

Gottlieb-Daimler-Straße, Gebäude 60  
67663 Kaiserslautern

Telefon: +49 631 205 22 97  
Telefax: +49 631 205 31 01  
E-Mail: [wbreit@rhrk.uni-kl.de](mailto:wbreit@rhrk.uni-kl.de)  
[www.uni-kl.de/wcms/fwb.html](http://www.uni-kl.de/wcms/fwb.html)

## Technischer Bericht

FWB-F09-218

vom 4. März 2011

### **Ermittlung der Blutneigung – Eimerverfahren (Bluteimertest)**

Dieser Bericht umfasst 94 Seiten (inkl. Deckblatt).

Wiedergabe, auch auszugsweise, ist nur mit Genehmigung des Fachgebiets Werkstoffe im Bauwesen der TU-Kaiserslautern gestattet. Jede Haftung des Fachgebiets und seiner Mitarbeiter aus mündlichen oder schriftlichen Auskünften, Beratungen oder Gutachten ist, soweit gesetzlich zulässig, ausgeschlossen. Von Ansprüchen Dritter sind wir freizustellen.

Technischer Bericht: FWB-F09-218

Titel: Ermittlung der Blutneigung –  
Eimerverfahren (Bluteimertest)

Auftraggeber: Forschungsgemeinschaft Transportbeton e. V.  
Nimmendorferstr. 124  
47475 Kamp-Lintfort

Auftraggeber, vertreten durch: Dr.-Ing. Olaf Aßbrock

Auftragsdatum: 23.07.2009

Zeichen des Auftraggebers: FTB

Unsere Auftragsnummer: F09-218

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Breit

Sachbearbeiter: Dipl.-Ing. Christian Heese

Ausgestellt am: 04.03.2011

Berichtsumfang: 94 Seiten

## INHALTSVERZEICHNIS

BEZEICHNUNGEN .....	5
<b>1 Aufgabenstellung .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1 Ausgangssituation .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2 Prüfverfahren „Bluteimertest“ .....</b>	<b>6</b>
<b>1.3 Ziel der Untersuchungen und Untersuchungsumfang .....</b>	<b>7</b>
<b>2 Einflussparameter und Durchführung der Versuchsreihen .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1 Charakteristische Merkmale der Blutneigung .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2 Festlegung der Betonzusammensetzungen .....</b>	<b>9</b>
<b>2.3 Prüfmatrix .....</b>	<b>10</b>
<b>2.4 Verwendete Geräte .....</b>	<b>11</b>
2.4.1 Eimer .....	11
2.4.2 Abdeckung .....	12
2.4.3 Unterlegholz .....	13
2.4.4 Saugflasche/ Spritze .....	14
2.4.5 Waage .....	14
<b>2.5 Versuchsaufbau .....</b>	<b>14</b>
<b>2.6 Prüfschema und Versuchsdurchführung .....</b>	<b>16</b>
<b>2.7 Auswertung der Versuche .....</b>	<b>18</b>
<b>3 Untersuchungsreihe „Typ A – Beton für Industrieböden“ (Typ A-VI) .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1 Mischungsberechnung .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2 Mischanweisung .....</b>	<b>21</b>
<b>3.3 Ergebnisse der Vorversuche (Erstprüfung) .....</b>	<b>22</b>
<b>3.4 Auswertung der Frischbetoneigenschaften .....</b>	<b>23</b>
3.4.1 Untersuchungsparameter .....	23
3.4.2 Temperatur .....	24
3.4.3 Ausbreitmaß .....	25
3.4.4 Luftporengehalt (LP-Gehalt) .....	26
3.4.5 Frischbetonrohddichte .....	27
<b>3.5 Auswertung der Festbetoneigenschaften .....</b>	<b>27</b>
<b>3.6 Auswertung der Blutwassermenge .....</b>	<b>28</b>
3.6.1 Vorbemerkungen .....	28
3.6.2 Auswertung der Standardversuche .....	29
3.6.3 Auswertung der Parameterversuche .....	31
3.6.4 Wiederholungsversuche .....	32
<b>4 Untersuchungsreihe „Typ B – Beton für massige Bauteile“ (Typ B-V) .....</b>	<b>35</b>
<b>4.1 Mischungsberechnung .....</b>	<b>35</b>
<b>4.2 Mischanweisung .....</b>	<b>36</b>
<b>4.3 Ergebnisse der Vorversuche (Erstprüfung) .....</b>	<b>37</b>
<b>4.4 Auswertung der Frischbetoneigenschaften .....</b>	<b>38</b>

4.4.1	Untersuchungsparameter.....	38
4.4.2	Temperatur .....	39
4.4.3	Ausbreitmaß.....	40
4.4.4	Luftporengehalt (LP-Gehalt).....	41
4.4.5	Frischbetonrohddichte.....	42
<b>4.5</b>	<b>Auswertung der Festbetoneigenschaften .....</b>	<b>43</b>
<b>4.6</b>	<b>Auswertung der Blutwassermenge.....</b>	<b>43</b>
4.6.1	Vorbemerkungen.....	43
4.6.2	Auswertung der Standardversuche .....	44
4.6.3	Auswertung der Parameterversuche .....	46
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerungen und Hinweise .....</b>	<b>47</b>
<b>5.1</b>	<b>Schlussfolgerungen.....</b>	<b>47</b>
<b>5.2</b>	<b>Hinweise .....</b>	<b>51</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>52</b>
<b>7</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>53</b>
<b>8</b>	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>54</b>
<b>9</b>	<b>Anhang A - Typ A-VI .....</b>	<b>55</b>
<b>9.1</b>	<b>Ergebniszusammenstellung Blutwassermenge.....</b>	<b>55</b>
<b>9.2</b>	<b>Darstellung der Ergebnisse.....</b>	<b>58</b>
<b>10</b>	<b>Anhang B - Typ B-V .....</b>	<b>73</b>
<b>10.1</b>	<b>Ergebniszusammenstellung Blutwassermenge.....</b>	<b>73</b>
<b>10.2</b>	<b>Darstellung der Ergebnisse.....</b>	<b>77</b>
<b>11</b>	<b>Anhang C – Wiederholungsversuche .....</b>	<b>92</b>
<b>11.1</b>	<b>Ergebniszusammenstellung Blutwassermenge.....</b>	<b>92</b>
<b>11.2</b>	<b>Darstellung der Ergebnisse.....</b>	<b>93</b>

**BEZEICHNUNGEN**

$a_5, a_{10}, a_{30}, a_{60}$	[mm]	Ausbreitmaß nach 5, 10, 30 bzw. 60 Minuten
$d$	[mm]	Durchmesser eines Eimers
$h$	[mm]	Höhe Unterlegholz
$h_{\min}$	[mm]	Mindesthöhe eines Eimers
$m_b$	[g]	Masse des eingefüllten Frischbetons
$m_v$	[g]	Masse des gefüllten Eimers
$m_l$	[g]	Masse des leeren Eimers
$M_{Bw}$	[kg/m <sup>3</sup> ]	Blutwasser je m <sup>3</sup> Frischbeton
$m_{Bw}$	[g]	Masse des abgezogenen Blutwassers
$V_{Bw}$	[Vol.-%]	Blutwasser in Volumeneinheiten
$\bar{x}$	[%]	Mittelwert
$\alpha$	[°]	Neigung des Prüfkeils
$\rho_b$	[kg/m <sup>3</sup> ]	Frischbetonrohddichte
$\rho_{Bw}$	[kg/m <sup>3</sup> ]	Dichte des Blutwassers

**Indizes**

5, 10, 30, 60	Zeitangabe in Minuten
min	Minimum
max	Maximum
b	Beton
v	voller Eimer
l	leerer Eimer
Bw	Blutwasser

## **1. Aufgabenstellung**

### **1.1. Ausgangssituation**

Für Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045 werden unterschiedliche Frisch- und Festbetoneigenschaften definiert und mit genormten Verfahren nach DIN EN 12350 für Frischbeton und DIN EN 12390 für Festbeton überprüft.

Einige Frisch- und Festbetoneigenschaften wurden und werden jedoch bisher noch nicht durch normativ geregelte Prüfverfahren erfasst. So wurde in der Vergangenheit z. B. in Ergänzung zur weitgehend zurückgezogenen Prüfnorm DIN 1048 mit Heft 422 des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton „Prüfung von Beton, Empfehlung und Hinweise als Ergänzung zu DIN 1048“ [1] weitere Verfahren beschrieben, mit denen für die Baupraxis relevante Eigenschaften von Beton ermittelt werden können.

Von Seiten des Deutschen Beton- und Bautechnik Vereins E.V. wurde ein Merkblatt neu erstellt, das DBV-Merkblatt „Besondere Verfahren zur Prüfung von Frischbeton“ [2], in dem Prüfverfahren für nicht normativ geregelte Frischbetoneigenschaften beschrieben und Anhaltswerte für die Beurteilung der ermittelten Ergebnisse gegeben werden. Bei den Verfahren wurde insbesondere auch die Praxistauglichkeit der Prüfverfahren im Baustellenbetrieb berücksichtigt, die sich durch die entsprechende Robustheit und die Zeitdauer bis zum Vorliegen eines aussagekräftigen Ergebnisses auszeichnet.

Als eine wichtige Eigenschaft von Frischbeton wird in [2] das so genannte „Bluten“ von Beton behandelt. Hierbei handelt es sich um einen zeitabhängigen Prozess einer Wasserabsonderung an der Betonoberfläche infolge der Sedimentation von Feststoffen. Neben der augenscheinlichen Wasseransammlung an der Betonoberfläche können sich bei übermäßiger Blutneigung des Frischbetons auch nachteilige Auswirkungen sowohl auf die Frisch- als auch die Festbetoneigenschaften ergeben. Um das „Bluten“ von Frischbeton zu prüfen, wird in [2] das so genannte „Eimerverfahren (Bluteimertest)“ vorgestellt.

### **1.2. Prüfverfahren „Bluteimertest“**

Beim Eimerverfahren (Bluteimertest) wird zur Abschätzung der Blutneigung die abgesonderte Wassermenge an einer ruhenden Frischbetonprobe stündlich ermittelt. Hierbei handelt es sich um ein relativ einfaches Verfahren, das sich aufgrund der notwendigen Gerätschaften und der einfachen Handhabung für in-situ Untersuchungen qualifiziert hat. Die genaue Verfahrensbeschreibung geht aus [2] hervor.

Wie alle Prüfverfahren, so unterliegt auch der Eimertest einer Reihe von unterschiedlichen Einflussfaktoren, die sich zum einen aus dem Prüfverfahren selbst ergeben und zum anderen auf die verwendeten Ausgangsstoffe und die herrschenden Umgebungsbedingungen zurückgeführt werden können. In Tabelle 1-1 sind die wesentlichen Einflussgrößen aufgelistet:

**Tabelle 1-1: Einflussgrößen**

Prüfverfahren	Einflüsse bedingt durch	
	Ausgangsstoffe	Umgebungsbedingungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eimergeometrie</li> <li>• Art der Verdichtung (Schlagverdichtung, Rüttler, Rütteltisch)</li> <li>• Verfahren der Wasserabnahme (Schrägstellung des Eimers)</li> <li>• Wasserrückgabe auf Probe (ja / nein)</li> <li>• Prüfbeginn und Prüfintervall</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betonzusammensetzung</li> <li>• Schwankung der Beton- zusammensetzung - Einwaagegenauigkeit - Variation von Zement, Flugasche und Zusatzmittel (gem. DIN 1045-2, 9.5)</li> <li>• Schwankungen der Aus- gangsstoffeigenschaften</li> <li>• Betontemperatur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umgebungstemperatur</li> <li>• Umgebungsfeuchte</li> </ul>

Inwieweit das Eimerverfahren (Bluteimertest) unter Praxisbedingungen zur Bewertung von Frischbetoneigenschaften herangezogen werden kann, ist aufgrund der geringen Erfahrungswerte noch nicht hinreichend bekannt.

**1.3. Ziel der Untersuchungen und Untersuchungsumfang**

Aufgrund der noch nicht ausreichenden Erfahrungen mit dem Eimerverfahren (Bluteimertest) sowohl als Laborverfahren als auch bei der Anwendung in der Baupraxis und der daraus resultierenden Bewertung von Frischbeton ergeben sich einige Aspekte, die eine weitere Untersuchung des Verfahrens nahe legen. Um die Aussagefähigkeit dieses Prüfverfahrens zu untermauern, sind Fragestellungen, wie zum Beispiel

- der Einfluss verfahrensbedingter und ausgangsstoffbedingter Schwankungen,
- die Reproduzierbarkeit im Labor und unter Baustellenbedingungen,
- die Übertragbarkeit der Laborergebnisse auf die Baustelle (Anwendbarkeit in der Praxis) sowie
- die Vermeidung von Verfahrensfehlern

weiterführend zu erörtern und durch Versuchsergebnisse zu belegen.

Als Ergebnis der 1. Sitzung der Betreuungsgruppe vom 16. Juni 2009 in Wiesbaden wurde beschlossen, dass zunächst die grundlegenden verfahrensbedingten Einflussgrößen untersucht werden sollen. Auf der Basis der Untersuchungen zu den verfahrensbedingten Einflussgrößen soll entschieden werden, ob darüber hinaus auch Untersuchungen zu ausgangsstoffbedingten Einflussgrößen mit in das Projekt übernommen werden sollen.

## 2. Einflussparameter und Durchführung der Versuchsreihen

### 2.1. Charakteristische Merkmale der Blutneigung

Die Blutneigung von Beton kann nach [2] unterschiedlichen Charakteristika zugeordnet werden:

*„In der Praxis hat sich gezeigt, dass die Betone in Abhängigkeit des hergestellten Bauteils und der jeweils gewählten Betonzusammensetzung typische charakteristische Merkmale der Blutneigung und des zeitlichen Verlaufs der Wasserabsonderung aufweisen. Neben der Gesamtblutwassermenge ist daher auch die typische Charakteristik des Blutens zu berücksichtigen. Nachfolgend sind charakteristische Kategorien der Blutneigung und beispielhafte Anwendungsfälle genannt.*

*Charakteristik A: geringe und stetige Wasserabsonderung über einen kürzeren Zeitraum (rd. 3 bis 8 Stunden), z.B. Konstruktionsbeton, Sichtbeton, Beton für befahrene Bauteile; z. B. auch Industrieböden;*

*Charakteristik B: stärkere bis starke und gegen einen Grenzwert strebende Wasserabsonderung über einen mittleren Zeitraum (rd. 0,5 bis 1,5 Tage), z.B. Massenbetone;*

*Charakteristik C: stetige und große Wassermenge über einen längeren Zeitraum (rd. 0,5 bis 2,0 Tage), z.B. Massenbetone, Bohrfahlbetone.“*

Diese Charakteristika sind in Abbildung 2-1 schematisch dargestellt.

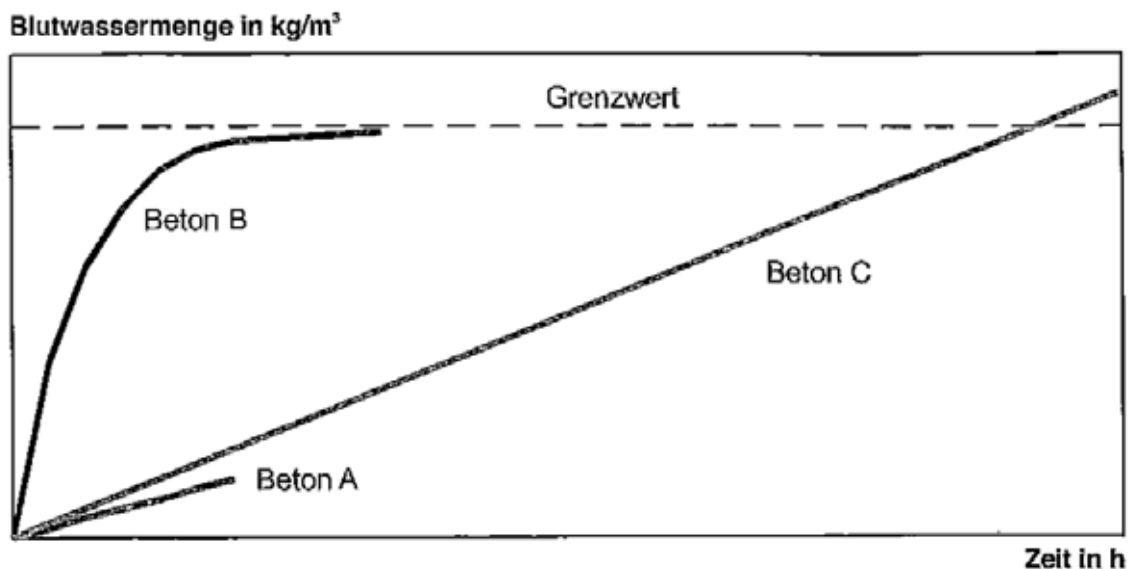


Abbildung 2-1: Qualitative Charakteristik der Blutneigung von Frischbeton

Weiterhin enthält das Diagramm einen „Grenzwert“. Hierzu sind in [2] Anhaltswerte angegeben. Tabelle 2-1 zeigt die typische Blutwassermenge des Frischbetons (gemäß Eimerverfahren) zum Zeitpunkt „Ende der Verarbeitbarkeitszeit“.



**Tabelle 2-1: Typische Blutwassermenge des Frischbetons (gemäß Eimerverfahren) zum Zeitpunkt „Ende der Verarbeitbarkeitszeit“**

S	1	2		3	4	
Z	Anwendungsfall und typische Charakteristik der Blutneigung	Typische maximale Blutwassermenge		Erstprüfung $M_{Bw}, V_{Bw}$	Ausführung	
		$M_{Bw,max}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$V_{Bw,max}^{1)}$ [Vol.-%]		Einzelwert $M_{Bw,i}, V_{Bw,i}$	Mittelwert <sup>2)</sup> $M_{Bw,m}, V_{Bw,m}$
1	Sichtbeton (Charakteristik A)	< 1	< 0,1	$M_{Bw} \leq M_{Bw,max}$ $V_{Bw} \leq V_{Bw,max}$	$M_{Bw,i} \leq 1,5M_{Bw,max}$ $M_{Bw,i} \leq 1,5V_{Bw,max}$	$M_{Bw,m} \leq M_{Bw,max}$ $V_{Bw,m} \leq V_{Bw,max}$
2	Beton für befahrbare Bauteile (Charakteristik A)	< 2	< 0,2	$M_{Bw} \leq M_{Bw,max}$ $V_{Bw} \leq V_{Bw,max}$		
3	Konstruktionsbeton (Charakteristik A)	< 3	< 0,3	$M_{Bw} \leq M_{Bw,max}$ $V_{Bw} \leq V_{Bw,max}$		
4	Massen-, Bohrpfahlbeton (Charakteristik B und C)	< 10	< 1,0	$M_{Bw} \leq M_{Bw,max}$ $V_{Bw} \leq V_{Bw,max}$		
<sup>1)</sup> Annahme: $\rho_{Bw} = 1000 \text{ kg/m}^3$ <sup>2)</sup> Mittel aus 3 Einzelwerten						

## 2.2. Festlegung der Betonzusammensetzungen

Im Rahmen der Projektskizze wurden für die Untersuchungen der verfahrensbedingten Parameter zwei charakteristische Betonzusammensetzungen vorgeschlagen:

TYP A: Beton für Industrieböden

TYP B: Beton für massige Bauteile

Folgende Rahmenbedingungen wurden für die beiden Betonzusammensetzungen vorgegeben:

TYP A:	Zementart	CEM I 32,5 R
	Zementgehalt	320 bis 340 kg/m <sup>3</sup>
	Flugasche	40 bis 60 kg/m <sup>3</sup>
	w/z <sub>equ</sub>	~ 0,50
	Betonzusatzmittel	BV/FM
	Gesteinskörnung	Splitt 0/16
	Konsistenz	F3/F4
TYP B:	Zementart	CEM III/A 32,5 N
	Zementgehalt	~ 240 kg/m <sup>3</sup>
	Flugasche	~ 80 kg/m <sup>3</sup>
	w/z <sub>equ</sub>	~ 0,60
	Betonzusatzmittel	BV/FM
	Gesteinskörnung	Rundkorn 0/32
	Konsistenz	F4/F5

Im Rahmen der Vorversuche zur genaueren Festlegung der Betonzusammensetzung wurden verschiedene Variationen durchgeprüft und im Wesentlichen im Hinblick auf ausreichende Konsistenzhaltung und eine der jeweiligen Charakteristik zuzuordnende Blutwassermenge beurteilt. Abschließend wurde für den Typ A der Beton mit der Bezeichnung Typ A-VI und für den Typ B der Beton mit der Bezeichnung Typ B-V ausgewählt.

Bei beiden Betonen wurden die typischen maximalen Blutwassermengen nach [2] in der Erstprüfung mit 6,2 kg/m<sup>3</sup> im Vergleich zu < 3 kg/m<sup>3</sup> für Typ A-VI und 21,2 kg/m<sup>3</sup> im Vergleich zu < 10 kg/m<sup>3</sup> für Typ B-V überschritten.

### **2.3. Prüfmatrix**

Im Rahmen der 1. Sitzung wurden für das Untersuchungs-Modul „Verfahrensbedingte Einflussgrößen“ die im Folgenden aufgelisteten Parameter festgelegt:

#### ***Einfluss des Prüfmittels (Geometrie, Steifigkeit)***

- Baustelleneimer
- Standardeimer

#### ***Art des Einbringens***

- Einbringen in 2 Lagen
- Einbringen in 1 Lage

#### ***Art der Verdichtung***

- Verdichtung durch Aufschlagen
- Verdichtung durch Rütteltisch
- Verdichtung durch Stochern

#### ***Verfahren der Wasserabnahme***

- Wasserabnahme mittels Schrägstellung und Absaugen mit Spritze
- Wasserabnahme durch Absaugen mit Spritze ohne Schrägstellung

#### ***Einfluss der Wasserrückgabe***

- ohne Wasserrückgabe
- mit Wasserrückgabe

#### ***Prüfbeginn und Prüfhäufigkeit***

- Beginn nach 60 min nach Wasserzugabe und dann alle 60 min
- Beginn nach 30 min nach Wasserzugabe und dann alle 30 min

#### ***Probendeckung***

- mit Abdeckung des Eimers
- ohne Abdeckung des Eimers

Es wurden folgende Standardparameter festgelegt (Referenz):

#### ***Standardparameter (Versuche 01-x)***

- Baustelleneimer
- Einbringen in 2 Lagen

- Verdichtung durch Aufschlagen
- Wasserabnahme mittels Schrägstellung und Absaugen mit Spritze
- mit Wasserrückgabe
- Beginn nach 60 min nach Wasserzugabe und dann alle 60 min
- mit Abdeckung des Eimers

Tabelle 2-2 enthält eine Übersicht der zu untersuchenden Parameter je Betonzusammensetzung und die daraus folgende Anzahl der Versuche (01-1 bis 09, insgesamt 9 Versuche). Im Rahmen der Untersuchungen sollen für Typ A-VI sowie für Typ B-V jeweils 15 Versuche durchgeführt werden. Zum einen gibt es acht zu untersuchende Einflussparameter (02 bis 09), welche im Weiteren als „Parameterversuche“ benannt werden. Zum anderen gibt es sieben weitere Versuche, welche jeweils unter gleichen Randbedingungen als Wiederholungs-Untersuchungen dienen sollen (01-1 bis 01-7) und somit als Versuchsreihen zur Ermittlung der Wiederholpräzision angesehen werden können. Im Folgenden werden diese als „Standardversuche“ bezeichnet.

**Tabelle 2-2: Prüfmatrix**

untersuchter Einflussparameter	Prüfmittel		Art des Einbringens		Art der Verdichtung			Verfahren der Wasserabnahme		Wasserrückgabe		Prüfbeginn und Prüfhäufigkeit		Probenabdeckung	
	01-1	02	01-2	03	01-3	04	05	01-4	06	01-5	07	01-6	08	01-7	09
Versuch	01-1	02	01-2	03	01-3	04	05	01-4	06	01-5	07	01-6	08	01-7	09
Baustelleneimer Standardeimer	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Einbringen in 2 Lagen Einbringen in 1 Lage	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Verdichtung mittels Aufschlagen Verdichtung mittels Rütteltisch Verdichtung mittels Stochern	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
Wasserabnahme mittels Schrägstellung u. Spritze Wasserabnahme mittels Spritze	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Wasserrückgabe keine Wasserrückgabe	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x
60 min nach Herstellung und alle 60 min 30 min nach Herstellung und alle 30 min	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x
Abdeckung des Eimers keine Abdeckung des Eimers	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Die Standardversuche werden wie in [2] unter Kapitel 2.6 - „Ermittlung der Blutneigung (Eimerverfahren) - beschrieben, durchgeführt.

Die Parameterversuche unterscheiden sich dann jeweils in einem Parameter, welche ebenfalls aus der Prüfmatrix entnommen werden können.

## 2.4. Verwendete Geräte

### 2.4.1. Eimer

In den 15 Versuchen kamen zwei unterschiedliche Eimer zum Einsatz. Lediglich für den Parameterversuch Versuch 02 wurde ein schwarzer Standardeimer (Abbildung 2-2) benutzt. Für alle anderen Versuche kam ein blauer Baustelleneimer zum Einsatz (Abbildung 2-3), d. h. der blaue Baustelleneimer wurde als Standardparameter für die Prüfmittel definiert. Nach [2] sollen die Eimer vorzugsweise aus Kunststoff bestehen; das Material muss nicht saugend sein. Sie sollten ein Fassungsvermögen von 10 Litern nicht unterschreiten. Des Weiteren sollte eine Höhe von  $h_{min} = 230 \text{ mm}$  nicht unterschritten werden. Der Durchmesser der Eimer sollte in den Grenzen von  $d = (250 \pm 30) \text{ mm}$  liegen. In den Abbildungen 2-2 und 2-3 sind Standard- und Baustelleneimer dargestellt.

Die Abmessungen des Standardeimers betragen  $h_{min} = 260 \text{ mm}$  und  $d = 260 \text{ mm}$ ; die des Baustelleneimers  $h_{min} = 220 \text{ mm}$  und  $d = 280 \text{ mm}$ .



Abbildung 2-2: Standardeimer (schwarz)



Abbildung 2-3: Baustelleneimer (blau)

### 2.4.2. Abdeckung

Als Abdeckung wird nach [2] ein verschließbarer Deckel oder ein vergleichbarer vor Verdunstung schützender Verschluss, wie zum Beispiel eine Folie mit Spanngummi empfohlen.

Für alle Versuche wurde durchgängig eine Folie mit Spanngummi benutzt. Die Abbildung 2-4 zeigt Folie und Spanngummi.

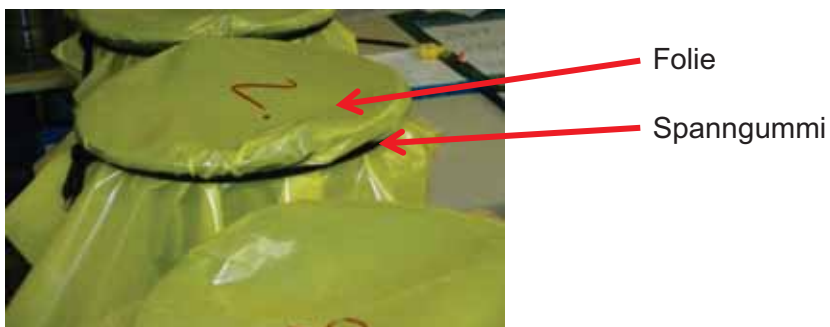


Abbildung 2-4: Folie mit Spanngummi

### 2.4.3. Unterlegholz

Zur Schrägstellung der Eimer werden in [2] zwei Varianten beschrieben. Zum einen ein Unterlegholz mit der Höhe  $h = (30 \pm 10)$  mm und zum anderen ein Prüfkeil mit einer Neigung von  $\alpha \sim 7^\circ$ . Auch hier wurde wiederum durchgängig dieselbe Variante gewählt. Zum Einsatz kam ein Prüfkeil, welcher in Abbildung 2-5 zu sehen ist.

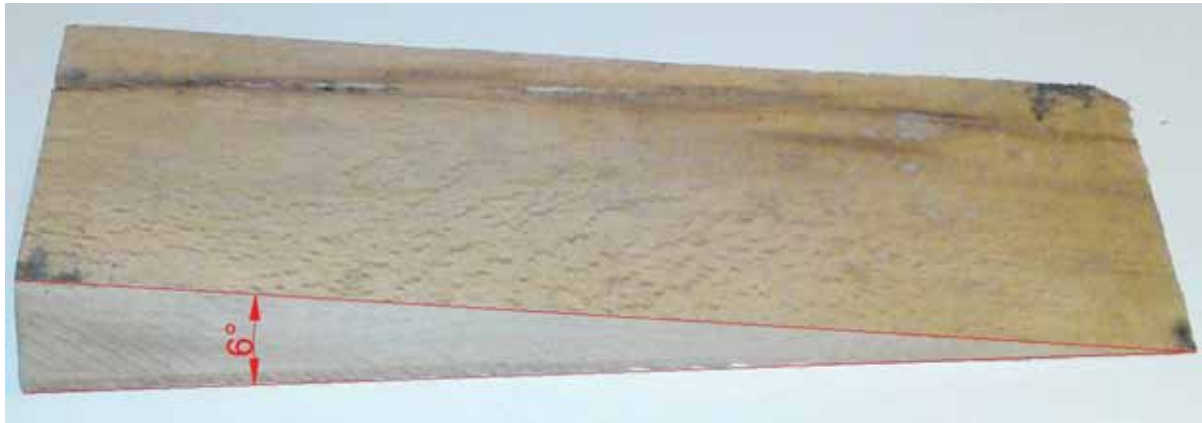


Abbildung 2-5: Prüfkeil

#### 2.4.4. Saugflasche/ Spritze

Als geeignetes Hilfsmittel zur Wasserabsaugung werden in [2] Saugflasche oder Spritze mit Skalierung in ml, ggf. ein Standzylinder mit Skalierung genannt. Bei beiden Versuchsreihen, also für Typ A-VI und Typ B-V, kamen Spritzen mit einer Skalierung in 10 ml-Schritten zum Einsatz (siehe Abbildung 2-6).



Abbildung 2-6: Spritze

#### 2.4.5. Waage

Die Waage sollte nach [2] eine Genauigkeit von  $\pm 1$  g besitzen. Bei den hier beschriebenen Versuchen kamen zwei Waagen zum Einsatz. Beide erfüllten das Kriterium der Genauigkeit. Die Waagen haben eine Anzeigegenauigkeit von 0,1 g bzw. 0,01 g.

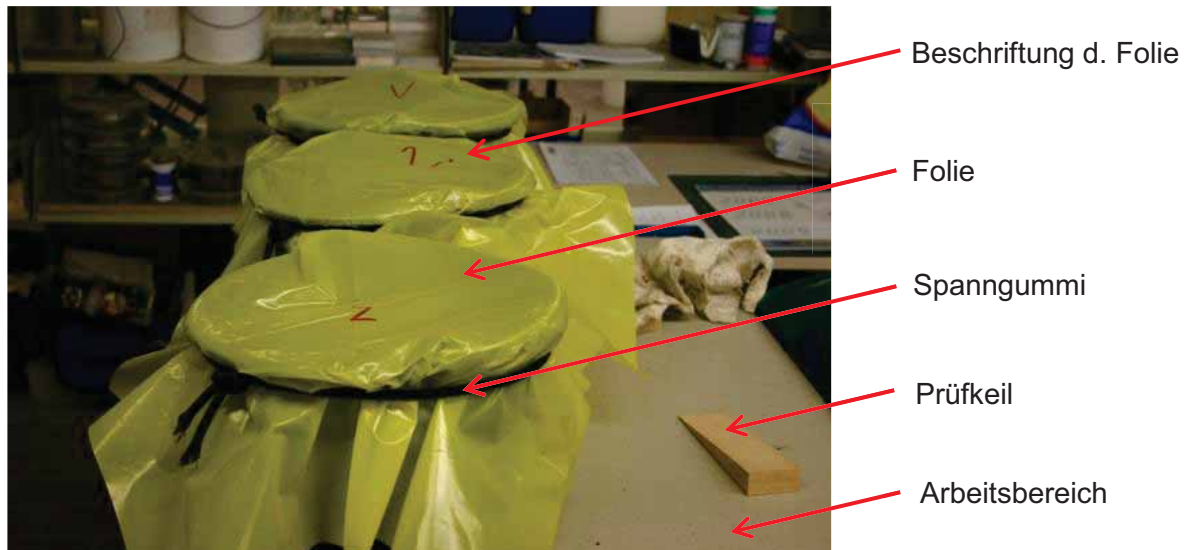
### 2.5. Versuchsaufbau

Beim Versuchsaufbau muss zwischen Standardversuch und Parameterversuch unterschieden werden.

Alle Standardversuche sind gleichermaßen aufgebaut, da diese als Wiederholungs-Untersuchungen dienen. Pro Standardversuch wurden drei Baustelleneimer verwendet. Sie wurden mehrfach verwendet. Augenscheinliche Gebrauchsspuren wie sichtbare, weiße Flecken wurden akzeptiert. Die mit Beton gefüllten Eimer wurden jeweils mit einer Folie abgedeckt. Um die Dichtheit der Eimer zu gewährleisten und einer Verdunstung des anfallenden Blutwassers vorzubeugen, wurden die Folien zusätzlich wie in [2] gefordert mittels Spanngummi befestigt.

Die Eimer wurden im gefüllten und abgedeckten Zustand auf einem feststehenden Arbeitsbereich (Tisch oder Werkbank) abgestellt, um so eventuelles Nachverdichten durch Vibrationen im Bereich des Arbeitsbereiches zu vermeiden. Der grundsätzliche Aufbau ist in Abbildung 2-7 dargestellt.





**Abbildung 2-7: Versuchsaufbau**

Bezüglich des Versuchsaufbaus der Parameterversuche unterscheiden sich lediglich die Versuche 02 (schwarzer Standardeimer anstatt blauer Baustelleneimer) und 09 (ohne Probenabdeckung) im Versuchsaufbau bzw. den verwendeten Gerätschaften von den übrigen Versuchen. Die Versuche 03 bis 08 haben bezüglich Eimer, Folie und Spanngummi denselben Aufbau wie die Standardversuche.

Um die Gefahr der Verwechslung der einzelnen Eimer/ Versuche auszuschließen, wurden sowohl die Eimer als auch die Folien entsprechend beschriftet. Zusätzlich wurde eine Markierung innerhalb der Eimer gemacht, um die 10-Liter Markierung besser zu erkennen und so eine ungefähr gleiche Füllhöhe der einzelnen Eimer zu erreichen.

## 2.6. Prüfschema und Versuchsdurchführung

Der Ablauf der einzelnen Prüfung ist in Abbildung 2-8 dargestellt.

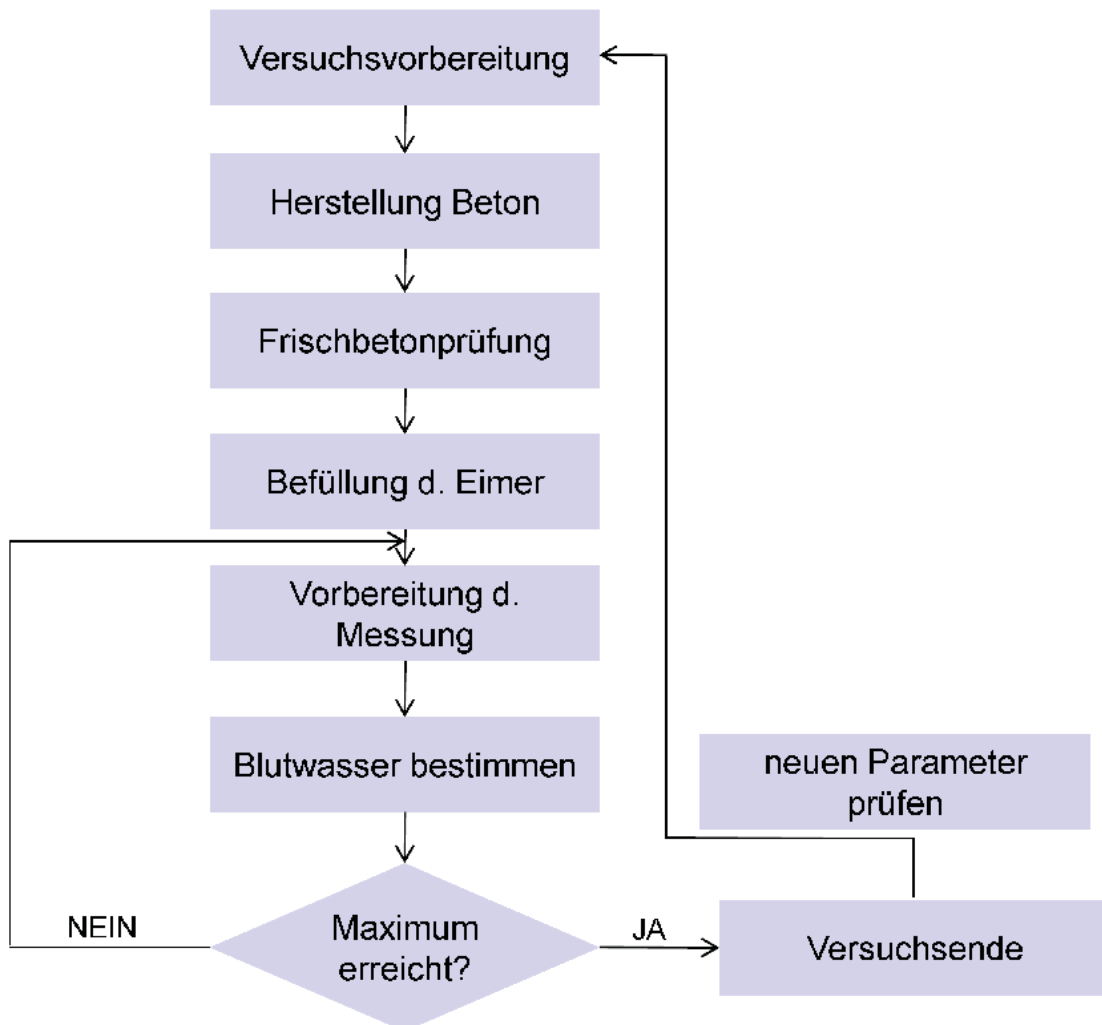


Abbildung 2-8: Prüfschema

**Versuchsvorbereitung:** Hierzu gehören das Abwiegen der Ausgangsstoffe und das Wiegen und die Kennzeichnung der Prüfeimer. Beispielsweise ist dieses in Abbildung 2-9 dargestellt. Weiterhin werden die Spritzen vorgeätzt und tariert. Dies berücksichtigt, dass bei jeder Messung nach dem Leeren der Spritzen ein Rückstand in der Spritze verbleibt und gewährleistet so, dass das komplette abgesaugte Blutwasser wieder zurückgegeben wird.





