

Niedrigstenergiestandard für Nichtwohngebäude

Empirische Potentialstudie zur Realisierbarkeit eines Niedrigstenergiestandards
bei Nichtwohngebäuden mit hohem Energiebedarf

Michael J. Keltsch



Michael J. Keltsch
ORCID:
<http://orcid.org/0000-0001-6110-0644>

Technische Universität München

Fakultät für Architektur

Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen

Prof. Dr.-Ing. Werner Lang

Niedrigstenergiestandard für Nichtwohngebäude

Empirische Potentialstudie zur Realisierbarkeit eines Niedrigstenergiestandards bei Nichtwohngebäuden mit hohem Energiebedarf

Michael J. Keltsch

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.-Ing. Rainer Barthel
Prüfer der Dissertation	1. Prof. Dr.-Ing. Werner Lang 2. Prof. Thomas Auer

Die Dissertation wurde am	23.04.2019 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die
Fakultät für Architektur am	25.06.2019 angenommen.

Für
Paula, Jakob,
Moritz & Niki

Dank

Der wesentliche Teil der vorliegenden Arbeit entstand während meiner wissenschaftlichen Tätigkeit am Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen an der Fakultät für Architektur der Technischen Universität München. Im Rahmen eines Kooperationsmodells zwischen dem Bayerischen Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr und der Fakultät für Architektur ist es mir ermöglicht worden, für zwei Jahre und acht Monate von der Bayerischen Staatsbauverwaltung an die TU München zu wechseln und dabei diese Dissertation zu bearbeiten.

Mein Dank gilt daher zunächst den Verantwortlichen am Bayerischen Bauministerium für das Zustandekommen dieser Kooperation. Herrn Ministerialdirektor Helmut Schütz, Leiter des Ministeriums, und Herrn Ministerialdirigenten Friedrich Geiger, Leiter der Abteilung Hochbau, danke ich für ihr Engagement innerhalb des Kooperationsmodells und für das Vertrauen, das sie mir mit der Entscheidung für meine Person gegeben haben. Ebenso möchte ich mich bei Frau Professor Sophie Wolfrum in ihrer damaligen Funktion als Dekanin der Fakultät für Architektur bedanken, die sich sehr für den Erhalt des Kooperationsmodells eingesetzt hat.

Ganz besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr.-Ing. Werner Lang. Als mein Doktorvater hat er mir zu jeder Zeit das notwendige Vertrauen und den notwendigen Freiraum zur Erarbeitung dieser Dissertation gegeben. Seine Diskussionsbereitschaft, die Offenheit in der Themenbearbeitung und die immerwährende Fokussierung auf das eigentliche Ziel unseres Arbeitens waren Inspiration und Motivation für mich.

Herrn Professor Thomas Auer danke ich für inhaltliche und methodische Anregungen sowie für die Bereitschaft, als Zweitbetreuer zur Verfügung zu stehen. Herrn Professor Dr.-Ing. Rainer Barthel möchte ich für den Vorsitz der Prüfungskommission meinen Dank aussprechen.

Vielen weiteren Personen habe ich an dieser Stelle zu danken:

Meinen Kolleginnen und Kollegen am Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen und am Lehrstuhl für Gebäudetechnologie und klimagerechtes Bauen für die vielen anregenden Gespräche, die inspirierende Arbeitsatmosphäre und das einzigartige Miteinander,

Christina Dotzler, Daniel Kierdorf, Manuel de Borja Torrejón, Sven Moosberger, John Anderson für die fachliche Unterstützung in wichtigen Phasen der Bearbeitung,

den Kolleginnen und Kollegen der Bayerischen Staatsbauverwaltung, besonders Karin Reich und Andreas Kronthaler, für die Unterstützung bei der Datenbeschaffung und den fachlichen Austausch,

den Kolleginnen und Kollegen in den Referaten 15 (Danke Heike), 18 und 19 für die fachliche und moralische Unterstützung in der Endphase der Arbeit,

Egbert Dittrich (EGNATON e.V.) und Andreas Kühne (Bauakademie Berlin, IFMA Benchmarking) für den wertvollen Input seitens ihrer Fachorganisationen für Laborbau.

Ohne die bedingungslose Unterstützung meiner Familie wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. Meinen Eltern Karin und Ulrich danke ich für eine Erziehung mit selbstbestimmtem Werteverständnis.

Meiner Frau Dominique danke ich besonders dafür, dass sie mich über Jahre hinweg trotz drei kleiner Kinder in meinem Tun bestärkt hat und mir den notwendigen Freiraum gegeben hat. Moritz, Jakob und Paula sind meine persönliche Bestätigung, das richtige zu tun. Ohne euch wäre alles nichts.

Kurzfassung

Übergeordnete Bedeutung des Themas /

Fragestellung der Arbeit

Die Europäische Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD 2010) fordert ab dem Jahr 2021 den Niedrigstenergiestandard für Neubauten (nZEB): Gebäude mit sehr geringem Betriebsenergiebedarf, der zu einem wesentlichen Teil aus erneuerbaren Energiequellen gewonnen wird. Für Wohngebäude ist der Nachweis, dass dieser Standard erfüllt werden kann, bereits erbracht. Andere Gebäudetypologien sind von diesem Ziel noch weit entfernt. Im Fokus der Arbeit stehen Nichtwohngebäude mit hohen Energiebedarfen. Welche Potentiale bieten diese Gebäude in Bezug auf einen solchen energetischen Standard?

Teil II: Wissenschaftliche Methode / Ergebnisse

Die Arbeit analysiert zunächst die Potentiale von zehn Fallstudien verschiedener Typologien von Nichtwohngebäuden. Die Ergebnisse werden in Beziehung zum Gebäudebestand des Freistaats Bayern gesetzt, um die Menge an kritischen Nebautypologien abschätzen zu können. Die Ergebnisse zeigen, dass mindestens 86,8 % aller Neubauten des Freistaats einen derartigen Standard ohne größere Anstrengungen erreichen können. Unter den verbleibenden 13,2 % sind Gebäude mit extrem hohen Energieverbräuchen, und extrem verdichtete Bauweisen mit hohen Geschossezahlen. Für lediglich 2,3 % aller Neubauten erscheint ein derartiger Standard als zu ambitioniert.

Teil III: Wissenschaftliche Methode / Ergebnisse

Im zweiten Teil der Arbeit wird eine Gebäudetypologie mit extrem hohem Energiebedarf, das Laborgebäude, detailliert untersucht. Anhand thermischer Simulation werden verschiedene Effizienz-, Konsistenz- und Suffizienzmaßnahmen an einer generischen Fallstudie analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die genauere Analyse ein wesentlich höheres Potential in Bezug auf einen nZEB-Standard aufweist, als die Standardbilanzierung. Zugleich ist der thermische Innenraumkomfort planbar. Die Kombination aller analysierten Maßnahmen lässt ein – theoretisches – Niedrigstenergie-Laborgebäude erreichbar erscheinen.

Teil IV: Schlussfolgerung

Der Niedrigstenergiestandard der EPBD ist für alle Gebäudetypologien ein richtiger Ansatz auf dem Weg zu einem klimaneutralen Gebäudebestand. Die Umsetzung erfordert die konsequente Anwendung von bereits verfügbaren Technologien. Gerade für Gebäude mit hohem Energiebedarf können die Ansätze sowohl ökologisch als auch ökonomisch sinnvoll sein.

Stichworte:

Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), Niedrigstenergiestandard (nZEB), Nichtwohngebäude, hochinstallierte Sonderbauten, Laborgebäude, Energiebilanz;

Abstract

Overall Importance of the Topic /

Question of the Thesis

The Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) 2010 calls for the Nearly Zero Energy Building (nZEB) Standard for new buildings from 2021 onwards: buildings requiring "almost no energy" that are mainly powered by renewable sources or by the energy produced by the building itself. While residential buildings are definitely up to this ambitious standard, other types of buildings are still far from reaching that goal. The focus of the work is on such non-residential buildings with high energy demands. What is the potential of these buildings with regard to the aforementioned energy standard?

Part II: Scientific Method / Results

The paper first analyzes the potential of ten case studies, representing non-residential buildings with various uses. The results are related to the building stock of the Free State of Bavaria in order to estimate the amount of critical new building types. The results show that at least 86.8 % of all new buildings easily reach this standard. Among the remaining 13.2 % there are buildings with extremely high energy demands, and densely built-up high-rise areas. Only 2.3 % of all new buildings are unlikely to reach this standard.

Part III: Scientific Method / Results

In the second part of the thesis, a building type with an extremely high energy demand, the laboratory building, is examined in detail. Using thermal simulation, various efficiency, consistency and sufficiency measures are analyzed in a generic case study. The results show that the more detailed analysis has a much higher potential with respect to an nZEB standard than the standard calculation methods. In addition, comfortable indoor temperatures can be achieved through appropriate planning with simulation tools. Through the combination of all measures analyzed, a – theoretical – Nearly Zero Energy Laboratory Building actually appears within reach.

Part IV: Conclusion

The nZEB Standard of the EPBD is a proper approach for all types of buildings towards a climate-neutral building stock. The implementation requires the consistent application of all available technologies. The approach seems definitely worthwhile, both ecologically and economically, in particular for buildings with a high energy demand.

Keywords:

Energy Performance of Buildings Directive (EPBD 2010); Nearly Zero Energy Building (nZEB) Standard; non-residential buildings; highly technically installed buildings; laboratory buildings, energy balance;

Inhalt

	01 Einleitung	11
Teil I	Ausgangssituation	21
	02 Energy Performance of Building Directive	23
	03 Energierecht für Gebäude in Deutschland	27
	04 Energetische Bilanzierung von Gebäuden	31
	05 Energiestandards für Gebäude in Deutschland	39
	06 Freistaat Bayern als öffentlicher Bauherr	47
Teil II	Niedrigstenergiestandard für Nichtwohngebäude	53
	07 Liegenschaftsbestand Freistaat Bayern	55
	08 Fallbeispiele	65
	09 Untersuchungsmethode I	73
	10 Analyse I	91
	11 Ergebnisdiskussion I	103
Teil III	Niedrigstenergie- Laborgebäude (nZELab)	115
	12 Laborgebäude	117
	13 Laborgebäude & Energie	127
	14 Untersuchungsmethode II	141
	15 Analyse II	155
	16 Ergebnisdiskussion II	181
Teil IV	Abschluss	193
	17 Konklusion	195
	Additament	203
	18 Verzeichnisse	205
	19 Anhang	241

01.1	Klimaschutz und Gebäude	12
01.1.1	Klimaschutz als globale Aufgabe	12
01.1.2	Nationale Umsetzung	12
01.1.3	Gebäude sind langlebig	12
01.1.4	Der Gebäudesektor im Fokus der Energie- und Klimapolitik	13
01.2	Stand der Forschung	14
01.2.1	Gebäudestandards	14
01.2.2	Null- und Plusenergiestandard bei Wohngebäuden	15
01.2.3	Null- und Plusenergiestandard bei Nichtwohngebäuden	15
01.2.4	Niedrigstenergiestandard bei nWG mit hohen Energiebedarfen	15
01.3	Forschungsfragen und Methoden	16
01.4	Aufbau der Arbeit	18
01.5	Publikationen und Vorträge	19

01.1 Klimaschutz und Gebäude

01.1.1 Klimaschutz als globale Aufgabe

Am 12. Dezember 2015 haben die 195 Mitgliedsstaaten der UN-Klimakonferenz (UNFCCC) erstmalig ein gemeinsames Klimaschutzabkommen unterzeichnet. Jedes Mitgliedsland verpflichtet sich zu Maßnahmen, die den weltweiten Temperaturanstieg auf unter zwei Grad, besser eineinhalb Grad, begrenzen sollen (Abbildung 01-01) [UNFCCC 2015, Art. 2]. Die Wissenschaft belegt den kausalen Zusammenhang zwischen der CO₂-Konzentration in der Erdatmosphäre und der Entwicklung der globalen Durchschnittstemperatur [Feulner 2017]. Dieser Zusammenhang ist - bis auf wenige Ausnahmen - weltweit akzeptiert. Der Energieverbrauch und die damit verbundene Verbrennung von fossilen Energieträgern ist hauptverantwortlich für die im Anthropozän verursachten CO₂-Emissionen [Crutzen 2002]. Die effektive Senkung des Energieverbrauchs im Gebäudesektor und die Nutzung von erneuerbaren Energien sind zentrale Bausteine zur Umsetzung der Vereinbarungen des Pariser Abkommens, dem Nachfolgevertrag des Kyoto-Protokolls. Der Gebäudesektor trägt mit ca. 40 % zum Gesamtenergieverbrauch der Europäischen Union (EU) bei. Daher hat die EU bereits 2002 die erste Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden erlassen und verlangt von den Mitgliedsstaaten die Umsetzung der darin formulierten Ziele. [EPBD 2010]

01.1.2 Nationale Umsetzung

Der Koalitionsvertrag von 2013 sieht die Energieeffizienz als tragende Säule der Energiewende an. Im Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE) werden energiepolitische Instrumente gebündelt, die national in den Sektoren Gebäude, Industrie, Gewerbe

und private Haushalte den Energieverbrauch durch Effizienzmaßnahmen senken sollen. [BMW 2014b] Betrachtet man die Energiebedarfe, die im deutschen Energiericht dem Gebäude zugeordnet werden, dann entfielen 2015 auf den Gebäudesektor 35,3% der in Deutschland verbrauchten Endenergie [BMW 2016, 38]. Wie groß das Potential im Gebäudesektor eingeschätzt wird, verdeutlicht §1 „Zweck und Anwendungsbereich“ der Energieeinsparverordnung (EnEV): bis zum Jahr 2050 soll ein nahezu klimaneutraler Gebäudebestand erreicht werden [EnEV 2013, §1]. Dazu wird es erforderlich sein, den nicht erneuerbaren Endenergieverbrauch des Gebäudesektors um nahezu 80 % bis zum Jahr 2050 gegenüber 2008 zu senken. Zeitgleich soll der Anteil von erneuerbaren Energien (EE) am Energieverbrauch (Dekarbonisierung) im Gebäudesektor auf nahezu 80 % erhöht werden (Abbildung 01-02). [prognos et al. 2015, 10-13]

01.1.3 Gebäude sind langlebig

Die Lebensdauer von Gebäuden und die niedrigen Sanierungsquoten von unter einem Prozent pro Jahr sind ein großes Problem für die Umsetzung des Ziels „klimaneutraler Gebäudebestand“ [BBSR 2016, 6]. Rund 70% des Gebäudebestands der Wohngebäude (WG) sind älter als 30 Jahre. Sie stammen aus einer Zeit, in der noch keine wesentlichen Anforderungen an Energieeffizienz gestellt wurden. [IWU 2007, 17-20] Für den Bereich der Nicht-Wohngebäude (nWG) liegen keine vergleichbaren belastbaren Zahlen vor. Der Neubau von 2020 wird das 30 Jahre alte Bestandsgebäude im Jahr 2050 sein und darüber hinaus noch lange in Betrieb bleiben. Umso wichtiger ist es, bei Sanierungen und Neubauten so schnell wie möglich einen Standard zu erreichen, der für die Zielsetzung bis 2050 geeignet erscheint. Erfüllen

Abbildung 01-01:
Artikel 2 der Beschlüsse der
UNFCCC in Paris 2015
[UNFCCC 2015]

Article 2

1. This Agreement, in enhancing the implementation of the Convention, including its objective, aims to strengthen the global response to the threat of climate change, in the context of sustainable development and efforts to eradicate poverty, including by:

(a) Holding the increase in the global average temperature to well below 2°C above pre-industrial levels and pursuing efforts to limit the temperature increase to 1.5°C above pre-industrial levels, recognizing that this would significantly reduce the risks and impacts of climate change; (b) Increasing the ability to adapt to the adverse impacts of climate change and foster climate resilience and low greenhouse gas emissions development, in a manner that does not threaten food production; and (c) Making finance flows consistent with a pathway towards low greenhouse gas emissions and climate-resilient development. 2. This Agreement will be implemented to reflect equity and the principle of common but differentiated responsibilities and respective capabilities, in the light of different national circumstances.

aktuelle Neubauten diesen Standard nicht, wird die Problemlösung wieder auf eine der nächsten Sanierungs- oder Neubauzyklen verschoben.

01.1.4 Der Gebäudesektor im Fokus der Energie- und Klimapolitik

Der Gebäudesektor erscheint derzeit für die Umsetzung der Klimaziele gut geeignet, da bereits eine Vielzahl an Techniken, die eine Umsetzung der formulierten Anforderung erwarten lassen, entwickelt, verfügbar und erprobt sind [Voss et al. 2011]. Viele der Neubauten übererfüllen die aktuell geltenden Anforderungen des Energieeinsparungsgesetzes (EnEG) und nachfolgender Regelwerke. Niedrigenergiehäuser, KfW-Effizienzhäuser und Passivhäuser sind vor allem im Wohnungsbau mittlerweile weit verbreitet (Kapitel 05.1). Aktuell werden Nullenergiegebäude, Aktivhäuser und Effizienzhaus-Plus Standards erfolgreich für Typologien mit geringem Endenergiebedarf erprobt. Es ist folgerichtig, dass die EU für den Gebäudesektor bereits Vorgaben konkretisiert hat: Die erste „Energy Performance in Buildings Directive (EPBD)“ von 2002 (RL 2002/91/EU) hat in allen Mitgliedsstaaten die Einführung von umfangreichen Bilanzierungsverfahren für Neubauten erforderlich gemacht. Mit der Novellierung 2010 (RL 2010/31/EU) ist die Zielsetzung „nearly Zero Energy Building (nZEB)“ definiert worden. Die Richtlinie setzt umfassend am Gebäudebestand an. Sie verlangt Mindeststandards für Renovierungen von bestehenden Gebäuden und den Austausch einzelner Gebäudekomponenten ebenso wie für Neubauten ab dem Jahr 2021 bzw. 2019 für alle Neubauten im selbstgenutzten Eigentum öffentlicher Bauherren. Die Anforderungen für Neubauten ab 2021 bzw. 2019 sind innerhalb der EU-Richtlinie mit dem sogenannten Niedrigstenergiestandard ambitioniert formuliert (Abbildung 01-03). Die konkreten Anforderungskriterien für den Niedrigstenergiestandard sind von den Mitgliedsstaaten unter Berücksichtigung ihrer klimatischen Bedingungen selbst festzusetzen. [EPBD 2010] Die Bundesrepublik Deutschland hatte sich zum Ziel gesetzt, bis 01. Januar 2017 die Anforderungen für öffentliche Gebäude zu definieren [EnEG 2013, §2a Abs. 3]. Schon dieser erste Schritt ist vor der Bundestagswahl 2017 politisch nicht durchsetzbar gewesen und bis zur Fertigstellung dieser Arbeit immer noch nicht erfolgt [Tuschinski 2017].

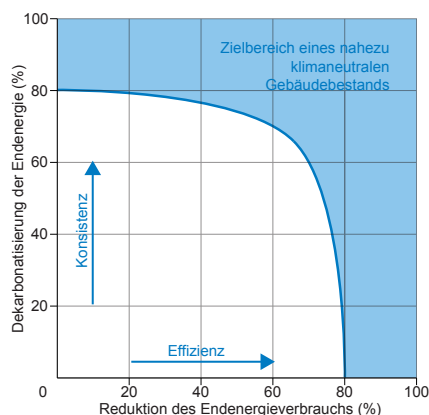


Abbildung 01-02: Zielbereich für einen klimaneutralen Gebäudebestand [prognos et al. 2015]

Die Arbeit nimmt daher den Wortlaut der EU-Richtlinie als Zieldefinition für Neubauten ab 2021. Es ist zu überprüfen, in wie weit auch Nichtwohngebäude mit sehr hohen Energiebedarfen dieser Forderung gerecht werden können. Beispielsweise soll der Energieverbrauch eines Krankenhauses pro Bett dem Energieverbrauch eines durchschnittlichen Doppelhauses entsprechen [Beier 2009]. Der Stromverbrauch für die Grundlüftung eines Standardlabors (Chemielabor, ca. 40 m², 8-facher Luftwechsel) soll in etwa dem Stromverbrauch eines Einfamilienhauses entsprechen [Pfab 2015]. Angesichts dieser Vergleiche drängt sich die Frage auf, ob der Energiebedarf solcher Gebäude alleine durch Effizienzmaßnahmen soweit gesenkt werden kann, dass er zu einem Großteil aus erneuerbaren Energien, die am Standort oder in der Nähe erzeugt werden, gedeckt werden kann. Falls das nicht möglich ist, folgt die Frage, welche Gebäudetypologien diese Forderungen umsetzen können. Wie ist mit den Typologien, die mit der Umsetzung Probleme haben, umzugehen? Diese Fragestellungen stehen im Zentrum dieser Arbeit.

Artikel 2
Begriffsbestimmungen

Im Sinne dieser Richtlinie bezeichnet der Ausdruck:

...

2. „Niedrigstenergiegebäude“ ein Gebäude, das eine sehr hohe, nach Anhang I bestimmte Gesamtenergieeffizienz aufweist. Der fast bei Null liegende oder sehr geringe Energiebedarf sollte zu einem ganz wesentlichen Teil durch Energie aus erneuerbaren Quellen — einschließlich Energie aus erneuerbaren Quellen, die am Standort oder in der Nähe erzeugt wird — gedeckt werden;

Abbildung 01-03: Definition des Niedrigstenergiegebäudes [EPBD 2010]

01.2 Stand der Forschung

01.2.1 Gebäudestandards

Das Energierecht in Deutschland ist auf Minusenergiegebäude ausgelegt. Das sind Gebäude, die den eigenen Energiebedarf nicht durch eigene Energieproduktion ausgleichen und somit eine negative Energiebilanz haben. Die Möglichkeit, diesen Betriebsenergiebedarf durch eigene Energieerzeugung komplett zu kompensieren, ist in der EnEV durch die Begrenzung auf den unmittelbaren Eigenverbrauch ausgeschlossen. [EnEV 2013] Die Wissenschaft forscht bereits seit mehreren Jahren an Nullheizenergie-, Nullenergie- und Plusenergiegebäuden, z.B. [Hegger 2013] [Lüking et al. 2012] [Marszal et al. 2011] [Musall et al. 2015] [Torcellini et al. 2006b] [Voss et al. 2011].

Hinzu kommen private Initiativen, die unterschiedliche Ansätze verfolgen und eigene Standards und Zertifizierungssysteme anbieten, z.B. [Feist 1993] [AktivPlus 2016]. Mangels einer Legaldefinition für Bilanzmethoden dieser Gebäudestandards werden viele verschiedene Berechnungsarten, Bilanzräume und Kriterien definiert und angewendet, sogar innerhalb gleicher Klimazonen [Musall 2015]. Die Definition des Niedrigstenergiegebäudes (nZEB) durch die EU im Jahr 2010 hat jedem einzelnen Mitgliedsstaat die exakte Definition im Rahmen der EU-Richtlinie selbst überlassen [EPBD 2010]. Das hat zur Folge, dass sich innerhalb der Union eine große Bandbreite an Bilanzierungen in den einzelnen Mitgliedsstaaten entwickelt hat [BPIE 2011] [EU 2013, A1]. Auch in Deutschland sind Studien zur Standarddefinition erarbeitet worden [BMVBS 2012b].

01.2.2 Null- und Plusenergiestandard bei Wohngebäuden

Die Mehrzahl der Studien über Niedrigst-, Null- und Plusenergiestandards beschäftigen sich mit Wohngebäuden, z.B. [Rodriguez et al. 2014] [Voss et al. 2011]. Sie weisen unter den normal temperierten Gebäuden einen vergleichsweise geringen Energiebedarf und ein einfaches Nutzungsprofil auf. Dennoch nimmt der Bau von Wohngebäuden den größten Sektor der Neubautätigkeit ein. Gemessen am Raumvolumen trägt er über 40 % zur Neubautätigkeit bei (Abbildung 01-04) und ist damit sehr wichtig für die Erfüllung der Klimaschutzziele [destatis 2014]. Der Wettbewerb Solar Decathlon, der 1999 erstmals durchgeführt wurde, zeigt seit 2007 kleine Wohngebäude, die sich durch Sonnenenergie selbst versorgen [Hegger 2010]. Das Aktivstadthaus in Frankfurt zeigt, dass unter gewissen Voraussetzungen mittlerweile auch mehrgeschossige Wohngebäude in verdichteten Stadtzentren Plusenergiestandard erreichen können [Erhorn et al. 2016].

01.2.3 Null- und Plusenergiestandard bei Nichtwohngebäuden

Der Bau von Nichtwohngebäuden hat in Deutschland einen Anteil von knapp 60 % am neu errichteten BRI (Abbildung 01-04). Darunter befinden sich unterschiedliche Gebäudetypologien, von landwirtschaftlichen Gebäuden bis zu Industriebauten.

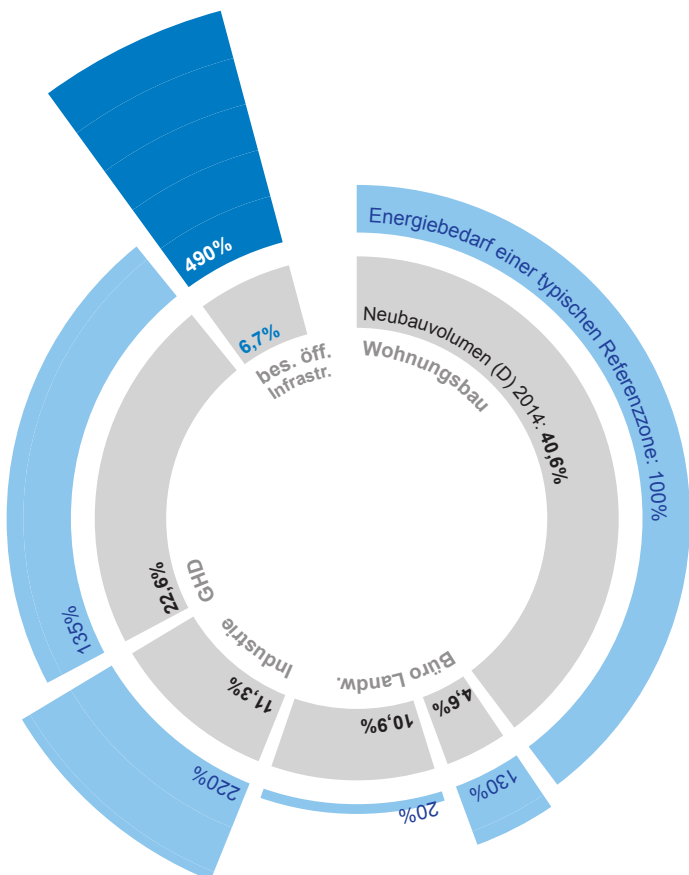


Abbildung 01-04: Neubauvolumen (BRI) 2014 in Deutschland mit dem spezifischen nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf einer Referenzzone prozentual zur Nutzung Wohnen [destatis 2014]

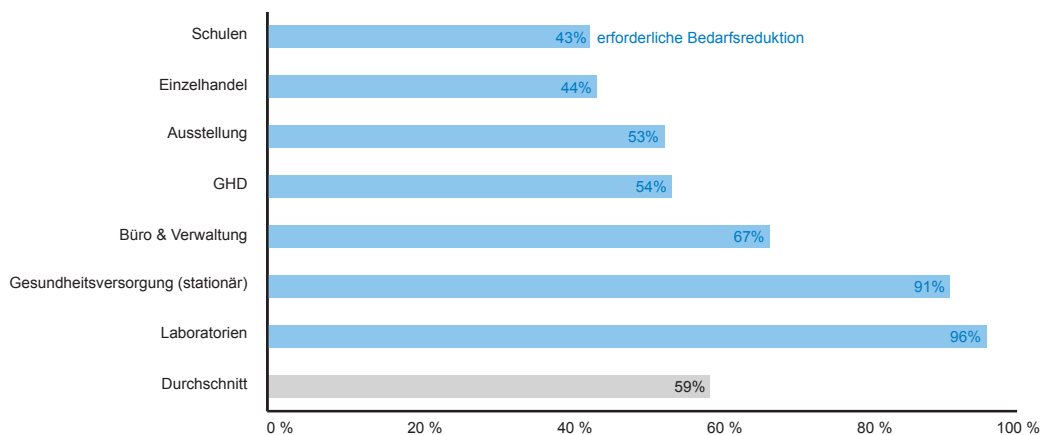


Abbildung 01-05:
Notwendige Reduktion des Stromverbrauchs amerikanischer Bestandsgebäude, wenn Solarstromanlagen auf den jeweiligen Dächern den Verbrauch in der Jahressumme ausgleichen sollen [Voss et al. 2011, 16]

Für Nichtwohngebäude (nWG) mit Null- und Plusenergiestandard werden hauptsächlich Typologien verwendet, deren Energiebedarfe innerhalb der heterogenen Masse von Nichtwohngebäuden geringer ausfallen, wie zum Beispiel Bürogebäude [Voss et al. 2011]. Da prozessbedingte Abwärme als erneuerbare Energie definiert ist, sind Gebäudetypologien mit Nutzungen, die eine große Menge an Abwärme mit hohem Temperaturniveau erzeugen, auch im Fokus solcher Standards [BINE 2017]. Das Programm „Effizienzhaus Plus“ des Bundesbauministeriums wird sukzessive auf Nichtwohngebäude erweitert. Darin werden neben Büro- und Verwaltungsbauten auch Kindertagesstätten und Schulgebäude projektiert [Erhorn et al. 2016]. Weitere Bautypologien stammen eher aus Typologien mit niedrigen Geschosshöhen und damit einem guten Verhältnis von Nutzfläche zu verfügbarer Dachfläche. Gestaltet man derartige Typologien energieeffizient, kann ihr Energiebedarf durch Energieerzeugung mittels Photovoltaik (PV) bilanziell kompensiert werden (Abbildung 01-05). Eine Sonderstellung unter den Nichtwohngebäuden nehmen die besonderen öffentlichen Infrastrukturen ein, beispielsweise Krankenhäuser oder Forschungsgebäude von Hochschulen. Ihr Anteil am Neubauvolumen ist vergleichsweise gering. Allerdings können die Energiebedarfe dieser Gebäude sehr hoch ausfallen. In Abbildung 01-04 ist der spezifische Energiebedarf einer Laborzone nach Referenzgebäude EnEV exemplarisch dargestellt. Die Grenzen zwischen den einzelnen Sektoren als fließend zu betrachten.

Auch in den Bereichen Industrie und Gewerbe sind beispielsweise Laborgebäude enthalten. Ebenso weist der Bereich der besonderen öffentlichen Infrastruktur Gebäude mit geringeren Energiebedarfen auf. Es ist zu vermuten, dass dieser Sektor aufgrund seiner Heterogenität und seinem geringen Anteil am Neubauvolumen bislang nicht im Fokus wissenschaftlicher Untersuchungen lag.

01.2.4 Niedrigstenergiestandard bei nWG mit hohen Energiebedarfen

Für die stark heterogene Gruppe der nWG ist derzeit noch kein energetischer Standard untersucht, der als Orientierung für den Niedrigstenergiestandard dienen könnte [BRD 2013, 8]. Für hochinstallierte Nichtwohngebäude mit energieintensiven Nutzungen (z.B. Laborgebäude) wird das Potential zur Erlangung eines Nullenergiestandards bei null gesehen [Griffith et al. 2007]. Sie stellen kritische Typologien im Sinne dieser Arbeit dar. Es gibt vielmehr Kritik an der Anwendbarkeit verschiedener Energiestandards und Berechnungsmethoden an spezialisierten Bautypologien [IFMA 2012] [Born et al. 2014]. Veröffentlichungen zu kritischen Typologien befassen sich jeweils mit der Vielzahl von installierten Einzelkomponenten, z.B. bei Laborgebäuden [Dittrich 2015] oder Krankenhäusern [Beier 2009]. Dabei werden Einzelkomponenten häufig singular betrachtet. Bislang unberücksichtigt ist bei o. g. Gebäuden die ganzheitliche Betrachtung im Hinblick auf eingangs erwähnte Zielsetzungen. Analysen mit umfassenden



Abbildung 01-06:
Abwasserwärmerückgewinnung der zentralen Sterilgutversorgung am
Klinikum rechts der Isar [Arlt 2014]



Abbildung 01-07:
Packzone mit Reinigungs- und Desinfektionsgeräten der zentralen
Sterilgutversorgung am Klinikum rechts der Isar [Arlt 2014]

und vergleichbaren Wirkungsabschätzungen einzelner Maßnahmen auf das Gesamtsystem sind rar und sofern vorhanden, nicht übertragbar auf die Baustandards in Europa oder Deutschland [Milbrandt 2008]. Je höher die technischen Anforderungen an ein Gebäude werden, desto schwieriger wird eine Vorhersage der Gesamtenergiebedarfe. In hochinstallierten Gebäuden wie Krankenhäusern oder Laborgebäuden gewinnt der Bereich der nichtbilanzierten Energien eine immer größere Bedeutung [OBB 2015a]. Hier könnte ein erhebliches Potential an Energieeinsparung jenseits der Betrachtung nach EnEV liegen. Die Abbildungen 01-06 und 01-07 zeigen exemplarisch ein Projekt, bei dem nicht bilanzierte Prozessenergie in Form von Abwasserwärme genutzt, und damit jährlich ca. 300 MWh Wärmeenergie eingespart wird [Keltsch 2015].

01.3 Forschungsfragen und Methoden

Ziel der Arbeit ist, das Potential des Niedrigstenergiestandards der EPBD im Bereich der Nichtwohngebäude (nWG) abschätzen zu können. Teil I bereitet den allgemeinen Rahmen der Untersuchungen vor. Im Mittelpunkt der Untersuchungen steht der klimafreundliche Betrieb von Nichtwohngebäuden. Er wird durch das Kriterium des spezifischen nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf ausgedrückt. Die Arbeit konzentriert sich auf das technische Potential bereits auf dem Markt verfügbarer bautechnischer Standards. Ökonomische Kriterien werden nicht untersucht. Somit ist auch ein Wirtschaftlichkeitsgebot analog der EnEV ausgeklammert, da auch das wirtschaftlich vertretbare Maß vor dem Hintergrund der jeweils vorherrschenden gesellschaftlichen Situation sehr unterschiedlich diskutiert wird. Ökonomischen Aspekte werden am Ende der Arbeit wieder aufgegriffen (Konklusion).

Teil II der Arbeit – der erste Untersuchungsteil – stellt folgende Frage in den Mittelpunkt:

Welches technische Potential hat ein Niedrigstenergiestandard (gemäß S2a Abs. 1 Satz 3 EnEG) unter Zuhilfenahme marktgängiger Bautechniken bei Nichtwohngebäuden?

Mangels umfassender Daten zum Gebäudebestand von nWG greift die Arbeit auf die staatlichen Gebäude des Freistaats Bayern zurück. Der

Bestand wird zunächst analysiert. Eine einheitliche Analyseverfahren untersucht Fallbeispiele der in Frage kommenden Typologien. Für die erste Studie werden verschiedene Maßnahmen der Bereiche Effizienz („Der Energiebedarf des Gebäudes muss sehr gering sein ...“) und Konsistenz („...und soll, soweit möglich, zu einem ganz wesentlichen Teil durch Energie aus erneuerbaren Quellen gedeckt sein“ [EnEG 2013]) kombiniert. Die Ergebnisse der Analyse zeigen, ob ein auf Literaturrecherche basierender Niedrigstenergiestandard für die gewählten Nichtwohngebäude realistisch erscheint. Es werden reale Fallbeispiele verwendet, da verschiedene Typologien verschiedene Baumerkmale aufweisen, die zwar nicht generell gelten, aber dennoch gestaltprägend sind. Die Ergebnisse der Fallbeispiele werden auf die Durchschnittswerte des Gebäudebestands reflektiert, um zu einer übersichtlichen Risikoeinschätzung des Gesamtbestands bezüglich des angenommenen Standards zu gelangen (Abbildung 01-08).

In Teil III der Arbeit – zweiter Untersuchungsteil – wird die Bautypologie Laborgebäude intensiver untersucht. Sie stellt einen Bautyp mit überdurchschnittlichen Energiebedarf dar und ist infolge der Untersuchungen aus Teil II als kritische Typologie zu sehen. Folgende Fragestellung soll beantwortet werden:

Ist für kritische Nichtwohngebäude (Teil II) der Niedrigstenergiestandard dennoch erreichbar?

Die Frage wird beispielhaft anhand einer generischen

Laborzone mithilfe von dynamischer Simulation untersucht. Eine Analyse der Typologie hilft, ein generisches Fallbeispiel zu finden, dessen Ergebnis in Bezug auf die gesamte Typologie diskutiert werden kann (Abbildung 01-09). Neben Effizienz- und Konsistenzmaßnahmen aus Teil II werden auch Potentiale eines angepassten Konditionierungsbedarfs (Suffizienz) untersucht. Die einzelnen Maßnahmen werden durch Literaturrecherche und Experteninterviews festgelegt. Die Simulationen erfolgen als einzelne und kombinierte Maßnahmen. In der Ergebnisdiskussion werden Empfehlungen für klimafreundliche nZE-Laborgebäude gegeben.

Die Konklusion verbindet die Ergebnisse beider Teile vor dem Hintergrund der Intention der Arbeit. Ist es auch für nWG sinnvoll, einen Niedrigstenergiestandard einzuführen? Muss der Standard anders definiert sein, als für Wohngebäude? Forschungsempfehlungen und Ausblick schließen die Arbeit ab.

Grenzen der Arbeit

Die Verwendung realer Daten von nWG und die Reduktion auf Fallbeispiele schränken die Allgemeingültigkeit der zu erwartenden Ergebnisse ein. Standortsspezifische Faktoren werden nicht betrachtet. Dennoch können Fallbeispiele zur Diskussion o.g. Fragestellungen beitragen und damit einen Erkenntnisgewinn liefern. Sie sind jedoch immer in ihrem situativen Kontext zu sehen und dürfen als Einzelergebnis nicht unreflektiert transferiert werden.

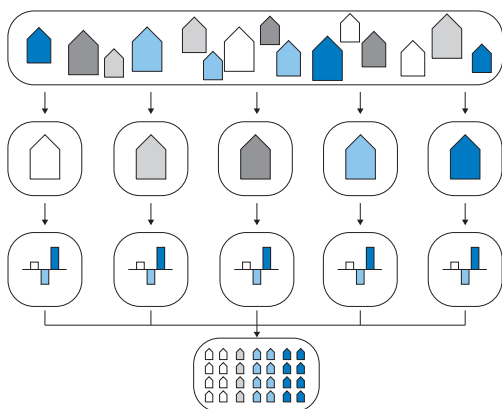


Abbildung 01-08: Analyseverfahren Teil II

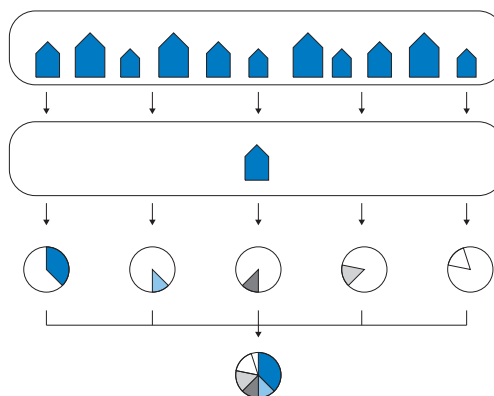


Abbildung 01-09: Analyseverfahren Teil III

01.4 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich in vier Teile (Abbildung 01-10). Im ersten Teil der Arbeit werden die für die Forschungsfragen relevanten Grundlagen erarbeitet. Ausgehend von der Europäischen Richtlinie wird zunächst das deutsche Energierecht betrachtet, dessen Bilanzierungssystem sowie alternative Berechnungsmethoden für die energetische Bewertung von Gebäuden. Da für die Arbeit Liegenschafts- und Gebäudedaten des Freistaats Bayern verwendet werden, schließt das Kapitel über den Baustandard des Freistaats Bayern den ersten Teil der Arbeit ab. Der zweite Teil, zugleich der erste Forschungsteil, beginnt mit einer Analyse des Liegenschaftsbestands der zur Verfügung stehenden Liegenschaftsdaten, um Benchmarks der verschiedenen Bautypologien zu ermitteln (Erhebung). Aus diesen Gebäudedaten werden die zehn Fallstudien für die Analyse gewählt. Die Definition des Zielstandards und die Methodenerläuterung bereiten die Analyse vor. Mittels einfacher Berechnungsmodelle sollen

die Gebäudekategorien auf das Potential des Niedrigenergiestandards untersucht werden, um eine Einschätzung der kritischen Typologien zu erlangen (Potentialstudie) (Abbildung 01-08). Die Ergebnisdiskussion beendet den ersten Forschungsteil. Im dritten Teil wird eine Typologie mit hohem Installationsgrad (Laborgebäude) detailliert deduziert. Grundlagen zu dieser Typologie bereiten den Methodenteil vor. Einzelaspekte sollen durch recherchierte Best-Practice-Standards untersucht und mittels Simulationsmodellen in ihren Wechselwirkungen in Beziehung gesetzt werden. In einer Aggregation der Einzelergebnisse soll das Potential auf das Gesamtgebäude übertragen werden (Bottom-Up-Analyse), um die vorab genannten Fragestellungen/ Hypothesen zu ver- oder zu falsifizieren (Abbildung 01-09). Die Diskussion stellt die Ergebnisse in Bezug zu dem aktuellen Stand der Forschung. Die Konklusion führt die Ergebnisse der beiden Forschungsteile zusammen und diskutiert sie in Bezug auf die Forschungsfragen. Ausblick und Forschungsempfehlungen beenden die Arbeit.

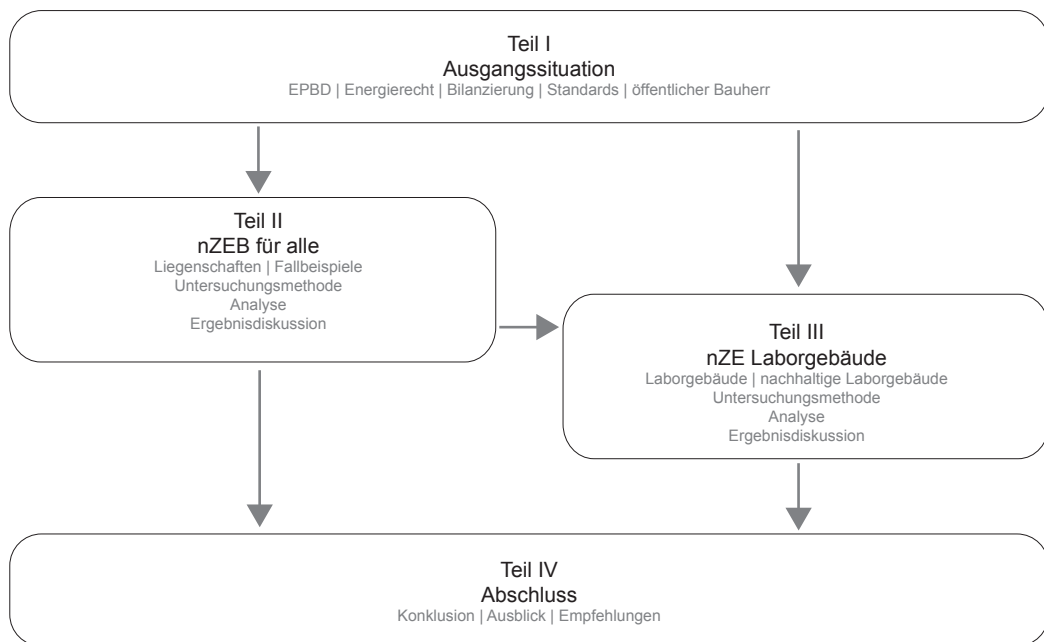


Abbildung 01-10: Aufbau der Arbeit (Schema)

01.5 Publikationen und Vorträge

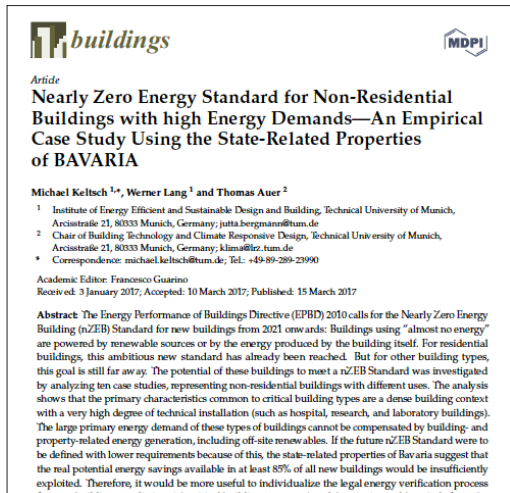


Abbildung 01-11: Publikation [Keltsch et al. 2017]

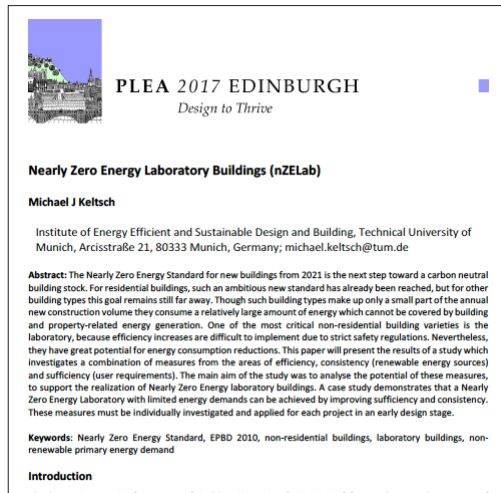


Abbildung 01-12: Publikation [Keltsch 2017]

Teile der Arbeit wurden mit Zustimmung des Fachgraduiertenzentrums der Fakultät für Architektur bereits vorab publiziert (Abbildung 01-11 & 01-12):

- Keltsch, M., Lang, W., & Auer, T. (2017). Nearly Zero Energy Standard for Non-Residential Buildings with high Energy Demands—An Empirical Case Study Using the State-Related Properties of BAVARIA. *Buildings*, 7(1), 25.
- Keltsch, M. (2017). Nearly Zero Energy Laboratory Buildings (nZELab). Paper presented at PLEA 2017 - Design to Thrive, Edinburgh 2th-5th July 2017. *Proceedings, Volume II P. 2563-2570*, ISBN 978-0-9928957-5-4

Teilaspekte und Zwischenergebnisse der Arbeit wurden während der Bearbeitung in mehreren Vorträgen der öffentlichen Diskussion gestellt:

- VHS München-Nord. Vortrag: Das Niedrigst-Passiv-Plus-Effizienz-Haus im Smart-Grid-Quartier!? Garching, 27.11.2017
- Energiewende Vaterstetten. Vortrag mit Sebastian Botzler: Smart Building - neue Impulse für die Energiewende? Vaterstetten, 26.07.2017
- Highlights in Energy Research. 7th Colloquium of the Munich School of Engineering. Vortrag: Nearly Zero Energy Laboratory Buildings? Garching, 13. Juli 2017
- PLEA 2017 - Passive and Low Energy Architecture - Design to Thrive. Vortrag: Nearly Zero Energy Laboratory Buildings. Edinburgh, Scotland, 2.-5. Juli 2017
- Interdisziplinäres Seminar TUM. Vortrag: Smart Building - Gebäude & Energie. München, 16.11.2016
- Seminar Hochschulbau TUM. Vortrag und Übung: Bewertungskriterien für eine qualitative Beurteilung von Entwürfen. München, 13.01.2016
- Suffizienzseminar TUM. Vortrag: Suffizienz im öffentlichen Bauen - wie würden sie entscheiden? München, 07.01.2016, 27.01.2017 & 11.01.2018
- Bayerische Architektenkammer. Der Freistaat Bayern als Auftraggeber und Bauherr. Vortrag: Zusammenarbeit Architekt - Bauverwaltung, Erfahrungsbericht aus der Praxis. München, 02.12.2015
- Bauakademie Berlin. IFMA Benchmarking. Vortrag: NZEB - Niedrigstenergiestandard für hochinstallierte Nichtwohngebäude. Ingelheim, 18.11.2015
- Ökoprofit Starnberg. Vortrag: Aktuelle Entwicklungen im nachhaltigen Bauen. Feldafing, 10.03.2015

Teil I

Ausgangssituation

Energy Performance of Building Directive

02.1	Ziele	24
02.2	Historie	24
02.3	Niedrigstenergiestandard	24
02.3.1	Effizienz	24
02.3.2	Konsistenz	24
02.3.3	Bilanzraum	24
02.3.4	Bilanzzeitraum	25
02.3.5	Bilanzmethode	25
02.3.6	Bilanzkriterien	25
02.4	Umsetzung in den Europäischen Mitgliedsstaaten	25
02.5	Niedrigstenergiestandard und klimaneutraler Gebäudebestand	26

Fazit Kapitel 02

Das Niedrigstenergiegebäude ist ein wichtiger Schritt auf dem Weg zu einem klimaneutralen Gebäudesektor. Unter Berücksichtigung der langen Lebensdauer von Gebäuden ist eine zeitnahe Einführung dieses und folgender Energiestandards dringend anzuraten.

02.1 Ziele

Gebäude verbrauchen 40 % des Gesamtenergieverbrauchs der EU. Der Sektor expandiert weiter. Um die Klimaschutzziele der EU einzuhalten, muss der Gebäudesektor einen entscheidenden Beitrag leisten, damit die EU ihre Verpflichtungen aus dem Kyoto-Protokoll der UNFCCC einhalten kann: Senkung der Gesamtemission von Treibhausgasen bis 2020 um mindestens 20 % gegenüber dem Niveau von 1990 und Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien auf 20 % des Gesamtenergiebedarfs. Im Gebäudebestand wird ein großes ungenutztes Potential zur Energieeinsparung gesehen. Angesichts der langen Renovierungszyklen sollen einerseits schnellstmöglich Anreizsysteme für große Renovierungen unter Erfüllung der Klimaschutzziele geschaffen werden, andererseits bis spätestens 2021 ein ambitionierter Standard für Neubauprojekte verpflichtend eingeführt werden. Mit der Richtlinie gibt die EU den Mitgliedsstaaten einen Rahmen für Mindeststandards von Neubauten bis 2021 vor. Sie erhofft sich dadurch einen zukunftsfähigen Standard für Neubauten, der seinen Beitrag zum klimaneutralen Gebäudebestand bis 2050 leistet. Eine Übererfüllung des Mindeststandards soll mit Anreizprogrammen gefördert werden. [EPBD 2010, Gründe]

02.2 Historie

Um die Klimaschutzziele zu erreichen, hat die EU im Jahr 2002 die erste Richtlinie 2002/91/EG zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD) erlassen. Auf Basis dieser Richtlinie sollten alle Mitgliedsstaaten bis 2006 ein Bewertungssystem schaffen, mit welchem die energetischen Eigenschaften von Gebäuden in Bezug auf Klimaschutz (Primärenergie / CO₂-Emissionen) bewertet werden können. Das System soll durch die Definition von Grenzwerten klimafreundlichere Neubauten und große Renovierungen initiieren. Auch großen Neubauten sollte die Nutzung von erneuerbaren Energien vorgeschrieben werden. Für alle Neubauten und Bestandsgebäude wurde die Einführung von vergleichbaren Energieausweisen gefordert, um Transparenz für den Endkunden (Mieter / Käufer) zu schaffen. [EPBD 2002]

02.3 Niedrigstenergiestandard

Mit der Novellierung 2010 (RL 2010/31/EU) ist die Zielsetzung „nearly Zero Energy Building (nZEB)“ definiert worden. Art. 2 beschreibt diese wie folgt: „Niedrigstenergiegebäude ist ein Gebäude, das eine sehr hohe, nach Anhang I bestimmte Gesamtenergieeffizienz aufweist. Der fast bei Null liegende oder sehr geringe Energiebedarf sollte zu einem ganz wesentlichen Teil durch Energie aus erneuerbaren Quellen – einschließlich Energie aus erneuerbaren Quellen, die am Standort oder in der Nähe erzeugt wird – gedeckt werden.“ [EPBD 2010, Art. 2] Die wesentlichen Tatbestände eines Niedrigstenergiegebäudes gemäß EPBD 2010 sind:

02.3.1 Effizienz

Die „Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes“ bemisst sich nach der berechneten oder gemessenen Energiemenge, die benötigt wird, um den Energiebedarf im Rahmen der üblichen Nutzung des Gebäudes zu decken [EPBD 2010]. Was genau ein fast bei null liegender oder sehr geringer Energiebedarf ist, wird in der Europäischen Richtlinie nicht definiert.

02.3.2 Konsistenz

Als „Energie aus erneuerbaren Quellen“ wird Energie aus erneuerbaren, nichtfossilen Energiequellen gesehen, das sind Wind, Sonne, aerothermische, geothermische, hydrothermische Energie, Meeresenergie, Wasserkraft, Biomasse, Deponiegas, Klärgas, und Biogas. Die geforderte Erzeugung am Standort oder in der Nähe deutet darauf hin, dass keine erneuerbaren Energien angerechnet werden können, die über öffentliche Netze transportiert werden (z.B. Offshore-Windparks). [EPBD 2010, Art. 2] Eine Begrenzung bei der Anrechnung von erneuerbaren Energien wird in der Richtlinie nicht genannt.

02.3.3 Bilanzraum

Bilanziert wird der Energiebedarf für Heizung und Kühlung (Vermeidung von übermäßiger Erwärmung) zur Aufrechterhaltung der gewünschten Gebäudetemperatur (incl. Lüftungswärmeverluste) und der Wärmebedarf für Warmwasser. Für Nichtwohngebäude ist zudem der Energiebedarf der Beleuchtung einzubeziehen. [EPBD 2010, Anhang 1]



Abbildung 02-01: Umsetzung der EPBD 2010: Definition eines Niedrigstenergiestandards zum Stand April 2015 (Definition liegt vor = dunkelblaue Flächen; Definition im Genehmigungsverfahren = hellblaue Flächen; Definition liegt nicht vor = graue Flächen) [BPIE 2015]

02.4 Umsetzung in den Europäischen Mitgliedsstaaten

Wie dringend notwendig eine einheitliche Energiestrategie für Europa ist, zeigt ein Zwischenbericht zu den Umsetzungen der EPBD 2010 in den jeweiligen Mitgliedsstaaten im Jahr 2015. Zu diesem Zeitpunkt haben nur 14 Mitgliedsstaaten eine Definition vorgelegt, vier Mitgliedsstaaten befanden sich im Ratifizierungsprozess und zehn Mitgliedsstaaten, darunter auch Deutschland, hatten noch keine Standarddefinition festgelegt (Abbildung 02-01). Die numerischen Anforderungen an den Primärenergiebedarf von Niedrigstenergiegebäuden differieren im Jahr 2015 zwischen Werten für Nullenergiegebäude (0 kWh/m²a) und 180 kWh/m²a für Wohngebäude und 210 kWh/m²a für Nichtwohngebäude. Die hohen Werte betrachtet die EU als nicht konform mit der EPBD 2010. Diese erstaunliche Bandbreite resultiert nur zum Teil aus unterschiedlichen Bilanzierungsmethoden und klimatischen Verhältnissen. [BPIE 2015] [EU 2013]

Große Unterschiede bestehen auch im Bilanzierungsvorgang an sich. Die Anrechenbarkeit von erneuerbaren Energien weist in Bilanzhöhe und -raum Unterschiede zwischen den Mitgliedsstaaten auf. Großbritannien ermöglicht für die Erreichung von CO₂-neutralen Gebäuden die Anrechnung von externen Maßnahmen ähnlich einem Zertifikathandel in der Industrie, was in der EPBD 2010 nicht vorgesehen ist. Deutschland hingegen beschränkt die Anrechnung selbst erzeugter Energie auf die Höhe des Eigenverbrauchs. Auch diese Begrenzung ist laut EPBD 2010 nicht erforderlich. Die großen Unsicherheiten im Bereich der Nichtwohngebäude wirken sich auch auf die Bilanzierungen aus. Dänemark bilanziert Nichtwohngebäude analog zu Wohngebäuden und addiert je nach Nutzung Zuschläge, die allerdings nicht errechnet werden. [BMVBS 2012b] Eine komplette Vereinheitlichung der gesetzlichen Vorgaben wird auf diesem Weg nicht erreicht werden. Eine Harmonisierung in den nächsten Jahren unter Berücksichtigung nationaler Differenzen ist jedoch ein Schritt in die richtige Richtung. Wie weit dieser Schritt geht, wird sich bis zum Jahr 2021 zeigen.

02.3.4 Bilanzzeitraum

Als Bilanzzeitraum ist ein Kalenderjahr definiert [EPBD 2010, Anhang 1].

02.3.5 Bilanzmethode

Welche Aspekte in der Berechnungsmethode beachtet werden müssen, wird in Anhang 1 Nr. 3 aufgelistet (z.B. Bauphysik, technische Anlagen, interne Wärmelasten usw.). Positive Aspekte (Sonneneinstrahlung, natürliche Belichtung, ...) müssen nach Anhang 1 Nr. 4 berücksichtigt werden. Dort sind weiter verschiedene Nutzungsarten von Gebäuden zu differenzieren (Anhang 1 Nr. 5). [EPBD 2010]

02.3.6 Bilanzkriterien

Nach Anhang 1 Nr. 2 sind ein Indikator für die Gesamtenergieeffizienz und ein numerischer Indikator für den Primärenergieverbrauch auf Grundlage von Primärenergiefaktoren je Energieträger darzustellen. Primärenergie wird als Energie aus erneuerbaren und nicht erneuerbaren Quellen festgelegt, die keinem Umwandlungsprozess unterzogen wurde. [EPBD 2010, Art. 2]

02.5 Niedrigstenergiestandard und klimaneutraler Gebäudebestand

Ein klimaneutraler Gebäudebestand heißt nicht, dass jedes einzelne Gebäude für sich klimaneutral betrieben werden muss. Das wäre für verschiedene Altbautypologien auch nicht erreichbar. Vielmehr besteht die Möglichkeit, durch Übererfüllung an einer Stelle einen Malus an anderer Stelle auszugleichen. Die Übererfüllung kann in der Regel nur bei Neubauten und Generalsanierungen erreicht werden.

Die Studie [Long et al. 2007] untersucht mittels Simulationsmodellen das technische Potential von Nullenergiegebäuden im Gewerbe-Handel-Dienstleistung-Sektor (GHD-Sektor). Diesen Berechnungen zufolge wäre es technisch möglich, bis zum Jahr 2025 (Basisjahr 2005) den Gebäudebestand des gesamten GHD-Sektors als Nullenergiesektor - also klimaneutral - zu realisieren. Dabei müssten Energiequellen Defizite der Energiesenken ausgleichen. Zum Beispiel eignen sich eingeschossige Lagerhallen mit großen Dachflächen und geringem Energiebedarf als Energieproduzenten. Diese würden den Energiebedarf von Gebäuden ausgleichen, die den Nullenergiestandard nicht erreichen. [Long et al. 2007, S. 38-62]

Wird das Ziel eines klimaneutralen Gebäudebestands bis 2050 [BMWi 2014b, 23] ernst genommen, kann der Niedrigstenergiestandard für Neubauten ab 2021 auch nur ein Zwischenschritt zu noch ambitionierteren Null- und Plusenergiegebäuden sein. Erst damit lassen sich Defizite anderer Gebäude kompensieren und eventuelle Überschüsse an erneuerbaren Energien für weitere Sektoren mit wachsendem Energiebedarf (z.B. Verkehr) verwenden.

Energierrecht für Gebäude in Deutschland

03.1	Energierrecht für energieeffiziente Gebäude	28
03.1.1	Wärmeschutzverordnung	28
03.1.2	Energieeinsparverordnung	28
03.1.3	Wirtschaftlichkeitsgebot	29
03.1.4	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz	29
03.2	Gebäudeenergiegesetz	30

Fazit Kapitel 03

Die aktuell geltenden Vorschriften zur energetischen Bilanzierung von Gebäuden in Deutschland erfüllen die Anforderungen der europäischen Richtlinie an eine solche Berechnungsmethode. Die Vorgabe der EPBD 2010, einen konkreten Standard für Niedrigstenergiegebäude bis Ende 2017 zu definieren, hat Deutschland nicht erreicht. Die Kopplung an das Wirtschaftsrecht bremst den technisch möglichen Fortschritt des klimafreundlichen Bauens.

03.1 Energierrecht für energieeffiziente Gebäude

Energiesparendes Bauen war bis in die 1970er Jahre kein allgemeines Erfordernis, da Energie extrem günstig war. Nicht gedämmte Außenwände mit U-Werten über 1,0 W/m²K und Fenster mit Einscheibenverglasungen führten zu geringer Behaglichkeit, Gefahr von Gesundheitsschäden durch Feuchte bzw. Schimmel und Bauschäden. Um gesundheitsgefährdenden Zuständen und Bauschäden entgegenzuwirken, wurde mit der DIN 4108 im Jahr 1952 ein „Mindestwärmeschutz“ festgeschrieben, der Tauwasserbildung auf raumseitigen Oberflächen (ohne Fenster) verhindern sollte. Referenzgebäude aus dieser Zeit (z.B. Reihemittelhaus, 156 m² Wohnfläche) weisen einen reinen Heizwärmebedarf von ca. 180 kWh/m²a auf. [Feist et al. 1997]

03.1.1 Wärmeschutzverordnung

Nach der ersten Ölkrise 1973, die westlichen Staaten ihre Abhängigkeit von Ölimporten aufgezeigt hatte, begann man aus wirtschaftspolitischen Gründen damit, Gesetze und Verordnungen für Energieeinsparungen zu erlassen. Auf Grundlage des Energieeinsparungsgesetzes (EnEG) von 1976 wurde 1977 die erste Wärmeschutzverordnung (WSchV) erlassen, die lediglich mittlere Wärmedurchgangskoeffizienten für Außenbauteile (k-Werte) vorgab. Die DIN 4108 behielt parallel dazu ihre Gültigkeit. Die anhaltende Verteuerung

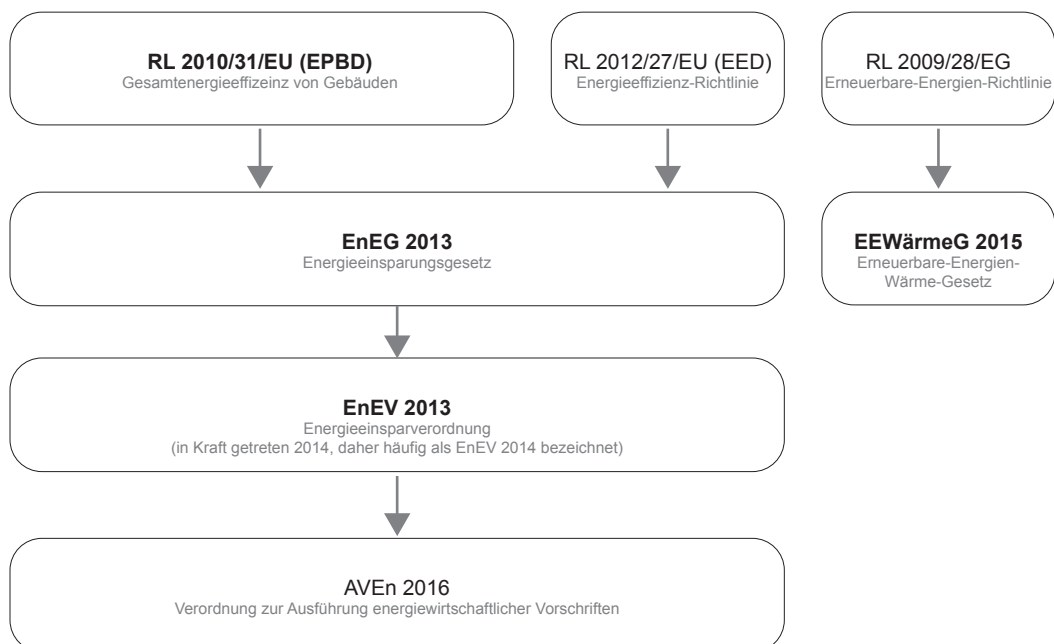
von Energie war Auslöser für die Novelle von 1982 (eingeführt 1984). In ihr wurden erstmals Anforderungen bei baulichen Veränderungen formuliert. Sie senkte den Heizwärmebedarf des o.g. Referenzgebäudes um ungefähr ein Drittel auf ca. 120 kWh/m²a. Die dritte Wärmeschutzverordnung von 1994 (eingeführt 1995) betrachtet erstmals nicht mehr nur einzelne Bauteile, sondern den gesamten Heizwärmebedarf des Gebäudes. Die Berechnung berücksichtigt erstmals Lüftungswärmeverluste sowie solare und interne Wärmegewinne im Nachweis. [Hegger et al. 2016] [Feist et al. 1997]

03.1.2 Energieeinsparverordnung

Die Zusammenführung von Wärmeschutzverordnung und Heizungsanlagenverordnung ergab die erste Energieeinsparverordnung (EnEV), die 2002 eingeführt wurde. Sie betrachtet ganzheitlich die Wärmeenergie inklusive der Wärmeverluste und Wärmegewinne der Gebäudehülle und der Anlagentechnik. Erstmals wird der Begriff Primärenergie als Kriterium verwendet. Der U-Wert löst den k-Wert ab.

Die EPBD 2002 hat die Novellierung der EnEV im Jahr 2007 erforderlich gemacht: die Berücksichtigung von Kühlung, Belüftung und Beleuchtung bei der energetischen Betrachtung von Nichtwohngebäuden, Gebäudeenergieausweise und die regelmäßige Überwachung von RLT-Anlagen wurden eingeführt. Das Anforderungsniveau an die energetische Gebäudeperformance wurde mit dieser Novellierung noch

Abbildung 03-01: Gesetzeskaskade Energierrecht für Gebäude in Deutschland (Stand Ende 2016)



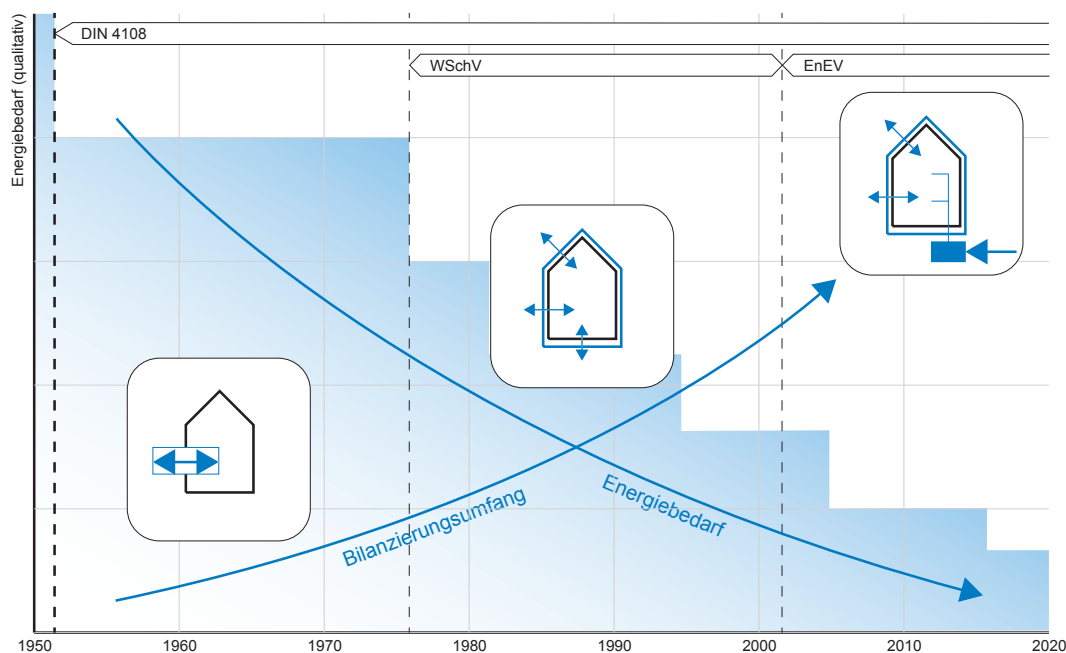


Abbildung 03-02: Entwicklung im Energierecht in Deutschland, Umfang der Bilanzierung & qualitative Entwicklung des spezifischen Energiebedarfs

nicht verschärft. Das erfolgte mit der Novelle 2009. Die Bundesregierung verschärfte das Anforderungsniveau um ca. 30 %, um Klimaschutzziele zu erreichen. Durch die EPBD 2010 war die EnEV im Jahr 2013 abermals zu überarbeiten. Die neue EnEV ließ das Anforderungsniveau zunächst auf dem Stand von 2009. Seit Beginn 2016 ist es auf den aktuell geltenden Stand, 75% des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes, festgesetzt. Das Anforderungsniveau an das Referenzgebäude aus dem Jahr 2009 bildet weiterhin die Basis der Berechnung. Somit sind Effizienzebenen einzelner Projekte (z.B. KfW Effizienzhäuser) seit dem Jahr 2009 einheitlich und vermeintlich vergleichbar. Abbildung 03-01 zeigt die zum Zeitpunkt der Arbeit geltende Gesetzeskaskade.

Abbildung 03-02 zeigt qualitativ die schrittweise Absenkung des zulässigen Energiebedarfs. Parallel dazu hat sich der Bilanzierungsumfang erheblich erhöht. Die DIN 4108 betrachtet seit 1952 den Mindestwärmeschutz einzelner Bauteile. Die WSchV hat die Bilanzgrenze auf die gesamte Gebäudehülle ausgeweitet. Mittlerweile wird der gesamte Bilanzraum der Betriebsenergie inklusive der Prozesskette der Energieerzeugung bewertet.

03.1.3 Wirtschaftlichkeitsgebot

Befreiungen von den Festsetzungen der EnEV können gewährt werden, wenn die erforderlichen

Aufwendungen innerhalb der üblichen Nutzungsdauer, bei Anforderungen an bestehende Gebäude innerhalb angemessener Frist, durch die eintretenden Einsparungen nicht erwirtschaftet werden können [EnEV 2013, §25]. Der Ansatz betrachtet die einzelne Maßnahme rein betriebswirtschaftlich. Eine Bezugnahme auf die Ziele der EnEV wird nicht erwähnt. Ist also Energie günstig, kann selten eine Wirtschaftlichkeit von beispielsweise Dämmmaßnahmen mit geringer Lebensdauer nachgewiesen werden. Alternative Berechnungsmethoden (z.B. Lebenszyklusberechnungen) werden bereits länger diskutiert, warten aber weiter auf Umsetzung. [Tuschinski 2015]

03.1.4 Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz

Das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz 2008 (EEWärmeG) soll seit Anfang 2009 dem Ausbau der erneuerbaren Energien im Bereich der Gebäudeversorgung dienen. Insbesondere die Wärme- und Kälteversorgung mit erneuerbaren Energien soll das Gesetz in Form einer Nutzungspflicht voranbringen. Es griff der entsprechenden EU-Richtlinie (2009/28/EG), die vier Monate nach dem Inkrafttreten des EEWärmeG erlassen wurde, vor. Abhängig vom erneuerbaren Energieträger ist ein individueller Nutzungsgrad des erforderlichen Wärme- oder Kältebedarfs zu erfüllen. Eine Übererfüllung der Anforderungen der EnEV kann eine Nichterfüllung des EEWärmeG kompensieren.

03.2 Gebäudeenergiegesetz

Die Wurzeln des EnEG, das von 2016 bis heute mehrfach überarbeitet wurde, liegen im Wirtschaftsrecht. Das EnEG sieht nach wie vor das Wirtschaftlichkeitsgebot als Voraussetzung für die auf Basis des EnEG erlassenen Rechtsverordnungen [EnEG 2013, §5]. Dadurch haben die letzten Novellen der EnEV bereits großen Widerstand bei verschiedenen Interessensvertretungen ausgelöst. 2017 hat die Bundesregierung versucht, das EEWärmeG und das EnEG (und damit auch die EnEV) zu einem Regelwerk zu vereinen und das Gebäude-Energie-Gesetz (GEG) zu erlassen. Darin sollten dringend notwendige Erfordernisse aus der EPBD 2010 national umgesetzt werden, z.B. eine Definition des Niedrigstenergiestandards für Neubauten öffentlicher Gebäude ab dem Jahr 2019. Der Entwurf des GEG hat den zulässigen Primärenergiebedarf bei 55 % des Referenzgebäudes gesehen. Das entspräche einer Verschärfung um weitere 20 % gegenüber dem aktuell geltenden Niveau und wäre dem Niveau des KfW Effizienzhaus 55, das seit langem als Fördermaßnahme existiert, gleichgestellt (Kapitel 05). [GEG 2017] Das Wirtschaftlichkeitsgebot war letztlich der Grund für die Ablehnung des Referentenentwurfs des GEG durch den Koalitionsausschuss [Fuchs et al. 2017] [Tuschinski 2017]. Das Wirtschaftlichkeitsgebot ist umstritten, da jede Verschärfung in den Vorgaben der EnEV eine Rechtfertigung in der Wirtschaftlichkeit benötigt. Der Zeitraum, den das EnEG vorsieht, ist die übliche Nutzungsdauer des jeweiligen Bauteils. Da selbst für kurzlebige Bauteile im Bauwesen eine Lebensdauer von 20 Jahren anzusetzen ist, beinhaltet die Vorhersage für Wirtschaftlichkeitsberechnungen eine Vielzahl von Unsicherheiten, z.B. die Energiepreisentwicklung [BMVBS 2012b, 50-51]. Auch die Frage, welche Daten und Kosten in eine derartige Berechnung einfließen, lässt ausreichend Raum zur Diskussion. Die Anwendung des Wirtschaftlichkeitsgebots vergleicht in einem sehr eng gesetzten Bilanzraum mögliche Einsparungen anhand aktuell günstiger Energiepreise mit aktuell hohen Material- und Lohnkosten im Bausektor. Folgekosten des hohen Energieverbrauchs und damit verbundene Sekundärkosten werden nicht betrachtet.

Energetische Bilanzierung von Gebäuden

04.1	Grundlagen der Bilanzierung	32
04.1.1	Bilanzzeitraum	32
04.1.2	Bilanzraum	32
04.1.3	Bilanzierungskriterien	32
04.2	Bilanzierungsmethoden	33
04.2.1	Einfache Jahres- & Monatsbilanzen	33
04.2.2	DIN V 18599	34
04.2.3	Dynamische Simulation	34
04.3	Kritik an der Bilanzierung nach EnEV & DIN V 18599	35
04.3.1	Einfluss der DIN V 18599 auf andere Länder	35
04.3.2	Klare Gliederung für die Arbeitsschritte	35
04.3.3	Bedarf - Verbrauch	36
04.3.4	Komplexität des Regelwerks	36
04.3.5	Interessenslagen der Akteure	36
04.3.6	DIN V 18599 in der Praxis – Umsetzung durch Softwareprogramme	36
04.3.7	Ganzheitlicher Planungsansatz	37
04.3.8	Geometrie des Referenzgebäudes	37
04.3.9	Einheitsklima Potsdam	38
04.3.10	Ergänzende Dokumentation	38
04.3.11	DIN V 18599 – ein umfängliches aber sinnvolles Regelwerk	38

Fazit Kapitel 04

Trotz umfangreicher Normierung ist die energetische Bilanzierung von Gebäuden immer noch mit vielen Variablen und Unsicherheiten versehen. Eine Bilanzierung bringt nur dann eine qualitative Aussage, wenn Vergleichsmodelle mit dem gleichen Programm und unter den gleichen Grundannahmen berechnet werden. Die aktuell eingeführte Berechnungsmethode ermöglicht die Bilanzierung eines nZEB nach den Vorgaben der EPBD 2010. Die vollumfängliche Anrechnung der selbst erzeugten erneuerbaren Energien sollte eingeführt werden.

04.1 Grundlagen der Bilanzierung

Bilanzierung erfordert eine Definition von Bilanzzeitraum, Bilanzraum, Bilanzierungskriterien und Bilanzierungsmethode. Diese Punkte werden im Folgenden in Bezug auf die energetische Bilanzierung von Gebäuden kurz erläutert und diskutiert.

04.1.1 Bilanzzeitraum

Die öffentlich-rechtlich vorgegebenen Bilanzmethoden geben die ausgeglichene Jahresbilanz als Zeitraum vor. Der Jahreszeitraum liegt nahe, da der Betrieb des Gebäudes bilanziert wird und mit dem Kalenderjahr alle Witterungsphasen erfasst sind. Es ist der übliche und häufigste Bilanzierungszeitraum. Eine ganzheitliche Betrachtungsweise schließt die Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung eines Gebäudes (Graue Energie) mit ein. Für solche Lebenszyklusbetrachtungen ist ein Zeitraum mit 50 Jahren Betrieb üblich. Je effizienter der Betrieb eines Gebäudes wird, umso größer ist der Anteil der Grauen Energie im Lebenszyklus eines Gebäudes. Ihr primärenergetischer Anteil wird bei einem energieeffizienten Gebäude auf 20 bis 40 % geschätzt [Voss et al. 2011, 34]. Eine genaue Bilanzierung über Pauschalwerte hinaus ist aktuell noch sehr aufwändig und im Ergebnis umstritten. [König et al. 2009, 104–137] Dennoch ist ein Ausgleich über den Lebenszyklus möglich, wie Experimentalprojekte (Beispiel Solar Decathlon Wuppertal) zeigen. Das Plusenergiehaus der Universität Wuppertal würde sich rechnerisch nach zwölf Jahren Betrieb über den gesamten Lebenszyklus hinweg amortisieren. Allerdings nur im Kontext Madrid, im Kontext Deutschland fällt die Bilanz bereits wieder negativ aus [Voss et al. 2011, 34–36]. Aktuell ist der Anspruch, ein lebenszyklusbasiertes Nullenergiegebäude (LC-ZEB) flächendeckend einzuführen, zu hoch. Studienprojekte zeigen jedoch einen Weg hin zu einer ressourcenoptimierten Bauwirtschaft auf, der die ganzheitliche Betrachtung von Gebäuden über den Bilanzzeitraum von z.B. 50 Jahren ermöglicht. Damit wäre es möglich, den energetischen Wert des Gebäudebestands einzubeziehen und würde Entscheidungen über Erhalt oder Ersatz sinnvoll bereichern. Bis dahin wird man weiterhin das Bilanzintervall eines Kalenderjahres für den Betrieb der Gebäude verwenden.

04.1.2 Bilanzraum

Der Bilanzraum hat eine entscheidende Rolle in der Definition von Energiestandards. Die Energiebedarfe im Gebäude sind durch die EnEV und den darin vorgegebenen Bilanzierungsmethoden (DIN V 18599 und DIN 4108-6 mit DIN 4701-10) definiert: Heizung, Lüftung, Klimatisierung (HLK); Warmwasser (WW); Beleuchtung (nur nWG). Der für die Energieerzeugung zur Verfügung stehende Bilanzraum ist dagegen von Bilanzsystem zu Bilanzsystem unterschiedlich. Gebäudeintegrierte Erzeugung ist in der Regel anrechenbar: Photovoltaik (Dach, Fassade), Solarthermie (Dach, Fassade), solare Kühlung, Energieerzeugung mit erneuerbaren Kraftstoffen und Kraft-Wärme-(Kälte)-Kopplung, Geothermie (Wärme und Kälte) und eventuell Windenergie. §5 EnEV 2013 rechnet auch in unmittelbarem räumlichen Zusammenhang zum Gebäude erzeugte erneuerbare Energien an. Der räumliche Zusammenhang ist dabei jegliche Form von technischer Anbindung zum Gebäude, die nicht über das öffentliche Netz läuft. Es wäre damit möglich, z.B. eine PV-Anlage einer Parkplatzüberdachung auf dem Grundstück anzurechnen. Ob diese Definition der EnEV mit der Vorgabe der EPBD 2010 kohärent ist, wird sich zeigen. Sicher nicht möglich im Sinne der EPBD 2010 wird es sein, Beteiligungen an Windkraftanlagen in der Nordsee für Neubauten in Bayern anzusetzen. [EnEV 2013] Der Primärenergiefaktor berücksichtigt bereits die Einspeisung von erneuerbaren Energien in die allgemeinen Netze. Würde man derartige Gegenrechnungen innerhalb einer Bilanz für ein Einzelgebäude zulassen, hätte man die erneuerbare Energie doppelt bilanziert. Die Anrechnung von PV-Strom von Gebäudedächern ergibt das gleiche Problem. Die EnEV reduziert diese Dopplung indem gemäß §5 EnEV eigenproduzierter Strom im Rahmen des Monatsbilanzverfahrens dem Energiebedarf direkt abgezogen wird. Überschüsse werden nach ENEV nicht kalkuliert. Sie stehen aber für eine mögliche Input-Output-Bilanz zur Verfügung, da die EPBD keine derartige Begrenzung vorsieht.

04.1.3 Bilanzierungskriterien

Je nach Bilanzierungszweck stehen verschiedene Kriterien zur Verfügung. Endenergie, Primärenergie gesamt und nicht erneuerbare, äquivalente CO₂-Emissionen oder Energiekosten stellen die häufigsten Kriterien dar. Die DIN V 18599 betrachtet Energiebedarfe für

Wärme, Kälte, Trinkwassererwärmung, Lüftung und Beleuchtung. Nicht betrachtet wird der Energiebedarf für Prozesse der Nutzer (Haushaltsstrom, IT, Produktion usw.). Eigenerzeugter Strom darf nur insoweit angerechnet werden, als er der Deckung des Eigenbedarfs für den Gebäudebetrieb im Monatsbilanzverfahren dient. Eingespeister Strom wird dem Netz zugehörig gesehen und führt zu keiner Gutschrift in der Energiebilanz (siehe oben). Indirekt angerechnet wird hingegen der Strom aus Kraft-Wärme-Kopplung. Gebäudeintegrierte KWK-Anlagen (z.B. BHKW) werden in der Regel nach der Wärmelast gefahren. Strom fällt somit als Nebenprodukt an und wird im Gebäude selbst verbraucht oder in das Netz eingespeist. Das BHKW verwendet fossile oder erneuerbare Brennstoffe. Dem eigentlichen Primärenergiefaktor des Brennstoffs wird nun der Primärenergiefaktor des hochwertigen Nebenproduktes Strom gutgeschrieben und ein neuer, niedriger Primärenergiefaktor für die gesamte BHKW-Anlage festgesetzt (Gutschriftenverfahren). Durch diese Festlegung wird gewissermaßen der Strom aus der KWK-Anlage voll angerechnet und nicht, wie im Falle PV-Strom, maximal bis zum Eigenbedarf je Monat begrenzt. [Voss et al. 2011, 40–42] Für die Definition des nZEB-Standards sind Endenergie und Primärenergie gesamt und nicht erneuerbar denkbar [EPBD 2010, A1]. Ein Gebäude, das nur mit dem Medium Strom an ein Netz angeschlossen ist, hat für eine energetische Bilanzierung den Vorteil, dass sowohl für Einspeisung als auch für den Bezug von Energie der gleiche Primärenergiefaktor gilt. Komplexer wird die Kalkulation allerdings, wenn viele verschiedene Medien einbezogen werden. Der Primärenergiefaktor (PEF, f_p) wurde mit der Richtlinie 2002/91/EG eingeführt, um Umweltauswirkungen verschiedener Energieformen miteinander vergleichbar zu machen. Er beschreibt, wie viel Energie in vorgelagerten Prozessketten außerhalb der Systemgrenzen im Vergleich zu der am Gebäude zur Verfügung stehenden Endenergie (Q_e) eingesetzt wird. Um beispielsweise eine Einheit Strom zur Verfügung zu stellen, ist aktuell die 1,8-fache Menge an Primärenergie (Q_p) aufzuwenden. [EnEV 2013] Für die Input-Output-Bilanz eines Gebäudes heißt das: Elektrische Energie, die mittels PV-Anlagen erzeugt und in das Netz eingespeist wird, wird ebenfalls mit einem hohen Primärenergiefaktor multipliziert. Die Einspeisung der hochwertigen Energieform Strom

wird also vergleichsweise hoch honoriert. Wärmeenergie, beispielsweise mit Holz erzeugt, wird mit einem geringen Primärenergiefaktor beaufschlagt, da nur der Anteil der nicht erneuerbaren Primärenergie bilanziert wird (Holz: $f_p=0,2$). Man kann also durch die Einspeisung der hochwertigen Energieform Strom den Verbrauch einer niederwertigen Energieform in einem höheren absoluten Maß kompensieren. Zu beachten ist, dass die Primärenergiefaktoren regelmäßig angepasst werden. Der stetig wachsende Anteil an erneuerbaren Energien im deutschen Stromnetz lässt den Primärenergiefaktor für Strom sinken, was sich auf Input und Output auswirkt. Zudem gibt es politisch motivierte Modifikationen am Primärenergiefaktor, um bestimmte Energien zu fördern [EnEV 2013, Anl.1 Nr. 2.1.1]. Folglich ist es wichtig, für die Definition eines nZEB ein Augenmerk auf die Entwicklung des Primärenergiefaktors der wichtigsten Energieformen zu legen. Das EU-Ziel des Klimaschutzes rechtfertigt die Betrachtungsweise nach nicht erneuerbarer Primärenergie (Q_{PNE}). Eine Bilanzierung danach erscheint für den Niedrigstenergiestandard wahrscheinlich [BMVBS 2012b]. Dennoch ist das Kriterium der Endenergie wichtig. Eine theoretisch klimaneutrale Energieform einer Umweltenergie mit dem Primärenergiefaktor 0,0 könnte unbegrenzt verschwendet werden, würde es keine Begrenzung der Endenergie geben.

04.2 Bilanzierungsmethoden

04.2.1 Einfache Jahres- & Monatsbilanzen

Einfache Jahresbilanzen (auch: Jahresperiodenverfahren) rechnen mit statistischen Mittelwerten, um vorrangig einen Heizwärmebedarf zu bestimmen. Dabei wird die Heizenergie als Kompensation der Wärmeverluste (Transmission und Lüftung) abzüglich der anrechenbaren internen Wärmegewinne zuzüglich einer Pauschale für den Warmwasserbedarf ermittelt. Statistische Mittelwerte (z.B. Jahresheiztage, Ausnutzungsgrade ...) sorgen für eine Annäherung an die gewünschten Ergebnisse. Für Wohngebäude, die nicht gekühlt werden, kann die Ermittlung des Jahresprimärenergiebedarfs immer noch durch vereinfachte Monatsbilanzen nach DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10 erfolgen. [EnEV 2013, Anl. 1 Nr. 2.1.2]

04.2.2 DIN V 18599

Deutschland hat mit der WSchV bis 2002 nur den Heizwärmebedarf von Gebäuden bewertet. Zeitgleich gab die Heizungsanlagenverordnung Mindeststandards für die Wärmeerzeugung vor. Mit Einführung der ersten EnEV 2002 hat man begonnen, die umfassendere Bewertung im Sinne der EPBD 2002 umzusetzen. Der Gemeinschaftsausschuss „Energetische Bewertung von Gebäuden“ mit den Normenausschüssen Bauwesen (NABau), Heiz- und Raumluftechnik (NHRS) und Lichttechnik (FNL) hat die Vornormenreihe DIN V 18599 erarbeitet, die einen ganzheitlichen Ansatz von Nutzung, Gebäudehülle und Gebäudetechnik zur Bewertung der energetischen Performance bilanziert. Dieser integrale Ansatz berücksichtigt auch die Wechselwirkungen der Bereiche untereinander [Erhorn et al. 2007, 5–8]. Spätestens mit der Novellierung der EnEV im Jahr 2007 ist die Effizienzbilanzierung von Gebäuden vollständig auf die Vorgaben der Europäischen Union umgestellt worden. Die EnEV erlaubt ab diesem Zeitpunkt nur noch die Vorgehensweise der DIN V 18599 zur energetischen Bilanzierung von Nichtwohngebäuden. Alle Energieströme, die einem Gebäude für einen regelmäßigen Standardbetrieb – differenziert nach Nutzungszonen – zugerechnet werden, sollen durch das Regelwerk erfasst werden. Ausnahmen bilden untergeordnete Energieströme, z.B. für den Betrieb von Aufzugs- oder Förderanlagen.

Bilanziert werden Nutzungsarten, Dämmstandards, Konstruktionsart, Belüftung, Beleuchtung, Heizungssystem, Trinkwassererwärmung, Klimaanlage, interne Lasten sowie die Nutzung der erneuerbaren Energien. Die DIN V 18599 berechnet Monatsbilanzen mit monatlichen Durchschnittswerten von Klimadaten. Da sie sich gegenseitig beeinflussende Systeme berücksichtigt, wird in iterativen Rechenschritten vorgegangen, bis eine festgesetzte Abweichung unter den einzelnen Rechenschritten unterschritten wird.

04.2.3 Dynamische Simulation

Für Berechnungen mit hoher zeitlicher Auflösung stehen Simulationsprogramme zur Verfügung. Die virtuelle Nachbildung von Gebäuden mit zugehöriger Lage, Geometrie, bauphysikalischen Eigenschaften und technischen Systemen ermöglicht eine präzise Vorhersage gewünschter Untersuchungsgegenstände. Die Nutzungszonen können mit unterschiedlichsten Nutzungsprofilen und gebäudetechnischen Anlagen ausgestattet und mit den Klimadaten des geplanten Standortes versehen werden. Ein großer Vorteil dieser Berechnungsverfahren ist, dass die thermischen Eigenschaften der Bauteile dynamisch in die Berechnung einbezogen werden. Damit kann eine thermische Behaglichkeit der Räume wesentlich besser ermittelt werden, als das mit Berechnungen mittels Durchschnittswerten möglich ist. Dynamische Simulationen sind daher für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes (Übertemperatur-Gradstunden) als Methode zugelassen [EnEV 2013, Anl. 1 Nr. 3.3]. Für bauliche Komponenten, die nicht durch anerkannte Regeln der Technik abgebildet werden oder für die keine gesicherten Erfahrungswerte vorliegen, kann ebenso eine dynamisch-thermische Simulationsrechnung unter den Randbedingungen der DIN V 18599 durchgeführt werden [EnEV 2013, Anl. 2 Nr. 2.1.5].

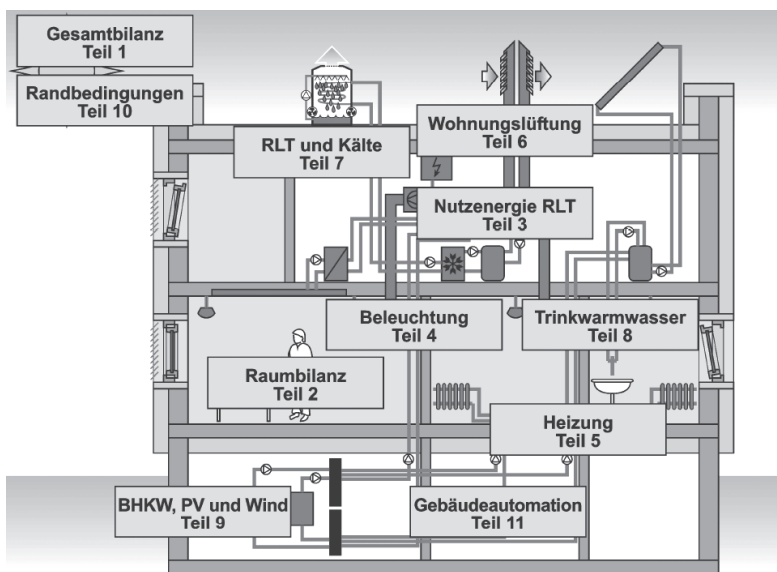


Abbildung 04-01: Schematische Darstellung der Teile der Normenreihe DIN V 18599 [DIN V 18599]

04.3 Kritik an der Bilanzierung nach EnEV & DIN V 18599

Die EnEV schreibt seit dem Jahr 2007 die Verwendung der DIN V 18599 für Nichtwohngebäude vor. Sie trägt zwar seit mittlerweile über zehn Jahren den Status einer Vornorm, stellt aber dennoch durch den Verweis in der EnEV eine eingeführte technische Regel dar.

04.3.1 Einfluss der DIN V 18599 auf andere Länder

2004 hat die Europäische Kommission das European Committee for Standardization (CEN) mit der Entwicklung von Leitnormen beauftragt, die den Mitgliedsstaaten als Methode an die Hand gegeben werden sollten (Mandat 343). Dabei sollte das CEN bereits vorliegende Ergebnisse aus den Mitgliedsstaaten bei der Entwicklung berücksichtigen. Die Vorarbeit in Deutschland hat letztlich dazu geführt, dass man den Ansatz der DIN V 18599 in das europäische Rahmenwerk des CEN übernommen hat. [Erhorn et al. 2007, 4-7] Heute arbeiten auch andere Länder mit den Grundlagen der DIN V 18599 (Österreich, Luxemburg); die Verbreitung einer englischen Version soll weitere Länder zur Übernahme der Systematik animieren.

04.3.2 Klare Gliederung für die Arbeitsschritte

Die Zusammenarbeit mehrerer Normenausschüsse erfordert eine klare Trennung der Aufgabenbereiche.

So ist die DIN V 18599 in verschiedene Teile gegliedert, die wie Bausteine bei Bedarf verwendet werden können. Zur Auswahl der richtigen Teile steht ein Schaubild (Abbildung 04-01) zur Verfügung.

Die Nummerierung der Teile folgt dabei dem Rechenweg (Abbildung 04-02). Teil eins vermittelt unter anderem einen Überblick über die Vorgehensweise und definiert einheitliche Begrifflichkeiten. Teile zwei bis vier geben die Ermittlung der Nutzenergie vor. Die Teile vier bis acht befassen sich mit der Energieeffizienz der Anlagentechnik für Heizung, Belüftung, Kühlung, Warmwasser und Beleuchtung und ergeben auf Basis der notwendigen Nutzenergie den Bedarf der erforderlichen Endenergie. Teil neun beinhaltet das Thema Kraft-Wärme-Kopplung und Teil zehn Randbedingungen der Nutzung (Zonen, Nutzungsprofile, Klimadaten). 2011 ist der elfte und vorläufig letzte Teil der Gebäudeautomation hinzugekommen.

Für eine Bilanzierung nach DIN V 18599 wird das Gebäude zunächst in Nutzungszonen und Versorgungsbereiche unterteilt. Ihnen werden jeweils die bauphysikalischen und anlagentechnischen Kennwerte zugeordnet. Je Zone werden die Wärmequellen und -senken ermittelt, ein vorläufiger Nutzwärme- und Kältebedarf errechnet und auf die Versorgungssysteme verteilt. Deren Verluste durch Übergabe, Verteilung und ggf. Speicherung führen zur endgültigen Bilanzierung der Nutzenergien. Aus ihnen wird der Endenergie- und der Primärenergiebedarf ermittelt [DIN V 18599, T-1].

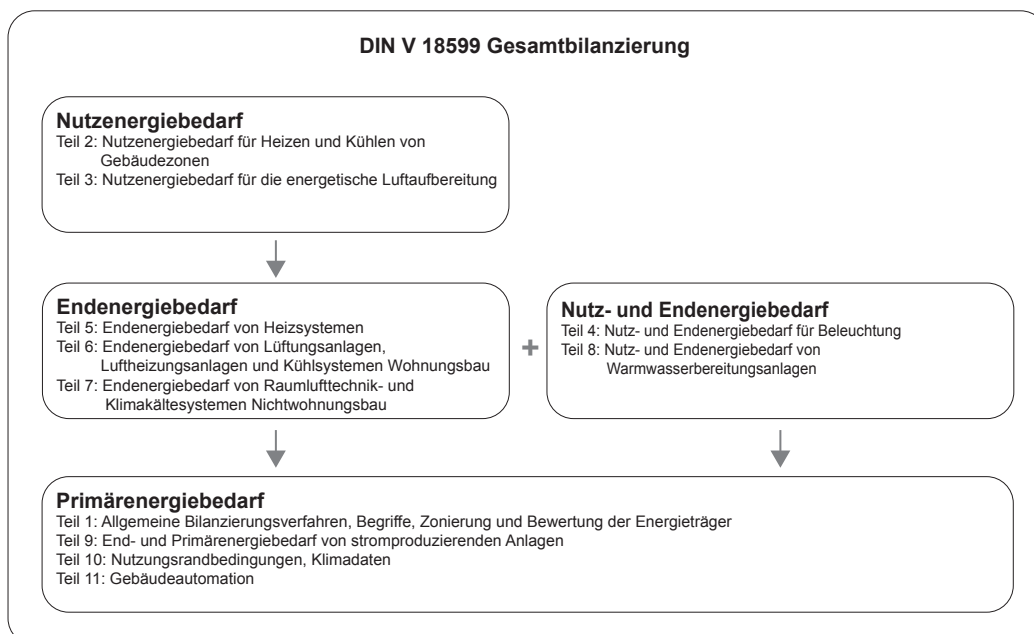


Abbildung 04-02: Themenschwerpunkte der Normenreihe DIN V 18599

04.3.3 Bedarf – Verbrauch

Die Methode der DIN V 18599 bilanziert keineswegs den Gesamtenergiebedarf von Gebäuden. Beispielsweise werden zwar die Wärmeabgaben von Mensch und IT-Ausstattungen in Büroazonen als interne Lasten angerechnet, der Energiebedarf der Ausstattungen wird dagegen nicht eingerechnet. Ebenso werden Aufzugsysteme und weitere Nutz- und Prozessenergien nicht berücksichtigt. Es ist also wichtig festzuhalten, dass die Bilanzierung nach DIN V 18599 kein Versuch ist, den tatsächlichen Energieverbrauch von Gebäuden zu ermitteln. Vielmehr ist sie ein Werkzeug das versucht, eine Vergleichbarkeit der Energieeffizienz von Gebäuden innerhalb eines durch die Europäische Richtlinie vorgegebenen Bilanzrahmens herzustellen [Lichtmeß 2010b].

04.3.4 Komplexität des Regelwerks

Der integrale Ansatz der DIN V 18599 und die Beteiligung verschiedenster Normenausschüsse haben ein äußerst umfangreiches Normenwerk entstehen lassen. Mit allen Teilen, Berichtigungen und Anhängen umfasst die Vornorm mit Stand 05-2013 insgesamt 1.182 Seiten. Nach eigener Hochrechnung ergeben sich überschlägig 354.000 Wörter und 2.955.000 Zeichen. Damit hätte die Berechnungs-DIN den zweieinhalbfachen Umfang des Neuen Testaments erreicht (Abbildung 04-03). Man hat daher seit der Einführung des Berechnungsverfahrens der DIN V 18599 durch die EnEV 2007 immer wieder nach Vereinfachungen gesucht, um gerade für kleinere und nutzungshomogene Gebäude die Nachweisverfahren zu beschleunigen. Jede Vereinfachung stellt dabei einen Kompromiss dar und muss hinsichtlich der Fehlerpotentiale untersucht werden. Die korrekte Anwendung aller Vorschriften

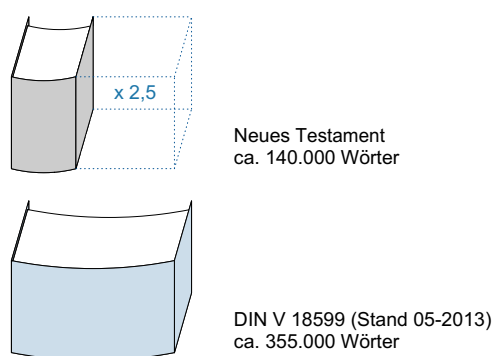


Abbildung 04-03: Vergleich Gesamtwerk DIN V 18599 und Neues Testament anhand der Anzahl der Wörter

und Normen zur Erstellung eines Nachweises für Nichtwohngebäude erfordert Fachwissen und Praxiserfahrung über ein Studium, Planungserfahrung und Softwareschulungen hinaus. Kontinuierliche Weiterbildungen garantieren eine dauerhaft aktuelle Kenntnis der geltenden Regelungen und der aktualisierten Rechenverfahren. Dabei wird eine Vereinfachung der Regelungen von der Mehrzahl der Fachleute sogar abgelehnt, da somit die Konkurrenz am stark umworbene Markt überschaubar bleibt [BMVBS 2012a, 29-30]. Zeitgleich erzwingen neue technische Lösungen die Notwendigkeit, das Normenwerk zu modifizieren oder zu ergänzen (z.B. Teil 11: Gebäudeautomation 2011). Das gesamte Regelwerk ist seit der Einführung 2007 daher eher vergrößert als verschlankt worden. Eine Trendwende ist hier momentan nicht ersichtlich.

04.3.5 Interessenslagen der Akteure

Die öffentlichen Einrichtungen (EU, Bund, Land) wollen als Vertreter der Gesellschaft ihrer Fürsorgepflicht für die Lebensgrundlage der Menschheit nachkommen und den Ausstoß von fossilem CO₂ verringern. Mieter von Nichtwohngebäuden sind an niedrigen Betriebskosten bei hohem Raumkomfort interessiert. Eigentümer wollen bei überschaubarem Aufwand und geringen Kosten ein möglichst hochwertiges Gebäude erhalten, das sich – im Falle der Vermietung – gut vermarkten lässt. Die Planer und Nachweisführer erwarten sich eine ausreichend bezahlte Dienstleistung, die durch Rechtssicherheit dauerhaft Bestand hat. [BMVBS 2012a, 21] Die Regelungen müssen in dieser Gemengelage durch transparente Prozesse und Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse eine allgemeine Akzeptanz erreichen.

04.3.6 DIN V 18599 in der Praxis – Umsetzung durch Softwareprogramme

Der Aufwand einer Nachweisführung, die durch eine rechtliche Forderung begründet ist, muss in einem angemessenen Verhältnis zu dem gesellschaftlichen Nutzen der Regelung stehen. Daher muss für die Nachweisführung nach EnEV immer auch der Aufwand für die Nachweiserbringung und die Ergebnissenauigkeit in Bezug zur gewünschten Aussage gesetzt werden. Die marktübliche Software zur stationären Bilanzierung von Gebäuden basiert zwar auf dem gleichen Regelwerk, setzt dieses jedoch unterschiedlich um. Dabei werden zulässige Vereinfachungen und

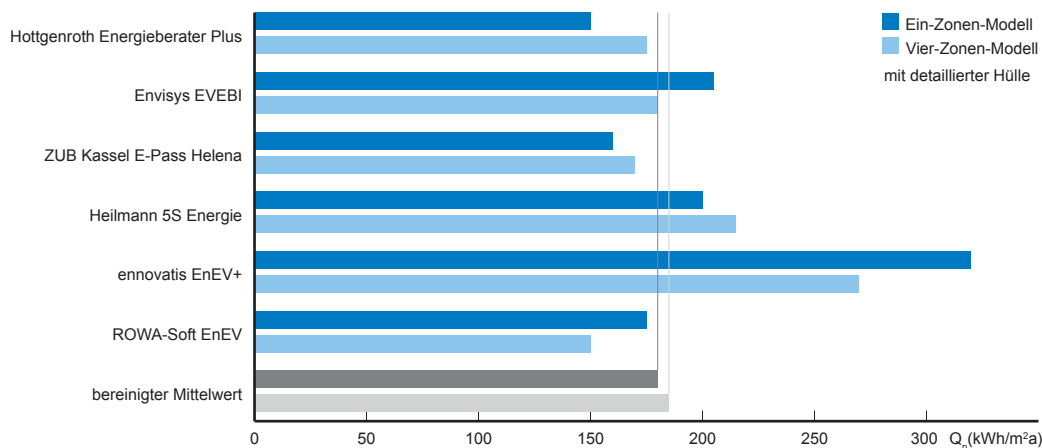


Abbildung 04-04: Primärenergiekennwert in Abhängigkeit vom verwendeten Programm und Aussteller [BMVBS 2012a, 33]

Interpretationen unterschiedlich gehandhabt. Das ist nicht verwunderlich, wenn man sich die Herkunft der häufigsten Programme ansieht. Der Marktführer „Hottgenroth“ kommt aus dem kaufmännischen Bereich und wurde speziell für Schornsteinfeger entwickelt. „Heilmann und ZUB“ entstammen der Forschung und orientieren sich sehr stark an der DIN V 18599. Aktuell drängen immer mehr CAD-Anbieter mit eigenen Modulen auf den Markt, um die Möglichkeiten von Building Information Modeling und 3D-Daten zu nutzen. Interessant ist weiter die Tatsache, dass Updates der gleichen Software die Rechenprozesse ändern und damit andere Ergebnisse des gleichen eingegebenen Gebäudes bringen. Binnen zweier Jahre hat beispielsweise der Hersteller der verbreitetsten Software elf Updates auf den Markt gebracht. Jedes Update hat ein anderes Ergebnis für die identische Gebäudeeingabe ergeben. Für Planungsprozesse, die teilweise zwei Jahre dauern, kann das ein Problem darstellen. [BMVBS 2012a, 35-38]

Ein Vergleich der marktüblichen Software anhand des gleichen Gebäudes bringt Unterschiede bis zu 20 % sogar für die vereinfachte Hüllflächeneingabe im Ein-Zonen-Modell (Abbildung 04-04). Das wirft folgende Fragen auf: Erzeugt die Komplexität der Regelungen eine Scheingenaugigkeit, die in der Realität nicht umgesetzt werden kann? Wäre es mittlerweile wichtig, jedem Energieausweis eine Aussage über das verwendete Bilanzierungsprogramm beizulegen? Bietet die Komplexität des Regelwerks die Möglichkeiten zum Manipulieren von Berechnungen? Nachvollzogen können diese Verbesserungen im Nachhinein in den wenigsten Fällen (siehe 04.3.10 ergänzende Dokumentation).

04.3.7 Ganzheitlicher Planungsansatz

Der DGNB nimmt die Novelle der EnEV 2016 zum Anlass, um die Zielsetzung und Zukunftsfähigkeit der EnEV zu hinterfragen. Die wesentlichen Kritikpunkte beziehen sich auf die Bilanzgrenzen in Bezug auf das Einzelgebäude, den Lebenszyklus und den Effizienzfokus ohne ausreichende Technologieoffenheit. Um das Nachhaltigkeitsziel im gesamten Gebäudebestand zu erreichen, fordert die DGNB eine Erweiterung des Bilanzraumes über das Einzelgebäude hinaus. Dabei sollen die Schnittstellen zum Quartier und/oder zur Liegenschaft hinterfragt und die Vernetzung gefördert werden. Auf diese Weise lässt sich z.B. der baukulturelle Bestand in eine energetische Betrachtung von Baumaßnahmen integrieren, anstelle ihn wie bislang durch Ausnahmetatbestände zu ignorieren.

Eine Betrachtung von Gebäuden im gesamten Lebenszyklus schafft eine neue Dimension einer holistischen energetischen Betrachtungsweise. Die alleinige Bilanzierung der Betriebsphase hat zu einseitigen Effizienzstrategien geführt, die darüber hinausgehende Potentiale ungenutzt lässt. Die ganzheitliche Betrachtung eröffnet eine neue Technologieoffenheit, die als Innovationsschub für die Erreichung der Klimaschutzziele gesehen wird. [DGNB 2016, 1-2]

04.3.8 Geometrie des Referenzgebäudes

Da das Referenzgebäude immer dieselbe Geometrie wie das reale Projekt aufweist, wird in der Bilanz z.B. eine schlechte Geometrie mit einer schlechten Geometrie verglichen. Fachleute fordern daher, für die Referenzgebäude auch Referenzgeometrien einzuführen, um einen Anreiz für gute bauliche Konfigurationen zu geben. Geometrien, die aus nachvollziehbaren Gründen

nicht ideal sind, müssen z.B. über eine bessere Bauteilperformance diesen Malus ausgleichen. Ein ähnliches Vorgehen mit festen Referenzbenchmarks wird z.B. in Österreich praktiziert. [BMVBS 2012a, 47-48]

04.3.9 Einheitsklima Potsdam

Die Bilanzierung auf Basis des einheitlichen Referenzklimas Potsdam negiert die Tatsache, dass auch innerhalb Deutschlands regional unterschiedliche Klimabedingungen herrschen. Damit ist mit den Berechnungen zum EnEV-Nachweis die planungsbegleitende Qualitätssicherung für klimagerechtes Bauen nicht möglich. Der Vergleich mit kleineren europäischen Partnerländern unterstützt diese Fragestellung: Frankreich hat drei, Italien sieben, Polen sechs und Zypern vier Klimaregionen [BMVBS 2012a, 53-54]. Das regionale Bauen zeigt, wie unterschiedlich sich das Klima auf die Bauweisen auswirken kann. Der oberbayerische Bauernhof sieht aus gutem Grund anders aus als der Bauernhof an der Nordsee. Ein Einheitsklima negiert diesen Umstand und lässt das Potential von klimagerechter Architektur ungenutzt.

04.3.10 Ergänzende Dokumentation

Erst die ergänzende Dokumentation macht eine Bilanzierung des Gebäudes für den Auftraggeber transparent. Sie sollte die Eingabeparameter der Zonenflächen, der angrenzenden Hüllflächen, die Bauteilqualitäten, die Anlagentechnik sowie eine Übersicht aller Teil- und Gesamtergebnisse enthalten. Im Schnitt erhalten lediglich 42 % der Auftraggeber eine ergänzende Dokumentation. Der Mehrwert, der durch die Dokumentation entsteht, ist für den weiteren Betrieb des Gebäudes, für weitere Umbaumaßnahmen und auch für folgende Energieausweise erheblich. Zudem ist eine Kontrolle der richtigen Leistungserbringung des Nachweiserstellers ohne sie nicht möglich. [BMVBS 2012a, 39-42] Die meisten Bilanzierungsprogramme erzeugen die Dokumentation auf Knopfdruck. Der Aufwand für die Erstellung einer ergänzenden Dokumentation ist gering. Eine Abgabepflicht ist anzuraten.

04.3.11 DIN V 18599 – ein umfangliches aber sinnvolles Regelwerk

Die Umsetzung der Forderungen der EnEV durch die DIN V 18599 hat sich in der Praxis als aufwändiges und wenig nachvollziehbares Werkzeug erwiesen. Aber bei Betrachtung des gewünschten Effektes – die Verbesserung der energetischen Performance von Gebäuden und damit Energieeinsparung – stellt das Regelwerk einen großen Schritt in die richtige Richtung dar. Keine Norm und keine Simulation kann die Wirklichkeit umfangreich darstellen. Wichtig ist die Anwendung mit Fachwissen, um Ergebnisse richtig einordnen zu können. [Kusic 2009]

Energiestandards für Gebäude in Deutschland

05.1	KfW Effizienzhaus 70, 55 und 40	40
05.2	Passivhausstandard	41
05.3	Null- und Plusenergiestandards	42
05.3.1	Nullenergiegebäude im Rückblick	42
05.3.2	Netto-Nullenergiegebäude Et Netto-Plusenergiegebäude	42
05.3.3	Attribute eines zukünftigen Plusenergiegebäudes	42
05.3.4	Effizienzhaus Plus	43
05.3.5	AktivPlus Gebäude	43
05.3.6	Autarke Gebäude	44
05.4	Lebenszyklusbasiertes-Netto-Nullenergiegebäude (LC-ZEB)	45

Fazit Kapitel 05

Die unterschiedlichen Bilanzierungen der verschiedenen Energiestandards machen diese untereinander nicht vergleichbar. Eine Aussage, welcher Standard besser ist, ist nicht möglich. Jeder Standard und jedes Zertifikat muss Bilanzierungsdetails transparent erläutern. Insbesondere der Übergang von Minus- zum Plusenergiegebäude bringt aufgrund fehlender öffentlich-rechtlicher Vorgaben große Variationen und damit große Intransparenz unter den verschiedenen Energiestandards.

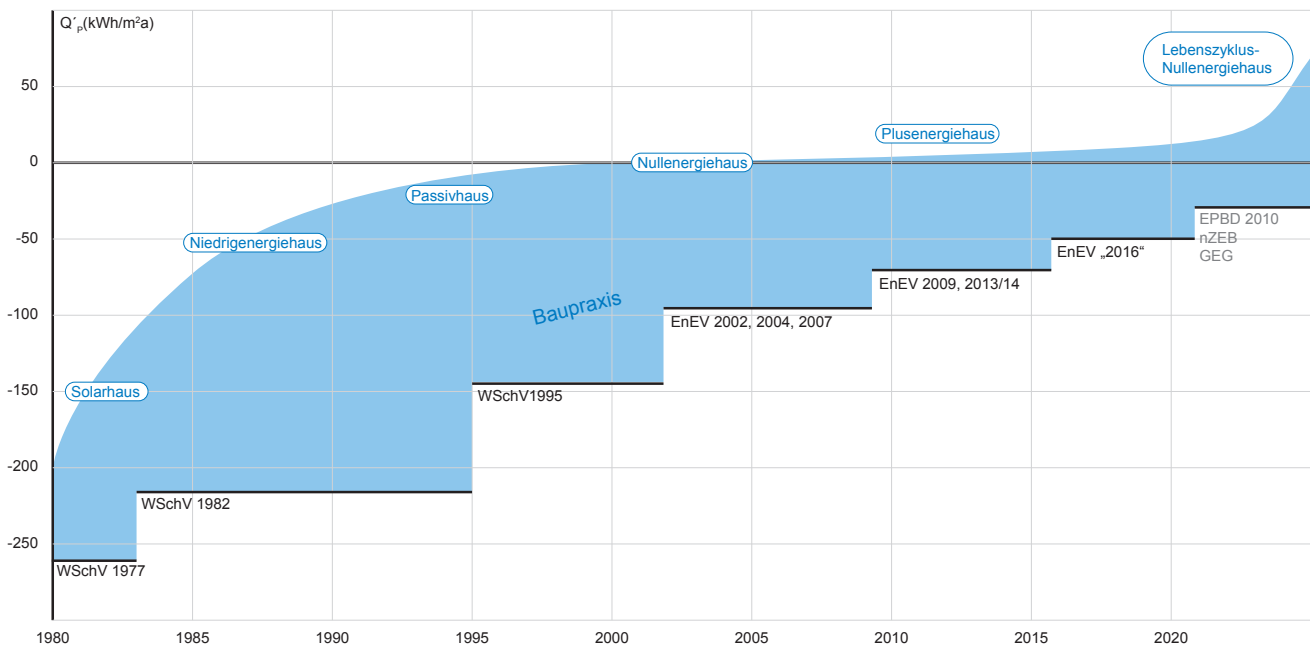


Abbildung 05-01:
Energetische Performance
von Neubauten zwischen
gesetzlichen Mindeststandard
und Stand der Forschung am
Beispiel einer durchschnittlichen
Doppelhaushälfte [nach Erhorn
et al. 2014, 6]

Die Mindestanforderungen an energieeffizientes Bauen werden seit 1977 durch WSchV und EnEV geregelt. Das technisch machbare Maximum zeigen Forschungs- und Demonstrationsvorhaben oder idealistische Bauherren ohne Rücksicht auf Wirtschaftlichkeitsgebote. Abbildung 05-01 zeigt, dass sich der energetische Standard der gebauten Realität regelmäßig in einem Bereich zwischen einem Maximum (Stand der Forschung) und einem Minimum (gesetzlicher Standard) bewegt. Die Abbildung nimmt den Begriff des Plusenergiegebäudes wörtlich und stellt Gebäude, die Energie zum Betrieb benötigen, als Minusenergiegebäude dar. Es ist die Umkehrung und Ergänzung der Abbildung 03-01.

05.1 KfW Effizienzhaus 70, 55 und 40

Um die Klimaschutzziele zu erreichen, hat die Bundesregierung ein großes Interesse an einer freiwilligen Übererfüllung des gesetzlichen Mindeststandards. Die Politik fördert daher seit 2006 über die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) höhere Energiestandards für Neubauten mit zinsvergünstigten Darlehen und Tilgungszuschüssen. Die höheren Standards wurden bis Ende 2015 KfW Effizienzhaus 70, 55 und 40 genannt. Die Ziffer gibt an, wieviel Prozent an nicht erneuerbarer Primärenergie des zugehörigen Referenzgebäudes nach EnEV benötigt wird. Dementsprechend werden

die Anforderungen der zu diesem Zeitpunkt geltenden EnEV um 30, 45 und 60 Prozent unterschritten. Je effizienter ein Neubau ist, umso höher die Förderung der KfW. Seit der zweiten Stufe der EnEV 2013 ist Anfang 2016 das KfW Effizienzhaus 70 entfallen. Dafür wurde das KfW Effizienzhaus 40 Plus neu aufgenommen. Es muss sowohl die hohen Effizienzstandards erfüllen als auch Energie in Form von PV-Strom erzeugen und zwischenspeichern können. Im Jahr 2014 hat die KfW 51.137 Maßnahmen im Wohnungsneubau gefördert. Im gleichen Jahr wurden laut Statistischem Bundesamt 163.866 Wohngebäude genehmigt. Damit übererfüllen mindestens 31 % der 2014 genehmigten Wohnbauprojekte die geltende EnEV um mindestens 30 % (Tabelle 05-01). Zieht man in Betracht, dass die aktuelle Niedrigzinsphase die Förderung durch die KfW wenig attraktiv macht, dürfte die Zahl der Projekte, die die Anforderungen der EnEV erheblich übererfüllen, höher liegen. [BMVBS 2012b, 10-11]

Tabelle 05-01: Anteil der durch die KfW geförderten Maßnahmen im Wohnungsbau 2014 [BMVBS 2012b, 10-11]

Wohnungsbauprojekte 2014 gesamt	163.866
Fördermaßnahmen 2014	51.137
- davon KfW Effizienzhaus 70	41.867
- davon KfW Effizienzhaus 55 (incl. PH)	7.625
- davon KfW Effizienzhaus 40 (incl. PH)	1.645

05.2 Passivhausstandard

Die Idee hinter dem Passivhaus ist, durch konsequente Effizienzsteigerungen der thermischen Gebäudehülle sowie kontrollierter Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung den Heizenergiebedarf der Gebäude so weit zu reduzieren, dass er über eine Zuluftheizung gedeckt werden kann. Ein statisches Heizsystem wäre nicht mehr erforderlich. Die Reduktion des Heizwärmebedarfs auf maximal $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ wird mit hocheffizienter Wärmedämmung der opaken Gebäudehülle ($U_{\text{max}} \leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$), dreifachverglasten Fenstern ($U_{\text{max}} \leq 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$), Vermeidung von Wärmebrücken, hoher Luftdichtheit ($n_{50} \leq 0,6/\text{h}$) sowie kontrollierter Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung (Rückwärmezahl $\geq 0,75$) erreicht. Die verbleibende Heizlast beträgt maximal 10 W/m^2 . Der Gesamtprimärenergiebedarf durfte bis April 2015 inklusive Haushaltsstrom maximal $120 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ betragen. [Gonzalo et al. 2014]

Seit Einführung der Berechnungssoftware „PHPP 9“ im Jahr 2015 gibt es neue Qualitätsklassen für Passivhäuser: das Passivhaus Classic, Plus und Premium. Sie unterscheiden sich im Bedarf an erneuerbarer Primärenergie und der Erzeugung von erneuerbarer Energie. Für die Bewertung hat das Passivhaus-Institut (PHI) den Faktor Primary Energy Renewable (PER) eingeführt. Er enthält eigene Umrechnungsfaktoren für die Ermittlung des Primärenergiebedarfs aus den Endenergien. Der PER-Faktor wird durch die Energienutzung (Heizung, Kühlung usw.) und den Gebäudestandort bestimmt. Strombedarf für eine Kühlung wird in unserer Klimazone beispielsweise mit einem geringeren Faktor belegt, da zu den Hauptverbrauchszeiten (Sommertag) regelmäßig viel Ökostrom zur Verfügung steht. Die direkte Nutzung hat keine Speicherverluste zur Folge, daher ist der Faktor geringer. Strom für Heizung wird in der Regel im Winter und insbesondere nachts benötigt, wenn regenerativer Strom nur in geringem Maße zur Verfügung steht. Daraus resultiert ein höherer PER-Faktor. Erneuerbare Energien, die außerhalb des Grundstücks gewonnen werden (z.B. regenerativ erzeugte Fernwärme), sind zu einem begrenzten Betrag anrechenbar. [Schoof 2015]



Abbildung 05-02:
Das erste Passivhaus Deutschlands in Darmstadt-Kranichstein
[PHI 2006]

Für das Kriterium Energieeffizienz kann das Passivhaus im Wohnungsbau als Grenze des wirtschaftlich Sinnvollen angesehen werden, solange keine technischen Neuerungen die thermische Isolierung von Außenbauteilen einen großen Schritt weiterbringen [prognos et al. 2015]. Ob das Konzept des Passivhauses auf andere Gebäudetypologien (z.B. Laborgebäude) direkt übertragbar ist, kann angezweifelt werden [Born et al. 2014].

Ist ein Nullenergiehaus immer ein Passivhaus?

Das Passivhaus bezieht sich in seiner zentralen Idee auf die Verringerung des Nutzenergiebedarfs, um eine Heizlast von unter 10 W/m^2 zu erreichen. Eine Studie zu Grundlagen von Plusenergiehäusern weist nach, dass Energieversorgungskonzepte auf Basis von Sole-/Wasser-Wärmepumpen auch bei Gebäuden, die etwas besser als das EnEV-Referenzgebäude gedämmt sind, gegenüber dem Passivhausstandard ökonomische und ökologische Vorteile haben können. Daher ist der Passivhausstandard nicht zwingende Voraussetzung für ein Nullenergiegebäude. Dennoch gilt immer die goldene Regel, dass jeder vermiedene Energiebedarf der regenerativen Deckung vorzuziehen ist. Daher ist das Passivhaus in Bezug auf die Effizienz der Gebäudehülle nach wie vor eine gute Basis für kommende Gebäudestandards. [Lüking et al. 2012, 15, 25-31]

Abbildung 05-03: Solar House One 1939 [Mrshaba 2007]



05.3 Null- und Plusenergiestandards

05.3.1 Nullenergiegebäude im Rückblick

Nullenergiegebäude wurden die ersten Gebäude genannt, die ohne externe Energieträger beheizt werden sollten (Nullheizenergie). Als erstes Gebäude, das diesen Standard erreichte, gilt das Solar House I am Massachusetts Institute of Technology von 1939 (Abbildung 05-03), dessen Beheizung mit großem Solarkollektor und Wasserspeichersystem erfolgen sollte. Die ersten Forschungsgebäude zielen primär auf die Reduktion des Heizenergiebedarfs ab. Das Nullenergiegebäude ist vom Ursprung her ein Gebäude, das keine Energie von außen bezieht, also netzunabhängig funktioniert [Hernandez et al. 2010]. Heute werden diese Gebäude in aller Regel als autarke Gebäude bezeichnet.

05.3.2 Netto-Nullenergiegebäude & Netto-Plusenergiegebäude

Der Terminus „Nullenergie“ wird heute im Allgemeinen für ein über das Jahr bilanziell ausgeglichenes Gebäude in Bezug auf Energieverbrauch und Energieproduktion verwendet. Das bedeutet, dass es sich in der Regel um ein an das Versorgungsnetz angeschlossenes Gebäude handelt, dessen Energiebezugsmenge der eingespeisten Energiemenge entspricht. Nullenergiehäuser (Zero Energy Building - ZEB) müssen daher eigentlich immer Netto-Nullenergiehäuser (Net Zero Energy Building - NetZEB) genannt werden. Übersteigt die eingespeiste Energie die bezogene Energie, spricht man von einem Netto-Plusenergiehaus. Der große Vorteil der Netto-Nullenergie- und Plusenergiegebäude besteht in der Vermeidung von aufwändigen Speichersystemen (vgl.

Autarke Gebäude). Das Energiemanagement zum Ausgleich von Über- und Unterangebot an Energie wird im Verbund über die Netze geregelt.

