

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Lehrstuhl für Massivbau

Spannbeton und Spannverfahren – Anforderungen und  
Eigenschaften von Einpressmörteln

Faiz Al Atiki

Vollständiger Abdruck der von der Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt der Technische  
Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.–Prof. Dr.–Ing. Josef Zimmermann

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.–Prof. Dr.–Ing. habil. Dr.–Ing. E.h. Konrad Zilch (i. R.)
2. Univ.–Prof. Dr.–Ing. Oliver Fischer
3. Univ.–Prof. Dr.–Ing. Manfred Keuser  
Universität der Bundeswehr München

Die Dissertation wurde am 03.01.2013 bei der Technischen Universität München eingereicht  
und durch die Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt am 08.10.2013 angenommen.



# Kurzfassung

In dieser Arbeit werden die Fließeigenschaften und die Druckfestigkeit von den im Labor unter Modifikation der Ausgangsstoffe, des w/z- Werts und der Mörteltemperatur hergestellten Einpressmörteln vorgestellt. Durch die Auswertung der Ergebnisse von mehr als 96 unterschiedlichen Mörtelmischungen werden mathematische Formeln, die die Prüfverfahren für die Bestimmung des Fließvermögens bzw. der Druckfestigkeit korrelieren, gesucht.

Die Untersuchungen, die in dieser Arbeit durchgeführt wurden, haben das Vorhandensein einer mathematischen Beziehung zwischen Tauchzeit und Auslaufzeit, Zylinder- und Würfeldruckfestigkeit, Tauchzeit und Ausbreitmaßen bewiesen. Diese Beziehung zwischen Tauchzeit und Auslaufzeit sowie Zwischen Tauchzeit und Ausbreitmaßen ermöglicht die Verwendung des Tauchgeräts weiter.

Die Würfel haben bei den meisten Mischungen eine höhere Druckfestigkeit als die bei Zylinder aufgewiesen. Aus Sicherheitsgründen sind die bisherigen Probekörperformen (Zylinder) weiter zu verwenden.

## Abstract

This thesis presents the fluidity and the compressive strength of grouting mortar which are produced in the laboratory under the modification of the source materials, the w/c-value and the temperatures of grouts. By evaluating the results of more than 96 different mortar mixtures, mathematical equations that correlate the test methods for determining the fluidity and the compressive strength are being searched for.

The experiments conducted in this work have proved the existence of a mathematical relationship between *immersion time* and *flow time*, cylinder and cube compressive strength, *immersion time* and *Grout spread* test. This relationship further allows the use of *immersion test*.

The cubes are in most mixtures a higher compressive strength than that the cylinders showed. For security, the recent sample body shape (cylinders) is further to be used.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>AUFGABEN- UND ZIELSTELLUNG.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>ANFORDERUNGEN AN EINPRESSMÖRTEL .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>EINPRESSMÖRTEL .....</b>	<b>7</b>
3.1	ZUSAMMENSETZUNG DES EINPRESSMÖRTELS .....	7
3.1.1	<i>Allgemeines</i> .....	7
3.1.2	<i>Zement</i> .....	7
3.1.3	<i>Wasser</i> .....	10
3.1.4	<i>Zusatzmittel</i> .....	11
3.2	EIGENSCHAFTEN DES EINPRESSMÖRTELS .....	14
3.2.1	<i>Allgemeines</i> .....	14
3.2.2	<i>Fließvermögen</i> .....	14
3.2.3	<i>Wasserabsonderung</i> .....	15
3.2.4	<i>Volumenänderung</i> .....	15
3.2.5	<i>Festigkeit</i> .....	15
3.2.6	<i>Dosieren und Mischen des Einpressmörtels</i> .....	16
<b>4</b>	<b>PRÜFVERFAHREN .....</b>	<b>17</b>
4.1	ALLGEMEINE BEDINGUNGEN .....	17
4.2	PRÜFUNG DES FLIEßVERMÖGENS .....	17
4.2.1	<i>Eintauchversuch</i> .....	17
4.2.1.1	<i>Grundlagen der Prüfung</i> .....	17
4.2.1.2	<i>Geräte</i> .....	17
4.2.1.3	<i>Kalibrierverfahren</i> .....	18
4.2.1.4	<i>Durchführung der Prüfung</i> .....	18
4.2.1.5	<i>Auswertung</i> .....	20
4.2.2	<i>Trichterverfahren</i> .....	20
4.2.2.1	<i>Grundlagen der Prüfung</i> .....	20
4.2.2.2	<i>Geräte</i> .....	20
4.2.2.3	<i>Durchführung der Prüfung</i> .....	21
4.2.2.4	<i>Auswertung</i> .....	21
4.2.3	<i>Bestimmung des Ausbreitmaßes des Einpressmörtels</i> .....	22
4.2.3.1	<i>Grundlagen der Prüfung</i> .....	22
4.2.3.2	<i>Prüfeinrichtung</i> .....	22
4.2.3.3	<i>Durchführung der Prüfung</i> .....	22
4.2.3.4	<i>Angabe der Ergebnisse</i> .....	22
4.3	PRÜFUNG DER WASSERABSONDERUNG .....	23
4.3.1	<i>Grundlagen der Prüfung</i> .....	23
4.3.2	<i>Geräte</i> .....	24
4.3.3	<i>Durchführung der Prüfung</i> .....	24
4.3.4	<i>Auswertung</i> .....	24
4.4	PRÜFUNG DER VOLUMENÄNDERUNG.....	25
4.4.1	<i>Grundlagen der Prüfung</i> .....	25
4.4.2	<i>Zylinderverfahren</i> .....	25
4.4.2.1	<i>Geräte</i> .....	25
4.4.2.2	<i>Durchführung der Prüfung</i> .....	25
4.4.2.3	<i>Auswertung</i> .....	25
4.4.3	<i>Gefäßverfahren</i> .....	26
4.4.3.1	<i>Geräte</i> .....	26
4.4.3.2	<i>Durchführung der Prüfung</i> .....	26
4.4.3.3	<i>Auswertung</i> .....	27
4.5	PRÜFUNG DER DRUCKFESTIGKEIT .....	28
4.5.1	<i>Prüfung am Zylinder</i> .....	28
4.5.1.1	<i>Grundlagen der Prüfung</i> .....	28
4.5.1.2	<i>Geräte</i> .....	28
4.5.1.3	<i>Durchführung der Prüfung</i> .....	28
4.5.1.4	<i>Auswertung</i> .....	28

4.5.2	<i>Prüfung am Würfel</i> .....	29
4.5.2.1	Grundlagen der Prüfung.....	29
4.5.2.2	Prüfeinrichtung.....	29
4.5.2.3	Durchführung der Prüfung.....	29
4.5.2.4	Auswertung.....	30
<b>5</b>	<b>EIGNUNGSPRÜFUNG UND ÜBERWACHUNG</b> .....	<b>30</b>
5.1	EIGNUNGSPRÜFUNG DER STOFFE.....	30
5.2	GERÄTE .....	31
5.2.1	<i>Allgemeines</i> .....	31
5.2.2	<i>Siebvorrichtung</i> .....	33
5.2.3	<i>Vorratsbehälter</i> .....	33
5.2.4	<i>Pumpe</i> .....	33
5.2.5	<i>Schläuche</i> .....	34
5.2.6	<i>Verbindungen an den Eintrittsöffnungen</i> .....	34
5.2.7	<i>Ersatzgeräte</i> .....	34
5.3	EINPRESSVERFAHREN .....	34
5.3.1	<i>Allgemeines</i> .....	34
5.3.2	<i>Personal</i> .....	36
5.3.3	<i>Ein- und Austrittsöffnungen</i> .....	36
5.3.4	<i>Vor dem Einpressen zu treffende Vorkehrungen</i> .....	38
5.3.5	<i>Temperatur beim Einpressen</i> .....	39
5.3.6	<i>Einpressvorgänge</i> .....	40
5.3.7	<i>Nach dem Einpressen</i> .....	46
5.4	ÜBERWACHUNG.....	49
5.4.1	<i>Überwachung durch das ausführende Unternehmen</i> .....	50
5.4.2	<i>Überwachung durch die anerkannte Überwachungsstelle</i> .....	50
5.4.3	<i>Inhalt der Überwachung</i> .....	51
5.4.3.1	Verantwortlichkeiten, Ablauf .....	51
5.4.3.2	Überwachung durch das ausführende Unternehmen .....	51
5.4.3.3	Überwachung durch die anerkannte Überwachungsstelle.....	54
<b>6</b>	<b>VERSUCHSPROGRAMM UND VERSUCHSDURCHFÜHRUNG</b> .....	<b>57</b>
6.1	ÜBERSICHT .....	57
6.2	MÖRTELARTEN .....	57
6.3	NACHWEIS DER BAUTECHNISCHEN ANFORDERUNGEN.....	58
<b>7</b>	<b>ERGEBNISSE</b> .....	<b>60</b>
<b>8</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK</b> .....	<b>70</b>
<b>9</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>72</b>
<b>10</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>77</b>
<b>11</b>	<b>TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>78</b>
<b>12</b>	<b>VERZEICHNIS DER SYMBOLE UND INDIZES</b> .....	<b>79</b>
	<b>ANHANG</b> .....	<b>81</b>
	<b>I. EINPRESSHILFE</b> .....	<b>81</b>
I.1	TRICOSAL 181 (EH).....	81
I.2	MC-EINPRESSHILFE .....	84
I.3	CEM I 42,5 R (EP) – RHEOMENT .....	86
	<b>II. MUSTERFORMULAR</b> .....	<b>90</b>
II. 1	MUSTERFORMULAR 1 .....	90
II.2	MUSTERFORMULAR 2 .....	92
II.3	MUSTERFORMULAR 3 .....	94
II.4	MUSTERFORMULAR 4 .....	96
	<b>III. ZUSAMMENSTELLUNG DER VERSUCHSERGEBNISSE</b> .....	<b>97</b>
III.1	CEM I 42.5 R MIT TRICOSAL 181 (EH).....	97
III.2	CEM I 42.5 R MIT MC EINPRESSHILFE.....	98

III.3 CEM 42.5 R (EP) – RHEOMENT .....	99
<b>ERGEBNISSE IN DIAGRAMME .....</b>	<b>101</b>
<b>IV. ERGEBNISSE, CEM I 42.5 R MIT TRICOSAL 181 (EH) .....</b>	<b>101</b>
IV.1 EINTAUCHZEIT UND AUSLAUFZEIT, w/z-WERT =0,36.....	101
IV.2 EINTAUCHZEIT UND AUSLAUFZEIT, w/z-WERT =0,38.....	102
IV.3 EINTAUCHZEIT UND AUSLAUFZEIT, w/z-WERT =0,40.....	103
IV.4 EINTAUCHZEIT UND AUSLAUFZEIT, w/z-WERT =0,42.....	104
IV.5 DRUCKFESTIGKEIT, w/z- WERT = 0,36-0,38 .....	105
IV.6 DRUCKFESTIGKEIT, w/z- WERT = 0,40-0,42 .....	106
IV.7 AUSBREITMAßEN, w/z-WERT = 0,36-0,38.....	107
IV.8 AUSBREITMAßEN, w/z-WERT = 0,40-0,42.....	108
IV.9 VOLUMENÄNDERUNG, w/z-WERT = 0,36-0,38.....	109
IV.10 VOLUMENÄNDERUNG, w/z-WERT = 0,40-0,42.....	110
<b>V. ERGEBNISSE, CEM I 42,5 R MIT MC-EINPRESSHILFE .....</b>	<b>111</b>
V.1 EINTAUCHZEIT UND AUSLAUFZEIT, w/z-WERT =0,36.....	111
V.2 EINTAUCHZEIT UND AUSLAUFZEIT, w/z-WERT =0,38.....	112
V.3 EINTAUCHZEIT UND AUSLAUFZEIT, w/z-WERT =0,40.....	113
V.4 EINTAUCHZEIT UND AUSLAUFZEIT, w/z-WERT =0,42.....	114
V.5 DRUCKFESTIGKEIT, w/z- WERT = 0,36-0,38.....	115
V.6 DRUCKFESTIGKEIT, w/z- WERT = 0,40-0,42.....	116
V.7 AUSBREITMAßEN, w/z-WERT = 0,36-0,38 .....	117
V.8 AUSBREITMAßEN, w/z-WERT = 0,40-0,42 .....	118
V.9 VOLUMENÄNDERUNG, w/z-WERT = 0,36-0,38.....	119
V.10 VOLUMENÄNDERUNG, w/z-WERT = 0,40-0,42.....	120
<b>VI. ERGEBNISSE, CEM I 42,5 R (EP) – RHEOMENT .....</b>	<b>121</b>
VI.1 EINTAUCHZEIT UND AUSLAUFZEIT, w/z-WERT =0,30.....	121
VI.2 EINTAUCHZEIT UND AUSLAUFZEIT, w/z-WERT =0,32.....	122
VI.3 EINTAUCHZEIT UND AUSLAUFZEIT, w/z-WERT =0,34.....	123
VI.4 EINTAUCHZEIT UND AUSLAUFZEIT, w/z-WERT =0,36.....	124
VI.5 DRUCKFESTIGKEIT, w/z- WERT = 0,30-0,32 .....	125
VI.6 DRUCKFESTIGKEIT, w/z- WERT = 0,34-0,36 .....	126
VI.7 AUSBREITMAßEN, w/z-WERT = 0,30-0,32.....	127
VI.8 AUSBREITMAßEN, w/z-WERT = 0,34-0,36.....	128
VI.9 VOLUMENÄNDERUNG, w/z-WERT = 0,30-0,32.....	129
VI.10 VOLUMENÄNDERUNG, w/z-WERT = 0,34-0,36.....	130



# 1 Aufgaben- und Zielstellung

Bei vorgespannten Bauteilen mit nachträglichem Verbund ist das Verpressen der Spannglieder eine wichtige Maßnahme zur Sicherstellung eines dauerhaften Korrosionsschutzes des Stahls. Ferner soll dadurch ein vollständiger Verbund zwischen Spannstahl und Beton erreicht werden.

In DIN EN 445, DIN EN 446 und DIN EN 447 sind Anforderungen für das Herstellen von Einpressmörteln, die Überwachung des Verpressens und Eignungsprüfungen von Einpressmörtel normativ geregelt. Das Fließvermögen des Einpressmörtels kann nach DIN EN 445 [2] (Stand 1996) durch Trichterverfahren und Eintauchversuch bestimmt werden. Der Eintauchversuch und der Trichterversuch sind mit der Zeit, welche der Mörtel zum Ausfließen aus dem Trichter und ein Körper zum Eindringen in den Mörtel benötigt, verknüpft. Die Druckfestigkeit des Einpressmörtels wird meistens an den Zylindern, die für den Nachweis der Volumenänderung hergestellt werden, nach 28 Tagen ermittelt.

Bisher wird in Deutschland lediglich der Eintauchversuch zur Bestimmung der Fließeigenschaften von Einpressmörtel angewendet. Mit Einführung der derzeit im Entwurf vorliegenden DIN EN 445 (Stand 2005) soll der Konformitätsnachweis von Einpressmörteln ausschließlich über das Trichterverfahren und das Ausbreitmaß erfolgen. Bei diesen Verfahren liegen in Deutschland bisher nur geringe baupraktische Erfahrungen vor. Vor einer Umstellung ist daher noch eine Kalibrierung zwischen den drei Versuchsarten durchzuführen, um die Prüfergebnisse aller Verfahren eindeutig miteinander vergleichen zu können.

Neben neu durchführenden Absetztests haben sich im Entwurf der DIN EN 445 (Stand 2005) auch die Bestimmungen zur Ermittlung der Druckfestigkeit verändert. Dabei wird als Standardprüfkörperform ein Würfel von 40 mm Kantenlänge vorgegeben. Um die bisherigen Probekörperform (Zylinder) weiter verwenden zu können, ist auch hier eine Korrelation herzustellen.

Mit den vergleichenden Untersuchungen dieser Arbeit zum Fließverhalten und nach Auswertung der Ergebnisse und Überprüfen des Vorhandenseins einer mathematischen Beziehung sollen Vereinfachungen für die Baupraxis zur Verfügung gestellt werden, die

es ermöglichen, auch nach Einführung der neuen DIN EN 445 [1] in Deutschland weiterhin den Tauchversuch durchzuführen.

Ebenfalls soll ein Zusammenhang definiert werden, der die Druckfestigkeit, die an Zylindern ermittelt wurde, in eine Würfeldruckfestigkeit für eine Kantenlänge von 40 mm überführt.

Folgende Modifikationen werden bei der Herstellung des Einpressmörtels untersucht:

- es sollen w/z-Werte zwischen 0,36 und 0,42 untersucht werden
- Der Temperatureinfluss soll zwischen 0 °C und 35 °C untersucht werden
- Verwendung verschiedener Einpresshilfen zusammen mit CEM I 42,5 R sowie des speziellen Einpresszements CEM I 42,5 R (ep) rheoment.

## 2 Anforderungen an Einpressmörtel

Der Einpressmörtel hat im Wesentlichen zwei Aufgaben zu erfüllen. Erstens soll er die Spannglieder vor Korrosion schützen. Hierzu ist eine vollständige Umhüllung des Stahls mit Zementmörtel sowie ein dichtes Gefüge erforderlich. Es dürfen keine Fehlstellen, wie Luft- oder Wassereinschlüsse, vorhanden sein. Letztere können im Winter gefrieren und zu Abplatzungen der Betonüberdeckung führen. Weiterhin soll der Einpressmörtel den Verbund zwischen dem Spannglied und dem Bauteil gewährleisten. Dies erfordert eine ausreichende Festigkeit [51].

Wie die Baupraxis gezeigt hat, stellt die vollständige Füllung des Hüllrohrs mit Mörtel ein großes Problem dar. Kleinste Fehlstellen können zu Korrosion des Spannstahls führen. Der Mörtel darf nicht unter hohem Druck und mit großer Geschwindigkeit eingepresst werden, da hierbei Lufteinschlüsse möglich sind [7].

An den Mörtel sind daher besondere Anforderungen zu stellen [7, 8, 9, 43]:

➤ Geringe Wasserabsonderung, Sedimentation („Bluten“):

Der Zementmörtel darf nicht zu viel Wasser aufweisen, da dieses nicht entweichen und weiterhin aufgrund des dichten Hüllrohres auch nicht vom Beton aufgenommen werden kann. Das zurückbleibende Wasser erhöht die Korrosionsgefahr und kann bei Frosttemperaturen gefrieren. Versuche haben ergeben, dass sich in Spannkämen in den ersten Stunden aufgrund der Sedimentation oben ein dünnes Zement-Wasser-Gemisch oder Luftblasen bilden können. Daher sollte bei großen Spannkämen nachgepresst werden. Die größte Wasserabsonderung tritt in der Regel nach 3 bis 4 Stunden auf [10]. Insofern sollten auch in diesem Zeitraum die Messungen durchgeführt werden.

Andererseits darf der Mörtel auch nicht zu trocken sein, da es sonst zu Verstopfungen des Hüllrohres kommen kann.

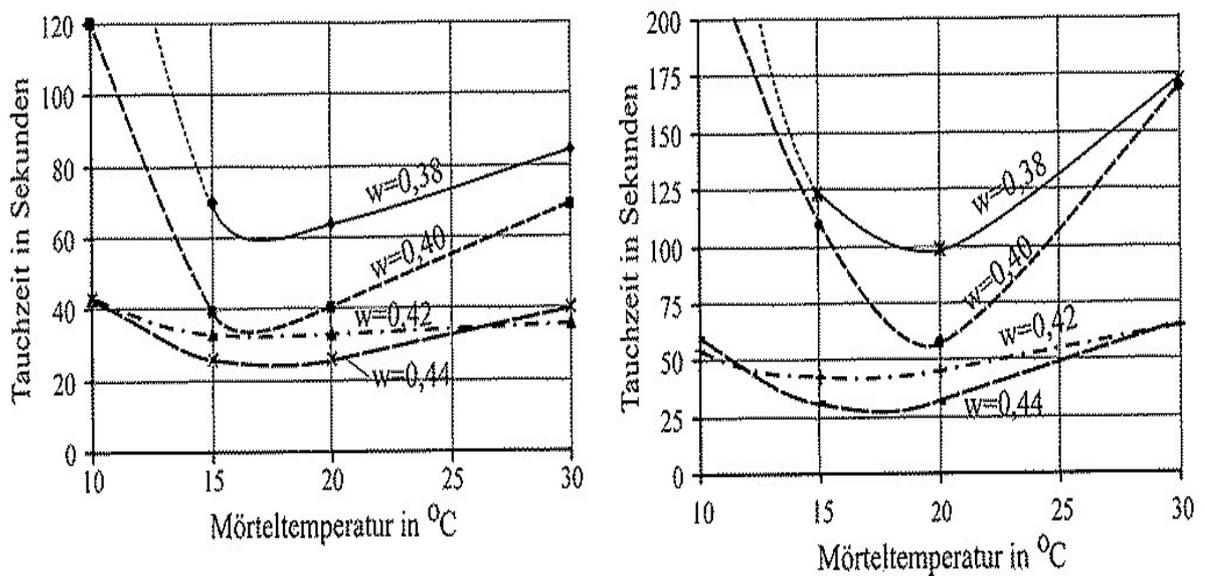
Untersuchungen von *Steinegger* [11] haben ergeben, dass der Wasseranspruch mit dem Zementalter zunimmt. Insofern ist es sinnvoll das Alter des Zementes, aus welchem der Einpressmörtel hergestellt wird, zu begrenzen. Der Zement sollte nicht jünger als zwei bis drei Tage sein, damit er ausreichend abgekühlt ist und andererseits auch nicht älter als 3 Wochen sein.

- Hohes Fließvermögen und Kohäsion im plastischen Zustand bis zur Beendigung des Auspressvorganges:

Die Erstarrung des Einpressmörtels darf erst nach dem vollständigen Auspressen des Spannkanales einsetzen, wofür unter Umständen mehrere Stunden erforderlich sein können. Diese langen Verarbeitungszeiten lassen sich durch Zusatzmittel erreichen, welche jedoch keine Chloride enthalten dürfen. Bei der Zugabe von Betonzusatzmitteln ist zu beachten, dass deren Wirkung temperaturabhängig ist.

Die durch Eintauchversuche festzustellenden Tauchzeiten sind Richtwerte für das Fließvermögen, die einen einwandfreien Einpressvorgang gewährleisten sollen. Sie sind nicht nur von Schwankungen der Zementeigenschaften und von dem verwendeten Misch- und Einpressgerät abhängig, sondern auch von der Mischzeit und der Temperatur [8].

Das Fließvermögen hängt weiterhin stark von der Mörteltemperatur ab. Die besten Werte ohne Zusatzmittel ergeben sich nach *Steinegger* [11] für eine Mörteltemperatur von ca. 15 °C (Abbildung 2.1) [7, 11].



Unmittelbar nach dem Mischen

30 Minuten nach dem Mischen

Abbildung 2.1: Tauchzeit für unterschiedliche Mörteltemperaturen und w/z-Werte [7]

➤ Geringe Entmischung des Zementmörtels:

Bei einer Entmischung kann es zu Wassereinschlüssen und starken Volumenänderungen während des Abbindeprozesses kommen. Daher ist ein niedriger w/z-Wert zu wählen. Andererseits muss der Mörtel jedoch noch plastisch genug sein. Daher sollte der w/z-Wert zwischen 0,40 und 0,44 liegen. Die Raumverminderung kann durch Zugabe geeigneter Treibmittel reduziert werden.

➤ Geringe Schwindverformungen beim Erhärten:

Die Schwindverformungen des Mörtels sind größtenteils sehr gering, da er in den Hüllrohren die überschüssige Feuchtigkeit nicht abgeben kann.

➤ Volumenvergrößerung durch Bildung von Mikroporen:

Etwaige Raumänderungen haben für die Ausfüllung der Spannkäle, den Verbund und Korrosionsschutz eine entscheidende Bedeutung. Auf Grund der bisherigen Erfahrungen ist bei fachgerechter Ausführung mit dem beim Absetzversuch in den Dosen festzustellen zulässigen Absetzmaß von 2 % noch das volle Ausfüllen des Spannkanales zu erwarten [8]. Bei Aufrechterhaltung des bisher zulässigen Absetzwertes  $\leq 2 \%$  wurde allerdings angenommen, dass die Empfehlung, „ein mäßiges Quellen ist anzustreben“, bei den Eignungsprüfungen beachtet wird, da bereits geringe Schwankungen der w/z-Werte in Verbindung mit den verschiedenartigen Einflüssen der Zemente und der Temperaturänderungen nach dem Auspressen ein starkes Absetzen zur Folge haben können. Wenn nach 28 Tagen auf den Proben noch abgesondertes Wasser angetroffen wird, so weist dies mit großer Wahrscheinlichkeit darauf hin, dass nicht geeignete Ausgangsstoffe angewendet oder dass der Einpressmörtel einschließlich der Proben abweichend von den Richtlinien hergestellt bzw. gelagert wurde. In diesen Fällen ist mit den für Nachuntersuchungen zurückgestellten Stoffen unter den ursprünglichen Baustellenbedingungen eine erneute Eignungsprüfung durchzuführen. Unter Umständen lässt es sich nicht vermeiden, dass der ausführende Unternehmen in einem solchen Falle nachweisen muss, inwieweit der tatsächlich eingebrachte Einpressmörtel den Richtlinien entspricht [8].

Der Mörtel soll sich bis zur Erhärtung ausdehnen, um evtl. Fehlstellen auszufüllen. Das Quellen der Zementsuspension (ca. 1 bis 2 %) wird durch treibende Zusatzmittel hervorgerufen. Der durch die Volumenvergrößerung erzeugte Druck darf jedoch nicht zu groß werden.

➤ **Ausreichende Druck- und Haftfestigkeit:**

Eine höhere Festigkeit des Mörtels ist zwar positiv zu bewerten, sie sollte jedoch keinesfalls auf Kosten einer Verschlechterung anderer Eigenschaften gehen, z.B. des Fließvermögens und der Raumänderungen, die für gute Umhüllung der Spannstähle erforderlich sind [8].

➤ **Ausreichende Frostbeständigkeit:**

Es muss ein bei höheren Temperaturen eingepresster Mörtel bei späterer Frosteinwirkung – gleichgültig, zu welcher Jahreszeit – frostbeständig sein. Es wird davon ausgegangen, dass ein durch einmaliges Gefrieren im jungen Alter geprüfter Einpressmörtel nach langer Erhärtungszeit auch allgemein frostbeständig ist. Da die festgelegten Bedingungen bei Verwendung geeigneter Zemente und Einpressmörtelhilfen ohne größere Schwierigkeiten eingehalten werden können, wurde die Forderung der Frostbeständigkeit auch für die bei höheren Temperaturen eingepressten Mörtel beibehalten. Dies erscheint bei der Bedeutung der Frostbeständigkeit für die Dauerhaftigkeit der Bauwerke gerechtfertigt [8].

## **3 Einpressmörtel**

### **3.1 Zusammensetzung des Einpressmörtels**

#### **3.1.1 Allgemeines**

Einpressmörtel muss aus Portlandzement, Wasser und Zusatzmittel bestehen. Die verwendeten Ausgangsstoffe müssen so beschaffen sein, dass der Chloridanteil des Einpressmörtels nicht mehr als 0,1 % Cl als Gewichtsprozent des Zementes beträgt [4]. Dieser Wert entspricht der Summe der Chloride, die als zulässige Verunreinigung in den Bestandteilen vorhanden sind. Das absichtliche Hinzufügen von Chloriden ist nicht zulässig.

#### **3.1.2 Zement**

Zement ist ein hydraulisches Bindemittel, das heißt ein fein gemahlter anorganischer Stoff, der, mit Wasser gemischt, Zementleim ergibt, welcher durch Hydratation erstarrt und erhärtet und nach dem Erhärten auch unter Wasser fest und raumbeständig bleibt.

Zement nach EN 197-1 [12], CEM-Zement genannt, muss bei entsprechender Dosierung und nach entsprechendem Mischen mit Zuschlag und Wasser Beton oder Mörtel ergeben, der ausreichend lange verarbeitbar sein muss, nach einer bestimmten Zeit ein festgelegtes Festigkeitsniveau erreichen und langfristig raumbeständig sein muss.

Die hydraulische Erhärtung von CEM-Zement beruht vorwiegend auf der Hydratation von Calciumsilicaten, jedoch können auch andere chemische Verbindungen an der Erhärtung beteiligt sein, wie z.B. Aluminat. Der Massenanteil an reaktionsfähigem Calciumoxid ( $CaO$ ) und reaktionsfähigem Siliciumdioxid ( $SiO_2$ ) muss in CEM-Zement mindestens 50 % betragen, wobei die Anteile nach EN 196-2 [17] bestimmt werden [12].

CEM-Zemente bestehen aus verschiedenen Stoffen und sind als Ergebnis von qualitätsgesicherten Verfahren für die Herstellung und Stoffaufbereitung hinsichtlich ihrer Zusammensetzung statistisch betrachtet homogen. Die Verbindung zwischen diesen Verfahren zur Herstellung und Stoffaufbereitung und der Konformität von Zement mit EN 197-1 wird in EN 197-2 ausführlich behandelt.

Der Zement für das Herstellen von Einpressmörteln muss den Anforderungen nach EN 197-1, Klasse CEM I entsprechen [4].

In Tabelle 1 sind die mechanischen und physikalischen Anforderungen dargestellt, definiert als charakteristische Werte.

**Tabelle 1:** Mechanische und physikalische Anforderungen, definiert als charakteristische Werte [12]

Festigkeits- klasse	Druckfestigkeit				Erstarrungs- beginn min	Raum- Beständigkeit (Dehnungsmaß) mm
	MPa					
	Anfangsfestigkeit		Normenfestigkeit			
2 Tage	7 Tage	28 Tage				
32,5 N	-	$\geq 16,0$	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$	$\geq 75$	$\leq 10$
32,5 R	$\geq 10,0$	-				
42,5 N	$\geq 10,0$	-	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$	$\geq 60$	
42,5 R	$\geq 20,0$	-				
52,5 N	$\geq 20,0$	-	$\geq 52,5$		$\geq 45$	
52,5 R	$\geq 30,0$	-		-		

Nach den deutschen Richtlinien für das Einpressen von Zementmörtel in Spannkanäle [20] ist ein Einpressmörtel ausschließlich mit Portlandzementen herzustellen.

Da auf Grund der vorliegenden Erfahrungen nicht alle Zemente gleich gut für die Herstellung von Einpressmörtel geeignet sind, hat die Wahl des Zements für das Gelingen der Einpressarbeiten entscheidende Bedeutung. Hierbei sind nicht nur die verschiedenen Arten der Zementherstellung bei den einzelnen Lieferwerken zu berücksichtigen, sondern auch die Schwankungen der Produktion, die zu einer unterschiedlichen „Tagesform“ führen können. Die durch Herstellung bedingten Streuungen der Zementeigenschaften und die sich verändernden örtlichen Verhältnisse lassen es nicht zu, auf eine Überprüfung der Eigenschaften vor Beginn der Einpressarbeiten und bei eintretenden Veränderungen zu verzichten [8].

Nach den technischen Gewährleistungsbedingungen sind bei Zementlieferungen Schwankungen der Bruttosackgewichte von 2 % zugelassen. Bereits diese Toleranz kann die w/z-Werte und damit die Mörtel­eigenschaften merkbar beeinflussen, was unter Umständen bei den Extremwerten zu beachten ist. Es wird daher mindestens eine stichprobenartige Überprüfung der Sackgewichte empfohlen.

Um Schwierigkeiten bei der Verarbeitung des angelieferten Zements nach Möglichkeit zu vermeiden, sollte der für Einpressarbeiten erforderliche Zement bei den erprobten Zementwerken mit dem ausdrücklichen Hinweis bestellt werden, dass er für die Herstellung von Mörtel zum Einpressen in Spannkanäle vorgesehen ist. Hierdurch kann erreicht werden, dass Schwankungen der Sackgewichte und der spezifischen Oberfläche weitgehend eingeschränkt werden [8].

Mit Rücksicht auf die möglichen Streuungen der Zementeigenschaften bei seiner Herstellung sollte für einen geschlossenen Bauabschnitt jeweils einheitlich derselbe Zement aus der gleichen Produktion Verwendung finden. Andernfalls muss für jede Lieferung eine neue Eignungsprüfung durchgeführt werden, um auf jeden Fall die kennzeichnenden Werte des Fließvermögens und der Raumänderung festzustellen und mit den bisher maßgebenden Kennwerten zu vergleichen [8].

Auf Grund der vorliegenden praktischen Erfahrungen wurde das zulässige Alter auf drei Wochen begrenzt. Mit Rücksicht auf die Eigenwärme des Zements sollte er bei der Verwendung mindestens drei Tage alt sein. Bei der Berechnung des Alters wurde unterstellt, dass der Zement am Tage der Lieferung aus dem Werksilo abgefüllt wird. Das Alter ist stets durch einen Lieferschein nachzuweisen. Bis zur Verwendung muss der Zement in jedem Fall sorgfältig gelagert werden, damit sein Hydratationspotential nicht gemindert wird [8].

### 3.1.3 Wasser

Die Menge des für den Einpressmörtel notwendigen Anmachwassers richtet sich nach den für ihn geforderten Eigenschaften. Die europäischen „Vorläufigen Richtlinien“ geben an, dass die Wasserzugabe einem Wasserzementwert von etwa 0,36 bis 0,44 entsprechen soll. Maßgeblich hierfür ist das Fließvermögen des Mörtels. Höhere Wasserzementwerte sind nur in Sonderfällen zulässig.

Es wird eindeutig eine Verringerung des w/z-Werts unter 0,44 gefordert, wenn das vorhandene Fließvermögen des Einpressmörtels in Verbindung mit den klimatischen Verhältnissen dies zulässt. Diese Forderung ist so auszulegen, dass ein möglichst kleiner w/z-Wert anzuwenden ist. Im Normalfall sind w/z-Werte von 0,39 bis 0,41 anzustreben, mit denen im Allgemeinen alle Forderungen und Bedingungen der Richtlinien erfüllt werden [8].

Als Anmachwasser sind alle in der Natur vorkommenden Wässer sowie Trinkwasser und Industriegebrauchwasser geeignet, soweit sie nicht stark verunreinigt sind und das Erstarren und das Erhärten des Zements nicht ungünstig beeinflussen [13, 14, 15].

Wird Wasser aus stehenden oder fließenden Gewässern (Seen, Flüsse, Bäche, Quellen) entnommen, so empfiehlt es sich, Proben zu verschiedenen Zeiten sowie unterschiedlichen Wasserständen zu entnehmen und untersuchen zu lassen, um die in den Richtlinien gestellte Forderung zu erfüllen. Die etwa erforderlichen Untersuchungen sind so rechtzeitig durchzuführen, dass die entsprechenden Nachweise vor Beginn der Eignungsprüfung vorliegen [8].

Im Zweifelsfall waren Eignungsprüfungen an Beton erforderlich, um festzustellen, ob im Vergleich zu Leitungswasser eine untragbare Festigkeitsbeeinträchtigung gegeben ist. Durch den Korrosionserlass des Deutschen Ausschuss für Stahlbeton [16] wurden diese Anforderungen verschärft. Entsprechend besagen die deutschen Richtlinien für das Einpressen von Zementmörtel in Spannkanäle [20], dass das Anmachwasser frei von allen Verunreinigungen sein soll, die das Erstarren und Erhärten beeinflussen können. Besonders wichtig ist die Verwendung von Wasser, das keinerlei aggressive Substanzen, insbesondere solche, die den Spannstahl angreifen können, enthält. Hierzu gehören in erster Linie chloridhaltige Wässer. Diese Richtlinie geben hierzu an, dass Trinkwasser im Allgemeinen zur Aufbereitung von Einpressmörtel geeignet ist. Es ist dabei aber zu beachten, dass Trinkwasser für die Aufbereitung von Einpressmörtel nicht grundsätzlich zugelassen ist; vielmehr muss z.B. auch Mineral- bzw. Quellenwasser, das als Trinkwasser benutzt wird, auf seine Aggressivität untersucht werden. Bei Verwendung anderer Wässer ist der Nachweis zu

führen, dass sie nicht die Korrosion des Spannstahls fördern. Meerwasser darf grundsätzlich nicht verwendet werden, da der Chloridgehalt des Anmachwassers nicht größer als 300 mg  $Cl^- / l$  sein darf [21, 22, 49].

Das Wasser muss den Anforderungen nach EN 1008 entsprechen.

### 3.1.4 Zusatzmittel

Der Erfolg eines Injektionsverfahrens hängt in erster Linie von einer geeigneten Zusammensetzung des Einpressmörtels ab, zu der in vielen Fällen nicht zuletzt auch bestimmte Zusatzmittel gehören [15]. In einer großen Zahl von Fällen reichen die Zementeigenschaften allein oder mit Zuhilfenahme von Zuschlägen und Zusatzstoffen nicht aus, um einen Einpressmörtel unter örtlichen Bedingungen erfolgreich verpressen zu können. Seitdem Injektion durchgeführt worden sind, wurde in erster Linie nach Möglichkeiten gesucht, die Mörtel auch durch Zusatzmittel noch flüssiger herzustellen, das Erstarren zu verlängern oder zu verzögern, und ganz spezielle Eigenschaften in Bezug auf die Raumänderung, Frostbeständigkeit usw. zu erreichen [15].

Durch Zusätze sollten die Eigenschaften des Einpressmörtels verbessert werden, insbesondere der Wasseranspruch und das Wasserabsondern bzw. Mörtelabsetzen vermindert werden. Durch Zusätze mit treibender Wirkung sollte sogar eine geringe Raumausdehnung des frischen Mörtels zur vollständigen Füllung der Spannkanäle erreicht werden [32].

Die Zusatzmittel müssen den Anforderungen nach EN 934-4 [19] entsprechen. Die Verwendung von einzelnen oder kombinierten Zusatzmitteln ist zulässig [4].

Die Herstellung des Einpressmörtels erfordert darüber hinaus noch den Zusatz einer Einpresshilfe. Walz und Mathieu stellen fest [28], dass die Frostbeständigkeit im Sinne der Vorläufigen Richtlinien ohne treibende Zusätze nicht gegeben war. Albrecht weist darauf hin [29], dass bei Versuchen in langen Spannkanälen die Mörtel ohne treibende Zusätze im Scheitel der Kanäle bis auf die Stahloberfläche gehende Risse und blättrige Zonen aufweisen, Erscheinungen, die bei Mörtel mit Treibmittelzusatz nicht auftreten.

Weitere erhöht nach *Johansen* [30] ein Zusatzmittel mit treibender Wirkung die Haftfestigkeit des Mörtels. Die Bildung von Wasserlinsen an der Unterseite der Spanndrähte wird verhindert.

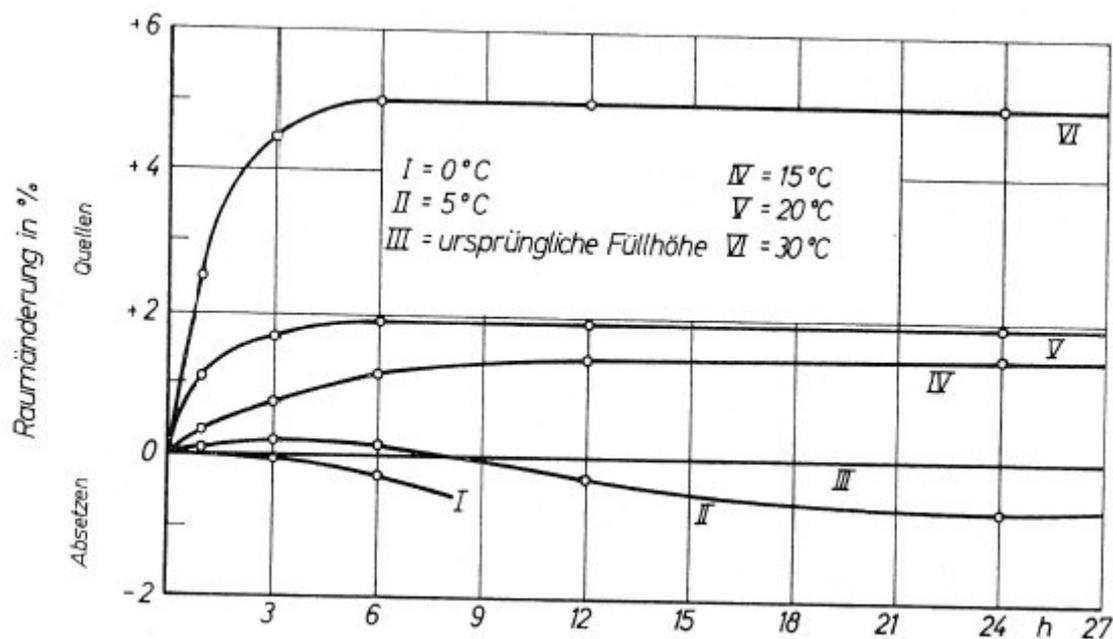
Ein bekannter deutscher Hersteller von Einpresshilfen formuliert die Anforderungen an die Zusatzmittel wie folgt [11, 13]:

- a) Plastifizierung und damit Wassereinsparung,
- b) Verminderung des Entmischens und gute Zementdispersion,
- c) Volumenvergrößerung durch Bildung von Mikroporen,
- d) Verzögerung des Erstarrens,
- e) gute Benutzung und damit Erhöhung der Haftfestigkeit.

Das Quellen des Zementleims wird in erster Linie durch die metallische, treibende Komponente des Zusatzmittels hervorgerufen. Diese Komponente zersetzt sich infolge der Alkalität des Zementleims unter Wasserstoffentwicklung [11].

Diese Gasentwicklung ist sehr stark temperaturabhängig. Ein Temperaturabfall von wenigen Graden bewirkt schon eine sehr starke Verzögerung der Gasbildung (Abbildung 3.1).

*Benz* [13] und eine Reihe weiterer Autoren weisen darauf hin, dass ein Quellmaß von etwa 1 bis 2 % angestrebt werden sollte. Das Treiben darf dabei nicht zu früh einsetzen, da sonst das Gas vor dem Einpressen des Mörtels wirkungslos verpufft. Es darf andererseits nicht zu spät beginnen, da sonst Gefügelockerungen eintreten können.



**Abbildung 3.1: Zeitlicher Verlauf der Raumänderung in % in Abhängigkeit von der Lagertemperatur (Dosierung 1 % TRICOSAL EH 181) [13]**

Die Raumänderung ist nicht nur von der Temperatur abhängig sondern auch von der Dosierung der Einpresshilfe und dem Alter des Zementsteins (Abbildung 3.2), (Abbildung 3.3) [13].

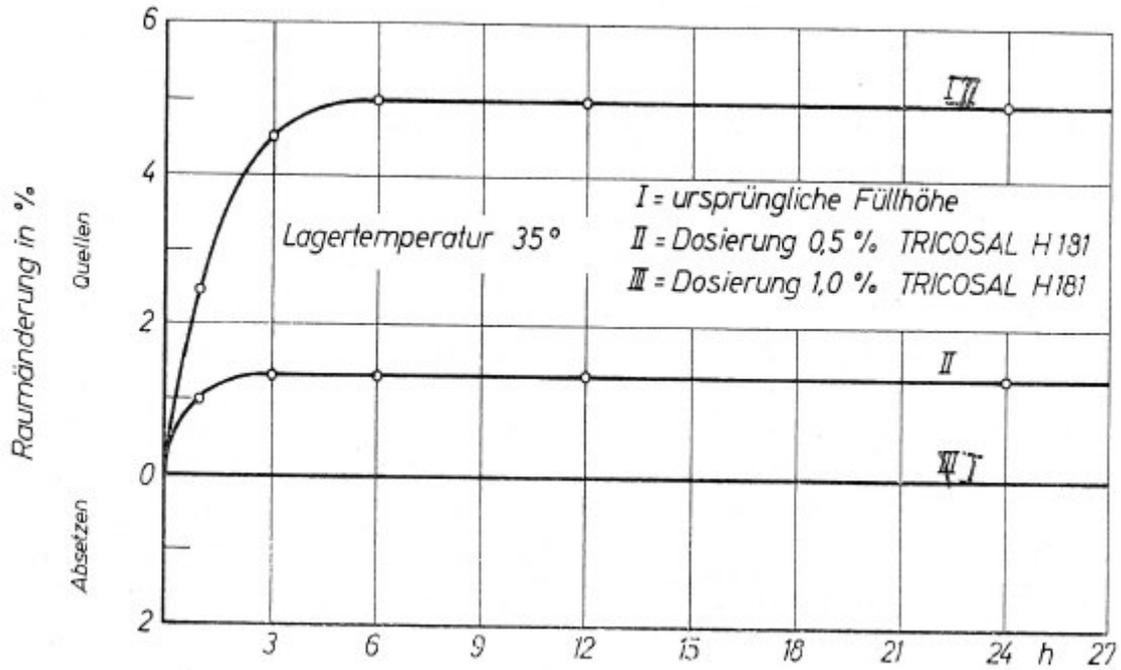


Abbildung 3.2: Zeitlicher Verlauf der Raumänderung in Abhängigkeit von der Dosierung [13]

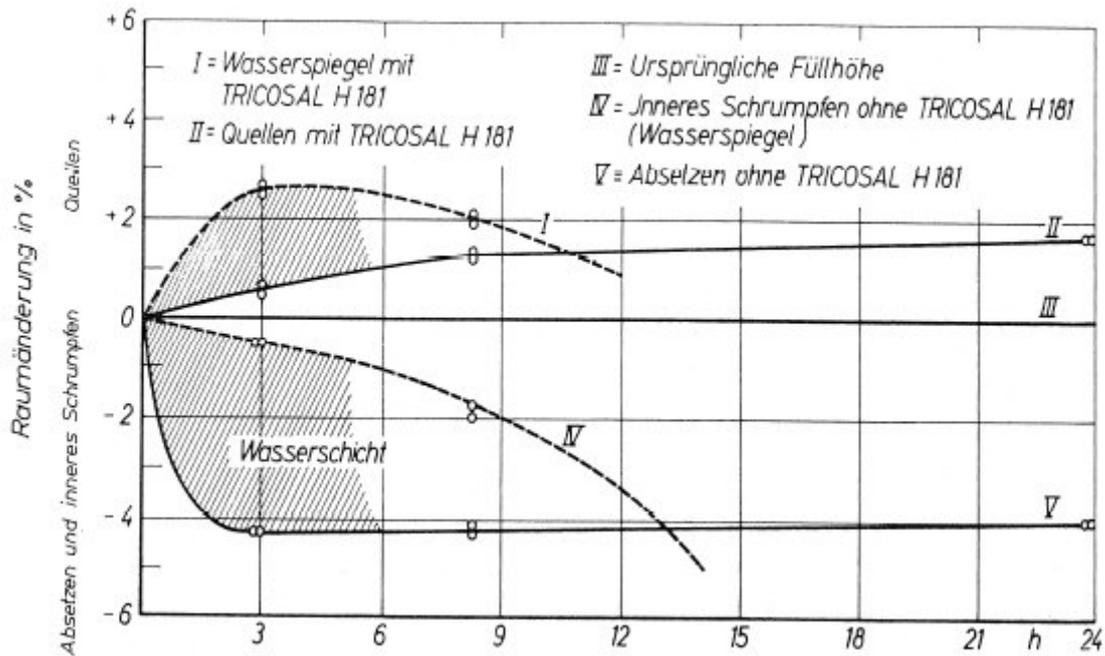


Abbildung 3.3: Inneres Schrumpfen und Absetzen in % in Abhängigkeit vom Alter des Zementbreies mit und ohne TRICOSAL EH 181 (aus wenig absetzendem Zement) [13]

Durch die Verwendung von z.B. TRICOSAL 181 (EH) wird der Anmachwasserbedarf des Einpressmörtels bei gleicher Konsistenz bzw. Tauchzeit gegenüber einem Mörtel ohne Zusatzmittel verringert. Durch die Ausnutzung der verflüssigen Wirkung wird die Fließ-

fähigkeit der Einpressmörtel erheblich verbessert und somit das Eindringen des Mörtels auch in kleinste Hohlräume und Spalten des Spannsystem ermöglicht. Das Wasserabsondern wird deutlich vermindert. Die Festmörteleigenschaften werden hierdurch positiv beeinflusst mit höher Dichtigkeit, Festigkeit und höher Frostbeständigkeit [31].

TRICOSAL 181 (EH) bewirkt eine Volumenzunahme des Einpressmörtels in der Frischmörtelphase und kompensiert somit das volumenvermindernde Absetzen des Zementleims. Das Quellen des Einpressmörtels verläuft in der plastischen Phase langsam unter schwachem Druck, so dass eine satte Anpressung des Mörtels an alle Kontaktflächen und in kleinste Hohlräume des Spannsystems gewährleistet ist. Fehlstellen im Einpressmörtel, die Ausgangspunkte für Spannstahlkorrosion darstellen können, werden vermieden. Die notwendige Verbundwirkung des Spannelementes über den Einpressmörtel hin zur Spannbetonkonstruktion wird somit dauerhaft sichergestellt.

## **3.2 *Eigenschaften des Einpressmörtels***

### **3.2.1 Allgemeines**

Einpressmörtel muss die Anforderungen nach 3.2.2 bis 3.2.5 bezüglich

- des Fließvermögens und der Wasserabsonderung im plastischen Zustand,
- der Volumenänderung beim Erhärten,
- der Festigkeit nach dem Erhärten

erfüllen.

### **3.2.2 Fließvermögen**

Das Fließvermögen des Einpressmörtels muss während des Einpressens genügend hoch sein, so dass der Einpressmörtel auf wirksame Weise eingepumpt und die Hüllrohre ausreichend ausgefüllt werden können und es muss so niedrig sein, dass im Hüllrohr vorhandene Luft und Wasser ausgetrieben werden. Bei Prüfung nach den in den Abschnitten 3.2 und 3.3 der EN 445 angegebenen Verfahren muss der Einpressmörtel die in Tabelle 2 angegebenen Werte aufweisen.

**Tabelle 2: Prüfanforderungen an das Fließvermögen [4]**

Prüfverfahren nach EN 445	Unmittelbar nach dem Mischen Zeit (in s)	30 Minuten nach dem Mischen <sup>1)</sup> oder nach dem Einpressen Zeit (in s)	An der Austrittöffnung des Hüllrohrs (in s)
Eintauchgerät	≥30	≤80	≥30
Auslauftrichter	≤25(30) <sup>2)</sup>	≤25	≥10

<sup>1)</sup> Die Mischzeit ist zu messen, wenn sich alle erforderlichen Stoffmengen in Mischer befinden.

<sup>2)</sup> Für Einpressmörtel, die in gewissen Mixchern mit hoher Rührwerksgeschwindigkeit vorbereitet werden, dürfen die oben in Tabelle 2 angegebenen Grenzen auf 200 s bei Eintauchgeräten und auf 50 s bei Auslauftrichtern erhöht werden. Der Mischer und diese Grenzwerte müssen mit der zuständigen Behörde vereinbart werden.

### 3.2.3 Wasserabsonderung

Die Wasserabsonderung von Einpressmörtel muss so gering sein, dass ein übermäßiges Entmischen und Absetzen der Bestandteile des Einpressmörtels vermieden wird. Bei Prüfung nach einem der in Abschnitt 3.4 der in EN 445 angegebenen Verfahren muss die Wasserabsonderung nach 3 h weniger als 2 % des Anfangsvolumens des Einpressmörtels betragen [4].

### 3.2.4 Volumenänderung

Die nachgewiesene Volumenänderung darf entweder eine Volumenverringerung oder eine Volumenvergrößerung sein. Bei Prüfung nach dem in den Abschnitten 3.5 oder 3.6 der in EN 445 angegebenen Verfahren muss sich die Volumenänderung in den Grenzen von -1 % und +5 % halten.

Einpressmörtel mit Treibmitteln dürfen keine Volumenänderung aufweisen [4].

