oder Deutschland, weshalb der Formenkanon bei Weitem nicht so umfangreich war wie z.B. in England, wo der empirische Planungsprozess und die Vielzahl an unterschiedlichen Entwurfsverfassern ein breites Spektrum an Führungsgerüsten bot. Der englische Einfluss zeigte sich auch in der Adaption des gerüstlosen Gasbehälters, der um 1900 in Italien eingeführt wurde und das Erscheinungsbild des Gasbehälters novellierte.

15 Jahre nach seiner Erfindung hielt auch der Scheibengasbehälter Einzug in Italien und revolutionierte den Gasbehälterbau: 1930 wurde der erste Scheibengasbehälter – als MAN-Typ – in Bologna in Betrieb genommen.

Somit ist die Geschichte des Gasbehälterbaus in Italien in erster Linie auf die Errungenschaften der englischen, französischen und deutschen Gas-Pioniere zurückzuführen.

Anknüpfungspunkte und anschließende Forschungsfelder

Auch wenn das Primat dieser Arbeit darin bestand, ein der weitreichenden Baukonstruktionsgeschichte des Gasbehälters angemessenes, umfassendes Werk zu verfassen, so konnten dennoch nicht alle Fragestellungen, die sich im Laufe des Forschungsvorhabens ergaben, abgedeckt werden. Somit bleiben insbesondere die Forschungsfelder offen, die eingangs nach den innovations-/ technik- und konstruktionshistorischen sowie geographischen Ansätzen ausgegrenzt wurden (*Siehe Kap. A.3.*):

- Die Einflüsse Frankreichs auf den Gasbehälterbau des 19. Jahrhunderts.
Diese Arbeit fußt primär auf englischen Impulsen – das Wirken der französischen Ingenieure, die den Engländern die Monopolstellung streitig machten, blieb unberücksichtigt.
- Der historische Gasbehälterbau in Deutschland, Russland, Skandinavien und anderen Ländern.
Die Einführung bzw. Adaption des Gasbehälters in Ländern, die nicht zur Weiterentwicklung des Gasbehälterbaus beitrugen, wurde am Beispiel Italiens vorgeführt. Weitere Untersuchungen über die Entwicklung in anderen Ländern wären anzustreben, um die Stellung der aus dieser Arbeit hervorgehenden Gaspioniere zu unterstreichen oder aber um weitere Protagonisten aufzudecken. Interessant wäre an dieser Stelle u.a. eine lückenlose Behandlung des historischen Gasbehälterbaus in Deutschland – der hier nur reduziert auf herausragende Errungenschaften wie den Scheibengasbehälter dargestellt wurde – oder aber auch in Russland oder Skandinavien, wo besonders kalte Winterperioden die Auflagen an den Gasbehälterbau erhöhten.
- Weiterführende Untersuchungen zum Gasbehälterbau in Italien.
Die Baukonstruktionsgeschichte des hydraulischen Gasbehälters in Italien wurde primär am Führungsgerüst diskutiert. Die Konstruktion des Wasserbeckens und der Hubteile konnte aufgrund der schwierigen Quellenlage bzw. Zugänglichkeit nur ansatzweise beleuchtet werden.
- Statisch-konstruktive Untersuchungen zum hydraulischen Gasbehälter.
Mit der enzyklopädischen Aufbereitung aller Einzelbauteile des hydraulischen Gasbehälters bildet die vorliegende Arbeit die Grundlage für ausstehende statisch-konstruktive Analysen des Gasbehälters, die wesentlich zur Bewertung der konstruktiven Evolution beitragen würden.
- Mittel- und Hochdruckgasbehälter.
Im Rahmen dieser Arbeit wurden lediglich Niederdruckgasbehälter beleuchtet. Die Konstruktion des Membran- und des Kugelgasbehälters, die der Gruppe der Mittel- und Hochdruckgasbehälter angehören, wurden deshalb nicht näher untersucht.

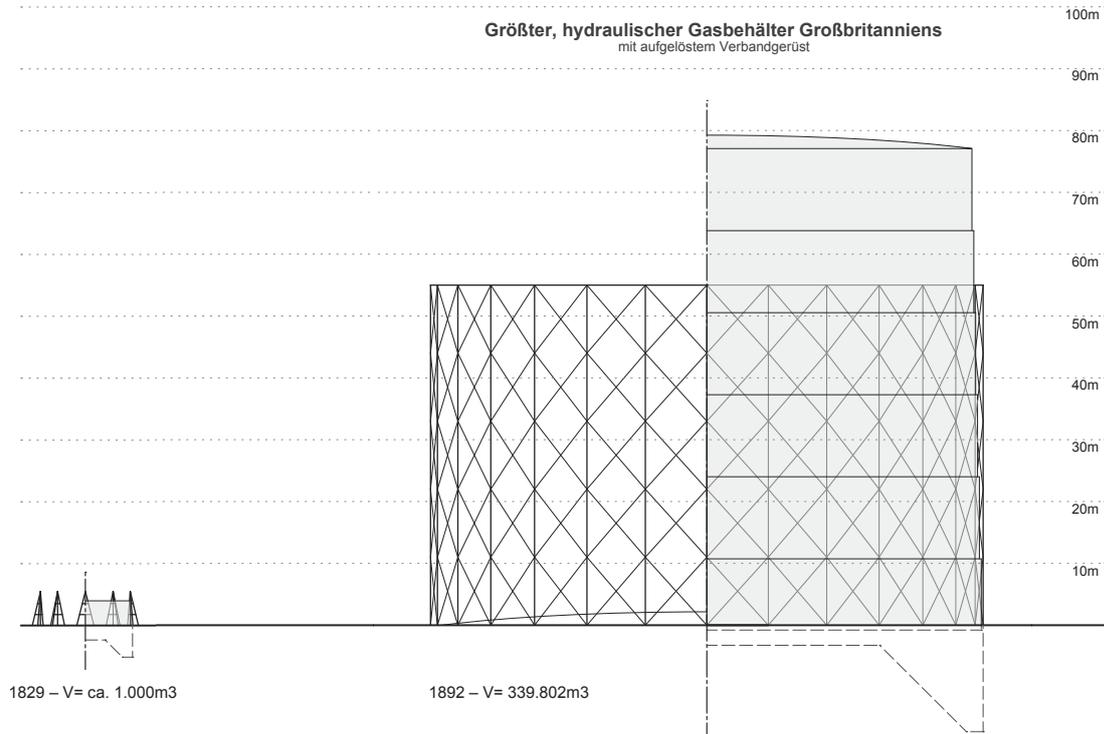


Abb. 11: Entwicklung des hydraulischen Gasbehälters von der frühen einhübrigen Ausführung (links) bis hin zum weit aufragenden, sechshübrigen Gasbehälter (rechts) mit zwei fliegenden Hubteilen (BB, 2019).

Fazit

Der GASBEHÄLTER ALS BAUTYPUS beschreibt die Geschichte eines Bauwerks, das primär durch seine **Funktion** bestimmt wurde – nämlich der Notwendigkeit der Aufnahme und Speicherung von Gas. Der Aufbau des Gasbehälters resultierte aus der jeweiligen Abdichtungstechnik, die einen gasdichten Abschluss gewährleisten musste, und diktierte so die **Grundform**.

Die finale **Konstruktion** war schließlich geprägt von der unermüdlichen Empirie der Gaspioniere und der jeweils gegenwärtigen Bautechnik bzw. der Baustoffe. Somit repräsentiert der Gasbehälter – neben bekannten, bereits erforschten Eisenbauwerken wie z.B. den Brücken – einen weiteren, bedeutenden Bautypus, der die voranschreitende Eisentechnologie des 19. Jahrhunderts widerspiegelt.

Ende des 19. Jahrhundert erreichte die Geschichte des hydraulischen Gasbehälters seinen Höhepunkt, indem er als weit aufragendes Bauwerk auf sich aufmerksam machte und ein wichtiges Zeugnis für die Ingenieurbaukunst dieser Zeit ablegte (Abb. 11).

Diese konstruktive Erfolgsgeschichte wird schließlich dadurch bekrönt, dass sie einer anhaltenden Fortschreibung bzw. Weiterentwicklung unterliegt, da der Gasbehälter auch im 21. Jahrhundert noch ein essenzielles Speicherbauwerk darstellt.

F. ANHANG

F.1. Protagonisten des historischen Gasbehälterbaus 1814–1914

Tab. 1: Protagonisten des historischen Gasbehälterbaus 1814–1914 *			
Name	Zeit	Erfindungen/ Veröffentlichungen im Gasbehälterbau/ Betreute GW	Wirkungs- ort
Accum, Christian Friedrich	1769–1838	1815/1816/1819: „A practical Treatise on Gas Light“ 1819/1820: „Description of the process of manufacturing coal gas“ – (Siehe Kap. B.1., B.5., B.6., C.2.2.)	UK London
Albani, Gaudenzio ***	1809–1881	1851: Gründung der „Società anonima Piemontese per l’Illuminazione a Gaz in Torino“ mit seinem Bruder Francesco 1863: Fusion zur „Nuova Società dei Consumatori di Gas Luce“ – Albani nahm den Posten des Direktors ein (Siehe Kap. D.2.1.)	IT Turin
Anderson, George	unbekannt	Assistent von Croll* ca.1880: Viergeschossiges Verbandgerüst für zweihü- bigen Gasbehälter in Southport (Siehe Kap. C.2.2.-4.4)	UK Southport
Ansaldo S.A. ***	1853–1993	Lizenznehmer bzw. ausführende Firma für hydraulische und Scheibengasbehälter nach Klönne* (Siehe Kap. D.3.3.-2.) 1938: Prospekt für hydraulische Gasbehälter mit Stab- werkkupe (Siehe Kap. D.3.2.-2.2.)	IT Genua, u.a.
Baader, Joseph von	1763–1835	1815: Besichtigung des Gaswerks zu Westminster 1817: Erste Experimente zur Gasherstellung und -beleuchtung in Nymphenburg (Siehe Kap. B.5.-2.2.)	DE München
Badoni, Antonio	unbekannt	„Costruzioni Metalmeccaniche“ Lizenznehmer bzw. ausführende Firma für Scheibengas- behälter nach MAN* (Siehe Kap. D.3.3.-1.)	IT Lecco, Bres- cia, Triest, u.a.
Blochmann, Rudolf Sigis- mund	1784–1871	1828: 1. Städtisches Gaswerk Deutschlands in Dresden 1847: Weitere Gaswerke in Berlin (Siehe Kap. C.2.5.-2.)	DE Dresden, Berlin u.a.
Boara, Francesco	1827–1904	1901: Entwurf des Gasbehältergebäudes in Triest (Siehe Kap. D.3.2.-4.)	IT Triest
Braddock, Joseph	unbekannt	Rahmengerüst mit Doppelsäulen in York (Siehe Kap. C.2.3.-6.2.1.)	UK York
Camuzzi, Carlo	unbekannt	1899: Gründung der „Società Ing. Carlo Camuzzi e. C.“ in Mailand 1899: Planung des Gaswerks Legnago 1900: Gaswerk Fiorenzuola (Siehe Kap. D.3.2.-1.2.) 1935: Fusion mit Italgas	IT Mailand, u.a.
Cerutti, Francesco ****	1838– unbekannt	Lampenzünder für die „Società Consumatri Gas Luce“	IT Turin
Cerutti, Ottavio **** (Sohn von Francesco)	1870– unbekannt	Mechaniker der „Società Consumatri Gas Luce“ Ab 1895: Auf dem Gaswerk Borgo Dora tätig	IT Turin
Cerutti, Renato (Sohn von Ottavio)	unbekannt	Als Bauzeichner für die „Società Consumatri Gas Luce“ tätig mit stetig zunehmender Verantwortung 1983: „L’officina del gas di Porta Nuova a Torino“	IT Turin, Casa- le Monferra- to u.a.
Clark, John	unbekannt	1880: „Triplet“ – Drei gekoppelte, dreigeschossige Rah- mengerüste in St. Pancras, London (Siehe Kap. C.2.3.-6.2.2)	UK London

)* Weiterführende Literatur zu den Biographien von Gasingenieuren siehe *Biographical Dictionary of Civil Engineers in Great Britain and Ireland, Vol 1–3, London 2002, 2008, 2014.*

)** Weiterführende Literatur zu den einzelnen Firmen und Ingenieuren siehe Tweedie: *Grace’s Guide to British Industrial History.*

)***) Weiterführende Informationen zu den einzelnen italienischen Protagonisten siehe Fortini: *Storia e Cultura dell’Industria.*

)***) Penati, 1972, p. 149

Clarke, Joseph (Vater)	unbekannt	1855: Prototyp für zweigeschossige Rahmengerüste mit ornamentreichen Säulen und Trägern in Bethnal Green, London (Siehe Kap. C.2.3.-6.2.2.) 1872–1876: Entwurf der Gasbehälter in Bromley-by-Bow, London (Siehe Kap. C.2.3.-6.1.1.) Siehe Wyatt, Vitruvius	UK London
Clegg, Samuel *	1781–1861	1813: Planung des 1. Gaswerks in Westminster (Siehe Kap. B.5.-2.2.) 1817: faltgasbehälter, Rotierender Gasbehälter (Siehe Kap. B.5.-2.4.)	UK London
Clegg, Samuel, jun. *	1814–1856	1841: „A Practical Treatise on the Manufacture and Distribution of Coal Gas“ – 1. Ausgabe (Siehe Kap. B.5.-2.)	UK London
Colson, A.	unbekannt	um 1890: Verbandgerüst mit Säulen (bestehend aus einzelnen Bauteilen mit nach außen liegenden Flanschen) in Leicester (Siehe Kap. C.2.3.-7.1.1.)	UK Leicester
Cripps, Frederick Southwell	1855–1941	1889: „The Guide-Framing of Gasholders“ (Siehe Kap. C.2.3.-7.2 und 7.5.)	UK London, u.a.
Croll, Alexander	unbekannt	1850: Zweihübiger Gasbehälter mit Flachdach und Rahmengerüst aus Hochsäulen bzw. -stützen in Bow Common, London (Siehe Kap. C.2.2.-4.2 und 5.2; C.2.3.-6.1.2.)	UK London
Cutler, Samuel I * (Vater)	1818–1870	Eisenbaubetrieb mit Spezialisierung in der Gasindustrie, insbesondere Gasbehälter Ab 1858: Neugründung als „Samuel Cutler, Gasholder Maker and Contractor“ in Millwall Ab 1866: Umbenennung zu „Samuel Cutler & Sons, Ltd., Millwall“	UK London
Cutler, Samuel jun. *	1844–1923	Übernahme des Familienbetriebes nach dem Tod des Vaters (Zusammen mit seinem Bruder George Benjamin) 1888: Patent zum triangulierten und aufgelösten Verbandgerüst (Siehe Kap. C.2.3.-7.4. und 7.5.) 1889: 1. Gasbehälter in Tunbridge Wells 1890: 2. Gasbehälter in Shanklin 1892: 3. Gasbehälter in Hornsey 1902: Gasbehälter in Darlington 1905: Gasbehälter in Mailand 1910: Gasbehälter in Turin (Siehe Kap. D.2.1.) 1910–1912: Drei Gasbehälter in Rom (Siehe Kap. D.3.2.-2.2.)(Siehe Kap. D.3.2.-1.4.4.)	UK Tunbridge Wells, Shanklin, Hornsey, Darlington IT Mailand, Turin, u.v.m.
Dempster, Robert & Sons **	1855–1971	Ausführende Firma aus Elland, Yorkshire für Schraubengasbehälter nach dem Patent von Gadd & Mason 1925: Firmenbroschüre mit unterschiedlichen Größen bis zu ca. 140.000m ³ (Siehe Kap. C.2.6.-1.)	international
Dowson, Joseph Emmerson	1844–1940	1869: Patent zur Herstellung von schmiedeeisernen Rundrohrelementen (Siehe Kap. C.2.3.-4.1.1.)	UK London
Erlwein, Johann Jakob	1872–1914	1908/1909 „Erlwein-Gasbehälter“ in Dresden-Reick (Siehe Kap. C.2.5.-3.)	DE Dresden
Evans, Frederick John *	1818–1880	1865: Zweihübiger Gasbehälter mit Flachdach in Westminster (Siehe Kap. C.2.2.-4.2. und 4.8.; C.2.4.-4.4.) Gasbehälter in Beckton, London (Siehe Kap. C.2.2.-4.3., C.2.4.-4.2.)	UK London
Friedrich, Carl Gustav Theodor	1829–1891	1881: Gasbehältergebäude in Dresden-Reick (Siehe Kap. C.2.5.-3.)	DE Dresden

De Frigière (de Brul), Jean	unbekannt	Teilhaber einer Gasbeleuchtungsgesellschaft aus Lyon Weitere Teilhaber: Pierre Franquet, Charles Blanchet u.a. (<i>Siehe Kap. D.3.2.-1.2.2.; D.4.3.-1.</i>)	IT Florenz, Venedig, u.a.
Gadd, William *	1838–1919	1887: Erfindung des spiral-geführten Gasbehälters gemeinsam mit <i>Mason, William F.</i> 1889: Bau des 1. spiral-geführten Gasbehälters durch <i>Newbigging, Thomas</i> in Northwich seit 1890: <i>Fa. Dempster</i> als Lizenznehmer 1892: Gasbehälter mit fliegendem, spiral-geführtem Hubteil (<i>C.2.2.-7.4</i>) 1894: Gasbehälter in Chester 1900: Gasbehälter in Mailand 1910: Gasbehälter in Oldham 1925: Gasbehälter in Carlisle (<i>Siehe Kap. C.2.6.-1.; D.3.2.-5.1.</i>)	UK Northwich, Chester IT Mailand u.v.m.
Gautier, Hippolyte	unbekannt	Ingenieur der Societé du Gaz de Lyon 1837: Gründung der „Società anonima per l’Illuminazione a Gaz della Città di Torino“ mit <i>Reymondon*</i> (<i>Siehe Kap. D.2.1.; D.3.2.-1.1.</i>)	IT Turin
Guillard, Achille	1799–1876	Ingenieur der Gasbeleuchtungsgesellschaft aus Lyon 1845: Einhubiger Gasbehälter in Mailand (<i>Siehe Kap. D.3.2.-1.1. und 2.1.</i>)	IT Mailand
Hawksley, Charles *	1839–1917	Gasbehälter mit binderloser Kuppel in Sunderland (<i>Siehe Kap. C.2.2.-4.4.</i>)	UK Sunderland
Hawksley, Thomas	1807–1893	Um 1875: Gusseiserne Säulen mit nach außen gerichteten Flanschen (<i>Siehe Kap. C.2.3.-4.1.1.; C.2.3.-7.1.1.</i>)	UK Leicester
Herring, Ralph	unbekannt	1905: Gasbehälter mit netzförmigem Verbandgerüst in Granton (<i>Siehe Kap. C.2.3.-7.3.2.</i>)	UK Granton- Edinburgh
Horton, Joshua	unbekannt	1850: Patent zum binderlosen Kuppeldach mit <i>Palmer, G. P.</i> (<i>Siehe Kap. C.2.2.-4.4.</i>) 1851: Patent für ein fliegendes Hubteil (<i>Siehe Kap. C.2.2.-7.1.</i>) und für umgebogene Bleche bei Tassen (<i>Siehe Kap. C.2.2.-6.3.1.</i>)	unbekannt
Horton, Horace Ebenezer	1843–1912	Erfindung der „Horton-Sphere“ 1923: Bau des ersten Kugelgasbehälters (<i>Siehe Kap.C.1.1.-2.</i>)	US Chicago
Hunt, Charles *	1842–1929	1883: Fünfgeschossiges Verbandgerüst mit zweifacher Auskreuzung in Birmingham (<i>Siehe Kap. C.2.2.-4.4. und 6.4.; C.2.3.-4.1.1. und 7.2.; C.2.4.-4.1.4.</i>)	UK Birmingham
Hunter, S.	unbekannt	1878: Gasbehälter mit unterspannter Kuppel (aufgelöst) und Kegelstumpfbecken in Salford (<i>Siehe Kap. C.2.2.-4.4.; C.2.4.-4.1.4 und 4.2.1.</i>)	UK Salford
Hurst	unbekannt	vor 1824: 1. Teleskopgasbehälter nach <i>Tait*</i> (<i>Siehe Kap. C.2.2.-6.1.2.</i>)	UK Leeds
Hutchison, Stephen	unbekannt	1834: 1. Erfolgreiche Realisierung eines Teleskopgasbehälters in Vauxhall, London (<i>Siehe Kap. C.2.2.-6.2.1.</i>)	UK London

)* Weiterführende Literatur zu den Biographien von Gasingenieuren siehe *Biographical Dictionary of Civil Engineers in Great Britain and Ireland, Vol 1–3, London 2002, 2008, 2014.*

)** Weiterführende Literatur zu den einzelnen Firmen und Ingenieuren siehe Tweedie: *Grace`s Guide to British Industrial History.*

)***) Weiterführende Informationen zu den einzelnen italienischen Protagonisten siehe Fortini: *Storia e Cultura dell`Industria.*