Das Bilanzkriterium entscheidet über die Art des NZEB. Gängig sind vier Definitionen von Netto-Nullenergiegebäuden [Torcellini et al. 2006a, 63-64]:

- Net zero source energy building (Netto-Null-Primärenergie-Gebäude)
- Net zero site energy building (Netto-Null-Endenergie-Gebäude)
- Net zero energy cost building (Netto-Null-Energiekosten-Gebäude)
- Net zero energy emissions building (Netto-Null-Emissions-Gebäude)

Zudem wird die Art der Versorgung mit erneuerbaren Energien differenziert [Pless et al. 2010, 9-10]:

- NZEB-A: EE-Erzeugung am Gebäude
- NZEB-B: EE-Erzeugung auf der Liegenschaft
- NZEB-C: EE-Erzeugung auf der Liegenschaft mithilfe gelieferter erneuerbarer Energieträger
- NZEB-D: EE-Anrechnung von EE-Erzeugung abseits der Liegenschaft

05.3.3 Attribute eines zukünftigen Plusenergiegebäudes

Aktuelle Neubauten beeinflussen den Gebäudebestand für die kommenden 100 Jahre. Aufgrund der Prognose zur Energieversorgung mit erneuerbaren Energien können künftige Standards für Neubauten nicht mehr nur innerhalb der eigenen Bilanzgrenze betrachtet werden. Vielmehr muss das Gebäude als Teil des Ganzen den energetischen Kontext berücksichtigen. [Lüking et al. 2012, 9-15] fordert daher folgende konkrete Attribute für Plusenergiehäuser:

- Hocheffiziente Gebäudehülle
- Hocheffiziente Wärmebereitstellung
- Monoenergetisches Versorgungssystem auf Basis des Energieträgers Strom
- Weitgehende Deckung des Energiebedarfs durch eigenproduzierten Strom aus PV und KWK-Anlagen in unmittelbarer Nähe zum Gebäude
- Netzanschluss mit bilanziellem Ausgleich des Bezugs durch Einspeisung
- Netzregulierungspotential durch thermische Nutzung von Stromüberkapazitäten

Als unverzichtbare Bestandteile solcher Neubauten werden PV-Systeme gesehen. Diese sind umso



Abbildung 05-05: E+ Kita in Marburg (Opus Architekten) – gelungene Integration von PV-Systemen in die Gesamtgestalt der Architektur [ertex 2016]

wichtiger, da sie sich in die Gebäudehülle integrieren lassen und somit keinen gesonderten Flächenbedarf benötigen und der Versiegelung entgegen wirken. [Lüking et al. 2012]

selbstgenutzter zu generierter Energie ist auszuweisen (Eigennutzungsgrad). Ergänzend zur EnEV-Bilanzierung ist der Effizienzhaus-Plus-Rechner anzusetzen (Abbildung 05-04). [Erhorn et al. 2014, 8-9]

05.3.4 Effizienzhaus Plus

Gemäß Definition des BMUB liegt ein Effizienzhaus Plus vor, wenn der bilanzierte Jahres-Primärenergiebedarf und der Jahres-Endenergiebedarf negativ sind. Zudem sind alle weiteren Anforderungen der EnEV inklusive dem sommerlichen Wärmeschutz einzuhalten. Die Bilanzierungsmethode ist eine erweiterte Bilanzierung nach DIN 18599. Für Wohngebäude werden Primär- und Endenergiebedarf für Beleuchtung, Haushaltsgeräte und -prozesse pauschal angerechnet. Der Endenergiebedarf beträgt $20 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ bei einem Maximalwert von 2.500 kWh/a je Wohneinheit. Alle Geräte müssen dem höchsten Effizienzlabel entsprechen und die Gebäude mit intelligenten Zählern ausgestattet sein. Als Bilanzgrenze dient die Grundstücksgrenze. Alle auf dem Grundstück erzeugten Energien sind innerhalb der Bilanz voll ansetzbar. Das Verhältnis von

05.3.5 AktivPlus Gebäude

Seit 2014 vertritt der Verein AktivPlus e.V. einen Gebäude-Energiestandard, der über die reine Bilanzierung von Betriebsenergie hinausgeht. Die Zusatzanforderungen betreffen den Nutzerkomfort mit Möglichkeiten zur Information und Interaktion, den Lebenszyklus sowie energetische und physikalische Vernetzung (Abbildung 05-06).

Zunächst ist ein AktivPlus Gebäude immer ein Netto-Plusenergiehaus. Zudem wird es aktiv in seine Umgebung eingebunden, mit dem Quartier energetisch vernetzt und trägt aktiv zur Nahenergieversorgung und Netzstabilisierung bei. Überschüsse werden in Elektromobilität und Speichersysteme gespeist. Der Nutzer erhält ein Feedback über seinen aktuellen Energieverbrauch und einhergehende Emissionen mittels Echtzeit-Monitoring. Er kann die Gebäudetechnik aktiv steuern, muss es aber nicht. Raumklima, Tageslichtversorgung und Wärmekomfort spielen eine zentrale Rolle. Technik zur Erzeugung von erneuerbaren Energien werden gestalterisch in die Architektur integriert (Abbildung 05-05).

Im Lebenszyklus werden Ökobilanz und Lebenszykluskosten betrachtet, um ganzheitliche ökologische und ökonomische Auswirkungen zu minimieren. Die Verwendung von vorhandener Bausubstanz geht vor Abbruch und Neubau. Die Auswahl der Baustoffe berücksichtigt vorrangig nachwachsende Rohstoffe sowie recycelte und recycelbare Materialien. Die Planungsphase berücksichtigt Demontage und Rückführung der

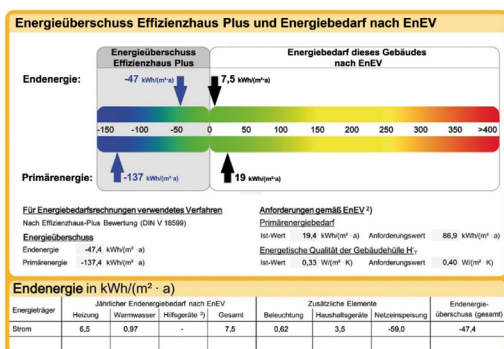
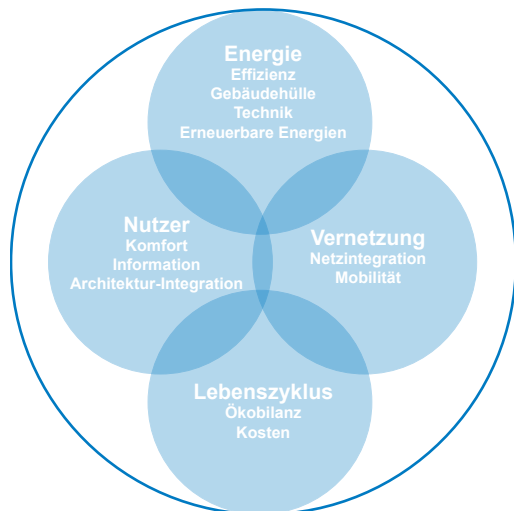


Abbildung 05-04: Zusatzblatt Energieausweis eines Effizienzhaus Plus [Erhorn et al. 2014, 8]

Abbildung 05-06: Handlungsfelder des Gebäudestandards AktivPlusHaus [AktivPlus 2016, 18]



Bauelemente in die Wiederverwertung. [AktivPlus 2016] Aktuell werden nur Wohn-, Büro- und Schulgebäude erprobt. Die Ausweitung auf andere Typologien steht aus. Das AktivPlusHaus vereint einige der wichtigsten Forschungsschwerpunkte des klimagerechten Bauens zu einem Standard. Die Anforderungen sind entsprechend komplex und aktuell noch nicht ausreichend spezifiziert. Es gibt noch keine umfassenden Zertifizierungsberechnungen für mehrere Bautypologien in der Art der Nachhaltigkeitslabels DGNB oder LEED, lediglich

eine optimierte Methodik für Wohngebäude ist Ende 2016 vorgestellt worden. Der Standard AktivPlusHaus ist ein umfassender und wissenschaftlich interessanter Ansatz hin zu einem klimaneutralen und nachhaltigen Gebäudebestand.

05.3.6 Autarke Gebäude

Autarke Gebäude ohne Netzanschlüsse sind immer dann erforderlich, wenn ein Anschluss an die Netzinfrastruktur nicht möglich oder wirtschaftlich nicht herstellbar ist (Abbildung 05-07). Die Besonderheit bei autarken Gebäuden ist, dass sie den Nullenergiestandard soweit übererfüllen müssen, dass sie sich in Zeiten, in welchen keine erneuerbaren Energien zur Verfügung stehen, dennoch selbst versorgen können. Besondere Bedeutung bekommen dabei Speichersysteme, welche Überschussenergie aus ertragreichen Zeiten in ausreichender Größe aufnehmen können. Die reine Autarkie setzt dabei die Anforderung an die Dimension solcher Systeme aufgrund einer gewünschten Versorgungssicherheit sehr hoch. Das ist teuer und unwirtschaftlich. Der Anschluss an ein Versorgungsnetz kann die Lastspitzen abdecken und reduziert das erforderliche Speichervolumen auf ein sinnvolles Maß. Daher ist an Orten mit Netzanschluss die Anbindung an das Netz der Autarkie regelmäßig vorzuziehen [Voss et al. 2011, 18-23].

Abbildung 05-07: Monte Rosa Hütte – ein energieautarkes Gebäude [Wikimedia 2011]



05.4 Lebenszyklusbasiertes- Netto-Nullenergiegebäude (LC-ZEB)

Ganzheitliche Bilanzierung heißt, Herstellungs-, Instandhaltungs- und Entsorgungsenergien in die Berechnung aufzunehmen. Es ist daher ein logischer Schritt, einen Nullenergiestandard auf den Lebenszyklus auszuweiten. Die Bezeichnung für dieses Konzept lautet Life Cycle Zero Energy Building (LC-ZEB). Abbildung 05-08 zeigt ein Modellvorhaben eines solchen Ansatzes. Als gemeinsamer Indikator für den kumulierten Energieaufwand über den Lebenszyklus dient meistens die nicht erneuerbare Primärenergie. Für ein LC-ZEB wird die in den Baustoffen enthaltene nicht erneuerbare Primärenergie zur typischen Lebensdauer der Bauelemente in Bezug gesetzt. Dadurch wird eine auf das Jahr heruntergerechnete Primärenergie des Gebäudes ermittelt (AEE – Annualised Embodied Energy). Diese wird mit der jährlichen Betriebsenergiebilanz (AEU – Annual Energy Use) verglichen. Kompensiert ein jährlicher Energieüberschuss der AEU die AEE, läge ein LC-ZEB vor (Abbildung 05-09). [Hernandez et al. 2010] Die Realisierung von LC-ZE-Gebäuden wäre - in Bezug auf den Energiebedarf - der finale Schritt zu tatsächlich CO₂-neutralen Gebäuden.



Abbildung 05-08: Aktivhaus B10 (Sobek Ingenieure) – Modellvorhaben eines LC-ZEB [PA-ID 2015]

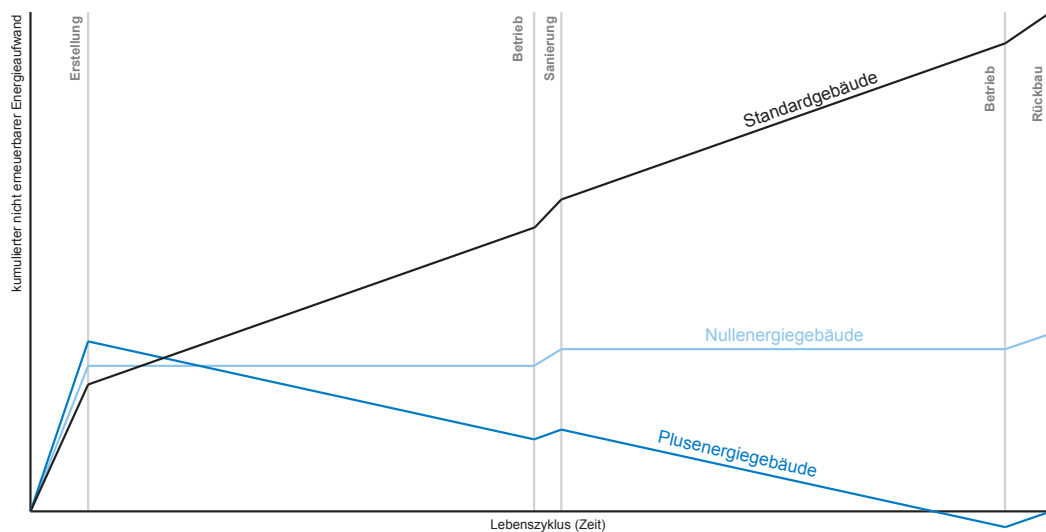


Abbildung 05-09: Kumulierter Energieaufwand eines Standardgebäudes und eines LC-ZEB; Darstellung nach [Schneider et al. 2015b, 20]

Freistaat Bayern als öffentlicher Bauherr

06.1	Bautätigkeit	48
06.2	Vorbildfunktion von öffentlichen Bauherren	49
06.3	Energetischer Standard des Freistaats Bayern	49
06.3.1	Energieverbrauch Staatlicher Gebäude	49
06.3.2	Energieeffizienz	49
06.3.3	Energie-Konsistenz	50
06.3.4	Suffizienz	50
06.3.5	Verwendung nachwachsender Rohstoffe	51
06.3.6	Nachhaltigkeitskonzepte	51
06.3.7	Zielkonflikt Nachhaltigkeit und kostengünstiges Bauen	52

Fazit Kapitel 06

Der überwiegende Teil der Neubauten des Freistaats wird bereits mit einem sehr guten Standard errichtet. Konkrete Vorgaben betreffen die Energieeffizienz und Energiekonsistenz. Vorgaben zu weiteren Themen des nachhaltigen Bauens resultieren indirekt aus verschiedenen Vorgaben. Dennoch wäre in manchen Punkten eine mutigere Haltung in Bezug auf konsequent in die Zukunft gerichtete Konzepte wünschenswert.

06.1 Bautätigkeit

Mit den Worten „Geschichte erhalten – Zukunft gestalten“ beschreibt die Oberste Baubehörde die Aufgaben der Bayerischen Hochbauverwaltung [OBB 2015b, 17]. Die Maßnahmen reichen vom einfachen Bauunterhalt bis zu Baumaßnahmen in dreistelliger Millionenhöhe, umgesetzt in der Rolle der Bauherrenvertretung für den Freistaat Bayern, die Bundesrepublik Deutschland (Auftragsverwaltung nach Art. 85 GG) und für Dritte (z.B. Gaststreitkräfte) [OBB 2015b, 58]. Der Freistaat Bayern setzte im Jahr 2016 ein Bauvolumen von ca. 3,7 Mrd. Euro um. Davon entfallen ca. 1,5 Mrd. Euro auf staatliche Hochbaumaßnahmen, die der Freistaat

als Bauherr umsetzt. Dieses Hochbauvolumen setzt sich zu ca. 72 % aus staatlichen Maßnahmen, zu ca. 24 % aus Bundesmaßnahmen und zu ca. 3 % aus Baumaßnahmen Dritter zusammen. [OBB 2017] Die Baumaßnahmen umfassen alle Bereiche eines Gebäude-Lebenszyklus: Neubau, Einregulierung, Betrieb, Sanierung, Umbau, Renovierung, Umnutzung und Abbruch. Da auch die Betriebs- und Unterhaltskosten in der Regel von staatlicher öffentlicher Hand finanziert werden, sind sie entscheidungsrelevant für die Planungs- und Bauphase. Der Freistaat gleicht damit in seiner Bauherreneigenschaft eher einem privaten Bauherren, der ein selbstgenutztes Eigenheim errichtet, als einem Investor für Miet- oder Verkaufsobjekte.

Abbildung 06-01:
Jährlicher Wärme- und
Brennstoffverbrauch der
bayerischen staatlichen
Liegenchaften; Darstellung
nach [OBB 2015a]

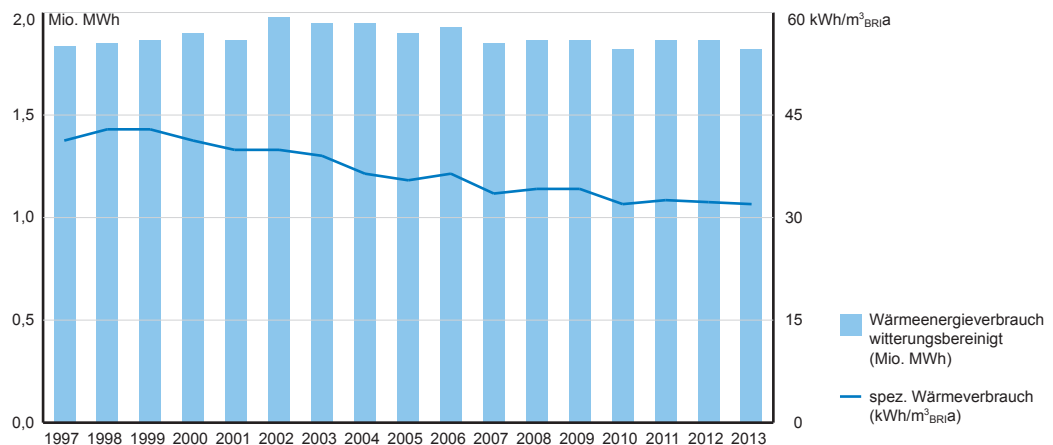
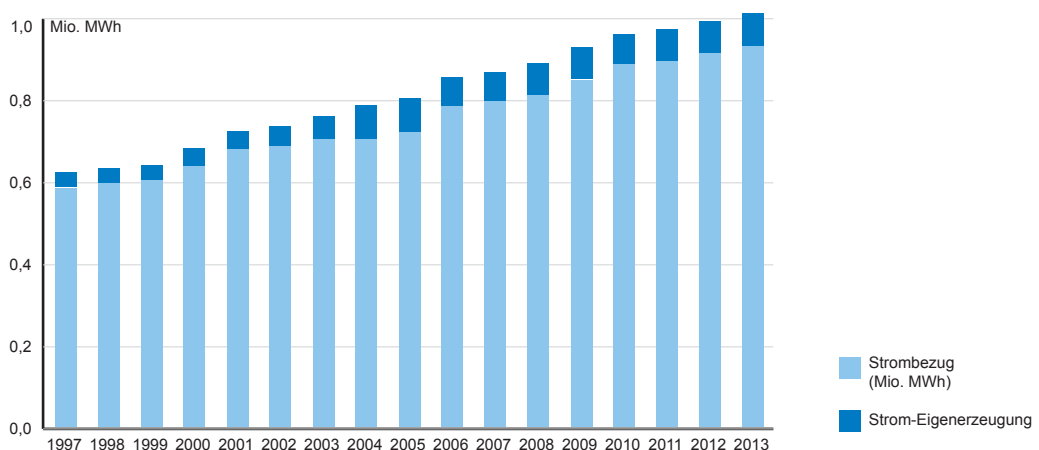


Abbildung 06-02:
Jährlicher Stromverbrauch
der bayerischen Staatlichen
Liegenchaften; Darstellung
nach [OBB 2015a]



06.2 Vorbildfunktion von öffentlichen Bauherren

Öffentliche Bauwerke sind neben ihrer reinen Funktion auch immer Repräsentation der Gesellschaft. Sie nehmen daher häufig eine Sonderstellung in der gebauten Umwelt ein. An ihnen sind politische Zielsetzungen, die einen gesellschaftlichen Konsens einer bestimmten Periode darstellen, ablesbar. Es ist daher regelmäßig der Fall, dass politische Zielsetzungen für öffentliche Gebäude über den gesetzlichen Mindeststandard hinausgehen, um einer Vorbildfunktion gerecht zu werden. Die Förderung von Baukultur allgemein ist ein übergeordnetes Ziel, das durch eine Vielzahl von Architekturwettbewerben für zentrale Einrichtungen angestrebt wird. Die Übererfüllung von Mindestanforderungen der EnEV ist ein Beispiel für eine politische Vorgabe, die einen konkreten energetischen Standard der Gebäude des Freistaats Bayern vorgibt.

06.3 Energetischer Standard des Freistaats Bayern

06.3.1 Energieverbrauch Staatlicher Gebäude

Die Entwicklung des Energieverbrauchs der staatlichen Liegenschaften verhält sich für Wärme und Strom unterschiedlich. Zwischen 1997 und 2013 ist der absolute Wärmeverbrauch der staatlichen Liegenschaften (Abbildung 06-01) trotz Zuwächse der beheizten Gebäudevolumina in etwa konstant geblieben (ca. 1,8 MWh/a witterungsbereinigt). Der spezifische Wärmeenergieverbrauch ist damit gesunken (von ca. 43 auf ca. 32 kWh/m³a). Diese Tendenz ist auf einen höheren Gebäudestandard und energetische Sanierungen von Gebäudehüllen und -technik zurückzuführen. Anders verhält sich der Stromverbrauch (Abbildung 06-02). Dieser ist im gleichen Zeitraum absolut gestiegen (von ca. 0,64 Mio. MWh/a auf ca. 1,0 Mio. MWh/a). Hier sind der Flächenzuwachs und der gestiegene spezifische Stromverbrauch gleichermaßen relevant. Die Eigenerzeugung von Strom macht nur einen geringen Bruchteil des gesamten Stromverbrauchs aus (ca. 6–7 %). Die Stromkosten staatlicher Liegenschaften belaufen sich im Jahr 2013 auf ca. 170 Mio. Euro. Hinzu kommen Wärmekosten von ca. 125 Mio. Euro. [OBB 2015a] Es ist ökologischer und ökonomischer Antrieb, den Energieverbrauch eigener Gebäude zu senken,



Abbildung 06-03: Neubau „Erweiterung Maximilianeum“ als Verwaltungsbau im Passivhaus-Standard; Architekten: Léon Wohlhage Wernik, Berlin [StBAM2 2018]

und politischer Wille, der Vorbildfunktion öffentlicher Bauherren gerecht werden.

06.3.2 Energieeffizienz

Am 19.07.2011 hat der Ministerrat der Staatsregierung den Energiestandard für zukünftige staatliche Gebäude definiert. Seit diesem Zeitpunkt werden Verwaltungsgebäude mit einfacher und mittlerer technischer Ausstattung (z.B. Abbildung 06-03) auf Grundlage des Passivhausstandards gebaut. Das heißt, dass die Gebäude die Anforderungen des zu diesem Zeitpunkt gültigen Passivhausstandards erfüllen, aber nicht zwingend zertifiziert werden müssen. Ziel ist es, passive Maßnahmen (z.B. hocheffiziente Gebäudehülle) vorrangig vor aktiven Maßnahmen (z.B. hocheffiziente Gebäudetechnik) umzusetzen. Der damalige Passivhausstandard entspricht dem aktuellen Passivhaus Classic (Kapitel 05).

Zusätzlich werden ausgewählte Sonderbauten mit hoher technischer Ausstattung unter wissenschaftlicher Begleitung als Pilotprojekte im Passivhausstandard realisiert (z.B. Abbildung 06-04). Anhand dieser Projekte soll die Anwendbarkeit des Standards auf weitere Gebäudetypen untersucht werden. Für alle Baumaßnahmen im Neubau und Bestand gilt grundsätzlich die Nebenanforderung, dass die Anforderungen der ENEC 2009 an mittlere Wärmedurchgangskoeffizienten der

Außenbauteile um mindestens 30 % zu unterschreiten sind. Eine Unterschreitung des zulässigen Primärenergiebedarfs nach EnEV 2009 um 20 % (bei Fernwärme mit KWK 30 %) wird empfohlen. Diese Empfehlung ist seit der Verschärfung 2016 (EnEV 2009 x 0,75) annähernd gesetzlicher Mindeststandard. Die mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten müssen seit diesem Zeitpunkt nur noch um 10 % unterschritten werden. [OBB 2011b]



Abbildung 06-04: Neubau Museum der Bayerischen Geschichte in Regensburg – Modellvorhaben für Sonderbauten im Passivhaus-Standard; Architekten: wörner traxler richter, Frankfurt [MdBG 2013]

06.3.3 Energie-Konsistenz

Bereits 1995 hat der Landtag die Installation von Photovoltaikanlagen bei allen öffentlichen Gebäuden beschlossen. Seitdem wird die Umsetzbarkeit von PV-Anlagen bei jedem Neubau geprüft und diese ggf. installiert. [Landtag 1995] Über die Größe der PV-Anlagen gibt es keine Festsetzung. Im Jahr 2013 war an und auf staatlichen Gebäuden ca. 16.000 m² Photovoltaik-Kollektorfläche installiert. Die Kollektorflächen zur thermischen Heizungsunterstützung, die zur Erfüllung des EEWärmeG von 2008 vermehrt realisiert wurden, betragen 2013 dagegen knapp 7.000 m². Seit dem Landtagsbeschluss zur Nutzung von Biomasse zur Wärmeversorgung im Jahr 2005 werden alle Sanierungen und Neubauten auf die Verwendung von Biomasse zur Wärmeerzeugung geprüft [Landtag 2005]. Die installierte Gesamtleistung hat sich seit 2005 bis 2013 verdreifacht. Die Wärmeerzeugung aus Biomasseheizanlagen beträgt 2013 ca. 16,5 MW installierter Leistung, die Leistung von KWK-Anlagen ca. 27 MW. [OBB 2015a]

06.3.4 Suffizienz

Staatliche Baumaßnahmen werden nach den Richtlinien für die Durchführung von Hochbauaufgaben des Freistaates Bayern (RLBau) durchgeführt. Sie regeln Verfahrensschritte für alle Baumaßnahmen getrennt nach Bauunterhalt, kleinen Baumaßnahmen (< 1 Mio. Euro) und großen Baumaßnahmen (> 1 Mio. Euro). Vereinfacht ausgedrückt wird jeder Bedarf an neu zu errichtender Fläche durch ein standardisiertes Verfahren überprüft. Darin wird auch festgestellt, ob der Flächenbedarf in der Größe berechtigt ist (Richtwertprüfung), und ob beantragte Nutzung in anderen Liegenschaften des Freistaates adäquat untergebracht werden kann. Damit soll vermieden werden, dass der Bedarf übererfüllt wird oder Neubauten errichtet werden, obwohl Leerstände die Unterbringung eines Flächenbedarfs ermöglichen. Die Prüfung erfolgt zum einen zentral über die Immobilien Freistaat Bayern (IMBY), zum anderen durch das zuständige Ressortministerium. [RLBau 2011] Das Verfahren zur Durchführung von großen Baumaßnahmen nach RLBau wurde im Rahmen des Suffizienz-Seminars im Master-Studiengang ENB an der TUM in drei aufeinander folgenden Jahrgängen durchleuchtet. Anhand der zehn Wertungskriterien für suffizientes Bauen [Steffen 2015] wurde das Vorgehen des Freistaates mit einer realen Baumaßnahme aus dem Wissenschaftsbereich diskutiert. Obwohl die zehn Punkte für Wohnungsbau gelten, waren sie auch hier wertvoll, um eine geordnete Diskussion des Themas Suffizienz im Bauen zu ermöglichen. Alle Jahrgänge haben unabhängig und anonym gewertet. Sie haben mit jeweils ca. 70 % Zustimmung gewertet, dass der Prozess der RLBau den Suffizienzgedanken im staatlichen Bauen berücksichtigt. Große Unsicherheiten bestehen in den wissenschaftlichen Bauprojekten. Zwar gibt es Richtlinien zur Größe von Hochschulbauten, die sich auf Studierendenzahlen stützen. Sobald jedoch Bedarfsmeldungen von Forschungsflächen zu begutachten sind, ist jedes Vorhaben ein Unikat, dessen Bedarfsanmeldung und Flächenbemessung häufig ohne absolute Richtwerte zu bewerten ist.



Abbildung 06-05:
Neubau der Interimshörsäle in
Garching; Architekt: Deubzer
König Rimmel, München
[Leppert 2011]

06.3.5 Verwendung nachwachsender Rohstoffe

Der Landtagsbeschluss vom 14.02.2008 fordert für zukünftige Verwaltungsneubauten die Prüfung der Verwendung von Holzbaustoffen gleichberechtigt zu massiven Konstruktionen [Landtag 2008]. Seitdem sind mehrere Neubauten entstanden, die experimentellen Charakter haben [StMI 2017]. Auch Sonderbauten werden als Holzkonstruktion umgesetzt (Abbildung 06-05). Hersteller anderer Baustoffe befürchten, dass durch diesen Beschluss eine einseitige Bevorteilung der Holzindustrie vorliegt und sie Marktanteile verlieren könnten. Entsprechend rücksichtsvoll ist der Umgang mit diesem Landtagsbeschluss. Publikationen über das Thema „Bauen mit Holz“ werden daher zum Beispiel durch Veröffentlichungen wie „Bauen mit Ziegel“ ergänzt.

Eine Verpflichtung zur vollumfänglichen Umsetzung des Nachhaltigkeitsleitfadens besteht daher nicht. Die Möglichkeit, einzelne Projekte weiterhin mit Zertifizierung im Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) des Bundes zu realisieren, besteht, wird aber selten genutzt. Ein großer Vorteil der Zertifizierung ist die Qualitätssicherung nachhaltiger Aspekte über die Planungs- und Bauzeit hinweg. Beispielsweise gehen bisweilen Raumluftmessungen im Termindruck der Fertigstellungs- und Übergabephase am Ende eines Projektes unter und werden vergessen. Eine Checkliste zu Aspekten der Nachhaltigkeit könnte helfen, die Erkenntnisse aus den eigenen Modellprojekten mit der Umfänglichkeit des Bundesleitfadens zu kombinieren und damit, im Sinne des Pareto-Prinzips, einen hohen Ertrag mit geringen Aufwand sicherzustellen.

06.3.6 Nachhaltigkeitskonzepte

Der „Leitfaden Nachhaltiges Bauen“ des Bundesbauministeriums definiert seit 2001 eine Vielzahl von Kriterien, die es im nachhaltigen Bauen zu beachten gilt. Der Freistaat Bayern sieht sich diesen Grundzügen verpflichtet. Als der Bund 2007 den Leitfaden aktualisiert und die Zertifizierung nach BNB eingeführt hat, prüfte Bayern für sich den Mehrwert der Zertifizierung mittels Modellprojekten (Abbildung 06-06). Das Ergebnis zeigte, dass die Baustandards des Freistaats Bayern bereits einen Großteil der Kriterien erfüllen, und sich damit keine Notwendigkeit einer Zertifizierung ergibt.



Abbildung 06-06:
Hörsaal- und Verfügungsge-
bäude Universität Regensburg –
zertifiziert mit BNB Silber; Arch.:
Ferdinand Heide, Frankfurt a. M.
[DHV 2012]

Abbildung 06-07:
Amt für ländliche Entwicklung
Tirschenreuth; [Heinl 2013]



06.3.7 Zielkonflikt Nachhaltigkeit und kostengünstiges Bauen

Aufgrund aktueller politischer Entwicklungen ist das Thema Energiestandard und Nachhaltigkeit etwas aus dem politischen Fokus gerückt. Kostensenkungen im Bauen und bezahlbarer Wohnraum sind aktuelle Kernthemen. In diesem Kontext kann eine Chance für Nachhaltigkeitsbetrachtungen liegen: Die Zielsetzungen Nachhaltigkeit und kostengünstiges Bauen müssen sich nicht widersprechen. Abbildung 06-07 zeigt ein Verwaltungsgebäude als Kombination aus konventionellen Massivbau und vorgefertigter Holzbauweise. Jede Konstruktion wird dort eingesetzt, wo sie ihre Stärken ausspielen kann: Tragkonstruktion als Massivbau, Fassade und Dach als Holzkonstruktion. Das Gebäude wurde für Generalübernehmer ausgeschrieben. Der Wettbewerb wurde nach Qualität und Preis juriert. Dieses Projekt hat sich im Wettbewerb durchgesetzt und damit nachgewiesen, dass Ökologie mit Ökonomie einhergehen kann.

Die hohe Anzahl an ankommenden Flüchtenden in den Jahren 2015 bis 2017 erforderte einen schnell zu errichtenden und kostengünstigen Wohnungsbau. Neben einer Lösung mit Containerbauten hat diese Notwendigkeit einen Investitions- und Innovationschub für vorgefertigte Bauweisen, darunter auch Holzbauweisen, ergeben. Wenn es gelingt, einen akuten Bedarf mit qualitativ hochwertigen Baustandard mit normaler Lebensdauer zu decken, kann das – ganzheitlich betrachtet – nachhaltiger und wirtschaftlicher sein, als Provisorien mit begrenzter Haltbarkeit zu bauen. Es wäre erstrebenswert, wenn Ökologie und Ökonomie in Zukunft nicht im Sinne von „entweder-oder“ diskutiert werden, sondern beides zusammen die Diskussion um die Zukunft des nachhaltigen Bauens bereichern könnte.

Niedrigstenergiestandard für Nichtwohngebäude

Liegenschaftsbestand Freistaat Bayern

07.1	Ziel der Datenanalyse	56
07.2	Grundlagen der Typologie	56
07.3	Immobilien im Eigentum des Freistaates Bayern	57
07.3.1	Baukulturelles Erbe	57
07.3.2	Bauten für die Landesaufgaben	57
07.4	Fachdatenbank Hochbau	58
07.5	Datenfilter der Analyse	58
07.5.1	Eigentum	58
07.5.2	Geltungsbereich Energieeinsparverordnung	58
07.5.3	Mangelhafte Datensätze	59
07.5.4	Umgang mit gering beheizten Gebäuden	59
07.5.5	Analysedaten	59
07.6	Auswertung der Typologien	60
07.6.1	Kategorie 1000 – Parlament, Gericht, Verwaltung	61
07.6.2	Kategorie 2000 – Wissenschaftliche Lehre und Forschung	61
07.6.3	Kategorie 3000 – Gesundheit	61
07.6.4	Kategorie 4000 – Bildung und Kultur	62
07.6.5	Kategorie 5000 – Sport	62
07.6.6	Kategorie 6000 – Wohnen, Beherbergen, Betreuen, Verpflegen	62
07.6.7	Kategorie 7000 – Produktion, Lagerung, Wartung, Pflege	63
07.6.8	Kategorie 8000 – Technik	63
07.6.9	Kategorie 9000 – Sonstiges und Ausland	63
07.7	Durchschnittswerte je Kategorie	64

Fazit Kapitel 07

Die Untersuchung eines Baubestandes durch Fallbeispiele erfordert Kenntnisse über die Zusammensetzung des Liegenschaftsbestandes. Die Arbeit nimmt die Liegenschaften im Eigentum des Bundeslandes Bayern als Untersuchungsgegenstand, da in Deutschland keine geeigneten Daten über den Bestand an nWG vorliegen. Der Liegenschaftsbestand des Freistaats weist Besonderheiten auf, die auf der Geschichte und auf den Aufgaben des Landes beruhen. Die Analyse der Gebäudeeigenschaften bildet die Grundlage für eine spätere Ergebnisdiskussion der Analyse der Fallbeispiele.

07.1 Ziel der Datenanalyse

Ziel der Analyse in Teil II (Kapitel 7 bis 11) ist herauszufinden, welches Anforderungsniveau ein Standard für Niedrigenergiegebäude (nZEB) bezogen auf die unterschiedlichen Bautypologien der Immobilien des Freistaats Bayern erfüllen kann. Im Rahmen einer Bottom-Up-Analyse werden Referenzgebäude ausgewählt und mit einem hohen energetischen Standard bilanziert.

Für die Auswahl der Referenzgebäude ist zunächst die Analyse des Immobilienbestandes erforderlich, um die Referenzen aus den richtigen Typologien zu wählen. Zudem sollten die Referenzen in etwa den durchschnittlichen Geometrien jeder Typologie entsprechen, zumindest aber keinen absoluten Einzelfall darstellen. Gebäude mit Auffälligkeiten innerhalb der Typologie müssen besonders bewertet werden. Für die Ergebnisdiskussion der Untersuchungen ist es auch erforderlich, die Fallbeispiele in Bezug zu durchschnittlichen Werten der jeweiligen Kategorie zu stellen. Die Analyse ist daher Ausgangspunkt für die Referenzauswahl und Bezugspunkt für die Ergebnisdiskussion.

Abbildung 07-01:
Regensburger Dom „St. Peter“
[Ripp 2016]



07.2 Grundlagen der Typologie

Obwohl kein Kirchenbau dem anderen gleicht, so ist es doch sehr leicht möglich, in Europa eine Kirche als eine solche zu identifizieren. Einzelne gestaltprägende Merkmale wiederholen sich, z. B. der Kirchturm als prägnantestes Merkmal dieser Baugattung. In Zusammenfassung dieser Gruppe oder Familie von Gebäuden spricht man von einer Typologie. Die Charakteristik der Typologie im Vergleich zu einer Klasse liegt in der Unschärfe der Grenzen zwischen einzelnen Typen. Obwohl dadurch in den Randbereichen von Typologien immer wieder Diskussionen bezüglich einer Zuordnung auftreten können, so hilft uns die Typologie dennoch beim Umgang mit einer komplexen Wirklichkeit. [Kluge 1999, 23]

Gerade im Bereich der Nichtwohngebäude, in dem viele Objekte Unikate darstellen, ist die Typologisierung ein probates Mittel, um mit der Heterogenität umzugehen. Typologisierung erfolgt unter anderen in Bezug auf Nutzungen, Grundrissformen, Bauwerksdimensionen und auch einzelner Gestaltmerkmale wie Fassadenbild. Die Wahl der richtigen Typologisierungsart muss dem jeweiligen Untersuchungsfeld entsprechen und ist zu begründen. Dennoch bleiben Aussagen, die aus einer Typologisierung heraus getroffen werden, wegen ihrer Unschärfe in Bezug auf die Realität vage. Es besteht immer die Gefahr von unzulässiger Verallgemeinerung und damit einer Verzerrung von Wirklichkeit. [Kluge 1999, 24] Dieser Hintergrund erfordert eine sorgfältige Reflexion und vorsichtige Interpretation der Ergebnisse. Im Verlauf der Arbeit werden immer wieder Untersuchungsergebnisse in den Bezug zu einer Gebäudetypologie gesetzt. Diese Ergebnisse können aus o. g. Gründen nie gänzlich für alle Gebäude dieser Typologie gelten. Das macht eine Bilanzierung von Gebäuden schwierig, eine Vergleichbarkeit von Performance immer diskutabel. Gerade deshalb ist das Thema so interessant.

Abbildung 07-02:
Würzburger Residenz
[Pohl 2016]

07.3 Immobilien im Eigentum des Freistaates Bayern

Der Freistaat Bayern besitzt über 10.000 bebaute Liegenschaften in seinem dauerhaften Eigentum. Das Portfolio reicht von einfachen Lagerhallen bis zu hochmodernen Operationszentren, von Justizvollzugsanstalten bis zu Bauten des UNESCO Weltkulturerbes, die das Bild Bayerns weltweit prägen. [OBB 2014] Dennoch ist ein Immobilienportfolio eines Flächenstaates wie Bayern kein durchschnittlicher Repräsentant für Nichtwohngebäude (nWG) oder sogar den gesamten Baubestand der Bundesrepublik. Die Zusammensetzung spiegelt vielmehr zum einen die Entstehungsgeschichte des Staates wieder, und zum anderen die Aufgaben, die einem Bundesland innerhalb des föderalen Systems der Bundesrepublik zugewiesen werden. Daher befinden sich zum Beispiel weder Einzel- oder Großhandelsgebäude darin. Wohn- und Beherbergungsgebäude sind nur in geringerer Zahl enthalten als es der Bundesdurchschnitt aufweist. Dafür gibt es Bautypologien, die singulär der Staat vorweisen kann (z.B. Polizei- und Gerichtsbauten).

07.3.1 Baukulturelles Erbe

Mit der Säkularisation und Mediatisierung 1802/1803 wurden auch in Bayern die geistlichen Fürstentümer aufgelöst und in das Vermögen weltlicher Landesherren überführt. Der Großteil der Klöster wurde aufgelöst und der Staat als Rechtsnachfolger Eigentümer der klösterlichen Ländereien und Gebäude. Mit der Übernahme des Eigentums hat der Staat auch die Aufgaben der Klöster übernommen, die zuvor Jahrhunderte lang von den kirchlichen Einrichtungen ausgeübt wurden. Der Aufbau eines neuen Wesens für Bildung und Wissenschaft, für Kunst und Kultur, für die Gesundheitsfürsorge, für ein Wirtschafts- und Steuersystem und eine öffentliche Verwaltung wurden notwendig. Mit den Bayerischen Verfassungen von 1808 und 1818 wird auch ein Großteil des Vermögens des Adels an den Staat übertragen, um die steigenden staatlichen Aufgaben finanzieren zu können. [Körner 2006, 25-59] Der Entstehungsgeschichte des Bayerischen Verfassungsstaates ist es zu verdanken, dass sich wesentliche Teile des baukulturellen Erbes im Eigentum des Freistaats befinden. Darunter befinden sich kirchliche Kathedralen wie der Regensburger Dom (Abbildung



07-01), Residenzen von Fürstbischöfen (z. B. Würzburger Residenz: Abbildung 07-02) ebenso wie die später errichteten Königsschlösser, Museen und Theater.

07.3.2 Bauten für die Landesaufgaben

Die Landesaufgaben der einzelnen Bundesländer innerhalb der Bundesrepublik Deutschland werden im Grundgesetz (GG) geregelt. Die baulichen Aktivitäten des Freistaats Bayern konzentrieren sich auf diese Aufgaben: Bildungswesen, Wissenschaft, Kultur, Gesundheit, innere Sicherheit (z.B. Polizeiinspektionen Abbildung 07-03), Justizvollzug und innere Verwaltung (z.B. Finanzämter Abbildung 07-04). Gebäude nach dem Zweiten Weltkrieg und aktuelle Neubauten des Freistaates werden daher überwiegend diesen Nutzungen zugerechnet.

Abbildung 07-03:
Neubau Polizeiinspektion in
Mindelheim; Architekten:
Staatliches Bauamt Kempten
[Rupp 2015]

Abbildung 07-04:
Neubau Finanzamt Garmisch-
Partenkirchen; Architekten:
Bauer Architekten, München
[StBawM 2016]

07.4 Fachdatenbank Hochbau

Alle Liegenschaften, die von der Bayerischen Staatsbauverwaltung im Hochbau betreut werden, sind in einer zentralen Datenbank, der Fachdatenbank Hochbau (FDH) zusammengefasst. Die damalige Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr (OBB) hat im November 2015 den Liegenschaftsdatenbestand in der Fachdatenbank Hochbau (FDH) für die vorliegende Arbeit zur Verfügung gestellt. Aktualisiert wurde dieser Datenbestand durch eine Erhebung der Arbeitsgruppe „Fachdatenbank Hochbau“ bezüglich der Relevanz der Energieeinsparverordnung je Gebäude [OBB 2014]. Der Originaldatensatz enthält 20.054 Datensätze zu Liegenschaften innerhalb des Freistaats Bayern.

Bauwerkzuordnungskatalog

Zur Einordnung der verschiedenen Nutzungen von Gebäuden gibt die Konferenz der für Städtebau-, Bau- und Wohnungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Länder (ARGEBAU) regelmäßig einen Bauwerkzuordnungskatalog (BZK) heraus. Der aktuelle Stand datiert vom Dezember 2010. Er unterscheidet die Nutzungen mittels eines vierstelligen Codes, in dem jede Ordnungsziffer die Nutzung detaillierter untergliedert (Tabelle 07-01). Der BZK ermöglicht die Unterscheidung sowohl nach Nutzungen als auch nach technischen Ausstattungsstandards. Dieser ist wichtig, um für die verschiedenen Nutzungstypologien Kostenschätzungen von Baumaßnahmen mit Hilfe verschiedener Kostenrichtwerte erstellen zu können. So hat ein Verwaltungsgebäude mit erhöhter technischer Ausstattung und Funktion (z.B. Gesundheitsamt BZK-Nummer 1333) einen höheren Kostenrichtwert pro Quadratmeter Nutzfläche als ein Verwaltungsgebäude mit einfacher technischer Ausstattung (z.B. Finanzamt BZK 1323). Der Freistaat Bayern verwendet in der Fachdatenbank Hochbau für die Kategorisierung seiner Gebäude nach Nutzungen den Bauwerkzuordnungskatalog. Gebäude mit gemischter Nutzung werden

entweder in einer höheren Kategorie subsummiert, wenn alle Nutzungen unter diese höhere Kategorie passen, oder nach der Nutzung mit dem größten prozentualen Anteil eingeordnet. Für die energetische Analyse von Nichtwohngebäuden eignet sich diese Typisierung hauptsächlich in der ersten und bedingt in der zweiten Gliederungsebene. Eine Untergliederung über die zweite Ebene hinaus ist für eine energetische Betrachtung im Sinne der DIN V 18599 nicht mehr zielführend, da spezifische Prozessenergien nicht bilanziert werden [BMVBS 2011, 20-22].

07.5 Datenfilter der Analyse

07.5.1 Eigentum

Die Datenbank beinhaltet auch Datensätze zu Liegenschaften, die nicht im Eigentum des Freistaats Bayern sind und im Rahmen einer Auftragsverwaltung vom Freistaat für die Bundesrepublik Deutschland oder für Dritte (z.B. Gaststreitkräfte) betreut werden. Den größten Teil dieser Liegenschaften in Auftragsverwaltung nehmen zivile und militärische Liegenschaften des Bundes in Bayern ein (Bundeswehr, Katastrophenschutz, Autobahnverwaltung, Zoll, Bundespolizei usw.). Für die Liegenschaften in Auftragsverwaltung werden Vorgaben für Neubaustandards an den Freistaat Bayern gegeben. Sie sind daher für das Ziel dieser Arbeit nicht von Bedeutung und sind aus der Untersuchung herausgenommen. Nach der Herausnahme der Fremdliegenschaften bleibt eine Datenbank mit 10.754 Datensätzen übrig. Dieser Liegenschaftsbestand umfasst ein Volumen von ca. 19,5 Millionen Quadratmeter Bruttogeschossfläche (BGF) und ca. 80,2 Millionen Kubikmeter Bruttorauminhalt (BRI).

07.5.2 Geltungsbereich Energieeinsparverordnung

Eine energetische Bilanzierung von Neubauten setzt beheizte Gebäude voraus. Daher wird aus der Datenbank der Baubestand ohne Brennstoff-/Wärmeversorgung herausgenommen. Zudem sollen nur Gebäude untersucht werden, die dem Geltungsbereich der Energieeinsparverordnung entsprechen. Daher wurde versucht, alle Gebäude, die nicht den Kriterien des §1 Abs. 2 Ziffern 1-9 EnEV entsprechen, aus der Analyse herauszunehmen (z. B. Kirchen und unbeheizte Gebäude).

Tabelle 07-01:
Systematik BZK am Beispiel
eines Finanzamtes
[ARGEBAU 2010]

Beispiel Finanzamt	Fachdatenbank Hochbau	Code
1. Gliederungsebene	Parlament, Gericht, Verwaltung	1000
2. Gliederungsebene	Verwaltungsgebäude	1300
3. Gliederungsebene	Verwaltungsgebäude mit einfacher technischer Ausstattung	1320
4. Gliederungsebene	Verwaltungsgebäude / Ämtergebäude	1323

07.5.3 Mangelhafte Datensätze

Da die Fachdatenbank Hochbau (FDH) dezentral mit Daten gefüllt und gepflegt wird, ist der Datenbestand nicht durchgängig einheitlich. Daher wurden für die statistische Auswertung der FDH folgende Korrekturen vorgenommen bzw. Erhebungskriterien festgelegt:

- Nicht zugeordnete Liegenschaften/Gebäude:
Gebäude, deren BZK-Nummern fehlen oder Null betragen, werden ihrer Bezeichnung nach gemäß BZK zugeordnet.
- Fehlende Daten:
Einige wenige Datensätze haben keine Flächen- und Raumangaben (Mindestkriterium BGF und BRI). Das sind in der Regel noch nicht realisierte Projekte oder temporäre Anmietungen (Ausweichgebäude). Diese werden der Datenbank entnommen, um die Auswertung nicht zu verfälschen.
- Mindestdaten:
Um für die Auswertung zugelassen zu werden, müssen plausible Einträge in den Spalten Bruttogeschossfläche (BGF) und Bruttorauminhalt (BRI) vorliegen. Ebenso muss eine Angabe zu mindestens einem Vollgeschoss vorliegen.
- Bauwerksbezeichnungen ohne Relevanz für energetische Untersuchungen:
Gebäude, deren Bezeichnungen auf eine Irrelevanz für energetische Untersuchungen hindeuten, werden aus der Datenbank zur Analyse entfernt. Darunter fallen beispielsweise Burgen, Brunnenhäuser, Baukonstruktionen im Außenbereich, Gasstationen, Kapellen, Siloanlagen und Parkhäuser.

07.5.4 Umgang mit gering beheizten Gebäuden

Sowohl die EPBD als auch EnEG und EnEV zielen auf Gebäude ab, welche unter Einsatz von Energie beheizt oder gekühlt werden. Im Fokus stehen dabei dauerhaft genutzte und den normalen Raumkonditionierungen unterliegende Gebäude. Ausnahmen von den Vorgaben der o.g. Vorschriften sind beispielsweise Betriebsgebäude, deren Zweck eine lange Offenhaltung fordert, temporäre und fliegende Bauten, Gebäude für religiöse Zwecke und gering beheizte Gebäude für Handwerk, Landwirtschaft und Produktion [EnEV 2013, §1 Abs. 2]. Für gering beheizte Nichtwohngebäude (12–19°C Innentemperatur) sind in der Energieeinsparverordnung geringere Anforderungsniveaus vorgesehen [EnEV 2013, A 2]. Niedrigere Innentemperaturen führen zu

geringeren Transmissionswärmeverlusten (HT') in der Heizperiode. Da diese niedrigeren Anforderungen mit einem geringeren bauphysikalischen Standard als bei normal beheizten Gebäuden zu erreichen sind, können die Ergebnisse der normaltemperierten Gebäude nicht auf gering temperierte Gebäude übertragen werden. Sie werden daher bei der Referenzgebäudeauswahl und -analyse nicht weiter betrachtet.

07.5.5 Analysedaten

Im Ergebnis bleibt eine Datenbank mit 4.401 Datensätzen für die Auswertung übrig. Der auswertbare Gebäudebestand hat eine BGF von ca. 14,4 Millionen Quadratmeter und 56,8 Millionen Kubikmeter BRI. Der analysierte Gebäudebestand (Abbildung 7-5) besteht zu fast einem Drittel aus Büro- und Verwaltungsgebäuden inklusive Gerichts- und Parlamentsgebäuden. Diese Gruppe ist auch bei der BGF (33,3 %) und dem BRI (31,0 %) führend. Die Gruppen 7000 für Produktion, Lagerung und Wartung und 6000 für Wohn- und Beherbergungsgebäude haben hohe prozentuale Anteile an der Gebäudeanzahl, weisen jedoch nur geringere prozentuale Anteile an BGF und BRI auf. Diese Tatsache lässt den Rückschluss zu, dass es sich hier um vergleichsweise kleinflächige und kleinvolumige Gebäudetypen im Vergleich zum restlichen Liegenschaftsbestand handelt. Umgekehrt verhält es sich mit dem Baubestand für Wissenschaft, Lehre und Forschung sowie Gesundheit. Verglichen mit der Anzahl der jeweiligen Gebäude ist der prozentuale Anteil an BGF und BRI sehr hoch. Diese Gebäude sind im Schnitt überproportional groß. Aufgrund der Nutzung ist auch zu erwarten, dass der Energiebedarf dieser Gebäudetypen am größten sein wird. Im Hinblick auf die durchzuführende Analyse ist ein besonderes Augenmerk auf diese Typologien zu legen. Die Unterschiede in der Gruppe 4000 der Gebäude für Bildung und Kultur in Anzahl, BGF und BRI sind analog zu den Gruppen 2000 und 3000 vorhanden, aber nicht so extrem ausgeprägt. Die drei kleinsten Gruppen sind die Sport-, Technikbauten und sonstige Gebäude. Ihr Anteil liegt im sehr niedrigen einstelligen Prozentbereich, zum Teil unter einem Prozent.

07.6 Auswertung der Typologien

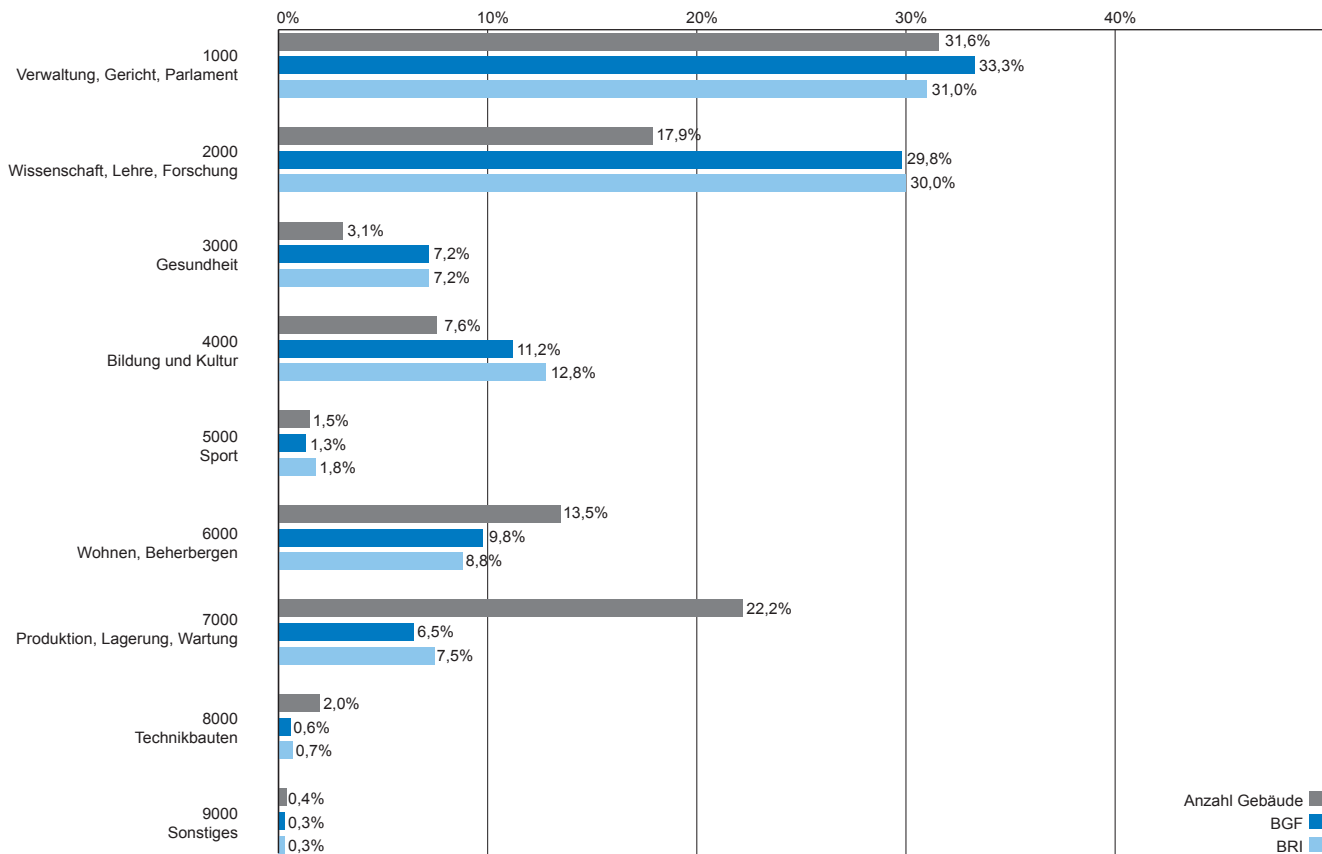


Abbildung 07-05: Analysedaten zum Liegenschaftsbestand des Freistaats Bayern; prozentuale Anteile der Kategorien am Gesamtbestand

Für die Auswahl der Typologien und der Referenzgebäude, die in der Studie im Teil 2 näher untersucht werden sollen, ist die nähere Betrachtung der einzelnen Gruppen erforderlich. Aus den Erkenntnissen der folgenden Typologie-Analyse ergibt sich die Relevanz der Typologie für den Gebäudebestand und damit die Auswahl der angefragten Fallbeispiele (Kapitel 08.1). Für die Festlegung der Case Studies ist die Qualität der erhaltenen Daten mitbestimmend (Kapitel 08.2). Die Relevanz für die Analyse ergibt sich aus einem hohen prozentualen Anteil am Gebäudebestand, einer Nutzung mit normaler Temperierung im Sinne der EnEV und einer Nutzung, die einen höheren Energiebedarf erwarten lässt, als z. B. Büro- und Verwaltungsgebäude haben (z. B. andere Nutzungsprofile oder hohe Technikanteile).

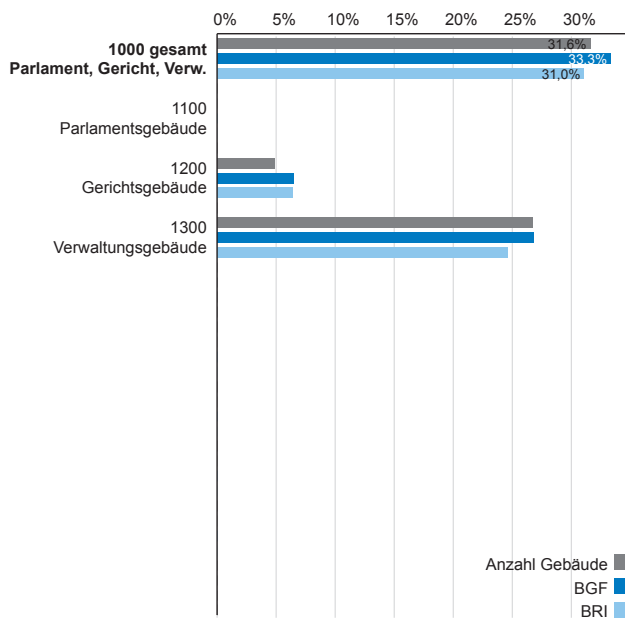


Abbildung 07-06: FDH Kategorie 1000 [OBB 2014]

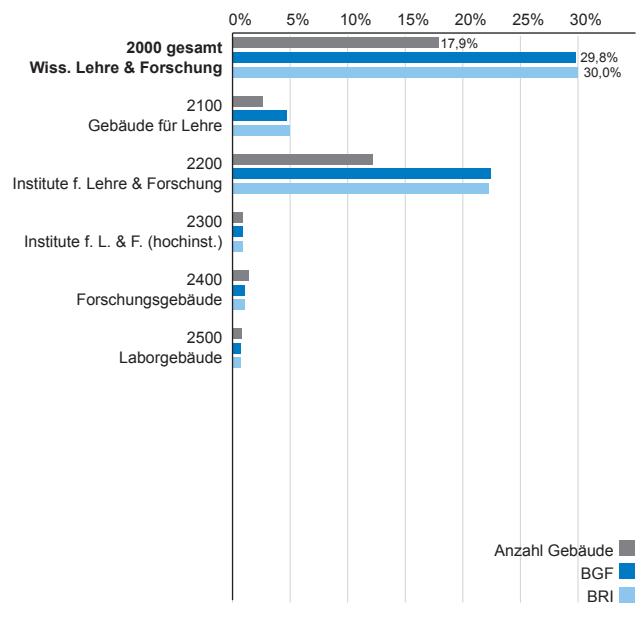


Abbildung 07-07: FDH Kategorie 2000 [OBB 2014]

07.6.1 Kategorie 1000 – Parlament, Gericht, Verwaltung

In den Verhältnissen von Anzahl der Gebäude zu BGF bzw. BRI verhält sich die gesamte Gruppe relativ homogen (Abbildung 07-06). Die Gruppe der Verwaltungsgebäude dominiert die Kategorie 1000. In Kapitel 08.1 wird erläutert, warum dennoch nicht die meisten Fallbeispiele aus der Gruppe der einfachen Büro- und Verwaltungsgebäuden (z. B. Finanzämter) abgefragt werden. Ausgewählt werden Nutzungen, die andere Nutzungsprofile als Büros aufweisen. Darunter können Gerichtsgebäude, Polizeigebäude oder auch Parlamentsgebäude fallen.

07.6.2 Kategorie 2000 – Wissenschaftliche Lehre und Forschung

Die Tendenz zu überproportional großflächigen und -volumigen Gebäuden zeigt sich in allen Unterkategorien der Gebäude für wissenschaftliche Lehre und Forschung (Abbildung 07-07). Institutsgebäude für Lehre und Forschung (Gruppe 2200) überwiegen. In ihr sind alle Institutsgebäude der Institutsgruppen eins bis acht nach Hochschulrahmenplan enthalten. Diese Gruppen unterscheiden sich nach dem Installationsgrad mit einem prozentualen Anteil der Technikkosten an den Bauwerkskosten (KG400/BWK nach DIN 276) von 23 % bis 41 %. Die Nutzung lässt einen hohen Energiebedarf erwarten. Insofern sollte diese Gruppe in der weiteren Untersuchung (Kapitel 8 bis 10) intensiv betrachtet werden.

07.6.3 Kategorie 3000 – Gesundheit

In der Gruppe der Gesundheitsbauten (Abbildung 07-08) hat der Freistaat Bayern im Wesentlichen die Hochschulkliniken (3100) im Bestand. Die weiteren Gruppen werden aufgrund der geringen Zahlen nicht weiter untersucht. Der Krankenhausbau ist in seinen Nutzungsbereichen sehr heterogen. Die DIN 13080 Funktionsbereiche im Krankenhausbau listet sieben Hauptgruppen mit 53 Nutzungsbereichen auf. Für den ersten Schritt der Risikoanalyse (Kapitel 8 bis 10) wird es daher wichtig sein, Beispielgebäude mit typischen Verteilungen für Hochschulkliniken zu finden.

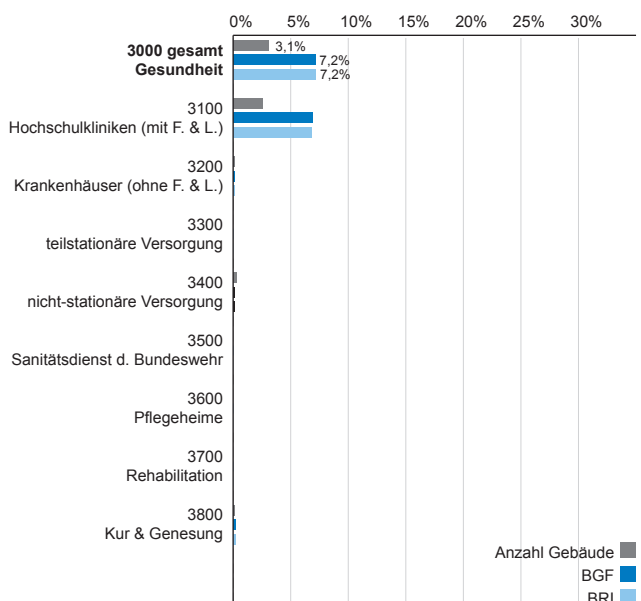


Abbildung 07-08: FDH Kategorie 3000 [OBB 2014]

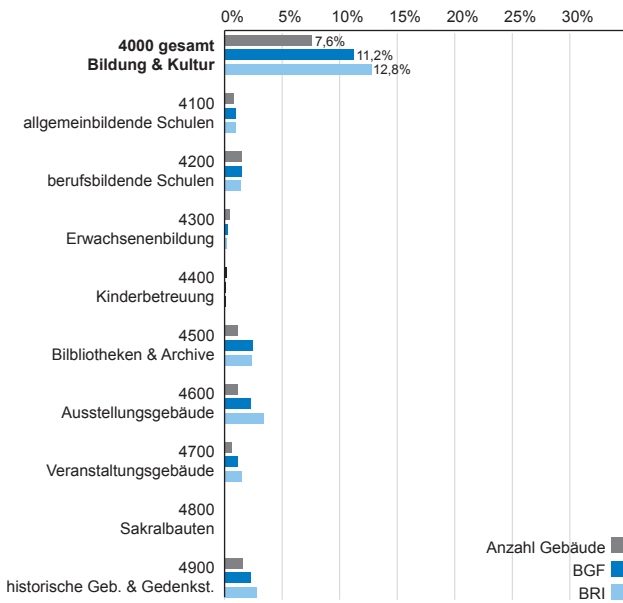


Abbildung 07-09: FDH Kategorie 4000 [OBB 2014]

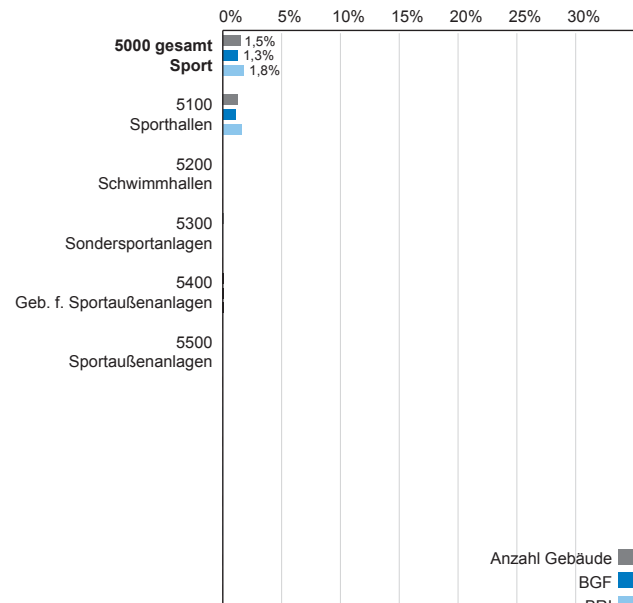


Abbildung 07-10: FDH Kategorie 5000 [OBB 2014]

07.6.4 Kategorie 4000 – Bildung und Kultur

Die Gruppen 4100 bis 4400 sowie die Gruppen 4500 bis 4700 werden aufgrund der sehr ähnlichen Nutzungsprofile und technischen Ausstattungen zusammengefasst (Abbildung 07-09). Die Gruppen 4800 und 4900 fallen regelmäßig nicht unter die Bilanzierung der EnEV und sind nicht Gegenstand der Untersuchung.

07.6.5 Kategorie 5000 – Sport

Unter der Kategorie der Gebäude für Sportnutzungen ist im Rahmen der Analyse nur die Gruppe der Sporthallen relevant (Abbildung 07-10). Diese sind aufgrund der Nutzung größtenteils nur gering temperiert. Auch aufgrund der geringen Anzahl im Bezug zum Gesamtbestand wird die Typologie vernachlässigt.

07.6.6 Kategorie 6000 – Wohnen, Beherbergen, Betreuen, Verpflegen

Die Kategorie entspricht im weiteren Sinn der Funktion Wohnen (Wohnhäuser, Unterkünfte, Wohnheime, Beherbergung im Justizvollzug usw.) (Abbildung 07-11). Die Umsetzbarkeit eines Niedrigstenergiestandards bei Wohngebäuden wurde bereits mehrfach nachgewiesen (siehe Kapitel 01.2.2). Sogar im verdichteten Baukontext einer Innenstadt ist ein Plusenergiestandard für Wohngebäude möglich (siehe Kapitel 08.1). Daher wird diese Kategorie nicht vertieft analysiert.

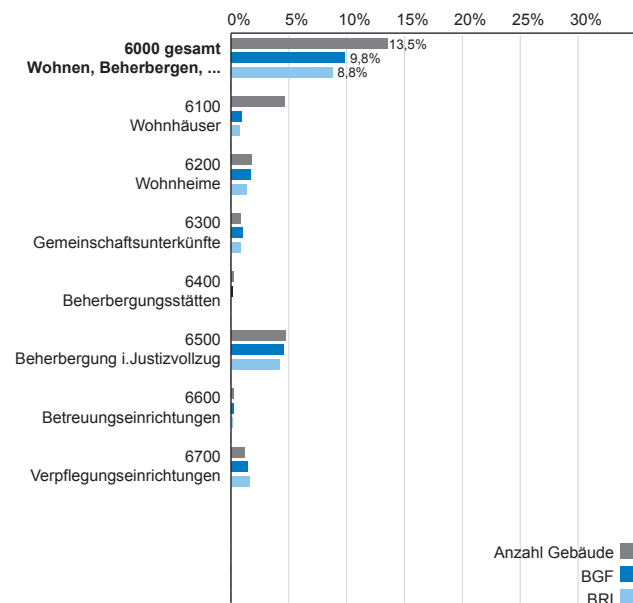


Abbildung 07-11: FDH Kategorie 6000 [OBB 2014]

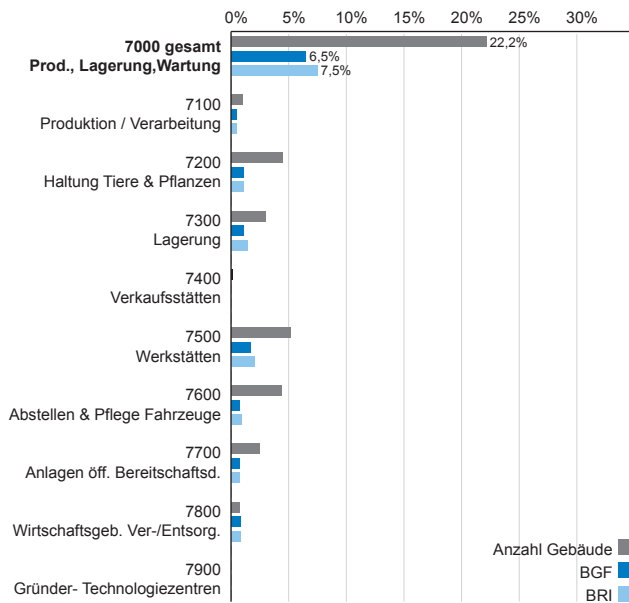


Abbildung 07-12: FDH Kategorie 7000 [OBB 2014]

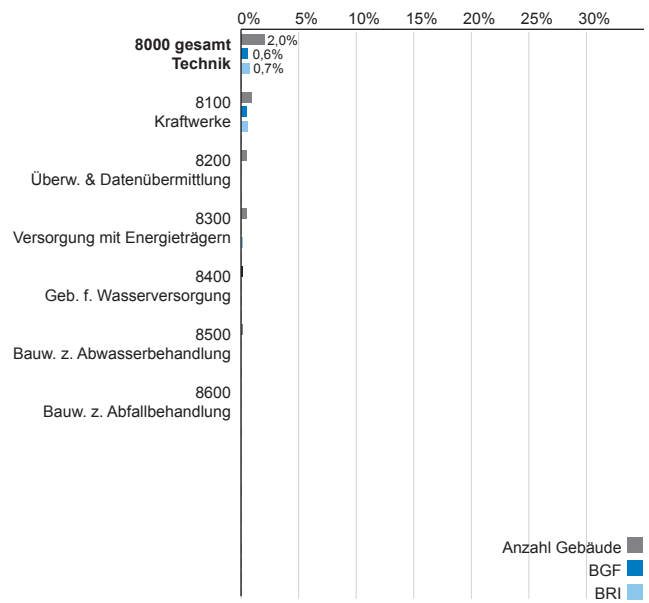


Abbildung 07-13: FDH Kategorie 8000 [OBB 2014]

07.6.7 Kategorie 7000 – Produktion, Lagerung, Wartung, Pflege

Die Gesamtgruppe nimmt zwar mit über 20 % an der Anzahl der Gebäude einen großen Teil im Gebäudebestand ein, die Anteile von 6,5 % an der BGF und 7,5 % am BRI sind jedoch ein Indiz für im Durchschnitt kleine Gebäude (Abbildung 07-12). Über fast alle Untergruppen hinweg sind geringfügig temperierte Gebäude zu finden. Normal konditionierte Gebäude für den dauerhaften Aufenthalt von Personen ohne schwere körperliche Aktivität sind die Ausnahme. Setzt man einen qualitativ gleichwertigen Baustandard voraus, werden die spezifischen Energiebedarfe der Gebäude erheblich geringer ausfallen als die Bedarfe der normaltemperierten Gebäude. Die gesamte Gruppe an Gebäuden für Produktion, Lagerung, Wartung und Pflege kann daher aus der Analyse herausgenommen werden.

07.6.8 Kategorie 8000 – Technik

Die Kategorie der Technikgebäude ist mit einem Anteil von 2,0 % in der Anzahl, 0,6 % BGF und 0,7 % BRI untergeordnet zu betrachten (Abbildung 07-13). Die meisten Gebäude sind lediglich geringfügig temperiert und bringen keinen Mehrwert für die Analyse. Sie werden daher nicht weiter untersucht.

07.6.9 Kategorie 9000 – Sonstiges und Ausland

Die wenigen in der Kategorie 9000 enthaltenen Gebäude (z.B. Bauwerke in Außenanlagen, Verkehrsbauwerke, Friedhofsgebäude ...) bringen keinen Mehrwert für die Untersuchung und werden nicht explizit analysiert (ohne Abbildung). Ihr Anteil am Gesamtbestand ist extrem gering und die Nutzung entspricht regelmäßig nicht den Voraussetzungen der EnEV.

07.7 Durchschnittswerte je Kategorie

Um geeignete Projekte je Bauwerkskategorie zu identifizieren, werden die Kategorien auf die Merkmale Bruttogeschossfläche und Anzahl der oberirdischen Geschosse hin untersucht. Die Fallbeispiele sollten nicht nur Sonderfälle darstellen, sondern auch in Beziehung zu den Durchschnittswerten der Kategorien stehen. Dabei wird jede Hauptkategorie der ersten Ordnungsebene mit den durchschnittlichen Werten der Kategorien der zweiten Ordnungsebene entsprechend deren Anzahl an Gebäuden in Beziehung gesetzt. Das

Ergebnis ist ein Durchschnittswert (arithmetisches Mittel) für die Hauptkategorie für BGF und Anzahl der oberirdischen Geschosse. Diese Richtwerte sind Orientierungswerte für die Wahl der Untersuchungsprojekte und Anhaltspunkt für die Diskussion der Ergebnisse. Abbildung 7-14 zeigt die Durchschnittswerte für die BGF und die Anzahl der oberirdischen Nutzgeschosse der einzelnen Gebäudekategorien. Die Spannweiten der Durchschnittswerte der Unterkategorien sind mit Minimal- und Maximalwerten hinterlegt. Je größer die Spannweiten der Kategorien sind, desto differenzierter sollten die Untersuchungsprojekte nach Unterkategorien ausfallen.

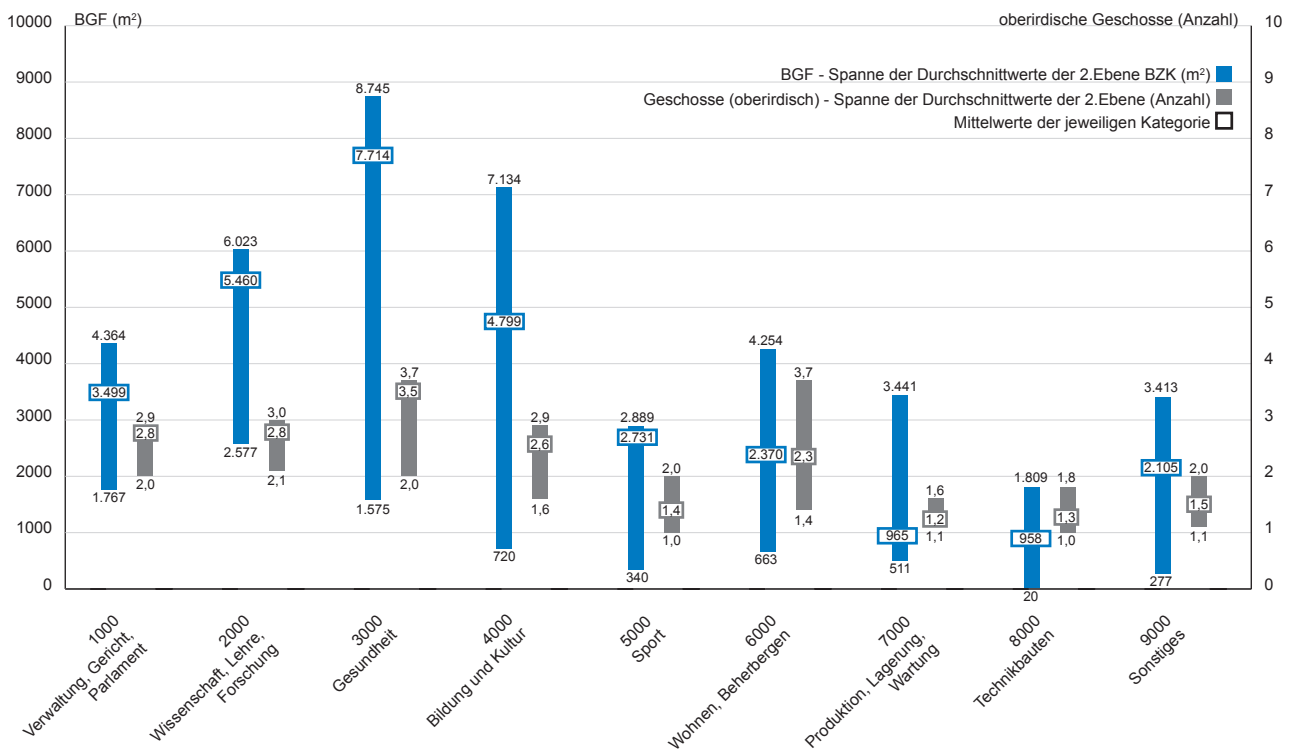


Abbildung 07-14: FDH Durchschnittswerte [OBB 2014]

08.1	Vorauswahl	66
08.2	Datengrundlagen	67
08.2.1	Datenanonymität	67
08.2.2	Datenqualität	67
08.2.3	Ergänzende Dokumentation	67
08.3	Analysierte Fallbeispiele (Case Studies)	68
08.3.1	Gebäudesteckbriefe	68
08.3.2	Einordnung der Case Studies in den Liegenschaftsbestand	71

Fazit Kapitel 08

Kapitel 08 erläutert die Auswahlkriterien der Fallbeispiele (Case Studies) für die Analyse und stellt die Projekte vor. Die erforderliche einheitliche Datenqualität reduziert die Case Studies auf zehn Projekte. Die Daten werden in anonymisierten Gebäudesteckbriefen (Anhang) detailliert dargestellt. Um die Einzelergebnisse in Relation zum Liegenschaftsbestand diskutieren zu können, ist die Zuordnung der geometrischen Kennwerte der Case Studies zu den Durchschnittswerten des gesamten Liegenschaftsbestandes wichtig.

08.1 Vorauswahl

Die Vorauswahl der Fallbeispiele (Case Studies) erfolgte nach der prozentualen Verteilung im Immobilienbestand und nach der Relevanz für das Analyseziel (Kapitel 07.6). Typologien mit einer erhöhten Relevanz sind in der Vorauswahl mit einer größeren Anzahl an Referenzgebäuden vertreten. Lässt der Stand der Forschung für gewisse Typologien bereits eindeutige Ergebnisse erwarten, werden diese Typologien nur noch zur Kontrolle und Bestätigung der Untersuchungsmethode mit wenigen Case Studies angefragt. Als Beispiel können Beherbergungsgebäude (Wohnheime) oder kleinere Schulgebäude genannt werden. Hier gibt es bereits Modellprojekte, die im Rahmen der vorliegenden Größenverteilungen der Liegenschaftsgebäude ein positives Ergebnis in Bezug auf einen möglichen Niedrigstenergiestandard erwarten lassen. Für die Wohngebäude kann das Aktivplushaus in Frankfurt von den Architekten

Abbildung 08-01:
Stadtaktivhaus Frankfurt –
verdichteter Wohnungsbau
im Plusenergiestandard;
Architekten: HHS AG, Kassel
[espazium 2015]



Tabelle 08-01:
Vorauswahl der Untersuchungsobjekte (Case Studies)

Kategorie	Anzahl Case Studies
1000 Parlament, Gericht, Verwaltung	10
2000 wissenschaft. Lehre & Forschung	22
3000 Gesundheit	3
4000 Bildung & Kultur	7
6000 Beherbergen, Betreuen, Verpfl.	2
gesamt	44

HHS AG (Abbildung 08-01) genannt werden, für die Schulgebäude die Plusenergie Grundschule in Hohen Neuendorf von IBUS Architekten GbR (Abbildung 08-02). Weitere Projekte können unter dem Portal des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) unter <http://www.forschungsinitiative.de> eingesehen werden.

Alle Referenzgebäude sollten nach Möglichkeit ein Baujahr neueren Datums ausweisen, um möglichst nah an zukünftigen Neubauplanungen ab dem Jahr 2021 zu liegen. Das Genehmigungsjahr sollte nach dem Jahr 2002 (erste EnEV) liegen, damit die Gebäude unter dem Prinzip der technologieoffenen Bauweisen geplant und realisiert wurden. Idealerweise wäre der Genehmigungsstand nach dem Jahr 2007. Erst mit der EnEV 2007 wurde die erste Europäische Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (RL 2002/91/EG) in nationales Recht umgesetzt. Sie erfordert für Nichtwohngebäude erstmals die Nachweisführung nach der DIN V 18599 und damit die Einteilung der Gebäude nach Nutzungszonen. Die Dokumentationen der EnEV-Nachweise nach 2007 sollten daher eine solide Basis für die Potentialanalyse bieten. Die durchschnittlichen Bauwerksmerkmale sollten im Bereich der analysierten BGF und der Anzahl der oberirdischen Geschosse (entsprechend der Hauptkategorie der ersten Ebene oder der Unterkategorie der zweiten Ebene) liegen. Sonderfälle (z.B. Hochhäuser) werden ausgeschlossen. Gebäude oberhalb der durchschnittlichen Werte dienen dazu, die Umsetzbarkeit des Standards in Bezug auf problematischere Konfigurationen hin zu untersuchen. Identifiziert wurden 44 Bauprojekte aus den Hauptkategorien 1000 bis 6000 nach BZK (Tabelle 08-01).

Abbildung 08-02:
Plusenergie-Grundschule Hohen
Neuendorf; IBUS Architekten,
Berlin [BMW 2013]

08.2 Datengrundlagen

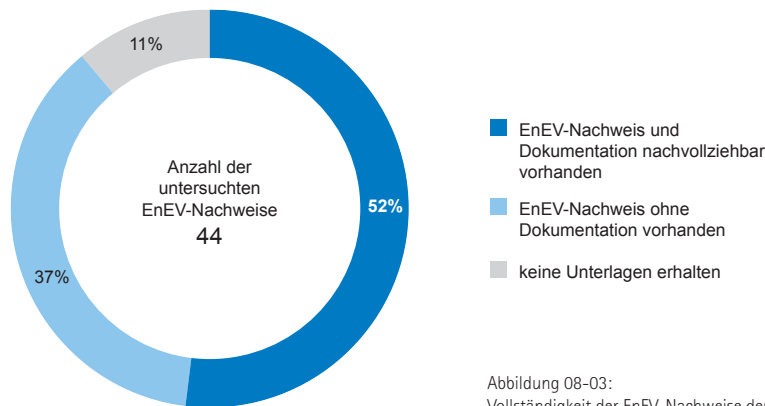


Abbildung 08-03:
Vollständigkeit der EnEV-Nachweise der Case Studies in der Vorauswahl

Mit Unterstützung der Obersten Baubehörde haben 13 staatliche Bauämter Daten zu den vorausgewählten Fallbeispielen zu Verfügung gestellt. Die Daten betreffen jeweils den Stand der Haushaltsanmeldung, der mit der Genehmigungsplanung (Leistungsphase 4 nach §34 HOAI) vergleichbar ist. Die Unterlagen der Haushaltsanmeldung unterliegen standardisierten Formvorgaben nach RL Bau und sind daher eindeutig zu lesen und zu interpretieren. Daher beziehen sich alle Untersuchungsergebnisse auf diesen Stand. Er kann in geringem Umfang vom weiteren Planungs- und Bauverlauf abweichen.

08.2.1 Datenanonymität

Die Bauherrenschaft hat der Verwendung der Gebäudedaten unter Wahrung der Anonymität zugestimmt. Zwar liegen allen Bauten des Freistaats Bayern die gleichen Qualitätsstandards zu Grunde und die Trennung der Gebäudenutzer von der Bauherrenvertretung garantiert deren Einhaltung, dennoch soll durch die Anonymisierung einem unkommentierten Vergleich verschiedener Gebäudekomponenten vorgebeugt werden.

08.2.2 Datenqualität

Trotz Abfrage einer einheitlichen Katalogisierung der Daten ist eine heterogene Datenlage entstanden. Die

Projekte werden in den unterschiedlichen Bauämtern von verschiedenen Abteilungen betreut, die die Projekte auf verschiedene Projektleiter verteilt haben. Nach einer ersten Sichtung sind fehlende Unterlagen im direkten Kontakt einmalig nachgefordert worden. Als verwertbare Daten wurden folgende definiert:

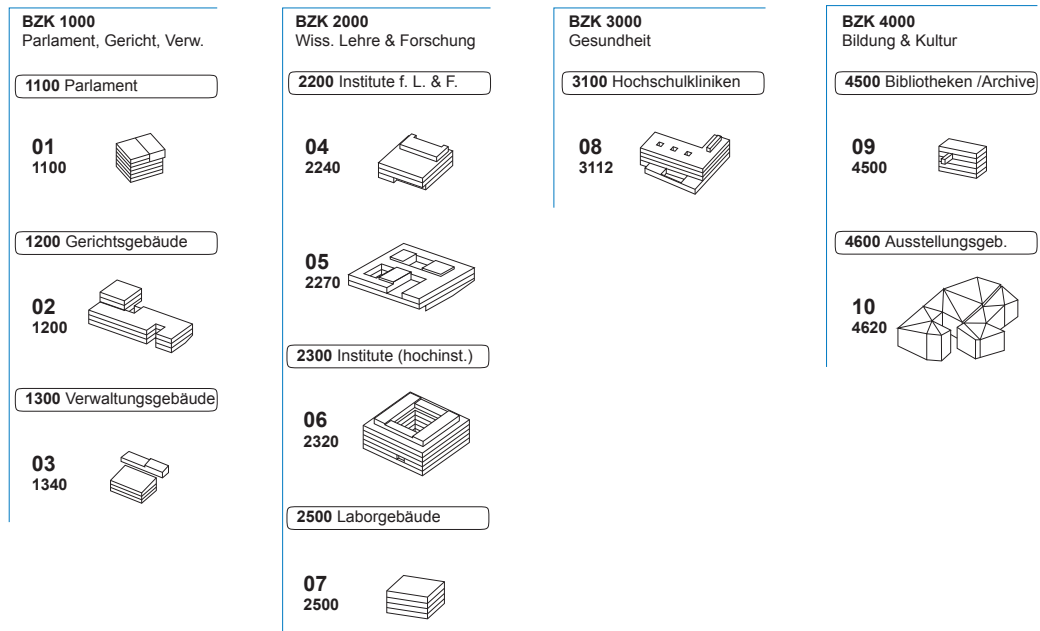
- Die Datenlage ist vollständig und für eine weitere Bearbeitung geeignet.
- Es liegt ein nachvollziehbarer EnEV-Nachweis inklusive ergänzender Dokumentation vor.
- Die Daten bestätigen die Vorauswahl bzgl. der Relevanz zum Untersuchungsgegenstand.

08.2.3 Ergänzende Dokumentation

Sämtliche Nachweise der Case Studies nach EnEV sind durch externe Dienstleister erbracht worden. Nur etwa für die Hälfte der Projekte liegen vollständige Unterlagen vor, so dass die Auswahl für die Analyse wesentlich eingeschränkt wurde. Für die angefragten Projekte liegt die Zahl der ergänzenden Dokumentationen mit 52 % nur bei knapp über der Hälfte aller Projekte (Abbildung 08-03). Die Erhebung bedeutet nicht, dass hier eine Leistung nicht erfüllt worden wäre, sondern lediglich, dass zum Zeitpunkt der Anfrage diese nicht abgegeben wurde. Für spätere Sanierungen und Umbauten ist die vollständige Dokumentation extrem hilfreich und wertvoll. Ein größeres Bewußtsein für diese Leistung wäre für Bauherren wünschenswert und für die Themen des energieeffizienten Bauens und damit des Klimaschutzes von Vorteil.

08.3 Analyisierte Fallbeispiele (Case Studies)

Abbildung 08-04:
Übersicht Case-Studies nach
BZK



Die vorab genannten Auswahlkriterien haben die Zahl der Case Studies erheblich reduziert. In Summe haben sich zehn Case Studies für die Studie als geeignet erwiesen. Sie teilen sich wie folgt auf (Tabelle 08-02 & Abbildung 08-04):

Tabelle 08-02:
Untersuchungsobjekte (Case Studies)

Kategorie	Anzahl Case Studies
1000 Parlament, Gericht, Verwaltung	3
2000 wissenschaft. Lehre & Forschung	4
3000 Gesundheit	1
4000 Bildung & Kultur	2
6000 Beherbergen, Betreuen, Verpf.	0

08.3.1 Gebäudesteckbriefe

Die untersuchungsrelevanten Daten jeder Case Study sind in Gebäudesteckbriefen (Abbildung 08-05) zusammengefasst (Anhang 08-A1). Die Case Studies reichen von einem zweigeschossigen Verwaltungsgebäude mit 1.622 m² BGF bis zu einem siebengeschossigen Forschungsinstitut mit der fast 12-fachen Fläche. Die Größe und Qualität (U-Wert) der wärmeübertragenden

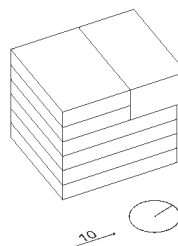
Umfassungsflächen und Kennwerte zu einzelnen Merkmalen des Gebäudes (A/V-Verhältnis, Fensterflächenanteil, Anteil der KG4 an den BWK) werden ausgewiesen. Die A/V-Verhältnisse reichen von 0,18 bis 0,51 m²/m³, der Fensterflächenanteil von 12 % bis 62 % der vertikalen Fassadenfläche. Als Indikator für den technischen Installationsgrad ist der Anteil der Kostengruppe 4 (Bauwerk – technische Anlagen) an den Bauwerkskosten (Kostengruppe 3 und 4) aufgeführt [DIN 276-1]. Dieser Indikator besitzt eine gewisse Unschärfe, da sich unter der Kostengruppe 4 auch die nutzungsspezifischen Anlagen (KG 47) befinden, die z.B. medizintechnische Einrichtungen bei Gesundheitsbauten und Laborausstattungen bei Laborgebäuden beinhalten. Dennoch bildet der Kostenanteil einen groben Indikator für den Installationsgrad eines Gebäudes. Das zeigen Erhebungen im BKI [BKl 2016] und dem Hochschulrahmenplan [ARGEBAU 2012]. Die Installationsgrade gemessen an den Kostenanteilen reichen von 24 % für die niedrig installierten bis zu 52 % für die höchstinstallierten Gebäude. Die Gebäudenutzung wird durch die Zonierung nach DIN V 18599-10 inklusive der Zonenparameter angegeben. Je nach Nutzungsmischung liegen Gebäude mit vier bis 14 verschiedenen Zonen vor. Die Herangehensweise der Nachweisersteller nach

EnEV differiert erheblich. Viele Ersteller unterteilen das Gebäude sehr präzise und kleinteilig und machen von den möglichen Vereinfachungen keinen Gebrauch.

Wenige Ersteller fassen hingegen auch komplexe Gebäude mit großflächigen Zonierungen zusammen.

01-1100			
Nutzung	Parlamentsgebäude		
BZK	1100		
Geschosse oi	6	ohne TG	
Geschosse ui	2		
Bauform	im Zusammenhang bebaut		
Dachform	Flachdach		
Orientierung	Süd-Südwest		
Gebäudegeometrie			
Dachfläche 1		613,3	m ²
Dachfenster		5,8	m ²
Fassade Süd		240,4	m ²
Fassade West		293,4	m ²
Fassade Nord		230,5	m ²
Fassade Ost		369,8	m ²
Fenster Süd		104,5	m ²
Fenster West		218,3	m ²
Fenster Nord		178,9	m ²
Fenster Ost		220,3	m ²
Kellerwand 1		724,0	m ²
Bodenplatte 1		570,8	m ²
Tür		31,2	m ²
NFa 1-6		2.319	m ²
TF		345	m ²
VF		964	m ²
NGF		4.272	m ²
KGF		737	m ²
BGF		5.009	m ²
BRI		16.434	m ³
A _N Gesamt		3.623	m ²
beheiztes Vol.		16.350	m ³
therm Hüllfläche		3.848	m ²
A/V Verhältnis		0,24	m ⁻¹
Fenster-Anteil		39	%
Installationsgrad / Technikanteil			
Anteil KG 4 an den BWK (%)		34	%
Energetische Kennwerte			
Bezugsniveau	EnEV 2013	RG EnEV (kWh/m ² a)	Zonierung
Spez. Primärenergiebedarf	Q_p'	118,6	
Heizung	Q _{p,h} '	57,7	01 Einzelbüro 1269 m ²
Warmwasser	Q _{p,w} '	3,0	16 WC Sanitär 164 m ²
Beleuchtung	Q _{p,l} '	25,2	17 sonst. Aufenthalt 33 m ²
Kühlung	Q _{p,c} '	18,0	19 Verkehrsfl. 286 m ²
Lüftung	Q _{p,v} '	14,7	04 Sitzung 236 m ²
Hilfsenergie	Q _{p,aux} '	0,1	31 Sporth 294 m ²
			20 Lager, Technik 539 m ²
			21 Serverraum 87 m ²
Spez. Endenergiebedarf	Q_E'	86,7	
Heizung	Q _{E,h} '	52,0	19 Verkehrsfl. 511 m ²
Warmwasser	Q _{E,w} '	2,5	19 Verkehrsfl. 203 m ²
Beleuchtung	Q _{E,l} '	14,0	
Kühlung	Q _{E,c} '	10,0	
Lüftung	Q _{E,v} '	8,1	
Hilfsenergie	Q _{E,aux} '	0,1	

Abbildung 08-05:
Beispiel eines
Gebäudesteckbriefes



Eine Übersicht der wichtigsten Kenndaten der Case-Studies zeigt Tabelle 8-3:

Tabelle 08-03: Übersicht der wichtigsten Kenndaten der Case-Studies

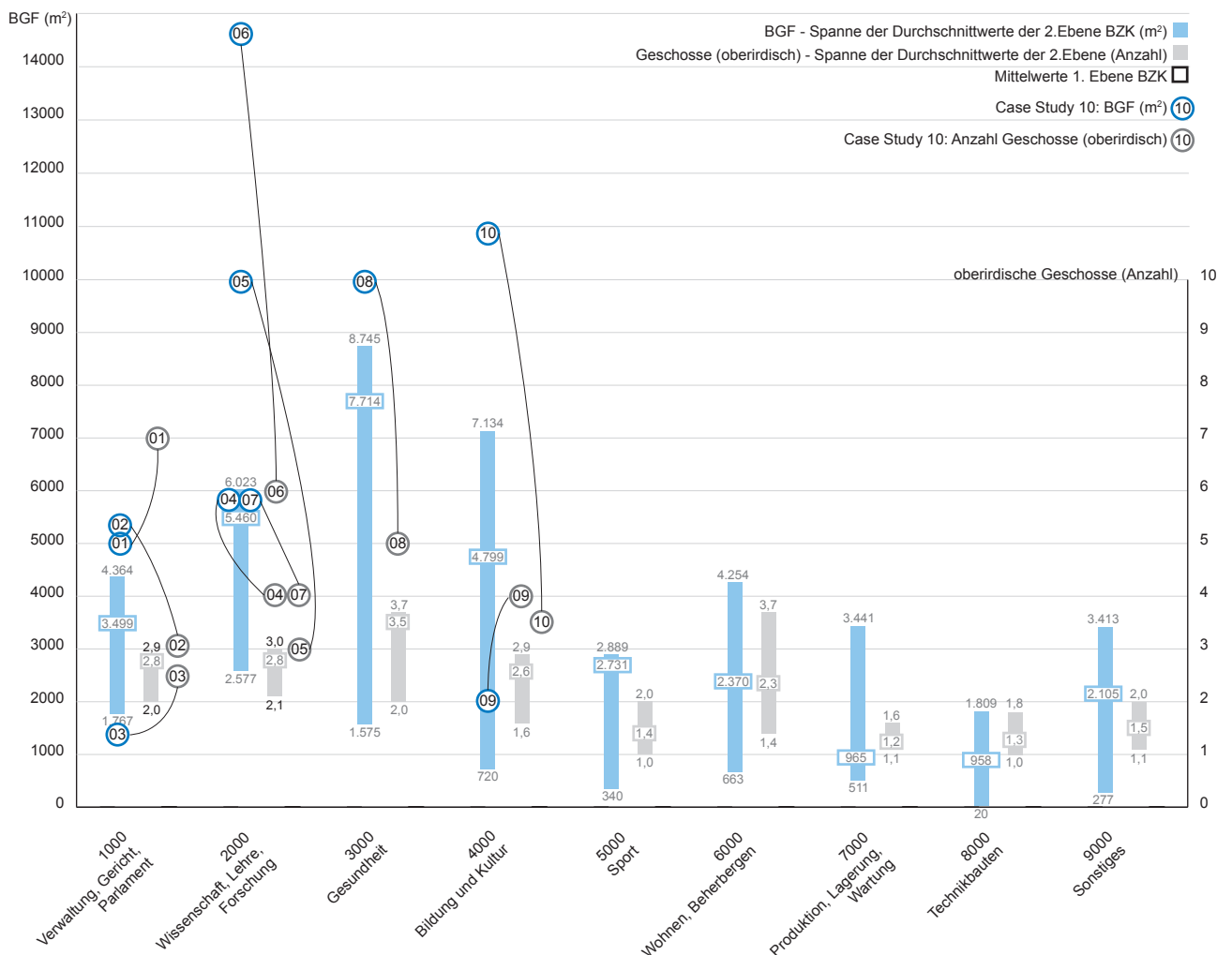
Nr.	BZK	Nutzung	Nutz- geschosse	BGF (m ²)	BRI (m ³)	A/V (m ⁻¹)	Fensterfl.- Anteil (%)	KG4/BWK (%)	Zonen (Anzahl)
01	1100	Parlament- gebäude	7	5.009	16.350	0,24	39%	34%	10
02	1200	Gericht	3	5.392	19.944	0,36	35%	30%	6
03	1340	Polizei- inspektion	2,5	1.622	5.885	0,33	23%	30%	6
04	2240	Instituts- gebäude	4	5.715	23.318	0,26	24%	47%	8
05	2270	Forschungs- institut	3	9.978	45.185	0,30	43%	35%	9
06	2320	Forschungs- zentrum	6	15.525	74.947	0,18	62%	50%	4
07	2500	Labor- gebäude	4	5.822	24.440	0,27	29%	52%	9
08	3112	Krankenhaus	5	9.919	41.933	0,29	54%	51%	9
09	4500	Bibliothek	4	1.982	8.429	0,51	22%	24%	7
10	4620	Museum	3,5	10.900	79.399	0,26	12%	37%	14

08.3.2 Einordnung der Case Studies in den Liegenschaftsbestand

Abbildung 08-06 zeigt die Einordnung der untersuchten Gebäude in die aus Kapitel 07 aufgezeigten Durchschnittswerte der jeweiligen Gebäudekategorien. Für die Kategorie 1000 stehen drei Case Studies (01 bis 03). Gebäude 03 steht für die vergleichsweise kleineren Gebäude und weist sowohl in der BGF als auch in der Geschossigkeit die unteren, Gebäude 01 hingegen die oberen Durchschnittswerte auf. Bau 02 stellt ein oberes Extrem dar: hohe BGF kombiniert mit einer hohen Geschossigkeit. Diese Merkmale bieten ein geringes Solarpotential (Dachfläche in Vergleich zur NGF) und treten eher im verdichteten Bauen im Zentrum großer Städte auf. Kategorie 2000 beinhaltet vier Case Studies.

Gebäude 04 liegt am oberen Ende der beiden Parameter. Bei einem positiven Ergebnis in Bezug auf den Niedrigstenergiestandard liegt mit Gebäude 07 eine Case Studie mit ähnlicher Geometrie, aber höheren technischen Ausstattungsgrad vor. Gebäude 05 hat die gleiche Geschossigkeit und einen vergleichbaren Installationsgrad wie 04, ist jedoch erheblich größer (BGF). Gebäude 06 stellt in beiden Parametern sowie in Bezug zur Installation ein Extrem dar. In der Kategorie 3000 liegt eine Case Studie mit ähnlichen Geometrien wie Gebäude 05 vor, ist jedoch der Kategorie entsprechend höher installiert. Gebäude 10 aus der Kategorie 4000 passt ebenso in die geometrische Reihe mit Gebäude 05 und 08. Gebäude 09 ist nochmals ein Gebäude mit geringer Grundfläche und hoher Geschossigkeit.

Abbildung 08-06: Einordnung der ausgewählten Case-Studies in die Mittelwerte des Liegenschaftsbestandes



Untersuchungsmethode I

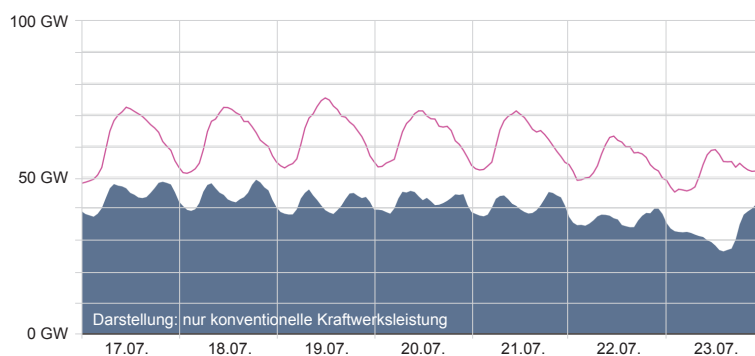
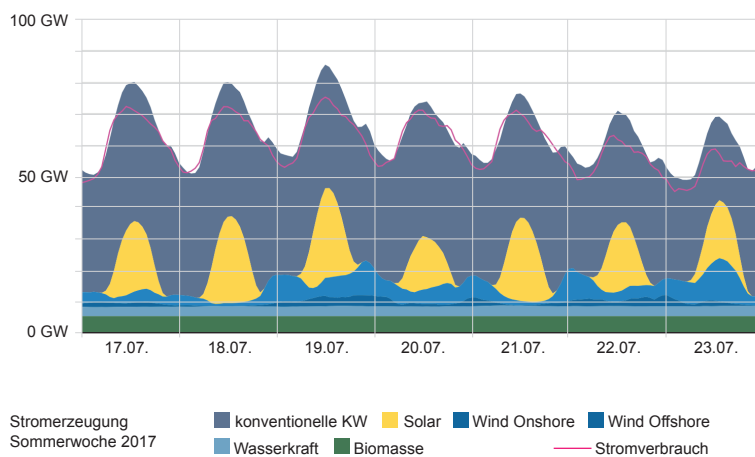
09.1	Kontext zukünftige Energieversorgungssysteme	74
09.2	nZEB-Definitionskriterien	76
09.2.1	Physische Systemgrenze	76
09.2.2	Bilanzraum der erneuerbaren Energieerzeugung	76
09.2.3	Systemgrenze der Bilanz	77
09.2.4	Systemgrenze der Konditionierung	77
09.2.5	Maßstabssystem	77
09.2.6	Wertungseinheiten	77
09.2.7	Symmetrische und asymmetrische Primärenergiefaktoren	78
09.2.8	Bilanzierungszeitraum	78
09.3	nZEB-Bilanzmethoden	78
09.3.1	Szenario A: Bilanzierung nach EnEV und DIN V 18599	78
09.3.2	Szenario B: Effizienzhaus Plus Rechner	79
09.3.3	Szenario C: Input-Output-Bilanz	80
09.3.4	Wahl der Bilanzmethode	81
09.4	nZEB-Anforderungsniveau	82
09.5	Bilanzierungswerkzeug	83
09.6	Analysemethode im Überblick	84
09.7	Baulicher Standard	85
09.7.1	Standard der Referenzgebäude nach EnEV 2013	85
09.7.2	Standard der Case Studies (IST)	85
09.7.3	Baustandard 2021 - nZEB	85
09.8	Vorgehensweise	89

Fazit Kapitel 09

Kapitel 09 legt die Eigenschaften des in dieser Arbeit verwendeten Standards „Niedrigenergiegebäude“ (nZEB) fest. Ein qualitativ belastbares Ergebnis erfordert eine einheitliche Neubilanzierung aller Case Studies unter einheitlichen Rahmenbedingungen. Die Berechnung erfolgt vereinfacht nach DIN V 18599. Hauptkriterium ist der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf. Der gewählte Neubaustandard für das Jahr 2021 ist unabhängig vom Standort der Gebäude, berücksichtigt eine zukunftsfähige Netzintegration und beinhaltet ausschließlich markterprobte Maßnahmen. Die Ergebnisse werden in einer Input-Output-Bilanz dargestellt, um Energiebedarf und EE-Erzeugung transparent darstellen zu können.

Kapitel 09 legt die Eigenschaften des in dieser Arbeit verwendeten Standards „Niedrigenergiegebäude“ (nZEB) fest. Grundlage dafür sind die Definitionen der EPBD (Kapitel 02) sowie die verschiedenen Null- und Plusenergie-Standards (Kapitel 04). Der Arbeit liegt das Ziel des Klimaschutzes zu Grunde. Wirtschaftspolitische Zielsetzungen können mit dem Ziel des Klimaschutzes einhergehen. Effizienzsteigerungen im Niedrigenergiestandard reduzieren automatisch den Endenergiebedarf. Die Verwendung von erneuerbaren Energien, die im unmittelbaren Zusammenhang mit dem Gebäude oder in der Nähe erzeugt werden, reduziert die Verwendung von fossilen Energieträgern. Beides unterstützt das Ziel zur Reduktion der Abhängigkeit von Energieimporten. Explizit analysiert und thematisiert (Kosten-Nutzen-Analyse) werden diese wirtschaftspolitischen Zielsetzungen nicht. Um nicht nur irgendetwas richtig zu tun, sondern auch das Richtige zu tun, müssen zukünftige Gebäude immer im Kontext von Energiesystemen betrachtet werden.

Abbildung 09-01: Stromerzeugung und -bedarf während einer Sommerwoche (17.-24.07.2017) in Deutschland – die EE sorgen aktuell für eine gleichmäßigere Auslastung der konventionellen Kraftwerke [www.agora.de]



09.1 Kontext zukünftige Energieversorgungssysteme

Die EPBD 2010 fordert eindeutig zu einem ganz wesentlichen Teil die Verwendung von erneuerbaren Energien zur Bedarfsdeckung. Die üblichen erneuerbaren Energieformen für Gebäude sind Strahlungsenergie, Erdwärme, Biomasse und Windenergie. Diese werden in der Regel mittels Photovoltaik, Solarthermie, Wärmepumpen, Kraft-Wärme-Kopplung und Windkraftanlagen nutzbar gemacht. Lastspitzen im allgemeinen Strombedarf und die EE-Produktion überdecken sich aktuell noch, da die Produktionsspitzen des PV-Stroms derzeit die Lastspitzen um die Mittagzeit kappen (Abbildung 09-01). Für den weiteren Ausbau der EE werden aber Energiespeicher und Netzanbindung notwendige Regulative, auch für die kommenden Neubaugenerationen, sein. Das Gebäude wird vom reinen Verbraucher zum Energieverbraucher und -erzeuger. [Agora 2013] Die Wahl der technischen Anlagen für den Standard nZEB steht daher in Bezug zu den folgenden Punkten.

Grundlagen eines regenerativen Energieversorgungssystems

Betrachtet man die aktuelle Entwicklung der regenerativen Energien, so können diese in direkte regenerative Energien (unmittelbare Umwandlung in Strom), z.B. Windkraft, Photovoltaik, Wasserkraft und substituierende biogene Energien (Brennstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen, Biogas, Energiepflanzen) unterschieden werden. Die Arbeit [Lüking et al. 2012, 3-7] verwendet für eine Prognose der zukünftigen Energieversorgung einen flächenspezifischen Nutzungsgrad der jeweiligen Energieform. Es zeigt sich, dass eine zukünftige Energieversorgung in Deutschland, die auf regenerativen Energien aufgebaut sein soll, nur auf direkten regenerativen Energien basieren kann. Biogene Brennstoffe haben allerdings den Vorteil, dass sie über einen langen Zeitraum speicherbar sind und den Nachteil der direkten Energieformen durch Spitzenlastbetrieb und saisonalen Ausgleich kompensieren können. Direkte regenerative Energien sind daher die erste Wahl für die Deckung des Energiebedarfs eines nZEB durch Energie aus erneuerbaren Quellen.

100% erneuerbar erzeugte Energie im Netz bringt Klimaneutralität?

Wäre unsere gesamte Energieversorgung zu 100 Prozent auf erneuerbare Energien umgestellt und diese Energie in großem Umfang vorhanden, so wäre unser Gebäudebestand bereits heute als klimaneutral zu bezeichnen. Dieses Szenario entspricht ungefähr der heutigen Situation Norwegens. Fast die gesamte Stromproduktion Norwegens basiert auf Wasserkraft und ist in großen Mengen verfügbar. Diese Situation machte bislang alle Effizienzbemühungen im Gebäudebestand zunichte. Direktheizungen mit Strom (Prinzip Tauchsieder) sind in Norwegen weit verbreitet und werden erst langsam durch effizientere Systeme (z.B. elektrisch betriebene Wärmepumpen) abgelöst. Die aufkommende Elektromobilität und die Möglichkeit zum Export von Ökostrom lassen auch in Norwegen Effizienzmaßnahmen im Gebäudesektor aufkommen. Das ist notwendig, denn durch die Vernetzung der europäischen Stromnetze (Bsp. NordLink) erweitert sich die Bilanzgrenze der Energienetze von einzelnen Staaten auf Europa. Das hat zur Folge, dass auch norwegische Strom-Häuser nicht mehr als klimaneutral angesehen werden können. [Voss et al. 2011, 23-27]

Energienetze für Gebäude

Übertragungsnetze für Strom sind durch die Hochspannungs-Gleichstrom-Technik über weite Distanzen realisierbar. Gasnetze sind in Deutschland ebenso gut ausgebaut und bieten eine verlustarme Infrastruktur auch für Biogas. Wärme- und Kältenetze sind wegen der teuren Investitionen und der Verluste bei längeren Transportstrecken nur regional geeignet. Sie werden insbesondere dort eingesetzt, wo Wärme als Abfallprodukt der Kraft-Wärme-Kopplung oder der notwendigen Verbrennung von Müll entsteht.

Die Energiewende fordert neue Gebäudetechnik

Um die Klimaschutzziele zur Reduzierung des CO₂-Ausstoßes zu erreichen, muss neben aller Effizienzbemühungen die thermische Konditionierung der Gebäude zum Großteil auf erneuerbare Energien umgestellt werden. Dabei reicht eine isolierte Betrachtung von Einzelgebäuden, wie es die Gesetzgebung durch das EnEG im Moment vorsieht, nicht mehr aus. Vielmehr muss die Energieversorgung als Ganzes von der Erzeugung bis zum Verbrauch betrachtet werden,

um Einsparpotentiale richtig zu nutzen. Die Entwicklung der regenerativen Energien in Deutschland bringt Strom als zukünftigen Energieträger in den Fokus der Prognosen. Chemisch gebundene Energieformen (insbesondere Gas) werden als Regelungsreserve für Kraftwerke mit Kraft-Wärme-Kopplung und als Spitzenlastversorger für Hybridversorgung von Gebäuden gesehen. Unter Annahme des Standes der Technik (Betrachtungsjahr 2011) werden die höchsten Reduktionspotentiale für den gesamtheitlich betrachteten CO₂-Ausstoß der Wärmeversorgung von Gebäuden mittels elektrisch betriebenen Wärmepumpen zugesprochen. Der thermische Energiebedarf von Gebäuden kann dabei die zeitlich stark fluktuierende Einspeisung der regenerativen Energien stabilisieren. Gleichzeitig kann eine Umwandlung von regenerativ erzeugtem Strom in Gas dabei helfen, den Betrieb der Gaskraftwerke schrittweise in eine regenerative Stromerzeugung zu überführen. [Lüking et al. 2011, 65-71] Die Studie fordert drei Handlungsfelder:

- Ausnutzung des Effizienzpotentials von Gebäuden durch Wärmedämmung, effiziente Geräte usw. zur Reduktion des Energiebedarfs (Effizienzpfad).
- Umstellung der Wärmeversorgung von Gebäuden weg von chemisch gebundener Energie (fossile Brennstoffe) hin zu elektrisch betriebenen Wärmepumpen. Diese sind bereits ab einer Jahresarbeitszahl von größer drei effizienter als Gasbrennwertthermen (Konsistenzpfad).
- Umstellung der Energieversorgung auf strombasiert geführte Gas- und Dampf-Kraftwerke (GuD). Diese dienen als Regelungsreserve für die stark fluktuierende Einspeisung der regenerativen Energiequellen Solar- und Windstrom.

Die vorliegende Arbeit fokussiert sich auf Einzelgebäude. Diese werden bezüglich der Effizienz und Konsistenz optimiert, um sich in ein Szenario wie zuvor skizziert einfügen zu können. In der Konsequenz beeinflussen die Erkenntnisse aus diesem Kapitel die Wahl der technischen Versorgungssysteme für das Szenario „Niedrigenergiestandard 2021“ der Analyse. Die Versorgungssysteme sollen in Einklang mit dem zukünftigen Energieversorgungssystem stehen, und es nicht konterkarieren. Die Aspekte der Energiespeichersysteme, des Lastmanagements im Netz und des Energieverbunds im Quartier sind nicht Teil der Arbeit.

09.2 nZEB-Definitionskriterien

Grüne Netze mit 100 % regenerativen Energien sind mittelfristig bis 2050 nicht zu erwarten. Daher werden die Null- oder Niedrigstenergiehäuser mittelfristig weithin Energie zum Betrieb benötigen, sie werden weiterhin nur mit Netzanschluss und einer energetischen Bilanzierung über einen Bilanzzeitraum nachzuweisen sein. [Voss et al. 2011, 21-26] Ähnlich dem betriebswirtschaftlichen Ansatz der Bilanz muss ein Nullenergie-Gebäude den Primärenergieverbrauch (und damit die Klimagasemissionen) durch Energieeinspeisungen in das Netz innerhalb eines Zeitraumes wieder ausgleichen. Niedrigstenergiegebäude müssen die Bilanz entsprechend nahezu ausgleichen. Der Definitionsrahmen, der im Folgenden aufgezeigt wird, orientiert sich an der Gliederung nach Sartori, Napolitano und Voss aus dem Jahr 2012 [Sartori et al. 2012].

09.2.1 Physische Systemgrenze

Gängige physische Systemgrenzen umfassen nur das Gebäude, das Grundstück (Gebäude inklusive Nebengebäude und Freianlagen) oder ganze Liegenschaften (Gebäudegruppierungen). Die Energieübergänge über die Systemgrenze werden in der Bilanz erfasst. Will man eine Aussage über die Performance eines Einzelgebäudes erhalten, so ist die Systemgrenze eng um dieses Gebäude zu legen. An der Schnittstelle zum Netz muss die Durchgängigkeit der Netze definiert sein. Stromnetze können Energie liefern und abnehmen, sie

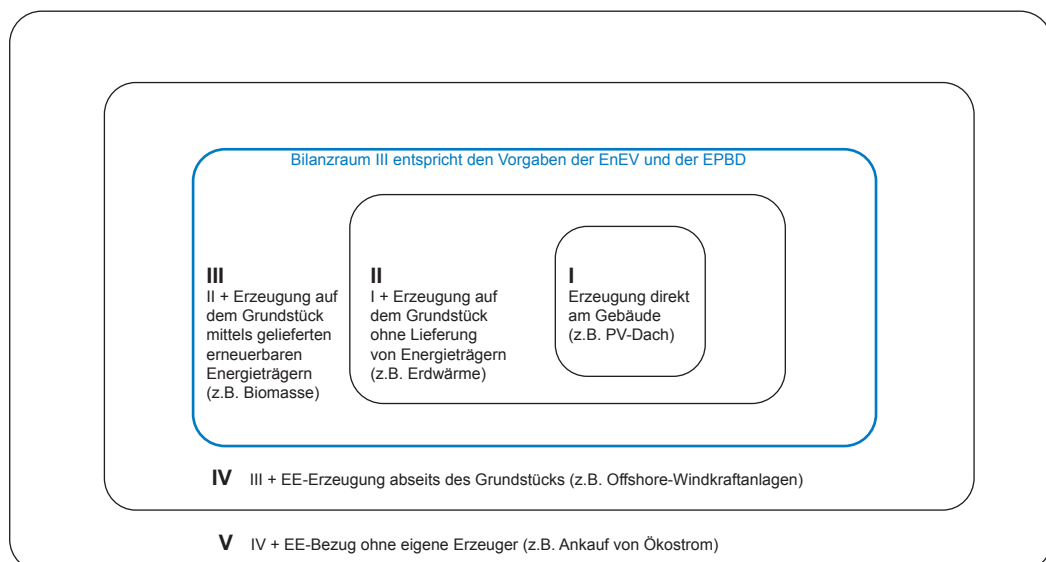
werden als Two Way Grid bezeichnet. Two Way Grids sind die Voraussetzung für Net-ZEB, da ohne die Einspeisung in das Netz keine Bilanz möglich ist. Weitere Two Way Grids könnten Wärmenetze im Quartier darstellen. Alle weiteren Netzanschlüsse stellen - aktuell noch - Single Way Grids dar.

09.2.2 Bilanzraum der erneuerbaren Energieerzeugung

Für die Berücksichtigung von erneuerbaren Energien bieten sich der Bilanzraum II und III nach der Definition der Internationalen Energieagentur IEA an (Abbildung 09-02). Bilanzraum II berücksichtigt alle erneuerbaren Energien, die auf dem Grundstück gewonnen werden, Bilanzraum III zusätzlich alle auf das Grundstück transportierten und im Gebäude für Wärme und Strom verwendeten Energieformen (z.B. erneuerbare Brennstoffe). Bilanzraum III findet in der EnEV seine Entsprechung. [BMVBS 2012b, 42-48]

Die EnEV wählt beispielsweise als Systemgrenze der erneuerbaren Energien den „unmittelbaren Zusammenhang“ des Gebäudes, und meint damit alle Energieerzeuger, die über den Netzanschluss des eigentlichen Neubaus zusammenhängen, also nicht über das öffentliche Netz geführt werden. Der Gebäudeperformance darf nur die selbstgenutzte erneuerbar erzeugte Energie angerechnet werden [EnEV 2013, §5]. Die EPBD hingegen beschränkt die Anrechenbarkeit von auf dem Grundstück selbst erzeugten regenerativen Energien nicht auf die selbst genutzte Energie.

Abbildung 09-02:
Definition der Bilanzräume
zur Anrechnung erneuerbarer
Energien [Marszal et al. 2011]



09.2.3 Systemgrenze der Bilanz

Die EPBD gibt den EU-Mitgliedsstaaten die im Rahmen einer üblichen Nutzung zu bilanzierenden Energien für Heizung, Kühlung, Lüftung, Warmwasserbereitung und Beleuchtung im Anhang 1 vor. Diese Systemgrenze deckt sich mit der DIN EN 15603:2008 „Energieeffizienz von Gebäuden – Gesamtenergiebedarf und Festlegung der Energiekennwerte“ und den meisten nationalen Regularien. Anhang 1 der EPBD 2010 verlangt keine Einbeziehung von Nutzerenergien (Haushaltsstrom bei WG) in die Bilanz. Andere Betrachtungsmodelle von NZEB, z.B. der Effizienzhaus-Plus Rechner oder das Passivhaus Projektierungs-Paket, beziehen diese mit ein. Beide Modelle verwenden flächenbezogene Pauschalen für die Energiebedarfe der Nutzer. Gerade für spezielle Nichtwohngebäude fehlt hier die differenzierte Betrachtung über Pauschalisierungen hinaus. Lebenszyklusbasierte Nullenergiegebäude beziehen die Graue Energie für die Herstellung der Baustoffe, der Errichtung des Gebäudes, die Instandhaltung und den Abbruch und die Entsorgung mit ein (vgl. Kapitel 05.4). Trotz bestehender Normen (DIN EN ISO 14040 und 14044) ist eine verpflichtende Einführung der Lebenszyklusbetrachtung noch nicht absehbar.

09.2.4 Systemgrenze der Konditionierung

Um die Performance der Gebäude vergleichbar zu machen, muss man auf standardisierte Nutzerprofile zurückgreifen. Die DIN V 18599-10 definiert dazu einen Baukasten aus 43 vorgegebenen Nutzerprofilen. Zudem sind eigene Nutzerprofile anpassbar. Aus diesen Profilen stellt man die Zonierung des Gebäudes her. Aus ihr ergeben sich die Bilanz des Referenzgebäudes sowie die Bilanz des eigenen Projektes. Das Ergebnis berücksichtigt weder die tatsächliche Nutzung und Belegungsdichte, noch die tatsächliche Raumkonditionierung. Für eine holistische Betrachtung ist der Energieverbrauch pro Person regelmäßig aussagekräftiger als ein Kennwert pro Quadratmeter. Die Schwierigkeit in dieser gesamtheitlichen Betrachtung ist allerdings die Übertragbarkeit auf Vorgaben für eine energetische Performance von Gebäuden, da sich Nutzung, Belegungsdichte und Konditionierungen in der Nutzungsphase von Nichtwohngebäuden regelmäßig ändern.

09.2.5 Maßstabssystem

Für die Evaluierung von energetischen Merkmalen von Gebäuden ist ein einheitliches Wertungssystem zu bestimmen, um alle physikalischen Vorgänge einheitlich vergleichbar zu machen. Für Nichtwohngebäude ist in Deutschland die DIN V 18599 vorgegeben.

09.2.6 Wertungseinheiten

Da in Gebäuden nicht nur ein Energieträger zum Einsatz kommt, stellt sich die Frage nach dem richtigen Bewertungskriterium. Die Endenergie wäre ein anschauliches Kriterium. Sie kann theoretisch am Hausanschlusszähler abgelesen werden, beinhaltet dann aber die Nutzerenergie. Sie ignoriert zudem den Umstand, dass verschiedene Energieformen unterschiedliche Umweltauswirkungen haben. Eine Einheit Strom (Endenergie) hat im deutschen Strommix aus Kernkraft, Kohle- und Gaskraftwerken und den EE aktuell den 1,8-fachen Aufwand für Erzeugung und Transport. Zum Vergleich wird die gleiche Energiemenge mit dem Energieträger Gas oder Öl mit dem Faktor 1,1 belegt [EnEV 2013] [DIN V 18599]. Benötigt ein Gebäude zum Betrieb nicht nur eine Energieform, kann eine Vergleichbarkeit in Bezug auf die Umweltauswirkungen nur durch Umrechnungsfaktoren hergestellt werden [Marszal et al. 2011]. Die gängigsten Primärenergiefaktoren (f_p) werden in der DIN V 18599-1: 2011-12 inklusive der DIN V 18599-1: 2013-05 Berichtigung 1 aufgeführt. Für eine Bilanzierung nach Primärenergie wird in der Regel nur der Faktor für den nicht erneuerbaren Anteil verwendet. Verschiedene Bilanzierungssysteme verwenden miteinander verschiedene Primärenergiefaktoren. In der Passivhausbilanzierung werden z.B. die Primärenergiefaktoren (hier PER-Faktoren genannt) standortabhängig, tages- und jahreszeitabhängig und nutzungsabhängig ermittelt. Eine Vergleichbarkeit zwischen den verschiedenen Bilanzierungssystemen wird dadurch erschwert. Die Umrechnungsfaktoren werden auch als politisches Steuerungsinstrument verwendet, um z. B. favorisierte Technologien zu fördern. Das zeigt sich auch darin, dass beispielsweise die EnEV andere Primärenergiefaktoren vorgibt als die DIN V 18599. Dennoch bleibt die Vergleichbarkeit durch die Umrechnung auf den Primärenergiebedarf im Moment der plausibelste Ansatz, um die Auswirkungen von Gebäuden auf die Umwelt miteinander zu vergleichen.