### 3.2.5 Festigkeit

Die Druckfestigkeit des Einpressmörtels darf an einem mit Form und Größe nach Tabelle 3 angegebenen Probekörper mit den zugehörigen Verfahren nachgewiesen werden. Auf keinen Fall darf die 28-Tage-Druckfestigkeit weniger als 30 MPa betragen oder die 7-Tage-

Druckfestigkeit weniger als 27 MPa, wenn die voraussichtliche 28-Tage-Druckfestigkeit nach 7 Tage geschätzt wird [4].

**Tabelle 3: Druckfestigkeitsprobekörper [4]**

Form des Probekörpers	Maße des Probekörpers (mm)	Prüfverfahren nach EN 445
Prisma	40 * 40 * 160	Abschnitt 3.7
Zylinder <sup>1)</sup>	Durchmesser 100, Höhe 80	Abschnitt 3.8

<sup>1)</sup> In gewissen Ländern werden Würfel zur Festlegung der Druckfestigkeit verwendet. Wenn Würfel verwendet werden, dürfen die Maße 100 mm nicht überschreiten und das Verfahren, das in Abschnitt 3.6 von EN 445 beschrieben ist, muss für solche Prüfungen in geeigneter Weise übernommen werden. Für die Verwendung von Würfeln muss die Zustimmung der zuständigen Behörde eingeholt werden.

**Anmerkung:** Für den in Deutschland verwendeten Einpressmörtel mit Einpresshilfe ist das andere in DIN EN 445 enthaltene Verfahren am Prisma nicht geeignet, da durch das Quellen des sehr fließfähigen Einpressmörtels in den Prüfgefäßen die Maßhaltigkeit der Probekörper und die Zusammensetzung des Einpressmörtels verfälscht werden können [23, 24].

### 3.2.6 Dosieren und Mischen des Einpressmörtels

Alle Ausgangsstoffe sind nach Massenanteil zu dosieren; Wasser darf als Massen- oder Volumenanteil dosiert werden. Für die Genauigkeit des Dosierens gilt:

± 2 % für Zement und Zusatzmittel

± 1 % für Wasser

der festgelegten Mengen [4].

Der höchstzulässige w/z-Wert beträgt 0,44. Das Mischen ist mechanisch durchzuführen, um einen gleichmäßigen und beständigen Einpressmörtel mit der in Abschnitt 5 in EN 447 angegebenen plastischen Eigenschaften zu erzielen.

Je nach den Umgebungsbedingungen oder Stoffeigenschaften (z.B. Temperatur, Anordnung des Spanngliedes und Eigenschaften des verwendeten Zements) ist der w/z-Wert so klein wie möglich hinsichtlich der plastischen Eigenschaften des Einpressmörtels zu halten [4].

Es ist eine genügende Stoffmenge bereitzustellen, um das vollständige Verpressen eines Spannkanales unter Berücksichtigung der Umlaufmenge sicherzustellen. Der Einpressmörtel ist in einer Maschine zu mischen, welche die Herstellung eines gleichmäßigen Einpress-

mörtels ermöglicht und den Einpressmörtel nach dem Mischen so lange bei gleich bleibender geringer Geschwindigkeit bewegt, bis er in das Hüllrohr gepumpt wird. Der Mischer ist zuerst mit Wasser und dann mit dem Zement und den Zusatzmitteln zu füllen. Die Dosiermengen des Zements und des Zusatzmittels dürfen als Grenze oder Teilen nacheinander hinzugefügt werden, bevor die Gesamtmengen hinzugegeben werden [4]. Die Wasserzugabe um das Fließvermögen des Mörtels zu erhöhen ist nicht gestattet. Der Mörtel soll innerhalb 30 Minuten nach der ersten Wasserzugabe benutzt werden [50].

## **4 Prüfverfahren**

### **4.1 Allgemeine Bedingungen**

Einpressmörtel sind von sachkundigem und erfahrenem Personal zu prüfen. Die üblichen Bedingungen für Temperatur und relative Luftfeuchte in Laboratorien müssen wie folgt sein:

- Temperatur  $(20 \pm 2)$  °C,
- relative Luftfeuchte  $> 65$  %.

Diese Bedingungen gelten für Anforderungen an den Einpressmörtel. Änderungen von Temperatur und Luftfeuchte auf der Baustelle können Abweichungen der Prüfergebnisse zur Folge haben und müssen aufgezeichnet werden. Der Einpressmörtel für die Prüfungen ist aus den in EN 447, Abschnitt 4 angegebenen Ausgangsstoffen herzustellen und nach EN 447, Abschnitt 6 zu mischen. Die Temperatur des frisch gemischten Einpressmörtels ist in allen Prüfberichten anzugeben [2].

### **4.2 Prüfung des Fließvermögens**

#### **4.2.1 Eintauchversuch**

##### **4.2.1.1 Grundlagen der Prüfung**

Bei dieser Prüfung wird die Zeit gemessen, die ein Kolben benötigt, um eine festgelegte Einpressmörtelmenge, die sich in einem Rohr befindet, einzusinken [2, 7].

##### **4.2.1.2 Geräte**

- a) Kalibriertes Eintauchgerät nach **Abbildung 4.1** .
- b) Messstab aus Holz nach **Abbildung 4.1**.

c) Stoppuhr

#### **4.2.1.3 Kalibrierverfahren**

Das Eintauchgerät ist mit Glycerin (Qualität zur Analyse) mit einer Dichte von  $1,226 \text{ g/cm}^3$  bei  $(20 \pm 0,5) \text{ °C}$  zu kalibrieren. Die Raumtemperatur und die Temperatur des Eintauchgerätes und des Glycerins muss bei der Kalibrierung  $(20 \pm 0,5) \text{ °C}$  betragen.

Der Zylinder ist mit ungefähr 1,9 l Glycerin bis ungefähr 260 mm unter den Rand zu füllen. Nach dem Füllen des Eintauchgeräts muss das Glycerin für ungefähr 1 h ruhen. Dann ist der Kolben einzutauchen, um Luftblasen freizusetzen, die sich eventuell beim Füllen des Zylinders im Glycerin gebildet haben [2].

Nach ungefähr 1 h ist der Kolben so anzuordnen, dass sein Anschlag am Ende des Stabes auf dem auf dem Rohr befindlichen Abstandhalter ruht. Dann wird der Abstandhalter entfernt, und der Kolben sinkt bis zum Rohranschlag. Diese Zeit ist auf 1 s anzugeben.

Die Kalibrierung ist mindestens dreimal zu wiederholen. Der Mittelwert aller gemessenen Eintauchzeiten muss  $(34 \pm 1) \text{ s}$  betragen. Wenn das Prüfergebnis von diesem Wert abweicht, ist das Gewicht des Kolbens zu erhöhen, wenn  $t > 35 \text{ s}$ , und zu verringern, wenn  $t < 33 \text{ s}$ . Dies erfolgt durch Änderung der Anzahl der im Kolben befindlichen Bleikügelchen. Die Wiederholung der Kalibrierung darf frühestens nach 30 min erfolgen, um sicherzustellen, dass das Glycerin frei von Luftblasen ist, die durch die vorherige Kalibrierung verursacht wurden.

#### **4.2.1.4 Durchführung der Prüfung**

##### **Vorbereitung**

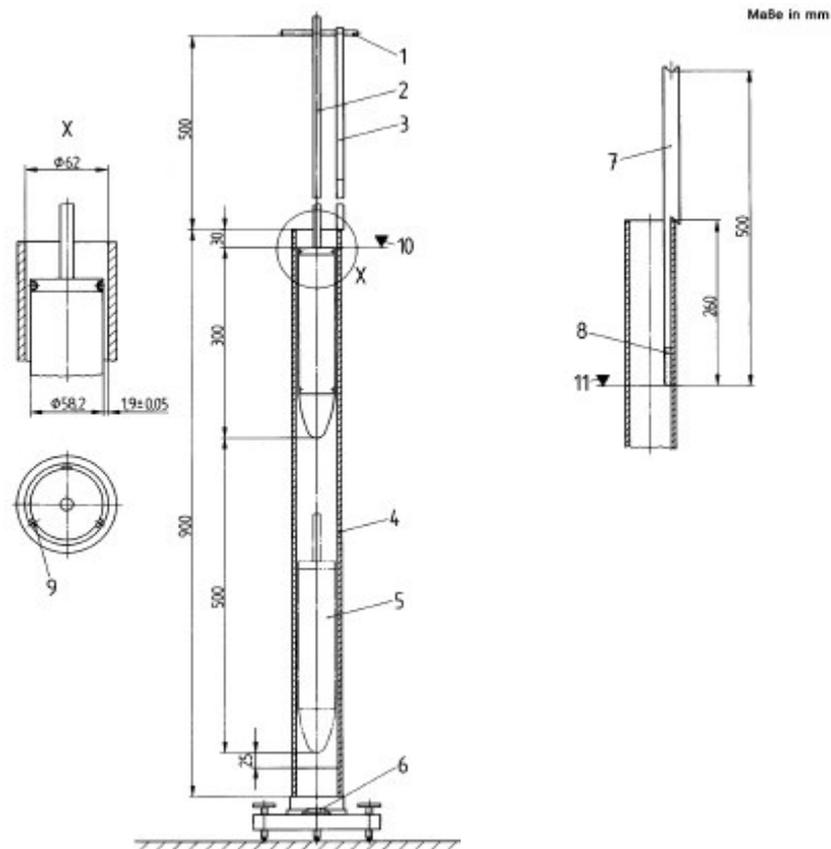
Die Kalibrierung des Eintauchgeräts ist vor dessen erstmaliger Verwendung zu überprüfen. Die Kalibrierung des Eintauchgeräts muss darüber hinaus einmal jährlich und/oder nach jeder Beschädigung des Geräts geprüft werden. Unmittelbar vor der Prüfung sind die Innenflächen des Rohrs und der Kolben leicht anzufeuchten.

Das Eintauchgerät hat zu Beginn jeder Tauchzeitmessung nach der Reinigung mit Leitungswasser eine Temperatur von rund 12 bis 15 °C [40].

##### **Durchführung**

Der Zylinder ist mit ungefähr 1,9 l Einpressmörtel bis ungefähr 260 mm unter den Rand zu füllen, so dass der Kolben beim Einführen vollständig eintaucht, wenn sein Anschlag am Ende des Stabes auf dem auf dem Rohr befindlichen Abstandhalter ruht. Dann wird der Abstandhalter entfernt und der Kolben sinkt bis zum Anschlag des Rohrs. Der Kolben wird in seine Anfangsstellung zurückgehoben, der Abstandhalter eingesetzt, erneut entfernt, und es

wird die Zeit gemessen, die der Kolben benötigt, um den Anschlag des Rohrs zu erreichen. Die Eintauchzeiten für den Einpressmörtel sind unmittelbar nach dem Mischvorgang und nach 30 min zu messen.



- 1- Anschlag; 2- Führungsstange; 3- Holzstab (als Abstandhalter); 4- Rohr aus Cu-Zn  
 5- Endstellung des Tauchkörpers; 6- Libelle; 7- Holzstab (als Meßplatte); 8- Weiße Farbe;  
 9- Führungsnocken; 10- Mörtelspiegel bei Ausgangsstellung des Tauchkörpers;  
 11- Mörtelspiegel ohne Tauchkörper ( $\approx 1,9$  l)

**Abbildung 4.1: Tauchgerät zur Bestimmung der Tauchzeit [2]**

Für die Prüfung nach 30 min ist neuer Einpressmörtel aus derselben Mischung wie für die Eintauchprüfung unmittelbar nach dem Mischvorgang zu verwenden; der Einpressmörtel ist (mit einem Rührer) bis zur Durchführung der Prüfung nach 30 min in Bewegung zu halten. Jede Prüfung ist dreimal nacheinander mit derselben Füllung durchzuführen.

### 4.2.1.5 Auswertung

Das Ergebnis ist als Mittelwert der Eintauchzeiten des zweiten und dritten Eintauchens auf 1 s anzugeben, wobei die erste Eintauchzeit unberücksichtigt bleibt.



Abbildung 4.2: Tauchgerät; links: Einzelkomponenten; rechts: Versuchsdurchführung [Bilder 2007, F. Al Atiki]

## 4.2.2 Trichterverfahren

### 4.2.2.1 Grundlagen der Prüfung

Als Fließvermögen des Einpressmörtels in s gilt die gemessene Zeit, die eine bestimmte Einpressmörtelmenge benötigt, um unter festgelegten Bedingungen durch die Öffnung eines Trichters zu fließen [2, 7].

### 4.2.2.2 Geräte

Für die Prüfung werden folgende Geräte benötigt:

a) Trichter

Ein Trichter mit den in Abbildung 4.3 angegebenen Maßen. Er muss stabil sein und aus einem Material hergestellt sein, das nicht mit den in EN 447, Abschnitt 4 angegebenen Stoffen reagiert. Das Volumen des Trichters (ausschließlich der am oberen und unteren Ende befindlichen Zylindrischen Teile) muss  $1,7 \text{ l} \pm 10 \%$  betragen.

b) Sieb

Die Öffnung des Siebs muss 1,5 mm betragen und das Sieb muss nach Abbildung 4.3 angeordnet werden.

c) Stoppuhr

## d) 1-Liter-Gefäß

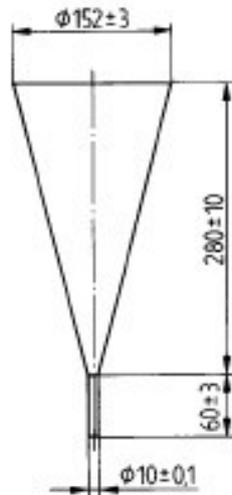


Abbildung 4.3: links: Trichter für die Prüfung des Fließvermögens (Maße in mm) [2]; rechts: Trichter auf der Baustelle, [Bilder 2007, F. Al Atiki]

#### 4.2.2.3 Durchführung der Prüfung

##### Vorbereitung

Der Trichter ist mit seiner Achse senkrecht und seinem größten Durchmesser zuoberst anzuordnen. Das Sieb ist an der in Abbildung 4.3 angegebenen Stelle zu befestigen. Ein Vibrieren des Trichters während der Prüfung ist zu vermeiden. Das Gefäß wird unter die Trichteröffnung gestellt. Alle Flächen des Trichters müssen sauber und leicht angefeuchtet sein. Die untere Trichteröffnung ist zu schließen.

##### Durchführung

1,5 l des Einpressmörtels sind durch das Sieb langsam in den Trichter zu füllen, um die Bildung von Luftblasen im Einpressmörtel zu vermeiden. Die untere Trichteröffnung wird geöffnet, wobei gleichzeitig die Stoppuhr gestartet wird.

Die zum Füllen des Gefäßes benötigte Zeit ist auf 0,5 s zu messen. Die Bildung von Klumpen auf dem Sieb ist im Prüfbericht anzugeben. Es sind zwei Prüfungen durchzuführen; die erste Prüfung ist unmittelbar nach dem Mischen des Einpressmörtels und die zweite Prüfung 30 min nach dem Mischen oder nach dem Einpressen durchzuführen [2].

#### 4.2.2.4 Auswertung

Die gemessene Zeit ist auf 0,5 s anzugeben. Die Klumpenbildung ist ebenfalls anzugeben.

## **4.2.3 Bestimmung des Ausbreitmaßes des Einpressmörtels**

### **4.2.3.1 Grundlagen der Prüfung**

In der Prüfung zur Bestimmung des Ausbreitmaßes des Einpressmörtels wird die Viskosität von thixotropen Einpressmörteln mit einer kleinen zylindrischen Form ermittelt. Der Einpressmörtel breitet sich so weit aus, bis die Fließgrenze nicht mehr überschritten wird. Zur Bestimmung des Fließvermögens wird der Durchmesser des Einpressmörtel-Kuchens auf einer Glasplatte nach einem festgelegtem Zeitraum gemessen.

### **4.2.3.2 Prüfeinrichtung**

Für die Prüfung werden folgende Geräte benötigt:

- a) Glasplatte mit einem Durchmesser von mindestens 300 mm
- b) Form aus Stahl oder Kunststoff mit einem Innendurchmesser von 39 mm, einer Höhe von 60 mm und einer Wanddicke von 5mm
- c) Stoppuhr mit einer Fehlgrenze von 0,2 s in 60 s, die die Zeit auf 0,1 s anzeigt
- d) Thermometer

### **4.2.3.3 Durchführung der Prüfung**

#### **Vorbereitung**

Der Ausbreitversuch wird auf der horizontal angeordneten Glasplatte durchgeführt. Die Oberflächen der Form und der Glasplatte müssen sauber und angefeuchtet sein. Sofern erforderlich, kann ein dünner Film Vaseline auf den Rand der Form, der die Glasplatte berührt, aufgetragen werden, um zu verhindern, dass der Einpressmörtel beim Befüllen der Form ausläuft.

#### **Durchführung**

Die Form ist auf die Glasplatte zu setzen. Sie darf nicht verrutschen.

Der Einpressmörtel wird langsam in die Form gefüllt, bis er den oberen Rand erreicht. Die Form wird langsam von der Glasplatte abgehoben und 30 s über dem Einpressmörtel gehalten, ehe sie entfernt wird.

### **4.2.3.4 Angabe der Ergebnisse**

Der Durchmesser des Einpressmörtels nach dem Ausbreiten wird in zwei rechtwinklig zueinander verlaufenden Richtungen gemessen und in mm angegeben. Die Messungen sind 30 s nach dem Anheben der Form durchzuführen [1].

Der Fließvermögen des Einpressmörtels muss während des Einpressens genügend hoch sein, so dass der Einpressmörtel auf wirksame Weise eingepumpt und die Hüllrohre ausreichend verfüllt werden können; es muss jedoch so niedrig sein, dass im Hüllrohr vorhandene Luft und Wasser ausgetrieben werden. Bei Prüfung nach einem der in EN 445 angegebenen Verfahren muss der Einpressmörtel die in Tabelle 4 angegebenen Werte aufweisen.

Zwischen dem Zeitpunkt unmittelbar nach dem Mischen und 30 Minuten nach dem Mischen bzw. einem vom Hersteller festgelegten Zeitpunkt darf das Fließvermögen um nicht mehr als 20 % schwanken [52].

**Tabelle 4: Prüfanforderungen an das Fließvermögen [52]**

<b>Prüfverfahren nach EN 445</b>		<b>Unmittelbar nach dem Mischen</b>	<b>30 Minuten nach dem Mischen <sup>1)</sup> oder zum Zeitpunkt, der vom Hersteller festgelegt wurde</b>
Trichterverfahren	Zeit (in s)	$t_0 \leq 25 \text{ s}$	1,2 $t_0 \geq t_{30} \geq 0,8 t_0$ und $t_{30} \leq 25 \text{ s}$
Bestimmung des Ausbreitmaßes	$a$ =durchschnittliches Ausbreitmaß (in mm)	$a_0 \geq 140 \text{ mm}$	1,2 $a_0 \geq a_{30} \geq 0,8 a_0$ und $a_{30} \geq 140 \text{ mm}$
<sup>1)</sup> Die Mischzeit ist zu messen, wenn sich alle erforderlichen Stoffmengen in Mischer befinden.			

## **4.3 Prüfung der Wasserabsonderung**

### **4.3.1 Grundlagen der Prüfung**

Bei der Prüfung wird diejenige Wassermenge gemessen, die nach dem Absetzen an der Oberfläche des Einpressmörtels verbleibt, nachdem dieser zur Verhinderung von Verdampfen abgedeckt wurde.

### 4.3.2 Geräte

Ein durchsichtiger 100 ml-Messzylinder mit ml-Einteilungen, der einen Durchmesser von 25 mm und eine Höhe von 250 mm aufweist. Als Alternative auch ein durchsichtiger Messzylinder mit einem Durchmesser von 50 mm und einer Höhe von 200 mm mit mm-Einteilungen.

### 4.3.3 Durchführung der Prüfung

#### Vorbereitung

Der Zylinder ist auf eine stoß- und rüttelfreie Fläche zu stellen. Der verwendete Einpressmörtel sollte der Mischung entnommen werden, an der auch das Fließvermögen geprüft wurde.

- Durchführung für Zylinder mit einem Durchmesser von 25 mm:

Es sind 95 bis 100 ml Einpressmörtel in den Zylinder zu füllen. Die genaue Höhe des eingefüllten Einpressmörtels ( $v$ ) ist aufzuzeichnen, wobei der Meniskus zu vernachlässigen ist. Nach 3 h ist die auf der Oberfläche des Einpressmörtels abgesetzte Wassermenge ( $v_1$ ) zu messen, wobei geeignete Maßnahmen gegen deren Verdunsten zu ergreifen sind. Die Prüfung ist an einer Einpressmörtelprobe durchzuführen.

- Durchführung für Zylinder mit einem Durchmesser von 50 mm:

Es ist Einpressmörtel bis zu einer Höhe von ungefähr 150 mm in den Zylinder zu füllen. Die Höhe bis zum oberen Rand des Einpressmörtels ( $h$ ) ist aufzuzeichnen, wobei der Meniskus zu vernachlässigen ist. Nach 3 h ist die Wasserhöhe über dem Einpressmörtel ( $h_1$ ) zu messen, wobei geeignete Maßnahmen gegen das Verdunsten zu ergreifen sind. Die Prüfung ist an einer Einpressmörtelprobe durchzuführen.

### 4.3.4 Auswertung

Die Wasserabsonderung nach 3 h wird wie folgt berechnet:

$$\frac{v_1}{v} \cdot 100 \% \quad (1)$$

für Zylinder mit einem Durchmesser von 25 mm, und

$$\frac{h_1}{h} \cdot 100 \% \quad (2)$$

für Zylinder mit einem Durchmesser von 50 mm

Hierbei sind:

- $v_1$  Volumen (in ml) des nach 3 h auf der Oberfläche des Einpressmörtels befindlichen Wassers;
- $v$  Anfangsvolumen (in ml) des Einpressmörtels;
- $h_1$  Höhe (in mm) des nach 3 h auf der Oberfläche des Einpressmörtels befindlichen Wassers;
- $h$  Anfangshöhe (in mm) des Einpressmörtels.

Im Prüfbericht ist die Prüftemperatur anzugeben.

## **4.4 Prüfung der Volumenänderung**

### **4.4.1 Grundlagen der Prüfung**

Die Volumenänderung wird in % des Volumens des Einpressmörtels bei Prüfbeginn und Prüfende ermittelt. Mit dieser Prüfung wird vornehmlich die durch Entmischung oder Quellen bewirkte Volumenänderung bestimmt [2].

Für diese Prüfung darf derselbe Einpressmörtel benutzt werden, der für die Prüfung der Wasserabsonderung verwendet wurde.

### **4.4.2 Zylinderverfahren**

#### **4.4.2.1 Geräte**

Durchsichtiger Messzylinder mit einem Durchmesser von 50 mm und einer Höhe von 200 mm.

#### **4.4.2.2 Durchführung der Prüfung**

Der Zylinder ist auf eine stoß- und rüttelfreie Fläche zu stellen. Er ist mit dem Einpressmörtel bis zu einer Höhe ( $h$ ) zu füllen. 24 h nach dem Füllen des Zylinder ist die Höhe ( $h_2$ ) zu messen, um die Volumenänderung zu ermitteln.

#### **4.4.2.3 Auswertung**

Die Volumenänderung nach 24 h wird wie folgt berechnet:

$$\frac{h_2 - h}{h} \cdot 100 \% \quad (3)$$

Hierbei sind:

- $h$  Anfangshöhe (in mm) des Einpressmörtels

$h_2$  Höhe des Einpressmörtels nach 24 h (in mm).

### 4.4.3 Gefäßverfahren

#### 4.4.3.1 Geräte

- a) Drei Metallbehälter mit einer Höhe von 120 mm und einem Durchmesser von ungefähr 100 mm mit Deckel zur Vermeidung von Feuchtenverlust.
- b) Meßplatte oder Messschieber.
- c) Abdeckplatten.
  - Abdeckplatte auf dem Behälter mit einem Durchmesser von 120 mm (Abbildung 4.4 links).
  - Durchsichtige Abdeckplatte auf dem Einpressmörtel mit einem Durchmesser von 98 mm und einem Gewicht von ungefähr 10 g (Abbildung 4.4rechts).
- e) Fülllehre.

#### 4.4.3.2 Durchführung der Prüfung

Die Behälter sind auf eine rüttel- und wärmestrahlungsfreie Fläche zu stellen und für 24 h zu lagern. Unmittelbar nach dem Mischen ist der Einpressmörtel mit der Fülllehre bis zu einer Höhe von 100 mm in jedem Behälter zu füllen. Die Messung des Abstands zwischen dem oberen Ende des Behälters und der Oberfläche des Einpressmörtels ist

- unmittelbar nach dem Füllen der Behälter

und

- 24 h nach dem Füllen der Behälter

nach einem der folgenden Verfahren durchzuführen.

- a) Messung mit Abdeckplatte auf dem Behälter

Die erste Messung ist unmittelbar nach dem Füllen der Behälter mit Einpressmörtel durchzuführen, indem der Abstand zwischen der Oberfläche des Einpressmörtels und dem oberen Rand des Behälters an mindestens sechs Stellen mit dem Messschieber abzulesen ist. Die Markierung muss mit dem Rand des Behälters übereinstimmen (Referenzpunkt). Dann werden die Behälter mit dem Deckel luftdicht verschlossen und mit einem Gewicht von ungefähr 300 g belastet, bis die zweite Messung 24 h nach dem Füllen der Behälter durchgeführt wird.

Bei der zweiten Messung wird der Abstand zwischen der festen Oberfläche des Einpressmörtels und dem oberen Rand des Behälters an denselben sechs Messstellen der ersten Messung ermittelt.

- b) Messung mit Abdeckplatte auf dem Einpressmörtel

Unmittelbar nach dem Füllen wird die Abdeckplatte (Abbildung 4.4 rechts) auf den frischen Einpressmörtel gelegt und der Abstand zwischen dieser Platte und dem Rand des Behälters wird mit dem Tiefenmesser an mindestens sechs Stellen gemessen (erste Messung). Dann werden die Behälter luftdicht verschlossen. Die zweite Messung wird 24 h nach dem Füllen der Behälter durchgeführt. Bei der zweiten Messung wird der Abstand zwischen der Abdeckplatte und dem oberen Rand des Behälters an denselben sechs Messstellen der ersten Messung ermittelt.

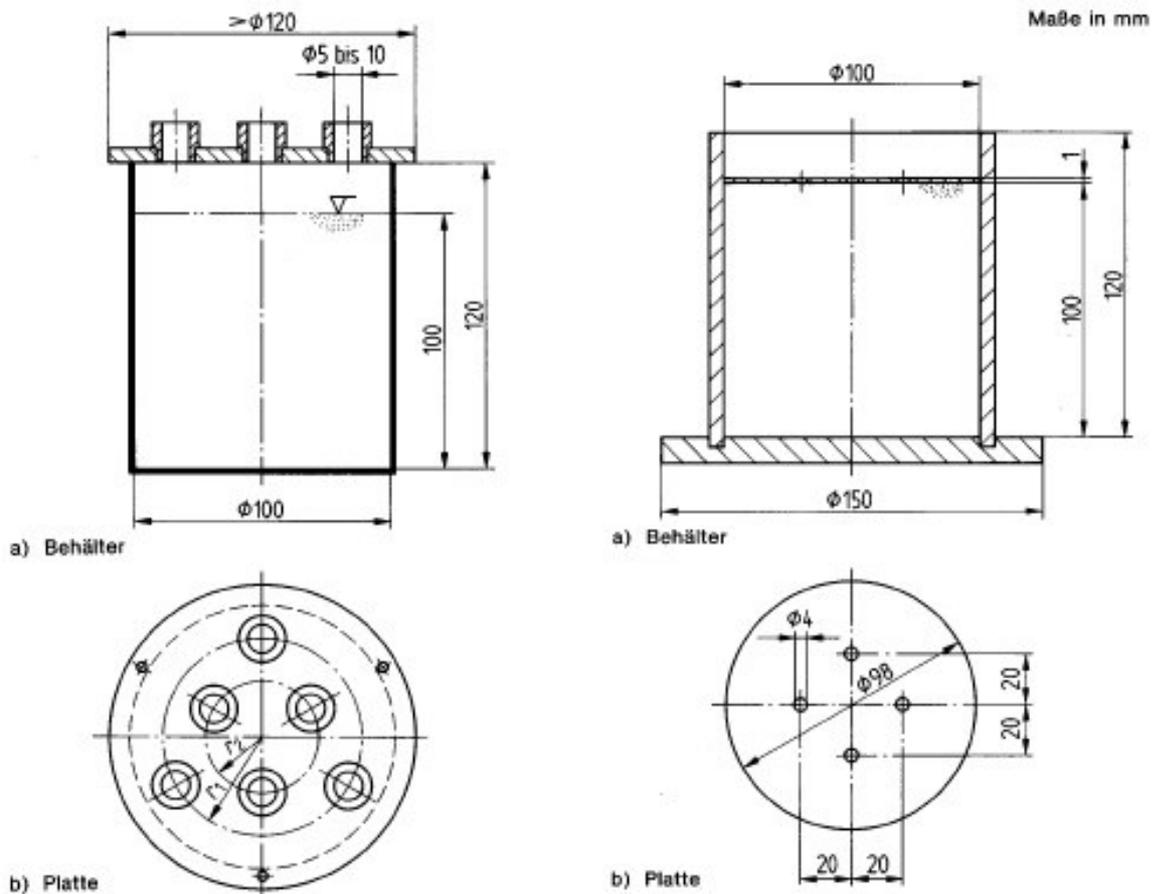


Abbildung 4.4: links: Abdeckplatte auf dem Behälter; rechts: Abdeckplatte auf dem Einpressmörtel [2]

#### 4.4.3.3 Auswertung

Die Differenz zwischen den Mittelwerten der ersten und zweiten Messung(en) in mm entspricht der Volumenänderung bei einer Einfüllhöhe von 100 mm und ist als Volumenänderung in % anzugeben.

Die Volumenänderung in % ist als Mittelwert der Messwerte an den drei Behälter auf 0,1 % anzugeben. Eine Volumenerhöhung ist als (+), eine Volumenverringerung als (-) anzugeben.

## **4.5 Prüfung der Druckfestigkeit**

### **4.5.1 Prüfung am Zylinder**

#### **4.5.1.1 Grundlagen der Prüfung**

Bei dieser Prüfung ist die Druckfestigkeit des Einpressmörtels an den drei für die Prüfung der Volumenänderung nach 4.4.3 verwendeten Zylindern vorzunehmen.

#### **4.5.1.2 Geräte**

- a) Die in 4.4.3 beschriebenen Behälter,
- b) Druckfestigkeits-Prüfgerät nach ISO 4012 [26],
- c) Geräte zum Sägen und Schleifen der Probekörper.

#### **4.5.1.3 Durchführung der Prüfung**

Nach Messung der Volumenänderung sind die drei Zylinder bis zu ihrer Vorbereitung für die Prüfung in Wasser bei  $(20 \pm 1) \text{ }^\circ\text{C}$  zu lagern. Unmittelbar vor der Prüfung sind die Probekörper vorsichtig zu formen [2].

Jeder Probekörper wird für die Prüfung vorbereitet, indem der Zylinder nahe der Oberseite durchgesägt wird und dann beide Kreisflächen des Zylinders so lange geschliffen werden, bis die für die Prüfung verwendete Scheibe eine Dicke von 80 mm aufweist [2].

Dann ist jeder Probekörper einer Prüfung nach ISO 4012 bis zum Erreichen der Höchstlast ( $F_c$ ) zu unterziehen.

#### **4.5.1.4 Auswertung**

Die Druckfestigkeit  $R_c$  wird in  $N/mm^2$  wie folgt berechnet:

$$R_c = \frac{F_c}{A} \quad (4)$$

Hierbei sind:

$F_c$  Bruchlast, in  $N$

$A$  Querschnittsfläche, in  $mm^2$ .

Die Druckfestigkeit ist an drei Probekörper zu messen, wobei der Mittelwert dieser drei Messungen als Druckfestigkeit anzugeben ist. Der Prüfbericht muss alle Prüfergebnisse enthalten.

## **4.5.2 Prüfung am Würfel**

### **4.5.2.1 Grundlagen der Prüfung**

Die Druckfestigkeit des Einpressmörtels wird in dieser Prüfung (die eine Anpassung der in EN 12190 [27] beschriebenen mechanischen Prüfungen auf Einpressmörtel darstellt) an Würfeln mit einer Kantenlänge von 40 mm ermittelt [1].

Die in DIN EN 445 [2] für die Bestimmung der Druckfestigkeit des Einpressmörtels verwendeten (40 \* 40 \* 160) mm Prismen sind nicht mehr geeignet, da durch das Quellen des sehr fließfähigen Einpressmörtels mit Einpresshilfe in den Prüfgefäßen die Maßhaltigkeit der Probekörper und die Zusammensetzung des Einpressmörtels verfälscht werden können [23, 24].

Würfel mit anderen Abmessungen können geprüft werden, vorausgesetzt, dass eine Korrelation festgestellt wird [1].

### **4.5.2.2 Prüfeinrichtung**

- a) Geräte zur Nachbehandlung des Einpressmörtels nach EN 12190;
- b) Prüfgeräte und Vorrichtungen nach EN 12190;
- c) Metallformen nach EN 12190;
- d) Abstreichlineal aus Metall.

### **4.5.2.3 Durchführung der Prüfung**

#### **Formen der Probekörper**

Die Vorbereitung der Formen und Vorrichtungen sowie die Herstellung der Probekörper müssen nach EN 12190 erfolgen, wobei folgende Ausnahme gilt:

Jede Form ist mit dem aufbereiteten Einpressmörtel zu füllen. Im Gegensatz zu den in EN 12190 angegebenen Verfahren (und im Hinblick auf das Fließvermögen der Einpressmörtel) dürfen die Probekörper nicht gerüttelt oder gestoßen werden.

Der überstehende Einpressmörtel ist mit dem fast senkrecht gehaltenen Abstreichlineal langsam in einer schrägen Sägebewegung einmal in jede Richtung abzustreichen. Die

Oberfläche der Probekörper ist mit demselben, fast waagrecht gehalten Abstreichlineal zu glätten. Anschließend werden die Probekörper mit einer Glasplatte abzudecken.

Zu ihrer Identifizierung sind die Probekörper zu beschriften oder zu kennzeichnen.

### **Prüfen der Druckfestigkeit**

Die Probekörper sind nach EN 12190 bis zu ihrer Prüfung nachzubehandeln.

Die Prüfung der Druckfestigkeit ist nach EN 12190 durchzuführen.

Drei Würfeln müssen nach 28 Tage geprüft werden.

#### **4.5.2.4 Auswertung**

Im Prüfbericht sind alle Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfungen in MPa anzugeben.

Der für jede Prüfung erzielte Wert ist als Mittelwert der Einzelwerte anzugeben [1, 2].

## **5 Eignungsprüfung und Überwachung**

Vor Beginn des Einpressens sind die vorgesehenen Stoffe, Geräte, Einpressverfahren und das Güteüberwachungsverfahren mit einer sachkundigen Stelle zu vereinbaren. Gegebenenfalls sind Einpressversuche mit Hüllrohren vergleichbarer Ausführung erforderlich, z. B. wenn Zweifel an dem einwandfreien Verpressen eines bestimmten Hüllrohrs bestehen [3].

Die Eigenschaften des Einpressmörtels, der mit diesen Ausgangsstoffen unter Verwendung der vorgesehenen Geräte und des vorgesehenen Personals auf der Baustelle hergestellt wird, müssen vor dem Einpressen auf ihre zufriedenstellende Eignung für den Verwendungszweck geprüft werden, um Anpassungen bei der Verwendung der Ausgangsstoffe, der Geräte und des Personals durchführen zu können.

### **5.1 Eignungsprüfung der Stoffe**

Die Eignungsprüfung der Stoffe muss die Aufbereitung des Einpressmörtels aus den entsprechenden Stoffen durch die auf der Baustelle verwendeten Geräte und das vorgesehene Personal sowie die Prüfung dieser Stoffe nach EN 447 [4], Abschnitt 5 und EN 445 [2] umfassen. Die Aufbereitung ist unter den Abschnitt 7.5 der EN 446 [3] angegeben oder den auf der Baustelle zu erwartenden Temperaturbedingungen vorzunehmen.

Die Eignungsprüfung darf entfallen, wenn die Prüfungsergebnisse aus früheren Prüfungen von Einpressmörtel, der aus vergleichbaren Stoffen und mit vergleichbaren Geräten

hergestellt wurde, den Anforderungen entsprechen. Diese Prüfungen dürfen nicht älter als zwei Monate sein.

## 5.2 Geräte

### 5.2.1 Allgemeines

Das Einpressgerät muss aus einem Mischer, einem Vorratsbehälter und einer Pumpe einschließlich der erforderlichen Verbindungsschläuche und Ventile, den Messvorrichtungen für Wasser, Zement und Zusatzmitteln sowie den Prüfgeräten bestehen. Das Mischgerät muss die Herstellung von Einpressmörtel mit gleichmäßiger Zement- und Zusatzmittelverteilung und einer möglichst geringen Anzahl von Zementklumpen ermöglichen und den Anforderungen nach EN 447 [4], Abschnitt 5 entsprechen [3].

Das notwendige Fassungsvermögen eines Mixers kann aus dem Wasserzementwert und der Reinwichte des Zementes ermittelt werden. Die Wichte des Zementleims  $d_f$  (Frischmörtelwichte) ohne Zuschlagmaterial lässt sich unter Vernachlässigung des geringen Luftraums aus der verwendeten Wassermenge wie folgt errechnen:

$$d_f = \frac{G_z + G_w}{V_z + V_w} \quad (5)$$

Hierbei ist:  $G_z$  = Gewicht des Zementes

$V_z$  = Volumen des Zementes

$G_w = V_w$  = Gewicht bzw. Volumen des Wassers

Wenn  $G_w = V_w$  auf ein Zementgewicht  $G_z = 1$  bezogen und  $V_z$  durch die Reinwichte des Zements  $d_z$  ausgedrückt wird, ist

$$d_f = \frac{1 + V_w}{\frac{1}{d_z} + V_w} \quad (6)$$

Bei dem gewählten Zementgewicht  $G_z = 1$  entspricht aber die Wassermenge  $V_w$  dem Wasserzementwert  $w/z$ , so dass die Gleichung auch folgendermaßen geschrieben werden kann:

$$d_f = \frac{1 + w/z}{\frac{1}{d_z} + w/z} \quad (7)$$

Nach *O. Völter* [41] errechnet sich daraus das Fassungsvermögen eines Mixers  $V_m$  folgendermaßen:

$$V_m = \frac{z + V_w}{d_f} = \frac{1 + w/z}{\frac{d_f}{z}} \quad (8)$$

$$V_m = \frac{(1 + w/z) \cdot z}{d_f} \quad (9)$$

Die Leistung der gebräuchlichen Geräte, die 90 – 100 l Mörtelinhalt fassen, liegt bei etwa 700 l/h. Sie kann beim Auspressen von Einzelspanngliedern, d. h. größerem Arbeitsaufwand bis auf 100 l/h zurückgehen [15]. Der Zementbedarf für ein Spannglied ergibt sich zu:

$$z = V_s \cdot \frac{d_f}{1 + w/z} \quad (10)$$

darin ist:  $V_s$  = Mörtelvolumen des Spannglieds

Die praktische, d. h. auf der Baustelle zur Anwendung kommende Mörtelmenge ist stets größer als das aus dem Spannkanaal- und Stahlvolumen theoretisch errechnete Volumen, da mit Verlusten, die sich z. B. beim Mischen, Überlaufen und Abfließen ergeben, zu rechnen ist. Nach *O. Völter* [41] ist deshalb ein Vergrößerungsfaktor zu berücksichtigen. Dieser ist  $K \leq 2$ . bei nahezu vollständigem Auslaufen des Spülwassers beträgt  $K = 1,1 - 1,2$ . der wirkliche Zementbedarf für ein Spannglied ist deshalb:

$$z_s = V_s \cdot \frac{d_f}{1 + w/z} \cdot K \quad (11)$$

Die Reihenfolge des Mischvorgangs wurde bisher in der Regel bei Benutzung von Rührwerksmischern eingehalten, da sie der Anweisung der Zusatzmittelhersteller entsprechen. Die Einpresshilfe wurde dabei erst nach einem 1,5 bis 2 min langen Vormischen von Wasser und Zement bei einer Gesamtmischzeit von etwa 4 min zugegeben. Sofern die Gebrauchsanweisungen der Zusatzmittelhersteller jedoch ausdrücklich eine andere Reihenfolge oder andere Mischzeiten vorschreiben sollten, ist danach zu verfahren [8].

Für den Einpressvorgang wird ein gleichmäßiges Fließen des Mörtels im Hüllrohr gefordert. Das schließt auf Grund zahlreicher Betriebsprüfung von Mischmaschinen z.B. die Verwendung von solchen Kolbenpumpen aus, die den Mörtel stoßweise weiterbefördern, so dass Entmischungen entstehen, die unter Umständen Verstopfen führen können. Auf Grund bisheriger Versuchsergebnisse muss empfohlen werden, die Kapazität der üblicherweise eingesetzten Einpressgeräte, insbesondere bei kleinen bzw. ungleichmäßig verteilten Fließquerschnitten, nicht auszunutzen, da sonst eine mangelhafte Umhüllung des Spannstahls nicht ausgeschlossen werden kann [8].

### **5.2.2 Siebvorrichtung**

Das Einpressgerät muss eine Siebvorrichtung mit einer Maschenweite von höchstens 2 mm enthalten, durch die der Einpressmörtel vor dem Einfüllen in den Vorratsbehälter gesiebt werden muss.

### **5.2.3 Vorratsbehälter**

Der Mischer muss einen zusätzlichen Vorratsbehälter mit Rührwerk enthalten, mit dessen Hilfe der Einpressmörtel vor dem Einpumpen in den Spannkanal ständig in Bewegung gehalten wird (Abbildung 5.1). Bei Unterbrechungen des Verpressvorgangs ist der Einpressmörtel umzupumpen.

Das Fassungsvermögen des Mixers und des Vorratsbehälters muss so beschaffen sein, dass der Spannkanal ohne Unterbrechung mit der geforderten Geschwindigkeit gefüllt werden kann [3].

### **5.2.4 Pumpe**

Die Pumpe muss ein gleich bleibendes Fließen des Einpressmörtels ermöglichen und muss Druck von mindestens 1 MP aufrechterhalten können. Sie muss mit einem Manometer ausgestattet sein.

Es muss ein Druckbegrenzungsventil vorhanden sein, das verhindert, dass der Druck auf mehr als 2 MP oder mehr als einen anderen im gewählten Einpressverfahren festgelegten Wert steigt [3]. Großer Druck führt zu Spaltzugkräften im Beton [7].

Die Begrenzung des Einpressdrucks dient dazu:

- ein Platzen der Schläuche, bzw. der Anschlüsse am Mörtel einlass oder –Auslass zu verhindern,
- Schäden der Betonkonstruktion zu verhindern,
- die Geräte und Ventile vor Beschädigung zu schützen,
- das Bedienungspersonal zu schützen,
- eine Entmischung zu verhindern
- den Einpressfluss zu überwachen.

Die Verwendung von Pressluft für das Pumpen ist nicht zulässig [3]. Die Pumpe muss so beschaffen sein, dass keine Luft, Öl oder andere fremde Stoffe in den Einpressmörtel gelangen können. Das Fassungsvermögen der Pumpe muss ein angemessenes Verpressen des

Spannkanals ermöglichen. Die Verwendung einer Pumpe mit veränderbarer Ausgangsleitung ermöglicht die Anpassung an die für Spannkanäle mit unterschiedlicher Spannkanaldurchmessern geltenden Anforderung.

### **5.2.5 Schläuche**

Der Durchmesser und der zulässige Druck der Einpressschläuche müssen mit der Ausgangsleitung der Pumpe, dem angenommenen Höchstdruck und der erforderlichen Länge übereinstimmen. Die Schlauchverbindungen dürfen im Allgemeinen den lichten Innendurchmesser der Schläuche nicht vermindern [3].

### **5.2.6 Verbindungen an den Eintrittsöffnungen**

Die Einpressschläuche müssen mit den Eintrittsöffnungen der Spannkanäle dicht verbunden werden. Es werden Klemmen, Bajonettverschlüsse oder ähnliche Verbindungen empfohlen. Enge Öffnungen, durch welche der Einpressmörtel hindurchfließen muss, sind zu vermeiden, da der sich hieraus ergebende Druckanstieg zu einer Blockierung führen kann.

An der Eintrittsöffnung ist üblicherweise ein Druckbegrenzungsventil anzubringen. Dies sollte nur für eine Schlauchlänge von mehr als 30 m gelten [3].

Bei plötzlichem oder unüblichem Druckanstieg zeigt ein zusätzliches Manometer an, ob der Grund für den Druckanstieg innerhalb des Spannkanals oder der Einpressschläuche liegt.

Verstopfungen bemerkt man durch eine plötzliche Zunahme des Einpressdruckes. In einem solchen Fall kann von den Entlüftungsöffnungen her der Zementmörtel wieder ausgeblasen werden. Es wird so lange verpresst, bis die Konsistenz des Mörtels an der Austrittsöffnung dem an der Eintrittsöffnung entspricht [24].

### **5.2.7 Ersatzgeräte**

Die Bereitstellung von Ersatzgeräten ist für jeden Einpressvorgang gesondert festzulegen [3].

## **5.3 Einpressverfahren**

### **5.3.1 Allgemeines**

Vor Beginn des Einpressvorganges muss der Auftragnehmer ein Einpressverfahren vorschlagen, das von einer zuständigen Stelle nachgeprüft wird. Das Verfahren muss

sicherstellen, dass die Hüllrohre einwandfrei mit Einpressmörtel gefüllt werden. Das Auspressen der Hüllrohre sollte sehr sorgfältig und nur von ausreichend geschultem und erfahrenem Personal ausgeführt werden. Dies gilt umso mehr, da die Eigenschaften des Einpressmörtels abhängig vom verwendeten Zement sowie den Umgebungsbedingungen stark streuen können [3, 7, 24]. Unter bestimmten Umständen können Verpressversuche an Hüllrohren vergleichbarer Ausführung erforderlich sein, z. B. wenn Zweifel an der Möglichkeit des einwandfreien Verpressens eines bestimmten Hüllrohrs bestehen [3].

Das Spülen von Spannkanälen mit Wasser ist nicht mehr verbindlich vorgeschrieben. Es hat sich gezeigt, dass bei einiger Erfahrung Einpressmörtel mit ausreichendem Fließvermögen auch ohne Durchspülen einwandfrei verpresst werden kann. Andererseits ist bekannt, dass das bei Anwendung der Durchspülung mit Wasser im Spannkanal verbleibende Restwasser auch bei längerem Einsatz von Druckluft nicht immer restlos beseitigt werden kann; die Spülung mit Wasser sollte daher erst kurz vor dem Einpressen vorgenommen werden, um die Zeit, während der Spannstahl zusätzlicher Feuchtigkeit ausgesetzt wird, möglichst kurz zu halten [8]. Wird die Wasserspülung zum Entfernen von Verunreinigungen in Verbindung mit dem Freimachen (Bohren, Stemmen) oder aus anderen Gründen angewendet, so ist dafür zu sorgen, dass die von der Mörtelspitze aufgenommenen Wasserreste restlos aus dem Spannkanal abgeführt werden, und zwar nach Möglichkeit über einen Auslauf oder über die oberen Entlüftungen am Ende des Spannkanals. In diesen Fällen sollte Einpressmörtel so lange weiter eingepresst werden, bis der auslaufende Mörtel mit Sicherheit nicht mehr mit dem Spülwasser vermischt ist [8].

Die ursprüngliche Forderung, dass der am Ende des Spannkanals austretende Mörtel mindestens die gleiche Tauchzeit aufweisen muss wie der am Anfang eingepresste Mörtel, lässt sich auf Grund der vorliegenden Erfahrungen nicht aufrecht erhalten, da sich das Fließvermögen des Einpressmörtels während des Einpressens durch verschiedenartige Einwirkungen im Spannkanal (z.B. Temperatur) verändern kann. So gleicht sich die Temperatur des Einpressmörtels während des Einpressens weitgehend der Bauwerktemperatur an. Ferner fällt die Tauchzeit unter sonst gleichen Verhältnissen mit niedrigerer Temperatur des Einpressmörtels kleiner aus. Entsprechend muss der Einpressmörtel bei einer zu erwartenden Abkühlung unter Umständen vor dem Einpressen eine zum Teil wesentlich über 30 s liegende Tauchzeit aufweisen [8].



**Abbildung 5.1: Einpressmörtel auf der Baustelle; links: Mischvorgang (Vorratsbehälter); rechts: Einpressvorgang (Austrittsöffnung) [Bilder 2007, F. Al Atiki]**

### 5.3.2 Personal

Die für die Herstellung und das Einpressen des Einpressmörtels verantwortliche Person muss über entsprechende Kenntnisse, Schulung und Erfahrung bezüglich der Herstellung, Prüfung und Überwachung verfügen. Diese Person oder ein entsprechend geschulter Vertreter muss bei allen Einpressvorgängen anwesend sein und ist für alle Sicherheitsvorkehrungen im Zusammenhang mit der Vorbereitung und Durchführung des Einpressens verantwortlich.

### 5.3.3 Ein- und Austrittsöffnungen

Die Lage der Ein- und Austrittsöffnungen hängt von der Art und Geometrie der Spannglieder sowie von den Verpress- und Nachpressverfahren für die Spannglieder ab.

Ein- und Austrittsöffnungen werden üblicherweise an folgenden Stellen angebracht [3, 50]:

- an den Ankern und Kopplungen,
- an oder nahe der Hochpunkte des Spannglieds, wenn der Abstand zwischen dem höchsten und dem Tiefpunkt mehr als 0,5 m beträgt,
- an den Tiefpunkten von stark geneigten, vertikalen oder stark gekrümmten Spanngliedern und bestimmten Stellen, wenn das Einpressen in mehreren Stufen erfolgt.

Das Verschließen der Entlüftungsleitungen darf beim Einpressen nicht zu früh erfolgen, damit Luftblasen aus dem Spannglied vollständig entweichen können.

Die Notwendigkeit von zusätzlichen Einpress- oder Entlüftungsleitungen bei problematischen

Fällen ist zu klären, wie: Anker und Kopplungen, die von oben nach unten verfüllt werden müssen, lange Spannglieder, Spannglieder mit ausgeprägten Hochpunkten (Abbildung 5.3), Spannglieder mit mehr als 16 Litzen, Spannglieder mit stark geneigten Abschnitten [24].



A) Ventil



B) Verbindung zwischen Ventil und Hüllrohr



C) Verbindung zwischen Schlauch und Hüllrohr



D) Anker

Abbildung 5.2: Ein- und Austrittsöffnungen [Bilder 2007, F. Al Atiki]

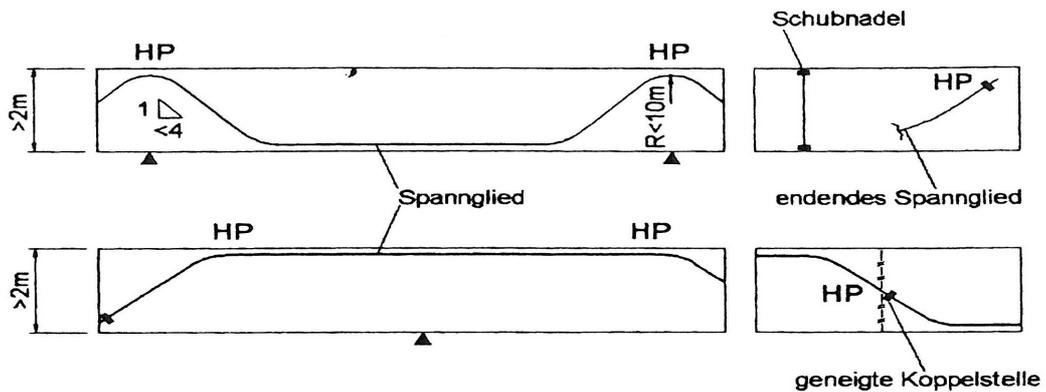


Abbildung 5.3: Beispiel von ausgeprägten Hochpunkten [24]

### 5.3.4 Vor dem Einpressen zu treffende Vorkehrungen

Das Verpressen der Hüllrohre sollte so bald wie möglich nach dem Spannen des Stahls erfolgen. Wenn bedingt durch Verzögerungen zwischen dem Einbau der Spannglieder und dem Verpressen der Hüllrohre die Wahrscheinlichkeit des Korrodierens der Spannglieder gegeben ist, sollte die mögliche Verwendung von löslichen Ölen oder getrockneter Luft zum Schutz des Stahls oder der Hüllrohre erwogen werden. Diese Maßnahmen sollten nur nach Empfehlungen des Lieferers getroffen werden und es sollte sichergestellt sein, dass durch diese Maßnahmen die Spannglieder nicht beschädigt oder die Eigenschaften des Einpressmörtels bzw. der Verbund mit den Spanngliedern nicht beeinträchtigt wird [3].