**Abbildung 2-9: Abwiegen der Eimer**

Um eine gleiche Versuchsdurchführung auch bei verschiedenen Prüfern zu gewährleisten, wurden die Prüfer vor dem eigentlichen Start der Versuchsreihen in alle einzelnen Schritten der Versuchsdurchführung eingewiesen.

Bei Untersuchung auf der Baustelle ist strikt darauf zu achten, dass die Prüfer auch entsprechend eingewiesen werden.

**Herstellung des Betons:** Bei der Betonherstellung sind die Mischanweisung für die verschiedenen Betone einzuhalten. Es wurde ein Mischer des Typs ELBA EMS 60 C verwendet. Bei der Herstellung des Betons wurde immer eine 80-Liter-Mischung angefertigt. Ausnahme dabei war der Versuch „Art der Verdichtung“, da hier zusätzliche Probekörper zur späteren Festbetonprüfung hergestellt wurden und somit zwei Mischungen à 80 Liter notwendig waren. Eine 80-Liter-Mischung reichte jeweils aus, um einen Standardversuch und einen entsprechenden Parameterversuch, sowie die Frischbetonprüfung durchzuführen.

**Frischbetonprüfung:** Die Frischbetonprüfung wird im Anschluss an die Herstellung des Betons ohne Wartezeit durchgeführt. Bei den Versuchsreihen zu Typ A-VI und Typ B-V wurden Frischbetonrohichte, Luftporengehalt (LP-Gehalt), Raum- und Betontemperatur sowie das Ausbreitmaß nach 5, 10, 30 und 60 Minuten ( $a_5$ ,  $a_{10}$ ,  $a_{30}$ ,  $a_{60}$ ) bestimmt.

**Befüllung der Eimer:** Ungefähr 15 Minuten nach der ersten Frischbetonprüfung d.h. ca. 20 Minuten nach Wasserzugabe, erfolgte die Befüllung der Eimer. Für die Prüfungen wurden jeweils drei Eimer für Standard- und Parameterversuch befüllt. Alle Standardversuche wurden in zwei Lagen befüllt. Jede Lage wurde mittels dreifachen Aufschlagens auf den Boden aus ca. 30 cm Höhe verdichtet. Lediglich beim Parameterversuch 03 erfolgte die Befüllung in nur einer Lage, welche ebenfalls mittels dreifachen Aufschlagens verdichtet wurde. Bei den Parameterversuchen 04 und 05 erfolgte die Verdichtung mittels Rütteltisch (30 Sekunden) bzw. mittels Stochern (10 Mal). Die Befüllung der Eimer in den Versuchen 04 und 05 erfolgte analog zu den Standardversuchen.

Nach der Befüllung der Eimer wurden sie nochmals gewogen, um so das Gewicht des eingefüllten Betons zu bestimmen. Danach wurden sie mit Folie abgedeckt, durch Spanngummi fixiert und im vorgesehenen Arbeitsbereich abgestellt.

**Vorbereitung der Messung:** Im Anschluss an die Befüllung der Eimer findet die Vorbereitung der Messung statt. Die erste Messung bei den Standardversuchen erfolgte 60 Minuten nach Wasserzugabe. Lediglich im Versuch 08 (Prüfbeginn und Prüfhäufigkeit) erfolgte die erste Messung 30 Minuten nach Wasserzugabe. 5 Minuten vor Prüfbeginn wird der Keil untergelegt. Danach lässt man die Eimer in dieser Position stehen und das angefallene Blutwasser kann sich 5

Minuten sammeln. Dies erleichtert die Wasserabnahme. Nach dieser Wartezeit werden die Spanngummis entfernt und das Wasser mittels Spritzen abgesaugt.

**Menge des Blutwassers:** Um die Menge des Blutwassers zu bestimmen, werden die Spritzen abgewogen und das Ergebnis notiert. Danach wird der Keil entfernt und das Wasser zurückgegeben und die Spritze erneut gewogen. Die erlaubte Toleranz war + 0,07 g (dies entspricht umgerechnet ca. 0,007 l/m<sup>3</sup>). Es wurde darauf geachtet, dass sich kein negativer Wert auf der Waage einstellte, denn das hätte bedeutet, dass mehr Wasser zurückgegeben wurde, als vorher abgesaugt wurde. Ist der Wert nach Wasserrückgabe innerhalb der Toleranz kann der Eimer wieder mittels Folie und Spanngummi verschlossen werden.

Ist der abgelesene Wert kleiner, als der eine Stunde zuvor gemessene Wert, ist das Maximum erreicht und die Prüfung dieses Parameters abgebrochen werden. Ansonsten wird wie unter „**Vorbereitung der Messung**“ weiter verfahren bis das Maximum erreicht ist.

## 2.7. Auswertung der Versuche

Zur Auswertung der Versuche wurde das Verfahren nach [2] herangezogen, im Folgenden beschrieben:

*„Für die Interpretation und Klassifizierung des Blutverhaltens eignet sich eine grafische Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Wasserabsonderung gemäß (Abbildung 2-1). Für eine Klassifizierung der Blutneigung und den Vergleich von Ergebnissen sind die ermittelte Blutwassermenge bei Prüfende und sowie der zeitliche Verlauf relevant.“*

*Die Masse des Blutwassers wird durch Abwiegen bestimmt (Angabe in g) oder alternativ aus dem abgezogenen Blutwasservolumen (Angabe in ml) abgeleitet.*

*Für die Umrechnung ist die Dichte des Blutwassers mit  $\rho_{BW} = 1000 \text{ kg/m}^3$  anzunehmen.*

*Die Berechnung der Blutwassermenge erfolgt nach den Gleichungen (1) und (2):*

$$m_b = m_v - m \quad [\text{g}] \quad (1)$$

*mit*

$m_b$  - Masse des eingefüllten Frischbetons [g]

$m_v$  - Masse des gefüllten Eimers [g]

$m_l$  - Masse des leeren Eimers [g]

*Der Blutwasseranteil  $M_{BW}$  (Blutwassermenge je m<sup>3</sup> Frischbeton) wird unter Berücksichtigung der Frischbetonrohddichte  $\rho_b$  wie folgt bestimmt:*

$$M_{BW} = m_{BW} / (m_b \cdot \rho_b) \quad [\text{kg/m}^3] \quad (2)$$

*mit*

$M_{BW}$  - Blutwassermenge je m<sup>3</sup> Frischbeton [kg/m<sup>3</sup>]

$m_{BW}$  - Masse des abgezogenen Blutwassers [g]

$m_b$  - Masse des eingefüllten Frischbetons [g]

$\rho_b$  - Frischbetonrohddichte [kg/m<sup>3</sup>]

Auf die Angabe eines in [2] beschriebenen vereinfachten Verfahrens wird verzichtet, da in den vorliegenden Untersuchungen das gerade beschriebene Verfahren zum Einsatz kam. Alle Einzelheiten zu dem vereinfachten Verfahren können [2] entnommen werden.

### 3. Untersuchungsreihe „Typ A – Beton für Industrieböden“ (Typ A-VI)

#### 3.1. Mischungsberechnung

Dem Beton für die Versuchsreihe Typ A-VI liegt die in Tabelle 3-1 dargestellte Mischungsberechnung zu Grunde.

**Tabelle 3-1: Mischungsberechnung Typ A-VI**

Mischungsberechnung				
Forschungsvorhaben: BLUTEIMER				
Anforderungen				
Wasserundurchlässigkeit		Festigkeitsklasse		C30/37
Expositionsklassen	XC 4	XD 1	vorgesehenes Prüfalter	56 d
	XF1	XA 1	XM 1/2	Konsistenzbereich F3 - F4
Sichtbeton		max. zul. (w/z+0,4 f)-Wert		0,55
Pumpbeton		Luftporengehalt (Soll)		
Frühfestigkeit		Verarbeitungszeit (Soll)*		
Beton niedriger Wärmeentwicklung		Außenbauteile		
Ausgangsstoffe				
Zement 1, Art/Bez.	CEM I 32,5 R		Zuschlag	Art/Herstellwerk
Herstellwerk			0/2 mm	Rhein
Zement 2, Art/Bez.			2/8 mm	Rhein
Herstellwerk			8/16 mm	Hartsteinsplitt
Zusatzmittel 1, Art/Bez.	FM 1			
Herstellwerk				
Stoffraumberechnung				
W/(Z+S+0,4 F)	0,50		Dichte (kg/dm <sup>3</sup> )	Stoffraum (dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )
Gesamtwassergehalt	kg/m <sup>3</sup>	180	1,0	180
Zement 1	kg/m <sup>3</sup>	360	3,1	116
Flugasche	kg/m <sup>3</sup>	0	2,4	0
Luftporengehalt	Vol.-%	1,5	10	15
Gesteinskörnungsgehalt	kg/m <sup>3</sup>	1803		311
				689
Zusammensetzung für 1 m <sup>3</sup>				
Gesteinskörnung	Anteil (%)	Stoffraum dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	Rohdichte kg/dm <sup>3</sup>	Gesamtgewicht (kg/m <sup>3</sup> ) Zuschlag trocken
0/2 mm	32	220	2,60	573
2/8 mm	33	227	2,60	591
8/16 mm	35	241	2,65	639
GK-gehalt (Summe)		689		1803
Zementgehalt				360
Zugabewassergehalt				179
Saugwasser				10
Zusatzmittel 1		0,55 % vom ZG		1,98
Zusatzmittel 2		% vom ZG		0,00
Frischbetongewicht				2344
Sonstige Kenndaten				
Mehlkorngehalt bei 0,25 mm (kg/m <sup>3</sup> )			483	
Mehlkorngehalt bei 0,125 mm (kg/m <sup>3</sup> )			374	
Mörtelvolumen (dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )			532	

In Tabelle 3-2 sind die Kennwerte des verwendeten CEM I 32,5 R dargestellt.

**Tabelle 3-2: Kennwerte CEM I 32,5 R**

Physikalisch / mechanische Eigenschaften		Mittelwert
Blaine	cm <sup>2</sup> /g	3240
Wasseranspruch	%	29,0
Beginn	min	175
Ende	min	210
Druckfestigkeit 2 Tage	MPa	23,5
Druckfestigkeit 7 Tage	MPa	36,7
Druckfestigkeit 28 Tage	MPa	50,8

**3.2. Mischanweisung**

Um bei jeder Mischung dasselbe Vorgehen bei der Herstellung des Betons zu gewährleisten, wurde eine Mischanweisung entwickelt.

Aufgrund einer festzustellenden Nachverflüssigung des Betons wurde die Mischzeit nach Fließmittelzugabe auf 180s festgelegt.

In Tabelle 3-3 ist die Mischanweisung dargestellt.

**Tabelle 3-3: Mischanweisung Typ A-VI**

	Dauer [sec]	[U/min]
1. Gesteinskörnung plus Saugwasser (15min Saugen)	30	30
2. Zement	30	30
	30	40
3. Zugabewasser	15	40
4. ZM1 (0,55 %)	15	40
5. Mischzeit 180 sec nach FM Zugabe	180	40
	Σ 300	

### 3.3. Ergebnisse der Vorversuche (Erstprüfung)

Aus der Erstprüfung (EP) gehen die in Tabelle 3-4 angegebenen Werte hervor.

**Tabelle 3-4: Ergebnisse der Erstprüfung**

Herstelldatum	Prüf.-Nr.	Betonzusammensetzung	Ausbreitmaße [mm]				T [°C]	LP	$\rho$	max. Blutwassermenge [kg/m <sup>3</sup> ]/ nach [h]
			a <sub>5</sub>	a <sub>10</sub>	a <sub>30</sub>	a <sub>60</sub>	Luft/ Beton	[%]	[kg/dm <sup>3</sup> ]	
31.05.2010	Typ A-VI	Siehe Tab. 3.1	530	562,5	515	480	20,7/ 21,3	0,75	2,39	6,24/ 5

### 3.4. Auswertung der Frischbetoneigenschaften

#### 3.4.1. Untersuchungsparameter

Im Rahmen der Frischbetonuntersuchungen wurden die Frischbetontemperatur, das Ausbreitmaß nach 5, 10, 30 und 60 Minuten, der Luftporengehalt, die Frischbetonrohndichte und die Raumtemperatur erfasst. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3-5 zusammengefasst

In den weiteren Unterkapiteln werden die einzelnen Ergebnisse grafisch dargestellt.

**Tabelle 3-5: Frischbetoneigenschaften – Typ A-VI**

Frischbetoneigenschaften											
untersuchter Einflussparameter		Frischbetontemperatur	Raumtemperatur	Ausbreitmaß				LP-Gehalt	Frischbetonrohndichte		
				[°C]	[°C]	a <sub>5</sub>	a <sub>10</sub>			a <sub>30</sub>	a <sub>60</sub>
						[mm]	[mm]			[mm]	[mm]
Prüfmittel	01-1	22,6	19,5	480	520	475	410	0,7	2401		
Art des Einbringens	01-2	22,8	20,3	485	495	440	380	0,7	2394		
Art der Verdichtung	01-3_1	22,0	20,3	455	495	445	385	0,8	2371		
	01-3_2	22,0	20,2	455	495	435	395	0,8	2379		
Verfahren der Wasserabnahme	01-4	22,6	22,4	525	530	525	455	0,8	2388		
Wasserrückgabe	01-5	22,1	22,4	480	500	455	370	0,8	2389		
Prüfbeginn u. Prüfhäufigkeit	01-6	22,1	21,2	515	535	525	485	0,9	2369		
Probenabdeckung	01-7	22,2	21,2	490	530	490	435	0,8	2366		
Erstprüfung	EP	21,3	20,7	530	565	515	480	0,75	2390		

$\bar{x}$	22,3	20,9	486	513	473	414	0,8	2382,1
$\sigma$	0,30	0,99	25	17	34	37	0,06	11,96

mit:

01 – 3\_1: 1. Mischung

01 – 3\_2: 2. Mischung

$\bar{x}$  := Mittelwert

$\sigma$  := Standardabweichung

### 3.4.2. Temperatur

Bei allen Prüfungen wurden Raumtemperatur sowie Frischbetontemperatur gemessen. Die Frischbetontemperatur wurde mittels Einstechthermometer ermittelt. Die Frischbetontemperatur bewegte sich in einem Bereich von 22,0°C bis 22,8°C. Die Raumtemperatur schwankte bei den einzelnen Versuchen zwischen 19,5°C und 22,4°C. Bei der Erstprüfung (EP) lagen die Frischbetontemperatur bei 21,3°C und die Raumtemperatur bei 20,7°C.

Die Messungen wurden solange wiederholt und an verschiedenen Stellen gemessen, bis ein konstanter Wert erreicht wurde bzw. ein Mittelwert gebildet werden konnte. Gemessen wurde jeweils am zuerst hergestellten Eimer.

Die Abbildungen 3-1 und 3-2 zeigen die gemessenen Frischbeton- bzw. die Lufttemperaturen.

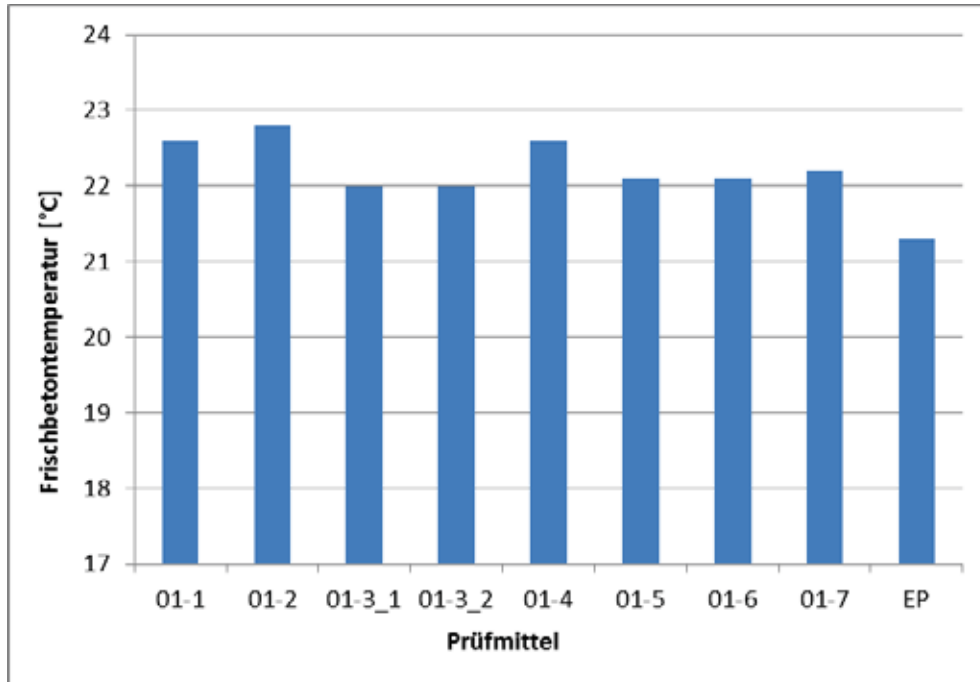


Abbildung 3-1: Vergleich der Frischbetontemperatur

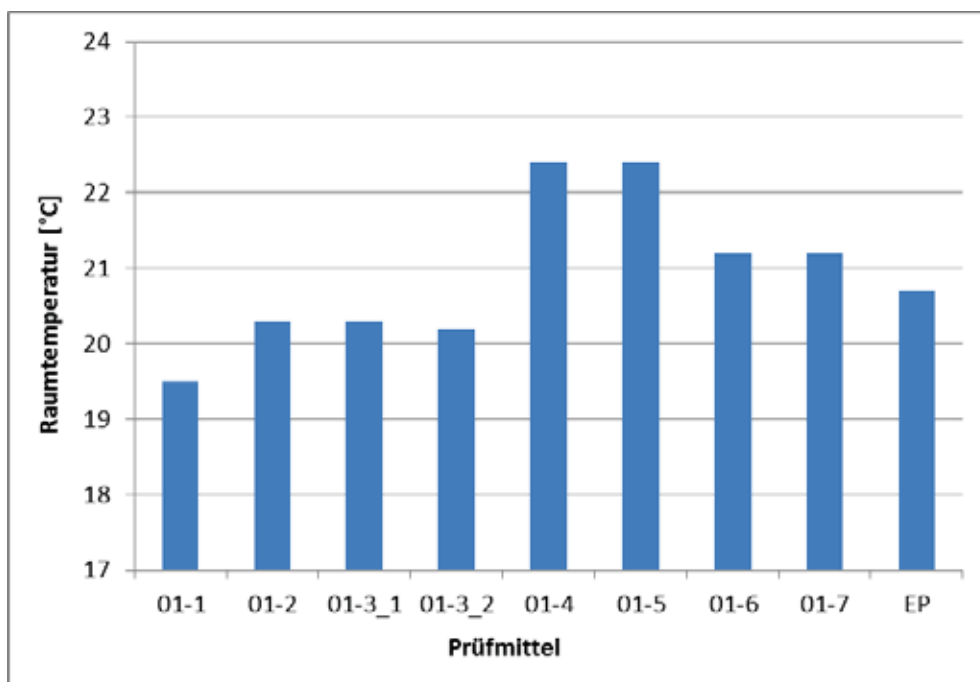


Abbildung 3-2: Vergleich der Raumtemperatur



### 3.4.3. Ausbreitmaß

Das Ausbreitmaß wurde bei jedem Versuch 5, 10, 30 und 60 Minuten ( $a_5$ ,  $a_{10}$ ,  $a_{30}$ ,  $a_{60}$ ) nach Wasserzugabe bestimmt. Die zeitliche Entwicklung der Ausbreitmaße ist in Abbildung 3-3 zu erkennen. Festzustellen ist, dass zwischen 5 und 10 Minuten ein mehr oder weniger ausgeprägter Verflüssigungseffekt eintritt. Zu Beginn der Prüfung, nach 5 Minuten, streute das Ergebnis zwischen 455 mm und 525 mm. Bei der letzten Messung des Ausbreitmaßes, nach 60 Minuten, lagen die Messungen zwischen 370 mm und 485 mm.

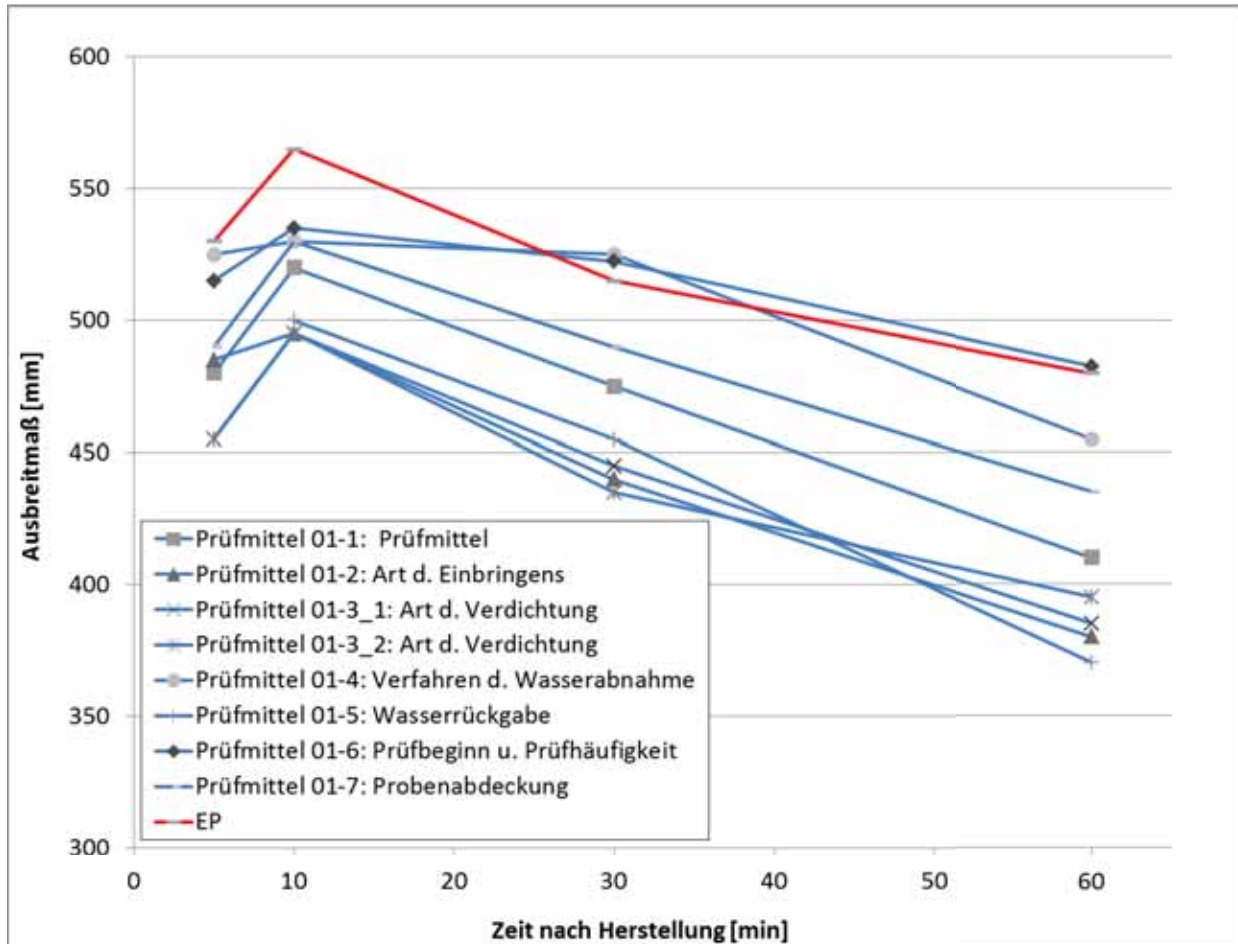


Abbildung 3-3: Entwicklung der Ausbreitmaße

### 3.4.4. Luftporengehalt (LP-Gehalt)

Der Luftporengehalt wurde wie Temperatur und Ausbreitmaß bei jedem Versuch bestimmt mittels Druckausgleichsverfahren bestimmt. In der Erstprüfung betrug der LP-Gehalt 0,75 Vol.-% bestimmt. Bei den einzelnen Versuchen schwankte der LP-Gehalt zwischen 0,7 Vol.-% und 0,9 Vol.-%. Abbildung 3-4 zeigt die LP-Gehalte der einzelnen Versuche.

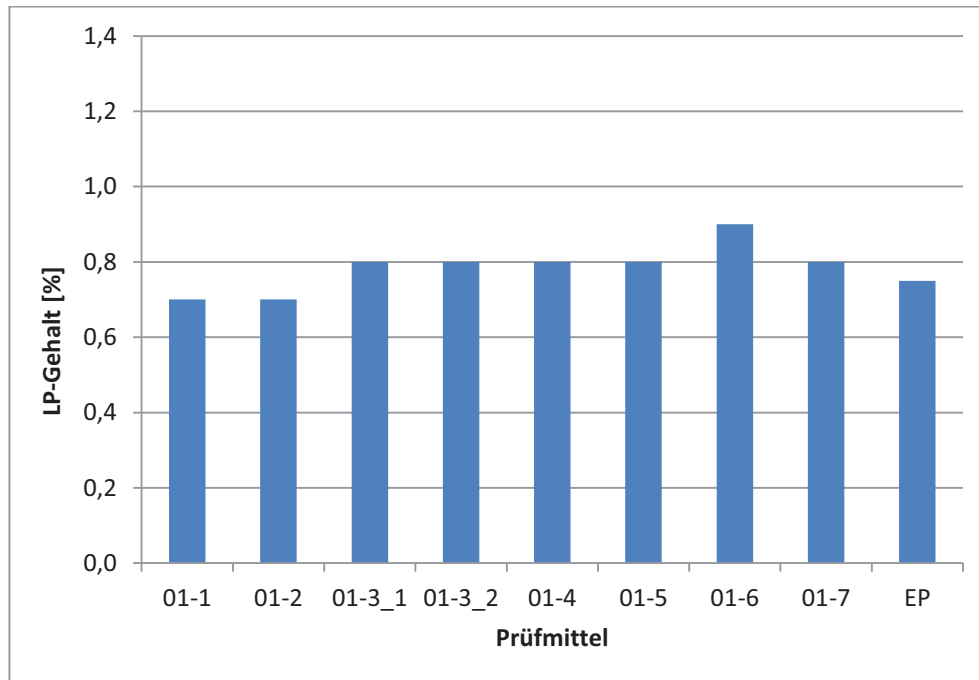


Abbildung 3-4: Vergleich des LP-Gehaltes

### 3.4.5. Frischbetonrohddichte

Abbildung 3-5 zeigt die Rohdichten der einzelnen Mischungen. In der Erstprüfung wurde eine Frischbetonrohddichte von 2390 kg/m<sup>3</sup> ermittelt. In den einzelnen Versuchen lag die Frischbetonrohddichte zwischen 2366 kg/m<sup>3</sup> und 2401 kg/m<sup>3</sup>.

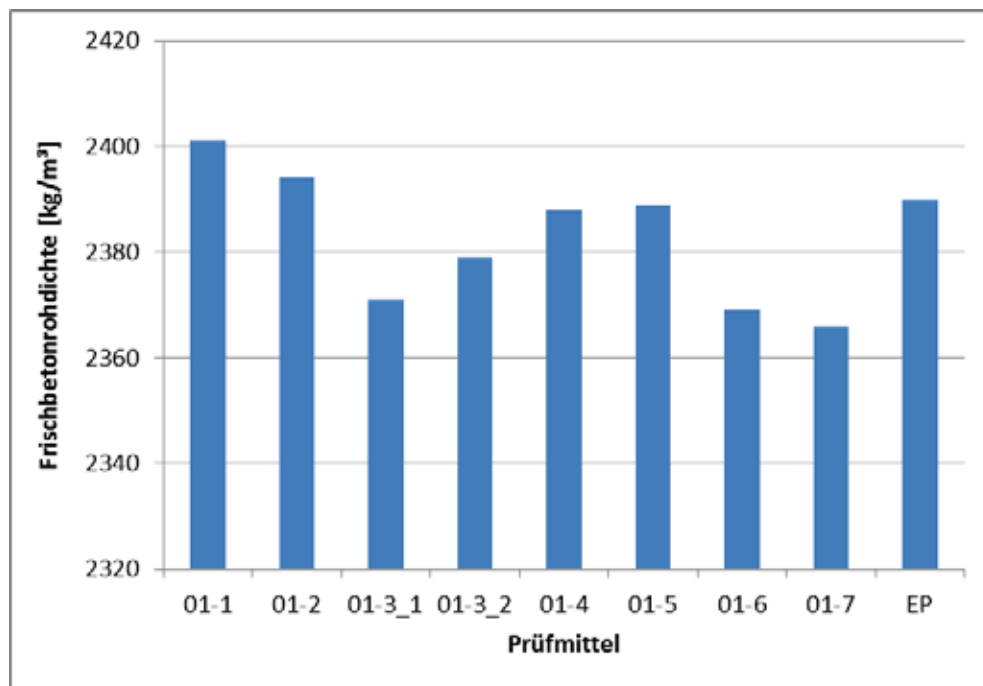


Abbildung 3-5: Vergleich der Frischbetonrohddichten

### 3.5. Auswertung der Festbetoneigenschaften

Die Druckfestigkeit und die Rohddichte wurde an Probekörpern aus der Versuchsreihe „Art der Verdichtung“ bestimmt.

Die hergestellten Probekörper wurden bzw. werden nach 7, 28, 56 und 91 Tagen geprüft. Die Ergebnisse gehen aus Tabelle 3-6 hervor.

**Tabelle 3-6: Druckfestigkeiten – Typ A-VI**

Typ A-VI				
Prüfalter	Rohdichte	Bruchlast	Druckfestigkeit	Bemerkungen
[d]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]	
7	2,38	887	39,5	Beton aus LP-Topf
7	2,38	962	43,0	-
7	2,35	828	37,0	-
$\bar{x}$	<b>2,37</b>	<b>892</b>	<b>40,0</b>	-
28	2,34	1047	47,0	-
28	2,37	1124	50,5	Beton aus LP-Topf
$\bar{x}$	<b>2,36</b>	<b>1086</b>	<b>49,0</b>	-
56	2,40	1293	57,5	-
56	2,37	1295	57,0	-
$\bar{x}$	<b>2,39</b>	<b>1294</b>	<b>57,5</b>	-
91	2,37	1375	60,5	-
91	2,37	1439	64,0	-
$\bar{x}$	<b>2,39</b>	<b>1294</b>	<b>63,0</b>	-

### 3.6. Auswertung der Blutwassermenge

#### 3.6.1. Vorbemerkungen

In den folgenden Unterkapiteln erfolgt die Auswertung der Blutwassermenge. Dazu werden getrennt voneinander die Standard- und Parameterversuche erläutert. Zusätzlich werden die Ergebnisse nach [2] beurteilt. Kapitel 5 enthält eine gemeinsame, zusammenfassende Bewertung mit den Ergebnissen des Typs B-V.

Die gemessenen Einzelwerte und Messergebnisse können dem Kapitel 9 (Anhang A) entnommen werden.

Die in Kapitel 9.1 dargestellte Tabelle zeigt die Dauer der Versuche, die Blutwasser je m<sup>3</sup> Frischbeton mit Einzelwerten und Mittelwerten. Ebenso werden die Daten der umhüllenden Kurve angezeigt. Die Umhüllende beschreibt die Ober- und Untergrenze aller Standardversuche.

Zusätzlich wird als charakteristischer Wert die „1,5 fache Blutwassermenge aus der Erstprüfung“ (zukünftig charakteristischer Wert „1,5 \* EP“ genannt) in Anlehnung an das Einzelwert-Kriterium aus [2] angegeben. Eigentlich müsste für Einzelwerte hier das 1,5 fache der maximal zulässigen Blutwassermenge für die jeweilige Charakteristik bzw. die einfache maximal zulässige Blutwassermenge für den Mittelwert aus drei Messungen angesetzt werden. Dies ist bei der vorliegenden Untersuchung allerdings nicht möglich, da der ausgewählte Beton den Grenzwert aus [2] überschreitet. Insofern werden nachfolgend sowohl die Einzelwerte als auch die Mittelwerte mit dem charakteristischen Wert „1,5 \* EP“ verglichen.

In Kapitel 9.2 (Anhang A) sind die Ergebnisse grafisch dargestellt.

### 3.6.2. Auswertung der Standardversuche

In Abbildung 3-6 ist die zeitliche Entwicklung der Blutwassermenge der einzelnen Standardversuche dargestellt. Hierbei handelt es sich in der Regel um den Mittelwert der drei durchgeführten Eimerversuche. Ausnahmen bilden die Versuche 01-4 (Verfahren der Wasserabnahme), bei dem ein Einzelergebnis des ersten Bluteimers als Ausreißer unberücksichtigt blieb und 01-6, bei dem die Einzelergebnisse des ersten und zweiten Bluteimers unberücksichtigt bleiben. Bei dem Versuch 01-3\_2 (Art der Verdichtung, 2. Mischung) wurde nur ein Bluteimer gemessen, da ein Großteil der Mischung für andere Prüfkörper verwendet wurde und die Mischungsgröße aufgrund des Fassungsvermögens des Mischers nicht weiter erhöht werden konnte.

Zu erkennen ist, dass der Versuch 01-4 (Verfahren der Wasserabnahme) die Obergrenze und Versuch 01-3\_2 (Art der Verdichtung) die Untergrenze darstellen. Diese beiden Versuche kennzeichnen die Umhüllende, welche auch in den Diagrammen in Kapitel 9.2 eingezeichnet ist. Dazwischen streuen die einzelnen Versuche. Weiterhin ist der charakteristische Wert „1,5 \* EP“ eingezeichnet. Keine der Kurven überschreitet diesen.

Betrachtet man nun die zugehörigen Frischbetoneigenschaften, so können daraus Erklärungen für den besonderen Verlauf von Versuch 01-4 (Verfahren der Wasserabnahme) und Versuch 01-3\_2 (Art der Verdichtung) abgeleitet werden:

Der Versuch 01-4 wies zu Beginn ein Ausbreitmaß von  $a_5 = 525$  mm auf. Auch die zu den weiteren Zeitpunkten bestimmten Ausbreitmaße  $a_{10}$ ,  $a_{30}$ , und  $a_{60}$  waren im Vergleich zu den anderen Versuchen deutlich höher. Dies lässt erkennen, dass der Beton des Versuches 01-4 ein deutlich geringeres Ansteifverhalten zeigte als die anderen Betone, was auch das „erhöhte“ Bluten erklärt. Gleichzeitig war der bei den anderen Versuchen vorgefundene „Nachverflüssigungseffekt“ zwischen 5 und 10 Minuten weniger stark ausgeprägt. Ein ähnliches Verhalten zeigt auch der Versuch 01-6 (Prüfbeginn und Prüfhäufigkeit).

Die besondere Entwicklung der Blutwassermenge von Versuch 01-3\_2 (Art der Verdichtung) lässt sich im Wesentlichen mit Hilfe der Frischbetoneigenschaften erklären. Betrachtet man hier wieder die Entwicklung des Ausbreitmaßes, so ist zu erkennen, dass das Ausbreitmaß nach 5 Minuten zu den zwei niedrigsten gehört und auch in der weiteren Entwicklung vergleichbar gering bleibt. Eine geringe Blutwassermenge ist daher nachvollziehbar. Ein ähnliches Verhalten zeigt auch die Versuchsreihe 01-5 (Wasserrückgabe).

Bei Versuch 01-1 (Prüfmittel) ist zum einen auffällig, dass der Beton im Vergleich zu den anderen Versuchen über einen längeren Zeitraum blutete. Des Weiteren tendiert er bei der Blutwassermenge eher in Richtung Obergrenze. Die Frischbetontemperatur lässt zunächst keinen großen Unterschied zu den restlichen Versuchen erkennen. Eine Erklärung könnte hier allerdings die niedrigere Raumtemperatur und die damit einhergehende verzögerte Zementhydratation sein. Im Vergleich zur höchsten Temperatur von  $22,4^\circ\text{C}$  bzw. dem Mittelwert von  $20,9^\circ\text{C}$  liegt diese bei nur  $19,5^\circ\text{C}$ .

Die relativ große Spreizung der Umhüllenden ist auffällig. Bei Typ A-VI schwanken die Ergebnisse der Standardversuche in einer Bandbreite von ungefähr  $4 \text{ kg/m}^3$  was etwa 40% des charakteristischen Wertes der Erstprüfung entspricht. Dabei sind die Ausreißer aus den Versuchen 01-4 und 01-6 bei der Bestimmung der Mittelwerte unberücksichtigt geblieben. Ansonsten wären die Umhüllenden noch weiter gespreizt.

Anzumerken ist, dass der charakteristische Wert „1,5 \* EP“ für die Einzelwerte von einzelnen Messreihen bei Standardversuchen überschritten wird. Dies ist bei den Versuchen 01-4 (Verfahren der Wasserabnahme) und 01-6 (Prüfbeginn und Prüfhäufigkeit) zu beobachten.

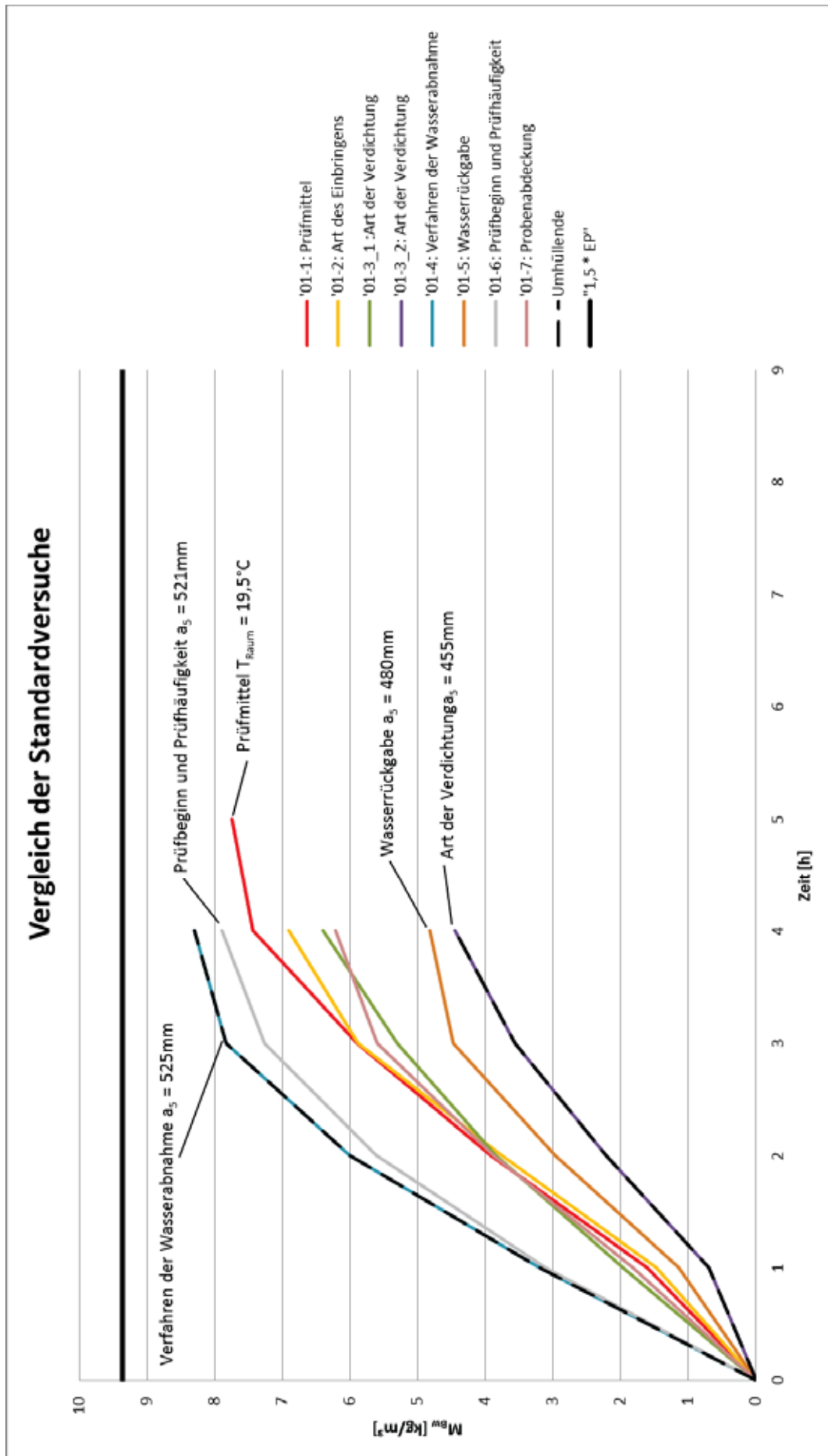


Abbildung 3-6: Vergleich der Standardversuche - Auswertung

### 3.6.3. Auswertung der Parameterversuche

Die Ergebnisse der Parameterversuche sind graphisch in Kapitel 9.2 dargestellt. Bei den Parameterversuchen gibt es ähnlich wie bei den Standardversuchen Ausreißer in den einzelnen Messungen. Diese treten in den Versuchen 02 (Prüfmittel) und 07 (Art der Wasserrückgabe) auf. Dabei ist nochmals zu differenzieren; während die Kurve von Versuch 02 den charakteristischen Wert „1,5 \* EP“ nur leicht berührt, übersteigt die Kurve von Versuch 07 den charakteristischen Wert deutlich. Der extreme Ausreißer bei Versuch 07 ist dementsprechend nicht bei der Ermittlung des Mittelwertes berücksichtigt worden.