09.2.7 Symmetrische und asymmetrische Primärenergiefaktoren

Deckt ein Gebäude seinen Energiebedarf mit einem Energieträger mit geringem Primärenergiefaktor – also einem Energieträger mit hohem Anteil an erneuerbarer Energie –, so darf es einen höheren Energiebedarf aufweisen als ein Gebäude, das energetisch mit einem Medium mit höherem Faktor versorgt wird. In Bezug auf die EBPD 2010 stellt sich die Frage: Ist die Bilanzierung nach Primärenergie für die Definition des nZEB geeignet? Wird beispielsweise netzeingespeister Strom aus Photovoltaik mit dem hohen Primärenergiefaktor für Strom multipliziert, kann damit ein Vielfaches an primärenergetisch günstigem Heizenergiebedarf rechnerisch ausgeglichen werden. Oder wäre es ehrlicher im Sinne der EBPD nach Endenergie zu bilanzieren, was das Ziel des nZEB schwerer erreichbar machen wird? [Voss et al. 2011, 17–18] Grundsätzlich gibt es die Möglichkeit der asymmetrischen Bewertung von Energie. Physikalisch richtig müsste jede bezogene Kilowattstunde Strom den Primärenergiefaktor des allgemeinen Strommixes ($f_p=1,8$) haben, jede eingespeiste Kilowattstunde PV-Strom vom Gebäudedach einen Faktor von ca. 1,0, da der PV-Strom bis zur Netzschnittstelle fast verlustfrei produziert werden kann. Das wäre eine asymmetrische Bewertung [Sartori et al. 2012, 5–6]. Die symmetrische Bewertung nach der Substitutionstheorie ist die aktuell praktizierte Vorgabe. Danach wird die eingespeiste Energie nach dem Faktor des Energieträgers bewertet, deren Erzeugung durch die Einspeisung vermieden oder substituiert wird. Eine Ausnahme stellt die Stromeinspeisung der KWK dar. Ihr wird zugutegehalten, dass die Einspeisung regelmäßig zu Zeiten erfolgt, in denen wenig erneuerbare Energien im Netz sind. Daher darf der eingespeiste KWK-Strom (nach dem Abzug des Eigenbedarfs) mit dem Faktor des (fossilen) Verdrängungsstrommixes (aktuell $f_p=2,8$) bilanziert werden [EnEV 2013, Anlage 1 Nr. 2.1.1]. Auch das stellt eine politisch gewollte Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung dar.

09.2.8 Bilanzierungszeitraum

Es ist übliche Praxis, Gebäude über einen Zeitraum von einem Kalenderjahr zu bilanzieren. Somit ist garantiert, dass man alle Witterungszustände umfassend bewertet. Zur besseren Erfassung des Eigenbedarfs von erneuerbar erzeugten Energien verwendet die EnEV ein

Monatsbilanzverfahren, das als Jahresbilanz aufaddiert wird. Dieses Verfahren bietet über das Jahr gesehen eine bessere Steuerungsmöglichkeit für netzbezogene und -eingespeiste Energien. Es ist sogar möglich, für LC-ZEB den Einsatz der Grauen Energie mittels einer definierten Lebensdauer auf Jahresbilanzen herunterzurechnen. Somit erhält man eine fiktive Menge an Energie, die ein Gebäude durch Energieproduktion zusätzlich zum normalen Gebäudebetrieb ausgleichen muss, um die Energie für Herstellung und Entsorgung zu kompensieren [Hernandez et al. 2010]. Für diese Betrachtungsweise gelten die gleichen Einschränkungen wie für die lebenszyklusbasierte Systemgrenze.

09.3 nZEB–Bilanzmethoden

Innerhalb der aktuell gültigen Normung gibt es keine Festlegungen zu Niedrigstenergie- oder Nullenergiegebäuden. Wegen der vielfältigen Verquickung von Input und Output (Primärenergiefaktoren) und der Nichtanrechenbarkeit von solaren Überschüssen ist die Bilanzierung nach DIN V 18599 nicht vollumfänglich für die Bilanzierung dieser geeignet, obwohl sie eine gute Grundlage für Bilanzierung darstellt (Kapitel 04). Ohne Ausgleich von winterlichen Defiziten durch sommerliche Überschüsse ist es nach dem aktuellen Stand der Technik nicht möglich, in unseren Klimaverhältnissen ein Nullenergiegebäude wirtschaftlich zu realisieren (Kapitel 05.3). Im Folgenden werden drei Ansätze zur Bilanzierung von Niedrigstenergiegebäuden vorgestellt und diskutiert.

09.3.1 Szenario A: Bilanzierung nach EnEV und DIN V 18599

EnEV und DIN V 18599 stellen ein sehr ausführliches Regelwerk für die energetische Bilanzierung von Gebäuden dar (Kapitel 04.2 & 3). Die Studie BMVBS-Online-Publikation Nr. 16/2012 bestätigt diese Bilanzierungsmethode im Sinne der EPBD als prinzipiell geeignet. Die Bilanzierung der Primärenergie soll beibehalten werden. Anstelle der Transmissionswärmeverluste (bei WG) bzw. der mittleren Wärmedurchgangswiderstände (bei nWG) wird der Endenergiebedarf als Effizienzindikator vorgeschlagen, da er das gesamte Gebäude inklusive Technik einbezieht und technologieoffen ist. Eine Definition des Niedrigstenergiestandards könnte

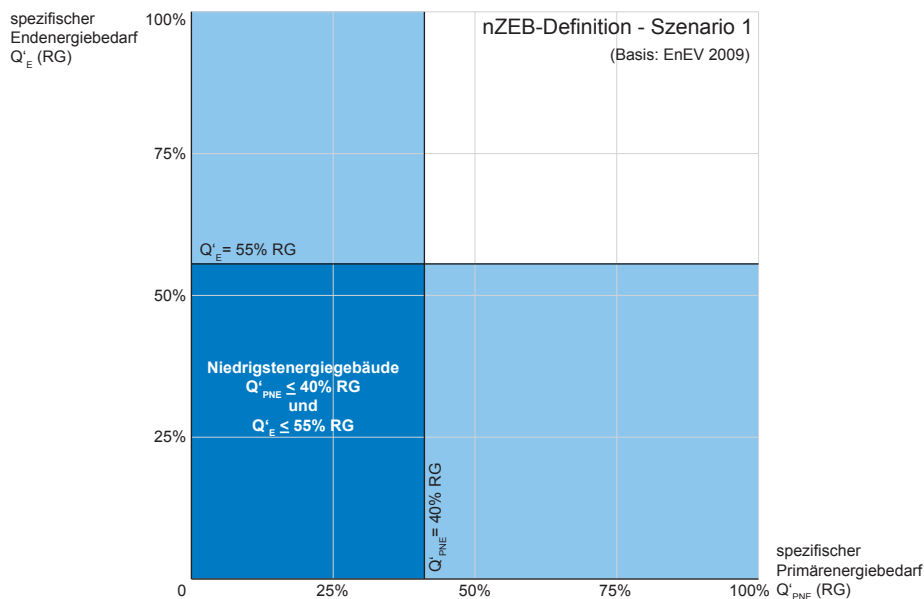


Abbildung 09-03:
Szenario 1 - Definition eines
nZEB über den Primär- (Q_p) und
Endenergiebedarf (Q_e)

demnach über Primärenergiebedarf und Endenergiebedarf erfolgen. [BMVBS 2012b] Eine Begrenzung des spezifischen Endenergiebedarfs käme der Forderung nach hoher Energieeffizienz nach. Die Begrenzung des spezifischen Primärenergiebedarfs würde den Einsatz von Energieträgern mit einem geringen Primärenergiefaktor erfordern. Damit wären indirekt Energieträger mit einem hohen Anteil an erneuerbaren Energien gefordert. Eine Visualisierung dieses Szenarios ist in Abbildung 09-03 ersichtlich: Hier wurde für den spezifischen Primärenergiebedarf das Anforderungsniveau 40 %, für den spezifischen Endenergiebedarf 55 % des jeweiligen Bedarfs des Referenzgebäudes angesetzt. Erfüllt der Neubau beide Anforderungen, läge ein Niedrigstenergiegebäude vor.

Ein Vorteil dieser Herangehensweise ist, dass das bereits eingeführte Instrumentarium aus EnEV und DIN V 18599 bestehen bleiben kann. Damit bleiben auch alle Vorteile und Nachteile der Berechnungsmethode erhalten (Kapitel 04). Die EnEV ist in Ihrer aktuellen Form allerdings nicht dafür geeignet Netto-Nullenergiehäuser und Plusenergiehäuser zu bilanzieren, da Eigenenergie nur zur Bedarfsreduktion bilanziert wird, nicht aber für Einspeisung. Die EnEV ist ein Instrument zur Bilanzierung von Minusenergiehäusern (vgl. Abbildung 05-01, S. 40). Entgegen § 5 EnEV schlagen die Autoren der o.g. Studie daher vor, technische Systeme zur Erzeugung von Elektrizität und Wärme

als positiven Einfluss komplett anzurechnen. Damit ist auch der wesentliche Kritikpunkt an diesem Szenario A verbunden. Weder die Energieerzeugung noch die Einspeisung in die Netze werden durch diese Methode transparent. Die Gebäude werden immer noch als reine Verbraucher behandelt, was dem zukünftigen Ansatz von Plusenergiegebäuden entgegenläuft. Der Bereich der Nichtwohngebäude unterscheidet sich stark in den Nutzungsprofilen. Insbesondere die Gebäudetechnik lässt sich nicht so homogen darstellen wie im Wohngebäudebereich. Daher fehlen für die Betrachtung der Endenergie differenzierte Referenzgebäude mit angepasster Gebäudetechnik. Diesen Mangel könnte man über die Einführung einer Aufwandszahl kompensieren [BMVBS 2012b, 50-52]. Letztlich macht diese Vorgehensweise die gesamte Bilanz noch undurchsichtiger und für Laien noch weniger verständlich. Und genau das ist bereits ein großes Problem der bestehenden Bilanzierungssystematik. Die unter Kapitel 04 aufgezeigten Probleme im Umgang mit dem aktuellen Bilanzierungssystem (Komplexität, Softwareunterschieden) blieben in diesem Szenario auch ungelöst.

09.3.2 Szenario B: Effizienzhaus Plus Rechner

Um das in Szenario A genannte Defizit der EnEV der begrenzten Anrechenbarkeit von selbst erzeugten Energien zu kompensieren, hat man für die Berechnung der Modellvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard den Effizienzhaus Plus Rechner entworfen. Es handelt

sich dabei um ein Online-Programm, dass sich als Ergänzung zum EnEV-Nachweis sieht. Ausgangsbasis sind die Ergebnisse der Berechnung nach EnEV. Der Effizienzhaus Plus Rechner stellt dem Bedarf einen Ertrag von Energieerzeugungssystemen gegenüber. Sind sowohl der Bedarf für End- als auch Primärenergie positiv, liegt ein Effizienzhaus Plus vor (Kapitel 05 Et Abbildung 05-04). Das Werkzeug wurde vorrangig für Wohngebäude entwickelt. Pauschale Zuschläge für den Haushaltsstrom liegen nur für Wohnnutzung vor. Die Methode wäre bei den vorliegenden EnEV-Nachweisen der Case Studies schnell anwendbar, doch auch hier gilt, dass die Qualität der EnEV-Nachweise eine solch heterogene Grundlage bieten, dass eine verlässliche Aussage durch diese Methode nicht zu erreichen ist. Wohngebäude sind als Ein-Zonen-Modelle einfacher einzugeben und könnten vergleichbarere Ergebnisse liefern. Für die Nichtwohngebäude gilt das nicht. Ein Großteil der Einschränkung, wie unter Szenario A skizziert, gilt auch für Szenario B.

09.3.3 Szenario C: Input-Output-Bilanz

In Deutschland ist die DIN V 18599 die einzige umfängliche Bilanzierungsmethode - abseits der dynamischen Simulation -, die den Anforderungen der EPBD 2010 an die Berechnung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden allgemeingültig nachkommt. Um die Systematik auch für Niedrigstenergiegebäude

und Netto-Nullenergiegebäude anwenden zu können, modifiziert man die Ergebnisbetrachtung weg von dem reinen Primärenergiebedarf hin zu einer Bilanz zwischen dem Bedarf (Input) und der Erzeugung (Output) von Energie. Diese Betrachtungsform bringt eine leicht verständliche und transparente Beschreibung der Performance eines Gebäudes. Das Vorgehen in der Berechnung verdeutlicht die Idee [Voss et al. 2011, 28-32]: Zunächst wird analog der EnEV ein Bedarfswert für ein Referenzgebäude ermittelt. Dieser Wert stellt den Ausgangspunkt der Bilanz dar. Der errechnete Bedarf des projektierten Gebäudes wird ermittelt und auf der X-Achse angetragen. Der Abstand der beiden Punkte verdeutlicht die Effizienz des Gebäudes. Je weiter das tatsächliche Gebäude Richtung Null liegt, desto energieeffizienter ist es. Setzt man keine absoluten Werte an, sondern stellt das Gebäude in prozentualen Bezug zum Referenzgebäude nach EnEV, so lässt sich auf den ersten Blick eine Effizienzklasse analog den Klassifizierungen der KfW Effizienzhäuser ablesen. Wählt man als Kriterium den Endenergiebedarf, so erkennt man hier die reine Effizienz von Gebäude und Gebäudetechnik. Wählt man den Primärenergiebedarf, so ist die o. g. Effizienz um die Verwendung von erneuerbaren Energien zur Deckung dieses Primärenergiebedarfs ergänzt, da die Faktoren für den nicht erneuerbaren Anteil an der Primärenergie mit angesetzt werden. Die verbleibende, notwendige Primärenergiegutschrift, die notwendig ist,

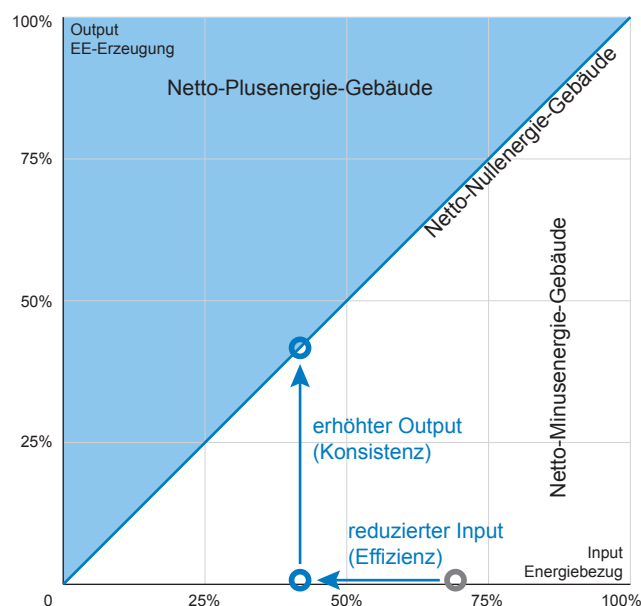


Abbildung 09-04:
Prinzip eines Netto-Nullenergiegebäudes nach der Input-Output-Bilanz [Voss et al. 2011]

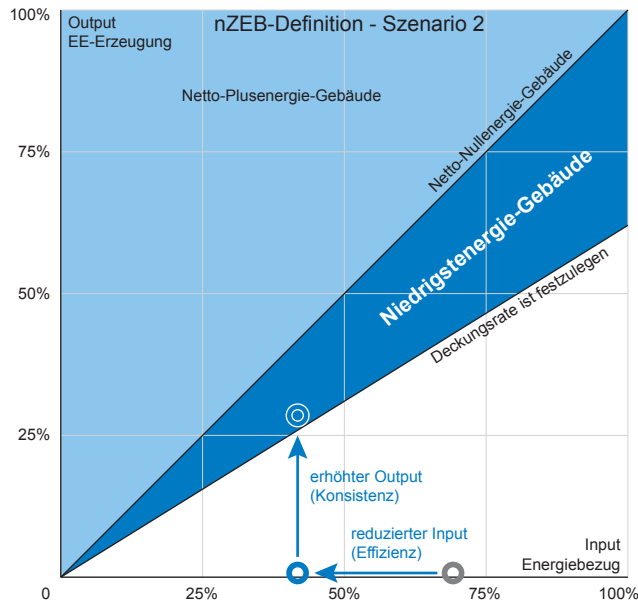


Abbildung 09-05:
Szenario 2 - Definition eines nZEB über eine Input-Output-Bilanz [abgeleitet von Abbildung 09-04]

um das Gebäude zum Nullenergiegebäude zu machen, kann nun mittels der Winkelhalbierenden auf der Y-Achse abgelesen werden (Abbildung 09-04). Ist die errechnete Gutschrift in der Jahresbilanz größer als die notwendige, kann von einem Nullenergiegebäude oder Plusenergiegebäude ausgegangen werden [Sartori et al. 2012, 6-7].

Für die Abbildung eines Niedrigstenergiegebäudes (nZEB) muss in der Input-Output-Bilanz die Winkelhalbierende ($y=x$) durch eine andere, flachere Funktion ersetzt werden. Im Fall einer Festlegung, dass 75 Prozent des Energiebedarfs durch erneuerbare Energien gedeckt werden sollen, würde die Funktion der flacheren Kurve $y=0,75x$ lauten (Abbildung 09-05).

09.3.4 Wahl der Bilanzmethode

Tabelle 09-01 zeigt die Bewertung der drei Szenarien in der Übersicht. Die Potentiale hinsichtlich der verschiedenen Nichtwohntypologien des Freistaats Bayern werden anhand der Input-Output-Bilanz untersucht. Die Szenarien A und B ergeben nicht die vergleichbare Transparenz für die Diskussion und Interpretation der Ergebnisse.

Tabelle 09-01: Wertungsübersicht zur Wahl der Bilanzierungsmethode Teil 1

Kriterien nZEB	Szenario A Primär- & Endenergie	Szenario B Effizienzhaus Plus	Szenario C Input-Output-Bilanz
Bilanzgrenze	EnEV	EnEV & Pauschalen	EnEV
Mindest-Effizienz	über Endenergie	über Endenergie	über Endenergie
Erneuerbare Energien	Q_p & EnEV §5	Q_p & Einspeisegutschrift	volle Anrechnung
Bilanzmethode	DIN V 18599	DIN V 18599	DIN V 18599 (vereinfacht)
Bilanzwerkzeug	EnEV & Einspeisung	EnEV & EffPlus-Rechner	EnerCalc
Eignung für Analyse	Aufwand sehr hoch	Vergleichbarkeit der EnEV-Nachweise fraglich	Aufwand zur Nachbilanzierung vertretbar
Anwendbar für nWG	Fehlende Referenzgebäude	Pauschalen nur für WG	Ja

09.4 nZEB–Anforderungsniveau

Effizienzniveau „nearly Zero“

Ein nahezu bei null liegender Energieverbrauch deutet auf ein hocheffizientes Gebäude hin. Wie weit ein Niedrigstenergiegebäude vom Nullenergiegebäude entfernt ist, bleibt unklar. Die Energieeffizienz muss für eine Untersuchung in einer geeigneten Art und Weise vorgegeben werden. Die Steigerung der Energieeffizienz von neu gebauten WG erbrachte statistisch pro Jahr eine durchschnittliche Reduzierung des Primärenergiebedarfs um $8 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ und hat sich in den letzten Jahren auf $4 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ abgeflacht. Der Durchschnitt von $6 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ der letzten 30 Jahre wird sich nicht weiterführen lassen, da es immer schwieriger wird, den verbleibenden Energiebedarf weiter zu reduzieren. Induziert man den für Neubauten durchschnittlichen energetischen Standard für das Jahr 2020, so kommt eine Studie zu dem Ergebnis, den aktuell geltenden KfW Effizienzhaus 40 Standard bezogen auf das Anforderungsniveau EnEV 2009 (entspricht EnEV 2013) als Effizienzstandard für alle Neubauten ab dem Jahr 2021 zu definieren. [BMVBS 2012b, 43–53] Dass diese reine Extrapolation der jährlichen technischen Innovation richtig liegen könnte, zeigt der Referentenentwurf des GEG. Er hat für Neubauten der öffentlichen Hand ab dem Jahr 2019 einen Standard ähnlich dem KfW Effizienzhaus 55 vorgeschlagen. [GEG 2017] Um einen Mindeststandard an Energieeffizienz zu erlangen,

sollte ein unterer Schwellenwert für Energieeffizienz vorliegen, der auch nicht durch weitere EE-Erzeugung kompensiert werden kann (Abbildung 09-06).

Bedarfsdeckung mit erneuerbaren Energien

Zu welchem Prozentsatz die künftigen Niedrigstenergiegebäude ihren verbleibenden Energiebedarf durch Energien aus erneuerbaren Quellen decken könnten, soll in der folgenden Analyse ermittelt werden. Die Frage, welche erneuerbaren Energien in welchem Bilanzraum zulässig sind, kann anhand der Klassifizierung von [Pless et al. 2010] vorgenommen werden. Zulässig sind direkt am Gebäude oder auf zugehörigen Nebenanlagen erzeugte Energien (Option 1, z.B. Photovoltaik, Solarthermie, Windkraft), erneuerbare Energien auf dem Grundstück (Option 2, z.B. Erdwärme) sowie gelieferte erneuerbare Energieträger, die auf dem Grundstück verarbeitet werden (Option 3, z.B. Holzpellets). Klar ist, dass die Formulierung der EPBD 2010, „Deckung zu einem ganz wesentlichen Teil“, nicht unter 50% liegen kann (Deckungsrate in Abbildung 09-06). Durch die eindeutige Aussage über den Einsatz von erneuerbaren Energien könnte das EEWärmeG entfallen, wie es im GEG vorgesehen ist. Da es Gebäudestandorte gibt, an welchen keine Möglichkeit zur Erzeugung von EE gegeben ist, ist es sinnvoll, einen oberen Schwellenwert (oberer Effizienzstandard in Abbildung 09-06) zu definieren, ab dem keine EE-Erzeugung am Gebäude (Output) mehr erforderlich ist.

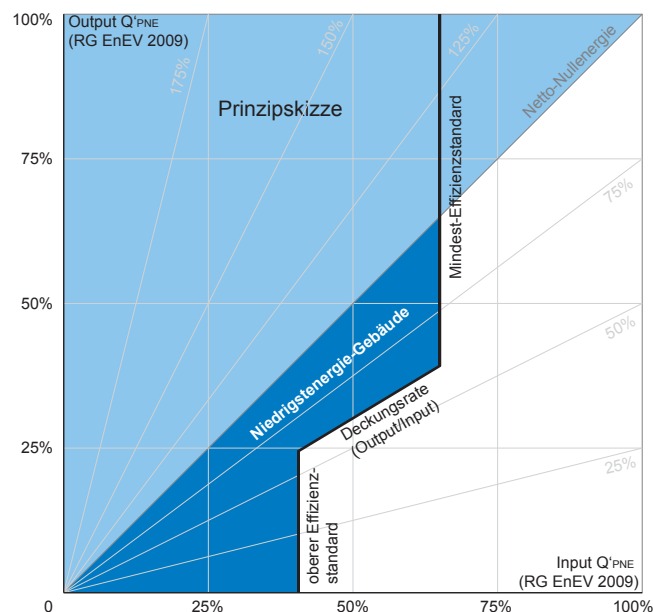


Abbildung 09-06: Prinzipskizze für ein zu definierendes Anforderungsniveau eines nZEB 2021

09.5 Bilanzierungswerkzeug

Im Rahmen seiner Dissertation hat Markus Lichtmeß an der Bergischen Universität Wuppertal am Fachgebiet Bauphysik Vereinfachungsansätze auf Basis der Bilanzierungsmethode der DIN V 18599 entwickelt und validiert. EnerCalc soll die äußerst aufwändige Flächenermittlung von Zonen und den dazugehörigen thermischen Wärmeübertragungsflächen wesentlich vereinfachen, ohne auf die Vorzüge von Mehrzonenmodellen bei Nichtwohngebäuden verzichten zu müssen.

Funktionsweise

Jedes Nichtwohngebäude wird im Berechnungsprozess nach DIN V 18599 zunächst in Nutzungszonen unterteilt. Diese Unterteilung ist erforderlich, da diverse Nutzungen unter Einsatz verschiedener gebäudetechnischer Anlagen konditioniert werden und diese Technik auf Basis unterschiedlicher Nutzungsprofile betrieben wird. Jeder Nutzungszone wird im Anschluss die exakte Größe der verschiedenen Wärmeübertragungsflächen (Außen- und Innenbauteile) zugeordnet. [Lichtmeß 2010a] weist nach, dass der größte Zeitbedarf für die Erstellung einer Berechnung mit 56% auf diesen Vorgang entfällt. Bei einer durchschnittlichen Gesamtdauer von 80 Stunden ergeben sich für diesen Vorgang fast 45 Stunden (Abbildung 09-07). Dabei wird das Gebäude in seiner Gesamtheit bereits in einer frühen Planungsphase derartig kleinteilig betrachtet, dass Berechnungsergebnisse nur mehr schwer nachvollziehbar werden und eine beachtliche Fehlerquelle entsteht.

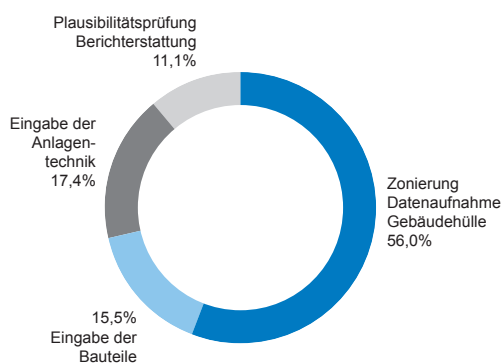


Abbildung 09-07: Zeitanteile für die Berechnung eines durchschnittlichen Mehrzonenmodells nach DIN V 18599 [Lichtmeß 2010a]

EnerCalc kombiniert die Vorteile des Einzonenmodells in der Hüllflächenermittlung mit dem Mehrzonenmodell in der Abbildung heterogener Nutzung und Gebäudetechnik. Das Gebäude wird wie bisher in Nutzungszonen nach DIN V 18599-10 unterteilt und jeder Zone die entsprechende Gebäudetechnik zugewiesen. Separat wird die Gebäudehülle (wärmeübertragende Außenbauteile) in der Gesamtheit ermittelt und eingegeben. Die Hüllfläche wird abhängig von den Geometrien über einen Verteilerschlüssel (Algorithmus) den Zonen zugewiesen (vereinfachtes Verfahren), um Zonenergebnisse zu erhalten. Die Ergebnisse werden zu einem Gebäudeergebnis aggregiert. Werden die Zonen noch den Haupthimmelsrichtungen zugeordnet, erhöht sich die Ergebnisgenauigkeit im Vergleich zur klassischen Bilanzierung (erweitertes Verfahren).

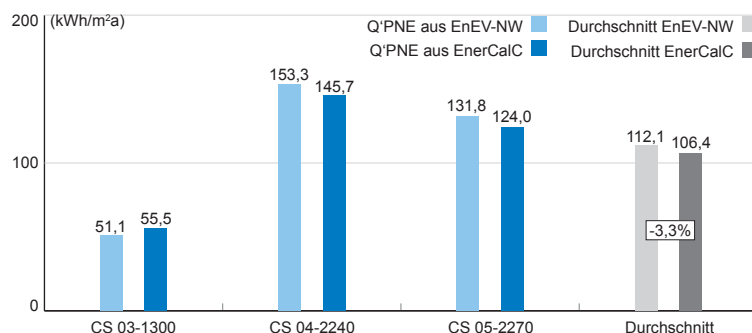
Validierung

Das Berechnungsprogramm EnerCalc ist mit kommerziellen Berechnungsprogrammen (Energiepass Helena von ZUB und B.54 von Hottgenroth) mit der detaillierten Eingabemethode anhand von elf Referenzgebäuden (Nichtwohngebäude mit Mischnutzung und Mehrzonenmodelle) validiert worden. Im o.g. vereinfachten Verfahren (automatische Hüllflächenzuweisung) wurde das Verfahren nach EnerCalc auf eine Fehlerabweichung von unter 6% validiert. Würde man eine genauere Hüllflächenzuweisung vornehmen (erweitertes Verfahren) reduziert sich die Abweichung auf ca. 1% [Lichtmeß 2010b]. EnerCalc ist 2011 mit Unterstützung des EnOB-Programms des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie an der Bergischen Universität Wuppertal entwickelt worden. Es wurde 2013 in einer optimierten Form in Bezug auf Auswertung und Integration der KWK herausgegeben. Es ist damit fünf Jahre in der wissenschaftlichen Landschaft in Benutzung. Die vorliegende Arbeit verwendet die Version EnerCalc 2013.

Eigener Verwendungsnachweis

Die Anwendbarkeit des Programmes wurde nochmals an drei Case Studies mit den Rahmenbedingungen der EnEV-Nachweise verglichen. Dazu wurden die Primärenergiefaktoren angepasst und die Gebäudetechnik möglichst detailgetreu den Zonen entsprechend nachgebildet. Der spezifische Primärenergiebedarf, der mit marktüblicher Software nach DIN V 18599 erstellt

Abbildung 09-08:
Gegenüberstellung Berechnung
 Q_p von drei Case Studies mit
kommerzieller Software und
EnerCalC 2013



wurde, wurde der eigenen Kalkulation mittels EnerCalC gegenübergestellt. Die drei Case Studies wurden aus unterschiedlichen Kategorien mit unterschiedlichen technischen Installationsgraden gewählt. Für die Auswahl ausschlaggebend war die Nachvollziehbarkeit und Vollständigkeit der vorliegenden Nachweisdokumente. Abbildung 09-08 zeigt eine mittlere Abweichung von -3,3 % zwischen den verschiedenen Rechenverfahren. Die Einzelergebnisse liegen zwischen -6,3% (2270) und +7,9% (1340). Die Berechnung mittels EnerCalC erfolgte im vereinfachten Verfahren. Damit liegt das durchschnittliche Ergebnis annähernd innerhalb der von [Lichtmeß 2010a] ermittelten Fehlerabweichung von maximal 6%. Für die Betrachtung der Einzelergebnisse ist zu beachten, dass die EnEV-Nachweise von verschiedenen Ingenieurbüros mit verschiedenen Berechnungsprogrammen erstellt wurden. Bezieht man die Erkenntnisse aus Kapitel 04 über die Ergebnisabweichungen in den klassischen Programmen ein, so kann man die Ergebnisse als für die Untersuchung

ausreichend präzise erachten. Wichtig ist, dass alle untersuchten Gebäude sowohl in der Referenzausführung als auch in den Untersuchungsvarianten mit dem gleichen Berechnungsprogramm auf die gleiche Berechnungsweise bilanziert werden, um qualitative Aussagen über die energetische Performance der Case Studies treffen zu können.

09.6 Analysemethode im Überblick

Das Kapitel zeigt, wie wichtig eine einheitliche und klare Definition eines baulichen Standards ist. Ohne diese Definition bleibt die konkrete und frühzeitige Auseinandersetzung mit den Anforderungen immer unscharf. Klimaneutralität ist dabei ein Zusammenspiel zwischen der Gebäudeeffizienz und der Gebäudekonsistenz. Tabelle 09-02 zeigt die gewählten Kriterien aus Kapitel 09 im Überblick.

Tabelle 09-02: Übersicht der gewählten nZEB-Kriterien

Kriterium	Auswahl
Physische Systemgrenze	Grundstück (Gebäude mit Nebenanlagen)
Systemgrenze der Bilanz	Alle Energien des Betriebs eines Gebäudes, die nicht dem Nutzerverhalten unterliegen (EPBD).
Systemgrenze der Konditionierung	Nutzungsprofile nach DIN V 18599-10
Maßstabssystem	Primärenergiebedarf mit symmetrischer Bewertung der fp
Angestrebtes Effizienzniveau	40% des Anforderungswertes QPNE des Referenzgeb. EnEV 2013
Bilanzraum EE-Erzeugung	Bilanzraum III: Erzeugung auf dem Grundstück inklusive EE-Importe
Deckungsgrad mit EE	Gestaffelt nach Effizienzniveau, Bagatellgrenze Effizienz 40%
Bilanzierungszeitraum	Jahresbilanz
Bilanzmethode	Input-Output-Bilanz
Bilanzierungswerkzeug	EnerCalC 2013

09.7 Baulicher Standard

09.7.1 Standard der Referenzgebäude nach EnEV 2013

Die Case Studies werden nach der Eingabe der Gebäudegeometrien und der Nutzungszonen für die Ausführung nach Referenzgebäude mit den Parametern der EnEV 2013 Anlage 2 Tabelle 1 „Ausführung des Referenzgebäudes“ versehen. Das beinhaltet insbesondere die Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile, die technischen Gebäudesysteme inklusive Leitung und Regelung je Nutzungszone sowie die standardisierten Energieträger.

09.7.2 Standard der Case Studies (IST)

Alle Parameter der Gebäude (U-Werte, g-Werte, TGA usw.) werden aus den Projekten übernommen, um ein möglichst realitätsnahes Abbild der energetischen Performance der Projekte zu erhalten. Die nächstfassten Qualitäten werden neu bilanziert, um ein vergleichbares Ergebnis zu erhalten. Die vorliegenden EnEV-Nachweise werden nicht verwendet.

09.7.3 Baustandard 2021 – nZEB

Die Auswahl des auf das Jahr 2021 indizierten Gebäudestandards eines nZEB basiert vorrangig auf einer Literaturrecherche aktueller wissenschaftlicher Studien und Ausführungen marktreifer Systeme in realisierten Modellprojekten. Alle gewählten Standards sind bereits verfügbar und in verschiedenen Vorhaben erprobt. Der Ansatz liegt in der Kombination des Energieeinsparpotentials in Bezug auf die gewählten

Gebäudetypologien. Im Folgenden wird der Standard nZEB in die Kategorien Energieeffizienz Gebäudehülle und Technische Gebäudeausstattung, sowie Energiekonsistenz Umweltwärme und Strahlungsenergie unterteilt.

Baustandard 2021 – Gebäudehülle

Für die Gebäudehülle stellt auch bei nWG der Passivhausstandard das aktuell erreichbare Effizienzziel dar. Da der Passivhausstandard auch für Nichtwohngebäude mittlerweile praxiserprobt ist, können für die Studie konkrete Werte für die Wärmedurchgangskoeffizienten der opaken und transparenten Bauteile, Annahmen zur Luftdichtheit der Gebäudehülle und Zuschläge für Wärmebrücken abgeleitet werden (Tabelle 09-03). Ohne technologische Quantensprünge wird auch in absehbarer Zukunft kein Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) unter 0,08 bis 0,1 W/m²K für Außenbauteile marktüblich werden [Beuth et al. 2015]. Das wäre mit marktüblichen Dämmstoffen in Bezug auf eine holistische Betrachtung im Lebenszyklus auch nicht sinnvoll. Der Energiebedarf zur Herstellung der Dämmstoffmenge, die den U-Wert von 0,15 auf 0,1 W/m²K bringen würde, steht in keinem Verhältnis zur eingesparten Energie im Betrieb des Gebäudes [prognos et al. 2015, 31]. Der Vergleich von WG und nWG ergibt, dass nWG im Mittel höhere U-Werte aufweisen, da bei nWG versucht wird, über größere Glasflächenanteile eine gleichmäßigere Tageslichtausleuchtung zu erreichen. Während bei WG solare Gewinne durchaus gewünscht sind, sollten nWG vor solarer Einstrahlung geschützt werden, um Überhitzungserscheinungen vorzubeugen.

Tabelle 09-03: Übersicht der Baustandards der Gebäudehülle

Bauteil / System	Eigenschaft	Referenzgebäude nach EnEV 2013 (RG)	Standard IST	Indizierter Standard nZEB
Opake Außenbauteile	U-Wert	0,28 W/(m ² K)	nach Gebäude	0,15 W/(m ² K)
transp. Außenbauteile	U-Wert	1,30 W/(m ² K)	nach Gebäude	0,70 W/(m ² K) *
	g-Wert	0,64	nach Gebäude	0,50
Wärmebrückenzuschlag	D UWB	0,05 W/(m ² K)	nach Gebäude	0,01 W/(m ² K)
Gebäudedichtheit	n50 / q50	DIN V 18599-2:2011-12 Tabelle 6 - Kat. 1	nach Gebäude	0,6 1/h

* mit Ug= 0,5 W/(m²K); Uf = 0,7 W/(m²K); γ = 0,045 W/mK;

Sonnenschutzglas und innenliegende Schutzeinrichtungen sind nicht ausreichend. Da die Kühlung von Gebäuden sehr energieintensiv ist, müssen bei nWG Maßnahmen zur passiven Kühlung genutzt werden. Das ist im Bereich der Gebäudehülle an erster Stelle ein wirkungsvoller Sonnenschutz, der den Verwendungszweck erfüllt. Beispielsweise sind windempfindliche Sonnenschutzanlagen an exponierten Lagen häufig kontraproduktiv: Durch Windwächter werden sie zum eigenen Schutz inaktiv, ihre Existenz läßt aber weitere Sonnenschutzmaßnahmen als entbehrlich erscheinen. Für den indizierte Standard nZEB wird daher ein wirksamer außenliegender Sonnenschutz mit strahlungsabhängiger Steuerung vorausgesetzt. Der einheitliche U-Wert der transparenten Außenbauteile im Standard nZEB stellt eine Vereinfachung für die Berechnung dar. Eigentlich wäre er für jede Fenstergeometrie getrennt zu berechnen, um den Glas-Rahmen-Anteil zu berücksichtigen.

Baustandard 2021 – Gebäudetechnik

Zur Reduktion der Lüftungswärmeverluste werden bei nWG durchgängig Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung installiert. Erdkanäle für die Außenluftzufuhr verbessern dabei die Energiebilanz. Für die Wärmerückgewinnung (WRG) wird eine einheitliche Rückwärmezahl von 0,75 angenommen. Zwar werden für Hocheffizienz-WRG bereits höhere Rückwärmezahlen erreicht, diese sind jedoch nicht in

allen Nutzungszonen einsetzbar. Für Zonen, die aus technischen Gründen regelmäßig keine WRG haben (z.B. Küchenabluft), wird keine WRG angesetzt. Da Lüftungsanlagen in der Regel mit der hochwertigen Energieform Strom (Exergie) betrieben werden, lohnt es sich, eine bedarfsorientierte Lüftungssteuerung zu wählen, die unnötige Betriebszeit ausspart (z.B. Präsenzsteuerungen). Für Nutzungszonen, für die das aus Sicherheitsgründen nicht möglich ist, wird diese Maßnahme nicht angesetzt. Stromsparende Beleuchtungssysteme mit Präsenzsteuerungen und Tageslichtsensoren stellen den aktuellen ambitionierten Effizienzstandard dar. Als Beleuchtungsmittel werden stabförmige Leuchtstofflampen mit elektronischem Vorschaltgerät oder LED-Lampen eingesetzt. Im Langzeitbetrieb sind beide Varianten momentan für Nichtwohngebäude als gleichwertig in Bezug auf Lichtausbeute pro eingesetzter Energie anzusehen, auch wenn das größere Innovationspotential eindeutig bei der LED-Technik liegt.

Als Kälteerzeuger ist ein wassergekühlter Verdichter mit effizienter Betriebsweise vorgesehen. Die Kälteübergabe erfolgt mittels großflächiger Bauteile über Kühldecken bzw. Bauteilaktivierung für eine geringe Kühltemperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf. Für das Wärmeübergabesystem werden ebenso flächige Systeme für geringe Vorlauftemperaturen angenommen. Tabelle 09-04 zeigt die Wahl der technischen Systeme im Überblick.

Tabelle 09-04: Übersicht der Baustandards der Gebäudetechnik

Bauteil / System	Referenzgebäude nach EnEV 2013 (RG)	Standard IST	Indizierter Standard nZEB
Beleuchtungsart	LSL stab mit EVG	nach Gebäude	LSL stab mit EVG
Regelung Beleuchtung	zonenabhängig	nach Gebäude	i.d.R. Präsenzmelder & Konstantlichtregelung, ggf. zonenabhängig
RLT	zonenabhängig	nach Gebäude	nach Gebäude
Rückwärmezahl	0,6	nach Gebäude	0,75
Kühlung	zonenabhängig	nach Gebäude	nach Gebäude
Kälteerzeuger	Kompressionskälte luftgekühlt	nach Gebäude	Wassergekühlter Verdichter (effizient)
Kälteübergabe	Konvektor Brüstungsgerät	nach Gebäude	flächige Bauteile
Wärmeübergabe	Heizflächen Außenwand, P-Regler	nach Gebäude	flächige Bauteile, PI-Regler

Wärmeerzeuger	Primärenergiebedarf Q'_p (kWh/m ² a)	Nettobilanz (kWh/m ² a)	Nettobilanz (kg CO ₂ /m ² a)
Gas-Brennwerttherme optimiert	63,2	49,1	14,6
Erdreich-Wärmepumpe (Sole-Wasser)	52,3	38,3	13,5
Pellet-Kessel	44,1	30,0	9,5
Fernwärme (f_p 0,7)	53,6	39,5	13,2
Gas-BW & KWK (Brennstoff nEE)	82,0	45,2	11,2
Gas-BW & KWK (Brennstoff EE)	43,1	6,4	1,6
Pellet-Kessel & KWK 30% (Brennstoff EE)	38,4	1,6	0,3

Tabelle 09-05: Evaluierung verschiedener Wärmeerzeugungsanlagen am Beispiel einer Case Study

Baustandard 2021 – Energiekonsistenz

Umweltwärme

Für das Ziel des klimaneutralen Gebäudebestands empfiehlt sich für die Wärmeversorgung die Nutzung von erneuerbaren Energieträgern und/oder Kraft-Wärme-Kopplung, um den Primärenergiebedarf möglichst gering zu halten. Wärmepumpen werden regelmäßig bei kleinen nWG mit geringem Wärmebedarf verwendet. Werden Wärmepumpen reversibel eingesetzt, können sie auch als Wärmesenke zur Kühlung eingesetzt werden. [Erhorn et al. 2016] Die Wärmeerzeugung erfolgt einheitlich über Sole-Wasser-Wärmepumpen im Grundlastbetrieb und Spitzenlastkessel (Gas-BW). Tabelle 09-05 zeigt exemplarisch eine Evaluierung verschiedener Wärmeerzeugungsanlagen einer Case Study. Für das Kriterium nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf hätten zwar biogene Brennstoffe für Pellet-Kessel oder KWK-Anlagen bessere Ergebnisse erwarten lassen, aber die Anlagen sind nicht für alle Standorte geeignet oder verfügen noch nicht über die notwendige Marktreife (z.B. KWK-Anlagen mit erneuerbaren Brennstoffen).

Baustandard 2021 – Energiekonsistenz

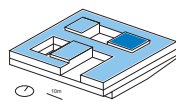
Strahlungsenergie

Solarthermische Anlagen sind für nWG kein Standard und speisen - wenn installiert - zumeist in den Heizkreis ein, da in der Regel wenig Warmwasser in nWG benötigt wird. [Voss et al. 2011, 114-167] zeigt, dass alle nWG mit dem Ziel nZEB Solarstromanlagen (PV) zur Energiegewinnung nutzen. Verwaltungsbauten benötigen zum Ausgleich des TGA-Stromverbrauchs ca. $7 W_p/m^2_{NGF}$, Bildungsgebäude ca. $12 W_p/m^2_{NGF}$ [Voss et al. 2011, 52-53]. Für die PV-Module werden kristalline Zellen verwendet. Es wird die annähernd horizontale Montage angenommen, obwohl die klassische Südorientierung mit 30-35 Grad Neigung in unseren Breiten den höchsten Ertrag verspricht. Die annähernd horizontale Montage verringert den Ertrag um ca. 13% je Quadratmeter Zellenfläche, es verringern sich aber die notwendigen Abstände aufgrund von Eigenverschattung. Dieser Effekt überkompensiert den verringerten Ertrag aufgrund von nahezu flacher Montage. [Hegger 2013, 164] Zusätzlich ist sie unabhängig von der Orientierung des Gebäudes und der PV-Ertrag verteilt sich besser über den Tag und erhöht damit die Eigennutzung.

Tabelle 09-06: Übersicht der Konsistenzmaßnahmen

Bauteil / System	Referenzgebäude nach EnEV 2013 (RG)	Standard IST	Indizierter Standard nZEB
Wärmeerzeugung	Brennwertkessel „verbessert“	nach Gebäude	Sole-Wasser-Wärmepumpe nach DIN V 18599-5 und Heizungsunterstützung ST
Solarthermie	Flachkollektoren Standardausführung nach DIN V 18599-8 und Heizwärmeerzeuger	nach Gebäude	Flachkollektoren eigenbedarfsoptimiert für WW und Heizungsunterstützung
Photovoltaik	--	nach Gebäude	kristalline Zellen horizontal nach Solarpotential Klasse 1

Tabelle 09-07:
Dachflächen der analysierten Fallbeispiele zur Nutzung von Strahlungsenergie (EE) in Form von Solarthermie (ST (dunkelblaue Flächen)) und Photovoltaik (PV (hellblaue Flächen))

Case Study	BZK	Nutzung	Isometrie	A_{Dach} (m ²)	A_{EE} (m ²)	A_{EE} (%)	A_{ST} (m ²)	A_{ST} (%)	A_{PV} (m ²)	A_{PV} (%)
01	1100	Parlamentgebäude		629	321	51%	61	10%	260	41%
02	1200	Gericht		1.957	1.198	61%	98	5%	1.100	56%
03	1340	Polizeiinspektion		613	513	84%	33	5%	480	78%
04	2240	Institutsgebäude		1.398	983	70%	73	5%	910	65%
05	2270	Forschungsinstitut		2.898	2.100	72%	170	6%	1.930	67%
06	2320	Forschungszentrum		3.322	1.202	36%	252	8%	950	29%
07	2500	Laborgebäude		968	640	66%	90	9%	550	57%
08	3112	Krankenhaus		2.478	826	33%	376	15%	450	18%
09	4500	Bibliothek		444	310	70%	0	0%	310	70%
10	4620	Museum		3.263	2.552	78%	172	5%	2.380	73%

Das verwendete Solarpotential des Gebäudes wird an der realen Dachplanung bemessen. Für PV werden vorrangig die unverschatteten Dachflächen der Klasse 1 nach [Quaschnig 2000, 46] herangezogen. Für Dachbegehungen und Wartungsarbeiten sind Umgänge (Abstand zur inneren Attika) und Wartungsgänge (Abstände zwischen den Modulen) berücksichtigt und abgezogen worden. Solarthermie (ST) ist – dem berechneten Bedarf entsprechend – in teilverschatteten Bereichen (vorrangig Verschattung am Nachmittag und Abend) der Klasse 2 positioniert. Ungeeignete Dachflächen wurden nicht zur Energiegewinnung verwendet. Dachinstallationen, Technikaufbauten, Oberlichter und Entrauchungsanlagen sind nicht zur Energiegewinnung verwendet worden.

09.8 Vorgehensweise

Die Vorgehensweise in der anschließenden Analyse wird anhand von Abbildung 09-09 erläutert: Auf Basis der überprüften Daten werden die Gebäude neu in EnerCalC eingegeben. Diese Eingabe bildet die Basis (IST, 2. Datenpunkt). Für die Beurteilung des Standards IST werden die Werte und Parameter des Referenzgebäudes nach EnEV eingesetzt. Das Ergebnis stellt den gesetzlichen Mindeststandard auf Basis der EnEV 2009 dar (Referenzgebäude RG, 1. Datenpunkt). Zur besseren Abschätzung des Ergebnisses wird der Standard IST zum Standard RG in Beziehung gesetzt. Die Bezeichnung erfolgt analog der KfW Effizienzhäuser 40, 55 und 70 als Ziffernangabe, welche den Prozentsatz zum RG angibt. Die Bezeichnung KfW_66 bedeutet, dass der Standard IST im Bilanzierungsergebnis 66% des Energiebedarfs des RG aufweist.

Im dritten Schritt wird der für das Jahr 2021 indizierte Standard (siehe unten) zugrunde gelegt (nZEB, 3. Datenpunkt). Die Ziffer gibt an, welche Differenz in Bezug zur Y-Achse das Bilanzierungsergebnis zu einem möglichen Netto-Nullenergiegebäude (Winkelhalbierende) aufweist. Negative Zahlen bedeuten eine Unterdeckung, positive Zahlen eine Überdeckung in der Bilanz. Ein nZEB_-38 müsste demnach in der Jahresbilanz des spezifischen Primärenergiebedarfs 38 kWh/m²a mehr an Energie in das Netz einspeisen (Output), um ein Netto-Nullenergiegebäude zu werden. Alle drei Bilanzergebnisse ergeben eine Datenreihe mit drei Datenpunkten (Abbildung 09-08). Die Ergebnisse der Berechnungen sind als Koordinatenwerte (x- und y-Wert) ausgewiesen. Anhand der Datenreihen lassen sich die Ergebnisse der verschiedenen Baustandards gegenüberstellen und diskutieren.

Das konkrete Anforderungsniveau an künftige nZEB, das am Ende von Teil II vorgeschlagen wird (Kapitel 11), leitet sich von den Ergebnissen (nZEB-Standard) der Fallbeispiele ab.

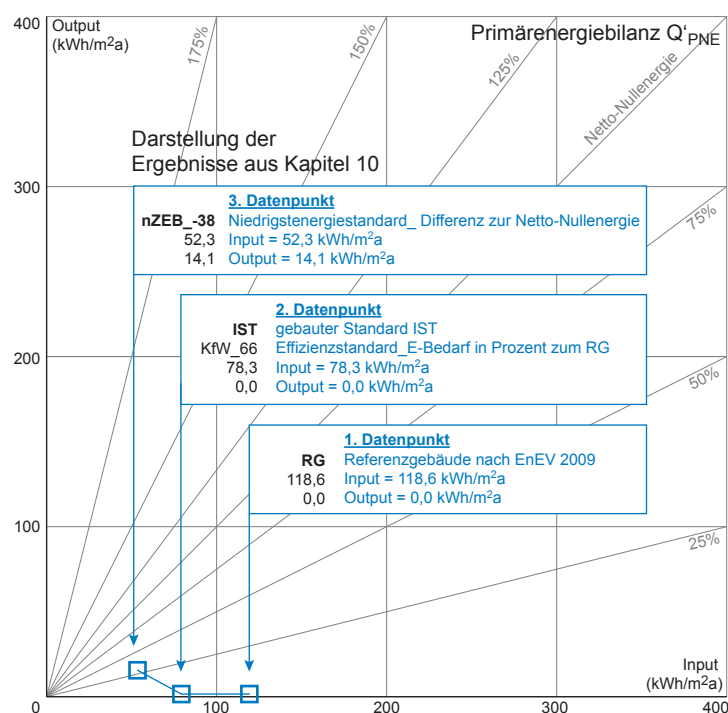


Abbildung 09-09: Erläuterung der Darstellung der Untersuchungsergebnisse aus Teil 2

10.1	Case Study 01	92
10.2	Case Study 02	93
10.3	Case Study 03	94
10.4	Case Study 04	95
10.5	Case Study 05	96
10.6	Case Study 06	97
10.7	Case Study 07	98
10.8	Case Study 08	99
10.9	Case Study 09	100
10.10	Case Study 10	101

Inhalt Kapitel 10

Kapitel 10 stellt die Einzelergebnisse der jeweiligen Case Study zusammen. Die Zusammenfassung, Auswertung und Interpretation der Ergebnisse folgt in Kapitel 11.

10.1 Case Study 01

Case Study 01 ist ein sehr hochwertiges Verwaltungsgebäude (Parlamentsgebäude) in unmittelbarem baulichen Zusammenhang (Innenstadtlage). Es liegt mit einer BGF von über 5.000 m² über dem Durchschnitt der Kategorie. Der bauliche Kontext verantwortet das wesentliche Spezifikum dieses Gebäudes, die Höhe von sechs Vollgeschossen bei einer verhältnismäßig begrenzten Grundfläche.

Abbildung 10-01 zeigt die Reduktionspotentiale der verschiedenen spezifischen Energiebedarfe (Nettobilanz ohne Anrechnungsbegrenzung für EE). Auffällig ist, dass der spezifische Nutzenergiebedarf des gebauten Projekts sogar unter dem des indizierten Standards nZEB 2021 liegt, was auf eine sehr hochwertige Ausführung der Gebäudehülle schließen lässt. Das zeigt, dass die zugrunde gelegten Standards für nZEB 2021 zum Teil bereits umgesetzt werden.

Die Input-Output-Bilanz (Abbildung 10-02) veranschaulicht, wie sich das Ergebnis aus Bedarfsreduktion und EE-Erzeugung im Bereich der spezifischen Primärenergie zusammensetzt. Zwar konnte im nZEB-Standard der Input auf fast 40% des Referenzgebäudes reduziert werden, der Output kann aber nur knapp 27% des Inputs kompensieren.

Die Ursache liegt im geringen Solarpotential des Gebäudes verglichen mit der Nutzfläche. Da in dieser Studie nur die Dachflächen betrachtet wurden, reduziert sich das Potential umso mehr, je mehr Vollgeschosse das Gebäude hat. Case Study 01 liegt mit sechs Vollgeschossen bei der doppelten Anzahl an Vollgeschossen im Vergleich zum Durchschnitt der Kategorie. Oberlichter und Technikaufbauten reduzieren das Solarpotential zusätzlich. Aufgrund des baulichen Kontexts hätte eine Einbeziehung der Fassadenflächen zur Energiegewinnung (BIPV) keine wesentlich höheren Erträge erbracht.

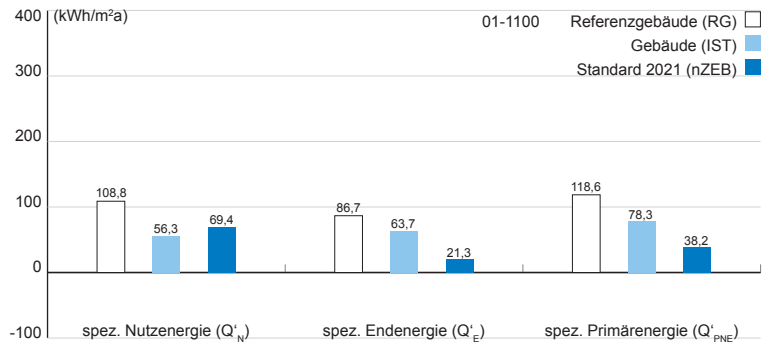
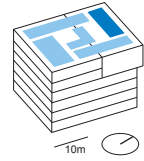


Abbildung 10-01: Spezifische Nutz-, End- und Primärenergiebedarfe der Case Study 01 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021

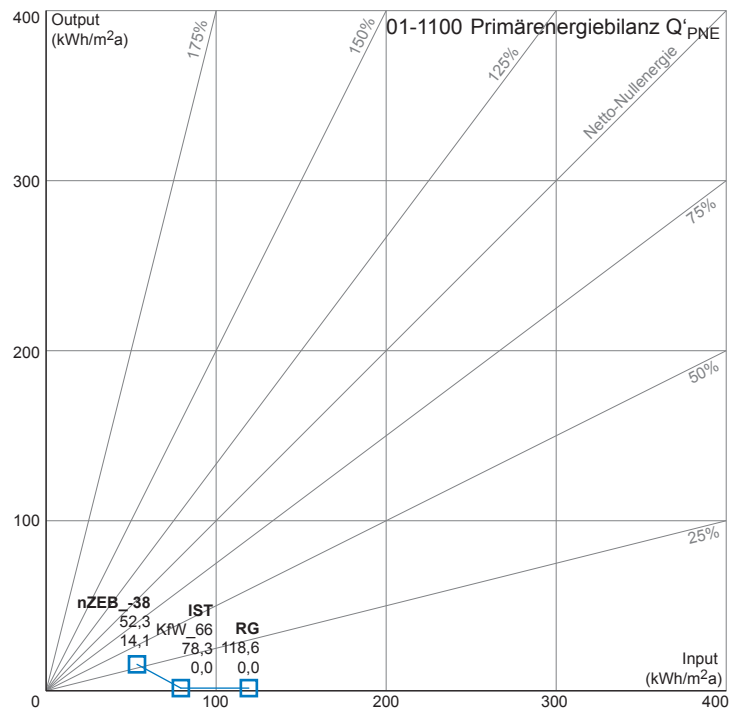


Abbildung 10-02: Input-Output-Bilanz der spezifischen Primärenergie der Case Study 01 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021

Tabelle 10-01: Ergebnisübersicht Case Study 01-1100

Case Study	Input Q'_{PNE} (kWh/m²a)	Input Q'_{PNE} (% zu RG)	Output Q'_{PNE} (kWh/m²a)	Output Q'_{PNE} (% zu RG)
01-1100				
Referenzgebäude	118,6	100%	0,0	0%
IST	78,3	66%	0,0	0%
nZEB 2021	52,3	44%	14,1	27%

10.2 Case Study 02

Case Study 02 ist ein freistehendes Gerichtsgebäude. Der Baukörper ist nicht einheitlich hoch. Durch die Hanglage des Grundstücks ist das untere Geschoss zur Hälfte eingegraben. Im Mittel liegen drei Vollgeschosse vor, was dem oberen Bereich der durchschnittlichen Bandbreite der Kategorie 1000 nach BZK entspricht. Bezüglich der BGF liegt das Gebäude ca. 20% über den Durchschnittswerten der Unterkategorien und ist als überdurchschnittlich groß zu bewerten.

Der indizierte nZEB-Standard 2021 (Abbildung 10-03) zeigt für den Netto-Endenergiebedarf und den Netto-Primärenergiebedarf das Potential eines Netto-Nullenergiegebäudes, wenn keine Anrechnungsbeschränkungen für EE-Erzeugung bestehen. Die Input-Output-Bilanz (Abbildung 10-04) verdeutlicht das. Der Input wurde durch die Effizienzsteigerungen auf 38% des Wertes des Referenzgebäudes reduziert. Zugleich gleichen die Netzeinspeisungen den verbleibenden Bedarf aus und bringen das Gebäude bilanziell über die Nullenergiegrenze leicht in den Plusenergiebereich. Das Gebäude hat durch die ungestörte Dachfläche eine gutes Solarpotential. Lediglich der höhere Kopfbau verschattet Teile des niedrigeren Flachbaus. Dieser Verschattungsbereich wurde aus den Flächen zur Energieerzeugung herausgenommen, ebenso wie das Glasdach über dem nördlichen Treppenhaus.

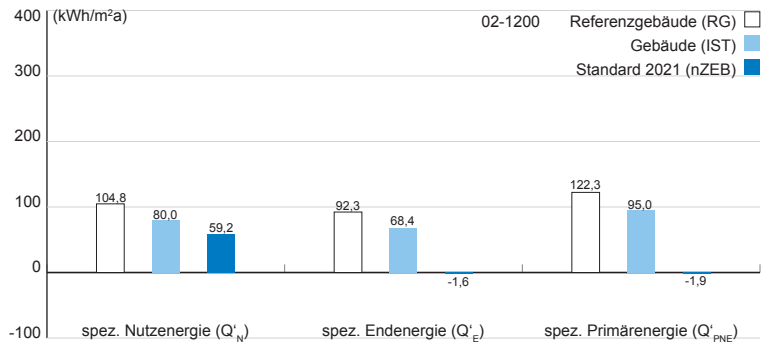
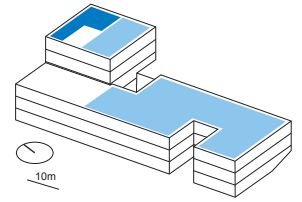


Abbildung 10-03: Spezifische Nutz-, End- und Primärenergiebedarfe der Case Study 02 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021

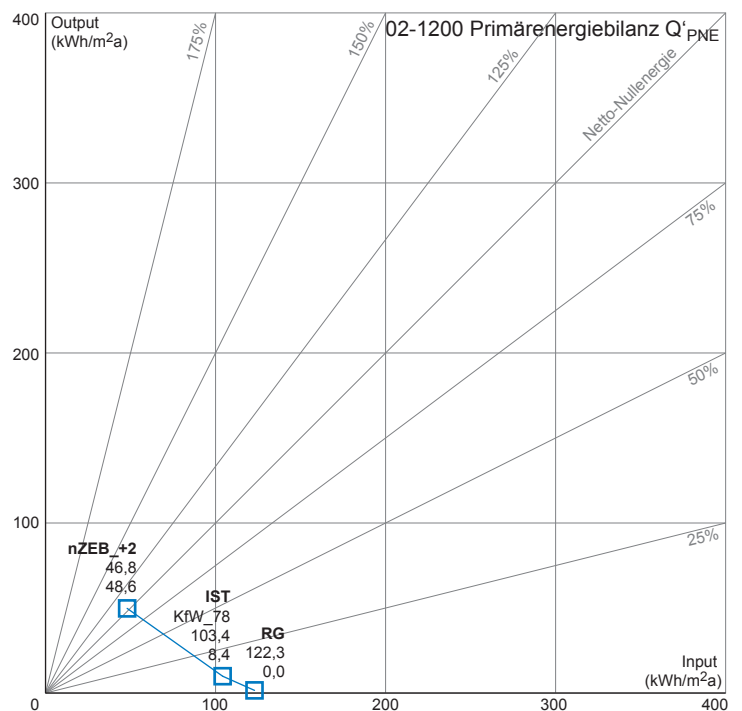


Abbildung 10-04: Input-Output-Bilanz der spezifischen Primärenergie der Case Study 02 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021

Tabelle 10-02: Ergebnisübersicht Case Study 02-1200

Case Study	Input Q'_{PNE} (kWh/m²a)	Input Q'_{PNE} (% zu RG)	Output Q'_{PNE} (kWh/m²a)	Output Q'_{PNE} (% zu RG)
02-1200				
Referenzgebäude	122,3	100%	0,0	0%
IST	103,4	85%	8,4	8%
nZEB 2021	46,8	38%	48,6	104%

10.3 Case Study 03

Die geometrischen Eckdaten von Case Study 03 liegen in der Kategorie 1000 im durchschnittlichen und unteren Bereich. Sie repräsentiert eine Gebäudegröße, die in Bayern häufig vorkommt. Eine Besonderheit liegt in der Nutzung als Polizeiinspektion, da Teile des Gebäudes ganzjährig durchgängig in Betrieb sind und das standardisierte Raumprogramm für Polizeiinspektionen einen Polizeihof mit Nebengebäuden für KFZ-Wartung und -Unterbringung beinhaltet.

Die Typologie der Case Study besitzt ein großes Potential für Niedrigstenergiegebäude. Abbildung 10-05 zeigt, dass bilanziell sowohl End- als auch Primärenergiebedarf im negativen Bereich (Plusenergie) liegen. Diagramm Abbildung 10-06 zeigt den guten Effizienzstandard des gebauten Projektes (IST) bezüglich der Primärenergie, der sogar noch unterhalb des Szenario nZEB-2021 liegt. Der Grund liegt in der Verwendung von Energieträgern zur Wärmeerzeugung mit einem niedrigen Primärenergiefaktor (nicht erneuerbar). Dieser Vorteil wurde durch die Vereinheitlichung der Gebäudetechnik im Standard nZEB-2021 bereinigt. Die Kombination von geringem Input mit einer hohen Energieproduktion am Gebäude (Output) ergeben ein Gebäude, das weit im Plusenergiebereich liegt. Sowohl die optimale Gebäudekonfiguration (homogenes Pultdach mit Südneigung) als auch die der Typologie immanenten Nebengebäude ergeben ein optimales Solarpotential für Case Study 03. Im Ergebnis liegt die EE-Erzeugung bei 171% des Energiebedarfs. Case Study 03 stellt damit das beste Ergebnis aller Untersuchungsprojekte.

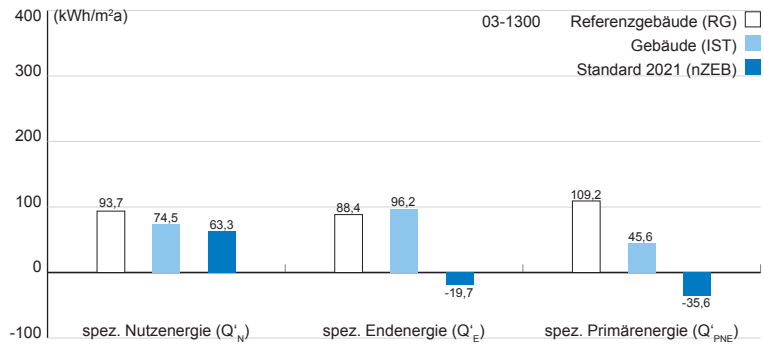
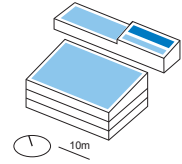


Abbildung 10-05: Spezifische Nutz-, End- und Primärenergiebedarfe der Case Study 03-1300 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021

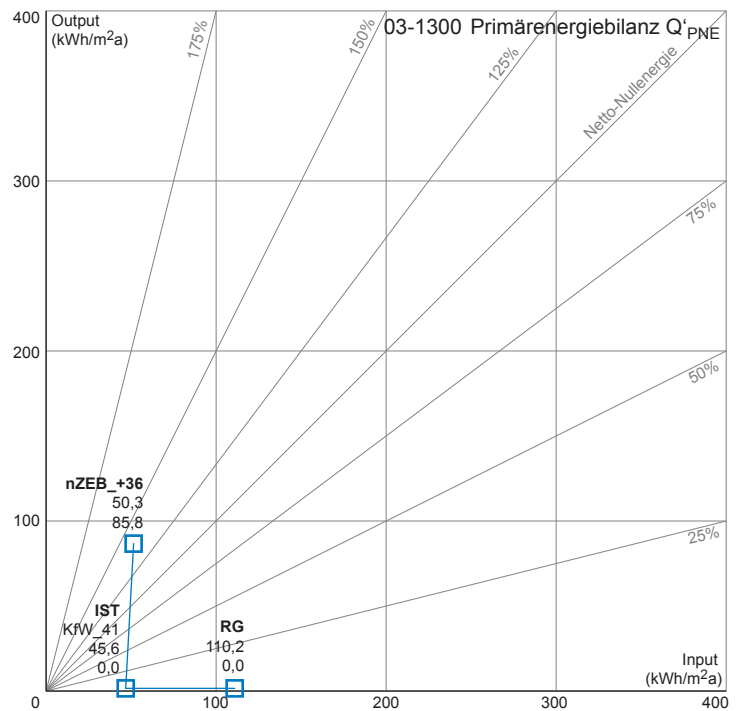


Abbildung 10-06: Input-Output-Bilanz der spezifischen Primärenergie der Case Study 03-1300 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021

Tabelle 10-03: Ergebnisübersicht Case Study 03-1300

Case Study	Input Q'_{PNE} (kWh/m²a)	Input Q'_{PNE} (% zu RG)	Output Q'_{PNE} (kWh/m²a)	Output Q'_{PNE} (% zu RG)
03-1300				
Referenzgebäude	110,2	100%	0,0	0%
IST	45,6	41%	0,0	0%
nZEB 2021	50,3	46%	85,8	171%

10.4 Case Study 04

Case Study 04 ist ein Institutsbau für Wissenschaft und Forschung. Sie repräsentiert sowohl in BGF als auch in der Anzahl der Nutzgeschosse den oberen Bereich der Durchschnittswerte. Der Baukörper steht frei und weist als Besonderheit eine aufgeständerte Konstruktion auf, die als Verschattungselement und Versuchsstand die Nutzung der Dachebene als Außenraum verbessert. Die energetische Performance des Institutsbaus entspricht in etwa der Referenzausführung nach EnEV, unterschreitet die Werte nur leicht. Aus Abbildung 10-07 ist ersichtlich, dass die Case Study ein großes Potential für Effizienzmaßnahmen bietet. Wie sich das Potential genau aufteilt, zeigt wieder die Input-Output-Darstellung (Abbildung 10-08). Die Bedarfsreduktion auf annähernd 40% ermöglicht einen Ausgleich über Input von fast zwei Drittel des Bedarfes. Trotz der hochinstallierten Nutzung des Institutsbaus ist eine überdurchschnittliche Energiebilanz erreichbar. Der Hauptgrund liegt im Wesentlichen bei der optimalen Dachplanung in Bezug auf Solarenergieerzeugung. Eine aufgeständerte Stahlkonstruktion über einer nutzbaren Dachterrasse erlaubt die Erzeugung EE und bietet dem Aufenthaltsbereich zeitgleich Verschattung für eine höhere Aufenthaltsqualität im Sommer.

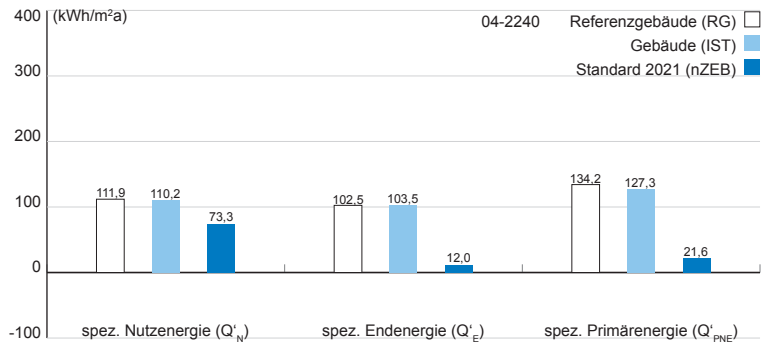
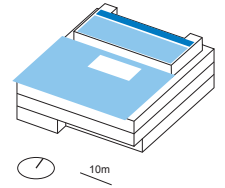


Abbildung 10-07: Spezifische Nutz-, End- und Primärenergiebedarfe der Case Study 04-2240 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021

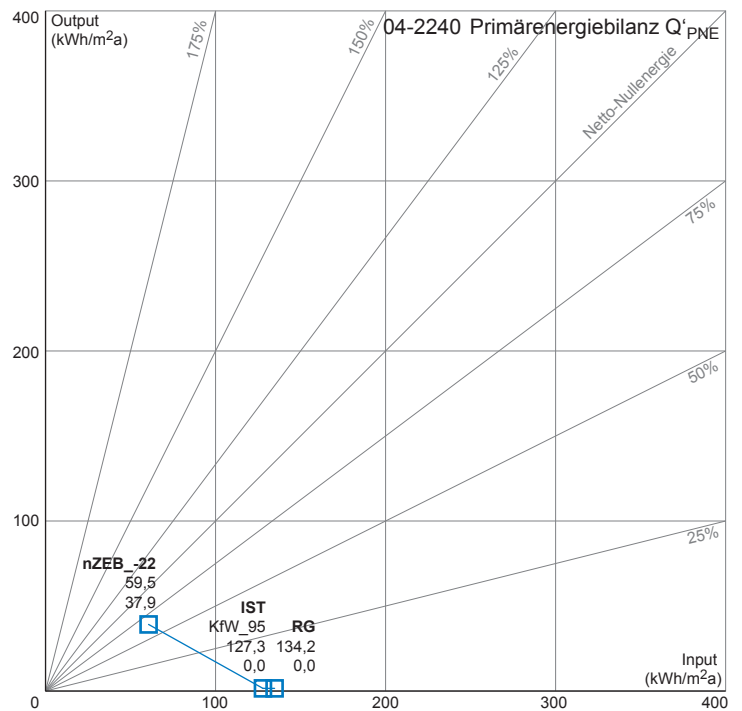


Abbildung 10-08: Input-Output-Bilanz der spezifischen Primärenergie der Case Study 04-2240 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021

Tabelle 10-04: Ergebnisübersicht Case Study 04-2240

Case Study	Input Q'_{PNE} (kWh/m²a)	Input Q'_{PNE} (% zu RG)	Output Q'_{PNE} (kWh/m²a)	Output Q'_{PNE} (% zu RG)
04-2240				
Referenzgebäude	134,2	100%	0,0	0%
IST	127,3	95%	0,0	0%
nZEB 2021	59,5	44%	37,9	64%

10.5 Case Study 05

Case Study 05 ist ebenso ein Institutsgebäude für Wissenschaft und Lehre. Wie Case Study 04 ist sie von überdurchschnittlicher Geometrie, ist aber in Bezug auf BGF fast doppelt so groß wie 04. Der Baukörper steht frei und ist mit Einschnitten und Innenhöfen gegliedert. Das Erdgeschoss ist leicht in das hängende Gelände eingebaut.

In allen drei Energiebedarfsarten liegen große Potentiale zur Reduktion vor (Abbildung 10-09). Der spezifische End- und Primärenergiebedarf lässt sich ohne Anrechnungsbegrenzung annähernd ausgleichen (Abbildung 10-10).

Case Study 05 wäre in der Primärenergiebilanz als nZEB₋₁₆ realisierbar. Die Basis bietet wieder die Reduktion des Bedarfes (38% des RG). Verbunden mit der EE-Erzeugung ergibt sich in der Bilanz ein Deckungsgrad von ca. 78% des Bedarfes. Das Solarpotential des Gebäudes kann gut ausgenutzt werden. Das Dach ist weitgehend frei von Aufbauten und Verschattungselementen.

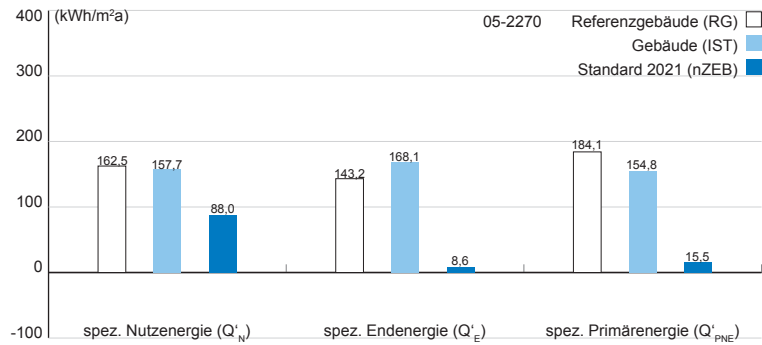
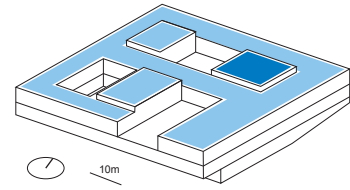


Abbildung 10-09: Spezifische Nutz-, End- und Primärenergiebedarfe der Case Study 05-2270 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021

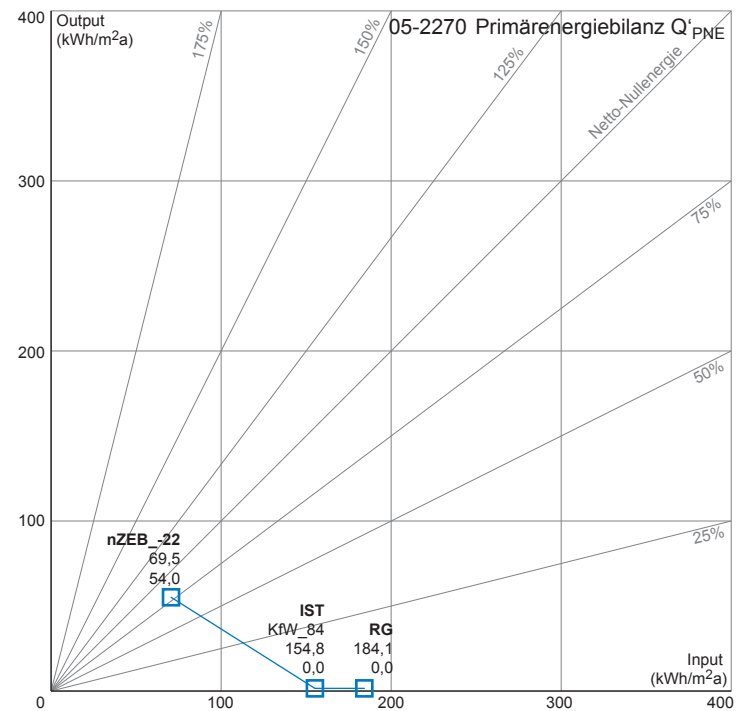


Abbildung 10-10: Input-Output-Bilanz der spezifischen Primärenergie der Case Study 05-2270 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021

Tabelle 10-05: Ergebnisübersicht Case Study 05-2270

Case Study	Input Q'_{PNE} (kWh/m²a)	Input Q'_{PNE} (% zu RG)	Output Q'_{PNE} (kWh/m²a)	Output Q'_{PNE} (% zu RG)
05-2270				
Referenzgebäude	184,1	100%	0,0	0%
IST	154,8	84%	0,0	0%
nZEB 2021	69,5	38%	54,0	78%

10.6 Case Study 06

Case Study 06 beinhaltet ein Institut für Forschung und Lehre. BGF (18.525 m²) und die Anzahl der Nutzungsgeschosse (7) liegen beim dreifachen bzw. doppelten der Maximalwerte der Gebäudekategorie. Das Gebäude ist höchstinstalliert und überwiegend mit Laboren ausgestattet.

Abbildung 10-11 zeigt exemplarisch den hohen spezifischen Energiebedarf solcher Gebäude. Er übersteigt häufig die spezifischen Bedarfe von Büro- und Verwaltungsgebäuden ($Q'_{P,RG}$ ca. 120 kWh/m²a) um das Dreifache. Entsprechend groß sind die Einsparpotentiale und entsprechend weit entfernt liegt das Ziel eines Null- oder Niedrigstenergiegebäudes. Dennoch sind die Einsparpotentiale im Bereich des nZEB 2021 vorhanden.

Die Bilanz (Abbildung 10-12) zeigt deutlich, dass es hier vorrangig um Bedarfsreduktion geht. Die Fallstudie liegt im nZEB 2021 Standard bei ca. 46% des Bedarfs des RG. Ihm gegenüber steht nur eine vergleichsweise geringe EE-Erzeugung von 19 kWh/m²a und deckt damit nur ca. 11% des Bedarfes.

Für die Energieproduktion ist die gestaffelte Dachvolumetrie unvorteilhaft. Die großen Verschattungsbereiche reduzieren die Solarflächen der Klasse 1 erheblich. Den geringen Solarflächen steht ein vielgeschossiger Baukörper mit hochtechnisierter Nutzung gegenüber.

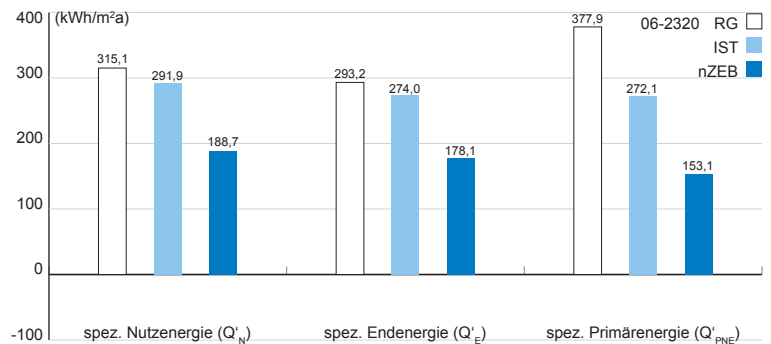
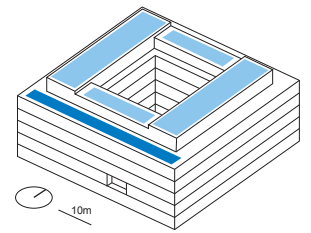


Abbildung 10-11: Spezifische Nutz-, End- und Primärenergiebedarfe der Case Study 06-2320 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021

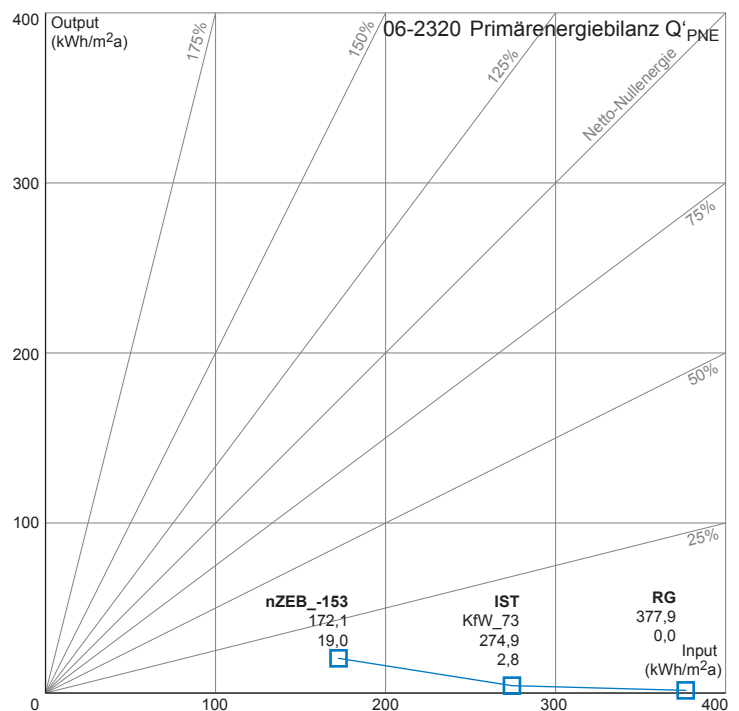


Abbildung 10-12: Input-Output-Bilanz der spezifischen Primärenergie der Case Study 06-2320 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021

Tabelle 10-06: Ergebnisübersicht Case Study 06-2320

Case Study	Input Q'_{PNE} (kWh/m²a)	Input Q'_{PNE} (% zu RG)	Output Q'_{PNE} (kWh/m²a)	Output Q'_{PNE} (% zu RG)
06-2320				
Referenzgebäude	377,9	100%	0,0	0%
IST	274,9	73%	2,8	1%
nZEB 2021	172,1	46%	19,0	11%

10.7 Case Study 07

Case Study 07 stellt ein Laborgebäude mit leicht überdurchschnittlicher Geometrie dar: Die BGF liegt innerhalb der Durchschnittsgrößen der Kategorie 2000 am oberen Ende. Mit vier Nutzungsgeschossen ist Case Study 07 ein Geschoss über dem Schnitt. Der Baukörper steht frei.

Die Reduktionspotentiale der Case Study 07 (Abbildung 10-13) liegen mit knapp 45% gegenüber dem Referenzgebäude im Bereich von Case Study 06. Auch hier erschweren es die hohen absoluten Bedarfswerte, einen angestrebten Niedrigstenergiestandard zu erreichen. Die Input-Output-Bilanz (Abbildung 10-14) zeigt zwar wieder hohe Effizienzsteigerungen auf einem sehr guten Standard (analog KfW Effizienzhaus 45), die EE-Erzeugung reicht jedoch nur zu einer Kompensation des verbleibenden Energiebedarfs von ca. 21%.

Die Dachfläche von Case Study 07 eignet sich gut zur Energiegewinnung. Nach Abzug der notwendigen Bauteile auf dem Dach (RWA, Ausstieg, usw.) steht nahezu die gesamte Dachfläche unverschattet zur Verfügung.

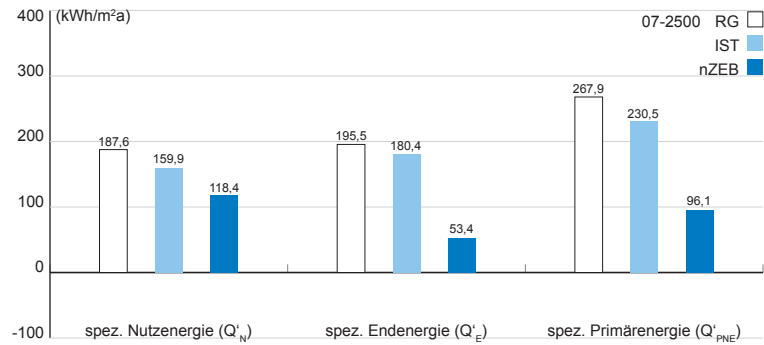
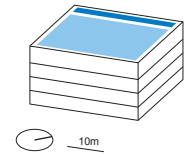


Abbildung 10-13: Spezifische Nutz-, End- und Primärenergiebedarfe der Case Study 07-2500 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021

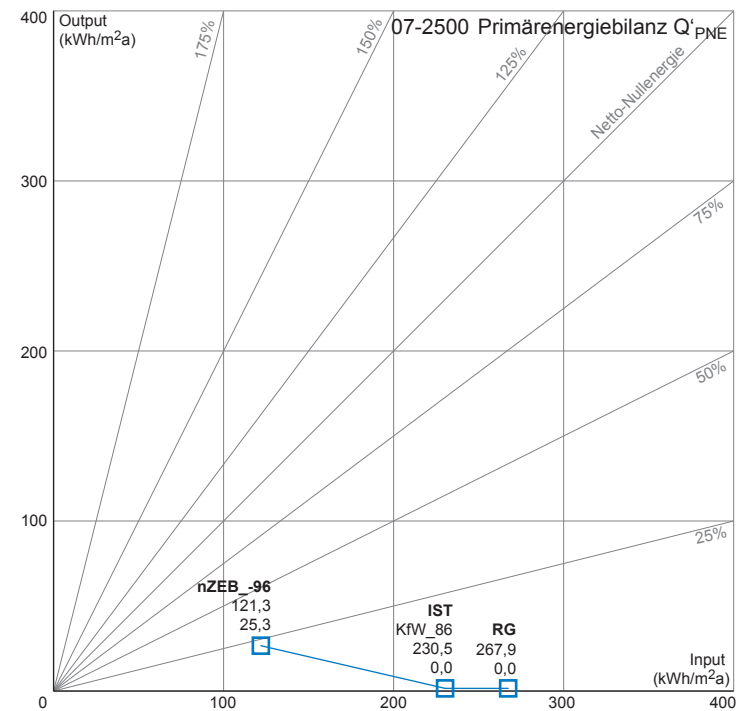


Abbildung 10-14: Input-Output-Bilanz der spezifischen Primärenergie der Case Study 07-2500 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021

Tabelle 10-07: Ergebnisübersicht Case Study 07-2500

Case Study	Input Q'_{PNE} (kWh/m²a)	Input Q'_{PNE} (% zu RG)	Output Q'_{PNE} (kWh/m²a)	Output Q'_{PNE} (% zu RG)
07-2500				
Referenzgebäude	267,9	100%	0,0	0%
IST	230,5	86%	0,0	0%
nZEB 2021	121,3	45%	25,3	21%

10.8 Case Study 08

Case Study 08 ist im baulichen Kontext einer Innenstadt situiert. Sie stellt ein Hochschulklinikum mit allen wesentlichen Bereichen eines Krankenhauses dar (Poliklinik, Normal- und Intensivpflege, OPs, Bereitschafts- und Verwaltungsbereiche). Die Volumetrie ist mit fünf Nutzgeschossen und 9.919 m² BGF an den oberen Bereichen der Kategorie 3000. Für Neubauten im Bereich der Universitätskliniken sind diese Größen aber üblich.

Die Nutzungszonen von Case Study 08 bringt hohe spezifische Verbräuche des Referenzgebäudes mit sich (Abbildung 10-15), die durch den nZEB 2021 Standard zwar erheblich reduziert werden können, aber dennoch weit entfernt von einem Netto-Nullenergiestandard liegen.

Die Input-Output-Bilanz (Abbildung 10-16) zeigt deutliche Effizienzsteigerungen bis zu 52% gegenüber dem Referenzgebäude (analog KfW-Effizienzhaus 48), aber eine geringe Kompensation durch EE-Erzeugung mit einem Deckungsgrad von 7%.

Der Baukörper von Case Study 08 besteht aus zwei Teilen. Ein größeres Sockelgebäude (U2 bis EG) nutzt das Grundstück fast vollständig aus. Es ist wegen des baulichen Zusammenhangs nicht für Solarenergie-nutzung geeignet. Der aufgehende Bauteil (OG 01-03) ist mit seinem Flachdach geeignet, jedoch verringern Dacheinschnitte (Atrien) und Technikaufbauten die zur Verfügung stehende Fläche.

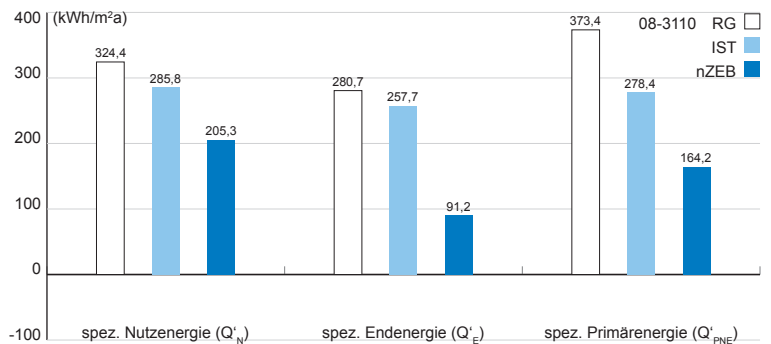
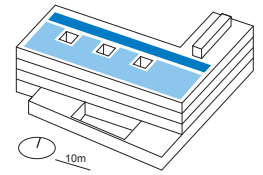


Abbildung 10-15: Spezifische Nutz-, End- und Primärenergiebedarfe der Case Study 08-3110 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021

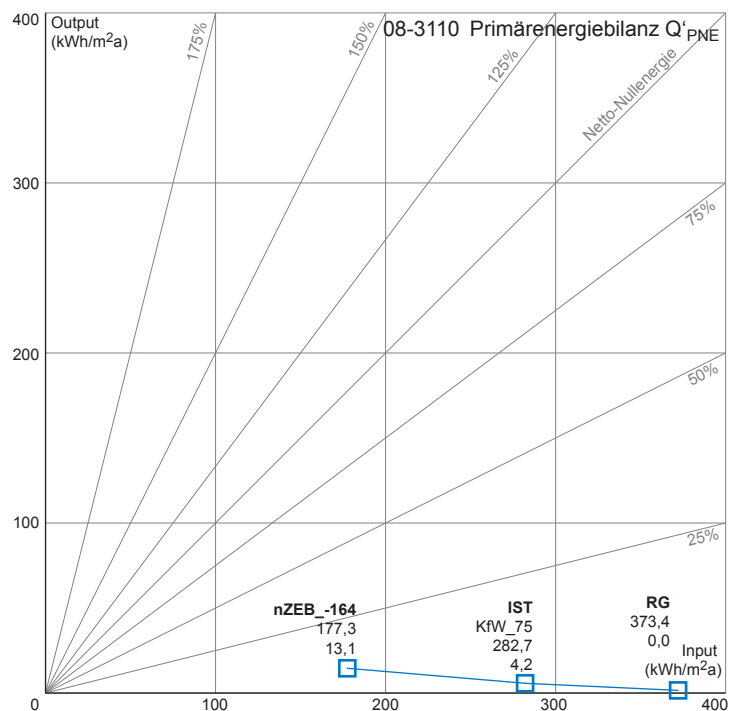


Abbildung 10-16: Input-Output-Bilanz der spezifischen Primärenergie der Case Study 08-3110 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021

Tabelle 10-08: Ergebnisübersicht Case Study 08-3110

Case Study	Input Q'_{PNE} (kWh/m²a)	Input Q'_{PNE} (% zu RG)	Output Q'_{PNE} (kWh/m²a)	Output Q'_{PNE} (% zu RG)
08-3110				
Referenzgebäude	373,4	100%	0,0	0%
IST	282,7	76%	4,2	2%
nZEB 2021	177,3	48%	13,1	7%

10.9 Case Study 09

Case Study 09 beinhaltet eine Hochschulbibliothek mit allen typischen Nutzungsbereichen. Der Baukörper ist vergleichsweise klein (BGF ca. 2.000 m²) und sehr hoch (5 Geschosse). Er ist über eine Brücke an ein Bestandsgebäude angeschlossen, steht aber frei.

Abbildung 10-17 zeigt hohe Reduktionspotentiale für die Energiebedarfe. Die spezifischen End- und Primärenergiebedarfe liegen ohne Anrechnungsbeschränkung für Netzeinspeisungen weit unter 20% der Bedarfe des Referenzgebäudes.

Der Primärenergiebedarf des nZEB 2021 Standard liegt bei 45% des Bedarfs des Referenzgebäudes (Abbildung 10-18). Die EE-Erzeugung deckt 61% davon ab. Es fehlen 25 kWh/m²a zum Netto-Nullenergiegebäude. Die geringe Grundfläche des Gebäudes im Vergleich zu der Anzahl der Geschosse lässt das Verhältnis von Solarnutzungsflächen auf dem Dach zu Gebäudenutzflächen gering werden. Obwohl die Dachfläche prinzipiell gut geeignet für die Energienutzung ist, reicht die Stromproduktion nicht für den vollständigen Ausgleich des Bedarfs.

An diesem Beispiel erkennt man den Zielkonflikt zwischen Effizienz und Konsistenz. Das gute A/V-Verhältnis ermöglicht durch geringe Transmissionswärmeverluste einen sehr geringen spezifischen Energiebedarf. Gleichzeitig sinkt das spezifische Solarpotential am Dach mit jedem weiteren Nutzgeschoss. Grundsätzlich ist jeder vermeidbare Energiebedarf der regenerativen Energieerzeugung zum bilanziellen Ausgleich vorzuziehen. Somit wäre das gute A/V-Verhältnis vorrangig der PV-Fläche. Für höhere Gebäude könnte fassadenintegrierte PV den Zielkonflikt lösen. Diese Maßnahme ist allerdings nicht Teil der Untersuchung.

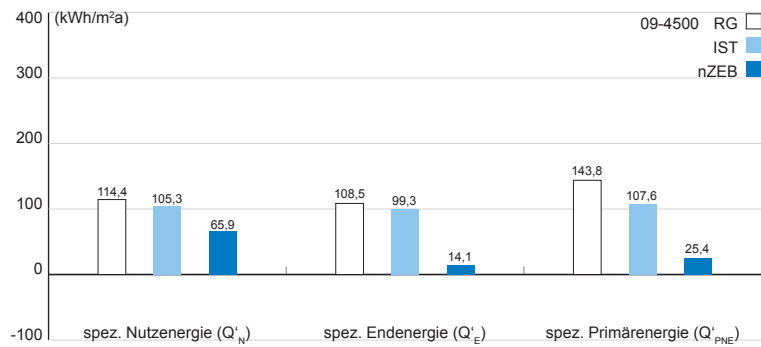
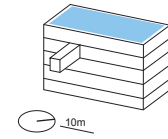


Abbildung 10-17: Spezifische Nutz-, End- und Primärenergiebedarfe der Case Study 09-4500 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021

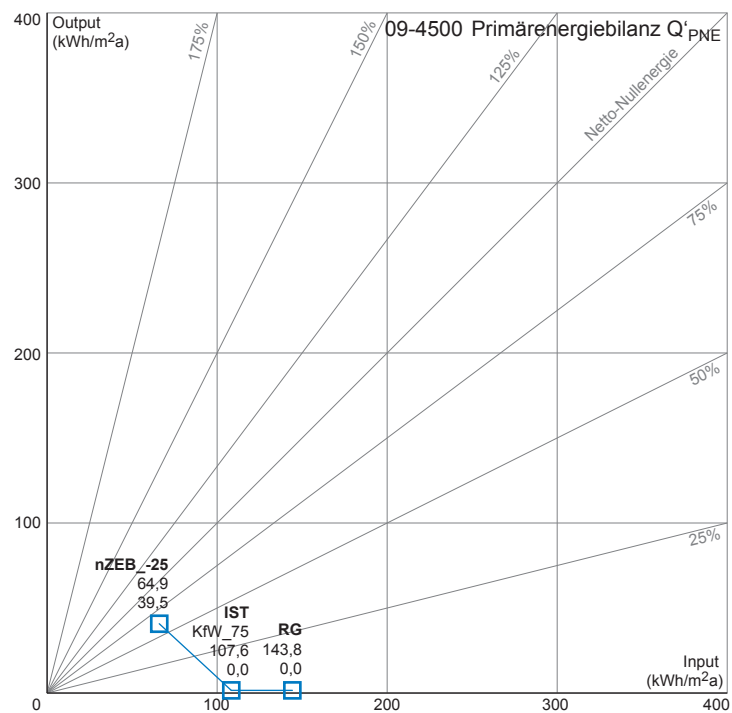


Abbildung 10-18: Input-Output-Bilanz der spezifischen Primärenergie der Case Study 09-4500 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021

Tabelle 10-09: Ergebnisübersicht Case Study 09-4500

Case Study	Input Q'_{PNE} (kWh/m²a)	Input Q'_{PNE} (% zu RG)	Output Q'_{PNE} (kWh/m²a)	Output Q'_{PNE} (% zu RG)
09-4500				
Referenzgebäude	143,8	100%	0,0	0%
IST	107,6	75%	0,0	0%
nZEB 2021	64,9	45%	39,5	61%

10.10 Case Study 10

Case Study 10 ist ein Museumsgebäude mit allen öffentlichen Bereichen (Ausstellung, Schauraum, Foyer, Verkauf, Gastronomie ...), Depot und Technikräumen, aber ohne Verwaltung. Sie wurde in einem benachbarten Gebäude untergebracht. Das Gebäude ist großflächig (BGF 10.900 m²) und mit vier Geschossen über dem Durchschnitt. Es ist im Zusammenhang bebaut und wird durch andere Baukörper nur an der Fassade verschattet.

Auch die Museumsnutzung bringt hohe spezifische Energiebedarfe (Abbildung 10-19). Es zeigen sich aber erhebliche Reduktionspotentiale für einen nZEB 2021 Standard. Der spezifische Primärenergiebedarf könnte ohne Anrechnungsbeschränkung auf 18% (nZEB 2021) im Vergleich zum Referenzgebäude gesenkt werden. Die Input-Output-Bilanz (Abbildung 10-20) gibt Aufschluss über das Ergebnis. Durch Effizienzgewinne kann, verglichen mit den KfW-Standards, ein Effizienzhaus 32 erreicht werden. Der restliche Primärenergiebedarf könnte zu 51% durch EE-Erzeugung kompensiert werden. Das Ergebnis wird durch ein hohes Solarpotential der Case Study erreicht. Die Dachfläche besteht aus flachgeneigten Dreiecken. Zwar verliert man durch die Geometrie an den Übergängen Fläche für PV-Module, die Dachfläche ist aber annähernd komplett von technischen Aufbauten freigehalten. Die Möglichkeit der PV-Integration in Überkopfverglasungen im Foyer wurde hier nicht betrachtet, würde aber das Ergebnis von Case Study 10 nochmals verbessern.

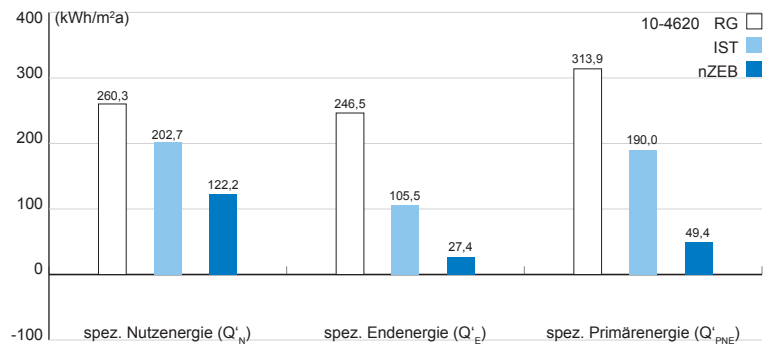
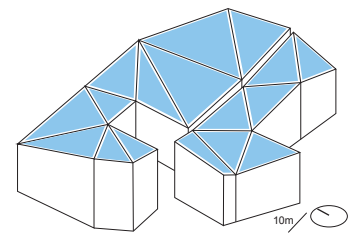


Abbildung 10-19: Spezifische Nutz-, End- und Primärenergiebedarfe der Case Study 10-4620 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021

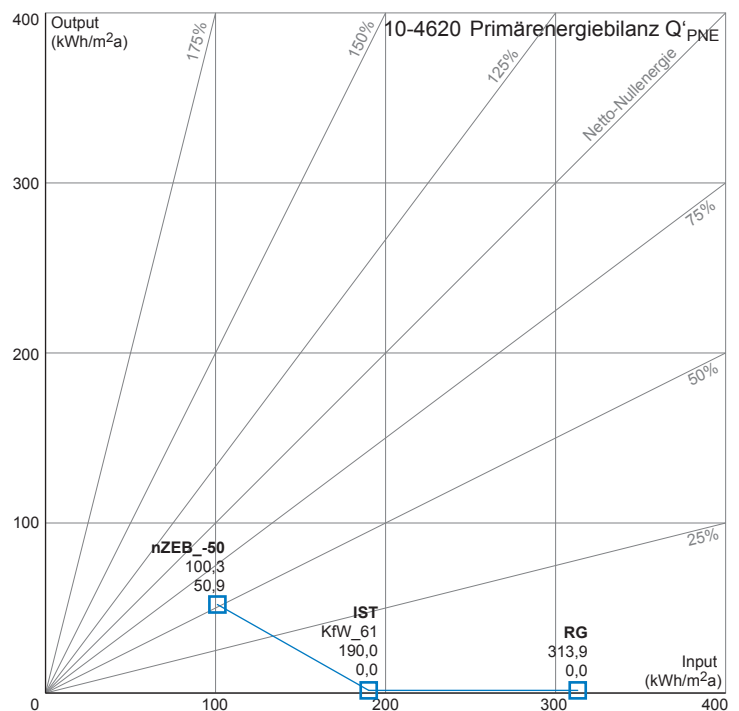


Abbildung 10-20: Input-Output-Bilanz der spezifischen Primärenergie der Case Study 10-4620 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021

Tabelle 10-10: Ergebnisübersicht Case Study 10-4620

Case Study	Input Q'_{PNE} (kWh/m²a)	Input Q'_{PNE} (% zu RG)	Output Q'_{PNE} (kWh/m²a)	Output Q'_{PNE} (% zu RG)
10-4620				
Referenzgebäude	313,9	100%	0,0	0%
IST	190,0	61%	0,0	0%
nZEB 2021	100,3	32%	50,9	51%

11.1	Gesamtergebnis	104
11.1.1	Übersicht	104
11.1.2	Input-Output-Bilanz	106
11.1.3	Fazit Gesamtergebnis	107
11.2	Ergebnisse je Kategorie	107
11.2.1	Kategorie 1000	107
11.2.2	Kategorie 2000	108
11.2.3	Kategorie 3000	108
11.2.4	Kategorie 4000	108
11.3	Anforderungsniveau eines Niedrigstenergiestandards	109
11.3.1	Niedrigstenergiestandard 2021	109
11.3.2	nZEB 2026, 2031, 2036 ...	110
11.3.3	Niedrigstenergiestandard für Bestandssanierungen	111
11.3.4	Nebenanforderungen für den Niedrigstenergiestandard	112
11.4	Risikoabschätzung für den Freistaat Bayern als Bauherr	112

Fazit Kapitel 11

Die konsequente Anwendung von marktüblichen Effizienztechnologien ermöglicht über alle Typologien hinweg einen energetischen Standard analog dem KfW Effizienzhaus 55 bezogen auf Q'_{PNE} . KfW 40 wird nur dann von allen Typologien erreicht, wenn man die Konsistenzmaßnahmen, also die EE-Erzeugung komplett anrechnen darf (Netto-Bilanz). Da nur zurückhaltende und standortunabhängige Annahmen getroffen wurden, kann das Ergebnis in Realität noch positiver ausfallen. In Relation schlechtere Ergebnisse weisen Typologien mit hohen Energiebedarfen und verdichteten Bauweisen auf. Diese kritischen Typologien haben einen sehr geringen Anteil am Gebäudebestand.

11.1 Gesamtergebnis

11.1.1 Übersicht

Abbildung 11-01 zeigt die Zusammenstellung der spezifischen Endenergiebedarfe, Abbildung 11-03 die spezifischen Primärenergiebedarfe der einzelnen Case Studies. Die Diagramme sind entsprechend der Energiebilanz ausgelegt. Energiebezug wird negativ abgebildet, EE-Erzeugung positiv. Eine positive Bilanz (Netto-Plusenergiegebäude) liegt somit oberhalb der Nulllinie. Die hellgrauen Säulen stellen das Ergebnis der Referenzgebäude nach EnEV 2009 dar, die

dunkelblauen Säulen den Energiebedarf des indizierten Standards nZEB 2021. Hellblau wird die EE-Erzeugung der Gebäude dargestellt. Die dritte Säule (dunkelgrau) ist das bilanzielle Ergebnis ohne Anrechnungsbegrenzung (Kapitel 09.3). In der gemäßigten Klimazone dominiert der Heizwärmebedarf der Gebäude. Die Bedarfe an Lüftungs-, Beleuchtungs- und Kühlenergie variieren je nach Nutzung des Nichtwohngebäudes. Hilfsenergien haben hier nur eine untergeordnete Bedeutung. Die genauere Analyse verschiedener Maßnahmen folgt in Teil drei der Arbeit anhand der Typologie Laborgebäude.

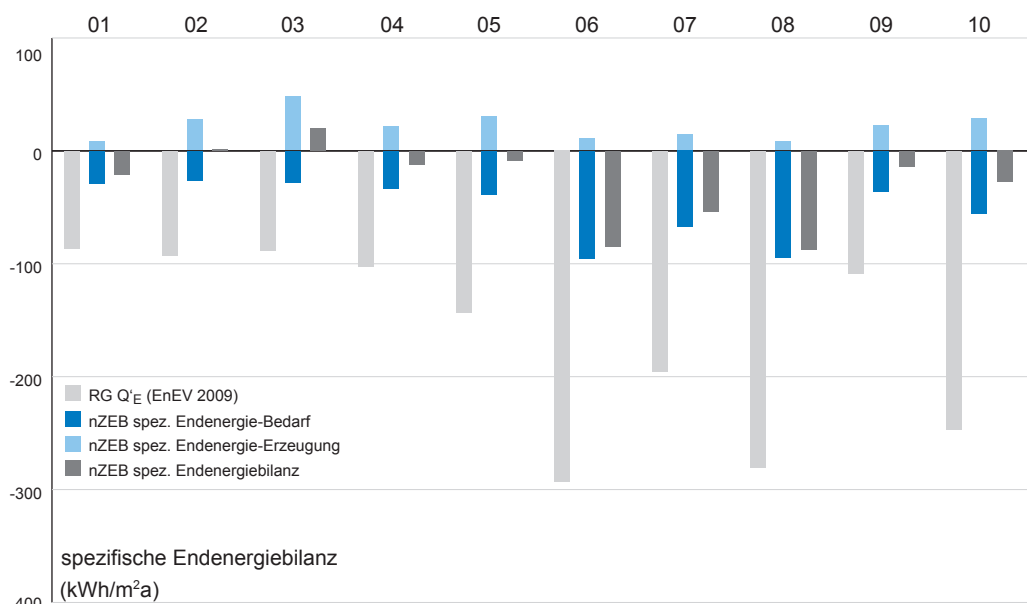


Abbildung 11-01:
Spezifische Endenergiebilanz der
Case Studies

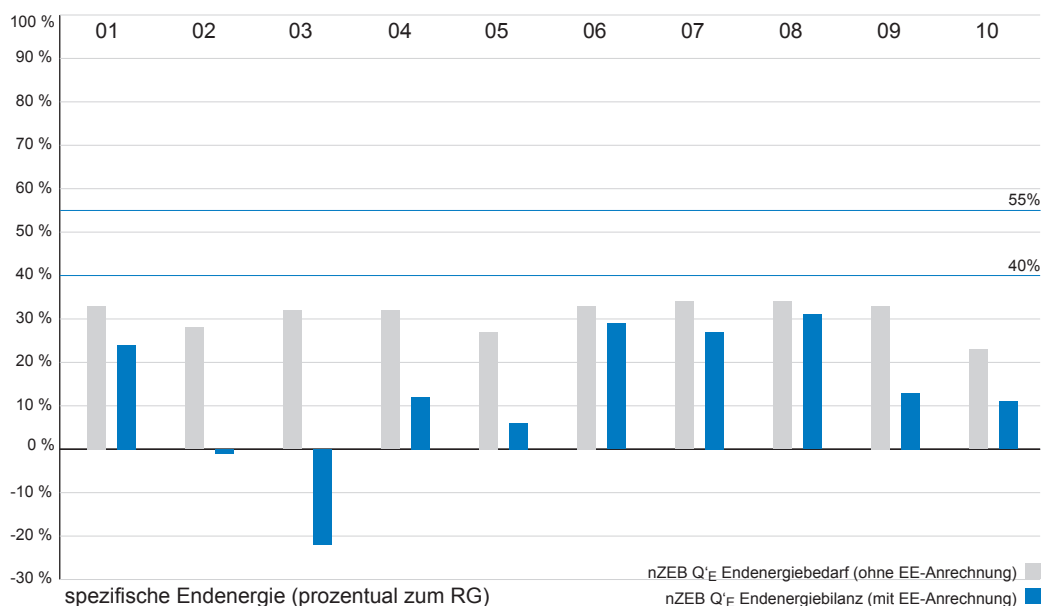


Abbildung 11-02:
Spezifische Endenergiebilanz
prozentual zum jeweiligen Referenzgebäude der Case Studies

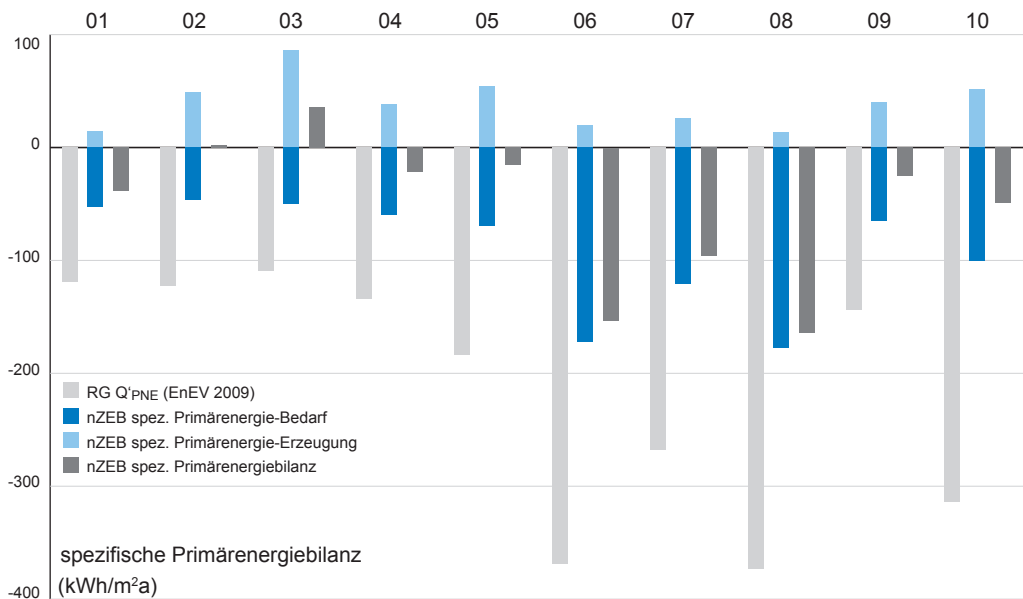


Abbildung 11-03: Spezifische Primärenergiebilanz der Case Studies

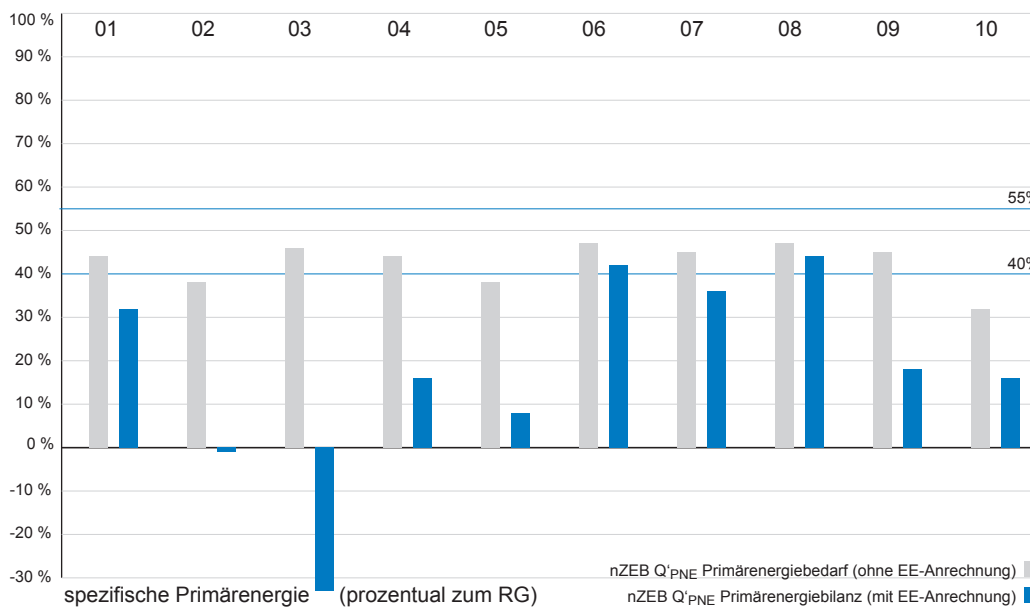


Abbildung 11-04: Spezifische Primärenergiebilanz prozentual zum jeweiligen Referenzgebäude der Case Studies

Abbildung 11-02 und Abbildung 11-04 setzen die Gesamtergebnisse in Beziehung zu den jeweiligen Werten der Referenzgebäude der Case Studies. Die Endenergiebedarfe liegen auch ohne Anrechnung der EE-Erzeugung durchgängig unter der Schwelle von 40% des zugehörigen RG. Das ändert sich bei der Betrachtung der nicht erneuerbaren Primärenergie. Viele Case Studies liegen hier zwischen 55% und 40%. Der Grund ist die gewählte Wärmepumpe für die Wärmeversorgung. Sie ist endenergetisch gut bewertet, da nur die tatsächliche Endenergie (kWh Strom) berechnet wird. Primärenergetisch wird dieser Strom mit $f_p=1,8$

multipliziert, die Wärmeversorgung des Referenzgebäudes mit $f_p=1,1$ (Gas). Das erhöht die prozentuale Primärenergiebilanz.

Will man beide Faktoren - Bedarfsdeckung (Input) und EE-Erzeugung (Output) - transparent darstellen, ist eine zweidimensionale Punktegrafik der eindimensionalen Säulengrafik vorzuziehen. Für die Diskussion der Gesamtbilanzen wird daher die zweidimensionale Darstellung der Input-Output-Bilanz verwendet, da man die Zusammenhänge zwischen Energiebezug und Energieerzeugung klarer darstellen kann.

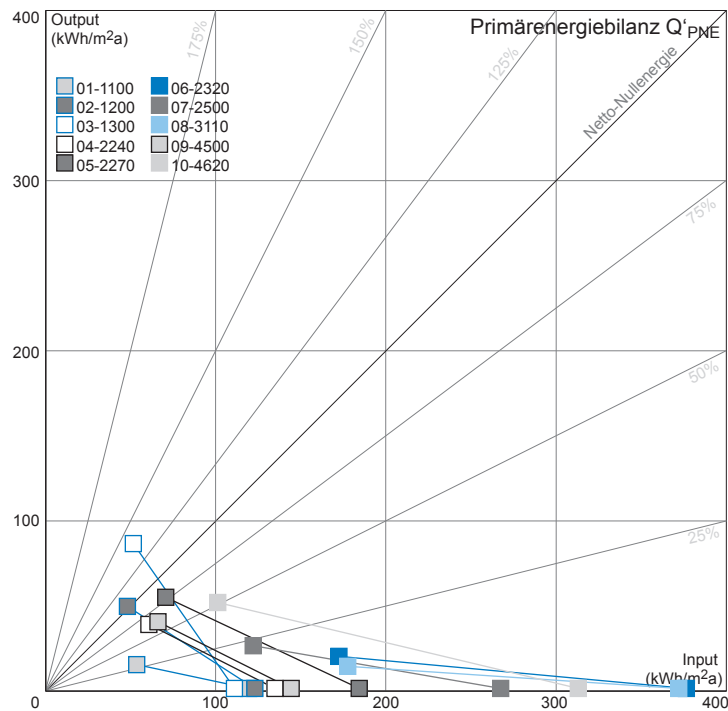


Abbildung 11-05: Ergebnisübersicht aller Case Studies – Input-Output-Bilanz (Q'_{PNE} (kWh/m²a)) in den energetischen Standards Referenzgebäude nach EnEV 2009 und nZEB 2021

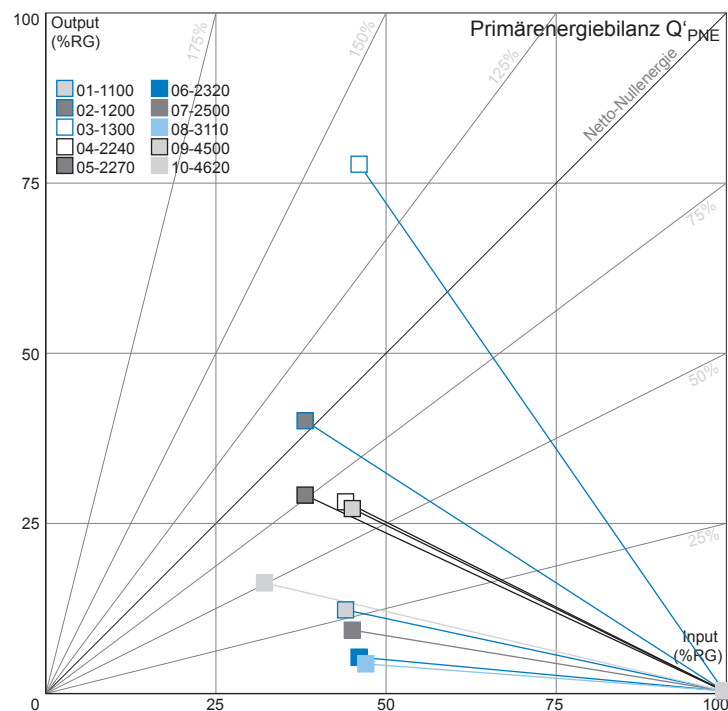


Abbildung 11-06: Ergebnisübersicht aller Case Studies – Input-Output-Bilanz (Q'_{PNE} (kWh/m²a)) prozentual zum Referenzgebäude (RG = 100%) in den energetischen Standards RG und nZEB 2021

11.1.2 Input-Output-Bilanz

In der Übersicht aller Datenreihen der zehn Case Studies (Abbildung 11-05) erkennt man zunächst die Differenzen zwischen den Einzelergebnissen. Je weiter der rechte Datenpunkt (Referenzgebäude nach EnEV) und der linke Datenpunkt (nZEB 2021) einer Reihe bezüglich der X-Achse auseinanderliegen, desto höher ist die absolute Reduktion des spezifischen Primärenergiebedarfs (Δx).

Die höchsten absoluten Bedarfsreduktionen des spezifischen Primärenergiebedarfs haben tendenziell die Gebäude mit hohem Bedarf in der Referenzausführung (i. d. R. Gebäude mit hohem Installationsgrad) und großen Volumina erzielt. Die drei besten Ergebnisse lauten:

- 10-4620 (Museumsgebäude) $\Delta x = 213,6$ kWh/m²a
- 06-2320 (Forschungsgeb.) $\Delta x = 205,8$ kWh/m²a
- 08-3110 (Krankenhaus) $\Delta x = 196,1$ kWh/m²a

Die geringste Reduktion betraf:

- 03-1340 (Büro- Verwaltung) $\Delta x = 59,9$ kWh/m²a

Für die Erzeugung von erneuerbaren Energien (Input) ist der Y-Wert bezeichnend. Die besten Ergebnisse lauten:

- 03-1340 (Büro- Verwaltung) $y = 85,8$ kWh/m²a
- 05-2270 (Institutsgebäude) $y = 54,0$ kWh/m²a
- 10-4620 (Museumsgebäude) $y = 50,9$ kWh/m²a
- 02-1200 (Büro- Verwaltung) $y = 48,6$ kWh/m²a

Allen Case Studies mit gutem Ergebnis ist gemein, dass sie eine Dachplanung aufweisen, die für die Nutzung von Solarenergie gut geeignet ist. Zudem liegen die Gebäude zwischen zwei und drei Nutzgeschossen (Case Study 10 in Teilen vier Geschosse). Case Study 03 nutzt auch ein gering temperiertes Nebengebäude zur Solarnutzung, daher ergibt sich ein solch hoher Einspeisewert. Die drei geringsten Überschüsse erzielen Case Study 01, 06 und 08 mit Werten zwischen 13,1 und 19,0 kWh/m²a. Einem geringen Solarpotential auf dem Dach stehen eine hohe Zahl an Nutzgeschossen (Case Study 01 mit sieben Nutzebenen) oder zusätzlich zu fünf bis sechs Geschossen ein hoher Energiebedarf (hoher Installationsgrad) gegenüber.

In Betrachtung der Input-Output-Bilanz erreichen drei von zehn Case Studies die 25% Deckungsrate nicht:

- 08-3110 (Krankenhaus) 7% Deckungsrate
- 06-2320 (Forschungsgeb.) 11% Deckungsrate
- 07-2500 (Laborgebäude) 21% Deckungsrate

Sieben Gebäude erreichen über 25%:

- 01-1100 (Büro-Verwaltung) 27% Deckungsrate

Sechs Gebäude erreichen über 50%:

- 10-4620 (Museumsgebäude) 51% Deckungsrate
- 09-4500 (Bibliothekengebäude) 61% Deckungsrate
- 04-2240 (Institutsgebäude) 64% Deckungsrate

Drei Gebäude erreichen über 75%:

- 05-2270 (Institutsgebäude) 78% Deckungsrate

Zwei Gebäude sind als Netto-Null- oder Netto-Plus-Energiegebäude zu sehen:

- 02-1200 (Büro-Verwaltung) 104% Deckungsrate
- 03-1300 (Büro-Verwaltung) 171% Deckungsrate

11.1.3 Fazit Gesamtergebnis

Unter den getroffenen Voraussetzungen der Studie erscheint es nicht realistisch, alle Neubauten im Nichtwohnbereich ab 2021 als Netto-Nullenergiegebäude zu errichten. Auch der Ausgleich über EE-Erzeugung ergibt keinen „ganz wesentlichen Teil“, wie es die EPBD 2010 fordert. Betrachtet man den relativen spezifischen Primärenergiebedarf, werden alle Gebäudetypologien in Bezug zu dem zugehörigen Referenzgebäude (= 100%) gesetzt (Abbildung 11-06). Das entspricht dem Referenzgebäudeverfahren zur energetischen Bewertung von Neubauten nach EnEV.

Hier zeigt sich, dass alle Fallbeispiele unterhalb von 55% des Bedarfs der Referenzgebäude liegen. Die schlechteste Case Study erreicht hier 48%. Drei Case Studies unterschreiten die 40% des Referenzbedarfs (32% und 38%). Die Mehrheit der Gebäude befindet sich zwischen 40% und 50% (44% - 48%).

Da in der Analyse Vereinfachungen und Verallgemeinerungen getroffen wurden, ist das Potential zur Reduzierung des Bedarfs und zur Optimierung der Energieerzeugung für das einzelne Objekt noch nicht ausgeschöpft. Es ist zu erwarten, dass unter Zuhilfenahme von regionalen Primärenergiefaktoren (z.B. Fernwärme mit KWK und Müllverbrennung) die 40% sogar ohne größeren Aufwand unterschritten werden könnten. Es ist zu befürchten, dass damit eher wieder Rückschritte in der energetischen Qualität

des Gebäudes einhergehen, um das „wirtschaftliche Optimum“ auszuschöpfen. Um dieser Befürchtung zu begegnen, werden später in diesem Kapitel noch die Nebenanforderungen zum spezifischen Primärenergiebedarf diskutiert.

11.2 Ergebnisse je Kategorie

11.2.1 Kategorie 1000

Die Typologie Büro- und Verwaltungsgebäude ist im Schnitt mit zwei und drei konditionierten Nutzgeschossen ausgestattet. Beide Case Studies mit diesen Eigenschaften liegen im Plusenergiebereich (Abbildung 11-07). Sie sind als unkritisch einzustufen. Lediglich Baukörper mit überdurchschnittlich hoher Anzahl an Nutzgeschossen erreichen diesen Standard nicht. Case Study 01 ist im baulichen Zusammenhang verschattet und zudem mit einer ungünstigen Dachplanung ausgestattet. Diese Situation ist typisch für verdichtete Innenstadtlagen, wenn auch eher mit Höhen bis vier Vollgeschossen (anstatt sieben Nutzgeschossen). Eine PV-Nutzung wird durch den baulichen Kontext auch an der Fassade erschwert. Diese Bauweisen sind nur schwer auf einen Netto-Nullenergie-Standard zu bringen und müssten einen Standard Niedrigstenergie eher über die Bedarfsreduktion der Primärenergie erreichen.