Je nach Einbauverfahren für die Spannglieder kann es erforderlich sein sicherzustellen, dass die Hüllrohre, Entlüftung und Ein- und Austrittsöffnungen den Durchfluss des Einpressmörtels gewährleisten. Dies erfolgt durch Ausblasen des Systems mit getrockneter Luft [3, 7]. Im Hüllrohr befindliches Wasser ist zu entfernen. Zu diesem Zweck dürfen Austrittsöffnungen an den niedrigsten Punkten und komprimierte Luft verwendet werden. Bei der Wahl des geeigneten Einpressverfahrens sind die Folgen des im Hüllrohr verbleibenden Wassers zu berücksichtigen.

Wenn das Eindringen und Ansammeln von Feuchte oder Kondenswasser vermieden wird, muss nach DIN 1045-3 – 01, 7.6.3 [34] das Einpressen des Mörtels innerhalb der folgenden Zeiträume erfolgen:

- spätestens 12 Wochen nach dem Herstellen des Spanngliedes, wobei das Spannglied maximal 4 Wochen frei in der Schalung liegen darf.
- bis etwa 2 Wochen nach dem Vorspannen.

Sofern erkennbar ist, dass diese Werte überschritten werden könnten, sind vorsorglich konservierende Maßnahmen für die gespannten Spannglieder zu treffen. Dies kann z. B. das Spülen der Hüllrohre mit Stickstoff oder das Belüften der Hüllrohre mit entfeuchteter Luft sein [42].

Das Einpressverfahren muss sicherstellen, dass die Hüllrohre vollständig gefüllt werden. Das Verpressen der Hüllrohre muss bei gleich bleibender Geschwindigkeit von 3 bis 12 m/Minute ohne Unterbrechung durchgeführt werden und die Geschwindigkeit muss so niedrig sein, dass das Entmischen des Wassers aus dem Einpressmörtel an Stellen, an denen der Einpressfluss eingeschränkt ist, verhindert wird [3, 7]. Die Durchflussgeschwindigkeit sollte auf Grund von Laboratoriumsergebnisse nicht unter 1 m/min. liegen, da die ursprüngliche Rohwichte umso mehr erhalten bleibt, je rascher der Mörtel den Spannkanal durchfließt [13, 36].

Wellenförmige verlegte Hüllrohre sind vom niedrigsten Punkt aus zu verpressen, wenn der Höhenunterschied mehr als 1,5 m beträgt.

### 5.3.5 Temperatur beim Einpressen

Die Höchst- und Mindesttemperatur der Luft und die Temperaturen der zu verpressenden Spannglieder sind aufzuzeichnen [3].

Der Mörtel wird möglichst umgehend nach dem Vorspannen in die Hüllrohre eingepresst. Dies kann in den Wintermonaten schwierig sein, da die Bauwerkstemperatur beim Einpressen  $\geq 5 \text{ }^\circ\text{C}$  sein muss. Für ein normales temperaturträges Bauteil muss nach einer Frostperiode der Mittelwert der täglichen Höchst- und Tiefstwerttemperaturen länger als eine Woche mindestens  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  betragen. Im Januar und Februar ist dies in Deutschland selten [42].

Das Einpressen muss üblicherweise bei den in Tabelle 5 für die Luft, die zu verpressenden Bauteile und den Einpressmörtel angegebenen Temperaturen erfolgen.

**Tabelle 5: Temperaturen beim Einpressen in  $^\circ\text{C}$  [3, 7]**

Temperatur	Luft	Bauteil	Einpressmörtel
Mindesttemperatur	5	5	10
Höchsttemperatur	30	25	25

Wenn eine der Temperaturen die in Tabelle 5 angegebenen Mindesttemperaturen unterschreitet oder die Höchstwerte überschreitet, können besondere, am Ort des Einpressens gültige Vorkehrung erforderlich sein, um das einwandfreie Verpressen der Hüllrohre sicherzustellen.

Spannglieder dürfen nicht erwärmt werden, es sei denn, die allgemeine Temperatur der zu verpressenden Bauteile wird ebenfalls durch Erwärmen erhöht. Stoffe und Geräte müssen vollständig frei von Schnee, Frost und Eis sein.

Ungeachtet der oben genannten Anforderungen darf die Temperatur von frisch gemischtem Einpressmörtel nicht mehr als  $35 \text{ }^\circ\text{C}$  betragen [3].

Wenn das Einpressen aus Temperaturgründen über einen längeren Zeitraum verschoben werden muss, sind Maßnahmen zum temporären Korrosionsschutz des Spannstahls erforderlich [24].

**Temporärer Korrosionsschutz:** Vorschriften, wie DIN 1045-3 [34], DIN-Fachbericht 102 [35] regeln, wie lange der Spannstahl im Spannkanal maximal ohne den endgültigen Schutz durch den Einpressmörtel verbleiben darf. Wird dieser Zeitraum überschritten oder liegen besondere korrosionsfördernde Bedingungen vor, müssen Maßnahmen zum temporären Korrosionsschutz ergreifen werden. Hierfür z. B. in Frage [24]:

- das regelmäßige Durchblasen der Spannkanäle mit getrockneter Luft. Die Geräte sind zu beschreiben. Wenn absehbar ist (z. B. bei abschnittweisem Bauen oder Bauen im Winter), dass temporärer Korrosionsschutz erforderlich werden wird, sollten die Trocknungsgeräte unmittelbar nach dem Einbau des Spannstahls installiert werden, damit eine für die Spanngliedreibung problematische Flugrostbildung auf dem Spannstahl vermieden wird.
- das Beschichten des Spannstahls mit einem temporären Korrosionsschutzmittel, wenn eine bauaufsichtliche Zulassung den vorliegenden Anweisungsfall abdeckt.

Nach den deutschen „Vorläufigen Richtlinien“ soll ein Einpressen bei Temperaturen unter 5 °C nicht mehr erfolgen. Der Zusatz von bestimmten Frostschutzmitteln ist nicht zugelassen [13]. Beim Abkühlen eines Mörtels unter ca. – 5 °C kann es bekanntlich durch Erstarren des freien Wassers zu einer Sprengung des Gefüges kommen [13].

### 5.3.6 Einpressvorgänge

Einpressmörtel ohne Abbindeverzögerer muss innerhalb von 30 min nach dem Mischen verwendet werden. Bei Einpressmörtel mit Quellmitteln ist die Zeitbegrenzung von besonderer Bedeutung. Die in einem Einpressvorgang eingepresste Höchstlänge sollte nicht mehr als 50 m betragen, sofern keine zusätzlichen Einpresspunkte vorgesehen sind [3, 7].

Üblicherweise beträgt die Einpressgeschwindigkeit zwischen 5 und 15 Meter je Minute. Im Allgemeinen sind die Spannkanäle vom niedrigsten Punkt aus zu verpressen [3, 7, 33].

Das Einpressen ist so lange fortzusetzen, bis das Fließvermögen des Einpressmörtels, der aus den Austrittsöffnungen fließt, dem Fließvermögen an der Eintrittsöffnung entspricht, wobei die Grenzwerte nach EN 447, Abschnitt 5.2 gelten. Während des Füllens des Spannkanals sind die Austrittsöffnungen nacheinander zu schließen.

Nach Beendigung des Einpressens ist der unbeabsichtigte Verlust von Einpressmörtel aus dem Spannkanal zu verhindern. Dies kann durch Beibehaltung eines Drucks von 0,5 MPa für eine Minute erleichtert werden [3].

Die Austrittsöffnungen an Hochpunkten sind kurz nach dem Einpressen zu öffnen, damit abgesondertes Wasser aus dem Spannkanal fließen kann. Vertikale Spannkanäle sind vom niedrigsten Punkt aus den entsprechenden Verfahren zu verpressen.

Anker, Kupplungen und Hochpunkte insbesondere von gewellten Spanngliedern mit Höhenunterschieden von mehr als 0,5 m und von sehr geneigten oder vertikalen Spanngliedern sind besonders zu beachten.

Sowohl beim Bauherrn als auch bei der Industrie hat sich das Bewusstsein für die Notwendigkeit einer qualitativ einwandfreien Ausführung und Überwachung der Umhüllung der Spannglieder mit Einpressmörtel durchgesetzt. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass völlig unausgepresste Spannkanäle in Zukunft eine Ausnahme darstellen werden. Nach wie vor bleibt aber das Problem der Kontrolle einer ausreichend vollständigen Verfüllung der Spannkanäle ungelöst. Zu den möglichen Auswirkungen von Fehlstellen im Einpressmörtel wird auf [37] verwiesen.

Ein wesentlicher Teil der gegenwärtigen Problematik lässt sich an einem mehr zufälligen erkannten Schadenfall zeigen, der entstanden ist, obwohl die Einpressarbeiten äußerst sorgfältig überwacht und dokumentiert wurden (Abbildung 5.4). Als Ursachen kommen zwei Fehler in Frage: Der Mörtel wurde gemäß dem Wortlaut von DIN 4227 Teil 5 vom „tiefer liegenden Ende“ her eingepresst. Da das feldweise hergestellte Bauwerk ein verhältnismäßig großes Längsgefälle hatte, lagen die Koppelstellen deutlich tiefer als die Spannanker.

Mit der festgelegten Maßnahme soll erreicht werden, dass beim Absetzen gegebenenfalls abgesondertes freies Überschusswasser durch das Quellen des Zementmörtels an den Entlüftungen nach außen verdrängt werden kann. Dies wird besser erreicht, wenn die Öffnungen des Spannglieds zunächst verschlossen werden, bis ein wesentlicher Teil des Absetzvorgangs beendet ist. Über den für das Öffnen der Entlüftungen zweckmäßigen Zeitpunkt können allgemeingültige Hinweise nicht gegeben werden. In der Praxis hat es sich bewährt, die Entlüftungsöffnungen erst etwa 15 bis 20 min nach dem Abschluss des Einpressens zu öffnen [8].

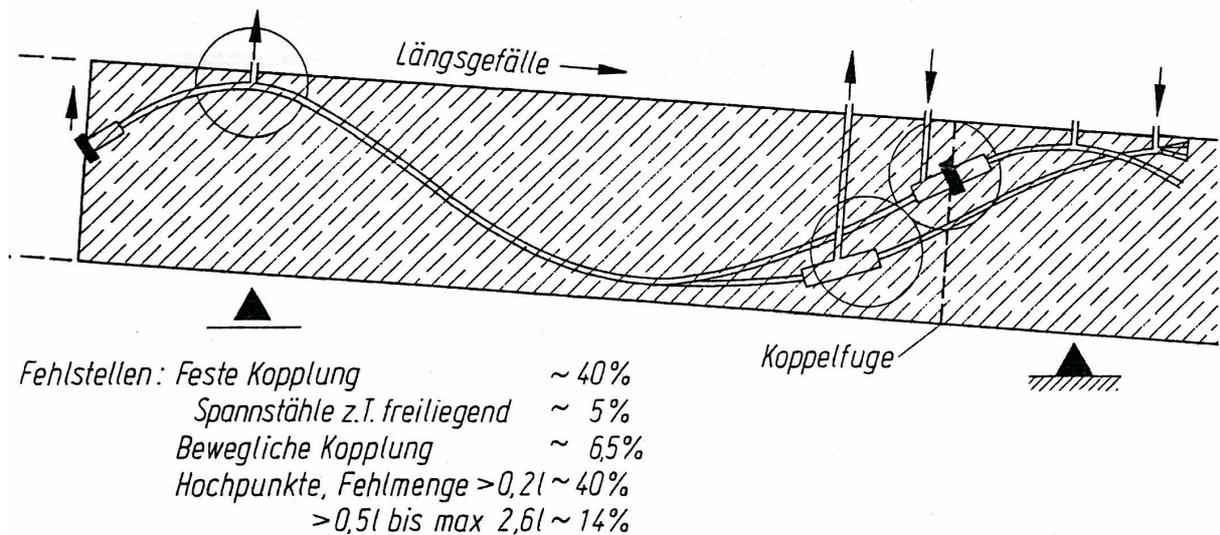


Abbildung 5.4: Beispiel für mangelhafte Verpressung [33]

Die größeren Hohlräume wurden somit nicht steigend sondern von oben nach unten gefüllt. Außerdem wurden beim Einpressen die zunächst offen gelassenen Hochpunktentlüftungen bereits endgültig geschlossen, sobald eine nennenswerte Menge blasenfreien Mörtels ausgeflossen war [33]. Zu diesem Zeitpunkt war das Einpressen jedoch noch nicht beendet; die erst später z. B. aus der Spannverankerung aufsteigende Luft konnte nicht mehr entweichen.

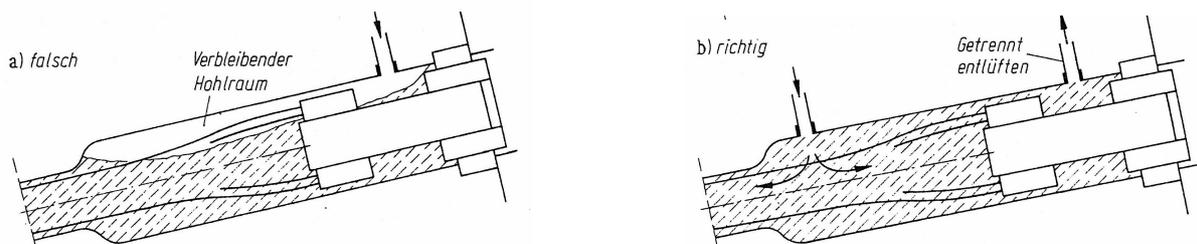


Abbildung 5.5: Falsches und richtiges Einpressen von Mörtel in eine geeignete Koppelhülse [33]

Bei der Beurteilung der Bedeutung der in Abbildung 5.4 angeführten Fehlstellen ist zu beachten, dass sie systematisch auftreten können. So wurden z. B. in einem Steg bis zu sechs von sieben Kopplungen mit freiliegenden Spannstählen angetroffen. Diese Fehlstellen hätten vermieden werden können, wenn wie in Abbildung 5.5 b dargestellt, eine getrennte Entlüftung vorgesehen oder in entgegen gesetzter Richtung eingepresst worden wäre.

Bei der Entstehung von Fehlstellen ist es wesentlich, zwischen Luft einschläüssen und den Folgen von Wasserabsonderungen zu unterscheiden. Während sich Luft vergleichsweise rasch

an den Hochpunkten ansammelt und dort im Rahmen des laufenden Einpressvorganges beseitigt werden kann, zieht sich das Wasserabsetzen über längere Zeiträume hin, so dass gegebenenfalls besondere zeitlich verzögerte Arbeitsvorgänge erforderlich werden [33, 38].

Für Lufteinschlüsse besteht beim Füllen der Spannkäule von unten nach oben kaum ein Risiko. Bei nach unten gerichtetem Füllen müssen dagegen zahlreiche Parameter aufeinander abgestimmt sein (Abbildung 5.6).

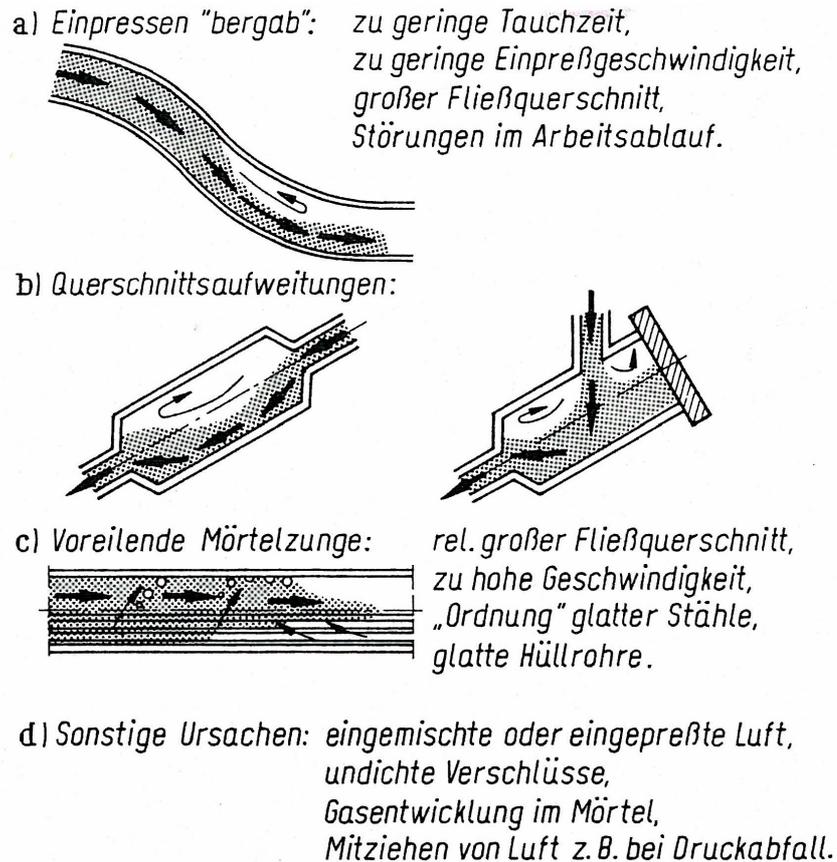


Abbildung 5.6: Entstehung von Lufteinschlüssen [7, 33]

Höhenunterschiede, Hüllrohrneigungen und Hüllrohrprofilierungen haben zusätzlich einen wesentlichen Einfluss. Abbildung 5.7 zeigt, dass mit zunehmender Größe der Spannglieder in den letzten Jahren auch das Verhältnis der wenig behinderten Fließquerschnitte zu den zu füllenden restlichen Querschnittsteilen überproportional zugenommen hat. Das Risiko voreilender Mörtelzungen nimmt damit ebenfalls zu, und zwar allgemein bei zu hoher, in stärker geneigten Bereichen aber auch bei zu niedriger Einpressgeschwindigkeit bzw. bei zu geringer Viskosität des Mörtels [33].

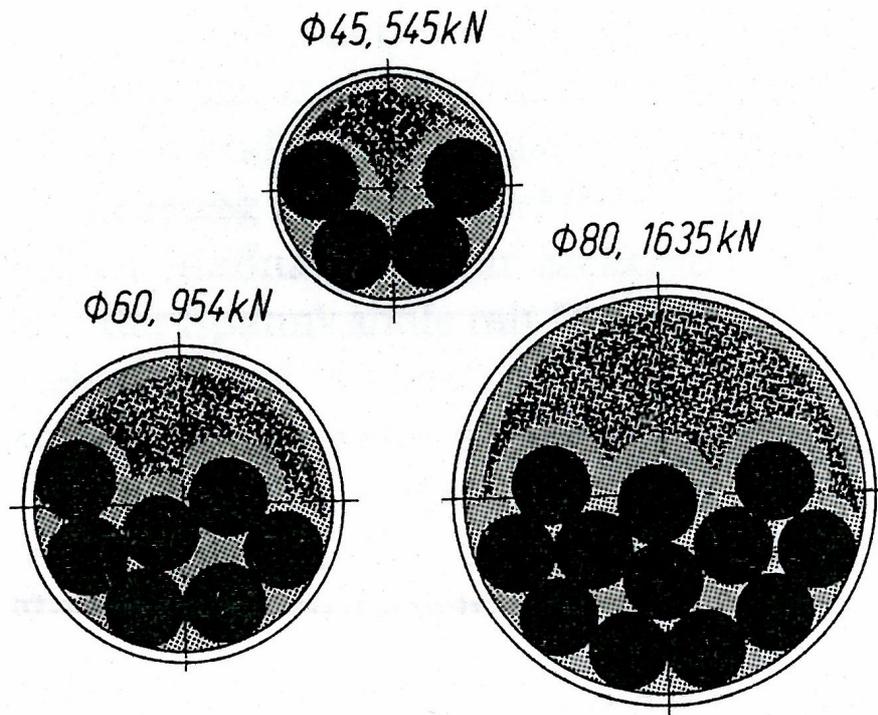


Abbildung 5.7: Entwicklung der Hüllrohrquerschnitte [33]

In Anbetracht der Entwicklung zu größeren und längeren Spanngliedern sowie der Verwendung von Litzen sollte das Einpressen bereits im Konstruktionsbüro detailliert geplant werden. Bei Vorbesprechungen zur konstruktiven Durchbildung von Spannbetonbauwerken sind daher, vergleichbar zur Erörterung von Risiken für die Eintragung der Spannkraft [39], auch die möglicherweise erforderlichen Maßnahmen zur Sicherstellung des einwandfreien Ausfüllens der Spannkanäle mit Einpressmörtel anzusprechen. Dies gilt vornehmlich bei längeren, in einem Arbeitsgang auszupressenden Abschnitten und wenn bei Litzen, größeren Höhenunterschieden, stark geneigten bzw. lotrechten Spanngliedern und größeren Hüllrohrquerschnitten das Risiko des Wasserabsonderns besondere Maßnahmen erforderlich macht.

Für Spannglieder mit mehr als 1500 kN Spannkraft wird in den Zulassungen für die Spannverfahren die Beachtung von [38] verbindlich vorgeschrieben. Die in Abhängigkeit von der Spannkraft gezogene Grenze ist jedoch historisch im Zusammenhang mit der Entwicklung der Spannverfahren zu sehen und trägt den übrigen hier maßgebenden Risikofaktoren nicht ausreichend Rechnung. [38] enthält unabhängig von der Spanngliedergröße wichtig, in vielen Fällen zu beachtende Hinweise, z. B. zu lotrechten bzw. vergleichbar nach oben verankerten Spanngliedern und zur vielfach erheblich unterschätzten Problematik der Beseitigung von

Fehlstellen in Hochpunktbereichen. Von besonderer Bedeutung ist, dass dem Risiko von größeren Wasseransammlungen erst etwa 15 bis 30 min nach dem Einpressen wirksam begegnet werden kann. Zu diesem Zeitpunkt müssen die Nachpressmöglichkeiten noch funktionsfähig sein. Bei längeren Spanngliedern kann dies die Anordnung von zusätzlichen Einpress-Anschlüssen in der Nähe der Hochpunkte erforderlich machen. Entsprechende Festlegungen sind im Konstruktionsbüro vorzunehmen, da nur dort die Möglichkeiten für konstruktiv vernünftige Alternativen geprüft und gegebenenfalls berücksichtigt werden können [33].

Aus dem gleichen Grund sind die Einpressrichtungen bereits im Konstruktionsbüro festzulegen. Hierbei ist u. a. zu beachten, dass Beginn und Ende einer Einpressstrecke sowie Hüllrohraufweiterungen aller Art steigend zu füllen sind [7, 33]. Ist dies nicht möglich, müssen besondere zusätzliche Maßnahmen zur Entlüftung von Hochpunkten vorgeschrieben werden.

In Abbildung 5.8 wurde versucht, beispielhaft Möglichkeiten für eine einwandfreie Ausfüllung von Hüllrohrerweiterungen, wie sie bei Verankerungen und Kopplungen auftreten, zusammenzustellen. Entsprechende Lösungsmöglichkeiten bzw. Konstruktionsregeln sollten auch für andere Problembereiche vorgehalten werden.

Bereits beim Anfertigen der Ausführungsunterlagen sollte unter Beteiligung von Bauvorbereitung und -ausführung eine bauwerksbezogene Arbeitsanweisung für das Einpressen erstellt bzw. eine allgemeine Anweisung entsprechend überprüft werden. Hierin sind noch hinnehmbare Bereiche für Einpressdruck bzw. -geschwindigkeit in Abhängigkeit vom jeweiligen Spannglied und der Spanngliedführung in den Grenzen der Vorgaben der Zulassungsbescheide für die Spannverfahren vorzugeben, ebenso die Einpressrichtung, die Zeitpunkte bzw. die Reihenfolge für das Öffnen und Schließen der Entlüftungen sowie die Notwendigkeit von Nachpressungen.

Die Arbeitsanweisungen sollten darüber hinaus Hinweise für nicht planmäßige Vorkommnisse, z. B. Arbeitsunterbrechungen, fehlende Entlüftungen und Verstopfern enthalten. Erforderliche Einpress- und Entlüftungsanschlüsse sind in den Bewehrungsplänen darzustellen [33].

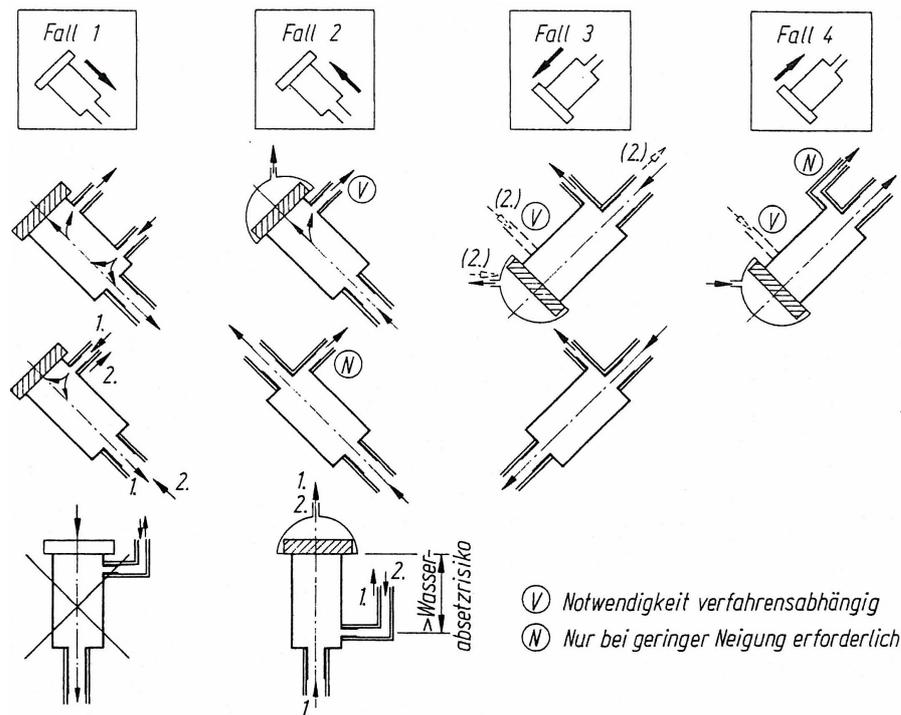


Abbildung 5.8: Beispiel für Entlüftungs- und Einpressschlüsse bei Hüllrohrerweiterungen [33]

### 5.3.7 Nach dem Einpressen

#### Zu treffende Vorkehrungen

Anker, Entlüftungen und andere ständig vorhandene Vorrichtungen aus Metall sind gegen Korrosion zu schützen, um den Eintritt von Wasser oder andere schädlichen Stoffen zu verhindern.

#### Nachverpressen

Das Nachverpressen ist üblicherweise mit frischem Einpressmörtel durchzuführen. Wenn Spannglieder aus Spannlitzen bestehen, darf Druckverpressen angewendet werden. Unmittelbar nach dem Einpressen wird das Nacheinpressen des Einpressmörtels in den Spannkanaal bei gleichmäßig steigendem Druck bis zu einem Höchstdruck von 1 MPa fortgesetzt. Die Anker müssen so abgedichtet sein, dass die Enden der Litzen aus den Ankern hervortreten.

Wenn Spannglieder aus Spannstäben, -drähten oder -litzen bestehen, darf das Nacheinpressen des Einpressmörtels durchgeführt werden, wenn der größte Teil des abgesonderten Wassers im Spannkanaal abgesetzt ist und kurz bevor der Einpressmörtel erhärtet. Es kann gegebenenfalls ein Pumpen von Einpressmörtel durch die Eintrittsöffnungen an mehreren

Punkten erforderlich sein, um abgesondertes Wasser durch die Austrittsöffnungen zu entfernen

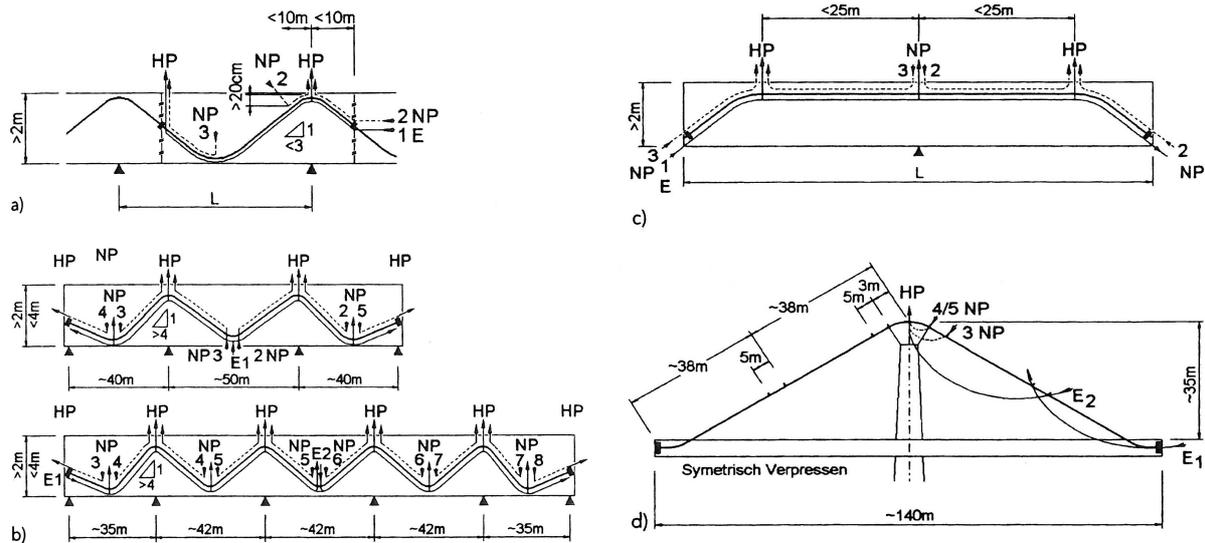
### **Nachpressen**

Ein Nachpressen von Mörtel zur Beseitigung abgesonderten Wassers wird nur Erfolg haben, wenn größere freie Fließquerschnitte vorliegen und der Absetzvorgang einschließlich des Einsickerns des Einpressmörtels in die Zwischenräume der unteren Stahllagen bereits abgeschlossen ist. Zweckmäßig ist es, von Anschlussstutzen aus nachzupressen, die in der Nähe von Tiefpunkten des Spannkanales liegen. Das ist jedoch aus konstruktiven Gründen nur in Ausnahmefällen möglich [8].

Wenn der Einpressmörtel in den Spannkanaelen bereits erhärtet ist und eine Überprüfung an den Ein- und Austrittsöffnungen ergibt, dass sich Wasser- oder Luftblasen bilden, ist ein Nachpressen durchzuführen. Diese Hohlräume sind mit frisch gemischtem Einpressmörtel zu füllen. Das ist z. B. bei Spanngliedern mit ausgeprägten Hochpunkten der Fall, bei denen Luft und Absetzwasser auch noch nach Abschluss des zunächst normalen Einpressvorganges zum Hochpunkt hochsteigen und dort einen vergleichsweise großen Hohlraum hervorrufen können [24]. Die Verdrängung der gesammelten Luft und des Absetzwassers geschieht, indem einige Zeit nach Abschluss des vorhergegangenen Einpressvorganges (etwa nach 10 bis 30 Min., solange der in den Hüllrohren eingepresste Mörtel noch fließfähig ist) zusätzlicher Einpressmörtel unter Verwendung hochpunktnaher Einpress- und Entlüftungsöffnungen nachgepresst wird [24, 38]. Beispiele für derartige Hochpunkte sind in Abbildung 5.8 wiedergegeben. Besondere Sorgfalt verlangt der obere Bereich eines vertikalen Spannkanales. Hier besteht die Gefahr, dass der gesamte Spannstahtquerschnitt ohne Einpressmörtelumhüllung bleibt, wenn nicht sorgfältig und auch mehrfach der obere Bereich nachgepresst wird. Ein Nachverpressen ist auch bei so genannten singulären Hochpunkten in Verankerungs- und Kopplungsbereichen erforderlich. Das sind Bereiche des Spannkanales mit abrupten Querschnittswechseln, an denen sich beim normalen Einpressen Luft- und Wasseransammlungen stauen, die erst durch einen Nachverpressvorgang mit Hilfe dafür angeordneter Einpress- und Entlüftungsleitungen verdrängt werden können. Abbildung 5.9 zeigt Beispiele, wie der Ablauf des Normal- und anschließenden Nachpressens bei einem Spannglied mit entsprechend angeordneten Einpress- und Entlüftungsleitungen erfolgen kann [24]. In einigen Fällen kann ein einpressen unter Vakuum erforderlich sein.

## Vakuumverpressen:

Dieses Verfahren wird i. d. R. nicht von vornherein als planmäßiges Einpressverfahren vorgesehen. Es wird vielmehr zu Instandsetzung bei Einpressmörtelfehlstellen eingesetzt. Der Hohlraum kann mit Hilfe der Vakuummethode verfüllt werden, wozu ein vorsichtiges Anbohren des Spannkanals durch den umgebenden Beton hindurch zur Herstellung einer geeigneten Einpressöffnung erforderlich ist [24, 44].



HP = Hochpunkt, E = Einpressstelle, NP = Nachpressstelle; Dicke Linie: Spannkanal, dünne Linie: Vorgang des Normalverpressens (Haupteinpressvorgang), unterbrochene Linie: Vorgang des Nachverpressens; Feldweise hergestellter Überbau, Durchlaufträger, Freibau  
**Abbildung 5.9: Beispiele für das Verpressen mit Nachverpressen bei verschiedenen Brückenbauverfahren**  
 [24]

Die Vakuummethode erlaubt es, das Volumen des Hohlraums vor dem Verpressen zu messen und mit dem verpressten Mörtelvolumen zu vergleichen, um auf diese Weise den Verpresserfolg nachzuweisen. Neuerdings wird Vakuumverpressen (z. B. in Frankreich) auch nur Unterstützung des normalen Verpressens angewendet [24].

Die Arbeitsanweisungen sollten darüber hinaus Hinweise für nicht planmäßige Vorkommnisse, z. B. Arbeitsunterbrechungen, fehlende Entlüftungen und Verstopfern enthalten. Erforderliche Einpress- und Entlüftungsanschlüsse sind in den Bewehrungsplänen darzustellen [33].

Dem Spannkanal wird etwa 80 bis 90 % des Luftvolumens entzogen, wodurch die Neigung zur Bildung von Luftblasen im Einpressmörtel verringert wird.

## **5.4 Überwachung**

Wie Schadensfälle der Vergangenheit gezeigt haben, ist für die Dauerhaftigkeit von Bauteilen aus Spannbeton mit nachträglichem Verbund die Güte der Einpressarbeiten von ausschlaggebender Bedeutung [43, 45]. Aus diesem Grund muss der Beginn von Einpressarbeiten der bauüberwachenden Behörde oder seinem Beauftragten rechtzeitig (möglichst 48 Stunden vorher) angezeigt und der verantwortliche Fachbauleiter für die Einpressarbeiten benannt werden. Um sicherzustellen, dass nur Fachpersonal mit den notwendigen Kenntnissen mit Einpressarbeiten betraut wird, hat der verantwortliche Fachbauleiter die entsprechende Schulung des Personals vorzunehmen und schriftlich zu bestätigen [43].

Zur Kontrolle müssen mindestens 10 % aller Einpressvorgänge auf der Baustelle von einer anerkannten Überwachungsstelle überwacht werden [6, 9]. Hierzu gehört u. a. die Prüfung und Dokumentation des Fließvermögens mindestens bei den ersten drei ausgepressten Spanngliedern [7].

DIN EN 446 [3] fordert im Abschnitt 8.1 folgende Güteüberwachungen:

- Eigenüberwachung durch den Auftragnehmer nach den Regeln des Abnehmers oder der zuständigen Stelle,
- Fremdüberwachung durch eine unabhängige Stelle zur Überprüfung der Ergebnisse der Eigenüberwachung. Der Abnehmer oder die zuständige Stelle dürfen zusätzliche Überprüfungen fordern.

Die Norm lässt jedoch den genauen Umfang dieser Überwachung offen. Für die geforderte Fremdüberwachung fehlen dort die konkreten Regelungen [24].

Diese wurden vom DIBt mit der „Richtlinie zur Überwachung des Herstellens und Einpressens von Zementmörtel in Spannkanäle [5, 6] erarbeitet.

Zur Planung der Einpressarbeiten, zur Überwachung und zur Dokumentation aller Einpressvorgänge sind als Anlage zur DIBt-Richtlinie vier Musterformulare enthalten. Diese Formulare wurden vom Deutschen Beton- und Bautechnik-Verein E. V. und einem Arbeitskreis des Sachverständigenausschusses nach dem Muster der bekannten Beton BII-Fremdüberwachung erarbeitet.

### **5.4.1 Überwachung durch das ausführende Unternehmen**

Grundlage für die erforderliche Ausführung von Einpressarbeiten ist die Überwachung durch das ausführende Unternehmen nach o. a. technischen Bestimmungen. Für die Planung, Durchführung und Überwachung der Einpressarbeiten ist ausreichend qualifiziertes Personal einzusetzen.

Die als Anlagen beigelegten vier Musterformulare für Einpressarbeiten, Einpressprotokoll, Eignungsprüfung/Überwachung und Druckfestigkeitsprüfung können als Unterstützung für die Durchführung der Einpressarbeiten verwendet werden, ihre Anwendung wird den ausführenden Unternehmen empfohlen, jedoch können auch gleichwertige Formulare verwendet werden. Die nach DIN EN 446 mindestens durchzuführenden Arbeitsschritte und Kontrollen und die nach ZTV-ING [46] zusätzliche durchzuführende Prüfung und Dokumentation des Fließvermögens sind darin aufgeführt.

Folgende Musterformulare liegen vor:

- Musterformular 1: Überwachung von Einpressarbeiten,
- Musterformular 2: Einpressprotokoll,
- Musterformular 3: Eignungsprüfung/Überwachung (Güteüberwachung),
- Musterformular 4: Druckfestigkeitsprüfung.

Im Formular 1 sind alle mindestens erforderlichen Arbeitsschritte für die Planung und Durchführung der Einpressarbeiten enthalten, es nimmt entsprechend dem Arbeitsfortschritt mit der Angabe der Dokumentennummer Bezug auf die übrigen Formulare.

### **5.4.2 Überwachung durch die anerkannte Überwachungsstelle**

Aufgabe der Überwachungsstelle ist es, die Einhaltung der für das Einpressen und den Einpressmörtel in [2, 3, 4, 46, 47] genannte Regelungen durch das ausführende Unternehmen zu kontrollieren. Sie überwacht die Einpressarbeiten auf der Baustelle und kontrolliert und bewertet fortlaufend die Dokumentation der Überwachung durch das Unternehmen. Die „Überwachung durch die Überwachungsstelle“ baut somit auf der „Überwachung durch das ausführende Unternehmen“ auf [6].

Die Einpressarbeiten müssen mindestens einmal pro Bauwerk oder in 10 % der Einpressvorgänge des Bauwerks (größere Anzahl ist maßgebend) durch die Überwachungsstelle auf der Baustelle begleitet und kontrolliert werden. Ein Einpressvorgang ist dabei das zeitlich eng zusammenhängende Einpressen von Spanngliedern (in der Regel beträgt die Dauer eines

Einpressvorganges einen Tag bzw. nicht mehr als einen Tag) [6]. Die erste Überwachung (Erstinspektion) auf der Baustelle sollte möglichst frühzeitig (zum ersten oder zumindest zu einer der ersten Einpressvorgänge) erfolgen.

### **5.4.3 Inhalt der Überwachung**

#### **5.4.3.1 Verantwortlichkeiten, Ablauf**

Das folgende Diagramm zeigt die wesentlichen Arbeitsschritte, die Verantwortungszuordnung sowie die Beziehungen zwischen ausführendem Unternehmen, Überwachungsstelle und zuständiger Bauaufsichtsbehörde [6].

#### **5.4.3.2 Überwachung durch das ausführende Unternehmen**

##### **a) Überwachungsvertrag, Erstanzeige, Baustellenakte**

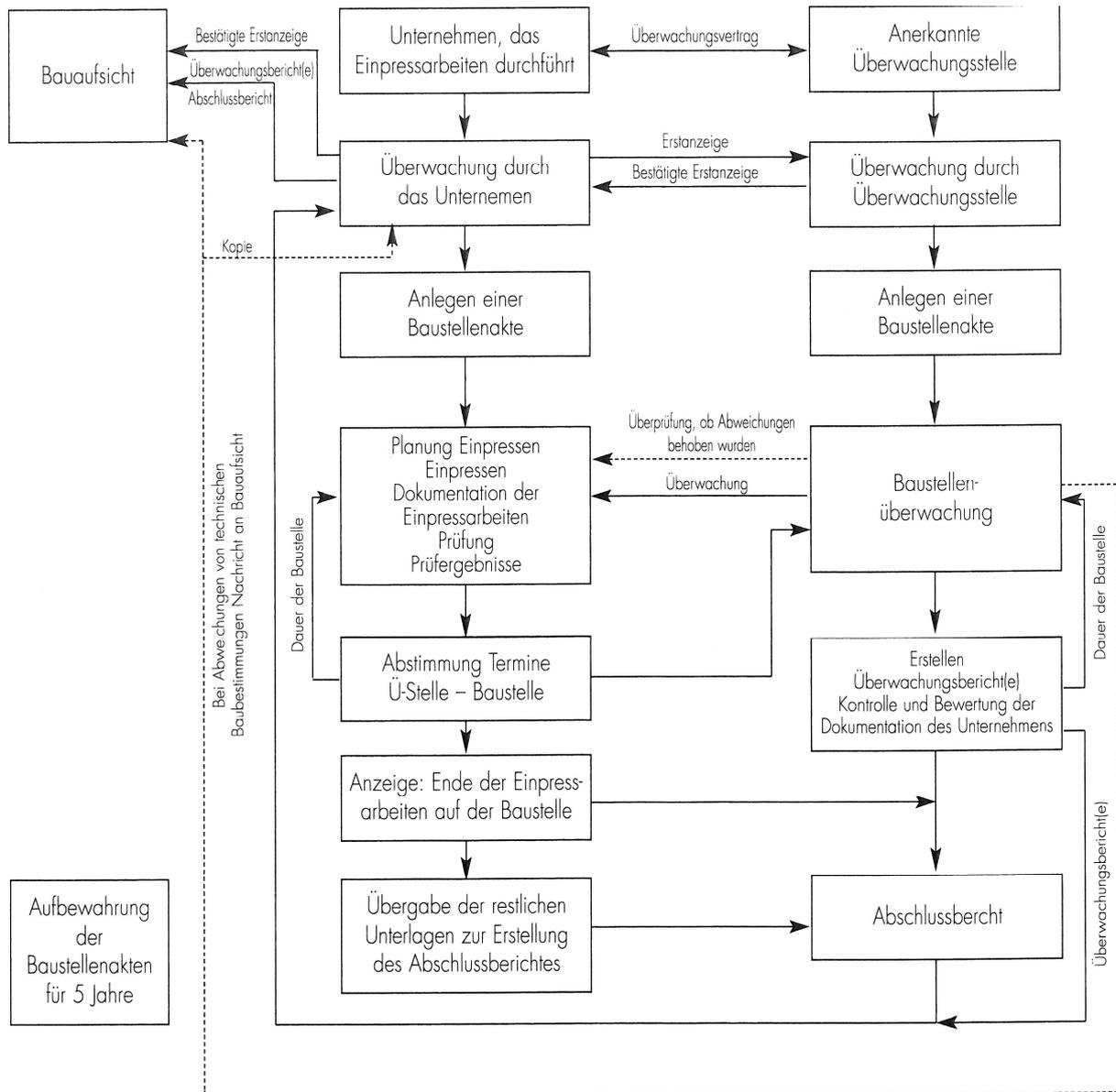
Das ausführende Unternehmen muss mit einer anerkannten Überwachungsstelle einen Überwachungsvertrag abschließen. Dieser kann entweder bauvorhabenunabhängig (meist gebietsweise) oder für jedes Bauvorhaben neu abgeschlossen werden. Jede Baustelle ist rechtzeitig vor Beginn der Einpressarbeiten bei der Überwachungsstelle schriftlich anzumelden (Erstanzeige).

Die Erstanzeige muss mindestens folgende Angaben/Unterlagen enthalten:

- ausführendes Unternehmen
- verantwortlicher Fachbauleiter für das Einpressen
- Baustelle (Bezeichnung, Adresse)
- Übersichtspläne, aus denen die zu verpressenden Spannglieder und Anzahl (grob) der zu erwartenden Einpressabschnitte bzw. -vorgänge hervorgehen.
- Voraussichtlicher Beginn/Ende der Einpressarbeiten.

Ein Wechsel des verantwortlichen Fachbauleiters für das Einpressen ist der Überwachungsstelle schriftlich mitzuteilen.

Das Unternehmen muss die von der Überwachungsstelle bestätigte Erstanzeige vor Beginn der Einpressarbeiten an die zuständige Bauaufsichtsbehörde senden und eine Baustellenakte über die Einpressarbeiten anlegen.



**Abbildung 5.10: Die Beziehung zwischen ausführendem Unternehmen, Überwachungsstelle und zuständiger Bauaufsichtsbehörde [6]**

Die Baustellenakte muss mindestens folgende Angaben/Unterlagen enthalten:

- ausführendes Unternehmen
- verantwortlichen Fachbauleiter für das Einpressen
- Baustelle (Bezeichnung, Adresse)
- Überwachungsstelle
- Übersichtspläne, auf denen die zu verpressenden Spannglieder dargestellt sind
- Bestätigte Erstanzeige
- Dokumentation aller Einpressarbeiten bzw. -vorgänge (Überwachung durch das ausführende Unternehmen)

- gegebenenfalls zusätzlich erforderliche Unterlagen
- Überwachungsbericht(e) und Abschlussbericht der Überwachungsstelle
- Datum, Unterschrift des verantwortlichen Fachbauleiters für das Einpressen

## **b) Aufgaben**

Alle Einpressvorgänge für ein Bauwerk (auch wenn kein Baustellentermin vereinbart wurde) sind der Überwachungsstelle rechtzeitig vor Beginn der Einpressarbeiten anzuzeigen. Mit der Überwachungsstelle ist abzustimmen, mit welchem zeitlichen Vorlauf die Anzeige spätestens erfolgen muss[6]. Zusammen mit der Anzeige eines Einpressvorgangs werden die Planungsunterlagen und die Arbeitsanweisung dieses Einpressabschnitts (Unterlagen nach Musterformular 1, Punkt 1) an die Überwachungsstelle geschickt.

Jeder Einpressvorgang ist vollständig zu dokumentieren, wofür die in den Anlagen enthaltenen Musterformulare oder gleichwertige Vordrucke zu verwenden sind. Als vollständig dokumentiert gelten Einpressvorgänge in der Regel, wenn alle Angaben entsprechend dem Musterformular 1 gemacht und die darin aufgeführten Unterlagen beigelegt wurden. Gegebenenfalls zusätzliche Unterlagen sind der Dokumentation und der Baustellenakte beizuheften. Die Dokumentationsunterlagen sind fortlaufend mit der Durchführung der Einpressarbeiten an die Überwachungsstelle zu schicken.

Das Unternehmen muss dafür sorgen, dass die anerkannte Überwachungsstelle die vorgeschriebene Mindestanzahl der Einpressvorgänge auf der Baustelle überwacht und die Dokumentation aller Einpressarbeiten (Überwachung durch das ausführende Unternehmen) und gegebenenfalls alle zusätzlich erforderlichen Unterlagen fortlaufend zur Kontrolle und Bewertung erhält. Die Überwachungsmaßnahmen der Überwachungsstelle werden durch das ausführende Unternehmen unterstützt, entsprechende Termine werden mit der Überwachungsstelle abgestimmt. Kopien der von der Überwachungsstelle übergebenen Überwachungsberichte sind fortlaufend an die zuständige Bauaufsichtsbehörde zu schicken.

Soll das Fließvermögen bei Verwendung einer Einpresshilfe mit dem Trichterversuch ermittelt werden, ist eine Kalibrierung im Beisein der Überwachungsstelle durchzuführen. Die Kalibrierung ist zu dokumentieren und der Baustellenakte beizuheften. Ebenfalls der Baustellenakte beizuheften ist der zugehörige Bericht der Überwachungsstelle [6].

Treten beim Einpressmörtel oder bei den Einpressarbeiten Abweichungen von den geltenden Technischen Baubestimmungen auf, sind unverzüglich Maßnahmen zur Abstellung der Abweichungen zu ergreifen und der Überwachungsstelle mitzuteilen. Die Einpressarbeiten dürfen erst nach Zustimmung der Überwachungsstelle weitergeführt werden.

Das Ende der Einpressarbeiten auf der Baustelle ist der Überwachungsstelle mitzuteilen und die restlichen Unterlagen der Überwachung aller Einpressvorgänge durch das ausführende Unternehmen umgehend an die Überwachungsstelle zu schicken.

Die Baustellenakte ist nach Beendigung der Arbeiten mindestens fünf Jahre im Unternehmen aufzubewahren, auf Verlangen ist sie der zuständigen Bauaufsichtsbehörde vorzulegen. Der Abschlussbericht der Überwachungsstelle ist vom ausführenden Unternehmen an die zuständige Bauaufsichtsbehörde zu schicken [6].

### **5.4.3.3 Überwachung durch die anerkannte Überwachungsstelle**

#### **a) Inhalt, Ablauf**

Die Überwachungsstelle muss die bestätigte Erstanzeige an das ausführende Unternehmen schicken und eine Baustellenakte über die Einpressarbeiten anlegen.

Bei der Überwachung ist zu überprüfen, ob die Arbeiten entsprechend dem Musterformular 1 durchgeführt und protokolliert werden bzw. wurden und die (bis dahin) erforderlichen Angaben im Formular gemacht wurden. Die Überwachungsstelle kann entsprechend DIN EN 446 eigene Proben nehmen und Kontrollen selbst vornehmen oder veranlassen. Dies ist zu protokollieren und der Baustellenakte beizuheften. Kopien von Protokollen und von Prüfergebnissen sind dem ausführenden Unternehmen zuzuschicken. Die Überwachungsstelle kann sich zusätzlich erforderliche Unterlagen zur Dokumentation vom Unternehmen schicken lassen.

Die Überwachungsstelle darf Beginn und Ablauf der Baustellenarbeiten durch die Überwachung nicht unangemessen behindern. Unangemeldete Termine zur Überwachung der Einpressarbeiten auf der Baustelle durch Beauftragte der Überwachungsstelle sind jederzeit möglich.

Treten beim Einpressen bzw. dem Einpressmörtel Abweichungen von den geltenden technischen Baubestimmungen auf, ist dies unverzüglich der zuständigen Bauaufsichtsbehörde zu melden und eine Kopie des Schreibens an die ausführende Firma zu schicken. Es muss in geeigneter Weise kontrolliert werden, dass die Abweichungen behoben wurden und

die Einpressarbeiten entsprechend den geltenden technischen Baubestimmungen fortgesetzt werden können. Die Fortsetzung der Einpressarbeiten muss genehmigt werden. Die Wiederaufnahme der Einpressarbeiten und die Behebung der Abweichung ist der Bauaufsichtsbehörde mitzuteilen.

Über die evtl. Kalibrierung des Trichterversuchs für einen Einpressmörtel mit Einpresshilfe muss ein Bericht mit einer Bewertung über die Eignung des Trichterversuchs angefertigt und der Baustellenakte beigeheftet werden. Außerdem muss der Bericht an das Unternehmen geschickt werden.