Innes, William	unbekannt	1855: Rahmengerüst mit genieteten Hochsäulen in Kennington, London (<i>Siehe Kap. C.2.2.-5.2.; C.2.3.-6.2.1.</i>)	UK London
Intze, Otto Adolf Ludwig	1843–1904	1883: Erfindung des freistehenden, angespitzten Kugelbodenbeckens, dem „Intze-Becken“ (<i>Siehe Kap. C.2.4.-4.3.2.</i>) 1887: Zwei Gasbehälter mit Intze-Becken am Bahnhof Mailand (<i>Siehe Kap. D.3.2.-3.3.</i>)	DE Aachen
Jagschitz, Konrad	1876–1941	1899–1939: Als Ingenieur bei MAN*, Gustavsborg tätig 1913: Erfindung des ersten Scheibengasbehälters (<i>Siehe Kap. C.3.2.-1.</i>) 1913–1915: Bau des ersten Scheibengasbehälters in Augsburg-Oberhausen (<i>Siehe Kap. C.3.2.-2.</i>)	DE Gustavsborg, Nürnberg, Augsburg
Jones, Henry Edward * genannt Harry	1843–1925	1876: Zweihübiger Gasbehälter mit zweigeschossigem Verbandgerüst in Poplar, London (<i>Siehe Kap. C.2.3.-7.1.3.</i>) 1882: Gasbehälter in Stepney, London (<i>Siehe Kap. C.2.2.-6.4.3.</i>)	UK London
Jones, Robert * (Vater)	1812–1895	1852–1853: Rahmengerüst mit Hochsäulen in Stepney, London (<i>Siehe Kap. C.2.3.-6.2.1.</i>) 1876: Gasbehälter in Poplar (s.o.)	UK London
King, Alfred **	1797–1867	Liverpool: Einführung des zweischaligen Mauerwerks (<i>Siehe Kap. C.2.4.-4.1.4.</i>)	UK Liverpool, Manchester
Kirkham, John *	1829–1860	1830: Gasbehälter „Falkus“ mit Dreibein-Stützen in Fulham (<i>Siehe Kap. C.2.3.-5.3.</i>)	UK London
Kirkham, <u>Thomas</u> Nesham *	unbekannt	1866–1876: Chief-Engineer des GW Bromley-by-Bow (danach Wyatt*) 1867: Gasbehälter „The Sultan“, Rahmengerüst mit Hochsäulen in Fulham (<i>Siehe Kap. C.2.3.-6.2.1.</i>) 1871: Gasbehälter in Fulham (<i>Siehe Kap. C.2.3.-6.1.1.</i>)	UK London
Fa. Klönne, August (Vater)	(1849–1908)	1874: Erster, hydraulischer Gasbehälter von Klönne 1879: Firmengründung 1895: Gasbehältergebäude in Hamburg (<i>Siehe Kap. C.2.5.-3.</i>) 1903: Einhübiger Gasbehälter in Wernigerode (<i>Siehe Kap. C.2.3.-7.6.1.</i>) 1928/1929: Erweiterung des Gasbehälters in Wernigerode mit einem zweiten Hubteil und sternförmigem Verbandgerüst 1930: Gasbehälter in Turin (<i>Siehe Kap. D.2.1.; D.3.2.-1.4.3.</i>) 1933: Fertigstellung eines Scheibengasbehälters in Florenz ca. 1933: Scheibengasbehälter in Marghera 1936: Größter, hydraulischer Gasbehälter Italiens in Rom (<i>Siehe Kap. C.2.3.-7.6.1.</i>) 1938: Bau des weltweit größten Scheibengasbehälters in Gelsenkirchen (<i>Siehe Kap. C.3.3; D.3.3.-2.</i>)	DE Dortmund, Hamburg, Gelsenkirchen, Wernigerode NL Amsterdam, Rotterdam IT Florenz, Turin, Rom Marghera u.v.m.
Klönne, Max & Moritz	1878–1945/ 1878–1962	1908: Übernahme des väterlichen Betriebs 1921: Verleihung des Dr.-Ing. e.h. an Moritz Klönne durch die TH Darmstadt 1926: Erfindung des Scheibengasbehälters mit Gummiabdichtung (<i>Siehe Kap. C.3.3.</i>)	DE Dortmund

Kühnell, A.	unbekannt –1878	Ingenieur der ICGA-Niederlassung in Berlin; 1845: Gasbehältergebäude auf dem Gaswerk Halle'sches Tor (<i>Siehe Kap. C.2.5.-3.</i>) 1863: Gasbehältergebäude in Triest (<i>Siehe Kap. D.3.2.-4.</i>)	DE Berlin IT Triest u.v.m.
Lampadius, Wilhelm August	1772–1842	1816: Übersetzung von Accums Werk ins Deutsche (<i>Siehe Kap. B.1.</i>)	DE Freiberg
Lavoisier, Antoine Laurent de	1743–1794	1789: Einführung des Begriffs „Gazomètre“, im „Traité Élémentaire de Chemie“ (<i>Siehe Kap. B.2.</i>)	FR
Livesey, (Sir) <u>George</u> Thomas */ **	1834–1908	Wichtiger Gas-Ingenieur der South Metropolitan Gas Company: 1862–1882: Leitender Ingenieur des GW an der Old Kent Road, ab 1882 Vorsitzender der o.g. Gasbeleuchtungsgesellschaft. 1902 wurde er für seine Leistungen zum Sir ernannt. 1856: Rahmengerüst mit Hochsäulen, Old Kent Road, London (<i>Siehe Kap. C.2.3.-6.2.1.</i>) 1871: Kompositbecken an der Old Kent Road (<i>Siehe Kap. C.2.4.-4.1.4</i>) 1875: 1. Wasserbecken in reiner Betonbauweise (<i>Siehe Kap. C.2.4.-4.2.2.</i>) 1879: Dreigeschossiges Verbandgerüst (Einfache Auskreuzung) mit gusseisernen Stützen für zweihübrigen Gasbehälter an der Old Kent Road (<i>Siehe Kap. C.2.3.-7.1.2.</i>) 1880: „Livesey Pattern Gasholder“ mit neuartigem Verbandgerüst (Zweifache Auskreuzung) an der Old Kent Road (<i>Siehe Kap. C.2.2.-5.2.; C.2.3.-4.3.1. und 7.2.</i>) 1887: 1. Fliegendes Hubteil in Rotherhithe, London (<i>Siehe Kap. C.2.2.-7.2; D.3.2.-2.3.</i>) 1889: 1. Vierhübiger Gasbehälter in East Greenwich, London – mit dreifach ausgekreuztem Verbandgerüst (<i>Siehe Kap. C.2.2.-6.2.2.; C.2.3.-7.3.1.</i>) 1892: 1. Sechshübiger Gasbehälter mit aufgelöstem Verbandgerüst und zwei fliegenden Hubteilen in East Greenwich – größter Gasbehälter Großbritanniens (<i>Siehe Kap. C.2.2.-6.2.2. und 7.3.1; C.2.3.7.4</i>)	UK London
Livesey, Frank */ **	1844–1899	Assistent des Bruders George (s.o.). Bauleitung des GWs in East Greenwich. 1886: Vierhübiger Gasbehälter in East Greenwich (s.o.) 1890: Erweiterung des Gasbehälters in Kennington, London mit zwei Hubteilen – davon eines fliegend (<i>Siehe Kap. C.2.3.-7.1.3. und 7.2</i>)	UK London
Malam, John **	1791–1855	1817: Freistehender Gasbehälter ohne Gegengewichte, mit zentralem Führungsrohr und einfacher, unterspannter Kuppel (<i>Siehe Kap. C.2.2.-4.3.1.; C.2.3.-3.2.</i>)	UK
Mann, William	unbekannt	1861: Dreihübiger Gasbehälter mit Verbandgerüst an der Blackfriars Station (<i>Siehe Kap. C.2.2.-6.2.2.; C.2.3.-4.3.1. und 7.1.1.</i>)	UK London

)* Weiterführende Literatur zu den Biographien von Gasingenieuren siehe *Biographical Dictionary of Civil Engineers in Great Britain and Ireland, Vol 1–3, London 2002, 2008, 2014.*

)** Weiterführende Literatur zu den einzelnen Firmen und Ingenieuren siehe Tweedie: *Grace`s Guide to British Industrial History.*

)***) Weiterführende Informationen zu den einzelnen italienischen Protagonisten siehe Fortini: *Storia e Cultura dell`Industria.*

Mabon, Walter **	unbekannt	1862: Eckige Hak-/ Schöpfzasse mit Winkeleisen (<i>Siehe Kap. C.2.2.-6.3.1.</i>)	UK Manchester
MAN		„Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg“ 1874: Erster einhübiger Gasbehälter in Nürnberg 1891: Gasbehältergebäude in Nürnberg (<i>Siehe Kap. C.2.5.-3.</i>) 1898: Fusion zur „Vereinigten Maschinenfabrik Augsburg und Maschinenbaugesellschaft Nürnberg A.G.“ (<i>Siehe Kap. C.3.2.-3.</i>) 1907: Erfindung Wölbmantelbecken (<i>Siehe Kap. C.2.4.-4.4.</i>) 1908/1909: Bau des rautenförmigen Verbandgerüsts in Wien, Simmering (<i>Siehe Kap. C.2.3.-7.6.2.</i>) 1913: Erfindung des Scheibengasbehälters durch <i>Jag-schütz*</i> (<i>Siehe Kap. C.3.2.-1.</i>) 1914/1915: Bau des 1. Scheibengasbehälters in Augsburg-Oberhausen (<i>Siehe Kap. C.3.2.-2.</i>) 1928–1930: Bau des 1. Scheibengasbehälters in Italien, Bologna (<i>Siehe Kap. D.3.3.-1.</i>) 1928: Bau des weltweit größten MAN-Scheibengasbehälters in Chicago 1932: Bau eines Scheibengasbehälters in Brescia (<i>Siehe Kap. D.3.3.-1.</i>) 1953: Bau des 2. Scheibengasbehälters in Augsburg (<i>Siehe Kap. C.3.2.-3.</i>)	DE Augsburg, Nürnberg AT Wien; IT Bologna US Chicago u.v.m.
Mason, William Frederick *	1849–1918	1887: Erfindung des spiral-geführten Gasbehälters gemeinsam mit <i>Gadd*</i> (<i>Siehe Kap. C.2.2.-1.</i>)	UK
Milbourne, Robert John		1913–1917: Bau eines Gasbehälters in Sydney (<i>Siehe Kap. C.2.2.-4.8; C.2.4.-4.4.2.</i>)	AU Sydney
Morton, Robert *	1834–1911	Ab 1868: „Chief Engineer“ des GW Battersea, London 1883: Dreigeschossiges Verbandgerüst (Einfache Auskreuzung) mit kastenförmigen Stützen eines zweigeschossigen Gasbehälters in Battersea (<i>Siehe Kap. C.2.3.-7.1.3.</i>) 1891: „The Colonel“ – Fünfgeschossiges Verbandgerüst mit kastenförmigen Stützen (Einfache Auskreuzung) in Kensal Green, London (<i>Siehe Kap. C.2.3.-7.1.3.</i>)	UK London
Murdock, William *	1754–1839	1798: 1. fabrikeyenes Gaswerk zur Beleuchtung von „Boulton & Watt“ (<i>Siehe Kap. B.5.-1.</i>)	UK Soho- Birmingham
Newbigging, Thomas	1833–1914	1870: „The Gas Manager`s Handbook“ 1879: „King`s Treatise on the Science and Practice of the Manufacture and Distribution of Coal Gas“ (Herausgeber) 1889: 1. Schraubengasbehälter nach <i>Gadd & Mason</i> in Northwich, Cheshire (<i>Siehe Kap. C.2.2.-1.</i>) 1899: Gasbehälter mit freistehendem, genietetem Flachbodenbecken und halbrunden Tassen in Lytham, St. Annes on the Sea (<i>Siehe Kap. C.2.2.-6.3.2.; C.2.4.-4.1.3.</i>) 1900: Einhübiger Gasbehälter in Wapping (<i>Siehe Kap. C.2.2.-6.2.2.</i>) 1910: Vierhübiger Gasbehälter mit sechsgeschossigem Verbandgerüst (Einfache Auskreuzung) in Bradford Rd, Manchester (<i>Siehe Kap. C.2.3.-7.1.3.</i>)	UK Northwich, Cheshire Lytham, London, Manchester

Paddon, John Birch *	1825–1910	1876: Dreihübiger Gasbehälter mit dreigeschossigem Verbandgerüst (Einfache Auskreuzung) in Hove: Einführung der „Paddon Wind Ties“ und ersten genieteten Stützen in T-Form (<i>Siehe Kap. C.2.3.-4.3.1. und 6.2.3.</i>)	UK Hove, u.a.
Palmer, George Holworthy	unbekannt	1833: Gasbehälter mit zentralem Führungsrohr an der Old Kent Road, London (<i>Siehe Kap. C.2.3.-3.2.</i>) 1850: Patent zum binderlosen Kuppeldach mit <i>Horton*</i> (<i>Siehe Kap. C.2.2.-4.4.1.</i>)	UK London
Peckston, Thomas S. **	unbekannt	1819: „The Theory and Practice of Gas-Lighting“ Beschreibung von frühen Gasbehältern mit Gegengewichten bzw. zentralem Führungsstab (<i>Siehe Kap. B.1; C.2.3.-3.</i>)	UK London
Pellico, Silvio	unbekannt	1817: Übersetzung von Accums Handbuch ins Italienische (<i>Siehe Kap. B.1.</i>)	IT
Pease, Edward Llyod *	1861–1934	Mitbegründer der Fa. Ashmore, Benson, Pease & Co. in Stockton on Tees 1887: Erfindung des Seilgeführten Gasbehälters 1890/1891: Fliegendes, Seilgeführtes Hubteil in Nottingham (<i>Siehe Kap. C.2.2.-7.3.</i>) 1894: Seilgeführter Gasbehälter in Bathurst und Sligo 1895: Seilgeführter Gasbehälter in Middlesbrough ca. 1890: Seilgeführter Gasbehälter in Mailand (<i>Siehe Kap. C.2.6.-2.; D.3.2.-5.</i>)	UK Nottingham, Middlesbrough, Sligo, Birkenhead IT Mailand
Piggott, Thomas & Co. * (Vater)	unbekannt	Firma für Eisenhochbau, spezialisiert u.a. für Gasbehälter 1822: Firmengründung	UK Birmingham
Piggott, George **	1833–1871	1862: Erfindung der runden Hak-/ Schöpftasse, erstmals realisiert an der Old Kent Road (<i>Siehe Kap. C.2.2.-6.3.2.</i>)	UK London
Reymondon, François Ygnace	1806–1877	Architekt aus Turin – gebürtig aus Grenoble 1837: Gründung der „Società anonima per l’Illuminazione a Gaz della Città di Torino“ mit <i>Gautier*</i> (<i>Siehe Kap. D.2.1.; D.3.2.-1.1.</i>)	IT Turin
Rocher, ?	unbekannt	Ingenieur der französischen Gasbeleuchtungsgesellschaft aus Lyon – „La Lionese“ 1841–1847: Drei einhübige Gasbehälter in Venedig (<i>Siehe Kap. D.3.2.-1.1.</i>)	IT Venedig, Padua, Treviso, u.a.
Sales, Mario	1910–2006	Ingenieur von Italgas, Turin 1941: Bericht über die Verformungsschäden des Führungsgerüsts in Mondovì (<i>Siehe Kap. D.3.2.-1.2.4.</i>)	IT Turin, Mondovì
Schwedler, Johann Wilhelm	1823–1894	1863: Stabwerkkuppel bei einem Gasbehältergebäude in der Holzmarktstraße, Berlin 1874: Stabwerkkuppel bei einem Hubteil in der Fichte- straße, Berlin (<i>Siehe Kap. C.2.2.-4.6.</i>)	DE Berlin

)* Weiterführende Literatur zu den Biographien von Gasingenieuren siehe *Biographical Dictionary of Civil Engineers in Great Britain and Ireland, Vol 1–3, London 2002, 2008, 2014.*

)** Weiterführende Literatur zu den einzelnen Firmen und Ingenieuren siehe Tweedie: *Grace`s Guide to British Industrial History.*

)***) Weiterführende Informationen zu den einzelnen italienischen Protagonisten siehe Fortini: *Storia e Cultura dell`Industria.*

Società Anonima di Forni ed Impianti Industriali (SAFII)		Ausführende Firma aus Mailand für hydraulische Gasbehälter nach <i>Klönne</i> * (<i>Siehe Kap. C.2.3.-7.6.1.; D.3.2.-1.4.3.</i>) 1907: Vermutlich Führungsgerüst und Hubteilkonstruktion eines Gasbehälters in Venedig, Santa Marta (<i>Siehe Kap. D.3.2.-1.4.1. und 2.2.9</i>) 1926: Bestandsaufnahme und Reparatur eines Gasbehälters in Venedig (<i>Siehe Kap. D.4.4.-2.</i>) 1928: Vermutlich Führungsgerüst und Hubteilkonstruktion eines Gasbehälters in Venedig, San Francesco della Vigna (<i>Siehe Kap. D.3.2.-1.4.1. und 2.2.</i>) 1930: Gasbehälter in Casale Monferrato (<i>Siehe Kap. D.3.2.-1.4.1. und 2.2.</i>)	IT Mailand, Venedig, Casale Monferrato, u.v.m.
Spice, <u>Robert</u> Paulson **	1814–1889	1882: Einhübiger Gasbehälter mit freistehendem Wasserbecken und Rahmengerüst aus schlanken Säulen in Fakenham (<i>Siehe Kap. C.2.3.-6.1.1.</i>) 1884: Gasbehälter in Great Yarmouth (<i>Siehe Kap. C.2.3.-6.2.2.</i>)	UK Fakenham, Great Yarmouth, u.a.
Stevenson, Fletcher W.	unbekannt	1880: Zweihübiger Gasbehälter mit vollwandigen Mantelständern in Chester (<i>Siehe Kap. C.2.2.-5.2.</i>) 1901: „Modern Appliances in Gas Manufacture“	UK Chester
Stratton, William	unbekannt	1818: „Doubled Gasholder“ (<i>Siehe Kap. C.2.2.-6.1.1.</i>)	UK London
Tait, William	unbekannt	1824: Gazomètre à Lunettes (<i>Siehe Kap. C.2.2.-6.1.2.</i>)	UK London
Trewby, <u>George</u> Careless *	1839–1910	Schüler von <i>Wyatt</i> * 1879: Zweigeschossiges Rahmengerüst mit gusseisernen Stützen in Beckton, London (<i>Siehe Kap. C.2.3.-6.2.2.</i>) Ab 1885: Rahmengerüste mit kastenförmigen Stützen in St. Pancras, London (<i>Siehe Kap. C.2.3.-6.2.3.</i>) 1889: Dreigeschossiges Rahmengerüst mit kastenförmigen Stützen in Bethnal Green, London (<i>Siehe Kap. C.2.3.-6.2.3.</i>)	UK London
Veevers, Harrsion **	1833–1907	1873: Wasserbecken mit zweischaligem Mauerwerk, Bolton (<i>Siehe Kap. C.2.4.-4.1.4.</i>)	UK Bolton
Webber, W.H.Y.	unbekannt	1877: Vorschlag für ein vollständig versenktes Ringbecken in Mischbauweise (<i>Siehe Kap. C.2.4-4.4.2</i>) 1887: Aufsatz über Hubteile ohne Gerüstführung (<i>Siehe Kap. C.2.2.-7.2.</i>)	unbekannt
Wiggins, John Henry	unbekannt	1936: Erfindung des Mitteldruck- bzw. Membrangasbehälters (<i>Siehe Kap.C.1.1.-2.</i>)	US Tulsa, Oklahoma
Woodall, Sir Corbet **	1841–1916	1875: Größter zweihübiger Gasbehälter mit zweigeschossigem Verbandgerüst (Einfache Auskreuzung, mit gusseisernen Säulen) in Kennington, London (<i>Siehe Kap. C.2.2.-.4.4+4.7.+4.8.+5.2.+6.3.1.+5.5.+6.4.2.; C.2.3.-7.1.1.</i>) 1878: Zweihübiger Gasbehälter mit zweigeschossigem Verbandgerüst (Einfache Auskreuzung, mit T-förmigen Stützen) ebenfalls in Kennington (<i>Siehe Kap. C.2.3.-7.1.3.</i>)	UK London

Winzer, Friedrich Albrecht	1763–1830	1809: Gründung der GLCC (<i>Siehe Kap. B.5.-1.</i>) 1816: Übersetzung von Accums Werk ins Französische (<i>Siehe Kap. B.1.</i>)	UK London F Paris
Wyatt, Vitruvius *	1825–1897	Schüler von Evans Ab 1878: Chief-Engineer des GW Bromley-by-Bow, London (davor <i>Kirkham</i> *) 1874: Zweihübiger Gasbehälter mit zweigeschossigem Rahmengerüst, geripptem Kuppeldach und Kompositbecken in Redheugh (<i>Siehe Kap. C.2.2.-4.5.+4.8+5.2+5.5.; C.2.3.-6.2.3.</i>) 1897: Kuppel mit abgerundetem Eckringträger in Beckett, London (<i>Siehe Kap. C.2.2.-4.8.</i>) 1876–1882: Zweigeschossiges Rahmengerüst mit Säulen, unterspannter Kuppel in Bromley-by-Bow, London (<i>Siehe Kap. C.2.2.-4.3.und 5.2.</i>)	UK London, Shoreditch, Redheugh, u.a.