Abbildung 11-07:
Ergebnisübersicht Kategorie
1000 – Input-Output-Bilanz
(Q_{PNE} (kWh/m²a)) prozentual
zum Referenzgebäude (RG =
100%) in dem energetischen
Standard nZEB 2021

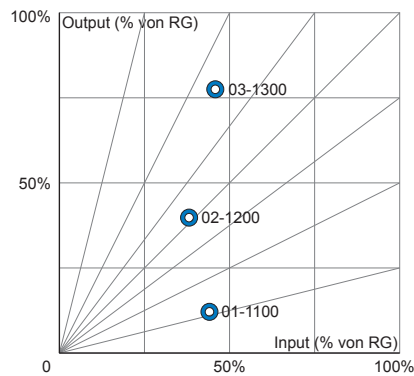


Abbildung 11-08:
Ergebnisübersicht Kategorie
2000 – Input-Output-Bilanz
(Q_{PNE} (kWh/m²a)) prozentual
zum Referenzgebäude (RG =
100%) in dem energetischen
Standard nZEB 2021

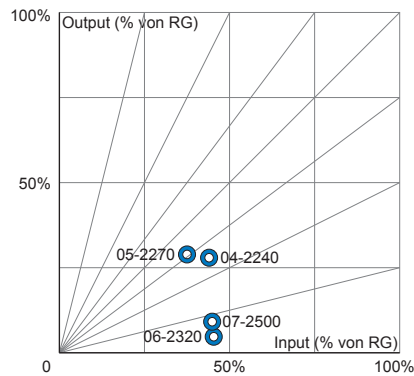


Abbildung 11-09:
Ergebnisübersicht Kategorie
3000 – Input-Output-Bilanz
(Q_{PNE} (kWh/m²a)) prozentual
zum Referenzgebäude (RG =
100%) in dem energetischen
Standard nZEB 2021

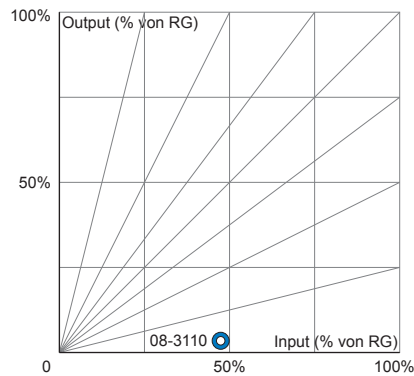
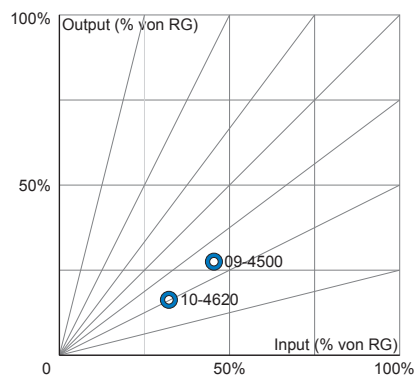


Abbildung 11-10:
Ergebnisübersicht Kategorie
4000 – Input-Output-Bilanz
(Q_{PNE} (kWh/m²a)) prozentual
zum Referenzgebäude (RG =
100%) in dem energetischen
Standard nZEB 2021



11.2.2 Kategorie 2000

In der Kategorie 2000 (Wissenschaft, Lehre und Forschung) erreicht keine Case Study Netto-Nullenergie (Abbildung 11-08). Es zeigt sich aber, dass Gebäude mit geringerer Anzahl an Nutzgeschossen (NG) und geringerem Installationsgrad (TA) die besten Ergebnisse erzielen (Case Study 05, 3 NG, 35 % TA). Sobald der Installationsgrad und/oder die Anzahl der Nutzgeschosse steigen, sinkt das Ergebnis für ein mögliches nZEB. Am schlechtesten schneidet Case Study 06 ab, das mit sechs Nutzgeschossen und 50% Installationsanteil die ungünstigsten Voraussetzungen hat.

11.2.3 Kategorie 3000

Kategorie 3000 ist mangels Daten nur mit einer Case Study 08 (5 NG, 51 % TA) vertreten (Abbildung 11-09). Für sie zeigt sich ein ähnliches Ergebnis wie in der Kategorie 2000 Case Study 06 und 07.

11.2.4 Kategorie 4000

Die Typologien der Kategorie 4000 sind hier nur durch einen Bibliotheksbau (Case Study 09) und einen Museumsbau (Case Study 10) vertreten (Abbildung 11-10). Das Bibliotheksgebäude weist eine überdurchschnittliche Geschossigkeit auf (5 NG statt 2,6 NG im Schnitt). Dennoch liegt mit einer Bilanz von 61 % Deckungsgrad ein gutes Gesamtergebnis vor. Der Museumsbau (10, 3,5 NG, 37 % TA) überrascht mit einem Deckungsgrad von über 50% und dem niedrigsten prozentualen Primärenergiebedarf im Vergleich zu dem Referenzgebäude. Es ist zu vermuten, dass der gute Solarertrag kontinuierlich in den Eigenbedarf fließen kann. Für Ausstellungsräume wird mit einer permanenten Kunstlichtversorgung gerechnet. Zudem benötigen die Klimasysteme eine kontinuierliche Stromzufuhr bei jeder Witterung. Am Beispiel Museumsgebäude sieht man sehr schön, wie sich die Eigenstromversorgung positiv auf das Ergebnis auswirken kann, ohne dass ein Netto-Nullenergiegebäude entsteht.

11.3 Anforderungsniveau eines Niedrigstenergiestandards

Will man den o.g. Ergebnissen Rechnung tragen und einen Zielbereich für einen Niedrigstenergiestandard für das Jahr 2021 vorschlagen, der einerseits die Erkenntnisse aus dem Stand der Wissenschaft berücksichtigt und andererseits die Ergebnisse der Studie zu verschiedenen Nichtwohngebäudetypologien integriert, sind folgende Punkte wichtig:

- Die eindimensionale Betrachtung von Bedarfen endet dort, wo Effizienzsteigerungen keine nennenswerten Reduktionen mehr ergeben. Ein wirkliches Nullenergiegebäude wäre nur mit energieautarken Gebäuden möglich.
- Die Netto-Bilanz aus Energiebezug (Input) und EE-Erzeugung (Output) ist eine Betrachtungsform, die den Übergang von Minus- zu Plus-Energiegebäuden ermöglicht (Zweidimensionaler Zielbereich).
- Es wäre daher sinnvoll, den Zielbereich für Niedrigstenergiegebäude in Bezug auf die beiden Parameter zu stufen. Als Maximum und Minimum werden die als sinnvoll erscheinenden Ergebnisse der Case Studies herangezogen.

Die Eigenverbrauchsrate von regenerativ erzeugtem Strom variiert je nach Gebäudetypologie stark. Typologien mit hohem Energiebedarf reduzieren mit Eigenstrom ihren Bedarf, Typologien mit geringeren Energiebedarf speisen vermehrt ins Netz ein. Im Sinne einer besseren Netzintegration von Gebäuden könnte man in Zukunft eine Eigenverbrauchsquote einführen, die je nach Gebäude die Integration von Speicherlösungen initiiert.

11.3.1 Niedrigstenergiestandard 2021

Für diese Arbeit wird ein möglicher Niedrigstenergiestandard über einen Zielbereich (nZEB 2021) im Input-Output-Diagramm definiert (Abbildung 11-11). Die zulässigen X-Werte (Input) werden von 40 % bis 55 % des RG in Abhängigkeit des Deckungsgrades durch den Output gestaffelt (x-Achse in Abbildung 11-11). 40 % werden als unterer Wert für den Input gewählt, da er für Gebäude ohne oder mit geringer Einspeisung (Deckung 0-25 %) einen ambitionierten Wert darstellt, der dennoch erreichbar ist. Aktuell werden bereits KfW Effizienzhäuser 40 errichtet. [BMVBS 2012b] schlägt diesen Standard auch als Hauptanforderung

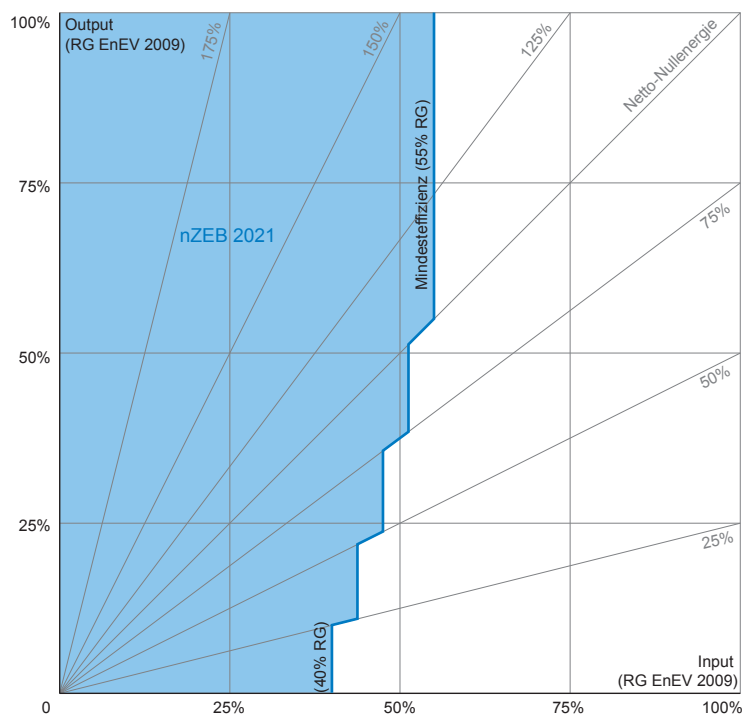


Abbildung 11-11: Input-Output-Bilanz (Q'PNE (kWh/m²a)) mit Referenzgebäude (RG = 100%) - Definition eines Zielbereichs für Niedrigstenergiegebäude (nZEB 2021)

für den Primärenergiebedarf von Neubauten ab 2021 für alle Typologien vor. Als obere Grenze für den Input werden 55 % vom RG gewählt, da ausnahmslos alle Typologien in der vorangegangenen Studie dieses Niveau weit überschritten haben. Auch die kritischen Typologien mit hohem Installationsgrad und hoher Anzahl an Nutzgeschossen haben diesen Standard übertroffen. Somit wird dieses Kriterium als Mindest-Effizienzstandard gewählt, auch wenn ein Gebäude in den Netto-Plusenergiebereich fällt. Nur über einen Mindeststandard kann erreicht werden, dass Neubauten wegen groß dimensionierter PV-Anlagen an der energetischen Performance von Gebäudehülle oder Gebäudetechnik zu sehr sparen. Zwischen 40 % und 55% Primärenergiebedarf relativ zum Referenzgebäude (x-Achse) wird die Anforderung gleichmäßig mit den 25 %-Schritten des Deckungsgrades mit erneuerbaren Energien (y-Achse) gestuft. Die gestufte Linie zwischen 40 % Input und 0 % Output sowie 55 % Input und 100 % Output stellt im gewählten System die Grenze zu einem Niedrigstenergiegebäude dar. Gebäude, deren Input-Output-Ergebnis links von dieser Grenze liegt (blaue Fläche in Abbildung 11-11), wären demnach als Niedrigstenergiegebäude zu definieren.

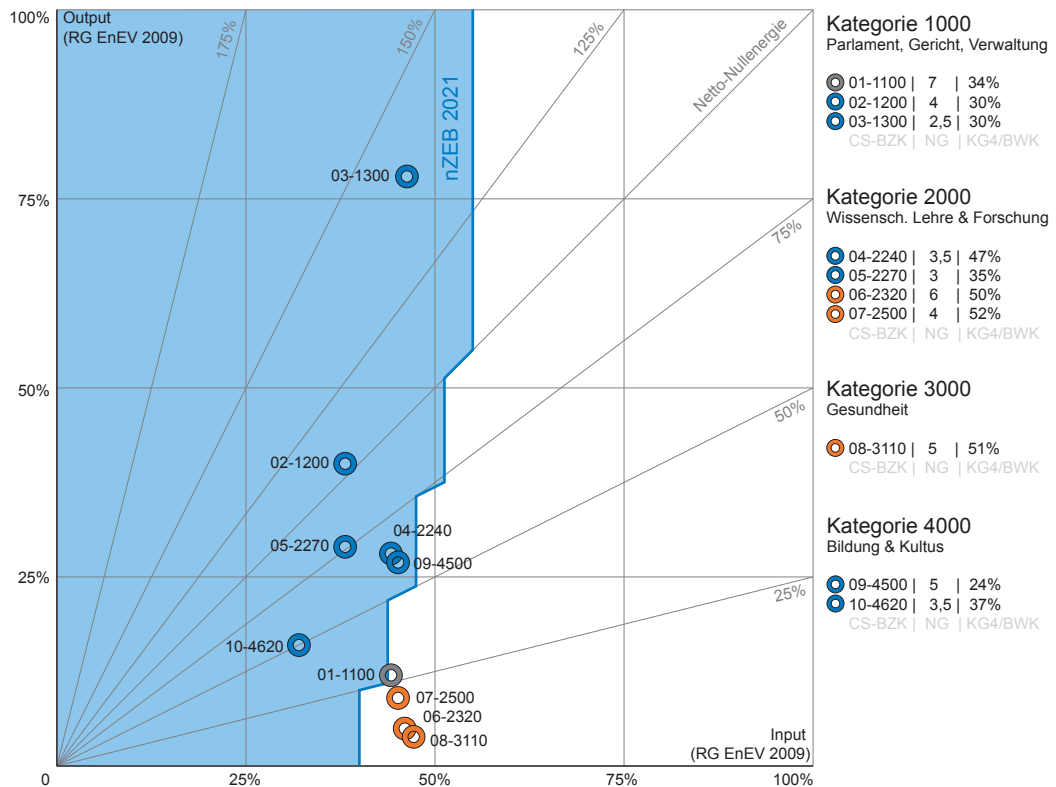


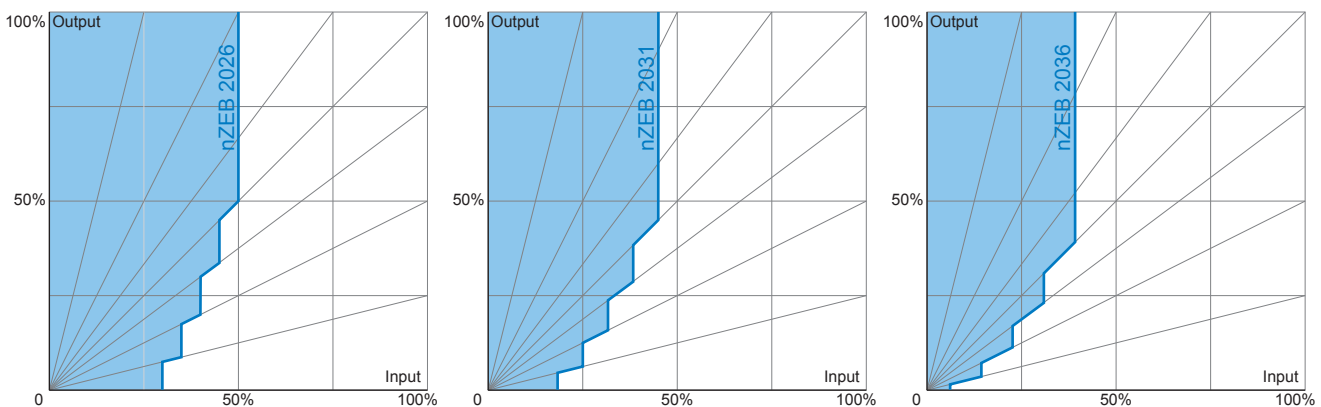
Abbildung 11-12:
Input-Output-Bilanz (Q'PNE
(kWh/m²a)) mit Referenzgebäude
(RG = 100%) - Ergebnisüber-
sicht der Case Studies für den
Standard nZEB 2021

Betrachtet man die Ergebnisse aller zehn Case Studies innerhalb dieser Definition (Abbildung 11-12), so würden sieben von zehn dieses Niveau erreichen. Die drei Projekte, die dieses Niveau nicht erreichen, haben als gemeinsame Eigenschaft einen sehr hohen Technikanteil von über 50% und vier oder mehr Nutzgeschosse. Ob die gewählte Definition für solche Gebäude unerreichbar ist, wird im dritten Teil dieser Arbeit untersucht und diskutiert.

Abbildung 11-13:
Input-Output-Bilanz (Q'PNE
(kWh/m²a)) mit Referenzgebäude
(RG = 100%) - konsekutive
Verschärfung des Anforderungs-
niveaus nZEB 2026, 2031 & 2036

11.3.2 nZEB 2026, 2031, 2036 ...

Auf Basis der gewählten Zieldefinition wäre eine Fortschreibung des Standards möglich. Bei hypothetisch angenommenen Fortschreibungszyklen von fünf Jahren könnten die Ober- und Untergrenze des zulässigen Inputs an Primärenergie schrittweise gesenkt werden. Abbildung 11-13 zeigt eine solche Option für die nächsten Fortschreibungsjahre 2026, 2031 und 2036. Man sieht, wie sich der zulässige Grenzbereich schrittweise der Netto-Nullenergiegrenze annähert.



11.3.4 Nebenanforderungen für den Niedrigstenergiestandard

Die EnEV fordert für Nichtwohngebäude in Nebenanforderungen Höchstwerte für den mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) der wärmeübertragenden Umfassungsflächen und Mindeststandards für den sommerlichen Wärmeschutz [EnEV 2013]. Durch die Begrenzung der U-Werte soll verhindert werden, dass Gebäude, die mit Energieträgern mit einem geringen Anteil an nicht erneuerbarer Energie versorgt werden (z.B. Holzpellet $f_p = 0,2$), durch einen sehr geringen Dämmstandard unnötig Heizenergie verschwenden, und dennoch die primärenergetischen Anforderungen erfüllen. [BMVBS 2012b, S. 47] fordert wegen der höheren Technologieoffenheit als Nebenanforderung den Endenergiebedarf anstelle maximaler U-Werte. Auch der Effizienzhaus-Plus-Standard fordert neben der positiven Primärenergiebilanz auch die positive Endenergiebilanz. Diese Festlegung ist in der Realität weniger technologieoffen, als [BMVBS 2012b] vermuten lässt. Die Studie [Erhorn et al. 2014] zeigt, dass über 85 % der Projekte auf Wärmepumpen setzen, ein großer Anteil davon auf weniger effiziente Außenluft-Wärmepumpen. Durch die Wahl des Wärmeerzeugers auf Sole-Wasser-Wärmepumpen und den hohen Standard für Gebäudehülle und Lüftungsanlage für den indizierten nZEB-Standard ist der Endenergiebedarf durchgängig unter 40 % des Bedarfs des Referenzgebäudes (23 % bis 34 %). Bei Anrechnung des erzeugten Stroms liegen die Bilanzergebnisse regelmäßig unter 30 % (-22 % bis 31 %). Der spezifische Primärenergiebedarf der Case Studies ist unter den Punkten 11.1 und 11.2 dieses Kapitels bereits diskutiert worden.

Der sommerliche Wärmeschutz hat seine Berechtigung insbesondere durch die bereits eingetretenen und zu erwartenden klimatischen Veränderungen. Durch den Anstieg der durchschnittlichen Jahrestemperatur wird die Kühllast in den Gebäuden steigen. Jede Kilowattstunde Kälte benötigt in der Erzeugung dreimal so viel Energie wie eine Kilowattstunde Wärmeleistung. Umso wichtiger ist es daher, Überhitzungen durch passive Maßnahmen entgegenzutreten. Die aktive Kühlung durch Kühltechnik muss die letzte Alternative in begründeten Ausnahmefällen bleiben. Auf diesen Punkt wird im nächsten Kapitel der Arbeit näher eingegangen.

Ziel der Arbeit ist, die Energiebedarfe für den Betrieb der zukünftigen Gebäude zu untersuchen und durch Empfehlungen für ein künftiges Anforderungsniveau zu diskutieren. Als Indikator wurde der nicht erneuerbare Anteil der Primärenergie festgelegt. Die Frage nach den Vor- und Nachteilen verschiedener Nebenanforderungen bedarf weiterer Forschungsarbeit und kann hier nicht beantwortet werden. Dennoch erscheint es sinnvoll, über Nebenanforderungen „vermeintliche Schlupflöcher“ in der energetischen Bilanz zu verhindern. Diese Nebenanforderungen müssen parallel zu den Hauptanforderungen schrittweise verschärft werden. Nebenanforderungen sollten die Notwendigkeiten der zukünftigen Energieversorgung berücksichtigen und über den Sektor Gebäude hinaussehen.

11.4 Risikoabschätzung für den Freistaat Bayern als Bauherr

Nimmt man den Technikanteil und die Anzahl der Nutzgeschosse als Kriterium für eine Kritikalitätsbeurteilung für das Gebäudeportfolio des Freistaats Bayern, so ist eine Abschätzung der Anzahl kritischer Gebäude möglich. Weder die Auswahl der Kriterien noch die Auswertung erfüllen hierbei wissenschaftliche Standards einer statistischen Studie. Dennoch ist diese Abschätzung ein Indikator für die Anzahl der möglichen Neubauten ab 2021, die die selbstgewählte Performance nicht erreichen könnten. Nimmt man die Anzahl der Gebäude je Typologie als Referenz für die Bautätigkeit, so könnte man einschätzen, wie viele Neubauten ab 2021 in Bezug auf den untersuchten Niedrigstenergiestandard als herausfordernd und kritisch zu bewerten sind. Diese Betrachtungsweise setzt eine gleichbleibende Lebensdauer aller Gebäudetypen und deren gleichartigen Ersatz durch Neubauten voraus.

Tabelle 11-01 zeigt die Anzahl der jeweiligen Gebäude für beide Kriterien. Demnach wären 86,8% der Neubauten ab 2021 als unkritisch und machbar einzustufen, 8,4% der Neubauten wären herausfordernd (Abbildung 11-15). Nur 2,3% aller Neubauten wären kritisch und sehr kritisch einzuschätzen. Zu diesem

Anteil gehören auch alle drei Case Studies (06, 07 und 08), die den definierten Niedrigstenergiestandard nicht erreicht haben.

Ist in Zukunft ein energetischer Standard für alle Neubauten noch sinnvoll?

Die wenigen Neubauten, die den gewählten Standard nicht erfüllen, sollten nicht als Begründung herangezogen werden, das künftige Anforderungsniveau für Neubauten weniger ambitioniert zu gestalten. Betrachtet man ihren Anteil am gesamten Neubauvolumen, würde man ein großes energetisches Potential der großen Mehrheit der Neubauten ungenutzt lassen. Das wäre ein Rückschlag auf dem Weg in Richtung klimaneutraler Gebäudebestand.

Vielmehr sollte man zukünftig auf eine differenzierte Betrachtung von Neubauten setzen. Weicht ein Gebäude in seiner Charakteristik weit von den Standardbauten Wohn- und Bürogebäude ab, sollten die gesetzlichen Vorgaben eine alternierende Betrachtung des Energiestandards ermöglichen. Ein Beispiel untersucht Teil III dieser Arbeit.

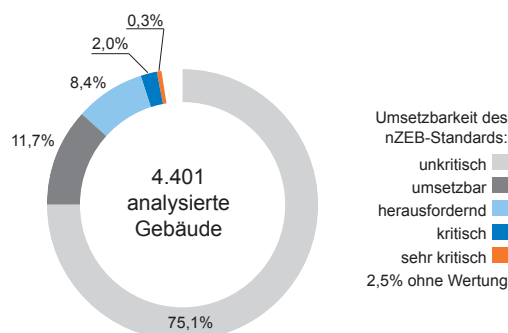


Abbildung 11-15: Risikoabschätzung Liegen-schaftsbestand Freistaat Bayern in Bezug zum definierten Niedrigstenergiestandard nZEB 2021

Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Gebietskörperschaften

Die aus der Fachdatenbank Hochbau ermittelten Charakteristika der einzelnen Hochbautypologien werden durch Erhebungen des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung bestätigt [BMVBS 2013, 28-29]. Der analysierte Gebäudebestand stellt damit kein bayerisches Spezifikum dar. Die Ergebnisse der einzelnen Typologien in der Risikoabschätzung sind somit auf andere Gebietskörperschaften übertragbar.

BZK	KG4/BWK	Nutzgeschosse ≤ 3 (+)	Nutzgeschosse = 4–5 (0)	Nutzgeschosse ≥ 6 (-)
	Prozent	Anzahl Gebäude	Anzahl Gebäude	Anzahl Gebäude
1000	20,0% (+)	1.126	211	55
2100	25,0% (+)	87	16	10
2210	28,0% (+)	152	60	17
2220	27,0% (+)	30	4	0
2230	33,0% (+)	13	2	2
2240	33,0% (+)	57	36	7
2250	36,0% (0)	19	5	3
2260	39,0% (0)	32	9	2
2270	28,0% (+)	0	0	0
2280	41,0% (-)	57	29	1
2310	44,0% (-)	35	3	0
2320	52,0% (-)	1	0	0
2400	49,0% (-)	54	7	1
2500	52,0% (-)	30	5	0
3100	50,0% (-)	59	38	10
3200	40,0% (-)	5	0	0
other 3000	30,0% (+)	18	5	0
4000	26,0% (+)	273	51	11
5000	21,0% (+)	66	0	0
6000	25,2% (+)	510	73	13
7000	25,5% (+)	971	4	1

Tabelle 11-01: Risikoabschätzung mit den Kriterien Technikanteil (KG4/BWK) und Anzahl der Nutzgeschosse am Beispiel der Analysedaten FDH Bayern

Niedrigstenergie-Laborgebäude (nZELab)

12.1	Geschichte	118
12.2	Eingrenzung und Differenzierung	119
12.3	Moderne Forschungs- und Laborgebäude	120
12.4	Vom Bedarf zum Gebäude	122
12.4.1	Gebäudekonzeption	122
12.4.2	Gebäudestruktur / -zonierung	122
12.4.3	Schutzstufen	123
12.4.4	Gefährdungsbeurteilung	124
12.5	Technische Gebäudeausstattung	125
12.5.1	Raumluftechnik	125
12.5.2	Wärmeversorgung	125
12.5.3	Kälteversorgung	126
12.5.4	Beleuchtung	126
12.5.5	Informationstechnologie	126
12.5.6	Medienversorgung	126

Fazit Kapitel 12

Die extreme Heterogenität der Typologie „Laborgebäude“ lässt keine Aussagen zu, die für alle Laborgebäude gelten können. Dennoch kann man auf Grundlage der Literaturrecherche generische Laborzonen entwickeln, die Rückschlüsse für eine Vielzahl an Laborgebäuden ermöglichen.



Abbildung 12-01:
Nachgebildeter Arbeitsraum des Philosophen, Arztes und Chemikers
Andreas Libavius (1555–1616) im Historiengewölbe im Rathaus von
Rothenburg ob der Tauber [Loebe 2010]

12.1 Geschichte

Der lateinische Begriff „labor“ bedeutet Anstrengung, Mühe oder Arbeit. In der frühen Neuzeit wurde der Begriff Laboratorium auch noch mit einer Tätigkeit oder Aufgabe verbunden. Erst Mitte des 15. Jahrhunderts wird ein Laboratorium als Raum verstanden, ähnlich einer Werkstatt. Zu dieser Zeit sind z.B. auch Scriptorium (Schreibsaal) oder Dormitorium (Schlafsaal) als Raumbezeichnung gebräuchlich.

Abbildung 12-02:
Laboratorium von Justus Liebig
(1803–1873) an der Universität
Gießen um 1840 (Zeichnung
von Wilhelm Trautschold)
[Trautschold 1841]



Justus Liebig's chemisches Laboratorium auf dem Settersberg zu Gießen um das Jahr 1840.
(Gebaut vom Universitäts-Baumeister Solmann im Herbst 1839.)

Im 16. Jahrhundert wird der Begriff für die Arbeitsräume von Alchemisten, Apothekern und Metallurgen gebräuchlich. Die Affinität zur materiellen Wissensgewinnung stellt sie in eine Reihe mit den Botanischen Gärten, Kuriositätenkabinetten oder Anatomischen Anstalten, den Wissensräumen dieser Zeit. Dennoch sind schon zu dieser Zeit wesentliche Merkmale moderner Labore erkennbar. Abbildung 12-01 zeigt die Nachbildung eines Laboratoriums aus dem frühen 16. Jahrhundert. Erkennbar sind der Labortisch mit Regalen links, der Schreibarbeitsplatz am Fenster (Mitte) und der Abzug für Arbeiten mit gesundheitsgefährdenden Stoffen (rechts). Lesen und Schreiben werden mit dem handwerklichen Handeln vereint. Das Laboratorium bewegt sich weg von der Werkstatt hin zu einem Ort der Wissensgewinnung. Die entstehende chemische Wissenschaft im 18. Jahrhundert macht sich das Labor zu eigen. Im 19. Jahrhundert ist es auch die Chemie, die in vielen neuen Universitäten im deutschsprachigen Raum die ersten eigenen Laboratoriums-Gebäude hervorbringt. Diese Archetypen des Laborgebäudes prägen bis heute die typischen Raumprogramme akademischer Laborgebäude. Abbildung 12-02 zeigt Justus Liebig's chemisch-analytisches Labor um 1840. Zu erkennen sind bereits fest eingebaute Abzüge mit Schiebern aus Glas im Hintergrund. Arbeitstische werden mit einem bestimmten Abstand (Bewegungszone) im Raum freigestellt. Das Labor wird zum Arbeits-, Kommunikations- und Diskussionsraum. Andere Disziplinen folgen der Chemie. Im 19. Jahrhundert differenzieren sich Labor für Chemie, Physik und Biologie. Sie sind bis heute die Hauptgruppen unter den Labordisziplinen. Ende des 19. Jahrhunderts beginnen Industrieunternehmen Labore zu errichten. BASF, Hoechst oder Bayer in Deutschland, Eastman Kodak oder GE in den USA versuchen durch anwendungsorientierte Wissenschaft einen wirtschaftlichen Vorteil zu erlangen. Die größten Laborzentren entstehen im 20. Jahrhundert im Zusammenhang mit den beiden Weltkriegen zur Entwicklung von Massenvernichtungswaffen. [Schmidgen 2011] 1963 eröffnet das Salk Institute for Biological Studies in La Jolla in Kalifornien, entworfen von Louis Kahn (Abbildung 12-03). Es stellt in architektonischer Hinsicht einen Meilenstein im Instituts- und Laborbau dar.



12.2 Eingrenzung und Differenzierung

Abbildung 12-03:
Salk Institute for Biological
Studies in La Jolla in Kalifornien
[Taellious 2008]

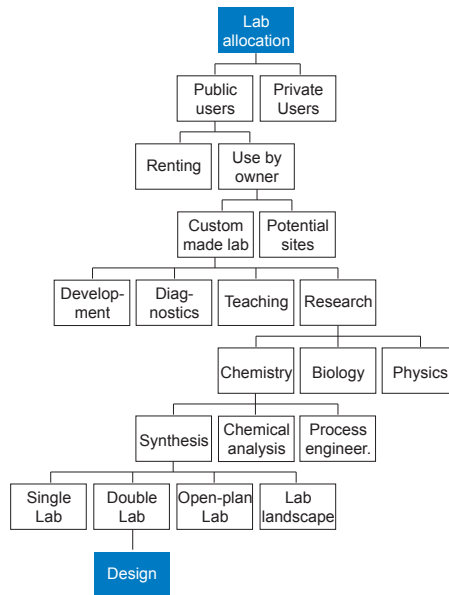
Die Arbeit beschäftigt sich mit den Laboren im direkten Sinn der Laborbaurichtlinie [DGUV-213-850 2015]. Damit sind Labore erfasst, in welchen mit Gefahrstoffen umgegangen wird [TRGS-526 2008]. Der Umgang mit diesen gesundheitsgefährdenden Stoffen erfordert energieintensive Sicherheitsausstattungen, die im Fokus der Arbeit stehen. Da der Begriff Labor vermehrt für andere Nutzungen gebraucht wird (z.B. Denklabor, Schlaflabor, Kreativlabor usw.) ist es wichtig, festzustellen, dass solche Bezeichnungen nicht Gegenstand der Betrachtung sind (vgl. Kapitel 12.1).

Biologie, Chemie und Physik sind die klassischen wissenschaftlichen Disziplinen, die Labore als Arbeitsräume nutzen. Sie unterscheiden sich zwar in den Schwerpunkten der Arbeitsweisen, dennoch gibt es keine absoluten Ausstattungsmerkmale der jeweiligen Labore. Man unterscheidet die Labore vielmehr nach der Arbeitsweise der Forschung, die in Ihnen angewendet wird [Cordes et al. 2007]:

- chemisch-nasspräparativ (Umgang mit aggressiven Chemikalien)
- molekularbiologisch-nasspräparativ (Lösungen mit Zellkulturen)
- geräteintensiv (z.B. Laser, Massenspektroskopie)
- computerbezogen bzw. theoretisch-deduktiv

Die Arbeiten in chemisch-nasspräparativen Laboren zeichnen sich durch den häufigen Umgang mit Gefahrstoffen aus. Die hohe Ausstattung dieser Labore mit Abzügen und Sicherheitsschränken zum Umgang mit diesen Stoffen ist deren Hauptcharakteristikum. Molekularbiologisch-nasspräparative Arbeiten erfolgen in der Regel mit wässrigen Lösungen mit Zellkulturen, die nicht als Gefahrstoffe gelten. Die Arbeiten finden daher auf den Labortischen und in Sicherheitswerkbanken (Glove-Box) statt. Die Ausstattung mit Abzügen ist geringer als in chemisch-nasspräparativen Laboren, dafür werden die Laborflächen mit mehr Personen (Experimentatoren) belegt. Labore für geräteintensive Arbeiten werden im Rauml原因 von den Gerätschaften (z.B. Lasertische) bestimmt. Labortisch und Abzüge können auch in diesen Laboren zum Einsatz kommen, die Einrichtungsvarianten sind jedoch weniger standardisiert als bei den beiden erstgenannten Arbeitsweisen. Häufig werden gemeinschaftlich genutzte Großgeräte in Speziallaboren untergebracht. Der Flächenanteil dieser Labore ist in [Cordes et al. 2007] für Forschungszentren mit unter 20% angegeben. Computerbezogene bzw. theoretisch-deduktive Arbeiten erfordern vollwertige Büroarbeitsplätze. Diese Arbeiten können auch außerhalb von Laborzonen stattfinden.

Abbildung 12-04: Entscheidungsbaum zur Bedarfsfindung am Beispiel eines chemischen Syntheselabors [Heinekamp 2015a]



Wie vielfältig Labore sein können, verdeutlicht Abbildung 12-04. Hier ist ein Entscheidungsbaum für ein selbstgenutztes, öffentliches Syntheselabor beispielhaft dargestellt. Acht Entscheidungsebenen legen das konkrete Laborlayout fest. Um die vorliegende Arbeit in einem bearbeitbaren Rahmen zu halten, müssen im Folgenden Festlegungen über den Untersuchungsrahmen getroffen werden. Die nähere Betrachtung der Spezifika von Laborgebäuden erfolgt daher immer unter der Prämisse, die wesentlichen Kriterien für den Energieverbrauch der Laborgebäude zu identifizieren. Die folgenden Ausführungen haben daher nicht zum Ziel, Laborgebäude in ihrer vollumfänglichen Gesamtheit zu erklären, sondern den Untersuchungsrahmen einzugrenzen.



Abbildung 12-05: Nutzungsneutrale Forschungsflächen zeigen sich in neutralen und modularen Fassaden. Diese Fassadengestaltung erlaubt eine Vielzahl an unterschiedlichen Räumen [Heddergott 2017]

12.3 Moderne Forschungs- und Laborgebäude

Die Komplexität gesellschaftlicher Fragestellungen erfordert vermehrt interdisziplinäres Arbeiten in der Forschung. Das bringt neue Kooperationen und neue Disziplinen in die Schnittfelder der klassischen Wissenschaften und erhöht den Bedarf an nutzungsneutralen Forschungsflächen (Abbildung 12-05). Dieses Zusammenwirken verschiedener Disziplinen ermöglicht eine praxisnahe Beantwortung oben genannter Fragestellungen. Sollen diese Forschungszusammenschlüsse in einem Gebäude manifestiert werden, sind die Anforderungen an seine Flexibilität und Leistungsfähigkeit ungleich höher. [Cordes et al. 2007]



Abbildung 12-06: Erschließung als Zentrum der informellen Kommunikation im interdisziplinären Krebsforschungszentrum TranslaTUM; Architekten: doranth post, München

Formelle und informelle Kommunikation

Forscher priorisieren gut dimensionierte Labor- und Büroflächen, die durch Raumangebote zur Kommunikation ergänzt werden und einen formellen und informellen Austausch ermöglichen. Formelle Kommunikation benötigt Besprechungs- und Konferenzräume. Die informelle Kommunikation ist vielschichtiger und findet in allen angebotenen Räumen statt. Der Wunsch nach einem Tischkicker im Forschungsgebäude ist letztlich ein Wunsch nach Angeboten zur informellen Kommunikation. Diese Angebote werden mit zunehmender Interdisziplinarität immer wichtiger. Das Raumangebot muss dabei dem Forscher dienen, nicht der alleinigen Repräsentation. [Hammes 2015]



Abbildung 12-07: Informelle Aufenthaltsbereiche (Teeküchen und Sitzgruppen) an zentralen Punkten im Krebsforschungszentrum TranslaTUM; Architekten: doranth post, München

Raumtypen

Eine Studie über den Raumbedarf von Forschern teilt die Funktionen, die ein Forschungsgebäude beinhaltet, in drei Hauptgruppen ein [Chang 2016].

Act: Laborflächen (inklusive Tierhaltungsräumen und Gewächshäusern) sind nach wie vor die wichtigsten Bestandteile von Forschungsgebäuden der klassischen Disziplinen Chemie, Biologie und Physik sowie deren artverwandten Forschungsbereiche. Sie ermöglichen in Forschungsgebäuden den Umgang mit Stoffen, deren Gebrauch außerhalb von Laboren nicht zulässig ist. Die dafür erforderliche Sicherheitsausstattung macht Labore teuer in der Errichtung und energieintensiv im Unterhalt. Die Labore werden immer von Serviceflächen begleitet, die zentrale oder dezentrale Funktionen beinhalten. Hierzu gehören z.B. Spülküchen, Autoklaventräume, Abfüllräume oder Wägeräume. Sie müssen je nach Funktion und Stoffumgang installiert werden und können daher ähnlich einem Labor ausgestattet sein (hoher Luftwechsel).

Think: Schreibarbeitsplätze sind der zweite wesentliche Bestandteil von Forschungsgebäuden. Sie werden regelmäßig in unterschiedlichen Raumqualitäten angeboten. In klassischen Laboren werden Schreibarbeitsplätze zu Dokumentations- und Auswertearbeit im Labor angeordnet. Sie dienen der kurzzeitigen

Schreibarbeit (IT-Arbeitsplatz). Eine ausgeprägte Dokumentenlagerung ist nicht erforderlich. Vollwertige Schreibarbeitsplätze bieten klassische Büroflächen für die dauerhaften Mitarbeiter, die sich nicht von gewöhnlichen Büroflächen unterscheiden müssen. Um Fläche zu sparen, werden gerade im universitären Umfeld Mischformen für Mitarbeiter mit begrenzter Verweildauer angeboten: Schreibarbeitsplätze außerhalb der Labore mit reduzierten Platzangebot. Sonderformen wie Denkkzellen und Carrels (Lesezellen) in Bibliotheken ergänzen die Flächen für theoretisches Arbeiten.

Interact: Für formellen Austausch werden Besprechungs- und Seminarräume sowie Konferenz- und Hörsäle vorgesehen. Das Angebot für den informellen Austausch ist stark entwurfsabhängig. Zentrale Kaffees und dezentrale Teeküchen gehören regelmäßig zum Raumprogramm. Eine kommunikationsfördernde Erschließung mit informellen Sitzangeboten ist für heutige Forschungsgebäude nicht ungewöhnlich (Abbildung 12-06 & 07). Ebenso der Wunsch der Nutzer nach Flächen für Leisure-Angebote wie Sofaecken oder Flächen für spontane Aktivitäten außerhalb der Arbeit. Das Gebäude soll nicht nur die Arbeitseffektivität, sondern auch die Arbeitskreativität unterstützen. Abbildung 12-08 zeigt eine Auswertung von neun Forschungsgebäuden mit den Schwerpunkten in nasspräparativen Arbeiten (Chemie & Biologie). Der Nutzflächenanteil (NF 1-6) der Labore überwiegt mit ca. 50 % der Fläche. Über 30 % wird mit Büro- und Verwaltungsnutzung belegt. Seminarflächen, Hörsäle und Bibliotheken stellen die kleinste Gruppe mit ca. 5 %. Auxilliarräume (Lager, Service, Infrastruktur) belegen in dieser Aufstellung 14 % der Nutzfläche.

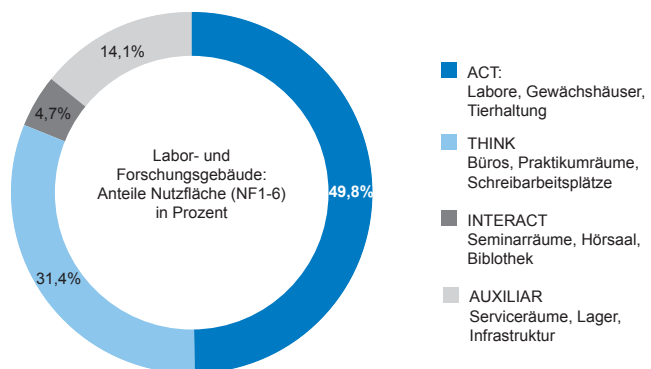


Abbildung 12-08: Anteile der Nutzflächen (1-6 nach DIN 277) für die Raumgruppen Act, Think, Interact und Auxilliar [Cordes et al. 2007, 19]

12.4 Vom Bedarf zum Gebäude

Viele Spezialräume erfordern in Forschungsgebäuden eine bedarfsgerechte Planung. Wiederkehrende Standards dienen als Richtschnur und werden im Einzelfall für das konkrete Vorhaben angepasst. Extrem spezifisch gebaute Gebäude bergen die Gefahr, dass sie bei geänderter Nutzung angepasst werden müssen. Die Gebäudetechnik macht Änderungen aufwändig und kostenintensiv. [Lüdi 2015] Zwischen der Bedarfsermittlung und der Nutzungsaufnahme bei Forschungsgebäuden liegen mehrere Jahre, die für Planung und Bau benötigt werden. Nicht selten wechseln die Forscher in dieser Zeit oder sind zu Beginn nicht bekannt und können ihre Vorstellungen nicht äußern. Die Größen der einzelnen Organisationseinheiten variieren mit zeitlich befristeten Projekten. Es ist daher empfehlenswert, robuste Zonierungskonzepte aufzustellen. Den Forschern sollen Funktionen zugesprochen werden, keine Raumgruppen, die nach dem Motto „my home is my castle“ verteidigt werden. Ändert sich die Größe einer Einheit, wird der Platzbedarf angepasst. Für eine Kernbesetzung einer Organisationseinheit sollten feste Räume definiert werden, um eine Adressbildung zu haben. Alle weiteren Räume sind nutzungsneutral und variabel verteilbar zu gestalten. [Cordes et al. 2007]

12.4.1 Gebäudekonzeption

Für Laborgebäude der Wissenschaft besteht eine hohe Anforderung an die Funktion. Es gilt, einem zum Zeitpunkt der Planung bestehenden Bedarf möglichst umfassend gerecht zu werden. Gleichzeitig muss das Gebäude Änderungen in der Nutzung möglichst einfach ermöglichen. Diese Anpassungsfähigkeit ist Teil eines robusten Gebäudekonzeptes. Gleichzeitig ist die Wirtschaftlichkeit der Gebäude bei Bau und Unterhalt zu berücksichtigen. Jede Übererfüllung der notwendigen Funktion (z. B. Raumprogramm) bringt unnötige Folgekosten mit sich. Eine Kosten-Nutzen-Optimierung beinhaltet daher immer eine bedarfsgerechte Erfassung der notwendigen Nutzung, eine robuste Gebäudeplanung, die Nutzungsänderungen mit vertretbarem Aufwand ermöglicht (Redundanz, Struktur, additive Systeme, usw.), und eine Vermeidung von unnötigen Vorhaltungen (z.B. Angstreiserven). Diese Anforderungen machen Laborgebäude neben der hohen technischen Ausstattung planerisch anspruchsvoll.

12.4.2 Gebäudestruktur / -zonierung

Laborgebäude setzen sich regelmäßig aus den o.g. Raumtypen zusammen. Jeder Raumtyp hat eigene Anforderungen an die Grundrissgeometrie (Achsbreiten, Raumtiefen), die Raumhöhen (lichte Raumhöhe und Installationszone) und die Anbindung an die Infrastruktur des Gebäudes (Installationsschächte, Fluchtwege, Serviceflächen, usw.).

Ein klassisches Labor baut auf einem Ausbauraster auf, das die Anforderungen an die Arbeitssicherheit (Bedienflächen und Verkehrsweg zwischen Laborzeilen nach DIN EN 14056) erfüllt. Die Maßvorgaben der DIN ergeben eine Breite von 3,25 Meter für zwei Labortische und Bewegungs- und Arbeitsflächen (Abbildung 12-09). Addiert man Zwischenwände und Installationsfläche ergibt sich ein praxiserichtiges Ausbauraster von mindestens 1,15 Meter mit einem konstruktiven Raster von 3,45 Meter bzw. 6,90 Meter als Stützweiten. Die Gebäudetiefen sind abhängig von der Anordnung der Schreibarbeitsplätze im Labor, der Gebäudezonierung der Nutzflächen (Labor, Büro) und der Serviceflächen (Dunkelräume) und der Wahl der Erschließungssysteme (Abbildung 12-10). Die Tiefen der Laborzonen variieren je nach Konzept zwischen 6,90 Meter und 13,0 Meter. Laborgebäude gehören daher zu einer Typologie mit größeren Gebäudetiefen.

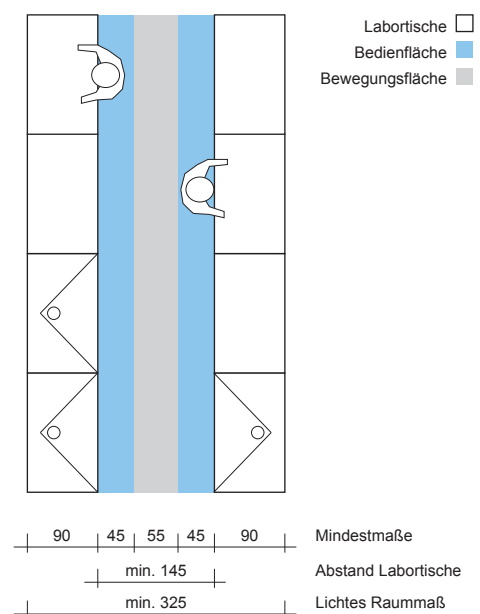


Abbildung 12-09: Mindestbreite für Labore unter Berücksichtigung der Durchgangs- und Bedienflächen [Cordes et al. 2007]

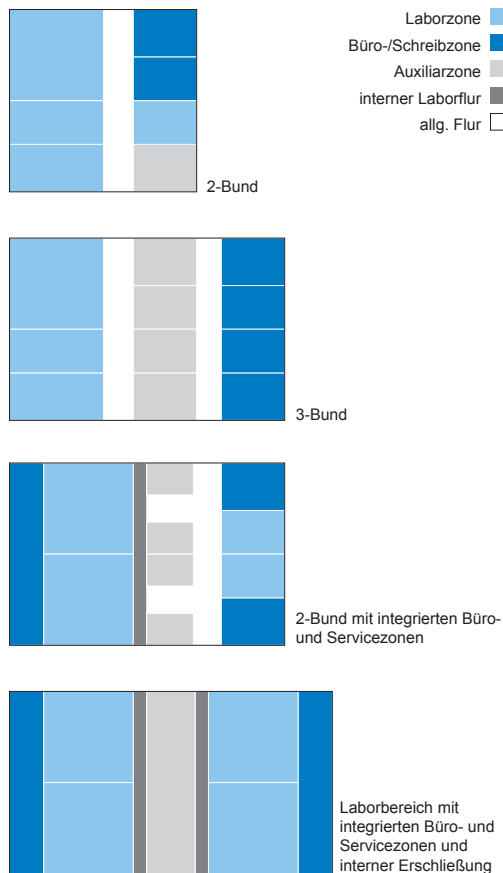


Abbildung 12-10: Grundrisszonierungen (Bsp.) für Laborgebäude [Cordes et al. 2007]

Große Gebäudetiefen reduzieren den Anteil teurer Fassadenflächen und verkürzen innere Wege durch kompakte Nutzungseinheiten. Die Versorgung der Arbeitsbereiche mit natürlichem Licht bzw. der Sichtbezug von Arbeitsplätzen nach Außen wird zur Herausforderung. Die Schreib- und Auswertepätze liegen bevorzugt an den Fassaden, die eigentlichen

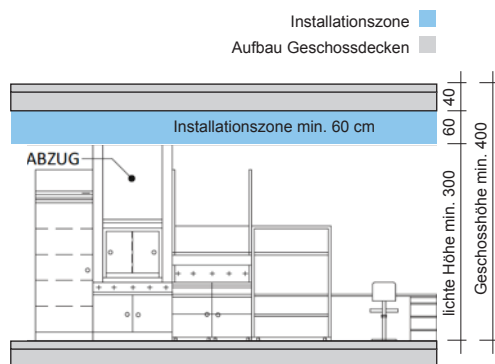


Abbildung 12-11: Erforderliche Geschosshöhe für Labore mit Abzügen [Cordes et al. 2007]

Labortische liegen im Inneren des Gebäudes. In der Regel werden Bandfassaden für die Laborzonen vorgesehen (Abbildung 12-05). Die Brüstungshöhen orientieren sich regelmäßig an den Höhen der Arbeitstische, Stürze werden zugunsten der Tageslichtversorgung minimiert. Über die Tiefe des Gebäudes sollte die Kunstlichtversorgung und -steuerung getrennt nach verschiedenen Zonen umgesetzt werden. Die erforderliche Geschosshöhe für Laborzonen liegt im Mittel bei 4,0 Meter. Sie setzt sich aus einer lichten Höhe von mindestens 3,0 Meter, einer Installationszone unter der Decke von ca. 0,6 Meter und einer konstruktiven Höhe für Decke und Fußbodenaufbau von ca. 0,4 Meter zusammen (Abbildung 12-11). Zunehmende Kanalquerschnitte für die Lüftung machen auch höhere Geschosse (4,20 - 4,50 m) notwendig. Da sich diese Höhe erheblich von den Mindestgeschosshöhen von Büro- und Verwaltungszonen unterscheidet, wurden die Nutzungen oftmals in verschiedenen Bauteilen untergebracht, was der Vernetzung von Büro- und Laborarbeitsplatz widerspricht. Die Mehrzahl neuerer Laborgebäude verzichtet auf diese Höheneffizienz zugunsten der Nähe zwischen den Funktionen und nutzungsneutraler Primärkonstruktionen.

12.4.3 Schutzstufen

Je nach Art der Stoffe, mit welchen im Labor gearbeitet wird, müssen für die Tätigkeit im Labor verschiedene Verordnungen beachtet werden. Die Gefahrstoffverordnung [TRGS-526 2008] regelt den Umgang mit gefährlichen Stoffen auf Basis des Chemikaliengesetzes (ChemG), für Tätigkeiten mit biologischen Stoffen ist die Biostoffverordnung (BioStoffV, TRBA 100) zu beachten und Arbeiten mit gentechnisch veränderten Stoffen erfolgen unter Beachtung der Gentechnik-Sicherheitsverordnung (GenTSV). Die im Labor verwendeten Stoffe ergeben die Risikogruppe des Labors. Sie bedingt die notwendige Schutzstufe. Je höher die Schutzstufe, umso höher der erforderliche technische und organisatorische Aufwand zum Schutz der Laboranten, der Außenwelt und ggf. der Versuchstiere. Tabelle 12-01 zeigt eine vereinfachte Übersicht der Klassifizierung für Chemie und Biologielabore. Jede höhere Schutzstufe schließt die Schutzmaßnahmen der Stufen darunter mit ein. Weitere Sondernutzungen, z.B. Labore für den Umgang mit gentechnisch veränderten Substanzen, sind nicht dargestellt.

Tabelle 12-01: Stark vereinfachte Übersicht der Schutzstufen von Chemie- und Biologielaboren (Quellen siehe Zeile Regelwerk)

	Chemie	Biologie
Regelwerk (u.a.)	ArbSchG, GefStoffV, TRGS-526	ArbSchG, BioStoffV, TRBA 100
Risikogruppe 1	Umgang mit reizenden, gesundheits-schädlichen oder ätzenden Stoffen in geringen Mengen und kurzer Zeit	Organismen ohne Gefährdung für gesunde Menschen, z.B. Pilzsporen
Schutzstufe 1	Grundlegende Mindeststandards (GefStoffV)	Grundlegende Mindeststandards (z.B. TRGS 500)
Risikogruppe 2	Umgang mit reizenden, gesundheits-schädlichen oder ätzenden Stoffen	Organismen mit gemäßigter Gefahr für Menschen, z.B. Grippeviren, Salmonellen
Schutzstufe 2	Schutzkleidung, Alleinarbeit eingeschränkt, Ess- und Trinkverbot	Organisatorische Schutzmaßnahmen, Zugangskontrolle, Persönliche Schutzausrüstung
Risikogruppe 3	Mutagene, karzinogene und frucht-schädigende Gefahrstoffe unter dem Arbeitsplatzgrenzwert	Mikroorganismen, die zu schweren Erkrankungen oder Epidemien führen können, z.B. Gelbfieber, Hepatitis
Schutzstufe 3	Zugangsbeschränkung, Sicherheitslagerung	Zugangsbeschränkung und -schleusen, begasbar, Abluftfilterung, Schutzkleidung
Risikogruppe 4	Mutagene, karzinogene und frucht-schädigende Gefahrstoffe über dem Arbeitsplatzgrenzwert	Hochansteckende Mikroorganismen ohne Behandlungsmethoden, z.B. Ebola
Schutzstufe 4	Maßnahmen zur Erkennung von Stoff-Freisetzung, deutliche Kennzeichnung	Zugang nur für begrenzte und fach-kundige Personen, Dreikammerschleuse mit Druckkaskade, Vollschutanzüge, Dekontamination, Begasung

Sicherheitslabore können extrem unterschiedlich ausfallen. Am gebräuchlichsten ist der Sprachgebrauch für biologische Labore der Sicherheitsstufen 1-4. Für sie gelten ab der Stufe S3 erhebliche Mehraufgaben für Gesundheits- und Brandschutz, was den Bau, Unterhalt und Betrieb extrem verteuert. Der Großteil der in Deutschland betriebenen biologischen Labore ist daher den Schutzstufen 1 und 2 zugeordnet. Für Chemielabore ist die Art der Arbeitsstoffe, deren Konzentration und Umgangszeiten entscheidend für die Sicherheitsstufe. Der Umgang mit radioaktivem Material, aktiven oder hochaktiven Stoffen erfordert eine sehr spezielle Sicherheitsausstattung. [Staniszewski 2015] Für diese Arbeit werden nur Regellabore analog der biologischen Schutzstufe 2 untersucht. Sie machen den Großteil der in Betrieb befindlichen Labore aus [Cordes et al. 2007]. Deren Energiebedarf steht im Fokus von Teil 3.

12.4.4 Gefährdungsbeurteilung

Das Arbeitsschutzgesetz verpflichtet jeden Arbeitgeber, regelmäßig die Gefährdungen am Arbeitsplatz der Arbeitnehmer zu beurteilen und die erforderlichen Schutzmaßnahmen zu treffen [ArbSchG 2015, §5]. Für den Laborarbeitsplatz ist diese Beurteilung von großer Bedeutung, da der Umgang mit Gefahrstoffen Schutzmaßnahmen erforderlich macht, die erhebliche Auswirkungen auf die gebäudetechnische Installation haben. Für die Durchführung hat die Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie ein Merkblatt T034 „Gefährdungsbeurteilung im Labor“ herausgegeben [DGUV-T034 2009]. Sie ist das zentrale Instrument, um den erforderlichen Luftwechsel zu ermitteln [DGUV-213-850 2015, 6.2.5.1]. Die Vorschriften, Regeln und Merkblätter sind umfangreich und verlangen vom Anwender viel Zeit in der Umsetzung.

12.5 Technische Gebäudeausstattung

Im Folgenden wird nur auf die wesentlichen Unterschiede von Laboren zu anderen Nutzungszonen, z.B. Bürozonen, eingegangen.

12.5.1 Raumluftechnik

Die Raumluftechnik (RLT) für Laborgebäude ist ein zentrales technisches Gewerk in Planung und Unterhalt. Sie erfüllt in den Laboren die Aufgaben der Versorgung mit ausreichend Frischluft (wobei die Behaglichkeitskriterien (DIN EN 15251) einzuhalten sind), der Verdünnung und Abführung von möglicherweise freigesetzter Gefahrstoffe, um Gesundheitsgefährdungen über die Atemluft zu vermeiden und der Sicherstellung des Abluft- und Zuluftbedarfs von Laboreinrichtungen. [DIN 1946-7] Die Information 213-850 der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV-I 213-850) geht für die Erfüllung der o.g. Funktionen von einem Mindestluftwechsel von $25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ aus. Er muss zugfrei den gesamten Laborraum spülen. Bei einer Mindestraumhöhe von 3,0 Meter ergibt sich ungefähr ein 8-facher Luftwechsel. Trotz des hohen Luftwechsels ist ein offener Umgang mit Gefahrstoffen auf den Labortischen ohne eine Gefährdung der im Labor Arbeitenden nicht möglich [Heinekamp et al. 2006, 44-48]. Daher ist der Umgang mit diesen Stoffen nur an Sicherheitsarbeitsplätzen, z.B. Abzügen, zulässig. Die Lagerung dieser Stoffe erfolgt in dauerhaft abgesaugten Sicherheitsschränken. Die Abluft des Raumes darf ganz oder teilweise über die Abzüge geführt werden. Der hohe Mindestluftwechsel kann reduziert werden, wenn es die Gefährdungsbeurteilung aufgrund der Art der Tätigkeiten und der Art der Arbeitsstoffe zulässt. Die Gefährdungsbeurteilung kann auch höhere Luftwechsel erforderlich machen. Umluftbetrieb ist in wenigen Ausnahmefällen bei niedrigen Sicherheitsstufen mit bestimmten Filtern zulässig. [DGUV-213-850 2015] Die RLT-Anlagen müssen sicherstellen, dass es zu keiner Zeit zu Kontamination von Zuluft durch Abluft kommen kann. Daher sind Adsorptionsräder und Kreuzplattenwärmetauscher (Leckagegefahr) für die Wärmerückgewinnung ungeeignet. Stattdessen werden Kreislaufverbundsysteme (KVS) eingesetzt, die mittels eines Transportmediums und Wärmetauschern in den RLT-Anlagen die Wärme der Abluft auf die Zuluft

übertragen. Mit dem gleichen System wird im Sommer auch Kälte rückgewonnen. Die großen Luftvolumina machen Laborlüftungen energieintensiv, sowohl wegen der erforderlichen Antriebsenergie, als auch wegen der notwendigen Konditionierung der Luft. Die Koppelung der Laborausstattung an die Lüftungsanlage erfordert eine raumweise Regelung, da die Volumenströme regelmäßig geändert werden. [Rydzewski 2015] In Deutschland werden Standardlabore in der Regel teilklimatisiert. Eine Vollklimatisierung mit Luftbefeuchtung und -entfeuchtung erfolgt nur in Ausnahmefällen bei besonderen Anforderungen an die Labornutzung (z.B. Tierhaltungen). Trotz der fehlenden Feuchteregulierung gibt es nur geringe Beschwerden über zu trockene Luft in den kalten Winterwochen [Weisenbach 2017]. Zu hohe Feuchtigkeit in den Sommermonaten, die sich durch Kondensat bemerkbar machen würde, ist bei Standardlaboren erfahrungsgemäß nicht zu befürchten [Trox 2017]. Daher sind RLT-Anlagen für Labore in den gemäßigten klimatischen Bedingungen in Mitteleuropa energiesparender zu bauen und zu betreiben als in feuchteren Klimazonen.

Woher kommt der Richtwert $25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$?

Der Richtwert von $25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ist durch reale Messungen in Laboratorien der Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI) ermittelt worden. Er findet Verwendung in der DIN 1946-7, der VDI 2051 und in den Laborbaurichtlinien. Die Verwendung des Richtwertes ermöglicht dem Betreiber, sich auf ein allgemeines Schutzkonzept gemäß DGUV Information 213-850 berufen zu können, sofern alle weiteren Voraussetzungen eingehalten werden. Abweichungen davon erfordern eigene Nachweise des Arbeitsschutzes durch den Laborbetreiber.

12.5.2 Wärmeversorgung

Laborgebäude benötigen Wärme im Wesentlichen für zwei technische Systeme: die statische Heizung in den Aufenthaltsräumen und die Erwärmung der Zuluft in den RLT-Anlagen. Für Laboratorien kann die Wärmeleistung für die Zuluft dominieren. Die Versorgung mit Trinkwarmwasser ist in Laboratorien gering. Es fällt gelegentlich in solch geringen Mengen an, dass es unterhalb der Bagatellgrenze nach [DIN V 18599, T10] liegt und nicht bilanziert wird.

12.5.3 Kälteversorgung

Für die Kälteversorgung gelten ähnliche Spezifika wie für die Wärmeversorgung. Es kann allerdings erforderlich sein, Laborkaltwasser auf einem bestimmten Temperaturniveau in einem separaten Verteilsystem vorzuhalten, um Laborgeräte und Kühlschränke zu versorgen. Dieses Temperaturniveau kann sich von dem der Kälteversorgung des Gebäudes unterscheiden und wird getrennt erzeugt. In die Energiebilanz des Gebäudes fließt dieser Energiebedarf nicht ein.

12.5.4 Beleuchtung

Die DIN EN 12464-1 legt die Beleuchtungsstärke für Standardlabore mit 500 lux fest. Sie kann bei Speziallaboren auf 1000 lux steigen. Für offene Deckeninstallationen werden abgehängte Leuchten verwendet. Eine zonenweise getrennte Regelung in Verbindung mit einer Tageslichtsteuerung (Jalousieregelung) wird empfohlen. [Engel 2015]

12.5.5 Informationstechnologie

Eindeutiger Trend der letzten beiden Jahrzehnte ist die zunehmende IT-Ausstattung in den Laboren. Versuche werden zunehmend simuliert. In Versuchsreihen werden riesige Datenmengen erzeugt, die verarbeitet, gespeichert und mehrfach gesichert werden müssen. Dokumentationspflichten für bestimmte Bearbeitungsprozesse nehmen zu. Oft besitzen Forschungszentren mittlerweile eigene redundante Serverräume in getrennten Brandabschnitten. [Engel 2015]

12.5.6 Medienversorgung

Die Versorgung mit Medien ist abhängig von dem Bedarf der Labornutzung. Zu unterscheiden ist zwischen zentraler Medienversorgung für regelmäßig genutzten Medien und dezentraler Versorgung für Medien, die nur in Kleinstmengen oder unregelmäßig benötigt werden. Eine Nachinstallierbarkeit durch Platzreserven in der Installationsführung bietet sich an. Zu den klassischen Medien in Laborgebäuden gehören Kühlwasser, vollentsalztes Wasser (VE-Wasser), Reinstwasser, Gase (Standardgase Erdgas, Stickstoff, Argon, Kohlendioxid), Vakuum, Kühlwasser und Druckluft. Chemische Labore benötigen in der Regel mehr Medien als biologische Labore. Auf die Medienversorgung wird nicht eingegangen, da sie keinen Einfluss auf die Energiebilanz des Gebäudes hat. [Lüdi 2015]

13.1	Energiebedarf	128
13.1.1	Energiebedarf im Lebenszyklus	128
13.1.2	Energiebedarf im BNB Zertifizierungssystem	128
13.1.3	Energiebedarf nach DIN V 18599	130
13.2	Energieverbrauch	131
13.3	Literaturrecherche Niedrigst-Energie-Labor	133
13.3.1	Raumlufttechnische Anlagen	133
13.3.2	Allgemeiner Mindestluftwechsel	133
13.3.3	RELAB-Studie	134
13.3.4	Demand based Control	134
13.3.5	Bedarfsgeführte Lüftung	134
13.3.6	Luftvolumen der Abzüge	135
13.3.7	Abfuhr von thermischen Lasten	135
13.3.8	Ventilatoren	135
13.3.9	Hocheffiziente Wärmerückgewinnung	135
13.3.10	Indirekte adiabate Kühlung	136
13.3.11	Einsatz von Wärmepumpen	136
13.3.12	Abwärmennutzung zur Gebäudebeheizung	136
13.3.13	Beleuchtung	137
13.3.14	Transmissionswiderstand der Außenwand	137
13.4	Experteninterviews Niedrigstenergie-Labor	137
13.5	Strategie	140
13.5.1	Bedarfsminimierung	140
13.5.2	Effiziente Systeme	140
13.5.3	Erneuerbare Energien	140
13.5.4	Erfolgskontrolle / Energie-Monitoring	140

Fazit Kapitel 13

Der Energiebedarf im Lebenszyklus von hochinstallierten Laborgebäude wird durch die Betriebsenergie dominiert. Einsparungen in der Betriebsenergie sind ökologisch und ökonomisch sinnvoll. Um klimafreundliche Laborgebäude zu untersuchen, erscheinen die Strategien Suffizienz, Effizienz und Konsistenz zielführend.

13.1 Energiebedarf

13.1.1 Energiebedarf im Lebenszyklus

Der Betrieb eines Gebäudes macht nur einen Teil des gesamten Energieverbrauchs eines Gebäudes im Lebenszyklus aus. Lebenszyklusanalysen bilanzieren auch den Energiebedarf für Herstellung, Modernisierung, Sanierung, Abbruch und Entsorgung eines Gebäudes. Die Betriebsenergie des Gebäudes wird zumeist über die Bedarfsberechnung nach EnEV über eine genormte Betriebsdauer von 50 Jahren hochgerechnet. Als Bilanzierungskriterium kann beispielsweise die nicht erneuerbare Primärenergie verwendet werden. Der Anteil der Betriebsenergie am gesamten Lebenszyklus ist abhängig von der eingebrachten grauen Energie in der Baukonstruktion (KG 300 Et 400), der Lebensdauer der jeweiligen Materialien und des Energiebedarfs des Gebäudes im Betrieb. Ist der Energiebedarf des Gebäudes im Betrieb sehr niedrig, haben die Phasen Errichtung, Erneuerung, Abbruch und Entsorgung mehr Anteile an der Gesamtbilanz. [ISO 14040] Der Energiebedarf von Laborgebäuden beträgt ein Vielfaches des Energiebedarfs von Wohn- oder Bürogebäuden. Die Dominanz der Betriebsphase führt dazu, dass ca. 80-90% des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs im gesamten Lebenszyklus auf den Betrieb des Gebäudes fallen. [Nickl 2016, 71-82] Der Anteil der Betriebsenergie des Laborgebäudes im Lebenszyklus zeigt, wie groß das Potential für Energieeinsparungen in dieser Lebensphase im Vergleich zu Optimierungen in anderen Phasen ist. Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt auf der Betriebsenergie. Sie deckt damit das wesentliche Potential im Lebenszyklus von Laborgebäuden ab.

Abbildung 13-01:
Betriebskosten verschiedener
Bautypologien in Relation zu
den Baukosten [Hegger et al.
2007]

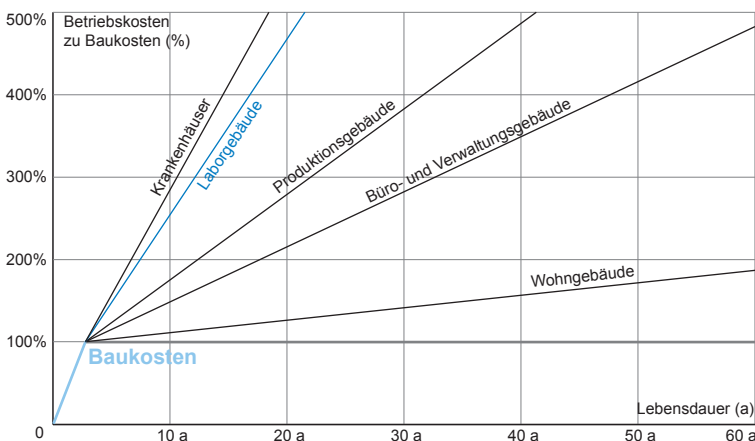


Abbildung 13-01 zeigt, dass Ökonomie und Ökologie einhergehen. Die Betriebskosten eines Laborgebäudes übersteigen die Baukosten bereits nach weniger als 10 Jahren. Ist es möglich, durch geringe Mehrinvestitionen im Bau Betriebsenergie einzusparen, so ist es im Laborgebäude möglich, dass sich diese Investition schnell amortisiert.

13.1.2 Energiebedarf im BNB Zertifizierungssystem

Ein nachhaltiges Laborgebäude zu bauen, also ein Gebäude, das in ökonomischer, ökologischer und soziokultureller Hinsicht positiv ist, sollte im Sinn eines jeden verantwortungsbewussten Bauherren sein. Wenn sich die Ziele aber nicht mehr ergänzen, sondern gegeneinander laufen, dann wird zwischen ihnen abgewogen. Zertifizierungssysteme für nachhaltige Gebäude helfen, die gesamte Nachhaltigkeitsbetrachtung über den Planungsprozess hinweg im Auge zu behalten. Sie sind ein Qualitätssicherungsinstrument für Nachhaltigkeit, indem sie ihr ein gewisses Gewicht im Zusammenspiel verschiedener Planungsziele geben. Ein verantwortungsbewusster Bauherr, der nicht allein aus ökonomischen Gründen agiert, braucht in der Regel keine Zertifizierung, um nachhaltig zu bauen, denn viele Aspekte der Nachhaltigkeit beruhen auf gesundem Menschenverstand. Dennoch haben die Bewertungssysteme den Vorteil, dass die verschiedenen Kategorien konkret auf den Punkt gebracht werden müssen, auch wenn die einzelnen Bewertungsmaßstäbe diskutabel bleiben. Das Zertifizierungssystem des DGNB entspricht dem Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Laborgebäude Neubau (LN 2013_04) des Bundesbauministeriums. Ökologische, ökonomische und soziokulturelle (und funktionale) Qualität werden mit jeweils 22,5 % bewertet. Die technische Qualität erhält ebenfalls 22,5 % Gewicht, die Prozessqualität 10 %. Der Energiebedarf des Laborgebäudes beeinflusst die Bewertung der Kriterien zum Teil direkt, zum Teil indirekt. Primäre Auswirkungen hat der Energiebedarf auf 33,5 % der Wertungsprozente: Wirkung auf globale Umwelt (13,75 %), Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (3,75 %), Primärenergiebedarf und Anteil erneuerbare Primärenergie (2,5 %), gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus (13,5 %). Indirekt oder sekundär wirkt er sich auch auf einzelne Kriterien der technischen Qualität aus. Es kann angenommen werden, dass ein

hinsichtlich Nachhaltigkeit optimiertes System bei diesen Einzelkriterien gut abschneiden müsste (Wärme- und Tauwasserschutz (1,875 %), Flexibilität der Technischen Gebäudeausrüstung (3,75 %), Systemqualität der Technischen Gebäudeausrüstung (5,625 %)). Damit hätte ein geringer Betriebsenergiebedarf direkte Auswirkungen auf 33,5 % der Wertungspunkte, indirekten Einfluss auf mindestens weitere 11,2 %. Grundsätzlich setzt das BNB-System für die Ermittlung des Energiebedarfs auf die Berechnungsmethode der EnEV auf. D. h., dass Laborgebäude im Monatsbilanzverfahren nach DIN V 18599 berechnet werden. Grundsätzlich werden auch die Nutzungszonen des Teil 10 herangezogen, mit Ausnahme der Laborzonen. Anstelle des Referenzgebäudes der EnEV tritt im Bewertungssystem BNB das virtuelle Gebäude. Analog dem Referenzgebäude entspricht das virtuelle Gebäude der Geometrie und der Nutzungsverteilung des realen Gebäudes. Es ist ebenso wie das Referenzgebäude für die EnEV ein Vergleichsstandard für den BNB zur Bewertung der ökologischen und ökonomischen Qualitäten und der technischen Standards. Zusätzlich zu den gebäudebezogenen Energiebedarfen für Heizung, Kühlung, Lüftung, Beleuchtung und Trinkwarmwasser werden im BNB-System die Prozessenergien berücksichtigt, die auf die KG 400 nach DIN 276 zurückzuführen sind. Das beinhaltet nutzungsspezifische Einbauten (KG474), die regelmäßig fest eingebaut werden und von der technischen Infrastruktur des Gebäudes versorgt werden (z.B. Sterilisatoren, Schleusenammern usw.). Steckdosen- und Tischgeräte (KG 600) sind nicht enthalten. Für die Nachweiserstellung gemäß EnEV werden regelmäßig die Standardprofile der DIN V 18599-10 über alle Labore hinweg angewendet (siehe oben). Das Nachweissystem nach BNB sieht für die Laborzonen eine freie Nachweisführung vor. Unter Beachtung des erforderlichen Sicherheitsniveaus werden so die Labore nach ihren Anforderungen differenziert und mit

Betriebszeiten und angepassten Luftwechseln berechnet. Dabei wird wie folgt vorgegangen: Mittels einer Gefährdungsbeurteilung wird im Sicherheitskonzept festgelegt, welche sicherheitsrelevanten Luftwechsel je Laborart festzusetzen sind. Auf Basis des Sicherheitskonzeptes wird ein Betriebskonzept erarbeitet, welches die unterschiedlichen Betriebszeiten mit den erforderlichen Luftwechseln verknüpft. Das Betriebskonzept bildet das „Virtuelle Gebäude“, eine Art Benchmark analog dem Referenzgebäude im Nachweisverfahren nach EnEV. Die Angaben aus dem Betriebskonzept werden in freie Nutzungsprofile nach DIN V 18599 übertragen. Die Leistungen der Ventilatoren (Specific Fan Power (SFP)) werden im realen Gebäude den realen Werten der installierten Ventilatoren angepasst. Die Berechnung erfolgt analog der Berechnung nach EnEV mittels DIN V 18599. Verglichen wird anstelle mit dem Referenzgebäude mit dem virtuellen Gebäude. Die Eingabe von Geometrie, Zonierung und Hüllflächen entspricht im Weiteren dem Vorgehen der EnEV. Die wesentlichen Unterschiede sind der Luftwechsel und die Leistung für den Lufttransport. Ein Indiz für realitätsnahe Kalkulation ist auch die Annahme im BNB, die RLT mit Kühlung und Heizung läuft in Laborgebäuden 365 Tage im Jahr (Abbildung 13-02 & 13-03). [BNB 2014]

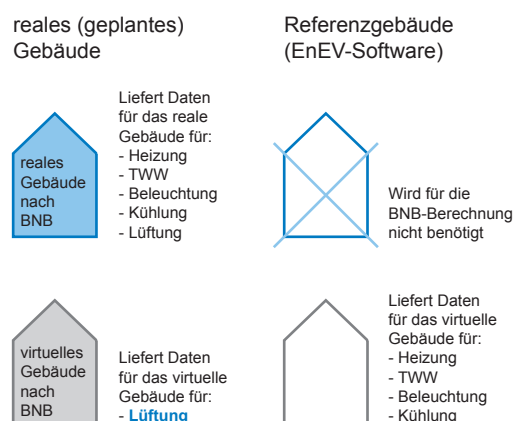


Abbildung 13-02: Schematische Darstellung zur Erstellung des virtuellen Vergleichsgebäudes nach BNB

Laborraum (Beispiel)	
Nutzungszeiten	
Uhr	täglich
d/a	jährlich
h/a	jährlich
Uhr	täglich
d/a	jährlich
Uhr	täglich

Reales / geplantes Gebäude		
	von	bis
Uhr	8:00	20:00
d/a	250	
h/a	wird berechnet	
Uhr	0:00	24:00
d/a	365	
Uhr	5:00	18:00

Abbildung 13-03: Beispiel für ein Nutzungsprofil eines Laborraums im BNB Zertifizierungssystem [BNB 2014]

13.1.3 Energiebedarf nach DIN V 18599

Laborzonen haben ein eigenes Nutzungsprofil innerhalb der DIN V 18599, welches eigene Richtwerte der Nutzungsrandbedingungen definiert (Abbildung 13-04). Im Vergleich zum Nutzungsprofil für Gruppenbüros ist die Betriebszeit der RLT und Kühlung von 0:00 bis 24:00 Uhr angepasst. Die Raum-Solltemperatur der Heizung ist auf 22°C um ein Kelvin angehoben. Der Mindestaußenluftvolumenstrom wird analog zu den Laborbaurichtlinien flächenbezogen mit 25 m³/m²h angegeben. Es ist zulässig, bedarfsabhängige Lüftungsstrategien zu bilanzieren, praktiziert wird es

erfahrungsgemäß nicht. Für die Beleuchtung gilt eine höhere Nutzenebene und ein höherer Minderungsfaktor.

Die internen Wärmelasten sind der Nutzung entsprechend erhöht. Mit diesen Kennwerten versucht man, den höheren Energiebedarf der Laborzonen im Vergleich zu anderen Nutzungszonen von nWG abzubilden.

Die unterschiedlichen Nutzungszonen in einem Laborgebäude weisen nach DIN V 18599 unterschiedliche Energiebedarfe auf. Vergleicht man die verschiedenen Nutzungen unter der identischen Kubatur mit den identischen Referenzausführungen nach dem

Labor		Nr. 38	
Nutzungszeiten		von	bis
tägliche Nutzungszeit	Uhr	7:00	18:00
jährliche Nutzungstage $d_{\text{Nutz,a}}$	d/a	250	
jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit t_{Tag}	h/a	2543	
jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit t_{Nacht}	h/a	207	
tägliche Betriebszeit RLT und Kühlung	Uhr	0:00	24:00
jährliche Betriebstage für jeweils RLT, Kühlung und Heizung	d/a	250	
tägliche Betriebszeit Heizung	Uhr	5:00	18:00
Raumkonditionen (sofern Konditionierung vorgesehen)			
Raum Solltemperatur Heizung $\theta_{\text{h,soll}}$	°C	22	
Raum Solltemperatur Kühlung $\theta_{\text{c,soll}}$	°C	24	
Minimaltemperatur Auslegung Heizung $\theta_{\text{h,min}}$	°C	20	
Maximaltemperatur Auslegung Kühlung $\theta_{\text{c,max}}$	°C	26	
Temperaturabsenkung reduzierter Betrieb $\Delta\theta_{\text{h,NA}}$	Kelvin	4	
Feuchteanforderung		mit Toleranz	
Mindestaußenluftvolumenstrom			
personenbezogen	m ³ je Stunde und Person		
flächenbezogen ^{a,b}	m ³ /(h m ²)	25	
Mindestaußenluftvolumenstrom für Gebäude $V_{\text{A,Geb}}$	m ³ /(h m ²)		
relative Abwesenheit RLT C_{RLT}		b	
Teilbetriebsfaktor der Gebäudebetriebszeit F_{RLT}		b	
mechanischer Außenvolumenstrom (Praxis)		von	bis
Luftwechsel allgemein	h ⁻¹	4	15
	h ⁻¹		
Beleuchtung			
Wartungswert der Beleuchtungsstärke	lx	500	
Höhe der Nutzungsebene h_{Ne}	m	1,0	
Minderungsfaktor k_{A}		0,92	
relative Abwesenheit C_{A}		0,3	
Raumindex k		1,25	
Minderungsfaktor Gebäudebetriebszeit F_{t}		1	
Personenbelegung		gering	mittel
maximale Belegungsichte m ² je Person		18	14
			10
Interne Wärmelasten		Vollnutzungsstunden (h/d)	max. spezifische Leistung (W/m²)
		tief	mittel
Personen (90 W je Person)		6	5
Arbeitshilfen		6	6
Wärmezufuhr je Tag ($q_{\text{LD}} + q_{\text{I,fac}}$)	(Wh/m ² d)	66	18
		144	63
		432	
Automationsgrad		D	C
Summand Automation $\Delta\theta_{\text{EMS}}$	K	0	0
Faktor adaptives Aufheizen f_{adapt}	-	1	1
		1,35	1,35
a Absenkung des Luftvolumens auf 50% während der Nichtnutzungszeit			
b Bedarfsabhängige Lüftungsstrategien sind in Abhängigkeit von produktions- und sicherheitstechnischen Aspekten individuell zu planen und festzulegen.			

Abbildung 13-04: Nutzungsprofil für Laborzonen nach DIN V 18599-10 [DIN V 18599]

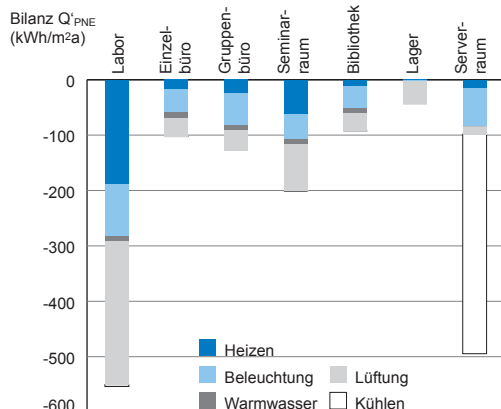


Abbildung 13-05: Energiebilanz (Q'_{PNE}) einzelner Nutzungszonen eines Laborgebäudes; technische Ausführung nach Referenzgebäude EnEV 2013

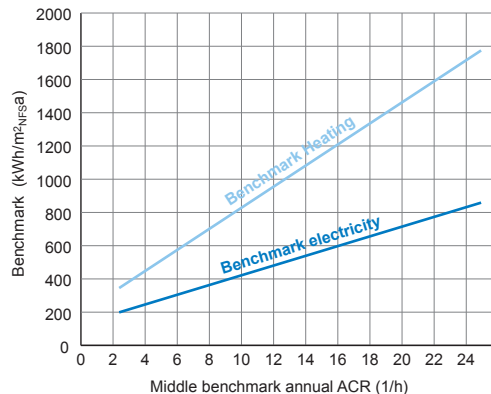


Abbildung 13-06: Vorschlag von Energiebedarfsgrenzwerten anhängig von der Luftwechselrate von Laborgebäuden [Runge et al. 2015]

Referenzgebäude, so lassen sich die Auswirkungen verschiedener Nutzungen auf den Gesamtenergiebedarf eines Forschungsgebäudes abschätzen (Abbildung 13-05). Demnach weisen Labornutzungen in etwa den 5-fachen Energiebedarf von Büronutzungen auf. Will man also im Betrieb klimafreundliche Laborgebäude erhalten, muss man in erster Linie den Energiebedarf der Laborzonen klimafreundlich beeinflussen.

An der Bilanzierungsart der DIN V 18599 gibt es in Bezug auf Laborgebäude Kritik. Die Untersuchung des Arbeitskreises "Benchmarking – Chemie-, Pharma- & Life Science" zeigt, dass die Berechnungsmethode zur Ermittlung der Referenzwerte nach EnEV keine ausreichend differenzierten Ergebnisse für Laborgebäude liefert. Ein aussagekräftiges Kriterium für Laboratorien ist die Luftwechselrate der Raumlüftung und der Abzugssysteme. Sie kann eine belastbare Größe sein, um Energieverbrauchswerte direkt als Benchmarks festzulegen (Abbildung 13-06). Anhand dieser Benchmarks kann eine Aussage über die energetischen Verbrauchswerte eines Laborgebäudes im Bestand getroffen werden, die näher an der Realität liegt, als eine Aussage mit Hilfe von Referenzwerten eines Referenzgebäudes. Da diese Erhebung nur für die Benchmarks für Verbrauchsausweise gemacht wurde, kann sie für eine Untersuchung über den Energiebedarf ohne den Nutzerstrom nicht verwendet werden. Sie ist für einen Performancevergleich von Neubauten ohne Nutzerstrom nicht aussagekräftig. Dennoch zeigt sie, dass die Bilanzierung nach der DIN V 18599 für die verschiedenen Arten von Laborgebäuden zu wenig differenzierte Ergebnisse liefert. [IFMA 2015, 31]

13.2 Energieverbrauch

Durch das IFMA Benchmarking® wurden für diese Arbeit die Energieverbräuche von 259 Laborgebäuden verschiedener Baualtersklassen (BAK) zur Verfügung gestellt. Das IFMA Benchmarking® ist ein Zusammenschluss der führenden Unternehmen der chemisch-pharmazeutischen Industrie in Deutschland, die unter Anwendung von Benchmarking-Methoden Optimierungspotentiale in der Errichtung und Bewirtschaftung von Laborgebäuden unter neutraler Leitung der Bauakademie Performance Management GmbH erschließen. Zur Zeit sind 13 Unternehmen mit insgesamt ca. 300 Gebäuden daran beteiligt. Der Anteil der Laborfläche an der NGF beträgt im Datensatz im Schnitt 32%. Die Energieverbräuche sind als absolute Endenergie angegeben und in die Sektoren Wärme, Kälte und Strom unterteilt. Der Sektor Strom beinhaltet auch den Nutzerstrom. Um abschätzen zu können, wie viel Prozent des Stromverbrauchs dem Nutzer anzurechnen ist, und wie viel Prozent das Gebäude zum Betrieb benötigt, wären getrennte Erfassungssysteme sowie ein Monitoring notwendig. Es gibt wenig wissenschaftliche Erhebungen und fundierte Daten über den Energieverbrauch von Laborgebäuden. In der Regel werden für den Nutzerstrom (Steckdosen bzw. Tischgeräte) keine getrennten Stromzähler installiert. Zudem können fest eingebaute Nutzergeräte der KG 474 (z.B. Großbraun-Autoklaven) auch den Strombedarf der Festeinbauten beeinflussen. Für den Neubau des Energiezentrums der BTU Cottbus wurde ein solch aufwändiges Monitoring installiert. Das Gebäude hat

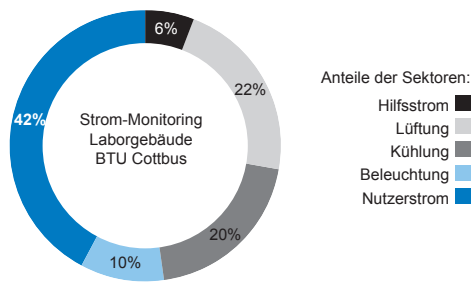


Abbildung 13-07: Strom-Monitoring Energiezentrum BTU Cottbus 2015 – Anteile einzelner Verbrauchssektoren am Gesamtstromverbrauch des Laborgebäudes; eigene Darstellung basierend auf [Hänel 2016, 39]

auf vier Geschossen eine NGF von 3.756 m², die zu ca. 30 % aus Laboren bestehen. Betrachtet man nur die strombasierten Energiebedarfe, so hat der nutzerbasierte Stromverbrauch etwa 40 % Anteil am gesamten Stromverbrauch des Gebäudes (Abbildung 13-07). Dieser Einzelfall hat keine Allgemeingültigkeit und ist dennoch eine Möglichkeit, überschlägig den Gebäudeenergiebedarf der untersuchten Laborgebäude des IFMA Benchmarking® abzuschätzen. Abbildung 13-08 zeigt die Energieverbräuche (EV_{PNE}) der Gebäude getrennt nach Wärme, Kälte, Gebäude- und Nutzerstrom. Da die Gebäude im Einzelfall sehr unterschiedlich sind, werden für alle Baualterklassen die durchschnittlichen spezifischen Luftwechselraten ermittelt. Sie liegen zwischen 18,1 m³/m²h und 11,4 m³/m²h. Zu beachten ist, dass die Luftwechselvolumina über die gesamte NGF gerechnet sind und nicht alleine die Laborbereiche betreffen.

Abbildung 13-08 zeigt einen Trend zu klimafreundlicheren Laborgebäuden. Insbesondere seit der Einführung der Wärmeschutzverordnung 1995 und der EnEV im Jahr 2002, und damit der Einbeziehung der Gebäudetechnik in die Gesamtbetrachtung des Primärenergiebedarfs des Gebäudes, ist der Verbrauch der Gebäude tendenziell gesunken. Auffällig ist der hohe Kühlenergieverbrauch. Es ist zu vermuten, dass hier Teile des Kältebedarfs der Nutzeranwendungen mit abgedeckt werden (siehe Kapitel 12). Damit wäre nicht der gesamte hier ausgewiesene Energieverbrauch für Kälte dem Gebäude zuzurechnen. Die neueren Laborgebäude ab dem Jahr 2002 zeigen einen durchschnittlichen nicht erneuerbaren Primärenergieverbrauch, bezogen auf aktuelle Primärenergiefaktoren, von 565 kWh/m²a auf. Sie haben im Mittel einen Nutzflächenanteil von ca. 60% Laborfläche. Die einzelnen Energieverbrauchssektoren zeigt Tabelle 13-01. Die Werte können zur Plausibilitätsprüfung von Simulationen herangezogen werden. Da die technischen Systeme der einzelnen Gebäude nicht bekannt sind, sollte darauf verzichtet werden, einzelne Sektoren miteinander zu vergleichen. Der Gesamtverbrauch dient als Vergleichswert zur Plausibilisierung.

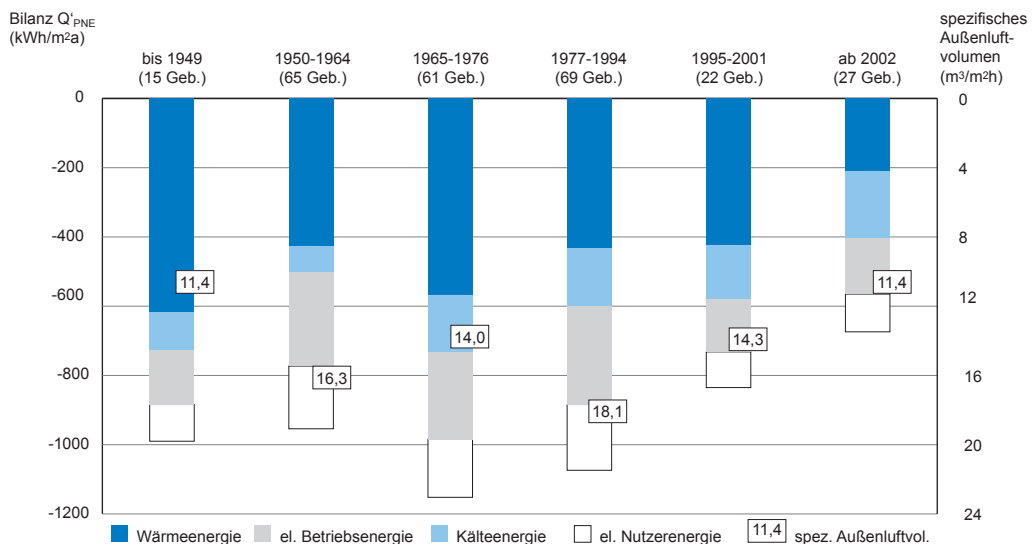


Abbildung 13-08: Auswertung der Primärenergieverbräuche (nicht erneuerbar) von 259 Laborgebäuden des IFMA Benchmarking getrennt nach Baualterklassen [IFMA 2015]

Laborgebäude (ab Baujahr 2002)	Spez. Endenergieverbrauch (kWh/m ² a)	Spez. Primärenergieverbrauch NE (kWh/m ² a)
Wärmeenergie	191	210
Kälteenergie	106	191
Strom - Gebäude	91	164
Gebäude gesamt	388	565
Strom - Nutzer	61	109

Tabelle 13-01:
Durchschnittliche Energiever-
brauchswerte der Laborgebäude
ab Baujahr 2002 auf Basis von
[IFMA 2015]

13.3 Literaturrecherche Niedrigst-Energie-Labor

Die Arbeit untersucht bestehende Strategien, die in anderen Bautypologien angewendet werden, auf ihre Wirksamkeit in Bezug auf Laborgebäude. Sie möchte keine neuen Strategien für Niedrigstenergiegebäude erfinden. Um dabei nicht willkürlich vorzugehen, werden die Strategien auf Basis von Literaturrecherche und Experteninterviews ausgewählt.

Die Energieeffizienz in Laborgebäuden ist in der Literatur präsent, im Vergleich zu anderen Typologien aber nicht umfangreich. In der Regel wird dabei pro Artikel/Autor immer nur ein einzelnes technisches System thematisiert. Eine zusammenfassende Analyse mehrerer Strategien an einem Untersuchungsgegenstand fehlt bislang. [Dittrich 2015] [Bauch et al. 2012] [Braun et al. 2005] Im Folgenden werden zunächst einzelne Aspekte isoliert aufgeführt. Abbildung 13-09 zeigt Simulationen eines technisch identischen Laborgebäudes an verschiedenen Klimastandorten in Europa. Sie zeigt die Auswirkungen des Außenklimas auf die verschiedenen Energiebedarfe. Die Wärmeversorgung macht bis auf den warmen Standort Sevilla den größten Teil des

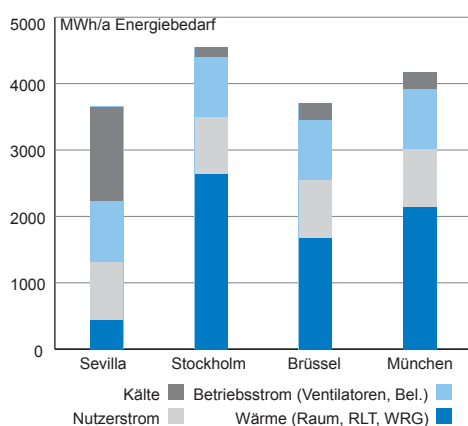


Abbildung 13-09: Einfluss des Standortklimas auf den Energiebedarf eines Laborgebäudes [Dockx 2015]

Energiebedarfs aus. Zusammen mit der elektrischen Energie der Luftventilatoren ist also die Raumluftechnik der erste Ansatzpunkt.

13.3.1 Raumluftechnische Anlagen

Die Raumluftechnik in Laboren ist ein zentrales Element der Sicherheit für die Laboranten. Dazu wird ein Außenvolumenstrom benötigt, der Kontaminationen der Raumluf durch im Labor verwendete Stoffe schadlos abführen kann. Wenn man also über Energieeffizienz von Laborlüftungen spricht, muss die Frage nach dem erforderlichen Sicherheitsniveau vorangestellt werden. Die Außenluft muss als Zuluft auf ein für das Innenklima komfortables Niveau konditioniert werden. Das heißt, dass die äußeren Klimabedingungen einen direkteren Einfluss auf den Energieverbrauch haben als bei einem Bürogebäude mit geringeren Luftwechselraten. Die klimaschützende Wirkung der Fassade (Wärmedämmung) wird durch die hohen Luftwechselraten reduziert. Damit hat auch die Wärmedämmung der Fassade einen geringeren Einfluss auf die Gesamtenergieeffizienz des Gebäudes. [Winter 2015, 404]

13.3.2 Allgemeiner Mindestluftwechsel

Der allgemeine Luftwechsel im Labor wird in Deutschland im Wesentlichen durch die „Laborbaurichtlinien“ der DGUV sowie der DIN 1946-7 beeinflusst. Sie geben einen flächenbezogenen Abluftvolumenstrom von mindestens 25 m³/m²h als grundsätzlichen Mindestvolumenstrom vor, von dem nur auf Grundlage einer Gefährdungsbeurteilung unter Nachweis des gleichwertigen Schutzniveaus abgewichen werden darf. Auch wenn die Richtlinien und die Norm keinen unmittelbaren Gesetzes-Charakter haben, so stellen sie de facto doch das allgemein akzeptierte Sicherheitsniveau dar. Abweichungen davon werden selten praktiziert, da Begründungen einen verantwortlichen Unterzeichner benötigen. In der Praxis werden daher

Luftwechselraten zwischen 6 und 12 h⁻¹ realisiert. Für Labore gibt es keine generell „richtige“ Luftwechselrate. Die grundsätzlichen Strömungsverhältnisse sind in jedem Labor anders und variieren über den Tag hinweg. Im Falle einer Leckage eines Gefahrstoffes kann eine hohe Luftwechselrate helfen, verdampfte Stoffe durch saubere Luft schnell zu verdrängen [Sharp 2015]. Ausgewiesene Laborexperthen meinen aber auch, dass die hohen Luftwechselraten im Havariefall dazu führen, dass sich die Gefahrstoffe extrem schnell im Labor ausbreiten und die Selbstrettung erschweren (Anhang 13-A2).

13.3.3 RELAB-Studie

Eine Umfrage unter 346 Betreibern von Laboratorien in Deutschland zum Umgang mit Gefahrstoffen in Laboratorien ergab, dass Arbeiten mit Gefahrstoffen, die Stofffreisetzungen im allgemeinen Laborraum verursachen könnten, nicht mehr durchgeführt werden. Alle derartigen Arbeiten werden unter Einzelerfassungseinrichtungen (Abzüge oder Arbeitsplatzabsaugungen) durchgeführt. Die Studie RELAB kommt daher zu dem Ergebnis, dass unter diesen Voraussetzungen die Festsetzung eines Mindestabluftvolumenstroms von 25 m³/m²h nicht mehr sinnvoll ist. Vielmehr empfehlen die Autoren eine nutzungsbedingte Steuerung der Volumenströme. Im Fall von Havarien soll ein Notschalter die Erhöhung der Abluftvolumina ermöglichen. Dieses Lüftungskonzept erfordert Arbeitserfahrung im Umgang mit Gefahrstoffen im Labor. In Ausbildungsbetrieben (z. B. Hochschulen) bestehen regelmäßig Bedenken gegen derartige Luftsteuerungen, da Studenten oder Auszubildende den richtigen Umgang mit Gefahrstoffen erst erlernen müssen. [Bach et al. 1998]

13.3.4 Demand based Control

In 98-99% der Betriebszeit wird saubere Innenluft durch saubere Außenluft, die energieintensiv vorkonditioniert wird, ersetzt. Während dieser Zeit wäre eine Luftwechselrate von ca. 2 h⁻¹ wohl eher als „richtig“ zu bezeichnen, wenn man Energieverbrauch als alleiniges Argument berücksichtigt. Demzufolge wäre eine „richtige“ Laborlüftung diejenige, die sich den aktuellen Gegebenheiten im Labor situativ anpassen kann. Dazu müssen im Labor die Innenluftqualitäten anhand von einheitlichen Parametern (TVOCs, Schwebstoffe, CO₂, Feuchte) mit Breitbandsensoren überwacht werden.

Dazu wird Zu- und Abluft überwacht. Weichen die Werte über einen gewissen Wert voneinander ab, kann ein Ereignis identifiziert werden. Welcher Art dieses Ereignis ist, kann nicht ermittelt werden, da nicht alle Gefahrstoffe detektiert werden können. Das erkannte Ereignis löst den erhöhten Luftwechsel aus. [Sharp 2015] Dieses System wird als „Demand based Control“ von einer amerikanischen Firma hergestellt und in den USA bereits eingesetzt. Die grundsätzlich höheren Luftwechsel und die energieintensive Feuchteregulierung in amerikanischen Laboren machen das System wirtschaftlich [Sharp 2010]. In Deutschland hat sich das System noch nicht durchgesetzt, da Sicherheitsbedenken aufgrund der Zeitverzögerungen zwischen Havarie, Detektion und Reaktion bestehen und es gegenüber einem guten energieeffizienten Laborstandard aktuell nicht wirtschaftlich ist.

13.3.5 Bedarfsgeführte Lüftung

Der Verbrauch des RLT-Systems (incl. der Lufterwärmung und -kühlung) beträgt zwischen 60 und 80% des Gesamtenergieverbrauchs eines Laborgebäudes. Die Lüftung in Laboren unterliegt drei wesentlichen Determinanten:

- den Zu- und Abluftvolumina der Abzüge
- der notwendigen Abfuhr von thermischen Lasten
- dem notwendigen allgemeinen Mindestluftwechsel im Labor

Ziel eines nachhaltigen Labors ist es, den tatsächlichen Bedarf aller drei Kriterien zu ermitteln und mit möglichst geringem Energieeinsatz zu erfüllen. Das Lüftungskonzept des Deutschen Zentrums für neurodegenerative Erkrankungen (DZNE) steht beispielhaft für ein derartiges System: Unter der Maßgabe, dass Arbeiten mit Gefährdungspotential im Abzug durchgeführt werden, wird bei geöffneten Abzügen der 8-fache Mindestluftwechsel (25 m³/m²h) gewährleistet. Bei geschlossenen Abzügen kann der Luftwechsel auf das 4-fache (12,5 m³/m²h) heruntergeregelt werden. Dies ist bei den genannten biologischen Laboren möglich. Beinhaltet ein Labor keine Arbeiten mit Gefährdungspotential, kann generell auf einen 4-fachen Luftwechsel heruntergeregelt werden. Diese Luftvolumenströme sind nicht in jedem Labor möglich. Maßgebend ist hier die Ausstattung der Labore (Anzahl der Ausstattung mit RLT-Bedarfen) und die Gefährdungsbeurteilung. Auch wenn die Reduktion der Luftwechselraten für

einen energieeffizienten Betrieb wünschenswert ist, sollten für spätere Änderungen in den Arbeitsweisen Platzreserven in Zentralen und Schächten sowie ggf. Leistungsreserven in den Lüftungsanlagen in der Planung erörtert werden.

13.3.6 Luftvolumen der Abzüge

Für Arbeiten mit gesundheitsgefährdenden Stoffen sind im Labor Arbeitsflächen unter Abzügen vorhanden. Diese Arbeitsflächen werden unter stetem Unterdruck gehalten bzw. abgesaugt. Das garantiert dem Laboranten den sicheren Umgang mit diesen Stoffen. Variable Volumenströme ermöglichen einen reduzierten Luftwechsel im Regelbetrieb eines Abzuges, d. h. wenn der Frontschieber geschlossen ist. Nur während den Zeiten mit geöffnetem Frontschieber muss ein erhöhter Luftwechsel die Sicherheit des Laboranten gewährleisten. Als Mindestvolumenstrom kann der Richtwert 400 m³/h je Laufmeter Digestoriumsbreite [VDI 2051] herangezogen werden, der bei geöffneter Front zur Verfügung stehen muss. Moderne Abzüge reduzieren diesen Wert bei gleichem Sicherheitsniveau durch optimierte Strömungsführung auf 270 m³/h je Laufmeter Digestoriumsbreite. Bei geschlossenen Schiebern kann der Volumenstrom während der Betriebszeit auf 200 m³/h, außerhalb der Betriebszeit auf 100 m³/h unabhängig der Größe des Digestoriums gesenkt werden [Waldner 2016].

13.3.7 Abfuhr von thermischen Lasten

Grundsätzlich ist es möglich, thermische Lasten in Laboren über die Luft oder über Kühlmedien abzuführen. Die Wahl der Mittel obliegt dem Einzelfall. Das Standardnutzungsprofil für Laborräume nach DIN V 18599-10 sieht im Mittel 18 W/m² als interne Wärmequelle für Arbeitshilfen vor. Die Spanne zwischen dem Minimalwert 6 W/m² und 63 W/m² zeigt die Größe der möglichen Abweichungen in Laboren [DIN V 18599], und damit auch die Unsicherheiten in Planungsparametern. Mitunter werden in Laborneubauten bereits ein Jahr nach Inbetriebnahme Kühlgeräte in den Laboren nachgerüstet, damit die hohe Installationsbelegung nicht zum Problem für die Behaglichkeit wird. Die Vorhersage der internen Wärmelasten durch Tischgeräte ist schwierig. Real ermittelt wurde nach der Studie [Mathew et al. 2008] Durchschnittswerte zwischen 15 und 30 W/m² für in etwa

80 % der Laborgebäude. Extrem hoch belegte Labore weisen in Ausnahmen höhere Lasten aus Tischgeräten von über 40 W/m² auf. Für mittlere interne Wärmelasten ist ein 4-facher Luftwechsel mit gekühlter Zuluft in der Regel ausreichend. Für höhere Wärmelasten ist es zu empfehlen, die Kältebereitstellung unabhängig von der Raumlüftungstechnik zu planen, da sonst der Faktor Wärmeabfuhr höhere Luftwechselzahlen erforderlich machen würde. [Rydzewski 2015]

13.3.8 Ventilatoren

Der Energiebedarf der Ventilatoren beträgt 30-50 % des Primärenergiebedarfs eines Laborgebäudes. Um den Bedarf zu senken, müssen die Strömungswiderstände niedrig gehalten werden. Die Strömungsgeschwindigkeiten sollten nicht über 1,5 – 1,8 ms⁻¹ sein. Dazu müssen die Querschnitte der Lüftungsleitungen ausreichend bemessen werden. Ventilatoren sollten Leistungsdaten von 75-80 % Effizienz im Teillastbetrieb (Drehzahlregelung über Frequenzumformer) aufweisen. Doppelventilatoren können im Teillastbetrieb von Vorteil sein. Außerhalb der Betriebszeiten kann der Volumenstrom um bis zu 80 % reduziert werden. Bei einem Ansatz von zwölf Stunden Betriebszeit bei fünf Arbeitstagen kann man zu 64 % der Jahresstunden den Volumenstrom absenken. [Rydzewski 2015]

13.3.9 Hocheffiziente Wärmerückgewinnung

Eine Kontamination der Zuluft durch Abluft muss zu jeder Zeit ausgeschlossen werden können. Wärmerückgewinnungssysteme, die potentielle Kontaminationen nicht ausschließen können, können in Laboratorien nicht zum Einsatz kommen. Daher werden keine Sorptionsräder oder Kreuzplattenwärmetauscher eingesetzt, da eine Leckagen unmittelbar zur Gefährdung von Personen führen würde. Um dennoch Abwärme zu nutzen, baut man Kreislaufverbundsysteme mit zwei Wärmetauschern ein. Sie transportieren die Wärme/ Kälte mittels eines eigenen Transportmediums zwischen Zuluft-RLT und Abluft-RLT. Der Vorteil der Anlage ist neben dem Schutz vor Kontamination (2-Ereignis-Sicherheit) die mögliche bauliche Trennung von Zu- und Abluftanlage. Der Nachteil besteht im geringeren Wirkungsgrad gegenüber den anderen WRG-Systemen. Dennoch ist es möglich, mit diesen Anlagen die kommende Ökodesignrichtlinie für große RLT-Anlagen zu erfüllen. [Trox 2017]

13.3.10 Indirekte adiabate Kühlung

Die Kälteerzeugung ist grundsätzlich energieaufwändig. Daher ist die Vermeidung von maschinell erzeugter Kälte ein guter Beitrag zur Energieeinsparung. [Biedermaier et al. 2014] Die indirekte adiabate Kühlung nutzt den physikalischen Zusammenhang zwischen Luftfeuchte und Lufttemperatur sowie der Verdunstung von Wasser. Durch die Einbringung von Wasser (Sprühnebel) in Luft entzieht das verdunstende Wasser der Luft Energie (Verdunstungsenergie). Die Luft kühlt ab. Dazu wird der Fortluft vor dem WRG-Wärmetauscher mittels Sprühlanzen Wasserdampf eingebracht. Der Wasserdampf kühlt die Abluft durch Verdunstungskälte unter Erhöhung der relativen Luftfeuchte (hellblauer Pfeil Abbildung 13-10). Die so gewonnene Kälte wird indirekt über die Wärme-/Kälterückgewinnung auf die Außenluft übertragen. Diese kühlt unter Beibehaltung der absoluten Feuchte ab (dunkelblaue Linie) und wird als kühlere Zuluft den Räumen zugeführt. Man spricht von einer indirekten adiabaten Kühlung. Eine direkte Nutzung in der Zuluftanlage ist wegen der Erhöhung der Luftfeuchtigkeit nicht möglich. [Lenz et al. 2010] [Bremer 2012]

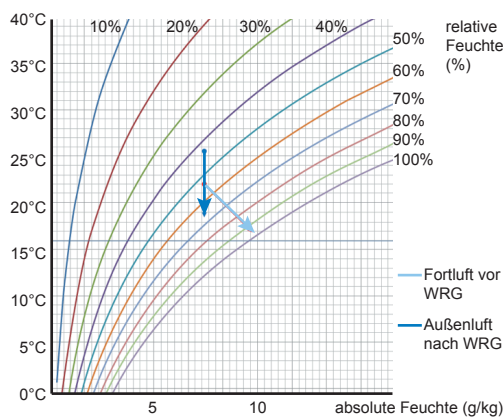


Abbildung 13-10: Mollier-Diagramm einer indirekten adiabaten Kühlung [Dockx 2015]

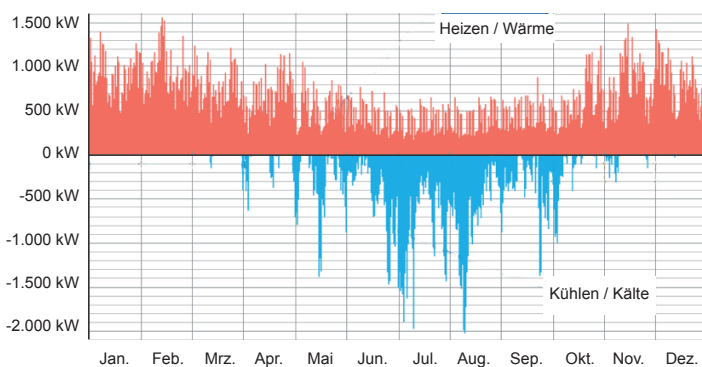


Abbildung 13-11: Beispielhaftes Energieprofil eines Laborgebäudes für den Heiz- und Kühlenergiebedarf [Dockx 2015]

13.3.11 Einsatz von Wärmepumpen

Eine Besonderheit von Laborgebäuden ist der kontinuierliche Wärmebedarf über das ganze Jahr hinweg (Abbildung 13-11). In den Sommermonaten wird zusätzlich am Tag Kälte benötigt, wenn die freie Kühlung bei hohen Außentemperaturen nicht mehr möglich ist oder Prozesskälte erforderlich ist. Dieser Umstand begünstigt den Einsatz von Wärmepumpen zur Grundlastversorgung mit Wärme und Kälte. Um einen hohen Wirkungsgrad zu erreichen, muss die Temperaturspreizung zwischen Wärmequelle und Wärmesenke möglichst geringgehalten werden. Heizsysteme mit niedrigen Vorlauftemperaturen sind eine Voraussetzung, Wärmequellen mit möglichst hohen Temperaturen die andere. Der Einsatz von thermischen Speichern für Wärme und Kälte kann den Wirkungsgrad durch die Optimierung der Betriebszeiten weiter erhöhen. [Dockx 2015]

13.3.12 Abwärmenutzung zur Gebäudebeheizung

Zur Temperierung von Gebäuden werden Energiequellen benötigt, die dem Temperaturniveau der Wärmeerzeuger entsprechen oder durch eine Wärmepumpe auf dieses Niveau gebracht werden. Es ist also einerseits von Vorteil, die Systemtemperaturen der Wärmeerzeuger des Gebäudes zu senken, andererseits wichtig, dass die Abwärmequellen angepasste Temperaturen liefern und zu einem gewissen Teil konstant zur Verfügung stehen. Zur Nutzung von Abwärme eignen sich prinzipiell industrielle Abwärme mit einem durchgehend hohen Temperaturniveau, Rechenzentren zur Versorgung eines Nahwärmenetzes, die Nutzung der Abwärme von Kühlanlagen im eigenen Gebäude (vorrangig bei gleichzeitigen Kälte- und Wärmebedarf über einen längeren Zeitraum) oder eine direkte Abwärmenutzung (z.B. Serverräume im Keller von Wohnhäusern, Vermietung von Serverkapazität & Verwendung von Abwärme). Alle skizzierten Anwendungsfälle sind im Einzelfall zu prüfen. Insbesondere die dauerhafte Nutzbarkeit der Wärmequelle ist sicherzustellen. Würde beispielsweise ein Server erneuert und hätte nur noch die Hälfte der Leistungsaufnahme, wäre die Abwärmenutzung in einem ähnlichen Maß beeinträchtigt. Der TGA-Planer ist daher angehalten, Systeme zu installieren, die auch mit einem anderen Wärmeerzeuger betrieben werden könnten. Im Projekt Neubau Energiezentrum an der BTU Cottbus ergänzt eine Wärmepumpe mit

Erdwärmesonden die Wärmeversorgung des Gebäudes. Denkbar wäre ebenso ein Fernwärmeanschluss mit hohem KWK-Anteil. [Hänel 2016]

13.3.13 Beleuchtung

Wie Schreivarbeitsplätze benötigen Laborarbeitsplätze (ohne Farbprüfung) 500 lux Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz. Wirtschaftlich geplante Laborzonen weisen Raumtiefen von über 5 Meter auf. Während eine an der Fassade liegende Auswertezone regelmäßig gut mit Tageslicht versorgt ist, sind tiefer liegende Laborarbeitsplätze selten ausreichend mit Tageslicht versorgt. Daher ist es sinnvoll, zonenweise Lichtregelungen vorzusehen. Für Auswertezonen kann eine tageslichtabhängige Regelung (ggf. mit Präsenzkontrolle) in Verbindung mit einer Sonnenschutzregelung empfehlenswert sein. [Engel 2015] LED-Lampen haben mehrere Vorteile gegenüber konventioneller Lampen (z.B. Leuchtstofflampen mit elektronischem Vorschaltgerät): Zuerst einen niedrigeren Energiebedarf bei gleicher Leuchtstärke. Damit geben sie auch weniger Abwärme an den Raum ab. In der Heizperiode kann diese Abwärme zur Raumheizung genutzt werden. Aktuelle Heizsysteme verbrauchen allerdings weniger nicht erneuerbare Primärenergie, so dass Lampenstrom zur Raumheizung klimafreundlicher ist als beispielsweise eine Sole-Wasser-Wärmepumpe. In der Sommerperiode müssen die Laborräume tagsüber gekühlt werden. Hier ist die Lampenabwärme nicht nutzbar und muss maschinell abgeführt werden. Eine stromsparende Beleuchtung ist daher anzustreben.

13.3.14 Transmissionswiderstand der Außenwand

Der Einfluss einer thermisch gut gedämmten Gebäudehülle auf den Energiebedarf von Laborgebäude ist umstritten. Es existiert die Meinung, die Laborräume wären ohnehin zu warm und eine gute Fassadendämmung trägt zu weiterer Überhitzung bei [Born et al. 2014] Tatsächlich haben Laborgebäude aufgrund der tiefen Raumzonen einen hohen Fensterflächenanteil. Der Einfluss der opaken Fassadenflächen ist deutlich geringer als beispielsweise bei Wohngebäuden. Eine Verbesserung der Wärmedämmung macht sich bei opaken Bauteilen geringer bemerkbar. Anders ist es bei Fensterflächen: Eine Verbesserung der Dämmeigenschaften ist eine relevante Komponente für den Energiebedarf von Laboren (Kapitel 15). [Giordano 2016]

13.4 Experteninterviews Niedrigstenergie-Labor

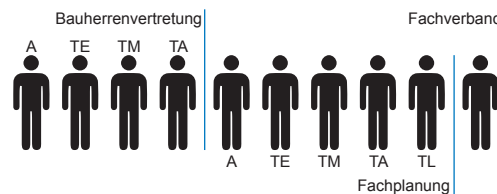


Abbildung 13-12: Übersicht über die Fachbereiche der Interviewpartner der leitfadengeführten Experteninterviews: Architekten (A), TGA-Planer für Elektrotechnik (TE), Maschinenbau (TM) und Generalplaner (TA) sowie Laborplaner (TL)

Die geringe Anzahl an Literaturquellen und publizierten Modellvorhaben für klimafreundliche Laborgebäude wird durch leitfadengeführte Experteninterviews ergänzt. Die Experten setzen sich aus verschiedenen Gruppen zusammen (Abbildung 13-12). Es handelt sich um Fachleute mit ausgewiesener Praxiserfahrung in Planung und Bau von Laborgebäuden, die sowohl als fachkundige Bauherrenvertreter, als auch als freiberufliche Fachplaner tätig sind. Ein Repräsentant eines Fachverbandes für nachhaltige Laboratorien komplettiert die insgesamt zehn Interviews. Alle Interviewpartner wurden vorab mit dem gleichen Themenkatalog (Anhang 13-A1) zum Gespräch angefragt. Da nicht alle Einverständniserklärungen zur namentlichen Veröffentlichung der Interviewergebnisse vorliegen, sind die Gesprächsergebnisse anonym und stichpunktartig zu einem Antwortkatalog zusammengefasst worden (Anhang 13-A2). Tabelle 13-02 zeigt die Zusammenfassung der Potentialeinschätzungen der Interviewpartner zu den einzelnen Maßnahmen in Bezug auf klimafreundliche Laborgebäude. Fachleute einzelner Disziplinen haben sich nicht zu fachfremden Disziplinen geäußert. Daher gibt es keine Maßnahme, die zehn von zehn Nennungen aufweist. Die Maximalzahl an Nennungen liegt bei acht.

Das größte Potential wird den Effizienzmaßnahmen der technischen Gebäudeausstattung zugesprochen. Herausragend sind die Nennungen zur RLT und Wärme- und Kälteversorgung. Unter den Suffizienzmaßnahmen ist die Bedarfsplanung (Flächenreduktion) und die Gefährdungsbeurteilung (Reduktion der Luftwechsel) am häufigsten genannt. Den baulich-passiven Effizienzmaßnahmen wird geringeres Potential zugestanden. Lediglich die Tageslichtversorgung wurde zweimal als effektiv für die Zielerreichung eingestuft. Unter der Nutzung erneuerbarer Energien wird lediglich die Umweltwärme, für Verbundmaßnahmen die Fernwärme mit großem Potential gesehen.

Tabelle 13-02:
Zusammenfassung der
Experteninterviews

Zusammenfassung Experteninterviews

1	Suffizienz - Bedarfsplanung	
1.1	Nutzflächen (Größe & Art der Nutzung) <ul style="list-style-type: none"> • Standardisierte Flächen je AP und Disziplin • Flächenreduktion zur Reduktion des Raumvolumens • Bedarfsflächenermittlung ← → Budgetermittlung 	
1.2	Raumflexibilität <ul style="list-style-type: none"> • Standardisierung v. allgemeinen Laboren (i.d.R. >80%) • Flexibilisierung von techn. Installationen • Spezialisierung durch Core Facilities, zentrale Auxiliarräume (i.d.R. <20%) 	
1.3	Behaglichkeitskriterien <ul style="list-style-type: none"> • Raumtemperatur • Luftgeschwindigkeiten • Beleuchtungsstärken 	
1.4	Gefährdungsbeurteilung <ul style="list-style-type: none"> • Umgang mit Schadstoffen • Reduktion von Luftwechselraten (bedarfsgerechte Lüftung) • Umgang mit der Auswertezone 	
1.5	Betriebsführung <ul style="list-style-type: none"> • mehrjähriges Monitoring zur Einregulierung • fachkundiges Betriebspersonal ← → bedienbare Technik • dauerhaftes Monitoring (Benchmarking) über GLT 	

Zusammenfassung Experteninterviews

2.1	Effizienzmaßnahmen – passiv baulich	
2.1.1	Reduktion der Wärmetransmission <ul style="list-style-type: none"> • Kompaktheit des Gebäudevolumens • Reduktion der U-Werte (opake & transparente Flächen, Wärmebrücken) • Dichtheit der Gebäudehülle 	
2.1.2	Solare Wärmegevinne <ul style="list-style-type: none"> • Orientierung der Fensterflächen • Fensterflächenanteil • g-Werte Verglasung 	
2.1.3	Schutz vor sommerlichen Wärmegevinnen <ul style="list-style-type: none"> • permanente Verschattungselemente • beweglicher (effektiver) Sonnenschutz • Steuerungsautomatik 	
2.1.4	Tageslichtversorgung <ul style="list-style-type: none"> • Fensterflächenanteil • Sturzffreie Fassade • Lichtlenkelemente 	
2.1.5	Thermisch zugängliche Speichermassen <ul style="list-style-type: none"> • offene Deckeninstallationen • abgehängte Akustikmaßnahmen • massive Wandkonstruktionen 	
2.1.6	Freie Lüftung <ul style="list-style-type: none"> • Möglichkeit zur freien Lüftung • freie Nachtlüftung (Nachtauskühlung) • 	

Zusammenfassung Experteninterviews

2.2	Effizienzmaßnahmen – technische Gebäudeausstattung	
2.2.1	Wärme - Bedarfsauslegung <ul style="list-style-type: none"> • maximale Heizlast, Gleichzeitigkeit • Ansatz interne Wärmelasten 	
2.2.2	Wärme - Versorgung <ul style="list-style-type: none"> • Wärmequelle, Temperaturniveau • Übergabesystem 	
2.2.3	Kälte - Bedarfsauslegung <ul style="list-style-type: none"> • Maximale Kältebelast, Gleichzeitigkeit • Ansatz interne Wärmelasten 	
2.2.4	Kälte - Versorgung <ul style="list-style-type: none"> • Wärmequelle, Temperaturniveau • Übergabesystem 	

2.2.5	RLT - Bedarfsauslegung <ul style="list-style-type: none"> • Volumenströme, Gleichzeitigkeit • Bedarfsgerechte Lüftung und Überströmung 		hohes Potential zu erwarten
2.2.6	RLT - Versorgung <ul style="list-style-type: none"> • RLT-Anlagen (Auslegung, Redundanz, SFP, WRG, ...) • Kanalnetz (Querschnitte, Ring- und Stichsysteme, ...) • Luftkonditionierung (Wärmeversorgung, VL-RL-Temp., Kälteversorgung) 		Potential wird gering eingeschätzt
2.2.7	Beleuchtung - Bedarfsauslegung <ul style="list-style-type: none"> • Beleuchtungsstärken • Beleuchtungsarten 		Potential bereits ausgeschöpft oder nicht vorhanden
2.2.8	Beleuchtung - Versorgung <ul style="list-style-type: none"> • Lampenart • Beleuchtungssteuerung 		keine Aussage
2.2.9	Medienversorgung / Energiekopplung <ul style="list-style-type: none"> • Effizienzstrategien im Verbund • Abwärmenutzung (Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung) 		
2.2.10	Gebäudeleittechnik <ul style="list-style-type: none"> • Intelligentes Lastmanagement 		

Zusammenfassung Experteninterviews

3 Konsistenzmaßnahmen – Nutzung erneuerbarer Energien

3.1	Strahlungsenergie - Wärme <ul style="list-style-type: none"> • Solarthermie 		
3.2	Umweltwärme <ul style="list-style-type: none"> • Erdwärme • Grundwasser 		
3.3	Abwärmenutzung Gebäude <ul style="list-style-type: none"> • Rückkühler, Serverräume • Abwasser 		
3.4	Nutzung von Biomasse <ul style="list-style-type: none"> • Hackschnitzel / Holzpellet • Biogas / Bioöl 		
3.5	Regenerative Kälte <ul style="list-style-type: none"> • Grundwasser • Solar Cooling 		
3.6	Strahlungsenergie - Strom <ul style="list-style-type: none"> • PV-Anlagen 		
2.2.7	Elektrische Speichersysteme <ul style="list-style-type: none"> • Batteriespeicher • Power to Gas, - Pressure, - Gravity 		

Zusammenfassung Experteninterviews

4 Ko-Existenz – Quartiers- und Nachbarschaftsverbund

4.1	Fernwärme & Fernkältesysteme <ul style="list-style-type: none"> • Einsatz von regenerativen Energiequellen • Kraft-Wärme-Kopplung 		
4.2	Anergienetze (LowEx) im Quartier <ul style="list-style-type: none"> • Niedertemperaturwärme • Hochtemperaturkälte 		
4.3	Quellen-Senken-Verbund <ul style="list-style-type: none"> • Synergien zwischen verschiedenen Nutzungen / Typologien • Verbund zu besonderen Infrastrukturen (z.B. Abwassersammler) 		

13.5 Strategie

Aus der Literaturrecherche und den Experteninterviews werden Einzelmaßnahmen definiert. Die Themen Suffizienz (Bedarfsminimierung), Effizienz (energieeffiziente Systeme) und Konsistenz (Einsatz erneuerbarer Energien) kategorisieren die Einzelmaßnahmen in übergeordnete Strategien. Eine effektive Herangehensweise für Laborgebäude mit niedrigen CO₂-Emissionen erfolgt in dieser Reihenfolge [Dockx 2015]:

13.5.1 Bedarfsminimierung

Der Energiebedarf eines Gebäudes ist immer durch eine Nutzung ausgelöst. Die Größe der erforderlichen Fläche, die Größe des erforderlichen Volumens und die Qualität der Raumkonditionierung (Licht, Luft, Temperatur) bestimmen die Zielgrößen, die einer bestimmten Nutzung zugeschrieben werden können. Die Energie, die erforderlich ist, diese Zielgrößen zu erreichen und zu bewahren, ist die Nutzenergie. Suffizienz (sufficere: lat. ausreichen) will diese Zielgrößen erreichen. Eine Übererfüllung der Zielgrößen ist im Sinne von Genügsamkeit nicht gewünscht. Suffizienz will keinen unnötigen Verzicht oder notwendige Dinge wegdiskutieren. Die Frage nach der ausreichenden Fläche für ein Laborgebäude wird in dieser Arbeit nicht behandelt. Vielmehr wird die Frage nach der erforderlichen Konditionierung und Behandlung der Raumluft in Form von reduzierten Luftwechselraten untersucht: eine Reduktion der Luftwechselvolumina zu Nebenzeiten, bedarfsbedingte Luftvolumina zu Betriebszeiten und eine Überströmung einer abgetrennten Auswertezone. Genau genommen müsste man auch eine hocheffiziente Fassade zur Bedarfsminimierung zählen, da geringere Transmissionswärmeverluste die Nutzenergie ebenso reduzieren.