#### **b) Dokumentation**

Zu jeder Baustellenüberwachung ist ein Überwachungsbericht zu erstellen und an das Unternehmen zu schicken. Der Überwachungsbericht muss mindestens die folgenden Angaben enthalten:

- ausführendes Unternehmen
- verantwortlicher Fachbauleiter für das Einpressen
- Baustelle (Bezeichnung, Adresse)
- Einpressarbeiten begleitet am .....von.....bis.....Uhr
- Gegebenenfalls Protokolle und Prüfzeugnisse über Probenahmen und Kontrollen
- Ergebnis der Überwachung und Vergleich mit den Anforderungen (Bewertung)
- Ort und Datum
- Unterschrift des Leiters und Stempel der Überwachungsstelle

Nach Beendigung der Einpressarbeiten auf der Baustelle und dem Erhalt aller Unterlagen der Überwachung durch das ausführende Unternehmen ist ein Abschlussbericht zu erstellen. Dieser ist spätestens vier Wochen nach Eingang der letzten Unterlagen des Unternehmens zu einer Baustelle an das Unternehmen zu schicken. Der Abschlussbericht muss mindestens folgende Angaben enthalten:

- ausführendes Unternehmen
- verantwortlicher Fachbauleiter für das Einpressen
- Baustelle (Bezeichnung, Adresse)
- Termine der Baustellenüberwachung und Bauteile (Einpressvorgänge)
- Ergebnis der Baustellenüberwachung und Vergleich mit den Anforderungen (Bewertung)

- Auswertung der Dokumentation der Überwachung durch das ausführende Unternehmen und Vergleich mit Den Anforderungen (Bewertung)
- Ort und Datum
- Unterschrift des Leiters und Stempel der Überwachungsstelle

Die Baustellenakte ist nach Beendigung der Arbeiten mindestens fünf Jahre aufzubewahren. Auf Verlangen ist die Baustellenakte der zuständigen Bauaufsichtsbehörde vorzulegen [6].

## 6 Versuchsprogramm und Versuchsdurchführung

### 6.1 Übersicht

Alle Parameter, die bei der Herstellung der Einpressmörtel modifiziert wurden, sind in Tabelle [6] und [7] dargestellt. Es ergeben sich somit bis zu  $4 \cdot 8 \cdot 3 = 96$  unterschiedliche Mischungen.

**Tabelle 6: Zu modifizierenden Parameter für die Versuchsreihen**

Parameter		Modifikation								Anzahl Mod.
1	w/z-Wert	w/z=0,36		w/z=0,38		w/z=0,40		w/z=0,42		4
2	Temperatur (° C)	0	5	10	15	20	25	30	35	8
3	Einpresshilfe/ Zement	Tricosal EH 181 CEM I 42,5 R				MC-Einpresshilfe CEM I 42,5 R				2

**Tabelle 7: Zu modifizierenden Parameter für die Versuchsreihen**

Parameter		Modifikation								Anzahl Mod.
1	w/z-Wert	w/z=0,30		w/z=0,32		w/z=0,34		w/z=0,36		4
2	Temperatur (° C)	0	5	10	15	20	25	30	35	8
3	Einpresshilfe/ Zement	rheoment CEM I 42,5 R ep								1

### 6.2 Mörtelarten

- a) Einpressmörtel aus CEM I 42,5 R und TRICOSAL EH 181
- b) Einpressmörtel aus CEM I 42,5 R und MC-Einpresshilfe

Diese Einpressmörtel bestehen aus Wasser, CEM I 42,5 R und dem Fließmittel. Für jede Mischung wurden 12 kg Zement verwendet. Das Fließmittel wurde in einer Dosierung von 1 % der Zementmasse zugesetzt. Der w/z-Wert beträgt 0,36, 0,38, 0,40 und 0,42. Die Einpressmörtel wurden mit einem Standmischer (Abbildung 6.1links) im Labor der Prüfhalle des MPA Bau München gemischt. Die Raumtemperatur bei allen Versuchen war um 20 °C.



Abbildung 6.1: links: Standmischer; rechts: Würfelform [Bilder 2009, F. Al Atiki]

### c) Einpressmörtel aus dem Speziellen Zement rheoment

Dieser Einpressmörtel besteht aus Wasser und CEM I 42,5 R (ep). Für jede Mischung wurden 12 kg Zement verwendet. Der w/z-Wert beträgt 0,30, 0,32, 0,34 und 0,36. Die Einpressmörtel wurden mit einem Handrührgerät gemischt.

## 6.3 Nachweis der bautechnischen Anforderungen

An all diesen Mischungen wurden der Trichterversuch und der Eintauchversuch bei verschiedenen Mörteltemperaturen durchgeführt. Um auswertbare Zeiten messen zu können, wurden alle Mischungen kurz vor der Ermittlung der Tauch- und Auslaufzeiten gut aufgerührt, da sich Thixotropierungsmittel in der Quellkomponente befinden können, bei denen das Mischgut durch Bewegung (z.B. Rühren) in eine flüssige Phase eintrat und bei Ruhe wieder erstarrte. Die Versuche zur Auslaufzeit und zur Tauchzeit wurden für jede Mischung unmittelbar nach dem Mischen und 30 Minuten nach dem Mischen durchgeführt. Neben der Ermittlung der Auslaufzeit und Tauchzeit wurde an jeder Mischung den Versuch des Ausbreitmaßes durchgeführt.

Von jeder Mischung wurden drei Dosen mit einem Durchmesser von 100 mm und einer Höhe von 120 mm befüllt, die zur Ermittlung der Volumenänderung und der Druckfestigkeit dienen. Parallel dazu wurden je Mischung drei Würfel mit Kantenlänge von 40 mm erstellt.

Nach Versuchsdurchführung wurden die Messergebnisse ausgewertet und eine Korrelation zwischen Eintauchzeit und Auslaufzeit in Abhängigkeit von der Mörteltemperatur und des w/z-Werts gesucht.

Die mit Einpressmörtel gefüllten Dosen für die Prüfung der Volumenänderung wurden an Luft gelagert und einen Tag nach dem Erstellen der Proben wurde an den Zylindern (Dosen) die Volumenänderung bestimmt. Nachher wurden die Dosen dicht geschlossen und weiter an Luft gelagert.

Die Druckfestigkeit des Einpressmörtels wurde nach 28 Tagen an den erstellten Zylindern (Dosen) und Würfeln bestimmt. Dabei wurde überprüft, ob die geänderte Probekörperform auch bei den verschiedenen Mischungen korreliert und somit eine Umwertung erfolgen kann. Die Dosen wurden 2 Tage vorher geöffnet und wurden die Proben in einer Höhe von 80 mm gesägt und geschliffen. Nach dem Messen jeder Probe (Durchmesser, Höhe und Gewicht) wurden die Proben im Wasser gelagert.

Die Prüfmethoden sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

**Tabelle 8: Prüfmethoden nach DIN-EN 445**

<b>Eigenschaft</b>	<b>Prüfmethode</b>	<b>Prüfgerät</b>
Fließvermögen	Tauchversuch	Tauchgerät, Stoppuhr
Fließvermögen	Trichterverfahren	Auslauftrichter, Stoppuhr
Fließvermögen	Ausbreitmaß	Stahl- oder Kunststoffrohr (h=60 mm, $\phi$ =39 mm) und Glasplatte
Volumenänderung	Gefäßverfahren	Metallbehälter, Abdeckplatte und Messschieber
Druckfestigkeit	Prüfung am Würfel Prüfung am Zylinder	Prüfpresse

## 7 Ergebnisse

Die Ergebnisse aller Versuche sind tabellarisch und grafisch in Diagrammen in den Anhängen III-1 bis VI-10 dargestellt. Die Ergebnisse haben vorgewiesen, dass es eine Beziehung zwischen Eintauchzeit und Auslaufzeit gibt. Da die Linien, die der beiden Versuche gehören, in allen Diagrammen quasi parallel verlaufen.

Bei Mischungen mit TRICOSAL ist das Fließvermögen bei niedrigen Mörteltemperaturen ziemlich hoch, im Gegenteil ist es niedrig bei Mörteltemperaturen  $> 25\text{ °C}$ .

Bei w/z-Werten  $\geq 0,40$  und Mörteltemperaturen zwischen  $0\text{ °C}$  und  $15-17\text{ °C}$  haben die Mörteln bei der Tauchzeit und der Auslaufzeit die Anforderungen erfüllt aber diese Anforderungen sind bei Auslaufzeit bei höheren Mörteltemperaturen und niedrigeren w/z-Werten nicht erfüllt.

Die Benutzung von MC-Einpresshilfe ermöglicht die Verwendung von niedrigen w/z-Werten, denn die meisten Mischungen haben bei Tauchzeit und Auslaufzeit bei niedrigen w/z-Werten die Anforderungen erfüllt, andererseits haben die meisten Mischungen bei höheren w/z-Werten bei Tauchzeit die Anforderungen nicht erfüllt.

Aufgrund der höheren w/z-Werte war das Fließvermögen in den Mörteltemperaturbereichen  $0-5\text{ °C}$  und  $30-35\text{ °C}$  niedrig im Vergleich zu dem mittleren Bereich.

Während des Mischens und Berührens der Mischungen aus rheoment, hatten die Mischungen eine dünne Konsistenz. Kurz nach dem Mischen starteten die Mischungen schnell zu erstarren. Allerdings haben die meisten Mischungen in dem Mörteltemperaturbereich  $10-25\text{ °C}$  bei w/z-Werten  $\geq 0,32$  bei Tauchzeit und Auslaufzeit die Anforderungen erfüllt. Bei w/z-Wert =  $0,30$  hatten die Mischungen ein sehr niedriges Fließvermögen.

Die Anforderungen bei Druckfestigkeit wurden von allen Proben erfüllt. Die Würfel haben bei den meisten Mischungen eine höhere Druckfestigkeit als die Zylinder aufgewiesen. Der Unterschied erreichte ca.  $20\text{ MPa}$  bei Mischungen aus rheoment und höchstens  $10\text{ MPa}$  bei Mischungen, in denen TRICOSAL bzw. MC-Einpresshilfe benutzt wurden.

Allerdings haben die Proben bei niedrigen Mörteltemperaturen  $< 5\text{ °C}$  niedrigere Druckfestigkeiten aufgewiesen.

Nach dem Auswerten der Ergebnisse und dem Überprüfen des Vorhandenseins einer mathematischen Beziehung zwischen Tauchzeit und Auslaufzeit bzw. die Druckfestigkeit an Würfeln und Zylinder wurde für jede Reihe der Mischungen eine mathematische Beziehung ermittelt.

Bei dem Auswerten der Ergebnisse wurden zwei Fälle betrachtet:

- a- Mörteltemperaturen zwischen 0 °C und 35 °C
- b- Mörteltemperaturen zwischen 10 °C und 25 °C (Mindesttemperatur und Höchsttemperatur nach [3]).

Die mathematischen Beziehungen wurden mit der Hilfe des Programms Excel ermittelt. Anhand des kommenden Beispiels lässt sich die Methode erklären:

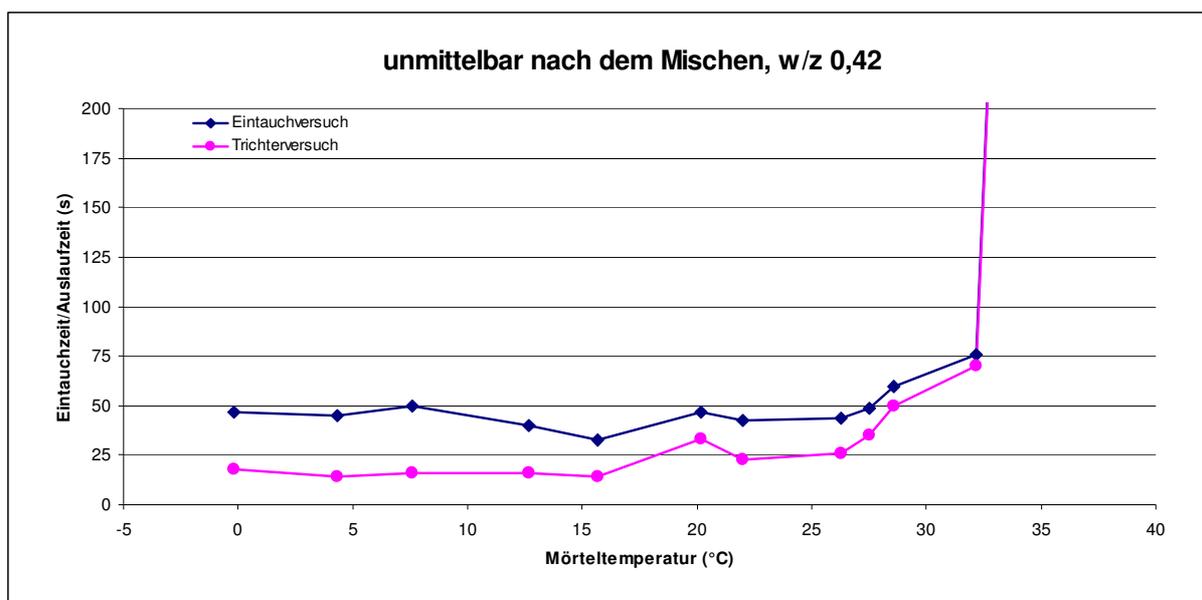


Abbildung 7.1: Eintauchzeit und Auslaufzeit in Abhängigkeit von Mörteltemperatur [F. Al Atiki]

Wie in Abbildung 7.1 zu sehen ist, verlaufen die beiden Linien quasi parallel zu einander. Die Beziehung zwischen den beiden Linien wurde auch mit der Hilfe des Programms Excel ermittelt (Abbildung 7.2).

Die passende Gleichung, die diese Beziehung mit angenommener Genauigkeit präsentiert, hat eine Formel wie folgt:

$$t_{Tri} = a * t_{Ein}^2 + b * t_{Ein} + c$$

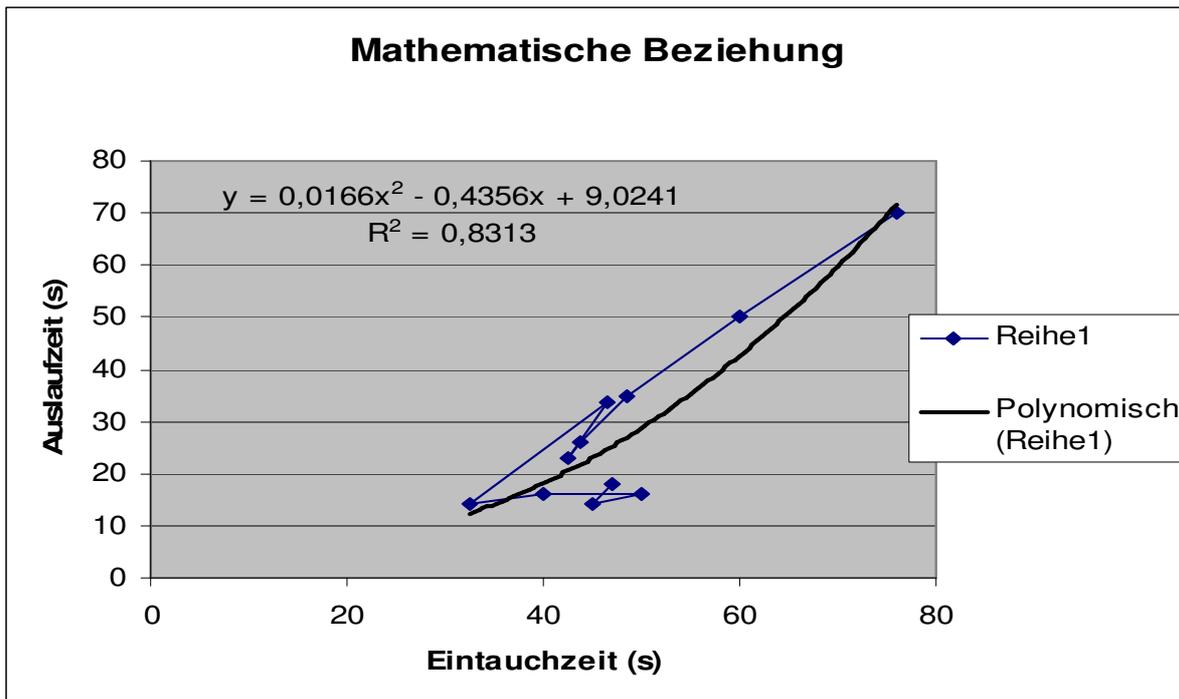


Abbildung 7.2: Mathematische Beziehung zwischen Eintauchzeit und Auslaufzeit [F. Al Atiki]

In den folgenden Tabellen sind die Parameter für die mathematischen Beziehungen für alle Fälle aufgeführt.

**a) Mörteltemperaturen zwischen 0 °C und 35 °C:**

Tabelle 9: CEM I 42,5 R mit TRICOSAL 181 (EH)

CEM I 42,5 R mit TRICOSAL 181 (EH)								
w/z- Wert	Unmittelbar nach dem Mischen				30 Minuten nach dem Mischen			
	a	b	c	R <sup>2</sup>	a	b	C	R <sup>2</sup>
<b>0,36</b>	-0,0189	5,1997	-243,96	0,919	-0,0033	1,8106	-81,317	0,9507
<b>0,38</b>	0,0034	-0,0929	30,658	0,9865	0,0043	0,5413	-15,412	0,8691
<b>0,40</b>	0,0262	-1,6003	40,425	0,965	-0,0048	1,802	-48,107	0,9758
<b>0,42</b>	0,0166	-0,4356	9,0241	0,8313	0,0369	-1,9366	35,14	0,91

Tabelle 10: CEM I 42,5 R mit MC Einpresshilfe

CEM I 42,5 R mit MC Einpresshilfe								
w/z- Wert	Unmittelbar nach dem Mischen				30 Minuten nach dem Mischen			
	a	b	c	R <sup>2</sup>	a	b	C	R <sup>2</sup>
<b>0,36</b>	-0,0301	4,2227	-95,765	0,8638	0,00005	0,2541	14,18	0,7984
<b>0,38</b>	-0,218	2,449	-34,982	0,5185	-0,0085	1,0693	-8,132	0,393
<b>0,40</b>	-0,0554	3,8791	-49,013	0,5273	-0,0494	3,0854	-33,604	0,121
<b>0,42</b>	-0,0335	2,1038	-18,369	0,2716	0,0072	0,0538	5,9001	0,3409

Tabelle 11: CEM I 42.5 R (ep) – rheoment

CEM I 42,5 R (ep) – rheoment								
w/z- Wert	Unmittelbar nach dem Mischen				30 Minuten nach dem Mischen			
	a	b	c	R <sup>2</sup>	a	b	c	R <sup>2</sup>
<b>0,30</b>	-0,0125	3,7537	-227,94	0,1008	-	-	-	-
<b>0,32</b>	0,0213	-3,1521	145,77	0,0543	-0,0016	0,738	-15,599	0,9045
<b>0,34</b>	0,0013	0,2286	9,8052	0,7247	0,0075	-0,6314	36,597	0,8408
<b>0,36</b>	-0,015	1,786	-26,831	0,4438	0,009	-0,2475	12,746	0,9584

Die mittleren Formeln kann man wie folgt zusammenfassen:

Unmittelbar nach dem Mischen  $t_{Tri} = -0,0098 * t_{Ein}^2 + 1,528 * t_{Ein} - 38,401$   
**R<sup>2</sup>=0,6**

30 Minuten nach dem Mischen  $t_{Tri} = -0,00025 * t_{Ein}^2 + 0,594 * t_{Ein} - 8,873$   
**R<sup>2</sup>=0,723**

Gesamte Formel  $t_{Tri} = -0,0052 * t_{Ein}^2 + 1,0818 * t_{Ein} - 24,279$   
**R<sup>2</sup>=0,659**

## b) Mörteltemperaturen zwischen 10 °C und 25 °C

Tabelle 12: CEM I 42,5 R mit TRICOSAL 181 (EH)

CEM I 42,5 R mit TRICOSAL 181 (EH)								
w/z- Wert	Unmittelbar nach dem Mischen				30 Minuten nach dem Mischen			
	a	b	c	R <sup>2</sup>	a	b	c	R <sup>2</sup>
<b>0,36</b>	-0,0139	3,8288	-163,54	0,8772	0,0165	-2,1961	111,16	0,9607
<b>0,38</b>	-0,0334	4,2278	-92,966	0,4026	-0,2058	29,219	-985,89	0,4801
<b>0,40</b>	-0,0143	2,6372	-66,452	0,9575	0,0628	-4,5968	99,113	0,9924
<b>0,42</b>	0,1542	-10,739	199,98	0,9882	0,0628	-3,9403	74,517	0,8893

Tabelle 13: CEM I 42,5 R mit MC Einpresshilfe

CEM I 42,5 R mit MC Einpresshilfe								
w/z- Wert	Unmittelbar nach dem Mischen				30 Minuten nach dem Mischen			
	a	b	c	R <sup>2</sup>	a	b	c	R <sup>2</sup>
<b>0,36</b>	-0,0425	5,61	-132,33	0,8792	0,0154	-101264	42,706	0,7732
<b>0,38</b>	-0,0832	7,299	-129,14	0,5636	0,3512	-20,8	322,669	0,3844
<b>0,40</b>	-0,212	12,715	-173,35	0,7174	-0,1953	10,296	-122,49	0,3548
<b>0,42</b>	0,0603	-2,4809	36,628	0,9397	0,1735	-6,2757	65,75	0,9998

Tabelle 14: CEM I 42,5 R (ep) – rheoment

CEM I 42,5 R (ep) - rheoment								
w/z- Wert	Unmittelbar nach dem Mischen				30 Minuten nach dem Mischen			
	a	b	c	R <sup>2</sup>	a	b	c	R <sup>2</sup>
<b>0,30</b>	0,059	-16,89	1237,9	0,5877	-	-	-	-
<b>0,32</b>	-0,313	45,275	-1604,4	0,9888	-0,0052	1,3701	-41,645	0,7999
<b>0,34</b>	0,0569	-6,6811	217,23	0,5837	0,0113	-1,2258	59,374	0,8431
<b>0,36</b>	0,0408	-3,1999	79,546	0,9709	0,0059	0,0614	5,5866	0,9599

Die mittleren Formeln kann man wie folgt zusammenfassen:

Unmittelbar nach dem Mischen

$$t_{Tri} = -0,0049 * t_{Ein}^2 + 3,465 * t_{Ein} - 49,24$$

**R<sup>2</sup>=0,788**

30 Minuten nach dem Mischen

$$t_{Tri} = 0,0266 * t_{Ein}^2 - 2,383 * t_{Ein} - 33,557$$

**R<sup>2</sup>=0,767**

Gesamte Formel

$$t_{Tri} = 0,01 * t_{Ein}^2 + 0,668 * t_{Ein} - 41,74$$

**R<sup>2</sup>=0,777**

Die Beziehung zwischen Ausbreitmaßen und Eintauchzeit wurde mit Hilfe des Programms Excel durch die folgende Formel ermittelt:

$$a_0 = a * t_{Ein}^2 + b * t_{Ein} + c$$

Die Parameter für diese Gleichung sind in den folgenden Tabellen aufgeführt. Hier sind auch zwei Fälle zu beachten:

**a) Mörteltemperaturen zwischen 0 °C und 35 °C:**

**Tabelle 15: CEM I 42,5 R mit TRICOSAL 181 (EH)**

CEM I 42,5 R mit TRICOSAL 181 (EH)								
w/z- Wert	Unmittelbar nach dem Mischen				30 Minuten nach dem Mischen			
	a	b	c	R <sup>2</sup>	a	b	c	R <sup>2</sup>
<b>0,36</b>	0,0071	-1,8146	212,34	0,7891	0,007	-1,8772	223,83	0,9214
<b>0,38</b>	0,0039	-1,1919	174,67	0,7046	0,001	-0,6264	151,73	0,8353
<b>0,40</b>	-0,0093	-0,0693	149,8	0,8828	0,0118	-2,4367	209,97	0,9396
<b>0,42</b>	-0,0068	0,0063	133,1	0,6406	0,0167	-2,4129	193,2	0,6573

Tabelle 16: CEM I 42,5 R mit MC Einpresshilfe

CEM I 42,5 R mit MC Einpresshilfe								
w/z- Wert	Unmittelbar nach dem Mischen				30 Minuten nach dem Mischen			
	a	b	c	R <sup>2</sup>	a	b	c	R <sup>2</sup>
<b>0,36</b>	0,0011	-0,656	170,64	0,4042	0,0077	-1,7358	203,6	0,828
<b>0,38</b>	-0,0272	2,0437	115,68	0,2897	0,0135	-2,3161	217,82	0,4864
<b>0,40</b>	-0,0679	3,0542	123,76	0,4197	-0,2053	10,018	37,99	0,506
<b>0,42</b>	-0,1006	4,1964	116,69	0,1706	0,1753	-10,131	299,79	0,2058

Tabelle 17: CEM I 42.5 R (ep) – rheoment

CEM I 42,5 R (ep) - rheoment								
w/z- Wert	Unmittelbar nach dem Mischen				30 Minuten nach dem Mischen			
	a	b	c	R <sup>2</sup>	a	b	c	R <sup>2</sup>
<b>0,30</b>	0,0073	-3,23	450,64	0,6015	-	-	-	-
<b>0,32</b>	0,0966	-16,956	889,58	0,4124	0,0091	-2,6461	293,41	0,9295
<b>0,34</b>	0,0169	-4,4094	391,69	0,5934	0,0579	-8,6605	459,54	0,519
<b>0,36</b>	0,0166	-1,9195	225,43	0,0314	0,0336	-24,562	797,92	0,8763

Die mittleren Formeln kann man wie folgt zusammenfassen:

Unmittelbar nach dem Mischen  $a_0 = -0,00519 * t_{Ein}^2 - 1,745 * t_{Ein} + 262,8$

**R<sup>2</sup>=0,495**

30 Minuten nach dem Mischen  $a_0 = 0,0116 * t_{Ein}^2 - 4,307 * t_{Ein} + 280,8$

**R<sup>2</sup>=0,7**

Gesamte Formel  $a_0 = 0,00286 * t_{Ein}^2 - 2,97 * t_{Ein} + 271,4$

**R<sup>2</sup>=0,593**

## b) Mörteltemperaturen zwischen 10 °C und 25 °C:

Tabelle 18: CEM I 42,5 R mit TRICOSAL 181 (EH)

CEM I 42,5 R mit TRICOSAL 181 (EH)								
w/z- Wert	Unmittelbar nach dem Mischen				30 Minuten nach dem Mischen			
	a	b	c	R <sup>2</sup>	a	b	c	R <sup>2</sup>
<b>0,36</b>	0,0056	-1,447	192,94	0,8705	0,0043	-1,3577	200,44	0,9783
<b>0,38</b>	0,0218	-3,5267	245,59	0,9178	-0,0665	8,636	-1,67,59	0,4729
<b>0,40</b>	0,0795	-9,2359	378,18	0,9998	0,0406	-5,3184	281,49	0,9614
<b>0,42</b>	-0,0822	5,2611	42,954	0,681	-0,058	3,9786	58,307	0,303

Tabelle 19: CEM I 42,5 R mit MC Einpresshilfe

CEM I 42,5 R mit MC Einpresshilfe								
w/z- Wert	Unmittelbar nach dem Mischen				30 Minuten nach dem Mischen			
	a	b	c	R <sup>2</sup>	a	b	c	R <sup>2</sup>
<b>0,36</b>	-0,1199	9,9034	-59,09	0,9694	-0,2304	16,841	-159,42	0,9637
<b>0,38</b>	0,0027	-0,6016	166,7	0,0279	3,3767	-209,88	3413,4	0,0812
<b>0,40</b>	-1,4482	80,683	-963,41	0,8332	-1,3863	7,893	-743,02	0,7736
<b>0,42</b>	-1,8207	81,197	-739,07	0,9874	6,9341	-274,08	2865	0,8455

Tabelle 20: CEM I 42,5 R (ep) – rheoment

CEM I 42,5 R (ep) - rheoment								
w/z- Wert	Unmittelbar nach dem Mischen				30 Minuten nach dem Mischen			
	a	b	c	R <sup>2</sup>	a	b	c	R <sup>2</sup>
<b>0,30</b>	-0,0319	8,3295	-390,57	0,542	-	-	-	-
<b>0,32</b>	1,9164	-279,65	10341	0,5459	0,0144	-3,5789	334,43	0,8346
<b>0,34</b>	0,4941	-55,464	1744,4	0,1801	0,0342	-5,0626	323,95	0,3795
<b>0,36</b>	0,001	-1,3157	268,88	0,5847	0,1279	-13,945	533,08	0,9481

Die mittleren Formeln kann man wie folgt zusammenfassen:

Unmittelbar nach dem Mischen  $a_0 = -0,0818 * t_{Ein}^2 - 13,822 * t_{Ein} + 935,7$   
**R<sup>2</sup>=0,678**

30 Minuten nach dem Mischen  $a_0 = 0,799 * t_{Ein}^2 - 37,531 * t_{Ein} + 630,915$   
**R<sup>2</sup>=0,685**

Gesamte Formel  $a_0 = 0,339 * t_{Ein}^2 - 25,161 * t_{Ein} + 789,9$   
**R<sup>2</sup>=0,681**

Die an Würfel ermittelte Druckfestigkeit, gezogen auf der am Zylinder ermittelten Druckfestigkeit wurde durch die folgende Formel ermittelt:

$$f_{cw} = a * f_{cz}^2 + b * f_{cz} + c$$

Die Parameter a, b und c sowie die Genauigkeit R<sup>2</sup> sind in den folgenden Tabellen aufgeführt. Hier sind auch die zwei Fälle von Mörteltemperaturbereichen 0 °C – 35 °C und 10 °C – 25 °C zu beachten.

**Tabelle 21: Druckfestigkeit CEM I 42,5 R mit TRICOSAL 181 (EH)**

CEM I 42,5 R mit TRICOSAL 181 (EH)								
w/z- Wert	0 °C – 35 °C				10 °C – 25 °C			
	a	b	c	R <sup>2</sup>	a	b	c	R <sup>2</sup>
<b>0,36</b>	0,0043	-0,2625	55,202	0,1911	0,0186	-1,572	84,471	0,2397
<b>0,38</b>	0,0439	-3,5777	122,67	0,6023	-0,0177	1,3233	27,755	0,6425
<b>0,40</b>	0,0406	-2,96693	96,162	0,815	-0,6649	67,798	-1674,5	0,5687
<b>0,42</b>	0,0088	-0,3267	45,885	0,696	0,0129	-0,0274	17,69	0,8685

Tabelle 22: Druckfestigkeit CEM I 42,5 R mit MC Einpresshilfe

CEM I 42,5 R mit MC Einpresshilfe								
w/z-	0 °C – 35 °C				10 °C – 25 °C			
Wert	a	b	c	R <sup>2</sup>	a	b	c	R <sup>2</sup>
<b>0,36</b>	1,0293	-2,8865	135,13	0,4097	0,5537	-71,834	2397,4	0,5816
<b>0,38</b>	-0,038	6,829	-217,44	0,7252	0,3756	-47,933	1593,6	0,9751
<b>0,40</b>	1,0067	0,3113	19,247	0,8604	0,2599	-33,689	1159,6	0,7065
<b>0,42</b>	-0,0056	1,5091	-8,6936	0,8334	0,1687	-23,352	875,43	0,6987

Tabelle 23: Druckfestigkeit CEM I 42,5 R (ep) - rheoment

CEM I 42,5 R (ep) - rheoment								
w/z-	0 °C – 35 °C				10 °C – 25 °C			
Wert	a	b	c	R <sup>2</sup>	a	b	c	R <sup>2</sup>
<b>0,30</b>	-0,0673	5,8115	-50,855	0,3409	-0,4245	36,253	-697,91	0,2591
<b>0,32</b>	-0,3736	33,941	-695,82	0,5539	-0,5036	44,919	-924,72	0,6737
<b>0,34</b>	0,00002	0,2524	59,214	0,1181	-0,4078	35,366	-695,88	0,9944
<b>0,36</b>	-0,0208	108626	28,732	0,0542	-0,1086	10,029	-160,46	0,6419

Die gesamten Formeln kann man wie folgt zusammenfassen:

$$0\text{ °C} - 35\text{ °C} \quad f_{cw} = -0,03 * f_{cz}^2 + 3,374 * f_{cz} - 34,21$$

$$R^2=0,516$$

$$10\text{ °C} - 25\text{ °C} \quad f_{cw} = -0,0614 * f_{cz}^2 + 1,44 * f_{cz} + 166,83$$

$$R^2=0,654$$

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

Die wichtige Aufgabe des Einpressmörtels bei vorgespannten Bauteilen mit nachträglichem Verbund einen dauerhaften Korrosionsschutz des Stahls sicherzustellen und einen vollständigen Verbund zwischen Spannstahl und Beton zu erreichen fordert eine hohe Aufmerksamkeit bei der Durchführung des Verpressens und der Eignungsprüfungen.

Aufgrund der Einführung der in DIN EN 445 (Stand 2005) vorliegenden Prüfmethode des Fließvermögens und der Druckfestigkeit, durch Trichterverfahren und das Verwenden eines Würfels von 40 mm Kantenlänge als Standardprüfkörperform, und der Mangelhaftigkeit der bisher vorliegenden baupraktischen Erfahrungen in Deutschland, ist es notwendig eine Kalibrierung zwischen den Versuchsarten durchzuführen, um die Prüfergebnisse aller Verfahren eindeutig miteinander vergleichen zu können und Vereinfachungen für die Baupraxis zur Verfügung zu stellen.

Die Untersuchungen, die in dieser Arbeit durchgeführt wurden, haben das Vorhandensein einer mathematischen Beziehung zwischen Tauchzeit und Auslaufzeit, Zylinder- und Würfeldruckfestigkeit, Tauchzeit und Ausbreitmaßen bewiesen. Diese Beziehung zwischen Tauchzeit und Auslaufzeit sowie zwischen Tauchzeit und Ausbreitmaßen ermöglicht die Verwendung des Tauchgerätes weiter.

Die Anforderungen bei Trichterverfahren haben die Mindestauslaufzeit an der Austrittöffnung des Hüllrohrs mit ( $t \geq 10$  s) definiert ohne diese Zeit unmittelbar und 30 Minuten nach dem Mischen zu definieren. Darüber hinaus wurde die Zeit, die 1 Liter Wasser zum Ausfließen aus dem Trichter braucht, gemessen und das Ergebnis ist ( $t = 5$  s).

Viele Mischungen haben die Anforderungen bei Tauchversuch nicht erfüllt, obwohl sie die Anforderungen bei Trichterverfahren erfüllt haben ( $t_0 \leq 25$  s). Das stellt die Eignung des Mörtels und die Anpassung des w/z-Werts in Zweifel und ermöglicht es den Tauchversuch weiter verwenden zu können.

Die Würfel haben bei den meisten Mischungen eine höhere Druckfestigkeit als die bei Zylinder aufgewiesen. Aus Sicherheitsgründen sind die bisherigen Probekörperformen (Zylinder) weiter zu verwenden.



## 9 Literaturverzeichnis

- [1] Deutsches Institut für Normung: DIN EN 445: Einpressmörtel für Spannglieder-Prüfverfahren; Deutsche Fassung, Berlin, Oktober 2005.
- [2] Deutsches Institut für Normung: DIN EN 445: Einpressmörtel für Spannglieder-Prüfverfahren; Deutsche Fassung, Berlin, Juli 1996.
- [3] Deutsches Institut für Normung: DIN EN 446: Einpressmörtel für Spannglieder-Einpressverfahren; Deutsche Fassung, Berlin, Juli 1996.
- [4] Deutsches Institut für Normung: DIN EN 447: Einpressmörtel für Spannglieder-Anforderungen für üblichen Einpressmörtel; Deutsche Fassung, Berlin, Juli 1996.
- [5] *Hartz, U., Schlack, I.*: Erläuterungen zur „Richtlinie zur Überwachung des Herstellens und Einpressens von Zementmörtel in Spannkanäle“, DIBt Mitteilungen 03/2002, S. 71-75, Berlin, 2002.
- [6] Richtlinie zur Überwachung des Herstellens und Einpressens von Zementmörtel in Spannkanäle, DIBt Mitteilungen 03/2002, S. 81-84, Berlin, 2002.
- [7] *Rombach, G.*: Spannbetonbau, Ernst & Sohn, S. 89–125, Berlin, 2003.
- [8] *Römisch, A.*: Erläuterungen zu den Richtlinien für das Einpressen von Zementmörtel in Spannkanäle;(Fassung Juni 1973), Beton- und Stahlbetonbau 11/1976, S. 275-279.
- [9] *Haveresch, K.-h. et al.*: Neues Regelwerk für das Einpressen von Zementmörtel in Spannkanäle, Beton- und Stahlbetonbau 97, Heft 10, 2002, S. 501-511.
- [10] *Rostásy, F. S., Gutsch, A.-W.*: Zuverlässigkeit des Verpressens von Spannkanälen unter Berücksichtigung der Unsicherheiten auf der Baustelle, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 478, Berlin, 1997.

- [11] *Steinegger, H., Breuckmann, K.*: Einpressmörtel für Spannkäule, Bautechnik 06/1972, S. 206-210.
- [12] Deutsches Institut für Normung: DIN EN 197-1: Zement-Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement; Deutsche Fassung, Berlin, Februar 2001.
- [13] *Benz, G. H.*: Einpressmörtel für Spannkäule, Illertissen/Bayern, 1965.
- [14] Deutsches Institut für Normung: DIN 1045 A.: Bestimmungen für die Ausführung von Bauwerken aus Stahlbeton. (§ 5. Ziff. 5), November 1959.
- [15] *Benz, G. H.*: Einpressmörtel, Illertissen, Mai 1975.
- [16] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Korrosionsschutz bei Spannbeton- und Stahlbeton-Bauteilen (Korrosionserlass, Fassung Februar 1967), Beton- und Stahlbetonbau, 1967, Heft 8, S. 196-198.
- [17] Deutsches Institut für Normung: DIN EN 196-2: Prüfverfahren für Zement, Teil 2: Chemische Analyse von Zement, 05/2005.
- [18] Deutsches Institut für Normung: DIN EN 197-2: Konformitätsbewertung von Zement, 11/2000.
- [19] Deutsches Institut für Normung: DIN EN 934-4: Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel. Zusatzmittel für Einpressmörtel für Spannglieder. Teil 4: Definition, Anforderungen, Konformität, Kennzeichnung und Beschriftung; Deutsche Fassung EN 934-4: 2001/A1: 2004, Juni 2005.
- [20] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Richtlinien für das Einpressen von Zementmörtel in Spannkäule, Beuth-Vertrieb, Berlin, Juni 1973.
- [21] *Nürnberg, U.*: Korrosionsverhalten verzinkter Spannstähle in gerissenem Beton, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 353, S. 87, Berlin, 1984.

- [22] Deutsches Institut für Normung: DIN 1045, Beton- und Stahlbetonbau, Bemessung und Ausführung, 1972.
- [23] *Rendchen, K.*: Erläuterungen zu den Einpressmörtelnormen DIN EN 447, DIBt Mitteilungen 30/1999, Heft 3.
- [24] *Haveresch, K. h., Jungwirth, D., Schlack, I., Schütt, K.*: Neues Regelwerk für das Einpressen von Zementmörtel in Spannkanäle-Planung, Ausführung, Überwachung, DIBt Mitteilungen 01/2003, S. 4.
- [25] Deutsches Institut für Normung: DIN EN 196-1: Prüfverfahren für Zement; Teil 1: Bestimmung der Festigkeit, 05/1995.
- [26] International Organization for Standardization: ISO 4012: Concrete; Determination of Compressive strength of test specimens, 11/1978.
- [27] Deutsches Institut für Normung: DIN EN 12190: Bestimmung der Druckfestigkeit von Reparaturmörteln, 12/1998.
- [28] *Walz, K., Mathieu, H.*: Der Einfluss des Zements auf die Eigenschaften von Einpressmörtel, FIP-RILEM Symposium on Injection Grout for Prestressed Concrete, Trondheim, 1961.
- [29] *Albrecht, W.*: Einpressversuche an langen Spannkanälen, Beton und Stahlbetonbau 59/1964, S. 269.
- [30] *Johansen, R.*: Grouting of Posttensioned Prestressed Concrete Members. December 1961.
- [31] *Grace*: Construction Products, Productdatenblatt Tricosal 181 (EH), W. R. Grace & Co.- Conn, 2005.
- [32] *Albrecht, W., Schmid, H.*: Versuche mit Einpressmörtel für Spannbeton, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 142, S. 8, Berlin, 1960.

- [33] Engelke, P.: Zum Stand der Einpresstechnik im Spannbetonbau, Beton- und Stahlbetonbau 6/1986, Berlin, 1986.
- [34] Deutsches Institut für Normung: DIN 1045-3: Bauausführung. Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, 06/2002.
- [35] Deutsches Institut für Normung: DIN-Fachbericht 102: Betonbrücken, März 2003.
- [36] *Benz, G. H.*: Veränderung eines Einpressmörtels während des Auspressens von Spannkäulen, Bau- und Bauindustrie (1959), Heft 8, S. 198-200.
- [37] *Rehm, G., Frey, R., Funke, D.*: Auswirkung von Fehlstellen im Einpressmörtel auf die Korrosion des Spannstahls, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 353, S. 57-59, Berlin, 1984.
- [38] *Engelke, P., Jungwirth, D., Manns, W.*: Einpresstechnik bei Spanngliedern mit mehr als 1500 kN Spannkraft, DIBt Mitteilungen 10(1979), Heft 6, S. 161-166.
- [39] *Cordes, H., Engelke, P., Jungwirth, D., Thode, D.*: Eintragung der Spannkraft, Einflussgrößen bei Entwurf und Ausführung, DIBt Mitteilungen 14(1983), Heft 2, S. 45-58.
- [40] *Manns, W., Zimbelmann, R.*: Einpressmörtel mit langer Verarbeitungszeit, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 353, S. 8, Berlin, 1984.
- [41] *Völter, O.*: Einpressmörtel, die Einpresstechnik und die Spannglied-Konstruktion, Beton- und Stahlbetonbau (1959), Heft 3, S. 49-63 und Heft 4, S. 89-92.
- [42] *Avak, R., Glaser, R.*: Spannbetonbau, Theorie, Praxis, Berechnungsbeispiele, Bauwerk Verlag GmbH, S. 23-24, Berlin, 2005.
- [43] *Manns, W.*: Erläuterung zu DIN 4227 Teil 5 Spannbeton (Ausgabe Dezember 1979), Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 320, S. 56-58, Berlin, 1980.

- [44] *Von Gottstein, V.*: Nachträgliches Verfüllen von nicht verpressten Spanngliedern mit dem Vakuumverfahren. Spannbetonbau in der Bundesrepublik 1983-1986, Deutscher Betonverein, 1987.
- [45] *Nürnberger, U.*: Analyse und Auswertung von Schadensfällen an Spannstählen, Bericht des Otto-Graf-Institutes der Universität Stuttgart, 1979.
- [46] Bundesanstalt für Straßenwesen, ZTV-ING (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten), Dezember 2007
- [47] Muster-Verordnung über die Überwachung von Tätigkeiten mit Bauprodukten und bei Bauarten (MÜTVO), DIBt Mitteilungen 29 (1998), Heft 5.
- [48] MC-Bauchemie: Produktdatenblatt, MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. KG, 2007.
- [49] Grouting of Post-tensioning Tendons, VSL Report Series 5, VSL International LTD. Lyssach, Switzerland, 2002.
- [50] Grouting of Bridge Post-tensioning Tendons, Training Manual, State of Florida Department of Transportation, July 2002.
- [51] *A .J. Schokker, B. D .Koester, J. E. Breen, M. E. Kreger*: Development of High Performance Grouts for Bonded Post-tensioned Structure, Center for Transportation Research, University of Texas at Austin, October 1999.
- [52] Deutsches Institut für Normung: DIN EN 447: Einpressmörtel für Spannglieder- Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung, Berlin, 2008-01.

## 10 Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 2.1: TAUCHZEIT FÜR UNTERSCHIEDLICHE MÖRTELTEMPERATUREN UND W/z-WERTE [7] .....	5
ABBILDUNG 3.1: ZEITLICHER VERLAUF DER RAUMÄNDERUNG IN % IN ABHÄNGIGKEIT VON DER LAGERTEMPORATUR (DOSIERUNG 1 % TRICOSAL EH 181) [13] .....	12
ABBILDUNG 3.2: ZEITLICHER VERLAUF DER RAUMÄNDERUNG IN ABHÄNGIGKEIT VON DER DOSIERUNG [13] .....	13
ABBILDUNG 3.3: INNERES SCHRUMPFEN UND ABSETZEN IN % IN ABHÄNGIGKEIT VOM ALTER DES ZEMENTBREIES MIT UND OHNE TRICOSAL EH 181 (AUS WENIG ABSETZENDEM ZEMENT) [13] .....	13
<b>ABBILDUNG 4.1: TAUCHGERÄT ZUR BESTIMMUNG DER TAUCHZEIT [2] .....</b>	<b>19</b>
ABBILDUNG 4.2: TAUCHGERÄT; LINKS: EINZELKOMPONENTEN; RECHTS: VERSUCHSDURCHFÜHRUNG [BILDER 2007, .....	20
ABBILDUNG 4.3: LINKS: TRICHTER FÜR DIE PRÜFUNG DES FLIEßVERMÖGENS (MABE IN MM) [2]; RECHTS: TRICHTER AUF DER BAUSTELLE, [BILDER 2007, F. AL ATIKI] .....	21
ABBILDUNG 4.4: LINKS: ABDECKPLATTE AUF DEM BEHÄLTER; RECHTS: ABDECKPLATTE AUF DEM EINPRESSMÖRTEL [2] .....	27
ABBILDUNG 5.1: EINPRESSMÖRTEL AUF DER BAUSTELLE; LINKS: MISCHVORGANG (VORRATSBEHÄLTER); RECHTS: EINPRESSVORGANG (AUSTRITTSÖFFNUNG) [BILDER 2007, F. AL ATIKI] .....	36
ABBILDUNG 5.2: EIN- UND AUSTRITTSÖFFNUNGEN [BILDER 2007, F. AL ATIKI] .....	37
ABBILDUNG 5.3: BEISPIEL VON AUSGEPRÄGTEN HOCHPUNKTEN [24] .....	37
ABBILDUNG 5.4: BEISPIEL FÜR MANGELHAFT VERPRESSTUNG [33] .....	42
ABBILDUNG 5.5: FALSCHES UND RICHTIGES EINPRESSEN VON MÖRTEL IN EINE GEEIGNETE KOPPELHÜLSE [33] ..	42
ABBILDUNG 5.6: ENTSTEHUNG VON LUFTEINSCHLÜSSEN [7, 33] .....	43
ABBILDUNG 5.7: ENTWICKLUNG DER HÜLLROHRQUERSCHNITTE [33] .....	44
ABBILDUNG 5.8: BEISPIEL FÜR ENTLÜFTUNGS- UND EINPRESSSCHLÜSSE BEI HÜLLROHRERWEITERUNGEN [33] ..	46
ABBILDUNG 5.9: BEISPIELE FÜR DAS VERPRESSEN MIT NACHVERPRESSEN BEI VERSCHIEDENEN BRÜCKENBAUVERFAHREN [24] .....	48
ABBILDUNG 5.10: DIE BEZIEHUNG ZWISCHEN AUSFÜHRENDEN UNTERNEHMEN, ÜBERWACHUNGSSTELLE UND ZUSTÄNDIGER BAUAUFSICHTSBEHÖRDE [6] .....	52
ABBILDUNG 6.1: LINKS: STANDMISCHER; RECHTS: WÜRFELFORM [BILDER 2009, F. AL ATIKI] .....	58
ABBILDUNG 7.1: EINTAUCHZEIT UND AUSLAUFZEIT IN ABHÄNGIGKEIT VON MÖRTELTEMPORATUR [F. AL ATIKI] .....	61
ABBILDUNG 7.2: MATHEMATISCHE BEZIEHUNG ZWISCHEN EINTAUCHZEIT UND AUSLAUFZEIT [F. AL ATIKI] .....	62

## 11 Tabellenverzeichnis

<b>TABELLE 1: MECHANISCHE UND PHYSIKALISCHE ANFORDERUNGEN, DEFINIERT ALS CHARAKTERISTISCHE</b> .....	8
TABELLE 2: PRÜFANFORDERUNGEN AN DAS FLIEßVERMÖGEN [4] .....	15
TABELLE 3: DRUCKFESTIGKEITSPROBEKÖRPER [4].....	16
TABELLE 4: PRÜFANFORDERUNGEN AN DAS FLIEßVERMÖGEN [52] .....	23
TABELLE 5: TEMPERATUREN BEIM EINPRESSEN IN °C [3, 7] .....	39
TABELLE 6: ZU MODIFIZIERENDEN PARAMETER FÜR DIE VERSUCHSREIHEN .....	57
TABELLE 7: ZU MODIFIZIERENDEN PARAMETER FÜR DIE VERSUCHSREIHEN .....	57
TABELLE 8: PRÜFMETHODEN NACH DIN-EN 445 .....	59
TABELLE 9: CEM I 42,5 R MIT TRICOSAL 181 (EH) .....	62
TABELLE 10: CEM I 42,5 R MIT MC EINPRESSHILFE .....	63
TABELLE 11: CEM I 42,5 R (EP) – RHEOMENT .....	63
TABELLE 12: CEM I 42,5 R MIT TRICOSAL 181 (EH) .....	64
TABELLE 13: CEM I 42,5 R MIT MC EINPRESSHILFE .....	64
TABELLE 14: CEM I 42,5 R (EP) – RHEOMENT .....	64
TABELLE 15: CEM I 42,5 R MIT TRICOSAL 181 (EH) .....	65
TABELLE 16: CEM I 42,5 R MIT MC EINPRESSHILFE .....	66
TABELLE 17: CEM I 42,5 R (EP) – RHEOMENT .....	66
TABELLE 18: CEM I 42,5 R MIT TRICOSAL 181 (EH) .....	67
TABELLE 19: CEM I 42,5 R MIT MC EINPRESSHILFE .....	67
TABELLE 20: CEM I 42,5 R (EP) – RHEOMENT .....	67
TABELLE 21: DRUCKFESTIGKEIT CEM I 42,5 R MIT TRICOSAL 181 (EH).....	68
TABELLE 22: DRUCKFESTIGKEIT CEM I 42,5 R MIT MC EINPRESSHILFE .....	69
TABELLE 23: DRUCKFESTIGKEIT CEM I 42,5 R (EP) - RHEOMENT .....	69

## 12 Verzeichnis der Symbole und Indizes

$A$	Querschnittsfläche (in $mm^2$ )
$a$	Durchschnittliches Ausbreitmaß (in mm)
$a_0$	Ausbreitmaß unmittelbar nach dem Mischen (mm)
$a_{30}$	Ausbreitmaß 30 Minuten nach dem Mischen (mm)
$d_f$	Wichte des Zementleims
$d_z$	Reinwichte des Zements
$F_c$	Bruchlast (in $N$ )
$f_{cw}$	Druckfestigkeit ermittelt an Würfel (in $N/mm^2$ )
$f_{cz}$	Druckfestigkeit ermittelt an Zylinder (in $N/mm^2$ )
$G_w$	Gewicht des Wassers
$G_z$	Gewicht des Zementes
$h$	Höhe (in mm)
$K$	Vergrößerungsfaktor
$R_c$	Druckfestigkeit (in $N/mm^2$ )
$T$	Mörteltemperatur ( $^{\circ}C$ )
$t$	Zeit (in s)
$t_{Ein}$	Eintauchzeit (in s)
$t_{Ein,0}$	Eintauchzeit unmittelbar nach dem Mischen (in s)
$t_{Ein,30}$	Eintauchzeit 30 Minuten nach dem Mischen (in s)
$t_{Tri}$	Auslaufzeit (in s)
$t_{Tri,0}$	Auslaufzeit unmittelbar nach dem Mischen (in s)
$t_{Tri,30}$	Auslaufzeit 30 Minuten nach dem Mischen (in s)
$v$	Volumen (in ml)

$\Delta v$	Volumenänderung des Einpressmörtels (%)
$V_m$	Fassungsvermögen eines Mixchers
$V_s$	Mörtelvolumen des Spannglieds
$V_w$	Volumen des Wassers
$V_z$	Volumen des Zementes
$\emptyset$	Durchmesser

## **Anhang**

### **I. Einpresshilfe**

#### ***I.1 TRICOSAL 181 (EH)***

Einpresshilfe für Einpressmörtel bei Spannbeton mit nachträglichem Verbund und ausgewogenem Quellvermögen.