)* Weiterführende Literatur zu den Biographien von Gasingenieuren siehe *Biographical Dictionary of Civil Engineers in Great Britain and Ireland, Vol 1–3, London 2002, 2008, 2014.*

)** Weiterführende Literatur zu den einzelnen Firmen und Ingenieuren siehe Tweedie: *Grace`s Guide to British Industrial History.*

)***) Weiterführende Informationen zu den einzelnen italienischen Protagonisten siehe Fortini: *Storia e Cultura dell`Industria.*

F.2. Glossar – Deutsch – Englisch – Italienisch

Tab. 2: Glossar – Gasbehälterkategorien Categories of Gasholders / Categorie di Gasometri		
Deutsch	Englisch	Italienisch
Gasbehälter	gasholder	gasometro (contenitore di gas)*
Behälter	holder, reservoir, vessel	<u>serbatoio</u> , contenitore, deposito
Niederdruckgasbehälter	low-pressure gasholder	gasometro a bassa pressione
Hydraulischer Gasbehälter	water-sealed/ hydraulic gasholder	gasometro a guardia idraulica
Glockengasbehälter (Einhübiger Gasbehälter)	bell-type gasholder (single-lift gasholder)	gasometro a campana (gasometro con una alzata)
Teleskopgasbehälter (Mehrhübiger Gasbehälter)	telescope-type gasholder (multi-lift gasholder)	gasometro a telescopio (gasometro con più alzate)
Gerüst-geführt	frame-guided	ad armatura di guida
Stützengerüst	column structure	armatura di appoggio
Rahmengerüst	frame structure	armatura a telaio
Verbandgerüst	braced structure	armatura a traliccio
Spiral-geführt (Schraubengasbehälter, Gerüstloser Gasbehälter)	spiral-guided (spiral-guided gasholder, frameless gasholder)	a guida elicoidale (gasometro elicoidale, gasometro senza armatura)
Seil-/ Kabel-geführt	rope-/ cable-guided	guidato a cavo
Trockengasbehälter	dry-sealed gasholder	gasometro a secco
Scheibengasbehälter	piston-type gasholder	gasometro a disco/ pistone
Mitteldruckgasbehälter	medium-pressure gasholder	gasometro a media pressione
Membrangasbehälter (Wiggins-Gasbehälter)	membrane gasholder (Wiggins-type gasholder)	gasometro a membrana
Hochdruckgasbehälter	high-pressure gasholder	gasometro ad alta pressione
Kugelgasbehälter	spherical gasholder	gasometro sferico
Kavernenspeicher	cavern gasholder	gasometro in cavità sotterranea
Röhrenspeicher	horizontal/ pipe holder	serbatoio tubolare

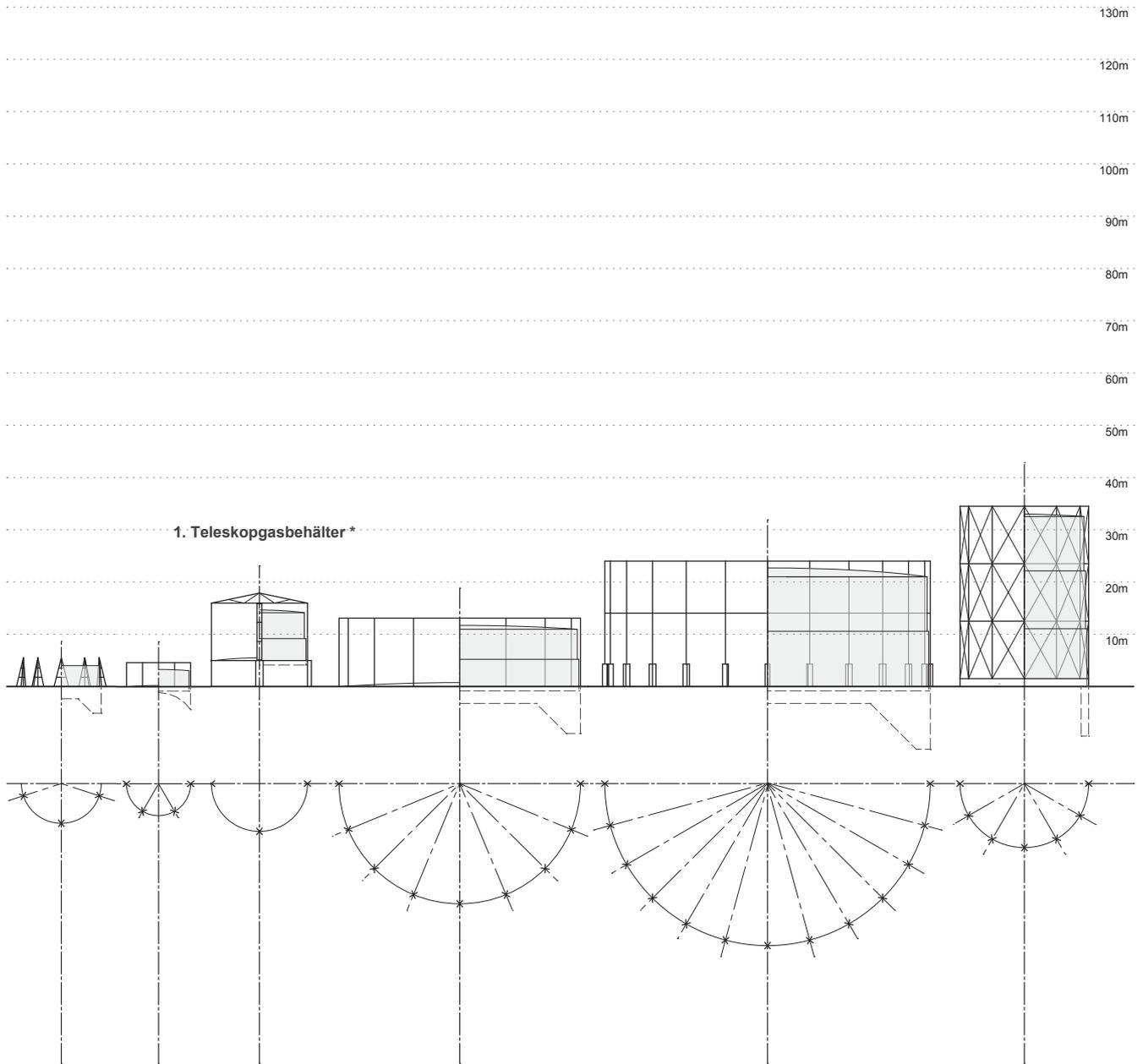
Tab. 3: Glossar – Hydraulischer Gasbehälter, Hubteil		
Hydraulic Gasholder, Lift / Gasometri a Guardia idraulica, Alzata		
Deutsch	Englisch	Italienisch
Glocke	bell	campana
Hubteil	lift	alzata
Erstes/ oberes/ inneres Hubteil	first/ upper/ inner lift	prima/ superiore/ interiore alzata
Zwischen-/ mittleres Hubteil	intermediate/ middle lift	intermedio/ media alzata
Letztes/ unteres/ äußeres Hubteil	last/ bottom/ outer lift	ultima/ inferiore/ esteriore alzata
Fliegendes Hubteil	flying lift	alzata „volante“ / sospesa
Dach und Kuppel	roof and crown	tetto e cupola
Flachdach	flat roof	tetto piano
Kuppeldach	flat crown	cupola a sesto ribassato
Mit Unterspannung	trussed	con capriate
Binderlos	untrussed	senza capriate
Gerippt	ribbed	nervata
Stabwerkkuppel (Schwedlerkuppel)	lattice (Schwedler-type crown)	a traliccio (cupola tipo Schwedler)
Stützkonstruktion	rest frame/ crown rest	impalcatura d'appoggio
Eckringträger	top ring beam	trave anulare superiore
Kuppelblech	crown covering	lamiera di cupola
Mantel	sides	involucro
Ringträger	ring beam	trave anulare
Mantelständer	post	montante di mantello
Mantelblech	mantle/ side covering	lamiera di involucro
Teleskopierung	telescoping	tecnica a telescopio
Schöpfzasse	cup	tazza d'attinto
Haktasse	grip	tazza d'aggancio
Führung	guiding	guidaggio (sistema di guida)
Führungsschiene	guide rail	montante di guida
Rolle	roller	carrucola
Gerüstrolle	frame roller	carrucola d'armatura
Mantelrolle	side roller	carrucola di involucro
Beckenrolle (Wasserrolle)	tank roller	carrucola di vasca
Rollenbock	carriage (or „goose-neck“)	cavalletto di carrucola
Gegengewicht	counterweight	contrappeso

Tab. 4: Glossar – Hydraulischer Gasbehälter, Führungsgerüst		
Hydraulic Gasholder, Guide Frame / Gasometri a Guardia Idraulica, Armatura di Guida		
Deutsch	Englisch	Italienisch
Führungsgerüst	guide <u>frame</u>	<u>armatura</u> di guida
Säule	column	colonna
Stütze	standard (post)	puntello
Träger	girder	trave
Verband	bracing	traliccio
Führungsschiene	guide rail	guida
Gerüstring/ -geschoss	tier	anello
Eingeschossiges Gerüst	single-tier guide frame	armatura ad un`anello singolo
Mehrgeschossiges Gerüst	multi-tier guide frame	armatura a più alzate
Stützensgerüst	column structure	armatura di appoggio
Dreibein-Stütze	tripod-standard (three-legged support)	puntello a tripode
Mauerwerkspfeiler	brick column	pilastro di muratura
Holzständer	timber post	montante di legno
Rahmengerüst	framed structure	armatura a telaio
Eingeschossig	single tier	anello unico
Einfache Ordnung (niedrig)	low single order	bassa ordine
Hochordnung	tall single order	alta ordine
Doppelsäule	double-column	colonna doppia
Einfache Säule	single-column	colonna singola
Mehrgeschossig:	multi tiers:	più anelli:
Additive Ordnung	additive order	ordine additiva
Verbandgerüst	braced structure	armatura a traliccio
Verband	bracing	traliccio
Windverband (vertikal)	wind bracing (vertical)	controvento (verticale)
Einfache Auskreuzung	single cross	croce singola
Zweifache Auskreuzung (nach Livesey)	double cross (Livesey-type)	croce doppio (tipo Livesey)
Dreifache Auskreuzung	triple cross	croce triplo
Trianguliert (Gerüst nach Cutler)	triangulated (Cutler-type frame)	a campi triangolati (armatura tipo Cutler)
Aufgelöst	detached	libero
Windverband (horizontal) (Verband nach Paddon)	wind bracing (horizontal) (Paddon-type ties)	controvento (horizontale) (controvento tipo Paddon)
Gasbehältergebäude	gasholder structure	casa gasometrica
Umgebendes Gebäude	enclosing structure	casa circostante

Tab. 5: Glossar – Hydraulischer Gasbehälter, Wasserbecken		
Hydraulic Gasholder, Tank / Gasometri a Guardia idraulica, Vasca		
Deutsch	Englisch	Italienisch
Wasserbecken	tank	vasca
Positionierung	position	posizione
Vollständig versenktes Becken	underground tank	vasca interrata
Teilweise versenktes Becken	partially underground tank	vasca parzialmente interrata
Freistehendes Becken	overground tank	vasca rialzata
Böschung	embankment-mounted	
Beckenformen	tank types	tipi di vasche
Flachbodenbecken	flat bottom tank	vasca bassa
Vollbecken	full tank	vasca piena
Kegelstumpfbecken	frustum-shaped tank (dumpling)	vasca a tronco di cono
Ringbecken	anular tank	vasca anulare
Kugelbodenbecken	spherical bottom tank	vasca a fondo sferico
Wölbmantelbecken (Tropfenförmiges Becken)	barrel-shaped tank (drop-shaped tank)	vasca a involucro curvato (vasca a forma di goccia)

Tab. 6: Glossar – Scheibengasbehälter		
Piston-type Gasholder / Gasometro a pistone		
Deutsch	Englisch	Italienisch
MAN-Typ (polygonaler Grundriss)	MAN-type (polygonal ground plan)	tipo MAN (pianta poligonale)
Klönne-Typ (kreisförmiger Grundriss)	Klönne-type (circular ground plan)	tipo Klönne (pianta circolare)
Mantel	shell	involucro
Scheibe	piston	pistone
Dach	roof	tetto
Laterne	lantern	lanterna
Abdichtung	sealing	tenuta ermetica
MAN	MAN	MAN
Scheibentasse	piston cup (or trough)	tazza di pistone
Flüssigkeitsdichtung	fluid-sealing	tenuta fluida
Dichtflüssigkeit	sealing fluid	fluido di guarnizione
Teer	tar	catrame
Mineralöl	mineral oil	olio minerale
Klönne	Klönne	Klönne
Trockendichtung	dry sealing	guarnizione a secco
Dichtungsring	sealing-ring	anello di guarnizione
Gummidichtung (mit Schmierfett)	rubber-sealing (lubricated with grease)	guarnizione a gomma (ingrassata)

F.3. Schautafel: Entwicklung des Gasbehälterbaus im 19. und frühen 20. Jahrhundert



1829	1830	1834	1847	1858	1861
Fulham o. Ing.	o. O. o. Ing.	Vauxhall, London S. Hutchison	Kennington, London o. Ing.	Bethnal Green, London J. Clark	Blackfriars Station, London W. Mann
D= 15,20m H= ca. 5,50m V= ca. 1.000m ³	D= 12,20m H= 4,60m V= ca. 550m ³	D= ca. 18,30m H= ca. 11,00m V= ca. 2.890m ³	D= 45,72m H= ca. 12,00m V= 17.840m ³	D= 62,18m H= ca. 24,00m V= 69.376m ³	D= ca. 24,00m H= ca. 33,50m V= ca. 15.800m ³

)* 1. Realisierter Teleskopgasbehälter



Abb. 1: Entwicklung des Gasbehälters von 1820 bis 1861 (BB, 2019).

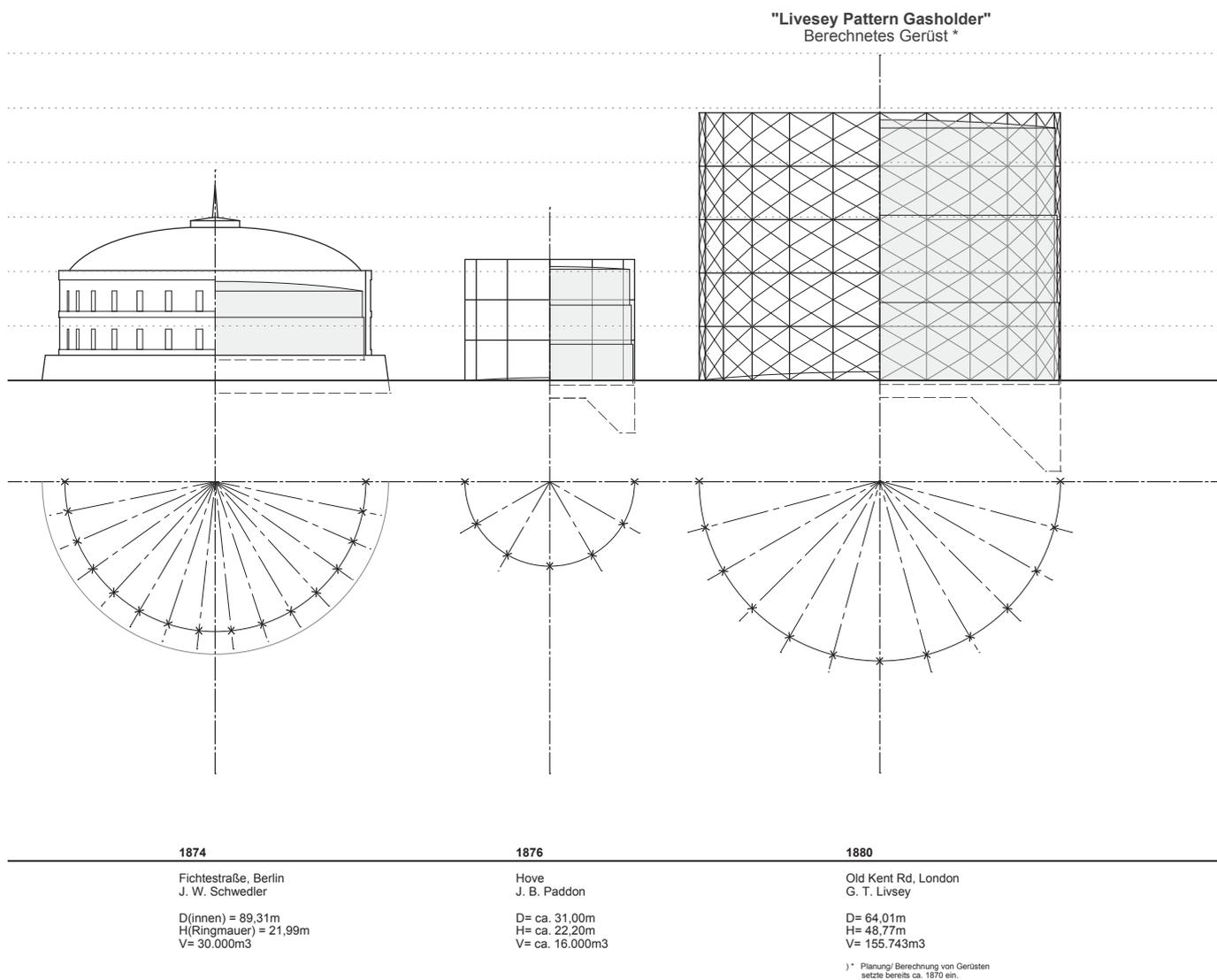
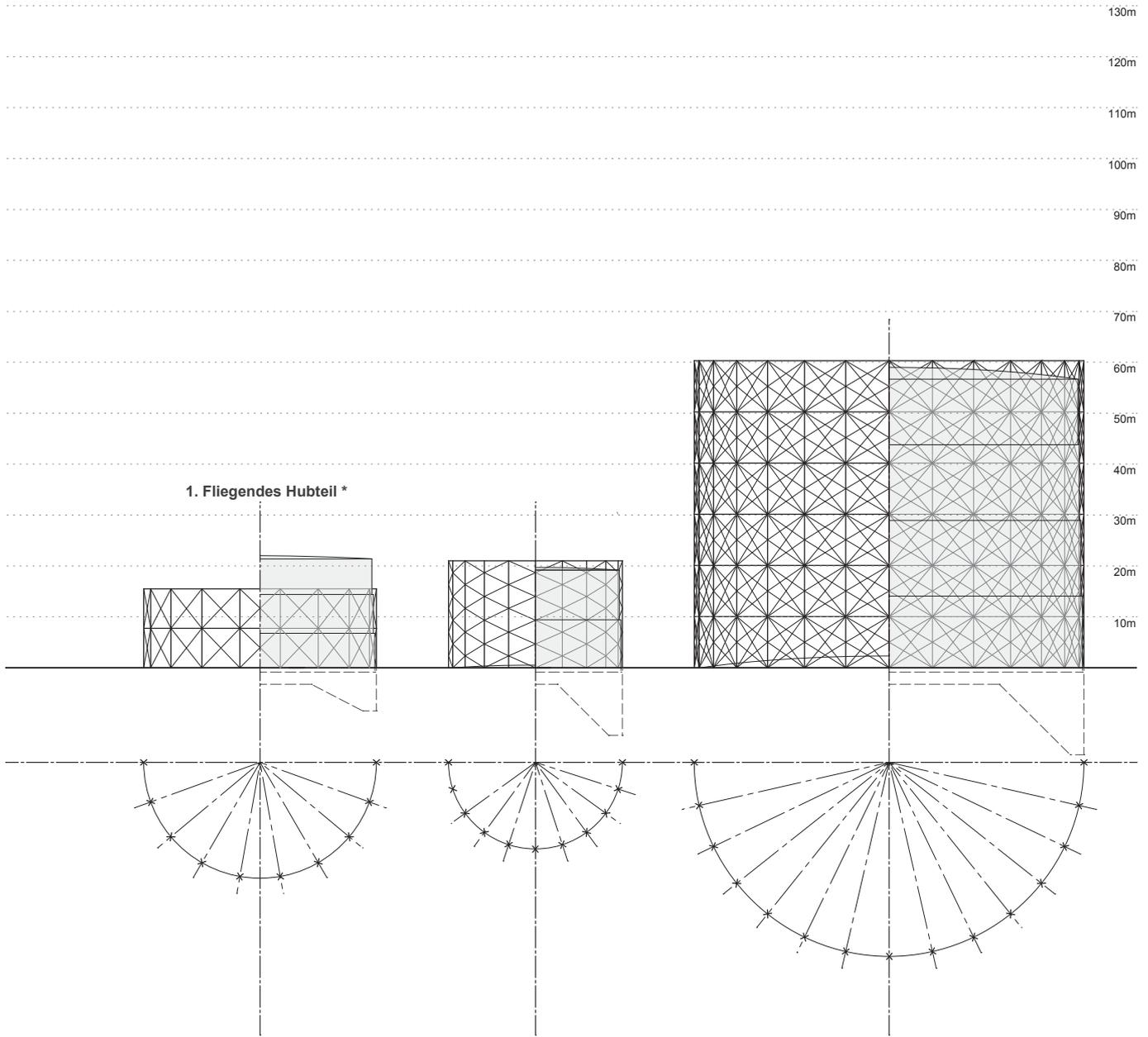


Abb. 2: Entwicklung des Gasbehälters von 1874 bis 1880 (BB, 2019).



1. Fliegendes Hubteil *

1887 (Fliegendes Hubteil)

Rotherhithe, London
George T. und Frank Livesey

D= 45,72m
H (Gerüst)= ca. 15,50m
V= ca. 19.700m³

*) 1. Realisiertes fliegendes Hubteil

1889

Turnbridge Wells
S. Cutler

D= ca. 35,00m
H= ca. 22,00m
V= 18.321m³

1889

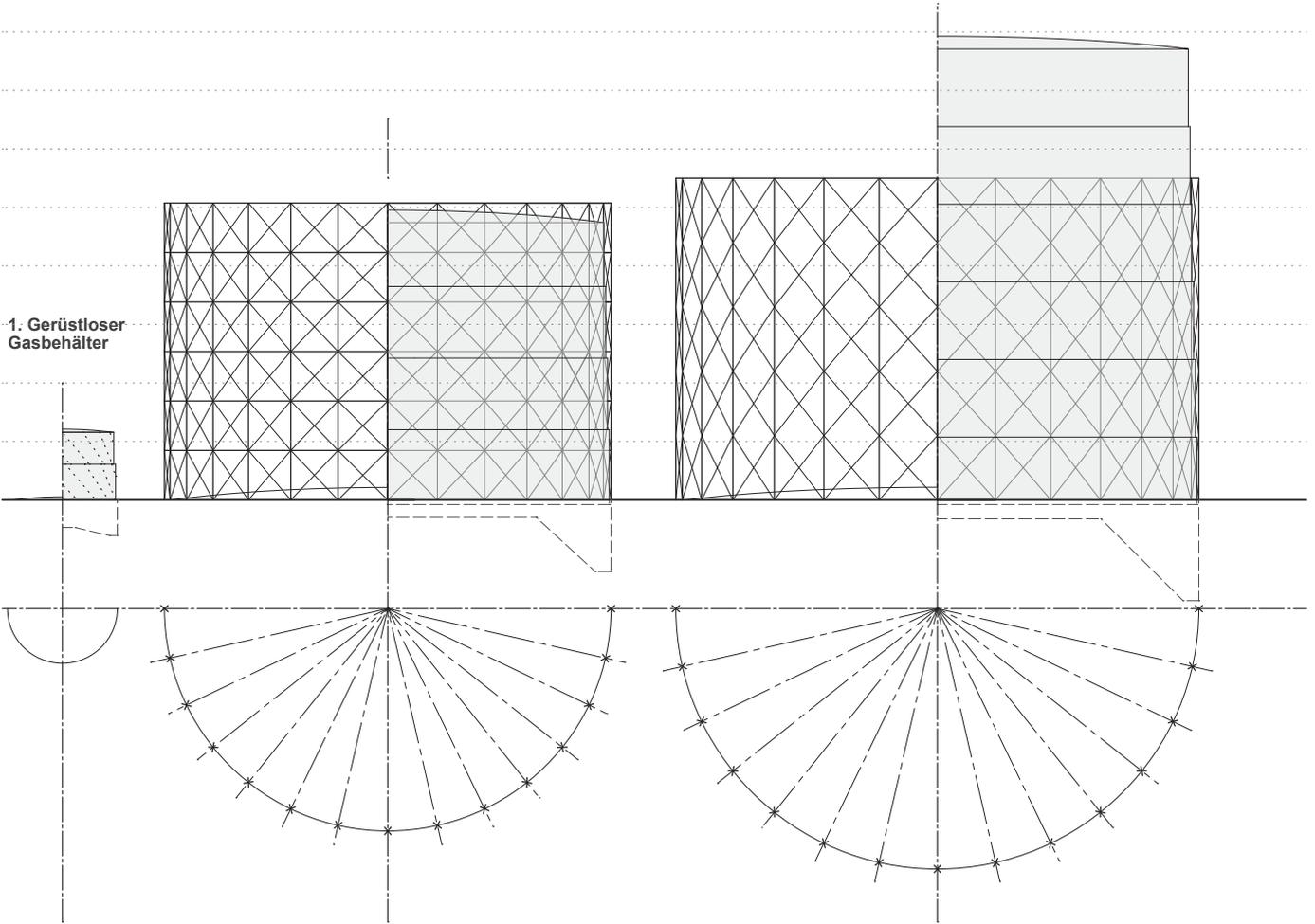
East Greenwich, London
G. T. Livesey

D= 76,20m
H= 60,35m
V= 232.198m³



Abb. 3: Entwicklung des Gasbehälters von 1887 bis 1889 (BB, 2019).