Weiterhin ist auffällig, dass einige Mittelwertkurven der Parameterversuche zeitweise außerhalb der Umhüllenden liegen. Dies ist in Abbildung 3-7 dargestellt.

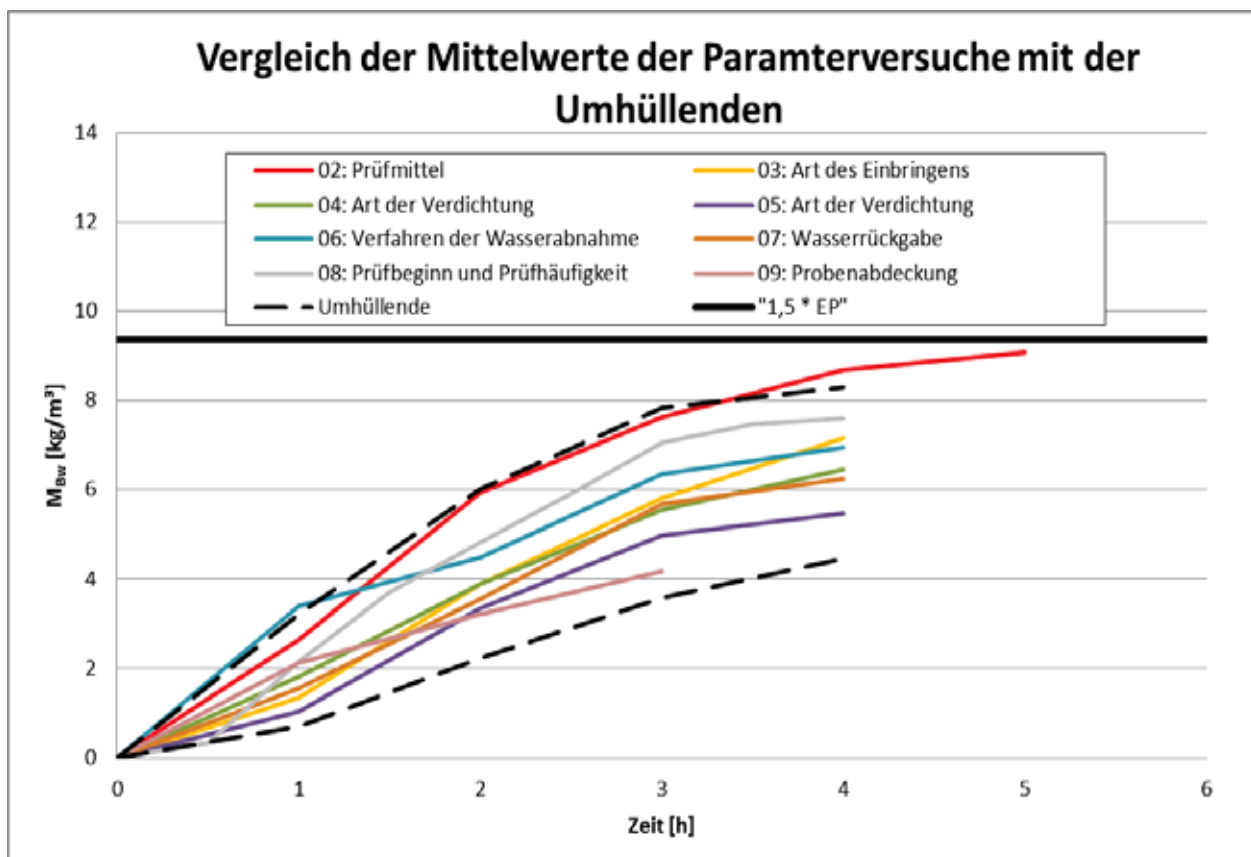


Abbildung 3-7: Vergleich der Mittelwerte der Parameterversuche mit der Umhüllenden der Standardversuche – Typ A-VI

Auffällig sind dabei die Versuche 02 (Prüfmittel), 06 (Verfahren der Wasserabnahme) und 08 (Prüfbeginn und Prüfhäufigkeit). Während Versuch 02 zum Versuchsende deutlich oberhalb der Umhüllenden liegt, überschreitet die Kurve von 06 leicht den charakteristischen Wert zu Beginn, pendelt sich im Verlauf der Prüfung jedoch wieder ein und liegt gegen Ende der Prüfung ungefähr mittig innerhalb der Umhüllenden. Versuch 08 liegt zu Beginn auf der unteren Umhüllenden und pendelt sich danach im oberen Drittel zwischen den Umhüllenden ein..

### 3.6.4. Wiederholungsversuche

Die Wiederholungsversuche wurden aufgrund einiger auffälliger Versuche bei den Standard- (01-4, 01-6) und Parameterversuchen (02, 06, 07 und 08) durchgeführt.

Ziel der Wiederholungsversuche war es, mögliche Ursachen für die Ausreißer zu finden. Deshalb wurden bei den Wiederholungsprüfungen zwei vermutete, potentielle Einflussgrößen, nämlich der Zustand der Eimer und eine mögliche Verformung der Eimer beim Hochheben, untersucht. Insgesamt wurden sechs Eimer geprüft. Der Umfang der Wiederholungsversuche geht aus Abbildung 3-8 hervor.

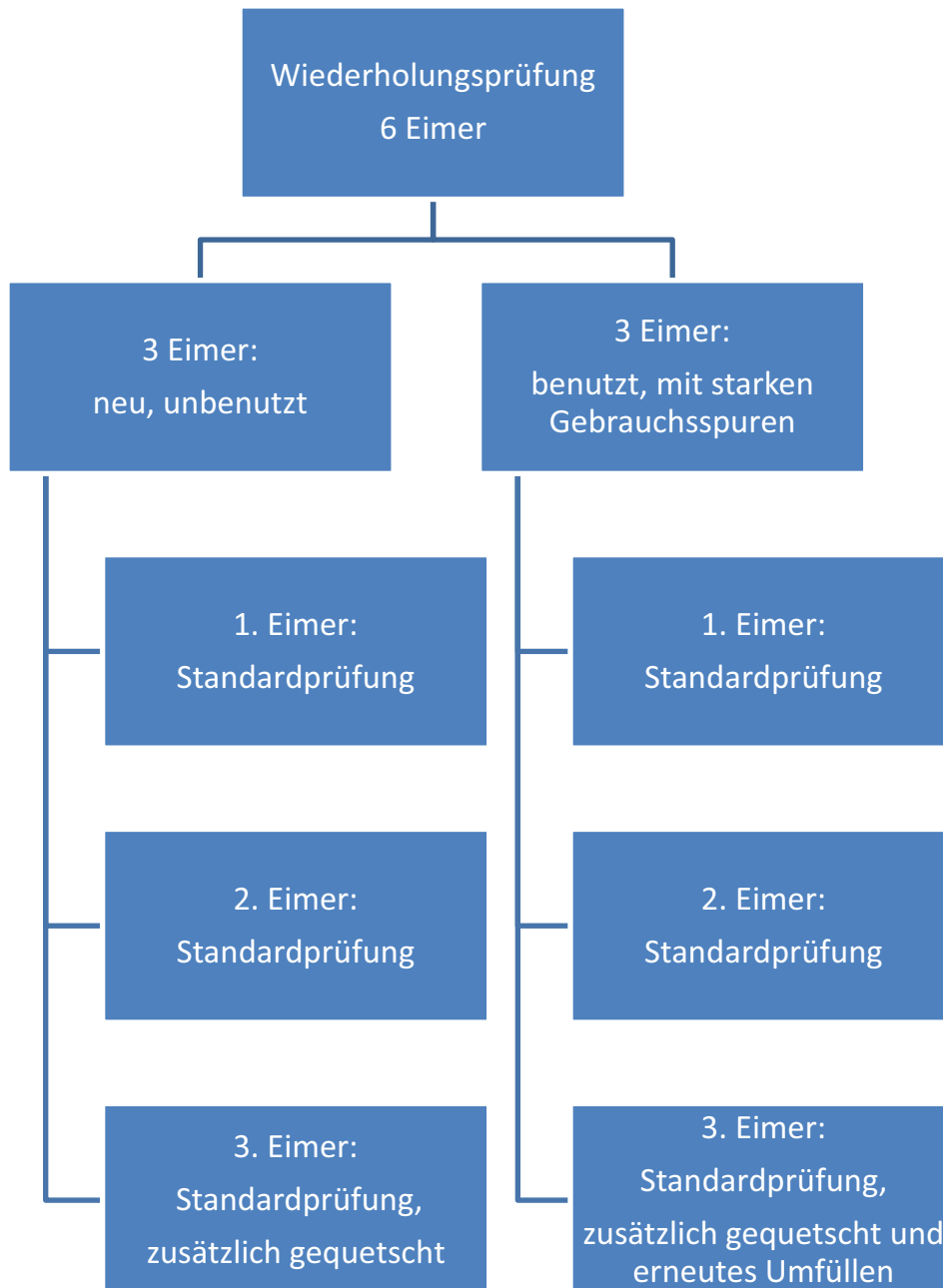


Abbildung 3-8: Prüfschema der Wiederholungsversuche – Typ A-VI



Bei den Wiederholungsversuchen wurde untersucht, ob sich die Beschaffenheit des Eimers (neue und glatte Oberfläche, gebrauchte und raue Oberfläche) auf das Ergebnis der Standardversuche auswirkt. Ergänzend wurde untersucht, ob ein zusätzliches Quetschen oder Anstoßen der Eimer (z. B. Simulation des Anschlages eines Eimers an die Werkbank beim Hochheben) Auswirkungen zeigt. Außerdem sollten mögliche Gründe für die starken Schwankungen der Standardversuche gefunden werden.

In Kapitel 11 (Anhang C) sind alle Daten, und die Darstellung der Ergebnisse zu finden.

**Tabelle 3-7: Frischbetoneigenschaften Wiederholungsprüfung**

Frischbetoneigenschaften									
untersuchter Einflussparameter		Frischbetontemperatur	Raumtemperatur	Ausbreitmaß				LP-Gehalt	Frischbetonrohrichte
				a <sub>5</sub>	a <sub>10</sub>	a <sub>30</sub>	a <sub>60</sub>		
				[°C]	[°C]	[mm]	[mm]		
Wiederholungsversuch	WV	22,2	22,7	480	510	465	415	0,90	2387

Die in Tabelle 3-7 dargestellten Frischbetonergebnisse sind mit den Frischbetonergebnissen der Standardversuche von Typ A-VI vergleichbar. Die Schwankungen können als typisch für Laborprüfungen angesehen werden.

Betrachtet man die Auswertung in einem Blutwassermenge-Zeit-Diagramm (siehe Abbildung 3-9 und Abbildung 3-10) ist zu erkennen, dass die Versuche nur in einem sehr kleinen Bereich streuen (ca. 2,3 kg/m<sup>3</sup>).

Des Weiteren ist zu erkennen, dass die Versuchsergebnisse der neuen Eimer über den Werten der alten Eimer liegen (siehe Abbildung 3-9). Abbildung 3-10 zeigt die Mittelwerte aus den Eimern 1-3, Mittelwert aus den Eimern 4-6 und den Mittelwert aus allen Eimern und vergleicht diese mit der Umhüllenden der Standardversuche.

Die Wiederholungsversuche liegen alle im Normalbereich, also innerhalb der Umhüllenden, so dass keine weiteren Erkenntnisse über die Ursachen der Ausreißer gewonnen werden konnten. Da bei den „normalen“ Versuchsreihen im Wesentlichen gebrauchte Eimer verwendet wurden und die Wiederholungsversuche zeigen, dass diese eher zu niedrigeren Blutwassermengen führten, können Ausreißer nach oben damit nicht erklärt werden.

Auch das Quetschen scheint keinen maßgeblichen Einfluss zu haben.

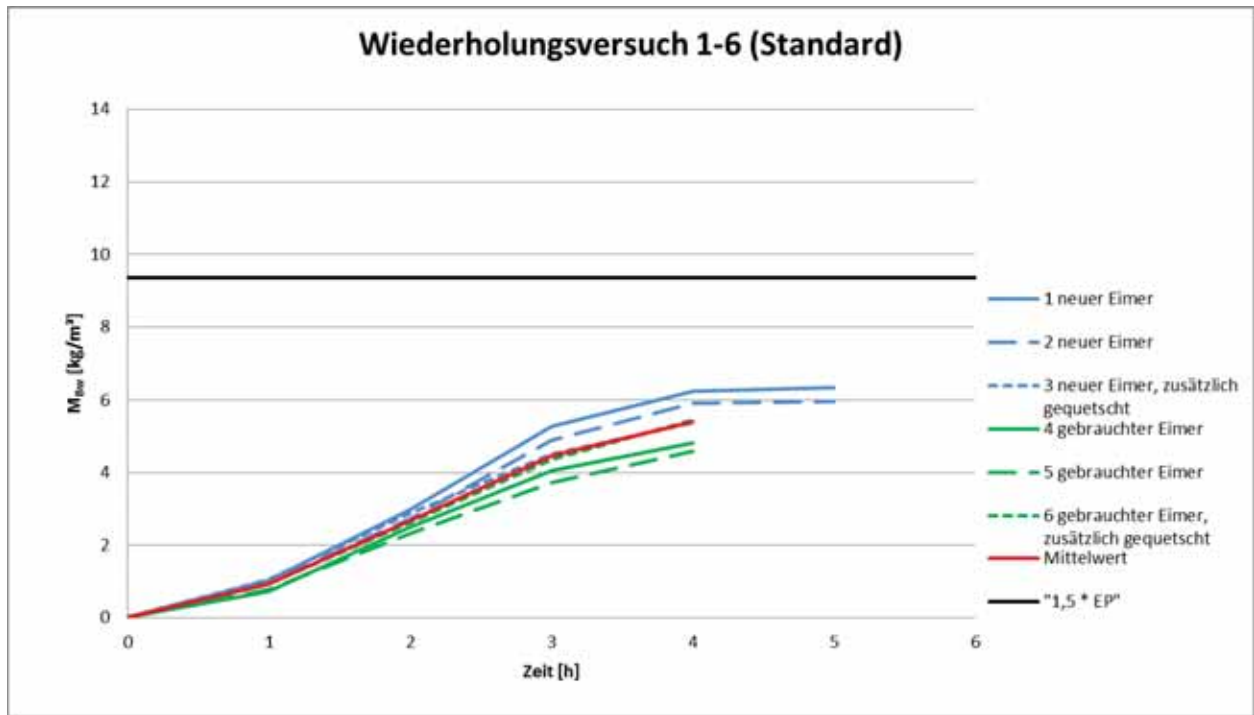


Abbildung 3-9: Wiederholungsversuch 1-6 (Standard)

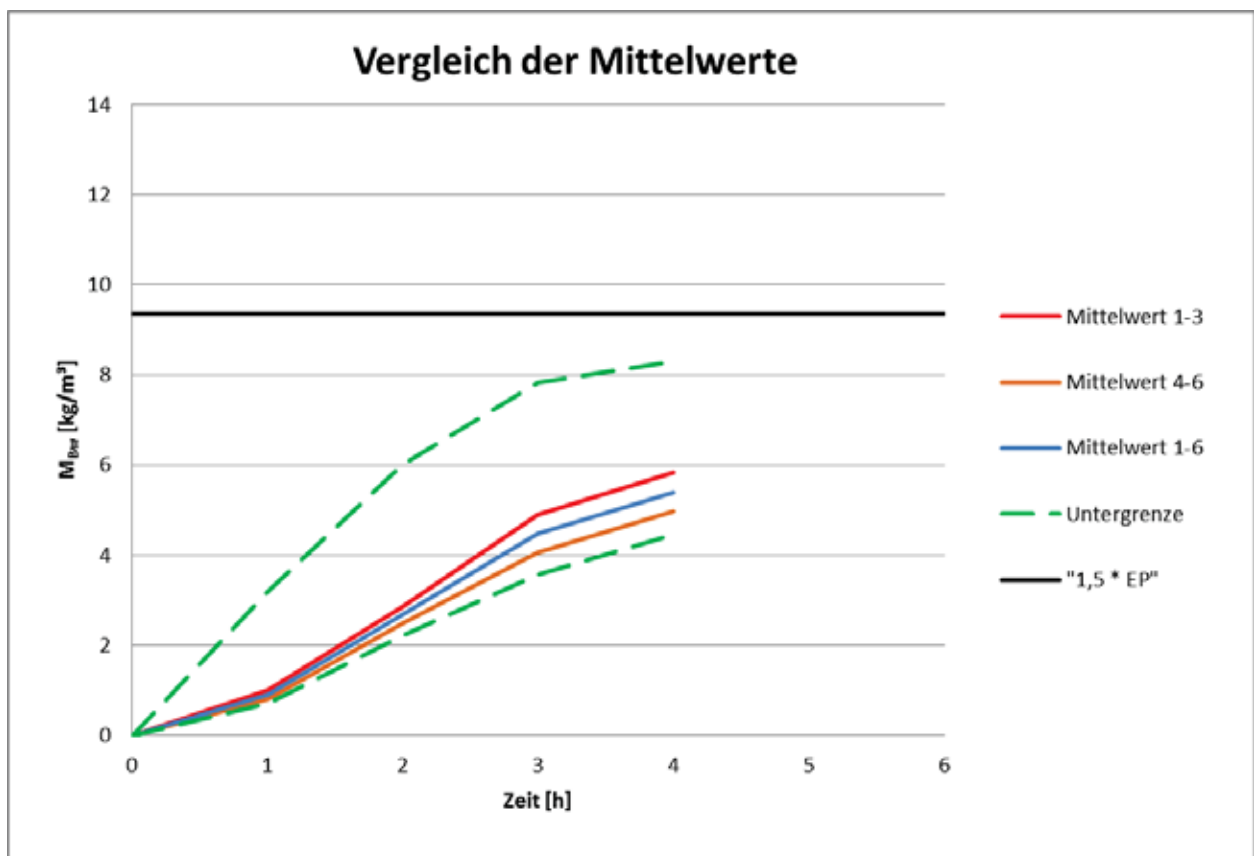


Abbildung 3-10: Mittelwerte der Wiederholungsversuche im Vergleich mit der Umhüllenden der Standardversuche

**4. Untersuchungsreihe „Typ B – Beton für massive Bauteile“ (Typ B-V)**

**4.1. Mischungsberechnung**

Dem Beton für die Versuchsreihe Typ B-V liegt die in Tabelle 4-1 dargestellte Mischungsberechnung zu Grunde.

**Tabelle 4-1: Mischungsberechnung Typ B-V**

Forschungsvorhaben: BLUTEIMER				
<b>Anforderungen</b>				
Wasserundurchlässigkeit		Festigkeitsklasse		C30/37
Expositionsklassen XC 2		vorgesehenes Prüfalter		91 d
		Konsistenzbereich		F4 - F5
Sichtbeton		max. zul. (w/z+0,4 f)-Wert		0,75
Pumpbeton		Luftporengehalt (Soll)		
Frühfestigkeit		Verarbeitungszeit (Soll)*		
Beton niedriger Wärmeentwicklung		Außenbauteile		
<b>Ausgangsstoffe</b>				
Zement 1, Art/Bez.	CEM III/A 32,5 N	Zuschlag	Art/Herstellwerk	
Herstellwerk		0/2 mm	Rheinsand	
Zement 2, Art/Bez.		2/8 mm	Rheinkies	
Herstellwerk		8/16 mm	Rheinkies	
Zusatzstoff, Art/Bez.	Flugasche	16/32 mm	Rheinkies	
Herstellwerk				
Zusatzmittel 1, Art/Bez.	FM/BV 2	Zusatzmittel 2, Art/Bez.	FM 3	
Herstellwerk		Herstellwerk		
<b>Stoffraumberechnung</b>				
W/(Z+S+0,4 F)	0,599	Dichte (kg/dm <sup>3</sup> )	Stoffraum (dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	
Gesamtwassergehalt	kg/m <sup>3</sup> 175	1,0	175	1000
Zement 1	kg/m <sup>3</sup> 260	3,0	87	
Flugasche	kg/m <sup>3</sup> 80	2,4	33	
Luftporengehalt	Vol.-% 1,5	10	15	
Gesteinskörnungsgehalt	kg/m <sup>3</sup> 1791		310	690
<b>Zusammensetzung für 1 m<sup>3</sup></b>				
Gesteinskörnung	Anteil (%)	Stoffraum dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	Rohdichte kg/dm <sup>3</sup>	Gesamtgewicht Gesteinsk. trocken
0/2 mm	32	221	2,60	574
2/8 mm	15	104	2,57	266
8/16 mm	20	138	2,60	359
16/32 mm	33	228	2,60	592
GK-gehalt (Summe)		690		1791
Zementgehalt				260
Zusatzstoffgehalt				80
Zugabewassergehalt				173
Saugwasser				10
Zusatzmittel 1		0,50 % vom ZG*		1,30
Zusatzmittel 2		0,37 % vom ZG*		0,96
Frischbetongewicht				2306
<b>Sonstige Kenndaten</b>				
Mehlkorngehalt bei 0,25 mm (kg/m <sup>3</sup> )				406
Mehlkorngehalt bei 0,125 mm (kg/m <sup>3</sup> )				343
Mörtelvolumen (dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )				531

In Tabelle 4-2 sind die Kennwerte des verwendeten CEM III/A 32,5 N dargestellt.

**Tabelle 4-2: Kennwerte CEM III/A 32,5 N**

Physikalisch / mechanische Eigenschaften		Mittelwert
Blaine	cm <sup>2</sup> /g	3400
Wasseranspruch	%	30,0
Beginn	min	270
Ende	min	300
Druckfestigkeit 2 Tage	MPa	15,9
Druckfestigkeit 7 Tage	MPa	28,3
Druckfestigkeit 28 Tage	MPa	50,5

#### 4.2. Mischanweisung

Um bei jeder Mischung dasselbe Vorgehen bei der Herstellung des Betons zu gewährleisten, wurde eine Mischanweisung entwickelt, die in Tabelle 4-3 dargestellt ist.

**Tabelle 4-3: Mischanweisung Typ B-V**

	Dauer [sec]	[U/min]
1. Gesteinskörnung plus Saugwasser (15 min Saugen)	30	30
2. Zement + Füller	30	30
	30	40
3. Zugabewasser	15	40
4. ZM1 (0,5 %) und ZM2 (0,37%)	15	40
5. Mischzeit 120 sec nach FM Zugabe	120	40
	$\Sigma$ 240	

### 4.3. Ergebnisse der Vorversuche (Erstprüfung)

Aus der Erstprüfung (EP) gehen die in Tabelle 4-4 angegebenen Werte hervor.

**Tabelle 4-4: Ergebnisse der Erstprüfung**

Herstelldatum	Prüf.-Nr.	Betonzusammensetzung	Ausbreitmaße [mm]				T [°C]	LP	$\rho$	max. Blutwassermenge [kg/m <sup>3</sup> ]/ nach [h]
			a <sub>5</sub>	a <sub>10</sub>	a <sub>30</sub>	a <sub>60</sub>	Luft/ Beton	[%]	[kg/dm <sup>3</sup> ]	
29.10.2010	Typ B-V	siehe Tab. 4.1	620	610	575	525	20,1/ 21,6	1,0	2,37	21,2/ 7

#### 4.4. Auswertung der Frischbetoneigenschaften

##### 4.4.1. Untersuchungsparameter

Im Rahmen der Frischbetonuntersuchungen wurden die Frischbetontemperatur, das Ausbreitmaß nach 5, 10, 30 und 60 Minuten, der Luftporengehalt, die Frischbetonrohddichte und die Raumtemperatur erfasst. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4-5 zusammengefasst.

In den weiteren Unterkapiteln werden die einzelnen Ergebnisse grafisch dargestellt.

**Tabelle 4-5: Frischbetoneigenschaften – Typ B-V**

Frischbetoneigenschaften											
untersuchter Einflussparameter		Frischbetontemperatur	Raumtemperatur	Ausbreitmaß				LP-Gehalt	Frischbetonrohddichte		
				[°C]	[°C]	a <sub>5</sub>	a <sub>10</sub>			a <sub>30</sub>	a <sub>60</sub>
						[mm]	[mm]			[mm]	[mm]
Prüfmittel	01-1	21,6	20,4	630	610	470	405	1,4	2341		
Art des Einbringens	01-2	20,5	17,4	605	600	540	465	1,2	2369		
Art der Verdichtung	01-3_1	20,9	21,4	610	590	560	525	1,1	2348		
	01-3_2	21,1	21,4	620	605	560	525	1,4	2326		
Verfahren der Wasserabnahme	01-4	20,7	20,0	585	560	545	520	1,3	2343		
Wasserrückgabe	01-5	20,5	21,2	-	560	495	465	1,3	2341		
Prüfbeginn u. Prüfhäufigkeit	01-6	21,1	20,3	655	615	580	550	1,0	2360		
Probenabdeckung	01-7	22,2	22,6	640	585	525	490	1,0	2378		
Erstprüfung	EP	21,6	20,1	620	610	575	525	1,0	2370		

$\bar{x}$	21,1	20,6	621	591	534	493	1,2	2351
$\sigma$	0,54	1,4	22	20	34	44	0,2	16

mit:

01 – 3\_1: 1. Mischung

01 – 3\_2: 2. Mischung

$\bar{x}$  := Mittelwert

$\sigma$  := Standardabweichung

### 4.4.2. Temperatur

Bei allen Prüfungen wurden Raumtemperatur sowie Frischbetontemperatur gemessen. Die Frischbetontemperatur wurde mittels Einstechen ermittelt. Die Frischbetontemperatur bewegte sich in einem Bereich von 20,5°C bis 21,6°C. Die Raumtemperatur schwankte bei den einzelnen Versuchen zwischen 17,4°C und 22,6°C. Bei der Erstprüfung lagen die Frischbetontemperatur bei 21,6°C und die Raumtemperatur bei 20,1°C.

Die Abbildungen 4-1 und 4-2 zeigen gemessenen Frischbeton- bzw. die Lufttemperaturen.

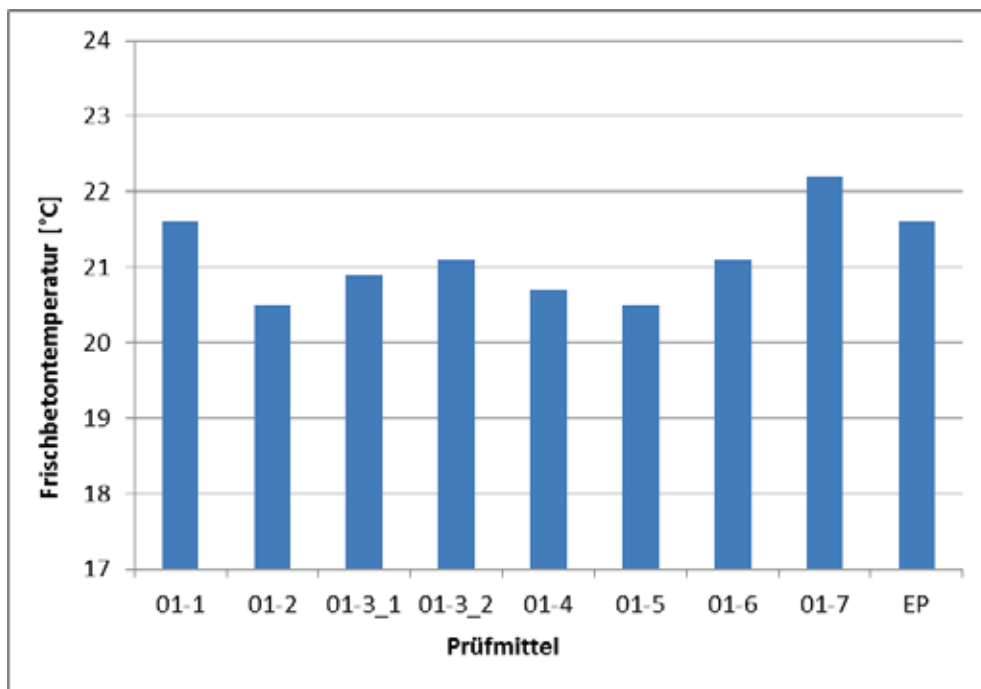


Abbildung 4-1: Vergleich der Frischbetontemperatur

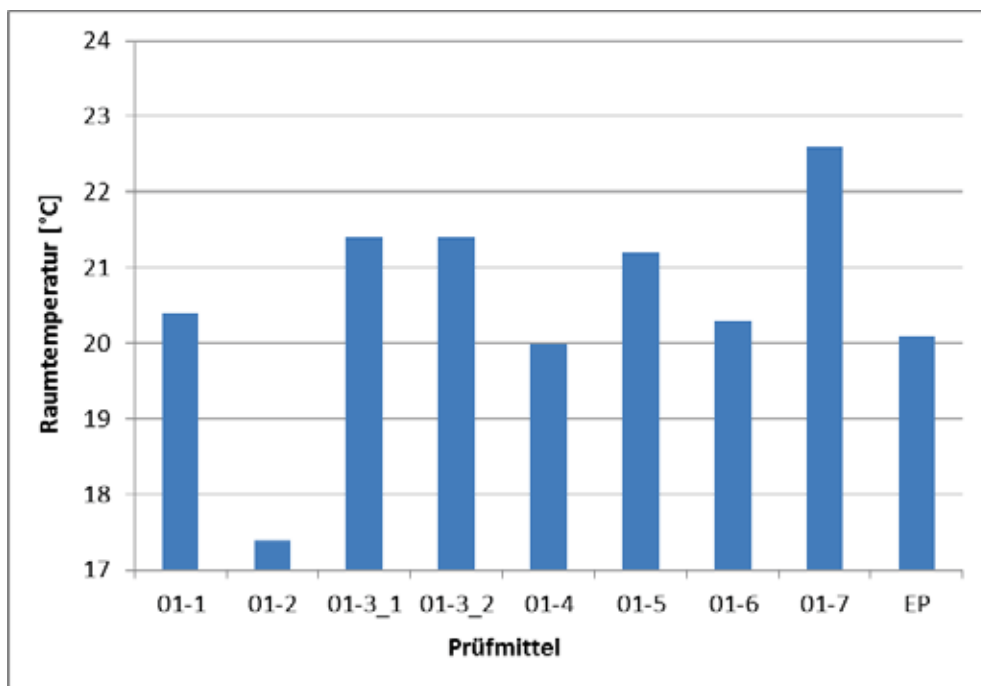


Abbildung 4-2: Vergleich der Raumtemperatur

### 4.4.3. Ausbreitmaß

Das Ausbreitmaß wurde 5, 10, 30 und 60 Minuten ( $a_5$ ,  $a_{10}$ ,  $a_{30}$ ,  $a_{60}$ ) nach Wasserzugabe bestimmt. Die zeitliche Entwicklung der einzelnen Ausbreitmaße ist in Abbildung 4-3 zu sehen. Zu Beginn der Prüfung, also nach 5 Minuten, lagen die Werte zwischen 585 mm und 655 mm. Bei der letzten Messung des Ausbreitmaßes, also nach 60 Minuten, lagen die Werte zwischen 405 mm und 550 mm.

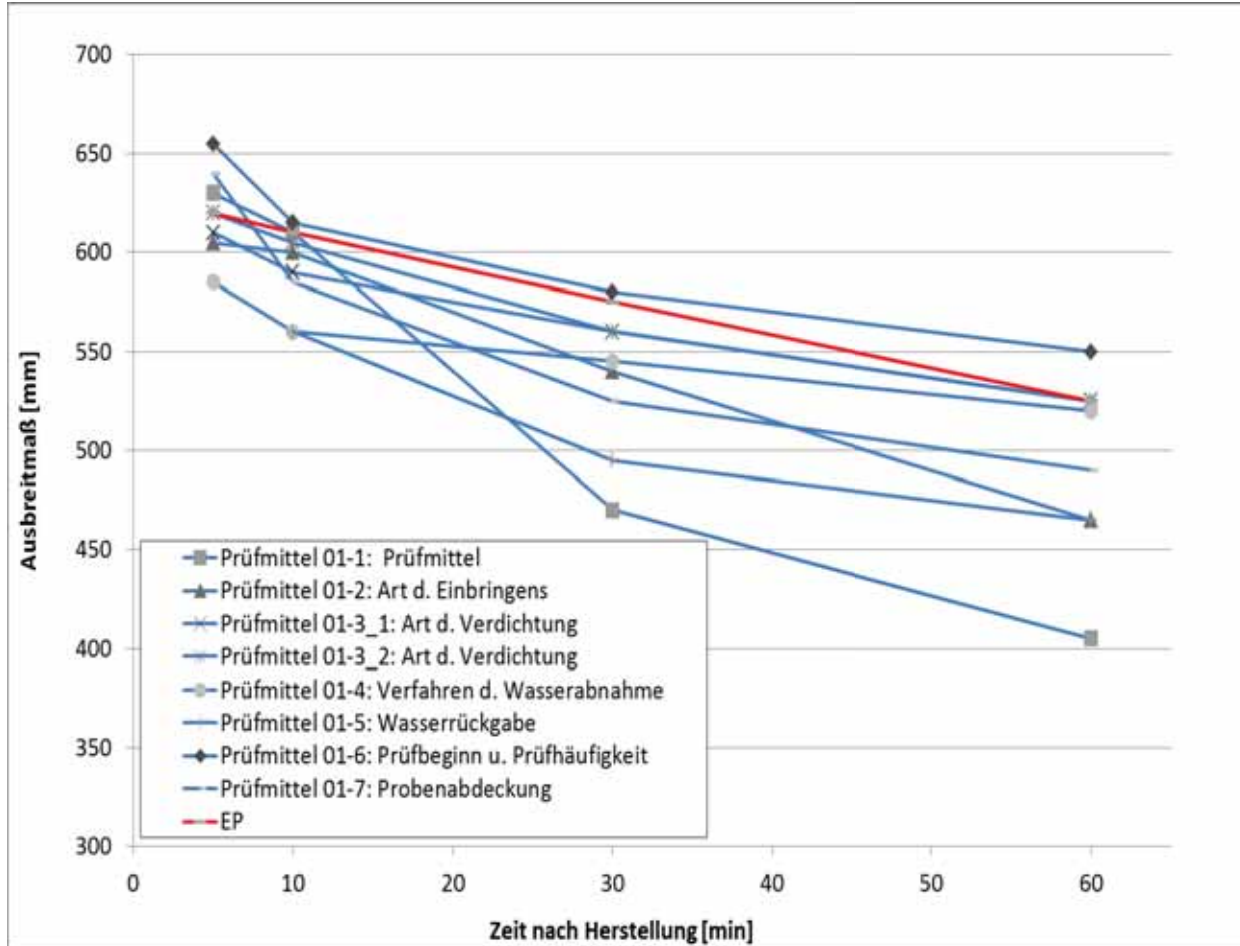


Abbildung 4-3: Entwicklung der Ausbreitmaße



#### 4.4.4. Luftporengehalt (LP-Gehalt)

Der Luftporengehalt wurde mittels Druckausgleichsverfahren bestimmt. In der Erstprüfung betrug der LP-Gehalt 1,0 Vol.-% bestimmt. Bei den einzelnen Versuchen schwankte der LP-Gehalt zwischen 1,0 Vol.-% und 1,4 Vol.-%. Abbildung 4-4 zeigt die LP-Gehalte der einzelnen Versuche.

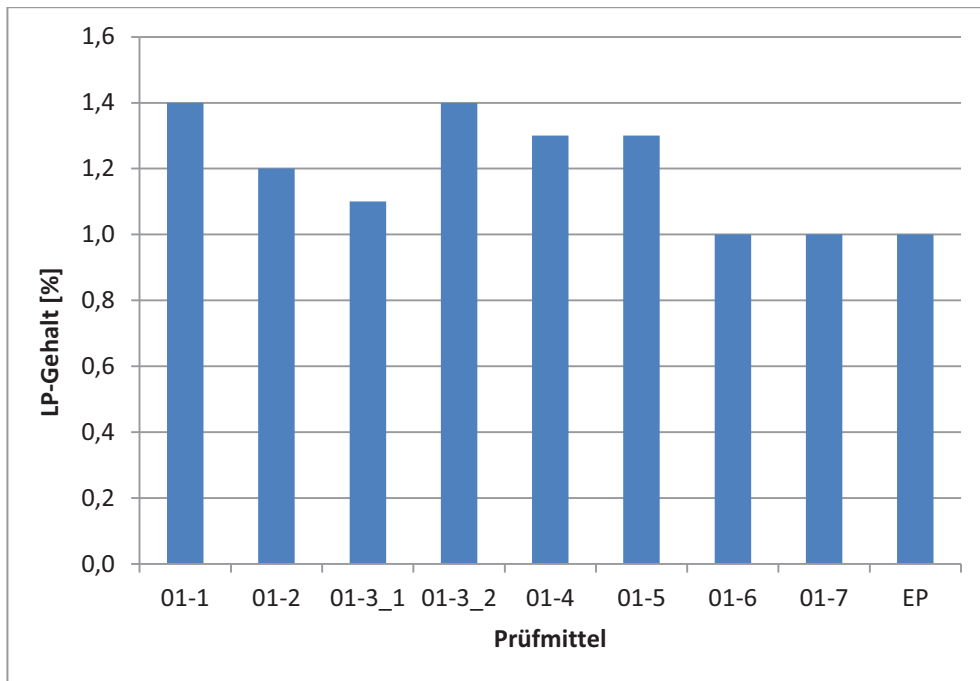


Abbildung 4-4: Vergleich des LP-Gehaltes

#### 4.4.5. Frischbetonrohichte

Abbildung 4-5 zeigt die Rohdichten der einzelnen Mischungen. In der Erstprüfung wurde eine Frischbetonrohichte von 2370 kg/m<sup>3</sup> ermittelt. In den einzelnen Versuchen lag die Frischbetonrohichte zwischen 2326 kg/m<sup>3</sup> und 2378 kg/m<sup>3</sup>.