#### **Zusatzmittel für Einpressmörtel für Spannglieder nach EN 934-4: T2**

##### **Anwendung**

TRICOSAL 181 (EH) ist ein Betonzusatzmittel zur Herstellung von Einpressmörteln für Spannbeton. Erst durch das vollständigen Verpressen des Hohlraumes zwischen dem Spannelement und Hüllrohr mit Einpressmörtel wird der Korrosionsschutz der Spannelemente gesichert.

Weitere Anwendungsgebiete sind die Herstellung hochfließfähiger Zementmörtel zum Verpressen und Verfüllen von Hohlräumen z. B. im Tunnelbau, Mauerwerksbau, Unterpressen von hohl liegenden Fahrbahnplatten, Bodenverfestigung mittels Verfüllen z. B. bei Unterfangungen von Fundamenten, Abdichten von Fugen in WU-Konstruktionen (Injektionen über Packer oder Injektionsschläuche), Dichtungsschleier bei Staudämmen und Talsperren, sowie Schirminjektionen zur Abdichtung und Verfestigung des Untergrundes im Tunnelbau.

##### **Eigenschaften/Wirkungsweise**

Durch die Verwendung von TRICOSAL 181 (EH) wird der Anmachwasserbedarf des Einpressmörtels bei gleicher Konsistenz bzw. Tauchzeit gegenüber einem Mörtel ohne Zusatzmittel verringert. Durch die Ausnutzung der verflüssigenden Wirkung wird die Fließfähigkeit der Einpressmörtel erheblich verbessert und somit das Eindringen des Mörtels auch in kleinste Hohlräume und Spalten des Spannsystems ermöglicht. Das Wasserabsondern wird deutlich vermindert. Die Festmörteleigenschaften werden hierdurch positiv beeinflusst mit höherer Dichtigkeit, Festigkeit und höherer Frostbeständigkeit.

TRICOSAL 181 (EH) bewirkt eine Volumenzunahme des Einpressmörtels in der Frischmörtelphase und kompensiert somit das volumenvermindernde Absetzen des Zementleimes. Das Quellen des Einpressmörtels verläuft in der plastischen Phase langsam unter schwachem Druck, so dass eine satte Anpressung des Mörtels an alle Kontaktflächen und in kleinste Hohlräume des Spannsystems gewährleistet ist. Fehlstellen im Einpressmörtel, die Ausgangspunkte für Spannstahlkorrosion darstellen können, werden vermieden. Die

notwendige Verbundwirkung des Spannelementes über den Einpressmörtel hin zur Spannbetonkonstruktion wird somit dauerhaft sichergestellt.

### Technische Daten:

Wirksamer Bestandteil	Aluminiumpulver
Form	Pulver
Gleichmäßigkeit	Homogen (geprüft nach DIN V 20000-100, Anhang A)
Farbe	Hellbraun
Feststoffgehalt	> 95,0 M.- %
Schüttdichte	920 ± 20 kg / m <sup>3</sup>
pH-Wert	7,5 ± 1 (3 %iger Suspension)
Gesamtchlor	< 0,10 M.- %
wl. Chloridgehalt	< 0,10 M.- %
Alkaligehalt (Na <sub>2</sub> O-Äquivalent)	< 0,5 M.- %
Lagerung	Vor Feuchtigkeit, Frost und übermäßiger Erwärmung schützen. In verschlossenen Originalgebinden lagern.
Empfohlener Dosierbereich	0,20- 2,00 M.- % des Zementanteil
Lieferform	25-kg-Sack; 25-kg-Karton (50 Btl. zu 500 g)
Produktcode	BZM 1 (Betonzusatzmittel, kennzeichnungsfrei)
Wasser- gefährdungskl.	WGK 1 (gemäß VwVwS)
Physiologische Wirkung	Bei Einwirkung auf Haut und Augen sind Reizungen möglich; siehe Sicherheitsdatenblatt!
Haltbarkeit	Ca. 1 Jahr in geschlossenen Originalgebinden

### Zugabe und Verarbeitung

Der Einpressmörtel muss maschinell mit einem geeigneten Mischer gemischt werden. Sämtliche Einsatzstoffe sind sorgfältig nach Gewicht zu dosieren und in der Regel in der Reihenfolge Wasser-Zement-Einpresshilfe zuzugeben. Es empfiehlt sich, erst nach einer 2-minütigen Vormischzeit des Zementleimes die Einpresshilfe zuzugeben. Der gesamte Mischvorgang sollte nach spätestens 4 Minuten beendet sein. Zu lange Mischzeiten können bei hohen Temperaturen unter Umständen zum Ansteifen des Einpressmörtels im Mischbehälter führen. Der Einpressmörtel ist anschließend maschinell so zu bewegen, dass Entmischung und Klumpenbildung vermieden werden.

**Besondere Hinweise**

Für Einpressmörtel nach DIN EN 447 in Spannbeton zulässig. Vor Anwendung Erstprüfung nach DIN EN 446 erforderlich. Bei Verwendung von Einpresshilfen in Kombination mit chromatreduzierten Zementen kann es zu verändertem Erstarrungs- oder Erhärtungsverlauf kommen. Vorversuche sind daher unbedingt erforderlich.

## ***1.2 MC-Einpresshilfe***

Quellmittel für Einpressmörtel und Beton [48]

### **Produkteigenschaften:**

- Chloridfrei
- Quellend
- Plastifizierend
- Verringerung des W/Z-Wertes
- Bildung von Mikroporen

### **Anwendungsgebiete:**

- Einpressmörtel für das Verpressen von Spannkämen (Hüllrohren) bei Spannbeton mit indirektem Verbund
- Unterfangungen, Durchdringungen, Plomben, Verfüllungen
- Werksgemischte Trockenmörtel

### **Verarbeitungshinweise:**

MC-Einpresshilfe ist ein pulverförmiges Zusatzmittel für Beton und Mörtel sowie für Einpressmörtel beim Verpressen von Spannkämen (Hüllrohren) bei Spannbeton mit indirektem Verbund.

Beton und Mörtel werden plastifiziert unter Minderung des Wasseranspruchs bei gleichzeitiger Verringerung einer Entmischungsgefahr.

MC-Einpresshilfe ist chloridfrei und enthält keine stahl- oder spannstahlaggressiven Bestandteile.

Da das Zusatzmittel wie ein Fließmittel wirkt, d. h. sehr stark verflüssigt, kann bei Einpressmörteln mit sehr niedrigem W/Z-Wert verpresst oder aber der Mörtel auch ohne Erhöhung des Wasseranteils bei Spannsystemen mit sehr engen Verpressquerschnitten angewandt werden.

Der Quelleffekt beginnt gesteuert allmählich einsetzend gleich nach der Herstellung des Betons, Mörtels oder Einpressmörtels. Durch gezielten Einsatz spezieller „Thixotropierungsmittel“ werden eine Vereinigung der Mikro-Gasporen zu größeren Porengefügen und/oder Lunkern sowie unerwünschte Entmischungserscheinungen vermieden. Durch das Quellen ergibt sich eine optimale Anpassung an alle Kontaktflächen, so dass alle Hohlräume durch Beton oder Mörtel gefüllt und dicht geschlossen bleiben. Die für das

Quellen erforderliche Porenbildung ist bei der Festigkeitsentwicklung durch ein entsprechendes Vorhaltemaß zu berücksichtigen.

MC-Einpresshilfe kann je nach Erfordernis auch mit anderen Zusatzmitteln kombiniert werden. So kann z. B. beim Verpressen sehr langer Spannglieder bei warmer Witterung der Verpressmörtel ohne weiteres durch den Erstarrungsverzögerer Centrament Retard 360 auf die erforderliche Verpresszeit verzögert werden. Ebenso kann zusätzlich ein Fließmittel, z. B. Muraplast FK 99 in Kombination mit MC-Einpresshilfe verwendet werden.

Anwendungsbezogene Eignungsprüfungen sind zu empfehlen.

#### Technische Eigenschaften MC-Einpresshilfe:

Kenngröße	Einheit	Wert	Bemerkungen
Schüttdichte	kg / dm <sup>3</sup>	Ca. 0,50	
Empfohlener Dosierbereich	g	2-10	Je kg Zement
Maximaler Chloridgehalt	% MT	< 0,10	

#### Produktmerkmale MC-Einpresshilfe

Art des Zusatzmittels	Einpresshilfe EN 934-4: T 2 / Quellmittel
Bezeichnung des Zusatzmittel	MC-Einpresshilfe
Farbe	Beige
Form	Pulverförmig
Konformitätszertifikat	0754-CPD-02-165.2
Notifizierte Stelle	MPA, Karlsruhe
Werkseigene Produktionskontrolle	Gemäß DIN EN ISO 9001
Farbkennzeichnung	Weiß
Lieferform	1 kg Beutel (25 Stück im Karton) 20 kg Säcke

### ***I.3 CEM I 42,5 R (ep) – rheoment*** **Zement für Einpressmörtel [52]**

Der von Dornburger Zement entwickelte und hergestellte CEM I 42,5 R (ep) rheoment ist ein speziell auf die Anforderungen an einen Einpressmörtel abgestimmter Portlandzement.

Entsprechend dem vorliegenden EG-Konformitätszertifikat der Materialforschungs- und –prüfanstalt an der Bauhausuniversität Weimar Nr. 0992-C 11/001-04 wird bescheinigt, dass rheoment den Bestimmungen der im Amtsblatt der EU vom 23.01.2001 bekannt gemachten harmonisierten Norm EN 197-1:2000 entspricht und die dort festgelegten Mindestanforderungen erfüllt.

Ebenso werden die in DIN EN 447:2008 an Einpressmörtel für Spannglieder gestellten Anforderungen erfüllt. Der Prüfbericht 1111/1506a der MPA Braunschweig bestätigt darüber hinaus, dass rheoment die Anforderungen der Europäischen Zulassungsrichtlinie von Spannsystemen (ETAG 013) zuverlässig erfüllt.

#### **rheoment – Anwendungsgebiet**

Primäres Anwendungsgebiet ist das Verpressen von Spannkämen an Bauwerken aus Spannbeton mit nachträglichem Verbund. Vorteile ergeben sich dabei gegenüber herkömmlichen Einpresszementen sowohl bei horizontalen Verpressungen als auch bei vertikalen Anwendungen. Spannkäme von mehr als 100 Meter Höhe können dabei zielsicher und mit minimiertem Zeitaufwand verpresst werden.

Die daraus resultierenden Produkteigenschaften machen rheoment darüber hinaus zu einem prädestinierten Bindemittel für Anwendungen, bei denen enge Ringräume, kompliziert und lange Spannkäme mit hohem Litzfüllgrad, aber auch spezielle Pfahlgründungen und Bodenanker vergossen, verpresst oder injiziert werden. Die zum Einsatz kommende Zementsuspension ist dabei hoch verflüssigt und stabil ohne Neigung zum Wasserabsetzen auch bei extremen Anwendungen.

#### **rheoment – Charakteristische Produkteigenschaften**

rheoment ist ein Produkt, das die speziellen Anforderungen an die Herstellung eines Einpressmörtels erfüllt. Unter Einsatz entsprechender Mischwerkzeuge entsteht beim

Einmischen des Zementes in Wasser eine Suspension in der benötigten Verarbeitungskonsistenz.

**Die separate Zugabe eines Zusatzmittels ist nicht erforderlich.**

Die zur Erzielung der Verarbeitungskonsistenz notwendige Wassermenge ist sehr gering. Somit kann die Wasserabsonderung nach dem Einbau zielsicher in äußerst engen Grenzen gehalten werden.

Eine gezielte geregelte Volumenänderung bewirkt einen kraftschlüssigen Verbund zwischen Einzelbauteilen und bietet optimalen Korrosionsschutz für Stahleinbauteile.

**rheoment – Qualität**

Die gleich bleibende Qualität von rheoment wird durch Laborprüfungen während der Herstellung und weiteren Güteprüfungen der versandfertigen Chargen gewährleistet.

Die Produkteigenschaften unterliegen unter Baustellenbedingungen dem Einfluss von Umwelt- (Temperatur, Feuchtigkeit, Wind, Sonneneinstrahlung) und Verarbeitungsparametern (Art des Mischwerkzeuges, Dauer und Geschwindigkeit des Mischvorgangs). Eine entsprechende Berücksichtigung dieser Einflussgrößen auf der Baustelle ist Grundvoraussetzung für eine optimale Verarbeitung.

**Eigenschaften**

- hoch fließfähig
- mäßige Volumenzunahme für kraftschlüssigen Verbund
- hohe Früh- und Endfestigkeit
- niedriger w/z- Wert ( $\leq 0,33$ )
- kein Wasserabsetzen nach Norm
- 1-Komponenten- System

**Verarbeitung**

25 kg rheoment ergeben bei w/z= 0,33 ca. 16,3 l Einpressmörtel

w/z= 0,30 ca. 15,5 l Einpressmörtel

Je nach Einsatzzweck sind entsprechende Mischwerkzeuge (Kolloidalmischer, Handmörtelmischer, Flügelradmischer oder ähnliche) zum Aufschluss des Materials notwendig. Die Wirksamkeit des Mischwerkzeuges ist vor der Anwendung zu prüfen. Der w/z-Wert ist den Anforderungen, Verarbeitungstechnologien und Witterungsbedingungen entsprechend, aber so niedrig wie möglich ( $\leq 0,33$ ) zu wählen.

## Technische Daten

entsprechend DIN EN 445/447: 1996 und DIN EN 445/447:2008 sowie Europäische Zulassungsrichtlinie von Spannsystemen (ETAG 013)

Kenngröße	Einheit	Ist (1)	soll
<b>w/z-Wert</b>		0,31	≤0,40
<b>Frishmörtelrohddichte</b>	[ kg / dm <sup>3</sup> ]	2,06	
<b>Festmörtelrohddichte</b>	[ kg / dm <sup>3</sup> ]	2,03	
<b>Tauchzeit</b> $T_0 / T_{30}$ (nach Herstellung / stehend aufgerührt)	[s]	50,5 / 64,5	≥ 30 / ≤ 80
<b>Auslaufzeit</b> $t_0 / t_{30}$ (nach Herstellung / stehend aufgerührt)	[s]	23 / 25	$t_0 \leq 25$ s und $t_{30} \leq 25$ s $1,2 t_0 \geq t_{30} \geq 0,8 t_0$
<b>Ausbreitmaß</b> $a_0 / a_{30}$ (nach Herstellung)	[mm]	170 / 159	$a_0 \geq 140$ mm und $a_{30} \geq 140$ mm $1,2 a_0 \geq a_{30} \geq 0,8 a_0$
<b>Wasserabsetzen</b> (Schrägrohrtest nach ETAG 013, Abs. C.4.3.3.2.1 und EN 445, Abs. 4.4)	[%]	0,08	≤ 0,3
<b>Wasserabsetzen</b> (Dochtabsetztest nach ETAG 013, Abs. C.4.3.3.2.3 und EN 445, Abs. 4.5)	[%]	0,00	≤ 0,3
<b>Quellen</b> (Schrägrohrtest nach ETAG 013, Abs. C.4.3.3.2.3 und EN 445, Abs. 4.5)	[%]	0,83	
<b>Ablagerungsprüfung R</b> (nach ETAG 013, Abs. C.4.3.3.2.2)	[%]	1,00	≤ 10
<b>Druckfestigkeit 28 d</b> (Prismen 160*40*40 mm <sup>3</sup> )	[MPa]	90,0	≥ 30

(1) Werte aus dem Prüfbericht Nr. 1111/1506a-2 der MPA Braunschweig

## **Lieferformen**

25 – kg- Sack	-lose im Silozug
48 Sack je Palette (1.200 kg)	-lose im Big Bag
Palette mit Schrumpfaube	

## **Konformität**

EG-Konformität gemäß EN 197-1: 2000

Reg. Nr.: 0992-C 11/001-04

## II. Musterformular

### II. 1 Musterformular 1

Musterformular 1 (Seite 1 von 2)

<b>ÜBERWACHUNG VON EINPRESSARBEITEN</b>	<b>Dok.-Nr.:</b> .....
---	------------------------

Ausführung der Einpressarbeiten durch Fa.: .....

Baustelle / Werk: .....

Bauteil: .....

Datum der Einpressarbeiten: .....

verantwortlicher Fachbauleiter Einpressen: .....

(Name)

0. Einpressvorgang am ..... der Überwachungsstelle mitgeteilt.
1. Planungsunterlagen mit Bezeichnung der Spannglieder, Einpress- und Entlüftungsöffnungen sowie Arbeitsanweisung liegen vor:  
 Pläne: ..... Arbeitsanweisung: .....  
 .....  
 (Planungsunterlagen und Arbeitsanweisung in Anlage beifügen)
2. Qualifikationsnachweis (DIN EN 446:1996-07 Abs.7.2) des Personals ist nachgewiesen durch:  
 Fachbauleiter Einpressen: .....  
 Kolonnenführer: .....
3. Hüllrohr und Hüllrohrverbindungen; Einpress- und Entlüftungsöffnungen (Hüllrohre nach DIN EN 523:1997-07 oder Zulassung)  
 Bauwerk vor dem Betonieren  
 Kontrolle durchgeführt am: ..... durch: .....  
 Bauwerk vor dem Einpressen  
 Kontrolle durchgeführt am: ..... durch: .....
4. Kalibriernachweis der Prüfgeräte (DIN EN 445:1996-07) liegt vor.
5. Funktionsprüfung der Geräte (DIN EN 446:1996-07) wurde durchgeführt.  
 Geräte:
6. Eignungsprüfung des Einpressmörtels (DIN EN 446:1996-07, Abs.5)  
 siehe Dok.-Nr. <sup>1)</sup> .....
7. Spannstahl:  
 Einbau am: ..... Zustand: .....  
 gespannt am: .....  
 eingepresst am: .....  
 besondere Vorkommnisse: .....  
 Vor dem Einpressen wurden temporäre Korrosionsschutzmaßnahmen  
 vom ..... bis ..... durchgeführt.  
 (Durchgeführte Korrosionsschutzmaßnahmen in Anlage beifügen)
8. Überwachung des Einpressmörtels (Güteüberwachung DIN EN 446:1996-07, Abs.8.4)  
 siehe Dok.-Nr. <sup>1) 2)</sup> .....
9. Einpressprotokoll  
 siehe Dok.-Nr. <sup>1)</sup> .....

10. Besondere Maßnahmen beim Einpressen bei von DIN EN 446:1996-07 Abs.7.5 abweichenden Temperaturen:

11. Festigkeitsprüfung (Druckfestigkeitsprüfung)

siehe Dok.-Nr. <sup>1)</sup> .....

12. Bemerkungen:

13. Bemerkungen der Überwachungsstelle:

verantwortlicher Fachbauleiter Einpressen: .....  
(Datum, Unterschrift)

Einpressarbeiten wurden auf der Baustelle durch Überwachungsstelle überwacht:  ja  nein

Überwachungsstelle: .....  
(Datum, Unterschrift)

<sup>1)</sup> Dokumente als Anlage beifügen

<sup>2)</sup> Sonderregelung: ZTVK 96, 6.6.2: Ergänzend zu DIN EN 446:1996-07, Abs. 8.4: Prüfung und Dokumentation des Fließvermögens mindestens bei den ersten drei ausgepressten Spannkanälen eines Einpressvorganges. Unterscheiden sich die Spannglieder um mehr als 100% in ihrer Länge oder dem zu verpressenden Querschnitt, ist eine Prüfung an diesen Spanngliedern im o.a. Umfang zu wiederholen.

Erläuterungen:

zu 0. Einpressvorgänge sind rechtzeitig bei der Überwachungsstelle anzumelden (Abstimmung mit Überwacher)

zu 1. Planungsunterlagen: Zeichnung mit Anzahl und Typ der Spannglieder, Art und Abmessungen der Hüllrohre, Nummern Einpress- und Entlüftungsöffnungen, Einpressrichtung.  
Arbeitsanweisung (zu beachten sind dabei insbesondere DIN EN 446:1996-07, Abs. 5, 6, 7 und 8):  
Einpressverfahren und -anweisung, Einpressgeräte, Eignungsnachweis der Einpressgeräte, erforderliche allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen, Winterbau-/Sommerbaumaßnahmen, Korrosionsschutz der Spannglieder bei langen Liegezeiten (siehe auch Punkt 10.), Einpressrichtung, Hinweise auf gesonderte Einpressprozedur, Hüllrohre prüfen (einschließlich Wanddicken), Durchgängigkeit prüfen, Maßnahmen zum Entfernen von Wasser in Hüllrohren, Überprüfung der Wirksamkeit des Einpressens nach dem Einpressen usw.

Die Planungsunterlagen sind zu überprüfen und erforderlichenfalls zu ergänzen. (Pläne, auf denen die Spannglieder mit den Öffnungen (Einpress-, Nachpressöffnungen und Hochpunkte) dargestellt und nummeriert sind, müssen beim Einpressen auf der Baustelle vorhanden sein. Auf der Baustelle vorhanden sein muss die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für das Spannverfahren und ggf. für die Einpresshilfe und das Einpressverfahren)

zu 2. Firmenbestätigung des Spannverfahreninhabers  
Schulungsnachweise

zu 3. Nummerierung und Abmessungen (einschließlich Wanddicken) von Hüllrohren, Einpress- und Entlüftungsöffnungen entsprechend den Planungsunterlagen. Dichtigkeit (Hüllrohrverbindungen und -anschlüsse) prüfen, Beschädigungen feststellen und reparieren. Ausreichende Schutzmaßnahmen und Kontrollen der Einpress- und Entlüftungsröhrchen auch nach dem Betonieren durchführen. Durchgängigkeit prüfen.

zu 5. Kapazität der Einpressgeräte (DIN EN 446:1996-07, Abs. 6) prüfen.  
Eignungs- und Funktionskontrolle der Einpressgeräte durchführen.  
Ersatzgeräte oder Maßnahmen für unvorhergesehenen Ausfall von Geräten.

zu 6. Bei der Eignungsprüfung und der Überwachung (Punkte 6. und 8.) müssen gleiche Ausgangsstoffe und Geräte verwendet werden.

zu 7. Temporäre Korrosionsschutzmaßnahmen können z.B. trockene Luft, RUST-BAN 310 (allg. bauaufsichtliche Zulassung beachten) oder Stickstoff sein. Ursachen für die Notwendigkeit temporärer Korrosionsschutzmaßnahmen können planmäßige oder unplanmäßige baubetriebliche Gründe sein oder zu hohe oder zu niedrige Temperaturen für das Einpressen.

zu 10. z.B. Kühlen oder Heizen (ggf. Zusatzspannungen im Beton beachten)

## II.2 Musterformular 2

Musterformular 2

<b>EINPRESSPROTOKOLL Einpressvorgang</b>						<b>Dok.-Nr.:</b>											
Baustelle / Werk .....						Bauteil .....											
eingepresst am .....						von ..... bis ..... Uhr						Fachbauleiter Einpressen .....					
Besondere Arbeitsanweisung: nein <sup>1)</sup> / ja <sup>1)</sup> vom .....						Kolonnenführer .....											
Das Fachpersonal wurde am ..... durch .....																	
Spannverfahren			Spannglied-Typ						Verlegeplan Blatt Nr.								
			Hüllrohr-Nennweite [mm]						Eignungsprüfung Dok.-Nr.								
			erf. Mörtelmenge für Einpressabschnitt [m <sup>3</sup> ]						Überwachung (Güteüberwachung) Dok.-Nr.								
Spannglied-Nr.	Spannglied		Durchgang Luft ja / nein <sup>1)</sup>	Einpressstelle und Einpressen		Nachpressstelle und Nachpressen			Hochpunkt verpresst			Bemerkungen z.B. Probenahme und Probenummer, Unterbrechung, Unregelmäßigkeit, besondere Maßnahme					
	Typ	Länge [m]		E1	E2	N1	N2	N3	HP1	HP2	HP3						
Summe:				Anzahl Mischungen:				verbrauchte Gesamtmörtelmenge:									
Bemerkungen der Überwachungsstelle:																	
Datum;				Kolonnenführer				Datum;				Fachbauleiter Einpressen					

<sup>1)</sup> Nichtzutreffendes streichen Erläuterungen siehe Rückseite

## Erläuterungen:

- Die verbrauchte Gesamtmörtelmenge soll im Vergleich mit der erforderlichen Mörtelmenge für den Einpressabschnitt Aufschluss darüber geben (grobe Orientierung), ob alle Spannglieder eingepresst wurden.
- Pläne, auf denen die Spannglieder mit den Öffnungen (Einpress-, Nachpressöffnungen und Hochpunkte) dargestellt und nummeriert sind, müssen beim Einpressen auf der Baustelle vorhanden sein.
- Bei den Einpress- und Nachpressstellen und den Hochpunkten sind in der ersten Zeile zu jedem Spannglied die Nummerierungen entsprechend den Planungsunterlagen einzutragen (Reihenfolge entsprechend Einpressfolge). Dies wird normalerweise im Rahmen der Vorarbeiten (Planung) durchgeführt. Nicht erforderliche Spalten sind zu streichen. Sollten in Sonderfällen z.B. mehr als 2 Einpressstellen erforderlich sein, ist das Musterformular entsprechend zu erweitern. In der zweiten Zeile ist während der Einpressarbeiten durch Abhaken oder Ankreuzen kenntlich zu machen, dass die Arbeiten an der betreffenden Stelle durchgeführt wurden.
- Zum Einpressen: Siehe Engelke, Jungwirth, Manns: Zur Einpresstechnik bei Spanngliedern mit mehr als 1500 kN Spannkraft, Mitteilungen des Instituts für Bautechnik 10 (1979), Heft 6.

## II.3 Musterformular 3

Musterformular 3

<b>EIGNUNGSPRÜFUNG/ ÜBERWACHUNG <sup>1)</sup></b>		<b>Dok.-Nr.: .....</b>	
<b>Einpresse Mörtel</b>			
Baustelle / Werk .....		Bauteil .....	
Prüfart .....		Prüfdatum: .....	
Fachbauleiter Einpressen <sup>1)</sup> / Prüfer <sup>1)</sup> .....		Temperatur: Luft: von.....bis.....°C Bauwerk: von.....bis.....°C, Wetter:.....	
<b>1. Anforderungen an den Einpressmörtel</b> (Werte entsprechend DIN EN 447 <sup>1)</sup> , Zulassung <sup>1)</sup> , Besondere Anweisung <sup>1)</sup> )			
1.1 Wasserzementwert	.....[≤ 0,44] <sup>4)</sup>	1.3 Wasserabsonderung (nach 3h) <sup>4)</sup>	.....[≤ 2%] <sup>4)</sup>
1.2 Eintauchversuch Tauchzeit <sup>3)</sup>	nach dem Mischen.....[≥ 30s] <sup>4)</sup> nach 30 min.....[≤ 80(200)s] <sup>4)</sup>	1.4 Volumenänderung (nach 24h) <sup>4)</sup>	[-1% ≤ <sup>4)</sup> .....[≤ 5%] <sup>4)</sup>
		1.5 Druckfestigkeit nach 7 <sup>2)</sup> / 28 Tagen <sup>1)</sup>	für jeden Probekörper.....N/mm <sup>2</sup> für jede Probeserie.....N/mm <sup>2</sup>
<b>2. Stoffe und Zusammensetzung des Einpressmörtels</b>			
2.1 Zement CEM I (DIN EN 197)	Herstellwerk	Festigkeitsklasse	Temperatur °C
	Lieferung am	Rückstellprobe Nr.	Menge kg
2.2 Wasser	Herkunft	Nachweis: ja <sup>1)</sup> / nein <sup>1)</sup>	Temperatur °C
2.3 Zusatzmittel <sup>1)</sup> Einpresshilfe (EH)	Zulassungsbescheid Nr. vom	Herstellwerk	
	Handelsbezeichnung der EH	Chargennummer	
		Zulässige Zusatzmenge (gemäß Zulassung)	
		Rückstellprobe Nr.	Menge kg
2.4 Chlorid-Bilanz:	[≤ 0,1 % Cl als Gewichtsprozent des Zements] <sup>4)</sup>		
2.5 Mischungszusammensetzung	Zement kg	Wasser kg	Einpresshilfe (EH) kg w/z-Wert
2.6 Mischertyp .....	Mischdauer vor Zugabe der EH .....	s	gesamt .....
<b>3. Prüfungen</b> (für Bauwerkstemperaturen über <sup>1)</sup> / unter <sup>1)</sup> + 10°C)			
3.1 Temperatur des Frischmörtels	Probe Nr. ....°C:.....	Probe Nr. ....°C:.....	Probe Nr. ....°C:.....
3.2 Fließvermögen <sup>3)</sup>	Tauchzeiten <sup>1)</sup>	Versuch .....Uhr	Mittel Mörteltemp.
		1 2 3 2/3	1 2 3 2/3
mit Tauchgerät Nr. ....	nach Mischen		
geprüft am .....	nach Durchfluss d. Spannkäle		
	nach 30 min		
3.3 Wasserabsonderung	Mit Zylinder Ø 25 mm <sup>1)</sup> Ø 50 mm <sup>1)</sup> Probe Nr.: .....	Mit Zylinder Ø 25 mm <sup>1)</sup> Ø 50 mm <sup>1)</sup> Probe Nr.: .....	
	Ort der Probenahme: Mischer /Austritt Spannkanal <sup>1)</sup>	Ort der Probenahme: Mischer /Austritt Spannkanal <sup>1)</sup>	
	Nullmessung $v / h^{1)} =$ .....	Nullmessung $v / h^{1)} =$ .....	
	Messung nach ..... Std. $v_1 / h_1^{1)} =$ .....	Messung nach ..... Std. $v_1 / h_1^{1)} =$ .....	
	$100 \cdot v_1 / v^{1)} =$ ..... % $100 \cdot h_1 / h^{1)} =$ ..... %	$100 \cdot v_1 / v^{1)} =$ ..... % $100 \cdot h_1 / h^{1)} =$ ..... %	
3.4 Volumenänderung	Dosenkennzeichen		
	Messung	Nullmessung	nach ..... Std.
	1		
	2		
	3		
a) Abdeckplatte auf Dose <sup>1)</sup>	Messpunkt 4		
b) Abdeckplatte auf Einpressmörtel <sup>1)</sup>	5		
	6		
	im Mittel		
Zylinderverfahren <sup>1)</sup>	Höhe h		
	Höhe h <sub>2</sub>		
Absetzen (-) / Quellen (+)	Vol.-%		
Lagerungsort der Proben ..... bei Temperatur.....°C			
<b>3.5 Druckfestigkeit</b> siehe Dok.-Nr.: .....			
Bemerkungen:			
Bemerkungen der Überwachungsstelle:			

<sup>1)</sup> Nichtzutreffendes streichen <sup>2)</sup> Bei 7 Tagen: 90 % der 28-Tage-Werte <sup>3)</sup> alternativ mit Trichterverfahren <sup>4)</sup> nach DIN EN 447 Erläuterungen siehe Rückseite

Ort

Datum

Fachbauleiter Einpressen <sup>1)</sup> / Prüfer <sup>1)</sup>

## Erläuterungen:

- Überwachung (Güteüberwachung DIN EN 446, Abs. 8.4)
- Die Proben zur Wasserabsonderung (3.3) werden unter den Temperaturbedingungen auf der Baustelle gelagert. Die Temperatur braucht deshalb nicht gesondert aufgeführt zu werden.
- Zur Planung und Durchführung von Einpressarbeiten gibt es zahlreiche Veröffentlichungen. Besonders hingewiesen wird auf 'Maßnahmen zur Qualitätsverbesserung des Verpressens von Spanngliedern' von Gutsch, A.-W., Kraska, B., erschienen in Festschrift zum 65.Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. F.S. Rostásy, Baustoffe in Praxis, Lehre und Forschung, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, iBMB Heft 128, 1997. (Anmerkung zu Tab.3 der Veröffentlichung: Hüllrohre werden in DIN EN 523:1997-07 als Nachfolgenorm von DIN 18553:1980-02 geregelt). Außerdem auf Heft 476 des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton 'Zuverlässigkeit des Verpressens von Spannkanälen unter Berücksichtigung der Unsicherheiten auf der Baustelle' von F.S. Rostásy und A.-W. Gutsch.

## II.4 Musterformular 4

Musterformular 4

<b>DRUCKFESTIGKEITSPRÜFUNG<sup>1)</sup></b>		<b>Dok.-Nr.: .....</b>				
<b>Einpressmörtel</b>						
<b>Angaben des Auftraggebers</b>						
Auftraggeber						
Bauwerk						
Bauteil						
Abmessungen der Probekörper (Prisma/Zylinder) <sup>2)</sup>						
Nr.	1	2	3	4	5	6
Probenbezeichnung						
Herstellungsdatum						
Uhrzeit						
Prüfalter (Soll)      Tage						
Temperatur des Frischmörtels      °C						
Lagerung bis zur Einlieferung: ..... Tage in ..... bei .....°C und ..... Tage in ..... bei ..... °C						
Bemerkungen:						
Für den Auftraggeber:						
Datum			Unterschrift			
<b>Feststellungen der Prüfstelle</b>						
Prüfstelle						
Tag der Einlieferung			Abgegeben in der Prüfstelle von			
Äußere Beschaffenheit/Besonderheiten:						
Lagerung nach der Einlieferung: ..... Tage in ..... bei .....°C und ..... Tage in ..... bei ..... °C						
Nr.	1	2	3	4	5	6
Prüfnummer						
Prüfdatum						
Probenalter      Tage						
Masse $m_b$ kg						
Abmessungen Zylinder <sup>2)</sup>						
Durchmesser      mm						
Höhe      mm						
Abmessungen Prisma <sup>2)</sup>						
Länge      mm						
Breite      mm						
Höhe      mm						
<b>Rohdichte <math>\rho</math>      kg/dm<sup>3</sup></b>						
Bruchlast      kN						
<b>Druckfestigkeit N/mm<sup>2</sup></b>						
Bemerkungen:						
Für die Prüfstelle:						
Datum			Unterschrift		Stempel der Prüfstelle	
Bemerkungen der Überwachungsstelle:						

<sup>1)</sup>Druckfestigkeitsprüfung nach DIN EN 445 bzw. DIN EN 196-1 oder ISO 4012

<sup>2)</sup>Nichtzutreffendes streichen

### III. Zusammenstellung der Versuchsergebnisse

#### III.1 CEM I 42.5 R mit TRICOSAL 181 (EH)

<b>CEM I 42,5 R mit TRICOSAL 181 (EH), w/z-Wert = 0,36</b>									
$T$	$t_{Ein,0}$	$t_{Ein,30}$	$t_{Tri,0}$	$t_{Tri,30}$	$a_0$	$a_{30}$	$f_{cz}$	$f_{cw}$	$\Delta v$
-0,3	158	172	117	129	100,9	107,5	40,3	51,4	6,6
2,5	145	151,5	110	120	100,15	104,9	44,5	52,28	6,547
6,1	92	99	72	68	100	106,4	47,11	53,73	3,05
11	76,5	76,5	45	40	115,65	121,8	47,34	50,01	2,083
13,2	91,5	112,5	64	66	109,15	104	45,58	53,19	5,49
16,5	84	115	66	81	110	99	44	51,28	4,7
18	90	125	72	100	107	99	38,4	51,5	4,6
22,4	172	132	84	105	110,1	96,05	50,7	53,2	1,17
24	$\infty$	$\infty$	377	480	79,05	87,6	51,2	52,83	1,427

<b>CEM I 42,5 R mit TRICOSAL 181 (EH), w/z-Wert = 0,38</b>									
$T$	$t_{Ein,0}$	$t_{Ein,30}$	$t_{Tri,0}$	$t_{Tri,30}$	$a_0$	$a_{30}$	$f_{cz}$	$f_{cw}$	$\Delta v$
-0,7	69,5	60	35	22	121,35	124,95	40,84	45,57	5,2
3,5	54,5	42,5	37	19	125,15	124,75	41,04	48,68	5,29
5,4	55,5	51,5	35	22	122,1	124,1	44,85	55,71	5,09
10	68	66	40	33	107,4	110,8	43,52	51,35	4,798
13,6	56	60	33	30	115	114,5	47,78	49,67	4,48
17,6	45	64	30	41	131,025	113,69	34,1	52,2	5,13
22,1	62,5	76	37	42	107	105,5	49,86	50,5	1,428
24	59	70,5	49	65	117,6	117,8	42	53,13	3,35
28,5	214	112,5	165	99	98,2	93,95	56,6	61,36	-1,094
32,2	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	74,9	80,8	52,3	57,3	0,207

<b>CEM I 42,5 R mit TRICOSAL 181 (EH), w/z-Wert = 0,40</b>									
$T$	$t_{Ein,0}$	$t_{Ein,30}$	$t_{Tri,0}$	$t_{Tri,30}$	$a_0$	$a_{30}$	$f_{cz}$	$f_{cw}$	$\Delta v$
-0,2	51,5	43,75	23	15	126,5	123,1	42,51	41,4	4,18
1,8	43,5	35	21	13	128,85	146,15	39,79	43,18	4,67
5,8	46,5	37,5	23	15	128,8	127,25	50,66	45,55	2,99
10	41	40	19	16	133	134,3	48,36	45,99	3,644
14,4	47	48	23	22	119,8	117,8	47,73	48,49	3,41
21,6	64	59,5	43	47	112,6	107,3	49,4	53,75	2,8
25,1	56	55,5	39	39	110	114,35	52,44	52,22	1,2
30,2	73,5	107,5	65	90	92,5	84,5	55,46	56,16	0,53
35,8	$\infty$	$\infty$	$\infty$	195	63,75	87,3	57,06	59,3	0,422

<b>CEM I 42,5 R mit TRICOSAL 181 (EH), w/z-Wert = 0,42</b>									
$T$	$t_{Ein,0}$	$t_{Ein,30}$	$t_{Tri,0}$	$t_{Tri,30}$	$a_0$	$a_{30}$	$f_{cz}$	$f_{cw}$	$\Delta v$
-0,2	47	43,5	18	13	119,5	117,1	32,74	45,6	5,076
4,3	45	32	14	11	128,15	137,7	45,08	52,27	4,122
7,6	50	33	16	12	127,85	126,7	46,47	50,35	3,18
12,7	40	37	16	15	116,65	126,25	46	51,21	3,17
15,7	32,5	41,5	14	16	127,75	129,25	39,4	42,4	4,059
20,2	46,5	49,5	33,5	34,5	108,3	106,6	58	56,73	0,83
22	42,5	43	23	25	125	112,5	49,9	49,16	0,511
26,3	43,75	48	26	28	115,3	126,05	51,78	51,34	0,58
27,5	48,5	54,5	35	33	115,65	115,25	53,42	49,61	-0,16
28,6	6	54	50	43	105	110	54,3	55,4	-0,22
32,2	76	60,5	70	53	94,9	107,1	57,35	56,99	-1,82
35,6	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	71	69	48,8	52,7	-0,4

### III.2 CEM I 42.5 R mit MC Einpresshilfe

<b>CEM I 42,5 R mit MC Einpresshilfe, w/z-Wert = 0,36</b>									
$T$	$t_{Ein,0}$	$t_{Ein,30}$	$t_{Tri,0}$	$t_{Tri,30}$	$a_0$	$a_{30}$	$f_{cz}$	$f_{cw}$	$\Delta v$
-0,7	82	136,5	45	50	122,25	109,4	60,07	68,41	1,069
2,4	63	67,5	50	29	134,8	121,35	67,51	72,89	0,9
6,1	83	61,5	51	27	125,5	120,35	65,32	66,7	0,027
8,4	70	56	51	28	131,35	131,35	68,6	67,9	-0,188
12,7	53,5	42,25	44	21	124,3	138,8	63,54	65,56	-0,22
15,4	56	45,5	55	24	121,3	130,2	63,87	64,09	0,004
20	48	41	34	24	140,85	145,8	64,48	69,5	-0,114
22,3	40	38	27	21	144,2	147,6	64,9	76,19	-0,674
25,1	43	37	29	23	146,15	148,2	70,42	88,16	-0,956
29,4	50	41	39	30	153,7	155,5	78,75	93,96	-1,25
31,6	53,5	46,5	43	29	146,6	142,9	65,54	86,4	-0,361
35,1	60	54,5	48	36	145,8	140,15	74,91	72,48	-1,647

<b>CEM I 42,5 R mit MC Einpresshilfe, w/z-Wert = 0,38</b>									
$T$	$t_{Ein,0}$	$t_{Ein,30}$	$t_{Tri,0}$	$t_{Tri,30}$	$a_0$	$a_{30}$	$f_{cz}$	$f_{cw}$	$\Delta v$
-0,7	61,5	82	30	23	133	119,5	65,84	63,23	0,84
4,1	63,5	45,5	36	18	139,7	133,1	65,31	64	-0,44
5,7	46,5	33,25	27	19	160,7	141,2	69,54	70,69	-0,53
9,6	42,5	30,75	26	14	149,5	143,3	62,54	64,6	-0,73
14,5	41	32,5	35,5	18	141,75	159,9	65,41	66,04	-0,792
17,7	35,75	32	25	15	136,7	147,55	66,71	67,6	-1,34
21,5	32	30	20	15	148,6	158,8	68,85	72,54	-1,185
26,4	35,5	31,5	21	18	163,85	165,8	69,72	78,23	-1,243
28,6	35,75	32,75	26	18	173,4	185,65	74,55	75,68	-2,17
31,8	41	36	29	24	15,9	155,05	7,97	82,44	-2,355
35	41,75	38,5	34	25	157,25	154,75	74,46	81,79	-2,401

<b>CEM I 42,5 R mit MC Einpresshilfe, w/z-Wert = 0,40</b>									
$T$	$t_{Ein,0}$	$t_{Ein,30}$	$t_{Tri,0}$	$t_{Tri,30}$	$a_0$	$a_{30}$	$f_{cz}$	$f_{cw}$	$\Delta v$
-0,7	34,5	36,25	19	13	151,5	129,25	60,15	56,35	0,42
3,4	44,75	36	14	11	125,95	123,8	53,91	59,22	-,39
5,7	38	30,5	16	12	125,85	136,9	57,15	56,29	-1,115
9,7	32	29	16	11	132,4	144,15	63,83	68,19	-2,05
13,5	29,5	25	18	12	152,05	158,85	65,89	67,69	-2,147
18,3	29,5	26,5	16	13	157,3	162,65	68,72	70,1	-2
23,2	26	23,5	14	12	155,8	159,25	68,51	72,85	-3,85
25,1	31	28	18	14	152,2	159,6	68,24	71,29	-2,11
28,7	29,5	27	18	15	158,4	166,9	67,38	76,96	-2,88
32,6	30	28,5	19	16	162	158,5	71,95	76,5	-4,138
35,4	35,75	33,75	22	19	168,2	167,1	78,11	83,24	-4,39

<b>CEM I 42,5 mit MC Einpresshilfe, w/z-Wert = 0,42</b>									
$T$	$t_{Ein,0}$	$t_{Ein,30}$	$t_{Tri,0}$	$t_{Tri,30}$	$a_0$	$a_{30}$	$f_{cz}$	$f_{cw}$	$\Delta v$
-0,7	32,5	27	13	10	143,65	132,6	50,7	50,66	-1,16
1,9	27	25	11	9	147,8	135,8	51,74	57,82	-1,866
6,2	25	21	13	10	168,7	160,55	63,02	60,4	-2,33
10,2	25	18,5	12	9	153,65	162,85	66,87	66,56	-3,717
14,4	26	20,5	13	10	140,65	164,6	70,52	66,02	-2,76
17,8	20,5	20,5	11	10	161,5	159,4	64,85	70,21	-2,44
22,2	20,5	18	11,2	9	159,15	181,7	70,67	71,32	-7,909
24,8	24	21,5	12	11	160,45	176,25	75,09	76,2	-6,493
27,7	25,5	25	14	12	162,55	170,25	79,13	74,02	-6,86
31	24,5	22,5	14	13	163,6	168,2	74,68	76,5	-4,43
35	29	27,5	20	16	168,45	173,65	73,98	69,04	-6,1

### III.3 CEM 42.5 R (ep) – rheoment

<b>CEM I 42,5 R (ep) – rheoment, w/z-Wert = 0,30</b>									
$T$	$t_{Ein,0}$	$t_{Ein,30}$	$t_{Tri,0}$	$t_{Tri,30}$	$a_0$	$a_{30}$	$f_{cz}$	$f_{cw}$	$\Delta v$
-0,3	134,5	$\infty$	60	65	155,5	114,1	49,14	71,71	5,37
4,2	125	$\infty$	51	68	160,5	117,9	48,88	75,16	5,55
8,2	124	$\infty$	49	74	172,1	108,4	45,82	70,88	6,24
12,5	128	$\infty$	37	75	174,25	108	44,03	69,88	6,33
17,3	127	$\infty$	51	110	139,6	99,1	41,86	75,52	5,78
22	129,5	$\infty$	40	130	143,55	99,65	46,36	71,36	5
26,8	163	$\infty$	52	134	118,85	100,45	43,9	81,54	4,35
30,1	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	93,2	91,5	32,31	66,36	4,653

<b>CEM I 42,5 R (ep) – rheoment, w/z-Wert = 0,32</b>									
$T$	$t_{Ein,0}$	$t_{Ein,30}$	$t_{Tri,0}$	$t_{Tri,30}$	$a_0$	$a_{30}$	$f_{cz}$	$f_{cw}$	$\Delta v$
-0,3	71,5	80	32	26	153,4	136,25	41,64	69,3	5,47
3,1	64	65,5	37	27	184,2	156,4	48,09	71,15	5,51
6,7	63,5	66	29	26	215,6	162,75	48,73	71,87	5,72
11,6	67	70,5	24	30	207,6	153	47,05	74,43	5,3
16,4	77,5	87	25	34	209,5	142,1	47,24	73,65	5,609
19,8	77	82,5	26	35	170,5	132,65	45,69	77,14	4,75
23,5	74	95	32	46	141,6	117,25	43,06	75,7	4,73
26,1	77,5	111	24	46	148,6	115,2	46,51	73,71	4,45
29,3	87,5	170	32	63	145,4	106,6	42,93	70,92	4,07
34,6	79	$\infty$	40	64	132,4	109,5	45,01	73,09	3,512

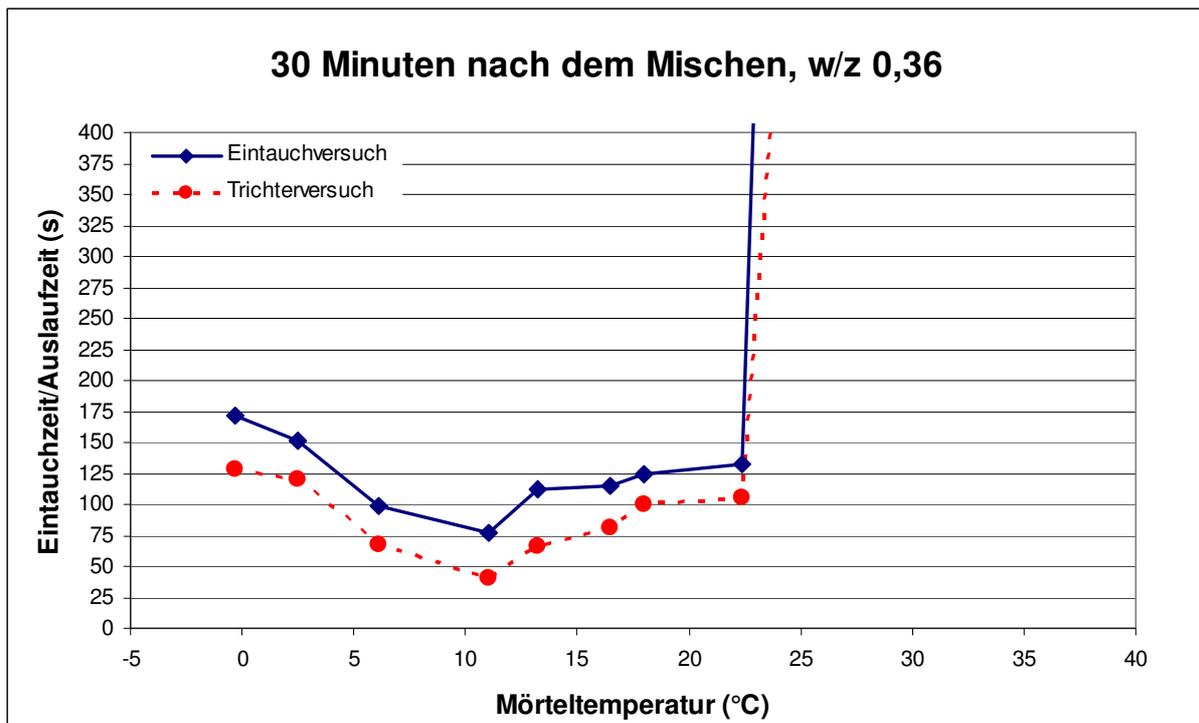
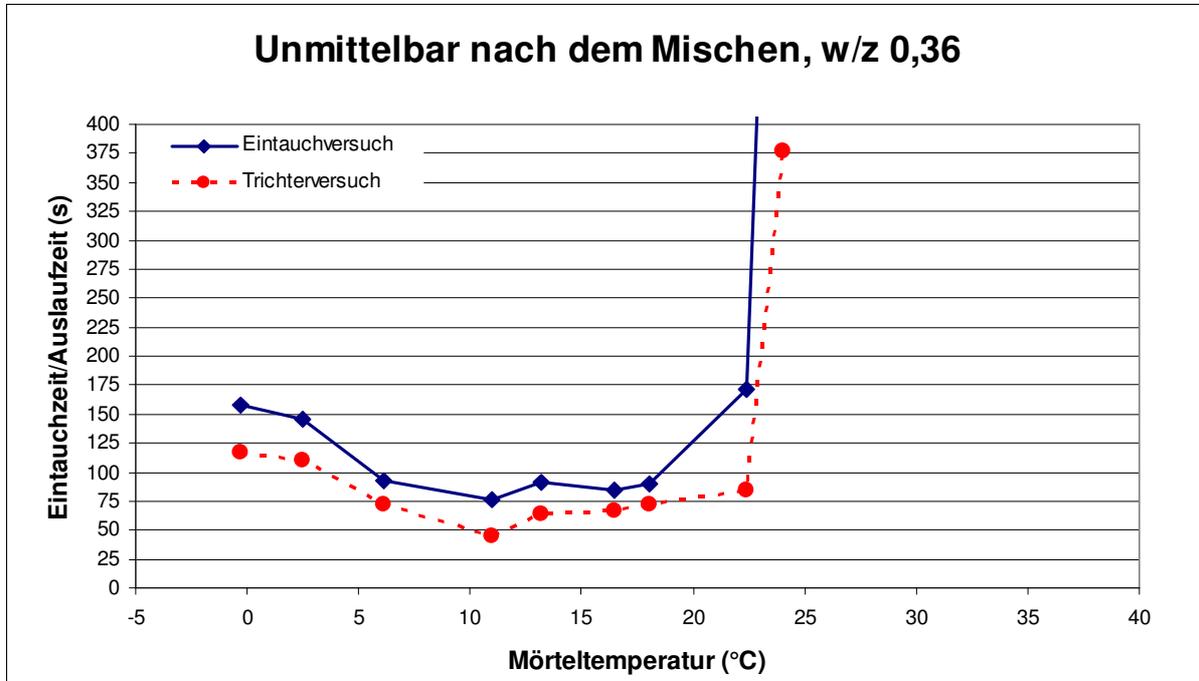
<b>CEM I 42,5 R (ep) – rheoment, w/z-Wert = 0,34</b>									
$T$	$t_{Ein,0}$	$t_{Ein,30}$	$t_{Tri,0}$	$t_{Tri,30}$	$a_0$	$a_{30}$	$f_{cz}$	$f_{cw}$	$\Delta v$
-0,6	61,5	56,5	30	23	184,55	156,35	47,31	70,47	5,538
3,1	63,5	55	34	23	211,5	175,4	48,36	70,78	5,58
5,5	53	52,5	32	23	198,75	167,4	45,16	72,57	5,754
10,2	49,5	53	24	24	221,2	157,5	34,86	70,79	5,91
12,7	51	56	27	29	188,2	136,6	42,06	69,91	5,875
17,2	60,5	63,5	20	27	227,25	148,15	43,94	70,7	5,99
21,5	57	77,5	21	31	175,1	132,25	39,3	63,95	5,218
25,4	63	84	23	37	195,65	142,1	40,3	67,34	4,78
30,2	72,5	$\infty$	39	69	115,75	96,35	37,21	71,61	3,68
34,8	116,5	$\infty$	53	$\infty$	110,5	91	41,1	72,6	3,189