Größter, hydraulischer Gasbehälter Großbritanniens
mit aufgelöstem Verbandgerüst



1889

Northwich, Cheshire
Gadd & Mason

D= ca. 18,70m
H(Becken) = 6,10m
V= 3.086m³

1891

Kensal Green, London
G. Trewby

D= 76,20m
H= 50,75m
V= 212.377m³

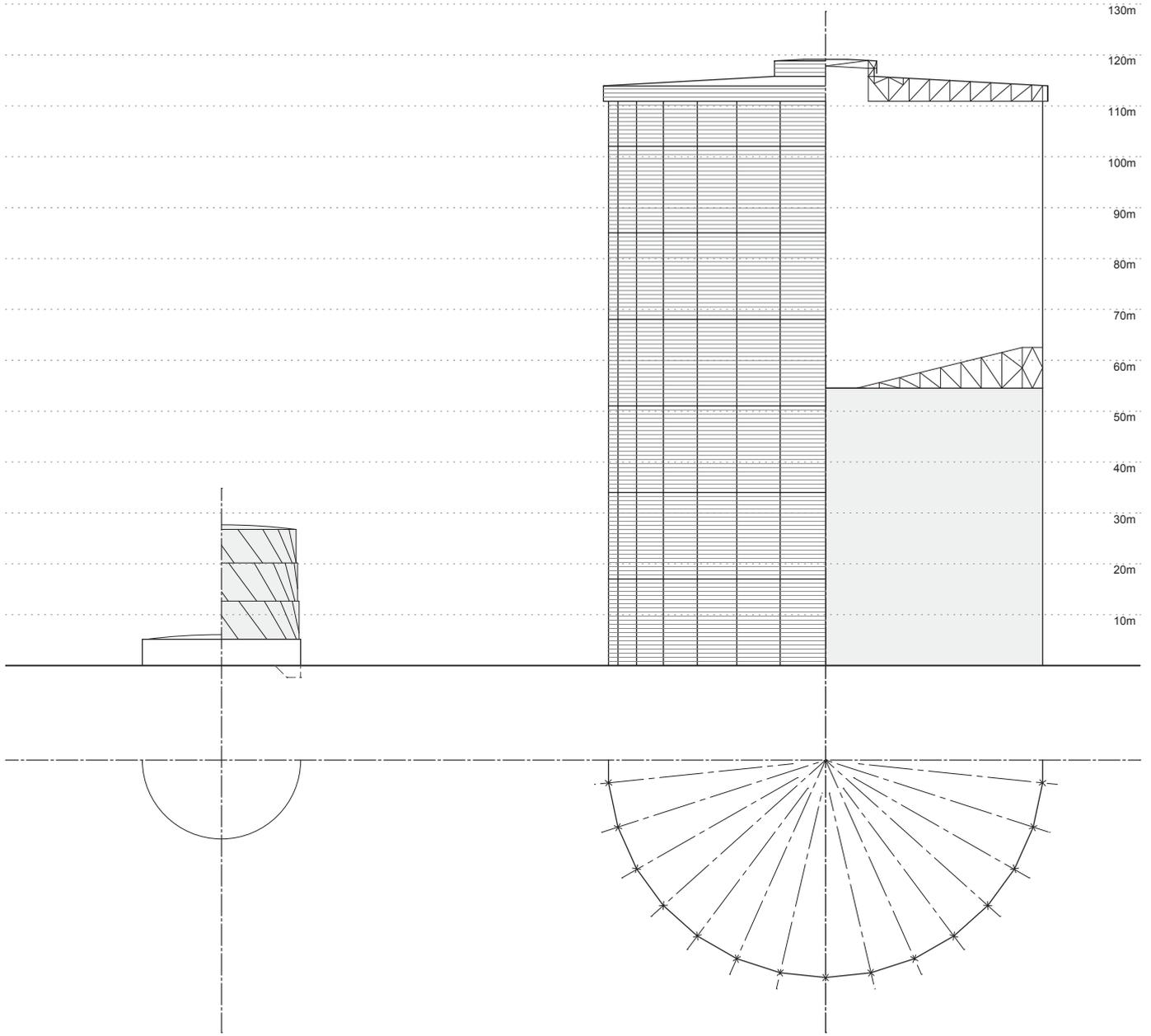
1892

East Greenwich, London
G. T. Livesey

D= 89,31m
H= 54,86m
V= 339.802m³

Abb. 4: Entwicklung des Gasbehälters von 1889 bis 1892 (BB, 2019).

Weltweit größter MAN-Scheibengasbehälter



1894

Chester
Gadd & Mason
D= 31,09m
H(Becken) = 7,46m
V= ca. 15.000m³

1924

Chicago
MAN
D= 85,00m
H = 114,00m
V= 566.000m³



Abb. 5: Entwicklung des Gasbehälters um 1894 bis 1924 (BB, 2019; rechts: Rekonstruktion nach Leffer, 2019).

LITERATURVERZEICHNIS

B./ C. ENTSTEHUNGS- UND BAUKONSTRUKTIONSGESCHICHTE

- Accum, Friedrich Christian (1815): *A Practical Treatise on Gas Light: Exhibiting a Summary Description of the Apparatus and Machinery Best Calculated for Illuminating Streets, Houses and Manufactories with Carburetted Hydrogen, or Coal Gas: with Remarks on the Utility, Safety and General Nature of this New Branch of Civil Economy*, 2nd edition, London.
- Accum, Friedrich Christian (1816a): *Praktische Abhandlung über das Gaslicht – vollständige Beschreibung des Apparats und der Maschinerie, um Straßen, Häuser und Manufacturen zu beleuchten, enthaltend*; Übersetzung aus dem Englischen von Prof. August Wilhelm Lampadius, Weimar.
- Accum, Friedrich Christian (1816b): *Praktische Abhandlung über die Gaserleuchtung; enthaltend eine summarische Beschreibung des Apparats und der Maschinerie, welche am tauglichsten sind, Straßen, Manufacturen und Privatgebäude mit Kohlen-Wasserstoffgas oder Kohlengas zu erleuchten, mit Bemerkungen über die Nützlichkeit und Sicherheit dieses neuen Zweiges, des bürgerlichen Haushalts und dessen Natur im allgemeinen*, Übersetzung aus dem Englischen, Übersetzer unbekannt, Berlin.
- Accum, Friedrich Christian (1816c): *Traité pratique de l'éclairage par le Gaz inflammable, contenant une description sommaire de l'appareil e du mécanisme employés pour illumination des rues, des maisons et des manufactures, A l'aide du gaz hydrogène carburé, tiré du charbon de terre; Accompagné de remarques sur l'utilité, la sûreté et la nature générale de cette nouvelle branche d'économie civile; 3e édition*. Übersetzung durch Friedrich Albrecht Winzer, Paris.
- Accum, Friedrich Christian (1817): *Trattato pratico sopra il gas illuminante, contenente una completa descrizione dell'apparecchio e delle macchine opportune per illuminare col gas idrogeno carbonato, ossia gas di carbonio, le contrade, le case e le manifatture con alcuni osservazioni sopra l'utilità, la sicurezza e la natura di questo nuovo ramo di civile economia*; Übersetzung der 2. Ausgabe aus dem Englischen, Mailand.
- Accum, Friedrich (1819): *Description of the process of manufacturing coal gas. For the lighting of streets houses, and public buildings, with elevations, sections and plans, of the most improved sorts of apparatus, now employed at the Gas Works of London and the principal provincial towns of Great Britain*. London.
- American Oil & Gas History Society (2016): *Horace Horton`s Spheres, posted on December 14th, 2016*, retrieved from <http://aoghs.org/transportation/hortonspheres/> on 2019, February 5th.
- Barizza, Sergio; Resini, Daniele (2004): *Porto Marghera: il Novecento industriale a Venezia*, Ponzano-Treviso.
- Becher, Hilla; Becher, Bernd (2013): *Gasbehälter*, München-Paris-London.
- Beck, Ludwig (1899): *Die Geschichte des Eisens in technischer und kulturgeschichtlicher Beziehung*; Vierte Abteilung; Das XIX Jahrhundert von 1801–1860; Braunschweig.
- Beckert, Theodor (1900): *Leitfaden zur Eisenhüttenkunde*; Berlin.
- Bennett, A.S. (1986): *Samuel Clegg & Stoneyhurst College*, o.O.
- Berger, Barbara; Brenner, Esther (2008): *Die Gasometer von San Francesco della Vigna, Venedig*, Diplomarbeit an der TUM im WS 2008/09, Lehrstuhl für Tragwerksplanung, Prof. Dr.-Ing. Rainer Barthel, Band 27, München.

- Berger, Barbara (2015): The Gasholder – Shaped by its function, in: Bowen, Brian; Friedman, Donald; et al. (Eds.) *5th International Congress on Construction History, Proceedings*. Vol. 1. Chicago, 2015, pp. 203–210.
- Bock, Sabine (2011): Exkurs 1: Denkmäler der Technik-, Industrie- und Verkehrsgeschichte, in: Hubel, Achim, et al.: *Denkmalpflege. Geschichte – Themen – Aufgaben. Eine Einführung*, Stuttgart, pp. 214–244.
- Birse, Ron (2002): Murdock (Murdoch) William, in: Skempton, Alec (Ed.): *Biographical Dictionary of Civil Engineers in Great Britain and Ireland, Vol 1, 1500–1830*, London, pp. 458–460.
- The British Commercial Gas Association (1931): *Daylight by Night. A Record of some of the Modern Installations of Gas Lighting in Important thoroughfares in Great Britain*. Konferenzbroschüre des 2nd International Congress of the International Commission on Illumination held in Great Britain in September 1931.
- Calzavara, Vittorio (1899): *L'Industria del gaz illuminante*, Mailand.
- Cavendish, Henry (1766): Three papers, containing Experiments on factitious Air. in: *Philosophical Transactions (1683–1775)*, Vol. LVI, London, pp. 141–184.
- Chandler, Dean (1936): *Outline of History of Lighting by Gas*, London.
- Chrimes, Mike (2008): Kirkham, John; Thomas Nesham Kirkham; Trewby George Careless, Livesey family, Wyatt, Vitruvius, in: Cross-Rudkin, P.S.M.; Chrimes, M.M. (Eds.): *Biographical Dictionary of Civil Engineers in Great Britain and Ireland, Vol 2, 1830–1890*, London. pp. 448–449 (Kirkham); ; pp. 482–483 (Livesey); pp. 790–791 (Trewby); p. 862 (Wyatt)
- Colburn, Zerah (1865): *The Gas-Works of London*, London.
- Clark, Jonathan (2002): Volatile Heritage, St Pancras gasholders, in: English Heritage (eds.): *Conservation Bulletin*, Issue 42, March 2002, pp. 82–83
- Clegg, Samuel jun. (1841): *A Practical Treatise on the Manufacture and Distribution of Coal Gas, its Introduction and Progressive Improvement, illustrated by engravings from workings, with general estimates*. London.
- Clegg, Samuel jun. (1859): *A Practical Treatise on the Manufacture and Distribution of Coal Gas, its Introduction and Progressive Improvement, illustrated by engravings from workings, with general estimates. Third edition*. London.
- Clegg, Samuel jun. (1866): *A Practical Treatise on the Manufacture and Distribution of Coal Gas, its Introduction and Progressive Improvement, illustrated by engravings from workings, with general estimates. Fourth edition*. London.
- Clovis (1836a): Hutchinson's Double-Lifting Gasholder. In: *The Mechanics' Magazine, Museum, Register, Journal and Gazette*, Oct. 3–April 2, 1836, Vol. XXIV, London, 1836a, p. 322–323
- Clovis (1836b): Tait's and Hutchinson's Gasometers. In: *The Mechanics' Magazine, Museum, Register, Journal, Gazette*. Vol. XXIV, London, 1836b, pp. 413–415.
- Colson, A. (1891): The Leicester Gas-Works Extensions. in: JGL-57.
- Cooper, Thomas (1816): *Some Information concerning Gas Lights*. Philadelphia.

- Cripps, F. Southwell (1882): An Investigation into the Strains upon the Top Curb of a Gasholder, with Remarks on Construction, etc. in: *JGL-40*, pp. 170–172.
- Cripps, F. Southwell (1884): *Gasholder Crowns*, in: *JGL-43*, pp. 1128–1133.
- Cripps, F. Southwell (1889): *The Guide-Framing of Gasholders and other Papers chiefly relating to Strains in Structures connected to Gas-Works*. London.
- Cripps, F. Southwell; Pease, E. Llyod (1893): *Gasholders with or without guide-framing*, London.
- Cripps, F. Southwell (1898): *Gasholder and Tank (of one million cubic feet capacity) at the Sutton Gas-Works. Embracing notes to gasholder construction generally*. London.
- Dempster, R&J limited (1925): *Sectional Catalogue for Gasholders, Tanks &c.*, Manchester.
- Deutscher Verein von Gas- und Wasserfachmännern (1959): *100 Jahre Deutscher Verein von Gas- und Wasserfachmännern. 1859–1959*, München.
- Dingler, Johann Gottfried; Dingler, Emil Maximilian (eds.) (1852): Verbesserungen in der Construction der teleskopartigen Gasometer, welche sich Joshua Horton, Gasometerfabrikant, zu Smethwick in Staffordshire, am 2. Jan. 1851 patentiren ließ. In: *Polytechnisches Journal, Band 123*, Stuttgart, Tübingen, 1852, pp. 289–290.
- Elton, Julia (2014): Cutler, Samuel II; Gadd William; Jones, Henry Edward; Jones, Robert; Pease, Edward Lloyd; Paddon, John B.
in: McWilliam, Robert C.; Chrimes, Mike (Eds.): *Biographical Dictionary of Civil Engineers in Great Britain and Ireland, Vol 3, 1890–1920*, London, 2014. pp. 160–163 (Cutler); pp. 222–224 (Gadd); pp. 332–335 (Jones H.); pp. 335–337 (Jones R.); pp. 490–492 (Pease); pp. 466–468 (Pease)
- Etholén, Katriina (2012): Dismissed gasholders. Some major cases in Northern Europe, in: *Patrimoine de l'industrie/ Industrial Patrimony – resources, practices, cultures, 27, 2012-1* (TICCIH), pp. 33–39.
- Exner, Dietrich (2003): *Geschichte und Geschichten ums Dresdner Gas. Dresden, 175 Jahre öffentliche Gas-Versorgung, 1828–2003*, Dresden.
- Frühschütz, Oliver (2019): *Gaswerk Augsburg: Gasbehälter in Augsburg*. Retrieved from http://www.gaswerk-augsburg.de/gasbehaelter_augsburg.html on 2019, February 5th.
- Ganser, Karl; Frühschütz, Oliver; et al. (2007): *Standort Gaswerk für Handwerk, Kunsthandwerk und Kunst*, Augsburg.
- The Gas Light and Coke Company (eds.) (1912): *The Gas Light and Coke Company, 1812–1912*, London.
- Gifford, William (1808): An heroic epistel to Mr. Winsor, in: *The Anti-Jacobin Review and Magazin; or Monthly Political and Literary Censor: from May to August (inclusive) 1808*. Volume XXX. London, 1808, pp. 17–22.
- Giuntini, Andrea (1990): *Dalla Lyonnaise alla Fiorentina gas, 1839–1989*, Rom.
- Grabmeier, Margarete (2015): *Statisch-konstruktive Untersuchungen an der Eisenkonstruktion eines Teleskopgasbehälters aus dem 19. Jahrhundert*, Bachelorarbeit am Lehrstuhl für Statik Prof. Dr.-Ing. K.-U. Bletzinger und dem Lehrstuhl für Tragwerksplanung, Prof. Dr.-Ing. Rainer Barthel, TUM.

- Gross, Fritz (1960): *Stahlbehälter für flüssige und gasförmige Stoffe. Entwurf – Vorschriften – Herstellung*, Düsseldorf.
- Hales, Stephen (1727): *Vegetable Staticks: Or an Account of some Statical Experiments on the Sap in Vegetables: Being an Essay towards a Natural History of Vegetation. Also a Specimen of an Attempt to Analyze the Air, by a Great Variety of Chymio-Statical Experiments; which were read at several Meetings in front of the Royal Society*. London.
- Hatheway, Allen W. (2012): *Remediation of Former Gas Plants and other Coal-Tar Sites*. o.O.
- Haug, Albert (2007): *150 Jahre Ulmer Gas. Retorten. Gasometer. Exhaustoren. 1857–2007*, Ulm.
- Helas, Volker; Will, Thomas (1997): *Hans Erlwein. Stadtbauraut in Dresden. 1905–1914*, Dresden.
- Helmerich, Rosemarie (2005): *Alte Stähle und Stahlkonstruktionen. Materialuntersuchungen, Ermüdungsversuche an originalen Brückenträgern und Messungen von 1990–2003*, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Bremerhafen.
- Helmont, Johann Baptista van (1648): *Ortus medicinae. Id est initiae physicae inaudita. Progressus medicinae novus, in morborum vultionem, ad vitam longam*. Amsterodami.
- Helmont, Johann Baptista van (1682): *Opera omnia : additis his de novo tractatibus aliquot posthumis eiusdem authoris, maxime curiosis pariter ac perutilissimis, antehac non in lucem editis ; una cum indicibus rerum ac verborum ut locupletissimis, ita et accuratissimis*. Francofortum.
- Herring, Walter Ralph (1893): *The Construction of Gas Works practically described. 2nd edition*, London.
- Herring, Walter Ralph (1907): *The Granton Gas-Works Edinburgh. Their Design, Construction, & Equipement*, London.
- Hertwig, August (1930): *Johann Wilhelm Schwedler. Sein Leben und sein Werk*. Berlin.
- Hoffmann, C. (1845): *Monographie der Gas-Beleuchtung. Sechs Vorträge, gehalten in den Versammlungen der Polytechnischen Gesellschaft zu Berlin in den Monaten April und Mai 1845*, Berlin.
- Hönigsberg, Otto (1914): *Die Kessel- und Maschinenbaumaterialien nach Erfahrungen aus der Abnahmepraxis kurz dargestellt für Werkstätten- und Betriebsingenieure und für Konstrukteure*, Berlin.
- Horton, George T. (1947): *US 2,427,676: Spherical Tank*, United States Patent Office, Chicago.
- Hughes, Samuel (1853): *A Treatise on Gasworks and the Practice of Manufacturing and Distribution of Coal Gas*, London.
- Hughes, Samuel (1865): *A Treatise on Gasworks and the Practice of Manufacturing and Distribution of Coal Gas, 2nd edition, revised by Richards, William*, London.
- Hunt, Charles (1900): *Chemical Technology or Chemistry in its Applications to Arts and Manufactures. Vol. III Gas Lighting*, London.
- Hunter, Robert (1897): *Notes on the Construction, and the Experience in the Working, of the Gadd and Mason Spiral-Guided Holder at the Chester Works, in Dunn, Walter T. (Ed.): The*

Incorporated Gas Institute. Transactions 1897. Report of the Thirty-Fourth Annual Meeting held at the Guildhall, Bath. Westminster, 1897, pp. 81–89.

Intze, Otto (1883): *DE 24951 A: Gasometer-Bassin aus Mantelblech.* Kaiserliches Patentamt.

Intze, Otto (1886): *US 348 912 A: Fluid-Reservoir.* United States Patent Office.

ITG (1938): Fondo Sales faldone 322 neu: f1 Gasometri a vasche: *ANSALDO: Gasometri a secco, Licenza Kloenne.* Bergamo.

JGL, Greaves Barlow, Thomas (Ed.): *The Journal of Gas Lighting*, Vol. 1, 1849–50, London

- Vol. 2, 1851–1852

- Vol. 3, 1853–1854

- Vol. 4, 1855

- *Journal of Gas Lighting, Water Supply, and Sanatary Improvement*, Vol. 5, 1856, London

- Vol. 7, 1858

- Vol. 10, 1861

- Vol. 11, 1862

- Vol. 12, 1863

- Vol. 18, 1869

- Vol. 21, 1872

- Vol. 22, 1873

- Vol. 24, 1874

- Vol. 25, 1875

- Vol. 26, 1875

- Vol. 33, 1877

- Vol. 35, 1880

- Vol. 36, 1880

- Vol. 37, 1881

- Vol. 38, 1881

- Vol. 40, 1882

- Vol. 43, 1884

- Vol. 45, 1885

- Vol. 46, 1885

- Vol. 47, 1886

- Vol. 49, 1887

- Vol. 51, 1888

- Vol. 52, 1888

- Vol. 53, 1889

- Vol. 54, 1889

- Vol. 55, 1890

- Vol. 56, 1890

- Vol. 57, 1891

- Vol. 60, 1892

- Vol. 61, 1891

- Vol. 63, 1894

- Vol. 64, 1894

- Vol. 65, 1895

- Vol. 66, 1895

- Vol. 69, 1897

Käpplein, Rudolf; Wielgosch-Frey, Andrea (2001): Historische Eisen- und Stahlkonstruktionen.

Untersuchen, Berechnen, Instandsetzen. Aus der Reihe: Wenzel, Fritz; Kleinmanns, Joachim (Eds.): *Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke. Empfehlungen für die Praxis.* Karlsruhe.