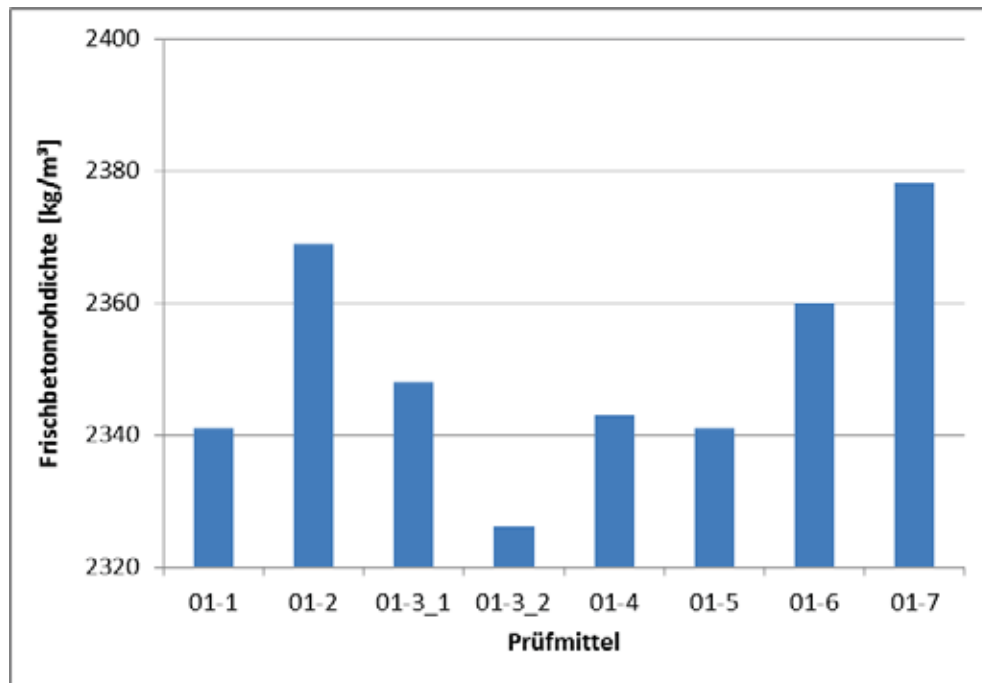


Abbildung 4-5: Vergleich der Frischbetonrohichten

#### 4.5. Auswertung der Festbetoneigenschaften

Die Druckfestigkeit und die Rohdichte wurde an Probekörpern aus der Versuchsreihe „Art der Verdichtung“ bestimmt.

Die hergestellten Probekörper wurden bzw. werden nach 7, 28, 56, 91 und 180 Tagen geprüft. Die Ergebnisse gehen aus Tabelle 4-6 hervor.

**Tabelle 4-6: Druckfestigkeiten – Typ B-V**

Typ B-V			
Prüfalter	Rohdichte	Bruchlast	Druckfestigkeit
[d]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]
<b>7</b>	<b>2,34</b>	<b>425</b>	<b>19,0</b>
28	2,32	781	34,5
28	2,33	847	37,5
$\bar{x}$	<b>2,33</b>	<b>814</b>	<b>36,0</b>
56	2,35	997	44,0
56	2,33	936	41,5
56	2,35	998	44,5
<b>x</b>	<b>2,34</b>	<b>977</b>	<b>43,5</b>
91	2,31	1046	46,0
91	2,33	1006	44,5
91	2,36	1146	50,5
$\bar{x}$	<b>2,33</b>	<b>1066</b>	<b>47,0</b>
180	2,38	1271	56,0
180	2,36	1139	50,5
$\bar{x}$	<b>2,36</b>	<b>1205</b>	<b>53,5</b>

#### 4.6. Auswertung der Blutwassermenge

##### 4.6.1. Vorbemerkungen

In den folgenden Unterkapiteln erfolgt die Auswertung der Blutwassermenge. Dazu werden getrennt voneinander die Standard- und Parameterversuche erläutert. Zusätzlich erfolgt eine Beurteilung nach [2]. Abschließend erfolgt eine gemeinsame, zusammenfassende Bewertung mit den Ergebnissen des Typs A-VI in Kapitel 5.

Die gemessenen Einzelwerte und Messergebnisse können dem Kapitel 10 (Anhang B) entnommen werden.

Die in Kapitel 10.1 dargestellte Tabelle zeigt die Dauer der Versuche, Blutwasser je m<sup>3</sup> Frischbeton mit Einzelwerten und Mittelwerten. Ebenso werden die Daten der umhüllenden Kurve angezeigt. Die Umhüllende beschreibt die Ober- und Untergrenze aller Standardversuche.

Zusätzlich wird als charakteristischer Wert die „1,5 fache Blutwassermenge aus der Erstprüfung“ (zukünftig charakteristischer Wert „1,5 \* EP“ genannt) in Anlehnung an das Einzelwert-Kriterium aus [2] angegeben. Eigentlich müsste für Einzelwerte hier das 1,5 fache der maximal zulässigen Blutwassermenge für die jeweilige Charakteristik bzw. die einfache maximal zulässige Blutwas-

sermenge für den Mittelwert aus drei Messungen angesetzt werden. Dies ist bei der vorliegenden Untersuchung allerdings nicht möglich, da der ausgewählte Beton den Grenzwert aus [2] überschreitet. Insofern werden nachfolgend sowohl die Einzelwerte als auch die Mittelwerte mit dem charakteristischen Wert „ $1,5 * EP$ “ verglichen. In Kapitel 10.2 sind die Ergebnisse grafisch dargestellt.

#### 4.6.2. Auswertung der Standardversuche

In Abbildung 4-6 ist die zeitliche Entwicklung der Blutwassermenge der einzelnen Standardversuche dargestellt. Hierbei handelt es sich in der Regel um den Mittelwert der drei durchgeführten Eimerversuche. Eine Ausnahme bildet der Versuche 01-3\_2 (Art der Verdichtung, 2. Mischung), bei dem nur ein Bluteimer gemessen wurde, da ein Großteil der Mischung für andere Prüfkörper verwendet wurde und die Mischungsgröße aufgrund des Fassungsvermögens des Mixers nicht weiter erhöht werden konnte.

Es ist zu erkennen, dass der Versuch 01-6 (Prüfbeginn und Prüfhäufigkeit) die Obergrenze und Versuch 01-1 (Prüfmittel) die Untergrenze darstellen. Diese beiden Versuche kennzeichnen die Umhüllende, welche auch in den Diagrammen in Kapitel 10.2 eingezeichnet ist. Dazwischen streuen die einzelnen Versuche. Weiterhin ist der charakteristische Wert „ $1,5 * EP$ “ eingezeichnet. Keine der Kurven überschreitet diesen.

Betrachtet man nun zu den jeweiligen Versuchen die Frischbetoneigenschaften, so können daraus folgende Rückschlüsse gezogen werden (vgl. Abbildung 4-6):

Der Versuch 01-6 zeigte zu Beginn ein Ausbreitmaß von  $a_5 = 655$  mm. Auch die nachfolgenden Ausbreitmaße  $a_{10}$ ,  $a_{30}$  und  $a_{60}$  sind im Vergleich zu den anderen Versuchen deutlich höher. Dies lässt erkennen, dass der Beton des Versuches 01-6 ein deutlich geringeres Ansteifverhalten aufwies als die anderen Betone, was auch das „erhöhte“ Bluten erklärt bzw. mit diesem einhergeht.

Die Entwicklung der Blutwassermenge bei Versuch 01-1 (Prüfmittel) kann man auch mit Hilfe der Frischbetoneigenschaften erklären. Betrachtet man hier wieder die Entwicklung des Ausbreitmaßes, so ist zu erkennen, dass zwar das Ausbreitmaß nach 5 Minuten nicht auffällig war, jedoch der Beton im weiteren Verlauf bis zur ersten Prüfung der Blutwassermenge – eine Stunde nach Wasserzugabe – ein überdurchschnittliches Ansteifverhalten aufwies und das geringste Ausbreitmaß nach 60 Minuten. Dies stimmt mit der Tatsache überein, dass der Versuch 01-1 die untere Grenze der Umhüllenden bildet.

Bei Versuch 01-2 (Art des Einbringens) ist erstens auffällig, dass der Beton über einen längeren Zeitraum blutete als die anderen Versuche. Des Weiteren nimmt die Blutwassermenge gegen Ende des Versuchs im Vergleich zu den anderen Parameterversuchen verhältnismäßig stärker zu und stellt auch einen Teil der oberen Umhüllenden dar. Dies lässt sich durch die Temperatur erklären. Sowohl Frischbeton- als auch Raumtemperatur bildeten das Minimum aller Versuche. Die Frischbetontemperatur lag bei  $20,5^\circ\text{C}$  und die Raumtemperatur bei  $17,4^\circ\text{C}$  und damit deutlich niedriger als der Mittelwert aller Versuche in Höhe von  $20,3^\circ\text{C}$ .

Die Spreizung der Umhüllenden ist im Vergleich zu Typ A-VI deutlich geringer. Bei Typ B-V schwanken die Ergebnisse der Standardversuche in einer Bandbreite von ungefähr  $5 \text{ kg/m}^3$  was etwa 15% des charakteristischen Wertes der Eignungsprüfung entspricht.

Bei der Bestimmung des Mittelwertes des Versuches 01-1 blieb das Ergebnis des dritten Eimers bei der Mittelwertbildung unberücksichtigt, da dieser später befüllt wurde und es sich um Beton aus der Frischbetonprüfung handelte.

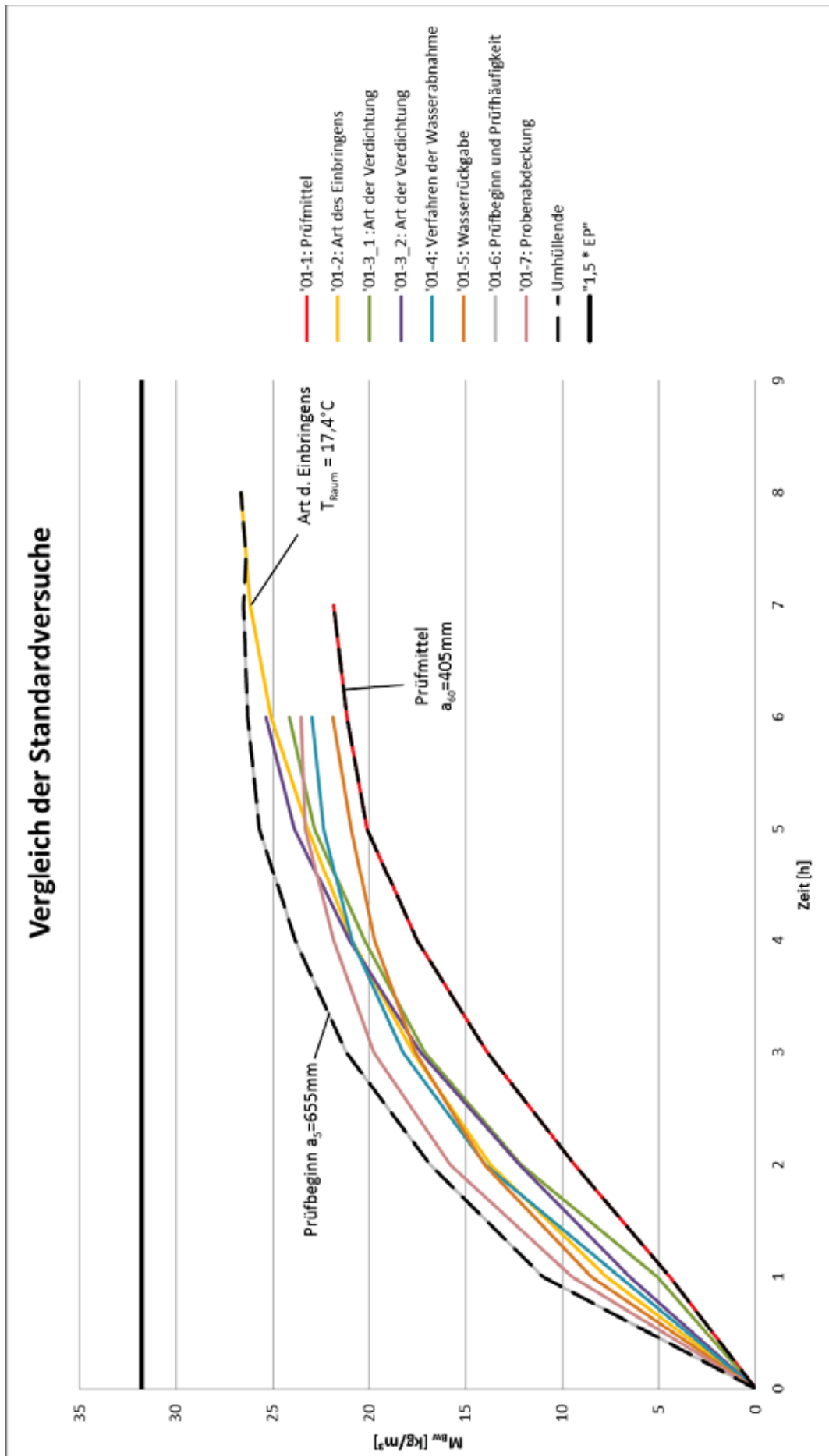


Abbildung 4-6: Vergleich der Standardversuche - Auswertung

### 4.6.3. Auswertung der Parameterversuche

Bei den Parameterversuchen gibt es Ausreißer, die sowohl die Umhüllende überschreiten als auch den charakteristischen Wert „1,5 \* EP“.

Die auffallendsten Versuche sind 02 (Prüfmittel) und 08 (Prüfbeginn und Prüfhäufigkeit). Ähnlich auffällig ist Versuch 06 (Verfahren der Wasserabnahme). Während 02 und 08 den charakteristischen Wert deutlich überschreiten, unterschreitet 06 nur leicht die Umhüllende der Standardversuche. Die Ergebnisse sind graphisch in Kapitel 10.2 dargestellt.

Abbildung 4-7 zeigt den Verlauf der Mittelwerte der Parameterversuche.

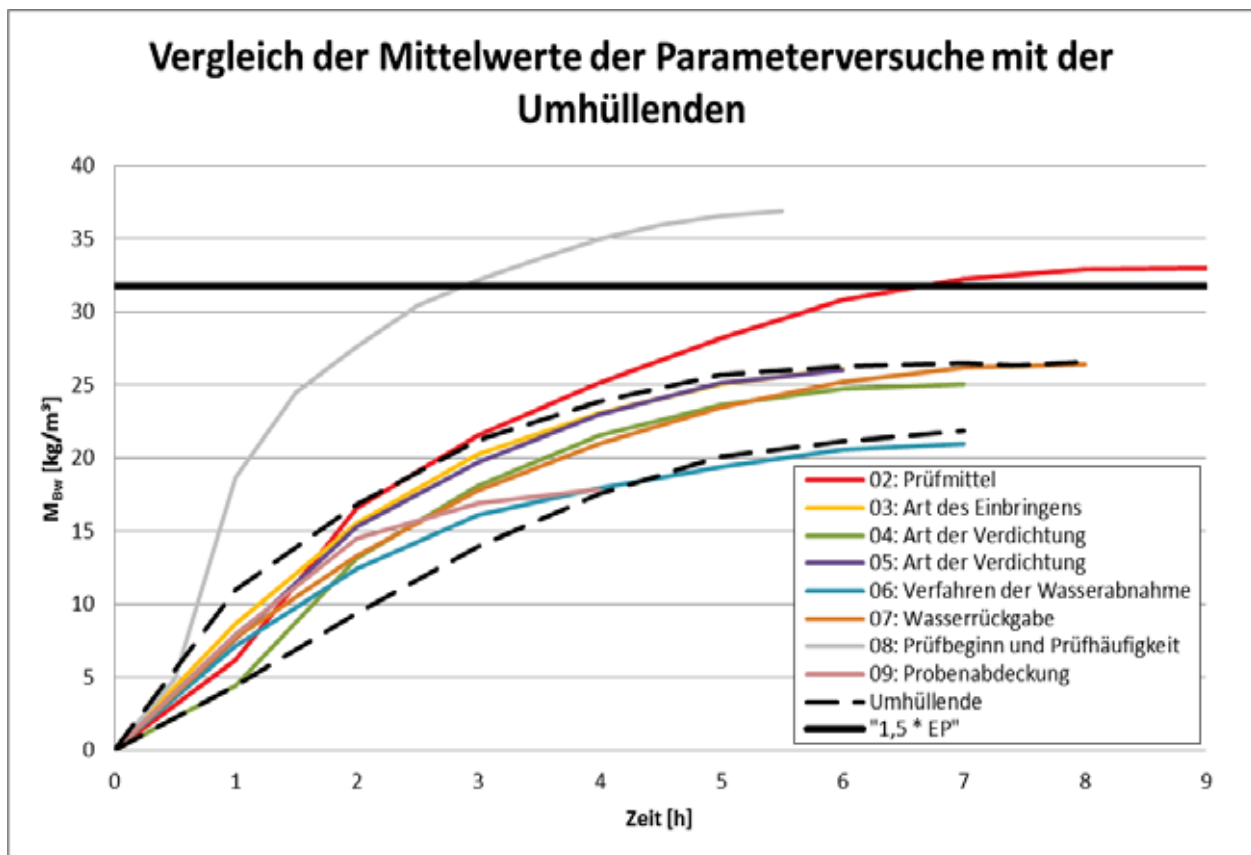


Abbildung 4-7: Vergleich der Mittelwerte der Parameterversuche mit der Umhüllenden der Standardversuche – Typ B-V

## 5. Schlussfolgerungen und Hinweise

### 5.1. Schlussfolgerungen

In den Kapiteln 3 und 4 wurden sowohl die Ergebnisse der Standard- als auch der Parameterversuche der beiden Betone unabhängig voneinander beschrieben. In diesem Kapitel soll nun unter Berücksichtigung der Ergebnisse beider Versuchsreihen eine abschließende Beurteilung bezüglich der Wiederholbarkeit und der Einflüsse der Parameter auf das Verfahren erfolgen.

Hintergrund der Wiederholung der Standardversuche mit jedem Parameterversuch war es, eine Aussage über die Wiederholpräzision machen zu können. Dabei wurden die Versuche unter Laborbedingungen mit üblichen Schwankungen der Frischbetoneigenschaften und der Temperatur wiederholt.

Bei Typ A-VI schwanken die Ergebnisse der Standardversuche in einer Bandbreite von ungefähr  $4 \text{ kg/m}^3$  was etwa 40% des charakteristischen Wertes der Erstprüfung entspricht. Dabei sind die Ausreißer einzelner Messungen aus den Versuchen 01-4 und 01-6 unberücksichtigt geblieben. Diese lagen deutlich über dem charakteristischen Wert „ $1,5 * EP$ “.

Bei Typ B-V schwanken die Ergebnisse der Standardversuche in einer Bandbreite von ungefähr  $5 \text{ kg/m}^3$  was etwa 15% des charakteristischen Wertes der Erstprüfung entspricht. Alle Einzelmessreihen der Standardversuche liegen unterhalb des charakteristischen Wertes „ $1,5 * EP$ “.

Ob sich aus der Tatsache, dass bei beiden Betontypen im Rahmen der Standardversuche eine maximale Abweichung der bestimmten Blutwassermengen von 4 bis  $5 \text{ kg/m}^3$  festgestellt wurde (Spreizung der Umhüllenden zum Zeitpunkt der maximalen Blutwassermenge), eine generelle Aussage über absolute Wiederholgenauigkeiten des Prüfverfahrens ableiten lassen, ist auf Basis der durchgeführten Versuche nicht möglich.

Grundsätzlich kann aber festgestellt werden, dass mit geringer werdenden zu erwartenden Blutwassermengen der zu prüfenden Betonzusammensetzung auch mögliche versuchsrelevante Schwankungen in Höhe von 4 bis  $5 \text{ kg/m}^3$  kritischer zu bewerten wären.

Da diese Tendenzen jedoch noch keine eindeutige Aussage über den Einfluss auf das Prüfverfahren zulassen, werden zunächst die Mittelwerte der Parameterversuche mit der Umhüllenden der Standardversuche verglichen. Dazu dienen die Abbildungen 5-1 und 5-2.

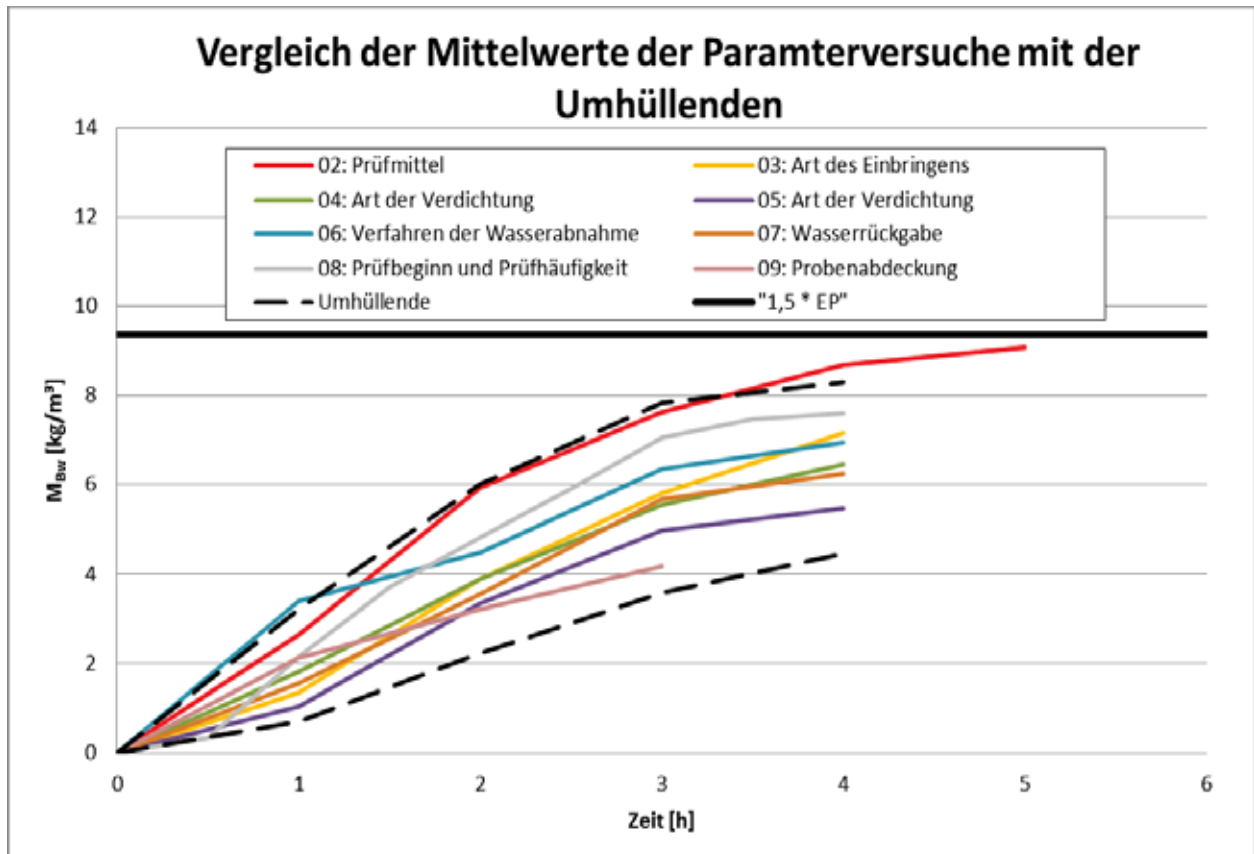


Abbildung 5-1: Vergleich der Mittelwerte der Paramterversuche mit der Umhüllenden der Standardversuche – Typ A-VI

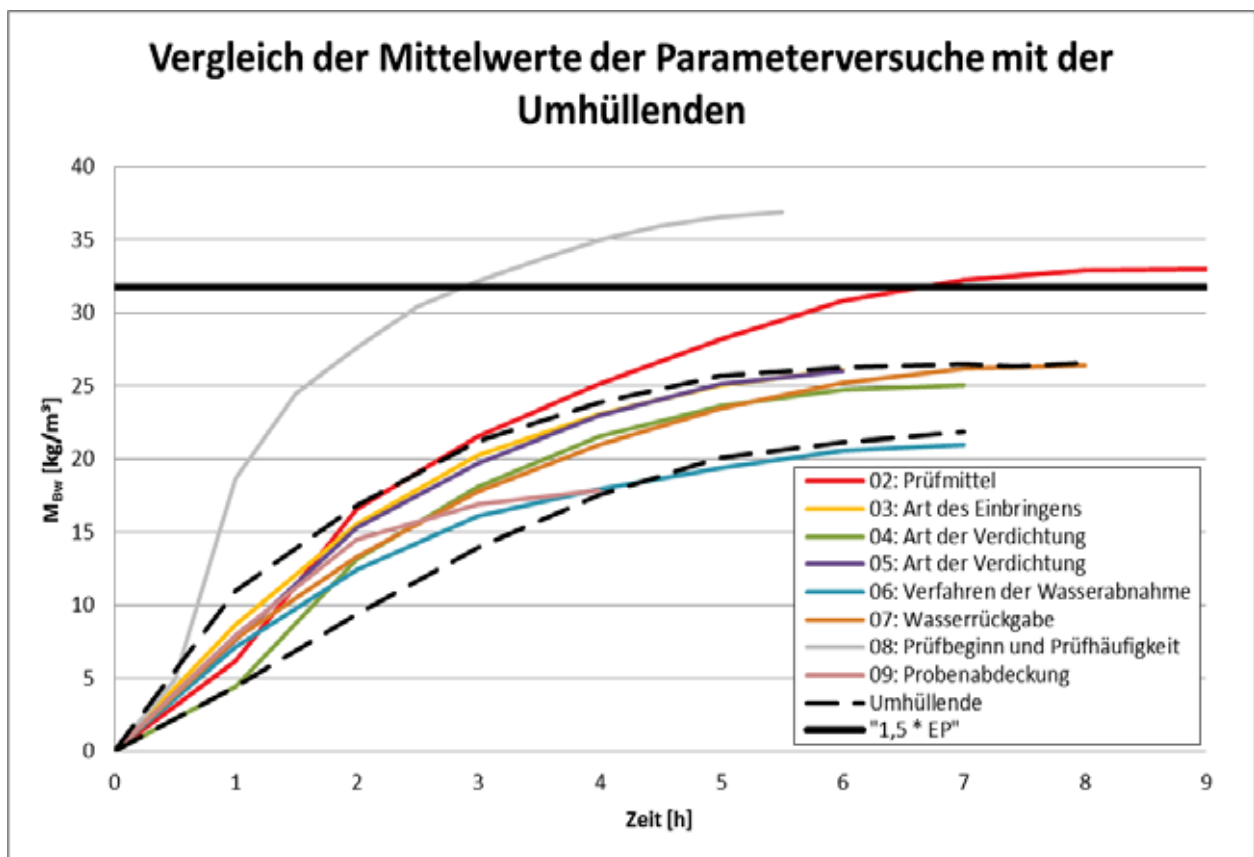


Abbildung 5-2: Vergleich der Mittelwerte der Paramterversuche mit der Umhüllenden der Standardversuche – Typ B-V



In den in Abbildung 5-1 und 5-2 gezeigten Diagrammen sind drei Parameterversuche besonders auffällig:

- 02: Prüfmittel
- 08: Prüfbeginn und Prüfhäufigkeit
- 06: Verfahren der Wasserabnahme

Bei Parameterversuch 02 (Prüfmittel; Einfluss der verwendeten Eimer) ist bei beiden Versuchen mit dem schwarzen Standardemmer zu erkennen, dass die Blutneigung im Vergleich zu den Standardversuchen mit den blauen Eimern zu höheren Werten tendiert. Bei Typ A-VI tendiert der Mittelwert stark zum charakteristischen Wert „ $1,5 * EP$ “ und überschreitet die Umhüllende. Bei Typ B-V überschreitet der Mittelwert sogar den charakteristischen Wert „ $1,5 * EP$ “ deutlich. Daher ist dieser Parameter, d.h. die Auswahl des Eimers als sehr kritisch in Bezug auf das Verfahren anzusehen.

Ebenfalls als kritisch einzuschätzen ist der Versuchsparameter 08 „Prüfbeginn und Prüfhäufigkeit“. Bei Typ A-VI liegt die Kurve zu Beginn der Prüfung auf der unteren Umhüllenden und zum Ende hin im oberen Drittel zwischen den Umhüllenden. Bei Typ B-V hingegen liegt die Kurve sehr deutlich über der Umhüllenden und übersteigt sogar den charakteristischen Wert „ $1,5 * EP$ “ um fast  $5 \text{ kg/m}^3$ . Als kritisch ist hier neben der Höhe der Überschreitung der Umhüllenden anzusehen, dass der Parameter einen solchen Einfluss haben kann, dass die Ergebnisse zumindest zeitweise sowohl an der Untergrenze als auch an der Obergrenze liegen können und somit eine große Streuung der Ergebnisse möglich ist, d. h. das Prüfprozedere muss zwingend exakt beschrieben und eingehalten werden.

Der Parameterversuch 06 „Verfahren der Wasserabnahme“ zeigt eine ähnliche Tendenz wie Versuch 08. Bei Typ A-VI liegen die Werte zu Beginn der Prüfung oberhalb der Umhüllenden, pendeln sich im Verlauf der Prüfung jedoch wieder in die Umhüllende ein. Bei Typ B-V hingegen liegen die Werte zu Beginn der Prüfung in der Umhüllenden, unterschreiten jedoch gegen Ende der Prüfung die Umhüllende. Die Versuche machen keine großen Unter- bzw. Überschreitungen der Umhüllenden, weswegen man den Parameter noch als weniger kritisch betrachten kann. Alle anderen Parameter scheinen im Vergleich weniger kritisch zu sein und nehmen einen geringen Einfluss auf das Messergebnis bzw. das Prüfverfahren.

Grundsätzlich haben bei Betonen mit geringeren Blutwassermengen Abweichungen in den Frischbetoneigenschaften sowie Mess- und Wiederholungsgenauigkeiten bzw. -abweichungen eine relativ große Auswirkung auf die Blutwasserentwicklung und die Blutwassermenge, als es bei Betonen mit größeren Blutwassermengen der Fall ist.

Im Folgenden werden die Mittelwerte der Standardversuche mit den Mittelwerten der jeweiligen Parameterversuche verglichen. Die Tendenzen der Einflüsse der untersuchten Parameter im Vergleich zu den Standardversuchen sind qualitativ in Tabelle 5-1 dargestellt.

**Tabelle 5-1: Vergleich der Blutneigung der Standardversuche (Mittelwert) mit der der Parameterversuche (Mittelwert)**

Parameter		TYP A-VI	TYP B-V
01-1	Prüfmittel	↑	↑
01-2	Art d. Einbringens	~	↑
01-3	Art d. Verdichtung	rütteln	~
		stochern	↓
01-4	Verfahren d. Wasserabnahme	↓	↓
01-5	Verfahren d. Wasserrückgabe	↑	↑
01-6	Prüfbeginn und Prüfhäufigkeit	↓	↑
01-7	Probenabdeckung	↓	↓

Bemerkungen:

- ↑ Blutwassermenge Parameterversuch > Standardversuch
- ↓ Blutwassermenge Parameterversuch < Standardversuch
- ~ Blutverhalten ähnlich

Zu erkennen ist, dass bei vier der sieben Parameter, die Tendenzen bei Typ A-VI und Typ B-V gleich sind:

Bei den Versuchen Prüfmittel (01-1/ 02) und Verfahren der Wasserrückgabe (01-5/ 07) war ein stärkeres Bluten des Parameterversuchs zu erkennen. Die Parameter Verfahren der Wasserabnahme (01-4/ 06) und Probenabdeckung (01-7/ 09) reduzierten die Blutneigung. Bei den übrigen Versuchen konnte keine Übereinstimmung gefunden werden. Aufgrund der oben beschriebenen Messstreuungen können aus diesen Tendenzen allerdings keine allgemeingültigen Zusammenhänge abgeleitet werden.

Da für die z. T. extremen Ausreißer insbesondere bei den Standardversuchen von Typ A-VI keine Ursache ermittelt werden konnte, wurden für Typ A-VI und Typ B-V die in Kapitel 3.6.4 beschriebenen Wiederholungsversuche durchgeführt. Eine unmittelbare Erklärung für Ausreißer nach oben konnte durch die Zusatzuntersuchungen nicht gefunden werden.

Eine mögliche Ursache für die Ausreißer bei Typ A-VI könnte in einer Überlagerung von prüftechnisch bedingten Streuungen mit werkstofftechnologischen Schwankungen liegen. Schwankungen in den Frischbetoneigenschaften insbesondere bei zu erwartenden geringen Blutwassermengen wie bei Typ A-VI könnten sich stärker im Ergebnis niederschlagen und somit die übliche prüftechnische Streuung überschreiten.

In diesem Zusammenhang wirkt sich die unterschiedlich ausgeprägte Nachverflüssigung infolge des verwendeten PCE-Fließmittels möglicherweise negativ aus. Unter der Berücksichtigung der Tatsache, dass die durchgeführten Prüfungen an Mischungen mit den gleichen Ausgangsstoffen durchgeführt wurden kommt der Stabilität der verwendeten Mischung bzgl. der Blutwassermenge eine besondere Bedeutung zu. Schwankungen in den Eigenschaften der Ausgangsstoffe und normkonforme Schwankungen der Betonzusammensetzung bei der Betonherstellung sollten bei der Festlegung einer höchstzulässigen Blutwassermenge für das jeweilig herzustellende Bauteil ebenso berücksichtigt werden wie das zur Anwendung kommende Herstellverfahren. Der Einfluss der Schwankungen in den Eigenschaften der Ausgangsstoffe und der normkonformen Schwankungen der Betonzusammensetzung bei der Betonherstellung waren nicht Bestandteil der durchgeführten Untersuchungen.

## 5.2. Hinweise

Weiterhin wurde während der Versuchsdurchführung auch darauf geachtet, ob eine problemlose Durchführung des Verfahrens nach [2] möglich war. Zur Verringerung des Einflusses nicht vollständiger Blutwasserabnahme oder etwaiger Entnahme von Zementschlämmen wird eine vordefinierte Absaugstelle für das Blutwasser vorgeschlagen. Dies ist besonders dann wichtig, wenn nur geringe Blutwassermengen anfallen. Fehlende Wasserabnahme bei kleinen Blutwassermengen beeinflusst das Ergebnis sehr stark, während bei hohen Blutwassermengen eine geringe fehlende Absaugung kaum ins Gewicht fällt. Hierauf wurde bereits im vorangegangenen Abschnitt hingewiesen.

Beispielsweise könnte ein vordefinierter Körper eingesetzt werden – bspw. eine Halbkugel mit einem Durchmesser von 1 cm - die nach Befüllen des Eimers an einer geeigneten Stelle (gegenüber der Unterlegestelle für den Prüfkeil oder das Unterlegholz) eingedrückt und bei der Prüfungsvorbereitung vor der ersten Messung wieder entfernt wird. So kann sich das anfallende Blutwasser dort besser sammeln. Ebenso ist es von Vorteil, dass das Blutwasser über eine größere Tiefe gesammelt wird und so die Gefahr der Absaugung von Zementschlämme verringert wird.

Um eventuelle Missverständnisse im Zusammenhang mit der erforderlichen Dauer der Blutwasserversuche zu vermeiden, ist u. U. darüber nachzudenken, die Formulierung „zum Zeitpunkt des Endes der Verarbeitbarkeitszeit“ aus der Überschrift der Tabelle 1 aus [2] Typische Blutwassermenge des Frischbetons (gemäß Eimerverfahren) zum Zeitpunkt „Ende der Verarbeitbarkeitszeit“ zu konkretisieren. Denkbar wäre hier z. B. „beim Erreichen der maximalen Blutwassermenge“.

Hinsichtlich einer möglichen Überarbeitung des DBV-Merkblattes wären folgende Punkte zu nennen:

- Da die Untersuchungen einen Einfluss des verwendeten Eimertyps auf das Prüfergebnis ergeben haben, wäre eine eindeutige Beschreibung des zu verwendenden Eimertyps bzw. den Hinweis der Festlegung eines Eimertyps zwischen Betonlieferant und -abnehmer zu empfehlen.
- Aufgrund des ebenfalls großen Einflusses des gewählten Prüfbeginns und der Prüfhäufigkeit wäre eine eindeutige Festlegung dieser beiden Parameter in der Beschreibung des Versuches empfehlenswert.