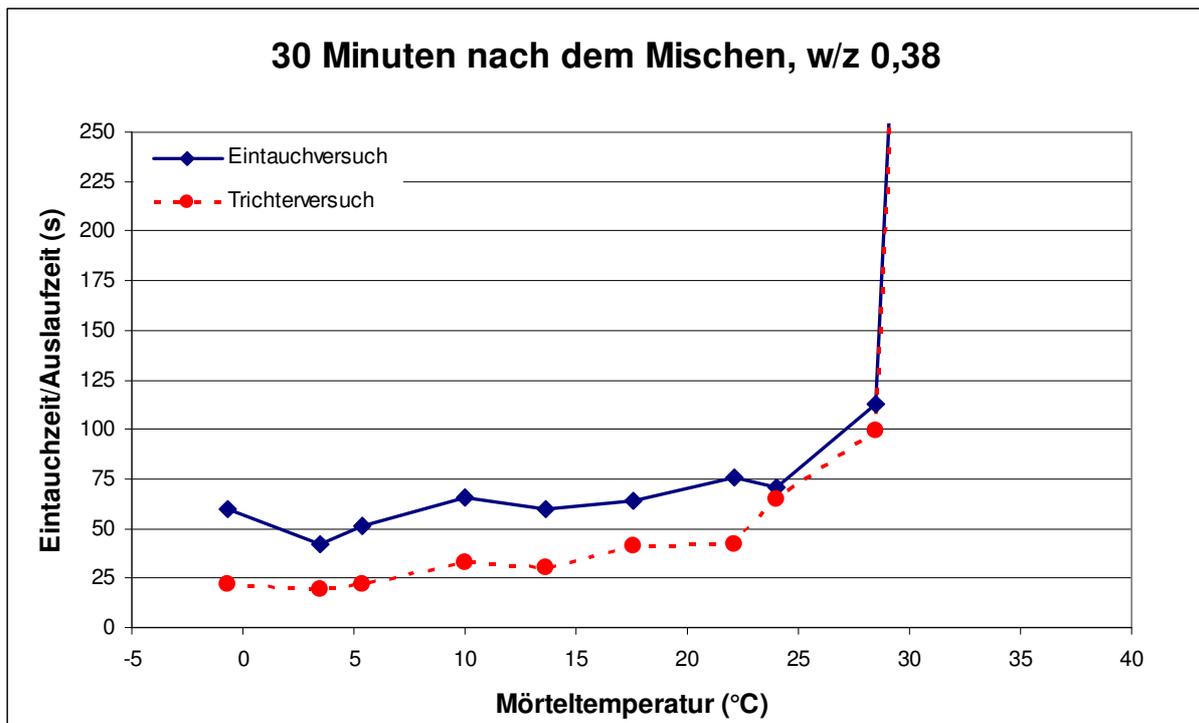
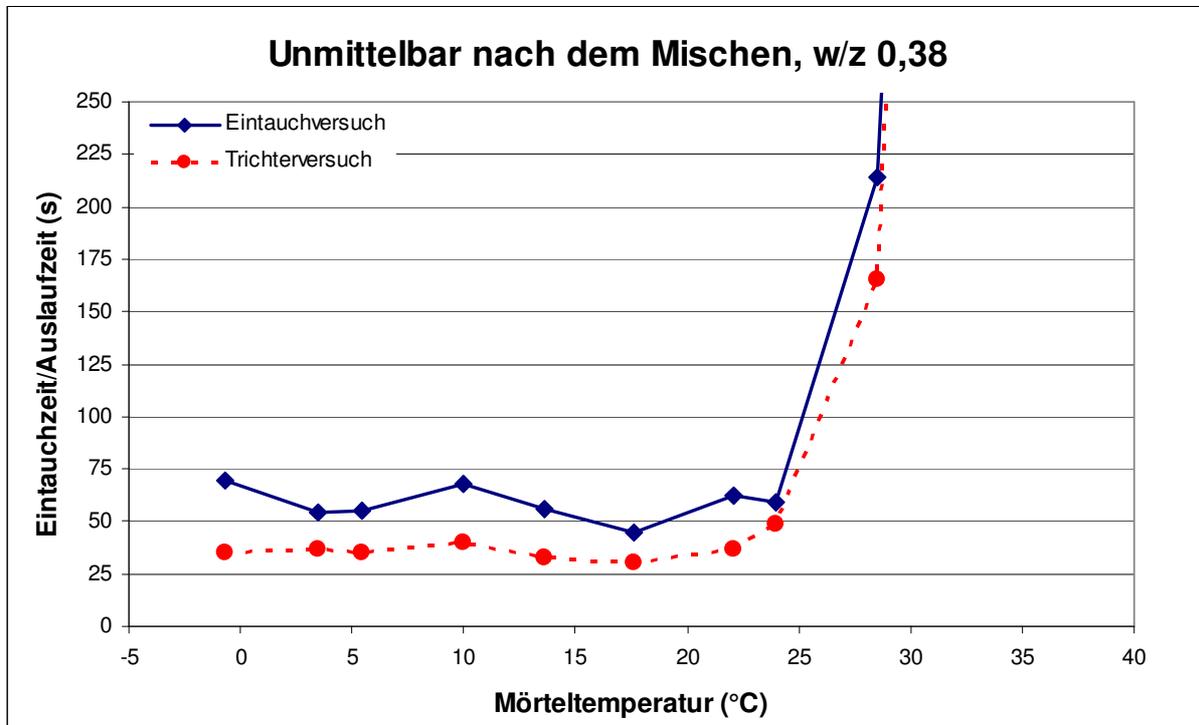
<b>CEM I 42,5 R (ep) – rheoment, w/z-Wert = 0,36</b>									
$T$	$t_{Ein,0}$	$t_{Ein,30}$	$t_{Tri,0}$	$t_{Tri,30}$	$a_0$	$a_{30}$	$f_{cz}$	$f_{cw}$	$\Delta v$
-0,2	40	36	22	15	193,15	223,1	50,39	68,6	6,08
3,3	46,5	40,5	26	17	194,1	194,75	51,27	71,59	5,698
6,3	42,5	36	22	15	222,1	232	53,7	66,64	6,14
11	37,5	37	16	16	221,75	193,25	48,05	70,64	6,06
14	55,5	56	28	26	191,2	156,7	43,33	71,02	5,78
18,5	53	56,5	24	29	214,2	149,71	42,72	70,3	5,512
21,7	39,5	42,5	18	18	219	167	43,1	68,6	4,63
24	47	45	19	21	202,9	167,73	40,57	67,62	4,976
27,5	44,5	51	24	23	198,25	160,51	40,06	67,99	4,09
32,4	42	49	26	22	190,4	156,28	39,49	74,04	3,13
35,1	37,5	38	21	18	191,25	188,86	50,9	70,79	3,14

## Ergebnisse in Diagramme

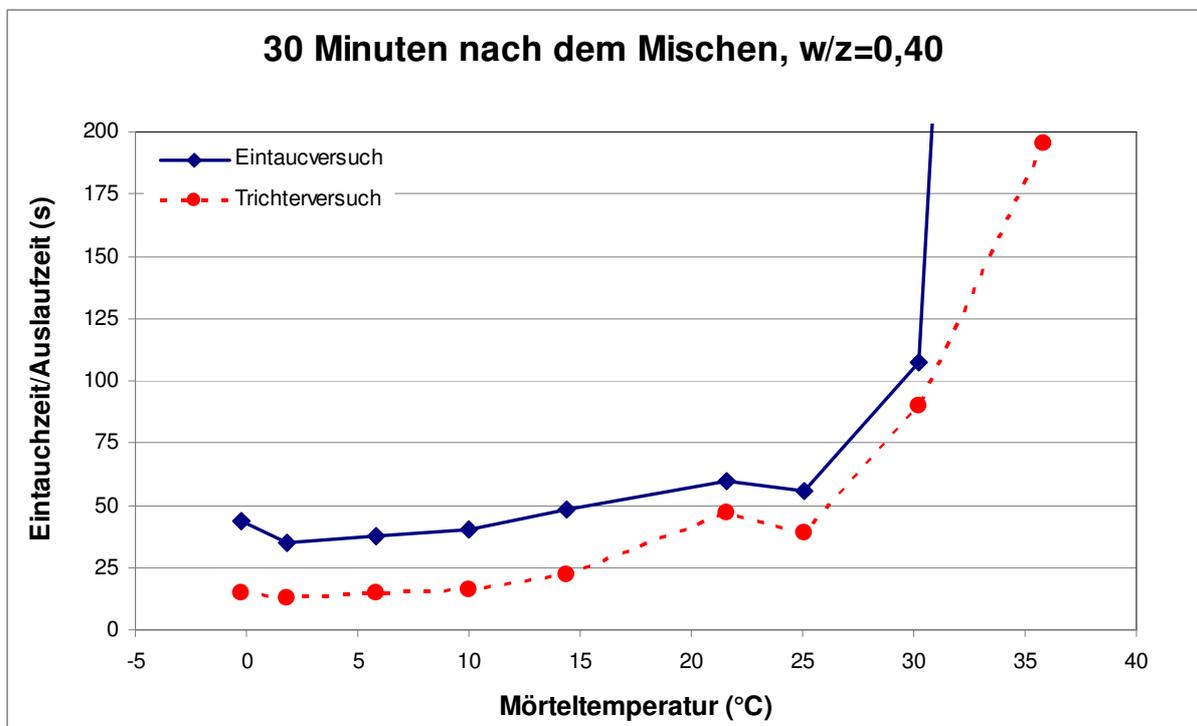
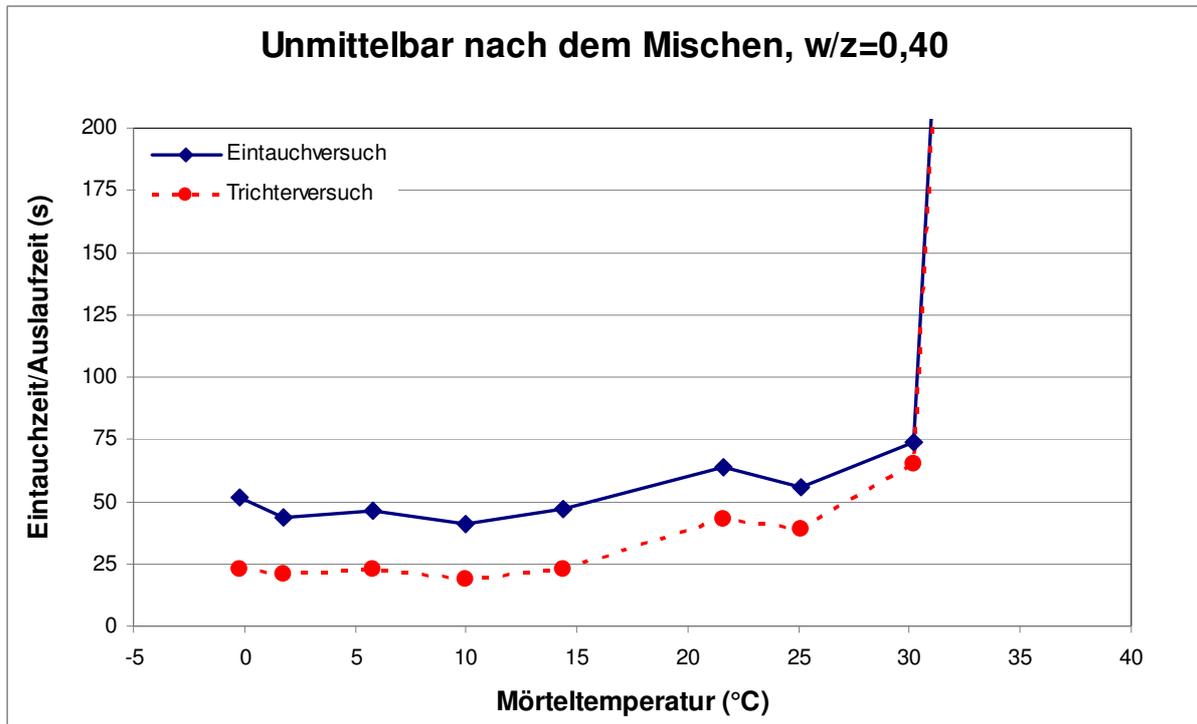
### IV. Ergebnisse, CEM I 42.5 R mit TRICOSAL 181 (EH)

#### IV.1 Eintauchzeit und Auslaufzeit, w/z-Wert =0,36

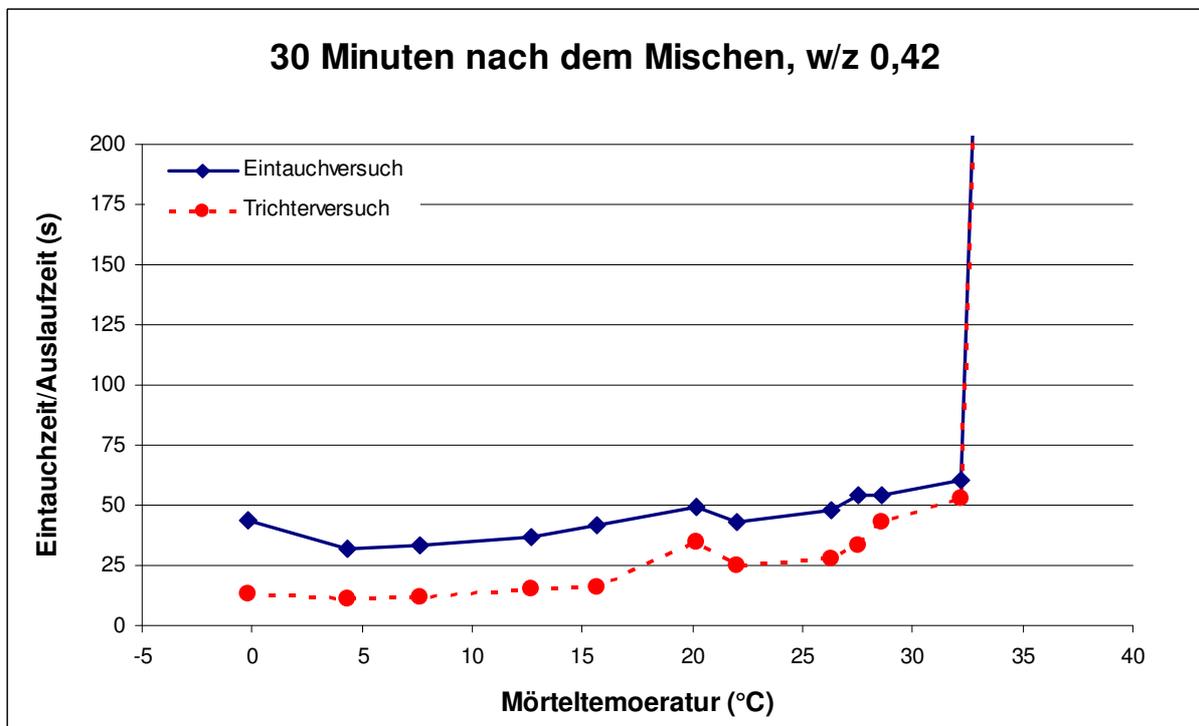
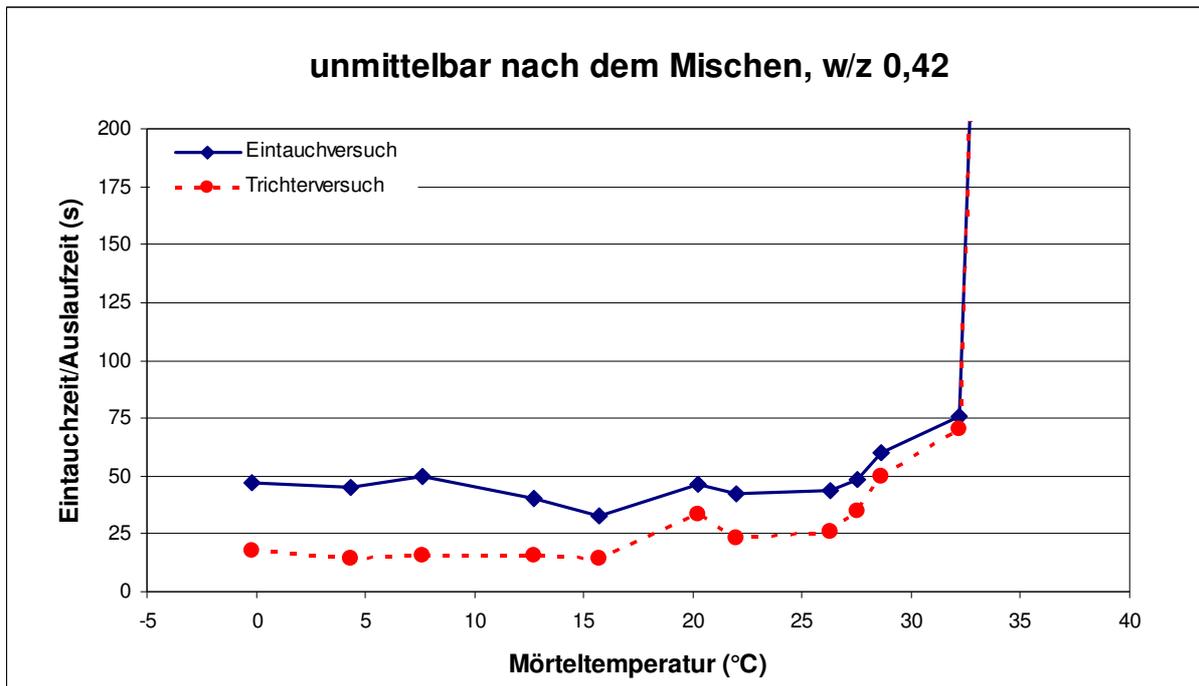


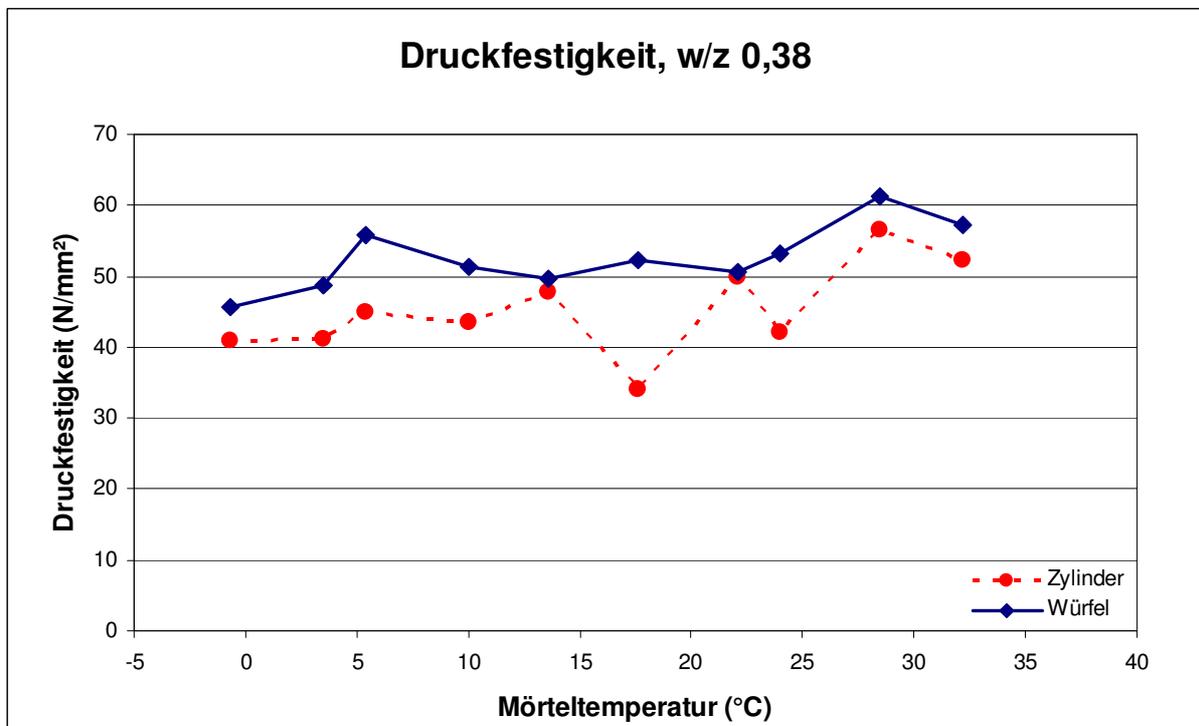
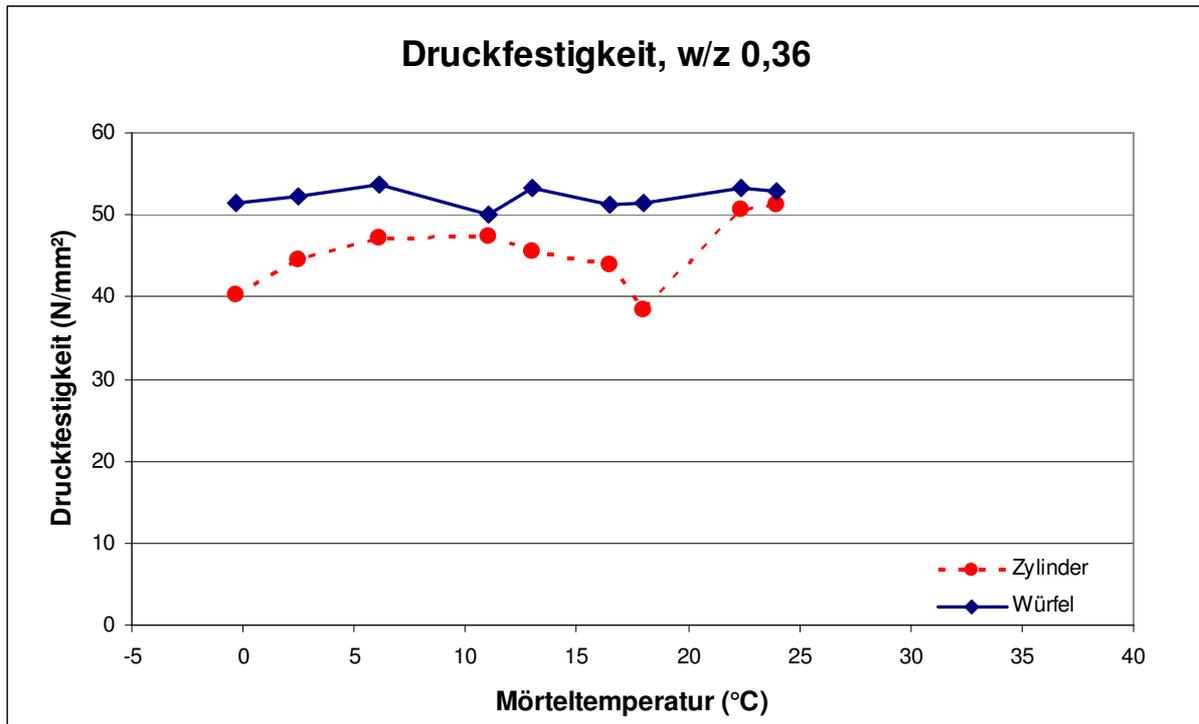
**IV.2 Eintauchzeit und Auslaufzeit, w/z-Wert = 0,38**

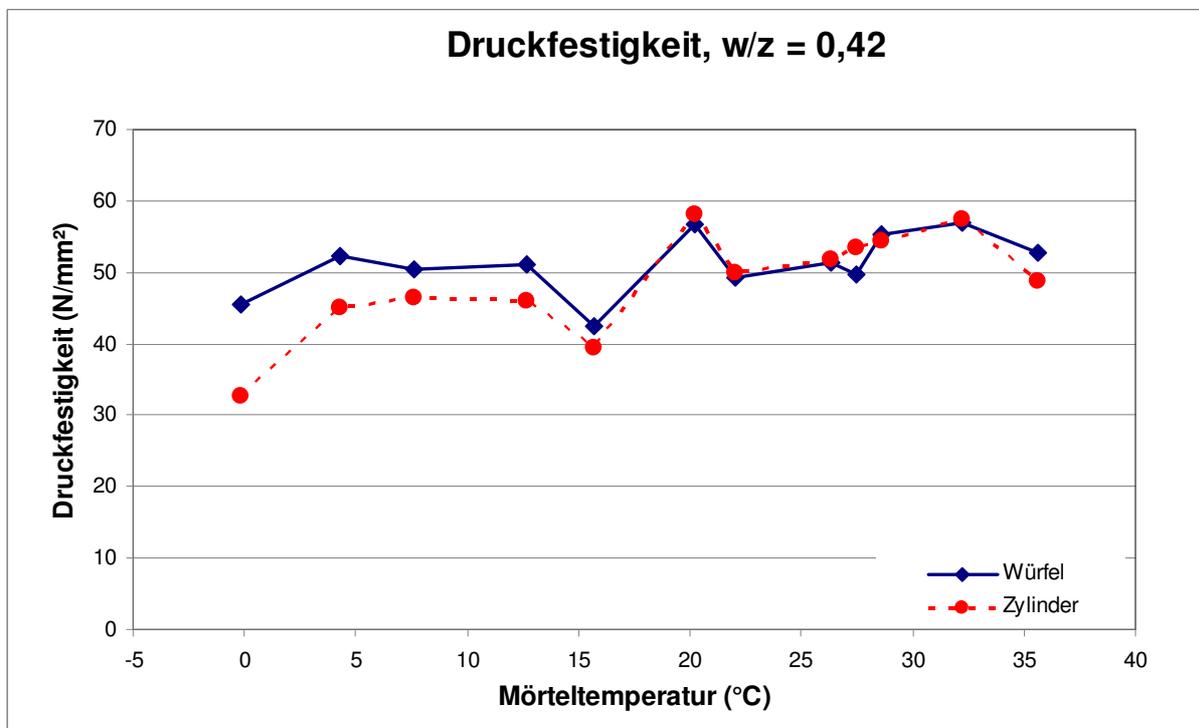
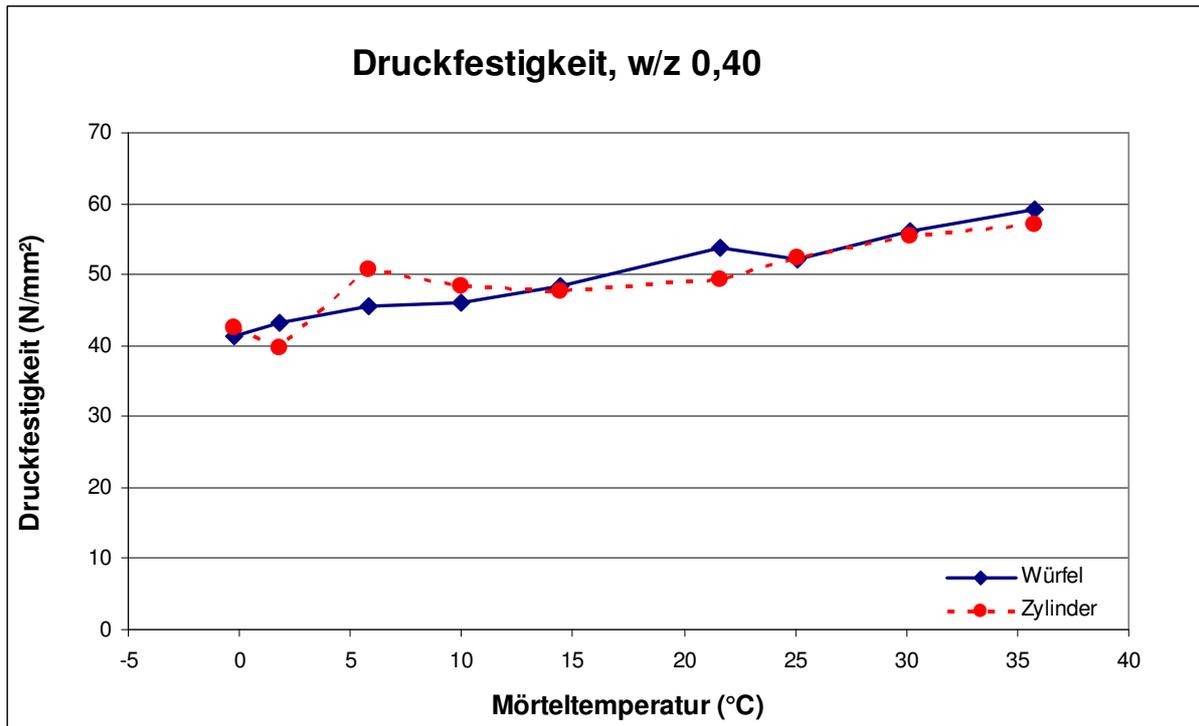
### IV.3 Eintauchzeit und Auslaufzeit, w/z-Wert =0,40



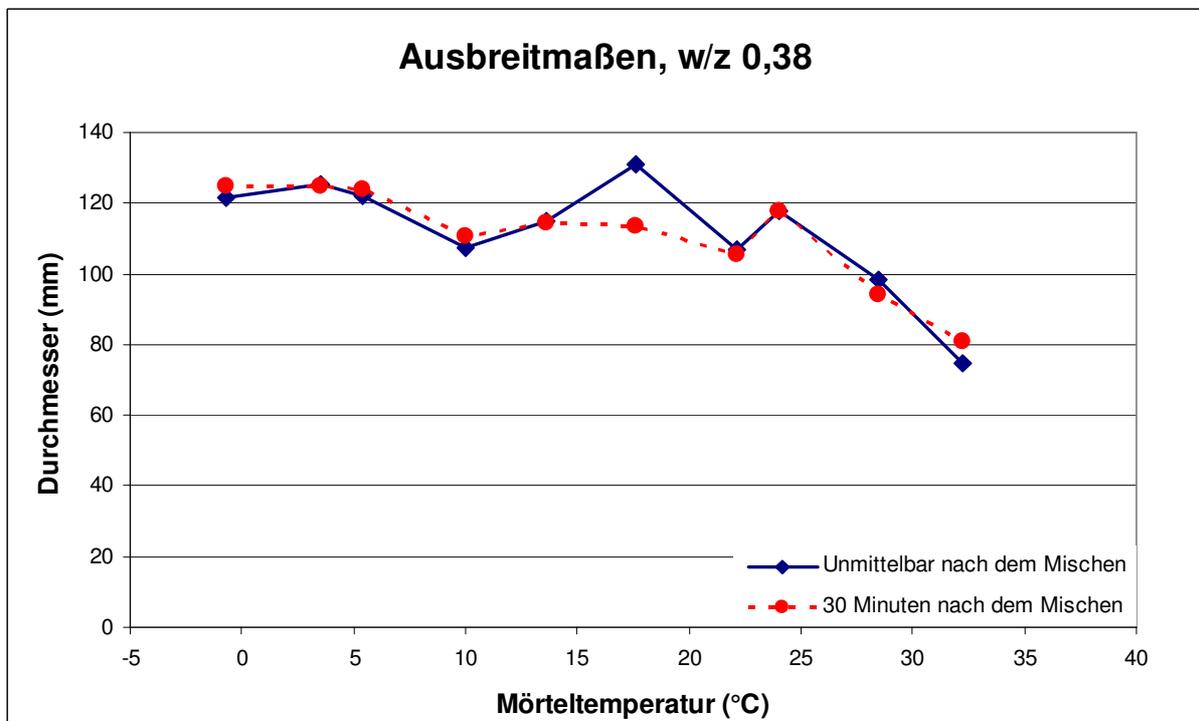
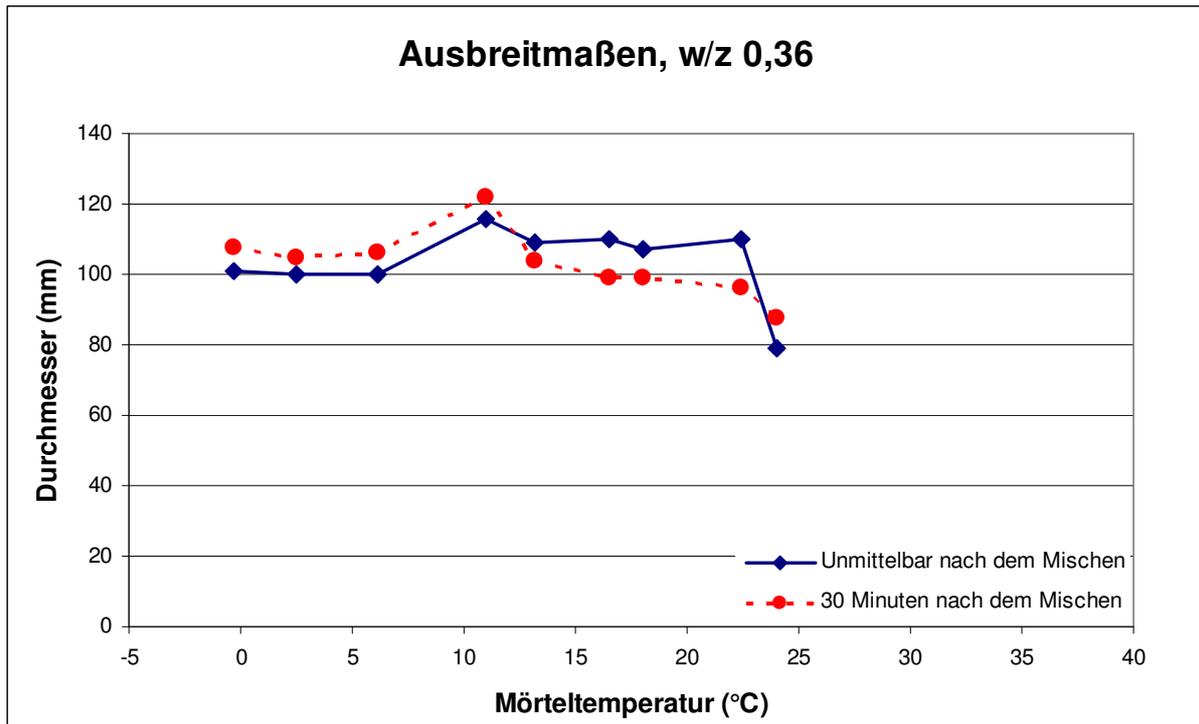
#### IV.4 Eintauchzeit und Auslaufzeit, w/z-Wert =0,42



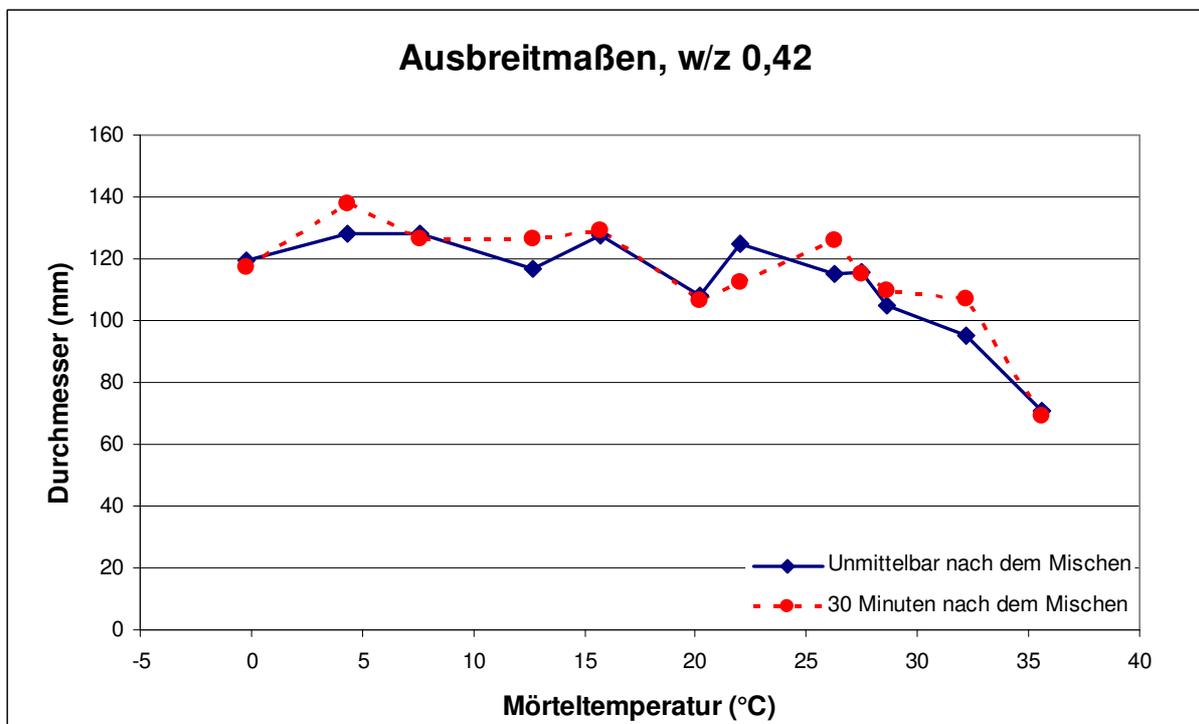
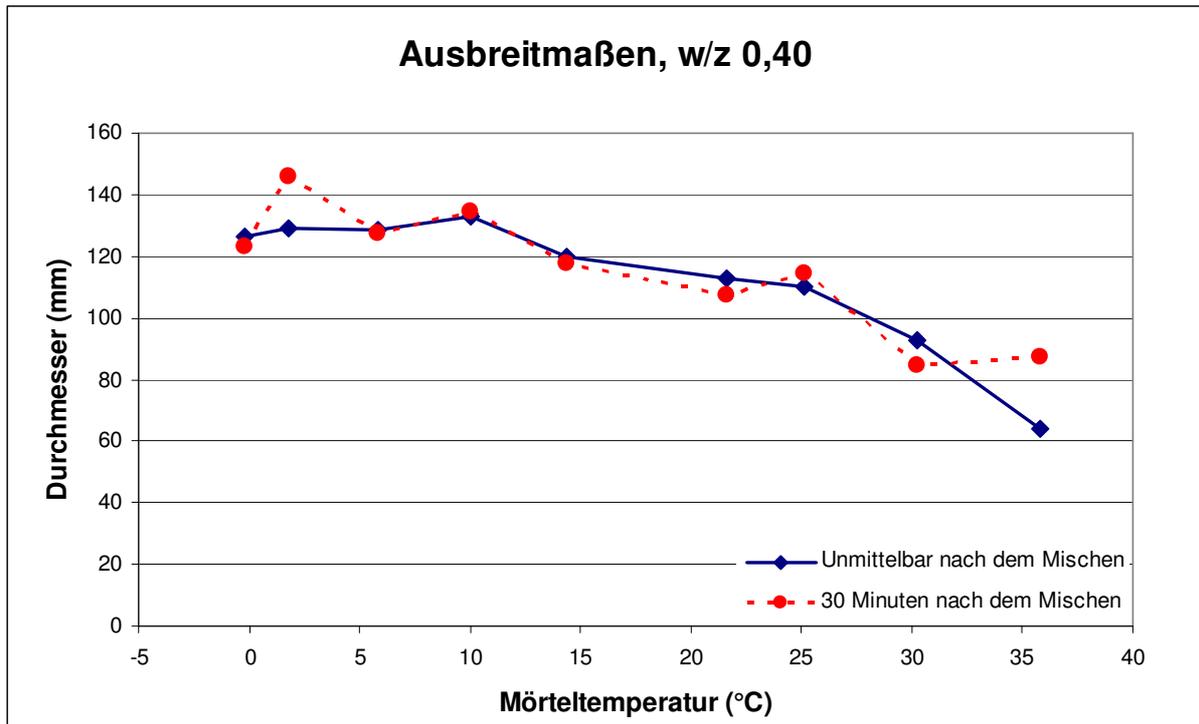
**IV.5 Druckfestigkeit, w/z- Wert = 0,36-0,38**

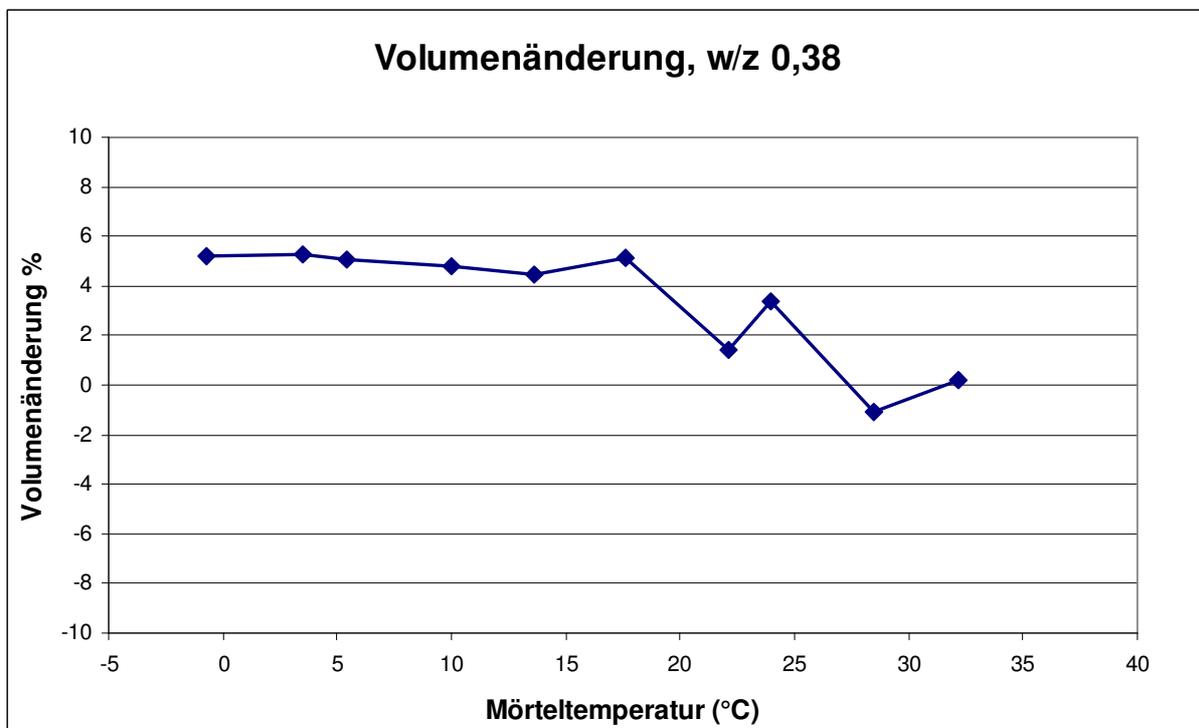
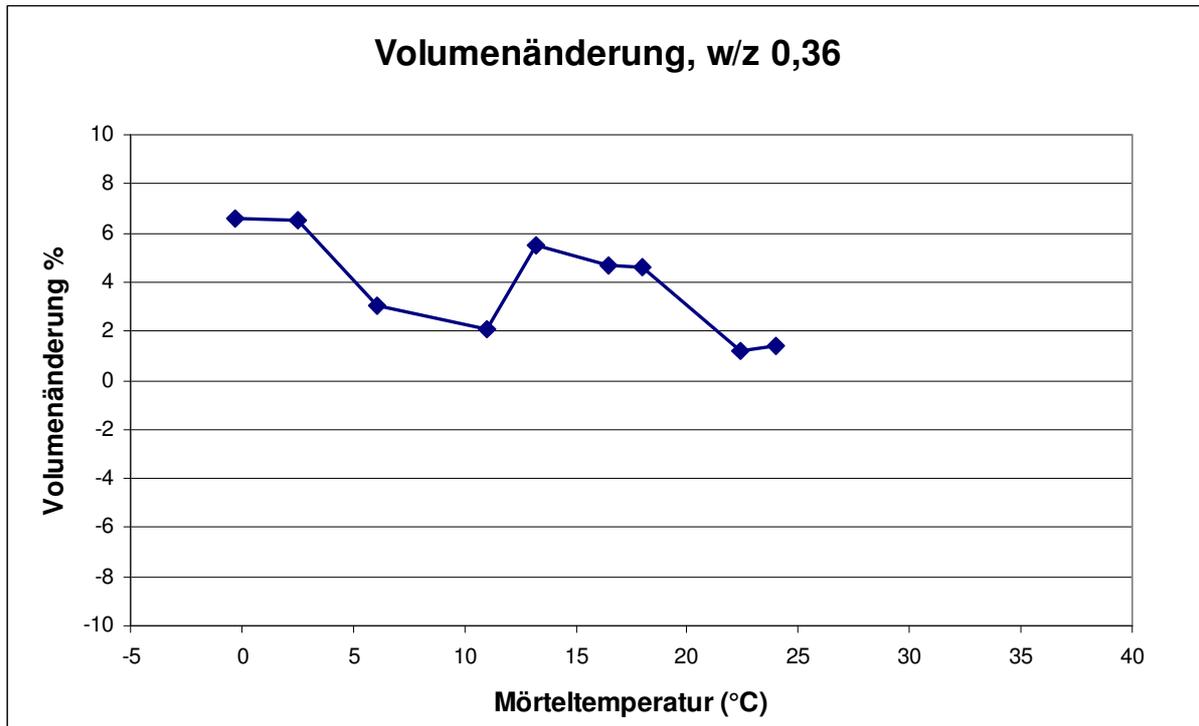
**IV.6 Druckfestigkeit, w/z- Wert = 0,40-0,42**

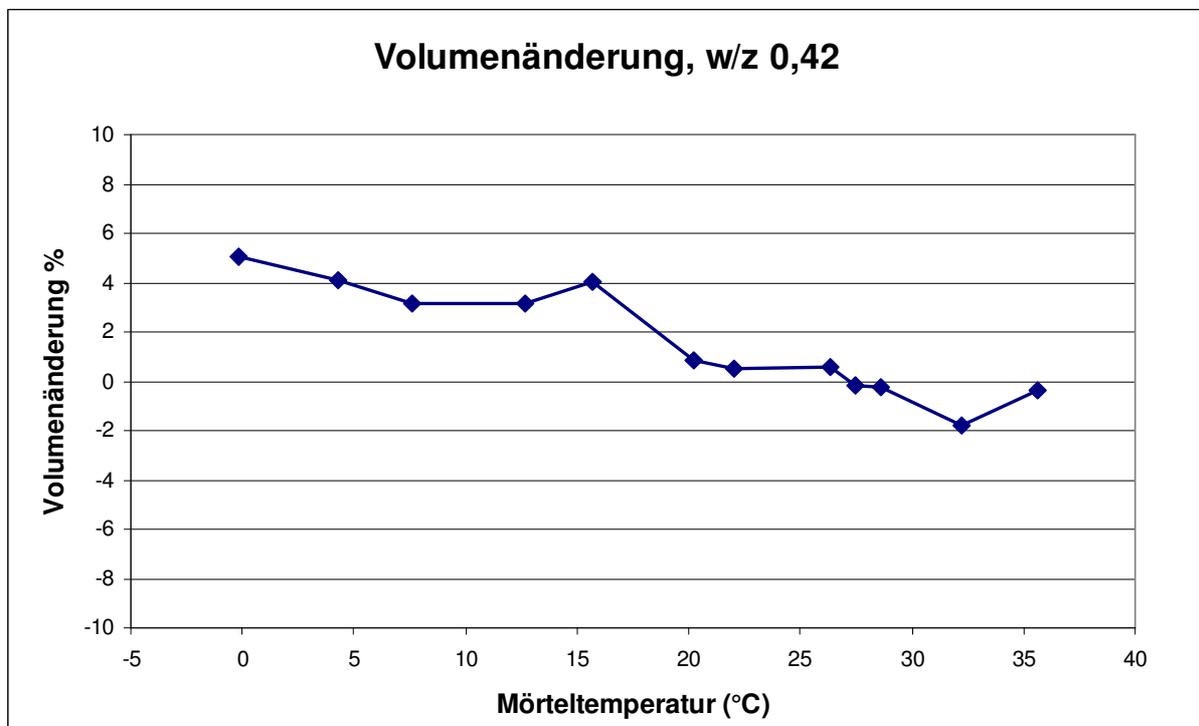
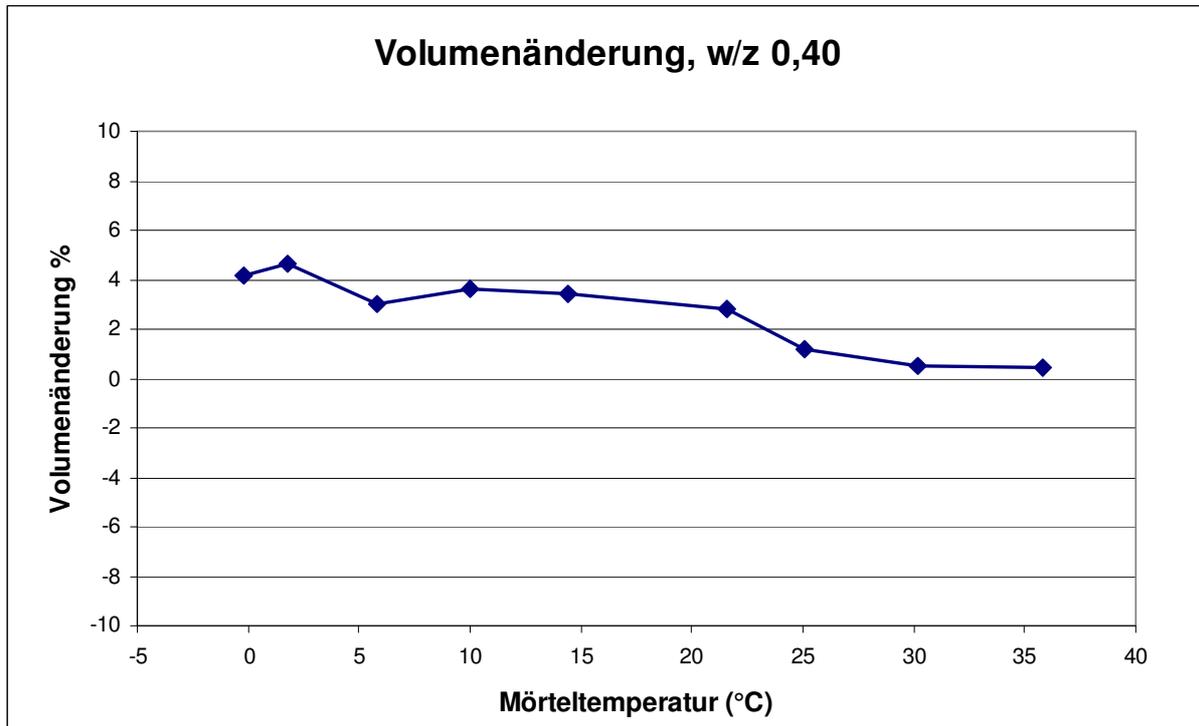
### IV.7 Ausbreitmaßen, w/z-Wert = 0,36-0,38