- Karlsch, Rainer (2008): *Vom Licht zur Wärme. Geschichte der ostdeutschen Gaswirtschaft 1855–2008*. Berlin.
- Klönne, August Fa. (1926): DE 473 314 A: *Abschlußkolben für Behälter zum Aufspeichern von Gas*, Deutsches Reich, Reichspatentamt, Patentiert am 7. Januar 1926.
- Klönne, August Fa. (1936): DE 655 123 A: *Gasbehälter*, Deutsches Reich, Reichspatentamt, Patentiert am 14. August 1936.
- Klönne, A. (1950): Konstruktionen im Gasbehälterbau und Probleme der Gasspeicherung, in: Haus der Technik (eds.): *Technische Mitteilungen*, 43. Jahrgang, Heft 5, Mai, 1950, Essen, pp. 293–298.
- Kloss, Günter (1997): *Hans Erlwein (1872–1914) Stadtbaurat von Bamberg und Dresden*, Petersberg.
- Knapp, Friedrich Ludwig (1860): Geschichte der Gasbeleuchtung, in: Schilling, Nikolaus Heinrich: *Handbuch für Steinkohlengas-Beleuchtung*, München, pp. 1–11.
- Kühnell, A. (1845): Beschreibung des bei der älteren Gasanstalt vor dem Halle'schen Thore zu Berlin im Jahre 1845 errichteten neuen Gasbehälterhauses. In: *Notizblatt des Architekten-Vereins zu Berlin*. Ausgabe 1845, Nr. 25 u. 26, pp. 179–180.
- Kurrer, Karl-Eugen (2013): Das Fachwerk erobert die dritte Dimension: 150 Jahre Schwedler-Kuppel, in: *momentum magazin*, Historie, 31. Januar 2013, retrieved from <http://momentum-magazin.de/de/150-jahre-schwedler-kuppel/> on 2019, February 5th.
- Lavoisier, Antoine Laurent de (1782): Mémoire sur un moyen d'augmenter considérablement l'action de feu e de la chaleur, dans les opérations chimiques, in: Dumas, J.-B., Grimaux B., et al. (Eds.) (1862): *Oeuvres de Lavoisier, Mémoires de Chimie e de Physique*, Tome second, Paris, pp. 423–431.
- Lavoisier, Antoine Laurent de (1789a): *Traité Élémentaire de Chimie. Présenté dans un ordre nouveau et d'après les découvertes modernes. Tome premier*. Paris.
- Lavoisier, Antoine Laurent de (1789b): *Traité Élémentaire de Chimie. Présenté dans un ordre nouveau et d'après les découvertes modernes. Tome second*. Paris.
- Lavoisier, Antoine Laurent de (1774): *Opuscules physiques et chimiques. Tome premier*. Paris.
- Layton, Walter T. (1920): *The Early Years of the South Metropolitan Gas Company*, London.
- Lebon, Philipp (1802): *Nachricht von einer ganz neuen, außerordentlichen, vom Pariser National-Institut geprüften, und durch ein Erfindungs-Patent authorisirten Entdeckung einer Thermo-Lampe oder eines Spar-Ofens, welcher alle Zimmer im ganzen Hause heizet, beleuchtet und allen Maschinen eine Bewegkraft zu geben, anwendbar ist*. Paris.
- LEF-A (1953): MAN: *Objekt: Stadtwerk Augsburg* [Technisches Datenblatt], zuletzt geändert am 22.12.1953.
- LEF-A (1954): MAN: *Stadtwerke Augsburg, MAN-Scheibengasbehälter 100.000 m3. Statische Berechnung der Dach- und Mantelkonstruktion*. Gustavsburg.
- Leffer, Hans Stahl- und Apparatebau GmbH (2006): *Leffer Scheibengasbehälter – System MAN. Firmenkatalog*. Saarbrücken.

- Leicester, Henry M.; Klickstein, Herbert S. (1952): *A Source Book in Chemistry. 1400–1900.* Cambridge.
- Livesey, George T. (1887): The Guide-Framing of Gasholders. in: *JGL-49, London, 1887*, pp. 761–762.
- Livesey, George T. (1888): The Guide-Framing of Gasholders: How, and how far, may it be dispensed with? In: *JGL-52, London, 1888*, pp. 846–847, 887–890.
- Livesey, George T. (1889): Piggott's Gasholder Cups, in: *JGL-53, London, 1889*, p. 493
- Livesey, George T. (1892): The Six-Lift Holder at East Greewich. in: *JGL-60, 1892*, p. 948.
- Lorenz, Werner (1995): *Konstruktion als Kunstwerk. Bauen mit Eisen in Berlin und Potsdam 1797–1850*, Berlin.
- Lueger, Otto (1905): *Lexikon der gesamten Technik und ihrer Hilfswissenschaften, 2. Auflage, Band 6*, Stuttgart.
- Maiben, John (1813): *A Statement of the Advantages to be Derived from the Introduction of Coal Gas into Factories and Dwelling Houses, as a Substitute for the Lights now in Use Microform : together with Observations on the Method of Making and Using it*, Perth, 1813.
- Malam, C.J. (1911): The Gas Meter, 1887, in: The Gas Light and Coke Company (Eds.) *Co-Partners' Magazine*, Vol. 1, London.
- MAN (1907): *DE-220933, Klasse 37f, Gruppe 3: Flüssigkeitsbecken, bestehend aus Ringen und zwischen ihnen liegenden gewölbten Blechen.* Kaiserliches Patentamt, Berlin.
- MAN (1908): *M.A.N. Zeitung, Nr. 5, Oktober 1908*, Augsburg, 1908.
- MAN (1909a): *DE 220 988 A, Klasse 37f, Gruppe 3: Flüssigkeitsbecken. (Zusatz zum Patent 220933)*, Kaiserliches Patentamt, Berlin.
- MAN (1909b): *Gasbehälter. Geschichtliches und Bauarten von Gasbehältern*, Gustavsburg.
- MAN (1909c): *Gasbehälter. Allgemeines*, 2. Auflage, Gustavsburg.
- MAN (1909d): *Über Gasbehälter. Mit besonderer Berücksichtigung des im Bau begriffenen Gasbehälters für 150000 cbm Nutzinhalt der Gaswerke in Wien-Simmering. Auszug aus einem Vortrag, gehalten von Rudolph Schuhmann, Ingenieur der Wiener städtischen Gaswerke, am 12. November 1908 (...)*, Wien.
- MAN (1912): *Die MAN in der Gasindustrie*, Mitteilung Nr.28, VIII. Gustavsburg.
- MAN (1913): *DE 281 482 A, Klasse 4c, Gruppe 33 (1915): Gasbehälter mit einem an der Innenwand des Behälters gleitenden Abschlusskörper.* Kaiserliches Patentamt, Berlin.
- MAN (1930): *MAN Gasbehälter. Mitteilung M55/II.* Ausgabe Oktober. Gustavsburg.
- MAN (1936): *MAN Scheiben-Gasbehälter. Ihre Entwicklung und Verbreitung. Mitteilung M55/III.* Gustavsburg.
- MAN (1957): *Werkszeitung der MAN. 1957-07.* Augsburg.
- MAN (1959): *Werkszeitung der MAN. 1959-04.* Augsburg.

- MAN-A (1909): Kasten 356-a: *Städtisches Gaswerk Augsburg. Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg A.G.: Vertrag für Gasbehälter von 25000cbm*. Augsburg.
- MAN-A (1920): 356-132.32: *Lizenz auf Wölbbecken, Sam Cutler & Sons, Ltd., London. Mitteilung an Nürnberg, Generaldirektion*. Gustavsburg.
- MAN-A (1949): Kasten 356a: Zu „Entwicklung im Gasbehälterbau“, 1.): Steininger: *Vergleichende Gegenüberstellung – der Trockengasbehälter System „MAN“ und System „Klönne“*, 09.02.1949, Essen-Stadtwald.
- MAN (2017): Geschichte: MAN Chronik, in: MAN Global Corporate Website, retrieved from: <https://www.corporate.man.eu/de/unternehmen/geschichte/man-chronik/MAN-Chronik.html>, on 2017, August 21st.
- Mann, William; Ker, Alex P. (1887): The Guide-Framing of Gasholders, in: *JGL-49, London, 1887*, p. 907.
- Matthews, William (1827): *An Historical Sketch of the Origin and Progress of Gas-lighting*, London.
- Meade, Aldwyne (1916): *Modern Gasworks Practice*, London.
- Meusnier, Jean-Baptiste (1782): Description d`un appareil propre à manoeuvrer différentes espèces d`air, in: Dumas, J.-B., Grimaux B., et al. (Eds.) (1862): *Oeuvres de Lavoisier, Mémoires de Chimie e de Physique*, Band 2, Paris, pp. 432–440.
- Meyer (1909): *Meyers Kleines Konversations-Lexikon in sechs Bänden*, 7. Auflage; Zweiter Band; Leipzig-Wien.
- Meyer, Oswald (1914): *Geschichte des Elektroisens*; Berlin-Heidelberg.
- Miele, Chris (1997): The King`s Cross gasholders, in: Stanier, Peter (ed.): *Industrial Archaeology News* 103, Winter 1997, Salisbury-Wiltshire, pp. 2–3.
- Milbourne, Robert John (1923): *Design and Construction of a 12 1/2 Million Gasholder*, London.
- Milbourne, Robert John (1929): *Gasholders and Gasholder Sheeting*, Wellington-Salop.
- Mills, Mary (2013): George Livesey, Post vom 1. August 2013, in: *Greenwich Peninsula History, The history of the Greenwich Peninsula in south east London*, retrieved from <https://greenwichpeninsulahistory.wordpress.com/2013/08/01/george-livesey/>, on 2019, February 5th.
Korrigierter Artikel, der erstmals erschien in: Greater London Industrial Archaeology Society (eds.): *London`s Industrial Archaeology*, No. 4, 1989, pp. 41–48.
- Mills, Mary (2019): *Early London Gas Industry* [Blog] retrieved from <http://marysgasbook.blogspot.de>, on 2019, February 5th.
- Monnier, Thibaudet (1881): Construction of a Telescopic Gasholder, in: *JGL-37*, 1881, pp. 562–563.
- Newbigging, Thomas (1870): *The Gas Manager`s Handbook; consisting of tables, rules and useful information for Gas Engineers, Managers, and other engaged in the manufacture and distribution of coal gas*. London.
- Müller, F. (1926): Der wasserlose Scheibengasbehälter auf der Zeche Matthias Stinnes 1/2. in: Beeckmann, W. (ed.): *Sonderabdruck in Glückauf – Berg- und Hüttenmännische Zeitschrift*, Nr. 3., Jahrgang 1926. Essen.

- Newbigging, Thomas; Fewtrell, W.T. (eds.) (1879): *King`s Treatise on the Science and Practice of the Manufacture and Distribution of Coal Gas*, Vol II, London.
- Newbigging, Thomas (o.J.): *Drawing N° 1/15: Manchester Corporation Gas Works, Bradford Road Station: Standards & Framing for New Gasholder 282 Feet Diameter [Plan]*, o.O.
- Newton, W. (1825): Tait`s Improved Gasometers, in: *The London Journal of Arts and Sciences: Containing reports of all new patents with a description of their respective principles and properties; also original communications on subjects connected with science and philosophy; particularly such as embrace the most recent inventions and discoveries in practical mechanics*. Vol. VII, London, 1825, pp. 305–307.
- Nöhring, Nis (2006): *Gasometer, Technische Entwicklung, Typologie und Nutzungswandel historischer Gasspeicher in Deutschland. Ein Beitrag zur Kulturlandschaftsforschung und Industriearchäologie*, Examensarbeit an der Universität Hamburg, Fachbereich Geowissenschaften bei Prof. Dr. Frank Nagel, Prof. Dr. Eckehard Burchards.
- o. A. (1866): Gasbehälter der städtischen Gasbehälter-Anstalt an der Fichte-Straße in Berlin. In: Preußisches Finanzministerium (Ed.): *Zeitschrift für Bauwesen*, Jahrg. XVI, Berlin.
- o. A. (1900): *Nachweis über die Konstruktion und verbreitung von 541 Wasserthürmen und Gasbehältern nach dem System und den Berechnungen vom Geheimen Regierungsrath Professor O. Intze in Aachen, ausgeführt in den Jahren 1883–1900*, Aachen.
- o. A. (1929): *Aug. Klönne Dortmund, 1879–1929 – Denkschrift zum goldenen Jubiläum am 1. Juli 1929*, Dortmund, 1929.
- o.A. (1953): Der Scheibengasbehälter – ein technisch und wirtschaftlich ungewöhnlicher Erfolg, in: Sellien, O. (ed.): *Technischer Ansporn für Vorwärtstrebende*, TA Nr. 23, 10.12.1953, Wiesbaden, pp. 289–292.
- O`Connor, Henry (1909): *Gas Manufacture and Lighting*, London.
- Owler, William (Ed.) (1894): *The Gas Engineer`s Text Book and Gas Companies` Directory for 1894*, Birmingham-London-Manchester.
- Le Paslier; Blanc; David; et al. (1960): *Monographie des Gazomètres*, Paris.
- Pasternack, Hartmut; Hoch, Hans-Ullrich; et al. (2010): *Stahltragwerke im Industriebau*, Berlin.
- Pease, E. Lloyd (1888): Guiding and Controlling Gasholders, in: *JGL-54, 1889*, pp. 1113–1114.
- Pease, E. Lloyd (1896): New Details in gasholder construction, in Dunn, Walter T. (Ed.): *The Incorporated Gas Institute. Transactions 1896. Report of the Thirty-Third Annual Meeting held at the Society of Arts Hall in London*. Westminster, pp. 33–71.
- Peckston, T. S. (1819): *The theory an practice of gas-lighting: in which is ehibited an historical sketch of the rise and progress of the science; and the theories of light, combustion, and formation of coal; with descriptions of the most approved apparatus for generating, collecting, and distributing, coal-gas for illuminating purposes*, London.
- Pepys, William Hasledine (1802): XXVI. Description of a New Gas-Holder, 1802, in: *Philosophical Magazine Series 1 (1798–1826)*, Vol.13(50), pp.153–155.

- Pils, Carina (2015): *Das genietete Wasserbassin des historischen Gasbehälters V in Venedig. Eine Parameteruntersuchung zum Spannungsverlauf*. Studienarbeit am Lehrstuhl für Statik Prof. Dr.-Ing. K.-U. Bletzinger und dem Lehrstuhl für Tragwerksplanung, Prof. Dr.-Ing. Rainer Barthel, TUM.
- Pittaluga, Michele, Signorelli, Manuela (2009): *L'Epopea del Gas (Genova 1838–1972) dal gas illuminante al metano*, Genua.
- Pockrandt, Willy (1929): *Mechanische Technologie für Maschinentechniker*, Berlin.
- Precht, Johann Josef von (1817): *Anleitung zur zweckmäßigsten Einrichtung der Apparate zur Beleuchtung mit Steinkohlen-Gas*, Wien.
- Priestley, Joseph (1775): *Experiments and Observations on Different Kinds of Air*, 2nd edition, London.
- Priestley, Joseph (1776): *Experiments and Observations on Different Kinds of Air*, Vol. II, 2nd edition, London.
- Precht, Johann Josef von (1817): *Anleitung zur zweckmäßigsten Einrichtung der Apparate zur Beleuchtung mit Steinkohlen-Gas*, Wien.
- Rödel, Volker (1983): *Ingenieurbaukunst in Frankfurt am Main. 1806–1914*, Frankfurt.
- Rutter, J.D.R. (1835): *Das Ganze der Gasbeleuchtung nach ihrem jetzigen Standpunkte*. Quedlinburg-Leipzig.
- Sarrazin, Otto; Hossfeld, Oskar (1894): J.W. Schwedler, in: Ministerium der öffentlichen Arbeiten (ed.): *Centralblatt der Bauverwaltung, XIV. Jahrgang, Nr. 24*, Berlin, 1894, pp. 245–246.
- Schilling, Nikolaus Heinrich (1860): *Handbuch für Steinkohlengas-Beleuchtung*, München.
- Schilling, Nikolaus Heinrich (1885): *Statistische Mittheilungen über die Gasanstalten Deutschlands, Oesterreichs und der Schweiz sowie einige Gasanstalten anderer Länder*. München.
- Schilling, Nikolaus Heinrich (1887): *Zur Geschichte der Gasbeleuchtung in Bayern I. Für die zweite Jahresversammlung des bayerischen Vereins von Gas- und Wasserfachmännern am 25. April 1887*. München.
- Schilling, E. (1896): *Dr. N.H. Schilling's Statistische Mittheilungen über die Gasanstalten Deutschlands, Oesterreich-Ungarns und der Schweiz*. München.
- Schwedler, Johann Wilhelm (1866): Die Construction der Kuppeldächer, in: Preußisches Finanzministerium (ed.): *Zeitschrift für Bauwesen, Jahrg. XVI*, Berlin, 1866, pp. 7–34.
- Schwedler, Johann Wilhelm (1877): *Die Construction der Kuppeldächer*. Berlin.
- Soulange, Ernest (1859): *Inventions e découvertes ou les curieuses origines*. Tours.
- Somerville, John (1886): The economical Construction of Gasholders and Tanks, in: *JGL-47*, London, 1886, pp. 1244–1247.
- Somerville, John (1887): The Guide-Framing of Gasholders, in: *JGL-49*, London, 1887, p. 949.
- Stevenson, Fletcher W. (1901): *Modern Appliances in Gas Manufacture*, London.

- Streichert (1899): Die vier Berliner städtischen Gasanstalten, in DVGW (ed): *Lagepläne und Beschreibungen neuerer Gasanstalten. Mit 12 Tafeln. Zur 39. Jahresversammlung in Cassel*, München, 1899, pp. 11–16.
- Sturt, Brian (1980): Low-pressure gas storage, in: GLIAS (eds.): *London`s Industrial Archaeology*, N. 2, 1980, pp. 13–23.
- Tabor, Carl Wigand (1822): *Vollständiges Handbuch der Gasbeleuchtungskunst*. Frankfurt.
- Tait, William (1836a): Double-Lifting Gasometers. In: *The Mechanics` Magazine, Museum, Register, Journal and Gazette*, Oct. 3–April 2, 1836, Vol. XXIV, London, 1836a, pp. 380.
- Tait, William (1836b): Tait`s and Hutchison`s Gasometers. In: *The Mechanics` Magazine, Museum, Register, Journal and Gazette*, Oct. 3–April 2, 1836, Vol. XXIV, London, 1836b, pp. 442–444.
- Tardin, Jean (1618): *Histoire naturelle de la fontaine qui brusle près de Grenoble*, Tournan.
- Terhaerst, Rudolf (1906): *Denkschrift aus Anlaß der Eröffnung des neuen Gaswerks in Nürnberg*. Nürnberg.
- Thomas, Russell (2014): *Gasworks Profiles*, London.
- Tomory, Leslie (2009): The Origins of Gaslight Technolog in Eighteenth-Century Pneumatic Chemistry, in: *Annalis of Science*, Vol. 66, No. 4, October 2009, pp. 473–496.
- Tucker, Malcolm T. (2014): *LONDON GASHOLDERS SURVEY. The Development of the Gasholder in London in the Later Nineteenth Century. Part A: General. A Report for English Heritage* [Unpublished manuscript], London, 2000 – Überarbeitete Fassung von 2014.
- Tucker, Malcolm T. (2014b): Gasholder Rest Frames Revealed at Battersea, in: Jaffé, Deborah (ed.): *Newcomen Links 230*, June 2014, pp. 18–19.
- Tucker, Malcolm T. (2017): Email vom 10. August 2017.
- Tweedie, Andrew Ian (ed.) (2019): *Grace`s Guide to Britsh Industrial History*, retrieved from http://www.gracesguide.co.uk/Main_Page, on 2019, February 5th.
- Villain, Jürgen (2016), Persönliches Gespräch am 20.12.2016.
- Volhard, Jakob (1870): Die Begründung der Chemie durch Lavoisier, in: Kolbe, Hermann (Ed.), *Journal für praktische Chemie*, Band 2, Leipzig.
- Wehrmann, Fritz (1954): *Die Gasspeicherung*, München.
- Werner, Frank; Seidel, Joachim (1992): *Der Eisenbau. Vom Werdegang einer Bauweise*. Berlin.
- West, Ian E. (2008): *Light Satanic Mills – the impact of artificial lighting in early factories*, PhD, University of Leicester.
- Wiggins, John Henry (1936): US2,050,685: *Gas and Liquid Storage Device*, United States of Amercia, Patented Aug. 11, 1936.
- Winzler, Zachäus Andreas (1803): *Die Thermolampe in Deutschland; Oder: Vollständig theoretisch als praktische Anleitung, den ursprünglich in Frankreich erfundenen, nun aber auch in Deutschland entdeckten Universal-Leucht-Heiz-Koch-Sud-Destillier- und Sparofen zu errichten*, Brünn.

- Wittel, Herbert; Muhs, Dieter, et al. (2007): *Roloff/ Matek: Maschinenelemente*, Wiesbaden.
- Woolrich, A.P. (2002): Clegg Samuel Sr., in: Skempton, Alec (Ed.): *Biographical Dictionary of Civil Engineers in Great Britain and Ireland, Vol 1, 1500–1830*, London, 2002, pp. 138–140.
- Wurtz, Charles Adolphe (1870): *Geschichte der chemischen Theorien seit Lavoisier bis auf unsere Zeit*. Berlin.
- Zimpell, K. (1925): *Das Städtische Gaswerk Augsburg-Oberhausen (Festschrift)*, München.
- ZfB, Preußisches Finanzministerium (Ed.): *Zeitschrift für Bauwesen*, Jahrg. XIII, Berlin, 1863.
- Jahrg. XVI, Berlin, 1866.
- *Atlas*, Jahrg. XVI, Berlin, 1866a.
- Jahrg. XIX, Berlin, 1869.
- Jahrg. XXVI, Berlin, 1876.
- *Atlas*, Jahrg. XXVI, Berlin, 1876a.
- Zucchetta, Giampietro (1996): *Storia del gas nella città dei dogi*, Venedig.

D. ITALIEN

Anonym (1888): Ueber die Steinkohlevorkommnisse und die -Gewinnung der Erde, in: A. Hollenberg, H. Kast (Ed.): *Dinglers Polytechnisches Journal*. Sechste Reihe, Achtzehnter Band, Stuttgart, 1888, pp. 577–568.

AMPIB (1928): AOCGB, Segretaria 1928: *Gasometro – 30.000mc*.

AMV (1839): 1835–39, XI-2-36: *Contratto (Nr. 11860-4782) 30 Novembre 1839 per attuare in Venezia la illuminazione a gaz“ Venezia*.

AMV (1864): 1895–99, XI-1-2: *Istromento fra la Spettabile Congregazione Municipale della Reg. Città di Venezia e la Società della Illuminazione a Gaz per ampliazione della illuminazione a tutta la Città, Venezia*.

AMV (1896): Comune di Venezia: *Atti e documenti riguardanti l'illuminazione a gas della città di Venezia*.

AMV (1897): 1895–99, XI-1-15: *Lettera di Théodore Vautier, dal 31.12.1897, Lyon*.

AMV (1900): 1900–04, XI-1-13: *R. Corte d'appello di Venezia Sentenza 23 Marzo 1900 nella causa sommaria commerciale della Società Civile per l'Illuminazione a Gaz nella Città di Venezia contro il comune di Venezia*.

Ardit, Alessandro, Gruppoveritas spa, Venedig (2014), Persönliches Gespräch am 26.03.2014 und am 25.08.2014.

ASCF (1882): car. 162/ 007: *Officina del gas di Firenze, 23 di Giugno 1882 [Plan]*.

Barbari, Jacopo de` (1500): *La pianta prospettica di Venezia nel 1500*.

Barizza, Sergio; Resini, Daniele (eds.) (2004): *Porto Marghera, il Novecento industriale a Venezia, Ponzano-Treviso*.

Barzaghi, Leopoldo (1845): *Uno scherzo sulla nuova illuminazione a gas in Milano, Mailand*.