13.5.2 Effiziente Systeme

Um eine erforderliche Menge an Nutzenergie bereitstellen zu können, arbeitet die technische Gebäudeausrüstung unter Umwandlungs- und Leitungsverlusten. Je effizienter die TGA arbeitet, umso weniger Endenergie wird dazu benötigt. Die Effizienzmaßnahmen beinhalten die Beleuchtung, die Wärme- und Kälteerzeugung und die Raumlufttechnik. Für diese Analyse wird die Fassadenkonstruktion inklusive des Sonnenschutzes auch unter die Effizienzmaßnahmen subsumiert.

13.5.3 Erneuerbare Energien

Um klimafreundliche Laborgebäude zu erreichen, muss die Endenergie mit einem möglichst geringen Anteil an nicht erneuerbarer Primärenergie bereitgestellt werden (Konsistenz). Dazu können Energieträger mit geringen Primärenergiefaktoren gewählt werden. Ausgeschlossen sind analog zu Teil II Energieträger aus lokaler Erzeugung (z.B. Fernwärme). Auch wenn sie in Realität große Vorteile bringen, wird die Studie standortneutral gehalten. Die Nutzung von Erdwärme mittels Wärmepumpen wird unter einer Effizienzmaßnahme eingeordnet. Solare Wärmegewinne werden in der Simulation berücksichtigt, aber nicht weiter erwähnt. Für die konsistente Energieerzeugung wird die Nutzung von solarer Strahlungsenergie (Photovoltaik, Solarthermie, PVT), die Nutzung von Windenergie und die Nutzung von Abwärme betrachtet. Genau genommen ist auch Abwärme regelmäßig durch nicht erneuerbare Energieformen erzeugt worden. Die Nutzung wird hier allerdings analog der EPBD 2010 als Nutzung einer Energie aus erneuerbaren Quellen gewertet, die ohnehin vorhanden ist, und bei Nichtnutzung für die Bilanz verloren gehen würde.

13.5.4 Erfolgskontrolle / Energie-Monitoring

Für energieeffiziente Nichtwohngebäude ergibt sich auch in der Umsetzung einfacher Konzepte eine komplexe Gebäudetechnik, die sowohl Firmen als auch Betreiber der Gebäude regelmäßig überfordert. In dem Projekt Neubau Energiezentrum an der BTU ist trotz eines dreijährigen Monitorings eine ähnliche Situation aufgetreten. Mängel in der Effizienztechnologie des Gebäudes können nur durch ein langjähriges Monitoring aufgedeckt werden. Dazu fehlen regelmäßig die fachkundigen Personalkapazitäten und die finanziellen Mittel [Hänel 2016, 121]. Es bleibt also die Frage, ob die Zuverlässigkeit, Energieeffizienz und Bedienbarkeit solcher Anlagen in Zukunft verbessert werden können, oder ob man technologisch wieder einen Schritt zurückgehen und Energiekonzepte für und mit den Benutzern entwickelt müsste.

Untersuchungsmethode II

14.1	Parameter	142
14.2	Arbeitsschritte	142
14.3	Case Study	143
14.4	Standort und Klimadaten	144
14.5	Dynamische Gebäudesimulation	144
14.6	Benchmarks	148

Fazit Kapitel 14:

Die Bilanzierung nach der durch die EnEV eingeführten Berechnungsmethode wird der Komplexität von hochinstallierten Laborbereichen nicht gerecht. Die instationäre thermische Simulation ermöglicht ein Berechnungsmodell, das die reale Situation in einer Laborzone wesentlich besser darstellen kann. Das Problem der hohen Anzahl an Übertemperaturstunden lässt sich durch die dynamische Simulation darstellen und in die Analyse einbeziehen.

14.1 Parameter

Die Variationen der Simulationen untersuchen Strategien, die durch die Reduktion der Energiebedarfe Verbesserungen im klimaneutralen Betrieb von Laborgebäuden versprechen. Das Ziel eines weitestgehend klimafreundlichen Betriebs von Laborgebäuden gibt als Untersuchungsparameter den nicht-erneuerbaren Anteil des Primärenergiebedarfs (Q'_{PNE}) vor. Die Verwendung von verschiedenen Energieträgern macht es erforderlich, über die Umrechnung auf Q'_{PNE} die Klimaauswirkungen verschiedener Konzepte miteinander vergleichbar zu machen. Der thermische Komfort wird den Untersuchungen zugrunde gelegt. Er wird nach DIN EN 15251:2012-12 bewertet. Die Behaglichkeitsbereiche unterscheiden sich bei Laborgebäuden von Wohn- und Bürogebäuden, die nach dem nationalen Anhang der DIN in Deutschland bewertet werden. Für Gebäude mit aktiver Kühlung werden die Grenztemperaturen für die operative Raumtemperatur für Heiz- und Kühlfall in Abhängigkeit der Bekleidung (clo-Werte), des Aktivitätsgrades (met-Werte), den mittleren Luftgeschwindigkeiten und einer angenommenen relativen Luftfeuchtigkeit von 50% ermittelt [DIN EN 15251, A1]. Die Abweichung

(stündliche Durchschnittswerte) von diesen Temperaturbereichen nach Kategorie II wird in Stunden pro Jahr ausgedrückt. Der Anteil der Stunden außerhalb der thermischen Behaglichkeit nach Kategorie II soll 3-5% der Arbeitsstunden der zu simulierenden Zone nicht überschreiten [DIN EN 15251, AG].

14.2 Arbeitsschritte

Basierend auf der Literaturrecherche und den Experteninterviews werden Einzelmaßnahmen für Effizienz, Suffizienz und Konsistenz analysiert. Das Vorgehen entspricht dabei der Definition des Niedrigstenergiestandards: Minimierung des Energiebedarfs und Deckung des Bedarfs zu einem wesentlichen Teil durch erneuerbare Energien. Im ersten Schritt werden Effizienz- und Suffizienz-Maßnahmen zunächst als Einzelmaßnahmen untersucht. Die Bewertung erfolgt anhand der Auswirkungen auf die genannten Untersuchungsparameter. Im Anschluss werden sinnvolle Kombinationen der Maßnahmen identifiziert und analysiert. Dabei werden Ausführungen vorgeschlagen, die für Laborneubauten in der Regel universell einsetzbar sind (Effizienz) oder fallbezogen untersucht

Tabelle 14-01:
Übersicht der Einzelsimulationen
und Kombinationsmodelle

	Einzelmaßnahme	Abkürzung	Biologie	Chemie	Kombinationen
Basis	Angepasstes Referenzgebäude	01 RG_real	_BIO	_CHE	
Effizienz	Gebäudehülle	02 PH-Env	_BIO	_CHE	
	Beleuchtung	03 eff-Bel	_BIO	_CHE	
	Wärme- & Kälteerzeugung	04 eff-WaeKae	_BIO	_CHE	
	Raumluftechnik	05 eff-RLT	_BIO	_CHE	
			_BIO	_CHE	02+03
		_BIO	_CHE	02+03+04	
		maxEff	_BIO	_CHE	02+03+04+05
Suffizienz	Lüftungsabsenkung Nebenzeit	06 LWRredNZ	_BIO	_CHE	
	Nutzungsgeführte Lüftung BZ	07 LWRnuR	_BIO	_CHE	
	Überströmung Auswertezone	08 KoLa	_BIO	_CHE	
			_BIO	_CHE	maxEff+06
		_BIO	_CHE	maxEff+06+07	
		maxES	_BIO	_CHE	maxEff+06+07+08
Konsistenz	Photovoltaik		_BIO	_CHE	+maxEff & maxES
	Solarthermie		_BIO	_CHE	+maxEff & maxES
	PVT		_BIO	_CHE	+maxEff & maxES
	Windkraft		_BIO	_CHE	+maxEff & maxES
	Erdwärme (in E 04)				
	Abwärmernutzung		_BIO	_CHE	+maxEff & maxES

14.3 Case Study

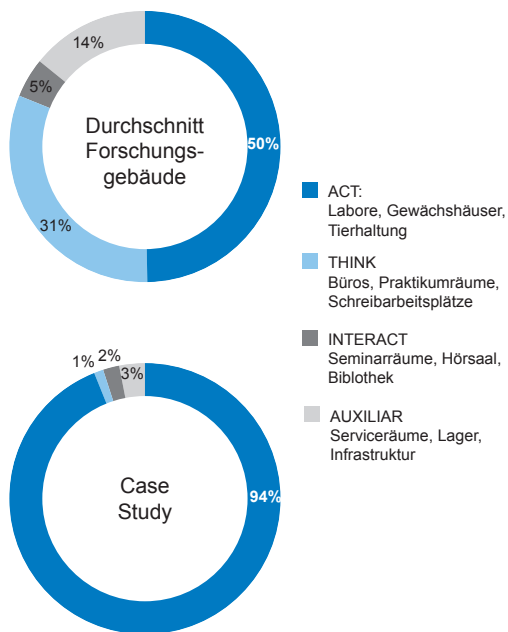


Abbildung 14-01: Durchschnittliche Nutzflächenverteilung (NF1-6) von Forschungsgebäuden (oben) und Nutzflächenverteilung Case Study (unten) [Cordes et al. 2007]

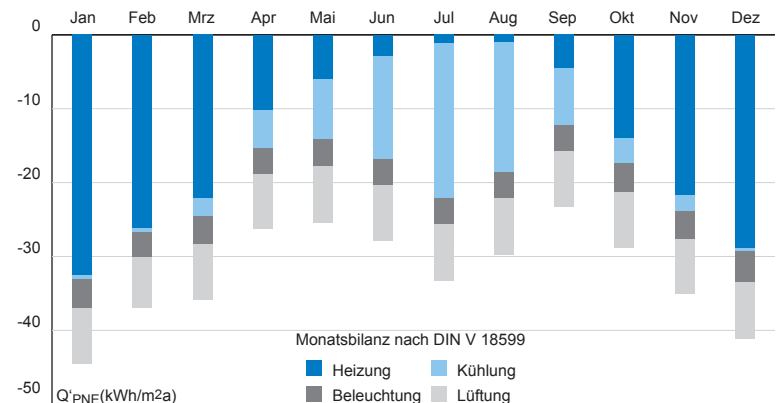
werden müssen (Suffizienz). Ziel ist es, Benchmarks für bedarfsminimierte Modelle für Laborneubauten zu erarbeiten. Die Kombinationen müssen neben der Reduktion des Energiebedarfs auch eine Verbesserung des thermischen Raumkomforts erwirken. Im zweiten Schritt wird versucht, die Bedarfe dieser Modelle weitestgehend mit Energien aus erneuerbaren Quellen zu decken. Für die Konsistenzmaßnahmen werden wiederum die Erkenntnisse aus Literatur und Interviews zu Modellierung der Einzelmaßnahmen verwendet. Die Definition von Energien aus erneuerbaren Quellen [EPBD 2010, Art. 2 Nr. 6] wird für die Untersuchung um ungenutzte Abwärme erweitert. Sie sollte bei einem Prozess entstehen, der in Laborbauten üblich ist (z. B. Abwasser von Spülgeräten). Art. 2 Nr. 6 enthält auch Quellen für erneuerbare Energien, die nicht typisch für einen generischen Gebäudestandort sind. Daher werden keine Potentiale von beispielsweise Meeresenergie oder Wasserkraft untersucht. Die energetische Verwertung von Deponiegas, Klärgas oder Biogas wird eher der Verstromung am Entstehungsort zugerechnet und ebenfalls nicht aufgenommen. Eine Einspeisung von Biogas in die allgemeinen Gasnetze würde allenfalls die Entwicklung des Primärenergiefaktors für die Verwendung von Gas im Gebäude positiv beeinflussen. Tabelle 14-01 zeigt eine Übersicht aller Simulationsmodelle.

Als Untersuchungsgegenstand wird ein reales Gebäude verwendet. Die Daten dürfen nur anonymisiert verwendet werden, daher wird nicht näher auf das Gebäude eingegangen. Die Hauptnutzfläche des Gebäudes besteht zu ca. 94% aus Laborflächen verteilt auf drei Nutzgeschosse (Abbildung 14-01). Die ungewöhnliche Homogenität in der Hauptnutzung bringt den Vorteil, dass man erneuerbare Energieerzeugung am oder im Gebäude relativ linear auf Flächenanteile beziehen kann, ohne auf unterschiedliche Energiebedarfe verschiedener Nutzungszonen Rücksicht nehmen zu müssen. Zusätzlich bietet das Gebäude in Bezug zur Nutzung ein „Worst Case Szenario“. Wenn es hier gelingen sollte, einen Niedrigstenergiestandard nachzuweisen, sollten die Ergebnisse auf weniger kritische Laborgebäude übertragbar sein. Die Höhenentwicklung der drei Labor- bzw. Nutzgeschossen entspricht den Durchschnittswerten für Gebäude dieser Baukategorie (Teil 3). Die Geschosshöhen und Fensterflächenanteile mit den typischen Bandfassaden entsprechen dem modernen Bautypus des Labor- und Forschungsgebäudes.

Energiebedarfe nach DIN V 18599

Um das Gebäude in Bezug auf Nachweise nach EnEV einschätzen zu können, wird es mit zwei unterschiedlichen Verfahren nach DIN V 18599 stationär bilanziert: im vereinfachten Verfahren ohne direkte Hüllflächenzuweisung der Zonen (EnerCalc 2013) und mittels eines detaillierten Nachweises (AX 3000). Beide Verfahren kommen zu fast identischen Ergebnissen für den Primärenergiebedarf Q'_{PNE} . Das vereinfachte Verfahren ergibt für das gesamte Gebäude $392 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, das detaillierte Verfahren $385 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Da die Laborzonen

Abbildung 14-02: Primärenergiebilanz (Q'_{PNE} ($\text{kWh/m}^2\text{a}$)) der Case Study im Monatsbilanzverfahren nach DIN V 18599



(neben Server- und Küchenzonen) den höchsten Energiebedarf aufweisen und viele Flächen im Gebäude einen wesentlich niedrigeren Energiebedarf, muss der Q'_{PNE} der Labore über dem Durchschnitt liegen. Abbildung 14-02 zeigt die einzelnen Bedarfe monatsweise. Auch in Sommermonaten wird eine geringe Menge Heizenergie zur Konditionierung von nächtlicher Zuluft benötigt. Die Erwärmung von Trinkwasser ist vernachlässigbar. Der Kühlenergiebedarf, Beleuchtung und Lüftung haben aufgrund der Betrachtung der Primärenergie eine höhere Gewichtung ($f_{p, Strom} = 1,8$) gegenüber der Heizenergie ($f_{p, Gas} = 1,1$). Das Ergebnis für das Referenzgebäude nach EnEV und DIN V 18599 dient als zulässiger Höchstwert (Benchmark) für Q'_{PNE} im normierten Nachweisverfahren. Es gibt Kritik an der Beurteilung von Laborgebäuden mithilfe dieses Regelwerks [Runge et al. 2015] [IFMA 2012]. Im Kern der Kritik steht, dass Laborgebäude den Großteil ihres Energiebedarfs durch nutzungsindizierte Prozesse generieren. Die Qualität des Baukörpers und der technischen Anlagen sind diesen Anforderungen untergeordnet. Damit unterscheidet sich das Laborgebäude erheblich von beispielsweise Büro- und Verwaltungsgebäuden. Durch eine umfangreiche Untersuchung von 85 Laborgebäuden ist es gelungen, einen einfachen Zusammenhang zwischen den mittleren Luftwechselraten des Gebäudes und den Energieverbräuchen für Wärme und Strom herzustellen (vgl. Kapitel 13.1.3 und Abbildung 13-06). Die Ergebnisse der Untersuchung haben in den „Bekanntmachungen der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand“ Berücksichtigung gefunden [BMW i et al. 2013]. Sie dienen als Vergleichswerte für Energieausweise im Bestand. Für den Nachweis bei Neubauten finden sie keine Berücksichtigung.

14.4 Standort und Klimadaten

Die Nachweisführung nach DIN V 18599 verwendet Monatsmittelwerte nach Teil 10 Anhang E. Es gibt 15 Referenzstandorte über das Bundesgebiet verteilt. Die Nachweisführung nach EnEV vereinheitlicht die zu verwendenden Monatsmittelwerte auf die Region 4 Potsdam ungeachtet der tatsächlichen Klimadaten am Standort. [DIN V 18599, T10] Die Klimadaten der

Region 4 zählen zu den Daten mit den dritthöchsten Durchschnittstemperaturen im Jahresmittel. Für eine realitätsnahe Berechnung der Heiz- und Kühllasten wird ein Klimadatensatz entsprechend dem Standort benötigt. Zudem erlauben Monatsmittelwerte keine detaillierte Ermittlung des thermischen Innenraumkomforts und sind für das Untersuchungsziel ungeeignet. Stattdessen werden Klimadaten von TRY (Test Reference Year) verwendet. Für die Simulation wird ein Wetterdatensatz innerhalb der Klimaregion 13 für einen Standort in Bayern gewählt. Er liegt im Norden von München (ASHRAE 108660). Das Windprofil entspricht einem suburbanen Standort.

14.5 Dynamische Gebäudesimulation

Das Monatsbilanzverfahren nach DIN V 18599, also die Bilanzierung mit monatlichen Durchschnittswerten, ist für eine detaillierte Untersuchung einer Laborzone nicht mehr ausreichend. Schon die detaillierte Betrachtung der Lüftungsprofile, der Gebäudetechnik oder eine detaillierte Berechnung des thermischen Verhaltens der einzelnen Bauteile verlangt nach einer dynamischen Simulation. Für diese Arbeit wird die Software IDA ICE in der Version 4.7.1 inklusive dem Modul ESBO verwendet. Alle verwendeten Komponenten der Modelle beruhen auf validierten Bausteinen (Types), die mit den notwendigen Variablen auf das jeweilige Simulationsmodell angepasst werden. Soweit möglich, werden die validierten TGA-Modelle übernommen. Lediglich für die Nutzung der Serverabwärme (+AbW) konnte auf kein adaptierbares Modell zurückgegriffen werden. Die Vorgehensweise für diese Analyse wird im Kapitel „Analyse“ beschrieben.

Die wichtigsten Vorteile der dynamischen Simulation für diese Arbeit sind:

- Abbildung typischer Nutzerprofile für Laborgebäude (Betriebszeiten, interne Wärmelasten, Lüftungsprofile getrennt nach Disziplinen und Ausstattungen)
- Detaillierte Berechnung des thermischen Verhaltens passiver Bauteile
- Simulation tageslichtabhängiger Beleuchtung
- Differenzierung zwischen Grundlast- und Spitzenlastzeuger in der Wärmeversorgung

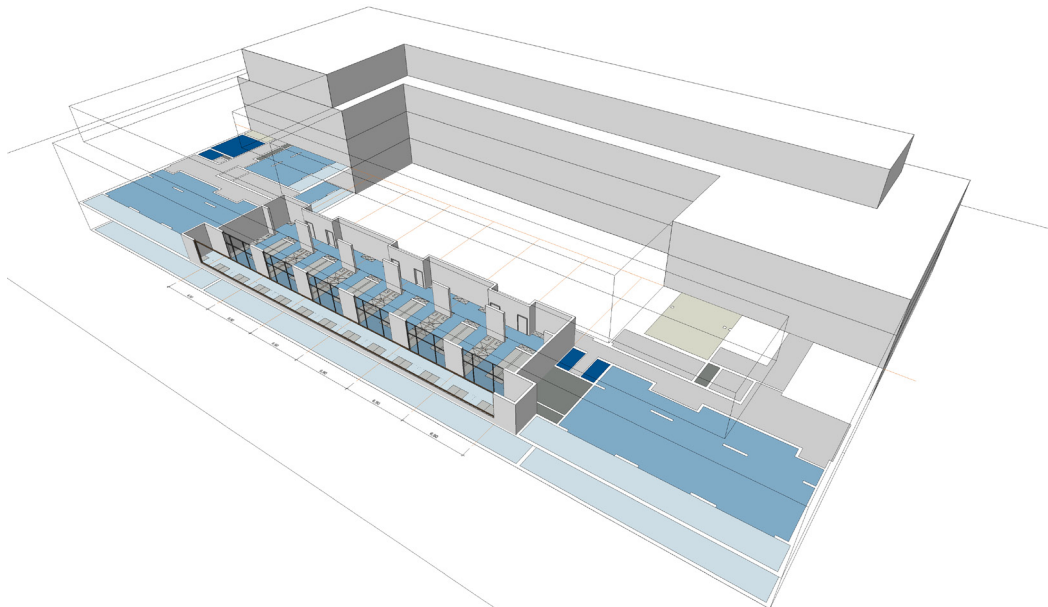


Abbildung 14-03:
Isometrie der Case Study mit Darstellung der Untersuchungs-Laborzone

- Berücksichtigung von Vereisungserscheinungen der Fortluft nach der Wärmerückgewinnung
- Variationen der System- (VL/RL) und Zuluft-Temperaturen
- Analyse des thermischen Innenraumkomforts

Simulation Referenzzone nach EnEV

Für die Untersuchungen ist die energetische Versorgung der Laborzonen von entscheidender Bedeutung (Kapitel 13). Erfüllt ihr Betrieb die Voraussetzungen für Niedrigstenergiegebäude, kann davon ausgegangen

werden, dass andere, weniger energieintensive Flächen ebenso versorgt werden können. Spezialnutzungen werden aus der Untersuchung ausgeklammert. Die Analyse mittels dynamischer Simulation beschränkt sich daher auf eine generische Laborzone (Abbildung 14-03). Sie besitzt eine Nettogrundfläche von ca. 500 m² und die baulichen Abmessungen für nutzungsneutrale Laborräume: eine lichte Raumhöhe von 3,7 Meter, ein Ausbauraster von 1,15 Meter und ein Konstruktionsraster von 6,9 Meter (Abbildung 14-04). Die Laborzone weist eine typische Tiefe für Laborräume

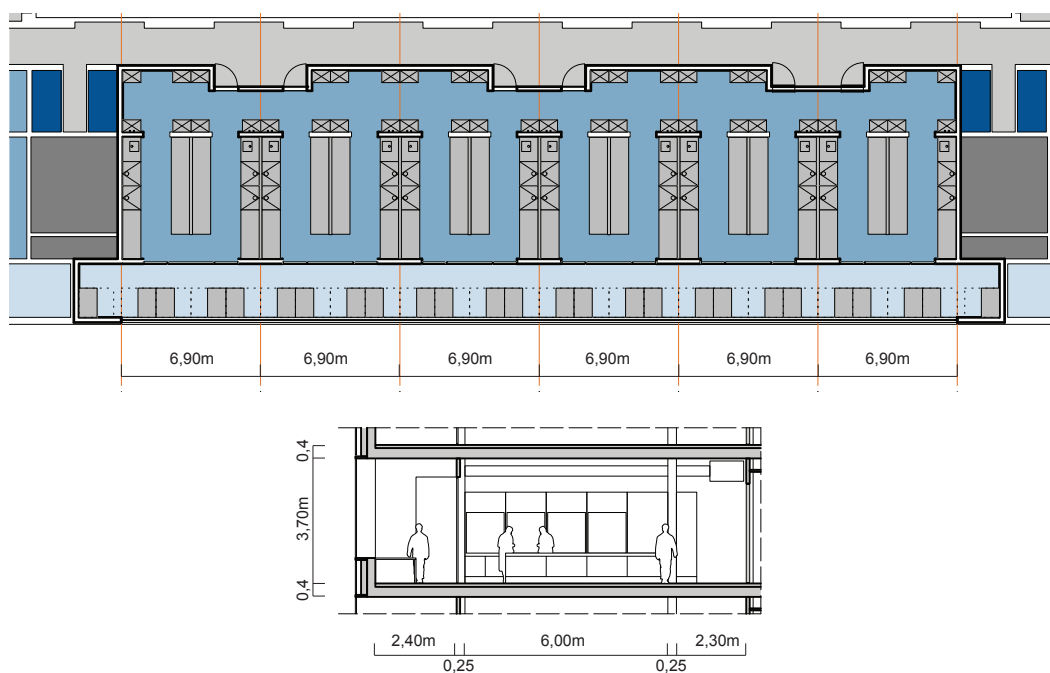


Abbildung 14-04:
Grundriss und Querschnitt der Untersuchungszone

von über 11 Metern auf. Raumhohe Fensterflächen mit einer niedrigen Brüstung auf Schreibtischhöhe (75 cm) optimieren die Tageslichtversorgung auch in tieferen Raumbereichen. Diese Höheneinteilung der Fenster, verbunden mit Bandfenstern sind ein häufig wiederkehrendes Element in Fassaden von Laborgebäuden. In der Untersuchungszone ergibt sich ein Fensterflächenanteil von ca. 70 %. Verbunden mit einer

Südausrichtung wird auch hier das ungünstigste Szenario bezogen auf den thermischen Innenraumkomfort angenommen. Die Auswertezone an der Fassade ist einer hohen solaren Einstrahlung bei geringem Raumvolumen ausgesetzt. Sie wird daher in der Bewertung der Simulation für den thermischen Komfort herangezogen. Tabelle 14-02 zeigt die technischen Spezifikationen der Basisversion für die Simulationen

Tabelle 14-02: Technische Ausführung für die Variante „Referenzgebäude EnEV 2013“ [EnEV 2013]

0 RG	Referenzgebäude (EnEV 2013)
U-Wert (AW)	0,28 W/m ² K
U-Wert (Fenster) / g-Wert	1,30 W/m ² K / 0,35
Gebäudedichtheit	1,0 h ⁻¹
Sonnenschutz	Sonnenschutz-Vergl. / g-Wert 0,35
Wärme-Erzeugung	Brennwertkessel 94%
Statische Wärme / Verteilung VL/RL / Regelung	Freie Heizflächen / 70/55 °C / P-Regler (1K)
RLT Wärme / VL/RL / Regelung	Heizregister / 70/55°C / Konstant
RLT Zuluftvent. (SFP)	1,5 kW/(m ³ /s)
RLT Abluftvent. (SFP)	1,0 kW/(m ³ /s)
RLT Rückwärmzahl (ht)	0,6
RLT Zulufttemperatur	18°C
RLT Druckverhältniszahl	0,4
RLT Luftbefeuchtung (Anforderung)	mit Toleranz
Kühlung statisch / Verteilung VL/RL / Leistung (Pd, spez.)	Ventilatorkonvektor / 14/18 °C / 30 W _{el} /kW _{Kälte}
Kühlung RLT / Verteilung VL/RL	RLT / 6/12 °C / 20 W _{el} /kW _{Kälte}
Kälte-Erzeugung	Kolbenverdichter luftgekühlt
Nutzungszeit	7:00 – 18:00
Nutzungstage (d/a)	250
Temperaturabsenkung	4 K
Absenkbetrieb RLT	50%
Betriebszeit RLT	0:00 – 24:00
Betriebstage (d/a)	250
Raum-Soll Heizung	22°C
Regelung Heizung	20-26°C
Raum-Soll Kühlung	24°C
Max.-Temp. Kühlung	26°C
VA Betriebszeit min.	25 m ³ /m ² h
VA Nebenzeit min.	12,5 m ³ /m ² h
LW Betriebszeit min/max	7 / 7
Digestorien	Standard
Belegungsdichte	2 St./40m ²
Labor-Bezugsfläche	493 m ²
Überströmung-NGF	0 m ²
RLT Zuluft / Jahr	65,7 Mio. m ³
RLT Abluft / Jahr	70,9 Mio. m ³
Lampenart / Inst.-dichte (W/m ²) / Steuerung	LSL (stab.) EVG / 18 W/m ² / Konstantlicht

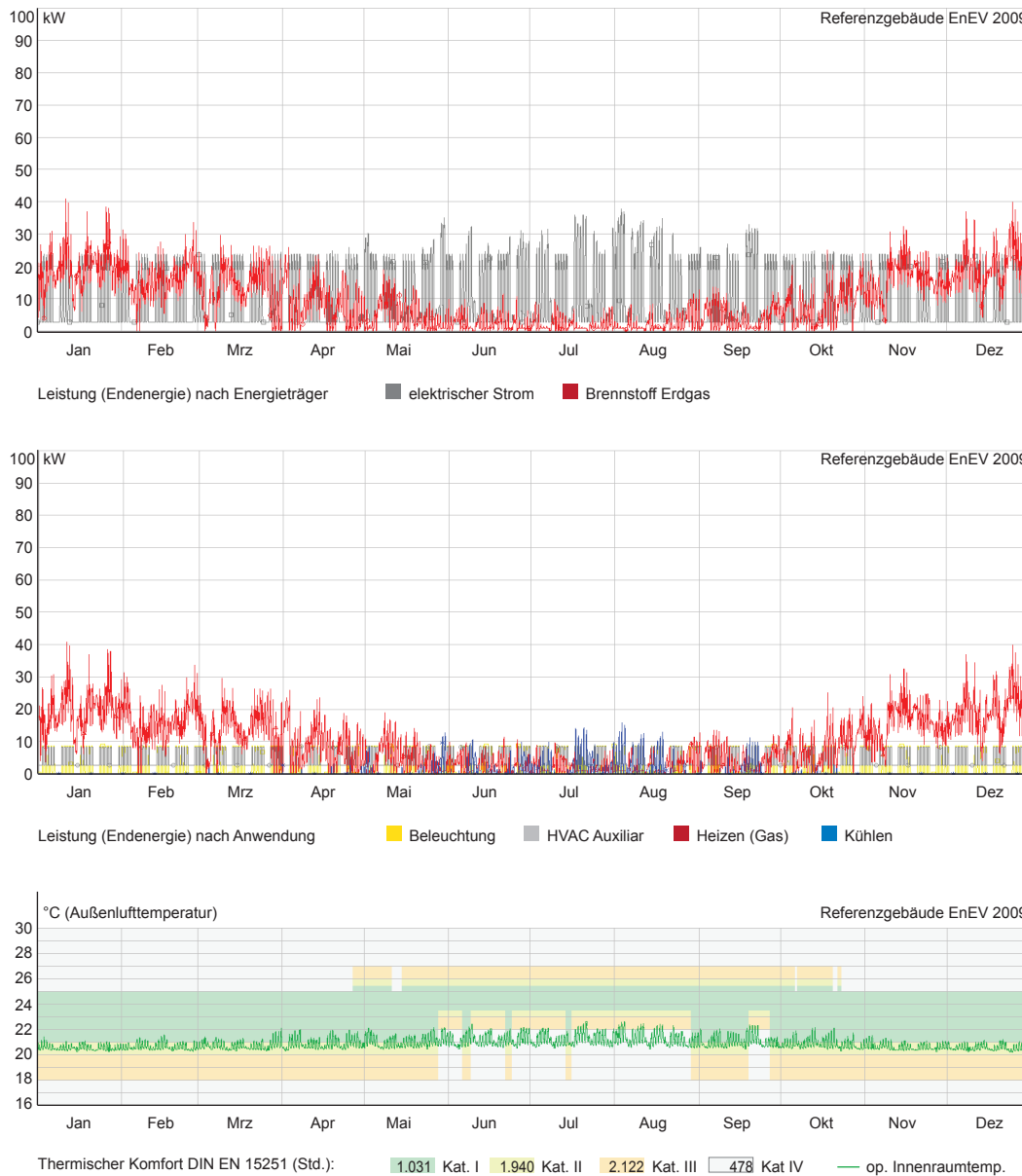


Abbildung 14-05: Leistung (Endenergie) nach Energieträger (oben), Leistung (Endenergie) nach Anwendung (Mitte) und thermischer Innenraumkomfort nach DIN EN 15251 (unten) der Variante „Referenzgebäude EnEV 2013“

der einzelnen Untersuchungen. Die Basis der Grundversion bildet die Ausführung des Referenzgebäudes nach EnEV 2013 [EnEV 2013, A2 Tabelle 1]. Die Abbildung 14-05 zeigt die Ergebnisse der Simulation. Auffällig ist auf den ersten Blick die tendenziell zu geringen Innenraumtemperaturen. Diese decken sich nicht mit den Erfahrungen aus realisierten Gebäuden, die eher zu hohe Innenraumtemperaturen aufweisen und Probleme haben, die zulässigen operativen Raumtemperaturen innerhalb der Behaglichkeitsgrenzen einzuhalten. Hier muss das Modell angepasst werden. Die Leistungsverteilung für Heizung (hier Erdgas), Kühlung (hier Strom), Beleuchtung und Antriebsenergie

erscheint plausibel und werden anhand des modifizierten Referenzmodells erläutert (Punkt 14.6). Die Simulationsergebnisse der Laborzone zeigen, dass die generalisierten technischen Ausführungen des Referenzgebäudes nach EnEV nicht universell für alle Gebäudetypologien einsetzbar sind. Für die angestrebten Untersuchungen erscheint die Variante „Referenzgebäude nach EnEV“ wenig Aussagekraft als Benchmark zu haben. Insbesondere die Ausführung der gesamten Raumluftechnik wird großen Einfluss auf die Ergebnisse haben. Daher wird das Basismodell, das als Benchmark für die Untersuchungen herangezogen wird, modifiziert.

Tabelle 14-03: Ergebnisübersicht Variante „00 RG_EnEV“

00 RG_EnEV			
Q'_E - spez. Endenergie (kWh/m ² a)		315,8	
Q'_{PNE} - spez. Primärenergie (kWh/m ² a)		446,6	
therm. Diskomfort (Std. Kat. III & IV) nach DIN EN 15251		478	18,4%

14.6 Benchmarks

Modifiziertes Modell – Technische Spezifikationen

Tabelle 14-04 zeigt die technischen Spezifikationen der Basisversion für die Simulationen der einzelnen Untersuchungen. Die Basis der Grundversion bildet die Ausführung des Referenzgebäudes nach EnEV 2013. Um eine realitätsnähere Simulation zu erhalten, wurden alle Spezifikationen mit Regelausführungen von Neubauten von Laborgebäuden verglichen. Alle Anpassungen sind in Tabelle 14-04 fett dargestellt. Die Anpassungen, die Raumluftechnik (RLT) betreffen, wurden auf Basis von einer individuellen Anlagendimensionierung gewählt [Trox 2017]. Die Anpassungen zu Nutzungs- und Betriebszeit sowie den zu- und Abluftmengen wurden in Rücksprache mit Laboreinrichtungsplanern selbst bilanziert (Anhang 14-A1) [Waldner 2017]. Unter den klassischen Wissenschaftsdisziplinen stellen die Fächer Chemie und Biologie zwei wesentlich unterschiedliche Disziplinen für nasspräparative Labore dar. Während die geringere Installationsdichte von Abzügen in Biologielaboren einen Betrieb nahe des Mindestzuluftvolumens von 25 m³/m²h zulässt, erhöhen die Mindestvolumenströme der vielen Abzüge in Chemielaboratorien den Volumenstrom je nach Betriebszustand erheblich. Daher wurden die Betriebszustände „Nebenbetriebszeit“, „Abzüge_geschlossen“ und „Abzüge_geöffnet“ in Nutzerprofilen abgebildet und mit den bilanzierten Volumenströmen der Simulation zugrunde gelegt. Die Nutzungszeiten

aus der EnEV sind für ein Laborgebäude zu gering.

Daher werden die durchschnittlichen Nutzungszeiten für Laborgebäude an reale durchschnittliche Betriebsstunden, evaluiert aus 92 Laborgebäuden, angepasst [Rotermund 2017].

Abbildung 14-06 zeigt den Betrieb der Heiz- und Kühlsysteme in Abhängigkeit der Außentemperatur. Auffällig sind die drei linearen Verläufe der Heizleistung zur Erwärmung der Zuluft bei der Chemienutzung (CHE) gegenüber den zwei linearen Verläufen der Biologienutzung (BIO). Sie entsprechen den unterschiedlichen Betriebszuständen der Raumluftechnik der beiden Nutzungen. Für den Betriebszustand „Abzüge_geöffnet“ ergeben sich im CHE erheblich höhere Luftwechselraten als im BIO. Die höhere Dichte an Abzügen macht im CHE Luftwechselraten um 13 h⁻¹ notwendig, um die Mindestvolumenströme der Digestorien einzuhalten. Für BIO ändert dieser Betriebszustand wenig an den Volumenströmen des gesamten Labors, da die Erhöhung der Abluft in den Digestorien über die Senkung der allgemeinen Raumabluft kompensiert wird. Ungewöhnlich ist auch die Tatsache, dass die stationäre Raumkühlung zumindest zeitweise während klassischer Heizperioden einen Bedarf aufweist. Dieser ist zwar gering, aber dennoch nicht wünschenswert im Sinne der Energieeffizienz. Die Kühlung der Zuluft erfolgt nur bei Temperaturen jenseits der Raumisotherme (22°C). Die stationäre Raumheizung (hier Radiatoren) ist das ganze Jahr nicht in Betrieb. Auch das entspricht den Erfahrungen aus der Praxis.

Abbildung 14-06: Darstellung der Leistungsdaten der technischen Versorgungssysteme für Heizen und Kühlen in Abhängigkeit der Außentemperatur getrennt nach Chemienutzung (links) und Biologienutzung (rechts)

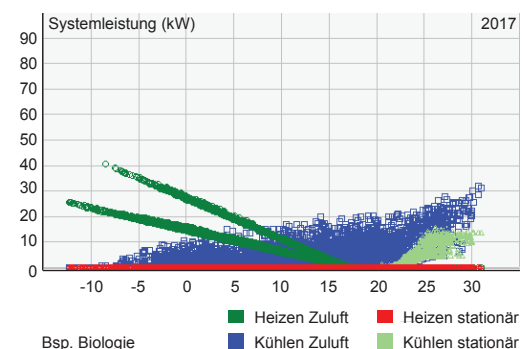
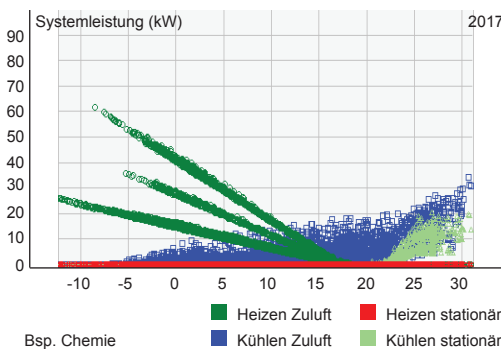


Tabelle 14-04: Technische Ausführung für die Variante „01 RG_real“, differenziert in die Nutzungen Chemielabor (CHE) und Biologielabor (BIO)

01 RG_real	CHE	BIO
U-Wert (AW)	0,28 W/m ² K	0,28 W/m ² K
U-Wert (Fenster) / g-Wert	1,30 W/m ² K / 0,35	1,30 W/m ² K / 0,35
Gebäudedichtheit	1,0 h ⁻¹	1,0 h ⁻¹
Sonnenschutz	Sonnenschutzverglasung (g-Wert 0,35)	Sonnenschutzverglasung (g-Wert 0,35)
Wärme-Erzeugung	Brennwertkessel 94%	Brennwertkessel 94%
Stat. Wärme / VL/RL / Regelung	Freie Heizfl. / 70/55 °C / P-Regler (1K)	Freie Heizfl. / 70/55 °C / P-Regler (1K)
RLT Wärme / VL/RL / Regelung	Heizregister / 70/55°C / Konstant	Heizregister / 70/55°C / Konstant
RLT Zuluftvent. (SFP)	1,5 kW/(m ³ /s)	1,5 kW/(m ³ /s)
RLT Abluftvent. (SFP)	1,3 kW/(m³/s)	1,3 kW/(m³/s)
RLT Rückwärmzahl	0,6	0,6
RLT Zulufttemperatur	Isotherm (22–26°C)	Isotherm (22–26°C)
RLT Druckverhältniszahl	0,4	0,4
RLT Luftbefeuchtung (Anforderung)	mit Toleranz	mit Toleranz
Kühlung stat. / VL/RL / Leistung (Pd, spez.)	Vent.-konv. / 14/18 °C / 30 W _{el} /kW _{Kälte}	Vent.-konv. / 14/18 °C / 30 W _{el} /kW _{Kälte}
Kühlung RLT / Verteilung VL/RL	RLT / 6/12 °C / 20 W _{el} /kW _{Kälte}	RLT / 6/12 °C / 20 W _{el} /kW _{Kälte}
Kälte-Erzeugung	Kolbenverdichter luftgekühlt	Kolbenverdichter luftgekühlt
Nutzungszeit	7:00 – 19:00	7:00 – 19:00
Nutzungstage (d/a)	250	250
Temperaturabsenkung	4 K	4 K
Absenkbetrieb RLT	50%	50%
Betriebszeit RLT	0:00 – 24:00	0:00 – 24:00
Betriebstage (d/a)	250/365	250/365
Raum-Soll Heizung	22°C	22°C
Regelung Heizung	20–26°C	20–26°C
Raum-Soll Kühlung	24°C	24°C
Max.-Temp. Kühlung	26°C	26°C
VA Betriebszeit min.	25 m ³ /m ² h	25 m ³ /m ² h
VA Nebenzeit min.	12,5 m ³ /m ² h	12,5 m ³ /m ² h
LW Betriebszeit min/max	CHE 7/13	BIO 7/7
Digestorien	Standard	Standard
Belegungsdichte	CHE 4 St./40m²	BIO 2 St./40m²
Labor-Bezugsfläche	493 m ²	493 m ²
Überströmung-NGF	0 m ²	0 m ²
RLT Zuluft / Jahr	CHE 74,3 Mio. m³	BIO 65,7 Mio. m³
RLT Abluft / Jahr	CHE 79,6 Mio. m³	BIO 70,9 Mio. m³
Lampenart / Inst.-dichte / Steuerung	LSL (stab.) EVG / 18 W/m ² / Konstantlicht	LSL (stab.) EVG / 18 W/m ² / Konstantlicht

Darstellung der Simulationsergebnisse

Für das angepasste Referenzmodell werden die Simulationsergebnisse anhand der folgenden Grafiken 14-08 bis 14-09 detailliert erläutert. Sie werden im Kapitel 15 nur noch vereinzelt und ggf. verkleinert dargestellt, um einzelne Tendenzen aufzuzeigen oder

Vergleiche zu ermöglichen. Zu diesem Zweck sind die Grafiken einheitlich skaliert und erlauben einen visuellen Vergleich zwischen den Simulationsergebnissen. Sämtliche Grafiken der Simulationsmodelle aus der Analyse (Kapitel 15) werden im Anhang 15-A1 (Kapitel 19.5) aufgeführt.

Benchmark der Untersuchungsparameter

Die Abbildungen 14-07 und 14-08 zeigen die Ergebnisse der angepassten Referenzmodelle getrennt nach Chemie (14-07) und Biologie (14-08). Die beiden oberen Grafiken stellen den Leistungsbezug über das Referenzjahr hinweg dar, die untere Grafik stellt den thermischen Komfort der jeweiligen Auswertezone nach DIN EN 15251 dar. In der oberen Grafik wird der Leistungsbezug der Laborzone nach Energieträger

dargestellt. Die Wärmeerzeugung erfolgt im Referenzgebäude komplett mit Gas (roter Graph), alle weiteren Anwendungen verwenden elektrischen Strom als Energieform (grauer Graph). Auffällig ist der große Unterschied im Spitzenleistungsbedarf des Wärmeerzeugers. Das Chemielabor bezieht bis zu ca. 95 kW Leistung, während das Biologielabor nur bis zu ca. 50 kW benötigt. Der Grund liegt in den höheren Luftwechselraten des Chemielabors und dem damit

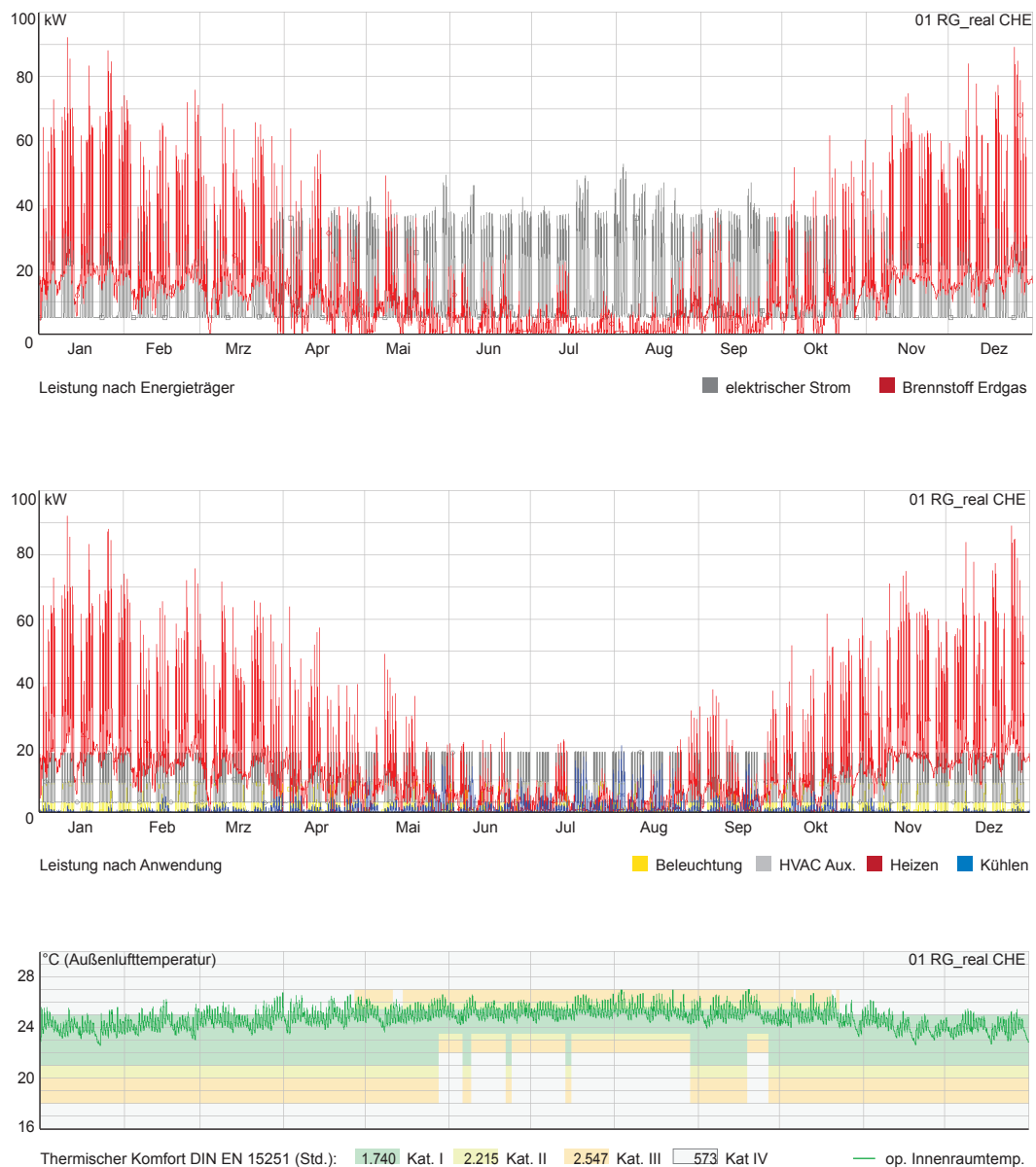


Abbildung 14-07: Leistung (Endenergie) nach Energieträger (oben), Leistung (Endenergie) nach Anwendung (Mitte) und thermischer Innenraumkomfort nach DIN EN 15251 (unten) der Variante „01 RG_real“, Nutzung Chemielabor

verbundenen höheren Leistungsbedarf zur Konditionierung der Zuluft. Die höheren Luftwechselraten sind auch ursächlich für den höheren Leistungsbedarf an elektrischer Energie, die für den Transport der Luft (Ventilatoren) aufgewendet wird. Die mittlere Grafik unterscheidet die Leistung nach den Anwendungen Beleuchtung (gelber Graph), Hilfsenergie von Pumpen und Ventilatoren (grauer Graph), Heizung (roter Graph) und Kühlung (blauer Graph). Hier zeigt sich

die erhöhte Hilfsenergie für Ventilatoren der Chemielabore gegenüber den Biologielaboren. Der Anteil des Kühlleistungsbedarfes am Gesamtleistungsbedarf der Laborzonen ist vergleichsweise gering und zeigt sich an erhöhten Bedarfsspitzen des Energieträgers Strom in den Sommermonaten. Die Unterscheidung der Leistungsbedarfe nach Anwendungen dient nur der Plausibilitätsprüfung der Simulationsergebnisse. Für die Untersuchungsparameter der Arbeit sind sie

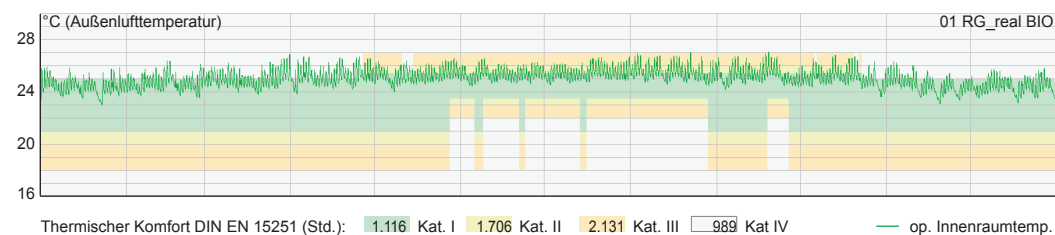
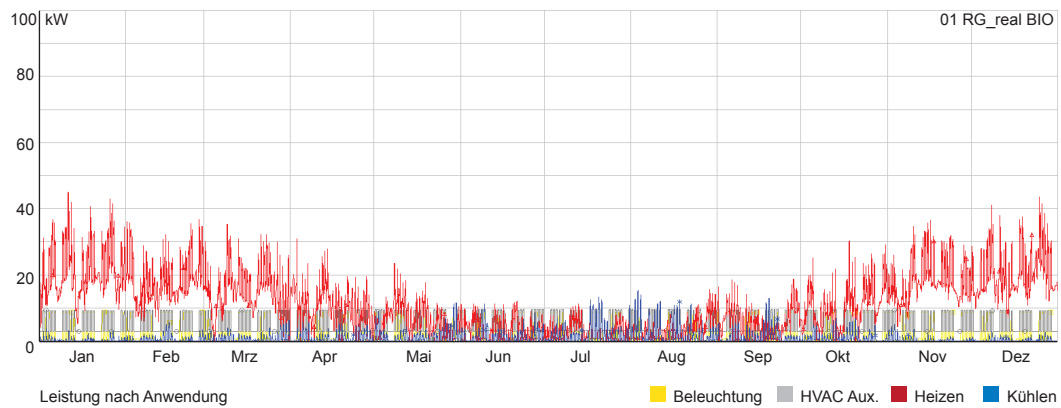
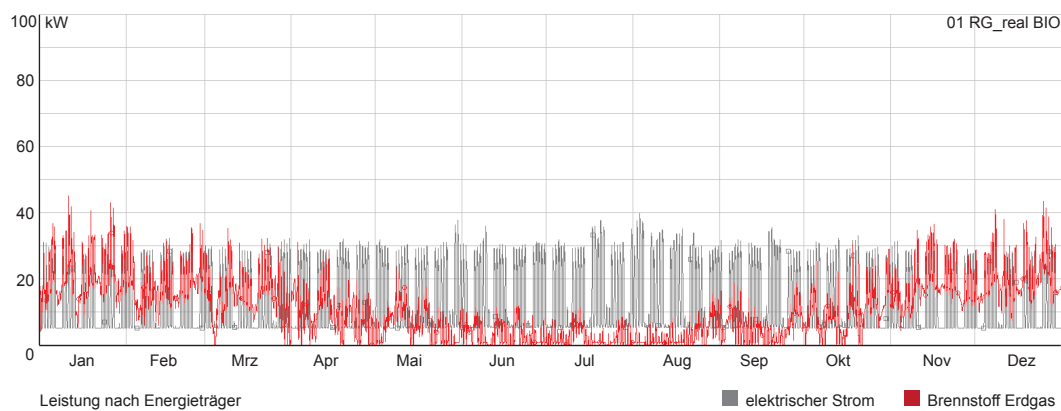


Abbildung 14-08: Leistung (Endenergie) nach Energieträger (oben), Leistung (Endenergie) nach Anwendung (Mitte) und thermischer Innenraumkomfort nach DIN EN 15251 (unten) der Variante „01 RG_real“, Nutzung Biologielabor

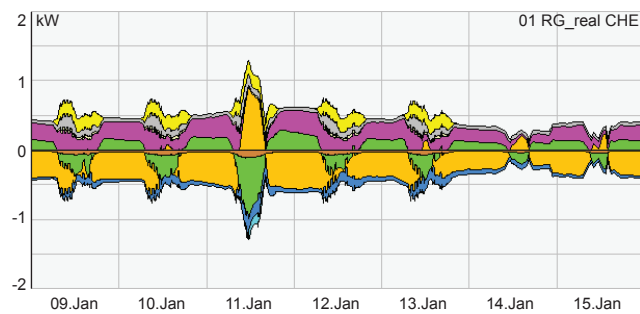
Tabelle 14-05: Ergebnisübersicht Variante „01 RG_real“

01 RG_real	CHE		BIO	
Q' _E - spez. Endenergie (kWh/m ² a)	396,2	100,0 %	360,8	100,0 %
Q' _{PNE} - spez. Primärenergie (kWh/m ² a)	558,9	100,0 %	512,7	100,0 %
therm. Diskomfort (Std. Kat. III & IV) nach DIN EN 15251	905	29,0 %	1414	45,3 %

entbehrlich und werden in Kapitel 15 nicht dargestellt, sondern sind im Anhang 15-A1 zu finden. Die untere Abbildung stellt die operative Innenraumtemperatur der Auswertezone im Jahresverlauf dar (grüner Graph). Dieser ist mit den Komfortkategorien nach DIN EN 15251 hinterlegt. Die Ergebnisse der jeweiligen Kategoriestunden sind unterhalb der Grafik aufgeführt. Zu beachten ist, dass die Norm als Bezugsgröße die Betriebszeit des Gebäudes verwendet. Sie beträgt im vorliegenden Modell 3.120 Stunden. Die Stundenangaben zu den höheren Kategorien beinhalten die Stunden der niedrigeren Kategorien. Das gilt nicht für Kategorie IV. Die Diskomfortstunden außerhalb der Kategorie II errechnen sich somit wie folgt: $(h_{\text{Kat III}} - h_{\text{Kat II}}) + h_{\text{Kat IV}}$; Der thermische Komfort in beiden Laborarten liegt das gesamte Jahr hinweg zu hoch und wird nicht eingehalten. Die Diskomfortstunden betragen 29 % (Chemie) und 45 % (Biologie) der Betriebsstunden der Labore. Gefordert ist ein Anteil von maximal 5 %. Diese Tendenz deckt sich mit Erfahrungen des Autors von realisierten Projekten. Bereits kurz nach Einzug der Nutzer werden zusätzliche Kühlkapazitäten installiert, um die thermische Behaglichkeit einhalten zu können. Regelmäßig werden für solche Phänomene zu hohe interne Lasten genannt. Die vorliegende Simulation deutet an, dass es auch ohne erhöhte interne Lasten diese Folgen geben kann.

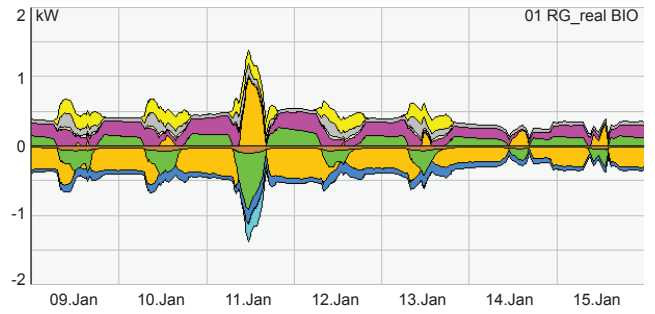
In den Darstellungen der Energiebilanzen (Abbildung 14-08) der Auswertezone für eine typische Winterwoche (oben) und eine typische Sommerwoche (unten) ist der Einfluss verschiedener Energieflüsse auf den Innenraum (hier Auswertezone) ersichtlich. Die inneren Lasten (graue Fläche) machen nur einen geringen Anteil der internen Energiegewinne aus. Ihr Energieeintrag entspricht ungefähr dem Betrag an Energieverlusten, der durch thermisch aktive Massen (Massivbauteile) aufgenommen werden kann. Der hohe Verglasungsanteil (Fenster - orange Fläche) hat großen Einfluss auf die relativ kleine Fläche der Auswertezone

hinter der Fassade. Sie hat im Winter den größten Anteil an Energieverlusten und liegt weit vor den Lüftungswärmeverlusten. Im Sommer macht sich die große Glasfläche durch einen hohen solaren Wärmeinput bemerkbar. In den Diagrammen ist auch die ausgleichende Wirkung der internen thermisch aktiven Massen zu sehen (grüne Fläche). Die Abbildung zeigt auch, dass sogar in kalten Wochen Übertemperatur möglich ist. Hohe solare Einträge können nicht schnell genug ausgeglichen werden, führen zu Überschreitungen in der Innenraumtemperatur und sorgen für eine kurzzeitige Aktivierung der Kühlung (hellblaue Fläche). Tabelle 14-05 zeigt die Ergebnisse beider Nutzungsvarianten des verbesserten Referenzgebäudes. Beide Varianten liegen im spezifischen Energiebedarf (Q'_E & Q'_{PNE}) über den Bedarfen des EnEV-Referenzgebäudes. Die thermischen Diskomfortstunden sind höher, die operative Innenraumtemperatur liegt eher am oberen Rand des Komfortbereichs als am unteren. Damit entspricht das angepasste Modell eher den Realitäten aktueller Labore. Die Ergebnisse aus Tabelle 14-05 dienen als Benchmark/Vergleichsbasis für die weiteren Untersuchungsvarianten in Kapitel 15.



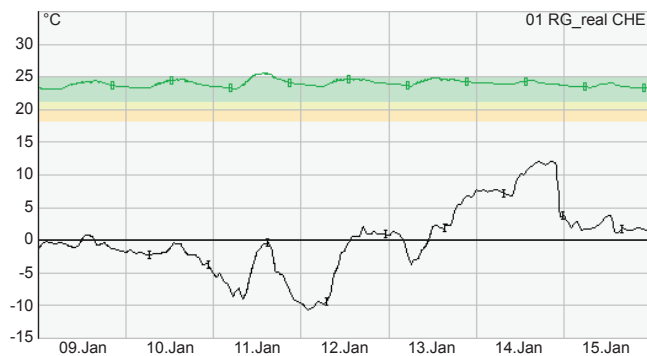
Energiegewinne/-verluste Auswertezone

■ Außenwand opak	■ Fenster	■ therm. Masse
■ Übertrag Laborzone	■ Beleuchtung	■ interne Lasten
■ Lüftung	■ Kühlung	



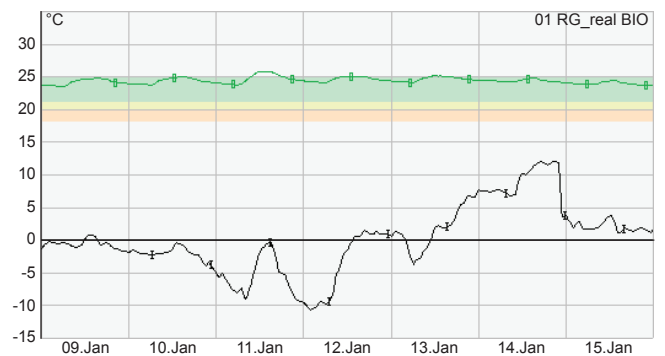
Energiegewinne/-verluste Auswertezone

■ Außenwand opak	■ Fenster	■ therm. Masse
■ Übertrag Laborzone	■ Beleuchtung	■ interne Lasten
■ Lüftung	■ Kühlung	



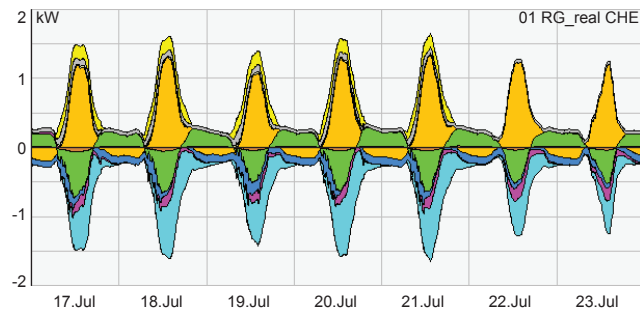
Thermischer Komfort DIN EN 15251

— Außenlufttemp.	— op. Innenraumtemp.		
■ Kat. I	■ Kat. II	■ Kat. III	■ Kat. IV



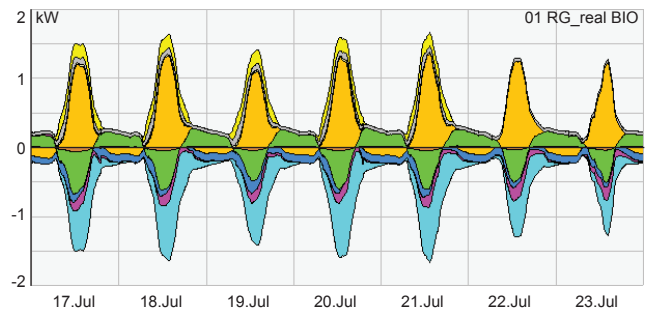
Thermischer Komfort DIN EN 15251

— Außenlufttemp.	— op. Innenraumtemp.		
■ Kat. I	■ Kat. II	■ Kat. III	■ Kat. IV



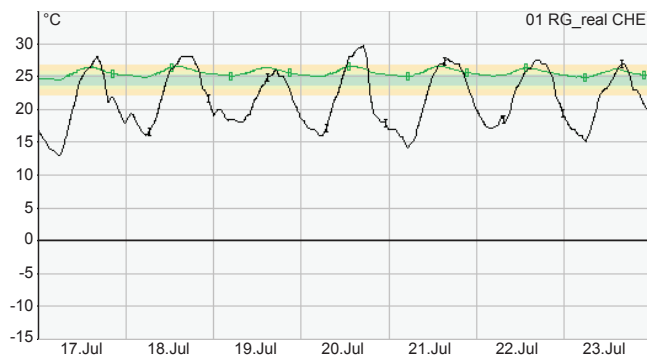
Energiegewinne/-verluste Auswertezone

■ Außenwand opak	■ Fenster	■ therm. Masse
■ Übertrag Laborzone	■ Beleuchtung	■ interne Lasten
■ Lüftung	■ Kühlung	



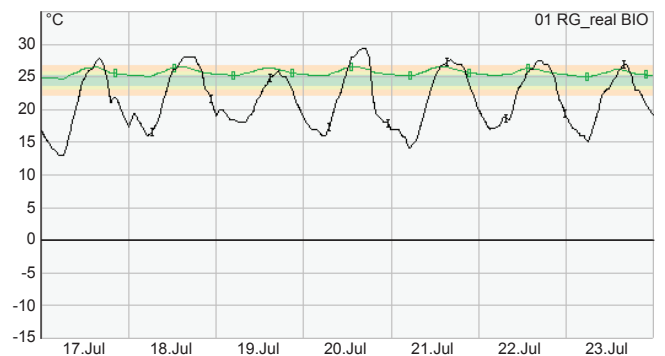
Energiegewinne/-verluste Auswertezone

■ Außenwand opak	■ Fenster	■ therm. Masse
■ Übertrag Laborzone	■ Beleuchtung	■ interne Lasten
■ Lüftung	■ Kühlung	



Thermischer Komfort DIN EN 15251

— Außenlufttemp.	— op. Innenraumtemp.		
■ Kat. I	■ Kat. II	■ Kat. III	■ Kat. IV



Thermischer Komfort DIN EN 15251

— Außenlufttemp.	— op. Innenraumtemp.		
■ Kat. I	■ Kat. II	■ Kat. III	■ Kat. IV

Abbildung 14-09: Energiebilanzen und thermischer Innenraumkomfort nach DIN EN 15251 der Auswertezone Variante „RG_real“ einer repräsentativen Woche kalt (09.-15.01.2017; oben) und einer repräsentativen Woche warm (17.-25.07.2017; unten) getrennt nach Chemienutzung (links) und Biologienutzung (rechts)

15.1	Einzelmaßnahmen Effizienz	156
15.1.1	Bauliche passive Maßnahmen der Gebäudehülle (02 PH-Env)	156
15.1.2	Beleuchtung (03 eff-Bel)	159
15.1.3	Wärme- und Kälteerzeugung (04 eff-WaeKae)	160
15.1.4	Raumluftechnik (05 eff-RLT)	162
15.1.5	Übersicht Effizienzmaßnahmen	163
15.2	Einzelmaßnahmen Suffizienz	164
15.2.1	Reduzierter Luftwechsel zu Nebenzeiten (06 LWRredNZ)	164
15.2.2	Reduzierter Luftwechsel zu Betriebszeiten (07 LWRnuR)	165
15.2.3	Reduzierter Luftwechsel - Überströmung der Auswertezone (08 KoLa)	167
15.2.4	Übersicht Suffizienzmaßnahmen	168
15.3	Kombinationsmodelle	169
15.3.1	Kombination Effizienz	169
15.3.2	Kombination Effizienz & Suffizienz	169
15.3.3	Zwischenfazit Effizienz und Suffizienz	170
15.4	Einzelmaßnahmen Konsistenz	172
15.4.1	Photovoltaik (+PV)	172
15.4.2	Solarthermie (+ST)	174
15.4.3	Photovoltaik und Solarthermie (+PVT)	175
15.4.4	Windkraft (+WK)	176
15.4.5	Abwärmenutzung (+AbW)	177
15.4.6	Übersicht Konsistenzmaßnahmen	180

Fazit Kapitel 15

Die Ergebnisse lassen unter den gewählten Rahmenbedingungen und dem abschließlichen Fokus auf den Klimaschutz eindeutige Favoriten erkennen.

Effizienz: Alle untersuchten Maßnahmen sind empfehlenswert. Auch die hoch-effiziente Gebäudehülle wird zur Umsetzung empfohlen. Sie bringt zwar die geringste relative Reduktion des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs, ist aber Grundlage für stabile Innenraumkonditionen und ermöglicht so die Einhaltung des thermischen Innenraumkomforts durch die weiteren Maßnahmen. Die höchsten Energiebedarfsreduktionen bringen Effizienzmaßnahmen der Raumluftechnik.

Suffizienz: Die vorgeschlagenen Suffizienz-Maßnahmen werden ebenso als empfehlenswert angesehen und sollten am Anfang eines jeden Projektes intensiv mit den Nutzern diskutiert werden. Sie bilden die Grundlage für klimafreundliche Laborgebäude. Die Realisierbarkeit ist stark von den Arbeitsstoffen im Labor und den notwendigen Vorgaben des Arbeitsschutzes abhängig.

Konsistenz: Die Kombination aus Stromerzeugung mittels PV und einer Abwärmenutzung möglicher Serveranlagen verspricht im Untersuchungsfall die besten Ergebnisse. Der Standort könnte allerdings andere bzw. weitere Quellen bieten, die hier nicht untersucht wurden.

Die Kombination mehrerer Maßnahmen kann im Einzelfall (in der Theorie) zu einer Verbesserung der Input-Output-Bilanz von bis zu 80 % führen.

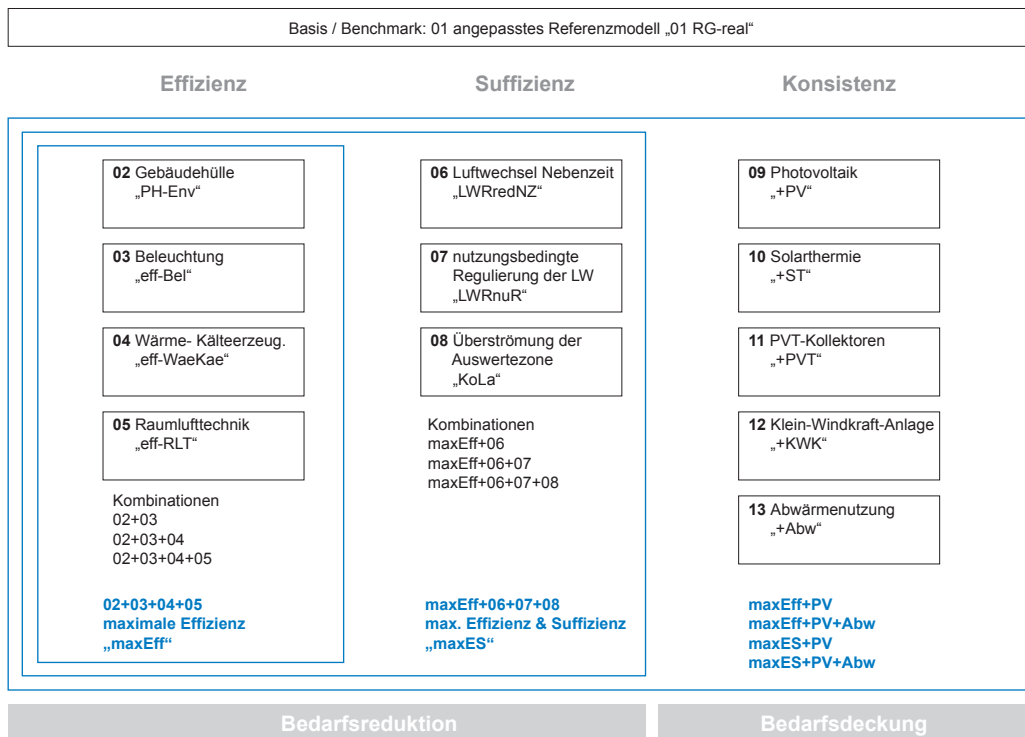


Abbildung 15-01: Übersicht Simulationsmodelle

Die Reihenfolge der untersuchten Einzelmaßnahmen ist keine Empfehlung oder Priorisierung für die Planung neuer Laborgebäude. Diese Diskussion enthält Kapitel 16. Die Reihenfolge Effizienz-, Suffizienz- und Konsistenzmaßnahmen entspricht der Häufigkeit der Nennungen in der Fachliteratur und in den Experteninterviews. Zur Illustration der Ergebnisse sind bis auf wenige Ausnahmen die Simulationsgrafiken des Chemielabors dargestellt. Sämtliche Simulationsgrafiken aller Simulationsmodelle finden sich im Anhang 15-A1.

15.1 Einzelmaßnahmen Effizienz

Der erste Teil der Analyse „Einzelmaßnahmen“ untersucht die Auswirkungen auf den thermischen Komfort und den spezifischen nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf basierend auf den beiden angepassten Referenzmodellen RG_real. Die Bewertung der Einzelmaßnahmen (Abbildung 15-01) bedingt die späteren Kombinationen.

15.1.1 Bauliche passive Maßnahmen der Gebäudehülle (02 PH-Env)

Die Effizienzmaßnahme „passive Maßnahmen der Gebäudehülle“ lehnt sich an die baulichen Qualitäten des Passivhausstandards an. Dieser entspricht den Festlegungen zum indizierten Niedrigstenergiestandard aus Kapitel 09. Die Änderungen zur Ausführung „RG_real“ sind in Tabelle 15-01 aufgeführt. Tabelle 15-02 zeigt die Ergebnisse für die Variante „02 PH-Env“. Die Einsparungen sowohl für Q'_E als auch für Q'_{PNE} liegen jeweils für beide Nutzungen unter 2 %. Dagegen steigt die Zahl der Diskomfortstunden erheblich an. Abbildung 15-02 zeigt deutlich, dass der thermische Diskomfort an zu hohen Innenraumtemperaturen liegt. Hier muss der Grund detailliert hinterfragt werden. Abbildung 15-03 zeigt den Vergleich mit dem angepassten Referenzmodell (RG-Real) in einer typischen Winter- und Sommerwoche. Der außenliegende Sonnenschutz hat offensichtlich nicht dazu geführt, dass Überhitzungsstunden in der Auswertezone in wesentlichem Ausmaß in den Komfortbereich geführt wurden. Parallel wurde die passive Auskühlung der Gebäudemasse durch die verbesserte Dämmung

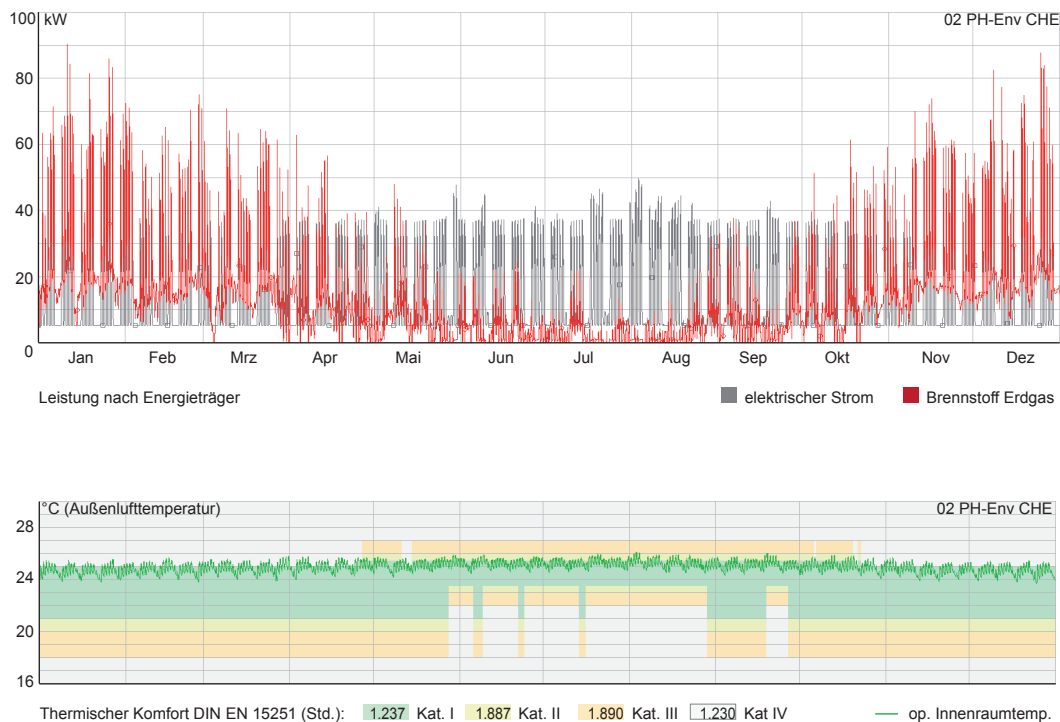


Abbildung 15-02: Leistung (Endenergie) nach Energieträger (oben) und thermischer Innenraumkomfort der Auswertezone nach DIN EN 15251 (unten) der Variante „02 PH-Env“ Nutzung Chemielabor

der Gebäudehülle reduziert. Das hat zu einer Erhöhung der Übertemperaturstunden geführt (Abbildung 15-03). Der Vergleich der Verläufe der Innentemperaturen zwischen Variante „01 RG_real“ und „02 PH-Env“ in Abbildung 15-03 zeigt auch, dass die bessere Isolierung ein deutlich gleichmäßigeres Innenraumklima bringt, wenn auch auf zu hohem Temperaturniveau. Die Energiebilanzen der Auswertezonen zeigen dieses Phänomen ebenso. Die Spitzen der kumulierten Energieströme wurden durch die verbesserte Gebäudehülle

auf etwa ein Drittel gesenkt. Die Entkopplung von Innen- und Außenklima kann von Vorteil sein, wenn es gelingt, das allgemeine Temperaturniveau durch andere Maßnahmen zu senken. Die Verringerung der Störfaktoren (z. B. solare Einstrahlung) wird vermutlich dafür sorgen, dass die Innenraumkonditionen leichter in den Komfortbereich einzuregulieren sind.

02 PH-Env	CHE	BIO
U-Wert (AW)	0,15 W/m ² K	0,15 W/m ² K
U-Wert (Fenster) / g-Wert	0,70 W/m ² K / 0,50	0,70 W/m ² K / 0,50
Gebäudedichtheit	0,6 h ⁻¹	0,6 h ⁻¹
Sonnenschutz	Außenliegender Sonnenschutz	Außenliegender Sonnenschutz

Tabelle 15-01: Technische Änderungen für die Variante „02 PH-Env“, differenziert in die Nutzungen Chemielabor (CHE) und Biologielabor (BIO)

02 PH-Env	CHE	BIO		
Q _E - spez. Endenergie (kWh/m ² a)	389,9	98,4 %	355,0	98,4 %
Q _{PNE} - spez. Primärenergie (kWh/m ² a)	549,4	98,3 %	502,2	98,0 %
therm. Diskomfort (Std. Kat. III & IV) nach DIN EN 15251	1233	39,5 %	1385	44,4 %

Tabelle 15-02: Ergebnisübersicht Variante „02 PH-Env“

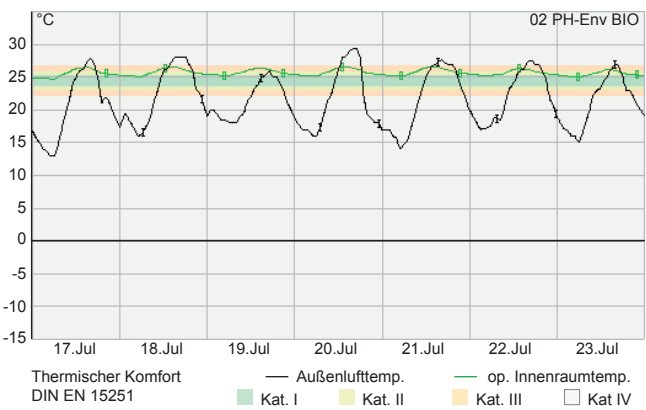
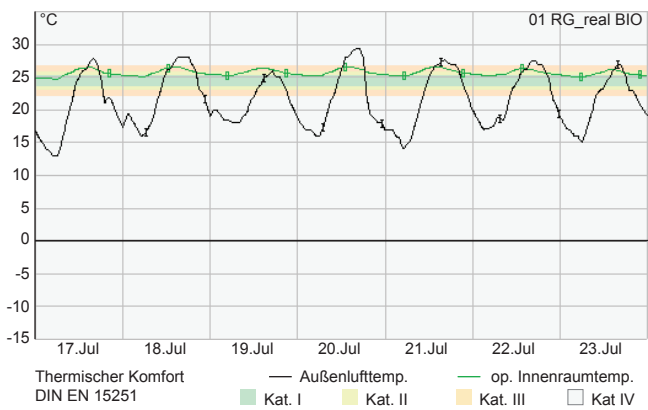
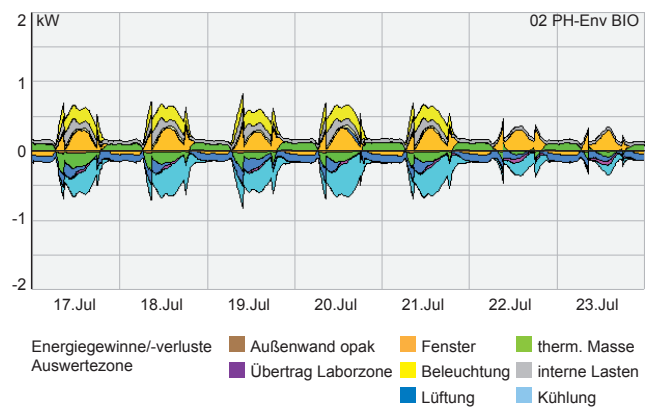
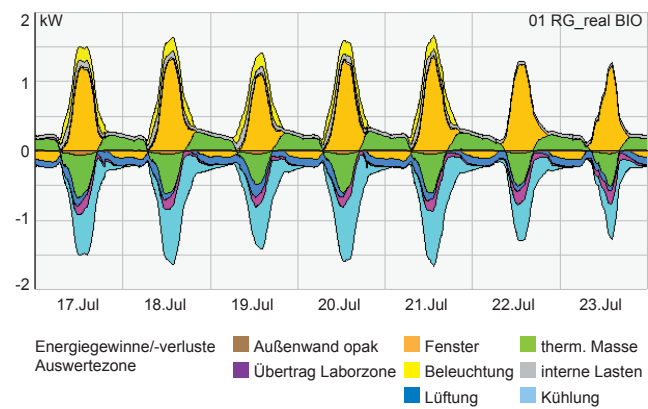
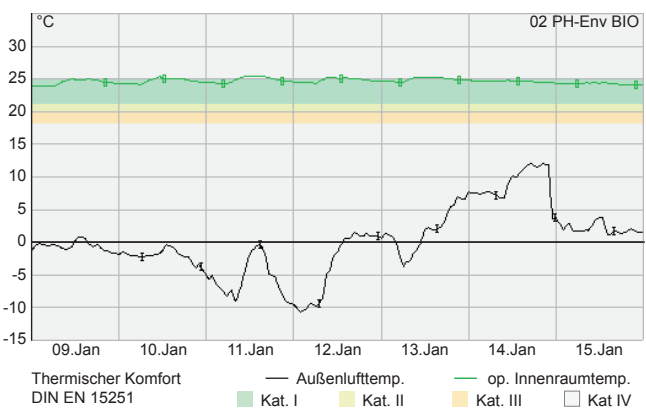
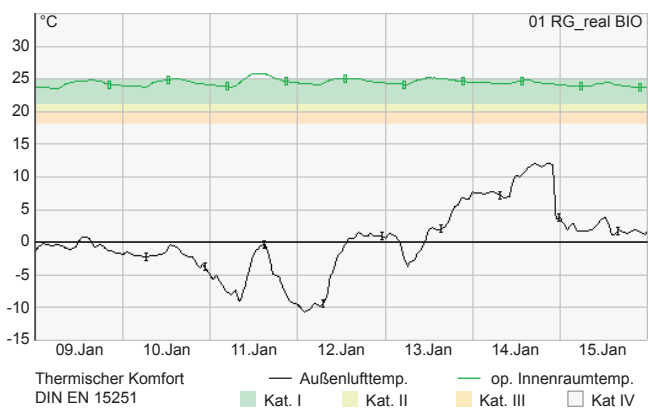
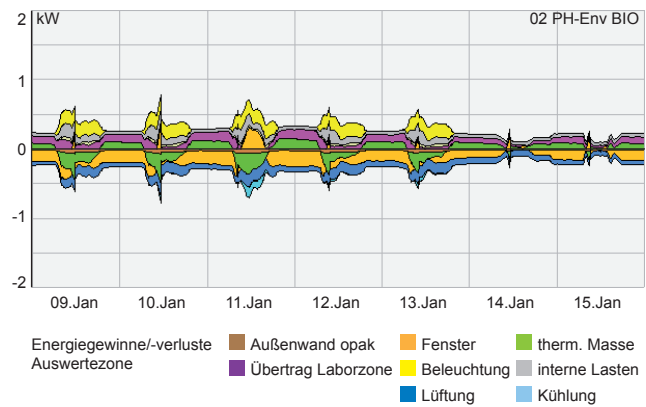
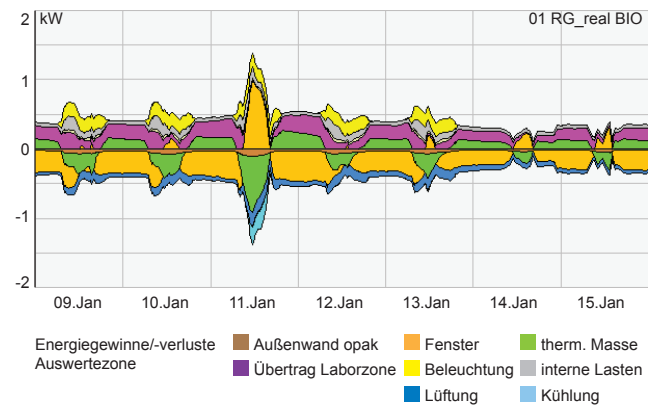


Abbildung 15-03: Energiebilanzen und thermischer Innenraumkomfort nach DIN EN 15251 der Auswertezone BIO einer repräsentativen Woche kalt (09.-15.01.2017; oben) und einer repräsentativen Woche warm (17.-25.07.2017; unten) getrennt nach Variante „01 RG_real“ (links) und „02 PH-Env“ (rechts)

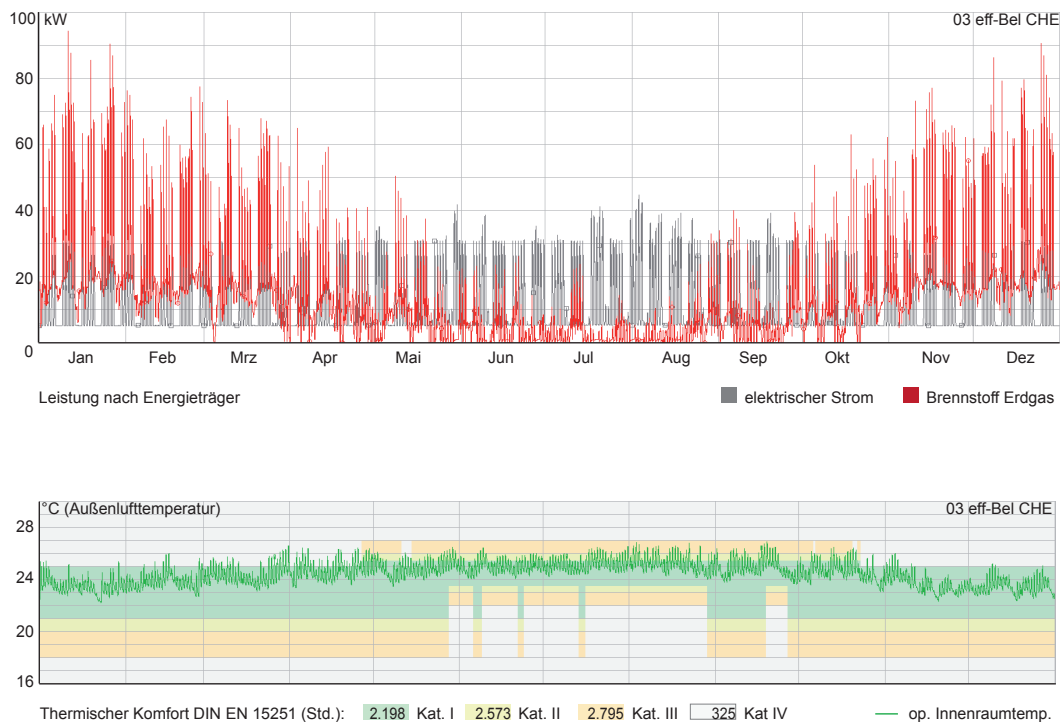


Abbildung 15-04: Leistung (Endenergie) nach Energieträger (oben) und thermischer Innenraumkomfort der Auswertezone nach DIN EN 15251 (unten) der Variante „03 eff-Bel“ Nutzung Chemielabor

15.1.2 Beleuchtung (03 eff-Bel)

Die zweite Effizienzmaßnahme betrifft eine Optimierung der Beleuchtung. Das Referenzgebäude nach EnEV gibt in der Basisvariante „01 RG_real“ eine Installationsdichte für die Beleuchtung von 18 W/m² vor. Diese wird mit stabförmigen Leuchtstofflampen mit elektronischen Vorschaltgerät und einer manuellen Konstantlichtsteuerung abgebildet. Für die tiefen Raumzonen eines Labors ist ein dauerhafter Betrieb der Beleuchtung die Regel. Die Fortschritte im Bereich der LED-Lampen findet in der EnEV noch keine Berücksichtigung, obwohl DIN V 18599-4 bereits dahingehend novelliert wurde [DIN V 18599, T4]. Berechnet man abgehängte LED-Lampen mit indirektem Beleuchtungsanteil (analog Beleuchtungslösung 2 Gruppenbüro) für ein Labor, ergibt sich eine zukünftig zu erwartende Installationsdichte von 7,5 W/m². Sie wird mit einer tageslichtabhängigen Steuerung dieser Variante zugrunde gelegt (Tabelle 15-03). Diese relativ einfach umzusetzende Maßnahme ergibt beachtliche Reduktionen im Energiebedarf

(Tabelle 15-04). Der Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie wird um beachtliche 11,7 % (CHE) bis 14,0 % (BIO) gesenkt. Die geringere Wärmeabgabe zu Heizzeiten wird in der hier ausgewählten Variante durch den Wärmeerzeuger Gasbrennwerttherme ausgeglichen. Gas ist primärenergetisch besser bewertet als Strom (vgl. Kapitel 14.3). Dieser Effekt kann bei anderen Kombinationen wegfallen. Dennoch wirkt sich die geringere Wärmelast in Kühlzeiten doppelt positiv aus, da die notwendige Kühlleistung verringert wird (Abbildung 15-04). Der thermische Diskomfort nach DIN EN 15251 wird durch den geringeren Wärmeinput ebenfalls reduziert. Für die Chemienutzung reduzieren sich die Stunden auf 17,5 % der Betriebszeit (Basis CHE 29,0 %), für die Biologienutzung auf 27,1 % (Basis BIO 45,3 %). Hier wird deutlich, wie wichtig die Reduktion der internen Wärmelasten für den thermischen Innenraumkomfort ist. Abbildung 15-04 zeigt, dass die operative Raumtemperatur im Vergleich zu der Basisvariante (RG_real - Abbildung 14-07) über das ganze Jahr hinweg leicht sinkt.

Tabelle 15-03:
Technische Änderungen für
die Variante „03 eff-Bel“,
differenziert in die Nutzungen
Chemielabor (CHE) und Biologie-
labor (BIO)

03 eff-Bel	CHE	BIO
Lampenart	LED	LED
Installationsdichte (W/m ²)	7,5 W/m ²	7,5 W/m ²
Steuerung	Tageslichtabhängige Steuerung	Tageslichtabhängige Steuerung

Tabelle 15-04:
Ergebnisübersicht Variante
„03 eff-Bel“

03 eff-Bel	CHE		BIO	
Q' _E - spez. Endenergie (kWh/m ² a)	363,2	91,7 %	323,2	89,6 %
Q' _{PNE} - spez. Primärenergie (kWh/m ² a)	493,5	88,3 %	440,9	86,0 %
therm. Diskomfort (Std. Kat. III & IV) nach DIN EN 15251	547	17,5 %	845	27,1 %

Variante „02 eff-Bel“ eignet sich für alle weiteren Kombinationen, insbesondere für Varianten mit tendenziell zu hohen Innenraumtemperaturen.

15.1.3 Wärme- und Kälteerzeugung (04 eff-WaeKae)

Variante „04 eff-WaeKae“ integriert effiziente Versorgungssysteme für die Wärme- und Kälteversorgung. Entsprechend der Literaturrecherche und den Experteninterviews wird eine Sole-Wasser-Wärmepumpe zur Deckung der Heiz-Grundlast sowie der Kälteversorgung eingesetzt. Um Diskussionen um den richtigen Wirkungsgrad abhängig von der Bilanzgrenze der Wärmepumpe zu vermeiden, werden sowohl für COP als auch für EER Mittelwerte der DIN V 18599 verwendet. Diese Festlegung verzichtet zwar auf eventuell größere Effizienzgewinne, trägt aber dem

Umstand Rechnung, dass die Wärmepumpen in der Praxis selten die Wirkungsgrade erreichen, die aufgeführt werden. Für Variante 04 werden ein COP von 3,5 und eine EER von 4,0 festgelegt. Die Spitzenlast für die Wärmeversorgung übernimmt eine Gasbrennwerttherme, da diese wirtschaftliche Kombination in der Praxis häufig anzutreffen ist. Vor- und Rücklauftemperaturen werden auf ein Temperaturniveau für flächige Heiz- und Kühlflächen gesenkt. Die stationäre Kälteübergabe erfolgt über eine Kühldecke nur in der Auswertezone. Aufgrund der begrenzten zur Verfügung stehenden Installationsfläche ist hier kein idealer Kühler vorhanden, sondern eine begrenzte Kälteleistung [zehnder 2017]. Die Kühlleistung nach DIN EN 14240 für das System beträgt 100 W/m² bei einem ΔT von 8 Kelvin zwischen Vor- und Rücklauftemperatur und einer Raumtemperatur zwischen 22 und 27 °C. Die geringere

Tabelle 15-05:
Technische Ausführung für
die Variante „04 eff-WaeKae“,
differenziert in die Nutzungen
Chemielabor (CHE) und Biologie-
labor (BIO)

04 eff-WaeKae	CHE	BIO
Wärme Erzeuger	Grundlast Wärmepumpe COP 3,5	Grundlast Wärmepumpe COP 3,5
	Spitzenlast Gas-BWK 94%	Spitzenlast Gas-BWK 94%
Statische Wärme / Verteilung VL/RL / Regelung	Heizdecke / 45/35 °C / PI-Regler	Heizdecke / 45/35 °C / PI-Regler
Kühlung statisch / Verteilung VL/RL / Leistung	Kühldecke / 14/18 °C / 100 W/m ²	Kühldecke / 14/18 °C / 100 W/m ²
Kühlung RLT / Verteilung VL/RL	RLT / 14/18°C	RLT / 14/18°C
Kälte-Erzeugung	Wärmepumpe EER 4,0	Wärmepumpe EER 4,0

Tabelle 15-06:
Ergebnisübersicht Variante
„04 eff-WaeKae“

04 eff-WaeKae	CHE		BIO	
Q' _E - spez. Endenergie (kWh/m ² a)	280,2	70,7 %	243,5	67,5 %
Q' _{PNE} - spez. Primärenergie (kWh/m ² a)	447,1	80,0 %	396,0	77,2 %
therm. Diskomfort (Std. Kat. III & IV) nach DIN EN 15251	1053	33,6 %	1602	51,3 %



Abbildung 15-05: Leistung (Endenergie) nach Energieträger (oben) und thermischer Innenraumkomfort der Auswertezone nach DIN EN 15251 (unten) der Variante „04 eff-WaeKae“ Nutzung Chemielabor

Temperaturdifferenz im vorliegenden System wurde in der Simulation berücksichtigt.

Abbildung 15-05 zeigt die Auswirkungen der geänderten Heiz- und Kühltechnik auf die Leistungsbedarfe. Gas als Energieträger (rote Graphen) wird lediglich noch für die Spitzenlast benötigt. Diese liegt fast nur noch in der Heizperiode vor. Dafür erhöht sich der Strombedarf relativ konstant über das ganze Jahr hinweg um die Wärmepumpe zu betreiben, welche die Wärmegrundlast abdeckt. Das physikalisch trägere System mit den geringeren Vor- und Rücklauftemperaturen gegenüber der Referenztechnik kann nicht kurzzeitig auf hohe Energieeinträge (z.B. solare Einstrahlung) reagieren. Daher steigt der Anteil der Diskomfortstunden in der Auswertezone gegenüber der Basisversion an. Die Variante „04 eff-WaeKae“ wird Kombinationen mit Maßnahmen benötigen, die das Temperaturniveau senken und kurzzeitige Schwankungen dämpfen.

Das Einsparpotential für den End- und Primärenergiebedarf ist erheblich. Da viel Gas als Energieträger eingespart wird und sich der Strombedarf leicht erhöht,

wird im Vergleich mehr Endenergie als Primärenergie eingespart. Dennoch ist auch ein primärenergetisches Einsparpotential von über 20 % vorzuweisen. Den thermischen Diskomfort, der leicht angestiegen ist, muss man durch andere Maßnahmen versuchen zu reduzieren (Tabelle 15-06).

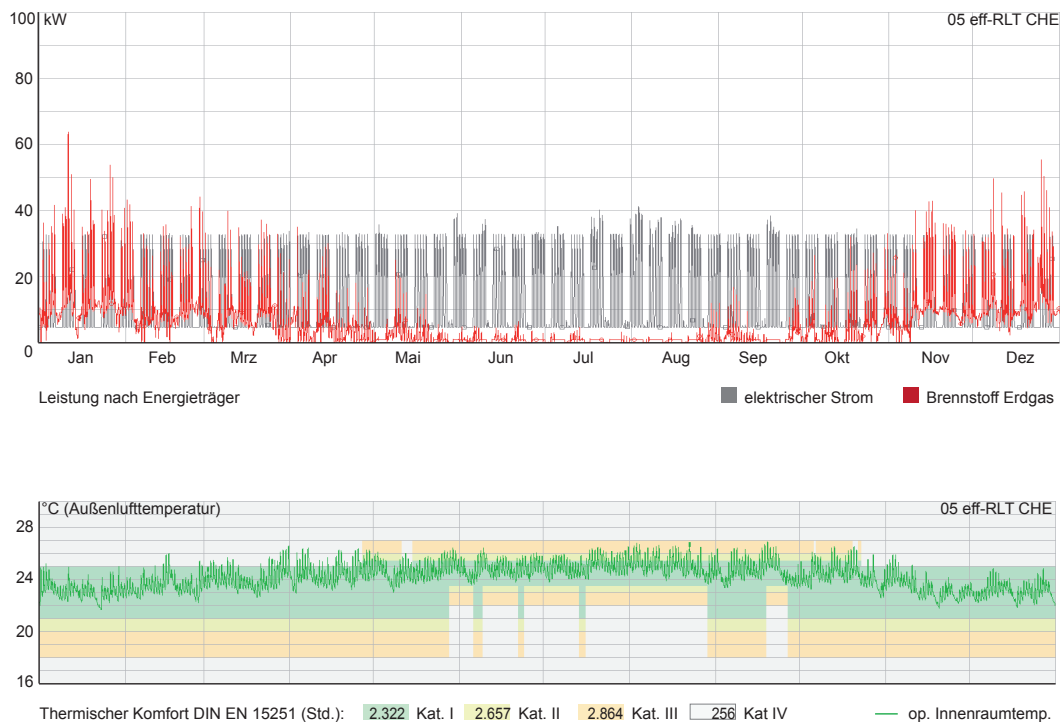


Abbildung 15-06: Leistung (Endenergie) nach Energieträger (oben) und thermischer Innenraumkomfort der Auswertezone nach DIN EN 15251 (unten) der Variante „05 eff-RLT“ Nutzung Chemielabor

15.1.4 Raumluftechnik (05 eff-RLT)

Variante „05 eff-RLT“ beinhaltet eine raumluftechnische Anlage (RLT) nach Ökodesign-Richtlinie 2018 [EU1253 2014] und erfüllt damit die Effizienzanforderungen der kommenden Jahre (Tabelle 15-07). Die Anlage wurde mit Unterstützung einer Fachfirma speziell für die Lüftungsprofile der beiden Nutzungen CHE und BIO für die Untersuchungszone dimensioniert und könnte auf das gesamte Gebäude hochskaliert werden [Trox 2017]. Die Wärmerückgewinnung mit dem für Laborgebäude üblichen Kreislaufverbundsystem erreicht eine Rückwärmzahl von 0,73. Die Rückwärmzahl wurde abgerundet. Die Angabe für die Specific Fan Power (SFP) der Zuluft-Ventilatoren beträgt 1,2 kW/(m³/s), die der Abluft-Ventilatoren 1,1 kW/(m³/s). Die Zulufttemperatur liegt nicht mehr isotherm zur Soll-Innenraumtemperatur (22–26°C), sondern ein Kelvin darunter (21–26°C). Zur Reduktion der zu erbringenden Kälteleistung wird eine indirekte adiabate Kühlung eingesetzt, also eine Verdunstungskühlung der Abluft mittels Wassernebel vor dem Wärmetauscher (Kapitel 14). Die Absenkung der Systemtemperaturen Vorlauf-/Rücklauftemperatur auf 40/30°C für RLT-Systeme ist

teuer, da die Geräte großvolumig werden. Dennoch ist es ein Ziel im Sinn der Ökodesign-Richtlinie der EU und Trend zukünftiger Systeme [Trox 2017].

Die effiziente Wärme- und Kälterückgewinnung sowie die indirekte adiabate Kühlung reduzieren die Leistungsaufnahme der Wärme- und Kälteerzeuger erheblich (Abbildung 15-06). Zudem wird mit der effizienteren Konfiguration der Ventilatoren Antriebsenergie gespart. Für den thermischen Komfort ist die Absenkung der Zulufttemperatur um ein Kelvin von erheblichem Vorteil. Der Anteil der Diskomfortstunden wird erheblich gesenkt, liegt aber immer noch weit über der zulässigen Toleranz. Hier müssen weitere Kombinationen von Maßnahmen helfen, um besonders die Lastspitzen durch solare Einstrahlung zu minimieren. Tabelle 15-08 verdeutlicht die großen Einsparpotentiale, die in einer hocheffizienten RLT liegen. In der Nutzung CHE liegen die Reduktionen sowohl bei End- als auch bei Primärenergie bei über 30%. Für die Nutzung BIO liegen die Reduktionen sogar noch höher.

05 eff-RLT	CHE	BIO
RLT Wärme / VL/RL / Regelung	Kreislaufverbundsystem (WRG)	Kreislaufverbundsystem (WRG)
RLT Zuluftvent. (SFP)	1,2 kW/(m3/s)	1,2 kW/(m3/s)
RLT Abluftvent. (SFP)	1,1 kW/(m3/s)	1,1 kW/(m3/s)
RLT Rückwärmzahl (ht)	0,73	0,73
RLT Zulufttemperatur	Nicht isotherm (21-26°C)	Nicht isotherm (21-26°C)
Kühlung RLT / Verteilung VL/RL	RLT mit indirekter adiabater Kühlung 10/16°C	RLT mit indirekter adiabater Kühlung 10/16°C

Tabelle 15-07:
Technische Ausführung für die Variante „05 eff-RLT“, differenziert in die Nutzungen Chemielabor (CHE) und Biologielabor (BIO)

05 eff-RLT	CHE		BIO	
Q' _E - spez. Endenergie (kWh/m ² a)	246,8	68,4 %	220,2	61,0 %
Q' _{PNE} - spez. Primärenergie (kWh/m ² a)	374,0	66,9 %	338,0	65,9 %
therm. Diskomfort (Std. Kat. III & IV) nach DIN EN 15251	463	14,8 %	788	25,3 %

Tabelle 15-08:
Ergebnisübersicht Variante „05 eff-RLT“

15.1.5 Übersicht Effizienzmaßnahmen

Abbildung 15-07 und Tabelle 15-09 zeigen Übersichten der Ergebnisse für die einzelnen Effizienzmaßnahmen. Alle Maßnahmen reduzieren den Primärenergiebedarf, nicht alle Maßnahmen verbessern den thermischen Komfort. Für die Untersuchung der Konsistenzmaßnahmen ist ein Modell eines effizienten Laborgebäudes als Grundlage erforderlich. Dazu werden schrittweise die einzelnen Effizienzmaßnahmen addiert. Sofern der thermische Komfort sich verbessert und eventuell eingehalten wird, werden alle Maßnahmen in einem Modell zusammengefasst (Kapitel 15.3).

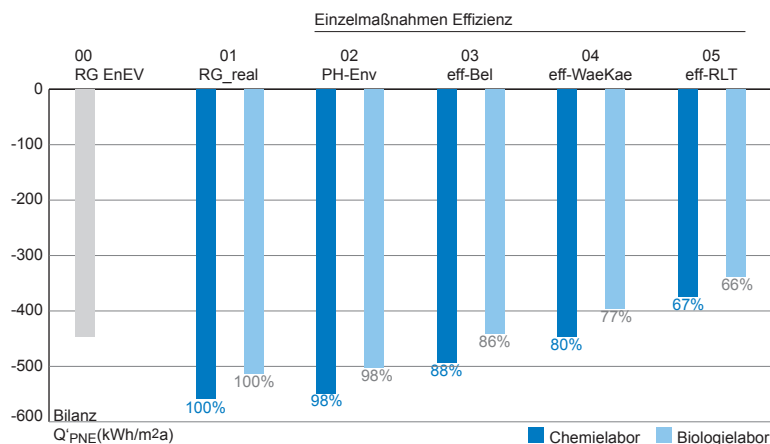


Abbildung 15-07: Übersicht der Ergebnisse der einzelnen Effizienzmaßnahmen getrennt nach den Nutzungen Chemie (dunkelblau) und Biologie (hellblau)

	CHE		Therm. Diskomfort		BIO		Therm. Diskomfort	
	Q' _{PNE} (kWh/m ² a)		(h/a)	(% der Betriebszeit)	Q' _{PNE} (kWh/m ² a)		(h/a)	(% der Betriebszeit)
01 RG_real	559	100 %	905	29 %	513	100 %	1414	45 %
02 PH-Env	549	98 %	1233	39 %	502	98 %	1385	44 %
03 eff-Bel	493	88 %	547	17 %	441	86 %	845	27 %
04 eff-WaeKae	447	80 %	1053	34 %	396	77 %	1602	51 %
05 eff-RLT	374	67 %	463	15%	338	66 %	788	25 %

Tabelle 15-09:
Übersicht der Ergebnisse der einzelnen Effizienzmaßnahmen getrennt nach den Nutzungen Chemie und Biologie

15.2 Einzelmaßnahmen Suffizienz

15.2.1 Reduzierter Luftwechsel zu Nebenzeiten (06 LWRredNZ)

Die Vorgabe zum Mindestvolumenstrom von Außenluft in Laborgebäuden von $25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{a}$ beinhaltet auch die Möglichkeit, in Zeiten, in welchen das Labor nicht in Betrieb ist und die Gefährdungsbeurteilung dies zulässt, den Luftwechsel abzusenken [DGUV-213-850 2015]. Das erfolgt im Referenzgebäude nach EnEV über eine Absenkung um 50 %, also auf $12,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ zu Nebenzeiten (Tabelle 15-10). Diese Lüftungsprofile werden in vielen Projekten umgesetzt. Die Nebenzeiten umfassen sowohl die Wochentage ohne die Arbeitszeiten, als auch die Wochenenden, Feiertage und ggf. Betriebsferien/-schließtage. Über das Jahr gesehen hat die Nebenzeit einen weit größeren Anteil an den Jahressstunden als die Betriebszeit. Abhängig von den Arbeitszeiten machen die Nebenzeiten rund zwei Drittel des Jahres aus. Daher wäre eine Absenkung der Volumenströme zu diesen Zeiten eine gute Möglichkeit, Energie einzusparen. Die erste Suffizienz-Maßnahme der reduzierten Luftwechselraten zu Nebenzeiten „06 LWRredNZ“ untersucht das Potential, das diese Maßnahme bieten kann. Auf die Abhängigkeiten der Suffizienz-Maßnahmen von einer Übereinstimmung mit den Arbeitsschutzbestimmungen wird in Kapitel 12 verwiesen. Die 24-Stunden-Abluftvolumenströme verschiedener Laboreinrichtungen begrenzen mögliche Absenkungen der Volumenströme. Daher wurden für beide Varianten CHE und BIO generische Laboreinrichtungen bilanziert (Anhang 14-A1). Die Lüftungsbilanzen zeigen, dass die Nutzung CHE aufgrund der Installationsdichte an Digestorien keine nennenswerten

Reduktionen unter $12,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ermöglicht. Die gewählte Belegung mit Digestorien und Sicherheits-schränken erfordert ein Mindestabluftvolumen von $11,3 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ für 24 Stunden am Tag. Die Belegung eines Biologie Labors würde eine Reduktion auf $6,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ermöglichen, also eine Halbierung der Volumenströme zur Nebenzeit.

Die Leistungskurven der Endenergie (Anhang 15-A1) verdeutlichen die unterschiedlichen Auswirkungen auf CHE und BIO. Die Nutzung BIO zeigt die Reduktionen durch einen geringeren Leistungsbedarf des Brennstoffs Gas (rot) und Strom (grau) während der Nebenzeiten. Für den thermischen Innenraumkomfort wirkt sich die Maßnahme 06 nicht positiv aus (Abbildung 15-08). Während die Nutzung CHE nur geringe Reduktionen im Energiebedarf aufweist (3-4%), liegt eine mögliche Reduktion für die Nutzung BIO für die Endenergie bei 18,6 % und der nicht erneuerbaren Primärenergie bei 16,9 % (Tabelle 15-11). Die geringeren Luftwechsel zu den Nebenzeiten bei BIO sorgt aber auch für einen Anstieg der anteiligen Diskomfortstunden. Es ist wahrscheinlich, dass der Laborraum in den Nebenzeiten, in welchen er wegen der geringeren Luftwechsel auch geringere Konditionierung erfährt, sich durch äußere Einwirkungen (z.B. solare Einstrahlung) außerhalb des Komfortbereiches liegt. Die thermische Trägheit der Konstruktion überträgt den Diskomfort auf die Betriebszeiten. Eine thermische Entladung der Massivbauteile in kühleren Nachtstunden (Nachtauskühlung), wie sie im Sommer erwünscht ist, wird damit eingeschränkt.

Tabelle 15-10:
Technische Ausführung für
die Variante „06 LWRredNZ“,
differenziert in die Nutzungen
Chemielabor (CHE) und Biologie-
labor (BIO)

06 LWRredNZ	CHE	BIO
V_A Nebenzeit min.		$11,3 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$
RLT Zuluft / Jahr	70,8 Mio. m^3	47,4 Mio. m^3
RLT Abluft / Jahr	76,0 Mio. m^3	53,0 Mio. m^3

Tabelle 15-11:
Ergebnisübersicht Variante
„06 LWRredNZ“

06 LWRredNZ	CHE	BIO
Q'_E - spez. Endenergie ($\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$)	380,7	96,1 %
Q'_{PNE} - spez. Primärenergie ($\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$)	538,3	96,3 %
therm. Diskomfort (Std. Kat. III & IV) nach DIN EN 15251	924	29,6 %

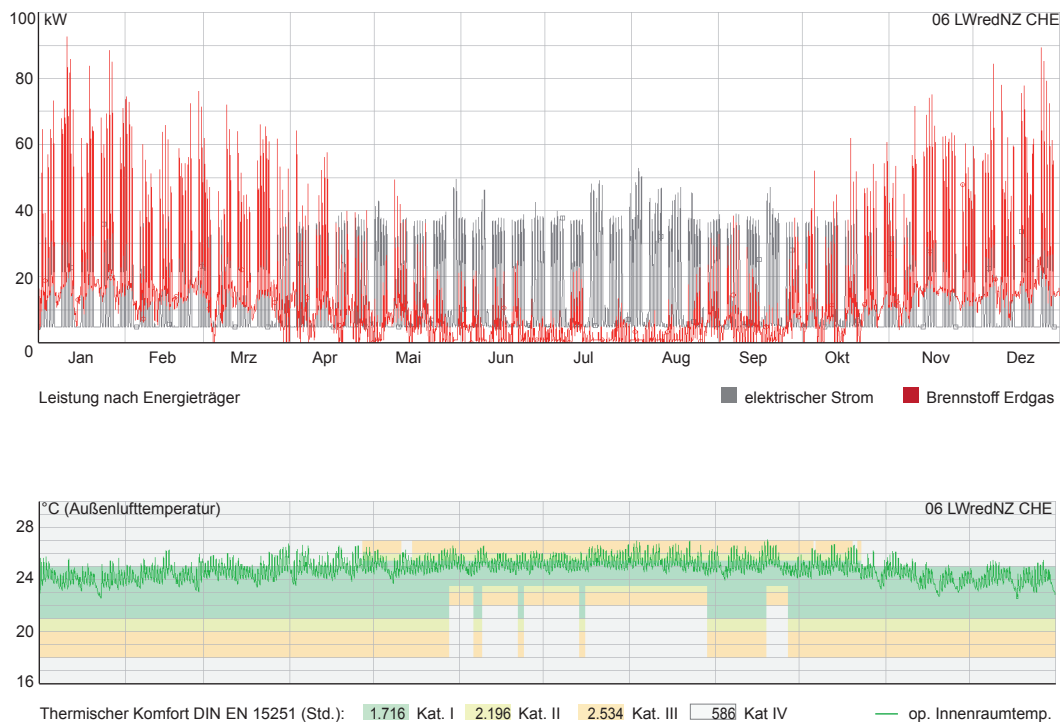


Abbildung 15-08: Leistung (Endenergie) nach Energieträger (oben) und thermischer Innenraumkomfort der Auswertezone nach DIN EN 15251 (unten) der Variante „06 LWredNZ“ Nutzung Chemielabor

15.2.2 Reduzierter Luftwechsel zu Betriebszeiten (07 LWRnuR)

Will man zu Betriebszeiten die Luftwechselraten reduzieren, sind zwei Betriebszustände zu beachten (Tabelle 15-12): Im Betriebszustand „Digestorien_geöffnet“ bieten sich strömungsoptimierte Digestorien an, die in geöffnetem Zustand geringere Volumenströme

bei gleichem Sicherheitsniveau ermöglichen. Die hier gewählten Digestorien mit Stützstrahltechnik reduzieren den erforderlichen Volumenstrom für ein 1,2 m Digestorium bei geöffnetem Schieber von 480 m³/h auf 330 m³/h. Für den Betriebszustand „Digestorium_geschlossen“ wird eine Absenkung des allgemeinen Luftwechsels auf 12,5 m³/m²h untersucht, sofern

07 LWRnuR	CHE	BIO
VA Betriebszeit min.	21,1 m ³ /m ² h	12,5 m ³ /m ² h
LW Betriebszeit min/max	CHE 6/9	BIO 3/7
Digestorien	Digestorien mit Stützstrahltechnik	Digestorien mit Stützstrahltechnik
RLT Zuluft / Jahr	CHE 65,0 Mio. m ³	BIO 53,4 Mio. m ³
RLT Abluft / Jahr	CHE 70,3 Mio. m ³	BIO 58,6 Mio. m ³

Tabelle 15-12: Technische Ausführung für die Variante „07 LWRnuR“, differenziert in die Nutzungen Chemielabor (CHE) und Biologielabor (BIO)

07 LWRnuR	CHE		BIO	
Q _E - spez. Endenergie (kWh/m ² a)	355,3	89,7 %	310,4	86,0 %
Q _{PNE} - spez. Primärenergie (kWh/m ² a)	501,6	89,7 %	439,9	85,8 %
therm. Diskomfort (Std. Kat. III & IV) nach DIN EN 15251	994	31,9 %	1588	50,9 %

Tabelle 15-13: Ergebnisübersicht Variante „07 LWRnuR“

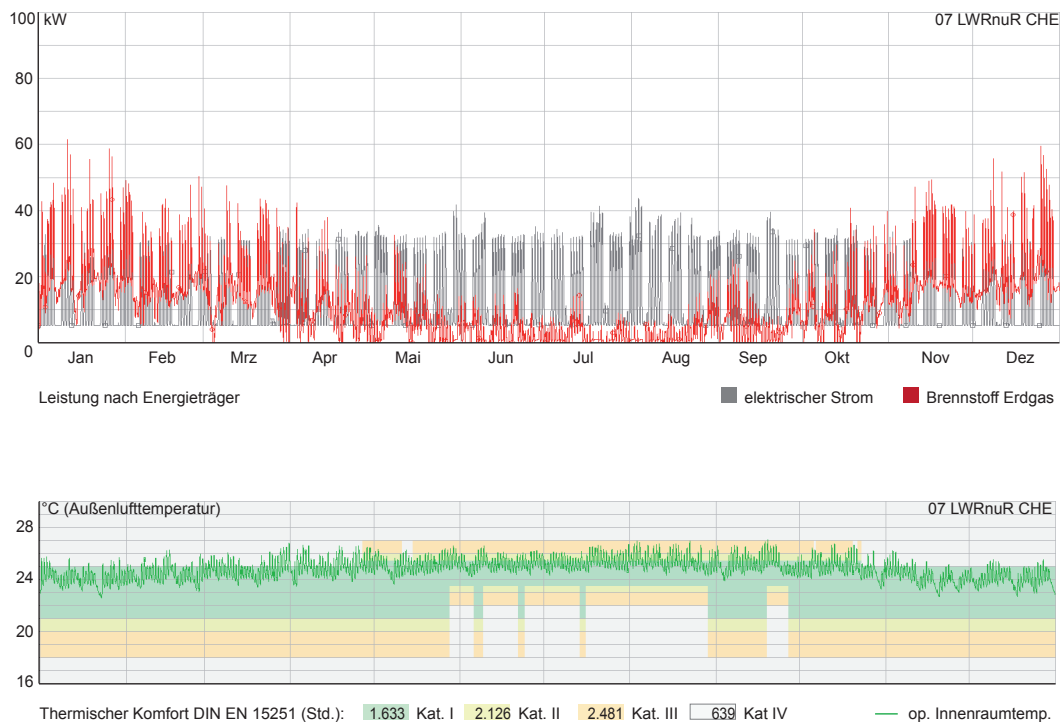


Abbildung 15-09: Leistung (Endenergie) nach Energieträger (oben) und thermischer Innenraumkomfort der Auswertezone nach DIN EN 15251 (unten) der Variante „07 LWRnuR“ Nutzung Chemielabor

das die Laboreinrichtung zulässt. In der Lüftungsbilanz (Anhang 14-A1) ergibt sich für das Chemielabor ein Luftwechsel von $33,7 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ (anstelle $48,3 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$) für geöffnete Abzüge und $21,1 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ (anstelle $25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$) für geschlossene Abzüge (Tabelle 15-12). Für Biologielabore könnte bei geschlossenen Abzügen der Luftwechsel auf $12,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ gesenkt werden. Bei geöffneten Abzügen bleiben die erforderlichen $25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ bestehen. Die reduzierten Luftwechselraten senken die Leistungsspitzen für den Endenergiebezug erheblich ab (Abbildung 15-09). Das hat zur Folge, dass die Anlagen zur Wärmeübergabe an die Zuluft (Wärmeregister) kleiner dimensioniert werden können. Das senkt wiederum den Strömungswiderstand und reduziert die Antriebsenergie der Ventilatoren. Dieser Effekt wurde in der Variante nicht berücksichtigt. Dennoch reduziert sich der Strombedarf, da die generelle Absenkung der Luftwechsel zu einem geringeren Leistungsbezug der Ventilatoren führt. Für den thermischen Komfort ergibt sich ein ähnliches Bild wie in Variante 06. Die Maßnahmen der Variante 07 wirken sich auf beide Labornutzungen aus (Tabelle 15-13). Beide Bedarfe

bei CHE werden um jeweils ca. 10 % reduziert. Für BIO liegen die Reduktionen mit ca. 14 % leicht höher. Auch für diese Version sind Maßnahmen erforderlich, die generell die zu hohen Innenraumtemperaturen senken (Abbildung 15-09).

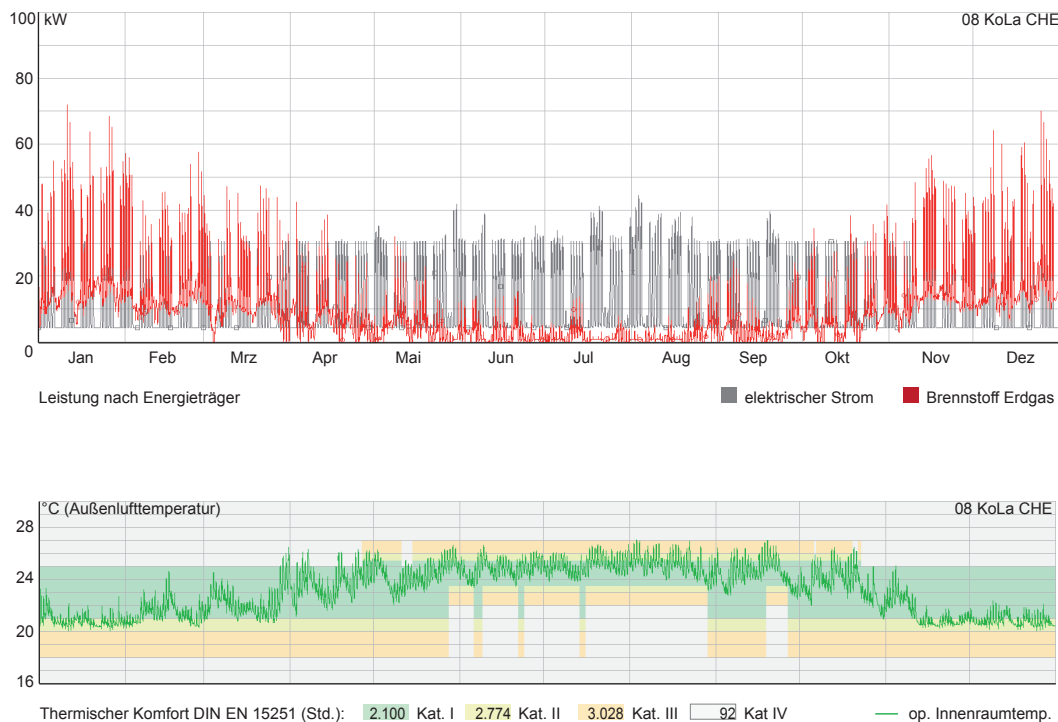


Abbildung 15-10: Leistung (Endenergie) nach Energieträger (oben) und thermischer Innenraumkomfort der Auswertezone nach DIN EN 15251 (unten) der Variante „08 KoLa“ Nutzung Chemielabor

15.2.3 Reduzierter Luftwechsel – Überströmung der Auswertezone (08 KoLa)

Die letzte untersuchte Einzelmaßnahme der Suffizienz ist die Variante einer lufttechnischen Überströmung der Auswertezone. Sie ist im Konzept der Laborlandschaft oder des Kombilabors beschrieben und daher „08 KoLa“ genannt. Die Idee ist, eine klare Zonierung innerhalb der Labors auch in der Luftbehandlung abzubilden. Die Auswertepplätze, die sich regelmäßig

an der Fassade befinden, werden mit Glaswänden von den restlichen Laborbereichen abgetrennt. Wenn es mit dem Betrieb des Labors vereinbar ist, werden die Auswertepplätze als Bereiche ohne Gefährdungspotential definiert und damit von der Vorgabe des Mindestluftwechsels von 25 m³/m²h ausgenommen. Die Überströmung der Auswertebereiche erfolgt mittels der allgemeinen Laborzuluft mit einem Volumenstrom, der dem hygienischen Luftwechsel von in der Regel

08 KoLa	CHE	BIO
Labor-Bezugsfläche	373 m ²	373 m ²
Überströmung-NGF	120 m ²	120 m ²
RLT Zuluft / Jahr	CHE 59,3 Mio. m ³	BIO 48,4 Mio. m ³
RLT Abluft / Jahr	CHE 64,5 Mio. m ³	BIO 53,7 Mio. m ³

Tabelle 15-14: Technische Ausführung für die Variante „08 KoLa“, differenziert in die Nutzungen Chemielabor (CHE) und Biologielabor (BIO)

08 KoLa	CHE	BIO
Q' _E - spez. Endenergie (kWh/m ² a)	299,1	75,5 %
Q' _{PNE} - spez. Primärenergie (kWh/m ² a)	426,5	76,3 %
therm. Diskomfort (Std. Kat. III & IV) nach DIN EN 15251	346	11,1 %

Tabelle 15-15: Ergebnisübersicht Variante „08 KoLa“

3 h⁻¹ entspricht [Rydzewski 2015]. Die Abluft wird über Öffnungen in der Glastrennwand in die allgemeine Laborabluft mit einbezogen. Damit wird effektiv das zu lüftende Laborvolumen um die Auswertezone reduziert. Somit muss erheblich weniger Luft transportiert werden (Tabelle 15-14). Durch die Überströmung der Auswertezone reduziert sich die Bezugsfläche für die erforderliche Laborlüftung um 120 m². Das reduziert das Abluftvolumen der Variante CHE um 15,1 Mio. m³/a, der Variante BIO um 17,2 Mio. m³/a. Entsprechend niedriger sind die Leistungskurven der Endenergie (Abbildung 15-10). Durch den wesentlich

reduzierten Luftwechsel auf die gesamte Fläche gerechnet, haben die stationären Systeme für Heizen und Kühlen wieder einen höheren Einfluss auf die Innenraumtemperaturen. Somit können die thermischen Behaglichkeitswerte verbessert werden. In der Summe stellt die Variante 08 die wirkungsvollste aller drei untersuchten Suffizienz-Maßnahmen dar. In beiden Nutzungen gibt es Bedarfsreduktionen bei End- und Primärenergie zwischen 13,7 % und 15,9 % (Tabelle 15-15). Auch die thermische Behaglichkeit hat sich aus o.g. Gründen wesentlich verbessert.