### IV.8 Ausbreitmaßen, w/z-Wert = 0,40-0,42

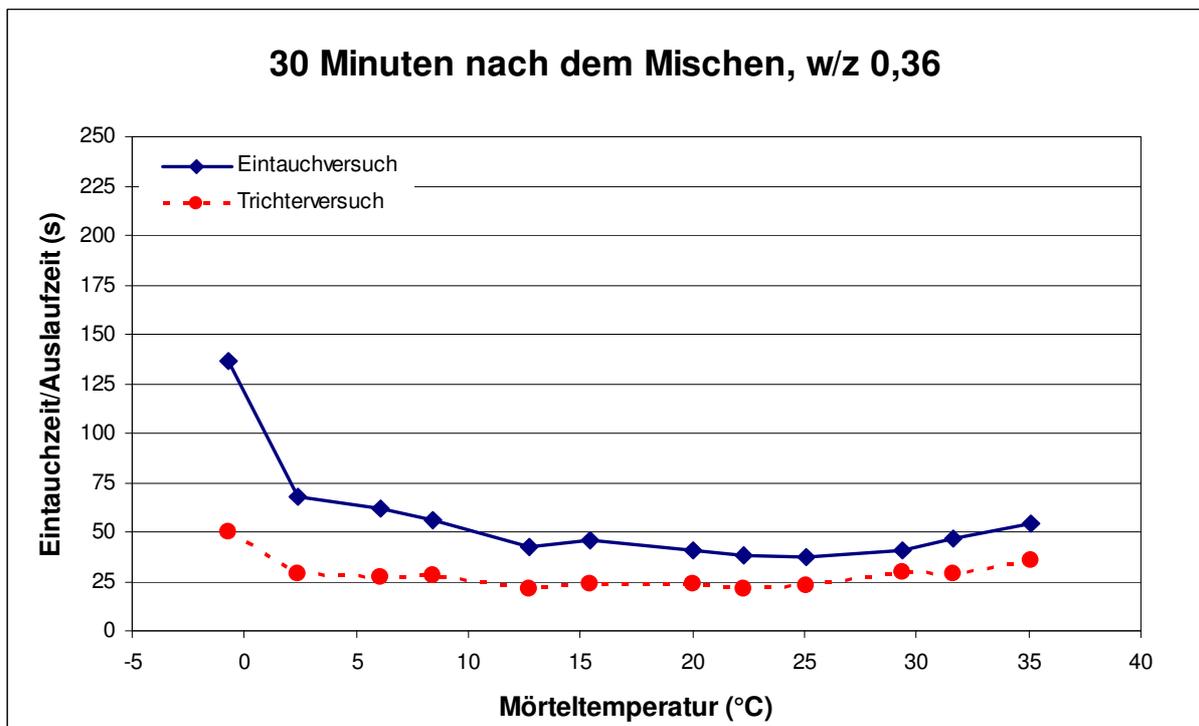
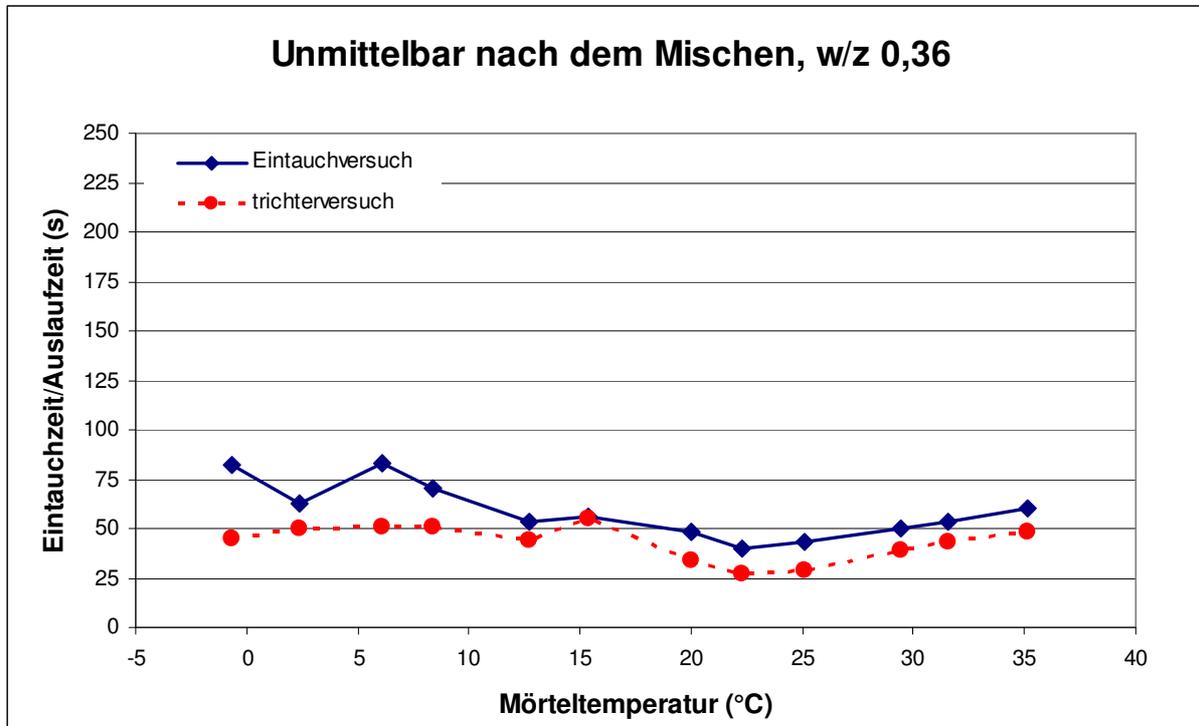


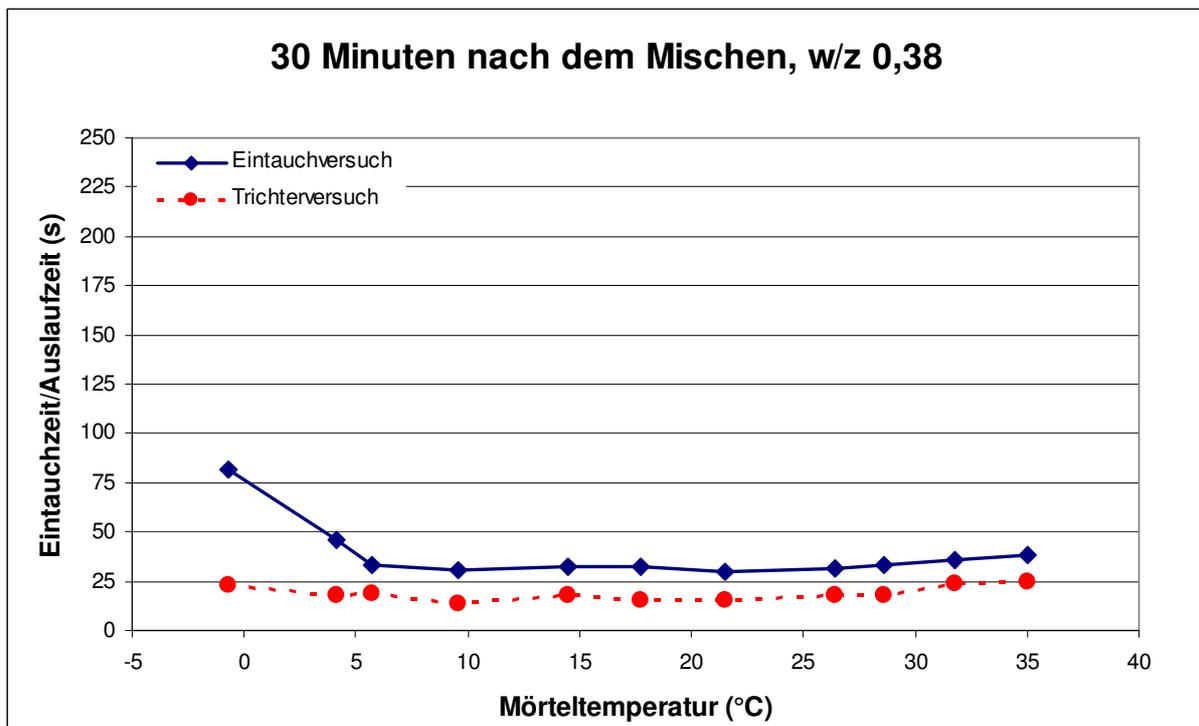
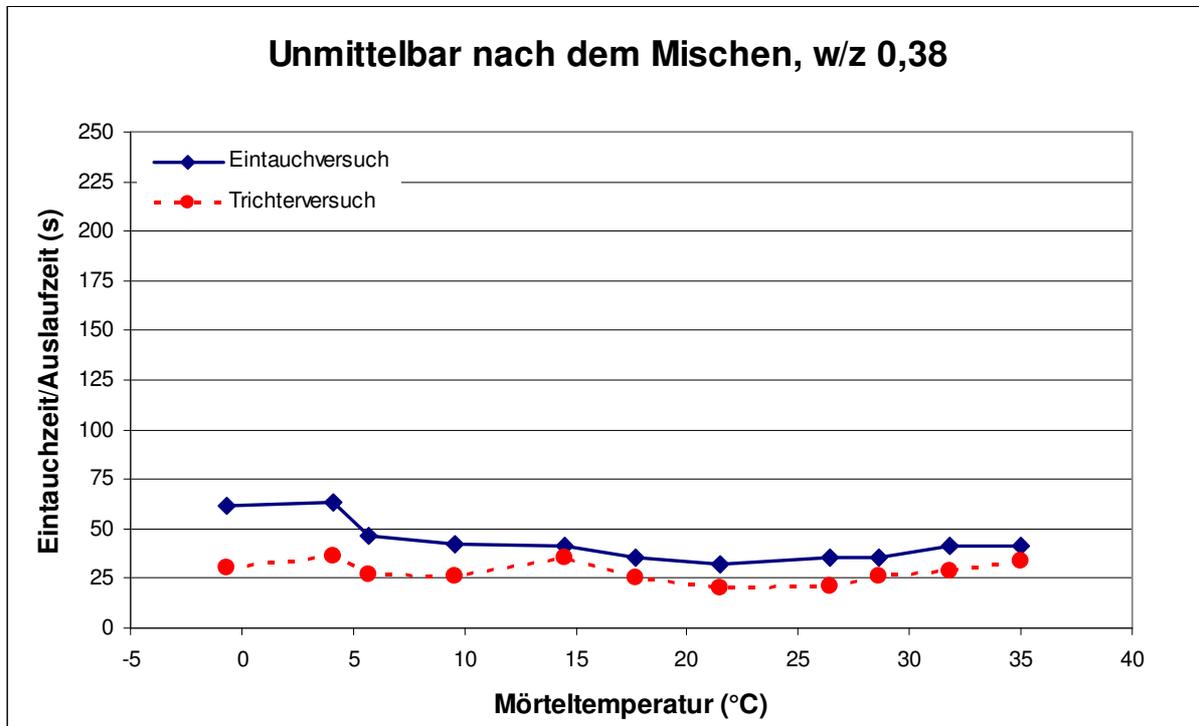
**IV.9 Volumenänderung, w/z-Wert = 0,36-0,38**

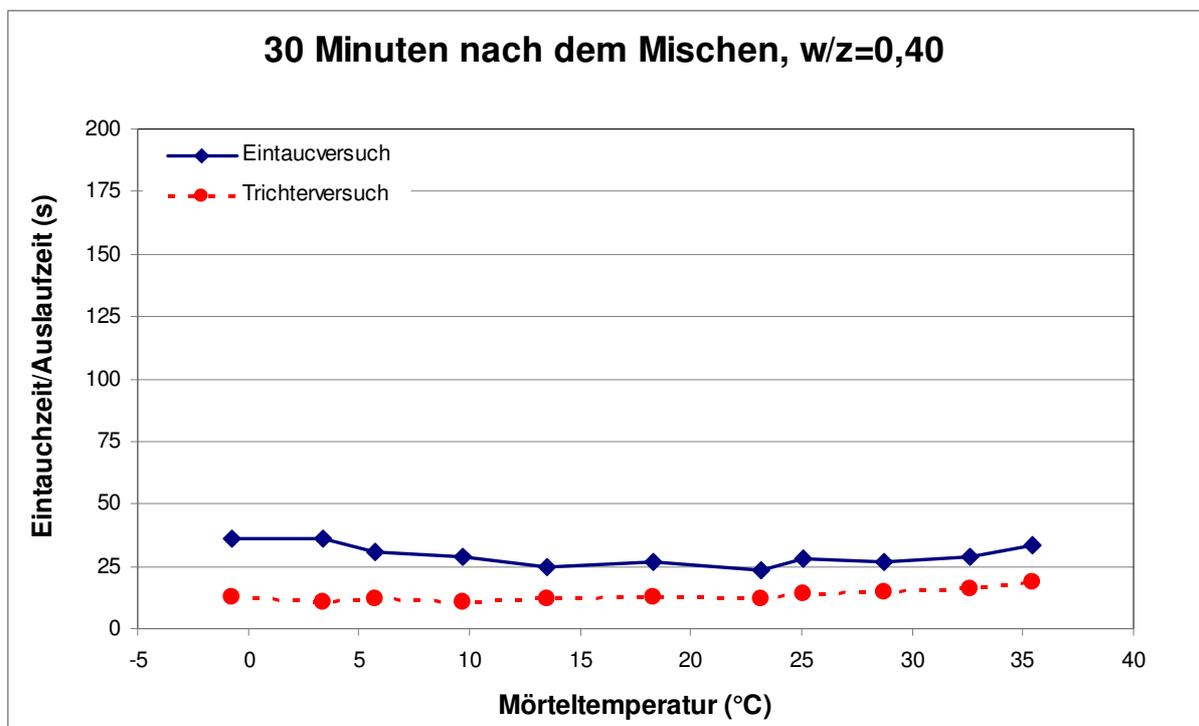
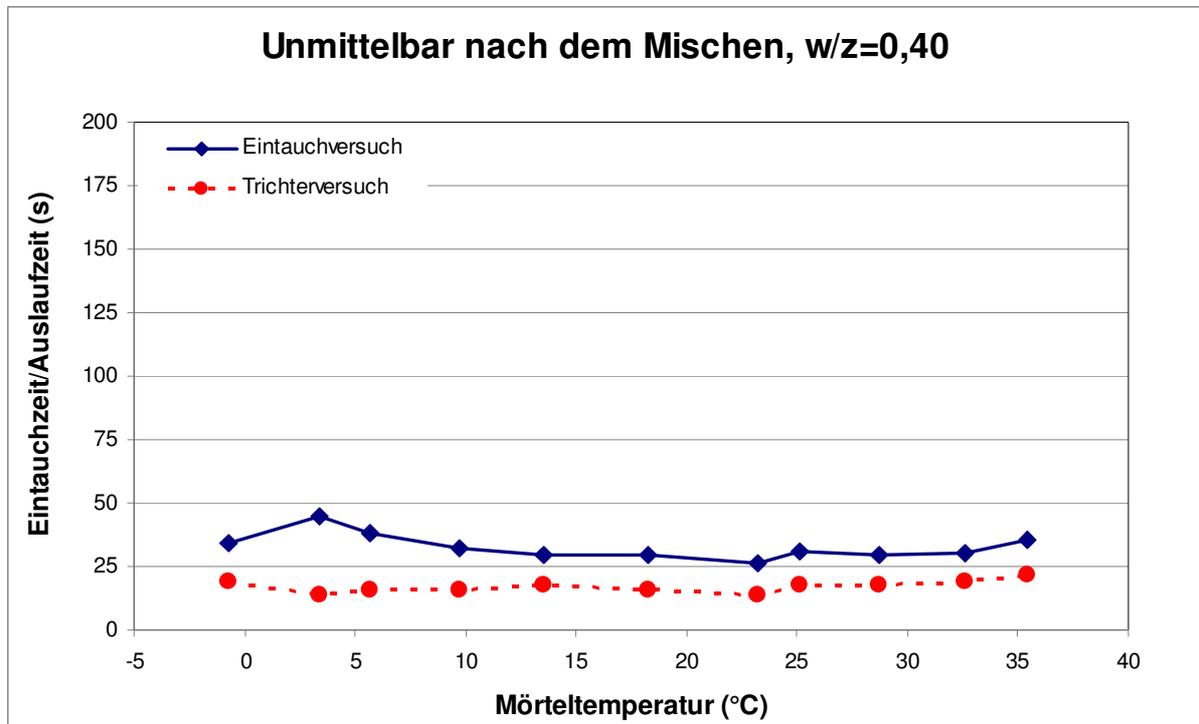
**IV.10 Volumenänderung, w/z-Wert = 0,40-0,42**

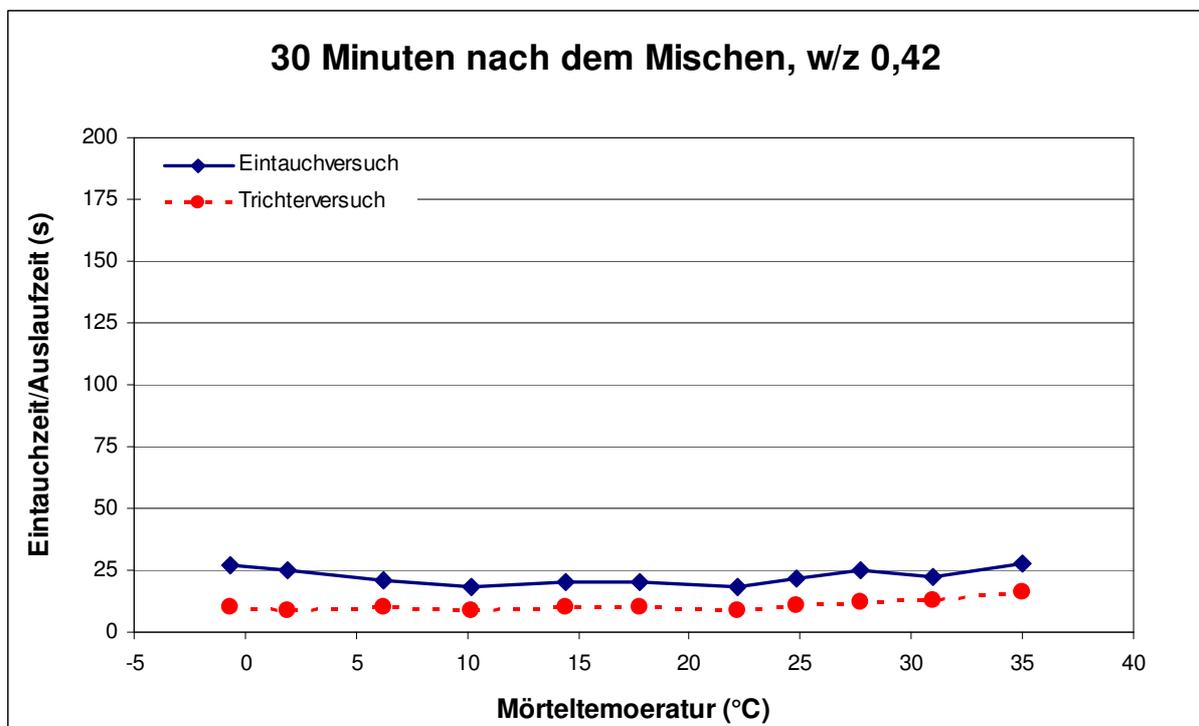
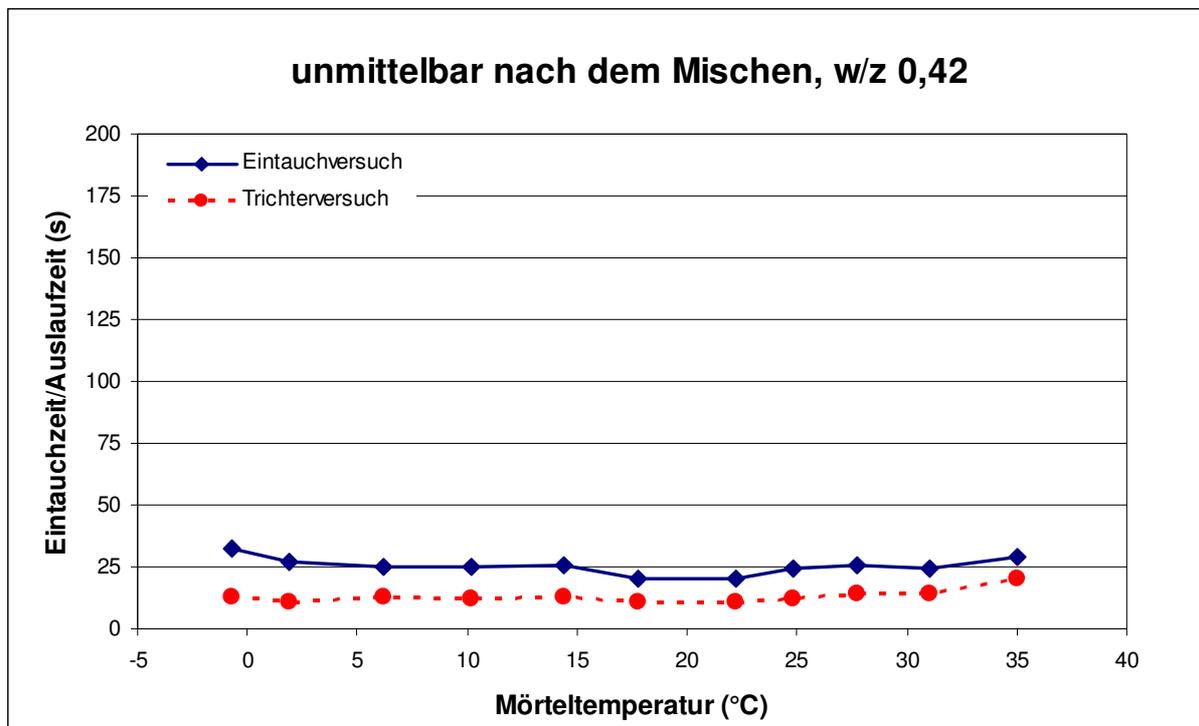
## V. Ergebnisse, CEM I 42,5 R mit MC-Einpresshilfe

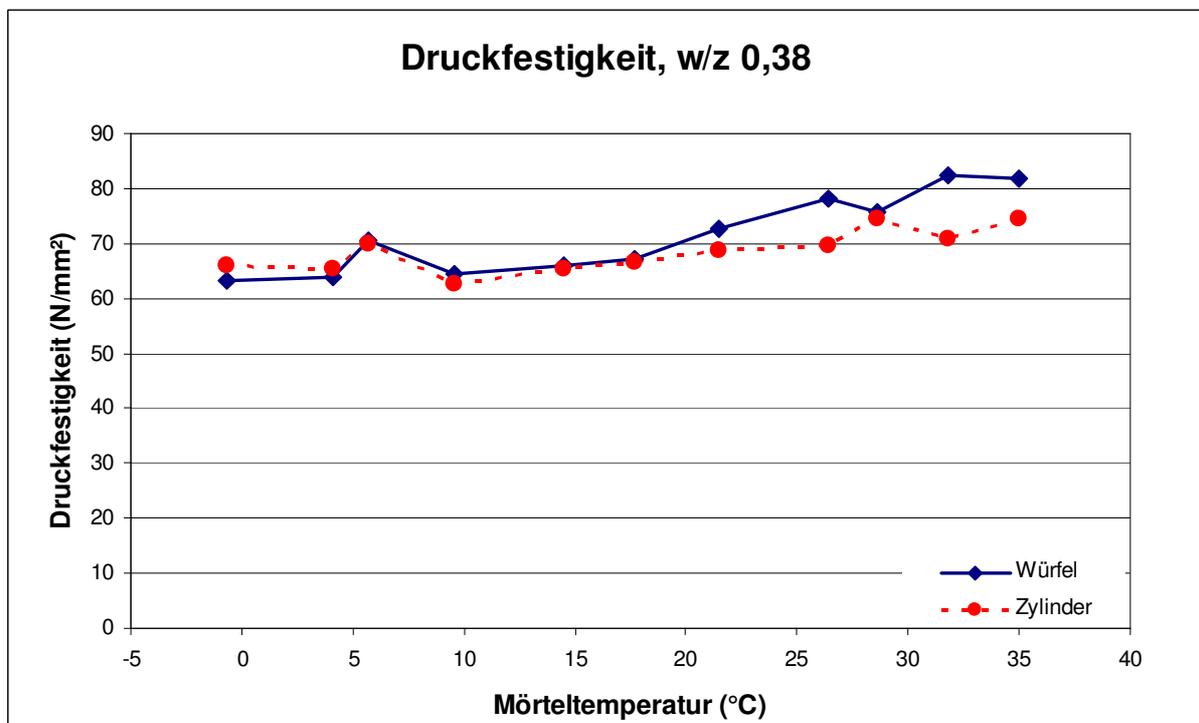
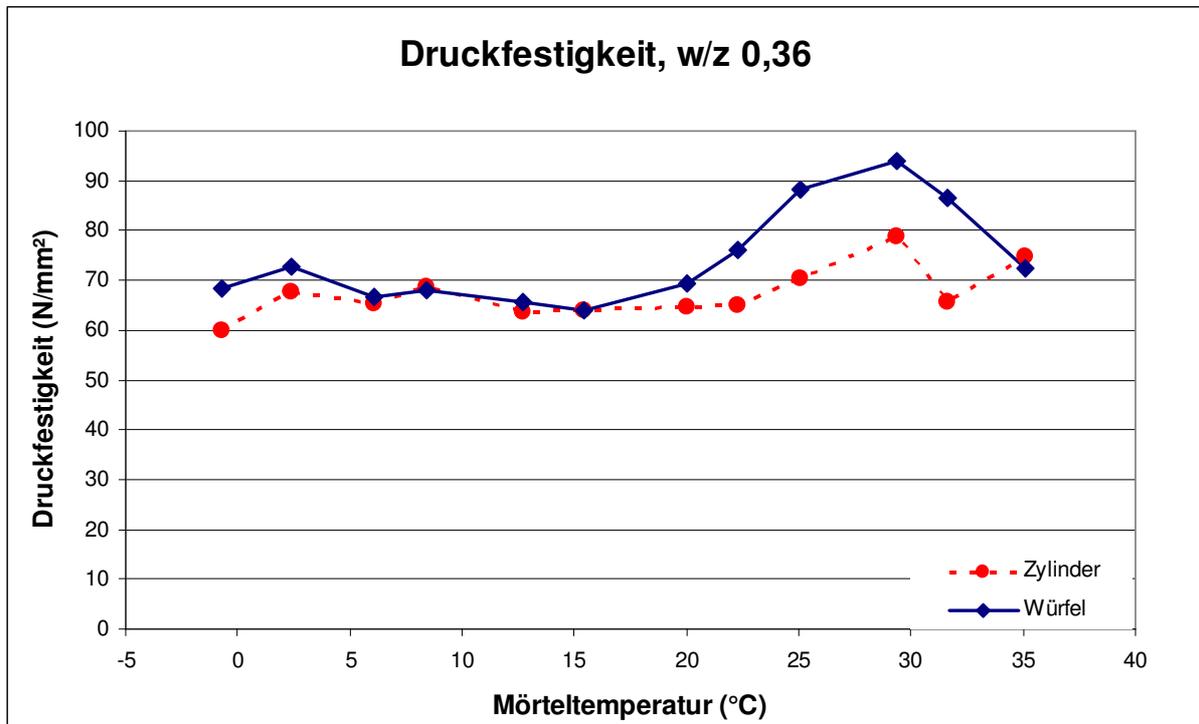
### V.1 Eintauchzeit und Auslaufzeit, w/z-Wert = 0,36

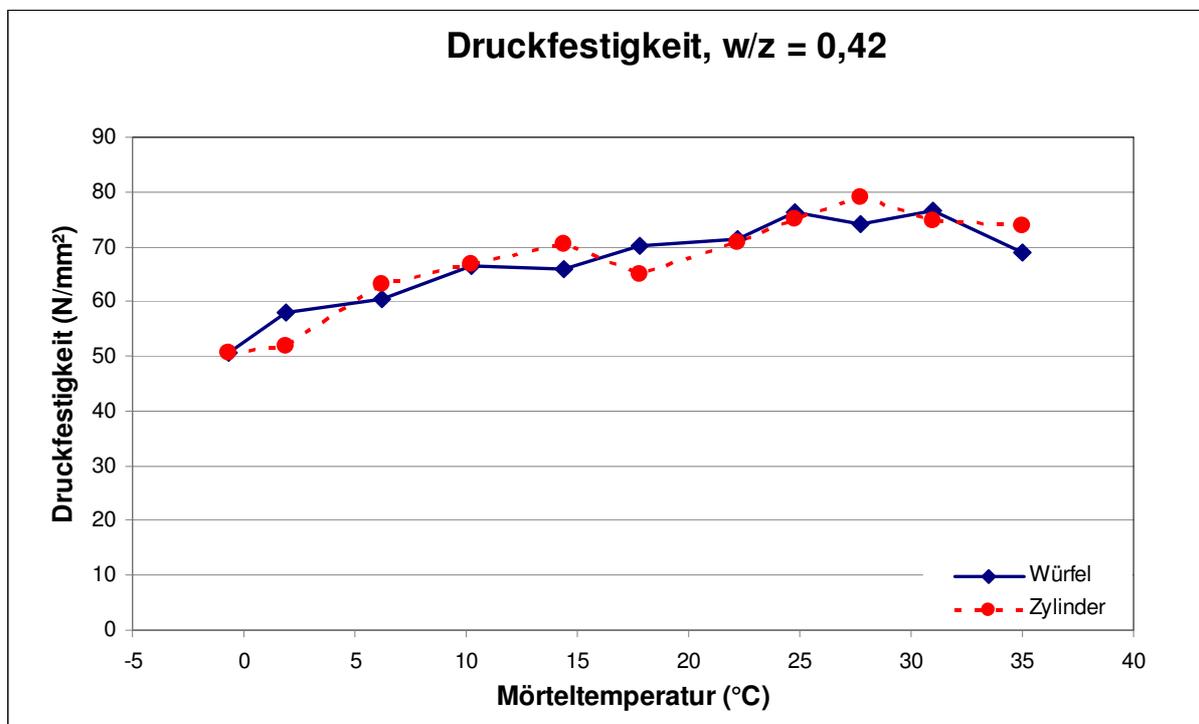
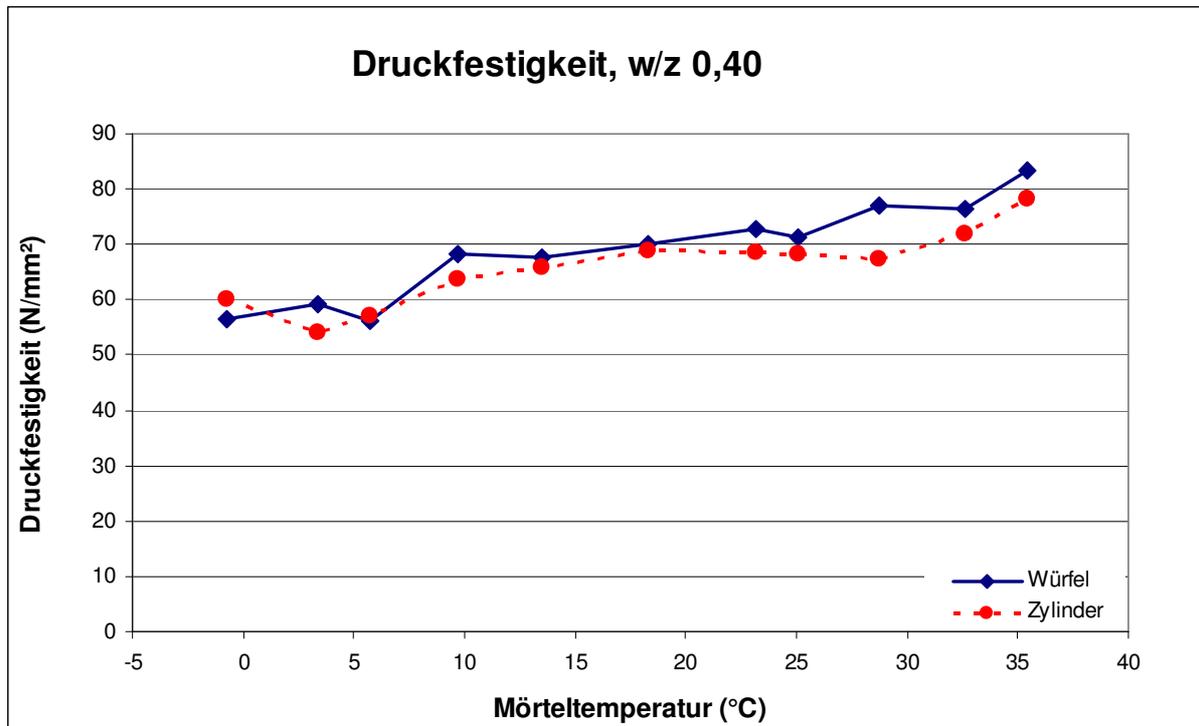


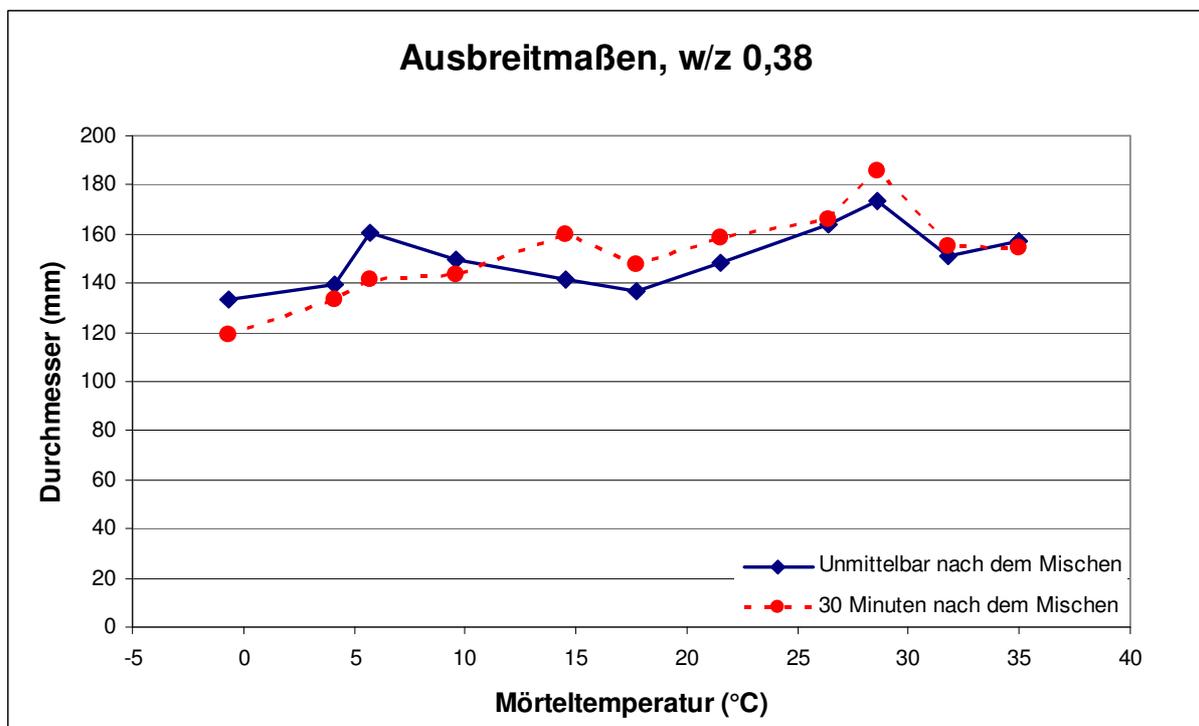
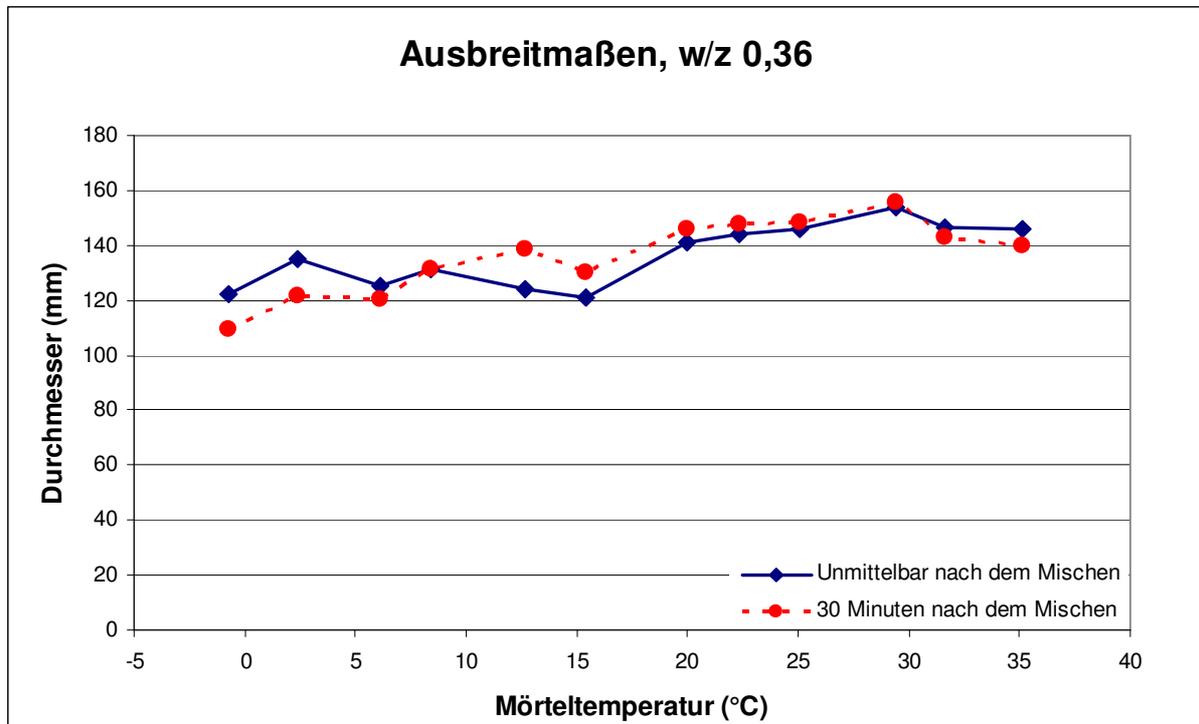
**V.2 Eintauchzeit und Auslaufzeit, w/z-Wert = 0,38**

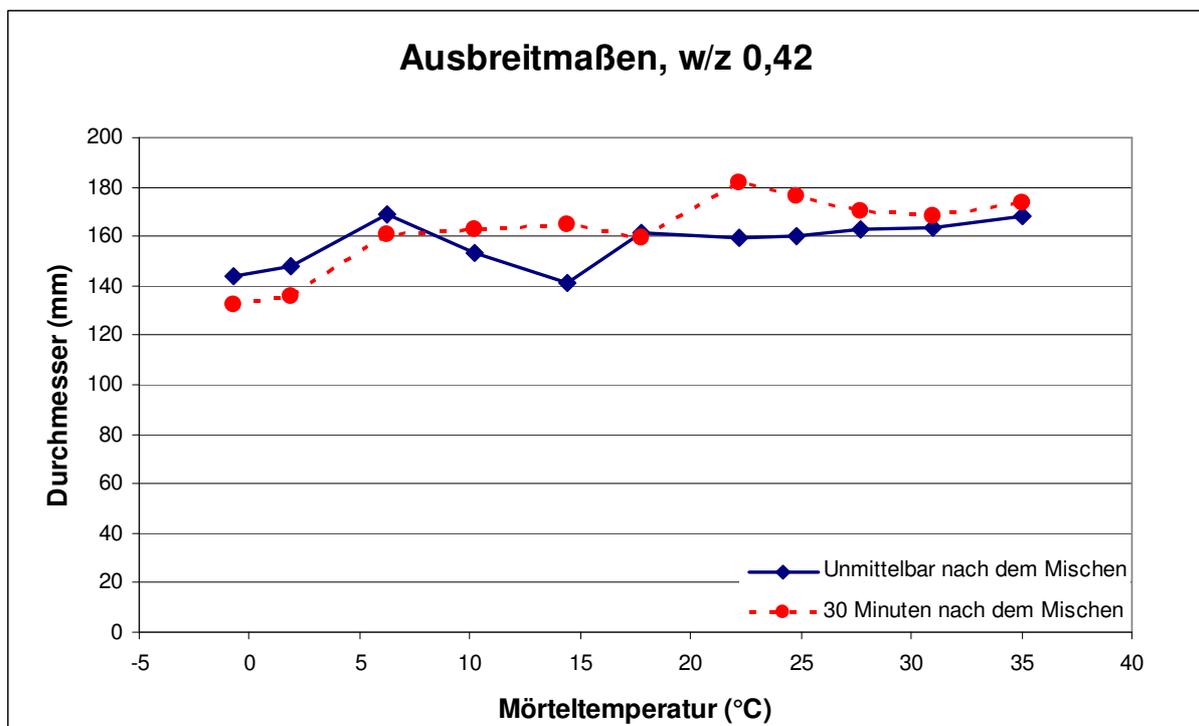
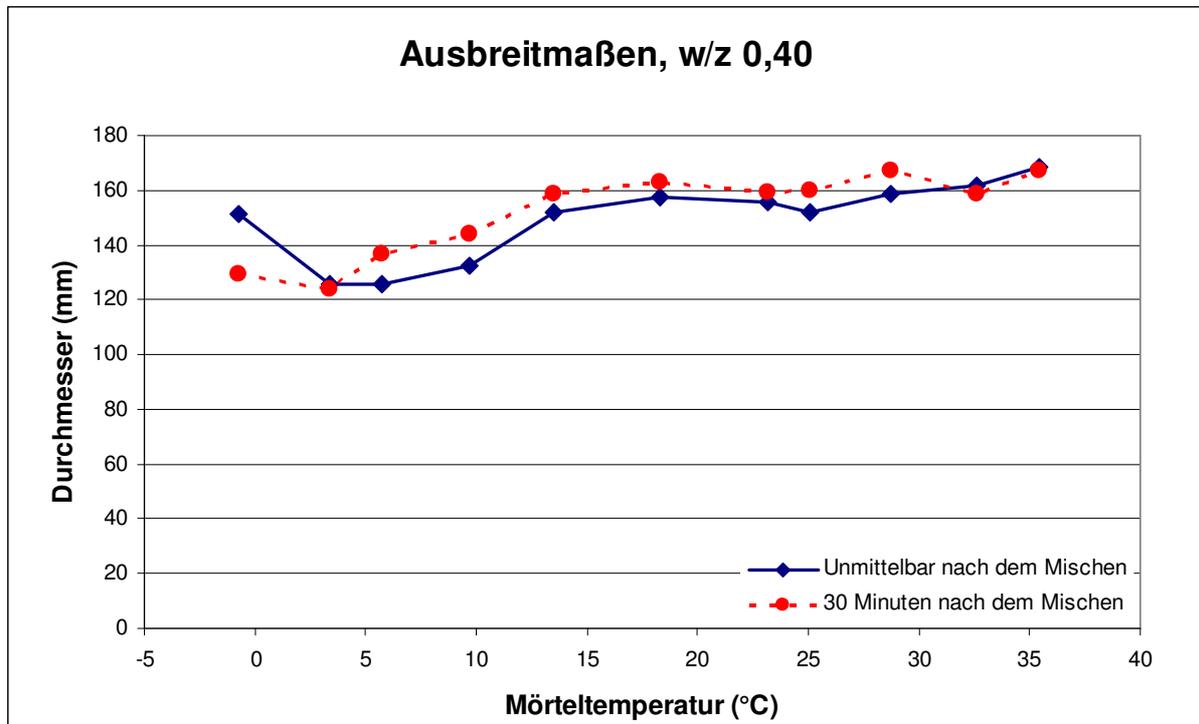
**V.3 Eintauchzeit und Auslaufzeit, w/z-Wert =0,40**

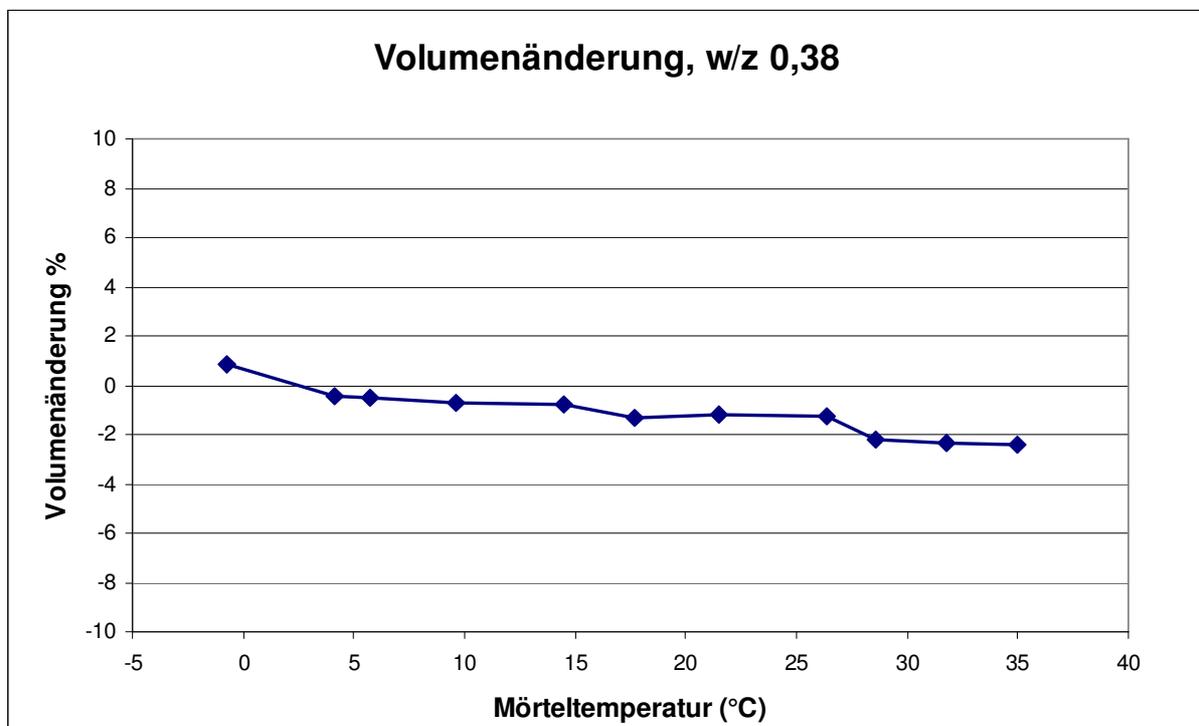
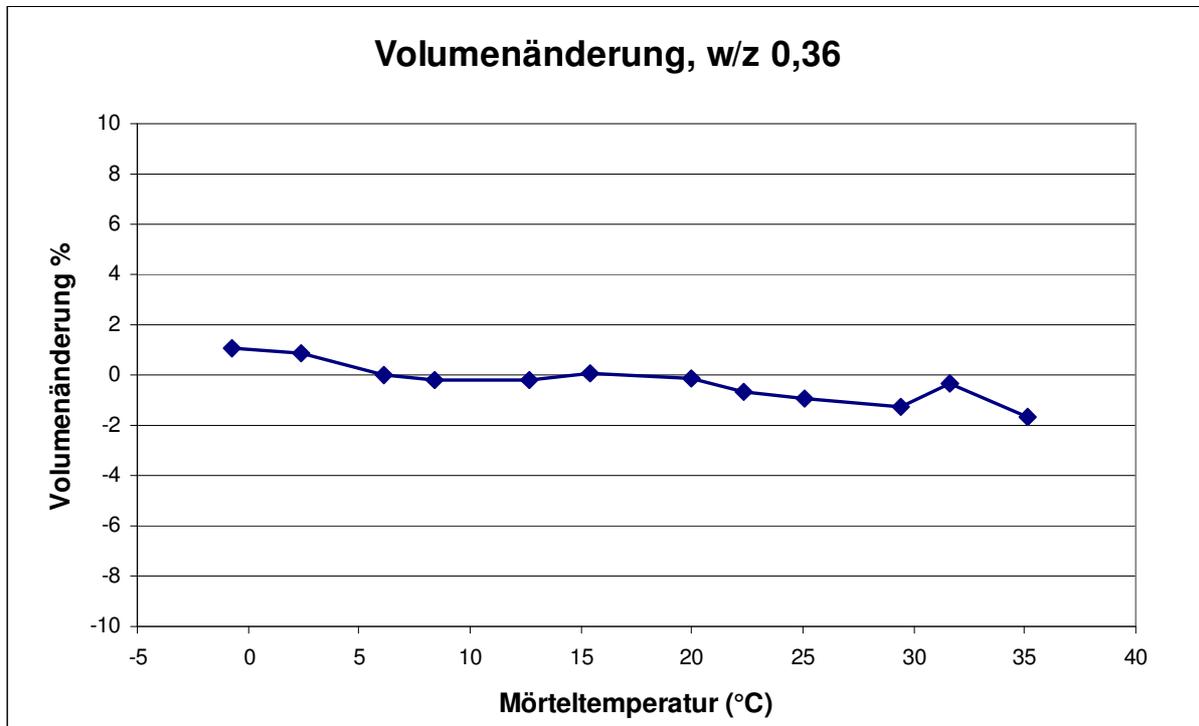
**V.4 Eintauchzeit und Auslaufzeit, w/z-Wert = 0,42**

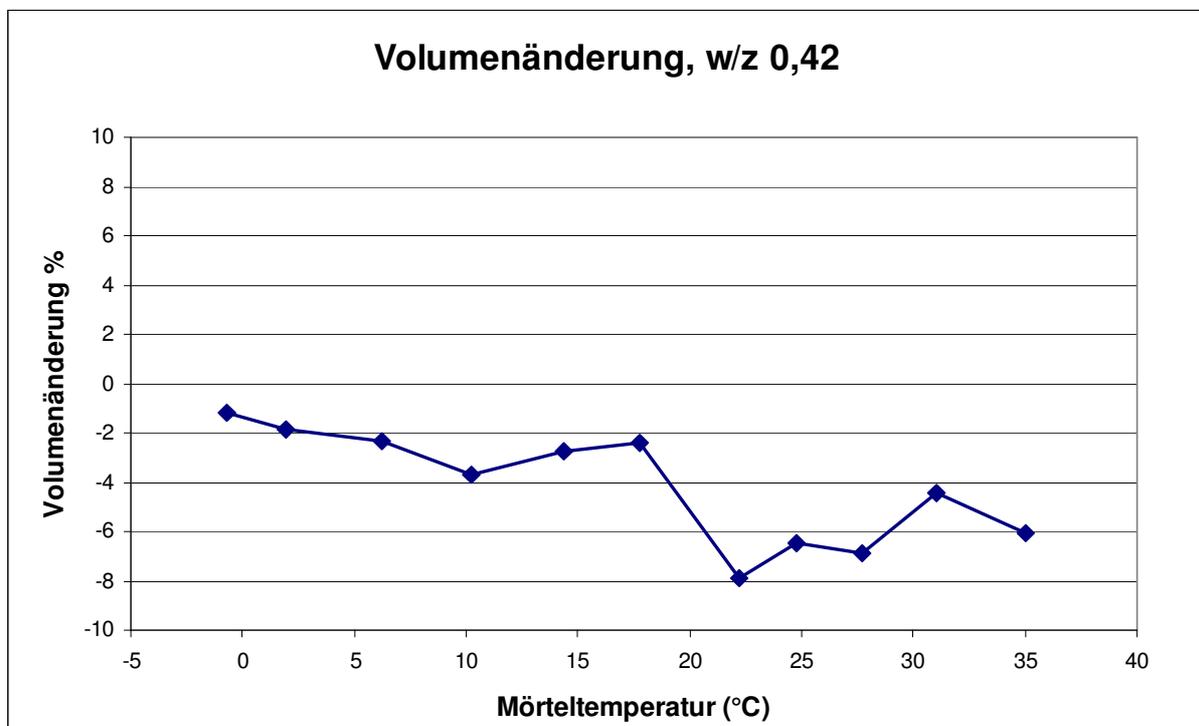
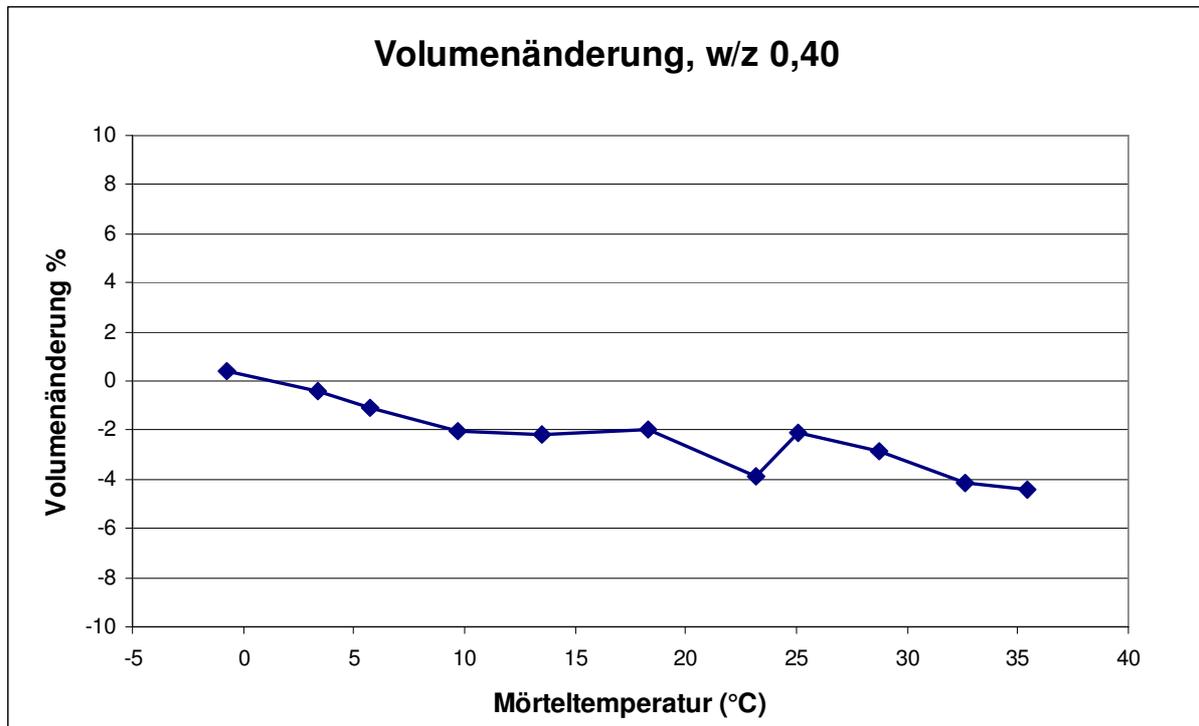
**V.5 Druckfestigkeit, w/z- Wert = 0,36-0,38**