Berger, Barbara; Brenner, Esther (2008): *Die Gasometer von San Francesco della Vigna, Venedig*, Diplomarbeit in Schriftenreihe des Lehrstuhls für Tragwerksplanung, Prof. Dr.-Ing. Rainer Barthel, TUM, Band 27, München.

Berger, Barbara (2014): *Il gasometro come tipo edilizio tra Ottocento e primo Novecento. Il caso dell'Italia settentrionale*, in: *Rivista AIPAI* (Associazione italiana per il patrimonio archeologico industriale), Nr. 14, Neapel, 2014, pp. 118–125.

Berger, Barbara (2015): *The Gasholder – Shaped by ist function*, in: Bowen, Brian; Friedman, Donald; et al. (Eds.) *5th International Congress on Construction History, Proceedings*. Vol. 1. Chicago, 2015, pp. 203–210.

Boiti, Anna (2007): *Gasometro*, in: Rovello, Federica (Ed.): *Triest 1872–1917. Guida all'architettura*. Triest.

Botteri, G. (Ed.) (2000): *Triest, una rete. L'acqua, il gas, l'elettricità, i trasporti urbani. I servizi pubblici a Triest dall'impero romano al XXI secolo*. Triest.

Boz, Maurizio, Italgas, Distretto Nord Est pa, Venedig (2015), Persönliche Mail vom 16.02.2015.

- Bressanello, Tobia, Gruppoveritas spa, Venedig (2014), Persönliches Gespräch am 14.03.2014.
- Calzavara, Vittorio (1899): *L'Industria del gaz illuminante*, Mailand.
- Campigotto, Antonio; Curti, Roberto (1990): *Il sole qui non tramonta. L'officina del gas di Bologna 1846–1960*, Casalecchio di Reno.
- Castronovo, Valerio (1987): Un secolo e mezzo, in: *Dalla luce all'energia. Storia dell'Italgas*. Rom, pp. 3–38.
- Cerutti, Renato; Gianeri, Enrico (1983): *L'officina del gas di Porta Nuova a Torino. La prima in Italia*. Turin.
- Clegg, Samuel jun. (1859): *A Practical Treatise on the Manufacture and Distribution of Coal Gas, its Introduction and Progressive Improvement, illustrated by engravings from workings, with general estimates. Third edition*. London.
- Comune di Venezia, Assessorato alla Cultura e alle Belle Arti (Ed.) (1980): *Venezia, città industriale. Gli insediamenti produttivi nel 19° secolo*, Venedig.
- Del Curto, Davide; Landi, Angelo (2008): Gas-light in Italy between 1700s & 1800s: A History of Lighting, in: Rüdiger, Mogens (ed): *The Culture of Energy*, Newcastle. pp. 2–29.
- Fontana, Gian Jacopo (1847): *Manuale ad uso del forestiere in Venezia*, Venedig.
- Giuntini, Andrea (1990): *Dalla Lyonnaise alla Fiorentina gas. 1839–1989*, Rom.
- Grabmeier, Margarete (2015): *Statisch-konstruktive Untersuchungen an der Eisenkonstruktion eines Teleskopgasbehälters aus dem 19. Jahrhundert*, Bachelorarbeit am Lehrstuhl für Statik Prof. Dr.-Ing. K.-U. Bletzinger und dem Lehrstuhl für Tragwerksplanung, Prof. Dr.-Ing. Rainer Barthel, TUM.
- ITG (o. J.): Fotografie officine, scatola 13-1: o. T.; o. J.
- ITG (1837): *Permissione ai medi di formare una Società anonima per l'Illuminazione a Gaz (...), 12. Settembre 1837, Registro Patenti*.
- ITG (1893): Fondo Cerutti mz 28, Smantellamento Porta Nuova: N. 16 – *Consiglio comunale di Torino: Continuazione della Sessione Ordinaria d'autunno 1893, §6 Società Italiana del gas – Soppressione del gasometro di Porta Nuova*.
- ITG (1908): SVIG 23: *Officina del Campo Marte [Plan]. Scala 0,001 p.m. en 1908*.
- ITG (1925a): Fondo Italgas 31: *Gazometro Telescopico a 2 Levate – Capacità mc. 2.000 – Colonne n. 10, Società Anonima Forni ed Impianti Industriali, Milano, Dis. 10604 [Plan]*.
- ITG (1925b): Venezia, Faldone 106 Riparazione Gasometro MC. 8400 a San Francesco, 1926–27: *Lettera Ferrobeton, Rom an Società anonima per l'Illuminazione a Gas della città di Venezia, 30. Novembre 1925*.
- ITG (1926): Venezia, Faldone 106, Riparazione Gasometro MC. 8400 a San Francesco, 1926–27: *Vecchio Gasometro da 8000 a S. Francesco – Relazione, Venezia, Marzo 1926*.

- ITG (1927): Venezia, Faldone 106: Riparazione Gasometro MC. 8400 a San Francesco, 1926–27: *Gasometro da 8400 MC a S.F.* Brief der Società Veneta Industria Gas an die Società anonima forni ed impianti industriali, Milano, 25. Novembre 1927.
- ITG (1929): S.V.I.G. Pasqualin & Vienna, Venezia: *Fondazione gasometro* [Plan]. Dis. 1379. Venezia, 3 aprile 1929.
- ITG (1930): SVIG Manutenzione e riparazione gasometri: *Riparazione gasometro da mc 15000 a S. Marta, Lettera per Etablissements H. Dunoyer & Co., Lyon*, 18/7/1930.
- ITG (1938a): Fondo Sales faldone 322 neu: f1 Gasometri a vasche: *ANSALDO: Gasometri a secco, Licenza Kloenne*. Bergamo.
- ITG (1938b): Fondo Sales faldone 322 neu: f1 Gasometri a vasche: *ANSALDO: Gasometri a Tenuta Idraulica*. Bergamo.
- ITG (1941): Fondo Sales 322, A521.17, fasc. 4 Sales, Mario: *Officina Gas di Mondovì. Incidente occorso al gasometro N° 1*.
- ITG (1953): Cassettoni Planimetrie Schemi Gasometri 1-2-3 Torino: Società Italiana Gas Esercizio Torino: *Gasometro N° 3, Capacità Mc 50.000*. 26.1.1953.
- ITG (1954a): Venezia, Faldone 106: Riparazione Gasometro MC. 8400 a San Francesco, 1926–27: *Riparazione gasometri Officina S. Francesco*, Lettera Società Italiana per il Gas, Torino an Direttore Esercizio Veneta Gas, Dott.Ing. Nato Milesi, 7.4.1954.
- ITG (1954b): Archivio storico fotografico, San Remo: *Gasometro da 1900mc. San Remo/ N°2*.
- ITG (1957a): Archivio storico fotografico, Civitavecchia: *Gasometri: mc 1400 – mc 700, 1957, Civitavecchia/ N°21*.
- ITG (1957b): Archivio storico fotografico, Lendinara: *Vista panoramica N. NE, 1957, Lendinara/ N°15*.
- ITG (1958): Archivio storico fotografico, Ostiglia: *Gasometri, 1958, Ostiglia/ N°5*.
- ITG (1959): Archivio storico fotografico, Ferrara: *Depuraz. acqua – Refrigerante, e gasometro 5000mc. 1959, Ferrara/ N°42*.
- ITG-S (1963): *Studio per disposz. scale gasometro abbassato mc. 100.000. Tipo saldato* [Plan]. 55005. 13-12-50.
- ITG (1964): Archivio storico fotografico, Este: *Gasometro da mc 340m 1964, Este/ N22*.
- Italgas Sud p.A. (Ed.) (1988): *Quell'Antica Fiamma – Dieci anni e un secolo – La lunga storia del gas a Catanzaro*, Catanzaro.
- JGL, Greaves Barlow, Thomas (Ed.): *The Journal of Gas Lighting*, Vol. 3, 1853–54, London.
- Vol. 22, 1873,
- Vol. 61, 1893.
- Lami, Ramona; Sassetti, Diego (2006): *Il Gas a Pisa. Un percorso lungo centoquarant'anni*. Pistoia.
- Lamia, Daniela La (1999): *L'industria del gas a Roma*, Rom.
- LEF-A (1928a): *MAN: Officina Comunale del Gas, Italien – Bologna (124), Vertragsauszug*.

- LEF-A (1928b): Bologna 42-6/7: MAN: *Officina Comunale del Gas, Bologna. Italien. Gasbehälter von 30 000 CBM Inhalt. Lfdnr. 103745. Dachbinder, M 1:10. Gustavsborg, 20. November 1928.*
- LEF-A (1928c): Bologna 42-38/39: MAN: *Officina Comunale del Gas, Bologna. Italien. Gasbehälter von 30 000 CBM Inhalt. Lfdnr. 103655. Scheibenring, M 1:10. Gustavsborg, 9. November 1928.*
- Longo, Biagio; Petrillo, Gianfranco; et al. (1995): *Milano tra luce e calore. Storia, costume e tecnologia del gas manifatturato.* Mailand.
- Luisa, Franco (2000): Anno 2000: il gas, in: Botteri, G. (Ed.): *Triest, una rete. L'acqua, il gas, l'elettricità, i trasporti urbani. I servizi pubblici a Triest dall'impero romano al XXI secolo.* Triest, pp. 139–148.
- Magnini, Daniela (o. J.): *Firenze, via dell'Anconella – Ex-Officine di produzione gas – Relazione Storica,* Soprintendenza per i Beni Ambientali e Architettonici.
- Marino, Fulvio di (2000): Le fonti energetiche: il gas, in: Botteri, G. (Ed.): *Triest, una rete. L'acqua, il gas, l'elettricità, i trasporti urbani. I servizi pubblici a Triest dall'impero romano al XXI secolo.* Triest, 2000, pp. 101–111.
- Napoletanagas (2015): *La Storia* [Internetseite], retrieved from <http://www.napoletanagas.it/it/chiamo/storia/>, on 2015, July 7th.
- o. A. (1845): *Società Civile per l'Illuminazione a Gas delle Città di Padova, Vicenza e Treviso.* Venedig.
- o. A. (1899): *Capitolato per l'impianto ed esercizio della illuminazione pubblica e privata nella città di Legnago assunto dal. Sig. Ingegnere Carlo Camuzzi di Milano.* Legnago.
- o. A. (1900): *Nachweis über die Konstruktion und Verbreitung von 541 Wasserthürmen und Gasbehältern nach dem System und den Berechnungen vom Geheimen Regierungsrath Professor O. Intze in Aachen, ausgeführt in den Jahren 1883–1900,* Aachen.
- Owler, William (Ed.) (1894): *The Gas Engineer's Text Book and Gas Companies' Directory for 1894,* Birmingham-London-Manchester.
- Paletta, Giuseppe (1987): Da Lione a Torino. All'origine dell'industria del gas (1837–1880), in: *Dalla luce all'energia. Storia dell'Italgas.* Rom. pp. 41–128.
- Paletta, Giuseppe; Silvestri, Andrea; et al. (2010): *I Luoghi Storici dell'Energia. Luce e Gas a Milano 1910–2010.* Jubiläumsbroschüre vom Politecnico di Milano, Fondazione AEM und A2A; Castelseprio, Varese.
- Paramonti, Walter; Ercolani, Gianni (2011): *La Storia del Gas a Genova. Oltre un secolo e mezzo di Storia, passione e competenza.* Genua.
- Pavanello, Italo (Ed.) (1981): *I catasti storici di Venezia. 1808–1913,* Venedig.
- Penati, Enrico (1972): *1837 Luce a gas. Una storia che comincia a Torino,* Turin.
- Peruzy, Dario; Raffaele, Tumino (1916): *Gazzetta Ufficiale del Regno d'Italia, Anno 1916, Numero 230,* Rom.
- Peruzy, Dario; Raffaele, Tumino (1917a): *Gazzetta Ufficiale del Regno d'Italia, Anno 1917, Numero 79,* Rom.

- Peruzy, Dario; Raffaele, Tumino (1917b): *Gazzetta Ufficiale del Regno d'Italia, Anno 1917, Numero 179*, Rom.
- Pils, Carina (2015): Das genietete Wasserbassin des historischen Gasbehälters V in Venedig. Eine Parameteruntersuchung zum Spannungsverlauf. Studienarbeit am Lehrstuhl für Statik Prof. Dr.-Ing. K.-U. Bletzinger und dem Lehrstuhl für Tragwerksplanung, Prof. Dr.-Ing. Rainer Barthel, TUM.
- Pittaluga, Franca; Lamanna, Claudio (1982): *Treviso – La Struttura Urbana*, Rom.
- Pittaluga, Michele, Signorelli, Manuela (2009): *L'Epopea del Gas (Genova 1838–1972) dal gas illuminante al metano*, Genua.
- R. Scuola di Ingegneria di Milano (R. Politecnico) (1930): *Annuario anno accademico 1929–1930*, Mailand.
- Rete Gas Bari (2019): *Storia*. Retrieved on <http://www.amgasbari.it/Default.aspx?Id=21> on 2019, February 5th.
- Rödel, Volker (1983): *Ingenieurbaukunst in Frankfurt am Main. 1806–1914*, Frankfurt.
- Rosati, Claudio; Iori, Gianluca, et. al. (2007): *Il Gas a Pistoia. Storia sociale e politica di una innovazione. 1907–2007*. Pistoia.
- Sagredo, Agostino (1843a): Notizie sugli ammglioramenti di Venezia – Illuminazione della città col gas, in: *Annali Universali di Statistica economia pubblica, storia, viaggi e commercio, Gennaio, Febbrajo e Marzo 1843*, Mailand.
- Sagredo, Agostino (1843b): Notizie sugli ammglioramenti di Venezia – Aggiunta al §1. – Illuminazione della città col gas, in: *Annali Universali di Statistica economia pubblica, storia, viaggi e commercio, Ottobre, Novembre e Dicembre 1843*, Mailand.
- Schilling, Nikolaus Heinrich (1885): *Statistische Mittheilungen über die Gasanstalten Deutschlands, Oesterreichs und der Schweiz sowie einige Gasanstalten anderer Länder*. München.
- Schäfer, A. (1910): *Einrichtung und Betrieb eines Gaswerkes – Ein Leitfaden für Betriebsleiter und Konstrukteure*, München, Berlin.
- Società per Cornigliano Spa (2006): *I GASOMETRI DI CORNIGLIANO VERRANNO DEMOLITI, 20.09.2006*. Retrieved from <http://www.percornigliano.it/news/i-gasometri-di-cornigliano-verranno-demoliti/> on 2019, February 5th.
- Spinoni, Roberto; Taurichini, Annalisa (1992): *Il gasometro di Brescia come reperto di archeologia industriale*, Tesi di Laurea, Politecnico di Milano, Facoltà di Architettura, Prof. Filippo Tartaglia, 1991–1992.
- Stivanello, Luigi Carlo (1899): *La questione del gaz a Venezia*, Venedig.
- Stevenson, Fletcher W. (1901): *Modern Appliances in Gas Manufacture*, London.
- Thomas, Russell (2014): *The Manufactured Gas Industry in Europe* [PPT-Präsentation]. Bristol. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Russell_Thomas/publication/268447672_The_Manufactured_Gas_Industry_in_Europe/links/546baf450cf20dedafd5369e/The-Manufactured-Gas-Industry-in-Europe.pdf on 2019, February 5th.

TOSCE (o. J.): *Servizio Toscana Energia Gas. Firenze, Gasometro della capacità di mc. 8000* [Plan].

Trisoglio, Fabrizio (2016), E-Mail vom 08.06.2016.

VESTA (1893): *Officina a gaz di S. Francesco* [Plan].

Zucchetto, Giampietro (1996): *Storia del gas nella città dei dogi, Venedig*.

E. SCHLUSS

- Alter Gasometer e.V. (2019): *Vom Friedenszentrum zur Soziokultur* [Internetseite] retrieved from <https://www.alter-gasometer.de/wir/geschichte/> on 2019 February 5th.
- Archdaily.com (2015): *Wilkinson Eyre Architects to Bring New Life to King's Cross Gasholders*, 8 May, 2015 by Patricia Arcilla [Internetseite] retrieved from <http://www.archdaily.com/628916/wilkinson-eyre-architects-to-bring-new-life-to-king-s-cross-gasholders> on 2019, February 5th.
- asisi (2019): *Informationen über den Künstler Yadegar Asisi* [Internetseite] retrieved from <https://www.asisi.de/yadegar-asisi/biografie/> on 2019, February 6th.
- Becher, Hilla; Becher, Bernd (1993/2002): *Gasbehälter*, München-Paris-London.
- Berger, Barbara; Brenner, Esther (2008): *Die Gasometer von San Francesco della Vigna, Venedig*, Diplomarbeit an der TUM im WS 2008/09, Lehrstuhl für Tragwerksplanung, Prof. Dr.-Ing. Rainer Barthel, Band 27, München.
- Berliner Unterwelten e.V. (2019): *Tour F Spezial Geschichtsspeicher Fichtebunker – Ein Rundgang in die dunkle Vergangenheit Berlins mit Regina Schwenke* [Internetseite] retrieved from <https://www.berliner-unterwelten.de/fuehrungen/sonderfuehrungen/geschichtsspeicher-fichte-bunker.html>, on 2019, February 5th.
- Buttge – Architekturbüro (2019): *News: Stade Gasometer – Maritimes Wohnen am Industriedenkmal* [Internetseite] retrieved from <http://www.architekt-buttge.de/news/50-stade-gasometer-maritimes-wohnen-am-industrie-denkmal.html> on 2019, February, 6th.
- City of Athens (2019): *City of Athens Technopolis* [Internetseite] retrieved from <https://www.cityofathens.gr/en/node/7520>, on 2019, February 6th.
- Clegg, Samuel jun. (1849): Inaugural Lecture. College of Civil Engineers, Putney, on Wednesday, Sept. 26. In: JGL, Vol. 1, 1849–1850, London, pp. 118–119
- EUREF AG (2019): *Gasometer – Events im Kuppelzelt des historischen Industriedenkmal*s [Download von Internetseite] retrieved from <https://euref.de/entry/gasometer/> on 2019, February 6th.
- Frühschütz, Oliver (2016): *Umbau Scheibengasbehälter Augsburg* [Mail], 2016, March 31st.
- Frühwirth, Ewald (2019): *Die 4-Zylinder aus Simmering* [Internetseite], retrieved from <http://www.gasometer-city.eu/gasometer.htm> on 2019, February 6th.
- Gasometer Oberhausen GmbH (2019): *Der Gasometer – Industriekultur* [Internetseite], retrieved from <http://www.gasometer.de/de/der-gasometer/wandel> on 2019, February 6th.
- Gävle Kommun (2019): *Gasklockornas historia* [Internetseite] retrieved from <http://www.gasklockornagavle.se/gasklockornas-historia/> on 2019, February 6th.
- GKM Architektur Studio (2019): *Projekt Gaskessel Wuppertal Heckinghausen* [Internetseite], retrieved from <http://www.gkm-architektur.de/gaskessel-wuppertal-heckinghausen.html> on 2019, February 6th.
- Herberhold, Gregor (2008): *Großes Interesse am Tauchrevier* [Internetseite] in WAZ, Beitrag vom 01.02.2008 retrieved from <https://www.waz.de/staedte/duisburg/nord/grosses-interesse-am-tauchrevier-id1552202.html> on 2019, February, 6th.

- HET Architectenbureau (2019): *HET Projecten Gashouder* [Internetseite], retrieved from <https://hetarchitectenbureau.nl/projecten/gashouder/>, on 2019, February, 6th.
- Ingenbleek GmbH (2016): *BV Fichtespeicher Circlehouse* [Mail], 2016, March 31st/ April 1st.
- IUAV (2019): *L'ARCHITETTURA DELLA RAPPRESENTAZIONE, Venezia, San Francesco della Vigna (ex gasometri)* [Blog] retrieved from <https://farworkshop.wordpress.com/ws-12/braghieri/> on 2019, February 6th.
- King`s Cross (2015): *Gasholder Park is now open at Kings Cross*, posted on 2015 November 9th [Internetseite], retrieved from <https://www.kingscross.co.uk/press/2015/11/09/gasholder-park-is-now-open-at-kings-cross>, on 2019, February 6th.
- Kulturkreis der deutschen Wirtschaft (2019): *Architekturpreis 2015: Bauen im Gasometer Berlin Schöneberg* [Internetseite], retrieved from <https://www.kulturkreis.eu/kuenstlerfoerderung/architektur/fruehere-architekturwettbewerb>, 2019, February 6th.
- Leffer, Hans Stahl- und Apparatebau GmbH (2015): *CO-Gasbehälter/ Florange V= 15.000m3, Übersichtszeichnung A-01, Index 09* [Plan], Dudweiler.
- Manchester History (2019): *Alliance Building at the Gasworks, Dublin, Ireland* [Internetseite] retrieved from <http://manchesterhistory.net/architecture/2000/gasworks.html> on 2019, February, 6th.
- Morgan, Edwin (2002): *Cathures: new poems 1997–2001*, Manchester.
- National Grid (2019): *Imperial Road Gasholders – Our plans for the disused gasholders* [Internetseite] retrieved from <http://imperialroadgasholders.com> on 2019, February 6th.
- O'Mahony Pike Architects | omparchitects.com (2019): *The Gasworks* [Internetseite] retrieved from <http://omparchitects.com/en/projects/the-gasworks/> on 2019, February 6th.
- Patrimonio industrial de Barcelona (2009): *La fábrica de gas de la Barceloneta, 31 de enero 2009* [blog] retrieved from <http://patrimonioindustrialdebarcelona.blogspot.de/2009/01/la-fabrica-de-gas-de-la-barceloneta.html> on 2019, February 6th.
- Rask, Elin (2019): *Østre Gasværk Teater*, in: Den Store Danske, Gyldendal [Internetseite] retrieved from <http://denstoredanske.dk/index.php?sideId=185194> on 2019, February 6th.
- Spinoni, Roberti; Turchini, Annalisa (1992): *Il gasometro di Brescia come reperto di archeologia industriale. La storia negli archivi, un archivio nella storia*. Diplomarbeit an der Polytechnischen Universität von Mailand 1991/92, Prof. Filippo Tartaglia.
- Thorau, Dagmar; Schaulinski, Gernot (eds.) (2011): *Geschichtsspeicher Fichtebunker*, Berlin.
- Tosti, Mario (2016): *Riuso gasometri Via Ostiense* [Mail], 2016, April 6th.
- Tucker, Malcolm T. (2014): *LONDON GASHOLDERS SURVEY. The Development of the Gasholder in London in the Later Nineteenth Century. Part A: General. A Report for English Heritage* [Unpublished manuscript], London, 2000 – Überarbeitete Fassung von 2014.
- Tucker, Malcolm T. (2017): Email vom 10. August 2017.
- Wester Gasfabriek (2019): *History – From old energy to new energy* [Internetseite], retrieved from <http://www.westergasfabriek.nl/en/about/history/> on 2017, October, 2019.