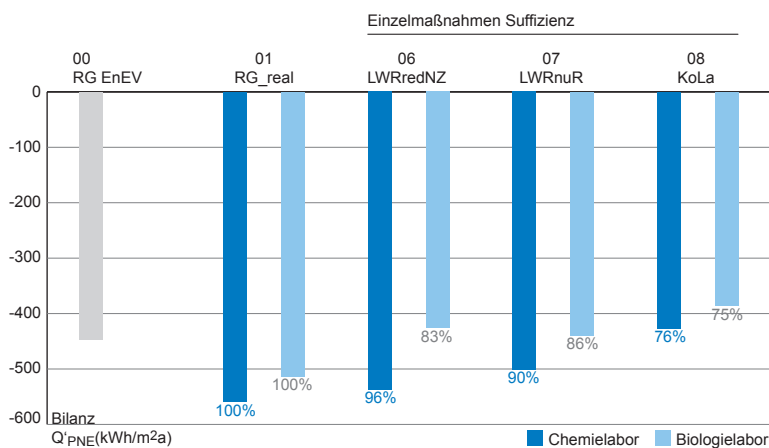


Abbildung 15-11: Übersicht der Ergebnisse der einzelnen Suffizienzmaßnahmen getrennt nach den Nutzungen Chemie (dunkelblau) und Biologie (hellblau)

15.2.4 Übersicht Suffizienzmaßnahmen

Abbildung 15-11 und Tabelle 15-16 zeigen Übersichten der Ergebnisse für die einzelnen Suffizienzmaßnahmen. Alle Maßnahmen reduzieren den Primärenergiebedarf, nicht alle Maßnahmen verbessern den thermischen Komfort. Suffizienz-Maßnahmen sind im Gegensatz zu den Effizienzmaßnahmen abhängig von einer Unbedenklichkeit in Bezug auf den Belang der Arbeitssicherheit (Kapitel 12). Um weitere Benchmarks in Verbindung mit den hocheffizienten Laborzonen zu erhalten, werden die Maßnahmen noch mit dem Modell kombiniert, das maximale Effizienz verspricht. Diese Benchmarks können als Argumentationshilfe für klimafreundliche Labore in Gesprächen mit Laborbetreibern dienen.

Tabelle 15-16: Übersicht der Ergebnisse der einzelnen Effizienzmaßnahmen getrennt nach den Nutzungen Chemie und Biologie

	CHE				BIO			
	Q'PNE (kWh/m²a)		Therm. Diskomfort (h/a)	(% der Betriebszeit)	Q'PNE (kWh/m²a)		Therm. Diskomfort (h/a)	(% der Betriebszeit)
01 RG_real	559	100 %	905	29 %	513	100 %	1414	45 %
06 LWRredNZ	538	96 %	924	30 %	426	83 %	1610	52 %
07 LWRnuR	502	90 %	994	32 %	440	86 %	1588	51 %
08 KoLa	427	76 %	346	11 %	386	75 %	502	16 %

15.3 Kombinationsmodelle

Da sich alle Einzelmaßnahmen in Ihrer Wirkung gegenseitig beeinflussen, müssen auch die Kombinationen mittels Simulationsmodellen nachgebildet werden und einzeln simuliert werden. Eine einfache Addition der Wirkungen auf die Untersuchungsparameter ist nicht möglich. Dennoch sind die Einzelergebnisse ein Indiz für die Wirkungsabschätzung der Einzelmaßnahmen. Es werden nicht alle theoretisch möglichen Kombinationen miteinander simuliert, da dieser Ansatz für die gestellte Forschungsfrage nicht erforderlich ist und unter den getroffenen Verallgemeinerungen keinen Mehrwert für spezielle Problemstellungen in realen Laborbauprojekten bringen würde.

15.3.1 Kombination Effizienz

Die schrittweise Addition der Effizienzmaßnahmen führt zur Variante mit der maximalen Energieeffizienz (maxEff = 02+03+04+05). Modell „maxEff“ ist damit das Modell, das mit dem wenigsten Energieeinsatz die gleichen (oder besseren) thermischen Innenraumkomfort bei gleichen Luftwechselvolumen (mindestens 25 m³/m²h) bietet. Mit ihm werden die weiteren Suffizienz- (Reduktion der Luftmengen) und

Konsistenzmaßnahmen (erneuerbare Energiequellen zur Bedarfsdeckung) untersucht. Tabelle 15-17 zeigt die schrittweise Addition der Einzelmaßnahmen. Die Ergebnisse aus den Einzelsimulationen können nicht einfach addiert werden, dennoch bringt jede Einzelmaßnahme auch in der Addition eine Verbesserung. Die effizienteste Maßnahme „02+03+04+05“ zeigt eine Reduktion des spezifischen nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs von über 50 % für beide Nutzungen. Der thermische Komfort liegt bereits ab der Kombination „02+03“ im Bereich der zulässigen Abweichung von unter 3-5 % der Stunden in der Betriebszeit (BZ).

15.3.2 Kombination Effizienz & Suffizienz

Die Varianten mit der höchsten Effizienz (maxEff) werden schrittweise mit den Suffizienz-Maßnahmen kombiniert. Abbildung 15-13 und Tabelle 15-18 zeigen die Ergebnisse für die reduzierten Luftwechselraten zu Nebenzeiten (06), die nutzungsgeregelte Regelung zu Betriebszeiten (07) und die Variante der Überströmung der Auswertezone (08). Der thermische Komfort wird durch die Addition der einzelnen Suffizienzmaßnahmen nicht verschlechtert. Lediglich die Überströmung der Auswertezone (+08) lässt den Anteil der Diskomfortstunden an den

	CHE		Therm. Diskomfort		BIO		Therm. Diskomfort	
	Q' _{PNE} (kWh/m ² a)		(h/a)	(% BZ)	Q' _{PNE} (kWh/m ² a)		(h/a)	(% BZ)
01 RG_real	559	100 %	905	29 %	513	100 %	1414	45 %
02+03	486	87 %	5	0,2 %	431	84 %	13	0,4 %
02+03+04	393	70 %	10	0,3 %	341	66 %	22	0,7 %
02+03+04+05	262	47 %	0	0 %	228	44 %	0	0 %

Tabelle 15-17:
Übersicht der Ergebnisse der schrittweise addierten Effizienzmaßnahmen getrennt nach den Nutzungen Chemie und Biologie

	CHE		Therm. Diskomfort		BIO		Therm. Diskomfort	
	Q' _{PNE} (kWh/m ² a)		(h/a)	(% BZ)	Q' _{PNE} (kWh/m ² a)		(h/a)	(% BZ)
01 RG_real	559	100 %	905	29 %	513	100 %	1414	45 %
maxEff	262	47 %	0	0 %	228	44 %	0	0 %
+06	252	45 %	0	0 %	176	34 %	0	0 %
+06+07	210	38 %	0	0 %	126	25 %	6	0,2 %
+06+07+08	170	30 %	149	4,8 %	103	20 %	12	0,4 %

Tabelle 15-18:
Übersicht der Ergebnisse der schrittweise addierten Suffizienzmaßnahmen getrennt nach den Nutzungen Chemie und Biologie

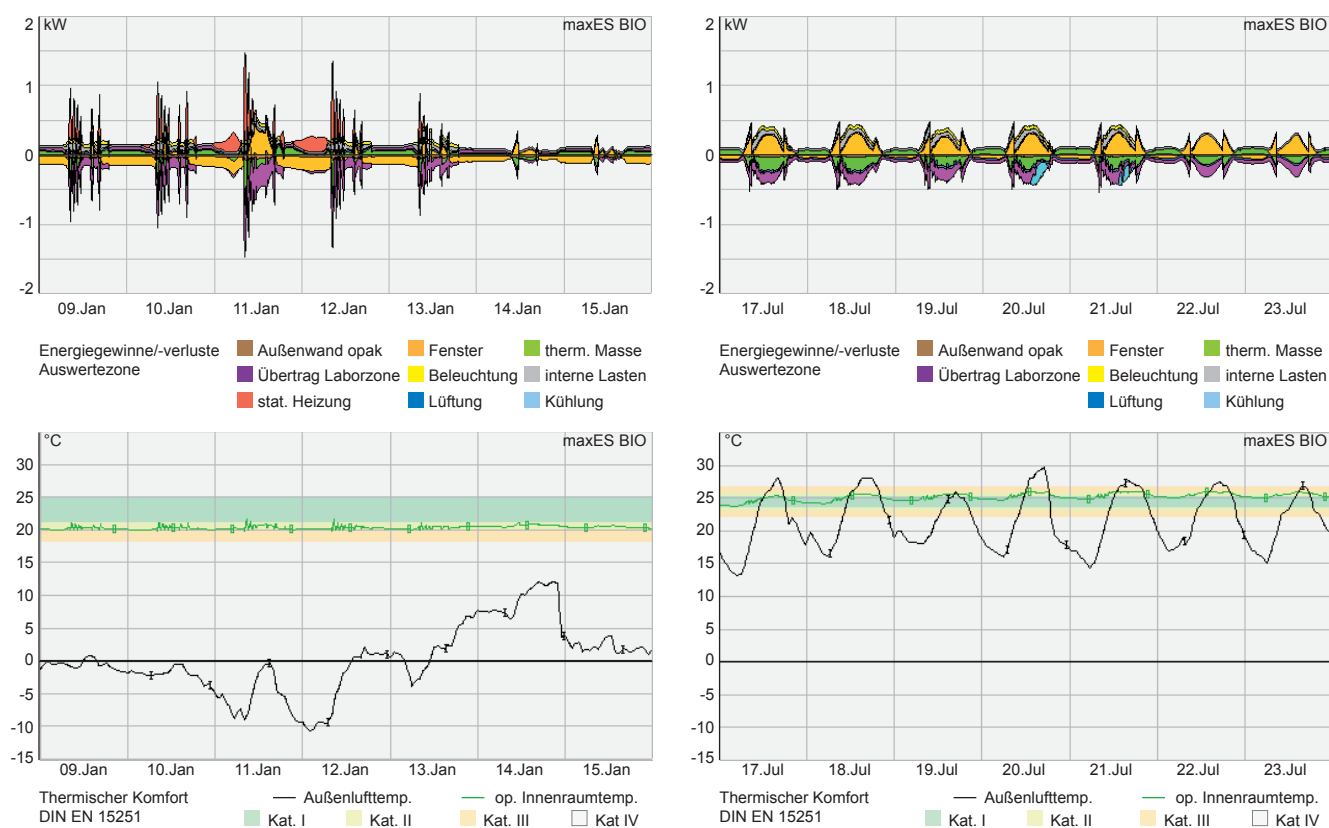


Abbildung 15-12: Energiebilanzen und thermischer Innenraumkomfort nach DIN EN 15251 der Auswertezone BIO einer repräsentativen Woche kalt (09.-15.01.2017; links) und einer repräsentativen Woche warm (17.-25.07.2017; rechts) der Variante „maxES“

Betriebsstunden steigen. Durch die starke Verringerung des Luftwechsels wird das thermische System der Auswertezone träge und reagiert langsamer auf Änderungen in der Energiebilanz. Die solare Einstrahlung ist der größte Störfaktor aufgrund des hohen Verglasungsanteils und der geringen Fläche der Auswertezone. Sie erschwert die Regelung der thermisch aktiven Haustechnik für den thermischen Komfort. Das zeigt sich insbesondere darin, dass der thermische Komfort der Laborzone, die weniger solare Einstrahlung bekommt und die hohen Luftwechselraten behält, in der Variante „maxEff+06+07+08“ im zulässigen Bereich liegt. Die Kombination aller Maßnahmen „+06+07+08“ zeigt ein Einsparpotential für den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf, ausgehend von der Variante „maxEff“, von zusätzlichen 17 % für die Chemienutzung und 24 % für die Biologienutzung. Damit könnte der Energiebedarf von Laboren durch Reduktion der Luftwechselraten über die maximale Effizienz hinaus noch einmal wesentlich gesenkt werden.

15.3.3 Zwischenfazit Effizienz und Suffizienz

Die Kombination der maximalen Effizienz und Suffizienz (maxES) für die Chemienutzung hätte ein Reduktionspotential bei der nicht erneuerbaren Primärenergie von 70%, für die Biologienutzung von 80% gegenüber dem jeweiligen angepassten Basismodell (01 RG_real). Die Suffizienz-Strategie kann also die Effizienzstrategie wesentlich ergänzen. Wie realistisch die Kombinationen der jeweiligen Einzelmaßnahmen ist, wird im Kapitel 16 diskutiert. Für die Deckung des verbleibenden Energiebedarfs durch erneuerbare Energien (Konsistenz) werden zwei Modelle herangezogen: Das Modell maximaler Effizienz (maxEff) und das Modell maximaler Effizienz und Suffizienz (maxES) (Tabelle 15-19). Die Untersuchung beider Modelle wird erforderlich, da die Suffizienzmaßnahmen (wie erwähnt) nicht in jedem Laborgebäude umgesetzt werden können. Zudem zeigt der Vergleich zwischen beiden Modellen die Bedeutung von Suffizienz in Bezug auf klimafreundliche Labore.

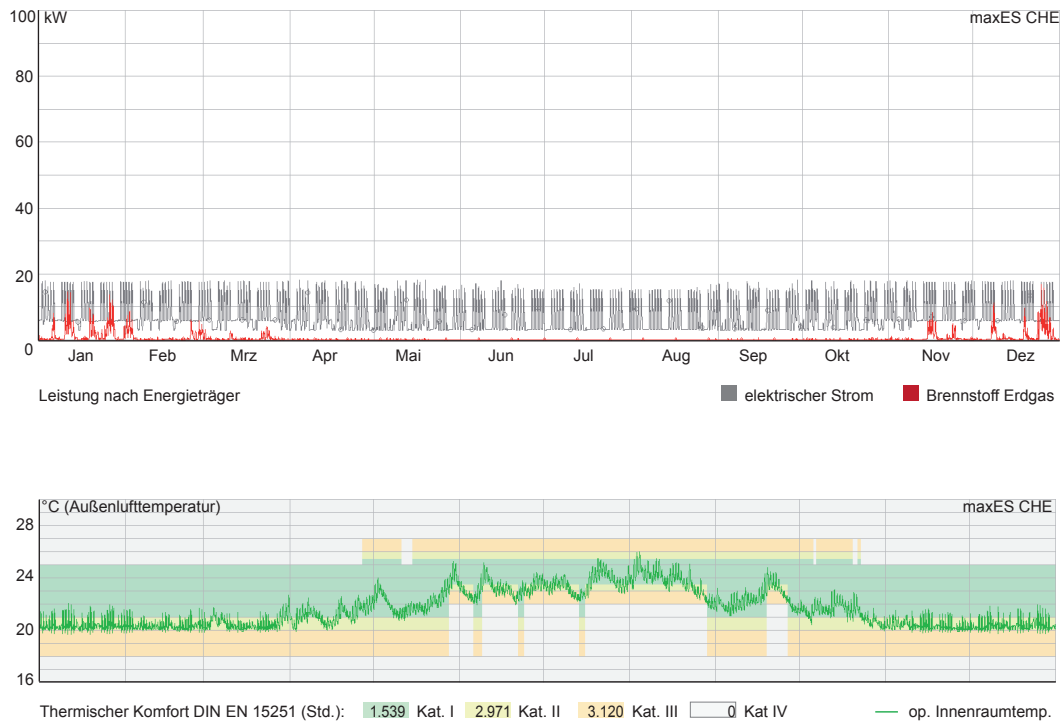


Abbildung 15-13: Leistung (Endenergie) nach Energieträger (oben) und thermischer Innenraumkomfort der Auswertezone nach DIN EN 15251 (unten) der Variante „maxES“ Nutzung Chemielabor

	CHE		Therm. Diskomfort		BIO		Therm. Diskomfort	
	Q'_{PNE} (kWh/m ² a)		(h/a)	(% BZ)	Q'_{PNE} (kWh/m ² a)		(h/a)	(% BZ)
01 RG_real	559	100 %	905	29 %	513	100 %	1414	45 %
02+03	486	87 %	5	0,2 %	431	84 %	13	0,4 %
02+03+04	393	70 %	10	0,3 %	341	66 %	22	0,7 %
02+03+04+05	262	47 %	0	0 %	228	44 %	0	0 %
maxEff	262	47 %	0	0 %	228	44 %	0	0 %
+06	252	45 %	0	0 %	176	34 %	0	0 %
+06+07	210	38 %	0	0 %	126	25 %	6	0,2 %
+06+07+08	170	30 %	149	4,8 %	103	20 %	12	0,4 %
maxES	170	30 %	149	4,8 %	103	20 %	12	0,4 %

Tabelle 15-19: Übersicht beider Strategien mit den weiteren Untersuchungsmodellen „maxEff“ und „maxES“

15.4 Einzelmaßnahmen Konsistenz

Die Nutzung erneuerbarer Energien sollte nicht nur der Versorgung der untersuchten Laborzone dienen, sondern für die Versorgung eines gesamten Laborgebäudes herangezogen werden. Daher muss beachtet werden, dass es sich bei dem Simulationsmodell nur um einen Teil eines gesamten Gebäudes handelt. Kapitel 14 vergleicht das gewählte Fallbeispiel mit den durchschnittlichen Abmessungen von Gebäuden dieser Gebäudekategorie (Kapitel 12). Die Nutzung erneuerbarer Energien beschränkt sich daher auf diejenigen Anteile von Quellen, die für die untersuchte Zone zur Verfügung stehen würden.

15.4.1 Photovoltaik (+PV)

In beiden Versionen „maxEff“ und „maxES“ bildet elektrische Energie den größten Anteil der benötigten Endenergie. Daher wird zunächst die Deckung dieses Bedarfs über Eigenproduktion von Strom mittels Photovoltaik (PV) untersucht. Die Fallstudie beinhaltet drei Nutzgeschosse und entspricht damit der durchschnittlichen Anzahl an Geschossen der Kategorie 2500 Laborgebäude nach BZK [OBB 2014]. In einer optimierten Dachplanung wird von einer potentiellen Vollbelegung des Daches mit PV-Modulen ausgegangen. Abgezogen wird analog Kapitel 9 eine Pauschale für Wartungs- und Technikflächen sowie ein angemessener Attikabereich von 0,6 Metern. Der Ansatz

für die Dachfläche für PV-Produktion beträgt daher ein Drittel der Bruttogrundfläche der Untersuchungszone abzüglich Attika- und Wartungsflächen (Tabelle 15-20). Für den Wirkungsgrad (Module Efficiency) der PV-Module werden 16 % angenommen. Dieser wird von den meisten marktgängigen Modulen erreicht. Auch einige wenige Dünnschichtmodulen erreichen schon annähernd 16 % Wirkungsgrad [Fraunhofer 2017]. Für einen Baustandard 2021 kann daher ein Wirkungsgrad von 16 % vorausgesetzt werden. Analog Kapitel 09 wird eine annähernd horizontale Montage bilanziert, um von einer neutralen Orientierung des Gebäudes auszugehen.

Der Ertrag der dachinstallierten PV liegt über das Jahr hinweg regelmäßig weit unter dem Strombedarf der Laborzone, d.h. dass zum größten Teil der erzeugte Strom im Gebäude selbst verbraucht werden kann. Eine Einspeisung ins Netz oder eine Zwischenspeicherung (z.B. Batteriespeicher) des erzeugten PV-Stroms kommt nur an wenigen Tagen vor. Nebenzeiten am Wochenende, an welchen ein hoher PV-Ertrag und gleichzeitig ein geringer Bedarf vorliegt, können gelegentlich einen geringen Stromüberschuss aufweisen (Abbildung 15-14). Der Anteil des im vorliegenden Simulationsmodell ins Netz eingespeisten Überschussstroms beträgt nur 11 bis 28 Prozent des erzeugten PV-Stroms (Tabelle 15-22). Der Einsatz eines Kurzzeitspeichers (z.B. Batteriespeichersystem) könnte die Eigenverbrauchsrate nochmals steigern.

Tabelle 15-20:
Ermittlung der anteiligen Dachfläche der Untersuchungszone für PV-Nutzung

Grundfläche Laborzone			493 m ²
Abzug Attikafläche	41,4 m x 0,6 m	24,8 m ²	
Abzug Wartung (psch. 15%)	(493-24,8) m ² x 0,15	70,2 m ²	
Verbleibende Dachfläche PV			398 m ²
Anteilige Dachfläche bei drei Geschossen			132,7 m ²

Tabelle 15-21:
Ergebnisübersicht Konsistenzmaßnahme „PV“ mit den Untersuchungsmodellen „maxEff“ und „maxES“

	CHE		Therm. Diskomfort		BIO		Therm. Diskomfort	
	Q' _{PNE} (kWh/m ² a)		(h/a)	(% BZ)	Q' _{PNE} (kWh/m ² a)		(h/a)	(% BZ)
01 RG_real	559	100 %	905	29 %	513	100 %	1414	45 %
maxEff	262	47 %	0	0 %	228	44 %	0	0 %
+PV	191	34 %	-	-	156	30 %	-	-
maxES	170	30 %	149	4,8 %	103	20 %	12	0,4 %
+PV	95	17 %	-	-	29	6 %	-	-

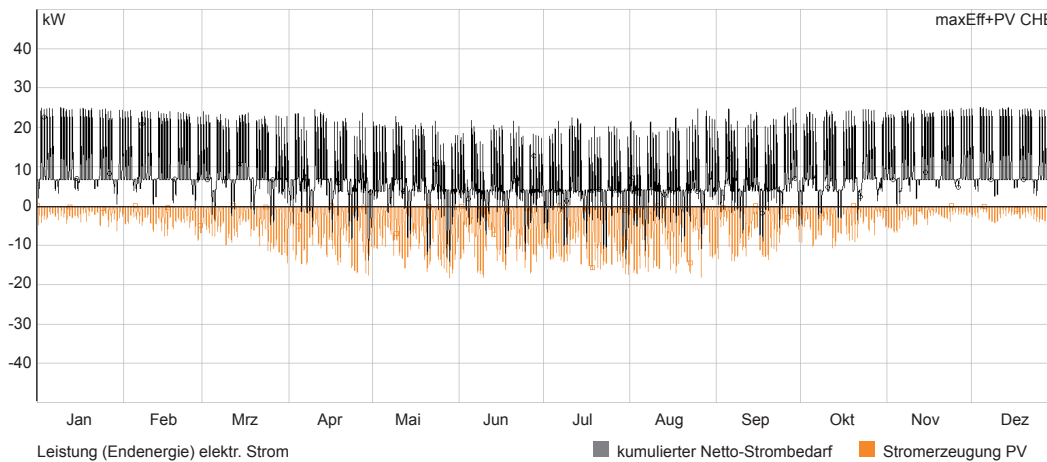


Abbildung 15-14: Stromerzeugung (kW) der dachinstallierten PV-Anlage (orange) und der kumulierte Bedarf an Strom-Endenergie der Laborzone in der Variante „maxEff+PV_CHE“ (schwarz)

Zusätzlich zur Dachinstallation könnte ein Anteil für fassadenintegrierte PV angesetzt werden. Aufgrund der Südorientierung der Zone und der Annahme, dass auch Nordzonen versorgt werden, könnte nur die Hälfte des PV-Fassadenpotentials angesetzt werden. Die fassadenintegrierte PV würde aus einem Anteil Brüstungspaneel bestehen. Um das Potential der fassadenintegrierten PV überschlägig zu ermitteln, wird ein Brüstungsmodul mit einer Höhe von 70 cm (z.B. Axsun, Solarwatt) angenommen. Auf eine Länge von 20,7 m (halbe Zonenlänge) ergibt sich eine Fläche von 14,5 m². Um die Verschattung durch das Gebäude zu berücksichtigen wird die Anlage separat simuliert. Tabelle 15-23 zeigt das zusätzliche Potential der fassadenintegrierten PV im Vergleich zum Potential der Dachflächeninstallation. Für die gewählte Konfiguration ergibt sich ca. ein Faktor 10 zwischen beiden Potentialen.

Die Vielzahl an Parametern, die diese Studie beeinflussen, schränkt die generelle Aussagekraft dieses Vergleichs ein. Allein die Anzahl der Geschosse, die Höhe von Brüstungen oder die Art der Dachinstallation der PV modifizieren das Ergebnis erheblich. Für die fassadenintegrierte PV kann allerdings nicht von einer generellen Machbarkeit bei allen Neubauten ausgegangen werden. Verschattungen durch Nachbargebäude und Bepflanzungen machen eine sinnvolle Integration vom Einzelfall abhängig. Es wird daher in dieser Potentialstudie von der Implementierung fassadenintegrierter PV abgesehen, obwohl ein Potential vorliegen kann. Ebenso verhält es sich mit PV in umliegenden Freiflächenanlagen. Überdachungen für PKW- und Fahrradstellplätzen mit integrierter PV sind vom jeweiligen Einzelfall abhängig, obgleich sie enormes Potential aufweisen können.

	CHE		PV-Einspeisung		BIO		PV-Einspeisung	
	(kWh/a)	Anteil	(kWh/a)	Anteil	(kWh/a)	Anteil	(kWh/a)	Anteil
maxEff+PV	20.218	100 %	2.216	11 %	20.218	100 %	2.245	11 %
maxES+PV	20.218	100 %	3.595	18 %	20.218	100 %	5.479	28 %

Tabelle 15-22: Anteil des ins Netz eingespeisten PV-Stroms der Varianten „maxEff“ und „maxES“ getrennt nach den Nutzungen Chemie und Biologie

Maßnahme	Flächenpotential	Erzeugte Endenergie		Erzeugte Primärenergie	
		kWh/a	kWh/m ² a	kWh/a	kWh/m ² a
PV Dach	132,7 m ²	20.212	41,4	36.381	74,4
PV Brüstung	14,5 m ²	2.090	4,3	3.762	7,7

Tabelle 15-23: PV-Potentiale für die Varianten Dach- und Fassadeninstallation für das Untersuchungsmodell

15.4.2 Solarthermie (+ST)

Das Lastprofil einer klassischen Laborzone sieht einen vernachlässigbaren Anteil an Heizenergie für die Aufbereitung von warmem Trinkwasser vor. Daher dient die Solarthermie im vorliegenden Fall der Heizungsunterstützung für die Laborzone, die ganzjährig einen Bedarf aufweist. Die gewonnene Wärmeenergie wird dem Warmwasserspeicher zugeführt, aus dem das statische Heizsystem und die RLT-Heizung seine Wärmeenergie bezieht. Die Wirkung der Solarthermie ist somit als Bedarfsreduktion des Grund- und Spitzenlastkessels ablesbar. Die zur Verfügung stehenden Flächen zur Installation von solarthermischen Anlagen entsprechen den Flächen zur Installation von PV-Anlagen. Es wird daher mit dem gleichen Flächenansatz zur Dachinstallation gerechnet (maximal 132,7 m²). Die optimale Installationsart für solarthermische Anlagen zur Heizungsunterstützung für Wohngebäude ist regelmäßig eine Aufständigung auf ca. 45 Grad Südorientierung [Weyres-Borchert et al. 2015, 64]. Da Laborgebäude annähernd ganzjährig einen höheren Wärmebedarf aufweisen, wird eine 30 Grad Aufständigung gewählt. Es werden zunächst zwei Varianten simuliert: eine horizontale, annähernd vollflächige

Installation und eine aufgeständerte Installation mit Abstand zur Vermeidung von Verschattungen. Beide Versionen zeigen in der Simulation mit dem Modell „maxEff_BIO“ eine Differenz im spezifischen nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf von 2,0 kWh/m²a (219,9 (horizontal) zu 217,9 kWh/m²a (aufgeständert)). Die Simulationen verwenden daher eine aufgeständerte Montage, da sie praxisnäher und wesentlich wirtschaftlicher ist. Eine Vergleichssimulation zwischen Flach- und Vakuumröhrenkollektoren entscheidet über die Art des Kollektors für den speziellen Fall des Simulationsmodells. Je nach Temperaturdifferenz zwischen Ein- und Ausgangstemperatur am Kollektor bieten beide Varianten unterschiedliche Vorteile. Das Modell der effizienten Wärme- und Kälteversorgung mittels einer Wärmepumpe erfordert niedrige Vor- und Rücklauftemperaturen (VL/RL) in beiden Heizsystemen. Für die statische Heizung werden VL/RL-Temperaturen von 45/35 °C eingestellt, für die RLT-Heizung 40/30 °C. Die niedrigen Systemtemperaturen machen trotz Speicher keine hohen Rücklauftemperaturen von Solar Kollektoren notwendig. Daher kann der Vakuumröhrenkollektor seine Vorteile in den Wirkungsgradkennlinien bei höheren Temperaturspreizungen nicht ausspielen

Tabelle 15-24:
Vergleich Solarthermie am Untersuchungsmodell mittels Flachkollektoren und Vakuumröhrenkollektoren: Modulkosten [Energie-Datenbank 2017], Heizenergiebedarfe (Endenergie) für Strom (Grundlast) und Gas (Spitzenlast) und Energiekosten [SWM 2017]

	Flachkollektor	Differenz	Vakuumröhrenkollektor
Modell	Viessmann VS 100f		Solarplus DF 20B
Anzahl Module	26		23
Gesamtfläche (m ²)	65,6		63,6
Preis (€/Stück)	550	1.300	1.850
Kosten Kollektoren ges. (€)	14.300	28.250	42.550
QE, Heiz Strom (kWh/a)	11.895	1.405	10.490
QE, Heiz Gas (kWh/a)	6.742	1.461	5.281
Kosten Strom (€/a) bei 0,27 €/kWh	3.212	380	2.832
Kosten Strom (€/a) bei 0,06 €/kWh	405	88	317
Energiekosten Heizung (€/a)	3.617	468	3.149

Tabelle 15-25:
Übersicht Konsistenzmaßnahme „ST“ mit den Untersuchungsmodellen „maxEff“ und „maxES“

	CHE		Therm. Diskomfort		BIO		Therm. Diskomfort	
	Q' PNE (kWh/m ² a)		(h/a)	(% BZ)	Q' PNE (kWh/m ² a)		(h/a)	(% BZ)
01 RG_real	559	100 %	905	29 %	513	100 %	1414	45 %
maxEff	262	47 %	0	0 %	228	44 %	0	0 %
+ST	252	45 %	-	-	218	42 %	-	-
maxES	170	30 %	149	4,8 %	103	20 %	12	0,4 %
+ST	159	28 %	-	-	94	18 %	-	-

[Weyres-Borchert et al. 2015, 33-37]. Tabelle 15-24 zeigt den Unterschied zwischen den beiden Systemen. Die Vergleichssimulation zeigt nur geringe Unterschiede bei der Reduktion des Heizwärmebedarfs. Durch die annähernde Parität in den ökologischen Kriterien entscheidet für diese spezielle Situation der Laborzone der ökonomische Vorteil zugunsten der Flachkollektoren. Die Konsistenzmaßnahme Solarthermie zeigt durchgängig eine zusätzliche Reduktion von ca. 2 % des jeweiligen spezifischen nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs (Q'_{PNE}).

15.4.3 Photovoltaik und Solarthermie (+PVT)

Da die erneuerbare Energieversorgung mittels PV und Solarthermie in unmittelbarer Flächenkonkurrenz stehen, muss sich für ein System je Flächenansatz entschieden werden. Eine Alternative bieten daher PVT-Kollektoren, die sowohl Strom (Photovoltaik) als auch thermische Energie analog einem Flachkollektor erzeugen. Der große Vorteil ist der geringere Flächenbedarf für die kombinierte Anlage im Vergleich zu getrennten Systemen mit vergleichbaren Leistungen. Zusätzlich kann sich die Wärmeabfuhr des thermischen Kollektors positiv auf den Wirkungsgrad der Photovoltaik auswirken, da er bei höheren Temperaturen sinkt. Das gilt allerdings nur für nicht abgedeckte PVT-Kollektoren. Sie funktionieren wie eine PV-Zelle, die rückseitig mit einem thermischen Kollektor belegt ist. Durch die fehlende Isolation zur Umgebungstemperatur sinkt allerdings der Wirkungsgrad des Kollektors gegenüber einem klassischen Flachkollektor erheblich. Abgedeckte PVT-Kollektoren funktionieren dagegen ähnlich einem klassischen Flachkollektor. Die höheren Innentemperaturen verringern allerdings den Wirkungsgrad der PV-Zellen und beschleunigen deren Degradation. [Adam et al. 2014, 52-53] Da sich für das vorliegende Simulationsmodell eher der selbsterzeugte PV-Strom

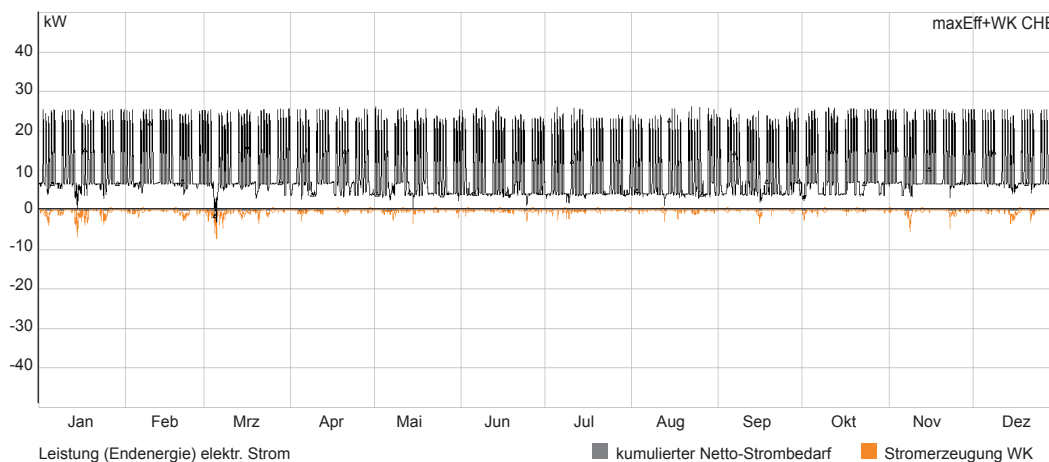
positiv auswirkt als eine Heizungsunterstützung durch Solarthermie, würde nur ein offener PVT-Kollektor in Frage kommen. Ein durchschnittlicher Wirkungsgrad für den PV-Anteil wird mit 11,5 % angegeben. Der Vorteil der rückseitigen Wärmeabfuhr macht sich nur bei Kollektorflächen über 10 m² bemerkbar [Adam et al. 2014, 53]. Für den thermischen Kollektor wird ein spezifischer Kollektornutzertrag von 11 kWh/m²a (30m² HTC-Kollektor Standort Würzburg) als Beispiel angegeben. Der spezifische Nutzertrag sinkt mit steigender Fläche. Offene thermische Kollektoren funktionieren ähnlich einem Schwimmbadabsorber. Wegen der fehlenden Isolation liegt der höchste Ertrag an den strahlungsreichsten Tagen mit den höchsten Außentemperaturen vor. [Adam et al. 2014, 124-127] Hier wird nun kein bis wenig Warmwasser zur Heizungsunterstützung benötigt. Für saisonale Speicherung ist das System nicht ausgelegt. Die Nachteile, die das System des PVT-Kollektors für die vorliegende Untersuchungszone im Vergleich zu den Konsistenzmaßnahmen „PV“ und „ST“ bringt, erübrigen eine komplette Simulation mit allen Nutzungsvarianten. Probesimulationen mit o.g. PV- und ST-Leistungsdaten bestätigen diese Annahme (Tabelle 15-26).

Durch die solarthermische Wärmeerzeugung des PVT-System lässt sich kein signifikanter Unterschied in der Wärmeerzeugung für die Laborzone feststellen. Einzig anrechenbare Auswirkung ist die PV-Stromerzeugung. Sie beträgt mit Q'_{PNE} 29,9 kWh/m²a nur ca. 40 % des Ertrags der reinen PV-Nutzung der Dachfläche.

	CHE		Therm. Diskomfort		BIO		Therm. Diskomfort	
	Q'_{PNE} (kWh/m ² a)		(h/a)	(% BZ)	Q'_{PNE} (kWh/m ² a)		(h/a)	(% BZ)
01 RG_real	559	100 %	905	29 %	513	100 %	1414	45 %
maxEff	262	47 %	0	0 %	228	44 %	0	0 %
+PVT	233	42 %	-	-	199	39 %	-	-
maxES	170	30 %	149	4,8 %	103	20 %	12	0,4 %
+PVT	137	25 %	-	-	71	14 %	-	-

Tabelle 15-26
Übersicht Konsistenzmaßnahme
„PVT“ mit den Untersuchungs-
modellen „maxEff“ und „maxES“

Abbildung 15-15:
Stromerzeugung (kW) der dach-
installierten KWK-Anlage mit
horizontaler Achse (orange) und
der kumulierte Bedarf an Strom-
Endenergie der Laborzone in
der Variante „maxEff+WK_CHE“
(schwarz)



15.4.4 Windkraft (+WK)

Für die Nutzung von Windenergie zur Stromerzeugung stehen Kleinwindkraftanlagen (KWKA) zur Verfügung. Kleinwindkraftanlagen werden regelmäßig bis zu einer Masthöhe von 10 Metern errichtet und fallen damit z.B. in Bayern bauordnungsrechtlich unter den Tatbestand der Genehmigungsfreistellung (Art. 57 Abs. 1 Nr. 3b BayBO). Dennoch müssen diese Anlagen alle öffentlich-rechtlichen Vorgaben erfüllen und sind damit Gegenstand der Diskussionen im Fachrecht. Bedenken wegen Geräuschemissionen, Schattenwurf und Beeinträchtigungen des Ortsbildes machen diese Anlagen zu einer seltenen Energiequelle im Verbund mit Gebäuden. Um das Potential der Windkraft dennoch abschätzen zu können, wird eine KWKA mit vertikaler Drehachse (Darrieus-Rotor) simuliert. KWKA mit vertikaler Drehachse

haben einen geringeren Wirkungsgrad als KWKA mit horizontaler Achse. Den KWKA mit vertikalen Rotorachsen wird aber ein höheres Integrationspotential in Gebäude zugesprochen, da sich die Silhouette der KWKA bei sich ändernder Windrichtung nicht ändert und er ohne Nachführung unempfindlicher gegenüber Luft-Verwirbelungen sein soll [Ishugah et al. 2014]. Zur Potentialabschätzung wird ein konkretes Modell eines Herstellers, QR5 Ocipenergy (Darrieus-Rotor) gewählt [Quietrevolution 2016]. Es wird angenommen, dass für die Untersuchungszone zwei dieser Kleinwindkraftanlagen installiert werden, da für ein Gesamtgebäude mit drei Laborgeschoßen die Grundfläche für hypothetische sechs Anlagen ausreicht. Die installierte Maximalleistung liegt damit bei 12 kW ab einer Windstärke von 15,5 m/s. Die Rotoren laufen

Tabelle 15-27:
Vergleich der Stromproduktion
durch auf dem Gebäude ins-
tallierte Kleinwindkraftanlagen
zwischen einem Modell mit
vertikaler Achse [Quietrevolution
2016] und einem Modell mit
horizontaler Achse [Braun 2017]

	WK-Erzeugung (QE)		Strombedarf ges. (Variante maxEff_CHE)	
	(kWh/a)	Anteil	(kWh/a)	Anteil Gesamtbedarf
WK vertikale Achse	197	100 %	82.680	0,2 %
WK horizontale Achse	1.933	100 %	82.680	2,3 %

Tabelle 15-28:
Übersicht Konsistenzmaßnahme
„WK“ mit den Untersuchungs-
modellen „maxEff“

	CHE				BIO			
	Q' PNE		Therm. Diskomfort		Q' PNE		Therm. Diskomfort	
	(kWh/m²a)		(h/a)	(% BZ)	(kWh/m²a)		(h/a)	(% BZ)
01 RG_real	559	100 %	905	29 %	513	100 %	1414	45 %
maxEff	262	47 %	0	0 %	228	44 %	0	0 %
+WK _{horizontale A.}	258	46 %	-	-	223	43 %	-	-
maxES	170	30 %	149	4,8 %	103	20 %	12	0,4 %
+WK _{horizontale A.}	163	29 %	-	-	96	19 %	-	-

ab einer Windgeschwindigkeit von 5,5 m/s an. Die Leistungskurve abhängig von der Windstärke wurde in der Simulation gemäß Herstellerangaben nachgebildet. Eine aerodynamische Strömungssimulation, die alle Interferenzen des Gebäudes abbildet, erfolgt nicht. Die Ergebnisse zeigen, dass trotz einer Anzahl von zwei Anlagen über den Simulationszeitraum (ein Kalenderjahr) nur knapp ein Ertrag von 200 kWh prognostiziert werden kann. Bei einem angenommenen Strompreis von 0,27 €/kWh würde die Ersparnis gerade einmal ca. 54 €/a betragen. Es ist daher anzunehmen, dass die untersuchte Variante mit den aktuellen Leistungsdaten aus ökonomischen Gründen wenig Umsetzungsaussichten hat. Daher wird noch die ertragreichere Variante mit zwei KWKA mit horizontalen Achsen untersucht (Abbildung 15-15). Es wird die gleiche Spitzenleistung (12 kW) mit gleicher mittlerer Nabenhöhe angenommen (Modell Antaris 5,5 kW) [Braun 2017]. Tabelle 15-27 zeigt einen Ertragsvergleich zwischen vertikalen und horizontalen Anlagenmodellen. Die horizontalen KWKA bringen einen wesentlich höheren Ertrag (Faktor 10). Das liegt an der geringeren Anlaufgeschwindigkeit und der niedrigeren Luftgeschwindigkeit für die Maximalleistung. Einen nennenswerten Anteil zur Versorgung der Laborzone weist aber auch sie nicht auf. Der Anteil für die Simulation mit der Variante „maxEff_CHE“ liegt bei ca. 2,3 % des gesamten Strombedarfs der Laborzone (Tabelle 15-28).

15.4.5 Abwärmenutzung (+AbW)

Die letzte Einzelmaßnahme der Konsistenz untersucht die Nutzbarmachung von Abwärme in Laborgebäuden. Als mögliche Quellen stünden warmes Abwasser (Labor- oder Spülwasser) und Abwärme von technischen Installationen (Druckluftherzeugung oder Serverracks) zur Verfügung. Um eine technische Installation zur Nutzung der Abwärme ökonomisch zu rechtfertigen, muss die Abwärmequelle einen zuverlässigen Ertrag bringen. In Spülküchen fällt zwar Spülwasser an, das ein Temperaturniveau von über 60° C aufweist. Das Spülwasser als Wärmequelle wäre jedoch für eine Wärmeversorgung zu unständig. Erstens fällt das Wasser ausschließlich während der Betriebszeiten an. Zweitens ist auch zu den Betriebszeiten der Betrieb der Spülmaschinen abhängig vom tatsächlichen Laborbetrieb und den damit verbundenen Anfall an verschmutzten Laborgegenständen. Und drittens sind die prognostizierten Energiemengen für reine Laborspülküchen auch bei optimaler Zusammenlegung aller Spülwasserstränge für nennenswerte Erträge zu gering (Experteninterviews). Anders kann es sich bei Speziallaboren (z.B. Tierhaltungen) oder größeren Sterilgutversorgungen ergeben. Hier wird für die Reinigung, Desinfektion oder Sterilisation mit größeren Wassermengen auf höheren Temperaturniveau gearbeitet [Keltsch 2015]. Speziallabore übersteigen den Umfang dieser Arbeit und wurden in der Untersuchung ausgeschlossen. Eine interessante Wärmequelle für Laborgebäude können Server darstellen. Nahezu alle Forschungsgebäude

	Servergehäuse	Serverrack	Serverraum (ca. 36 m ²)
Anzahl Komponenten	12 Einzelserver	6 Servergehäuse	6 Serverracks
Kühlwassertemperatur VLmin	40° C	40° C	40° C
Kühlwasser Durchflussmenge min.	6 L/min	36 L/min	216 L/min
BTU Output Config. Min.	341 btu/h / 100W	600 W	3.600 W
BTU Output Config. Max.	20.471 btu/h / 6.000 W	36.000 W	216.000 W
BTU Output (gewählt)	10.000 btu/h / 2.930 W	17.580 W	105.480 W

Tabelle 15-29: Aufstellung der Kühlleistung/ Heizlast eines beispielhaften Serverraums mit 36 m² Grundfläche und wassergekühlten Racks [Watts et al. 2017]

Kühlleistung Serverraum nach gewählter Konfiguration	105.480 W	(h/a)	Q (kWh)
Anteil Laborzone 12%	12.658 W		
anteilige Kühlleistung Betriebszeit (Annahme 50% Leistung)	6.329 W	2.750 h/a	17.405 kWh/a
anteilige Kühlleistung Nebenzeit (Annahme 25% Leistung)	3.165 W	6.010 h/a	19.022 kWh/a
Anteilige Kühlleistung der Laborzone gesamt			36.427 kWh/a

Tabelle 15-30: Berechnung der anteiligen Kühlleistung der Laborzone an der angenommenen Serverkonfiguration

benötigen Rechen- und Speicherleistung in Form von Servern. Werden diese im Gebäude zentral angeordnet, kann die Abwärme von Servern unter bestimmten Voraussetzungen nutzbar gemacht werden. Warum sind Server eine gute Wärmequelle? Durch Sicherungskopien und Spiegelungen zur Datensicherheit laufen Server mittlerweile auch außerhalb der Betriebszeiten unter einer gewissen Last und produzieren Abwärme. Es ist nach wie vor üblich, dass die Abwärme über die Raumluft bei angestrebten 23° C gekühlt werden. Die Raumluft wird anschließend über Kältemaschinen unter Einsatz von Energie konditioniert. Bei hohen maximalen Leistungsdichten in Serverracks (>10-15 kW) kann es erforderlich werden, den Server mit Flüssigkeiten als Medium zu kühlen, da somit höhere Wärmemengen bis 40 kW abgeführt werden können [Skurk 2010, 32]. Es ist möglich, die Vorlauftemperaturen des Kühlwassers nun soweit anzuheben, dass die gleichen Temperaturen der Rechenkerne erreicht werden wie bei der Luftkühlung. Das System Aquasar würde Vorlauftemperaturen bei Hochleistungsrechnern von bis zu 60° C ermöglichen, da die Rechenkerne bis maximal 85° C heiß werden dürfen [Zimmermann et al. 2012]. Für marktgängige Standardserver mit hohen Leistungsdichten wird ein wassergekühltes Server-System mit Vorlauftemperaturen von 40° C gewählt [Watts et al. 2017]. Mit diesen Systemtemperaturen ist es möglich, die Abwärme mittels Direkteinspeisung in den Wärmespeicher für die Gebäudeheizung nutzbar zu machen. Tabelle 15-29 stellt eine beispielhafte Bilanz für einen ca. 36 m² großen Serverraum mit o.g.

Kühlsystem auf. Da wassergekühlte Systeme höhere Leistungsdichten als luftgekühlte Systeme erlauben, wird nur die Hälfte der für luftgekühlte Systeme möglichen Anzahl an Serverracks angenommen. Das Potential einer Direkteinspeisung der Abwärme der Serveranlage wird mittels einer einfachen Hochrechnung abgeschätzt. Die Hochrechnung stellt das Potential der Serverabwärme dem Wärmeenergiebedarf der Laborzone gegenüber. Es erfolgt keine detaillierte Simulation eines thermodynamischen Systems, da ein Regelaufbau eines solchen Systems nicht besteht. Aus diesem Grund werden sehr konservative und vereinfachende Ansätze für die Rahmenbedingungen gewählt. Pumpenstrom, Leitungs- und Speicherwärmeverluste sind nicht berücksichtigt. Die Ergebnisse sind unter diesen vereinfachenden Rahmenbedingungen zu betrachten. Für die Auslastung der Server muss eine Lastannahme per Literaturrecherche getroffen werden [Spitaels 2005], die über eine Abfrage der Systemhersteller als plausibel bestätigt wurde [Watts et al. 2017]. Je höher die Leistungsdichten in den Serverracks ausfallen, umso höhere Leistungsschwankungen sind zu erwarten. Für Betriebsstunden wird eine konstante Last von 50 % angenommen, für Nebenzeiten eine Last von 25 %. Da ein angenommener zentraler Serverraum ein gesamtes Gebäude bedient, wird die Laborzone nur anteilig zur gesamten Laborfläche des Gebäudes mit Abwärme des Servers versorgt. Die untersuchte Laborzone macht ca. 12 % der Nutzfläche des Gesamtgebäudes aus, demnach werden nur 12 % der Abwärme kalkuliert. Die Gegenüberstellung von Heizwärmebedarf

Tabelle 15-31:
Reduktionspotential nicht erneuerbarer Primärenergie durch die Abwärmenutzung Serverraum für die Laborzone „eff_WaeKae_BIO“

Anteilige Kühlleistung der Serverzone gesamt		36.427 kWh/a	
Ansatz nutzbare Wärmeenergie 90%	32.784 kWh/a		
Substituierte Wärmeenergie der Wärmepumpe	32.784 kWh/a		
Substituierte elektrische Energie (COP 3,5)	9.367 kWh/a		
Substituierte nicht erneuerbare Primärenergie	16.860 kWh/a	493 m ²	34,2 kWh/m ² a

Tabelle 15-32:
Übersicht Konsistenzmaßnahme „AbW“ mit den Untersuchungsmodellen „maxEff“ und „maxES“

	CHE		Therm. Diskomfort		BIO		Therm. Diskomfort	
	Q' _{PNE} (kWh/m ² a)		(h/a)	(% BZ)	Q' _{PNE} (kWh/m ² a)		(h/a)	(% BZ)
01 RG_real	559	100 %	905	29 %	513	100 %	1414	45 %
maxEff	262	47 %	0	0 %	228	44 %	0	0 %
+AbW	228	41 %	-	-	194	38 %	-	-
maxES	170	30 %	149	4,8 %	103	20 %	12	0,4 %
+AbW	136	24 %	-	-	69	13 %	-	-

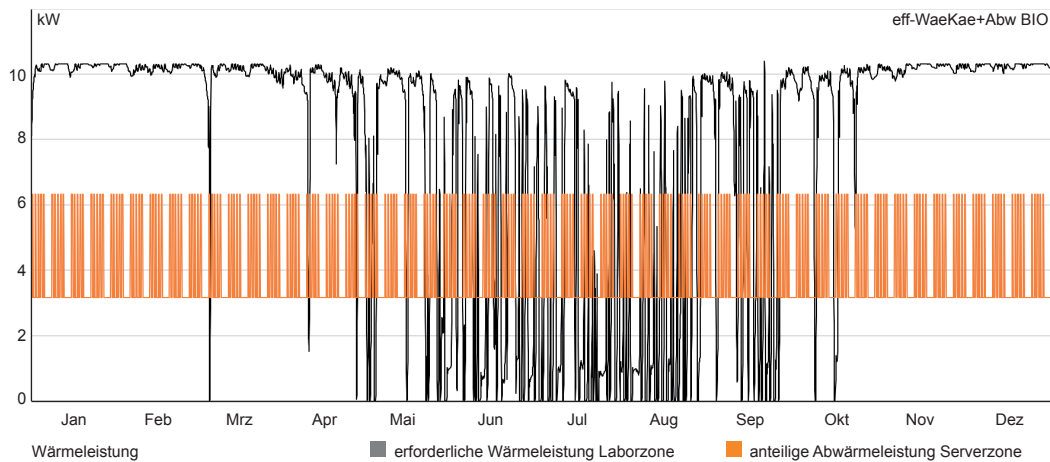


Abbildung 15-16: Gegenüberstellung von Wärmebedarf der Laborzone Modell „eff_WaeKae_BIO“ und der Abwärmeleistung einer anteiligen Servernutzung (+Abw) in (kW) im Jahresverlauf

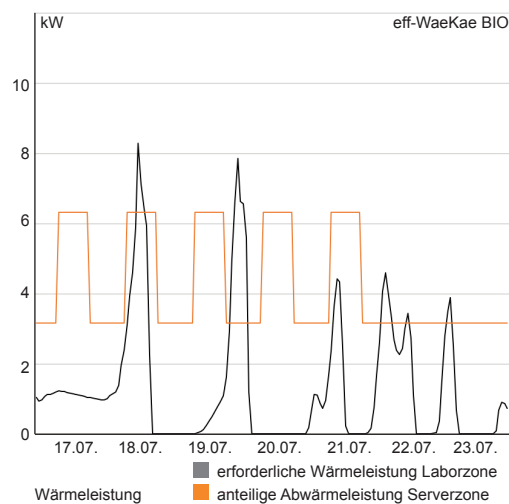
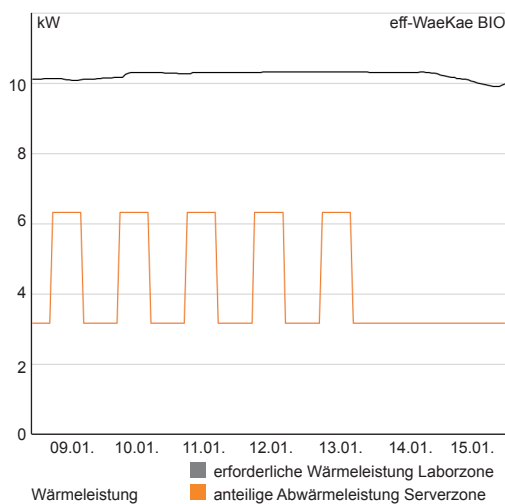


Abbildung 15-17: Gegenüberstellung von Wärmebedarf der Laborzone Modell „eff_WaeKae_BIO“ und der Abwärmeleistung einer anteiligen Servernutzung (+Abw) in (kW) einer typischen Winterwoche (links) und einer typischen Sommerwoche (rechts)

und der Abwärme im Jahresverlauf in Abbildung 15-16 zeigt, wann Abwärme unmittelbar als Heizwärme verwendet werden kann und wann eine Zwischenspeicherung im Wärmespeicher notwendig ist. Eine Wärmetauscher-Simulation zeigt, dass das Temperaturniveau der Abwärme unmittelbar als Vorlauftemperatur für die Wärmeanwendung im Heizsystem genutzt werden kann [Glasenhardt 2017, 52-57]. Abbildung 15-17 zeigt den hohen Bedarf einer typischen Woche in der Heizperiode und in der Nichtheizperiode. Die Abwärme der Server kann zum Großteil ohne Zwischenspeicherung genutzt werden. Lediglich in der Sommerzeit fallen Überschüsse an. Doch auch während dieser Zeit liegt Wärmebedarf vor, der über geeignete Kurzzeitspeicher komplett über die Abwärme der Server gedeckt werden könnte. Der Wärmebedarf in diesem Vergleich liegt dem Modell des biologischen Labors zugrunde. Die Abwärmeüberschüsse, die nicht direkt

genutzt werden können, liegen bei knapp unter 10 % der gesamten Abwärmeleistung. Für eine chemische Labornutzung wären die Überschüsse noch geringer, da ein höherer Wärmebedarf vorliegt. Für die Potentialabschätzung wird die überschüssige Energie mit einer Pauschale von 10 % abgezogen, da ein Detailnachweis der Nutzbarkeit dieser Energie mittels Heizspeicher nicht vorliegt. Die Abwärme des Servers substituiert die Wärmeerzeugung der Wärmepumpe mit einem COP von 3,5. Effektiv wird damit elektrische Endenergie eingespart. Tabelle 15-32 addiert das Potential aus Tabelle 15-31 auf die Modelle maxEff und MaxES für die Nutzung BIO und CHE. Die sichere Datenhaltung macht eine konstante Sicherung/ Spiegelung der Daten in einem zweiten Serverraum, der einem anderen Brandabschnitt angehört, notwendig. Diese Option wurde hier nicht addiert, da externe Lösungen dafür verwendet werden können.

15.4.6 Übersicht Konsistenzmaßnahmen

Die Untersuchung der erneuerbaren Energiequellen erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie soll in ihren Umfang alle Konsistenzmaßnahmen aufführen, die in einer gemäßigten Klimazone in Mitteleuropa unabhängig vom jeweiligen Standort in Frage kommen. Die speziellen Simulationen beruhen auf einem Klimadatensatz für das Umland im Norden von München (ASHRAE 108660). Die Nutzung der Erdwärme (bzw. Grundwasser), die als erneuerbare Energiequelle angesehen wird, ist innerhalb der Effizienzmaßnahmen im Modell „04 eff-WaeKae“ enthalten und hier nicht mehr gesondert aufgeführt.

Tabelle 15-33 zeigt die Übersicht aller untersuchten Konsistenzmaßnahmen. Alle Maßnahmen sind mit den Varianten „maxEff“ und „maxES“ mit beiden Labornutzungen kombiniert. Eine einfache Addition der Maßnahmen ist nicht möglich, da z.B. PV, ST und PVT auf die gleichen verfügbaren Dachflächen angewiesen sind und sich gegenseitig ausschließen. Auch die Kombination PV und WK wäre nur eingeschränkt möglich (sofern Sie wirtschaftlich zu vertreten wäre), da die KWKA Verschattungen erzeugen könnten, die für den PV-Ertrag kontraproduktiv sein können. Lediglich die Abwärmenutzung von Serverkühlungen ist mit allen anderen Maßnahmen kombinierbar.

Tabelle 15-33:
Übersicht der Ergebnisse der einzelnen Konsistenzmaßnahmen mit den Untersuchungsmodellen „maxEff“ und „maxES“

	CHE				BIO			
	Q' _{PNE} (kWh/m ² a)		Therm. Diskomfort (h/a) (% BZ)		Q' _{PNE} (kWh/m ² a)		Therm. Diskomfort (h/a) (% BZ)	
01 RG_real	559	100 %	905	29 %	513	100 %	1414	45 %
maxEff	262	47 %	0	0 %	228	44 %	0	0 %
+PV	191	34 %	-	-	156	30 %	-	-
+ST	252	45 %	-	-	218	42 %	-	-
+PVT	233	42 %	-	-	199	39 %	-	-
+WK	258	46 %	-	-	223	43 %	-	-
+AbW	228	41 %	-	-	194	38 %	-	-
maxES	170	30 %	149	4,8 %	103	20 %	12	0,4 %
+PV	95	17 %	-	-	29	6 %	-	-
+ST	159	28 %	-	-	94	18 %	-	-
+PVT	137	25 %	-	-	71	14 %	-	-
+WK	163	29 %	-	-	96	19 %	-	-
+AbW	136	24 %	-	-	69	13 %	-	-

16.1	Potentiale zur Bedarfsreduktion	182
16.2	Versorgung mit erneuerbaren Energien	184
16.3	Niedrigstenergie-Labore (nZE-Lab)	185
16.3.1	Grundsatz: ganzheitliche simultane Planung	185
16.3.2	Energiebasierter Gebäudeentwurf	185
16.3.3	Reduktion der Nutzenergie	186
16.3.4	Reduktion der Endenergie	188
16.3.5	Reduktion der nicht erneuerbaren Primärenergie	190
16.3.6	Ausblick Niedrigstenergielabore	191

Fazit Kapitel 16:

Das Potential zur Reduktion des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfes ist bei Laborgebäuden erheblich. Die mögliche Bedarfsreduktion beträgt für das Modell des chemischen Labors zwischen 53 % und 70 % gegenüber dem realitätsnahen Basismodell. Das Modell des biologischen Labors liegt mit 56-80 % Reduktion sogar noch darüber. Bilanziert man die selbsterzeugte erneuerbare Energie in die Bedarfsreduktion mit ein, verbessert sich die maximal mögliche Reduktion auf 72 bis 88 % für die chemische Nutzung, auf 76 bis theoretische 100 % für die biologische Nutzung. Alle Maßnahmen sind in Katalogen einzeln bewertet. Das ökologische und ökonomische Einsparpotential ist groß. Ein angenommener Niedrigstenergiestandard scheint unter guten Voraussetzungen realistisch erreichbar zu sein.

Ziel von Teil drei der Arbeit ist es, Potentiale zu analysieren, die einen möglichst klimafreundlichen Betrieb von Laborgebäuden ermöglichen. Die Beschränkung auf die Laborzone stellt eine Nutzung mit hohem Energieverbrauch in den Mittelpunkt der Analyse. Als Kriterium wird der nicht erneuerbare Anteil des Primärenergiebedarfs der Laborzone verwendet, um verschiedene Energieträger miteinander vergleichbar zu machen. Das Kriterium der thermischen Behaglichkeit in der Auswertezone wird als Nebenanforderung untersucht. Die Erfüllung der Vorgaben der DIN EN 15251 ist Voraussetzung für die Anwendbarkeit von Maßnahmen. Der klimaneutrale Betrieb von Laborzonen wäre ökologisch und ökonomisch wünschenswert. Wie weit einzelne Maßnahmen zu diesem Ziel führen, wurde in Kapitel 15 anhand einer generischen Laborzone untersucht. Die Auswahl der Maßnahmen basiert auf dem Stand der Technik, der mittels Experteninterviews und Literaturrecherche ermittelt wurde (Kapitel 13).

16.1 Potentiale zur Bedarfsreduktion

Effizienz- und Suffizienz-Maßnahmen haben die Bedarfsreduktion zum Ziel. Die Effizienzmaßnahmen in der Analyse versuchen, die gleiche Leistung (Temperatur, Luftwechsel, Beleuchtungsstärken usw.) mit weniger Ressourceneinsatz zu erbringen. Sie reduzieren den Primärenergiebedarf. In Summe kann sowohl für die Chemie- als auch für die Biologienutzung eine Reduktion des Primärenergiebedarfs für die Laborzone auf unter 50 % im Vergleich zu einer angepassten Referenzausführung nach EnEV 2013 erreicht werden (Abbildung 16-01). Damit hätte die Kombination aller Effizienzmaßnahmen für das Kriterium Q'_{PNE} bereits das für das Jahr 2019 vorgesehene Anforderungsniveau „Niedrigstenergiegebäude für Nichtwohngebäude der öffentlichen Hand“ erreicht [GEG 2017, §21]. Es ist aber möglich, durch weitere Maßnahmen den Bedarf weiter zu reduzieren.

Die Idee hinter der Suffizienz im Bauwesen ist die Frage nach dem richtigen Bedarf. Obgleich sie am Anfang jeder Projektentwicklung steht und für den Energieverbrauch der Gebäude wichtig ist, wird die Frage nach dem notwendigen Flächenbedarf in dieser Arbeit ausgeklammert. Analytische Labore können den

Flächenbedarf eventuell über Leistungszahlen von sich wiederholenden Arbeitsabläufen begründen. Innerhalb der Forschung und Entwicklung fehlen eindeutige Leistungszahlen und jeder genannte Flächenbedarf ist per se diskutabel. Auf die Frage, wie denn ein zukünftiger Labornutzer seinen Bedarf sieht, antwortet ein anerkannter Laborbauexperte: „Der Bedarf des Nutzers liegt immer irgendwo zwischen dem notwendigen Bedarf und Weihnachten.“ (Experteninterviews) Die Diskussion um den richtigen Flächenbedarf ist daher schwierig, übersteigt den Umfang dieser Arbeit und wird hier nicht geführt. Vielmehr beschäftigt sich die Suffizienz in der Analyse mit dem Thema des erforderlichen Luftwechsels. Er ist eine wichtige Komponente der Laborsicherheit, die in der Priorität über der Energieeinsparung steht. Gleichwohl ist es wichtig zu wissen, welches Potential in solchen Maßnahmen steckt. Basierend auf der Variante „maxEff“ können den Simulationen zufolge bis zu zusätzlichen 24 % (Biologielabor) an Q'_{PNE} eingespart werden (Abbildung 16-01). Das Potential der einzelnen Maßnahmen ist stark von den Nutzungen und damit von den Ausstattungen der Labore abhängig. Eine generelle Aussage wird somit schwierig. Sie zeigt aber, dass es sich lohnen kann, über derartigen Maßnahmen nachzudenken und diese aktiv in die Planungsüberlegungen mit einzubeziehen. Es ist wichtig darauf hinzuweisen, dass man sich mit diesen Überlegungen keine Chancen für die zukünftige Nutzbarkeit des Gebäudes verbaut. Gerade bei Forschungsgebäuden mit mittelfristig variablen Labornutzungen sollte die technische Infrastruktur immer auf Nutzungsvariabilität ausgelegt werden. D. h., dass sichergestellt werden muss, dass alle dauerhaften Bauteile (Platzvorhaltungen für Technikzentralen, Schachtquerschnitte, usw.) und gegebenenfalls auch die Gebäudetechnik (RLT-Anlagen, MSR, Volumenstromregler, usw.) alle sinnvoll erscheinenden Nutzungen im Labor möglich machen sollten. Somit lässt der Laborbetreiber zu, dass sein Labor bis auf weiteres (temporär) – unter Erfüllung des notwendigen Sicherheitsniveaus – mit geringerem Energiebedarf betrieben werden kann. Diese Festlegung ist reversibel. Diese Feststellung ist wichtig, um die Akzeptanz derartiger Maßnahmen beim Bauherren und Nutzer des Gebäudes zu erhöhen.

Das Potential für die Kombination aus allen Effizienz- und Suffizienz-Maßnahmen in der Variante „maxES“

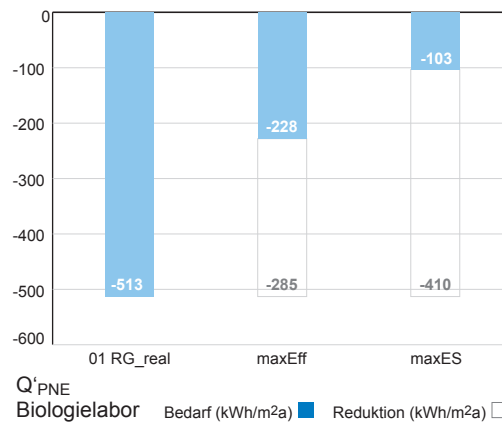
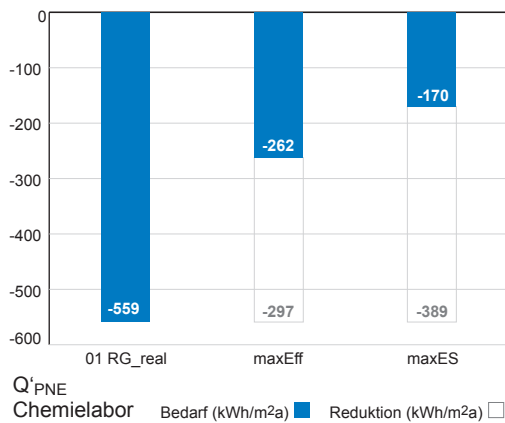
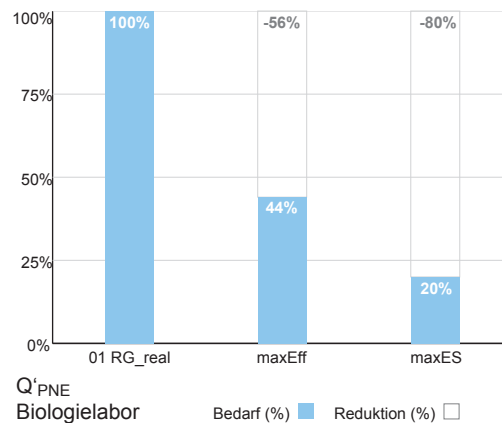
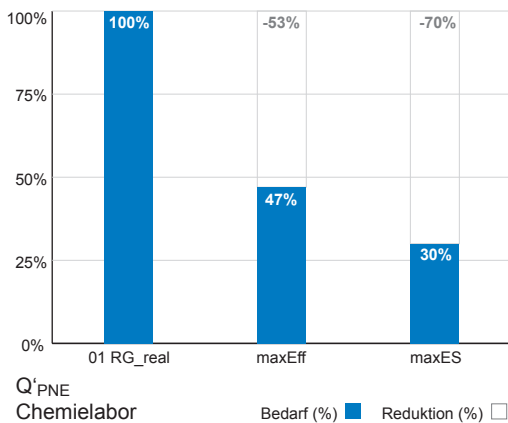


Abbildung 16-01: Energiebedarfsbilanz (Q'_{PNE}) der Varianten „RG_real“, „maxEff“ und „maxES“ absolut und prozentual zum Referenzgebäude für die Nutzungen Chemie (links) und Biologie (rechts)



liegt bei 20 bis 30 % des vergleichbaren Referenzmodells der EnEV 2013. Suffizienz, sofern sie möglich ist, trägt einen wesentlichen Teil zu bei. Sie hat das Potential, den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf um 17 bis 24 % zu den effizienten Varianten „maxEff“ zusätzlich zu senken (Abbildung 16-01).

In Summe zeigt sich eine erhebliche potentielle Reduktion des Q'_{PNE} bei beiden Nutzungen Chemie und Biologie. Für die verbleibenden absoluten Bedarfe kann aber nicht von nahezu Null gesprochen werden. Für die verbleibenden prozentualen Bedarfe scheint es aber dennoch so zu sein, dass ein unscharf formuliertes Reduktionsziel der EPBD 2010, zumindest unter Einbeziehung der Suffizienz-Maßnahmen als annähernd erreicht bezeichnet werden könnte.

Vergleich mit dem EnEV Referenzgebäude

Die Standardberechnung nach DIN V 18599 für die untersuchte Laborzone ergibt einen geringeren Bezugswert für Q'_{PNE} des Referenzgebäudes „00 RG_EnEV“ von 446,6 kWh/m²a (Kapitel 14.5). Vergleicht man die o. g.

Ergebnisse mit diesem Bezugswert, ergeben sich für die Varianten „maxEff“ anteilige Bedarfe von 59 % für die Chemienutzung und 51 % für die Biologienutzung. Mit den untersuchten Suffizienzmaßnahmen (Varianten „maxES“) reduzieren sich die Bedarfe auf 38 % für die Chemienutzung und 23 % für die Biologienutzung. Das GEG 2017 hatte für den Niedrigstenergiestandard ab dem Jahr 2021 einen Grenzwert von 55 % des RG angestrebt. Die Ergebnisse in Abbildung 16-01 zeigen, dass dieser erreicht werden kann, wenn man auch für die Referenzwertberechnung ein angepasstes Zonenmodell für die betreffenden Gebäudebereiche verwendet. Vergleicht man das standardisierte RG mit den angepassten tatsächlichen Zonen, fällt das Ergebnis schlechter aus. Das Modell „maxEff CHE“ würde einen Grenzwert von 55 % verfehlen.

Eine Abweichung von den Standardzonen der DIN V 18599-10 ist nach EnEV in begründeten Einzelfällen zulässig [EnEV 2013, A2 2.2.2b]. In Anbetracht der aufgezeigten Ergebnisse erscheint das für Gebäude mit ausgedehnten Laborzonen sinnvoll zu sein.

16.2 Versorgung mit erneuerbaren Energien

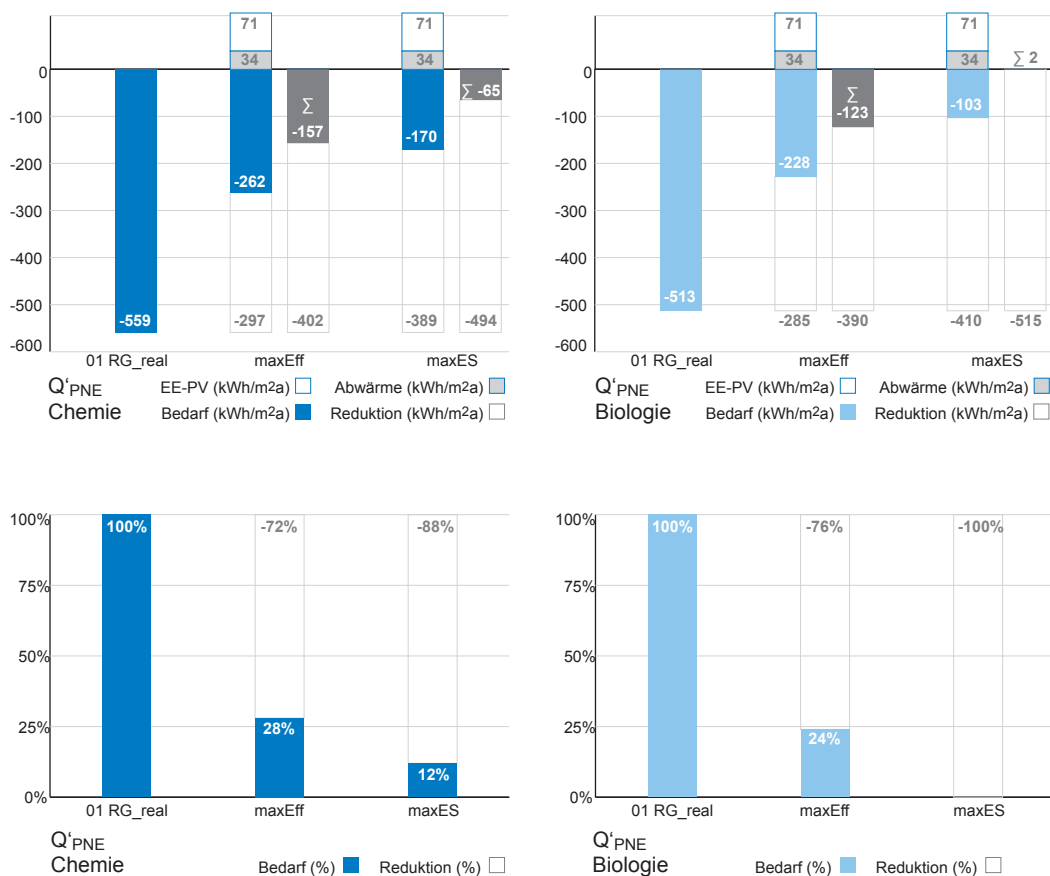
Die Kombination aus PV und einer möglichen Abwärmenutzung von Servern könnte - in Kombination mit der Variante „maxES“ - die nicht erneuerbare Primärenergiebilanz der Untersuchungszone auf absolute Werte von -65 kWh/m²a (CHE) bis +2 kWh/m²a (BIO) verbessern (Abbildung 16-02).

Die Zieldefinition der EU-Direktive fordert eine Versorgung zu einem wesentlichen Teil aus Quellen von erneuerbaren Energien. Abbildung 16-02 zeigt die Versorgungsanteile der Nutzung der erneuerbaren Energiequellen „PV“ und „AbW“ relativ zu den Bedarfen der Modelle „RGreal“, „maxEff“ und „maxES“. Es zeigt sich deutlich, dass die feste Größe der Energiequellen mit sinkenden Bedarfen einen immer höheren Anteil bekommt. Würde man den wesentlichen Teil als einen Anteil über 50% definieren, so würden die Kombinationen „maxEK“ in beiden Nutzungen diese Anforderung

knapp verfehlen, die Kombinationen „maxESK“ die Anforderungen in beiden Nutzungen aber erfüllen. Das ist ein weiteres Indiz für die Notwendigkeit, in Zukunft das Thema Suffizienz verstärkt in die Diskussionen um klimaneutrale Gebäude aufzunehmen. Für die Kombination „maxESK“ in der Nutzung Biologie könnte nach der Bilanzierung sogar ein annähernd klimaneutraler Betrieb erreicht werden.

Ob dieses theoretische Ergebnis aktuell erreicht werden kann, müsste ein Feldversuch zeigen. Albert Einstein wird folgendes Zitat zugeschrieben: „In theory, theory and practice are the same. In practice, they are not.“ Ob es in Realität möglich sein wird, alleine für die Betriebsenergie des Gebäudes eine Netto-Nullbilanz bezogen auf Q'_{PNE} zu erreichen, kann durch Simulationen nicht abschließend beantwortet werden. Sie sind lediglich ein Indiz, dass es möglich sein könnte. Es kann aber begründet angenommen werden, dass es sich ökologisch und ökonomisch lohnen kann, ein Niedrigenergie-Laborgebäude anzustreben.

Abbildung 16-02: Energiebedarfsbilanz (Q'_{PNE}) der Varianten „RG_real“, „maxEK“ (maximale Effizienz und Konsistenz) und „maxESK“ (maximale Effizienz, Suffizienz und Konsistenz) absolut und prozentual zum Referenzgebäude für die Nutzungen Chemie (links) und Biologie (rechts)



16.3 Niedrigstenergie-Labore (nZE-Lab)

Welche Empfehlungen kann man auf Basis der vorgelegten Ergebnisse für zukünftige klimafreundliche Labore geben? Ein Leitfaden oder eine Checkliste, um ein nZE-Lab zukünftig zu planen, könnte die folgenden Punkte 16.4.1 bis 16.4.5 zum Inhalt haben.

16.3.1 Grundsatz: ganzheitliche simultane Planung

Die ganzheitliche simultane Planung von Architektur, Bauphysik und Gebäudetechnik (Mensch-Gebäude-Technik) ist die Grundlage jeder nachhaltigen Planung. Wenn im Planungsprozess jeder Akteur seine Interessen mit dem notwendigen Verständnis für die Bedürfnisse anderer Akteure einbringt und unter Beachtung der Gesamtziele plant, ist ein Optimum an Zielerreichung möglich. [Kuchenbecker 2008, 42–59] Im Grundsatz gilt dabei: Suffizienz vor Effizienz vor Konsistenz. Die Vermeidung von erforderlicher Nutzenergie zur Konditionierung der Gebäudezonen ist die effektivste Art, Energie einzusparen. Dazu gehören Suffizienz- und passive Effizienzmaßnahmen. Im zweiten Schritt muss die erforderliche Nutzenergie mit möglichst wenig Endenergie bereitgestellt werden. Dazu sind Effizienzmaßnahmen in der Gebäudetechnik erforderlich. Teil dieses Schrittes kann bereits sein, Energiequellen in Betracht zu ziehen, die einen möglichst großen Anteil an erneuerbarer Energie nutzen. Zuletzt muss versucht werden, die erforderliche Endenergie weitestgehend durch erneuerbare Energien zu decken. Dabei haben erneuerbare Energien Vorrang, die unmittelbar am Gebäude oder auf dem Grundstück erzeugt werden können (on-site; z.B. PV, ST, Erdwärme). Nachrangig können erneuerbare Energieträger einbezogen werden, die auf das Grundstück gebracht werden und dort in die erforderliche Energieform umgewandelt werden (off-site; z.B. Hackschnitzel, Biogas). [Torcellini et al. 2006b] Auf Basis der untersuchten Einzelmaßnahmen und Kombinationen aus Kapitel 15 können Potentiale, Hemmnisse und Empfehlungen wie folgt aussehen:

16.3.2 Energiebasierter Gebäudeentwurf

In den meisten Punkten unterscheidet sich eine energieoptimierte Planung von Laborgebäuden nicht von anderen Bautypologien. Dennoch wird im Folgenden auf ein paar Punkte explizit eingegangen, da ihnen in hochtechnisierten Bauten eine große Bedeutung zukommt.

Grundlage jeder ökonomischen und ökologischen Planung ist eine klare Struktur des Gebäudes. Die Größe von Nutzungszonen leiten sich idealer Weise von Notwendigkeiten wie Brandabschnitten, Rettungsweglängen und Arbeitssicherheit ab. Die Nutzungen werden grundsätzlich nach Installationsdichte und Sicherheitsstandards zusammengefasst. Wenn Betriebsabläufe dem entgegenstehen, muss ein ausgewogener Kompromiss das richtige Maß finden. Eine klare Zonierung führt zu kompakten Laborzonen und vermeidet eine Übererfüllung in Form von unnötigen Laborflächen. Jeder Quadratmeter Labor, der nicht errichtet werden muss, spart Geld und Energie in Bau und Betrieb. Die Anordnung von Auswertepätzen innerhalb oder außerhalb der Labore gehört auch zu dieser Grundsatzentscheidung. Wenn sie integriert werden, sollte die Möglichkeit der Überströmung von Auswertepätzen bewusst diskutiert werden. Die Zonierung beinhaltet auch eine richtige Zuordnung von Versorgungsschächten und Lüftungszentralen. Kurze Leitungslängen zwischen Lüftungszentralen und Laboren sparen Antriebsenergie durch geringere Druckverluste. Ringsysteme sind im Vergleich zu Stichleitungssystemen weniger anfällig für Druckschwankungen durch Volumenstromregler und sollten in der Grundrissplanung bevorzugt überprüft werden. Für die Erzeugung erneuerbarer Energien kommt der Dachplanung große Bedeutung zu. Zerklüftete Dächer mit zurückgesetzten Technikzentralen, offene Leitungsführungen und Rückkühlwerke erschweren die Nutzung von Strahlungsenergie. Planungsziel sind großflächige und unverschattete Dachflächen zur Installation von PV-Modulen. Ist ein Serverraum geplant und wird die Abwärmenutzung in Betracht gezogen, sollte der Serverraum in der Nähe der Wärmezentrale untergebracht werden. Der außenliegende Sonnenschutz sollte ein Selbstverständnis in der Gebäudeplanung sein. Er muss bereits im Vorentwurf der Fassadenplanung integriert werden. Er muss dauerhaft effektiv und damit auch windsicher sein.

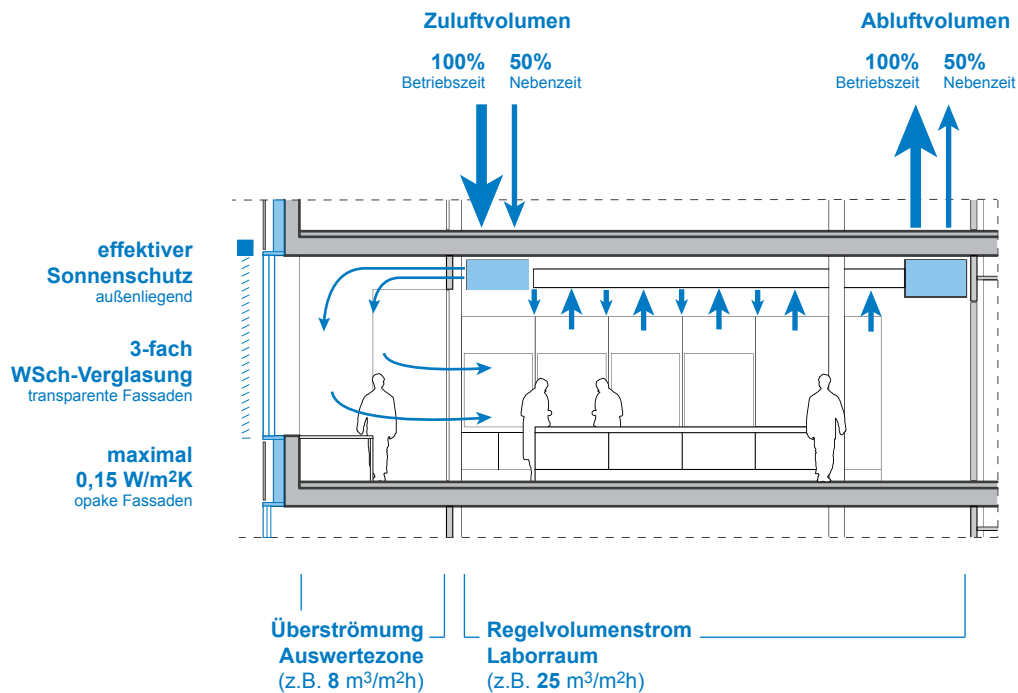


Abbildung 16-03:
Schaubild der Maßnahmen zur
Reduktion der Nutzenergie

16.3.3 Reduktion der Nutzenergie

Abbildung 16-03 und Tabelle 16-01 listet die Maßnahmen auf, welche die Nutzenergie reduzieren. Dazu gehören die Suffizienzmaßnahmen (Variationen der Lüftung) und die effiziente Fassade.

Die Diskussion über Reduktion der Luftwechselraten ist schwierig. Die Verantwortung über den sicheren Laborbetrieb wird den Laborbetreibern auferlegt. Auf Grundlage der Gefährdungsbeurteilung der Betreiber könnten die Luftwechselraten abgesenkt werden. Doch es mangelt an allgemein anerkannten Richtwerten, für welches Gefährdungspotential welche Art der Lüftung ausreichend ist. Also ist es verständlich, dass man sich auf das gesellschaftlich anerkannte Sicherheitsniveau beruft. Hier liegt ein großer Nachholbedarf in der Forschung, ob der Außenvolumenstrom von $25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ für alle Labore richtig ist (vgl. Kapitel 13).

Es besteht immer noch die Meinung, dass die Reduktion der Wärmetransmissionsverluste, also die Dämmung der Fassade, bei Laborgebäuden über das Minimum nach EnEV nicht erforderlich wäre. Die Labore seien tendenziell eher zu warm, müssten enorm gekühlt werden und die Wärmeverluste der Fassade

kämen hier eher gelegen. Die Simulationen bestätigen, dass durch die bessere Dämmung der Fassade vergleichsweise wenig Energie eingespart wird. Es wird dabei aber vergessen, dass die verbesserte thermische Entkopplung des Innenraums vom Außenklima zu einer besseren Regulierbarkeit des Innenklimas führt. Die bessere Isolation des Gebäudes hilft also, den thermischen Komfort einzuhalten. Das könnte sogar soweit führen, dass statische Heizsysteme in den Laboren entbehrlich werden könnten und die erforderliche Heizlast rein über die Zuluft eingebracht werden könnte, da auch Zugerscheinungen durch einen Kaltluftabfall an der Fassade ausgeschlossen werden könnten. Abbildung 16-03 zeigt exemplarisch die Heiz- und Kühlleistungen der technischen Systeme in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur. Auch bei Außentemperaturen unter -10°C wird keine Heizleistung der statischen Heizkörper benötigt. Lediglich für den Fall, dass der Luftwechsel stark zurückgefahren wird, könnte das Heizsystem wieder benötigt werden. Hier wäre aber dann eine kombinierte Heiz-Kühl-Decke ausreichend (vgl. Variante „maxES“).

Potential CHE (bis zu...)	Potential BIO (bis zu...)	Hemmnisse	Empfehlungen
Reduzierte Luftwechsel zu Nebenzeiten			
03 % - gering	16 % - hoch	Bedenken aufgrund der Arbeitssicherheit	Insbesondere in Biologischen Laboren sollte diese Option diskutiert werden.
Reduzierte Luftwechsel zu Betriebszeiten			
10 % - hoch	14 % - hoch	Bedenken aufgrund der Arbeitssicherheit	In beiden Nutzungen empfehlenswert, sofern die Gefährdungsbeurteilung das zulässt.
Überströmung der Auswertezone			
23 % - sehr hoch	24 % - sehr hoch	Bedenken aufgrund der Arbeitssicherheit; Abtrennung der Arbeitsabläufe; festgelegte Zonierung; alternative Laborlayouts	Sollte auf jeden Fall intensiv mit dem Nutzer und Laborbetreiber diskutiert werden.
Effiziente Fassade (Reduktion der Transmissionswärmeverluste, außenliegender Sonnenschutz)			
2 % - gering	2 % - gering	Kosten für hochwärmedämmende opake und transparente Bauteile; Gestaltung der Fassade bei dicken Wandaufbauten oder Sonnenschutzsystemen	Die untersuchten Maßnahmen ermöglichen stabilen Innenraumkomfort. Bei hohen Fensterflächenanteilen sollten mindestens der außenliegende Sonnenschutz und eine gute 3-fach-Verglasungen umgesetzt werden. Der Sonnenschutz muss ausreichend windstabil sein und sollte mindestens teilautomatisiert gesteuert werden.
Weitere Empfehlungen (ohne detaillierten Analysenachweis):			
Nutzbarmachung von thermisch aktiver Masse (freiliegender Massivdecken, z.T. Massivwände, Deckensegel mit PCM): den positiven Einfluss thermisch aktiver Bauteile auf die Energiebilanz von Laboren zeigt z. B. Abbildung 14-08;			

Tabelle 16-01:
Empfehlungen „Suffizienz für
Niedrigstenergie-Labore“

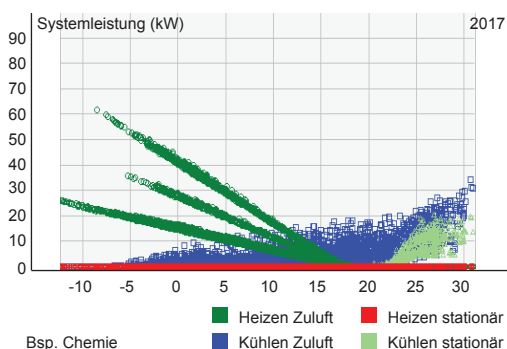
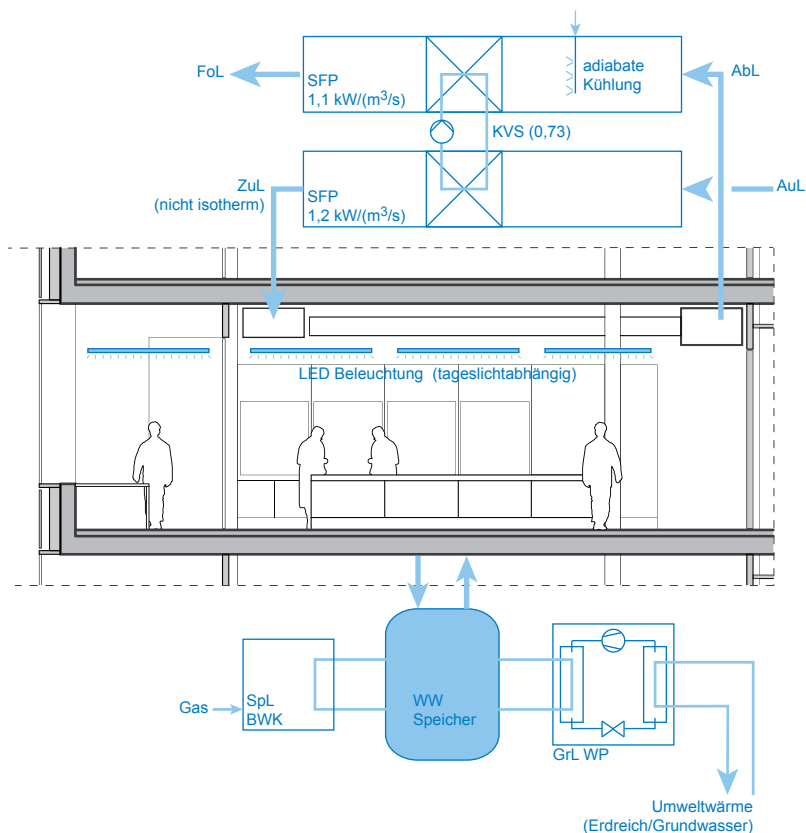


Abbildung 16-04:
Heiz- und Kälteleistung der
Systeme RLT, statische Heizung
und statische Kühlung in Abhän-
gigkeit der Außentemperatur am
Beispiel „RG_real CHE“.

Abbildung 16-05:
Schaubild der Maßnahmen zur
Reduktion der Endenergie



16.3.4 Reduktion der Endenergie

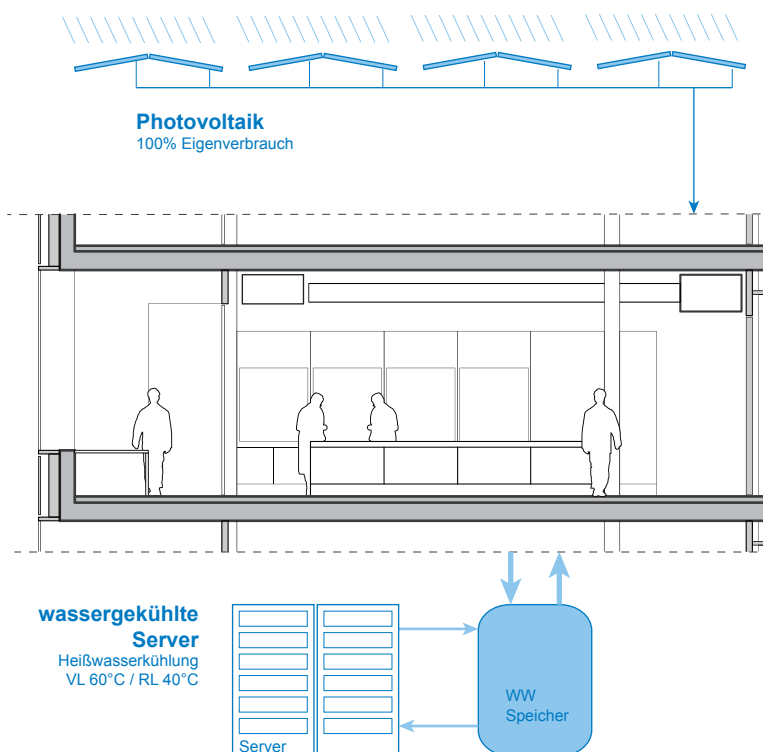
Seit Beginn des energiesparenden Bauens setzen wir auf Effizienzstrategien. Das Problem des hohen Energieverbrauchs wird mit Technik gelöst. Dabei haben wir große Erfolge erzielt, der Zugewinn an Verbesserung verlangsamt sich jedoch stetig. Es ist ein Punkt erreicht, an dem Effizienzgewinne immer aufwendiger werden. [Hauser 2010] Da wir leider nicht nur das Gleiche mit weniger Aufwand erreichen wollen, sondern gleichzeitig auch die Anforderungen steigen, können die Effizienzgewinne nicht in vollem Umfang zu effektiven Einsparungen führen [Hegger et al. 2016]. Dennoch brauchen wir die Effizienz, damit das hohe Anforderungsniveau unserer Gebäude nicht zu mehr Energieverbrauch führt. Abbildung 16-05 und Tabelle 16-02 zeigt Empfehlungen für effiziente Gebäudetechnik bei Laborzonen. Alle drei Maßnahmen sind ausnahmslos empfehlenswert für beide Arten der Labornutzung. Das größte Potential zeigt erwartungsgemäß die Raumlufttechnik. Überraschend groß ist das Potential hingegen bei der Beleuchtung. Ihr Anteil ist

wegen der tiefen Raumzonen und der erforderlichen Kühlleistung im Sommer höher als man es bei anderen Nutzungen gewohnt ist. Viele der Maßnahmen werden bereits erfolgreich umgesetzt. Was häufig fehlt, ist die gemeinsame Strategie und Zielverfolgung aller Fachplaner (siehe ganzheitliche simultane Planung). Zwei Beispiele aus der eigenen Planungserfahrung sollen das verdeutlichen: Wenn aktuelle LED-Leuchten mit stabförmigen LSL mit EVG verglichen werden, wird selten über die Auswirkungen der Wärmeabgabe auf die Wärme- und Kälteerzeuger diskutiert. Die Simulationen zeigen, dass das notwendig wäre. Die Dimensionierung der Lüftungszentralen und -schächte wird bei energieeffizienten Laborgebäuden weiter steigen. Schon jetzt nehmen sie einen erheblichen Anteil der Bruttogeschossfläche ein. Ein Lüftungssystem kann nur dann effizient sein, wenn es niedrige Luftgeschwindigkeiten in großen Kanälen mit geringen Druckverlusten führen kann. Damit werden die Bauwerkskosten steigen. Eine Kompensation über geringere Betriebskosten erscheint möglich (vgl. Abbildung 13-01).

Potential CHE (bis zu...)	Potential BIO (bis zu...)	Hemmnisse	Empfehlungen
Effiziente Beleuchtung			
12 % - hoch	14 % - hoch	ggf. höhere Investitionskosten	Die Maßnahme ist empfehlenswert, da sie sich 2-fach positiv darstellt: primär wird Strom für die Beleuchtung gespart, sekundär werden interne Wärmelasten reduziert, die in Kühlperioden nicht gekühlt werden müssen.
Effiziente Wärme- und Kälteerzeugung			
20 % - sehr hoch	23 % - sehr hoch	Ggf. höhere Investitionskosten durch doppelte Wärmeerzeuger (Grund- und Spitzenlastkessel); aber ggf. ist keine separate Kältemaschine erforderlich, da die Wärmepumpe auch kühlen kann. Komplexere Anlagentechnik.	Die Maßnahme ist empfehlenswert. Die Wahl der Energiequellen für Wärme- und Kälteerzeugung hängt vom Einzelfall ab, sollte aber unter Beachtung der Q_{PNE} erfolgen. Dabei darf die Wahl einer Energiequelle mit sehr guten fp nicht zu Lasten anderer Maßnahmen führen (z.B. Reduktion der Wärmedämmung).
Effiziente Raumluftechnik			
33 % - sehr hoch	34 % - sehr hoch	Ggf. höhere Investitionskosten; größere Platzvorhaltung für Zentralen und Leitungen.	Die Maßnahme mit dem höchsten Reduktionspotential sollte selbstverständlich für Neubauten sein und wird über die Ökodesign-RL 2018 eingeführt. Zudem ist es dringend erforderlich, bei tendenziell zu warmen Laboren darüber nachzudenken, die Zuluft nicht weiterhin isotherm, sondern mit einer Temperatur leicht darunter einzublasen.
Anmerkung:			
Die Rahmenbedingungen realer Laborgebäude können von der analysierten Laborkonfiguration abweichen. Technische Systeme sind daran anzupassen.			

Tabelle 16-02:
Empfehlungen „Effizienz für
Niedrigstenergie-Labore“

Abbildung 16-06:
Schaubild der Maßnahmen zur
Reduktion der Primärenergie



16.3.5 Reduktion der nicht erneuerbaren Primärenergie

Abbildung 16-06 und Tabelle 16-03 zeigt Empfehlungen für die Versorgung von Laborgebäuden mit verschiedenen - standortunabhängigen - erneuerbaren Energien (EE). Das Potential der (teilweisen) Versorgung von Labor- und Forschungsgebäuden mit EE wird aktuell noch nicht ausgeschöpft. Die Vorgaben des EE-WärmeG bzw. des kommenden GEG werden natürlich umgesetzt. Häufig wird aber die Nutzung erneuerbarer Energien durch eine Übererfüllung der EnEV zurückgestellt. Das höchste Potential bietet die Eigenstromerzeugung mittels PV. Der konstante Strombedarf von Laboren ermöglicht eine direkte Eigennutzung ohne Zwischenspeicher. Das macht die Variante auch ökonomisch attraktiv (Kapitel 15.4.1). Öffentliche Bauherren nutzen PV zur Energieerzeugung. Diese ist aber von den politischen Vorgaben abhängig (Kapitel 06). Um die hier untersuchten PV-Anteile umzusetzen, muss die PV-Anlage von Anfang an in die Planung mit einbezogen werden. Nur so können strahlungsoptimierte Dach-, Fassaden- oder Freiflächen entstehen. Die Nutzung erneuerbarer Energien mittels

Solarthermie, PVT-Kollektoren oder Klein-Windkraftanlagen fallen in Bezug auf das Kriterium Q'_{PNE} deutlich ab und sind nicht empfehlenswert. Die Kollektoren (ST und PVT) treten in Flächenkonkurrenz zur PV-Nutzung und sollten dieser den Vorrang lassen. Das kann sich ändern, wenn das Laborgebäude Anwendungen mit hohem Warmwasserbedarf auch im Sommer hätte. In der Regel liegt dieser nicht vor. Kleinwindkraftanlagen liefern im Vergleich zu PV zu geringe Stromerträge um sich wirtschaftlich zu amortisieren. Auch das könnte sich an Standorten mit höherem Windprofil ändern. Die Nutzung von Abwärme in Gebäuden wird in Einzelfällen bereits erfolgreich praktiziert. Heißabwasser bei Reinigungsanlagen, Abwärme bei Rechenzentren oder Wärme aus Sammelkanälen sind in der Praxis bereits erprobt. Kleinere Serveranlagen sind noch nicht im Fokus der Energiegewinnung, obwohl auch hier bereits marktgängige Systeme vorliegen (Kapitel 15.4.5). Viele Nutzer greifen immer noch auf die Technik der luftgekühlten Server zurück. Mit der Einführung von weiteren serienreifen wassergekühlten Systemen kann sich das ändern und eine weitere Option zum klimafreundlichen Betrieb von Gebäuden könnte entstehen.

Tabelle 16-03:
Empfehlungen „Konsistenz für
Niedrigstenergie-Labore“

Potential CHE (bis zu...)	Potential BIO (bis zu...)	Hemmnisse	Empfehlungen
Photovoltaik			
13 % - hoch	14 % - hoch	Berücksichtigung in der Dachplanung; zurückgesetzte Technikaufbauten; höhere Investitionskosten; Zugänglichkeit bei Dachrevisionen;	Die maximierte Installation von PV wird empfohlen, da sie durch die annähernd 100%-ige Eigennutzung des PV-Stroms auch ökonomisch sinnvoll ist. Sollte BIPV oder PV in Freiflächen möglich sein, müsste ggf. über Speicherlösungen nachgedacht werden.
Solarthermie			
2 % - gering	2 % - gering	Siehe PV, zusätzlich: Kein/geringer Warmwasserbedarf; geringe Erträge für Heizungsunterstützung; unwirtschaftlich;	Eine Umsetzung von Solarthermie (für die untersuchten Modelle) kann nicht empfohlen werden;
Photovoltaik und Solarthermie (PVT)			
5 % - gering	5 % - gering	Siehe PV, zusätzlich: aktuell nur offene Systeme marktreif; Wärmeertrag auf geringem Temperaturniveau zu Zeiten hoher Außentemperaturen; Saisonal-Speicher erforderlich;	Eine Umsetzung von PVT (für die untersuchten Modelle) kann nicht empfohlen werden;
Windkraft			
1 % - gering	1 % - gering	Kleinwindkraftanlagen ökonomisch nicht sinnvoll. Ertrag durch baulichen Kontext und Turbulenzen unsicher; Vorbehalte bezüglich der Genehmigungsfähigkeit;	Eine Umsetzung von Windkraftnutzung (für die untersuchten Modelle) kann nicht empfohlen werden;
Abwärme Serverrack			
6% - gering	7% - gering	System in der Breite noch nicht marktgängig; höhere Investitionskosten;	Sollten zentrale Serverräume umgesetzt werden, wird empfohlen, das System zu prüfen.
Anmerkung:			
Die Arbeit enthält keine vollständige Untersuchung aller erneuerbarer Energien. Die auf einem tatsächlichen Grundstück verfügbaren erneuerbaren Energiequellen bzw. Energiequellen mit geringem Primärenergiefaktor sind abhängig vom Einzelfall.			

16.3.6 Ausblick Niedrigstenergielabore

Die Theorie verspricht nur ein Potential, das im Idealfall erreicht werden könnte. Es wäre also wünschenswert, die vorgeschlagenen Maßnahmen an einem Projekt evaluieren zu können. Ein energieoptimierter Designprozess, der Mithilfe von dynamischer Simulation alle Disziplinen integriert, kann helfen Fehler zu identifizieren und zu vermeiden, die mangels ganzheitlicher simultaner Planung entstehen. In der Arbeit wurden Einzelmaßnahmen auf Basis des Standes der Wissenschaft (Literatur und Experteninterviews) simuliert.

Durch eine Verbesserung der Methode könnte beispielsweise durch robuste Optimierung versucht werden, die Kluft zwischen theoretischer Planung und realer Anwendung unter Einbeziehung von Unsicherheiten eines Nutzers zu minimieren [Maderspacher 2017]. Das Ergebnis werden effektiv klimafreundlichere Gebäude sein. Ob nun ein Niedrigstenergiestandard oder ein Netto-Nullenergiestandard tatsächlich erreicht werden kann, ist für den Kern der Fragestellung nicht entscheidend.

Teil IV
Abschluss

17.1	Zusammenfassung	196
17.1.1	Ergebnisse Teil II	196
17.1.2	Ergebnisse Teil III	196
17.1.3	Zusammenführung	196
17.2	Einschränkung der Ergebnisse	197
17.3	Forschungsempfehlungen	198
17.3.1	Differenzierte Anforderungen für Nichtwohngebäude	198
17.3.2	Leitfaden Laborgebäude	198
17.3.3	Effektive Klimaschutznachweise für Großverbraucher	198
17.3.4	Wirtschaftlichkeit von Klimaschutzmaßnahmen	198
17.4	Ausblick	199
17.5	Schlussbemerkungen	201

Fazit Kapitel 17

Der Niedrigstenergiestandard ist ein notwendiger Zwischenschritt auf dem Weg zu einem klimaneutralen Gebäudebestand. Er ist bereits mit marktreifen Maßnahmen für alle Bautypologien erreichbar, auch für kritische Typologien. Es gilt die ordnungsrechtlichen Voraussetzungen zu schaffen. Sie sollten nicht komplexer werden, sondern zwischen einem vereinfachten Regelverfahren für den Großteil der Neubauten und einem individualisierten Verfahren für energetische Sonderbauten differenzieren.

17.1 Zusammenfassung

17.1.1 Ergebnisse Teil II

Die Untersuchung der verschiedenen Typologien aus Teil II zeigt, dass eine konsequente Anwendung bereits marktüblicher Techniken auch für Nichtwohngebäude Potential für eine energetische Performance jenseits eines KfW Effizienzhaus 55 Standards bietet. Das gilt sowohl für die Betrachtung der Endenergiebilanz, als auch für die Betrachtung der nicht erneuerbaren Primärenergie. Der KfW Effizienzhaus 40 Standard ist für die große Mehrheit der Nichtwohngebäude ebenfalls mittels marktüblicher Techniken erreichbar. Lediglich Typologien mit sehr hohem Energiebedarf (z. B. Krankenhäuser oder Laborgebäude) erreichen diesen Standard nicht. Er wäre nach dieser Analyse nur unter Berücksichtigung von Einspeisegutschriften erreichbar. Zu diesem Zweck wird eine Betrachtung mittels Input-Output-Bilanzen vorgeschlagen (Abbildung 17-01), die ermöglicht, Energiebedarf (Input) durch Erzeugung erneuerbarer Energie (Output) auszugleichen. Die Energieerzeugung kann somit vollumfänglich angerechnet werden, um einen vorgeschlagenen Niedrigstenergiestandard zu erreichen. Entsprechend der Analyseergebnisse ist der Grenzwert für ein angenommenes nZEB-Gebäude (blaue Linie) innerhalb des Bereiches zwischen 40 % und 55 % Bedarf des jeweiligen Referenzgebäudes gestaffelt. Hochinstallierte Gebäude mit überdurchschnittlichen Höhenentwicklungen erreichen den selbstdefinierten Niedrigstenergiestandard in der Input-Output-Bilanz dennoch nicht. Sie weisen aber das höchste absolute Reduktionspotential für Betriebsenergie auf. Die Anzahl derartiger Gebäude ist, verglichen mit dem Liegenschaftsbestand des Freistaates Bayern, sehr gering (2,3 %). Bezogen auf den Gesamtbestand der Gebäude wird ihr Anteil noch wesentlich geringer sein, da der größte Bausektor, der Wohnungsbau, in dieser Aufstellung nicht betrachtet wurde.

17.1.2 Ergebnisse Teil III

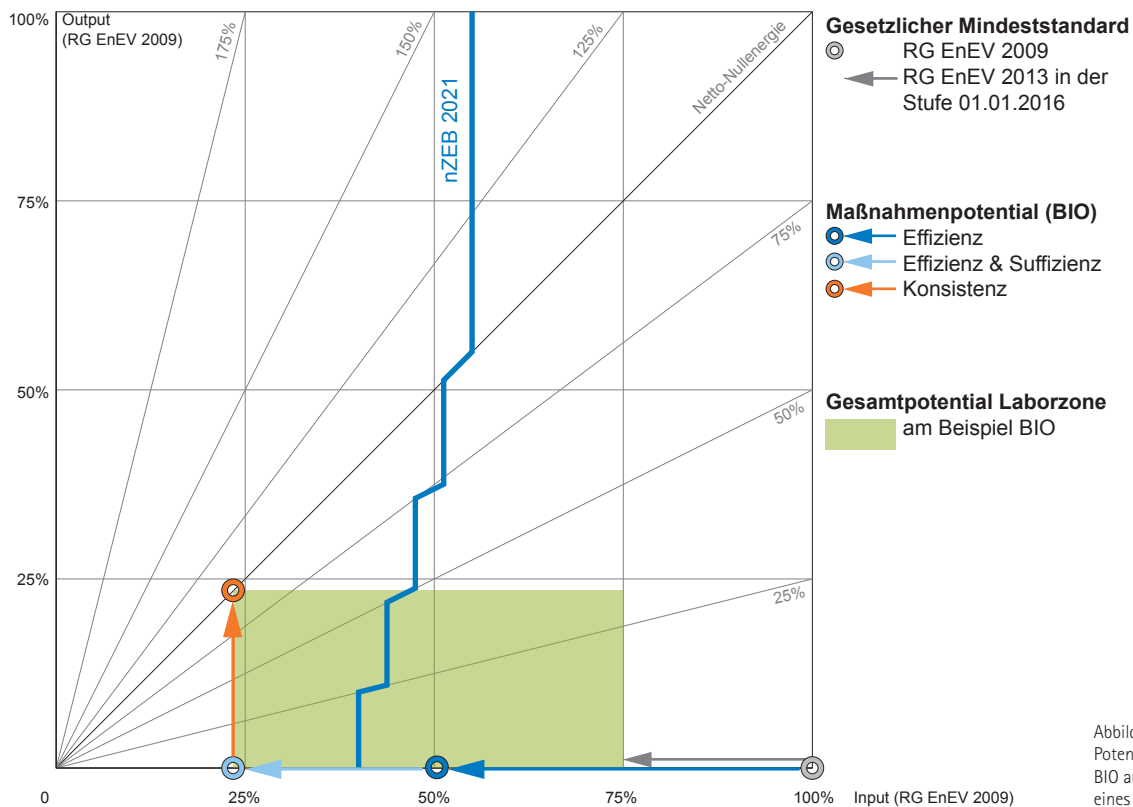
Teil III zeigt am Beispiel der Typologie Laborbau, dass auch als kritisch eingestufte Bautypologien aus Teil II weitere Potentiale aufweisen, um einen Niedrigstenergiestandard zu erreichen. Anhand thermischer Simulation werden die Potentiale von Suffizienz-, Effizienz- und Konsistenzmaßnahmen detailliert

untersucht. Eine sinnvolle Kombination aller Maßnahmen (Modell maxES) führt zu einer Annäherung von Laborgebäuden an ein Netto-Nullenergiegebäude. Hierzu müssen jedoch alle Rahmenbedingungen (z. B. Arbeitsschutz) im Einzelfall erfüllt sein. In der Realität wird das nicht immer der Fall sein. Eine detaillierte Analyse schafft erheblich größere Potentiale, den Energiebedarf eines Laborgebäudes zu senken, als eine Bilanzierung aus Teil II. Das kann sowohl ökologisch als auch ökonomisch sinnvoll sein.

Ein großer Vorteil der Untersuchungsmethode „Dynamische Simulation“ besteht im Mehrwert einer Einschätzung von Komfortkriterien, hier dem thermischen Komfort. In dem auf Energieeffizienz ausgerichteten Regelwerk der EnEV werden diese Belange zu wenig berücksichtigt.

17.1.3 Zusammenführung

Abbildung 17-01 zeigt Ergebnisse der drei Strategien Effizienz, Suffizienz und Konsistenz für die Laborzone aus Teil III im Zielbereich des nZEB 2021 Standard aus Teil II. Das Gesamtpotential aller Strategien wird als Fläche ausgewiesen. Die Potentialfläche zeigt, dass die in Teil II definierten Ziele eines Niedrigstenergiestandards durch einen detaillierten Nachweis sehr wohl zu erreichen sind. Das ist auch möglich, wenn die vorgeschlagenen Suffizienzmaßnahmen aus Gründen des Arbeitsschutzes nicht angewendet werden können. Somit ist es möglich, eine kritische Nutzung gemäß Teil II als Gebäude mit Niedrigstenergiestandard zu projektieren, wenn alle Rahmenbedingungen passen. Ob sich dieses Ergebnis auf weitere kritische Typologien (z.B. Krankenhäuser) gemäß Teil II übertragen lässt, kann nur vermutet werden. Es ist jedoch offensichtlich, dass die intensive Analyse der Spezifika einer Typologie erheblich größere Entwicklungen hin zu klimafreundlichen Nichtwohngebäuden erwarten lassen, als es die reine Nachweisführung nach EnEV aktuell notwendig macht. Die Ergebnisse der Teile II und III sind somit ein Plädoyer für einen mutigen Schritt in Richtung klimafreundlicher Neubauten bei der Definition des nächsten energetischen Mindeststandards, dem Niedrigstenergiegebäude.



17.2 Einschränkung der Ergebnisse

Welche allgemeingültigen Aussagen können aus eine Feldstudie mit realen Fallbeispielen abgeleitet werden?

Diese Frage ist schwierig zu beantworten und führt zu einer grundsätzlichen Diskussion von typologiebasierten Analysen (vgl. Kapitel 07.2). Die gebaute Realität im Bereich der Nichtwohngebäude – insbesondere jenseits klassischer Bürogebäude – lässt sich nicht durch allgemeingültige Modellgebäude abbilden. Damit ist der wissenschaftliche Wert von Analysen basierend auf Fallbeispielen genauso diskutabel wie von Analysen, die mit generischen Modellgebäuden arbeiten. Der große Vorteil realer Fallbeispiele ist die Gewissheit, nicht an der Realität vorbei zu untersuchen. Die Einordnung der Fallbeispiele in den gesamten Liegenschaftsbestand vermeidet eine Analyse von absoluten Sonderfällen.

Sind verschiedene Nichtwohngebäude überhaupt untereinander vergleichbar?

Der Untersuchung in Teil II liegt die Bilanzierung nach DIN V 18599 zugrunde. Verschiedene Nichtwohngebäude werden mit differenzierten Nutzungsprofilen für die jeweilige Zonierung zugeordnet. Ob das Anforderungsniveau an verschiedene Nichtwohnnutzungen vergleichbar ist, kann hier nicht bewertet werden. Es zeigt sich nach den Ergebnissen von Teil II, dass einige Nutzungen (z. B. Museumsgebäude) das Anforderungsniveau des RG EnEV leichter erreichen können als andere Nutzungen (z. B. Laborgebäude). Teil III zeigt das für die Laborgebäude: Ein auf reale Rahmenbedingungen angepasstes Referenzmodell weist einen wesentlich höheren Referenzwert auf, der durch ein reales Projekt leichter unterschritten werden kann.

17.3 Forschungsempfehlungen

17.3.1 Differenzierte Anforderungen für Nichtwohngebäude

Die Typologien der Nichtwohngebäude bieten eine große Vielzahl an weiteren Forschungsthemen. Jede Typologie aus Teil II, die nur oberflächlich mit der Methode der DIN V 18599 untersucht wurde, bietet Potential für eine Untersuchungstiefe analog den Laborgebäuden aus Teil III. Beispielsweise bietet die Typologie Krankenhäuser mit ihren sehr unterschiedlichen Nutzungsbereichen viele Ansatzpunkte, Synergien zwischen den Nutzungen zu analysieren. Wäschereien, Sterilgut-Versorgungs-Abteilungen und Apotheken könnten gegebenenfalls in die Energieversorgung der Krankenhäuser als Energiequelle effektiv eingebunden werden.

17.3.2 Leitfaden Laborgebäude

Ein nächster Schritt auf dieser Arbeit aufbauend wäre ein Leitfaden für Standards zukünftiger Labor- und Forschungsgebäude. Der Freistaat Bayern baut solche Projekte bayernweit. Je nach Bauerfahrung des Nutzers, der Planer und des Bauherrenvertreters entstehen sehr unterschiedliche Qualitäten im Planungsprozess und in der Bauausführung. Dabei werden viele Themen immer wieder neu diskutiert, die anhand eines gemeinsamen Standards auf breiter Basis vorzudefinieren wären. Ein Modell für zukunftsfähige Laborgebäude wäre als Planungsgrundlage für Nutzer, Bauherrenvertreter und Planer hilfreich. Ausgehend von diesem Modell könnte das jeweilige Einzelprojekt entwickelt und differenziert werden.

17.3.3 Effektive Klimaschutznachweise für Großverbraucher

Die Anforderungen an Neubauten liegen aktuell auf einem Niveau, das von allen Gebäudetypologien ohne große Probleme erreicht werden kann. Das Anforderungsniveau entspricht dem kleinsten gemeinsamen Nenner. Ein ernsthafter Versuch, die Klimasziele einzuhalten, muss eine Anhebung des energetischen Mindeststandards durch das Ordnungsrecht (EnEG, EnEV und EEWärmeG) beinhalten. Ein Beispiel dafür liefert Kapitel 11.3. Bei entsprechend hohen Anforderungen, die von wenigen Typologien schwer zu erfüllen sind, könnten für ebensolche Projekte individuelle

Klimaschutznachweise analog der Methodik aus Teil III verlangt werden. Es ist wahrscheinlich, dass das absolute Reduktionspotential dieser Gebäude auf diese Weise besser genutzt werden würde.

Eine gesonderte Betrachtung von technisch komplexen Typologien könnte weiter zum Anlass genommen werden, das Nachweisverfahren der EnEV erheblich zu vereinfachen: weg von scheinbar exakten Vorberechnungen des Energiebedarfs mit einer Einheit in Kilowattstunden, hin zu einfacheren Einzelanforderungen an Gebäudehülle, Anlagenaufwandszahl und Kompensationsmöglichkeiten über EE-Nutzung. Eine derartige Systematik wird im Nachweis des Brandschutzes bereits praktiziert: Für eine Vielzahl von Neubauten kann mittels einfacher Regelungen in den Landesbauordnungen das erforderliche Schutzniveau nachgewiesen werden. Sonderbauten werden individuell brandschutzrechtlich geplant und genehmigt. Übertragen auf einen zukünftigen Klimaschutznachweis könnte diese Systematik das Verfahren für die Vielzahl der Neubauten erleichtern. Für die geringe Anzahl an Neubauten mit hohen Energiebedarfen könnte das Klimaschutzpotential erheblich besser ausgereizt werden.

17.3.4 Wirtschaftlichkeit von Klimaschutzmaßnahmen

Kapitel 03.2 beschreibt das Scheitern des Gebäudeenergiegesetzes aufgrund von Bedenken bezüglich der Wirtschaftlichkeit. In Teil III der Arbeit werden zumindest zwei Punkte aufgezeigt, wo das nicht der Fall sein kann:

Wie in Kapitel 15.4.1 zu sehen ist, werden mindestens 72 % des selbst erzeugten PV-Stroms alleine durch den Gebäudebetrieb direkt in der untersuchten Laborzone verbraucht. Bei Berücksichtigung des Stromverbrauchs der Nutzersausrüstung wird 100 % des PV-Stroms direkt selbst verbraucht. Die Gestehungskosten für selbstproduzierten PV-Strom betragen aktuell etwa die Hälfte der Erwerbskosten für Strom aus dem Netz [Fraunhofer 2017]. Der direkte Eigenverbrauch ohne Zwischenspeicherung ist daher hoch rentabel, also ökonomisch und ökologisch sinnvoll.

Im modifizierten Referenzmodell „RG_real_CHE“ aus Kapitel 14.6, also dem der Realität angenäherten Modell, würden pro Quadratmeter Laborfläche jährliche Betriebsenergiekosten von rund 100 €/m² nach

aktuellen Marktpreisen verursacht. Die gesamte Laborzone (493 m²) würde demnach 49.300 €/a auslösen. Die Variante der kombinierten Effizienzmaßnahmen „maxEff“ (Kapitel 15.3.1) kommt auf rund 18.000 €/a, die Variante „maxES“ (Kapitel 15.3.2) mit zusätzlichen Suffizienzmaßnahmen auf rund 12.000 €/a. Es sind also pro Quadratmeter grob 75 €/a einsparbar; bezogen auf das gesamte Laborgebäude machen das ca. 222.000 €/a aus. Resultierend aus solchen Ergebnissen könnten Mehrkosten für noch klimafreundlichere Laborgebäude leichter bezüglich Wirtschaftlichkeit geprüft werden. Ähnliche Kennzahlen könnten für weitere Gebäude erarbeitet werden und in Klimaschutzleitfäden einfließen.

17.4 Ausblick

Der Klimaschutzplan der Bundesregierung, der Ende 2016 für den Zeitraum bis 2050 herausgegeben wurde, bekennt sich zu den Klimaschutzzielen von Paris im Jahr 2015. Deutschland will bis zur Mitte des Jahrhunderts das Leitbild einer weitgehenden Treibhausgasneutralität erreichen. [BMUB 2016, 6] Der Plan für die einzelnen Sektoren der Gesellschaft beschreibt den Weg dorthin. Der Klimaschutzplan lag zu Beginn dieser Arbeit noch nicht vor, dessen Ziel konnte in den Forschungsfragen keine Berücksichtigung finden. Dies wird im Folgenden diskutiert:

Erklärtes Ziel der Bundesregierung ist es, bis 2050 einen klimaneutralen Gebäudebestand zu realisieren. Um das zu erreichen, soll der Primärenergiebedarf der Gebäude durch Effizienzmaßnahmen und durch Konsistenzmaßnahmen um 80 % im Vergleich zum Stand von 2008 sinken [BMUB 2016, 43-44]. Für den gesamten Bestand an Nichtwohngebäuden im Jahr 2050 gibt die Energieeffizienzstrategie Gebäude (ESG) den Richtwert von 52 kWh/m²a Primärenergiebedarf vor. Die ESG weist darauf hin, dass Nichtwohngebäude aufgrund ihrer heterogenen Ausbildung differenziert zu betrachten sind. Für Neubauten ist der Niedrigstenergiestandard über das Jahr 2021 hinaus weiterzuentwickeln. Ein Vorschlag dazu findet sich in Kapitel 11.3. Das Jahr 2030 wird ein wichtiger Meilenstein für Neubauten sein. Gebäudetechnische Systeme und energierelevante Außenbauteile (z.B. Fassaden) haben häufig eine mittlere Lebensdauer von 20 Jahren. Eine Modernisierung von Neubauten ab dem Jahr 2030 bis

2050 ist daher unwahrscheinlich. Das Jahr 2030 stellt daher für Neubauten den Startpunkt dar, ab dem ein nahezu klimaneutraler Betrieb ermöglichen werden sollte. [BMUB 2016, 47]

Abbildung 11-04 zeigt in der Übersicht den Primärenergiebedarf der analysierten Case-Studies in Bezug auf das Anforderungsniveau 2009. Es kann stellvertretend für 2008 herangezogen werden, da die Anforderungen unverändert sind. Die Bedarfsreduktion erreicht in der Analyse einen Bereich von 53 % bis 68 %. Bei Berücksichtigung von Einspeisegutschriften in die Bilanz werden Reduktionen zwischen 56 % und 100 % (Netto-Plusenergiestandard) erreicht. Sechs von zehn Fallbeispielen liegen über 80 % Reduktion. Die verbleibenden vier Fallbeispiele entsprechen den Kriterien der kritischen Typologien aus Teil II. Daraus lässt sich schließen, dass ein Reduktionsziel von 80 % gegenüber 2008 von den meisten Typologien zu erreichen ist.

Der absolute Richtwert von 52 kWh/m²a Primärenergiebedarf kann auch unter Zuhilfenahme der EE-Erzeugung in der Energiebilanz nicht von allen Gebäuden erreicht werden (Kapitel 11), was Teil III mit Kapitel 16 bestätigt. Die betroffenen Typologien sind wiederum die kritischen Typologien aus Teil II, die nur einen geringen Teil des Neubauvolumens ausmachen. Im Umkehrschluss kann der ambitionierte Richtwert von 52 kWh/m²a Primärenergiebedarf für die meisten Neubauten als Ziel festgeschrieben werden. Die wenigen kritischen Typologien können als Ausnahmen, wie oben beschrieben, behandelt werden.