## 6. Literaturverzeichnis

- [1] Bunke, N.; et al.: Prüfung von Beton, Empfehlung und Hinweise als Ergänzung zu DIN 1048. In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Heft 422, Beuth-Verlag, Berlin, 1991
- [2] DBV-Merkblatt „Besondere Verfahren zur Prüfung von Frischbeton“ (Juni 2007)

## 7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Qualitative Charakteristik der Blutneigung von Frischbeton .....	8
Abbildung 2-2:	Standardeimer .....	12
Abbildung 2-3:	Baustelleneimer .....	12
Abbildung 2-4:	Folie mit Spanngummi .....	12
Abbildung 2-5:	Prüfkeil .....	13
Abbildung 2-6:	Spritze .....	14
Abbildung 2-7:	Versuchsaufbau.....	15
Abbildung 2-8:	Prüfschema .....	16
Abbildung 2-9:	Abwiegen der Eimer .....	17
Abbildung 3-1:	Vergleich der Frischbetontemperatur.....	24
Abbildung 3-2:	Vergleich der Raumtemperatur .....	24
Abbildung 3-3:	Entwicklung der Ausbreitmaße .....	25
Abbildung 3-4:	Vergleich des LP-Gehaltes .....	26
Abbildung 3-5:	Vergleich der Frischbetonrohddichten.....	27
Abbildung 3-6:	Vergleich der Standardversuche - Auswertung .....	30
Abbildung 3-7:	Vergleich der Mittelwerte der Parameterversuche mit der Umhüllenden der Standardversuche – Typ A-VI.....	31
Abbildung 3-8:	Prüfschema d. Wiederholungsversuche – Typ A-VI .....	32
Abbildung 3-9:	Wiederholungsversuch 1-6 (Standard).....	34
Abbildung 3-10:	Mittelwerte der Wiederholungsversuche im Vergleich mit der Umhüllenden der Standardversuche .....	34
Abbildung 4-1:	Vergleich der Frischbetontemperatur.....	39
Abbildung 4-2:	Vergleich der Raumtemperatur .....	39
Abbildung 4-3:	Entwicklung der Ausbreitmaße .....	40
Abbildung 4-4:	Vergleich des LP-Gehaltes .....	41
Abbildung 4-5:	Vergleich der Frischbetonrohddichten.....	42
Abbildung 4-6:	Vergleich der Standardversuche - Auswertung .....	45

Abbildung 4-7:	Vergleich der Mittelwerte der Parameterversuche mit der Umhüllenden der Standardversuche – Typ B-V .....	46
Abbildung 5-1:	Vergleich der Mittelwerte der Parameterversuche mit der Umhüllenden der Standardversuche – Typ A-VI .....	48
Abbildung 5-2:	Vergleich der Mittelwerte der Parameterversuche mit der Umhüllenden der Standardversuche – Typ B-V .....	48

## 8. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1:	Einflussgrößen .....	7
Tabelle 2-1:	Typische Blutwassermenge des Frischbetons (gemäß Eimerverfahren) zum Zeitpunkt „Ende der Verarbeitbarkeitszeit“ .....	9
Tabelle 2-2:	Prüfmatrix .....	11
Tabelle 3-1:	Mischungsberechnung Typ A-VI .....	20
Tabelle 3-2:	Kennwerte CEM I 32,5 R .....	21
Tabelle 3-3:	Mischanweisung Typ A-VI .....	21
Tabelle 3-4:	Ergebnisse der Erstprüfung .....	22
Tabelle 3-5:	Frischbetoneigenschaften – Typ A-VI .....	23
Tabelle 3-6:	Druckfestigkeiten – Typ A-VI .....	28
Tabelle 3-7:	Frischbetoneigenschaften Wiederholungsprüfung .....	33
Tabelle 4-1:	Mischungsberechnung Typ B-V .....	35
Tabelle 4-2:	Kennwerte CEM III/A 32,5 N .....	36
Tabelle 4-3:	Mischanweisung Typ B-V .....	36
Tabelle 4-4:	Ergebnisse der Erstprüfung .....	37
Tabelle 4-5:	Frischbetoneigenschaften – Typ B-V .....	38
Tabelle 4-6:	Druckfestigkeiten – Typ B-V .....	43
Tabelle 5-1:	Vergleich der Blutneigung der Standardversuche (Mittelwert) mit der der Parameterversuche (Mittelwert) .....	50

## 9. Anhang A - Typ A-VI

### 9.1. Ergebniszusammenstellung Blutwassermenge

Dauer [h]	Prüfmittel								Art des Einbringens							
	01-1				02				01-2				03			
	Blutwasser je m <sup>3</sup> Frischbeton M <sub>BW</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]				Blutwasser je m <sup>3</sup> Frischbeton M <sub>BW</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]				Blutwasser je m <sup>3</sup> Frischbeton M <sub>BW</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]				Blutwasser je m <sup>3</sup> Frischbeton M <sub>BW</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]			
	Einzelwert			Mittelwert	Einzelwert			Mittelwert	Einzelwert			Mittelwert	Einzelwert			Mittelwert
1	2	3	1		2	3	1		2	3	1		2	3		
0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,0	1,37	0,94	2,54	1,62	1,76	3,96	2,17	2,63	2,65	0,40	1,37	1,47	1,21	1,19	1,61	1,34
1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,0	3,19	2,88	5,69	3,92	5,04	6,76	5,99	5,93	5,21	2,65	3,40	3,75	3,84	3,84	4,01	3,90
2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,0	5,05	5,40	7,23	5,89	7,08	8,25	7,54	7,62	7,15	5,31	5,20	5,89	5,80	5,62	6,04	5,82
3,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4,0	6,63	6,97	8,72	7,44	8,08	9,19	8,77	8,68	8,16	6,19	6,39	6,91	6,97	7,08	7,44	7,16
4,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5,0	6,81	7,37	9,08	7,75	8,78	9,43	9,04	9,08	7,78	6,07	6,06	6,64	6,69	6,95	7,25	6,96
5,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6,0	6,21	6,83	8,50	7,18	8,29	8,96	8,94	8,73	-	-	-	-	-	-	-	-

#### Umhüllende der Standardversuche

Zeit [h]	0	1,00	2,00	3,00	4,00
M <sub>BW, Obergrenze</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	0	3,20	6,01	7,83	8,30
M <sub>BW, Untergrenze</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	0	0,70	2,22	3,57	4,45

#### Charakteristischer Wert "1,5 \* EP"

Der Grenzwert ergibt sich aus dem 1,5fachen der max. Blutwassermenge der Eignungsprüfung

$$M_{B_{wi}} \leq 1,5 \cdot M_{B_{wi,max}} = 1,5 \cdot 6,24 \frac{kg}{m^3} = 9,36 \text{ kg/m}^3$$

Dauer [h]	Art der Verdichtung															
	01-3 <sup>1)</sup>				01-3 <sup>2)</sup>				04				05			
	Blutwasser je m <sup>3</sup> Frischbeton M <sub>Bw</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]				Blutwasser je m <sup>3</sup> Frischbeton M <sub>Bw</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]				Blutwasser je m <sup>3</sup> Frischbeton M <sub>Bw</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]				Blutwasser je m <sup>3</sup> Frischbeton M <sub>Bw</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]			
	Einzelwert			Mittelwert	Einzelwert			Mittelwert	Einzelwert			Mittelwert	Einzelwert			Mittelwert
1	2	3	1		2	3	1		2	3	1		2	3		
0,0	0	0	0	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,0	0,82	2,25	2,85	1,98	0,70	-	-	-	1,57	2,16	1,70	1,81	1,09	1,04	0,98	1,04
1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,0	2,99	3,70	4,84	3,84	2,22	-	-	-	3,61	4,25	3,82	3,89	3,66	3,30	3,11	3,36
2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,0	4,29	5,22	6,40	5,30	3,57	-	-	-	5,39	5,91	5,32	5,54	5,36	4,82	4,71	4,97
3,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4,0	5,70	6,47	7,04	6,41	4,45	-	-	-	6,32	7,04	6,03	6,46	6,01	5,25	5,18	5,48
4,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5,0	5,50	6,44	6,88	6,27	4,27	-	-	-	6,15	6,54	5,65	6,11	5,84	4,76	4,69	5,10
5,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Bemerkungen:

1) 1. Mischung

2) 2. Mischung



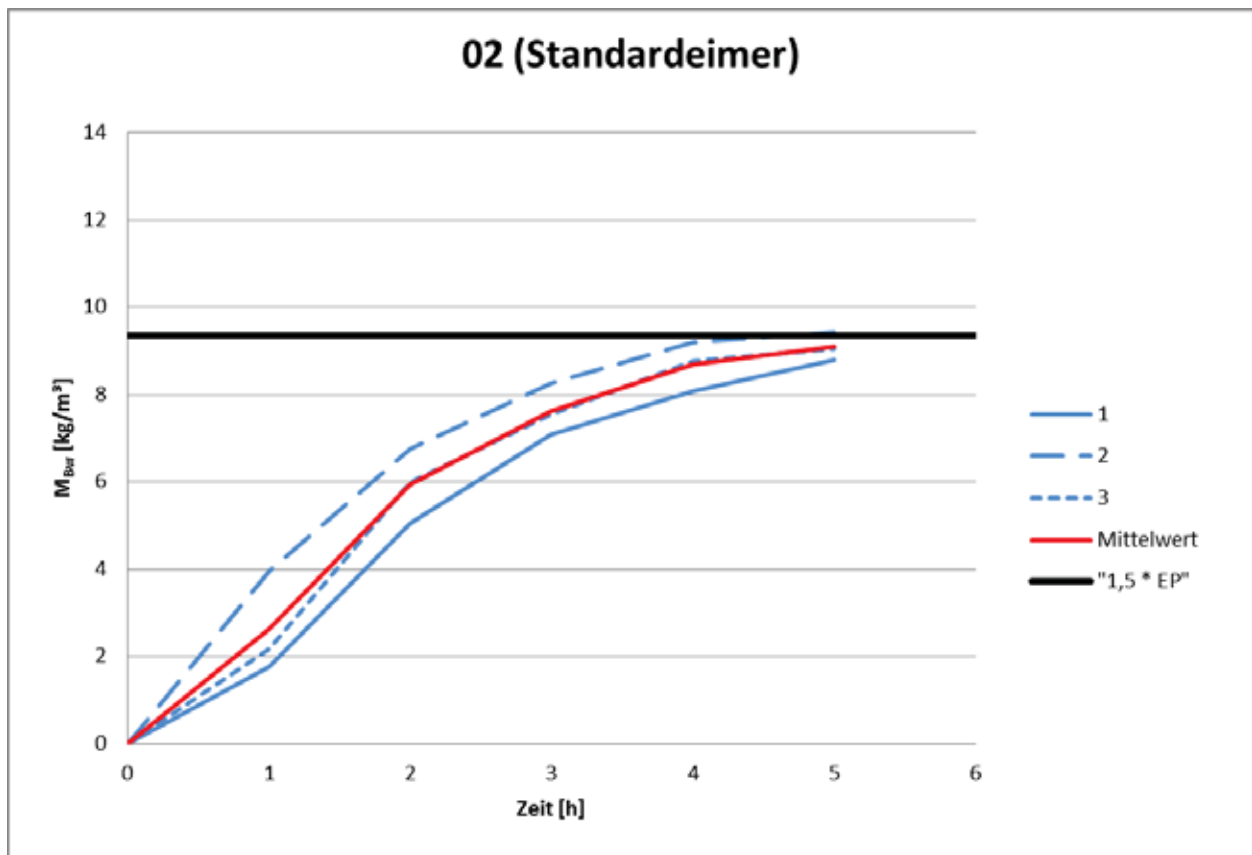
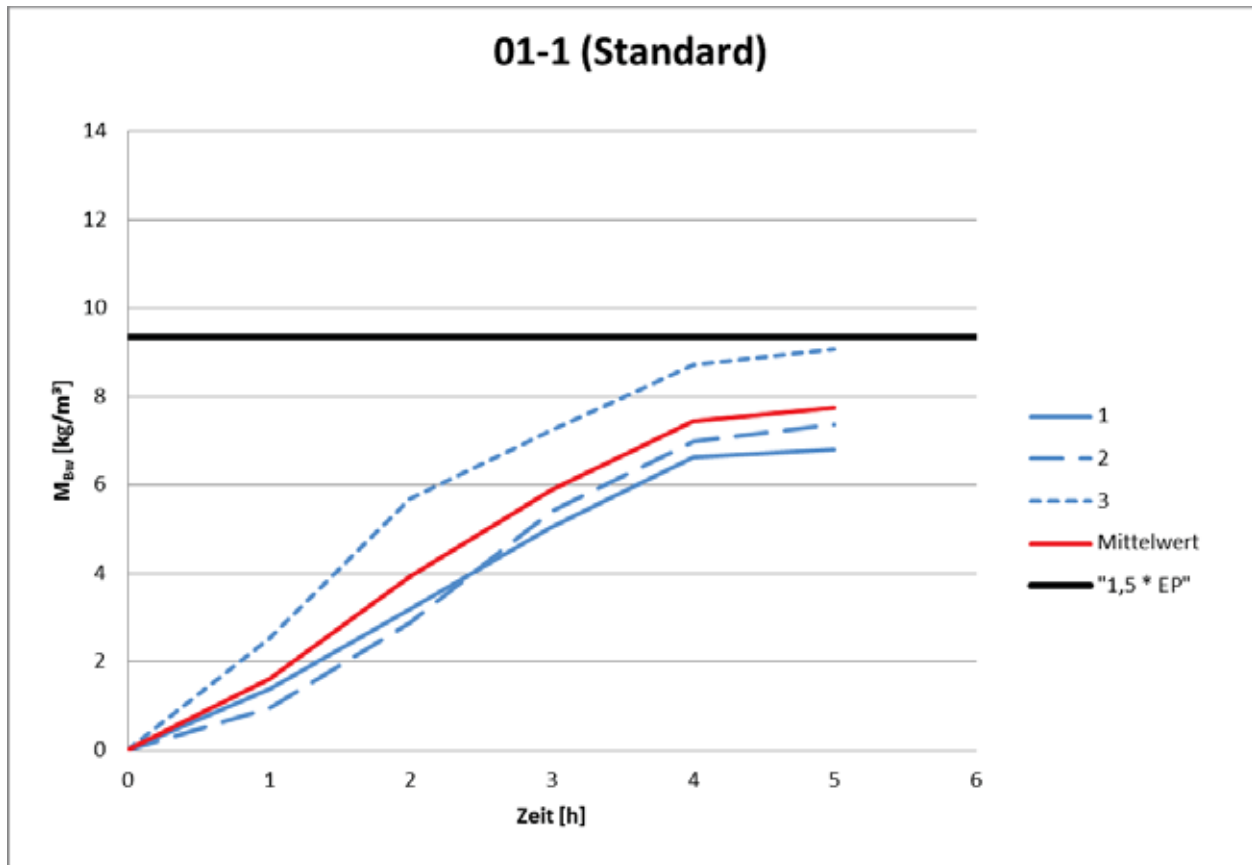


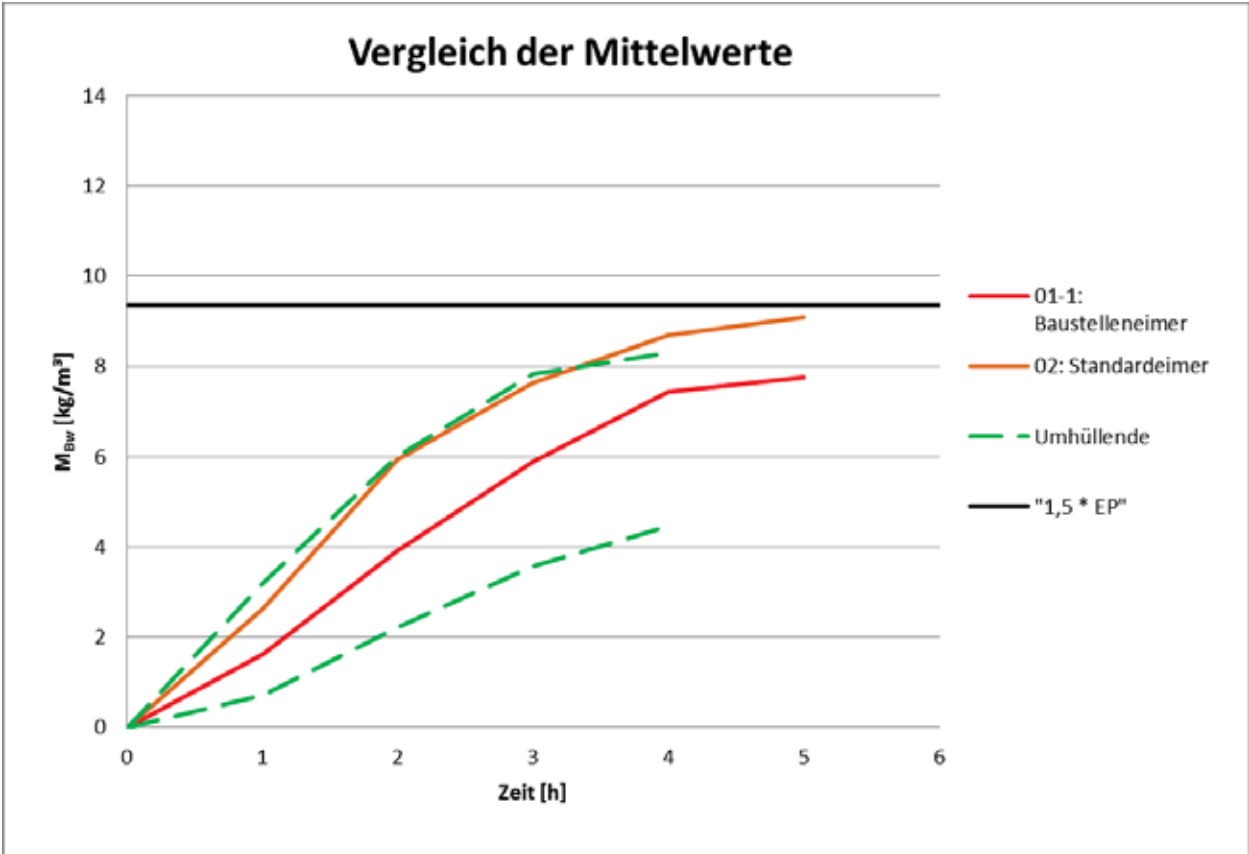
## 9.2. Darstellung der Ergebnisse

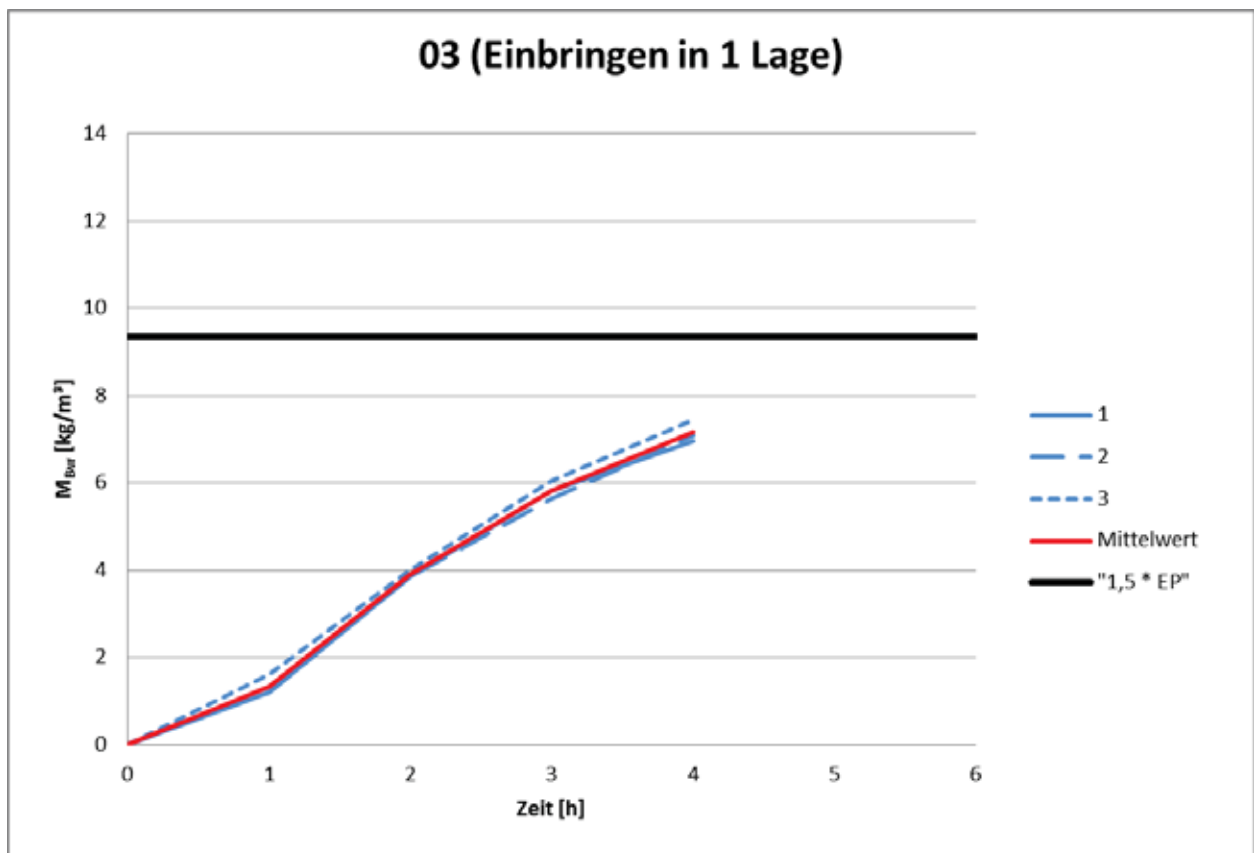
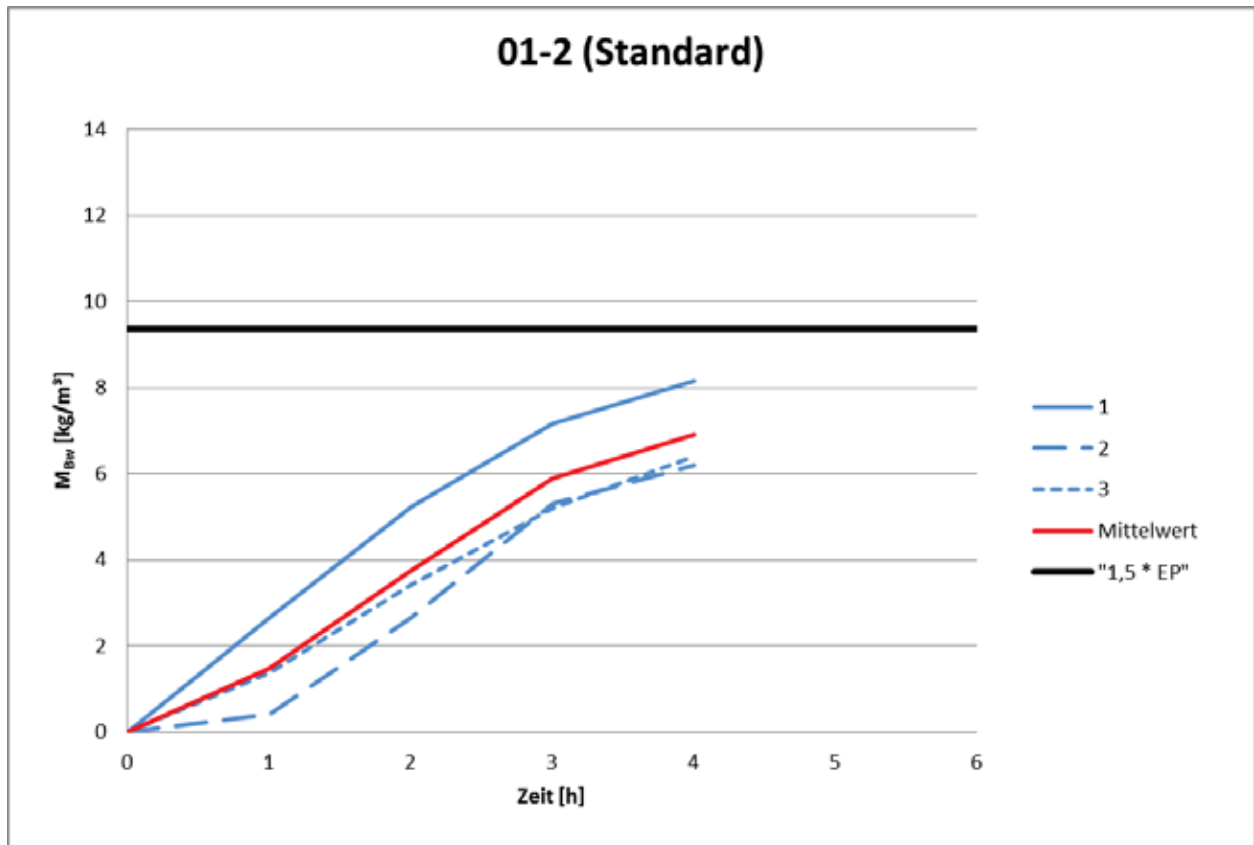
In diesem Anhang werden die Versuchsergebnisse der Standard- und Parameterversuche grafisch dargestellt. Dazu werden immer drei Diagramme angegeben. Die Diagramme kommen folgendermaßen zu Stande:

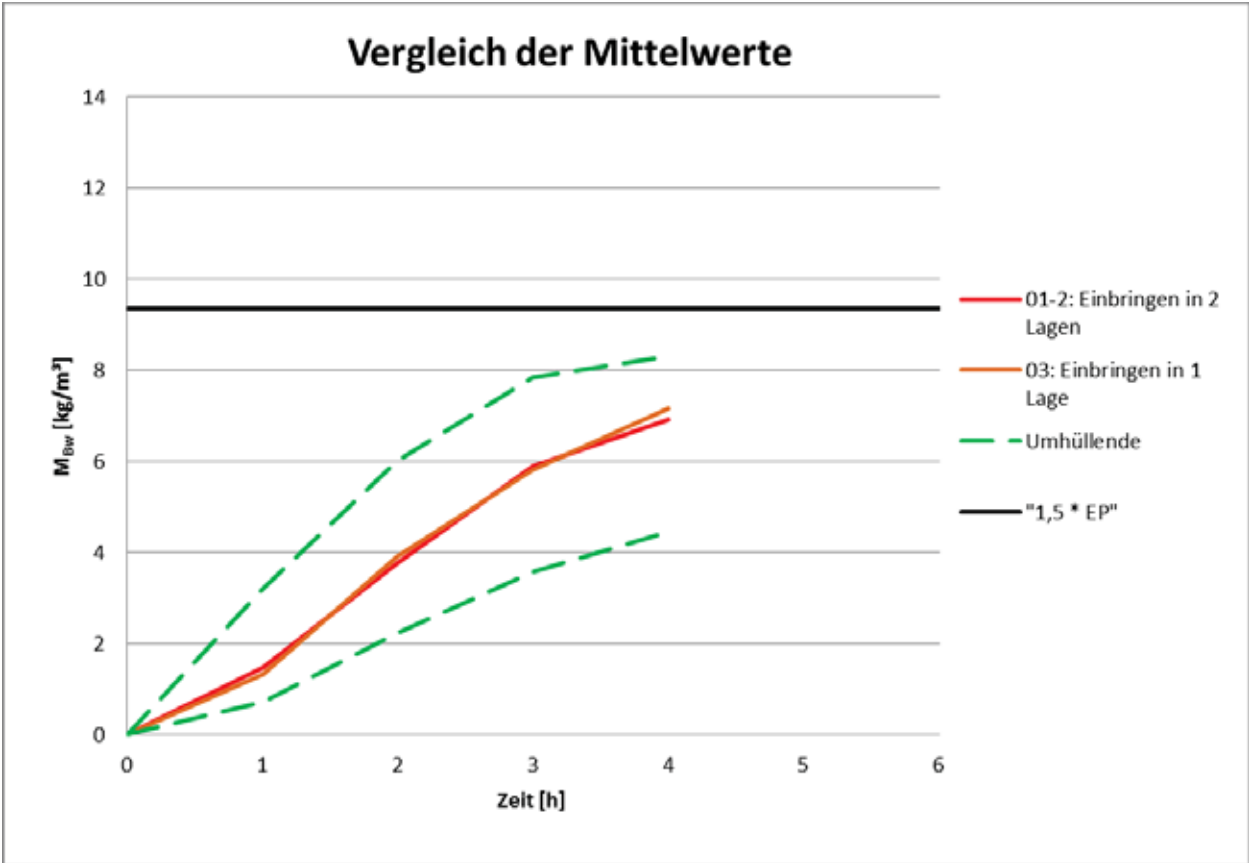
Pro Versuch wurden in der Regel immer sechs Eimer hergestellt; drei davon für den Standardversuch und drei weitere für einen Parameterversuch. In dem ersten Diagramm wird der Standardversuch mit den Einzelwerten sowie dem Mittelwert dargestellt. Im zweiten Diagramm wird der Parameterversuch mit seinen Einzelwerten und dem Mittelwert dargestellt. Zusätzlich ist bei beiden Diagrammen der charakteristische Wert „ $1,5 * EP$ “ in Anlehnung an [2] angegeben. Diese beiden Diagramme werden immer gemeinsam auf einer Seite dargestellt.

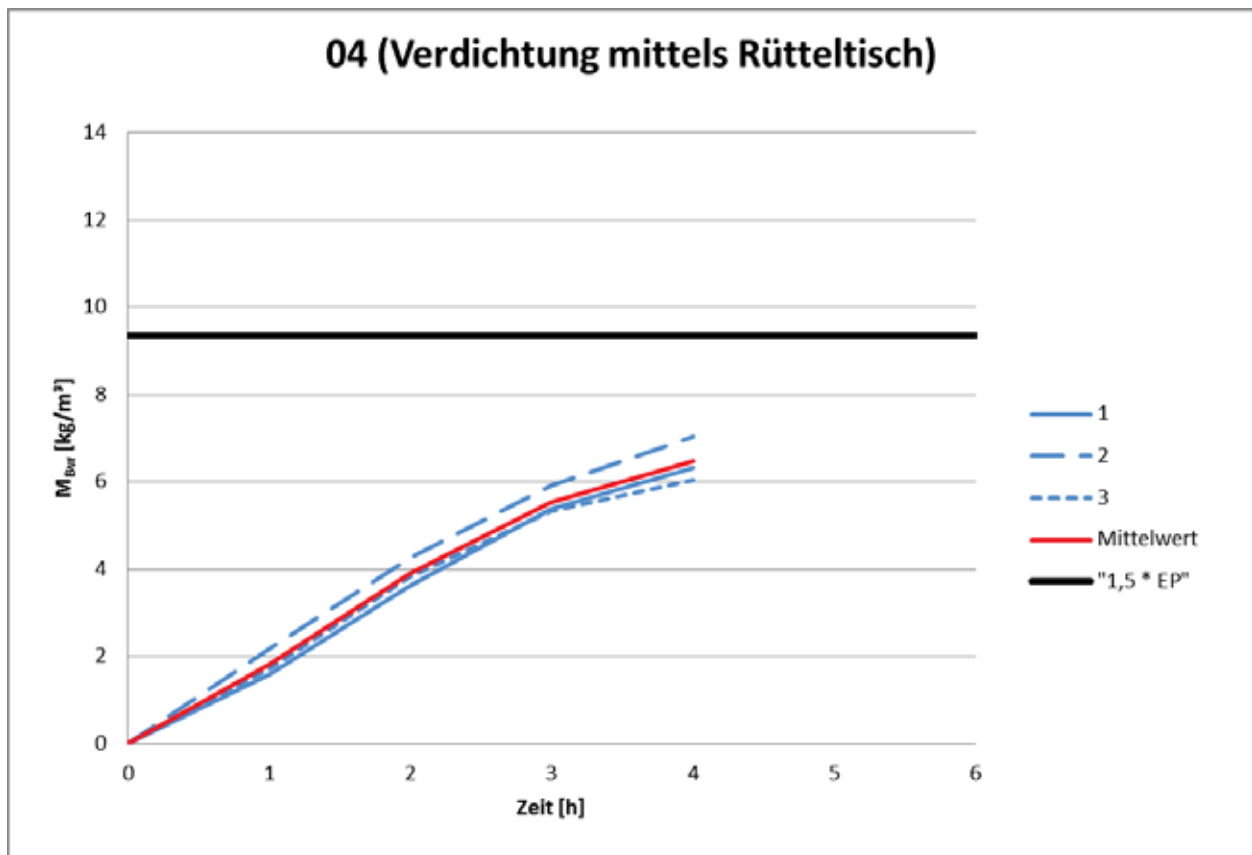
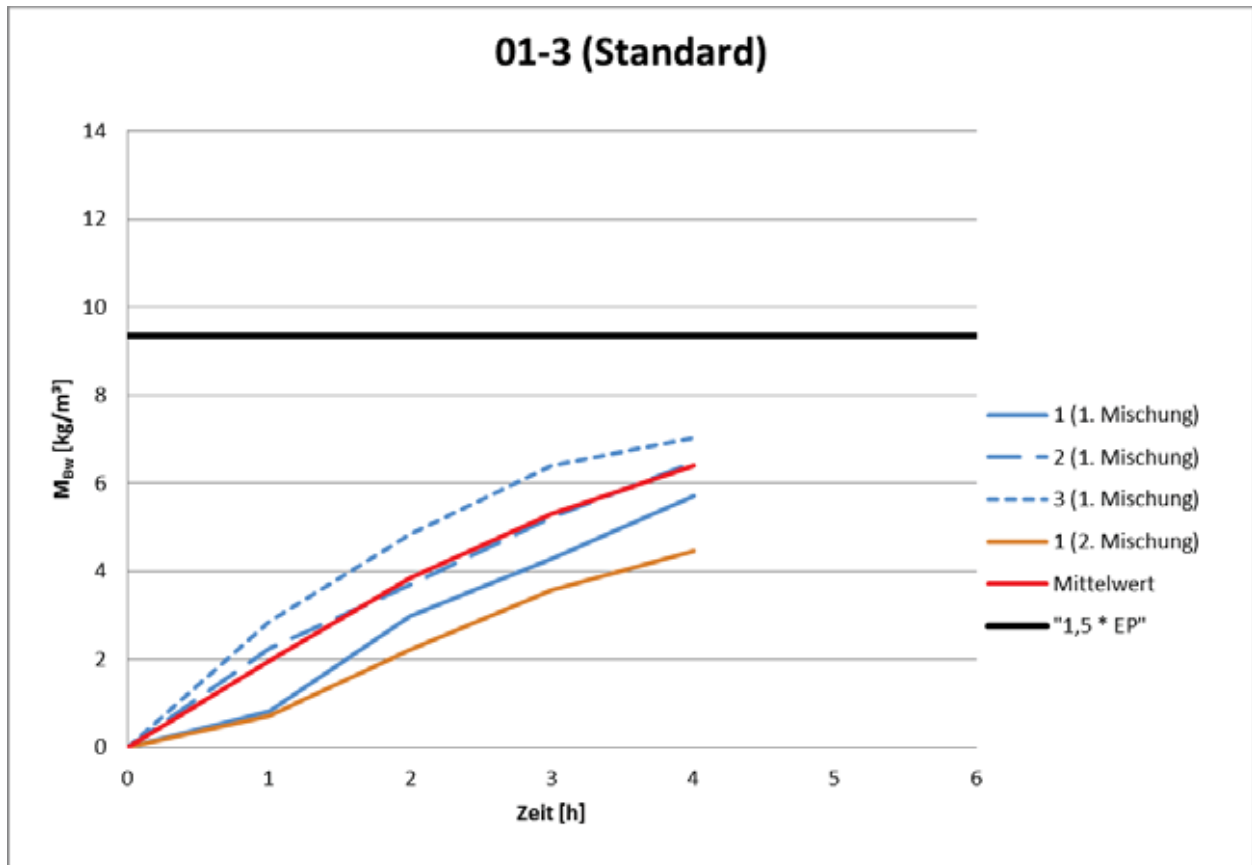
Im dritten Diagramm erfolgt ein Vergleich des Parameterversuchs mit dem Standardversuch nach [2]. Dabei werden nur die Mittelwerte verglichen. Zusätzlich ist die Umhüllende aus allen Standardversuchen eingezeichnet. Der charakteristische Wert „ $1,5 * EP$ “ nach [2] ist analog zu den anderen beiden Diagrammen angegeben. Dieses Diagramm befindet sich immer auf der Folgeseite zu den ersten beiden Diagrammen.