F. ANHANG

Leffer, Thomas (2019): Email vom 01. März 2019.

ABBILDUNGS-/ TABELLENVERZEICHNIS

A. EINFÜHRUNG

A. Abbildungsverzeichnis

Abb.	Quelle
Titel	Berger, 2015
1	Berger, 2015
2	Berger, 2015
3	Berger, 2013
4	Berger, 2013
5	JGL-61, 1893, p. 75
6	Becher, 2013, p. 13
7	Berger, 2015
8	Berger, 2013

B. ENTSTEHUNGSGESCHICHTE

B. Abbildungsverzeichnis

Abb.	Quelle	Abb.	Quelle
1	Malam, 1887, p. 72	19	Berger, 2016
2	Carla Versetti, 2016	20	Berger, 2016
3	Berger, 2013	21	Berger, 2016
4	Berger, 2013	22	Berger, 2017
5	Hales, 1727, p. 262	23	Peckston, 1819, Plate IX
6	Hales, 1727, p. 160	24	Accum, 1819, Plate VI
7	Cavendish, 1766, p. 141	25	British Commercial Gas Association, 1931, p. 16
8	Priestley, 1775, p. 1	26	NGA, BG34/EM/ZP/XXXE/P/1
9	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 41	27	Accum, 1815, facing p. 95, Pl. II
10	Lavoisier, 1782, Plate V	28	Accum, 1816, facing p. 1
11	Lavoisier, 1782, Plate IV	29	Accum, 1816, Pl. VII
12	Lavoisier, 1789, Planche XIII.	30	Accum, 1815, p. 195
13	Pepys, 1802, Pl. IV.	31	Accum, 1819, Plate VI, Fig. 8
14	Berger, Brenner, 2008, p. 12 – nach Haug, 2007	32	Accum, 1819, Plate VI
15	Chandler, 1936, Frontispiece	33	Accum, 1819, Plate VI
16	GLCC, 1912, p. 20	34	Accum, 1819, Plate VI
17	Chandler, 1936, p. 176	35	NGA, from engraving, g02773
18	Chandler, 1936, p. 177	36	Berger, 2016

B. Tabellenverzeichnis

Tab.	Titel
1	Erste Handbücher zur Gasbeleuchtung in Europa (1815–1820)
2	Destillation von 100kg Steinkohle in 6h
3	Niederdruckgasbehälter
4	Drucksprünge in einem dreihübigem Teleskopgasbehälter
5	Die Anfänge der öffentlichen Gasbeleuchtung

C. BAUKONSTRUKTIONSGESCHICHTE HYDRAULISCHER UND SCHEIBENGASBEHÄLTER

C. Abbildungsverzeichnis

Abb.	Quelle	Abb.	Quelle
1	Berger, 2016	43	NGA, SE/CRD/CRG/E/F/3
2	Berger, 2016	44	Clegg, 1841, Plate XVI
3	Berger, 2016	45	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 136
4	Berger, 2016	46	NGA, SE/SOM/E/F/12
5	Berger, 2016	47	NGA, NOSUG/E/T/1
6	Berger, 2013	48	Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate III
7	Berger, 2013	49	Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate VI
8	Berger, 2015	50	NGA, NONWG/E/A/12
9	Berger, 2014	51	NGA, NONWG/E/A/12
10	Berger, 2013	52	ZfB, 1866a, Bl. 10
11	Berger, 2015	53	ZfB, 1866a, Bl. 10
12	Berger, 2015	54	ZfB, 1876a, Bl.31
13	Berger, 2015	55	ZfB 1876a, Bl. 32
14	Berger, 2015	56	ZfB, 1876a, Bl. 33+34
15	Berger, 2015	57	Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XV
16	Berger, 2015	58	Berger, 2017
17	Berger, 2015	59	Clegg, 1841, p. 131
18	Berger, 2015	60	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 135
19	Berger, 2008	61	Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XVI
20	Berger, 2009	62	Clegg, 1866, Plate XXVII
21	Berger, 2016, nach Käpplein, Wielgosch-Frey, 2001, p. 58	63	Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XII
22	NGA, SE/SOS/E/F/12	64	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 159
23	NGA, BG11/SE/TS/1/3	65	NGA, BG1/NW/1/29-53
24	Dempster, 1925, p. H103	66	Milbourne, 1923, p. 25
25	Berger, Brenner, 2009, pp. 89–90	67	NGA, BG1/NW/1/30-53
26	Berger, Brenner, 2009, pp. 89–90	68	NGA, BG21/DAC/E/F/1/21
27	NGA, EM/ZP/CAM/E/F/1	69	Clegg, 1841, Plate XVI
28	Berger, 2016	70	Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 120
29	Berger, 2016	71	Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 165
30	Berger, 2016	72	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 164; Skizze Berger, 2017
31	Peckston, 1819, Plate IX	73	Newbigging, Fewtrell, Plate XVI, XVIII
32	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 117	74	NGA, NWCHU/E/T/3
33	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 104	75	NGA, NTGAL/BEC/E/T/1-19C
34	Clegg, 1866, Plate XXVII	76	Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XII
35	AEM (o. J.): Salutati: Gasometro Via Salutati nr 7-6.	77	Meade, 1916, p. 441
36	Peckston, 1819, Plate XI	78	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 134
37	Newbigging, Fewtrell, 1879, p.119	79	NGA, NONWG/E/A/12
38	Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 120–122	80	Berger, 2016
39	NGA, NOREC/E/T/5	81	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 124
40	NGA, NTGAL/BEC/E/T/1-19B	82	Berger, 2016
41	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 143	83	Newton, 1824, Plate XVI
42	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 161	84	Clovis, 1836, p. 321

Abb.	Quelle	Abb.	Quelle
85	Clegg, 1841, Plate XVII, modifiziert von Berger, 2016.	130	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 199
86	Clegg, 1841, p. 136	131	Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XXIV
87	Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XXII	132	NGA, SE/CRD/CRG/E/F/39)
88	Stevenson, 1901, p. 60	133	Berger, 2017
89	Berger, 2017	134	Berger, 2017
90	Clegg, 1866, p. 252	135	Peckston, 1819, Plate IX
91	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 135	136	Cooper, 1816, Plate 2
92	Dempster, 1925, p. H37	137	Accum, 1819, Plate V
93	Clegg, 1866, p. 259	138	Peckston, 1819, Plate XI
94	Stevenson, 1901, p. 58	139	Layton, 1920, p. 6
95	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 108	140	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 151
96	NGA, NWLYS/E/T/3	141	Cripps, 1889, p. 50
97	Herring, 1907, p. 203	142	Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XXIII
98	Berger, 2015	143	Berger, 2015
99	Clegg, 1841, Plate XVI	144	Berger, 2015
100	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 143	145	JGL-38, 1881, Plate N°7
101	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 151	146	JGL-38, 1881, Plate N°7
102	Newbigging, Fewtrell, Plates XVI, XIX	147	Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XXII
103	Meade, 1916, p. 427	148	Berger, 2015
104	Meade, 1916, p. 427	149	Berger, 2015
105	Herring, 1907, p. 206	150	Berger, 2015
106	Clegg, 1841, p. 131	151	Berger, 2015
107	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 135	152	Berger, 2015
108	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 151	153	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 196
109	Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XVI	154	Berger, 2015
110	Clegg, 1841, Plate XVII, bearbeitet und ergänzt durch Berger, 2016.	155	Berger, 2015
111	Clegg, 1841, p. 136	156	NGA, NWALG/E/T/5
112	NGA, NWLYS/E/T/3	157	Malcom T. Tucker (1994)
113	JGL-40, 1882, Dec. 12th	158	Sandra Garside-Neville (2016)
114	JGL-40, 1882, Dec. 12th	159	NGA, NWCHU/E/T/3
115	NGA, WM/WEB/E/F/1	160	Accum, 1819, Plate VI
116	Dingler, Dingler, 1852, Tab. IV	161	Bennett, 1986, p. 25
117	Stevenson, 1901, p. 59	162	Clegg, 1841, Plate XVI
118	JGL-61, 1893, p. 75	163	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 117
119	Berger, 2015	164	LMA, COLLAGE: the London Picture Archive, ref 214671
120	links: NGA, NODAC/E/T/40 rechts: NGA, NODAC/E/T/39	165	Berger, 2015
121	JGL-55, 1890, p. 1112	166	Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XXV
122	Owler, 1894, p. 33	167	Berger, 2016
123	Pease, 1896, p. 56i	168	Newbigging, Fewtrell, 1879, p.119
124	JGL-63, 1894, p. 214	169	Berger, 2015
125	Berger, 2016	170	NGA, NO/TE/X/P/5
126	Berger, 2016	171	Layton, 1920, p. 34i
127	Berger, 2015	172	Bennett, 1986, p. 25
128	JGL-40, 1882, p. 739	173	NGA, BG29/SW/EB/82
129	Newbigging, Fewtrell, 1879, p.198	174	Schilling, 1860, Tafel 38
		175	NGA, BG29/SW/EB/90
		176	Clovis, 1836, p. 321

Abb.	Quelle	Abb.	Quelle
177	NGA, from engraving, g02773	224	Berger, 2015
178	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 130	225	Berger, 2015
179	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 131	226	JGL-38, 1881, Nov. 8 th ; Hunt, 1900, p. 160
180	Layton, 1920, p. 24i	227	Berger, 2015
181	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 163	228	JGL-47, 1886, Feb. 2, N° 18
182	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 131	229	JGL-47, 1886, Feb. 16, N° 19
183	NGA, BG11/SE/EB3/1	230	JGL-47, 1886, Feb. 16, N° 19
184	NGA, NOREC/E/T/10	231	JGL-65, 1895, p. 351
185	Berger, 2015	232	Berger, 2015
186	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 161	233	Berger, 2015
187	LMA, COLLAGE: the London Picture Archive, ref 214725	234	Berger, 2015
188	Berger, 2015	235	Berger, 2017
189	NGA, BG41/NT/EB/15	236	Herring, 1907, Pl. N. 26
190	NGM, o.J.	237	Herring, 1907, p. 210
191	NGM, o.J.	238	JGL-55, 1890, p.460
192	NGM, o.J.	239	JGL-54, 1889, p. 215
193	Berger, 2015	240	Berger, 2015
194	Berger, 2015	241	Berger, 2015
195	NGA, NONWG/E/A/14	242	NGA, NO/TE/DAC/E/T/9
196	Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XXIII	243	Stevenson, 1901, p. vii
197	Michael Bussell, 1997	244	Berger, 2016
198	Berger, 2015	245	Berger, 2016
199	Berger, 2016	246	JGL-61, 1893, p. 75
200	JGL-54, 1889, p. 108	247	JGL-54, 1889, p. 215
201	Dempster, 1925, p. H61	248	Berger, 2016
202	JGL-54, 1889, p. 195	249	Berger, 2016
203	Owler, 1894, p. 64	250	o.A., 1929, Bild 63: <i>Gasbehälter von 5000 cbm (...) 1928/29</i>
204	Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XXII	251	o.A., 1929, Bild 59: <i>Vierteiliger Teleskop-Gasbehälter (...) Amsterdam</i>
205	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 134	252	o. A., 1929, Bild 61: <i>Gasbehälter Rotterdam</i>
206	NGA, EM/ZP/LEA/E/F/1	253	MAN, 1909b, p. 7
207	Berger, 2015	254	MAN, 1909b, p. 6
208	Berger, 2015	255	MAN, 1909c, p. 1
209	Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XIV	256	Cooper, 1816, Plate 3
210	Berger, 2015	257	Berger, 2015
211	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 136	258	Berger, 2015
212	Berger, 2015	259	Berger, 2015
213	Berger, 2015	260	Clegg, 1841, p. 134
214	Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XVIII	261	Clegg, 1841, Plate XVII, modifiziert durch Berger, 2016
215	Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XIX	262	Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate IX
216	Malcolm T. Tucker (1998)	263	Berger, 2017, nach Wehrmann, 1954, p. 27
217	JGL-61, 1893, p. 435	264	Meade, 1916, p. 458
218	Berger, 2015	265	NGA, NWLYS/E/T/4
219	Berger, 2015	266	Berger, 2015
220	Berger, 2015	267	NGA, NWROC/E/E/4
221	Berger, 2015		
222	Berger, 2015		
223	Berger, 2015		

Abb.	Quelle	Abb.	Quelle
268	Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate II	312	Terhaerst, 1906, p. 114
269	Clegg, 1841, Plate XVI	313	o.A., 1929, Bild 60: <i>Hausgasbehälter, Ham- burg, Inhalt 30.000m3</i>
270	Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate VI	314	JGL-55, 1890, p. 356
271	Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate III	315	Berger, 2016
272	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 63, Fig. 28	316	JGL-55, 1890, p. 194
273	Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate VII	317	Dempster, 1925, p. H2
274	Clegg, 1841, Plate XVI	318	Dempster, 1925, p. H8
275	Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate II	319	Hunter, 1897, p. 84i
276	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 70	320	Hunter, 1897, p. 84i
277	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 86	321	Dempster, 1925, p. H28
278	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 80	322	Dempster, 1925, p. H29
279	NGA, NOMIC/E/9	323	Dempster, 1925, p. H32
280	Newbigging, Fewtrell, 1879, p.119	324	Dempster, 1925, H30
281	NGA, NOREC/E/T/10	325	Dempster, 1925, H31
282	NGA, NTGAL/WEG/E/T/5	326	Dempster, 1925, p. H40
283	Intze, 1883, Fig. 1	327	JGL-63, 1894, p. 1063
284	Intze, 1886, Fig. 11	328	NGA, NEMEU/E/E/1
285	Wehrmann, 1954, p. 34	329	NGA, NOCAC/E/T/1
286	Schilling, 1885, p. 22	330	NGA, BG1/NW/1/41-53
287	o. A., 1900, p. 78	331	NGA, BG1/NW/1/43-53
288	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 108	332	NGA, BG1/NW/1/50-53
289	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 104	333	JGL-54, 1889, p. 699
290	Clegg, 1866, Plate XXVI	334	Pease, 1888, p. 1113
291	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 103	335	Berger, 2016
292	NGA, NWCHU/E/T/1	336	Berger, 2016
293	MAN, 1909b, p. 2	337	JGL-64, 1894, p. 109
294	GWF, lmg 003: <i>Gasbehälter mit pat. Wölb- bassin für städt. Gaswerk Augsburg (25 000 cbm Inhalt), 18.04.1911</i>	338	JGL-65, 1895, p. 203
295	MAN, 1907, p. 4	339	JGL-66, 1895, p. 1089
296	MAN, 1909a, p. 2	340	Newbigging, Fewtrell, 1879, p. 117
297	GWF, lmg 104: <i>Gasbehälter 20. Juni 1912</i>	341	Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 119–120
298	GWF, Bild 101: <i>Gasbehältermontage am 22. Mai 1914</i>	342	Clovis, 1836, p. 321
299	GWF, Bild 125: <i>Gasbehälter 6. Juni 1914</i>	343	Newbigging, Fewtrell, 1879, pp. 131–132
300	GWF, Bild 100: <i>Gasbehälterboden am 22. Mai 1914</i>	344	Berger, 2015
301	MAN, 1909b, p. 7	345	Newbigging, Fewtrell, 1879, Plate XXIII
302	MAN, 1907, p. 4	346	Berger, 2015
303	MAN-A, 1958, 356a, 4.	347	Berger, 2015
304	MAN-A, 356c Fotos, A) 9.	348	Berger, 2015
305	Wehrmann, 1954, p. 31	349	Berger, 2015
306	Ian West (2003)	350	JGL-61, 1893, p. 435
307	BPK, Bild-Nr. 00010159	351	JGL-61, 1893, p. 75
308	ZfB 1876a, Bl. 31	352	ZfB 1876a, Bl. 31
309	Berger, 2013	353	JGL-63, 1894, p. 1063
310	Berger, 2013	354	Berger, 2013
311	LHD, Schl. II6968, 467	355	Meade, 1916, p. 451
		356	GWF, Bild 134: <i>Koksgasbehälter 2. Juni 1914</i>

Abb.	Quelle	Abb.	Quelle
357	STA-A, Plan Nr. 261525: <i>Wassergasbehälter. Übersicht. 1600m3.</i>	367	GWF, 1954: <i>100.000 m3 Scheibengasbehälter MAN (Nov. 53–18. Dez. 1954)</i>
358	STA-A, Plan Nr. 261532: <i>Wassergasbehälter, Mantel Konstruktion.</i>	368	Leffer, 2006, p. 13
359	GWF, Bild 216: <i>Koksgasbehälter Glockenmontage 1. Juni 2015</i>	369	MAN, 1930, p. 8
360	GWF, Bild 228: <i>Koksgasbeh. Rollenböcke 22. Juni 1915</i>	370	Milbourne, 1929, p. 22
361	GWF, 1954: o.T.	371	Leffer, 2006, p. 9
362	Leffer, 2006, pp. 6–7	372	MAN, 1930, p. 48
363	GWF, 1954: <i>100.000 m3 Scheibengasbehälter MAN (Nov. 53–18. Dez. 1954)</i>	373	ITG, 1938, p. 8
364	Leffer, 2006, p. 8	374	Klönne, 1926, p. 3
365	GWF, 1954: <i>100.000 m3 Scheibengasbehälter MAN (Nov. 53–18. Dez. 1954)</i>	375	ITG, 1938, p. 5
366	GWF, 1954: <i>100.000 m3 Scheibengasbehälter MAN (Nov. 53–18. Dez. 1954)</i>	376	ITG, 1938, p. 5
		377	Gross, 1960, p. 148
		378	MAN, 1936, p. 4

C. Tabellenverzeichnis

Tab.	Titel
1	Kategorisierung nach dem gasbegrenzenden Bauteil und dem Führungsgerüst
2	Kategorisierung nach Betriebsdruck
3	Niederdruckgasbehälter
4	Die Entwicklung des Eisens im Bauwesen im 18. und 19. Jahrhundert
5	Kategorisierung der Hubteile – nach der Kuppelkonstruktion
6	Konstruktion des Eckringträgers
7	Konstruktion von Hak- und Schöpftasse
8	Rollenanordnung
9	Formen von unterspannten Kuppeldächern
10	Zusammenfassung – Kuppeldach, unterspannt
11	Zusammenfassung – Kuppeldach, binderlos
12	Zusammenfassung – Stabwerkkuppel
13	Kuppelblechstärke – Zweihübiger Gasbehälter in Kennington, London (um 1878)
14	Flachdach und Kuppeldach
15	Mantelblechstärken – Zweihübiger Gasbehälter in Kennington, London (um 1878)
17	Zusammenfassung – Teleskopierung
18	Zusammenfassung – Fliegendes Hubteil
19	Baukonstruktionsgeschichte des Hubteils
20	Kategorisierung des Führungsgerüsts
21	Entwicklung des Führungsgerüsts, gezeigt an der Stütze/ Säule
22	Konstruktionsweise von Säulen
23	Konstruktionsweise von Stützen
24	Konstruktion von Trägern
25	Zusammenfassung Stützengerüst
26	Zusammenfassung Rahmengerüst
27	Zusammenfassung Verbandgerüst
28	Baukonstruktionsgeschichte des Führungsgerüsts
29	Kategorisierung des Wasserbeckens

Tab.	Titel
30	Positionierung des Wasserbeckens
31	Zusammenfassung Flachbodenbecken
32	Zusammenfassung Kegelstumpfbecken
33	Zusammenfassung Kugelbodenbecken
34	Zusammenfassung Ringbecken
35	Zusammenfassung Wölbmantelbecken
36	Baukonstruktionsgeschichte des Wasserbeckens
37	Zusammenfassung – Gasbehältergebäude
38	Vergleich des Führungsgerüsts mit der spiralen Führungstechnik
39	Überblick – Entwicklung des Gasbehälters bis ca. 1850
40	Überblick – Entwicklung des Gasbehälters von 1860 bis ca. 1860
41	Überblick – Entwicklung des Gasbehälters von 1880 bis ca. 1890
42	Überblick – Entwicklung des Gasbehälters um 1890
43	Überblick – Entwicklung des Gasbehälters – Sonderformen
44	MAN – Abteilung Gasbehälterbau bis 1935
45	Klönne – Abteilung Gasbehälterbau bis 1929
46	Zusammenfassung – Scheibengasbehälter
47	Gegenüberstellung – Hydraulischer und Scheibengasbehälter

D. DER HISTORISCHE GASBEHÄLTERBAU IN ITALIEN

D. Abbildungsverzeichnis

Abb.	Quelle
1	Alexrk2 (2010): Europe blank laea location map. CC-BY-SA, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Europe_laea_location_map.svg , (retrieved on 2019, February 6th), Karte ursprünglich farbig [Plan-grundlage] Eintragung der Länder und Jahreszahlen durch BB, 2017.
2	ITG (o. J.): Fondo Cerutti 19: <i>Pianta Regolare della Città di Torino suoi Borghi ed adiacenze</i> .
3	ITG (o. J.): Fondo Cerutti 19: <i>Off. Gas Porta Nuova, 1840</i> [Plan-Rekonstruktion].
4	ITG (1895): Fondo Cerutti 22: <i>Pianta di Torino 1895</i> .
5	ITG (1921): Faldone Cerutti 22, fasc. 1: Borgo Dora, 1921.
6	ITG (o. J.): Fotografie officine, scatola 23: o. T.
7	Berger, 2013
8	Berger, 2013
9	Arbaletè (2010): <i>La rete ferroviaria degli Stati italiani al momento della proclamazione del Regno d'Italia (17 marzo 1861)</i> , CC-BY-SA 3.0, https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Italia_ferrovie_1861.03.17.png#file-links (Retrieved on 2019, February 6th), Karte ursprünglich farbig.
10	ITG (o. J.): Fondo Cerutti 19: <i>Officina gas di Torino, Gazometri gemelli costruiti dal 1838 al 1851, demoliti 1898</i> [Plan-Rekonstruktion].
11	ITG (o. J.): Fotografie officine, scatola 22-1: o. T.
12	ITG (o. J.): Fotografie officine, scatola 1-3: o. T.
13	CRBM (o. J.), PV m 9-32: Officina del Gas di Porta Ludovica, Milano.
14	ITG (1928): Archivio storico fotografico, Venezia: o. T.
15	ITG (o. J.): Fotografie officine, scatola 7-4: o. T.
16	ITG (o. J.): Archivio storico fotografico, Fiorenzuola: o. T.
17	ITG (o. J.): Fotografie officine, scatola 14: <i>Lodi 2</i>
18	ITG (1966): Archivio storico fotografico, Carrara: <i>Gasometro, 1966 aprile, Carrara/ 36</i> .
19	TOSCE (o. J.): o. T.
20	ITG (o. J.): Archivio storico fotografico, Montecatini: o. T.
21	ITG (o. J.): Archivio storico fotografico, Pistoia: o. T.
22	ITG (o. J.): Archivio storico fotografico, Faenza: o. T.
23	ITG (o. J.): Archivio storico fotografico, Este: o. T.
24	ITG (o. J.): Fotografie officine, scatola 7-4: o. T.
25	ITG (o. J.): Fotografie officine, scatola 12-4: o. T.
26	ITG (o. J.): Fotografie officine, scatola 12-4: o. T.
27	ITG (1941): Fondo Sales 322, A521.17, fasc. 4 Sales, Mario: <i>Officina Gas di Mondovì. Incidente occorso al gasometro N° 1</i> .
28	ITG (1941): Fondo Sales 322, A521.17, fasc. 4 Sales, Mario: <i>Officina Gas di Mondovì. Incidente occorso al gasometro N° 1</i> .
29	CAFM (1866): inv. A. 268463 N.N.: <i>Officina del gas di Milano costruita nel 1886 fuori Porta Lodovica, Spagliardi e Silo</i> .
30	ITG (1955): Fotografie officine, scatola 12-3: <i>Gasometro MC 675, 1955, Legnago/N° 2</i> .
31	ITG (1959): Archivio storico fotografico, Bassano del Grappa: <i>Gasometro 915mc., 1959, Bassano/ N° 25</i> .
32	AEM (o. J.), Fondi estranei, FE0085-1
33	ITG (o. J.): Fondo Cerutti 22: Società anonima Consumatori Gas-Luce, Torino. Nuova cisterna per acque ammoniacali.
34	ITG (o. J.): Archivio storico fotografico, Messina: o.T.
35	ITG (o. J.): Fotografie officine, scatola 23: o. T.
36	ITG (1921): Fondo Cerutti mz. 22, fasc. 1, Borgo Dora 1921: 6-V-21.