Eine konkrete Forderung aus den Ergebnissen dieser Arbeit heraus lautet daher: Politische Entscheidungsträger sind aufgefordert, baldmöglichst konsequente Vorgaben zu machen, um die Ziele für das Jahr 2050 zu erreichen. Das Anforderungsniveau des GEG, das als zu ambitioniert abgelehnt wurde, ist bereits Stand der Technik. Das Niveau eines KfW Effizienzhaus 40 ist nahezu für alle Nebautypologien erreichbar. Mit Hilfe von Ausnahmetatbeständen wäre dies bereits einführbar.

Blick über die Bilanzgrenze hinaus

Das Gebäude der Zukunft wird auch im Jahr 2050 Energie für Wärme, Warmwasser, Beleuchtung, ggf. Kühlung und Lüftung benötigen. Dieser möglichst geringe Bedarf sollte mit Nachdruck zu 100 % aus

erneuerbaren Energien gedeckt werden, die idealerweise noch direkt im baulichen Zusammenhang erzeugt werden. Es darf daran erinnert werden, dass momentan alle unsere Berechnungen im Energierecht – so wie in dieser Arbeit auch – an der Bilanzgrenze Gebäudebetrieb aufhören. Die Wirklichkeit endet hier nicht. Auch diese Arbeit hat sich intensiv mit der energetischen Performance von Gebäuden beschäftigt. Sie wird auch in Zukunft ein zentraler Bestandteil der Frage nach dem klimaneutralen Gebäudebestand sein. Um jedoch weiterhin effektive Ergebnisse zu erzielen, wird der Betrachtungshorizont in mehreren Punkten zu erweitern sein:

Effektiv wird Effizienz (nur) mit Suffizienz

Beginnend mit der ersten Wärmeschutzverordnung 1977 sind Gebäude immer effizienter gestaltet worden. Effizienz bemisst sich dabei nach einer vorab definierten Kenngröße, z.B. Kilowattstunden pro Quadratmeter Nutzfläche und Jahr Primärenergie. Dieser einmal definierten Kenngröße wird alles unterworfen. Der Glaube an die Ingenieurskunst entwickelt im Bauen technische Lösungen: Gebäudedämmung, luftdichte Gebäudehüllen, mechanische Lüftungen mit Wärmerückgewinnung, Gebäudeleittechnik für Smart-Grids Tatsächlich führen diese Technologien zu effizienteren Systemen. Da aber gleichzeitig der Bedarf überproportional wächst, steigt der Energieverbrauch effektiv an, ein klassischer Rebound-Effekt.

Zwei Beispiele dazu:

Der spezifische Heizenergieverbrauch im Wohnungsbau ist in Deutschland zwischen 1995 und 2005 durch Effizienzsteigerungen um 9 % gesunken. Gleichzeitig ist der Wohnflächenbedarf pro Kopf um 13 % gestiegen. Im Ergebnis führt das zu einer Steigerung des effektiven Heizenergieverbrauchs von 2,8 % im gleichen Zeitraum. [Eschment 2014]

Ein dreijähriges Monitoring einer Wohnsiedlung in Passivhausstandard hat einen gemessenen Heizenergiebedarf von 39,9 kWh/m²a ergeben. Geplant und vorausgerechnet wurden 9,03 kWh/m²a. Die Gründe sind eine um durchschnittlich 2,1 Kelvin höhere Raumtemperatur und eine zu hohe Luftwechselrate bedingt durch freies Lüften und zu hoch eingestellte Lüftungsanlagen. [Stampfl et al. 2013]

Wir werden mit der Frage nach dem richtigen Maß konfrontiert werden. Das gilt beispielsweise für den

Flächenbedarf, Komfortansprüche und Technikkonzepte unserer Gebäude. Der Mensch darf dabei nicht vergessen werden. Eine Bevormundung des Menschen durch Technik führt zu Unzufriedenheit bei der Nutzung der Gebäude. Der mündige Nutzer muss Verantwortung für den Gebäudebetrieb übernehmen. [Djahanschah et al. 2017] Nur über Identifikation mit dem eigenen Gebäude kann eine optimierte Nutzung erfolgen. Das setzt verständliche Konzepte voraus. Je komplexer technische Systeme werden, umso höher ist das Risiko einer falschen Bedienung und damit eines unnötigen Energieverbrauchs. [Hänel 2016]

Vom Betrieb zum Lebenszyklus und zur Holistik

Gebäude verursachen in der Produktion von Baustoffen, in der Errichtung auf der Baustelle, im Unterhalt, bei Renovierung, Sanierung und Umbau, bei Abbruch, Recycling und Deponierung weiteren Energiebedarf. Auch diese Energie wird bereits bilanziert und in verschiedenen Bewertungssystemen unterschiedlich ausgewiesen. Jeder Neubau sollte daher – ähnlich einem betriebswirtschaftlichen Ansatz – in seiner Betriebsphase so viel Energie erzeugen, wie er im gesamten Lebenszyklus verbraucht (vgl. Kapitel 5 LC-ZEB). Dieses Ziel ist ambitioniert, aber eigentlich nur die logische Weiterentwicklung des Nachhaltigkeitsgedankens bezogen auf eine umfassende Sichtweise. Energiewende und Nachhaltigkeit verlangen eine gesamtheitliche Betrachtung aller Lebensbereiche. Damit kann eine energetische Betrachtung des Gebäudesektors nicht für sich alleine stehen. Überschüssige Energie im Gebäudebereich, z. B. in Form von PV-Strom, wird bereits jetzt für Elektromobilität verwendet. Die Akkumulatoren der Fahrzeuge können im Gegenzug dabei helfen, PV-Produktionsspitzen zu dämpfen, das Netz zu stabilisieren und den Nutzungsgrad der erneuerbaren Energien zu erhöhen. Wenn es möglich wäre, durch Gebäude Energieüberschüsse zu erzielen, sollte dieses Potential genutzt werden. Nur so können alle Sektoren zusammen zu einem Gelingen der Energiewende beitragen.

17.5 Schlussbemerkungen

Ob Landwirtschaft, Forstwesen, Fischerei oder Rohöl, wann immer Nachhaltigkeit ins Bewußtsein der Menschen getreten ist, war sie ein Kind einer Krise [Grunwald et al. 2012]. Der moderne und aufgeklärte Mensch scheint nicht in der Lage zu sein, aus Fehlern zu lernen und Erkenntnisse daraus auf andere Themengebiete zu übertragen. Jared Diamond beschreibt in seinem Buch „Kollaps“ am Beispiel vergangener Gesellschaftsformen das Mysterium, dass Gesellschaften in Zeiten des Niedergangs, als dieser erkannt wurde, genau diese Handlungen intensivierten, die Auslöser der Misere waren. Böden, die die intensive Bewirtschaftung nicht mehr vertrugen, wurden (und werden noch immer) intensiver bewirtschaftet. Wälder, in denen der Einschlag nicht mehr durch Zuwachs zu kompensieren war, wurden noch intensiver eingeschlagen. [Diamond 2005] Harald Welzer spricht von einem restaurativen Illusionismus. In Zeiten globaler wirtschaftlicher Stagnation und fehlender Zukunftsperspektiven will die Politik eine Wiederherstellung des Status quo ante. Diese Zielsetzung wird mangels Perspektiven als alternativlos bezeichnet. Wenn peak oil überschritten ist, wird tiefer und riskanter gebohrt. Wenn die Wirtschaft

wegen Überschuldungen zu kollabieren droht, werden riesige Rettungsschirme aufgelegt und der Markt mit Unsummen von Geld geflutet. Harald Welzer beschreibt dieses kausale Handeln als eine Unfähigkeit der Gesellschaft, in Krisenzeiten (Handeln unter Stress) das eigene Handeln aufgrund selbst gemachter Erfahrungen zu ändern. Alternative Handlungsmöglichkeiten werden nicht mehr wahrgenommen – ein gesellschaftlicher Tunnelblick. [Welzer 2015, 13-19]

Diese Eigenschaft des menschlichen Handelns könnte die fatale Schlussfolgerung auslösen, dass jeder Einzelne ohnehin nichts ausrichten kann. Diesen Gedanken-gang teile ich nicht. Die vernetzte globale Gesellschaft bietet die einmalige Gelegenheit, durch Aufklärung zu mobilisieren und Veränderungen zu initiieren. Bildung und freier Zugang zu Information sind dafür notwendig. Ein Umdenken muss in möglichst vielen Köpfen an möglichst vielen Orten dieser Erde stattfinden. Die Arbeit mit Studierenden an der Technischen Universität München hat mir gezeigt, dass es bereits viele junge Menschen gibt, die umgedacht haben. Die Bewegung „Friday for Future“ steht beispielhaft für das Erwachen einer zu Unrecht als unpolitisch bezeichneten Generation. Das gibt mir Hoffnung für die Zukunft unserer gemeinsamen Welt.

Additament

18.1	Abkürzungen	206
18.2	Glossar	208
18.3	Hinweise zur Zitation und Quellenangabe	214
18.4	Literatur & Quellen	215
18.5	Abbildungen	227
18.6	Tabellen	236

18.1 Abkürzungen

		EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz
		EnEG	Energieeinsparungsgesetz
		EnEV	Energieeinsparverordnung
A/V	Verhältnis aus wärmeübertragender Oberfläche zu beheizten Volumen	EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
AEE	Annualised Embodied Energy	EU	Europäische Union
AEU	Annual Energy Use	EV	Energieverbrauch (Tiefstellungen analog Energiebedarf Q)
ARGEBAU	Konferenz der für Städtebau- Bau- und Wohnungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Länder	FDH	Fachdatenbank Hochbau
BGF	Bruttogeschossfläche	FNL	Fachnormenausschuss Lichttechnik
BGV	Bruttogebäudevolumen	f_p	Primärenergiefaktor (nicht erneuerbarer Anteil) (auch PEF)
BIPV	Building Integrated Photovoltaic (hier: fassadenintegrierte PV)	GEG	Gebäude-Energie-Gesetz
BNB	Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen	GG	Grundgesetz
BRI	Bruttorauminhalt	GHD	Gewerbe Handel Dienstleistungen
BWK	Bauwerkskosten (KG 300 + KG 400)	HLK	Heizung Lüftung Kälte
BZK	Bauwerkzuordnungskatalog [ARGEBAU 2010]	HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
CEN	European Committee for Standardization	H_t / H'_t	Transmissionswärmeverlust / spezifischer Transmissionswärmeverlust
COP	Coefficient of Performance	IFMA	Benchmarking für Laborgebäude unter der Leitung der Bauakademie Berlin
DGNB	Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen	ImBy	Immobilien Freistaat Bayern
DIN	Deutsches Institut für Normung – Norm	JAZ	Jahresarbeitszahl
DIN V	Deutsches Institut für Normung – Vornorm	KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
EE / eE	erneuerbare Energien	KfW 40 / 55	KfW Effizienzhaus 40 / KfW Effizienzhaus 55
EER	Energy Efficiency Ratio / Leistungszahl Kälteerzeugung	KG 300	Kostengruppe 300: Bauwerk – Konstruktion

KG 400	Kostengruppe 400: Bauwerk – Technische Anlagen	PER	Primary Energy Renewable
kWh/m ² a	Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr	PH / PHI	Passivhaus / Passivhausinstitut
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung	PV	Photovoltaik
LC	Life Cycle / Lebenszyklus	PVT	Photovoltaik & Solarthermie
LC-ZEB	lebenszyklusbasiertes (Netto-) Nullenergiegebäude	Q_E / Q'_E	Endenergiebedarf / spezifischer Endenergiebedarf
LCA	Life Cycle Assessment (Lebenszyklusanalyse)	Q_H / Q'_H	Heizenergiebedarf / spezifischer Heizenergiebedarf
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design	Q_N / Q'_N	Nutzenergiebedarf / spezifischer Nutzenergiebedarf
LWR	Luftwechselrate	Q_P / Q'_P	Primärenergiebedarf / spezifischer Primärenergiebedarf
MWh	Megawattstunden	Q_{PNE} / Q'_{PNE}	nicht erneuerbarer Anteil des (spezifischen) Primärenergiebedarfs
n_{50}	Luft-Leckage-Rate bei 50 Pascal Überdruck	RG (RB)	Referenzgebäude (Reference Building)
NAPE	Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz	RLBau	Richtlinie für die Durchführung von Hochbauaufgaben des Freistaates Bayern
NetZEB	Net Zero Energy Building (Netto-Nullenergiegebäude)	RLT	Raumlufttechnik
NF / NGF	Nutzfläche / Nettogeschossfläche	SFP	Specific Fan Power / spezifischer Wirkungsgrad eines Ventilators
NHRS	Normenausschuss Heiz- und Raumlufttechnik	ST	Solarthermie
nWG	Nichtwohngebäude	TGA	technische Gebäudeausstattung
nZEB	nearly Zero Energy Building (Niedrigstenergiegebäude)	UNFCCC	United Nations Framework Conference on Climate Change (UN-Klimaschutzkonferenz)
nZELab	nearly Zero Energy Laboratory (Niedrigstenergielabor)	WG	Wohngebäude
OBB	Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr (aktuell: Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr)	WW	Warmwasser
PEF	Primärenergiefaktor (auch f_p)	ZEB	Zero Energy Building (Nullenergiegebäude)

18.2 Glossar

ARGEBAU	Konferenz der für Städtebau- Bau- und Wohnungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Länder
Bauwerkzuordnungskatalog	Katalog der ARGEBAU zur Einteilung von Gebäuden nach deren Nutzung und technischen Standard.
Behaglichkeit	Sammelbegriff für die Bewertung aller raumklimatischen Größen und weiterer, nicht quantifizierbarer Faktoren, die auf die Zufriedenheit der Personen in einem Raum Einfluss haben. Als messbare Größen spielen u.a. die operative Raumtemperatur, die Strahlungsasymmetrie, die Raumluftheuchte, die Luftgeschwindigkeit, die Schallbelastung, die Beleuchtungsstärke oder die Luftqualität für die Behaglichkeit eine Rolle.
Digestorium/Abzug	Durch hohen Abluftvolumenstrom abgesaugter Arbeitsplatz, der die Gefährdung aus dem Umgang mit gefährlichen Stoffen minimieren soll. Das Digestorium ist durch einen Plexiglasschieber verschließbar. Im geschlossenen Zustand werden geringere Volumenströme abgesaugt als im offenen Zustand.
Effizienz	hier Energieeffizienz: Minimierung des Energieverbrauchs durch Reduktion der Energieverluste bei gleichbleibenden Output
Effizienzhaus	Begriff aus dem Förderprogramm „energieeffizientes Bauen“ der KfW-Bank (siehe Kapitel 05.1). Die Zahl nach dem Namen Effizienzhaus gibt an, wieviel Prozent des nach EnEV zulässigen Primärenergiebedarfs dieser Standard maximal aufweisen darf.
Endenergiebedarf	[kWh/a] Energiebedarf eines Wohngebäudes für Heizung, Warmwasser und Kühlung. Bei Nichtwohngebäuden enthält der Endenergiebedarf zusätzlich den Energiebedarf für die Beleuchtung. Zusätzlich zum Nutzenergiebedarf aus Heizwärmebedarf, Befeuchtungsenergie sowie Warmwasserbedarf müssen Anlagenverluste kompensiert werden. Diese ergeben sich aus Regelverlusten, Verteilverlusten, Speicherverlusten und Verlusten des Energieerzeugers innerhalb des Gebäudes. Analog muss zusätzlich zu Kühlkältebedarf und Entfeuchtungsenergie weitere Energie aufgewendet werden.
Endenergieverbrauch	[kWh/a] Der Endenergieverbrauch bezeichnet im Gegensatz zum Endenergiebedarf Q_E eine tatsächliche, am Gebäude gemessene Energiemenge. Er berücksichtigt z. B. auch das Nutzerverhalten und klimatische Schwankungen. Physikalisch gesehen ist jedoch dieser Begriff nicht korrekt. Nach dem Energieerhaltungssatz kann Energie in einem geschlossenen System nicht verbraucht, sondern nur in eine andere Energieform umgewandelt werden.
Energieträger/Energiequelle	Der Begriff Energieträger umfasst im eigentlichen Sinn Rohstoffe der Natur, die aufgrund ihrer gespeicherten, chemisch oder nuklear umsetzbaren Energie zur Energiegewinnung einsetzbar sind (Biomasse, fossile und nukleare Brennstoffe). Im Sprachgebrauch werden aber auch Energiequellen wie Solarenergie, Geothermie, Wind- oder Wasserkraft dazugerechnet, die physikalisch Träger thermischer, potenzieller oder kinetischer Energie sind.
Fachdatenbank Hochbau	Datenbank der Bayerischen Staatlichen Hochbauverwaltung über alle von Ihr betreuten Liegenschaften.

Fensterflächenanteil	[%] Verhältnis von verglaster Fassadenfläche zur Gesamtfassadenfläche. Die transparenten Hüllflächen müssen einerseits groß genug sein, um eine ausreichende Tageslichtversorgung und einen Außenbezug zu gewährleisten; andererseits sollten übermäßig hohe Transmissionswärmeverluste über die Glasflächen vermieden werden. Im Sommer bzw. in strahlungsreichen Gegenden trägt ein moderater Fensterflächenanteil wesentlich zur Reduktion von solaren Einträgen bei, die eine Überhitzung des Gebäudes zur Folge haben können.
g-Wert	Faktor zur Beschreibung des Energiedurchgangs durch Verglasungen aufgrund von Solarstrahlung. Je nach Anzahl und Beschichtung der Scheiben sind Verglasungen unterschiedlich energiedurchlässig für die Solarstrahlung. Ein Teil der Strahlung wird nach außen reflektiert, ein Teil wird unverändert durchgelassen oder gestreut, ein weiterer Teil wird absorbiert und als Wärmestrahlung nach außen und innen emittiert. Der g-Wert ist auch abhängig vom Einstrahlwinkel. Sonnenschutzverglasungen mit besonders niedrigen g-Werten reduzieren teilweise auch den Strahlungsdurchgang im Bereich des sichtbaren Lichts.
Gefährdungsbeurteilung	Der Laborbetreiber muss verantwortlich in regelmäßigen Turnus die Gefährdungen in Labor bewerten. Sie wird auf Basis der Arbeitsabläufe und Arbeitsstoffe erstellt und ist Grundlage für die betrieblichen, organisatorischen und baulichen Sicherheitsmaßnahmen im Labor. Auf ihrer Basis werden auch Laborausstattungen und Luftwechselraten festgelegt.
Graue Energie	Bei Gebäuden wird unter Grauer Energie der kummulierte Energieaufwand des gesamten Lebenszyklus ohne die Betriebsenergie verstanden, also Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung des Gebäudes. Als Einheit verwendet die Arbeit den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf.
Heizlast / Kühllast	Erforderliche Leistung eines Kühl- oder Heizsystems, um zu einem bestimmten Zeitpunkt eine bestimmte operative Raumtemperatur aufrechtzuerhalten. Maximale Leistungsanforderungen als Folge des ungünstigen Zusammenspiels von Nutzung und Außenklima werden als Lastspitzen bezeichnet. Wird die Maximalleistung eines Geräts abgerufen, spricht man von Volllast.
Heizwärmebedarf	Summe aus Lüftungs- und Transmissionswärmeverlusten abzüglich der solaren und internen Gewinne.
IFMA Benchmarking®	Das IFMA Benchmarking® ist ein Zusammenschluss der führenden Unternehmen der chemisch-pharmazeutischen Industrie in Deutschland, die unter Anwendung von Benchmarking-Methoden Optimierungspotentiale in der Errichtung und Bewirtschaftung von Laborgebäuden unter neutraler Leitung der Bauakademie Performance Management GmbH erschließen. Das IFMA Benchmarking® wurde 2004 als „runder Tisch“ mit neutralem Benchmarking-Koordinator gegründet. Unter Benchmarking verstehen die IFMA Teilnehmer sowohl den anonymisierten Vergleich von Kennzahlen (klassisches Benchmarking), als auch die konkrete Analyse der zugrundeliegenden Sachverhalte zur Identifikation von Best in Class Lösungen (Benchmarking) unter Wahrung der wettbewerbsrechtlichen Grundsätze. Am IFMA Benchmarking® sind z.Z. 13 Unternehmen mit insgesamt ca. 300 Gebäuden beteiligt.
Input	(wirtschaftlich) Von außen bezogene, in einem Betrieb eingesetzte Rohstoffe, Produkte oder Produktionsmittel. Hier: Gesamtheit aller in ein Gebäude für einen standardisierten Betrieb eingespeisten Energien.
Interne Gewinne	Wärmeabgabe von Personen und Geräten im Raum. Die entscheidenden Parameter für die Abwärme durch Personen sind die Belegungsdichte und die Nutzungszeit.
Adiabate Kühlung	Geht ein Stoff bei der Verdunstung vom flüssigen in den gasförmigen Zustand über, entzieht er der Umgebung Wärme, was für die Kühlung (z.B. von Zu- oder Abluft) genutzt werden kann.

Konsistenz	hier Energiekonsistenz: Deckung des Energiebedarfs über Energien aus erneuerbaren Quellen
Kostengruppe	Standardisierte Aufteilung der Gesamtkosten eines Bauprojektes nach der Systematik der DIN 276
Kühldecke/Heizdecke	Wassergeführtes Flächenkühlsystem in Deckennähe. Die Kälte bzw. Wärme wird überwiegend über Strahlung abgegeben. Bei abgehängten Systemen, die von der Raumluft umspült werden, kann ein gewisser konvektiver Anteil hinzukommen.
Labor	Räume, deren Nutzung unter die Definition der Laborbaurichtlinie (DGUV-213-650 2015) fällt. Arbeiten mit gesundheitsgefährdenden oder empfindlichen Stoffen erfordern in Laboren eine besondere technische Ausstattung, die vorrangig der Arbeitssicherheit der Laboranten (Laborarbeiter) steht, aber auch dem Schutz von Produkten dienen kann.
Laborgebäude	Gebäude mit einem Anteil an Laborflächen über 30% gemessen an den Hauptnutzflächen (NF 1-6). Gebäude mit Laborflächenanteilen unter 30% werden in der Arbeit nicht als Laborgebäude, sondern Nichtwohngebäude mit Mischnutzung definiert.
Luftgeschwindigkeit	[m/s] Geschwindigkeit der Luftströmung in einem Raum. Zu hohe Luftgeschwindigkeiten werden allgemein als unbehaglich empfunden. Tolerierbare Obergrenzen sind u.a. abhängig von der Lufttemperatur.
Luftwechsel	[h ⁻¹] Ausgetauschtes Luftvolumen pro Stunde im Verhältnis zum Luftvolumen des belüfteten Raumes.
Lüftungswärmeverluste	Wärmeverlust durch Austausch verbrauchter Raumluft mit frischer Außenluft. Ist die Außenluft kälter als die angestrebte Raumlufttemperatur, ist zum Ausgleich dieser Differenz Wärme erforderlich, wenn die passiven Gewinne dafür nicht ausreichen. Durch eine Wärmerückgewinnung können die Lüftungswärmeverluste minimiert werden.
Lux	[lx] Beleuchtungsstärke (Lichtstrom je Flächeneinheit (lm/m ²))
Natürliche Belichtung	Nutzung des Tageslichts für die Belichtung des Innenraums. Für die Optimierung des Tageslichteintrags sind die Größe und Anordnung der Fensterflächen und die Ausbildung des Sonnenschutzes wesentliche Faktoren.
Natürliche Lüftung	Luftaustausch über Fassadenöffnungen.
Niedrigstenergiegebäude	Energetischer Gebäudestandard, den die EU ab 2021 für alle Neubauten fordert. Der Begriff wurde im englischen als Nearly Zero Energy Building erschaffen und wird in dieser Arbeit zumeist mit nZEB abgekürzt. Die genaue Definition ist Kapitel 02.3 zu entnehmen.
Nullenergiegebäude	Unter dem Begriff Nullenergiegebäude werden verschiedene Standards zusammengefasst. Am häufigsten handelt es sich um Gebäude, die ihren Energiebedarf über das Jahr hinweg durch Energieerzeugung bilanziell ausgleichen (Netto-Nullenergiegebäude). Einen Überblick über die Standards und die Erläuterungen dazu bietet Kapitel 05.3.
Nutzenergie	Die Nutzenergie ist die vom Endverbraucher letztendlich genutzte Energie. Dazu muss die Endenergie meist verlustbehaftet umgewandelt werden. Formen der Nutzenergie sind Wärme, Kälte, Licht, Bewegung oder Schallwellen. Die Nutzenergie definiert die Grundlage für die Berechnung des Primärenergiebedarfs nach EnEV.

Operative Raumtemperatur	Empfundene Temperatur eines Raumes, die sich zusammensetzt aus Raumlufttemperatur und mittlerer Temperatur der raumumschließenden Flächen. Der als behaglich empfundene Temperaturbereich ist zum einen abhängig von der Tätigkeit und Kleidung der Personen, aber auch von kulturellen Faktoren, vom Außenklima und der Luftfeuchtigkeit im Raum.
Output	(wirtschaftlich) Gesamtheit aller in einem Betrieb hergestellten Waren. Hier: Gesamtheit aller in oder am Gebäude erzeugten Energien, unabhängig von der Eigennutzung oder Einspeisung in ein Netz.
Passivhaus	Energetischer Standard mit hocheffizienter Gebäudehülle, kontrollierter Lüftung mit Wärmerückgewinnung und damit sehr niedrigen Heizwärmebedarf (siehe Kapitel 05.2). Im klassischen Passiv-Wohnhaus wurde ein herkömmliches Heizsystem durch Zuluft-Heizsysteme ersetzt.
Phase Change Material	Verkapseltes Material mit hohem thermischen Speicherpotenzial aufgrund der Nutzung des Phasenübergangs.
Photovoltaik	Direkte Umwandlung von Sonnenlicht in elektrische Energie durch Solarzellen.
Primärenergiebedarf	Energiebedarf unter Berücksichtigung der Verluste außerhalb der Systemgrenze Gebäude. Der Primärenergiebedarf setzt sich zusammen aus dem Endenergiebedarf und dem Energieaufwand für Förderung, Transport und Umwandlung von Rohstoffen für die Energieerzeugung. Der Primärenergiebedarf kann durch die Multiplikation des Endenergiebedarfs mit einem dem Energieträger entsprechenden Primärenergiefaktor berechnet werden. Dieser Faktor berücksichtigt auch, ob ein Energieträger vollständig oder anteilig erneuerbar ist.
Primärenergiefaktor f_p	Der Primärenergiefaktor drückt das Verhältnis von eingesetzter nicht erneuerbarer Primärenergie (inklusive der bei Erzeugung, Verteilung und Speicherung entstehenden Verluste) zu abgegebener Endenergie aus. Je niedriger der Primärenergiefaktor, desto effizienter ist die Energieerzeugung auf Basis der entsprechenden Primärenergieträger.
Relative Luftfeuchte	[%] Verhältnis von absoluter Feuchte zur Sättigungsfeuchte. Die Sättigungsfeuchte ist abhängig von der Lufttemperatur. Deshalb ist die relative Luftfeuchte ebenfalls temperaturabhängig.
RLT-Anlage	Raumlufttechnische Anlage zur Förderung und Konditionierung von Luft.
Solare Einträge	Durch transparente und transluzente Bauteile in den Raum dringende Globalstrahlung. Bei der Absorption an Oberflächen im Raum entsteht Wärme. Sie trägt bei niedrigen Außenlufttemperaturen zur Reduktion des Heizwärmebedarfs bei. Unerwünschte solare Einträge können zur Überhitzung von Räumen führen.
Solarthermie	Technik, mit der Solarstrahlung in Wärme umgewandelt wird. Die Wärme aus den Solarkollektoren wird an ein Trägermedium, in der Regel Wasser, abgegeben und einem Speicher zugeführt.
Sonnenschutz	Bauliche Maßnahme zur Begrenzung des Energieeintrags durch Solarstrahlung.
Specific Fan Power	[Ws/m ³] Verhältnis von aufgenommener elektrischer Energie zum geförderten Luftvolumen eines i.d.R. Ventilators. Der SFP kann auch für die Effizienz von gesamten Lüftungssystemen verwendet werden.
Speichermasse	Wärmespeicherfähigkeit von Bauteilen innerhalb eines 24-Stunden-Zyklus. Materialspezifische Einflussgrößen sind die Wärmeleitfähigkeit und die Wärmekapazität. Massive Bauteile können bei hohen Umgebungstemperaturen Wärme aufnehmen und sie zeitversetzt wieder abgeben, wenn die Umgebungstemperatur unter die Bauteiltemperatur gesunken ist.

Spezifischer Transmissionswärmeverlust (H_T')	[W/m ² K] Die EnEV definiert mit H_T' einen über die Gebäudehüllfläche gemittelten und auf 1 m ² Hüllfläche bezogenen Wert für Transmissionswärmeverluste. In Abhängigkeit von der Kubatur des Gebäudes wird dabei auch ein maximal zulässiger Wert ausgewiesen.
Strombedarf	Energiebedarf für Beleuchtung, elektrische Geräte und Anlagen. Dazu zählen auch Anlagen zur Förderung bzw. Bereitstellung von Wärme, Kälte und Luft wie z.B. Förderpumpen, Regel- und Messtechnik, Wärmepumpen, Ventilatoren. Für die energetische Gebäudebilanzierung wird der Strombedarf der Nutzerendgeräte regelmäßig nicht bilanziert.
Suffizienz	hier Energiesuffizienz: Reduktion des Energieverbrauchs durch Begrenzung des (Komfort-) Standards auf das tatsächlich erforderliche Niveau
Systemtemperaturen	Temperaturniveau von Vor- und Rücklauf eines Heiz- bzw. Kühlsystems. Je nach Wirkungsweise der raumseitigen Wärmeübergabe sind unterschiedlich hohe Vorlauftemperaturen erforderlich. Flächenheizsysteme kommen mit moderaten Temperaturen aus und sind deshalb besser für eine Kombination mit regenerativen Wärmequellen geeignet.
Tageslichtversorgung	Art und Umfang der Maßnahmen, durch die Tageslicht zur Beleuchtung der Räume eines Gebäudes nutzbar gemacht wird. Durch die optimierte Versorgung der Räume mit Tageslicht kann Strom für künstliche Beleuchtung gespart werden.
Taupunkttemperatur	[°C] Temperatur, bei der die Luft mit Feuchtigkeit gesättigt ist und die relative Luftfeuchte 100 % beträgt. Wird die Taupunkttemperatur unterschritten, tritt die Kondensation des Wasserdampfes ein.
Tauwasserausfall	Kondensation von Wasser bei Unterschreitung der Taupunkttemperatur. Dies kann bei hoher Luftfeuchte und hohen Differenzen zwischen Raumluft- und Oberflächentemperatur der Fall sein.
Testreferenzjahr	Klimawerte eines idealtypischen Jahres. Für die Berechnung von Heiz- und Kühllasten sowie für thermische Gebäudesimulationen werden typische Klimawerte verwendet, die in langjährigen Messungen statistisch ermittelt wurden. Sie umfassen unter anderem den Verlauf der Außenlufttemperatur, des Luftdrucks, der Globalstrahlung aus Diffus- und Direktstrahlung, der Luftfeuchte und der Windgeschwindigkeit.
Transmissionswärmeverluste	Wärmeverlust über die Gebäudehülle. Sobald die Außenluft kälter als die Raumlufttemperatur ist, entsteht ein Wärmestrom durch die Bauteile von innen nach außen. Je höher die Temperaturdifferenz und je schlechter der Wärmeschutz des Gebäudes, desto höher die Verluste.
U-Wert	[W/m ² K] Größe zur Bestimmung des Wärmedurchgangs durch ein Bauteil. Der Wärmedurchgangskoeffizient oder U-Wert quantifiziert den Wärmestrom durch eine 1m ² große Fläche eines Bauteils bei einem Temperaturunterschied von 1K zwischen innen und außen. Je kleiner der U-Wert, desto besser die Dämmwirkung des Bauteils.
U_w -Wert	[W/m ² K] Kennwert zur Beurteilung des Wärmedurchgangs durch ein Fenster ist der U_w -Wert ($w = \text{window}$). Er setzt sich flächenproportional aus U_g - und U_f -Wert sowie den Verlusten infolge des Randverbunds der Verglasung und der Fensteranschlüsse zusammen.

Wärme-/Kälteübergabe	Raumseitige Installationen zur Heizung oder Kühlung. Je nach Wirkungsweise kann unterschieden werden zwischen der Temperierung des Raumes über Wärmestrahlung (z.B. – Fußbodenheizung), über Konvektion (z.B. Konvektoren) und über die Zufuhr vorkonditionierter Luft (z.B. Klimaanlage).
Wärmebrücke	Thermische Schwachstelle in der Gebäudehülle. An den Anschlüssen von verschiedenen Bauteilen, an Gebäudekanten und Durchdringungen der Gebäudehülle kommt es zu einer Schwächung der Dämmschicht mit erhöhtem Wärmeverlust.
Wärmedämmung	Schicht in der Fassade zur Verminderung von Wärmeverlusten. Zum Einsatz kommen Materialien mit geringer Wärmeleitfähigkeit.
Wärmeleitfähigkeit	[W/mK] Die Wärmeleitfähigkeit gibt als materialspezifischer Kennwert die Wärmemenge an, die bei einer Temperaturdifferenz von 1 K pro Sekunde durch einen 1 m ³ großen Würfel des Materials strömt. Niedrige Werte zeigen hohe Wärmedämmeigenschaften des Materials an. Da Feuchtigkeit einen negativen Einfluss auf die Wärmeleitung hat, bezieht sich der Kennwert auf trockene Baustoffe.
Wärmerückgewinnung	Nutzung von Wärme aus der Abluft von Gebäuden. Die Zuluft kann auf sehr effiziente Weise vorgewärmt werden, wenn Abluft- und Zuluftstrom in einem Wärmetauscher direkt aneinander vorbeigeführt werden. Bei zentralen Lüftungsanlagen mit Zu- und Abluft ist in der Regel eine aufwendigere Leitungsführung erforderlich. In einem Kreislaufverbundsystem kann über eine in Rohren zirkulierende Flüssigkeit die Energie auch über eine größere Distanz von Abluft zu Zuluft übertragen werden.
Wirkungsgrad	[%] Verhältnis von abgegebener (nutzbarer) Energie zu eingesetzter Energie bei technischen Geräten. Der Wirkungsgrad beschreibt die Effizienz eines Gerätes und quantifiziert die Verluste, die bei der Umwandlung von Energie durch das Gerät entstehen. Der Wirkungsgrad spielt eine Rolle bei Anlagen zur Wärmerückgewinnung, bei Feuerungsanlagen, Photovoltaiksystemen oder Leuchtmitteln. In Zusammenhang mit Wärmepumpen oder Kältemaschinen wird die Bezeichnung COP (Coefficient of Performance) oder auch „Leistungszahl“ verwendet. Die Jahresarbeitszahl sagt jedoch mehr über die Effizienz des Gesamtsystems aus. Sie beschreibt das Verhältnis von abgegebener, nutzbarer zu eingesetzter Energie über ein Jahr betrachtet.

18.3 Hinweise zur Zitation und Quellenangabe

Die Setzung der Zitation im Text bestimmt, auf welche Bereiche des Textes sich die Zitation bezieht:

Zitation innerhalb eines Satzes

Befindet sich die Zitation innerhalb des Satzes (vor dem Satzzeichen), bezieht sich die Quellenangabe auf den Satz zuvor.

Beispiel:

Das ist Satz eins im Platzhaltertext. Das ist Satz zwei im Platzhaltertext [Quelle]. Das ist Satz drei im Platzhaltertext. Satz vier komplettiert den Absatz.

Zitation hinter einem Satz innerhalb des Absatzes

Befindet sich die Zitation hinter dem Satzzeichen innerhalb des Absatzes, bezieht sich die Quelle auf die vorherigen Sätze des Absatzes oder auf die Sätze zuvor bis zur vorherigen Zitation.

Beispiel 1:

Das ist Satz eins im Platzhaltertext. Das ist Satz zwei im Platzhaltertext. [Quelle] Das ist Satz drei im Platzhaltertext. Satz vier komplettiert den Absatz.

Beispiel 2:

Das ist Satz eins im Platzhaltertext. [Quelle] Das ist Satz zwei im Platzhaltertext. Das ist Satz drei im Platzhaltertext. [Quelle] Satz vier komplettiert den Absatz.

Zitation hinter dem Satzzeichen am Ende des Absatzes

Befindet sich die Zitation am Ende des Absatzes hinter dem Satzzeichen, bezieht sich die Quelle auf den gesamten Absatz oder bis zur vorherigen Zitation.

Beispiel:

Das ist Satz eins im Platzhaltertext. Das ist Satz zwei im Platzhaltertext. Das ist Satz drei im Platzhaltertext. Satz vier komplettiert den Absatz. [Quelle]

Abbildungen ohne Quellenangaben sind eigene Darstellungen oder Fotos.

18.4 Literatur & Quellen

- Adam et al. 2014 Adam, M., Wirth, P., & Radosavljevic, R. (2014). Verbundprojekt: Standardisierung und Normung von multifunktionalen PVT Solarkollektoren (PVT-Norm). Teilvorhaben: PVT-Systemanwendungen und Simulationen. [https://zies.hs-duesseldorf.de/Forschung und Entwicklung/AG Erneuerbare Energien/Projekte_e2/Documents/PVT_Norm.pdf](https://zies.hs-duesseldorf.de/Forschung%20und%20Entwicklung/AG%20Erneuerbare%20Energien/Projekte_e2/Documents/PVT_Norm.pdf). Aufgerufen am 17.08.2017.
- Agora 2013 Agora Energiewende. (2013). 12 Thesen zur Energiewende – Ein Diskussionsbeitrag zu den wichtigsten Herausforderungen am Strommarkt. Berlin.
- AktivPlus 2016 AktivPlus e.V. (2016). Über den Verein und den AktivPlusStandard – Informationsbroschüre 2016. Frankfurt a. M.
- ArbSchG 2015 Bundesrepublik Deutschland. (2015). Arbeitsschutzgesetz vom 7. August 1996 (BGBl. I S. 1246), das zuletzt durch Artikel 427 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474) geändert worden ist". Bundesgesetzblatt, 2015 S. 1474.
- ARGEBAU 2010 Bauministerkonferenz (ARGEBAU). (2010). Bauwerkzuordnungskatalog. www.is-argebau.de. Aufgerufen am 15.06.2015
- ARGEBAU 2012 Bauministerkonferenz (ARGEBAU). (2012). Kostenrichtwerte für Hochschulgebäude. www.is-argebau.de. Aufgerufen am 15.06.2015.
- Arlt 2014 Arlt, B. (2014) Staatlicher Hochbau. Klinikum rechts der Isar der Technischen Universität München – Zentrale Sterilgutversorgung. Abgerufen am 15.06.2017, von https://www.stmi.bayern.de/assets/stmi/projekt Datenbank/ii1_staetlicherhochbau_bauprojekte_stbam2_zentrale_sterilgutversorgung.pdf
- Bach et al. 1998 Bach, H., Biegert, B., Dittes, W., Kochendörfer, C., Hasenfratz-Schreier, H., Colonius, P., . . . Kreuzer, K. (1998). RELAB Energieeinsparung in Laboratorien durch Reduzierung der Luftströme – Empfehlungen für die Auslegung und den Betrieb der lufttechnischen Einrichtungen. Stuttgart: Fraunhofer IGB.
- Bauch et al. 2012 Bauch, M., & Dittrich, E. (2012). Handbuch für nachhaltige Laboratorien. Berlin: Schmidt.
- BBSR 2016 Rein, S. (2016). Datenbasis zum Gebäudebestand – Zur Notwendigkeit eines besseren Informationsstandes über die Wohn- und Nichtwohngebäude in Deutschland. Bonn: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
- Beier 2009 Beier, C. (2009). Abschlussbericht: Analyse des Energieverbrauchs und exemplarische Best-Practice-Lösungen für relevante Verbrauchssektoren in Krankenhäusern. Oberhausen: Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik Umsicht.
- Beuth et al. 2015 Beuth Hochschule, & ifeu Institut. (2015). Dämmbarkeit des deutschen Gebäudebestandes. Berlin.
- Biedermann et al. 2014 Biedermann, F., Kolb, M. (2014) Endbericht der Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH (FfE). https://www.ffegmbh.de/download/informationen/528_ihk_hessen_waerme/fb_kaelteezeugung.pdf. aufgerufen am 15.04.2018

- BINE 2017 BINE Informationsdienst. (2017). Energieforschung für die Praxis – Abwärme & Wärmerückgewinnung. www.bine.info/themen/industrie-gewerbe/abwaerme-waermerueckgewinnung/. Aufgerufen am 25.11.2017.
- BKI 2016 Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern. (2016). BKI Baukosten 2016 Neubau. Stuttgart: Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern.
- BMUB 2016 Bundesministerium für Umwelt Naturschutz Bau und Reaktorsicherheit. (2016). Klimaschutzplan 2050 – Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. Berlin.
- BMVBS 2011 Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung, & Ingenieurbüro Ralph Petereit. (2010). Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland. BMVBS-Online-Publikation, 16/2011.
- BMVBS 2012a Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.). (2012). Marktuntersuchung und Evaluierung zum Energieausweis-System für Nichtwohngebäude und Entwicklung geeigneter Vereinfachungen für die Energieausweiserstellung. BMVBS-Online-Publikation, 09/2012.
- BMVBS 2012b Bundesministerium für Verkehr Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.). (2012). Untersuchung zur Novellierung der EU-Gebäudenergieeffizienzrichtlinie (EPBD). Identifikation und Analyse von Hemmnissen beim Neubau von hocheffizienten (Niedrigstenergie-)Gebäuden und Entwicklung eines Konzepts zur Marktdurchdringung bis 2020. www.bbsr.bund.de/cIn_032/nn_629248/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2012/ON162012.html. Aufgerufen am 15.02.2015
- BMVBS 2013 Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung, & Ingenieurbüro Ralph Petereit. (2013). Systematische Datenanalyse im Bereich der Nichtwohngebäude – Erfassung und Quantifizierung von Energieeinspar- und CO₂-Minderungspotentialen. BMVBS-Online-Publikation, 27/2013.
- BMWi 2013 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2013) EnEff:Schule. Plusenergie-Grundschule Hohen Neuendorf. Abgerufen am 30.08.2016, auf <https://www.eneff-schule.de/index.php/Demonstrationsobjekte/Plusenergieschulen/low-tech-und-low-cost-plusenergie-grundschule-hohen-neuendorf.html>
- BMWi 2014b Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.). (2014). Mehr aus Energie machen – Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz. Berlin.
- BMWi 2016 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.). (2016). Die Energie der Zukunft – Fünfter Monitoring-Bericht zur Energiewende. Berlin.
- BMWi et al. 2013 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, & Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hrsg.). (2013). Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand. Berlin.
- BNB 2014 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hrsg.). (2014). Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) – Kriterien – BNB Laborgebäude (BNB_LN) – Neubau Version 2014.
- Born et al. 2014 Born, T., & Schoof, J. (2014). Sinnvoll oder nicht? Laborgebäude im Passivhausstandard. DETAIL, 01-2014.
- BPIE 2011 Buildings Performance Institute Europe. (2011). Principles for nearly Zero-Energy Buildings – Executive Summary. Brüssel.

- BPIE 2015 Buildings Performance Institute Europe. (2015). Nearly Zero-Energy Buildings – Definitions across Europe – Factsheet. Brüssel.
- Braun 2017 Braun Windturbinen GmbH. (2017). Product Specification Antaris 5,5kW. www.braun-windturbinen.com/produkte/antaris-kleinwindanlagen/antaris-5-5-kw/. Aufgerufen am 15.03.2017.
- Braun et al. 2005 Braun, H., & Bleher, H. (2005). Entwurfsatlas Forschungs- und Technologiebau. Basel: Birkhäuser.
- BRD 2013 Regierung der Bundesrepublik Deutschland. (2013). Mitteilung der Regierung der Bundesrepublik Deutschland an die Kommission der Europäischen Union vom 18. Januar 2013 Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung) Nationaler Plan zur Erhöhung der Zahl der Niedrigenergiegebäude gemäß Artikel 9. Berlin.
- Bremer 2012 Bremer, C. (2012). Regenerative Kälteerzeugung mittels indirekter Verdunstungskühlung in RLT Anlagen. Fachzeitschrift für Erneuerbare Energien & Technische Gebäudeausrüstung, 2012-2013 (Klima / Lüftung).
- Chang 2016 Chang, T. H. (2016). Rooms for Researchers. Paper presented at the 5th Annual Conference of EGNATON, Kopenhagen, 31.05.-01.06.2016.
- Cordes et al. 2007 Cordes, S., & Holzkamm, I. (2007). Forschungszentren und Laborgebäude – Organisation, bauliche Konzeption und Ressourcenplanung für Forschungsgebäude der Biowissenschaften, Chemie und Nanotechnologie. HIS: Forum Hochschule, 9/2007.
- Crutzen 2002 Crutzen, P. J. (2002). Geology of mankind. Nature, 415(6867), 23-23.
- destatis 2014 Statistisches Bundesamt. (2014). Statistisches Jahrbuch 2014. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- DGNB 2016 Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen. (2016). DGNB fordert Weiterentwicklung und Neuausrichtung der EnEV. Stuttgart: Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen.
- DGUV-213-850 2015 Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (Hrsg.). (2015). DGUV Information, 213-850 – Sicheres Arbeiten in Laboratorien – Grundlagen und Handlungshilfen.
- DGUV-T034 2009 Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (Hrsg.). (2009). DGUV Merkblatt T 034 – Sichere Technik – Gefährdungsbeurteilung im Labor (213-855).
- DHV 2012 Deutscher Hochschulverband (2012) Deutscher Hochschulbaupreis. Universität Regensburg erhält den Deutschen Hochschulbaupreis 2012. Abgerufen am 06.06.2018, auf https://www.hochschulverband.de/1546.html#_
- Diamond 2005 Diamond, J. (2005). Collapse: How societies choose to fail or succeed. New York: Penguin.
- DIN 1946-7 DIN 1946-7:2009-07. (2009) Raumluftechnik – Teil 7: Raumluftechnische Anlagen in Laboratorien. Berlin: Beuth.
- DIN 276-1 DIN 276-1:2008-12. (2008) Kosten im Bauwesen – Teil 1: Hochbau. Berlin: Beuth.
- DIN EN 15251 DIN EN 15251:2012-12. (2012) Eingangparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumlufqualität, Temperatur, Licht und Akustik. Berlin: Beuth.

DIN V 18599	Vornormenreihe DIN V 18599:2013-05. (2013) Energetische Bewertung von Gebäuden, Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung. Berlin: Beuth.
Dittrich 2015	Dittrich, E. (2015). The Sustainable Laboratory Handbook: Design, Equipment, Operation. Weinheim: Wiley-VCH.
Djahanschah et al. 2017	Djahanschah, S., Auer, T., & Nagler, F. (2017). Zukunftsfähiger Schulbau: 12 Schulen im Vergleich (Erste Auflage ed.). München: Detail Business Information GmbH.
Dockx 2015	Dockx, P. (2015). Lab Ventilation and Energy Consumption. In E. Dittrich (Ed.), The Sustainable Laboratory Handbook: Design, Equipment, and Operation (pp. 363-378): Wiley-VCH.
EnEG 2013	Bundesrepublik Deutschland. (2013). Energieeinsparungsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 1. September 2005 (BGBl. I S. 2684), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 4. Juli 2013 (BGBl. I S. 2197) geändert worden ist.
Energie-Datenbank 2017	Sonne Wind & Wärme. (2017). Energie Datenbank. Retrieved from http://www.energie-datenbank.eu/ at 17.08.2017
EnEV 2013	Bundesrepublik Deutschland. (2013). Energieeinsparverordnung vom 24. Juli 2007 (BGBl. I S. 1519), die durch Artikel 326 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474) geändert worden ist. Bundesgesetzblatt S. I 3951.
Engel 2015	Engel, O. (2015). Electrical Installations. In E. Dittrich (Ed.), The Sustainable Laboratory Handbook: Design, Equipment, and Operation (pp. 119-131): Wiley-VCH.
EPBD 2002	Europäische Union. (2002). Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Vol. 2003).
EPBD 2010	Europäische Union. (2010). Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung).
Erhorn et al. 2007	Erhorn, H., Sinnesbichler, H., Lindauer, E., Haag, G., & Nimtsch, A. (2007). Weiterentwicklung und Evaluierung von Technologien und von Bewertungsmethoden zur Steigerung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EnEff06). IBP-Bericht: WTB-02.2007.
Erhorn et al. 2014	Erhorn, H., & Bergmann, A. (2014). Wege zum Effizienzhaus Plus. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.
Erhorn et al. 2016	Erhorn, H., & Bergmann, A. (2016). Wege zum Effizienzhaus Plus - Grundlagen und Beispiele für energieerzeugende Gebäude. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.
ertex 2016	ertex solar (2016) Gebäudeintegrierte Photovoltaik. Abgerufen am 13.02.2016, von http://www.ertex-solar.at/
Eschment 2014	Eschment, J. (2014). Der Rebound-Effekt: Störendes Phänomen bei der Steigerung der Energieeffizienz. Aktueller Begriff: Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages, 16/14 (Fachbereich WD 8, Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit, Bildung und Forschung).

- espazium 2015 espazium (2015) TEC21. Europäischer Solarpreis geht an Aktiv-Stadthaus in Frankfurt. Abgerufen am 30.08.2016, auf <https://www.espazium.ch/europischer-solarpreis-geht-an-aktivstadthaus-in-frankfurt>
- EU 2013 Europäische Kommission. (2013). Bericht der Kommission an das Europäische Parlament und den Rat - Fortschritte der Mitgliedsstaaten bei der Erhöhung der Zahl der Niedrigstenergiegebäude. Brüssel
- EU 2014 Europäische Union. (2014). Verordnung (EU) Nr. 1253/2014 der Kommission vom 7. Juli 2014 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Lüftungsanlagen.
- Feist 1993 Feist, W. (1993). Passivhäuser in Mitteleuropa. Kassel/Darmstadt.
- Feist et al. 1997 Feist, W., Borsch-Laaks, R., Werner, J., Loga, T., & Ebel, W. (1997). Das Niedrigenergiehaus: das Energiesparkonzept im Wohnungsbau (W. Feist Ed. Vol. 4). Heidelberg: C. F. Müller Verlag.
- Feulner 2017 Feulner, G. (2017). Formation of most of our coal brought Earth close to global glaciation. Proceedings of the National Academy of Sciences. doi:10.1073/pnas.1712062114
- Fraunhofer 2017 Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems. (2017). Photovoltaics Report, Freiburg.
- Fuchs et al. 2017 Fuchs, M., Nüßlein, G., Pfeiffer, J., Dött, M.-L., Bareiß, T., Gundelach, H., . . . Vogel, V. (2017). Gebäudeenergie-Gesetz (GEG). Berlin: CDU CSU Bundestagsfraktion.
- GEG 2017 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, & Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. (2017). Referentenentwurf des Gesetzes zur Einsparung von Energie und zur Nutzung Erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Bearbeitungsstand 23.01.2017).
- Giordano 2016 Giordano, S. (2016). Low Tech Labor? Potentialstudie anhand instationärer Simulationsmodelle. (Master Thesis). Technische Universität München. Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen.
- Glaserhardt 2017 Glaserhardt, A. (2017). LowEx for Labs - Niedrig-Exergieversorgung für Laborgebäude. (Master Thesis). Technische Universität München. Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen.
- Gonzalo et al. 2014 Gonzalo, R., & Vallentin, R. (2014). Passive house design: planning and design of energy-efficient buildings. München: Ed. Detail.
- Griffith et al. 2007 Griffith, B. T., Long, N., Torcellini, P., Judkoff, R., Crawley, D., & Ryan, J. (2007). Assessment of the technical potential for achieving net zero-energy buildings in the commercial sector: National Renewable Energy Laboratory Golden, CO.
- Grunwald et al. 2012 Grunwald, A., Kopfmüller, J. (2012). Nachhaltigkeit: eine Einführung (2. aktualisierte Auflage). Frankfurt: Campus-Verlag
- Hammes 2015 Hammes, M. (2015). Space for Communication in the Laboratory Building. In E. Dittrich (Ed.), The Sustainable Laboratory Handbook: Design, Equipment, and Operation (pp. 55-62): Wiley-VCH.
- Hänel 2016 Hänel, K. (2016). Monitoring für das Energiezentrum der BTU Cottbus. Cottbus.

- Hauser 2010 Hauser, G. (2010). Energieeffizientes und solares Bauen für eine nachhaltige Energieversorgung von Gebäuden. *Forschung für das Zeitalter der erneuerbaren Energien*, 10, 93-100.
- Heddergott 2017 Heddergott, A. (2017) Technische Universität München. Technik trifft Medizin: Neue Blickwinkel für die Krebsforschung - Eröffnung des interdisziplinären Krebsforschungsinstituts TranslaTUM. Abgerufen am 03.03.2017, auf <https://www.tum.de/die-tum/aktuelles/pressemitteilungen/detail/article/34183/>
- Hegger 2010 Hegger, M. (2010). *Sonnige Aussichten-Sunny Prospects; Das surPLUShome des Team Germany zum Solar Decathlon 2009*: Verlag Müller+ Busmann KG.
- Hegger 2013 Hegger, M. (2013). *Aktivhaus - das Grundlagenwerk: vom Passivhaus zum Energieplushaus*. München: Callwey.
- Hegger et al. 2007 Hegger, M., Fuchs, M., Stark, T., & Zeumer, M. (2007). *Energie-Atlas: nachhaltige Architektur* (1. Aufl.). München: Institut für Internationale Architektur-Dokumentation, Birkhäuser.
- Hegger et al. 2016 Hegger, M., Fafflok, C., & Hegger, J. (2016). *Aktivhaus: the reference work: from passivhaus to energy-plus house*. Basel: Birkhäuser.
- Heinekamp 2015a Heinekamp, C. (2015). Introduction: Laboratory Typologies. In E. Dittrich (Ed.), *The Sustainable Laboratory Handbook: Design, Equipment, and Operation* (pp. 3-12): Wiley-VCH.
- Heinekamp et al. 2006 Heinekamp, C., & Müller, I. M. (2006). *dr heinekamp - Labor und Institutsplanung*. Freising: APPL.
- Heinl 2013 Heinl, O. (2013) *gump & maier*. Amt für ländliche Entwicklung, Tirschenreuth. Abgerufen am 20.04.2018, auf <http://www.gump-maier.de/deutsch/gundm-projects/referenzen/amt-fuer-laendliche-entwicklung/amt-fuer-laendliche-entwicklung-tischenreuth.html>
- Hernandez et al. 2010 Hernandez, P., & Kenny, P. (2010). From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB). *Energy and Buildings*, 42(6), 815-821.
- IFMA 2012 Kühne, A., Emmerich, F., Hattenbauer, F., Kohn, D., Kranz, J., Neuber, I., . . . Runge, F. (2012). Vergleichswerte des Energieverbrauchs von Laborgebäuden der chemisch-pharmazeutischen Industrie. Berlin: Arbeitskreis IFMA Benchmarking.
- IFMA 2015 IFMA Benchmarking. (2015). *Energieverbrauchsdaten von Laborgebäuden der chemischen und pharmazeutischen Industrie*.
- Ishugah et al. 2014 Ishugah, T. F., Li, Y., Wang, R. Z., & Kiplagat, J. K. (2014). Advances in wind energy resource exploitation in urban environment: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 613-626.
- ISO 14040 DIN EN ISO 14040:2009-11. (2009) *Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework*. Berlin: Beuth.
- IWU 2007 Institut für Wohnen und Umwelt GmbH. (2007). *Querschnittsbericht Energieeffizienz im Wohngebäudebestand - Techniken, Potenziale, Kosten und Wirtschaftlichkeit*. Darmstadt.

- Keltsch 2015 Keltsch, M. (2015). Lieferung eines (fast) fertigen Neubaus in Modulbauweise - Zentrale Sterilgutversorgung am Klinikum rechts der Isar. *bau intern*, 1/2015, 6-7.
- Keltsch 2017 Keltsch, M. (2017). Nearly Zero Energy Laboratory Buildings (nZELab). Paper presented at the PLEA 2017 - Design to Thrive, 2th-5th July, Edinburgh.
- Keltsch et al. 2017 Keltsch, M., Lang, W., & Auer, T. (2017). Nearly Zero Energy Standard for Non-Residential Buildings with high Energy Demands—An Empirical Case Study Using the State-Related Properties of BAVARIA. *Buildings*, 7(1), 25.
- Kluge 1999 Kluge, S. (1999). Empirisch begründete Typenbildung : zur Konstruktion von Typen und Typologien in der qualitativen Sozialforschung. Opladen: Leske + Budrich.
- König et al. 2009 König, H., Kohler, N., KreiBig, J., & Lützkendorf, T. (2009). *Lebenszyklusanalyse in der Gebäudeplanung: Grundlagen, Berechnung, Planungswerkzeuge* (1. Aufl.). München: Institut für internationale Architektur-Dokumentation.
- Körner 2006 Körner, H.-M. (2006). *Geschichte des Königreichs Bayern*. München: Beck.
- Kuchenbecker 2008 Kuchenbecker, G. (2008). *Ein Labor für morgen: Entwicklung eines wandlungsfähigen Labors und seine Planungsmethodik*. Norderstedt: Books on Demand.
- Kusic 2009 Kusic, M. (2009). Die Erkenntnis zählt - offener, wissenschaftlicher 18599-Softwarevergleich. *Gebäude Energieberater*, 01-2009, 12-17.
- Landtag 1995 Bayerischer Landtag. (1995) *Umsetzung der energiepolitischen Ziele*. Vol. 13/2835. München: Bayerischer Landtag.
- Landtag 2008 Bayerischer Landtag. (2008) *Staatliche Neubauten in Holz*. Vol. 15/9962. München: Bayerischer Landtag.
- Lenz et al. 2010 Lenz, B., Schreiber, J., & Stark, T. (2010). *Nachhaltige Gebäudetechnik: Grundlagen, Systeme, Konzepte* (1. Aufl.). München: Institut für internationale Architektur-Dokumentation.
- Leppert 2011 Leppert, Q. (2011) *holzbauaustria. Qual der Wahl*. Abgerufen am 20.04.2018, auf http://www.holzbauaustria.at/index.php?id=111&tx_ttnews%5Btt_news%5D=4967&tcHash=b0210bc830cbaf1d4ef691618baed9d6
- Lichtmeß 2010a Lichtmeß, M. (2010). *Vereinfachungen für die energetische Bewertung von Gebäuden*. (Dissertation). Bergische Universität Wuppertal, Fachbereich D-Architektur.
- Lichtmeß 2010b Lichtmeß, M. (2010). *EnerCaIC, vereinfachte Energiebilanzen nach DIN V 18599*: EnOB: Onlineveröffentlichung EnOB-Plattform Energieoptimiertes Bauen.
- Loebe 2010 Loebe, J. E. (2010) *Wikimedia commons*. File:Rothenburg ob der Tauber Historiengew 002.JPG. Abgerufen am 01.12.2016, auf https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rothenburg_ob_der_Tauber_Historiengew_002.JPG
- Long et al. 2007 Long, N., Torcellini, P., Judkoff, R., Crawley, D., & Ryan, J.. (2007). *Assessment of the technical potential for achieving net zero-energy buildings in the commercial sector*. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory.
- Lüdi 2015 Lüdi, H. (2015). *Service Systems via Ceiling*. In E. Dittrich (Ed.), *The Sustainable Laboratory Handbook: Design, Equipment, and Operation* (pp. 133-144): Wiley-VCH.

- Lüking et al. 2011 Lüking, R.-M., & Hauser, G. (2011). Die thermische Konditionierung von Gebäuden im Kontext eines zukünftigen Energieversorgungssystems: Studie des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl.
- Lüking et al. 2012 Lüking, R.-M., & Hauser, G. (2012). Plusenergiehäuser: technische und ökonomische Grundlagen. Stuttgart: Fraunhofer Verl.
- Maderspacher 2017 Maderspacher, J. (2017). Robuste Optimierung in der Gebäudesimulation: Entwicklung einer Methode zur robusten Optimierung für die energetische Sanierung von Gebäuden unter unsicheren Randbedingungen. (Dissertation). Technische Universität München. Fakultät für Architektur.
- Marszal et al. 2011 Marszal, A. J., Heiselberg, P., Bourrelle, J. S., Musall, E., Voss, K., Sartori, I., & Napolitano, A. (2011). Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies. *Energy and Buildings*, 43(4), 971-979.
- Mathew et al. 2008 Mathew, P., Greenberg, S., Sartor, D., Rumsey, P., & Weale, J. (2008). Laboratory Performance – Metrics for Energy Efficiency. *ASHRAE journal*, April 2008, 40-47.
- MdBG 2013 Stadt Regensburg (2013) Museum der Bayerischen Geschichte: Jury gibt Entscheidung bekannt. Abgerufen am 20.04.2018, auf <https://www.regensburg.de/kultur/museen-in-regensburg/alle-museen/museum-d-bayer-geschichte/preistraeger-architektenwettbewerb>
- Milbrandt 2008 Milbrandt, R. M. (2008). Simulating energy efficiency in laboratory buildings. (Master of Science). Iowa State University, Ames. (14910).
- Mrshaba 2007 Mrshaba (2007) Wikimedia Commons. MIT Solar House One.png. Abgerufen am 07.11.2015, von https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MIT_Solar_House_One.png#/media/File:MIT_Solar_House_One.png
- Musall 2015 Musall, E. (2015). Klimaneutrale Gebäude – Internationale Konzepte, Umsetzungsstrategien und Bewertungsverfahren für Null- und Plusenergiegebäude. (Dissertation). Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal. Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen.
- Musall et al. 2015 Musall, E., & Voss, K. (2015). Null- und Plusenergiegebäude – Rahmenbedingungen, Bilanzen und Planungsansätze. *BINE-Themeninfo*, 2-2015.
- Nickl 2016 Nickl, C. (2016). Optimierungspotentiale für Ökobilanzwerte von Laborgebäuden. (Master Thesis). Technische Universität München. Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen.
- OBB 2011b Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern. (2011). Ministerrats-Beschluss „Künftiger Energiestandard für staatliche Gebäude“, Einführung für Baumaßnahmen des Freistaats. München: Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern.
- OBB 2014 Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr. (2014). Fachdatenbank Hochbau.
- OBB 2015a Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr. (2015). 7 | Energiebericht der Bayerischen Staatlichen Hochbauverwaltung (7). München.

- OBB 2015b Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr. (2015). Jahresbericht der Staatsbauverwaltung 2014 (7). München.
- OBB 2017 Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr (2017). Jahresbericht der Staatsbauverwaltung 2016. München.
- PA-ID 2015 PA-ID GmbH (2015). 2Power. Power and Heat – one module. Activhaus B10 – 200% renewable energy in Stuttgart. Abgerufen am 08.06.2018, auf <https://2power.de/en/references/house-of-the-future-b10>
- Pfab 2015 Pfab, P. (2015). Hochschulbau – Gebäudetechnik im Labor. Seminarreihe Hochschulbau. München.
- Pless et al. 2010 Pless, S., & Torcellini, P. (2010). Net-zero energy buildings: A classification system based on renewable energy supply options: National Renewable Energy Laboratory.
- PHI 2006 Passivhaus Institut (2006). Wikimedia Commons. Category:Passivhaus. Abgerufen am 07.11.2015, von <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1256639>
- Pohl 2016 Pohl, R. (2016). creative commons. flickr.com. Abgerufen am 31.03.2016, auf <https://www.flickr.com/photos/poly-image/>
- prognos et al. 2015 prognos, ifeu, & IWU. (2015). Hintergrundpapier zur Energieeffizienzstrategie Gebäude – Erstellt im Rahmen der Wissenschaftlichen Begleitforschung zur Erarbeitung einer Energieeffizienzstrategie Gebäude. Berlin, Heidelberg, Darmstadt.
- Quaschnig 2000 Quaschnig, V. (2000). Systemtechnik einer klimaverträglichen Elektrizitätsversorgung in Deutschland für das 21. Jahrhundert. Düsseldorf: VDI-Verl.
- Quietrevolution 2016 Quietrevolution. (2016). Product Specification Qr5 Vertical Axis Wind Turbine. www.quietrevolution.com/products. Abgerufen am 15.03.2017.
- Ripp 2016 Ripp, M. (2016). creative commons. flickr.com. Abgerufen am 31.03.2016, auf <https://www.flickr.com/photos/56218409@N03/>
- RLBau 2011 Gemeinsame Bekanntmachung des Bayerischen Staatsministeriums des Innern und des Bayerischen Staatsministeriums der Finanzen vom 25. Mai 2011. (2011). Richtlinien für die Durchführung von Hochbauaufgaben des Freistaates Bayern. München: Bayerisches Staatsministeriums des Innern und Bayerisches Staatsministeriums der Finanzen.
- Rodriguez et al. 2014 Rodriguez-Urbinas, E., Rodriguez, S., Voss, K., & Todorovic, M. (2014). Energy efficiency evaluation of zero energy houses. *Energy and Buildings*, 83, 23-35.
- Rotermund 2017 Rotermund.Ingenieure. (2017). FM Benchmarking-Bericht. Höxter: Ingenieures.
- Runge et al. 2015 Runge, F., & Petri, J. (2015). Consequences of the 2009 Energy-Saving Ordinance for Laboratories. In E. Dittrich (Ed.), *The Sustainable Laboratory Handbook: Design, Equipment, and Operation* (pp. 379-397): Wiley-VCH.

- Rupp 2015 Rupp, H. (2015) Oberste Baubehörde. Staatlicher Hochbau. Neubau Polizeiinspektion Mindelheim. Abgerufen am 10.03.2018, auf http://www.stmb.bayern.de/assets/stmi/projektdatenbank/iaa1_staatlicherhochbau_bauprojekte_stbake_polizeiinspektion_mindelheim_20161202.pdf
- Rydzewski 2015 Rydzewski, R. (2015). Ventilation and Air Conditioning Technology. In E. Dittrich (Ed.), *The Sustainable Laboratory Handbook: Design, Equipment, and Operation* (pp. 95-117): Wiley-VCH.
- Sartori et al. 2012 Sartori, I., Napolitano, A., & Voss, K. (2012). Net zero energy buildings: A consistent definition framework. *Energy and Buildings*, 48, 220-232.
- Schmidgen 2011 Schmidgen, H. (2011). Labor. Europäische Geschichte Online (EGO), 11-01-03.
- Schneider et al. 2015 Schneider, P., Pfoh, S., & Grimm, F. (2015). Leitfaden 01 - Ökologische Kenndaten Baustoffe und Bauteile. München: Projektplattform Energie.
- Schoof 2015 Schoof, J. (2015). Wer setzt den Standard? Gebäudezertifizierung in Deutschland. *Detail Green*, 02-2015, 80-85.
- Sharp 2010 Sharp, G. P. (2010). Demand-Based Control of Lab Air Change Rates. *ASHRAE journal*, 2-2010, 30-41.
- Sharp 2015 Sharp, G. (2015). Reducing Laboratory Energy Use with Demand-Based Control. In E. Dittrich (Ed.), *The Sustainable Laboratory Handbook: Design, Equipment, and Operation* (pp. 351-362): Wiley-VCH.
- Skurk 2010 Skurk, H. (2010). Betriebs sichere Rechenzentren - Leitfaden: BITKOM Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V.
- Spitaels 2005 Spitaels, J. (2005). Dynamische Leistungsschwankungen in Datencentern und Netzwerkräumen. 2005-2.
- Stampfl et al. 2013 Stampfl, P., Moosbrugger, M., & Kempfer, G. (2013). Wohnkomfort und Heizwärmeverbrauch im Passivhaus und Niedrigenergiehaus. www.innovativegebaeude.at/fileadmin/media/ig_vorarlberg/sandgrubenweg.pdf. Aufgerufen am 08.12.2017.
- Staniszewski 2015 Staniszewski, M. (2015). Safety Laboratories. In E. Dittrich (Ed.), *The Sustainable Laboratory Handbook: Design, Equipment, and Operation* (pp. 181-194): Wiley-VCH.
- Steffen 2015 Steffen, A. (2015). Vier Wände halten Maß. *politische ökologie*, 142, 85-91.
- StBAM2 2018 Staatliches Bauamt München 2 (2018). Hochbau. Projekte. Abgerufen am 20.04.2018, auf <https://www.stbam2.bayern.de/hochbau/projekte/MEN.php>
- StBAWM 2016 Staatliches Bauamt Weilheim (2016). Hochbau. Projekte. Neubau Finanzamt Garmisch-Partenkirchen. Abgerufen am 31.03.2016, auf http://www.stbawm.bayern.de/imperia/md/images/stbv/stbawm/hochbau/finanzamtgarmisch/neubau/1127_168.jpg
- StMI 2017 Bayerisches Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr & Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (2017). Holz zeitlos schön - Ausgewählte Holzbauarchitektur der Bayerischen Staatsregierung. <http://www.holz-zeitlos-schoen.bayern.de/broschueren/Holz-zeitlos-schoen.html>. Aufgerufen am 10.10.2017.

- SWM 2017 Stadtwerke München. (2017). Tarifauskunft. www.swm.de. Aufgerufen am 17.08.2017.
- Taellious 2008 Taellious, J. (2008). creative commons. flickr.com. Louis Kahn's Salk Institute. Abgerufen 06.09.2017, auf <https://www.flickr.com/photos/dreamsjung/3040455466/>
- Torcellini et al. 2006a Torcellini, P. A., & Crawley, D. B. (2006). Understanding zero-energy buildings. *ASHRAE journal*, 48(9), 62-69.
- Torcellini et al. 2006b Torcellini, P., Pless, S., Deru, M., & Crawley, D. (2006). Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. National Renewable Energy Laboratory; Pacific Grove, California.
- Trautschold 1841 Trautschold, W. (1841). Wikimedia commons. File:Justus von Liebig's Labor, 1840.jpg. Illustration in: „Bibliothek des allgemeinen und praktischen Wissens“, Band 3, Deutsches Verlagshaus Bong u. Co., Berlin, 1912, Herausgeber Emanuel Müller-Baden (eigener Scan). Abgerufen am 06.09.2017, auf https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Justus_von_Liebig's_Labor,_1840.jpg
- TRGS-526 2008 Ausschuss für Gefahrstoffe. (2008). Laboratorien. Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS), 526.
- Trox 2017 Fa.Trox Hr. Guber. (2017, Mai). Lüftungsanlage für Simulationsmodell. Interviewer: M. Keltsch. Unveröffentlichtes Interview.
- Tuschinski 2015 Tuschinski, M. (2015). Wirtschaftlichkeit berechnen als Nachweis für Anträge zur Befreiung von EnEV-Anforderungen. http://www.enev-online.com/enev_praxishilfen/150928_ausnahmen_befreiungen_antrag_nachweis_berechnung_wirtschaftlichkeit.htm. Aufgerufen am 15.06.2017.
- Tuschinski 2017 Tuschinski, M. (2017). GEG-Entwurf vorläufig eingefroren! Nach der Bundestagswahl soll es weitergehen! http://www.enev-online.eu/geg_news/170424_geg_eingefroren_bis_nach_bundestagswahl_2017.htm. Aufgerufen am 02.10.2017.
- UNFCCC 2015 United Nations Framework Convention on Climate Change. (2015). Paris Agreement. http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php. Aufgerufen am 13.10.2017.
- VDI 2051 VDI 2051:2016-12. (2016). Raumlufttechnik Laboratorien (VDI-Lüftungsregeln) (Entwurf). Berlin: Beuth.
- Voss et al. 2011 Voss, K., & Musall, E. (2011). Nullenergiegebäude: internationale Projekte zum klimaneutralen Wohnen und Arbeiten (1. Aufl.). Berlin: de Gruyter.
- Waldner 2016 Waldner Laboreinrichtung GmbH. (2016). Secuflow Laborabzüge Scala. Wangen.
- Waldner 2017 Fa. Waldner Hr. Schoeler. (2017). Lüftungsbilanzen für das Simulationsmodell / Interviewer: M. Keltsch. Unveröffentlichtes Interview.
- Watts et al. 2017 Watts, D., & Furniss, D. (2017). NeXtScale System M5 with Water Cool Technology (E5-2600 v3) - Product Guide. TIPS1241. <https://lenovopress.com/tips1241-nextscale-m5-wct-e5-2600-v3-supported-operating-systems>. Aufgerufen am 17.06.2017.
- Weisenbach 2017 Weisenbach, S. (2017). Love your Lab - Behaglichkeit, Information & Interaktion - der Nutzer im Labor. (Master Thesis). Technische Universität München. Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen.

- Welzer 2015 Welzer, H. (2015). *Selbst denken: Eine Anleitung zum Widerstand*. Frankfurt am Main: Fischer Taschenbuch.
- Weyres-Borchert et al. 2015 Weyres-Borchert, B., & Kasper, B. R. (2015). *Solare Wärme.: Technik - Planung – Hausanlage*. Stuttgart: Fraunhofer IRB.
- Wikimedia 2011 Francofranco56 (2011). Wikimedia Commons. Monte Rosa Hütte. Abgerufen am 06.11.2017, auf wikimedia commons; https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Monte_Rosa_Hutte.JPG
- Wimmer 2017 Wimmer, B. (2017). *Arbeitssicherheit im Labor aus Sicht der GUV / Interviewer M. Keltsch*. Unveröffentlichtes Interview.
- Winter 2015 Winter, B. (2015). *Legislation and Standards*. In E. Dittrich (Ed.), *The Sustainable Laboratory Handbook: Design, Equipment, and Operation* (pp. 401-411): Wiley-VCH.
- zehnder 2017 zehnder. (2017). *Heiz- und Kühldeckensysteme*. www.zehnder.de. Aufgerufen am 10.05.2017.
- Zimmermann et al. 2012 Zimmermann, S., Meijer, I., Tiwaria, M. K., Paredes, S., Michel, B., & Poulidakos, D. (2012). *Aquasar: A hot water cooled data center with direct energy reuse*. *Energy*, 43(1), 237-245.

18.5 Abbildungen

Abbildung 01-01:	Artikel 2 der Beschlüsse der UNFCCC in Paris 2015 [UNFCCC 2015]	12
Abbildung 01-02:	Zielbereich für einen klimaneutralen Gebäudebestand [prognos et al. 2015]	13
Abbildung 01-03:	Definition des Niedrigstenergiegebäudes [EPBD 2010]	13
Abbildung 01-04:	Neubauvolumen 2014 in Deutschland mit dem spezifischen nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf einer Referenzzone prozentual zur Nutzung Wohnen [destatis 2014]	14
Abbildung 01-05:	notwendige Reduktion des Stromverbrauchs amerikanischer Bestandsgebäude, wenn Solarstromanlagen auf den jeweiligen Dächern den Verbrauch in der Jahressumme ausgleichen sollen [Voss et al. 2011,16]	15
Abbildung 01-06:	Abwasserwärmerückgewinnung der zentralen Sterilgutversorgung am Klinikum rechts der Isar [Arlt 2014]	16
Abbildung 01-07:	Packzone mit Reinigungs- und Desinfektionsgeräten der zentralen Sterilgutversorgung am Klinikum rechts der Isar [Arlt 2014]	16
Abbildung 01-08:	Analysemethode Teil II	17
Abbildung 01-09:	Analysemethode Teil III	17
Abbildung 01-10:	Aufbau der Arbeit (Schema)	18
Abbildung 01-11:	Publikation [Keltsch et al. 2017]	19
Abbildung 01-12:	Publikation [Keltsch 2017]	19
Abbildung 02-01:	Umsetzung der EPBD 2010: Definition eines Niedrigstenergiestandards zum Stand April 2015 (Definition liegt vor = dunkelblaue Flächen; Definition im Genehmigungsverfahren = hellblaue Flächen; Definition liegt nicht vor = graue Flächen) [BPIE 2015]	25
Abbildung 03-01:	Gesetzeskaskade Energierecht für Gebäude in Deutschland (Stand Ende 2016)	28
Abbildung 03-02:	Entwicklung im Energierecht in Deutschland, Umfang der Bilanzierung & qualitative Entwicklung des spezifischen Energiebedarfs	29
Abbildung 04-01:	Schematische Darstellung der Teile der Normenreihe DIN V 18599 [DIN V 18599]	34
Abbildung 04-02:	Themenschwerpunkte der Normenreihe DIN V 18599	35
Abbildung 04-03:	Vergleich Gesamtwert DIN V 18599 und Neues Testament anhand der Anzahl der Wörter	36
Abbildung 04-04:	Primärenergiekennwert in Abhängigkeit vom verwendeten Programm und Aussteller [BMVBS 2012a, 33]	37

Abbildung 05-01:	Energetische Performance von Neubauten zwischen gesetzlichen Mindeststandard und Stand der Forschung am Beispiel einer durchschnittlichen Doppelhaushälfte [nach Erhorn et al. 2014, 6]	40
Abbildung 05-02:	Das erste Passivhaus Deutschlands in Darmstadt-Kranichstein [PHI 2006]	41
Abbildung 05-03:	Solar House One 1939 [Mrshaba 2007]	42
Abbildung 05-04:	Zusatzblatt Energieausweis eines Effizienzhaus Plus [Erhorn et al. 2014, 8]	43
Abbildung 05-05:	E+ Kita in Marburg (Opus Architekten) – gelungene Integration von PV-Systemen in die Gesamtgestalt der Architektur [ertex 2016]	43
Abbildung 05-06:	Handlungsfelder des Gebäudestandards AktivPlusHaus [AktivPlus 2016, 18]	44
Abbildung 05-07:	Monte Rosa Hütte – ein energieautarkes Gebäude [Wikimedia 2011]	44
Abbildung 05-08:	Aktivhaus B10 (Sobek Ingenieure) – Modellvorhaben eines LC-ZEB [PA-ID 2015]	45
Abbildung 05-09:	Kumulierter Energieaufwand eines Standardgebäudes und eines LC-ZEB; Darstellung nach [Schneider et al. 2015b, 20]	45
Abbildung 06-01:	Jährlicher Wärme- und Brennstoffverbrauch der bayerischen staatlichen Liegenschaften; Darstellung nach [OBB 2015a]	48
Abbildung 06-02:	Jährlicher Stromverbrauch der bayerischen Staatlichen Liegenschaften; Darstellung nach [OBB 2015a]	48
Abbildung 06-03:	Neubau „Erweiterung Maximilianeum“ als Verwaltungsbau im Passivhaus-Standard; Architekten: Léon Wohlhage Wernik, Berlin [StBAM2 2018]	49
Abbildung 06-04:	Neubau Museum der Bayerischen Geschichte in Regensburg – Modellvorhaben für Sonderbauten im Passivhaus-Standard; Architekten: wörner traxler richter, Frankfurt [MdBG 2013]	50
Abbildung 06-05:	Neubau der Interimshörsäle in Garching; Architekt: Deubzer König Rimmel, München [Leppert 2011]	51
Abbildung 06-06:	Hörsaal- und Verfügungsgebäude Universität Regensburg – zertifiziert mit BNB Silber; Arch.: Ferdinand Heide, Frankfurt a. M. [DHV 2012]	51
Abbildung 06-07:	Amt für ländliche Entwicklung Tirschenreuth; [Heinl 2013]	52
Abbildung 07-01:	Regensburger Dom „St. Peter“ [Ripp 2016]	56
Abbildung 07-02:	Würzburger Residenz [Pohl 2016]	56
Abbildung 07-03:	Neubau Polizeiinspektion in Mindelheim; Architekten: Staatliches Bauamt Kempten [Rupp 2015]	57
Abbildung 07-04:	Neubau Finanzamt Garmisch-Partenkirchen; Architekten: Bauer Architekten, München [StBAWM 2016]	57

Abbildung 07-05:	Analysedaten zum Liegenschaftsbestand des Freistaats Bayern; prozentuale Anteile der Kategorien am Gesamtbestand	60
Abbildung 07-06:	FDH Kategorie 1000 [OBB 2014]	61
Abbildung 07-07:	FDH Kategorie 2000 [OBB 2014]	61
Abbildung 07-08:	FDH Kategorie 3000 [OBB 2014]	61
Abbildung 07-09:	FDH Kategorie 4000 [OBB 2014]	62
Abbildung 07-10:	FDH Kategorie 5000 [OBB 2014]	62
Abbildung 07-11:	FDH Kategorie 6000 [OBB 2014]	62
Abbildung 07-12:	FDH Kategorie 7000 [OBB 2014]	63
Abbildung 07-13:	FDH Kategorie 8000 [OBB 2014]	63
Abbildung 07-14:	FDH Durchschnittswerte [OBB 2014]	64
Abbildung 08-01:	Stadtaktivhaus Frankfurt – verdichteter Wohnungsbau im Plusenergiestandard; Architekten: HHS AG, Kassel [espazium 2015]	66
Abbildung 08-02:	Plusenergie-Grundschule Hohen Neuendorf; IBUS Architekten, Berlin [BMW 2013]	66
Abbildung 08-03:	Vollständigkeit der EnEV-Nachweise der Case Studies in der Vorauswahl	67
Abbildung 08-04:	Übersicht Case-Studies nach BZK	68
Abbildung 08-05:	Beispiel eines Gebäudesteckbriefes	69
Abbildung 08-06:	Einordnung der ausgewählten Case-Studies in die Mittelwerte des Liegenschaftsbestandes	71
Abbildung 09-01:	Stromerzeugung und –bedarf während einer Sommerwoche (17.-24.07.2017) in Deutschland – die EE sorgen aktuell für eine gleichmäßigere Auslastung der konventionellen Kraftwerke [www.agora.de]	74
Abbildung 09-02:	Definition der Bilanzräume zur Anrechnung erneuerbarer Energien [Marszal et al. 2011]	76
Abbildung 09-03:	Szenario 1 - Definition eines nZEB über den Primär- (Q_p) und Endenergiebedarf (Q_e)	79
Abbildung 09-04:	Prinzip eines Netto-Nullenergiegebäudes nach der Input-Output-Bilanz [Voss et al. 2011]	80
Abbildung 09-05:	Szenario 2 - Definition eines nZEB über eine Input-Output-Bilanz [abgeleitet von Abbildung 09-04]	81
Abbildung 09-06:	Prinzipskizze für ein zu definierendes Anforderungsniveau eines nZEB 2021	82

Abbildung 09-07:	Zeitanteile für die Berechnung eines durchschnittlichen Mehrzonenmodells nach DIN V 18599 [Lichtmeß 2010a]	83
Abbildung 09-08:	Gegenüberstellung Berechnung Q'_p von drei Case Studies mit kommerzieller Software und EnerCalc 2013	84
Abbildung 09-09:	Erläuterung der Darstellung der Untersuchungsergebnisse aus Teil 2	89
Abbildung 10-01:	Spezifische Nutz-, End- und Primärenergiebedarfe der Case Study 01 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021	92
Abbildung 10-02:	Input-Output-Bilanz der spezifischen Primärenergie der Case Study 01 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021	92
Abbildung 10-03:	Spezifische Nutz-, End- und Primärenergiebedarfe der Case Study 02 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021	93
Abbildung 10-04:	Input-Output-Bilanz der spezifischen Primärenergie der Case Study 02 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021	93
Abbildung 10-05:	Spezifische Nutz-, End- und Primärenergiebedarfe der Case Study 03-1300 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021	94
Abbildung 10-06:	Input-Output-Bilanz der spezifischen Primärenergie der Case Study 03-1300 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021	94
Abbildung 10-07:	Spezifische Nutz-, End- und Primärenergiebedarfe der Case Study 04-2240 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021	95
Abbildung 10-08:	Input-Output-Bilanz der spezifischen Primärenergie der Case Study 04-2240 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021	95
Abbildung 10-09:	Spezifische Nutz-, End- und Primärenergiebedarfe der Case Study 05-2270 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021	96
Abbildung 10-10:	Input-Output-Bilanz der spezifischen Primärenergie der Case Study 05-2270 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021	96
Abbildung 10-11:	Spezifische Nutz-, End- und Primärenergiebedarfe der Case Study 06-2320 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021	97
Abbildung 10-12:	Input-Output-Bilanz der spezifischen Primärenergie der Case Study 06-2320 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021	97
Abbildung 10-13:	Spezifische Nutz-, End- und Primärenergiebedarfe der Case Study 07-2500 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021	98
Abbildung 10-14:	Input-Output-Bilanz der spezifischen Primärenergie der Case Study 07-2500 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021	98

Abbildung 10-15:	Spezifische Nutz-, End- und Primärenergiebedarfe der Case Study 08-3110 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021	99
Abbildung 10-16:	Input-Output-Bilanz der spezifischen Primärenergie der Case Study 08-3110 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021	99
Abbildung 10-17:	Spezifische Nutz-, End- und Primärenergiebedarfe der Case Study 09-4500 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021	100
Abbildung 10-18:	Input-Output-Bilanz der spezifischen Primärenergie der Case Study 09-4500 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021	100
Abbildung 10-19:	Spezifische Nutz-, End- und Primärenergiebedarfe der Case Study 10-4620 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021	101
Abbildung 10-20:	Input-Output-Bilanz der spezifischen Primärenergie der Case Study 10-4620 in den Ausführungen Referenzgebäude nach EnEV, IST-Zustand und dem indizierten Standard nZEB 2021	101
Abbildung 11-01:	Spezifische Endenergiebilanz der Case Studies	104
Abbildung 11-02:	Spezifische Endenergiebilanz prozentual zum jeweiligen Referenzgebäude der Case Studies	104
Abbildung 11-03:	Spezifische Primärenergiebilanz der Case Studies	105
Abbildung 11-04:	Spezifische Primärenergiebilanz prozentual zum jeweiligen Referenzgebäude der Case Studies	105
Abbildung 11-05:	Ergebnisübersicht aller Case Studies – Input-Output-Bilanz (Q'_{PNE} (kWh/m ² a)) in den energetischen Standards Referenzgebäude nach EnEV 2009 und nZEB 2021	106
Abbildung 11-06:	Ergebnisübersicht aller Case Studies – Input-Output-Bilanz (Q'_{PNE} (kWh/m ² a)) prozentual zum Referenzgebäude (RG = 100%) in den energetischen Standards RG und nZEB 2021	106
Abbildung 11-07:	Ergebnisübersicht Kategorie 1000 – Input-Output-Bilanz (Q'_{PNE} (kWh/m ² a)) prozentual zum Referenzgebäude (RG = 100%) in dem energetischen Standard nZEB 2021	108
Abbildung 11-08:	Ergebnisübersicht Kategorie 2000 – Input-Output-Bilanz (Q'_{PNE} (kWh/m ² a)) prozentual zum Referenzgebäude (RG = 100%) in dem energetischen Standard nZEB 2021	108
Abbildung 11-09:	Ergebnisübersicht Kategorie 3000 – Input-Output-Bilanz (Q'_{PNE} (kWh/m ² a)) prozentual zum Referenzgebäude (RG = 100%) in dem energetischen Standard nZEB 2021	108
Abbildung 11-10:	Ergebnisübersicht Kategorie 4000 – Input-Output-Bilanz (Q'_{PNE} (kWh/m ² a)) prozentual zum Referenzgebäude (RG = 100%) in dem energetischen Standard nZEB 2021	108
Abbildung 11-11:	Input-Output-Bilanz (Q'_{PNE} (kWh/m ² a)) mit Referenzgebäude (RG = 100%) – Definition eines Zielbereichs für Niedrigstenergiegebäude (nZEB 2021)	109

Abbildung 11-12:	Input-Output-Bilanz (Q_{PNE} (kWh/m ² a)) mit Referenzgebäude (RG = 100%) – Ergebnisübersicht der Case Studies für den Standard nZEB 2021	110
Abbildung 11-13:	Input-Output-Bilanz (Q_{PNE} (kWh/m ² a)) mit Referenzgebäude (RG = 100%) – konsekutive Verschärfung des Anforderungsniveaus nZEB 2026, 2031 & 2036	110
Abbildung 11-14:	Input-Output-Bilanz (Q_{PNE} (kWh/m ² a)) mit Referenzgebäude (RG = 100%) – Anforderungsniveau nZEB für große Bestandssanierungen (grüner Bereich)	111
Abbildung 11-15:	Risikoabschätzung Liegenschaftsbestand Freistaat Bayern in Bezug zum definierten Niedrigstenergiestandard nZEB 2021	113
Abbildung 12-01:	Nachgebildeter Arbeitsraum des Philosophen, Arztes und Chemikers Andreas Libavius (1555-1616) im Historienwölbe im Rathaus von Rothenburg ob der Tauber [Loebe 2010]	118
Abbildung 12-02:	Laboratorium von Justus Liebig (1803-1873) an der Universität Gießen um 1840 (Zeichnung von Wilhelm Trautschold) [Trautschold 1841]	118
Abbildung 12-03:	Salk Institute for Biological Studies in La Jolla in Kalifornien [Taellious 2008]	119
Abbildung 12-04:	Entscheidungsbaum zur Bedarfsfindung am Beispiel eines chemischen Syntheselabors [Heinekamp 2015a]	120
Abbildung 12-05:	Nutzungsneutrale Fassadengestaltung erlaubt eine Vielzahl an unterschiedlichen Räumen [Heddergott 2017]	120
Abbildung 12-06:	Erschließung als Zentrum der informellen Kommunikation im interdisziplinären Krebsforschungszentrum TranslaTUM; Architekten: doranth post, München	120
Abbildung 12-07:	Informelle Aufenthaltsbereiche (Teeküchen und Sitzgruppen) an zentralen Punkten im interdisziplinären Krebsforschungszentrum TranslaTUM; Architekten: doranth post, München	121
Abbildung 12-08:	Anteile der Nutzflächen (1-6 nach DIN 277) für die Raumgruppen Act, Think, Interact und Auxilliar [Cordes et al. 2007, 19]	121
Abbildung 12-09:	Mindestbreite für Labore unter Berücksichtigung der Durchgangs- und Bedienflächen [Cordes et al. 2007]	122
Abbildung 12-10:	Grundrisszonierungen (Bsp.) für Laborgebäude [Cordes et al. 2007]	123
Abbildung 12-11:	Erforderliche Geschosshöhe für Labore mit Abzügen [Cordes et al. 2007]	123
Abbildung 13-01:	Betriebskosten verschiedener Bautypologien in Relation zu den Baukosten [Hegger et al. 2007]	128
Abbildung 13-02:	Schematische Darstellung zur Erstellung des virtuellen Vergleichsgebäudes nach BNB	129
Abbildung 13-03:	Beispiel für ein Nutzungsprofil eines Laborraums im BNB Zertifizierungssystem [BNB 2014]	129
Abbildung 13-04:	Nutzungsprofil für Laborzonen nach DIN V 18599-10 [DIN V 18599]	130

Abbildung 13-05:	Energiebilanzen (Q'_{PNE}) einzelner Nutzungszonen eines Laborgebäudes; technische Ausführung nach Referenzgebäude EnEV 2013	131
Abbildung 13-06:	Vorschlag von Energiebedarfsgrenzwerten anhängig von der Luftwechselrate von Laborgebäuden [Runge et al. 2015]	131
Abbildung 13-07:	Strom-Monitoring Energiezentrum BTU Cottbus 2015 – Anteile einzelner Verbrauchssektoren am Gesamtstromverbrauch des Laborgebäudes; eigene Darstellung basierend auf [Hänel 2016, 39]	132
Abbildung 13-08:	Auswertung der Primärenergieverbräuche (nicht erneuerbar) von 259 Laborgebäuden des IFMA Benchmarking getrennt nach Baualtersklassen [IFMA 2015]	132
Abbildung 13-09:	Einfluss des Standortklimas auf den Energiebedarf eines Laborgebäudes [Dockx 2015]	133
Abbildung 13-10:	Mollier-Diagramm einer indirekten adiabaten Kühlung [Dockx 2015]	136
Abbildung 13-11:	Beispielhaftes Energieprofil eines Laborgebäudes für den Heiz- und Kühlenergiebedarf [Dockx 2015]	136
Abbildung 13-12:	Übersicht über die Fachbereiche der Interviewpartner der leitfadengeführten Experteninterviews: Architekten (A), TGA-Planer für Elektrotechnik (TE), Maschinenbau (TM) und Generalplaner (TA) sowie Laborplaner (TL)	137
Abbildung 14-01:	Durchschnittliche Nutzflächenverteilung (NF1-6) von Forschungsgebäuden (oben) und Nutzflächenverteilung Case Study (unten) [Cordes et al. 2007]	143
Abbildung 14-02:	Primärenergiebilanz (Q'_{PNE} (kWh(m ² a))) der Case Study im Monatsbilanzverfahren nach DIN V 18599	143
Abbildung 14-04:	Grundriss und Querschnitt der Untersuchungszone	145
Abbildung 14-03:	Isometrie der Case Study mit Darstellung der Untersuchungs-Laborzone	145
Abbildung 14-05:	Leistung (Endenergie) nach Energieträger (oben), Leistung (Endenergie) nach Anwendung (Mitte) und thermischer Innenraumkomfort nach DIN EN 15251 (unten) der Variante „Referenzgebäude EnEV 2013“	147
Abbildung 14-06:	Darstellung der Leistungsdaten der technischen Versorgungssysteme für Heizen und Kühlen in Abhängigkeit der Außentemperatur getrennt nach Chemienutzung (links) und Biologienutzung (rechts)	148
Abbildung 14-07:	Leistung (Endenergie) nach Energieträger (oben), Leistung (Endenergie) nach Anwendung (Mitte) und thermischer Innenraumkomfort nach DIN EN 15251 (unten) der Variante „01 RG_real“, Nutzung Chemielabor	150
Abbildung 14-08:	Leistung (Endenergie) nach Energieträger (oben), Leistung (Endenergie) nach Anwendung (Mitte) und thermischer Innenraumkomfort nach DIN EN 15251 (unten) der Variante „01 RG_real“, Nutzung Biologielabor	151
Abbildung 14-09:	Energiebilanzen und thermischer Innenraumkomfort nach DIN EN 15251 der Auswertezone Variante „RG_real“ einer repräsentativen Woche kalt (09.-15.01.2017; oben) und einer repräsentativen Woche warm (17.-25.07.2017; unten) getrennt nach Chemienutzung (links) und Biologienutzung (rechts)	153
Abbildung 15-01:	Übersicht Simulationsmodelle	156

Abbildung 15-02:	Leistung (Endenergie) nach Energieträger (oben) und thermischer Innenraumkomfort der Auswertezone nach DIN EN 15251 (unten) der Variante „02 PH-Env“ Nutzung Chemielabor	157
Abbildung 15-03:	Energiebilanzen und thermischer Innenraumkomfort nach DIN EN 15251 der Auswertezone BIO einer repräsentativen Woche kalt (09.-15.01.2017; oben) und einer repräsentativen Woche warm (17.-25.07.2017; unten) getrennt nach Variante „01 RG_real“ (links) und „02 PH-Env“ (rechts)	158
Abbildung 15-04:	Leistung (Endenergie) nach Energieträger (oben) und thermischer Innenraumkomfort der Auswertezone nach DIN EN 15251 (unten) der Variante „03 eff-Bel“ Nutzung Chemielabor	159
Abbildung 15-05:	Leistung (Endenergie) nach Energieträger (oben) und thermischer Innenraumkomfort der Auswertezone nach DIN EN 15251 (unten) der Variante „04 eff-WaeKae“ Nutzung Chemielabor	161
Abbildung 15-06:	Leistung (Endenergie) nach Energieträger (oben) und thermischer Innenraumkomfort der Auswertezone nach DIN EN 15251 (unten) der Variante „05 eff-RLT“ Nutzung Chemielabor	162
Abbildung 15-07:	Übersicht der Ergebnisse der einzelnen Effizienzmaßnahmen getrennt nach den Nutzungen Chemie (dunkelblau) und Biologie (hellblau)	163
Abbildung 15-08:	Leistung (Endenergie) nach Energieträger (oben) und thermischer Innenraumkomfort der Auswertezone nach DIN EN 15251 (unten) der Variante „06 LWredNZ“ Nutzung Chemielabor	165
Abbildung 15-09:	Leistung (Endenergie) nach Energieträger (oben) und thermischer Innenraumkomfort der Auswertezone nach DIN EN 15251 (unten) der Variante „07 LWRnuR“ Nutzung Chemielabor	166
Abbildung 15-10:	Leistung (Endenergie) nach Energieträger (oben) und thermischer Innenraumkomfort der Auswertezone nach DIN EN 15251 (unten) der Variante „08 KoLa“ Nutzung Chemielabor	167
Abbildung 15-11:	Übersicht der Ergebnisse der einzelnen Suffizienzmaßnahmen getrennt nach den Nutzungen Chemie (dunkelblau) und Biologie (hellblau)	168
Abbildung 15-12:	Energiebilanzen und thermischer Innenraumkomfort nach DIN EN 15251 der Auswertezone BIO einer repräsentativen Woche kalt (09.-15.01.2017; links) und einer repräsentativen Woche warm (17.-25.07.2017; rechts) der Variante „maxES“	170
Abbildung 15-13:	Leistung (Endenergie) nach Energieträger (oben) und thermischer Innenraumkomfort der Auswertezone nach DIN EN 15251 (unten) der Variante „maxES“ Nutzung Chemielabor	171
Abbildung 15-14:	Stromerzeugung (kW) der dachinstallierten PV-Anlage (orange) und der kumulierte Bedarf an Strom-Endenergie der Laborzone in der Variante „maxEff+PV_CHE“ (schwarz)	173
Abbildung 15-15:	Stromerzeugung (kW) der dachinstallierten KWK-Anlage mit horizontaler Achse (orange) und der kumulierte Bedarf an Strom-Endenergie der Laborzone in der Variante „maxEff+WK_CHE“ (schwarz)	176
Abbildung 15-16:	Gegenüberstellung von Wärmebedarf der Laborzone Modell „eff_WaeKae_BIO“ und der Abwärmeleistung einer anteiligen Servernutzung (+Abw) in (kW) im Jahresverlauf	179

Abbildung 15-17:	Gegenüberstellung von Wärmebedarf der Laborzone Modell „eff_WaeKae_BIO“ und der Abwärmeleistung einer anteiligen Servernutzung (+Abw) in (kW) einer typischen Winterwoche (links) und einer typischen Sommerwoche (rechts)	179
Abbildung 16-01:	Energiebedarfsbilanz (Q'_{PNE}) der Varianten „RG_real“, „maxEff“ und „maxES“ absolut und prozentual zum Referenzgebäude für die Nutzungen Chemie (links) und Biologie (rechts)	183
Abbildung 16-02:	Energiebedarfsbilanz (Q'_{PNE}) der Varianten „RG_real“, „maxEK“ (maximale Effizienz und Konsistenz) und „maxESK“ (maximale Effizienz, Suffizienz und Konsistenz) absolut und prozentual zum Referenzgebäude für die Nutzungen Chemie (links) und Biologie (rechts)	184
Abbildung 16-03:	Schaubild der Maßnahmen zur Reduktion der Nutzenergie	186
Abbildung 16-04:	Heiz- und Kälteleistung der Systeme RLT, statische Heizung und statische Kühlung in Abhängigkeit der Außentemperatur am Beispiel „RG_real CHE“	187
Abbildung 16-05:	Schaubild der Maßnahmen zur Reduktion der Endenergie	188
Abbildung 16-06:	Schaubild der Maßnahmen zur Reduktion der Primärenergie	190
Abbildung 17-01:	Potentialbereich der Laborzone BIO aus Teil III im Zielbereich eines nZEB 2021 aus Teil II	197

18.6 Tabellen

Tabelle 05-01:	Anteil der durch die KfW geförderten Maßnahmen im Wohnungsbau 2014	40
Tabelle 07-01:	Systematik BZK am Beispiel eines Finanzamtes [ARGEBAU 2010]	58
Tabelle 08-01:	Vorauswahl der Untersuchungsobjekte (Case Studies)	66
Tabelle 08-02:	Untersuchungsobjekte (Case Studies)	68
Tabelle 08-03:	Übersicht der wichtigsten Kenndaten der Case-Studies	70
Tabelle 09-01:	Wertungsübersicht zur Wahl der Bilanzierungsmethode Teil 1	81
Tabelle 09-02:	Übersicht der gewählten nZEB-Kriterien	84
Tabelle 09-03:	Übersicht der Baustandards der Gebäudehülle	85
Tabelle 09-04:	Übersicht der Baustandards der Gebäudetechnik	86
Tabelle 09-06:	Übersicht der Konsistenzmaßnahmen	87
Tabelle 09-05:	Evaluierung verschiedener Wärmeerzeugungsanlagen am Beispiel einer Case Study	87
Tabelle 09-07:	Dachflächen der analysierten Fallbeispiele zur Nutzung von Strahlungsenergie (EE) in Form von Solarthermie (ST) und Photovoltaik (PV)	88
Tabelle 10-01:	Ergebnisübersicht Case Study 01-1100	92
Tabelle 10-02:	Ergebnisübersicht Case Study 02-1200	93
Tabelle 10-03:	Ergebnisübersicht Case Study 03-1300	94
Tabelle 10-04:	Ergebnisübersicht Case Study 04-2240	95
Tabelle 10-05:	Ergebnisübersicht Case Study 05-2270	96
Tabelle 10-06:	Ergebnisübersicht Case Study 06-2320	97
Tabelle 10-07:	Ergebnisübersicht Case Study 07-2500	98
Tabelle 10-08:	Ergebnisübersicht Case Study 08-3110	99
Tabelle 10-09:	Ergebnisübersicht Case Study 09-4500	100
Tabelle 10-10:	Ergebnisübersicht Case Study 10-4620	101

Tabelle 11-01:	Risikoabschätzung mit den Kriterien Technikanteil (KG4/BWK) und Anzahl der Nutzgeschosse am Beispiel der Analysedaten FDH Bayern	113
Tabelle 12-01:	Stark vereinfachte Übersicht der Schutzstufen von Chemie- und Biologielaboren (Quellen siehe Regelwerk)	124
Tabelle 13-01:	Durchschnittliche Energieverbrauchswerte der Laborgebäude ab Baujahr 2002 auf Basis von [IFMA 2015]	133
Tabelle 13-02:	Zusammenfassung der Experteninterviews	138
Tabelle 14-01:	Übersicht der Einzelsimulationen und Kombinationsmodelle	142
Tabelle 14-02:	Technische Ausführung für die Variante „Referenzgebäude EnEV 2013“ [EnEV 2013]	146
Tabelle 14-03:	Ergebnisübersicht Variante „00 RG_EnEV“	148
Tabelle 14-04:	Technische Ausführung für die Variante „01 RG_real“, differenziert in die Nutzungen Chemielabor (CHE) und Biologielabor (BIO)	149
Tabelle 14-05:	Ergebnisübersicht Variante „01 RG_real“	152
Tabelle 15-01:	Technische Änderungen für die Variante „02 PH-Env“, differenziert in die Nutzungen Chemielabor (CHE) und Biologielabor (BIO)	157
Tabelle 15-02:	Ergebnisübersicht Variante „02 PH-Env“	157
Tabelle 15-03:	technische Änderungen für die Variante „03 eff-Bel“, differenziert in die Nutzungen Chemielabor (CHE) und Biologielabor (BIO)	160
Tabelle 15-04:	Ergebnisübersicht Variante „03 eff-Bel“	160
Tabelle 15-05:	Technische Ausführung für die Variante „04 eff-WaeKae“, differenziert in die Nutzungen Chemielabor (CHE) und Biologielabor (BIO)	160
Tabelle 15-06:	Ergebnisübersicht Variante „04 eff-WaeKae“	160
Tabelle 15-07:	Technische Ausführung für die Variante „05 eff-RLT“, differenziert in die Nutzungen Chemielabor (CHE) und Biologielabor (BIO)	163
Tabelle 15-08:	Ergebnisübersicht Variante „05 eff-RLT“	163
Tabelle 15-09:	Übersicht der Ergebnisse der einzelnen Effizienzmaßnahmen getrennt nach den Nutzungen Chemie und Biologie	163
Tabelle 15-10:	Technische Ausführung für die Variante „06 LWRredNZ“, differenziert in die Nutzungen Chemielabor (CHE) und Biologielabor (BIO)	164
Tabelle 15-11:	Ergebnisübersicht Variante „06 LWRredNZ“	164

Tabelle 15-12:	Technische Ausführung für die Variante „07 LWRnuR“, differenziert in die Nutzungen Chemielabor (CHE) und Biologielabor (BIO)	165
Tabelle 15-13:	Ergebnisübersicht Variante „07 LWRnuR“	165
Tabelle 15-14:	Technische Ausführung für die Variante „08 KoLa“, differenziert in die Nutzungen Chemielabor (CHE) und Biologielabor (BIO)	167
Tabelle 15-15:	Ergebnisübersicht Variante „08 KoLa“	167
Tabelle 15-16:	Übersicht der Ergebnisse der einzelnen Effizienzmaßnahmen getrennt nach den Nutzungen Chemie und Biologie	168
Tabelle 15-17:	Übersicht der Ergebnisse der schrittweise addierten Effizienzmaßnahmen getrennt nach den Nutzungen Chemie und Biologie	169
Tabelle 15-18:	Übersicht der Ergebnisse der schrittweise addierten Suffizienzmaßnahmen getrennt nach den Nutzungen Chemie und Biologie	169
Tabelle 15-19:	Übersicht beider Strategien mit den weiteren Untersuchungsmodellen „maxEff“ und „maxES“	171
Tabelle 15-20:	Ermittlung der anteiligen Dachfläche der Untersuchungszone für PV-Nutzung	172
Tabelle 15-21:	Übersicht Konsistenzmaßnahme „PV“ mit den Untersuchungsmodellen „maxEff“ und „maxES“	172
Tabelle 15-22:	Anteil des ins Netz eingespeisten PV-Stroms der Varianten „maxEff“ und „maxES“ getrennt nach den Nutzungen Chemie und Biologie	173
Tabelle 15-23:	PV-Potentiale für die Varianten Dach- und Fassadeninstallation für das Untersuchungsmodell	173
Tabelle 15-24:	Vergleich Solarthermie am Untersuchungsmodell mittel Flachkollektoren und Vakuumröhrenkollektoren: Modulkosten [Energie-Datenbank 2017], Heizenergiebedarfe (Endenergie) für Strom (Grundlast) und Gas (Spitzenlast) und Energiekosten [SWM 2017]	174
Tabelle 15-25:	Übersicht Konsistenzmaßnahme „ST“ mit den Untersuchungsmodellen „maxEff“ und „maxES“	174
Tabelle 15-26:	Übersicht Konsistenzmaßnahme „PVT“ mit den Untersuchungsmodellen „maxEff“ und „maxES“	175
Tabelle 15-27:	Vergleich der Stromproduktion durch auf dem Gebäude installierte Kleinwindkraftanlagen zwischen einem Modell mit vertikaler Achse [Quietrevolution 2016] und einem Modell mit horizontaler Achse [Braun 2017]	176
Tabelle 15-28:	Übersicht Konsistenzmaßnahme „WK“ mit den Untersuchungsmodellen „maxEff“	176
Tabelle 15-29:	Aufstellung der Kühlleistung/Heizlast eines beispielhaften Serverraums mit 36 m2 Grundfläche und wassergekühlten Racks [Watts et al. 2017]	177
Tabelle 15-30:	Berechnung der anteiligen Kühlleistung der Laborzone an der angenommenen Serverkonfiguration	177

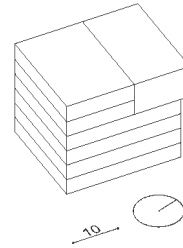
Tabelle 15-31:	Reduktionspotential nicht erneuerbarer Primärenergie durch die Abwärmenutzung Serverraum für die Laborzone „eff_WaeKae_BIO“	178
Tabelle 15-32:	Übersicht Konsistenzmaßnahme „AbW“ mit den Untersuchungsmodellen „maxEff“ und „maxES“	178
Tabelle 15-33:	Übersicht der Ergebnisse der einzelnen Konsistenzmaßnahmen mit den Untersuchungsmodellen „maxEff“ und „maxES“	180
Tabelle 16-01:	Empfehlungen „Suffizienz für Niedrigstenergie-Labore“	187
Tabelle 16-02:	Empfehlungen „Effizienz für Niedrigstenergie-Labore“	189
Tabelle 16-03:	Empfehlungen „Konsistenz für Niedrigstenergie-Labore“	191

19.1	Anhang 08-A1 – Case Studies Steckbriefe	240
19.2	Anhang 13-A1 – Interviewleitfaden	250
19.3	Anhang 13-A2 – Zusammenfassung der Experteninterviews	254
19.4	Anhang 14-A1 – Lüftungsprofile	264
19.5	Anhang 15-A1 – Simulationsgrafiken und –ergebnisse	280

19.1 Anhang 08-A1 - Case Studies Steckbriefe

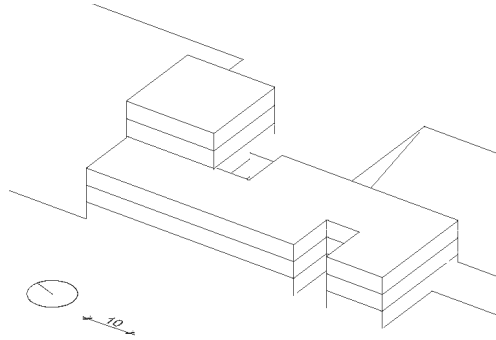
Steckbrief Case Study 01

01-1100			
Nutzung	Parlamentsgebäude		
BZK	1100		
Geschosse oi	6	ohne TG	
Geschosse ui	2		
Bauform	im Zusammenhang bebaut		
Dachform	Flachdach		
Orientierung	Süd-Südwest		
Gebäudegeometrie			
Dachfläche 1	613,3 m ²		
Dachfenster	5,8 m ²		
Fassade Süd	240,4 m ²		
Fassade West	293,4 m ²		
Fassade Nord	230,5 m ²		
Fassade Ost	369,8 m ²		
Fenster Süd	104,5 m ²		
Fenster West	218,3 m ²		
Fenster Nord	178,9 m ²		
Fenster Ost	220,3 m ²		
Kellerwand 1	724,0 m ²		
Bodenplatte 1	570,8 m ²		
Tür	31,2 m ²		
NFa 1-6	2.319 m ²	A _N Gesamt	3.623 m ²
TF	345 m ²	beheiztes Vol.	16.350 m ³
VF	964 m ²	therm Hüllfläche	3.848 m ²
NGF	4.272 m ²	A/V Verhältnis	0,24 m ⁻¹
KGF	737 m ²	Fenster-Anteil	39 %
BGF	5.009 m ²	Installationsgrad / Technikanteil	
BRI	16.434 m ³	Anteil KG 4 an den BWK (%)	34 %
Energetische Kennwerte			
Bezugsniveau	EnEV 2013	RG EnEV (kWh/m ² a)	Zonierung
Spez. Primärenergiebedarf	Q_p'	118,6	
Heizung	Q _{p,h} '	57,7	01 Einzelbüro 1269 m ²
Warmwasser	Q _{p,w} '	3,0	16 WC Sanitär 164 m ²
Beleuchtung	Q _{p,l} '	25,2	17 sonst. Aufenthalt 33 m ²
Kühlung	Q _{p,c} '	18,0	19 Verkehrsfl. 286 m ²
Lüftung	Q _{p,v} '	14,7	04 Sitzung 236 m ²
Hilfsenergie	Q _{p,aux} '	0,1	31 Sporth 294 m ²
Spez. Endenergiebedarf	Q_E'	86,7	20 Lager, Technik 539 m ²
Heizung	Q _{E,h} '	52,0	21 Serverraum 87 m ²
Warmwasser	Q _{E,w} '	2,5	19 Verkehrsfl. 511 m ²
Beleuchtung	Q _{E,l} '	14,0	19 Verkehrsfl. 203 m ²
Kühlung	Q _{E,c} '	10,0	
Lüftung	Q _{E,v} '	8,1	
Hilfsenergie	Q _{E,aux} '	0,1	



02-1200

Nutzung	Gerichtsgebäude
BZK	1200
Geschosse oi	3
Geschosse ui	2
Bauform	freistehend
Dachform	Flachdach
Orientierung	Süd-West



Gebäudegeometrie

Dachfläche 1	1.957,4 m ²
Dachfenster	33,0 m ²
Fassade Sü	385,7 m ²
Fassade We	445,8 m ²
Fassade No	342,9 m ²
Fassade Os	393,6 m ²
Fenster Sü	193,1 m ²
Fenster We	258,2 m ²
Fenster No	212,3 m ²
Fenster Os	196,0 m ²
Kellerwand 1	762,0 m ²
Bodenplatte 1	2017,1 m ²

NFa 1-6	2.727 m ²
TF	274 m ²
VF	1.313 m ²
NGF	1.301 m ²
KGF	m ²
BGF	5.392 m ²
BRI	19.944 m ³

A _N Gesamt	4.487 m ²
beheiztes Vol.	19.944 m ³
therm Hüllfläche	7.197 m ²
A/V Verhältnis	0,36 m ⁻¹
Fenster-Anteil	35 %
Installationsgrad / Technikanteil	
Anteil KG 4 an den BWK (%)	30 %

Energetische Kennwerte

Bezugsniveau	EnEV 2013	RG EnEV (kWh/m ² a)
--------------	-----------	-----------------------------------

Spez. Primärenergiebedarf	Q _p '	95,0
Heizung	Q _{p,h} '	45,5
Warmwasser	Q _{p,w} '	9,6
Beleuchtung	Q _{p,l} '	27,7
Kühlung	Q _{p,c} '	7,1
Lüftung	Q _{p,v} '	13,5
Hilfsenergie	Q _{p,aux} '	-8,4

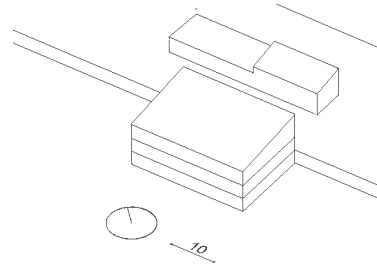
Spez. Endenergiebedarf	Q _E '	68,4
Heizung	Q _{E,h} '	40,9
Warmwasser	Q _{E,w} '	5,3
Beleuchtung	Q _{E,l} '	15,4
Kühlung	Q _{E,c} '	4,0
Lüftung	Q _{E,v} '	7,5
Hilfsenergie	Q _{E,aux} '	-4,7

Zonierung

01 Einzelbüro	1567 m ²
04 Sitzung	440 m ²
05 Schalterhalle	279 m ²
16 WC Sanitär	100 m ²
19 Verkehrsfläche	1139 m ²
20 Lager Technik	962 m ²

03-1340

Nutzung	Polizeiinspektion
BZK	1340
Geschosse oi	2
Geschosse ui	1
Bauform	freistehend
Dachform	Pulldach
Orientierung	Süd-West

**Gebäudegeometrie**

Dachfläche 1	506,9 m ²
Dachfenster	4,2 m ²
Fassade Sü	198,7 m ²
Fassade We	100,9 m ²
Fassade No	172,6 m ²
Fassade Os	106,6 m ²
Fenster Sü	58,5 m ²
Fenster We	31,4 m ²
Fenster No	59,1 m ²
Fenster Os	25,7 m ²
Kellerwand 1	266,63 m ²
Bodenplatte 1	423,15 m ²

NFa 1-6	608 m ²
TF	78 m ²
VF	261 m ²
NGF	1.301 m ²
KGF	321 m ²
BGF	1.622 m ²
BRI	5.885 m ³

A _N Gesamt	909 m ²
beheiztes Vol.	4.843 m ³
therm Hüllfläche	1.954 m ²
A/V Verhältnis	0,33 m ⁻¹
Fenster-Anteil	23 %
Installationsgrad / Technikanteil	
Anteil KG 4 an den BWK (%)	30 %

Energetische Kennwerte

Bezugsniveau	EnEV 2013	RG EnEV (kWh/m ² a)
--------------	-----------	-----------------------------------

Spez. Primärenergiebedarf	Q_p'	45,6
Heizung	Q _{p,h} '	16,9
Warmwasser	Q _{p,w} '	1,9
Beleuchtung	Q _{p,l} '	13,2
Kühlung	Q _{p,c} '	0,5
Lüftung	Q _{p,v} '	13,0
Hilfsenergie	Q _{p,aux} '	0,1

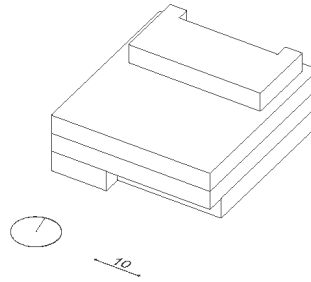
Spez. Endenergiebedarf	Q_E'	96,2
Heizung	Q _{E,h} '	80,7
Warmwasser	Q _{E,w} '	0,6
Beleuchtung	Q _{E,l} '	7,4
Kühlung	Q _{E,c} '	0,3
Lüftung	Q _{E,v} '	7,2
Hilfsenergie	Q _{E,aux} '	0,0

Zonierung

19 Verkehrsflächen	348 m ²
16 WC Sanitär	98 m ²
20 Lager Technik Archiv	247 m ²
17 sonst. Aufenthalt	66 m ²
02 Gruppenbüro	278 m ²
17 Wache	65 m ²

04-2240

Nutzung	Institutsgebäude
BZK	2240
Geschosse oi	4
Geschosse ui	1
Bauform	freistehend
Dachform	Flachdach
Orientierung	keine

**Gebäudegeometrie**

Dachfläche 1	1.397,7 m ²
Dachfenster	40,1 m ²
Fassade Sü	438,7 m ²
Fassade We	456,8 m ²
Fassade No	589,8 m ²
Fassade Os	477,7 m ²
Fenster Sü	152,0 m ²
Fenster We	167,3 m ²
Fenster No	148,1 m ²
Fenster Os	135,6 m ²
Kellerwand 1	511,2 m ²
Bodenplatte 1	1437,8 m ²

NFa 1-6	2.147 m ²
TF	889 m ²
VF	1.469 m ²
NGF	4.831 m ²
KGF	884 m ²
BGF	5.715 m ²
BRI	23.318 m ³

A _N Gesamt	4.761 m ²
beheiztes Vol.	18.331 m ³
therm Hüllfläche	5.953 m ²
A/V Verhältnis	0,26 m ⁻¹
Fenster-Anteil	24 %
Installationsgrad / Technikanteil	
Anteil KG 4 an den BWK (%)	47 %

Energetische Kennwerte

Bezugsniveau	EnEV 2013	RG EnEV (kWh/m ² a)
--------------	-----------	-----------------------------------

Spez. Primärenergiebedarf	Q _p '	127,3
Heizung	Q _{p,h} '	67,2
Warmwasser	Q _{p,w} '	6,4
Beleuchtung	Q _{p,l} '	25,7
Kühlung	Q _{p,c} '	7,8
Lüftung	Q _{p,v} '	20,1
Hilfsenergie	Q _{p,aux} '	0,1

Spez. Endenergiebedarf	Q _E '	103,3
Heizung	Q _{E,h} '	73,0
Warmwasser	Q _{E,w} '	0,5
Beleuchtung	Q _{E,l} '	14,3
Kühlung	Q _{E,c} '	4,3
Lüftung	Q _{E,v} '	11,2
Hilfsenergie	Q _{E,aux} '	0,0

Zonierung

36 Labor	337 m ²
02 Gruppenbüro	696 m ²
17 sonst. Aufenthalt	46 m ²
04 Besprechung	355 m ²
20 Lager Technik	1223 m ²
19 Verkehrsfläche	1366 m ²
16 WC Sanitär	137 m ²
22.3 Gewerbliche Hallen	601 m ²

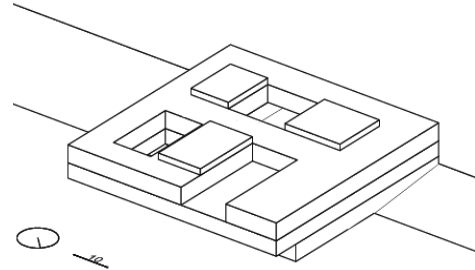
05-2270

Nutzung	Institutsgebäude
BZK	2270
Geschosse oi	3
Geschosse ui	1
Bauform	freistehend
Dachform	Flachdach
Orientierung	keine

Gebäudegeometrie

Dachfläche 1	2.897,9 m ²
Dachfenster	53,1 m ²
Fassade Sü	433,1 m ²
Fassade We	379,1 m ²
Fassade No	418,9 m ²
Fassade Os	349,7 m ²
Fenster Sü	569,7 m ²
Fenster We	260,5 m ²
Fenster No	600,64 m ²
Fenster Os	459,99 m ²
Kellerwand 1	629,01 m ²
Bodenplatte 1	2905,9 m ²
Decke an Aussenluft	926 m ²

NFa 1-6	4.353 m ²
TF	978 m ²
VF	2.463 m ²
NGF	7.793 m ²
KGF	978 m ²
BGF	9.978 m ²
BRI	45.185 m ³



A _N Gesamt	7.056 m ²
beheiztes Vol.	36.731 m ³
therm Hüllfläche	10.884 m ²
A/V Verhältnis	0,3 m ⁻¹
Fenster-Anteil	43 %
Installationsgrad / Technikanteil	
Anteil KG 4 an den BWK (%)	35 %

Energetische Kennwerte

Bezugsniveau	EnEV 2013	RG EnEV (kWh/m ² a)
--------------	-----------	-----------------------------------

Spez. Primärenergiebedarf	Q _p '	154,8
Heizung	Q _{p,h} '	66,0
Warmwasser	Q _{p,w} '	7,0
Beleuchtung	Q _{p,l} '	30,3
Kühlung	Q _{p,c} '	26,9
Lüftung	Q _{p,v} '	24,6
Hilfsenergie	Q _{p,aux} '	0,0

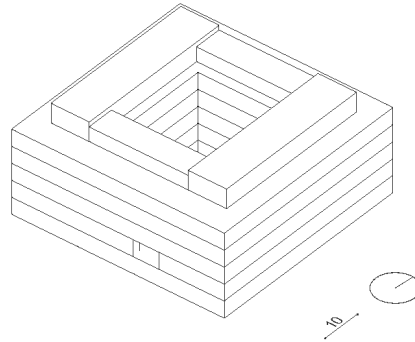
Spez. Endenergiebedarf	Q _E '	168,1
Heizung	Q _{E,h} '	134,7
Warmwasser	Q _{E,w} '	0,7
Beleuchtung	Q _{E,l} '	16,8
Kühlung	Q _{E,c} '	2,1
Lüftung	Q _{E,v} '	13,7
Hilfsenergie	Q _{E,aux} '	0,1

Zonierung

04 Unterricht	1350,4 m ²
02 Büro	503,9 m ²
22 Werkstatt	1144 m ²
18 Nebenflächen	1001,2 m ²
16 Sanitär	180,5 m ²
09 Auditorium	646,6 m ²
19 Verkehrsflächen	1206,2 m ²
24 Foyer	863,6 m ²
21 Serverraum	157,91 m ²

06-2320

Nutzung	Laborgebäude
BZK	2320
Geschosse oi	5 plus TG
Geschosse ui	2
Bauform	freistehend
Dachform	Flachdach
Orientierung	keine

**Gebäudegeometrie**

Dachfläche 1	3.321,6 m ²
Fassade Sü	568,6 m ²
Fassade We	687,8 m ²
Fassade No	583,7 m ²
Fassade Os	573,6 m ²
Fenster Sü	949,0 m ²
Fenster We	1031,8 m ²
Fenster No	951,52 m ²
Fenster Os	909,6 m ²
Kellerwand 1	701,2 m ²
Bodenplatte 1	3376 m ²

NFa 1-6	8.316 m ²
TF	2.569 m ²
VF	3.984 m ²
NGF	16.407 m ²
KGF	1.948 m ²
BGF	18.525 m ²
BRI	74.947 m ³

A _N Gesamt	11.937 m ²
beheiztes Vol.	56.318 m ³
therm Hüllfläche	13.654 m ²
A/V Verhältnis	0,18 m ⁻¹
Fenster-Anteil	62 %
Installationsgrad / Technikanteil	
Anteil KG 4 an den BWK (%)	50 %

Energetische Kennwerte

Bezugsniveau	EnEV 2013	RG EnEV (kWh/m ² a)
--------------	-----------	-----------------------------------

Spez. Primärenergiebedarf	Q _p '	272,1
Heizung	Q _{p,h} '	128,7
Warmwasser	Q _{p,w} '	11,7
Beleuchtung	Q _{p,l} '	43,3
Kühlung	Q _{p,c} '	1,7
Lüftung	Q _{p,v} '	89,5
Hilfsenergie	Q _{p,aux} '	-2,8