**V.6 Druckfestigkeit, w/z- Wert = 0,40-0,42**

**V.7 Ausbreitmaßen, w/z-Wert = 0,36-0,38**

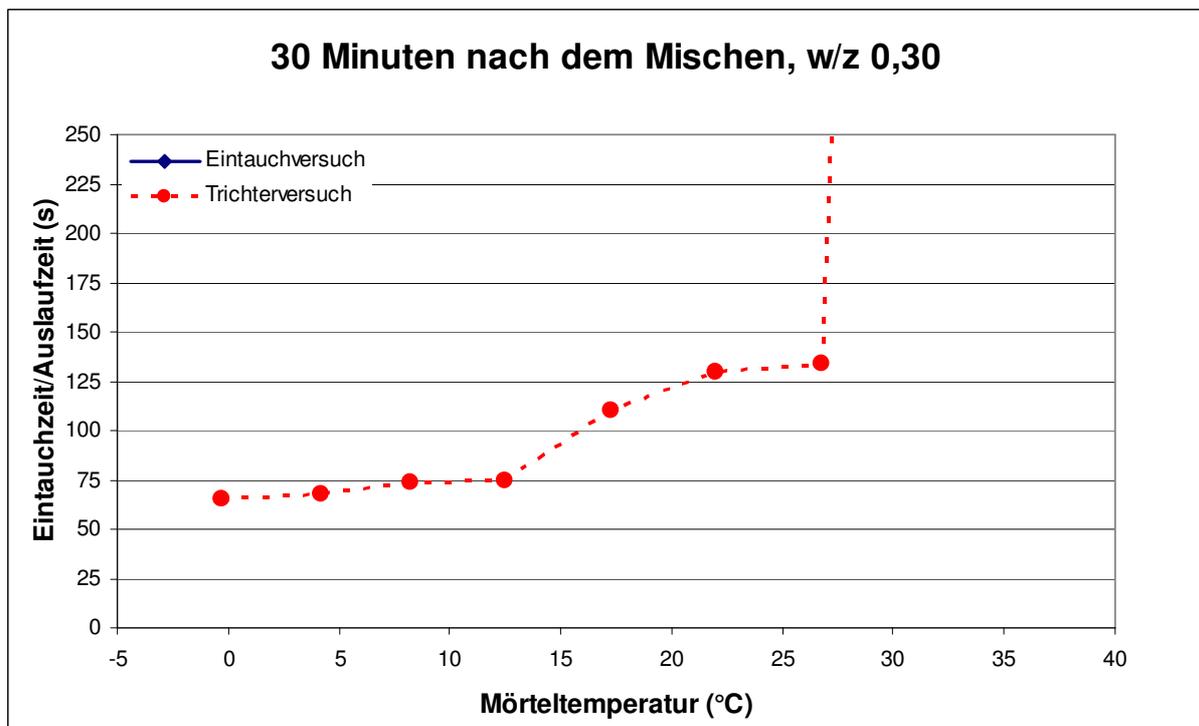
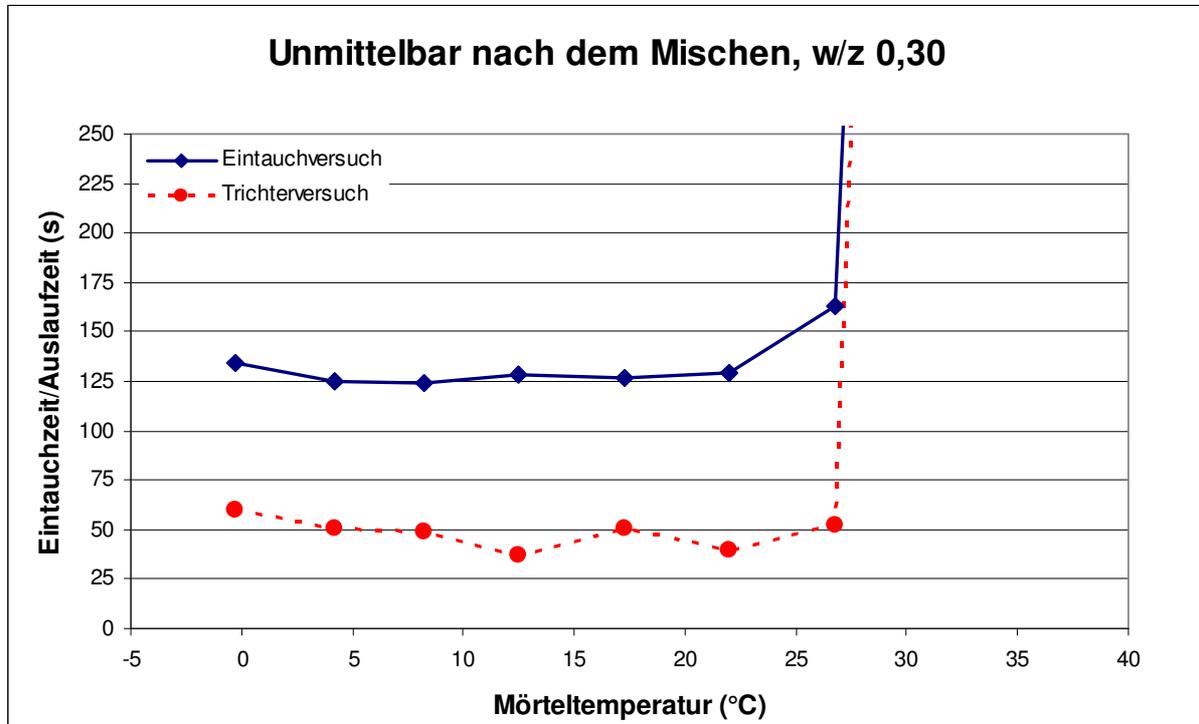
**V 8 Ausbreitmaßen, w/z-Wert = 0,40-0,42**

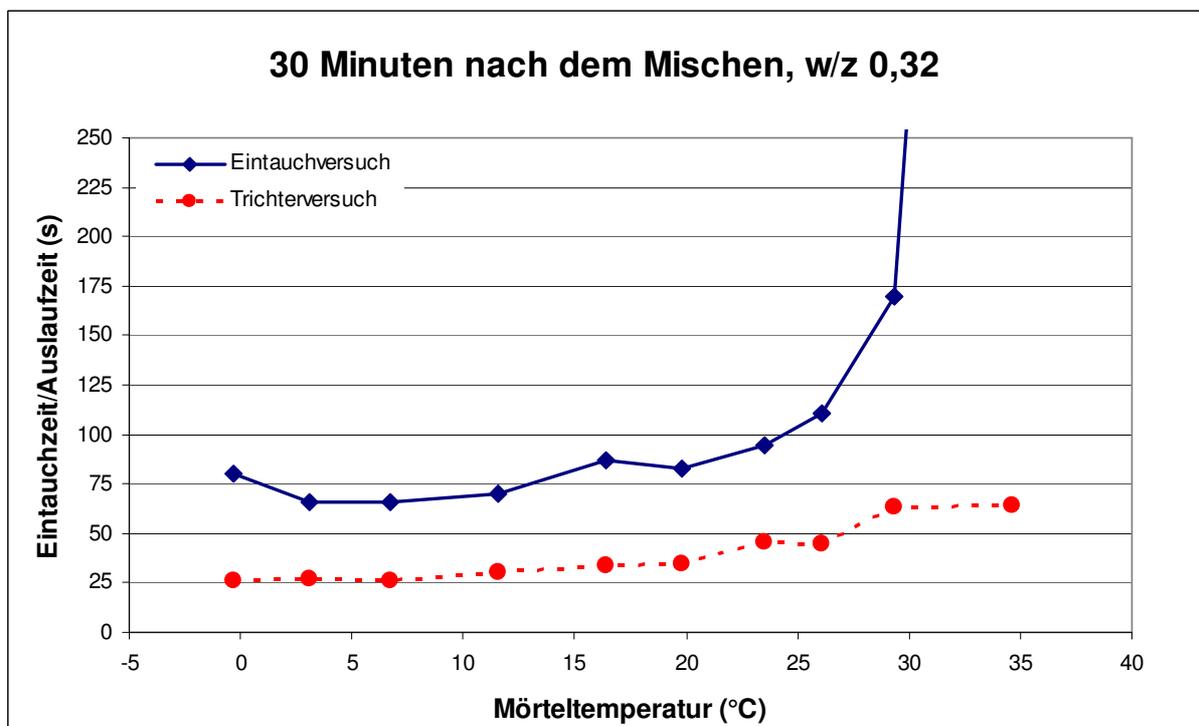
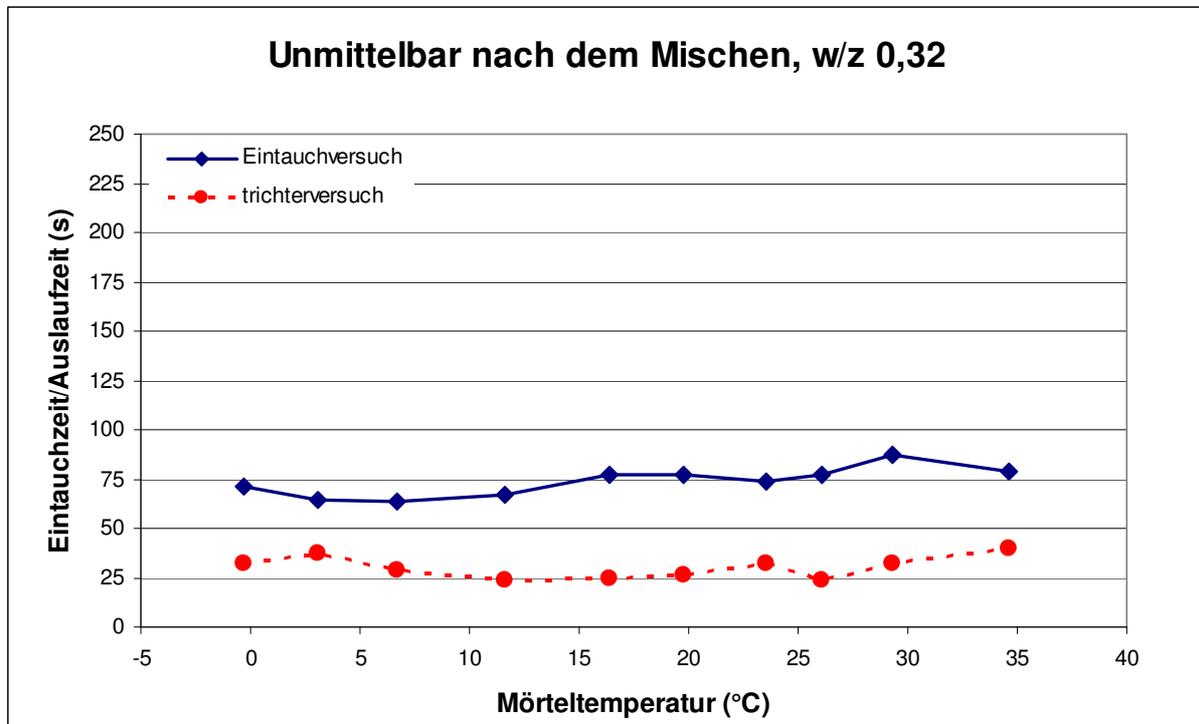
**V.9 Volumenänderung, w/z-Wert = 0,36-0,38**

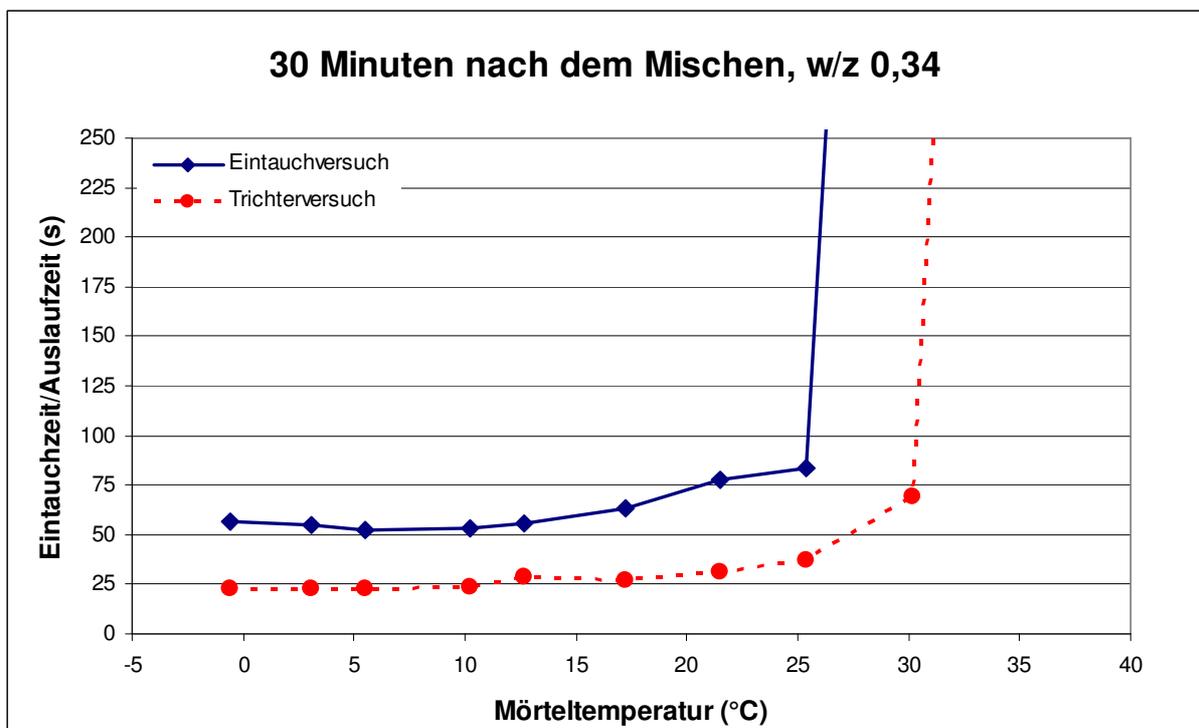
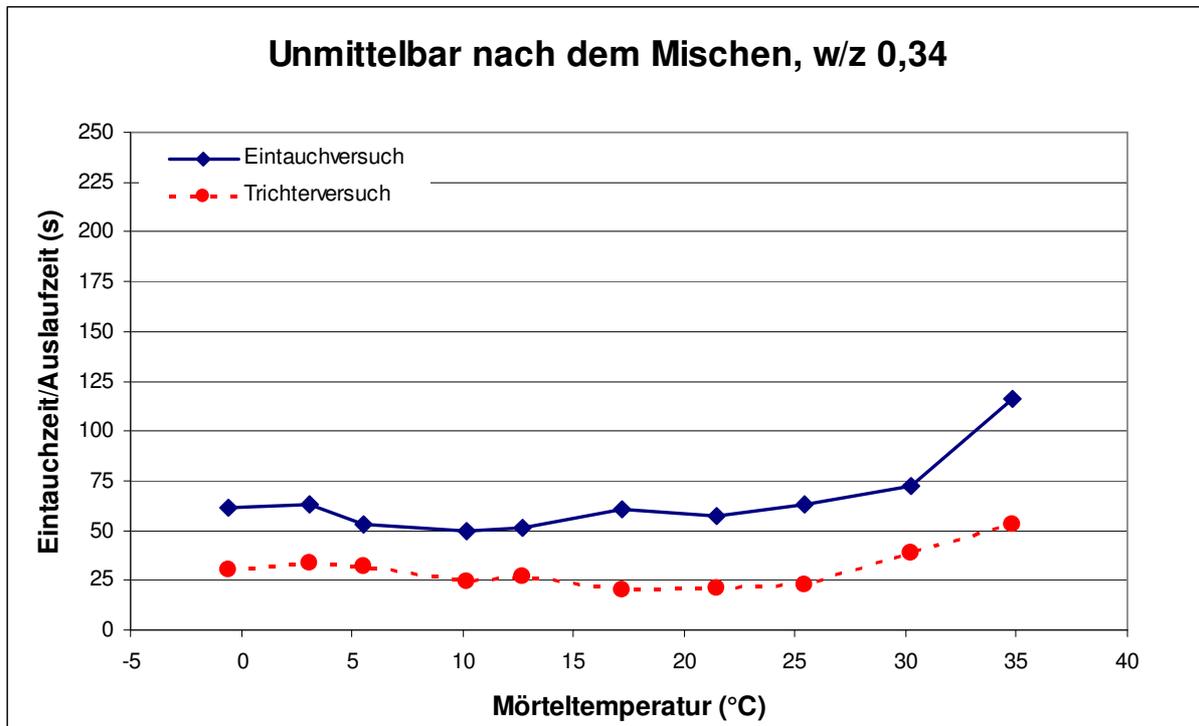
**V.10 Volumenänderung, w/z-Wert = 0,40-0,42**

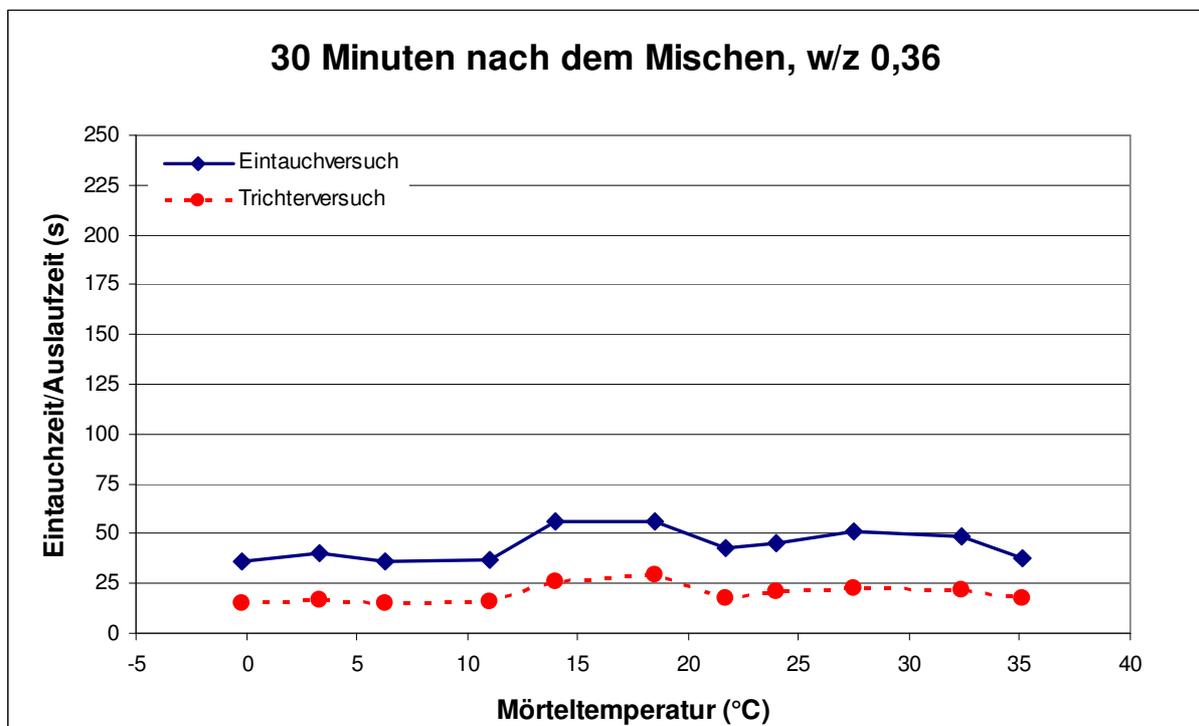
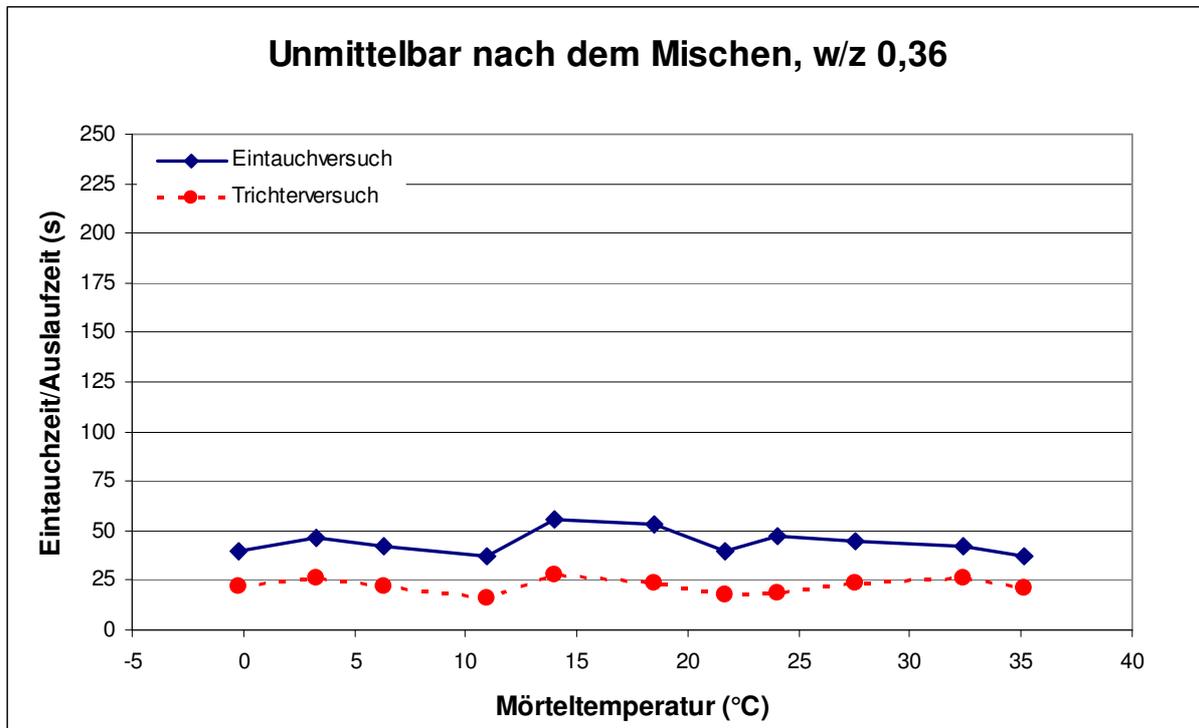
## VI. Ergebnisse, CEM I 42,5 R (ep) – rheoment

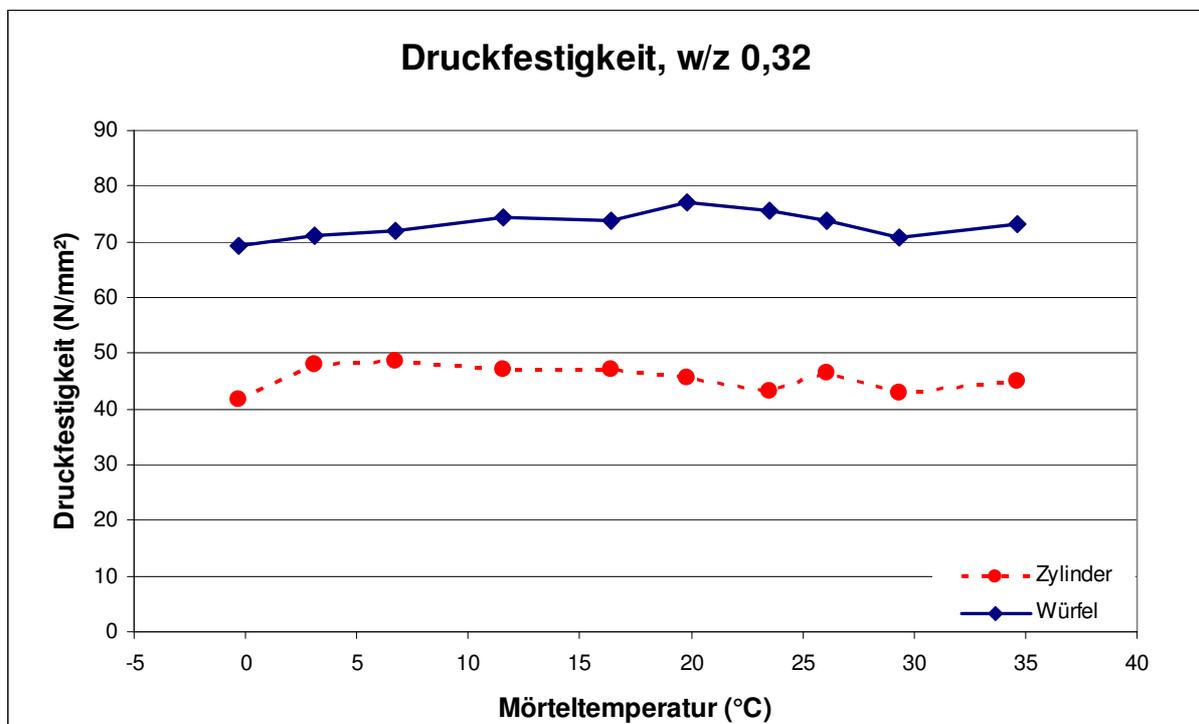
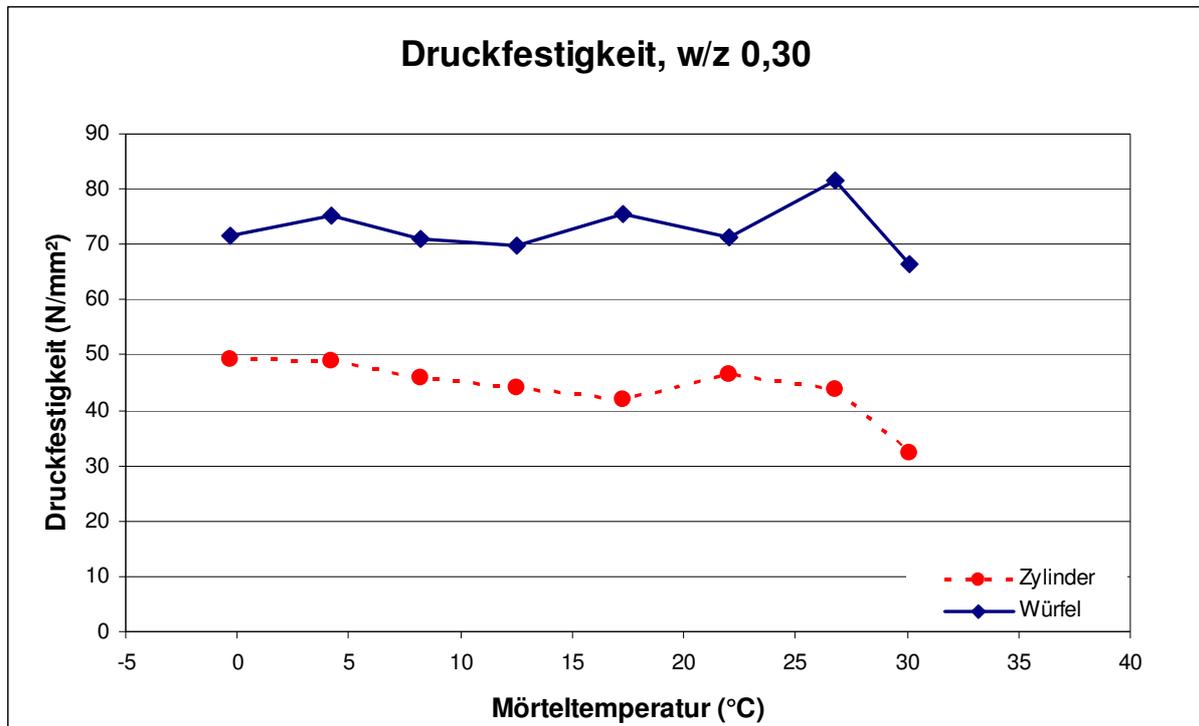
### VI.1 Eintauchzeit und Auslaufzeit, w/z-Wert = 0,30

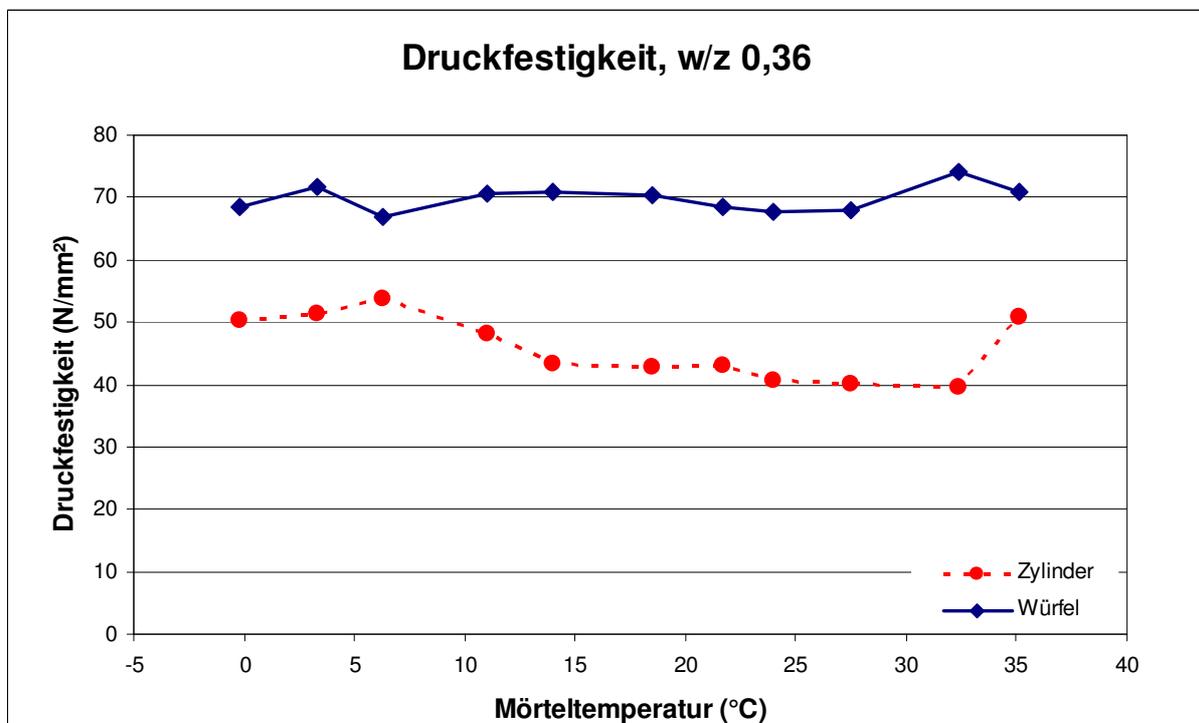
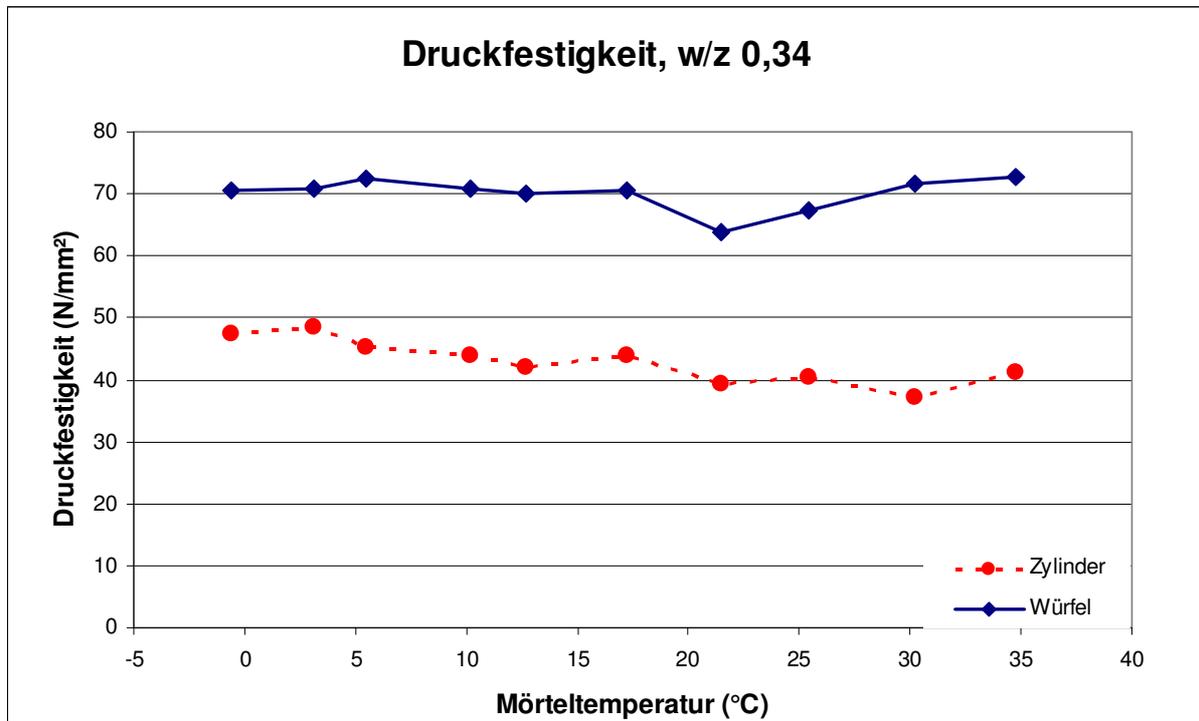


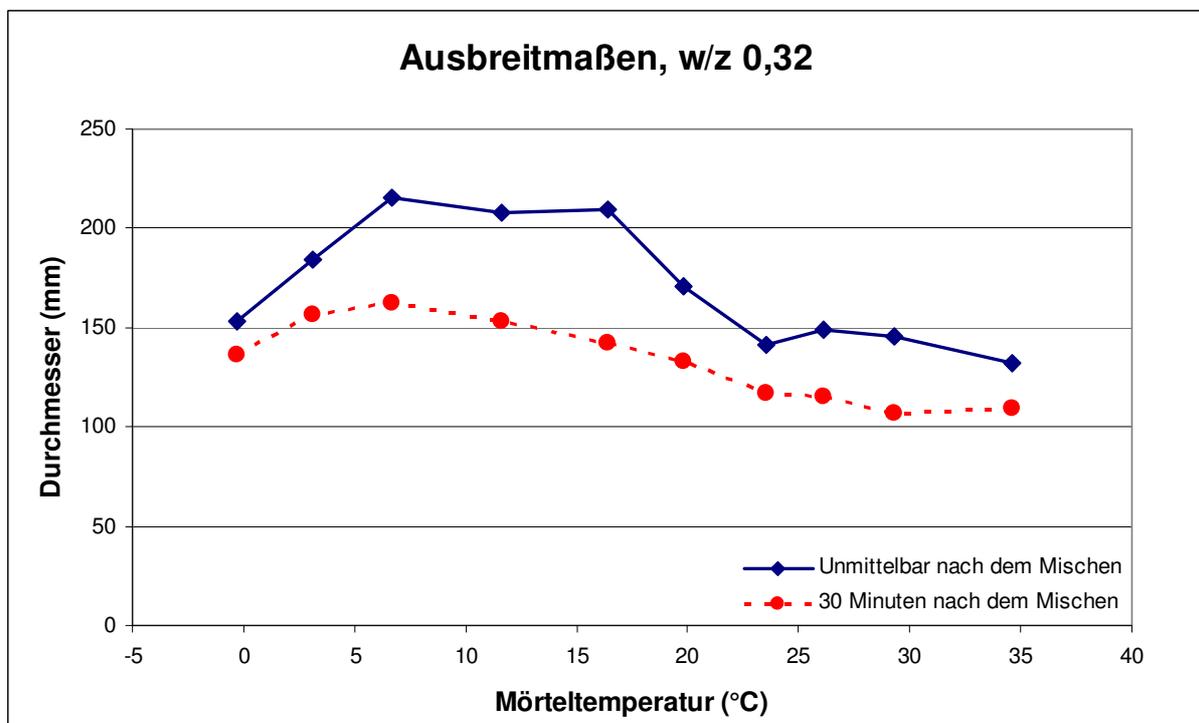
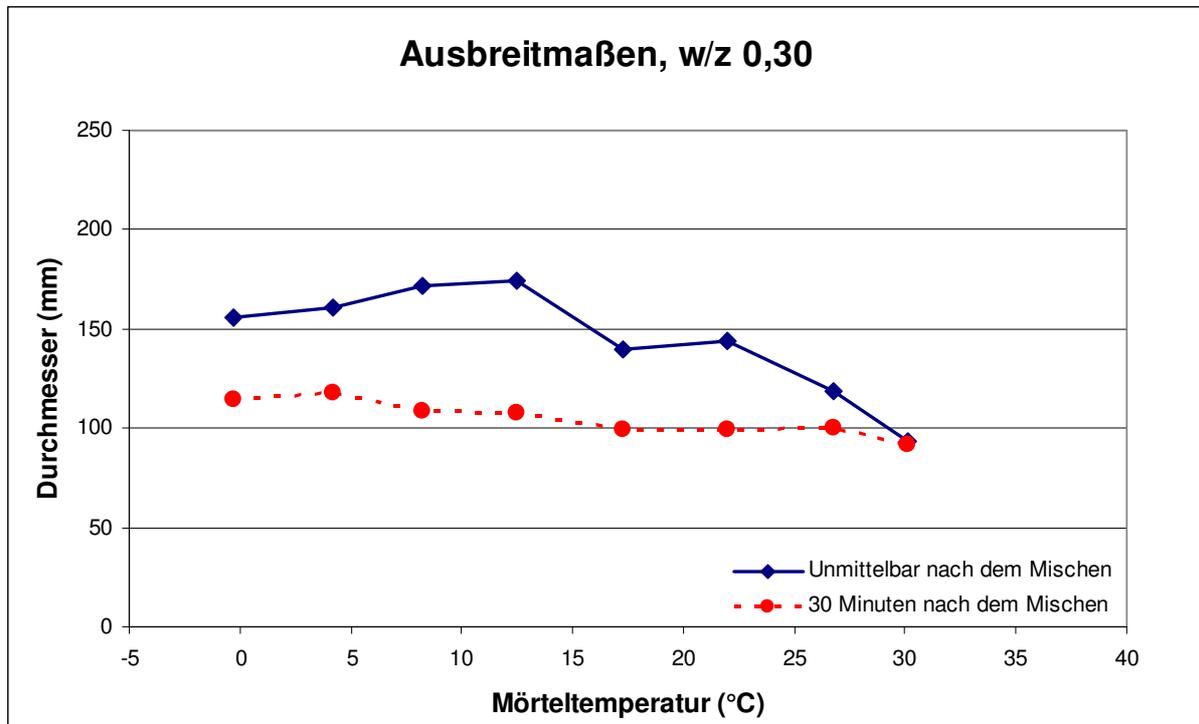
**VI.2 Eintauchzeit und Auslaufzeit, w/z-Wert = 0,32**

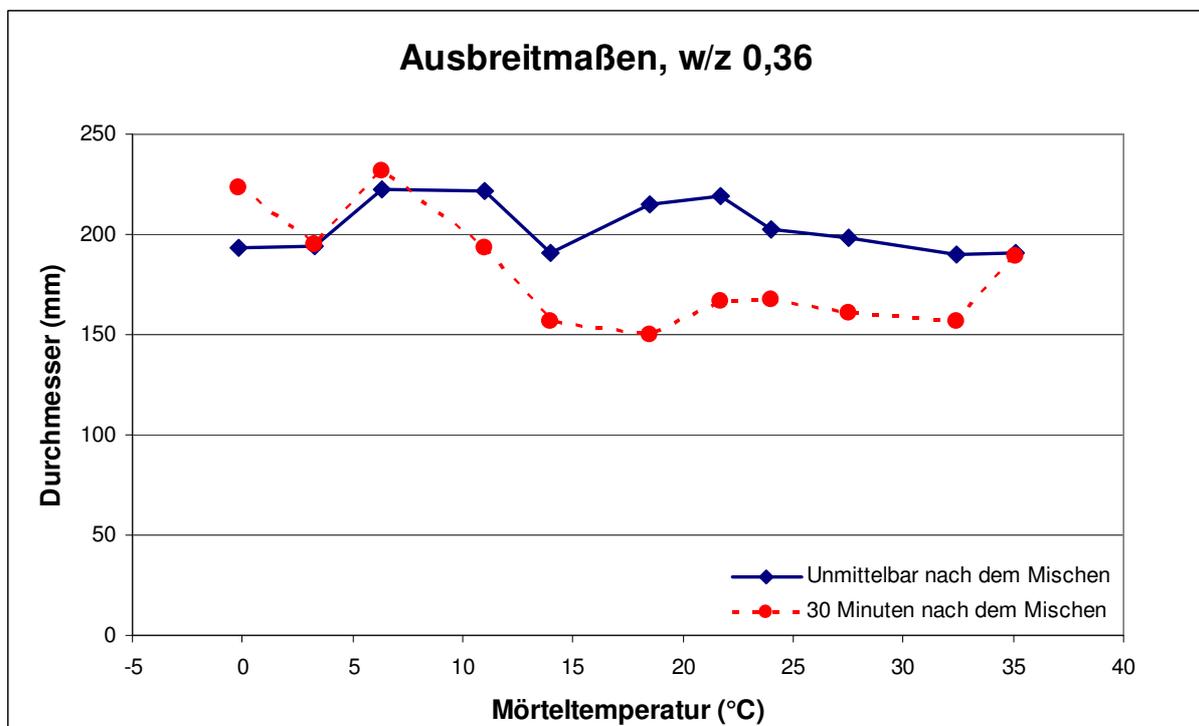
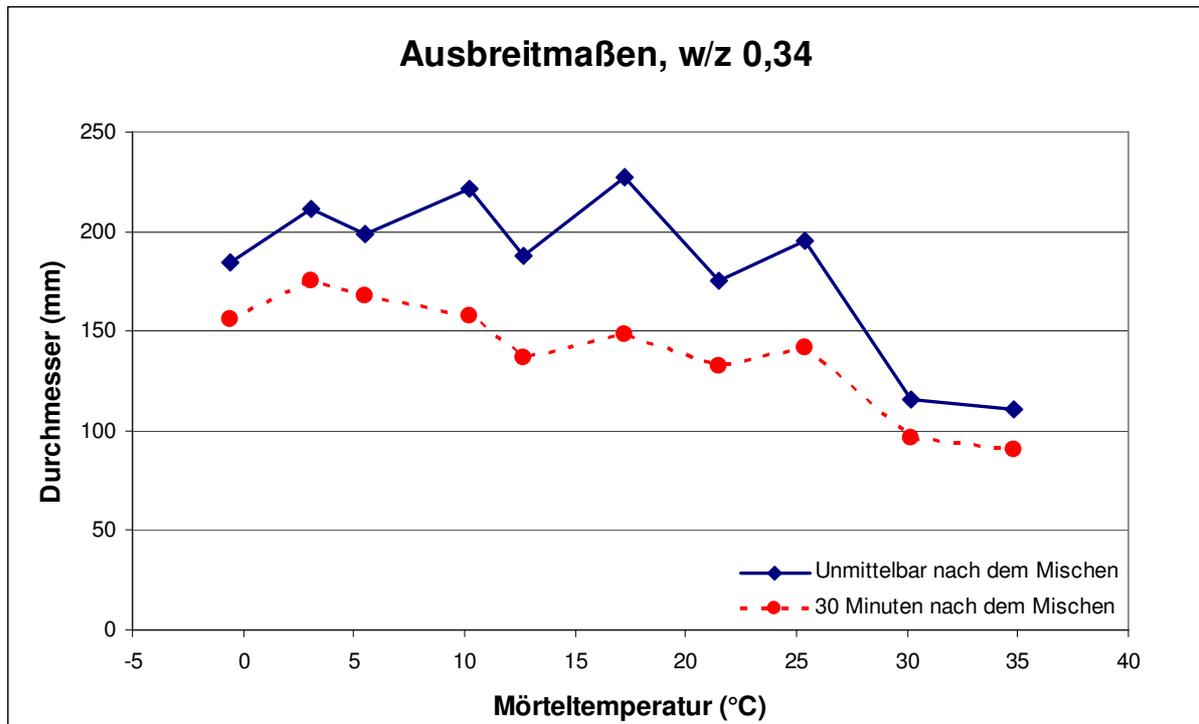
**VI.3 Eintauchzeit und Auslaufzeit, w/z-Wert =0,34**

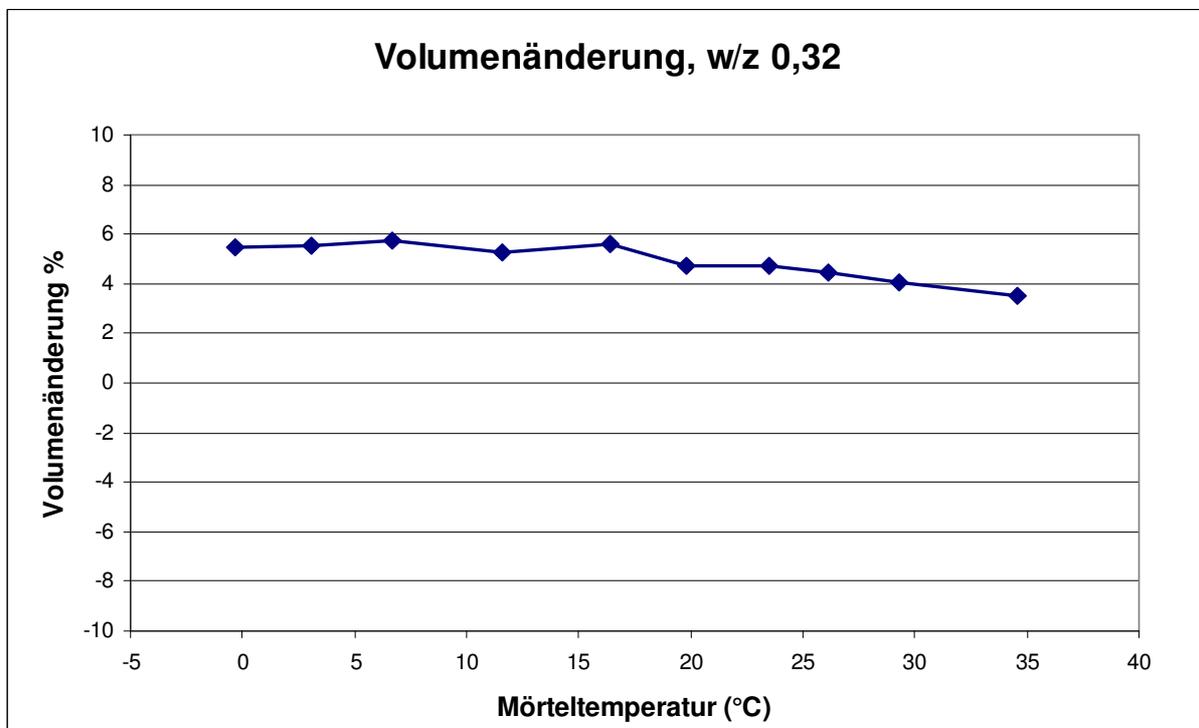
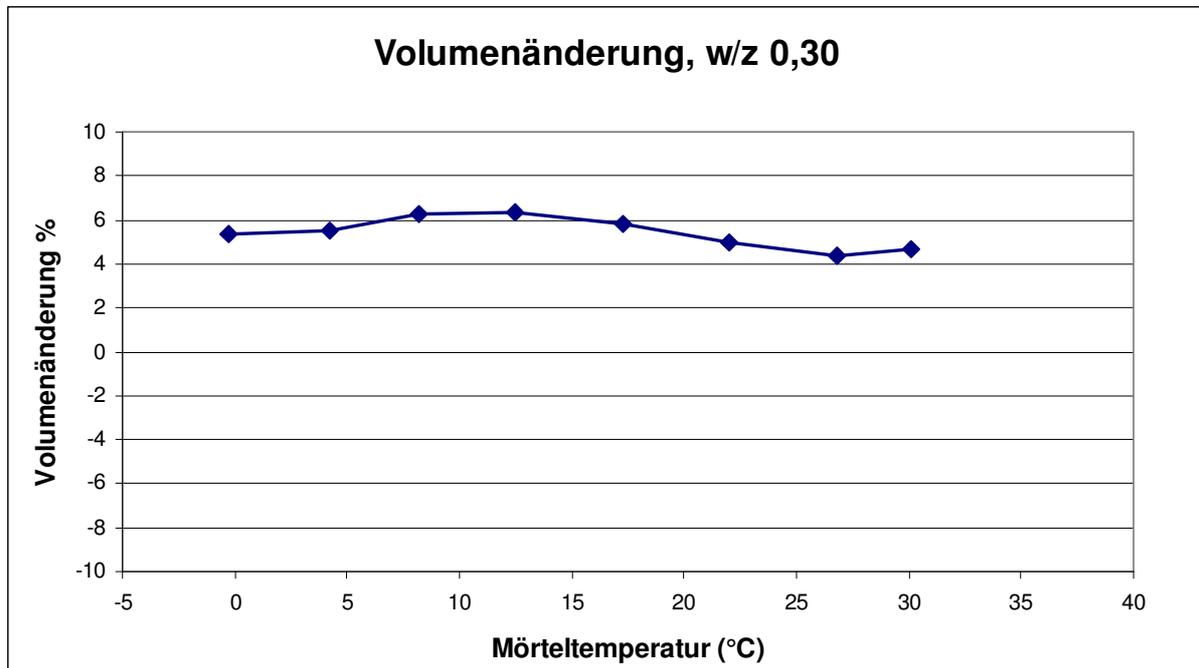
**VI.4 Eintauchzeit und Auslaufzeit, w/z-Wert =0,36**

**VI.5 Druckfestigkeit, w/z- Wert = 0,30-0,32**

**VI.6 Druckfestigkeit, w/z- Wert = 0,34-0,36**

**VI.7 Ausbreitmaßen, w/z-Wert = 0,30-0,32**

**VI.8 Ausbreitmaßen, w/z-Wert = 0,34-0,36**

**VI.9 Volumenänderung, w/z-Wert = 0,30-0,32**

**VI.10 Volumenänderung, w/z-Wert = 0,34-0,36**