Abb.	Quelle
37	ITG (1921): Faldone Cerutti 22, fasc. 1: Borgo Dora, 1921.
38	Campigotto, 1990, pp. 134–135
39	ITG (1959): Archivio storico fotografico, Ferrara: <i>Depuraz.acqua – Refrigerante e Gasometro 5000mc., 1959, Ferrara/ N° 42</i>
40	ITG (o. J.): Archivio storico fotografico, Savona: o. T.
41	ITG (o. J.): Fotografie officine, scatola 17: o. T.
42	ITG (1958): Archivio storico fotografico, San Remo: <i>Gasometro da 1900mc, 1958, San Remo/ N°2.</i>
43	ITG (1907): <i>Gazomètre de 15.000m3 a trois levées, D. n° 6232, 26. Fevrier 1907.</i>
44	Berger, 2008
45	ITG (o. J.): Archivio storico fotografico: o. T.
46	Berger, 2013
47	Berger, 2013
48	Berger, 2013
49	AEM (o. J.): Fondi Estranei, FE0036-1.
50	Berger, 2013
51	ITG (o. J.): <i>2° Existing Gasholder, 25.000 cubic meters capacity.</i>
52	ITG (1911): Archivio storico fotografico: o. T.
53	Berger, 2013
54	ITG (o. J.): Fotografie officine, scatola 14: o. T.
55	CRBM (o. J.), PV m 9-32: Officina del Gas di Porta Ludovica, Milano.
56	AEM (o. J.): Salutati: Gasometro Via Salutati nr 7-6.
57	ITG (o. J.): <i>2° Existing Gasholder, 25.000 cubic meters capacity.</i>
58	ITG (1925): Fondo Italgas 31: <i>Gazometro Telescopico a 2 Levate – Capacità mc. 2.000 – Colonne n. 10, Società Anonima Forni ed Impianti Industriali, Milano, Dis. 10604.</i>
59	ITG (1938): Fondo Sales faldone 322 neu: f1 Gasometri a vasche: <i>ANSALDO: Gasometri a Tenuta Idraulica.</i> Bergamo.
60	Zucchetta, 1960, p. 67
61	ITG (1907): <i>Gazomètre de 15.000m3 a trois levées, D. n° 6232, 26. Fevrier 1907.</i>
62	AEM (o. J.): Fondi estranei, AVV193-001.
63	TOSCE (o. J.): o. T.
64	TOSCE (o. J.): o. T.
65	ITG (1927): <i>Ex-Gasometro N°3 Officina Gas S. Francesco – Venezia, Venezia, Febbraio, 1927.</i>
66	ITG (1925): Fondo Italgas 31: <i>Gazometro Telescopico a 2 Levate – Capacità mc. 2.000 – Colonne n. 10, Società Anonima Forni ed Impianti Industriali, Milano, Dis. 10604.</i>
67	ITG (1926): <i>S.A.I. Ferrobeton: Vasca gazometrica Venezia, Armatura in Legno. Dis. N° 397V, Venezia, 17.2.1926.</i>
68	ITG (1880): Faldone Cerutti 22-2: <i>Piano del nuovo Gazometro che la Società dei Consumatori del Gaz-Luce propone (...), N. 41, Torino 29 Luglio 1880.</i>
69	AEM (o. J.): Salutati: Gasometro Via Salutati nr 7-16.
70	ITG (1930): Fondo Cerutti mz. 22, fasc. 2.: 1930 Officina Dora: <i>Demolizione gasometro, Vasca muratura e rivestimento piante ghisa.</i>
71	Berger, 2014
72	Berger, 2014
73	AEM (o. J.): Archivio, Fondi estranei, FE0118-1.
74	ITG (o. J.): Fotografie officine scatola 7-4: o. T.
75	ITG (o. J.): Archivio storico fotografico, Lucca: o. T.
76	AEM (1956): Fondi estranei: <i>Maggio 1956 – Costruzione gasometro Bovisa – FE0341-1.</i>
77	Owler, 1894, p. 31
78	Berger, 2014

Abb.	Quelle
79	LEF-A (o. J.): Bologna 42-43: MAN: <i>Scheibengasbehälter Bologna. 30.000m³. Änderungsvorschlag zur Belüftung. 265252a. M 1:100.</i>
80	LEF-A (1928): Bologna 42-44: MAN: <i>Gasbehälter von 30 000 cbm Inhalt. Städt. Gaswerk Bologna. Lfdnr. 103799. Mantelabwicklung, M 1:200. Gustavsborg, 28. November 1928.</i>
81	LEF-A (1928): Bologna 42-6/7: MAN: <i>Officina Comunale del Gas, Bologna. Italien. Gasbehälter von 30 000 CBM Inhalt. Lfdnr. 103745. Dachbinder, M 1:10. Gustavsborg, 20. November 1928.</i>
82	LEF-A (1928): Bologna 42-38/39: MAN: <i>Officina Comunale del Gas, Bologna. Italien. Gasbehälter von 30 000 CBM Inhalt. Lfdnr. 103655. Scheibenring, M 1:10. Gustavsborg, 9. November 1928.</i>
83	Berger, 2013
84	LEF-A (1932): Brescia 83-18: MAN: <i>Gasbehälter von 15000 cbm Inhalt für Brescia. Lfdnr. 129815. Übersicht, M 1:200. Mainz-Gustavsborg, September 1932.</i>
85	ITG (1958): Archivio storico fotografico, Firenze: <i>Gasometro 30000mc, 1958, Firenze/N° 9.</i>
86	TOSCE (o. J.): o. T.
87	TOSCE (o. J.): o. T.
88	ITG (1938): Fondo Sales faldone 322 neu: f1 Gasometri a vasche: <i>ANSALDO: Gasometri a secco, Licenza Kloenne. Bergamo.</i>
89	ITG (o. J.): Fotografie officine, scatola 22-1: o.T.
90	Berger, 2015
91	Berger, 2019
92	Berger, 2019
93	Berger, 2013
94	Berger, Brenner, 2008, p. 25
95	Berger, 2014
96	Berger, 2008
97	Barbari, (1500): <i>La pianta prospettica di Venezia nel 1500.</i>
98	Pavanello, 1981, p. 136 – Castello 3
99	ITG (o. J.): Archivio storico fotografico, Venezia:o. T.
100	CVAF (1930): Fotografie Reali Giacomelli: <i>Gasometri</i>
101	Berger, Brenner, 2008, p. 31
102	Berger, 2015
103	ITG (1908): SVIG 23: <i>Officina del Campo Marte [Plan]. Scala 0,001 p.m. en 1908.</i>
104	ITG (o. J.): Archivio storico fotografico, Venezia: o. T.
105	Berger, 2008
106	Berger, 2015
107	AFU (1952): Archivio Fotografico Urbanistico: <i>San Francesco Gasometro V 1952</i>
108	Berger, 2015
109	Berger, 2014
110	Berger, 2015
111	Berger, 2013
112	Berger, 2015
113	Casarin, Francesco (2009)
114	Berger, 2009
115	Berger, 2008
116	Berger, 2014
117	Berger, 2015
118	Berger, 2008
119	Berger, 2008
120	Berger, 2008

Abb.	Quelle
121	ITG (1926): Venezia 106, Riparazione gasometro 8400 mc: <i>Rilievi Gasometro 8.000 mc esistenti a S. Francesco Venezia, SAFII, 1926.</i>
122	ITG (1927): Venezia 106, Riparazione gasometro 8400 mc: <i>Carrucole inferiori, tipo per gasometro, SAFII, 1927.</i>
123	Berger, 2008
124	Berger, 2008
125	Berger, 2008
126	Berger, 2008
127	Berger, 2008
128	Berger, 2014
129	Berger, 2008
130	VESTA (1893): <i>Officina a gaz di S. Francesco</i>

D. Tabellenverzeichnis

Tab.	Titel
1	Errichtete Gaswerke in Europa
2	Die historischen Gaswerke und Gasbehälter in Turin
3	Die Einführung von Gaslicht in die Städte Italiens bis 1910 (ohne Tirol) (Plangrundlage: Fulvio314 (2014): <i>Mapa di localizzazione dell'Italia</i> , CC-BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Italy_location_map_1905.svg (retrieved on 2019, February 6th), Karte ursprünglich farbig.
4	Baukonstruktionsgeschichte des Führungsgerüsts in Italien
5	Vergleich – Der Gasbehälterbau in England und Italien. Teil A – Hydraulischer Gasbehälter
6	Vergleich – Der Gasbehälterbau in England und Italien. Teil B – Sonderformen des hydraulischen Gasbehälters, Scheibengasbehälter
7	Vergleich von Bauphase I und II
8	Venedig, San Francesco della Vigna – Gasbehälter V
9	Die historischen Gaswerke in Venedig

E. SCHLUSS

E. Abbildungsverzeichnis

Abb.	Quelle
1	Berger, 2013
2	Bärbel Heitzer, 2017
3	Berger, 2013
4	Yannis Stoyan, 2017
5	Berger, 2018
6	Berger, 2015
7	Berger, 2015
8	Brenner, Berger, 2008, p. 131
9	Giuseppe Giordano – ombra, Architectural Visualisation Studio Barcelona, 2017
10	Giuseppe Giordano – ombra, Architectural Visualisation Studio Barcelona, 2017
11	Berger, 2019

E. Tabellenverzeichnis

Tab.	Titel
1	Umnutzung von historischen Gasbehältern von 1940 bis 2017

F. ANHANG

F. Abbildungsverzeichnis

Abb.	Quelle
1	Berger, 2019
2	Berger, 2019
3	Berger, 2019
4	Berger, 2019
5	Berger, 2019 (Rechts: Rekonstruktion nach Leffer, 2019)

F. Tabellenverzeichnis

Tab.	Titel
1	Protagonisten des historischen Gasbehälterbaus 1814–1914
2	Glossar – Gasbehälterkategorien
3	Glossar – Hydraulischer Gasbehälter, Hubteil
4	Glossar – Hydraulischer Gasbehälter, Führungsgerüst
5	Glossar – Hydraulischer Gasbehälter, Wasserbecken
6	Glossar – Scheibengasbehälter

GASBEHÄLTERVERZEICHNIS

Greater London (Alphabetische Auflistung der im Buch aufgeführten Gasbehälter)	
Ort	Seiten
Battersea (Nine Elms)	246, 268, 534, 554
Beckton	137, 146, 156, 161, 165, 166, 252, 321, 323, 550, 556f
Bethnal Green	112, 228, 248, 255, 550, 556
Blackfriars Station	173, 191, 226, 244, 260, 553
Bow Common	133, 245, 550
Brick Lane	305, 332
Bromley-by-Bow	104, 111, 138, 146, 199, 248, 262, 550, 552, 557
Croyden	285
East Greenwich	47, 174, 192, 274, 278, 284, 553
Fulham	132, 146, 163, 233, 234, 245, 250, 252, 489, 552
Hornsey	53, 269, 281, 550
Kennington	112, 143, 153, 154, 155, 161, 162, 164, 166, 168, 177, 182, 185, 193, 228, 244, 246, 260, 267, 277, 316, 552, 556
Kensal Green	133, 252, 268, 327, 554
King's Cross	228, 533, 537
New Barnet	283
Old Kent Road (Peckham)	110, 142, 165, 177, 184, 194, 217, 224, 228, 240, 244, 264, 272, 276, 285, 322, 323, 553, 555
Poplar	266, 270, 312, 552
Rotherhithe	173, 177, 192, 264, 332, 553
Southall	534
St. Pancras	249, 254, 556
Stepney	187, 552
Strand – Buchhandlung Ackermann	83
Vauxhall	172, 242, 488, 551
Wapping	174, 554
Westminster	84, 87, 88, 90, 133, 155, 242, 333, 550

Großbritannien (Alphabetische Auflistung der im Buch aufgeführten Gasbehälter)	
Ort	Seiten
Altrincham	230
Bathurst	555
Birkenhead	196, 555
Birmingham	142, 182, 184, 216, 218, 274, 317, 349, 551, 555
Birmingham, Soho	81, 550
Bolton	317, 556
Cambridge	123
Carlisle	367, 551
Chester	79, 165, 231, 232, 334, 349, 366, 556
Darlington	160, 194, 282, 550
Dublin	537
Edinburgh, Granton	178, 183, 279, 551
Eastbourne	229, 270
Fakenham	111, 238, 307, 556
Glasgow	276
Great Yarmouth	224, 250, 556
Haslingden	195
Hove	224, 254, 555
Hurst Green, Stoneyhurst College	232, 240
Ipswich	398
Leeds	171, 551
Leicester	261, 551f
Liverpool	157, 368, 552
Longport	240
Lytham, Saint Annes on the Sea	178, 187, 311, 554
Manchester	552, 554
Manchester, Bradford Road	271, 554
Manchester, Liverpool Street	110
Meltham	366
Middlesbrough	324, 373, 555
Millwall	550
Northwich, Cheshire	359, 551, 554
Nottingham	195, 555
Oldham	551
Redcar	137, 247, 327
Redheugh	146, 156, 166, 167, 252, 317, 557
Redruth, Cornwall	81
Rochdale	314
Salford	138, 181, 229, 315, 321, 322, 551
Sandringham	236
Seven Oaks	114
Shanklin	550
Shoreditch	146, 252, 557
Sligo	373, 555
Somerton	241
Southport	141, 265, 549
Spennymore	238
Sunderland, Hendon Station	142, 551

Ort	Seiten
Tunbridge Wells	280, 550
Warwick, Saltisford	348
West Bromwich, Swan Village	110, 229
York	230, 242, 403, 549

Deutschland (Alphabetische Auflistung der im Buch aufgeführten Gasbehälter)	
Ort	Seiten
Aachen	552
Augsburg	398, 429
Augsburg, Oberhausen	104, 340, 384, 388, 393, 398, 537, 552, 554
Berlin	283, 476, 549
Berlin, Fichtestraße	104, 150, 351, 530, 536, 537, 555
Berlin, Halle'sches Tor	350, 553
Berlin, Hellweg	150
Berlin, Holzmarktstraße	149, 555
Berlin, Schöneberg	534, 537
Dinslaken	45, 104
Dortmund	403, 552
Dresden	549
Dresden, Reick	357, 536, 541, 554
Duisburg, Landschaftspark Nord	540
Essen a. d. Ruhr	334
Freiburg	557
Gelsenkirchen, Zeche Nordstern	406, 403, 552
Gustavsburg, MAN-Werk	398, 552
Hamburg	552
Hamburg, Altona	403
Hamburg, Billwärder	356, 398, 403
Hamburg, Steinwärder	398
Herne, Bergwerkgesellschaft „Hibernia“	403
Leipzig	532, 537
Mainz	398
München	549
München, Moosach	288, 398
Nürnberg	398, 554
Nürnberg, Am Plärrer	355
Nürnberg, MAN-Werk	343
Nürnberg, Sandreuth	398
Oberhausen	531, 536
Pforzheim	532, 537
Saarbrücken, Burbach	104
Staade	537
Wernigerode	286, 403, 532
Wesel	403
Wuppertal	537
Zwickau	536

Italien (Alphabetische Auflistung der im Buch aufgeführten Gasbehälter)	
Ort	Seiten
Alessandria	426, 429, 431
Ancona	427, 429
Ascoli	427f
Aversa	429
Bari	427ff
Bassano del Grappa	445
Baveno	429
Bergamo	427
Bologna	426ff, 554
Bologna, Porta Mascarella	450, 482, 492
Brescia	46, 55, 427, 484, 534, 549, 554
Cagliari	427, 428
Carrara	438
Casale Monferrato	427f, 454, 468, 473, 549, 556
Caserta	429
Catania	429
Catanzaro	427, 429
Cesena	429
Chiavari	427
Chieti	427ff
Civitavecchia	427ff, 437, 441, 478
Cornegliano, ILVA-Werk	487
Cuneo	426f
Domodossola	429
Este	441
Faenza	439
Ferrara	427ff, 451
Fiorenzuola	437
Florenz	426ff, 437, 551f
Florenz, San Frediano	439, 460, 470
Florenz, Rifredi	486
Foggia	427, 429
Fossano	429
Genua	426ff, 484, 549
Girgenti	429
Lecco	484, 549
Legnago	427ff, 445
Lendiaro	437, 442
Lodi	427, 438
Lucca	427, 429, 478
Mailand	134, 426ff, 474, 470, 549ff, 555f
Mailand, Affori	446
Mailand, Bovisa	456, 458, 470, 479, 489
Mailand, Porta Ludovica	434, 444, 488
Mailand, Porta Magenta	478
Mailand, Via Salutati	467, 474
Mantua	427

Ort	Seiten
Marsala	429
Messina	446
Modena	429
Moncalieri	429
Mondovì	427, 429, 437, 443, 555
Montecatini	440
Monza	427
Neapel	426ff, 437, 488
Neapel, Arenaccia	452, 460
Nizza Monferrato	429
Novara	429
Ostiglia	445
Padua	426, 555
Palermo	427, 428
Parma	426f
Pavia	427
Pisa	427
Pistoia	427, 429, 439
Prato	427, 429, 466
Rapallo	429
Ravenna	427
Reggio di Calabria	427, 428
Revre	429
Rimini	427
Rom	283, 427ff, 552
Rom, San Paolo	456, 458, 467, 489, 537
Rovigo	427
Saluzzo	432, 489
San Remo	427, 452
Savona	427, 429, 450
Siena	427
La Spezia	427f
Tortona	427
Treviso	426, 555
Triest	426, 476, 484, 492, 549, 553
Turin	420, 426ff, 549ff, 555
Turin, Borgo Dora	421, 448, 474
Turin, Porta Nuova	420, 432, 488
Turin, Vanchiglia	422, 446, 448, 456, 474
Venedig	426ff, 520, 551, 555
Venedig, San Francesco della Vigna	113, 120, 427, 436, 439, 446, 454, 468, 472f, 488, 496ff, 502ff, 534, 556
Venedig, Santa Marta	454, 469, 499ff, 522ff, 556
Venedig, Marghera	487, 552
Verona	426, 437
Vicenza	426

Sonstige (Alphabetische Auflistung der im Buch aufgeführten Gasbehälter)	
Land – Ort	Seiten
AT– Wien	283
AT – Wien, Simmering	288, 297, 342, 398, 532, 536, 554
AT – Wien, Brigittenau	342, 398
AU – Bathurst	372
AU – Sydney	157, 334, 554
BE – Brüssel	202
CN – Hongkong	283
DK – Kopenhagen	283, 536
DK – Østre, Kopenhagen	536
DZ - Algier	398
ES – Barcelona	531, 536
FR – Lyon	426, 434, 436, 439, 551, 555
FR - Marseille	398
FA – Paris	67, 283, 398, 557
FA – Verviers	202
GR – Athen	532, 536
HU – Budapest	344, 398
ID – Bombay	283
ID – Kalkutta	283
NL – Amsterdam	283, 287, 403, 536, 552
NL – Naaldwijk	537
NL – Rotterdam	287, 403, 552
SE – Gävle	536
US – Chicago	397, 398, 551, 554
US – Tulsa, Oklahoma	556

ZUR AUTORIN

Zur Autorin



DR.-ING. BARBARA BERGER

Barbara Berger (*1983 in Freising) ¹ studierte Architektur an der Technischen Universität München und am Istituto Universitario di Architettura in Venedig, wo sie zum ersten Mal auf die Gasbehälter aufmerksam wurde. Fasziniert von deren architektonischer Gestalt und Bedeutung waren diese schließlich das Thema ihrer Diplomarbeit (2008/2009).

Nach dem Studium arbeitete sie zunächst als Architektin für das Ingenieurbüro Barthel & Maus GmbH in München und in Mainz, bis sie sich 2013 schließlich wieder den Gasbehältern widmete, um deren vollständige technisch-konstruktive Entwicklung zu erforschen.

Parallel zu ihrer Dissertation **DER GASBEHÄLTER ALS BAUTYPUS**, die sie als externe Doktorandin bearbeitete, war Barbara Berger als Architektin für das Ingenieurbüro Haushochdrei GmbH in München und als Schwimmtrainerin für die Stadtwerke München tätig.

Ihre Forschungen wurden vom Deutschen Studienzentrum in Venedig (08/2013–02/2014; 12/2014), dem Deutschen Historischen Institut in London (10–12/2015) und schließlich dem Laura-Bassi-Preis (01–12/2016) der Technischen Universität München unterstützt.

Barbara Berger wurde 2018 promoviert und schuf mit ihrer Dissertation, die auf der Basis von zahlreichen besichtigten und recherchierten Gasbehältern in Italien, England und Deutschland fußt, ein umfassendes Standardwerk zum historischen Gasbehälterbau.

Seit 2017 ist sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Technischen Universität München für Lehramt an beruflichen Schulen im Fach Bautechnik tätig.

1 Foto, Martin Ley, 2018