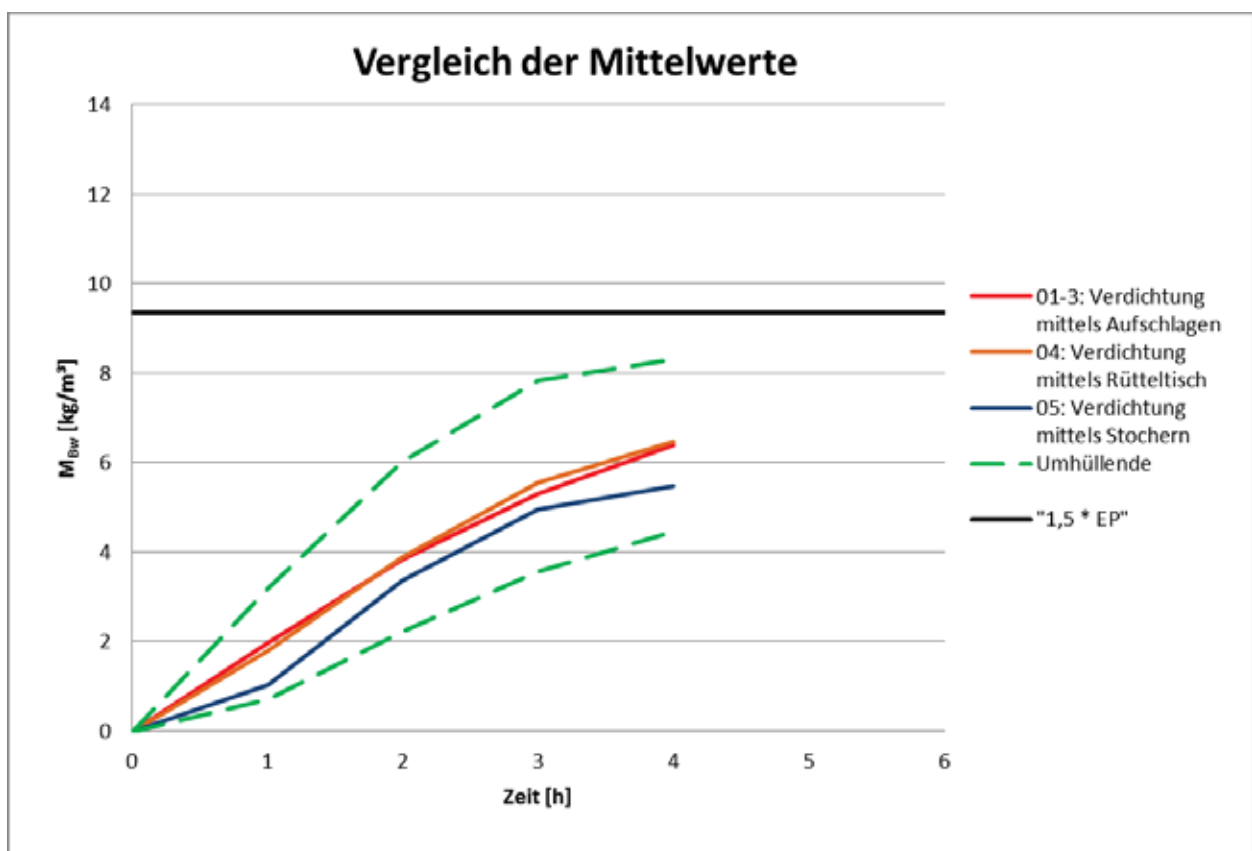
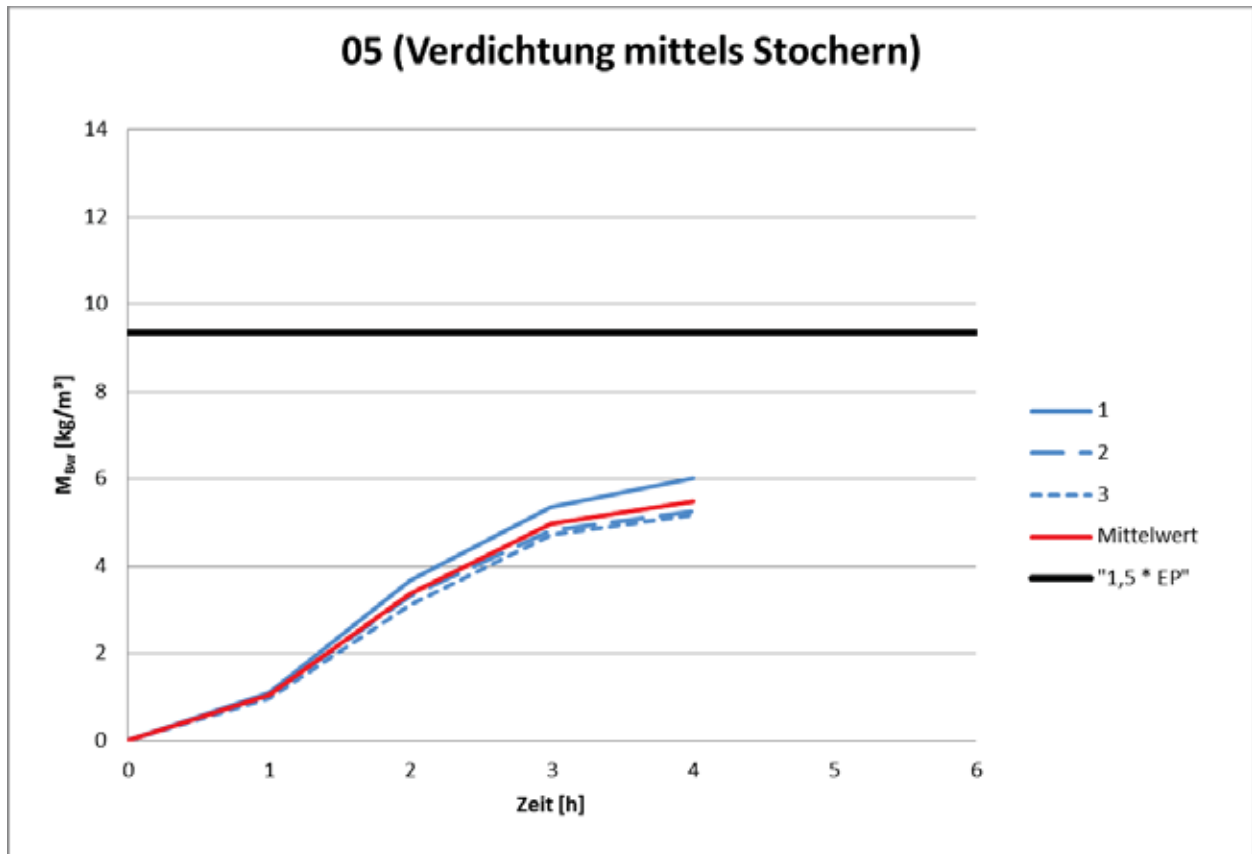




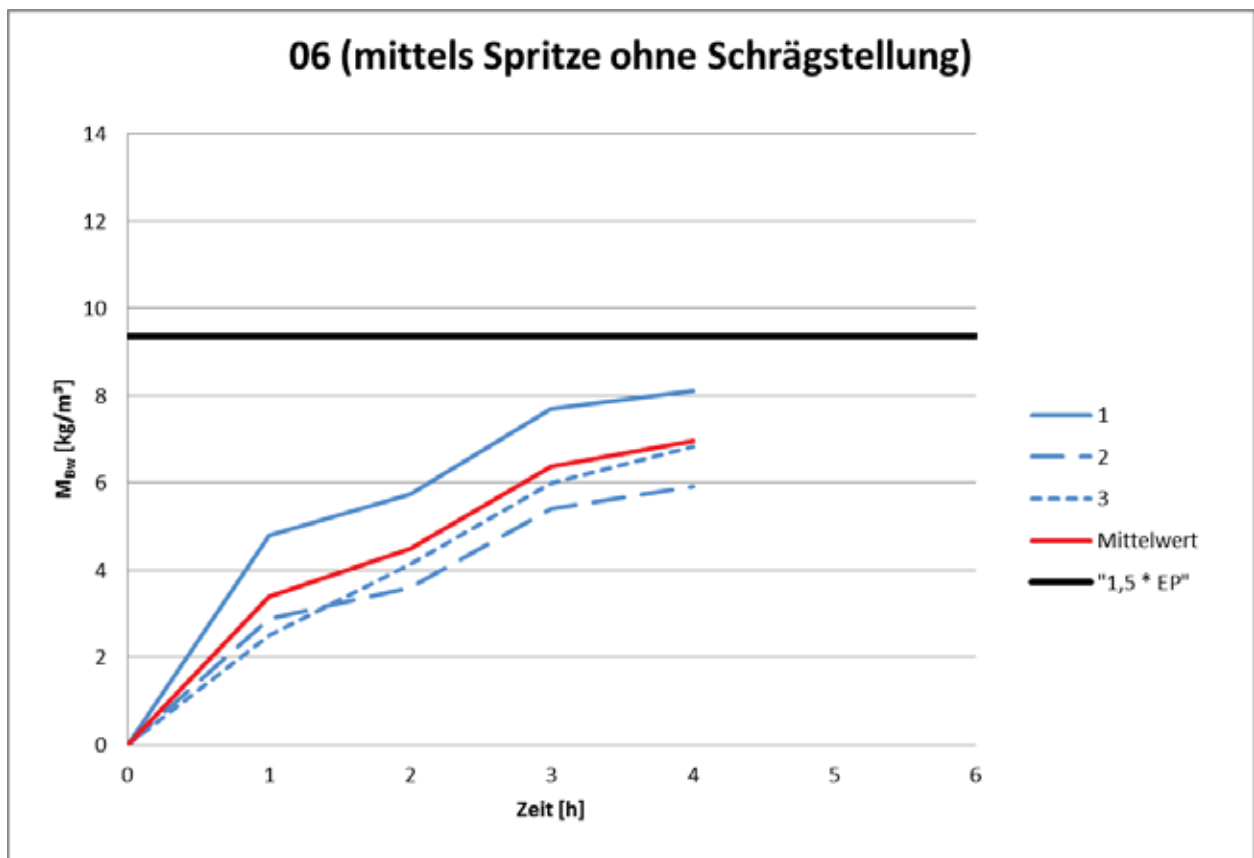
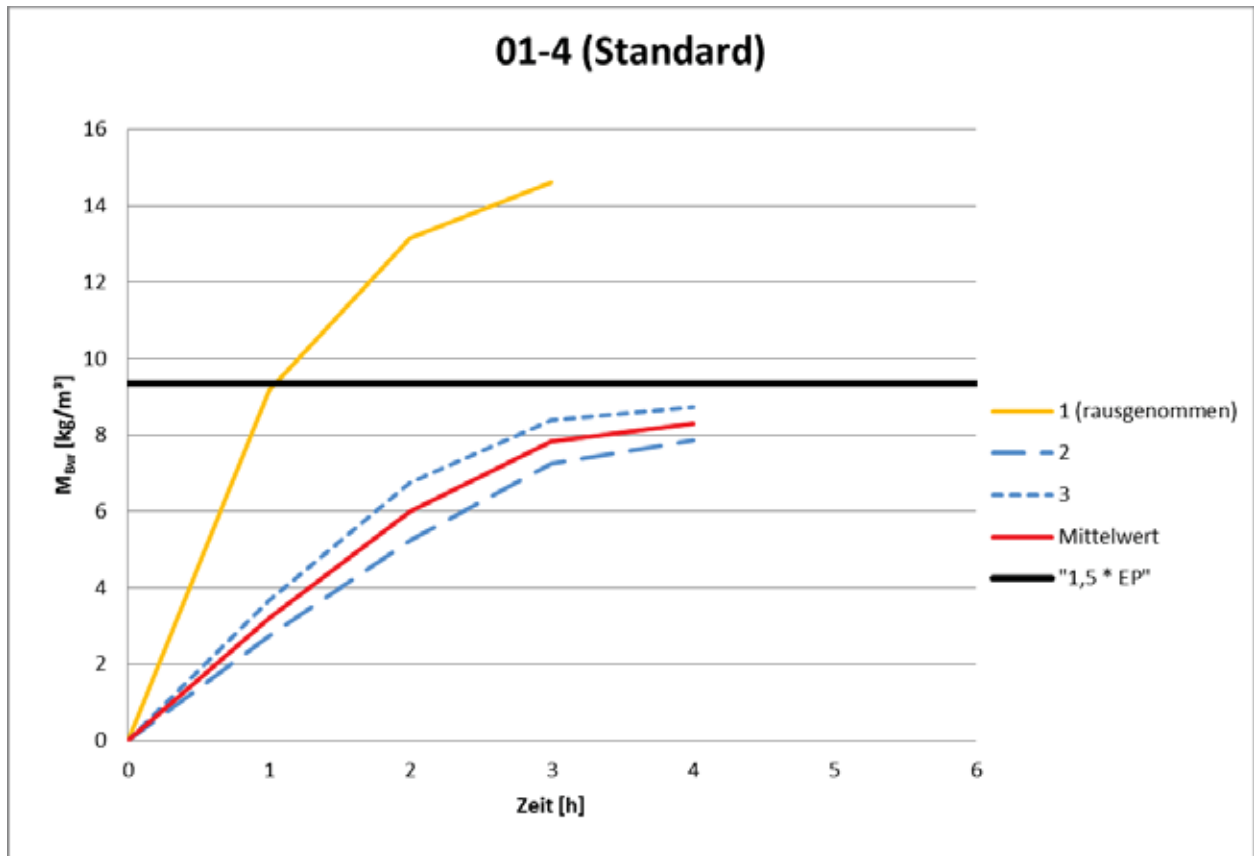


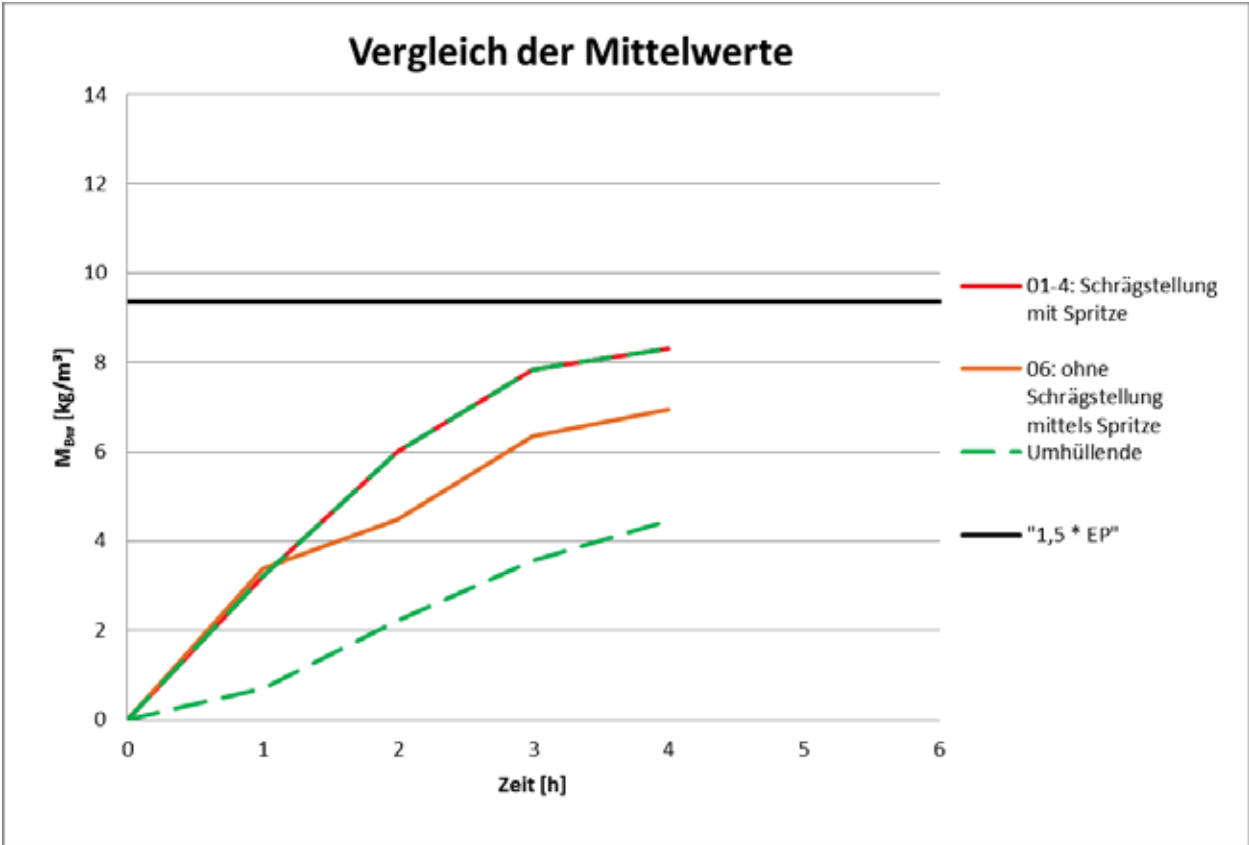


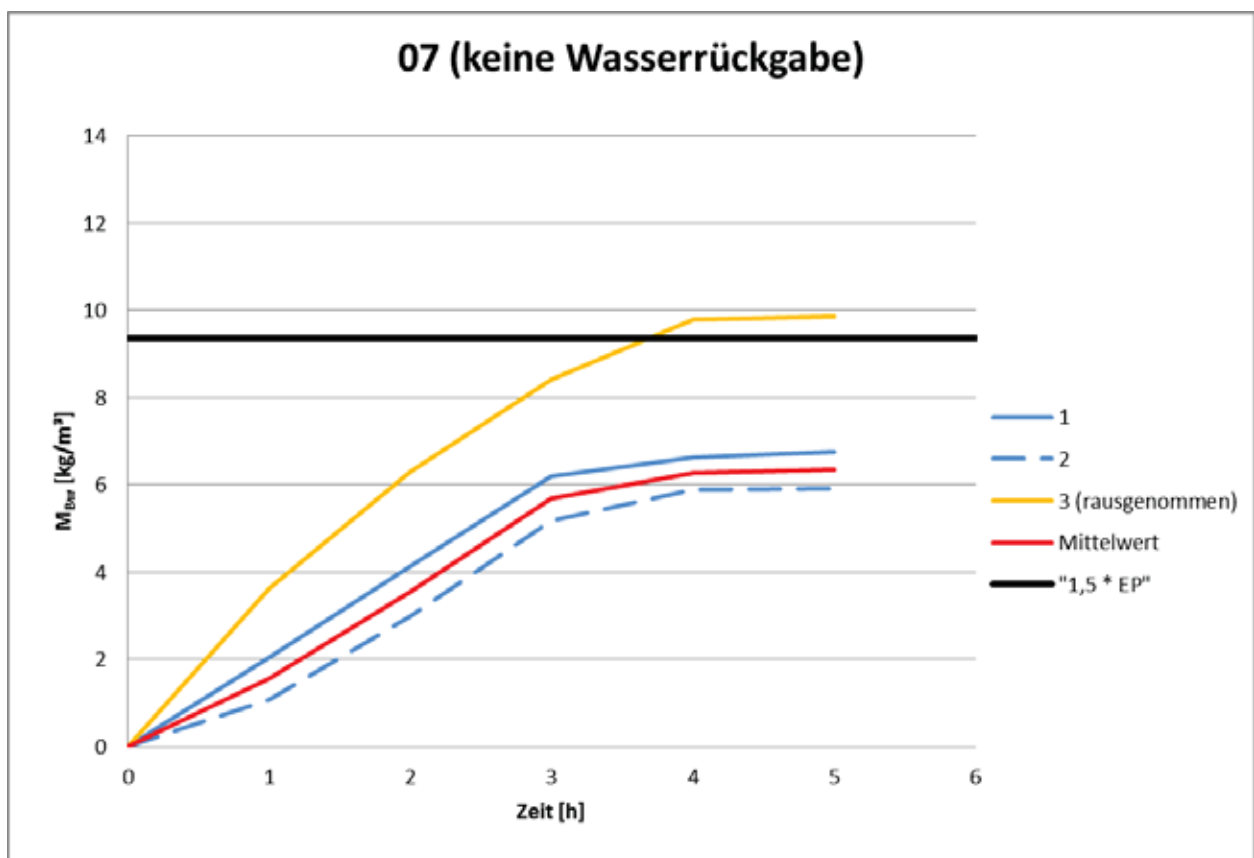
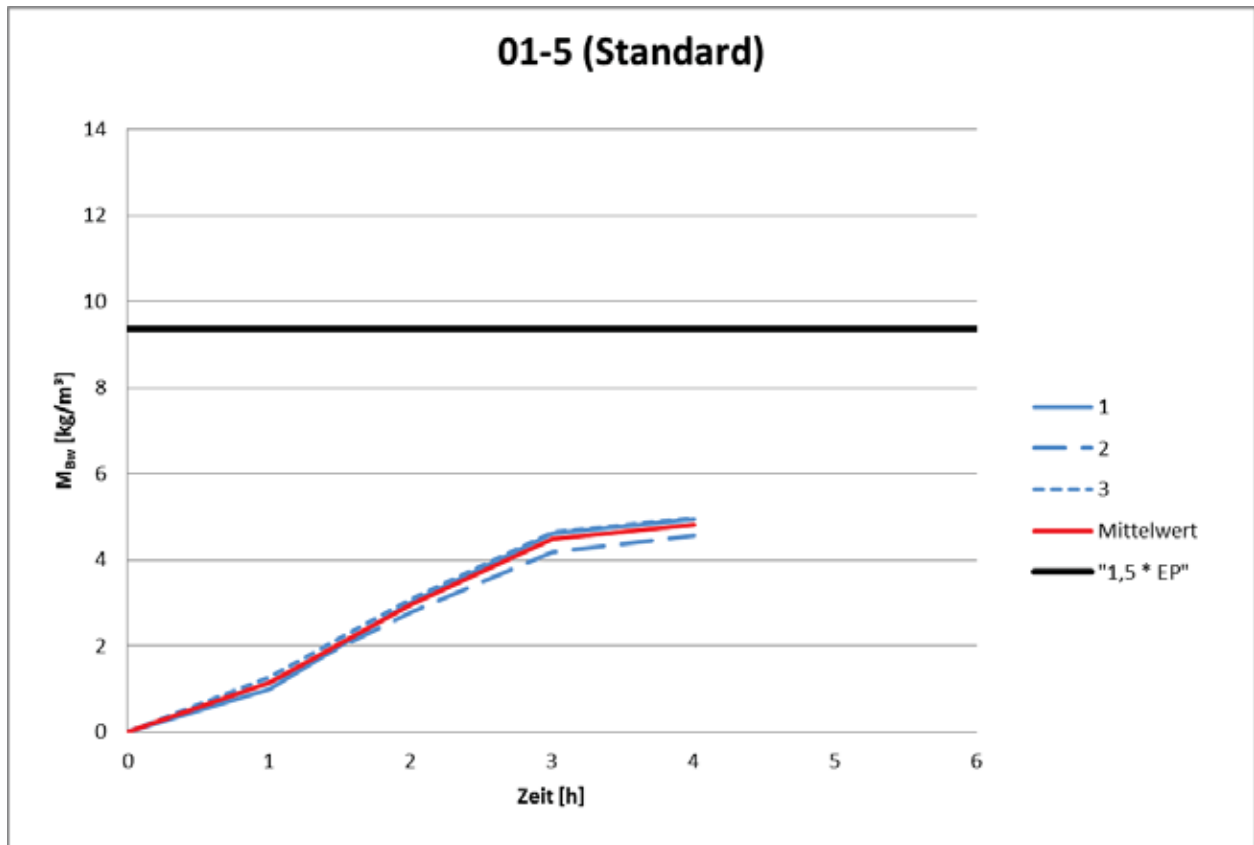


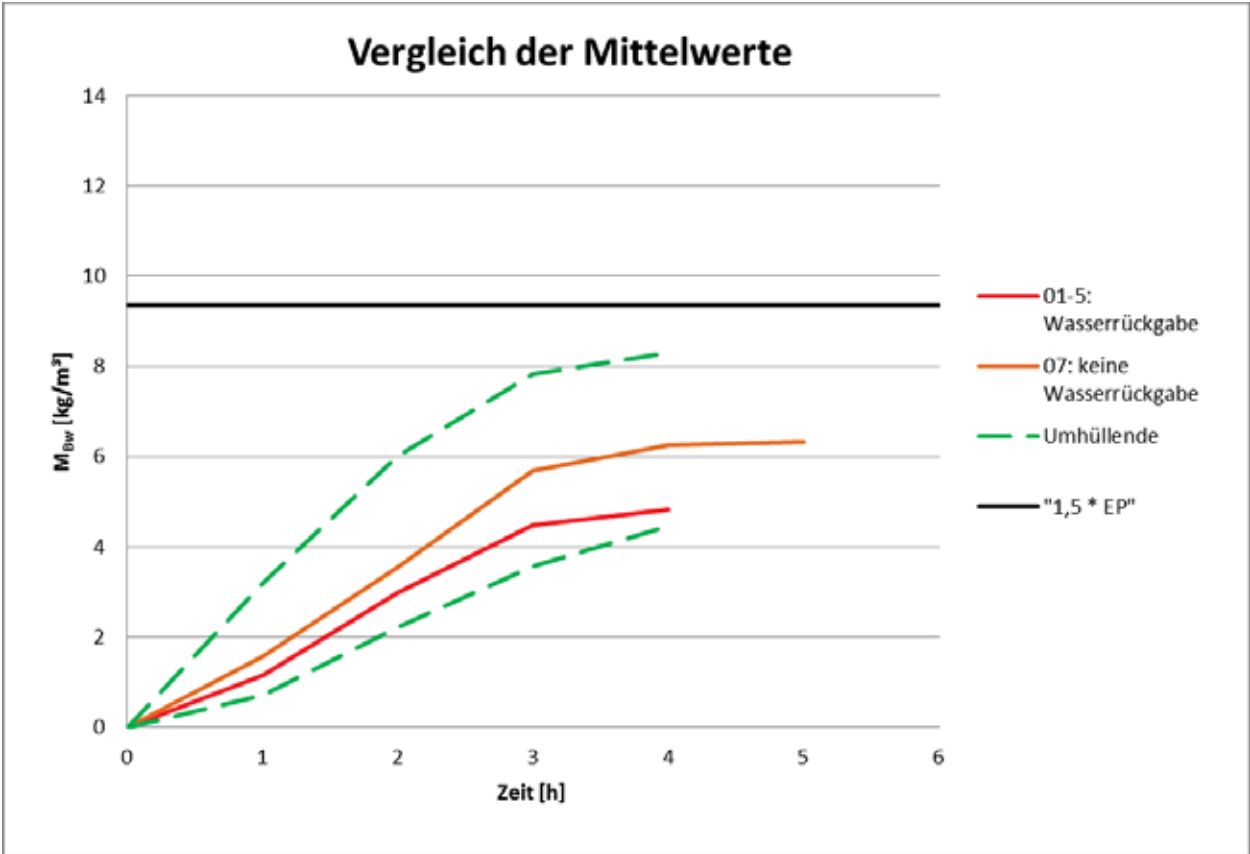


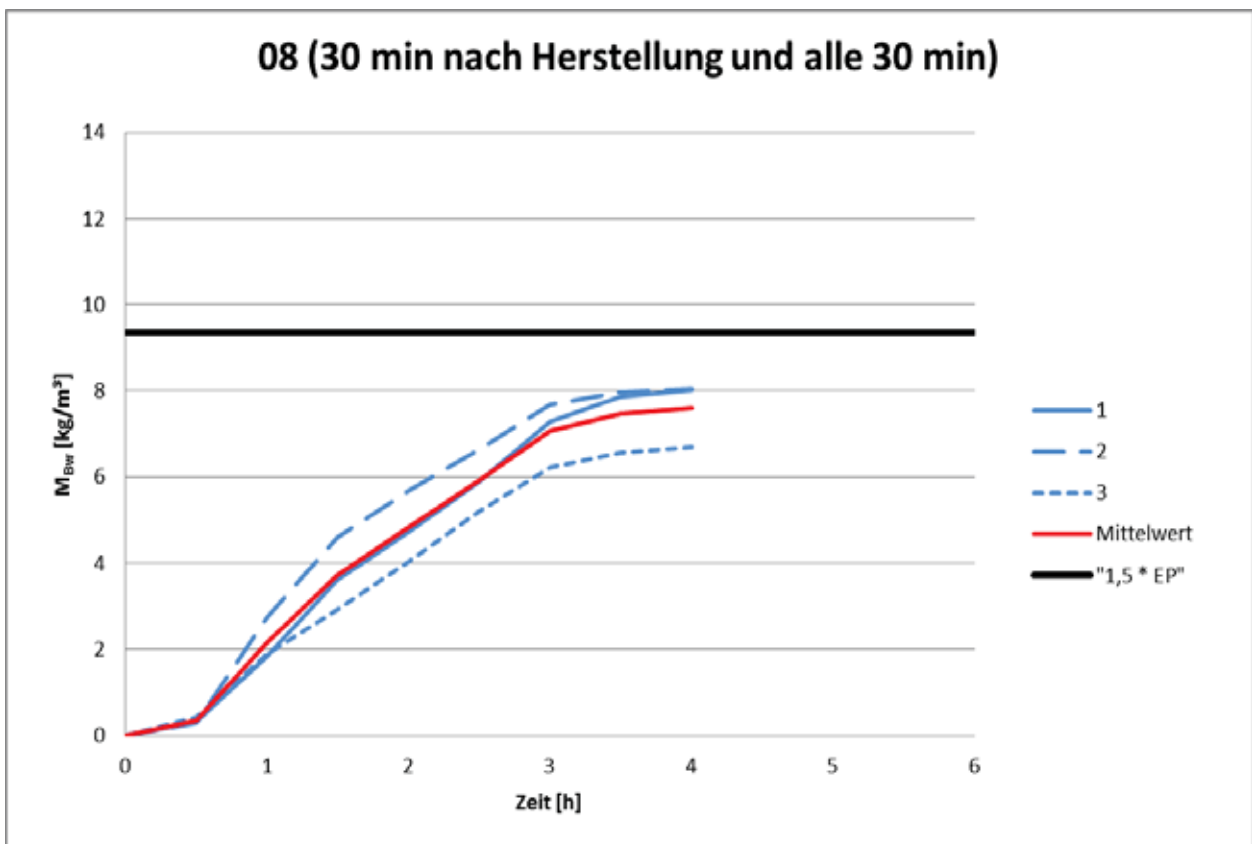
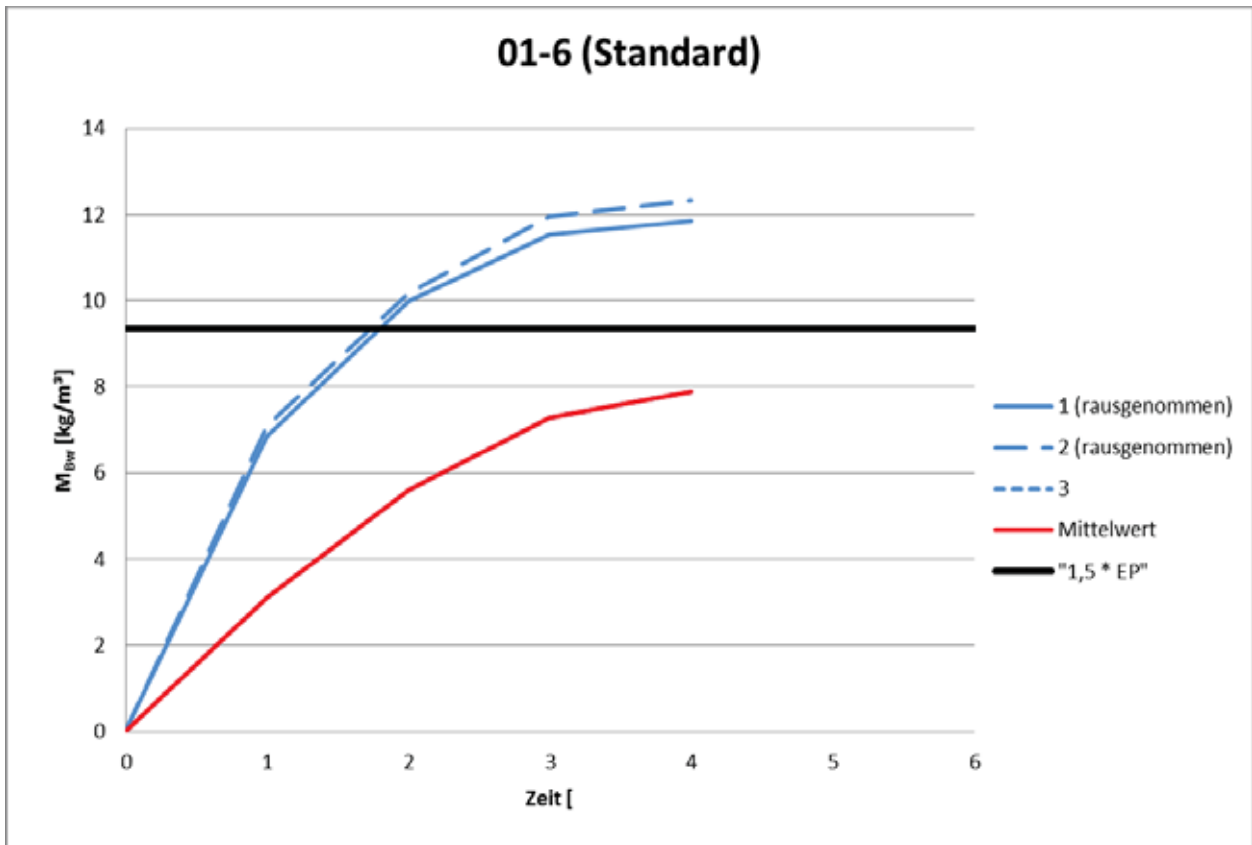


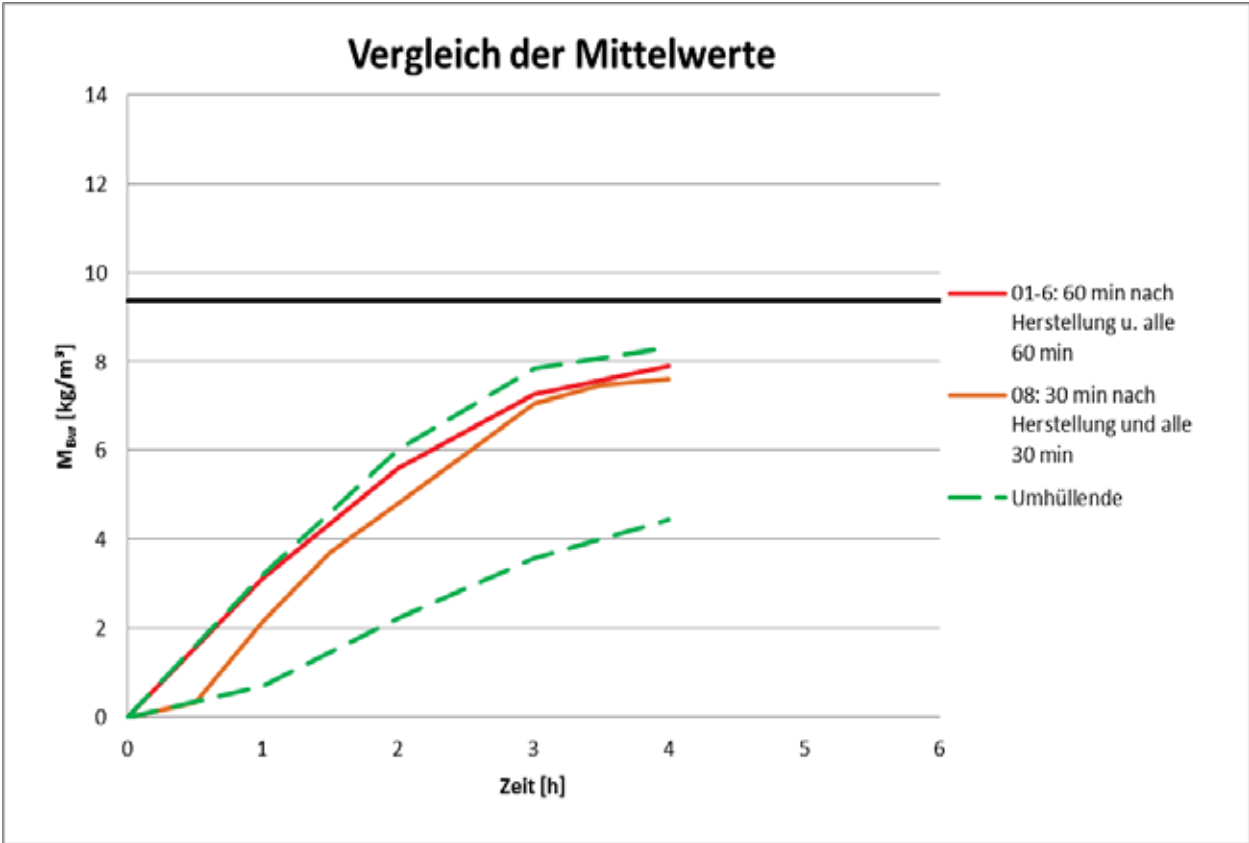


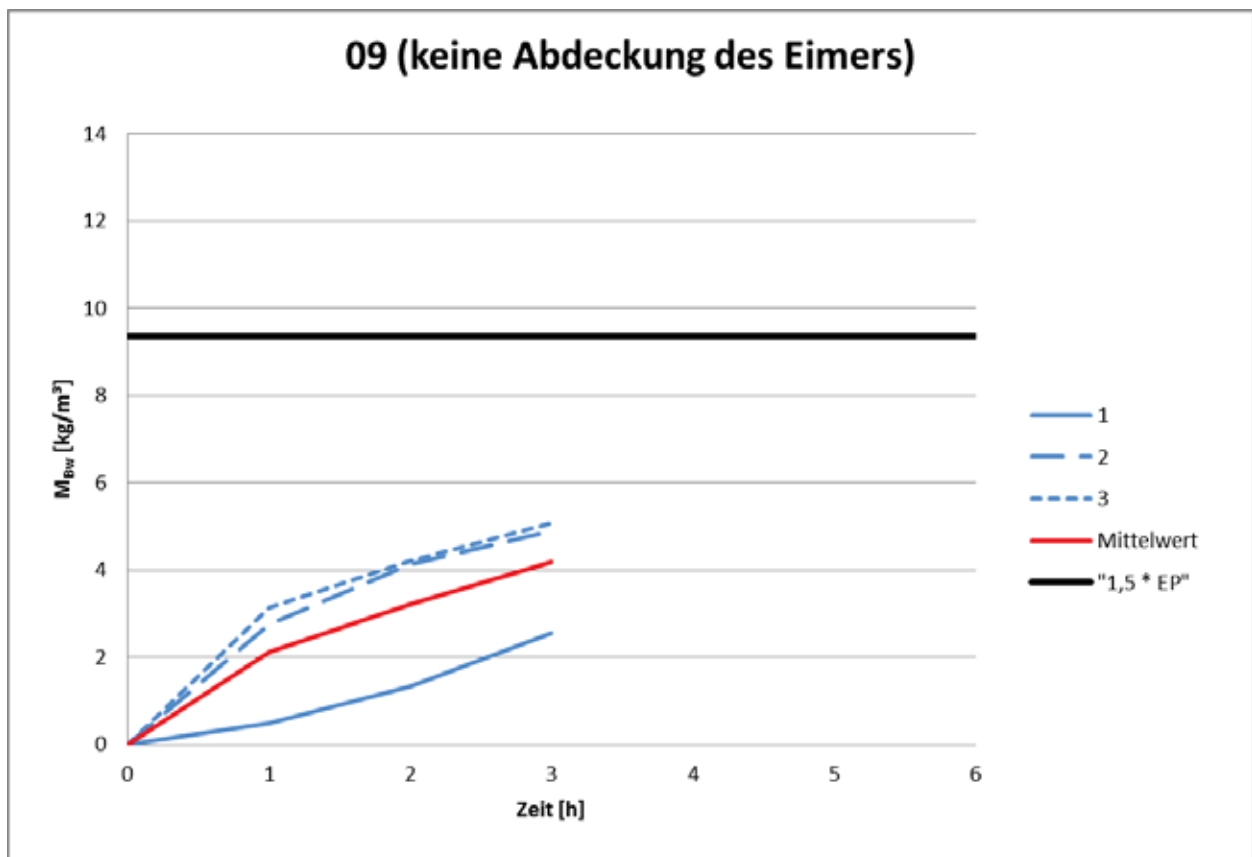
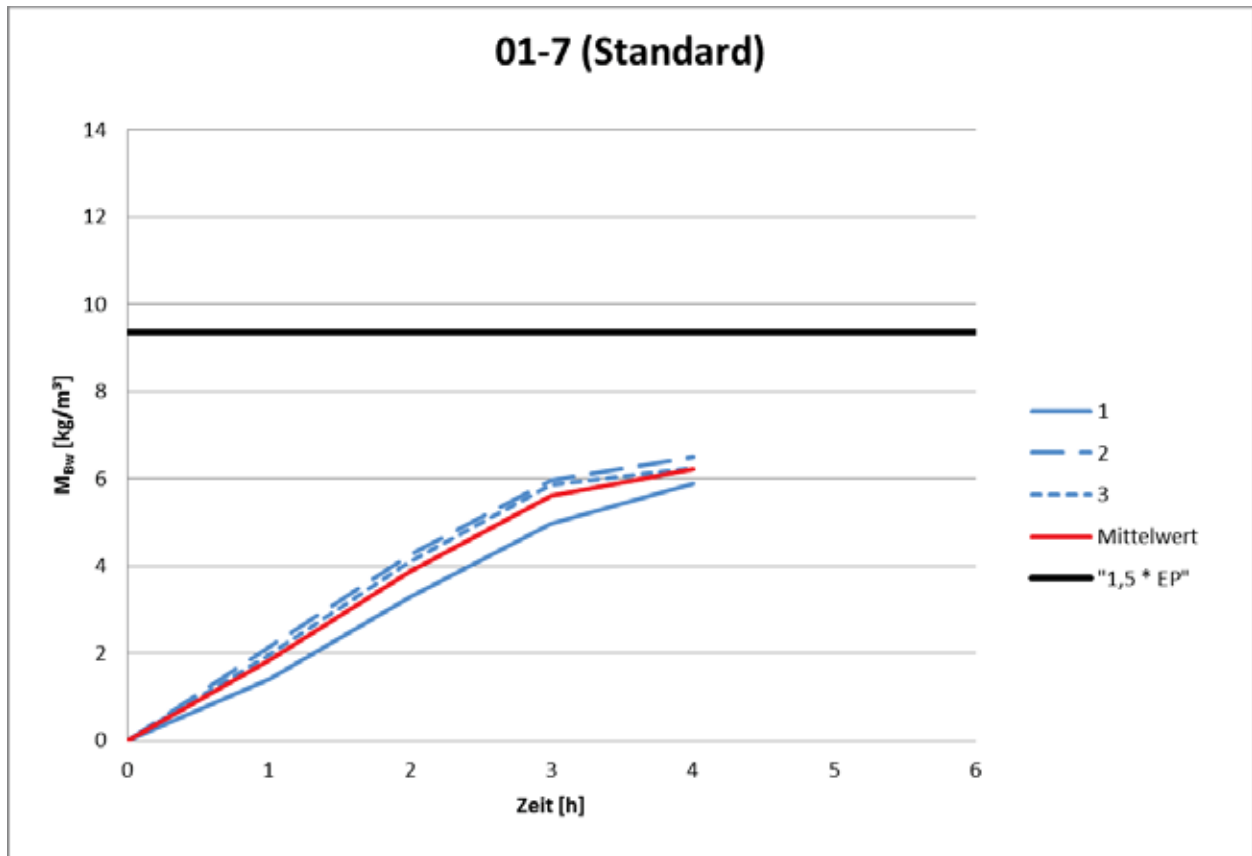