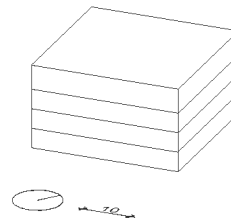
Spez. Endenergiebedarf	Q _E '	272,4
Heizung	Q _{E,h} '	183,3
Warmwasser	Q _{E,w} '	16,0
Beleuchtung	Q _{E,l} '	24,1
Kühlung	Q _{E,c} '	0,9
Lüftung	Q _{E,v} '	49,7
Hilfsenergie	Q _{E,aux} '	-1,6

Zonierung

36 Labore belüftet	5695 m ²
36 Labore sonst	1791,5 m ²
19 Verkehrsflächen	4450,5 m ²
20 Technik	m ²

07-2500

Nutzung	Laborgebäude
BZK	2500
Geschosse oi	4
Geschosse ui	2
Bauform	freistehend
Dachform	Flachdach
Orientierung	Süd-Ost

**Gebäudegeometrie**

Dachfläche 1	968,3 m ²
Fassade Sü	423,2 m ²
Fassade We	442,7 m ²
Fassade No	210,2 m ²
Fassade Os	422,3 m ²
Fenster Sü	92 m ²
Fenster We	112 m ²
Fenster No	305 m ²
Fenster Os	92 m ²
Kellerwand 1	494,4 m ²
Bodenplatte 1	968,3 m ²

NFa 1-6	1.985 m ²
TF	1.855 m ²
VF	1.280 m ²
NGF	5.120 m ²
KGF	702 m ²
BGF	5.822 m ²
BRI	24.440 m ³

A _N Gesamt	4.319 m ²
beheiztes Vol.	16.993 m ³
therm Hüllfläche	4.530 m ²
A/V Verhältnis	0,27 m ⁻¹
Fenster-Anteil	29 %
Installationsgrad / Technikanteil	
Anteil KG 4 an den BWK (%)	52 %

Energetische Kennwerte

Bezugsniveau	EnEV 2013	RG EnEV (kWh/m ² a)
--------------	-----------	-----------------------------------

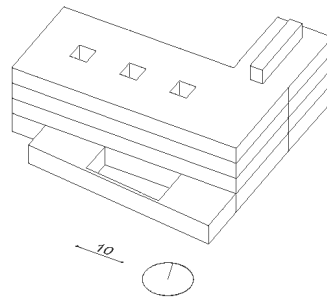
Spez. Primärenergiebedarf	Q _p '	230,5
Heizung	Q _{p,h} '	70,2
Warmwasser	Q _{p,w} '	6,8
Beleuchtung	Q _{p,l} '	35,1
Kühlung	Q _{p,c} '	54,8
Lüftung	Q _{p,v} '	63,6
Hilfsenergie	Q _{p,aux} '	0,0
Spez. Endenergiebedarf	Q _E '	180,4
Heizung	Q _{E,h} '	94,6
Warmwasser	Q _{E,w} '	0,5
Beleuchtung	Q _{E,l} '	19,5
Kühlung	Q _{E,c} '	30,4
Lüftung	Q _{E,v} '	35,3
Hilfsenergie	Q _{E,aux} '	0,1

Zonierung

04 Besprechung	134,84 m ²
36 Labor	867,7 m ²
20 Lager Technik	1168,3 m ²
37 OP	186,53 m ²
16 Sanitär	235,28 m ²
17 Tierhaltung	280,66 m ²
19 Verkehrsfl.	1050,7 m ²
15 Spülküche	19,28 m ²
19 Verkehrsfl.	375,67 m ²

08-3110

Nutzung	Behandlungszentrum
BZK	3110
Geschosse oi	4 plus TG
Geschosse ui	2
Bauform	im Zusammenhang bebaut
Dachform	Flachdach
Orientierung	Süd-Südwest

**Gebäudegeometrie**

Dachfläche 1	2.477,9 m ²
Fassade Sü	444,0 m ²
Fassade We	321,9 m ²
Fassade No	194,88 m ²
Fassade Os	295,5 m ²
Fenster Sü	350 m ²
Fenster We	380 m ²
Fenster No	332,05 m ²
Fenster Os	396,6 m ²
Kellerwand 1	2008,8 m ²
Bodenplatte 1	2477,9 m ²

NFa 1-6	4.151 m ²
TF	1.540 m ²
VF	2.973 m ²
NGF	8.683 m ²
KGF	1.236 m ²
BGF	9.919 m ²
BRI	41.933 m ³

A _N Gesamt	8.274 m ²
beheiztes Vol.	33.225 m ³
therm Hüllfläche	9.680 m ²
A/V Verhältnis	0,29 m ⁻¹
Fenster-Anteil	54 %
Installationsgrad / Technikanteil	
Anteil KG 4 an den BWK (%)	51 %

Energetische Kennwerte

Bezugsniveau	EnEV 2013	RG EnEV (kWh/m ² a)
--------------	-----------	-----------------------------------

Spez. Primärenergiebedarf	Q _p '	278,5
Heizung	Q _{p,h} '	69,8
Warmwasser	Q _{p,w} '	50,0
Beleuchtung	Q _{p,l} '	60,4
Kühlung	Q _{p,c} '	20,4
Lüftung	Q _{p,v} '	82,1
Hilfsenergie	Q _{p,aux} '	-4,2

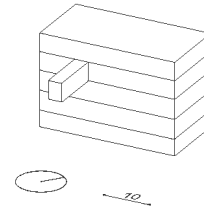
Spez. Endenergiebedarf	Q _E '	257,7
Heizung	Q _{E,h} '	169,1
Warmwasser	Q _{E,w} '	0,5
Beleuchtung	Q _{E,l} '	33,6
Kühlung	Q _{E,c} '	11,3
Lüftung	Q _{E,v} '	45,6
Hilfsenergie	Q _{E,aux} '	-2,4

Zonierung

16 WC Sanitär.	481,12 m ²
37 U+B-Räume	1430 m ²
37 U+B-Räume	605,77 m ²
38 Spezielpfl.	332,16 m ²
10 Bettzimmer	755,52 m ²
02 Büros	699,12 m ²
18 Nebenflächen	3806,6 m ²
11 Hotelzimmer	99,04 m ²
04 Seminarflächen	65,05 m ²

09-4500

Nutzung	Bibliotheksgebäude
BZK	4500
Geschosse oi	4
Geschosse ui	0
Bauform	freistehend
Dachform	Flachdach
Orientierung	Süd-Ost

**Gebäudegeometrie**

Dachfläche 1	443,8 m ²
Dachfenster	8,5 m ²
Fassade Sü	510,1 m ²
Fassade We	272,8 m ²
Fassade No	209,5 m ²
Fassade Os	272,8 m ²
Fenster Sü	31,9 m ²
Fenster We	0 m ²
Fenster No	332,5 m ²
Fenster Os	0 m ²
Kellerwand 1	0 m ²
Bodenplatte 1	451,9 m ²

NFa 1-6	1.037 m ²
TF	120 m ²
VF	709 m ²
NGF	1.301 m ²
KGF	m ²
BGF	1.982 m ²
BRI	8.429 m ³

A _N Gesamt	1.546 m ²
beheiztes Vol.	5.002 m ³
therm Hüllfläche	2.534 m ²
A/V Verhältnis	0,51 m ⁻¹
Fenster-Anteil	22 %
Installationsgrad / Technikanteil	
Anteil KG 4 an den BWK (%)	24 %

Energetische Kennwerte

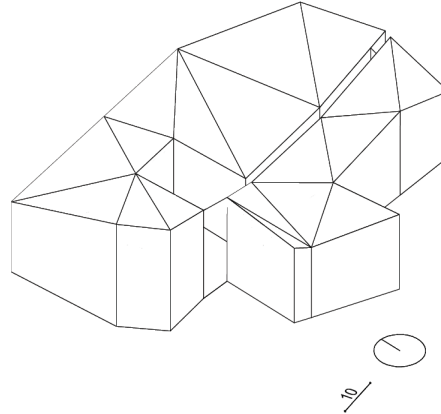
Bezugsniveau	EnEV 2013	RG EnEV (kWh/m ² a)	Zonierung	
Spez. Primärenergiebedarf	Q_p'	278,5	28 Lesesaal	386 m ²
Heizung	Q _{p,h} '	69,8	29 Freihandbereich	466 m ²
Warmwasser	Q _{p,w} '	50,0	19 Verkehrsfläche	388 m ²
Beleuchtung	Q _{p,l} '	60,4	16 Sanitär	81 m ²
Kühlung	Q _{p,c} '	20,4	01 Einzelbüros	106 m ²
Lüftung	Q _{p,v} '	82,1	20 Lager Technik	94 m ²
Hilfsenergie	Q _{p,aux} '	-4,2	21 Rechenzentrum	25 m ²
Spez. Endenergiebedarf	Q_E'	257,7		
Heizung	Q _{E,h} '	169,1		
Warmwasser	Q _{E,w} '	0,5		
Beleuchtung	Q _{E,l} '	33,6		
Kühlung	Q _{E,c} '	11,3		
Lüftung	Q _{E,v} '	45,6		
Hilfsenergie	Q _{E,aux} '	-2,4		

10-4620

Nutzung	Museumsgebäude
BZK	4620
Geschosse oi	4
Geschosse ui	1
Bauform	freistehend
Dachform	Flachdach
Orientierung	keine

Gebäudegeometrie

Dachfläche 1	3.263,0 m ²
Dachfenster	434 m ²
Fassade Sü	1194 m ²
Fassade We	645 m ²
Fassade No	1412 m ²
Fassade Os	939 m ²
Fenster Sü	186 m ²
Fenster We	130 m ²
Fenster No	213 m ²
Fenster Os	55 m ²
Kellerwand 1	1948 m ²
Bodenplatte 1	3200 m ²



NFa 1-6	5.935 m ²
TF	m ²
VF	m ²
NGF	9.288 m ²
KGF	m ²
BGF	10.900 m ²
BRI	79.399 m ³

A _N Gesamt	9.229 m ²
beheiztes Vol.	51.454 m ³
therm Hüllfläche	13.619 m ²
A/V Verhältnis	0,26 m ⁻¹
Fenster-Anteil	12 %
Installationsgrad / Technikanteil	
Anteil KG 4 an den BWK (%)	37 %

Energetische Kennwerte

Bezugsniveau	EnEV 2013	RG EnEV (kWh/m ² a)
--------------	-----------	-----------------------------------

Spez. Primärenergiebedarf	Q _p '	190,0
Heizung	Q _{p,h} '	78,1
Warmwasser	Q _{p,w} '	4,2
Beleuchtung	Q _{p,l} '	16,6
Kühlung	Q _{p,c} '	8,4
Lüftung	Q _{p,v} '	82,7
Hilfsenergie	Q _{p,aux} '	0,0

Spez. Endenergiebedarf	Q _E '	105,5
Heizung	Q _{E,h} '	43,4
Warmwasser	Q _{E,w} '	2,3
Beleuchtung	Q _{E,l} '	9,1
Kühlung	Q _{E,c} '	4,7
Lüftung	Q _{E,v} '	46,0
Hilfsenergie	Q _{E,aux} '	0,0

Zonierung

18 Nebenfläche	2031 m ²
30 Magazin u Depot	431 m ²
16 Sanitär	269 m ²
19 Verkehrsfl	1162 m ²
20 Lager Technik	307 m ²
17 Aufenthaltsraum	111 m ²
28 Lesesaal	166 m ²
01 Einzelbüro	57 m ²
27 Ausstellungsraum	3816 m ²
15 Küche Vorbereitung	10 m ²
24 Foyer	535 m ²
22 Werkstatt	59 m ²
14 Küche	87 m ²
23 Restaurant	188 m ²

19.2 Anhang 13-A1 - Interviewleitfaden

KLIMASCHUTZPOTENTIALE		
Einschätzung (++) sehr hoch (+) hoch (0) neutral (-) gering (--) sehr gering		
	Thema	Anwendbarkeit auf Laborgebäude (Einschätzung/Erfahrungen Interviewpartner)
1 Suffizienz / Bedarfsplanung		
	Nutzflächen (Größe von Labor, Büroflächen)	
	Raumflexibilität (Standardisierung v. Laboren, Core Facilities, ...)	
	Behaglichkeitskriterien (Raumtemperatur, Beleuchtungsstärken)	
	Gefährdungsbeurteilung (Umgang mit Schadstoffen, Reduktion von Luftwechselraten)	
2.1 Effizienzmaßnahmen - passiv baulich		
	Reduktion der Wärmetransmission (Kompaktheit, Wärmedämmung, U-Werte Verglasung, Wärmebrückenfreiheit, Luftdichtheit)	
	Solare Warmegewinne (Orientierung der Fensterflächen, Pufferzonen, Zwischenzonen)	
	Sonnenschutz / Überhitzung vermeiden (beweglicher – fester effektiver Sonnenschutz, Steuerungsautomatik, Vegetation)	
	Tageslichtversorgung (Fensterflächenanteil, Lichtlenkung)	
	Thermisch aktive Speichermassen (Speichermassen Wand / Decke)	

	Freie Lüftung (Querlüftung, Nachtauskühlung)	
2.2 Effizienzmaßnahmen - TGA		
	Wärme - Bedarfsauslegung	
	Wärme – Versorgung (Quelle, Temperaturniveau, Übergabesystem statische und RLT Heizung)	
	Kälte – Bedarfsauslegung (Anzahl der Kältekreise, zentrale dezentrale Systeme)	
	Kälte – Versorgung (Quelle, Temperaturniveau, Übergabesystem, Kälterückgewinnung, adiabate Kühlung)	
	RLT – Bedarfsauslegung (Redundanz, Gleichzeitigkeit, Volumenströme, Überströmung AW-Plätze)	
	RLT – Versorgung (bedarfsgerechte Lüftung, Lufttransport, Strömungswiderstände, Wärmerückgewinnung, Temperaturniveau Heizregister)	
	Beleuchtung – Bedarfsauslegung	
	Beleuchtung – Versorgung (Lampenart, Beleuchtungsart, Regelung)	
	Medienversorgung (Effizienz Medienversorgung, Abwärmenutzung)	
	Energiekopplung (Kraft-Wärme-Kälte, Notstrom (?))	
3. Konsistenzmaßnahmen – erneuerbare Energien		

	Strahlungsenergie Wärme (Solarthermie Dach, Fassade, Nebenanlagen für Brauchwasser, Heizungsunterstützung, ...)	
	Umweltwärme (Geothermie, oberflächennahe Erdwärme)	
	Abwärmennutzung Gebäude (Serverräume, Rückkühler, Abwasser (Labor, Spülküche, ...))	
	Wärme aus Biomasse (Wärmequelle (Pellet, Hackschnitzel, Biogas, ...), Kraft-Wärme-Kopplung)	
	Regenerative Kälte (Grundwasser, Solar Cooling, ...)	
	Strahlungsenergie Strom (PV-Anlagen Dach, Fassade, Nebenanlagen für Eigenbedarf und Netzeinspeisung)	
	Speichersysteme (Speichertechnologien (Wärme, Kälte, Exergie) zur Erhöhung der Eigenverbrauchsrate und des Autarkiegrades)	
4. Ko-Existenz – Quartiers- und Nachbarschaftsverbund		
	Fernwärme/-kälte (regenerative Fernwärme- und Fernkältenetze)	
	Anergienetze (Wärme-, Kältenetze, Quartiers-BHKW, ...)	
	Quellen-Senken-Verbund (Abwärmennutzung, Prozesswärme, Stromverbund, sonst. Infrastruktur (z.B. Abwasserkanäle))	

19.3 Anhang 13-A2 - Zusammenfassung der Experteninterviews

+ 0 -	Thema	Anwendbarkeit auf Laborgebäude (Einschätzung/Erfahrungen Interviewpartner) (+) hohes Potential (0) Potential ev. vorhanden (-) kein Potential
Zusammenfassung Experteninterviews		
1 Suffizienz - Bedarfsplanung		
0	Nutzflächen (Größe von Labor, Büroflächen)	<p>Die Nutzflächen sind je Disziplin standardisiert. Abweichungen können nur auf Antrag unter Begründung erfolgen;</p> <hr/> <p>Arbeitsschutz: Durch die Neufassung der Mindestabstände von Verkehrswegen zu Arbeitstischen (ASR 1.2 und 1.8) wären größere Abstände zwischen den Laborarbeitstischen notwendig, als bislang üblich. Das würde den Neubau von Laborgebäuden doppelt verteuern. Für die gleiche Menge an Laborarbeitsplätzen wäre eine höhere Nutzfläche notwendig, die im Betrieb ein höheres Raumvolumen, dass den Mindestluftwechsel aufweisen muss, ergibt.</p> <p>Richtwerte für den Flächenbedarf werden üblicher Weise über Stellenpläne und einen Faktor für jeden Arbeitsplatz (m²/AP getrennt nach Disziplinen) errechnet. Abweichungen davon sind nur über gesonderte Begründungen möglich. Ungeplante Stellen über Drittmittel machen diesen Ansatz schwer zu kalkulieren.</p> <hr/> <p>Eine Ermittlung des tatsächlichen Bedarfs für einen Laborneubau ist eine komplexe Angelegenheit. Für Analytik in der Industrie kann man noch über Produktionsmengen und der bisherigen Laborfläche mittels einer mittleren Zuwachsrate den Bedarf hochrechnen.</p> <p>Für Forschung und Entwicklung ist das nur mehr begrenzt möglich, da Innovation nicht über Kennwerte berechenbar ist. Hier liegt der Bedarf immer „zwischen dem Bedarf und Weihnachten“.</p> <p>Die klassische Methode versucht über Arbeitsplätze / Köpfe hochzurechnen. Die Anzahl der festen Mitarbeitern wird mit einem Faktor für „unbezahlte“ Mitarbeiter (Drittmittelstellen, Praktikanten, usw.) versehen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Jeder Kopf einer Disziplin wird über eine Kennzahl hochgerechnet. • Die Ermittlung der Geräte im Bestand erhält auch eine Kennzahl <p>Im Ergebnis erhält man die notwendigen Laufmeter Labortische, die wiederum in Quadratmeter Laborfläche umgerechnet werden.</p> <p>Der Bedarf wird dabei immer aus der Gegenwart, nicht aus der Vergangenheit oder Zukunft ermittelt.</p> <p>Demgegenüber steht das Budget des Bauherrn. Rückwärtsgerechnet kann man die mögliche Größe des Gebäudes errechnen, die man sich leisten kann oder will.</p> <hr/> <p>Für die Bedarfsplanung ist zunächst der Stellenplan erforderlich. Über die Disziplin lässt sich auf eine standardisierte Ausstattung der Labore schließen und damit die Größe der Labore festlegen (vgl. HIS 2006).</p> <p>Eine Gefährdungsbeurteilung ist zu diesem Zeitpunkt noch nicht zwingend erforderlich, wenn auch wünschenswert. Es reicht eine Betriebsbeschreibung über die Art der Tätigkeiten und die Art und Menge der für die Tätigkeiten notwendigen Stoffe.</p> <p>Für Bauten der Lehre werden in Bayern nach wie vor die Flächenrichtwerte des Hochschulrahmenplans herangezogen. Eine Präzisierung der Flächen durch ein HIS-Gutachten ist möglich.</p>
0	Raumflexibilität (Standardisierung v. Laboren, Core Facilities, ...)	<p>Durch die Standardisierung sind die Laborflächen bedingt unnutzbar. Installationsraum (Schächte, Deckenhöhen) müssen ausreichend nachinstallierbar sein</p> <hr/> <p>Der Raumflexibilität von Laboren geht in Wissenschaft und Forschung der Wunsch nach universeller Einsatzfähigkeit der Laborräume einher, der aus wirtschaftlichen Gründen selten realisiert werden kann. Dennoch sind die meisten Versuchsaufbauten mit standardisierten Laboren zu realisieren.</p>

		<p>Nutzungsneutrale Labore sind das Ziel. Die Erreichung dieses Ziels wird durch Notwendigkeiten verschiedener Disziplinen und Nutzer erschwert. Dennoch können modulare Raumstrukturen die Umnutzung erleichtern.</p> <p>Das wirtschaftlichste Ausbauraster für Labore (Laufmeter Labortische pro Quadratmeter Nutzfläche) ist das 1,15m Raster. In der Raumtiefe sind tiefere Laborzonen im Vorteil gegenüber schmäleren Zonen, obwohl die Tageslichtversorgung geringer ist.</p> <p>Aktuelle Zonen sind bis zu 17 Meter tief. Von der Fassade folgen</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2,4-3,0m Schreibeplätze mit Glastrennwand, • 6,0m Labortische, • 1,8m Erschließungszone, • 6,0m Labortische, • ggf. Dunkelräume und notwendiger Flur. <hr/> <p>Das Ausbauraster von Laboren wird in Bayern für alle Neubauten auf 1,20 m festgelegt. Alle Räume (Standardlabore und Sonderlabore) werden über dieses Ausbauraster und – wenn möglich – standardisierte Raumgrößen festgelegt.</p> <p>Raumelemente, die auch bei Umbau nicht verändert werden, sollten auch nicht veränderlich errichtet werden (z.B. StB-Massivbau).</p> <p>Die Tragebene an der Außenwand sollte in die Fassade integriert werden. Massive Brüstungen und ggf. Stürze ergeben zusammen mit Wandscheiben eine Außenwand ohne Wandvorlagen oder innenliegende Stützen.</p> <hr/> <p>Für staatliche Baumaßnahmen existieren Richtlinien der OBB für elektrotechnische Anlagen. Sie dienen als Standard, von dem mit Begründung abgewichen werden kann.</p> <p>Im Gegensatz zu Bürogebäuden existieren für Laborräume keine Baustandards für ELT-Ausstattungen. Sie werden je Bauaufgabe individuell ausformuliert.</p>	
0	Behaglichkeitskriterien (Raumtemperatur, Beleuchtungsstärken)	<p>Eine Raumsolltemperatur von 22°C (DIN V 18599-10 Tab. A.38) wurde bislang noch nicht hinterfragt.</p> <hr/> <p>Die Lufttemperatur von Laborinnenräumen werden über die Vorgaben des Arbeitsschutzes definiert. Die erhöhte Solltemperatur von 22°C kommt vermutlich aus den erhöhten Luftgeschwindigkeiten im Labor.</p> <hr/> <p>Die Beleuchtungsstärken erfüllen die Vorgaben der ASR. Es wird empfohlen, die Nennbeleuchtungsstärken im Neubau etwas zu übererfüllen, da die Leuchtmittel in der Lebenszeit etwas an Leuchtstärke einbüßen.</p>	
+	Gefährdungsbeurteilung (Umgang mit Schadstoffen, Reduktion von Luftwechselraten)	<p>Alle Abweichungen von den Luftwechselraten (siehe 2.2) der DGUV 213-850 sind mittels Gefährdungsbeurteilung zu bewerten und mit dem Betriebskonzept genehmigen zu lassen.</p> <hr/> <p>Die Gefährdungsbeurteilung ist der Knackpunkt für alle Wirtschaftlichkeits- und Energieeffizienzbetrachtungen.</p> <p>Für ein korrekt betriebenes Labor stellt die bedarfsgerechte Lüftung regelmäßig keine Reduktion der Arbeitssicherheit dar.</p> <p>Wichtig ist die richtige Durchströmung des Laborraums. Sie wird beispielsweise durch eine isotherm eingebrachte Quelllüftung nicht erreicht. Eine falsch gewählte Laborlüftungsart mit 8-fachen Luftwechsel ist für den Nutzer gefährlicher als eine richtig ausgelegte Lüftung mit 4-fachen Luftwechsel.</p> <hr/> <p>Es gilt immer: Arbeitsschutz vor Energiesparen. Eine Abweichung von den erforderlichen Luftvolumenströmen von 25 m³/m²h ist in Bayern im universitären Bereich selten möglich. Die Landesunfallkasse (LUK), der Teil der GUVV, der für die Staatlichen Beschäftigten zuständig ist, akzeptiert keine geringeren Luftwechselzahlen und fordert für Hochschulen ebenso die Gleichzeitigkeit eins,</p>	

		<p>da – so die Begründung – kein erfahrenes Laborpersonal vorliegt.</p> <p>Leider gibt es hier regionale Unterschiede in den Interpretationen der schriftlichen Vorgaben des Arbeitsschutzes – sowohl innerhalb von Bayern als auch zwischen den Bundesländern.</p> <p>Beispiel Lüftungsenergie: Ein Laborgebäude von Bayer mit ca. 7.000 m2 GF benötigt pro Jahr ca. 1,5 Mio. € an Lüftungsenergiekosten (nur Strom für Ventilatoren ohne Wärmeenergie).</p>
+	Betriebsführung	<p>Für die technische Gebäudeausstattung ist ein geeignetes Betriebspersonal erforderlich.</p> <p>Eine Einregulierung und ein Monitoring werden empfohlen.</p> <p>Der Freistaat beabsichtigt ein flächenübergreifendes Energiemonitoring einzuführen. Dazu werden aktuell die Liegenschaften mit gebäudebezogenen Messsystemen ausgestattet. Zentral werden die Verbräuche in Echtzeit erfasst. Es ist möglich, nutzungsspezifische Benchmarks zu erstellen, Störungen in der Energieperformance einzelner Gebäude frühzeitig zu erkennen und zielgerichtete Verbesserungen zu planen und durchzuführen.</p>

+ 0 -	Thema	Anwendbarkeit auf Laborgebäude (Einschätzung/Erfahrungen Interviewpartner)	
		(+) hohes Potential (0) Potential ev. vorhanden (-) kein Potential	
Zusammenfassung Experteninterviews			
2.1 Effizienzmaßnahmen - passiv baulich			
0	Reduktion der Wärmehemission (Kompaktheit, Wärmedämmung, U-Werte Verglasung, Wärmebrückenfreiheit, Luftdichtheit)	<p>Die gesetzlichen Mindeststandards (EnEG und EnEV) sind für die Außenbauteile der Neubauten der MPG ausreichend.</p> <p>Das Potential ist vorhanden, allerdings mit der EnEV 2016 schon fast vollständig ausgereizt.</p>	
-	Solare Wärmegewinne (Orientierung der Fensterflächen, Pufferzonen, Zwischenzonen)		
0	Sonnenschutz / Überhitzung vermeiden (beweglicher – fester effektiver Sonnenschutz, Steuerungsautomatik, Vegetation)	<p>Sonnenschutzanlagen werden ausschließlich mit windunempfindlichen Systemen errichtet. Sonnenschutz im Scheibenzwischenraum wird wegen seiner Störanfälligkeit vermieden.</p> <p>Die Steuerung erfolgt zentral mit lokalen Eingriffsmöglichkeiten. Damit werden Überhitzungserscheinungen verhindert / gemildert (z.B. Ostlabore).</p> <p>Kein Laborgebäude ohne wirksamen außenliegenden Sonnenschutz!</p>	
0	Tageslichtversorgung (Fensterflächenanteil, Lichtlenkung)	<p>Sonnenschutz mit Tageslichtlenkung im oberen Bereich ist Standard bei der Landeshauptstadt München (LHM). Dies ist ein Raffstore mit Sonderlamellen, die gesondert aufgefahren (Tageslichtlenkung) und geschlossen (Beamerpräsentationen) werden können.</p> <p>Hohe Fensterflächen sind für die Tageslichtversorgung der tiefen Laborzonen unerlässlich. Die Tageslichtlenkung sollte mehr Beachtung finden, selbst wenn man eine mögliche Energieersparnis mangels tageslichtabhängiger Lichtsteuerung nicht realisieren sollte.</p> <p>Die positive physiognomische Wirkung von Tageslicht ist wichtig.</p>	
-	Thermisch aktive Speichermassen (Speichermassen Wand / Decke)		
-	Freie Lüftung (Querlüftung, Nachtauskühlung)		

+ 0 -	Thema	Anwendbarkeit auf Laborgebäude (Einschätzung/Erfahrungen Interviewpartner) (+) hohes Potential (0) Potential ev. vorhanden (-) kein Potential
Zusammenfassung Experteninterviews		
2.2 Effizienzmaßnahmen - TGA		
0	Wärme - Bedarfsauslegung	<p>Die internen Wärmelasten werden regelmäßig zu gering angesetzt. Die reale Belegung der Labore durch technisches Gerät übersteigt die Normannahmen. Bei vielen Projekten werden daher Umluftkühler nachgerüstet. Eine empirische Hochrechnung für Chemielabore (Anzahl der Steckdosen -> mittlere Anschlusswerte -> Gleichzeitigkeiten) ergibt interne Wärmelasten von durchschnittlich 140 W/m² für elektrisches Tischgerät im Labor. Dazu kommt die Wärmelast durch Personen und solaren Eintrag.</p> <hr/> <p>Der Ansatz zur Ermittlung des Heizleistungsbedarfs macht statische Heizflächen in den Laboren nach wie vor notwendig, auch wenn diese selten betrieben werden.</p> <hr/> <p>Die Analysegeräte werden immer kleiner und vieles findet mittlerweile auch digital statt. Das hat zur Folge, dass Geräte, die früher in gesonderten Räumen standen, nun direkt im Labor platziert werden, alle mit Touchscreen etc. Dadurch steigen die Wärmelasten im Labor.</p>
+	Wärme – Versorgung (Quelle, Temperaturniveau, Übergabesystem statische und RLT Heizung)	<p>Als Wärmequelle dient regelmäßig ein Fernwärmeanschluss.</p> <p>Das Temperaturniveau des Heizungsvorlaufs kann sowohl für statische Flächenheizungen als auch für Heizregister in den RLT-Anlagen zwischen 45° und 50°C liegen. Für die Heizregister sind die Strömungswiderstände durch die erforderliche Wärmeleistung zu beachten.</p> <p>Die Fernwärme ist aus Wirtschaftlichkeitsgründen stets die bevorzugte Wärmequelle.</p> <p>Liegt keine Fernwärme vor, werden (sofern möglich) strombetriebene Grundwasserwärmepumpen für die Grundlast gewählt. Spitzenlastdeckung erfolgt über Gaskessel.</p> <p>Ihr Vorteil liegt in der Nutzung einer geringen Vorlauftemperatur, die auch für die RLT-Wärme bei 40°C liegen kann.</p> <p>Als Übergabesystem kann für die statischen Heizflächen eine Heiz-Kühldecke (Auswertepätze mit akustischer Funktion) dienen. Für die RLT-Wärme kann die WRG und KRG im Kreislaufverbund als Übergabesystem dienen. Betonkerntemperierung wird wegen der Gefahr von späteren Schäden durch Nachinstallation ausgeschlossen.</p> <hr/> <p>Als statisches Wärmeübergabesystem werden nach wie vor Radiatoren an Brüstungen vorgesehen (und selten benötigt).</p> <hr/> <p>Die Wärmeversorgung unterliegt im Einzelfall immer der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und dem Grundsatz, dass regenerativer Energien besonders berücksichtigen sind.</p> <p>Der Anschluss an Fernwärmenetze ist regelmäßig eine der wirtschaftlichsten Wärmequellen.</p> <p>Grundwasserwärmepumpen (elektrisch betrieben) in Kombination mit Gaskesseln für Spitzenlasten sind eine gute Alternative.</p> <p>Erdreichbasierte Wärmepumpen sind für diese Größe von Objekten immer dann zu überlegen, wenn die Rekuperation des Erdreichs durch Wärmeeinspeisung im Sommer (Kälteerzeugung) erfolgt. Die Wirtschaftlichkeit ist nachzuweisen.</p> <hr/> <p>Als Übergabesystem eignen sich besonders Heiz- Kühlsegel oder Bauteilaktivierungen als flächige Bauteile, um niedrige Vorlauftemperaturen zu ermöglichen.</p>

0	Kälte – Bedarfsauslegung (Anzahl der Kältekreise, zentrale dezentrale Systeme)	<p>Eine Differenzierung der Kältenetze wird bei unterschiedlichen Anwendungen sinnvoll: für Prozesskälte (VL 6° / RL 12°C) und Kühlung der Räume (VL 17°C → bis AT 13°C frei kühlbar) sind getrennte Kreise sinnvoll.</p> <hr/> <p>Die Kälteversorgung wird in zwei Systeme unterteilt:</p> <p>Nichttrinkwasser-Kalt: Das klassische Kältenetz (16/21) versorgt die Labornutzungen, die Kälte für die Aufbauten benötigen. Hier kann auch ein Serverraum versorgt werden.</p> <p>Die Klimakälte (8/14(16)) versorgt die Kühlregister der RLT, Kühldecken und Umluftkühlgeräte.</p> <hr/> <p>Zur Pufferung von Lastspitzen im Labor könnten zukünftig PCM (phase change materials) eingesetzt werden.</p>
++	Kälte – Versorgung (Quelle, Temperaturniveau, Übergabesystem, Kälterückgewinnung, adiabate Kühlung)	<p>Lüftungsanlagen mit Hocheffizienz-Kälterückgewinnung (Rückwärmezahl bis 0,85) realisierbar (Ergebnis Monitoring); Kälteversorgung mittels hocheffizienter Kompressionskälteanlagen (Kältezahl bis 8 realisierbar); Adsorptionskälteanlagen sind im Betrieb oft zu störanfällig;</p> <hr/> <p>Die Kälteübergabe an die Räume erfolgt mittels Bauteilaktivierung, im Einzelfall von höheren Lasten mittels Umluftkühler;</p> <hr/> <p>Die Klimakälte wird idealer Weise aus einer Fernkälte bezogen. Alternativ wird Grundwasser zur Kühlung verwendet, kombiniert mit freier Kühlung und Kompressionskälte für Spitzenlasten.</p> <p>Für die Kälterückgewinnung wird die Fortluft adiabate gekühlt.</p> <p>Je höher die Temperatur des Vorlaufs des Nichttrinkwasser-Kalt liegt, desto länger kann man frei Kühlen. Bei VL16 ist eine freie Kühlung bis 10-12°C möglich.</p> <hr/> <p>Wenn möglich wird Grundwasser oder ein Kälteverbund als Quelle herangezogen. Kompressionskälte übernimmt Spitzenlasten oder bildet das alleinige Kältesystem.</p> <p>Adsorptionskälteanlagen werden nur verwendet, wenn ein hohes Temperaturniveau (z.B. > 90°C) eines Energieträgers vorliegt.</p> <hr/> <p>Als Übergabesystem eignen sich besonders Heiz- Kühlsegel oder Bauteilaktivierungen als flächige Bauteile, um niedrige Vorlauftemperaturen zu ermöglichen.</p>
++	RLT – Bedarfsauslegung (Redundanz, Gleichzeitigkeit, Volumenströme, Überströmung AW-Plätze)	<p>Auslegung der Redundanzen: geeignet sind z.B. zwei identische RLT-Anlagen mit je 60%;</p> <p>bedarfsgerechte Laborlüftung: Volle Luftwechselraten (25 m³/m²h / 8-fach) bei geöffneten Abzügen; abgesenkter Betrieb (z.B. 12,5 m³/m²h / 4-fach) bei geschlossenen Abzügen und Nachtbetrieb (z.B. 4 m³/m²h / 1,3-fach) bei Abwesenheit von Personal;</p> <p>Präsenzmelder im Labor garantieren die abgesenkten Lüftungsbetrieb während der Anwesenheit von Personal;</p> <p>Strömungswiderstände im Leitungsnetz senken: das Leitungsnetz wird auf den vollen Luftwechsel von 25 m³/m²h ausgelegt; die Luftwechselraten werden in der Folge bedarfsgerecht ausgeführt, was die Luftgeschwindigkeit auf z.B. 3 m/s reduziert. Die geringere Ventilatorleistung reduziert den Strombedarf;</p> <p>Ventilatoren haben Effizienzgewinne nur in einem bestimmten Frequenzbereich (z.B. 20-60 Hz); in diesem Bereich sind Einsparungen möglich;</p> <p>Überströmung der Auswertplätze / Kombilabor funktioniert gut; ggf. kann man die Auswertplätze auch getrennt Lüften (2-facher Luftwechsel);</p> <hr/> <p>Literaturhinweis: VDI 2051 Raumlufttechnik in Laboratorien</p> <p>Redundanz und Gleichzeitigkeiten beeinflussen einander. Die Gleichzeitigkeiten können anhand der Ausstattungen (z.B. Anzahl der Abzüge) und der Personenbelegung überschlägig abgeschätzt werden. Für eine Gleichzeitigkeit von</p>

		<p>1 müssten alle Abzüge gleichzeitig geöffnet sein, d.h., dass ebenso viele Personen wie Abzüge im Labor arbeiten müssen.</p> <p>Die Gleichzeitigkeit ist in der Regel zwischen 0,5 und 0,8 (Katalyse 1,0).</p> <p>Für Redundanz wird in der Regel von 2 x 60% ausgegangen.</p> <p>Für Projekte wie das Katalysezentrum wird die Lüftung durch die Anzahl der Digestorien ausgelegt. Wegen der Anzahl an 1,20 m Abzügen (jeder hat 480 m³/h, durch die Stützstrahltechnik von Waldner konnte er auf 300 m³/h gesenkt werden) und der Gleichzeitigkeit 1,0 hat ein Labor von 40 m² mit 9 Abzügen einen Außenvolumenstrom von 60 m³/m²h.</p> <p>Hier hätte eine geringere Anzahl an Digestorien und eine geringere Gleichzeitigkeit geholfen, die RLT kleiner dimensionieren zu können.</p> <p>Eine Reduktion der Luftwechsel durch Gefährdungsbeurteilung ist nicht bekannt. Nachtabsenkungen auf 15-12,5 m³/m²h sind umsetzbar.</p> <hr/> <p>Das Bewertungssystem der DGNB / BNB für den Neubau von Laborgebäuden differenziert verschiedene Labornutzungen. Insbesondere die Betriebszeiten und Außenvolumenströme werden differenziert betrachtet.</p> <hr/> <p>Der Ursprung der geforderten 25 m³/m²h aus der DIN 1946-7:2009-07 ist nicht mehr bekannt. Die Menge kann aber über die erforderliche Außenluftmenge je Mitarbeiter und der Wärmeabfuhr der Gerätschaften hergeleitet werden.</p> <p>Nachbarländer differenzieren ihre Regelvolumenströme nach den Disziplinen.</p> <p>Es herrscht die allgemeine Meinung, ein Außenvolumenstrom von 25 m³/m²h würde Fehlverhalten im Labor kompensieren können. Die Laborlüftung ist aber ein Mischluftsystem. D.h. ein 8-facher Luftwechsel verteilt Schadstoffe in alle Ecken des Raumes.</p> <p>„Mischluft ist der einzige funktionierende Sozialismus; jeder bekommt den gleichen Teil ab.“</p> <hr/> <p>Gleichzeitigkeiten bei Laborabzügen müssen bei Praktikumlaboren mit 1,0 angesetzt werden. Ansonsten ist 0,7 ein üblicher Wert, anhängig von der Ausstattungsdichte der Labore.</p> <p>Das Kombilabor ist eine gute Möglichkeit zur Reduktion der Volumenströme durch die Abtrennung von den Auswertepätzen.</p> <hr/> <p>Die Auslegung einer RLT-Versorgung mit zwei identischen Anlagen mit 2x60% - Auslegung ist ein wirtschaftliches Optimum. Es beinhaltet eine Sicherheit von 20% und kann mittels Bypasskanälen eine Grundversorgung aufrechterhalten, wenn z.B. ein Motor ausfällt.</p> <p>Das Kombilabor (Überströmung von AW-Plätzen) wird in Bayern zwar gebaut, in Hochschulen aus o.g. Gründen aber nicht zur Reduktion von Außenvolumenströmen verwendet.</p> <hr/> <p>Woher genau die Festlegung der Laborrichtlinien auf die 25 m³/m²h kommt, kann nicht mehr nachvollzogen werden. Es ist eine Art GOP (Good Operating Practice).</p>	
0	<p>RLT – Versorgung (bedarfsgerechte Lüftung, Lufttransport, Strömungswiderstände, Wärmerückgewinnung, Temperaturniveau Heizregister)</p>	<p>Lüftungsanlagen mit Hocheffizienz-Wärmerückgewinnung (Rückwärmezahl bis 0,85) realisierbar (Ergebnis Monitoring).</p> <hr/> <p>Die Hocheffizienzwärmerückgewinnung gibt ihre Rückwärmezahl bei einer Außentemperatur von 5°C an. Bei extremen Minustemperaturen drohen Fortlufttemperaturen im negativen °C-Bereich, die Vereisungen der Register verursachen können. Aus Gründen des Frostschutzes wird Warmluft über den „Winterbypass“ zugeführt. Damit sinkt die Rückwärmezahl auf höchstens 0,6.</p> <p>Herstellerangaben können bei SEW-WRG oder Convector abgefragt werden.</p> <hr/> <p>Grundlage einer jeden effizienten Lüftung ist die Reduktion der Druckverluste. Energieeffiziente Laborgebäude verfügen über ein ausreichend groß dimensioniertes Kanalnetz auf Basis der 25 m³/m²h ohne Stichrassen. Idealerweise werden Zu- und Abluft im Ringsystem gefahren. Der Vorteil sind geringere Druckverluste bei einer variablen Luftführung und ein konstanter Querschnitt über alle Nutzungsbereiche hinweg.</p>	

	<p>Eine Reduktion der Volumenströme reduziert Luftgeschwindigkeiten und damit die Druckverluste. Druckwiderstände sind eine x^3-Funktion. 100pa Druckverlust erhöht den Energieverbrauch um 10%.</p> <p>Der SFP-Wert (specific fan power) beschreibt die Menge Energie an aufgenommener Ventilatorleistung im Verhältnis zum geförderten Volumenstrom in Ws/m^2 (DIN EN 13779). In Deutschland ist ein SFP von mind. 4 (max. 2000 Ws/m^2) vorgeschrieben.</p> <p>Die bedarfsgerechte Lüftungssteuerung</p> <ul style="list-style-type: none"> • 8-facher LW bei geöffneten Abzügen • 4-fachen LW bei geschlossenen Abzügen (Regelbetrieb) • einer weiteren Nachtabsenkung durch Stilllegung einzelner Teilbereiche <p>funktioniert seit mehreren Jahrzehnten in weiten Teilen Deutschlands. Leider wird dieses Konzept (z.B. in Bayern) seit Einführung der Betriebssicherheitsverordnung durch die Arbeitssicherheit nicht mehr befürwortet, obwohl Studien und Messungen die Gleichwertigkeit der Sicherheit bestätigen. Auch in Bayern sind viele Laborgebäude seit Jahrzehnten auf diese Weise ohne Probleme in Betrieb.</p> <hr/> <p>Eine bedarfsgerechte Lüftung ist anzustreben und wird nach Möglichkeit ausgeführt. Dabei wäre der reduzierte Betrieb der 4-fache, der Nachtbetrieb der ca. 1,3-fache Luftwechsel (24h Laborabluft).</p> <p>Die Größe der RLT und die Auslegung des Kanalnetzes muss aber Umnutzungen ermöglichen und wird auf die vollen 25 m^3/m^2h ausgelegt.</p> <hr/> <p>WRG wird mit einer Effektivität von >80% ausgeschrieben. Herstellerangaben liegen bereits >85% unter den Prüfstandbedingungen AT 5°C. Über das Jahr gemittelt erreichen die Anlagen geringere Werte von schätzungsweise 60-70%.</p> <hr/> <p>Der Hersteller Aircurity (USA) entwickelt und baut Sensoren für die Überwachung von Laborräumen. Mit ihnen soll eine richtige bedarfsgerechte Lüftung der Laborräume möglich sein. Die Sensoren überwachen die Schadstoffkonzentration in der Raumluft (ppm) und erhöhen den Luftwechsel bei Bedarf. Dieses System ist in Deutschland noch nicht verbreitet. → Literatur: Gordon Sharp, Sustainable Laboratories. Der Preis für das System ist noch sehr hoch (ca. 10.000 \$ pro Laborraum).</p>
- Beleuchtung – Bedarfsauslegung	<p>Die Vorgaben der Ausstattung von Arbeitsstätten werden möglichst genau eingehalten.</p> <hr/> <p>Die Beleuchtungsstärken erfüllen die Vorgaben der ASR. Es wird empfohlen, die Nennbeleuchtungsstärken im Neubau etwas zu übererfüllen, da die Leuchtmittel in der Lebenszeit etwas an Leuchtstärke einbüßen.</p>
+ Beleuchtung – Versorgung (Lampenart, Beleuchtungsart, Regelung)	<p>Durchgängige Installation von LED-Lampen.</p> <p>Im Labor erfolgt die Steuerung ohne tageslichtabhängige Dimmung. Diese ist nicht mit den Vorstellungen der Nutzer in Einklang zu bringen.</p> <p>Die tageslichtabhängige Dimmung ist nur in den öffentlichen Bereichen (Flure, Hallen usw.) vorgesehen.</p> <hr/> <p>Tageslichtabhängige Regelungen und Steuerungen über Präsenzmelder rechnen sich wirtschaftlich. Sie sind auch erforderlich, um eine Tageslichtlenkung effektiv zum Energiesparen einsetzen zu können. Diese Kombination ist Baustandards bei der LHM.</p> <p>LED-Lampen sind mittlerweile Standard. Fehlende Standards der Leuchtmittelanschlüsse bewegt große Bauherren dazu, für viele Liegenschaften die Lampenart je Einsatzzweck einheitlich vorzugeben (Bsp. LHM)</p> <hr/> <p>Lampenart: Aktuell werden in allen öffentlichen Bereichen und in Außenbereichen von Neubauten LED eingesetzt. In naher Zukunft wohl in allen Bereichen der Neubauten.</p> <p>Präsenzabhängige Steuerungen ist in den öffentlichen Bereichen der Verkehrsflächen, Aufzüge und Toiletten die Regel.</p>

		Eine tageslichtabhängige Steuerung kommt aus wirtschaftlichen Gründen regelmäßig nicht zum Einsatz, da sich die Mehrkosten durch die Einsparungen bei den hocheffizienten LED-Lampen und den Strombedarf der Regelungen selten amortisieren. Die Erfahrungen mit den tageslichtabhängigen Steuerungen zeigen auch, dass die Nutzer die Steuerungen als Bevormundung empfinden.	
-	Medienversorgung (Effizienz Medienversorgung, Abwärmenutzung)	Die Druckluftherzeugung ist mit hoher Wärmeentwicklung verbunden. Wassergekühlte Kompressoren sind gängig. Eine Abwärmenutzung ist nicht angedacht.	
-	Energiekopplung (Kraft-Wärme-Kälte, Notstrom (??))	BHKW (mit fossilen Brennstoffen) kämen nur stromgeführt und in Verbindung mit einer Adsorptionskälteerzeugung in Betracht. Für diese im Betrieb anspruchsvolle Kombination fehlen den Standorten regelmäßig die Betriebsmitarbeiter mit Erfahrungen in diesen Bereichen.	
-	Gebäudeleittechnik	Die GLT kann helfen Energie einzusparen. Es wird nur nicht gemacht.	

3. Konsistenzmaßnahmen – erneuerbare Energien

-	Strahlungsenergie Wärme (Solarthermie Dach, Fassade, Nebenanlagen für Brauchwasser, Heizungsunterstützung, ...)	<p>Solarthermie ist für Laborgebäude wirtschaftlich nicht sinnvoll einsetzbar.</p> <p>Seit dem ORH-Bericht über thermische Solaranlagen ist man mit der Installation dieser Anlagen zurückhaltender geworden. Prinzipiell wird die Installation weiter überprüft. Für Gebäude mit TWW-Bedarf ist die Installation weiter sinnvoll und wirtschaftlich. Es bedarf eines zentralen Monitorings, das die Funktion der Anlagen überprüft sowie einer fachgerechten Wartung.</p>	
+	Umweltwärme (Geothermie, oberflächennahe Erdwärme)	Siehe Wärmeversorgung.	
0	Abwärmenutzung Gebäude (Serverräume, Rückkühler, Abwasser (Labor, Spülküche, ...))	<p>Je Neubau werden mittlerweile 200 – 400 kW elektrischer Anschlussleistung für Serverräume installiert. Eine Abwärmenutzung ist denkbar, aber wegen der oft unterschiedlichen Temperaturniveaus zwischen Quelle (RL Kühlung Racks) und Senke (Vorlauf Heizsysteme) herausfordernd.</p> <p>Eine Wärmerückgewinnung aus Abwasser müsste zentral geplant (Sammelleitungen) und in der Wirtschaftlichkeit geprüft werden. Aktuell gibt es keine Anlagen dieser Art.</p> <p>Serverräume werden regelmäßig gekühlt. Wassergekühlte Racks stellen mittlerweile den Standard dar, da die Leistungsdichten höher liegen als bei Lüftkühlungen. Die Kühlungen der Server kann auch mittels Warmwasser erfolgen (Bsp. LRZ VL28/RL36-38°C).</p> <p>In fast allen Forschungsgebäuden werden eigene Rechnerkapazitäten in Form von Serverräumen aufgebaut. Ihr Größe und damit ihre Anschlussleistung variieren je Projekt zwischen 180- 200 kW und 400-500 kW. Wassergekühlte Rack sind Standard.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Neubau Fakultät für ELT Garching 320 kW • Neubau Schwerlaststation Physik 180 kW <p>Die Auslastung der Server ist im Rahmen von 60-80% relativ konstant. Zwar wird tagsüber die Hauptrechenleistung benötigt, dafür laufen nachts alle Datenabgleiche und Sicherungskopien.</p> <p>Die Abwärme aus Serverräumen wird bereits teilweise genutzt und ist sinnvoll. Insbesondere für installierte Grundwasserwärmepumpen kann die Anhebung der VL-Temperatur sehr zur Wirtschaftlichkeit der Anlage beitragen.</p> <p>Abwärme aus Abwasser wird nicht genutzt. Es ist auch nicht in der Diskussion.</p> <p>Für Laborgebäude mit Tierhaltungen sind Taktbandwaschanlagen eine ständige Wärmequelle. Hier wird versucht, mittels Wärmetauscher die Wärme des Abwassers zur Erwärmung des frischen Spülwassers zu verwenden.</p>	
-	Wärme aus Biomasse (Wärmequelle (Pellet, Hackschnitzel, Biogas, ...), Kraft-Wärme-Kopplung)	Hackschnitzel zur Befuerung von Dampferzeugern wird bereits genutzt, falls eine zentrale Dampfbereitung erforderlich ist (z.B. Großhadern 2,0 MW). Diese werden nur betrieboptimiert als Grundlastversorgung eingebunden. Für Spitzenlastabdeckungen müssen weitere Erzeuger eingesetzt werden. Reine Laborgebäude benötigen allerdings wenig Dampf. Kliniken mit Wäschereien, Großküchen und Sterilisationen sind hier eher betroffen.	
0	Regenerative Kälte	Anlagen mit Solar Cooling wären eine ideale Methode zur Kälteerzeugung, da die Kälte immer dann erzeugt werden kann, wenn sie benötigt wird (heiße Sommertage).	

(Grundwasser, Solar Cooling ...)	<p>Für Solar Cooling wird eine möglichst hohe Vorlauftemperatur benötigt (VL 70°C) und ein ausreichender Volumenstrom. Das kann durch Vakuumröhrenkollektoren in ausreichender Anzahl erfolgen.</p> <p>Leider sind die Systeme für den stabilen Alltagsbetrieb noch nicht ausgereift genug, um eine breite Marktdurchdringung zu erlangen. Das Potential für solche Systeme wäre aber da.</p> <p>Grundwasser wird häufig für Kälteanwendungen genutzt.</p> <p>Solar Cooling wäre eine gute – weil bedarfsgerechte – Möglichkeit der regenerativen Kältenutzung. Leider sind die Anlagen für einen durchschnittlichen Betreiber noch nicht marktreif.</p> <p>Zur Reduktion des Strombedarfs werden größere Kühltischanlagen bereits wassergekühlt betrieben. Diese eignen sich auch zur Nutzung von Grundwasser zur Erhöhung des Wirkungsgrades der zentralen Wärmepumpe.</p>
- Strahlungsenergie Strom (PV-Anlagen Dach, Fassade, Nebenanlagen für Eigenbedarf und Netzeinspeisung)	<p>Die Installation von PV-Anlagen erfolgt - wenn überhaupt - nur auf kleineren Dachflächen. Ein großflächiger Einsatz ist wegen der Flächenkonkurrenz auf den Dächern (Installation von technischen Anlagen, Gründachverordnungen usw.) nicht üblich.</p> <p>PV-Anlagen auf den Dächern werden regelmäßig aus Kostengründen reduziert oder gestrichen. Die Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Dachfläche liegt bei der LHM höher als beim Freistaat. Allgemein gibt es auf den Dächern eine Flächenkonkurrenz von Technischen Installationen, Gründachnutzung und der Energiegewinnung.</p> <p>Die Installationsrichtung der PV-Anlagen ist flacher geworden. Flachdachaufständerungen 35° Süd gibt es nur noch selten. Zumeist werden flachere Winkel (z.B. 15°) gewählt, da die durchdringungsfreien Auflastsysteme damit die Windlasten reduzieren und somit leichter eine Zulassung erlangen. Der PV-Ertrag wird dadurch nur geringfügig geschmälert.</p> <p>PV-Anlagen sind seit dem Landtagsbeschluss 1995 Standard auf staatlichen Bauvorhaben. Ihr Einsatz wird durch folgende Parameter bestimmt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • PV-Anlagen sind auf Eigenverbrauch auszulegen, das heißt, dass • die Maximalleistung der PV-Anlage unterhalb des Grundlastbedarf des Gebäudes liegen sollte. <p>Darüber hinaus gibt es keine Begrenzung der installierten PV-Leistung. In der Praxis zeigt sich aber, dass die Fläche auf den Dächern oft begrenzt ist und die Priorität des Budgets auf anderen Dingen liegt.</p> <p>Aufgrund der EEG-Abgabe für Neuanlagen über 10 kW_p, sollten Anlagen entweder diese Größe nicht überschreiten, oder über 25 kW_p liegen.</p> <p>Der Freistaat zahlt für seine Liegenschaften aktuell einen Marktpreis von ca. 0,20 €/kWh Strom. Der gesamte Strombezug erfolgt als regenerativ erzeugter Strom (derzeit 100% Wasserkraft aus Norwegen).</p> <p>Sonderformen der PV (z.B. Fassadenintegration) werden aktuell nicht in Erwägung gezogen.</p>
- Speichersysteme (Speichertechnologien (Wärme, Kälte, Exergie) zur Erhöhung der Eigenverbrauchsrate und des Autarkiegrades)	<p>Eine Nutzung von Notstrombatterien zur Energiespeicherung ist ausgeschlossen.</p> <p>Speichersysteme (Batterien) sind aktuell wirtschaftlich nicht vertretbar.</p>

4. Ko-Existenz – Quartiers- und Nachbarschaftsverbund		
+	Fernwärme/-kälte (regenerative Fernwärme- und Fernkältenetze)	Siehe Wärmeversorgung & Kälteversorgung
0	Anergienetze (Wärme-, Kältenetze, Quartiers-BHKW, ...)	Am Campus In Oberschleißheim wird aktuell ein Niedrigtemperaturnetz realisiert. Für Wärme wird das Temperaturniveau 50/30, für Kälte 6/12 angesetzt. Die Wärmeerzeugung erfolgt über, die Kälteversorgung über ...
0	Quellen-Senken-Verbund (Abwärmennutzung, Prozesswärme, Stromverbund, sonst. Infrastruktur (z.B. Abwasserkanäle))	

19.4 Anhang 14-A1 - Lüftungsprofile

Lüftungsbilanz Case Study BIOLOGIE			Betriebszustand alle Abzüge offen	Betriebszustand alle Abzüge geschlossen	Betriebszustand Nacht & Wochenende		Gesamt
00 Referenzgebäude EnEV	V (m ³ /m ² h)	25,0	25,0	12,5	V _{ZU} (m ³ /a)	65.674.375	
	LWR (1/h)	6,8	6,8	3,4	V _{AB} (m ³ /a)	70.930.375	
01 Biologielabor real	V (m ³ /m ² h)	25,0	25,0	12,5	V _{ZU} (m ³ /a)	65.674.375	
	LWR (1/h)	6,8	6,8	3,4	V _{AB} (m ³ /a)	70.930.375	
01 Biologielabor real Kombilabor	V (m ³ /m ² h)	25,0	25,0	12,5	V _{ZU} (m ³ /a)	48.409.375	
	LWR (1/h)	6,8	6,8	3,4	V _{AB} (m ³ /a)	53.665.375	
02 Biologielabor SecuFlow	V (m ³ /m ² h)	25,0	25,0	12,5	V _{ZU} (m ³ /a)	65.674.375	
	LWR (1/h)	6,8	6,8	3,4	V _{AB} (m ³ /a)	70.930.375	
03 Biologielabor reduzierte LWR Tag	V (m ³ /m ² h)	25,0	12,5	12,5	V _{ZU} (m ³ /a)	53.349.375	
	LWR (1/h)	6,8	3,4	3,4	V _{AB} (m ³ /a)	58.605.375	
04 Biologielabor reduzierte LWR Nacht	V (m ³ /m ² h)	25,0	25,0	6,5	V _{ZU} (m ³ /a)	47.749.550	
	LWR (1/h)	6,8	6,8	1,7	V _{AB} (m ³ /a)	53.005.550	
05 Biologielabor 02, 03 & 04 kombiniert	V (m ³ /m ² h)	25,0	12,5	6,5	V _{ZU} (m ³ /a)	35.424.550	
	LWR (1/h)	6,8	3,4	1,7	V _{AB} (m ³ /a)	40.680.550	

Lüftungsbilanz Case Study CHEMIE			Betriebszustand alle Abzüge offen	Betriebszustand alle Abzüge geschlossen	Betriebszustand Nacht & Wochenende		Gesamt
00 Referenzgebäude EnEV	V (m ³ /m ² h)	25,0	25,0	12,5	V _{ZU} (m ³ /a)	65.674.375	
	LWR (1/h)	6,8	6,8	3,4	V _{AB} (m ³ /a)	70.930.375	
01 Chemielabor real	V (m ³ /m ² h)	48,3	25,0	12,5	V _{ZU} (m ³ /a)	74.295.625	
	LWR (1/h)	13,1	6,8	3,4	V _{AB} (m ³ /a)	79.551.625	
01 Chemielabor real Kombilabor	V (m ³ /m ² h)	63,9	25,0	12,5	V _{ZU} (m ³ /a)	59.280.625	
	LWR (1/h)	17,3	6,8	3,4	V _{AB} (m ³ /a)	64.536.625	
02 Chemielabor SecuFlow	V (m ³ /m ² h)	33,7	25,0	12,5	V _{ZU} (m ³ /a)	68.895.625	
	LWR (1/h)	9,1	6,8	3,4	V _{AB} (m ³ /a)	74.151.625	
03 Chemielabor reduzierte LWR Tag	V (m ³ /m ² h)	48,3	21,1	12,5	V _{ZU} (m ³ /a)	70.405.625	
	LWR (1/h)	13,1	5,7	3,4	V _{AB} (m ³ /a)	75.661.625	
04 Chemielabor reduzierte LWR Nacht	V (m ³ /m ² h)	48,3	25,0	11,3	V _{ZU} (m ³ /a)	70.794.800	
	LWR (1/h)	13,1	6,8	3,1	V _{AB} (m ³ /a)	76.050.800	
05 Chemielabor 02, 03 & 04 kombiniert	V (m ³ /m ² h)	33,7	21,1	11,3	V _{ZU} (m ³ /a)	61.504.800	
	LWR (1/h)	9,1	5,7	3,1	V _{AB} (m ³ /a)	66.760.800	

Raumfläche	Raumhöhe	Raumvolumen	Luftwechsel nach DIN 1946-7 (25 m³/m²h)	Luftwechsel max.	Luftwechsel min.	Luftwechsel "Nacht"	Raum	Abgesaugte Einheiten	V _{max} Laborabluft "Schieber offen"	V _{min} Laborabluft "Schieber geschlossen"	V Nachbetrieb	V 24h-Abluft	Druckverlust Δ p
m²	m	m³	m³/h	1/h	1/h	1/h			m³/h	m³/h	m³/h	m³/h	Pa

493,0	3,7	1.824,1	12.325,0	6,8	6,8	3,4							
-------	-----	---------	----------	-----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--

02 Labor BIO_SecuFlow

Raumnummer	Raumname	Luftwechsel	V _{max}	V _{min}	V _{Nacht}	V _{24h}	Druckverlust	Zwischensumme	
								7.920,0	4.800,0
82,2	Achse 1	Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100	120			
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100	120			
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100	120			
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100	120			
		Lösemittelschrank				30	50		
		Säuren- Laugenschrank				100	100		
82,2	Achse 2	Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100	120			
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100	120			
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100	120			
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100	120			
		Lösemittelschrank				30	50		
		Säuren- Laugenschrank				100	100		
82,2	Achse 3	Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100	120			
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100	120			
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100	120			
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100	120			
		Lösemittelschrank				30	50		
		Säuren- Laugenschrank				100	100		
82,2	Achse 4	Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100	120			
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100	120			
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100	120			
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100	120			
		Lösemittelschrank				30	50		
		Säuren- Laugenschrank				100	100		
82,2	Achse 5	Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100	120			
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100	120			
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100	120			
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100	120			
		Lösemittelschrank				30	50		
		Säuren- Laugenschrank				100	100		
82,2	Achse 6	Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100	120			
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100	120			
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100	120			
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100	120			
		Lösemittelschrank				30	50		
		Säuren- Laugenschrank				100	100		
			Zwischensumme	7.920,0	4.800,0	2.400,0	780,0	3.780,0	
			Summe Abluft (V + V 24h)	8.700,0	5.580,0	3.180,0			
			Abluft Raum (Differenz)	3.625,0	6.745,0	2.982,5			
			V Abluft gesamt	12.325,0	12.325,0	6.162,5			
			m³/m²h	25,0	25,0	12,5			
			Nachströmung Flur	600,0	600,0	600,0			
			V Zuluft Raum	11.725,0	11.725,0	5.562,5			

Betriebszeiten

Tage / Jahr	Stunden / Jahr	Betriebstage / Jahr	Betriebsst. / Tag	Betriebsst. / Jahr	alle Abzüge offen pro Betriebstag	alle Abzüge geschlossen pro Betriebstag	Nacht & Wochenende
d	h	d	h	h	h	h	h
365,0	8760	250	11	2750	3	8	
			h/a	750	2000	6010	

Kontrolle	Betriebszustand	Betriebszustand	Betriebszustand	Gesamt
Stunden / Jahr	alle Abzüge offen	alle Abzüge geschlossen	Nacht & Wochenende	m³/a
	m³/a	m³/a	m³/a	m³/a
8760	9.243.750	24.650.000	37.036.625	70.930.375
	8.793.750	23.450.000	33.430.625	65.674.375

V Abluft gesamt / Jahr	9.243.750	24.650.000	37.036.625	70.930.375
V Zuluft gesamt / Jahr	8.793.750	23.450.000	33.430.625	65.674.375

Raumfläche	Raumhöhe	Raumvolumen	Luftwechsel nach DIN 1946-7 (25 m³/m²h)	Luftwechsel max.	Luftwechsel min.	Luftwechsel "Nacht"	Raum	Abgesaugte Einheiten	V _{max} Laborabluft "Schieber offen"	V _{min} Laborabluft "Schieber geschlossen"	V Nachbetrieb	V 24h-Abluft	Druckverlust Δ p
m²	m	m³	m³/h	1/h	1/h	1/h			m³/h	m³/h	m³/h	m³/h	Pa

05 Labor BIO_Secuflow & reuzierter Tagbetrieb

493,0	3,7	1.824,1	12.325,0	6,8	3,4	3,4							
82,2							Achse 1	Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100		120
								Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100		120
								Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100		120
								Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100		120
								Lösemittelschrank				30	50
								Säuren- Laugenschrank				100	100
82,2							Achse 2	Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100		120
								Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100		120
								Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100		120
								Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100		120
								Lösemittelschrank				30	50
								Säuren- Laugenschrank				100	100
82,2							Achse 3	Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100		120
								Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100		120
								Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100		120
								Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100		120
								Lösemittelschrank				30	50
								Säuren- Laugenschrank				100	100
82,2							Achse 4	Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100		120
								Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100		120
								Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100		120
								Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100		120
								Lösemittelschrank				30	50
								Säuren- Laugenschrank				100	100
82,2							Achse 5	Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100		120
								Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100		120
								Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100		120
								Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100		120
								Lösemittelschrank				30	50
								Säuren- Laugenschrank				100	100
82,2							Achse 6	Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100		120
								Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100		120
								Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100		120
								Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100		120
								Lösemittelschrank				30	50
								Säuren- Laugenschrank				100	100
								Zwischensumme	7.920,0	4.800,0	2.400,0	780,0	3.780,0
								Summe Abluft (V + V 24h)	8.700,0	5.580,0	3.180,0		
								Abluft Raum (Differenz)	3.625,0	582,5	2.982,5		
								V Abluft gesamt	12.325,0	6.162,5	6.162,5		
								m³/m²h	25,0	12,5	12,5		
								Nachströmung Flur	600,0	600,0	600,0		
								V Zuluft Raum	11.725,0	5.562,5	5.562,5		

Betriebszeiten

Tage / Jahr	Stunden / Jahr	Betriebstage / Jahr	Betriebsst. / Tag	Betriebsst. / Jahr	alle Abzüge offen pro Betriebstag	alle Abzüge geschlossen pro Betriebstag	Nacht & Wochenende
d	h	d	h	h	h	h	h
365,0	8760	250	11	2750	3	8	
				h/a	750	2000	6010

Kontrolle Stunden / Jahr	Betriebszustand alle Abzüge offen	Betriebszustand alle Abzüge geschlossen	Betriebszustand Nacht & Wochenende	Gesamt
	m³/a	m³/a	m³/a	m³/a
8760	9.243.750	12.325.000	37.036.625	58.605.375
	8.793.750	11.125.000	33.430.625	53.349.375
	V Abluft gesamt / Jahr			
	V Zuluft gesamt / Jahr			

Raumfläche	Raumhöhe	Raumvolumen	Luftwechsel nach DIN 1946-7 (25 m³/m²h)	Luftwechsel max.	Luftwechsel min.	Luftwechsel "Nacht"	Raum	Abgesaugte Einheiten	V _{max} Laborabluft "Schieber offen"	V _{min} Laborabluft "Schieber geschlossen"	V Nachbetrieb	V 24h-Abluft	Druckverlust Δp
m²	m	m³	m³/h	1/h	1/h	1/h			m³/h	m³/h	m³/h	m³/h	Pa

493,0	3,7	1.824,1	12.325,0	6,8	3,4	1,7							
-------	-----	---------	----------	-----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--

05 Labor BIO_SecufLOW & reuzierter Tag- & Nachtbetrieb

82,2	Achse 1	Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100							120	
Profil: Labor mit 4 Abzügen je Achse: > Abzüge hocheffizient in offener Betriebsweise Betriebszeit "Schieber offen": außerhalb der Betriebszeit: Arbeitstage / Jahr: Arbeitsstunden / Tag: Stunden "Schieber offen": Überströmte AW-Plätze:	z. B. Biologie min. 25 m³/m²h min. 12,5 m³/m²h nur 24h Abluft 250 11 3 nein	Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100							120	
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100								120
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100								120
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100								120
		Lösemittelschrank Säuren- Laugenschrank										30	100
82,2	Achse 2	Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100								120
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100								120
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100								120
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100								120
		Lösemittelschrank Säuren- Laugenschrank										30	100
82,2	Achse 3	Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100								120
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100								120
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100								120
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100								120
		Lösemittelschrank Säuren- Laugenschrank										30	100
82,2	Achse 4	Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100								120
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100								120
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100								120
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100								120
		Lösemittelschrank Säuren- Laugenschrank										30	100
82,2	Achse 5	Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100								120
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100								120
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100								120
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100								120
		Lösemittelschrank Säuren- Laugenschrank										30	100
82,2	Achse 6	Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100								120
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100								120
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100								120
		Digestorium 1,2 m SecuFlow	330	200	100								120
		Lösemittelschrank Säuren- Laugenschrank										30	100
			Zwischensumme	7.920,0	4.800,0	2.400,0					780,0	3.780,0	
			Summe Abluft (V + V 24h)	8.700,0	5.580,0	3.180,0							
			Abluft Raum (Differenz)	3.625,0	582,5	0,0							
			V Abluft gesamt	12.325,0	6.162,5	3.180,0							
			m³/m²h	25,0	12,5	6,5							
			Nachströmung Flur	600,0	600,0	600,0							
			V Zuluft Raum	11.725,0	5.562,5	2.580,0							

Betriebszeiten

Tage / Jahr	Stunden / Jahr	Betriebstage / Jahr	Betriebsst. / Tag	Betriebsst. / Jahr	alle Abzüge offen pro Betriebstag	alle Abzüge geschlossen pro Betriebstag	Nacht & Wochenende
d	h	d	h	h	h	h	h
365,0	8760	250	11	2750	3	8	
				h/a	750	2000	6010

Kontrolle
Stunden / Jahr

Betriebszustand alle Abzüge offen	Betriebszustand alle Abzüge geschlossen	Betriebszustand Nacht & Wochenende
m³/a	m³/a	m³/a

Gesamt
m³/a

8760

V Abluft gesamt / Jahr	9.243.750	12.325.000	19.111.800	40.680.550
V Zuluft gesamt / Jahr	8.793.750	11.125.000	15.505.800	35.424.550

Raumfläche	Raumhöhe	Raumvolumen	Luftwechsel nach DIN 1946-7 (25 m³/m²h)	Luftwechsel max.	Luftwechsel min.	Luftwechsel "Nacht"	Raum	Abgesaugte Einheiten	V _{max} Laborabluft "Schieber offen"	V _{min} Laborabluft "Schieber geschlossen"	V Nachbetrieb	V 24h-Abluft	Druckverlust Δ p
m²	m	m³	m³/h	1/h	1/h	1/h			m³/h	m³/h	m³/h	m³/h	Pa

01
Labor CH_real

493,0	3,7	1.824,1	12.325,0	13,1	6,8	3,4							
82,2							Achse 1	Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Lösemittelschrank				30	50
								Säuren- Laugenschrank				100	100
82,2							Achse 2	Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Lösemittelschrank				30	50
								Säuren- Laugenschrank				100	100
82,2							Achse 3	Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Lösemittelschrank				30	50
								Säuren- Laugenschrank				100	100
82,2							Achse 4	Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Lösemittelschrank				30	50
								Säuren- Laugenschrank				100	100
82,2							Achse 5	Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Lösemittelschrank				30	50
								Säuren- Laugenschrank				100	100
82,2							Achse 6	Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Lösemittelschrank				30	50
								Säuren- Laugenschrank				100	100

Profil:
Labor mit 8 Abzügen je Achse:
Betriebszeit "Schieber offen":
Betriebszeit "Schieber geschl.":
außerhalb der Betriebszeit:
Arbeitsstage / Jahr:
Arbeitsstunden / Tag:
Stunden "Schieber offen":
Überströmte AW-Plätze:

z.B. Chemie
min. 25 m³/m²h
min. 12,5 m³/m²h
250
11
3
nein

Zwischensumme	23.040,0	9.600,0	4.800,0	780,0	6.660,0
Summe Abluft (V + V 24h)	23.820,0	10.380,0	5.580,0		
Abluft Raum (Differenz)	0,0	1.945,0	582,5		
V Abluft gesamt	23.820,0	12.325,0	6.162,5		
m³/m²h	48,3	25,0	12,5		
Nachströmung Flur	600,0	600,0	600,0		
V Zuluft Raum	23.220,0	11.725,0	5.562,5		

Betriebszeiten

Tage / Jahr	Stunden / Jahr	Betriebsstage / Jahr	Betriebsst. / Tag	Betriebsst. / Jahr	alle Abzüge offen pro Betriebsstag	alle Abzüge geschlossen pro Betriebsstag	Nacht & Wochenende
d	h	d	h	h	h	h	h
365,0	8760	250	11	2750	3	8	
				h/a	750	2000	6010

Kontrolle
Stunden / Jahr

8760

Betriebszustand alle Abzüge offen	Betriebszustand alle Abzüge geschlossen	Betriebszustand Nacht & Wochenende	Gesamt
m³/a	m³/a	m³/a	m³/a

V Abluft gesamt / Jahr	17.865.000	24.650.000	37.036.625	79.551.625
V Zuluft gesamt / Jahr	17.415.000	23.450.000	33.430.625	74.295.625

Raumfläche	Raumhöhe	Raumvolumen	Luftwechsel nach DIN 1946-7 (25 m³/m²/h)	Luftwechsel max.	Luftwechsel min.	Luftwechsel "Nacht"	Raum	Abgesaugte Einheiten	V _{max} Laborabluft "Schieber offen"	V _{min} Laborabluft "Schieber geschlossen"	V Nachbetrieb	V 24h-Abluft	Druckverlust Δ p
m²	m	m³	m³/h	1/h	1/h	1/h			m³/h	m³/h	m³/h	m³/h	Pa

493,0	3,7	1.824,1	12.325,0	13,1	5,7	3,4							
-------	-----	---------	----------	------	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--

03
Labor CH_reduzierter Tagbetrieb

82,2	Achse 1	Digestorium 1,2 m Digestorium 1,2 m Digestorium 1,2 m Digestorium 1,2 m Digestorium 1,2 m Digestorium 1,2 m Digestorium 1,2 m Digestorium 1,2 m Digestorium 1,2 m Lösemittelschrank Säuren- Laugenschrank	Abgesaugte Einheiten			V 24h-Abluft	Druckverlust Δ p
			V _{max} Laborabluft "Schieber offen"	V _{min} Laborabluft "Schieber geschlossen"	V Nachbetrieb		
Profil: Labor mit 8 Abzügen je Achse: Betriebszeit "Schieber offen": Betriebszeit "Schieber geschl.": außerhalb der Betriebszeit: Arbeitstage / Jahr: Arbeitsstunden / Tag: Stunden "Schieber offen": Überströmte AW-Plätze:	z. B. Chemie min. 25 m³/m²h min. 12,5 m³/m²h min. 12,5 m³/m²h 250 11 3 nein	Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
Lösemittelschrank						30	50
Säuren- Laugenschrank						100	100
82,2	Achse 2	Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
Lösemittelschrank						30	50
Säuren- Laugenschrank						100	100
82,2	Achse 3	Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
Lösemittelschrank						30	50
Säuren- Laugenschrank						100	100
82,2	Achse 4	Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
Lösemittelschrank						30	50
Säuren- Laugenschrank						100	100
82,2	Achse 5	Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
Lösemittelschrank						30	50
Säuren- Laugenschrank						100	100
82,2	Achse 6	Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
		Digestorium 1,2 m	480	200	100	120	
Lösemittelschrank						30	50
Säuren- Laugenschrank						100	100
Zwischensumme			23.040,0	9.600,0	4.800,0	780,0	6.660,0
Summe Abluft (V + V 24h)			23.820,0	10.380,0	5.580,0		
Abluft Raum (Differenz)			0,0	0,0	582,5		
V Abluft gesamt			23.820,0	10.380,0	6.162,5		
m³/m²h			48,3	21,1	12,5		
Nachströmung Flur			600,0	600,0	600,0		
V Zuluft Raum			23.220,0	9.780,0	5.562,5		

Betriebszeiten							
Tage / Jahr	Stunden / Jahr	Betriebsstage / Jahr	Betriebsst. / Tag	Betriebsst. / Jahr	alle Abzüge offen pro Betriebstag	alle Abzüge geschlossen pro Betriebstag	Nacht & Wochenende
d	h	d	h	h	h	h	h
365,0	8760	250	11	2750	3	8	
				h/a	750	2000	6010

Kontrolle				Gesamt
Stunden / Jahr				
Betriebszustand alle Abzüge offen	Betriebszustand alle Abzüge geschlossen	Betriebszustand Nacht & Wochenende		m³/a
m³/a	m³/a	m³/a		m³/a

V Abluft gesamt / Jahr	17.865.000	20.760.000	37.036.625	75.661.625
V Zuluft gesamt / Jahr	17.415.000	19.560.000	33.430.625	70.405.625

Raumfläche	Raumhöhe	Raumvolumen	Luftwechsel nach DIN 1946-7 (25 m³/m²h)	Luftwechsel max.	Luftwechsel min.	Luftwechsel "Nacht"	Raum	Abgesaugte Einheiten	V _{max} Laborabluft "Schieber offen"	V _{min} Laborabluft "Schieber geschlossen"	V Nachbetrieb	V 24h-Abluft	Druckverlust Δp
m²	m	m³	m³/h	1/h	1/h	1/h			m³/h	m³/h	m³/h	m³/h	Pa

04
Labor CH_reduzierter Nachtbetrieb

493,0	3,7	1.824,1	12.325,0	13,1	6,8	3,1							
82,2							Achse 1	Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Lösemittelschrank				30	50
								Säuren- Laugenschrank				100	100
82,2							Achse 2	Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Lösemittelschrank				30	50
								Säuren- Laugenschrank				100	100
82,2							Achse 3	Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Lösemittelschrank				30	50
								Säuren- Laugenschrank				100	100
82,2							Achse 4	Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Lösemittelschrank				30	50
								Säuren- Laugenschrank				100	100
82,2							Achse 5	Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Lösemittelschrank				30	50
								Säuren- Laugenschrank				100	100
82,2							Achse 6	Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Digestorium 1,2 m	480	200	100		120
								Lösemittelschrank				30	50
								Säuren- Laugenschrank				100	100
								Zwischensumme	23.040,0	9.600,0	4.800,0	780,0	6.660,0
								Summe Abluft (V + V 24h)	23.820,0	10.380,0	5.580,0		
								Abluft Raum (Differenz)	0,0	1.945,0	0,0		
								V Abluft gesamt	23.820,0	12.325,0	5.580,0		
								m³/m²h	48,3	25,0	11,3		
								Nachströmung Flur	600,0	600,0	600,0		
								V Zuluft Raum	23.220,0	11.725,0	4.980,0		

Betriebszeiten

Tage / Jahr	Stunden / Jahr	Betriebstage / Jahr	Betriebsst. / Tag	Betriebsst. / Jahr	alle Abzüge offen pro Betriebstag	alle Abzüge geschlossen pro Betriebstag	Nacht & Wochenende
d	h	d	h	h	h	h	h
365,0	8760	250	11	2750	3	8	

h/a 750 2000 6010

Kontrolle
Stunden / Jahr

Betriebszustand alle Abzüge offen	Betriebszustand alle Abzüge geschlossen	Betriebszustand Nacht & Wochenende	Gesamt
m³/a	m³/a	m³/a	m³/a

V Abluft gesamt / Jahr 17.865.000 24.650.000 33.535.800 76.050.800
V Zuluft gesamt / Jahr 17.415.000 23.450.000 29.929.800 70.794.800

Raumfläche	Raumhöhe	Raumvolumen	Luftwechsel nach DIN 1946-7 (25 m³/m²h)	Luftwechsel max.	Luftwechsel min.	Luftwechsel "Nacht"	Raum	Abgesaugte Einheiten	V _{max} Laborabluft "Schieber offen"	V _{min} Laborabluft "Schieber geschlossen"	V Nachbetrieb	V 24h-Abluft	Druckverlust Δ p
m²	m	m³	m³/h	1/h	1/h	1/h			m³/h	m³/h	m³/h	m³/h	Pa

493,0	3,7	1.824,1	12.325,0	9,1	5,7	3,4
-------	-----	---------	----------	-----	-----	-----

05
Labor CH_Securoflow & reuzierter Tagbetrieb

82,2	Profil: Labor mit 8 Abzügen je Achse: z.B. Chemie > Abzüge hocheffizient in offener Betriebsweise Betriebszeit "Schieber offen": min. 25 m³/m²h Betriebszeit "Schieber geschl.": min. 12,5 m³/m²h außerhalb der Betriebszeit: nur 24h Abluft Arbeitstage / Jahr: 250 Arbeitsstunden / Tag: 11 Stunden "Schieber offen": 3 Überströmte AW-Plätze: nein	Achse 1	Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Lösemittelschrank												30	50
			Säuren- Laugenschrank												100	100
82,2		Achse 2	Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Lösemittelschrank												30	50
			Säuren- Laugenschrank												100	100
82,2		Achse 3	Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Lösemittelschrank												30	50
			Säuren- Laugenschrank												100	100
82,2		Achse 4	Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Lösemittelschrank												30	50
			Säuren- Laugenschrank												100	100
82,2		Achse 5	Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Lösemittelschrank												30	50
			Säuren- Laugenschrank												100	100
82,2		Achse 6	Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Digestorium 1,2 m Securoflow	330	200	100										
			Lösemittelschrank												30	50
			Säuren- Laugenschrank												100	100
			Zwischensumme	15.840,0	9.600,0	4.800,0	780,0	6.660,0								
			Summe Abluft (V + V 24h)	16.620,0	10.380,0	5.580,0										
			Abluft Raum (Differenz)	0,0	0,0	582,5										
			V Abluft gesamt	16.620,0	10.380,0	6.162,5										
			m³/m²h	33,7	21,1	12,5										
			Nachströmung Flur	600,0	600,0	600,0										
			V Zuluft Raum	16.020,0	9.780,0	5.562,5										

Betriebszeiten

Tage / Jahr	Stunden / Jahr	Betriebstage / Jahr	Betriebsst. / Tag	Betriebsst. / Jahr	alle Abzüge offen pro Betriebstag	alle Abzüge geschlossen pro Betriebstag	Nacht & Wochenende
d	h	d	h	h	h	h	h
365,0	8760	250	11	2750	3	8	

h/a 750 2000 6010

Kontrolle
Stunden / Jahr

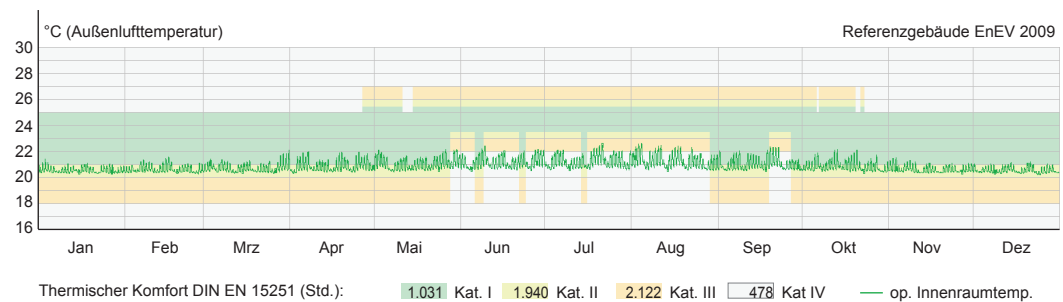
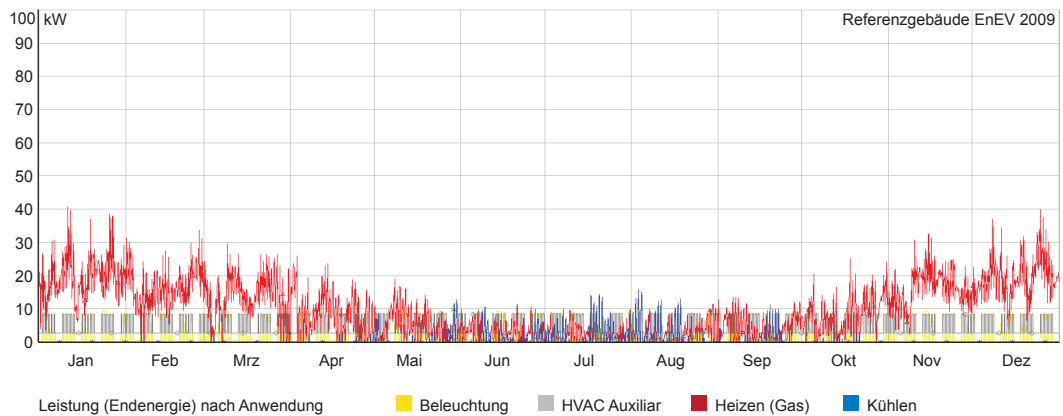
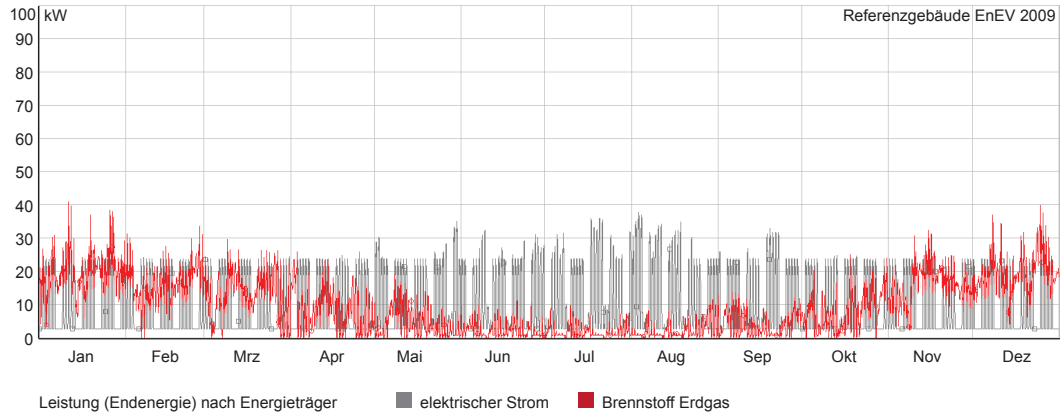
8760

Betriebszustand alle Abzüge offen	Betriebszustand alle Abzüge geschlossen	Betriebszustand Nacht & Wochenende	Gesamt
m³/a	m³/a	m³/a	m³/a

V Abluft gesamt / Jahr	12.465.000	20.760.000	37.036.625	70.261.625
V Zuluft gesamt / Jahr	12.015.000	19.560.000	33.430.625	65.005.625

19.5 Anhang 15-A1 - Simulationsgrafiken und -ergebnisse

Referenzgebäude in der Ausführung EnEV 2009



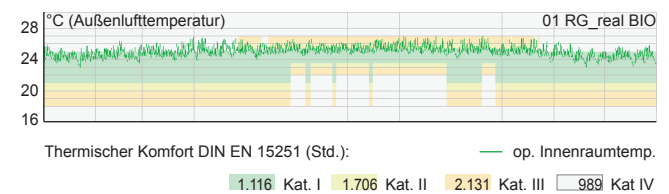
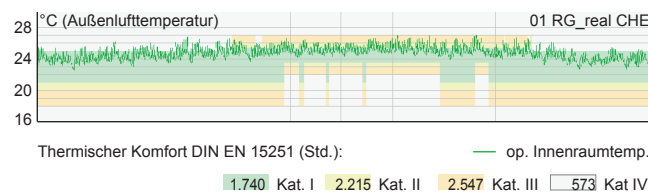
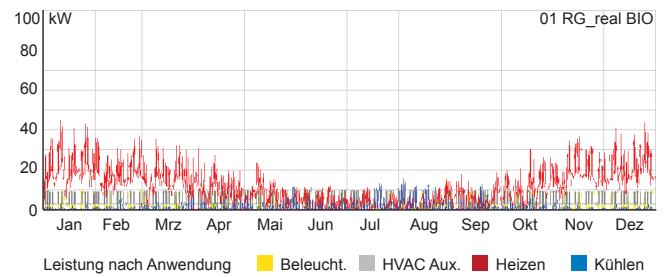
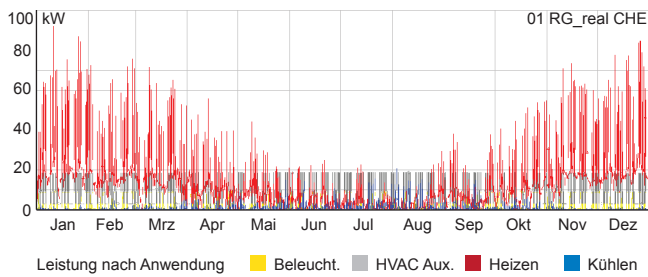
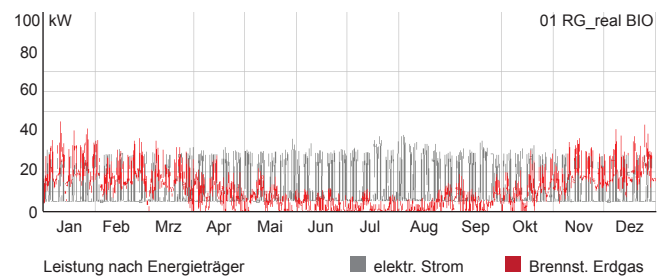
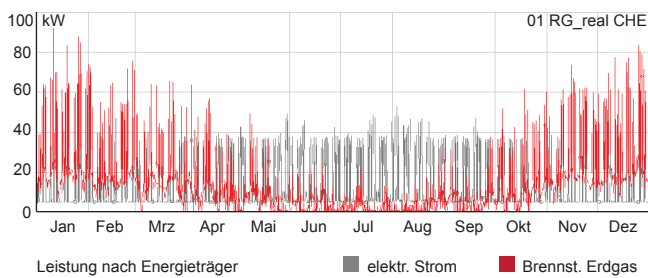
00 RG_EnEV

Q'_E - spez. Endenergie (kWh/m ² a)	315,8	
Q'_{PNE} - spez. Primärenergie (kWh/m ² a)	446,6	
therm. Diskomfort (Std. Kat. III & IV) nach DIN EN 15251	478	18,4%

01 Referenzgebäude reale Ausführung – Nutzung Chemielabor

01 Referenzgebäude reale Ausführung – Nutzung Biologielabor

01 RG_real	CHE	BIO
RLT Abluftvent. (SFP)	1,3 kW/(m3/s)	1,3 kW/(m3/s)
RLT Zulufttemperatur	Isotherm (22-26°C)	Isotherm (22-26°C)
Nutzungszeit	7:00 – 19:00	7:00 – 19:00
LW Betriebszeit min/max	CHE 7/13	BIO 7/7
Belegungsdichte Digestorien	CHE 4 St./40m2	BIO 2 St./40m2
RLT Zuluft / Jahr	CHE 74,3 Mio. m3	BIO 65,7 Mio. m3
RLT Abluft / Jahr	CHE 79,6 Mio. m3	BIO 70,9 Mio. m3



01 RG_real	CHE	BIO
Q' _E - spez. Endenergie (kWh/m²a)	396,2	100,0 %
Q' _{PNE} - spez. Primärenergie (kWh/m²a)	558,9	100,0 %
therm. Diskomfort (Std. Kat. III & IV) nach DIN EN 15251	905	29,0 %

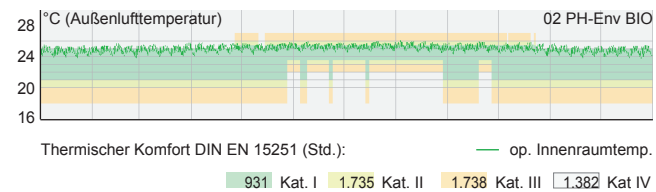
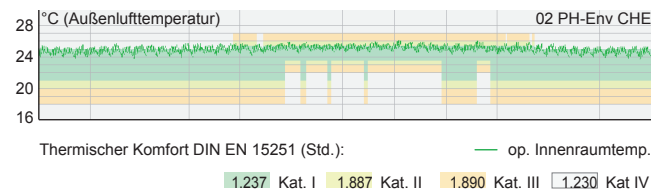
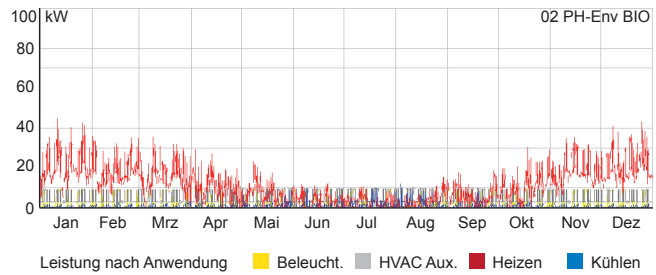
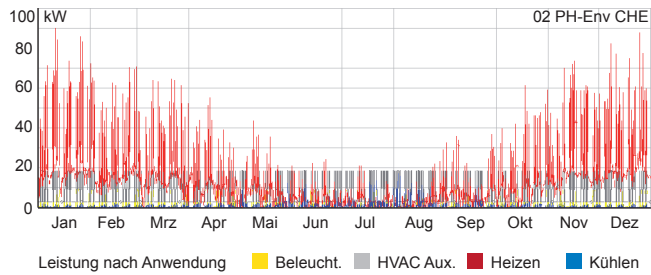
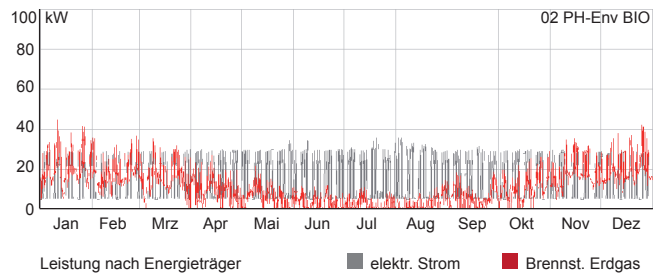
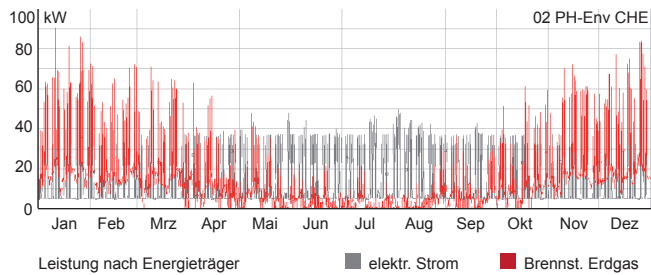
Einzelmaßnahme

02 Optimierte Gebäudehülle - Nutzung Chemielabor

Einzelmaßnahme

02 Optimierte Gebäudehülle - Nutzung Biologielabor

02 PH-Env	CHE	BIO
U-Wert (AW)	0,15 W/m ² K	0,15 W/m ² K
U-Wert (Fenster) / g-Wert	0,70 W/m ² K / 0,50	0,70 W/m ² K / 0,50
Gebäudedichtheit	0,6 h ⁻¹	0,6 h ⁻¹
Sonnenschutz	Außenliegender Sonnenschutz	Außenliegender Sonnenschutz



02 PH-Env	CHE	BIO
Q _E - spez. Endenergie (kWh/m ² a)	389,9	98,4 %
Q _{PNE} - spez. Primärenergie (kWh/m ² a)	549,4	98,3 %
therm. Diskomfort (Std. Kat. III & IV) nach DIN EN 15251	1233	39,5 %

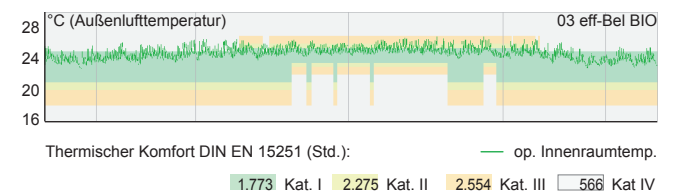
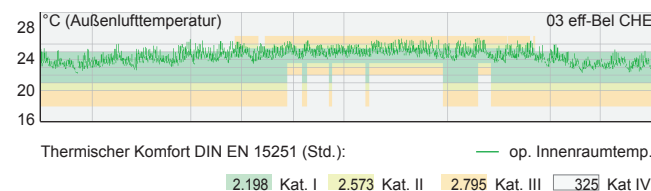
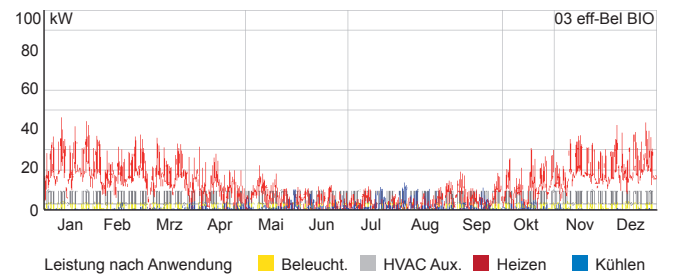
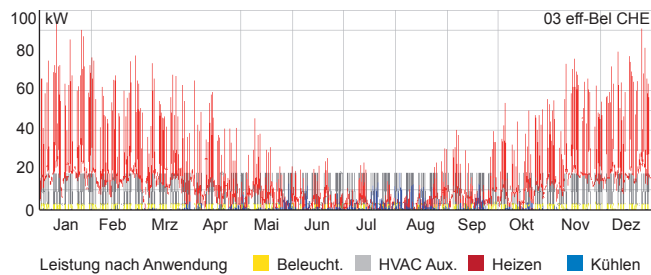
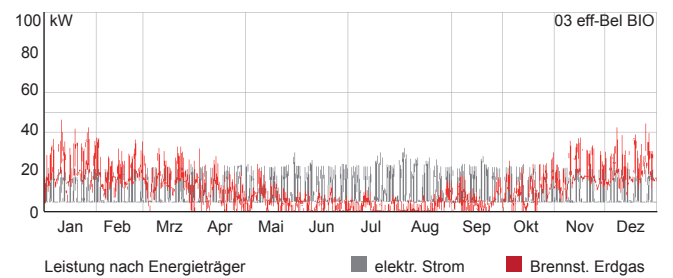
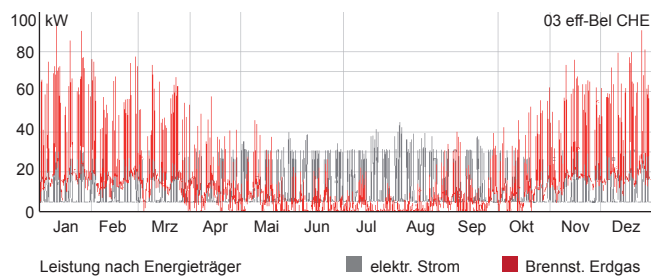
Einzelmaßnahme

03 Optimierung der Beleuchtung – Nutzung Chemielabor

Einzelmaßnahme

03 Optimierung der Beleuchtung – Nutzung Biologielabor

03 eff-Bel	CHE	BIO
Lampenart	LED	LED
Installationsdichte (W/m ²)	7,5 W/m ²	7,5 W/m ²
Steuerung	Tageslichtabhängige Steuerung	Tageslichtabhängige Steuerung



03 eff-Bel	CHE	BIO		
Q' _E - spez. Endenergie (kWh/m ² a)	363,2	91,7 %	323,2	89,6 %
Q' _{PNE} - spez. Primärenergie (kWh/m ² a)	493,5	88,3 %	440,9	86,0 %
therm. Diskomfort (Std. Kat. III & IV) nach DIN EN 15251	547	17,5 %	845	27,1 %

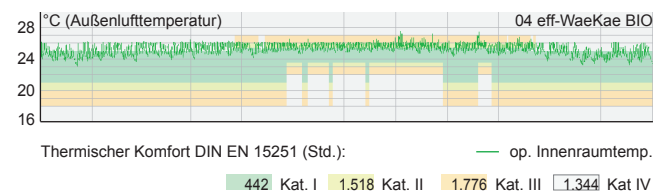
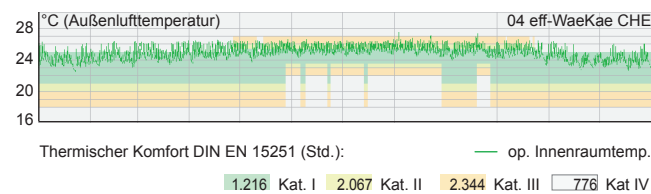
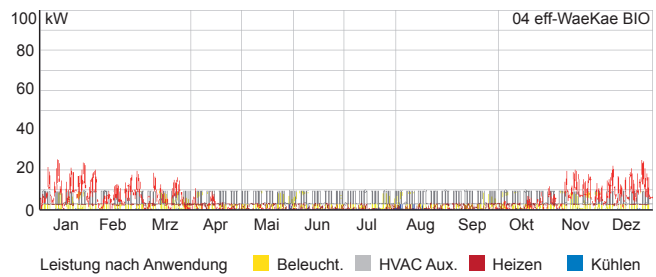
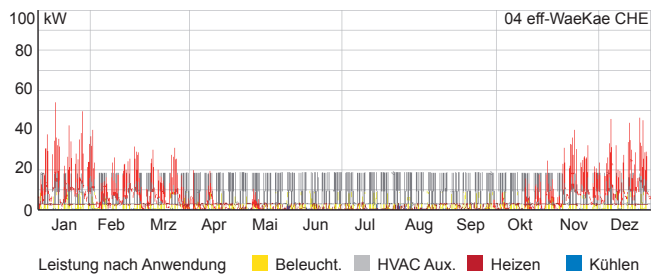
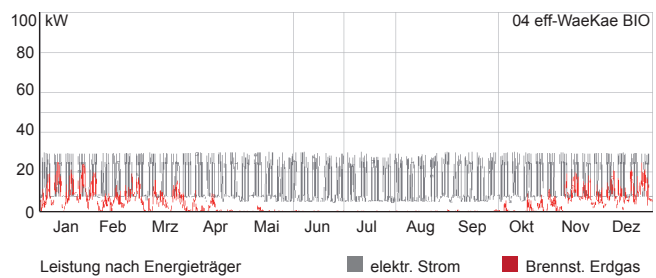
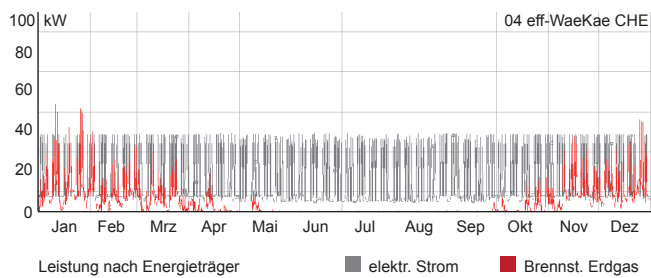
Einzelmaßnahme

04 Optimierte Wärme- Kälteerzeugung - Nutzung Chemielabor

Einzelmaßnahme

04 Optimierte Wärme- Kälteerzeugung - Nutzung Biologielabor

04 eff-WaeKae	CHE	BIO
Wärme Erzeuger	Grundlast Wärmepumpe COP 3,5	Grundlast Wärmepumpe COP 3,5
	Spitzenlast Gas-BWK 94%	Spitzenlast Gas-BWK 94%
Statische Wärme / Verteilung VL/RL / Regelung	Heizdecke / 45/35 °C / PI-Regler	Heizdecke / 45/35 °C / PI-Regler
Kühlung statisch / Verteilung VL/RL / Leistung	Kühldecke / 14/18 °C / 100 W/m ²	Kühldecke / 14/18 °C / 100 W/m ²
Kühlung RLT / Verteilung VL/RL	RLT / 14/18°C	RLT / 14/18°C
Kälte-Erzeugung	Wärmepumpe EER 4,0	Wärmepumpe EER 4,0



04 eff-WaeKae	CHE	BIO
Q'_E - spez. Endenergie (kWh/m ² a)	280,2	70,7 %
Q'_{PNE} - spez. Primärenergie (kWh/m ² a)	447,1	80,0 %
therm. Diskomfort (Std. Kat. III & IV) nach DIN EN 15251	1053	33,6 %

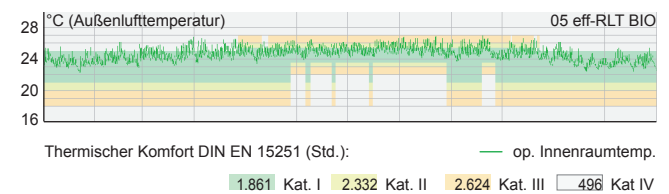
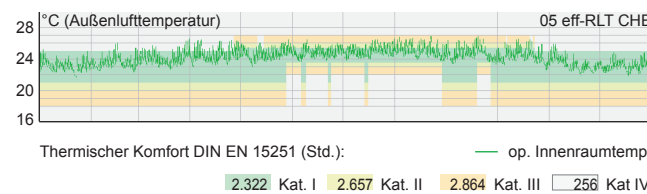
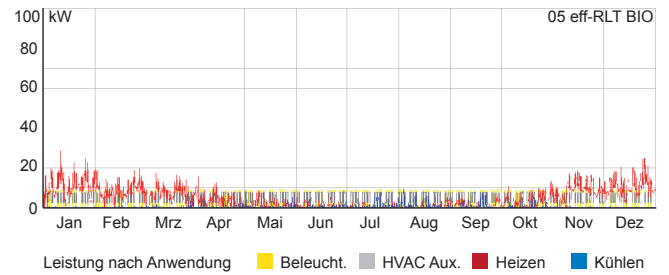
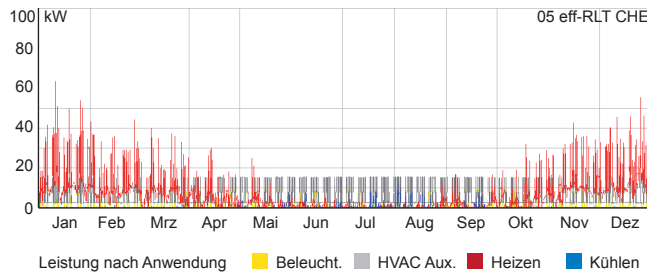
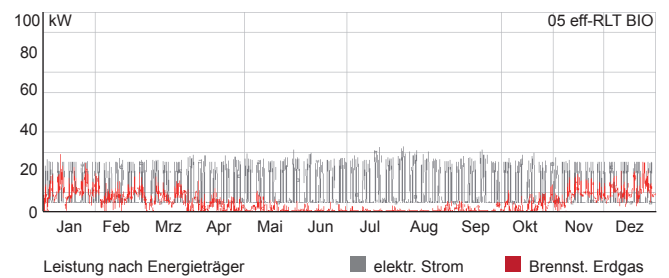
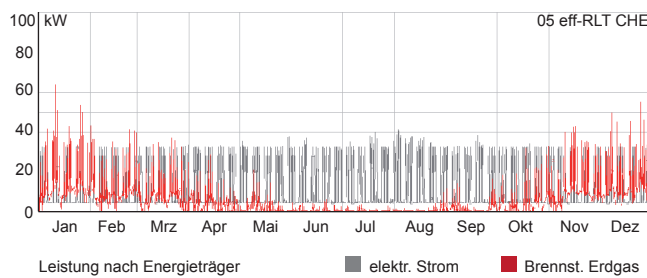
Einzelmaßnahme

05 Optimierte Raumluftechnik – Nutzung Chemielabor

Einzelmaßnahme

05 Optimierte Raumluftechnik – Nutzung Biologielabor

05 eff-RLT	CHE	BIO
RLT Wärme / VL/RL / Regelung	Kreislaufverbundsystem (WRG)	Kreislaufverbundsystem (WRG)
RLT Zuluftvent. (SFP)	1,2 kW/(m3/s)	1,2 kW/(m3/s)
RLT Abluftvent. (SFP)	1,1 kW/(m3/s)	1,1 kW/(m3/s)
RLT Rückwärmzahl (ht)	0,73	0,73
RLT Zulufttemperatur	Nicht isotherm (21-26°C)	Nicht isotherm (21-26°C)
Kühlung RLT / Verteilung VL/RL	RLT mit indirekter adiabater Kühlung 10/16°C	RLT mit indirekter adiabater Kühlung 10/16°C



05 eff-RLT	CHE	BIO		
Q _E ' - spez. Endenergie (kWh/m²a)	246,8	68,4 %	220,2	61,0 %
Q _{PNE} ' - spez. Primärenergie (kWh/m²a)	374,0	66,9 %	338,0	65,9 %
therm. Diskomfort (Std. Kat. III & IV) nach DIN EN 15251	463	14,8 %	788	25,3 %

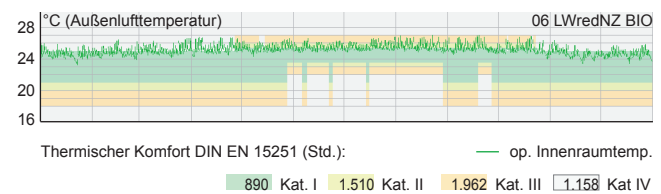
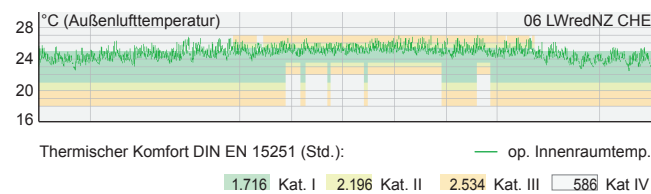
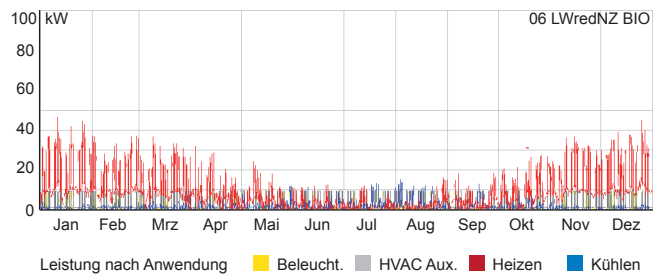
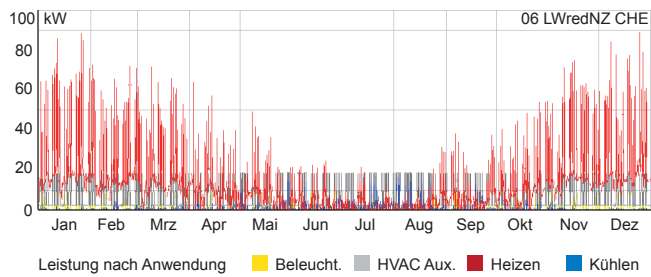
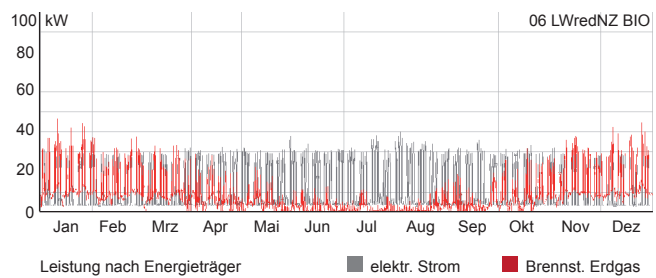
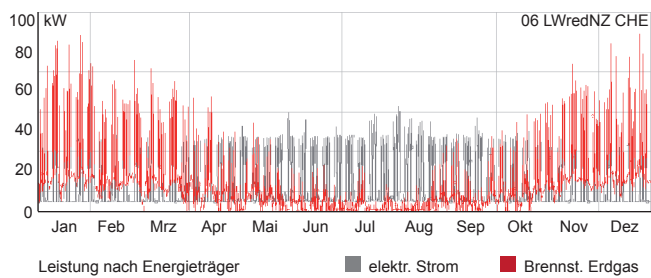
Einzelmaßnahme

06 Reduzierte Luftwechsel zur Nebenzeit - Nutzung Chemielabor

Einzelmaßnahme

06 Reduzierte Luftwechsel zur Nebenzeit - Nutzung Biologielabor

06 LWRredNZ	CHE	BIO
V_A Nebenzeit min.	11,3 m ³ /m ² h	6,5 m ³ /m ² h
RLT Zuluft / Jahr	70,8 Mio. m ³	47,4 Mio. m ³
RLT Abluft / Jahr	76,0 Mio. m ³	53,0 Mio. m ³



06 LWRredNZ	CHE	BIO
Q'_E - spez. Endenergie (kWh/m ² a)	380,7	293,6
Q'_{PNE} - spez. Primärenergie (kWh/m ² a)	538,3	426,0
therm. Diskomfort (Std. Kat. III & IV) nach DIN EN 15251	924	1610

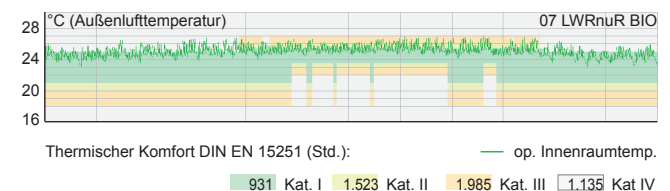
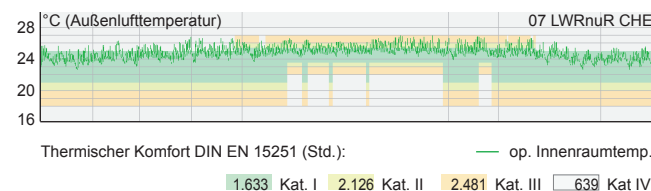
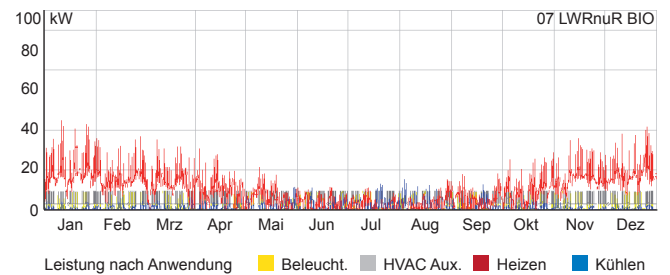
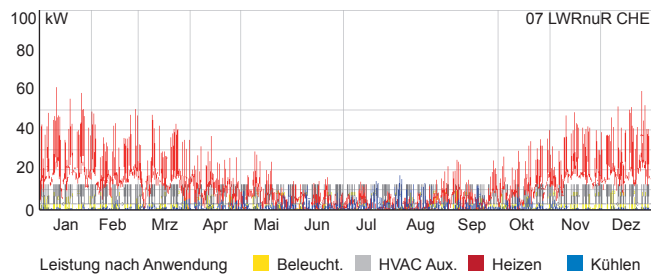
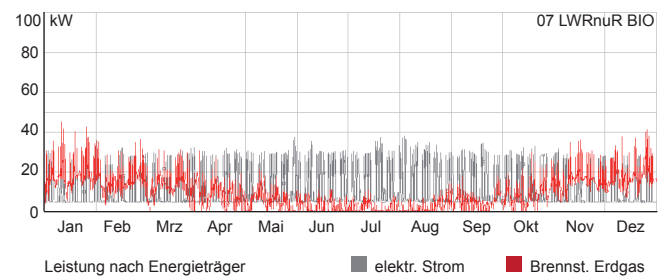
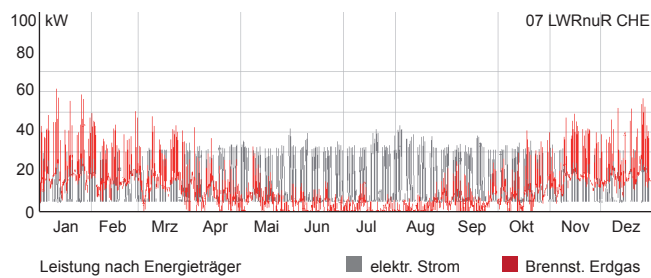
Einzelmaßnahme

07 Reduzierte Luftwechsel Betriebszeit – Nutzung Chemielabor

Einzelmaßnahme

07 Reduzierte Luftwechsel Betriebszeit – Nutzung Biologielabor

07 LWRnuR	CHE	BIO
VA Betriebszeit min.	21,1 m ³ /m ² h	12,5 m ³ /m ² h
LW Betriebszeit min/max	CHE 6/9	BIO 3/7
Digestorien	Digestorien mit Stützstrahltechnik	Digestorien mit Stützstrahltechnik
RLT Zuluft / Jahr	CHE 65,0 Mio. m ³	BIO 53,4 Mio. m ³
RLT Abluft / Jahr	CHE 70,3 Mio. m ³	BIO 58,6 Mio. m ³



07 LWRnuR	CHE	BIO		
Q' _E - spez. Endenergie (kWh/m ² a)	355,3	89,7 %	310,4	86,0 %
Q' _{PNE} - spez. Primärenergie (kWh/m ² a)	501,6	89,7 %	439,9	85,8 %
therm. Diskomfort (Std. Kat. III & IV) nach DIN EN 15251	994	31,9 %	1588	50,9 %

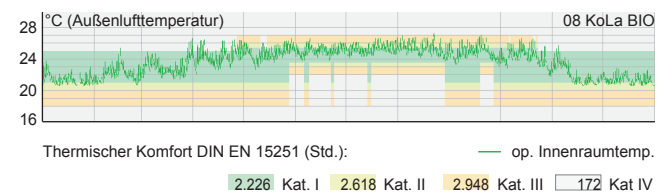
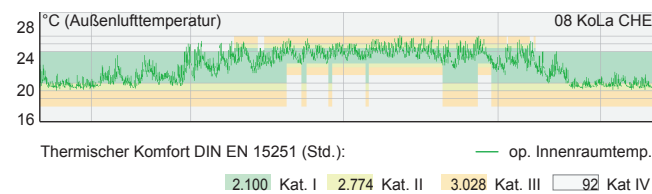
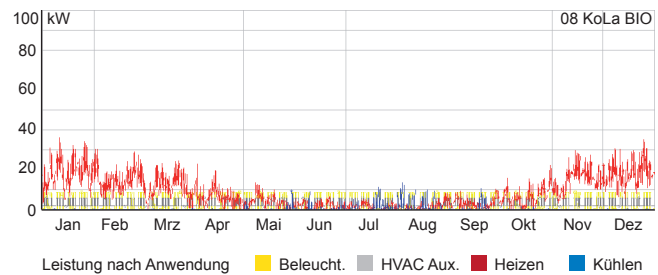
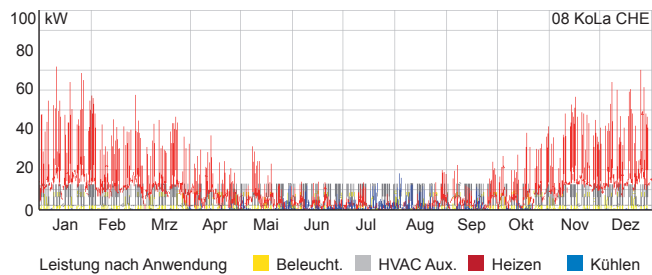
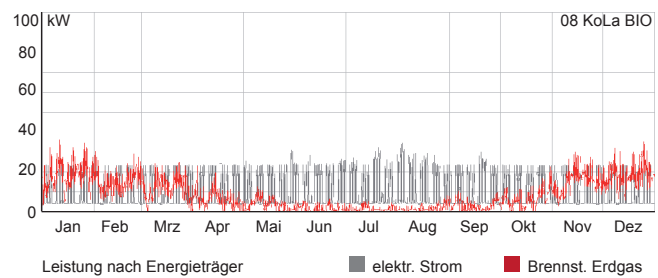
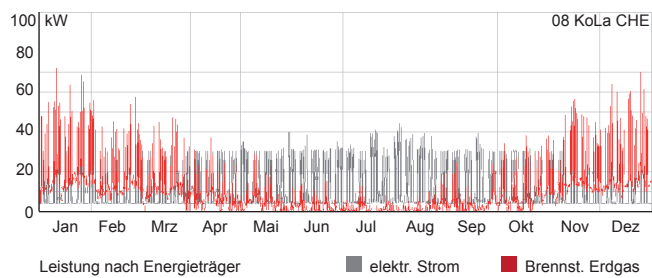
Einzelmaßnahme

08 Überströmung der Auswertezone - Nutzung Chemielabor

Einzelmaßnahme

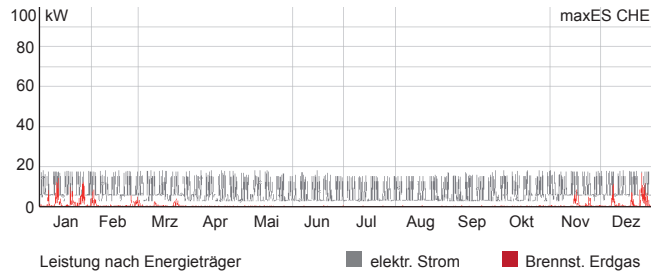
08 Überströmung der Auswertezone - Nutzung Biologielabor

08 KoLa	CHE	BIO
Labor-Bezugsfläche	373 m ²	373 m ²
Überströmung-NGF	120 m ²	120 m ²
RLT Zuluft / Jahr	CHE 59,3 Mio. m ³	BIO 48,4 Mio. m ³
RLT Abluft / Jahr	CHE 64,5 Mio. m ³	BIO 53,7 Mio. m ³

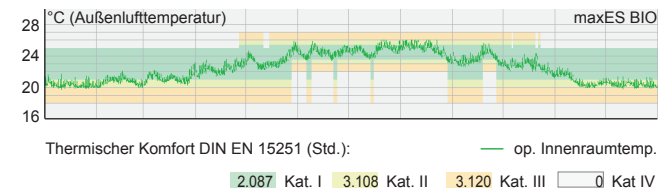
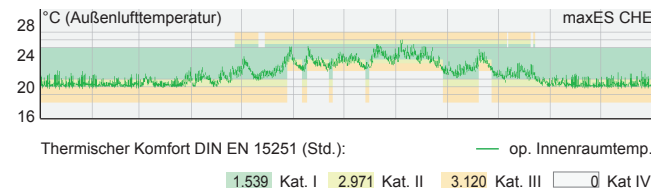
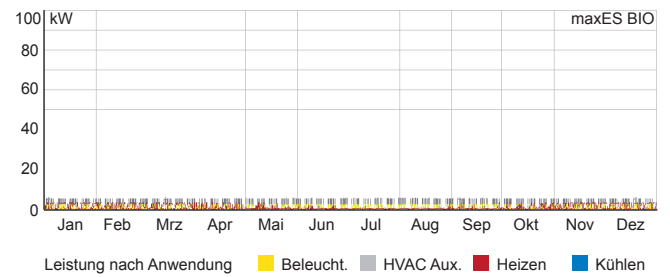
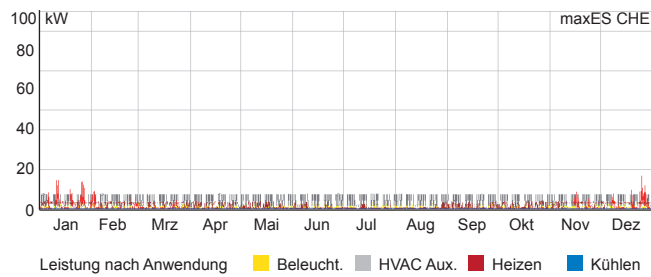
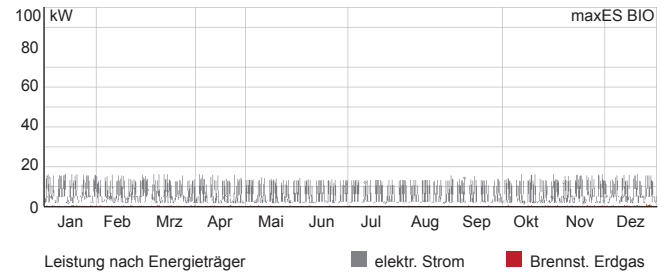


08 KoLa	CHE	BIO		
Q _E ' - spez. Endenergie (kWh/m ² a)	299,1	75,5 %	267,3	74,1 %
Q _{PNE} ' - spez. Primärenergie (kWh/m ² a)	426,5	76,3 %	385,9	75,3 %
therm. Diskomfort (Std. Kat. III & IV) nach DIN EN 15251	346	11,1 %	502	16,1 %

Kombinationsmaßnahme aller Einzelmaßnahmen
Effizienz & Suffizienz - Nutzung Chemielabor



Kombinationsmaßnahme aller Einzelmaßnahmen
Effizienz & Suffizienz - Nutzung Biologielabor



Ergebnisübersicht aller Kombinationsmodelle Effizienz & Suffizienz

	CHE		Therm. Diskomfort		BIO		Therm. Diskomfort	
	Q' PNE (kWh/m²a)		(h/a)	(% BZ)	Q' PNE (kWh/m²a)		(h/a)	(% BZ)
01 RG_real	559	100 %	905	29 %	513	100 %	1414	45 %
02+03	486	87 %	5	0,2 %	431	84 %	13	0,4 %
02+03+04	393	70 %	10	0,3 %	341	66 %	22	0,7 %
02+03+04+05	262	47 %	0	0 %	228	44 %	0	0 %
maxEff	262	47 %	0	0 %	228	44 %	0	0 %
+06	252	45 %	0	0 %	176	34 %	0	0 %
+06+07	210	38 %	0	0 %	126	25 %	6	0,2 %
+06+07+08	170	30 %	149	4,8 %	103	20 %	12	0,4 %
maxES	170	30 %	149	4,8 %	103	20 %	12	0,4 %