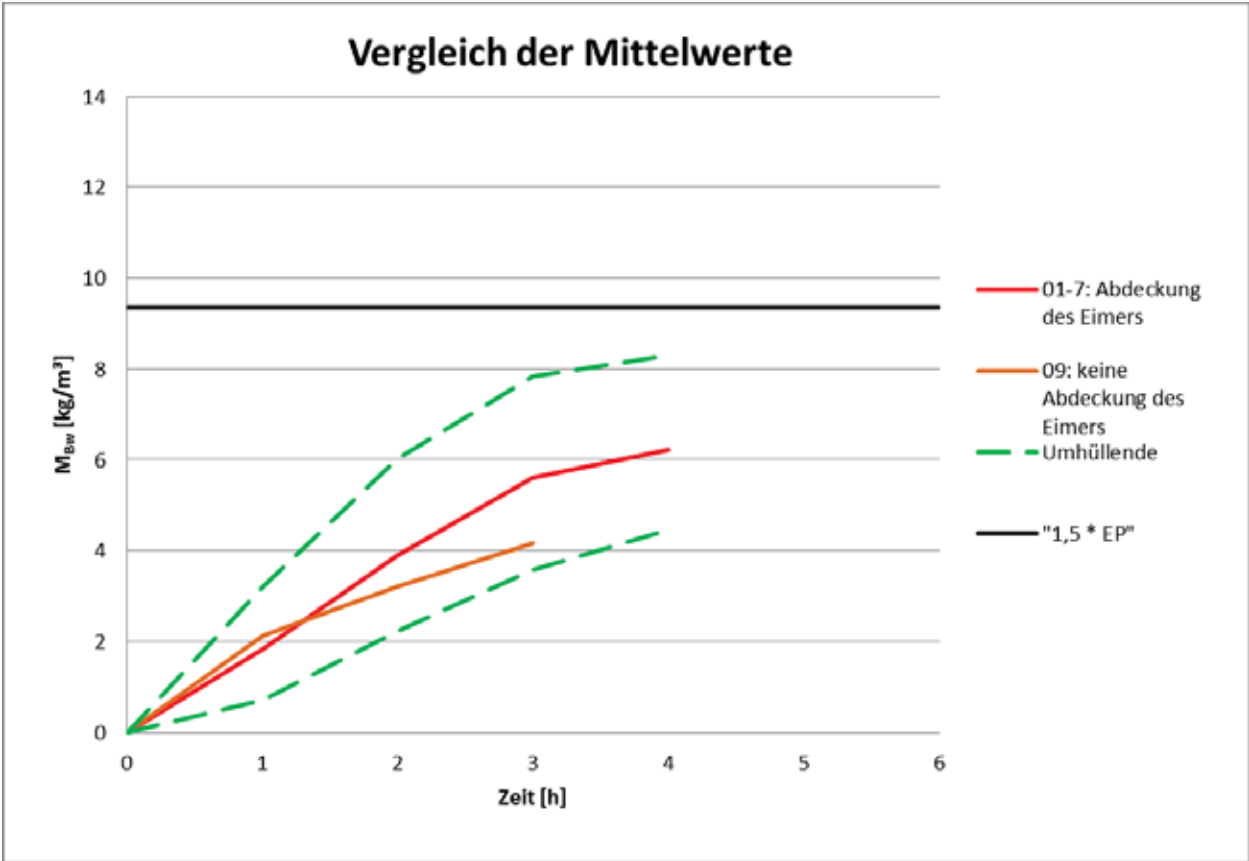














**10. Anhang B - Typ B-V**

**10.1. Ergebniszusammenstellung Blutwassermenge**

Dauer [h]	Prüfmittel								Art des Einbringens							
	01-1				02				01-2				03			
	Blutwasser je m <sup>3</sup> Frischbeton M <sub>Bw</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]				Blutwasser je m <sup>3</sup> Frischbeton M <sub>Bw</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]				Blutwasser je m <sup>3</sup> Frischbeton M <sub>Bw</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]				Blutwasser je m <sup>3</sup> Frischbeton M <sub>Bw</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]			
	Einzelwert			Mittelwert	Einzelwert			Mittelwert	Einzelwert			Mittelwert	Einzelwert			Mittelwert
1	2	3	1		2	3	1		2	3	1		2	3		
0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,0	4,70	4,21	8,83	4,45	5,12	5,27	8,09	6,16	8,81	7,54	6,84	7,73	6,98	11,45	7,56	8,66
1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,0	9,85	8,84	14,75	9,35	15,74	16,24	17,81	16,60	14,51	13,39	13,23	13,71	13,96	17,74	14,97	15,56
2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,0	14,40	13,43	18,94	13,91	21,33	21,69	21,68	21,57	18,92	17,27	17,03	17,74	18,78	22,50	19,61	20,30
3,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4,0	17,98	17,04	22,60	17,51	24,80	24,91	25,66	25,12	22,05	20,17	20,47	20,90	21,24	25,30	22,77	23,10
4,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5,0	20,53	19,68	24,24	20,10	28,15	27,89	28,42	28,15	24,49	22,34	22,76	23,20	23,26	27,25	24,63	25,05
5,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6,0	21,46	20,82	25,66	21,14	30,80	30,62	31,12	30,85	26,49	24,01	24,72	25,07	24,32	28,37	25,63	26,11
6,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7,0	22,42	21,26	25,86	21,84	32,14	32,08	32,53	32,25	27,28	25,23	26,04	26,18	23,69	27,56	25,49	25,58
7,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8,0	22,18	21,19	24,70	21,69	32,92	32,68	33,14	32,91	27,47	25,80	26,61	26,63	-	-	-	-
8,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9,0	-	-	-	-	33,07	32,79	33,19	33,01	26,68	24,78	25,60	25,69	-	-	-	-

**Umhüllende der Standardversuche**

Zeit [h]	0	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	7,43	8,00
M <sub>Bw</sub> , Obergrenze [kg/m <sup>3</sup> ]	0	11,00	16,84	21,19	23,83	25,70	26,30	26,50	26,37	26,63
M <sub>Bw</sub> , Untergrenze [kg/m <sup>3</sup> ]	0	4,45	9,35	13,91	17,51	20,10	21,14	21,84		

**Charakteristischer Wert "1,5 \* EP"**

Der Grenzwert ergibt sich aus dem 1,5fachen der max. Blutwassermenge der Eignungsprüfung

$$M_{Bw,i} \leq 1,5 \cdot M_{Bw,max} = 1,5 \cdot 21,2 \frac{kg}{m^3} = 31,80 \text{ kg/m}^3$$

Dauer [h]	Art der Verdichtung															
	01-3 <sup>1)</sup>				01-3 <sup>2)</sup>				04				05			
	Blutwasser je m <sup>3</sup> Frischbeton M <sub>Bw</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]				Blutwasser je m <sup>3</sup> Frischbeton M <sub>Bw</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]				Blutwasser je m <sup>3</sup> Frischbeton M <sub>Bw</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]				Blutwasser je m <sup>3</sup> Frischbeton M <sub>Bw</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]			
	Einzelwert			Mittelwert	Einzelwert			Mittelwert	Einzelwert			Mittelwert	Einzelwert			Mittelwert
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3	
0,0	0	0	0	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,0	4,38	4,22	6,68	5,10	6,50	-	-	-	3,77	4,19	5,19	4,38	7,23	8,90	6,76	7,63
1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,0	11,86	10,60	13,97	12,14	12,22	-	-	-	12,43	12,38	14,70	13,17	16,36	15,23	14,21	15,27
2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,0	17,88	15,99	17,49	17,12	17,34	-	-	-	17,81	17,20	19,32	18,11	20,12	19,33	19,67	19,71
3,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4,0	20,83	18,95	20,98	20,25	21,01	-	-	-	21,78	20,46	22,36	21,53	24,19	22,43	22,39	23,00
4,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5,0	23,33	21,62	23,64	22,86	23,90	-	-	-	23,70	22,53	24,64	23,62	25,80	24,51	25,14	25,15
5,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6,0	24,97	22,98	24,43	24,12	25,33	-	-	-	25,14	23,43	25,74	24,77	26,93	25,54	25,72	26,06
6,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7,0	24,37	22,57	24,34	23,76	25,27	-	-	-	25,78	23,57	25,92	25,09	26,86	25,46	25,53	25,95
7,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8,0	-	-	-	-	-	-	-	-	25,71	23,03	25,37	24,70	-	-	-	-
8,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Bemerkungen:

1) 1. Mischung

2) 2. Mischung



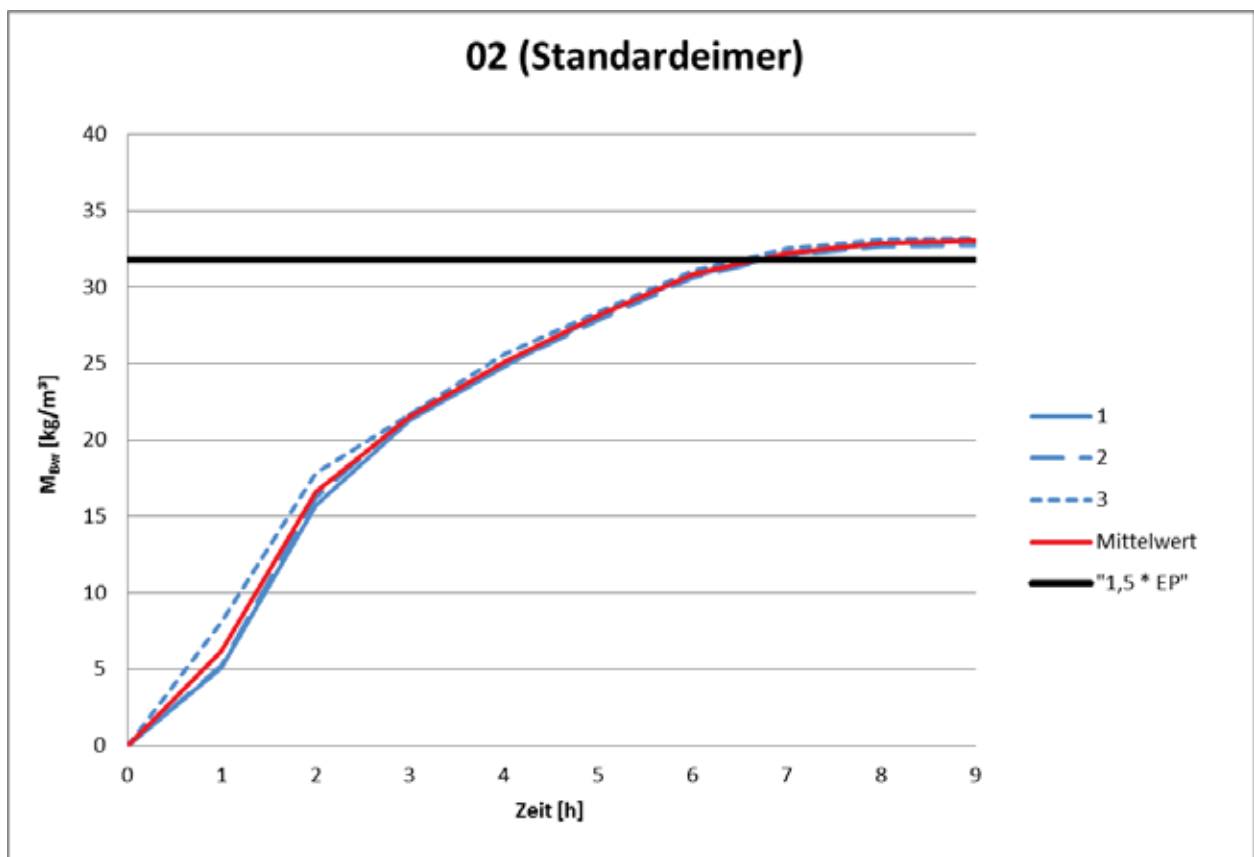
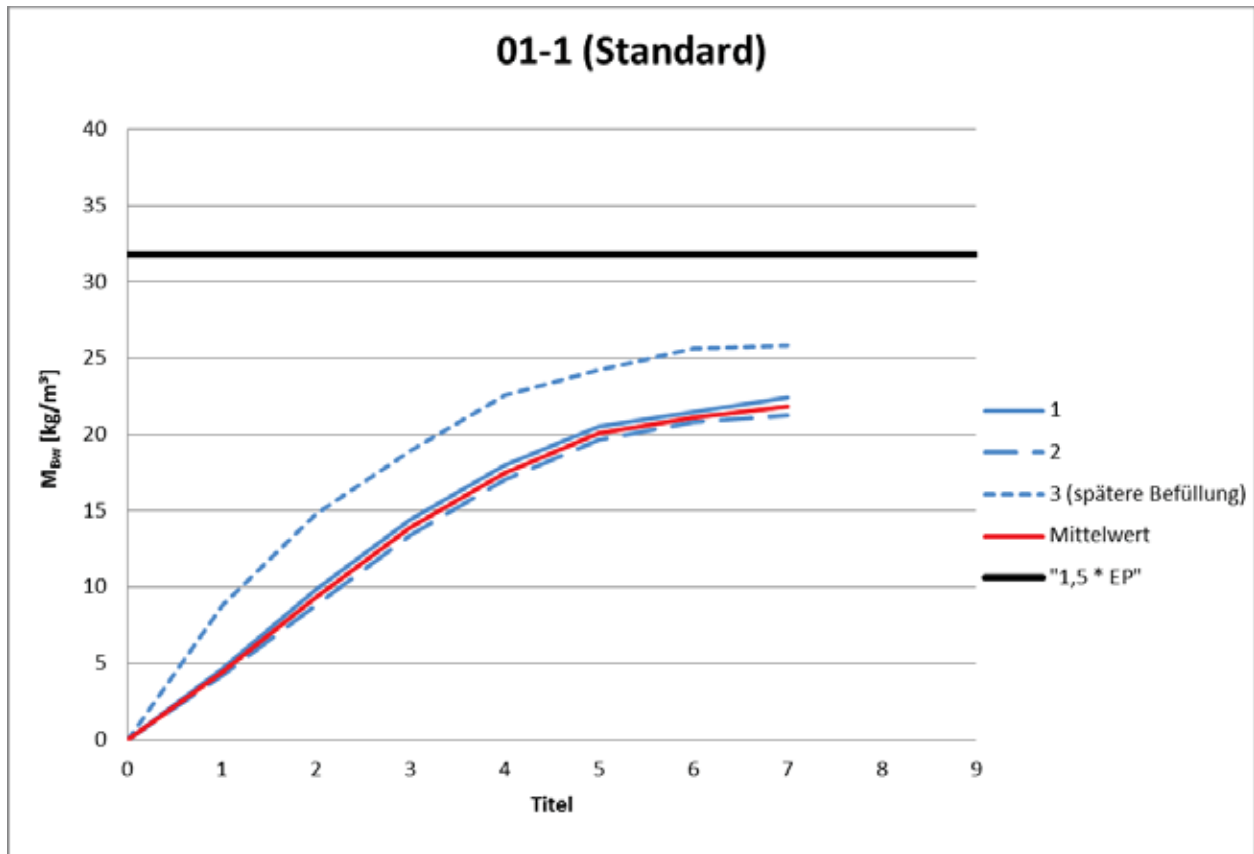


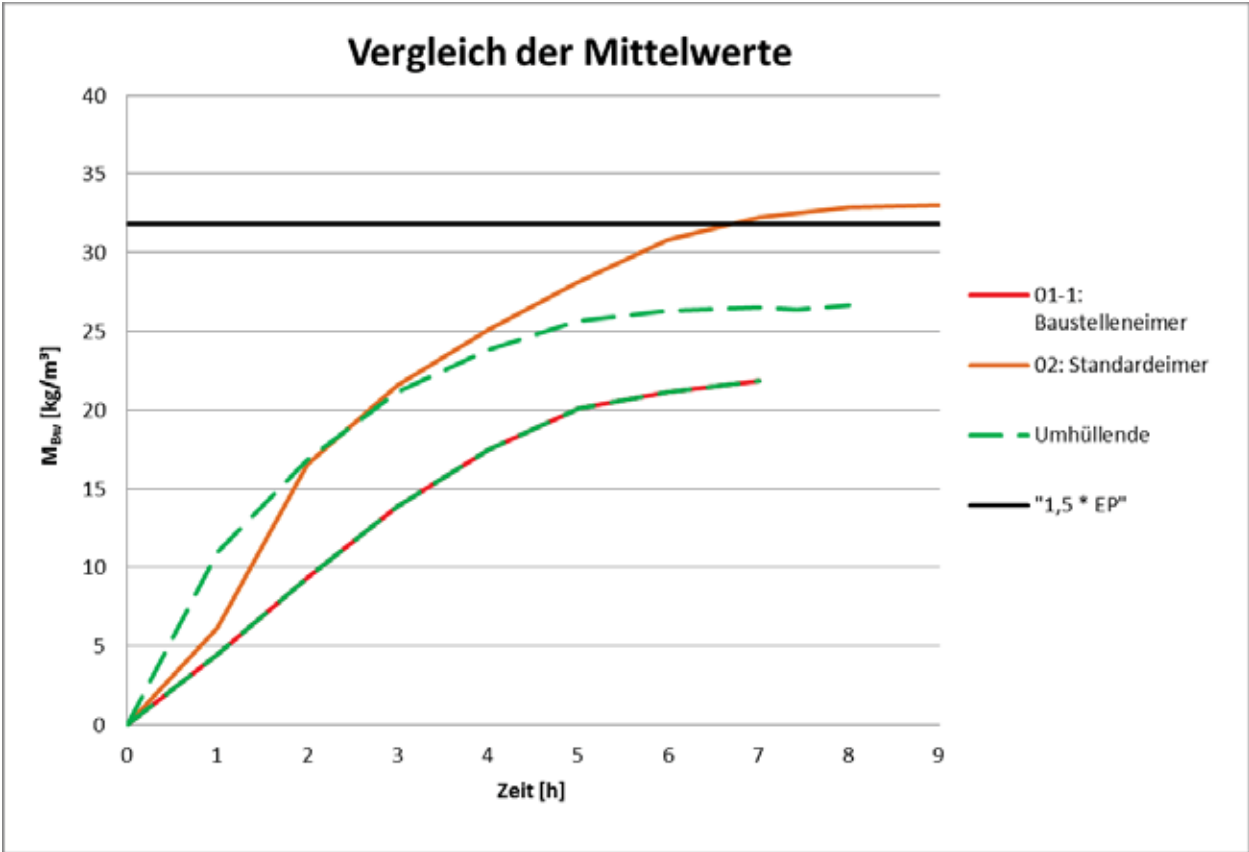
## 10.2. Darstellung der Ergebnisse

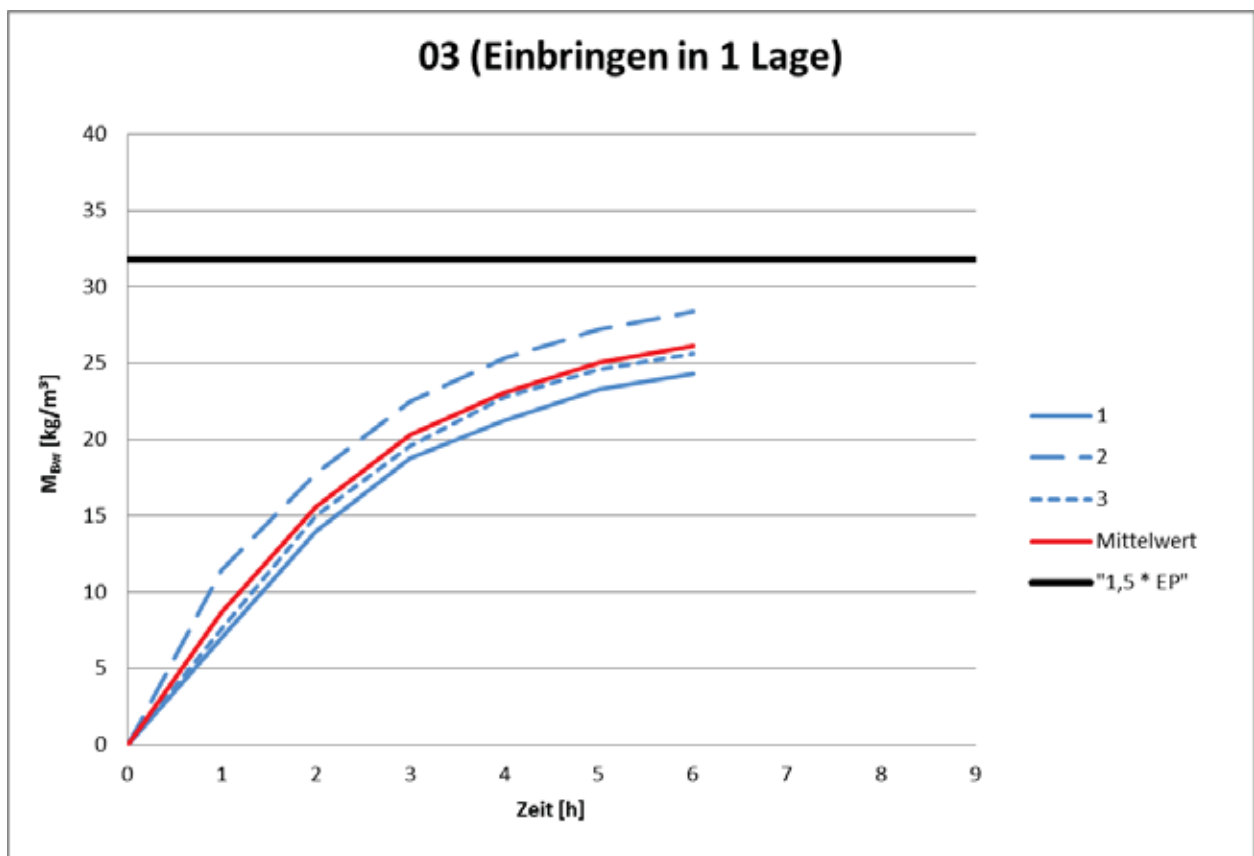
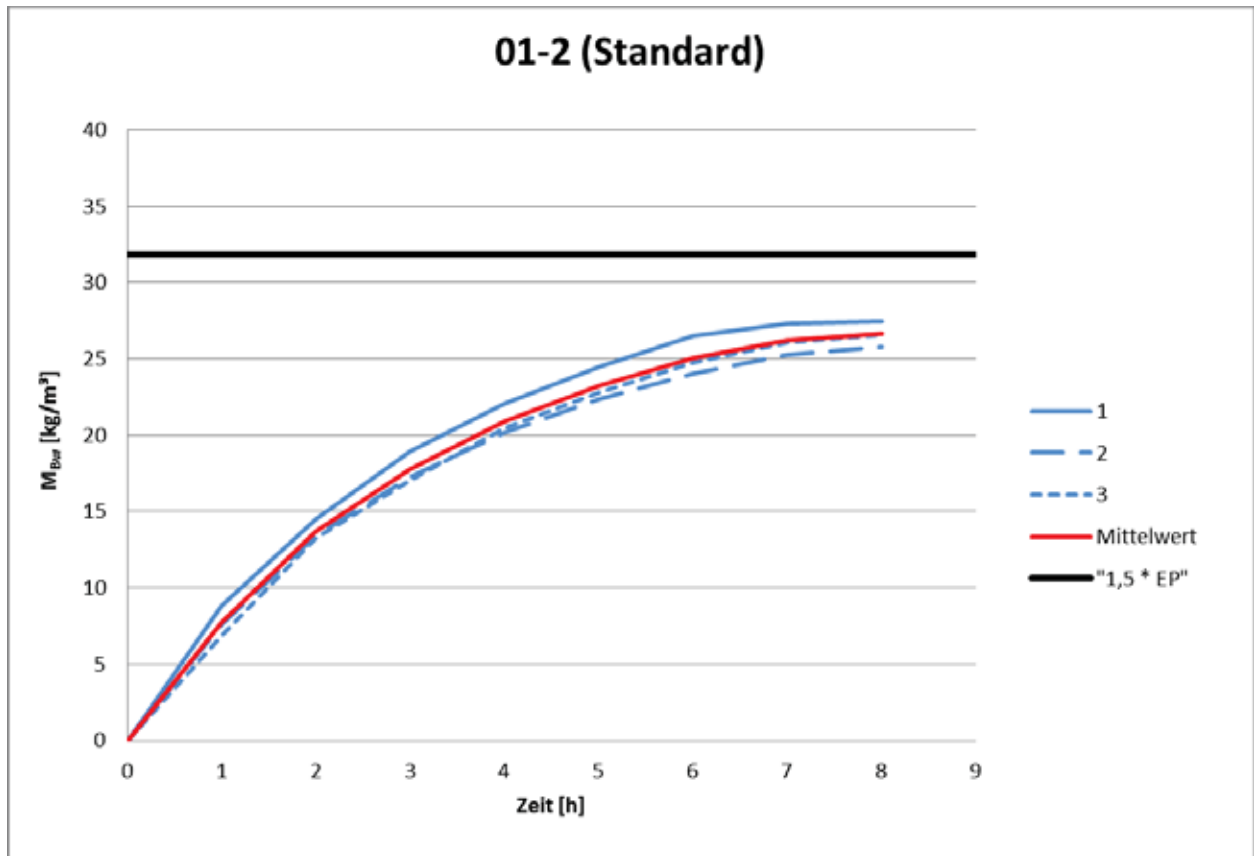
In diesem Anhang werden die Versuchsergebnisse der Standard- und Parameterversuche grafisch dargestellt. Dazu werden immer drei Diagramme angegeben. Die Diagramme kommen folgendermaßen zu Stande:

Pro Versuch wurden in der Regel immer sechs Eimer hergestellt; drei davon für den Standardversuch und drei weitere für einen Parameterversuch. In dem ersten Diagramm wird der Standardversuch mit den Einzelwerten sowie dem Mittelwert dargestellt. Im zweiten Diagramm wird der Parameterversuch mit seinen Einzelwerten und dem Mittelwert dargestellt. Zusätzlich ist bei beiden Diagrammen der charakteristische Wert „1,5 \* EP“ in Anlehnung an [2] angegeben. Diese beiden Diagramme werden immer gemeinsam auf einer Seite dargestellt.

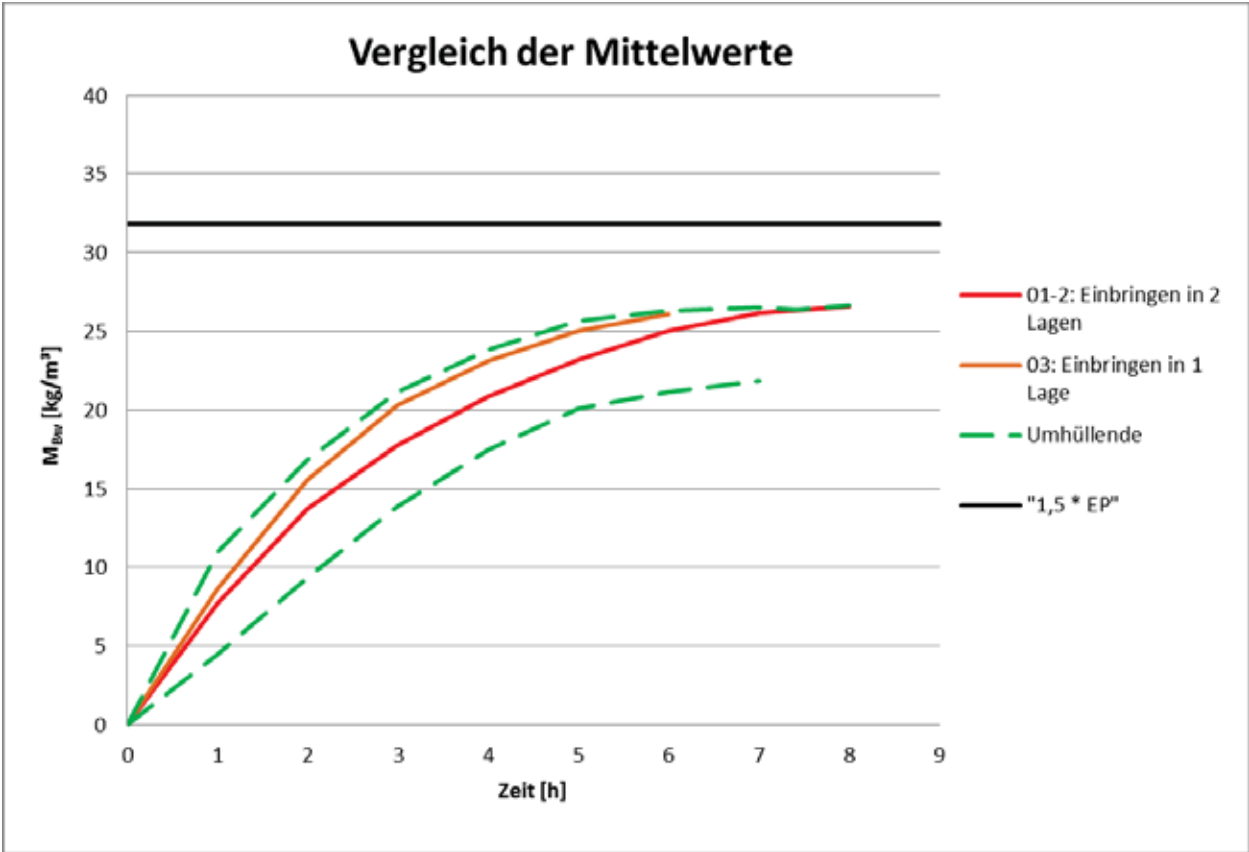
Im dritten Diagramm erfolgt ein Vergleich des Parameterversuchs mit dem Standardversuch nach [2]. Dabei werden nur die Mittelwerte verglichen. Zusätzlich ist die Umhüllende aus allen Standardversuchen eingezeichnet. Der charakteristische Wert „1,5 \* EP“ nach [2] ist analog zu den anderen beiden Diagrammen angegeben. Dieses Diagramm befindet sich immer auf der Folgeseite zu den ersten beiden Diagrammen.

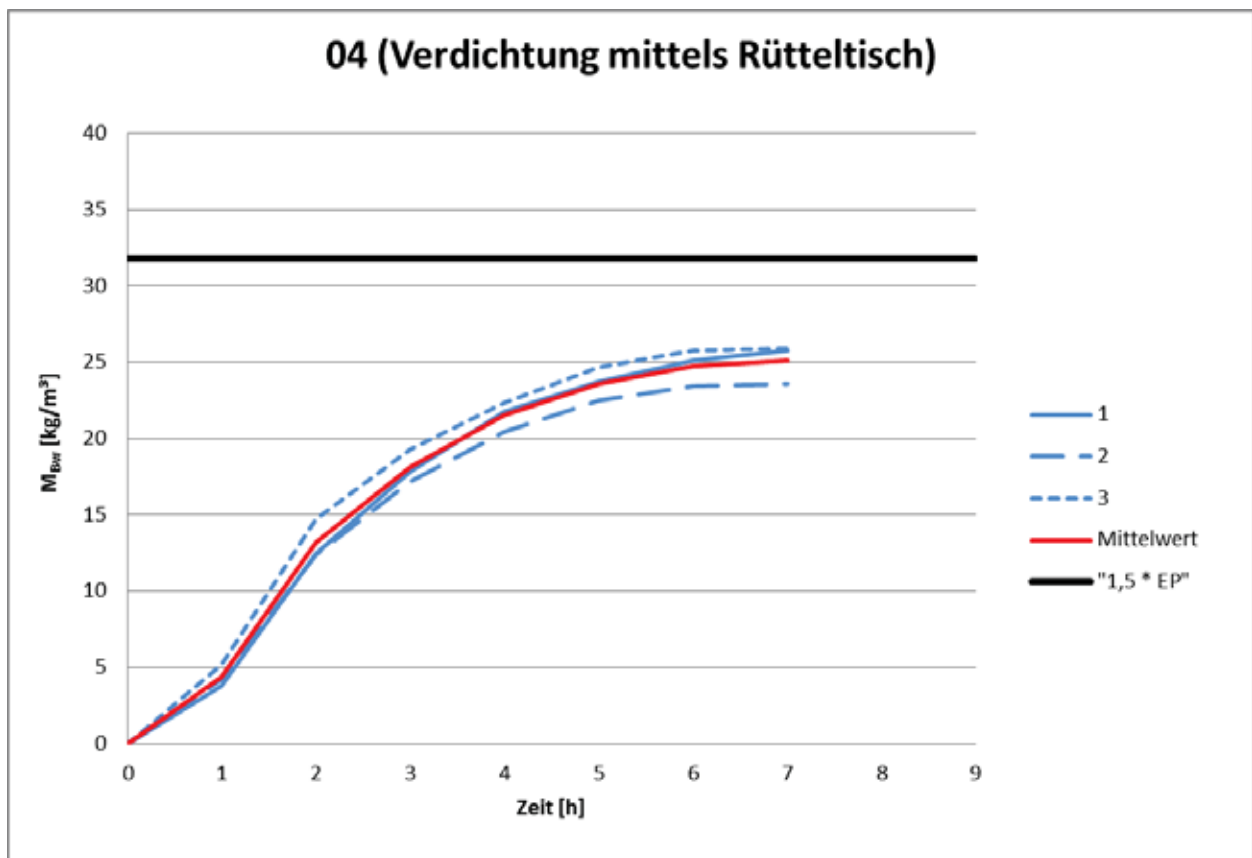
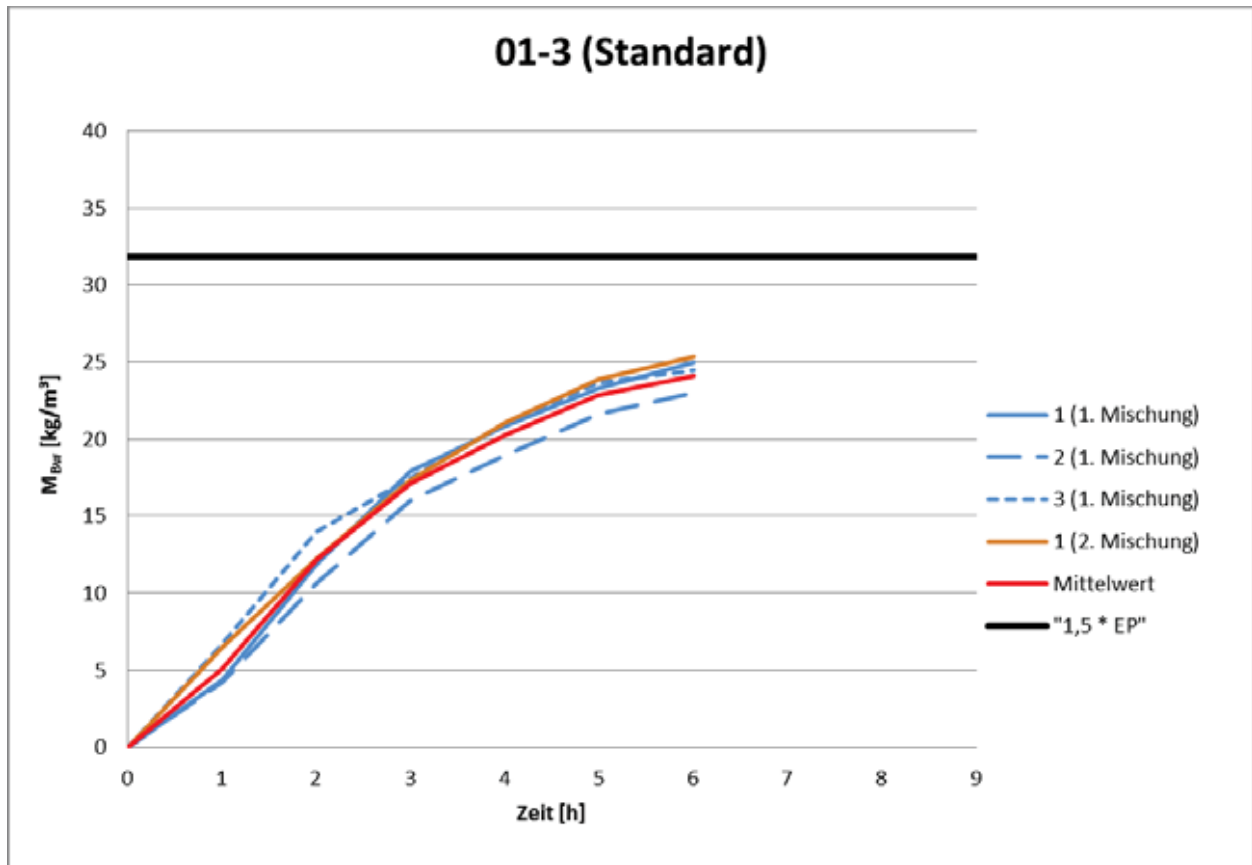


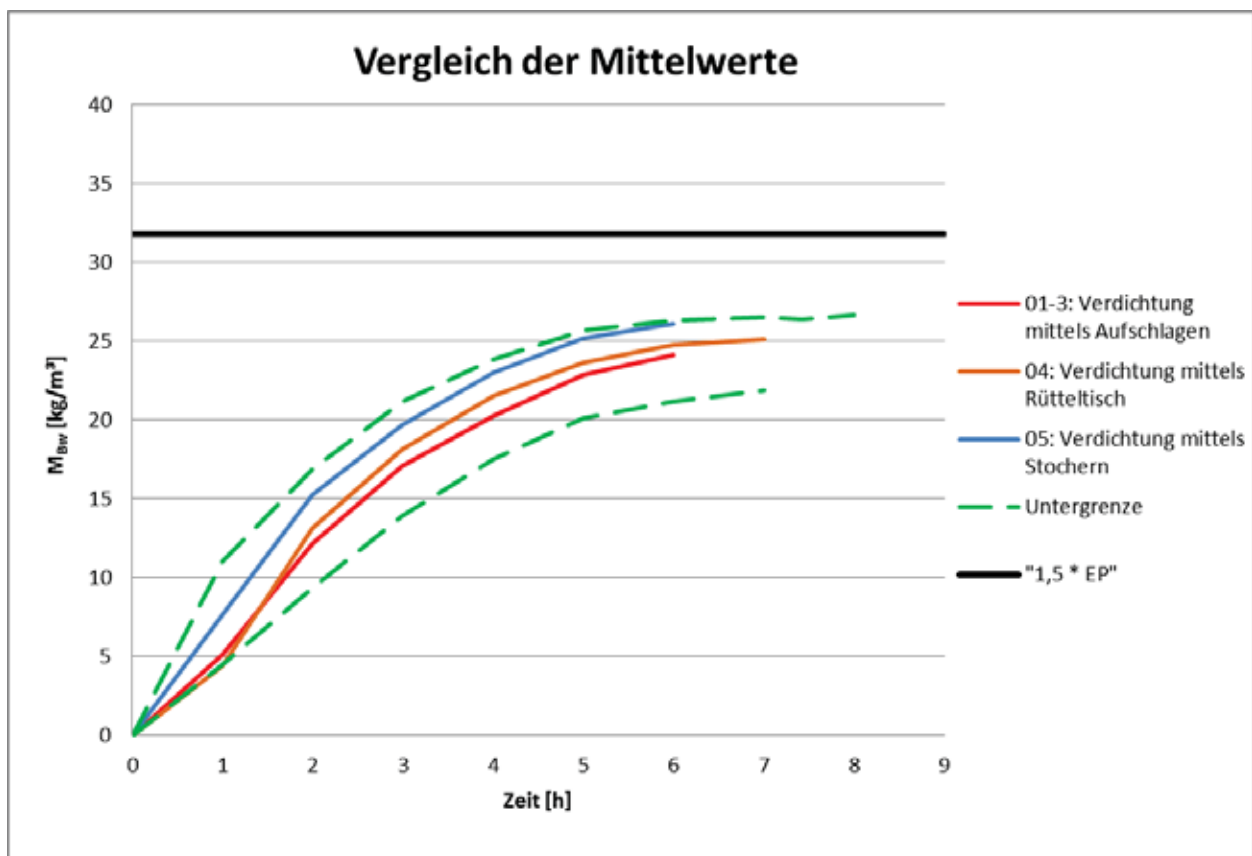
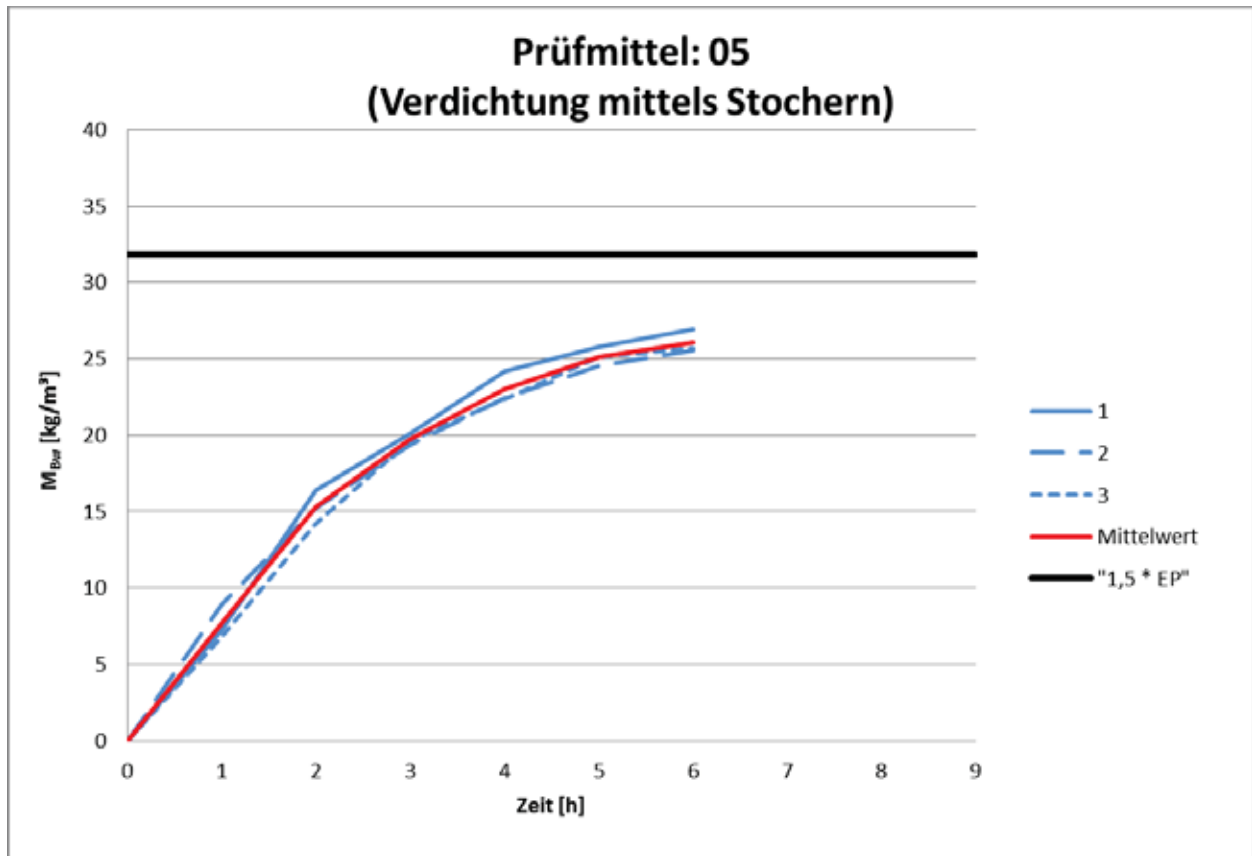


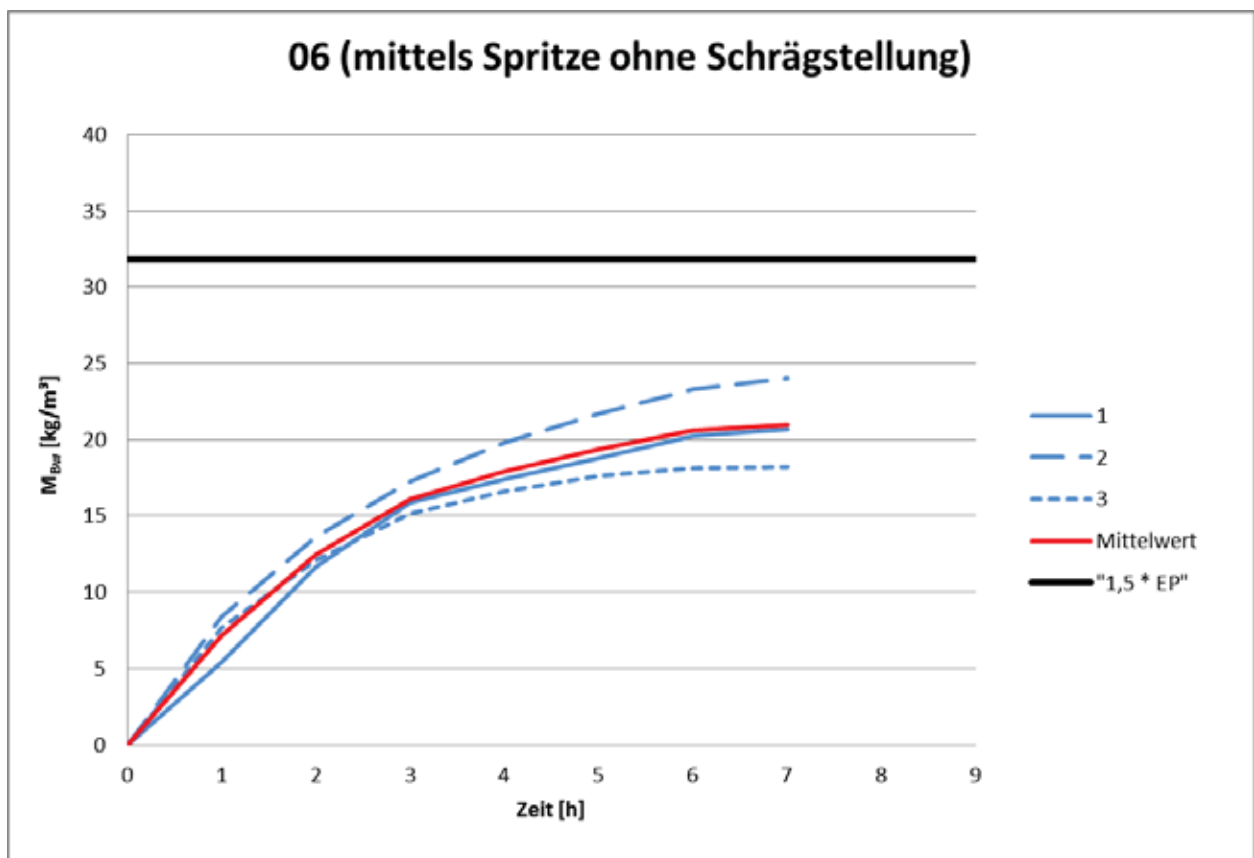
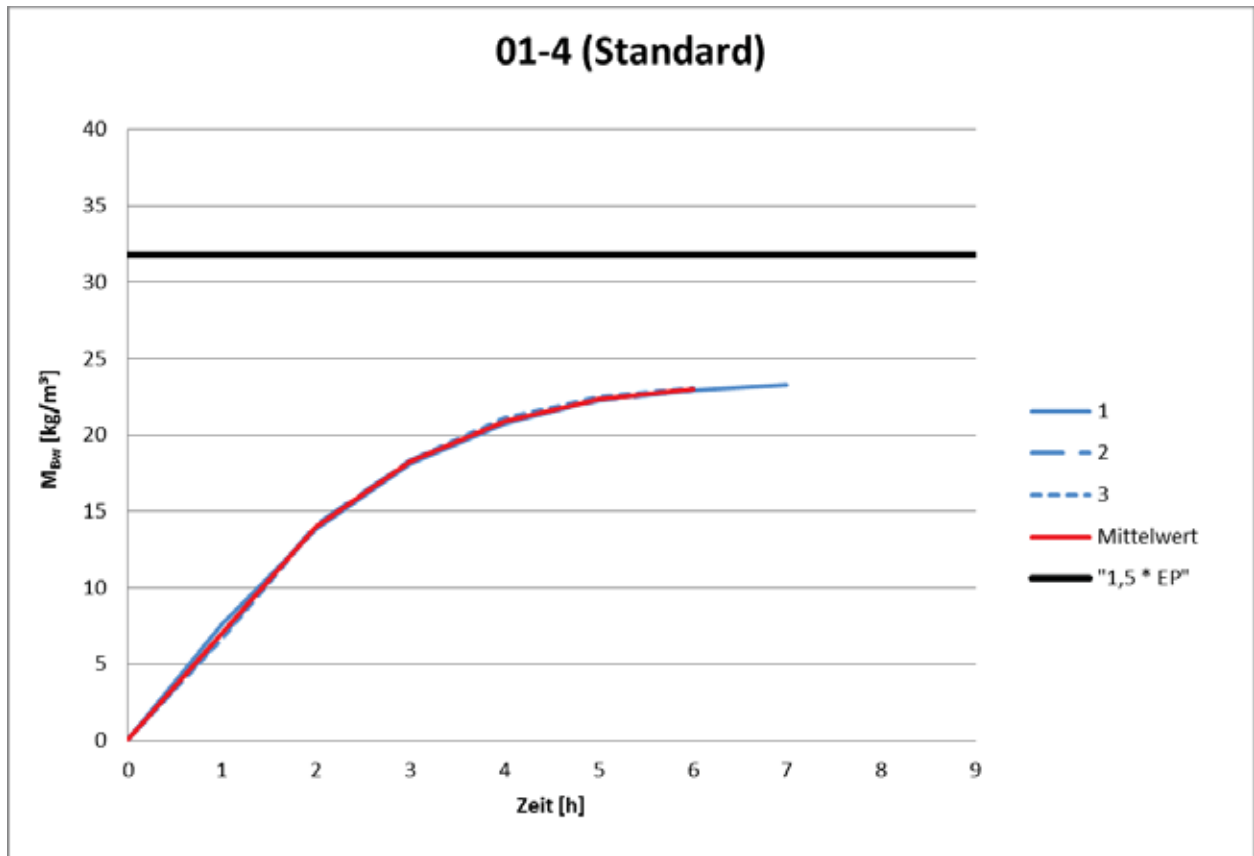


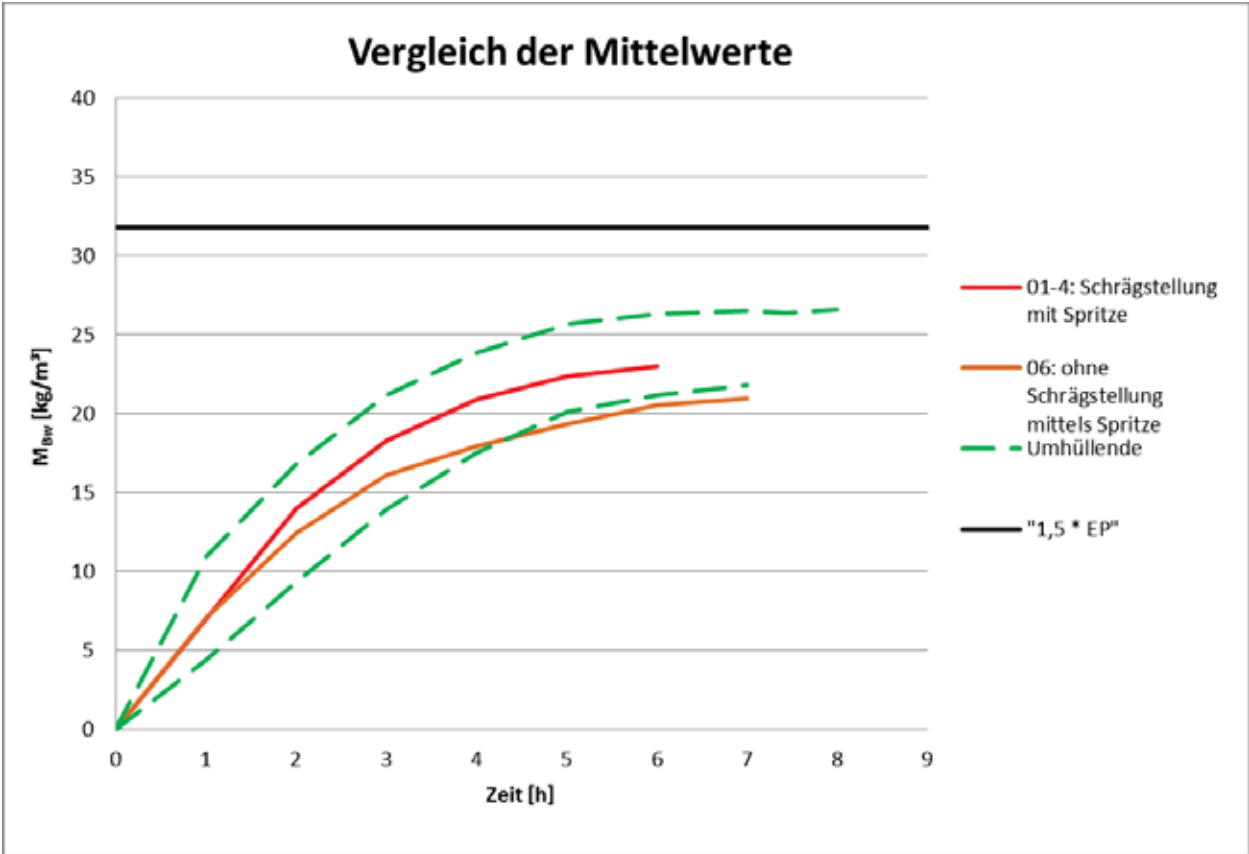




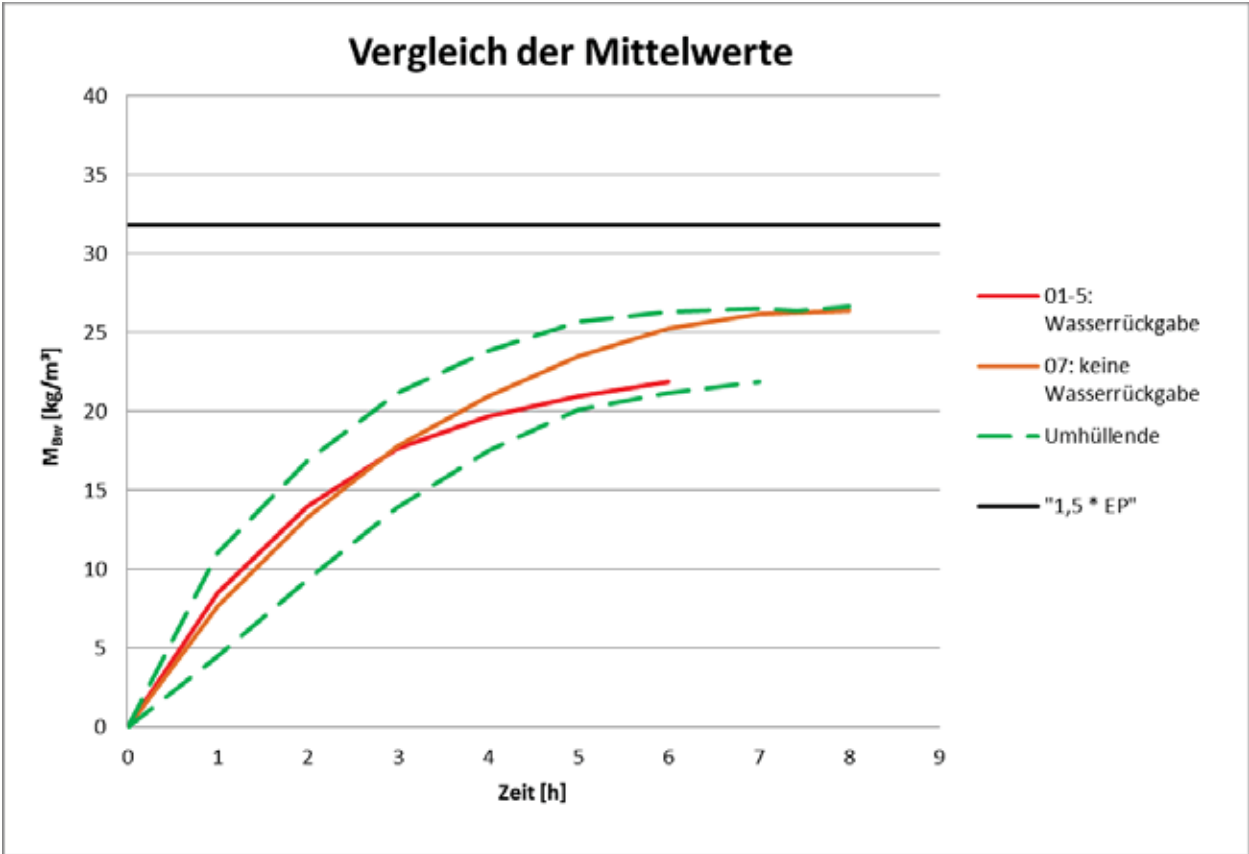


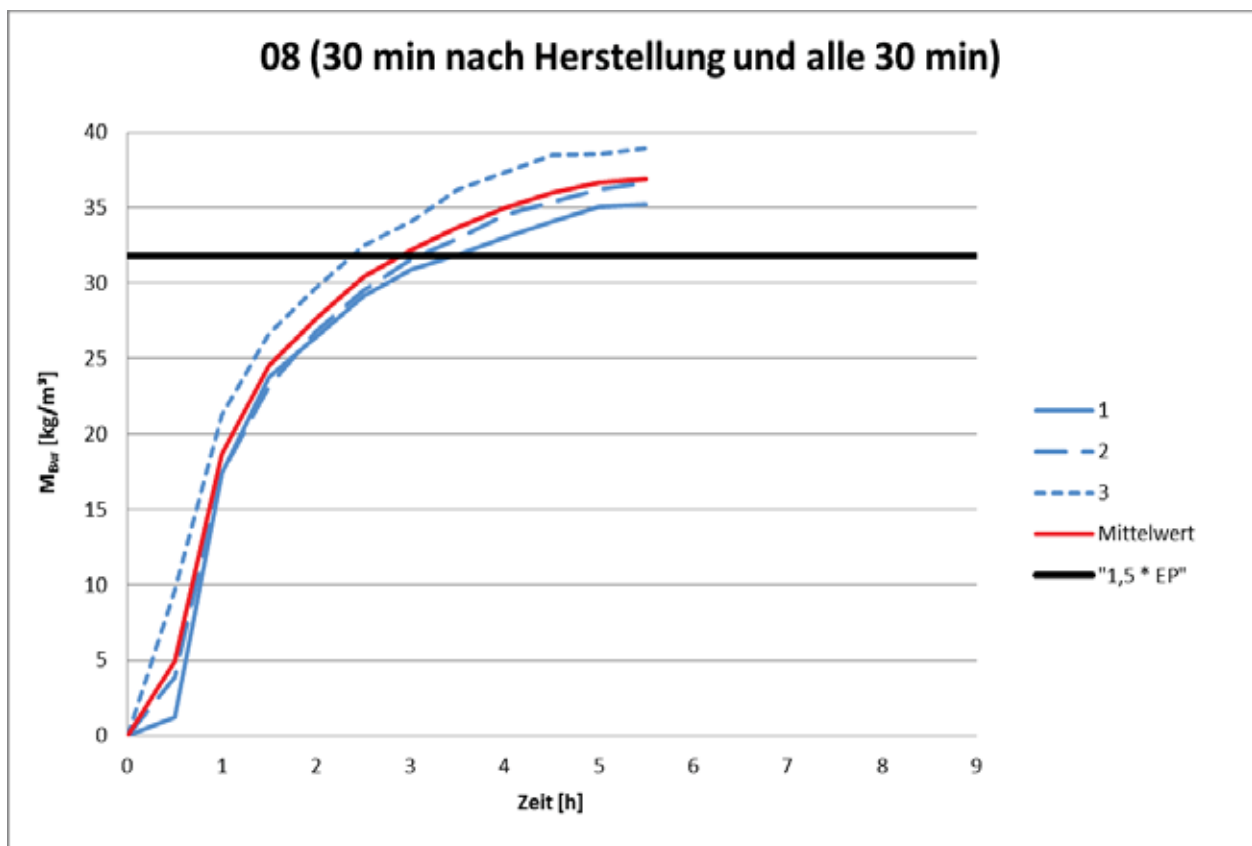
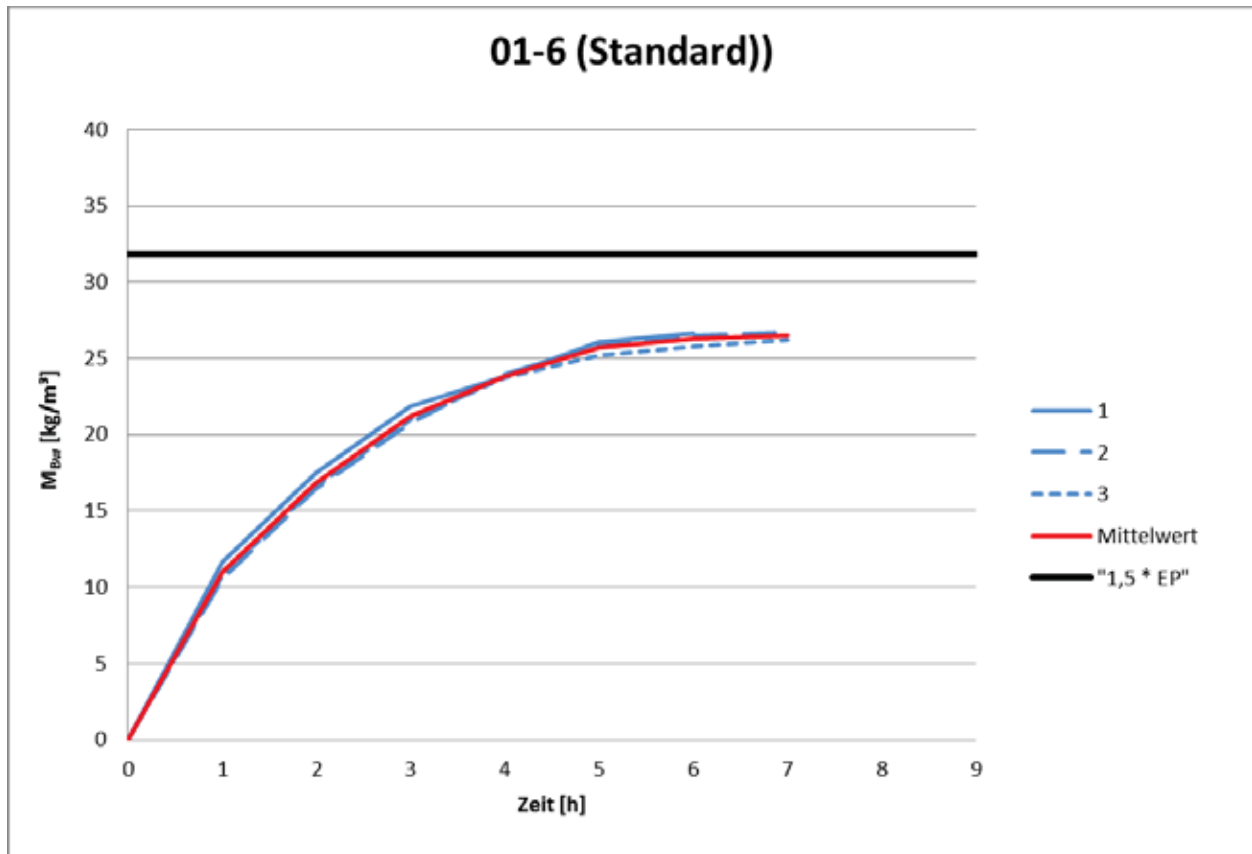




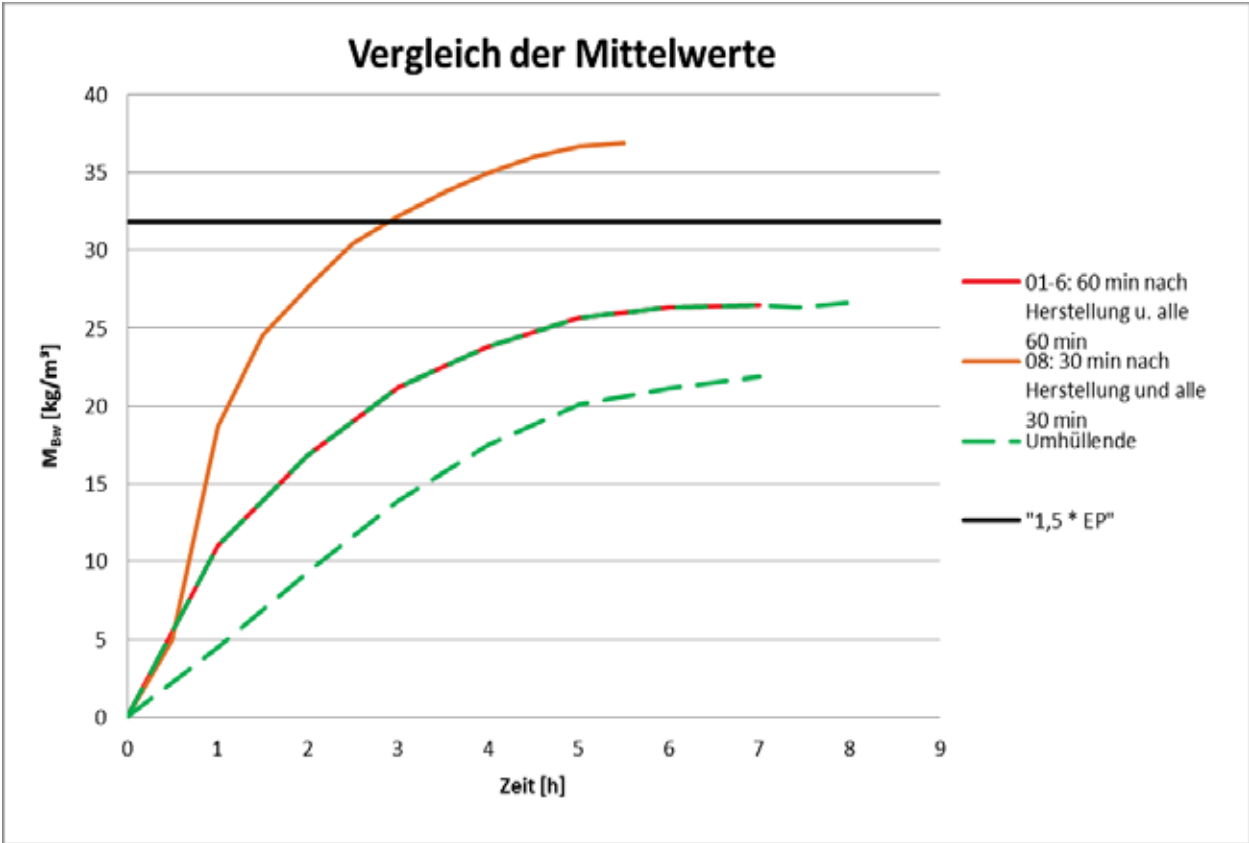


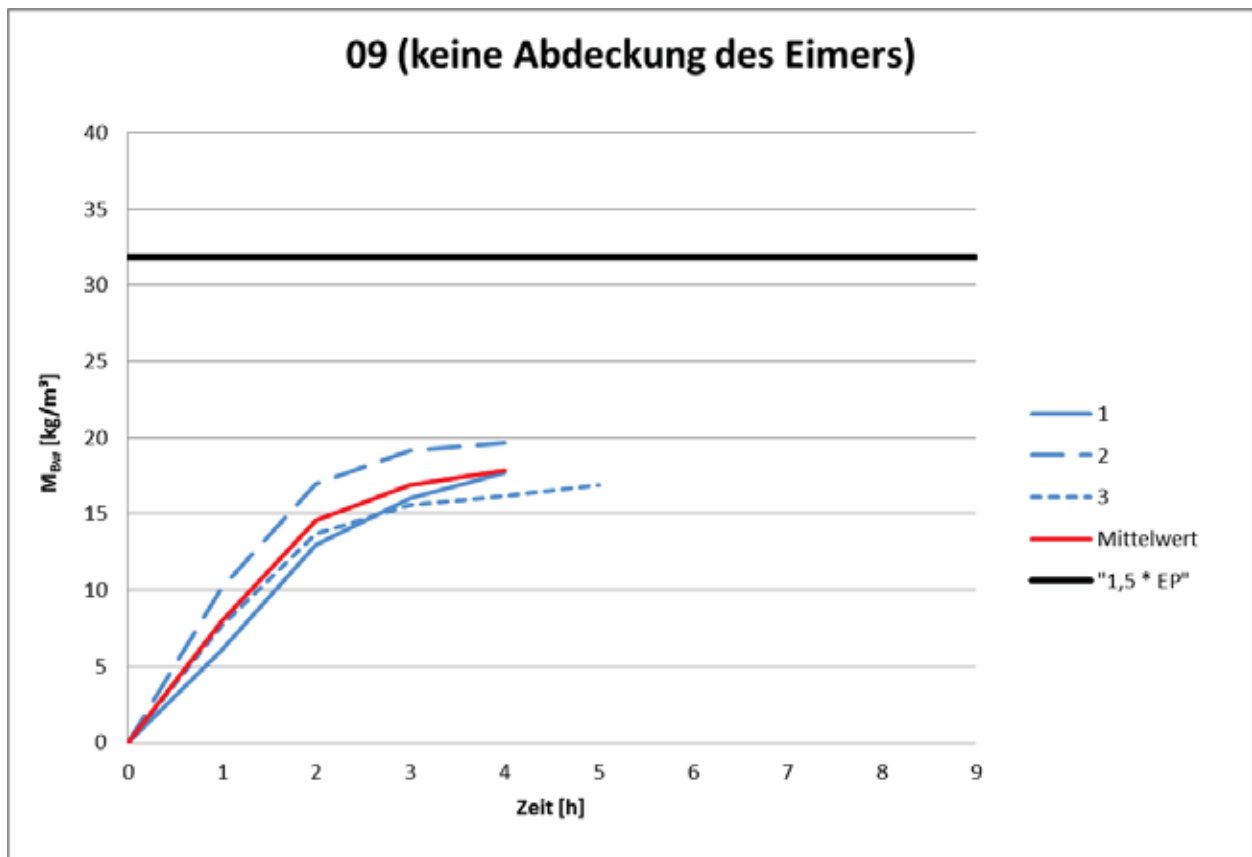
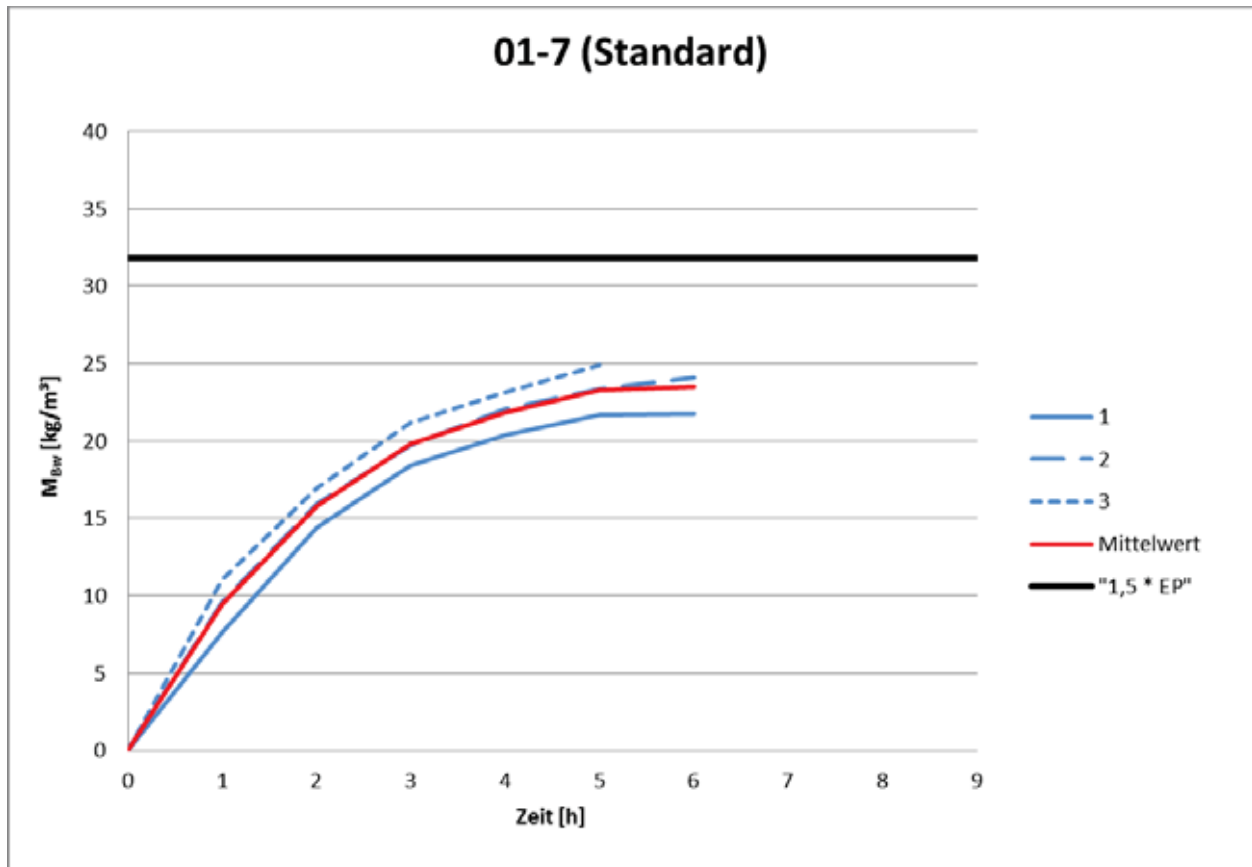


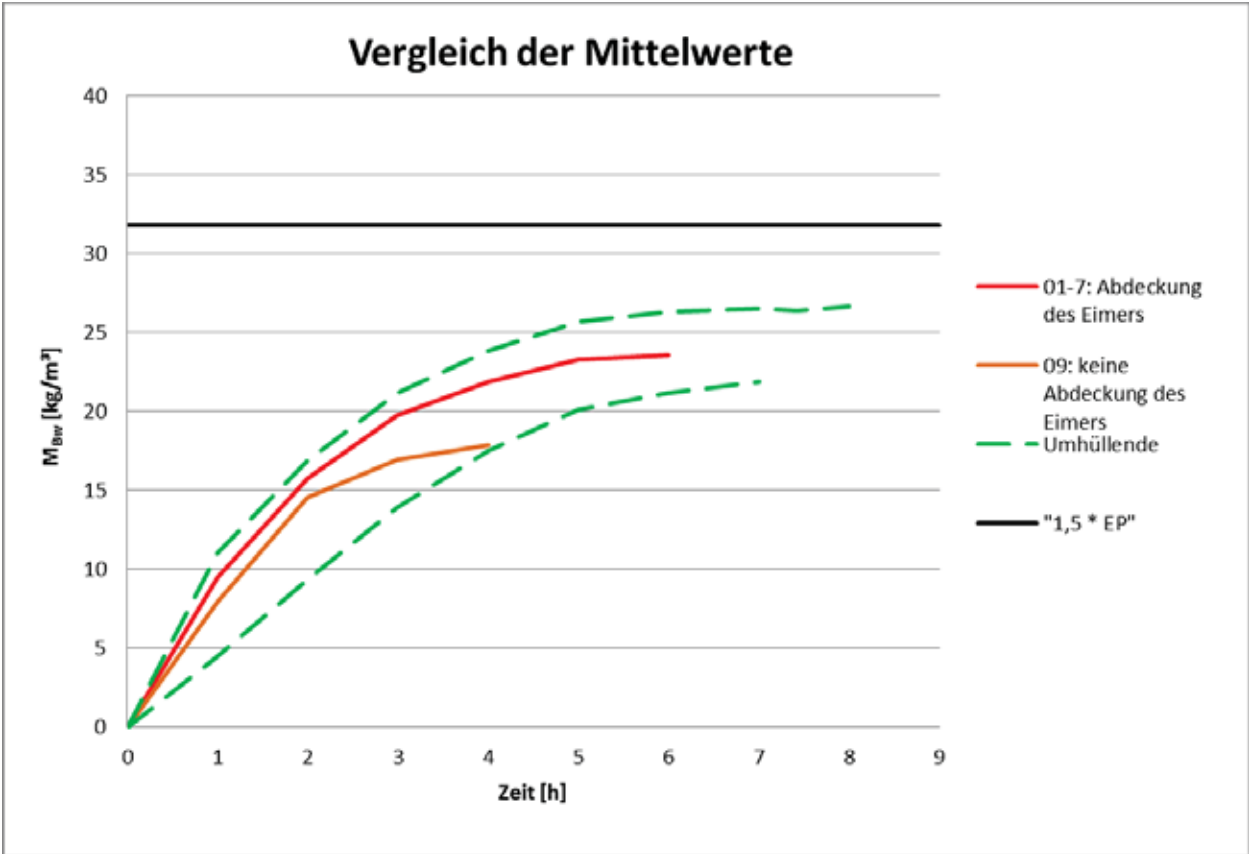














11.2. Darstellung der Ergebnisse

