

# NEWSLETTERTECHNIK

Dezember 2014

Entwicklung und Anwendung

HEIDELBERGCEMENT



## ECHT. STARK. GRÜN.

Liebe Leserinnen und Leser,

schon wieder ist es Dezember und das Jahr 2014 ist auf der Zielgerade. Rechtzeitig zum Jahresende haben wir für Sie eine neue Ausgabe des Newsletter Technik zusammengestellt und hoffen, dass unsere Beiträge auch heute Ihr Interesse finden.

DIN EN 12390-13, in der nun nach vielen Jahren der Diskussion die Prüfung des E-Moduls europäisch genormt werden konnte, ist im Juni erschienen. Frau Dr. Jennifer Scheydt, Projektingenieurin im Ressort Bauberatung bei E&A Deutschland, hat sich die Norm vorgenommen und vergleicht in ihrem Beitrag die E-Modulprüfung nach DIN 1048-5 und der neuen europäischen Norm.

Ebenfalls mit einem Prüfverfahren beschäftigt sich Herr Benjamin Bohrmann, Projektingenieur im Ressort Bauberatung: In einem internen Versuchsprogramm hat er das in der österreichischen Richtlinie „Weiche Betone“ zur Prüfung des Blutens beschriebene Prüfverfahren mit der sogenannten Betonfilterpresse in Vergleich gesetzt zum Eimerverfahren nach DBV-Merkblatt „Besondere Prüfverfahren zur Prüfung von Frischbeton“ und dem bei E&A eingesetzten „E&A-Verfahren“.

Ich wünsche Ihnen eine interessante Lektüre und schon jetzt ein schönes Weihnachtsfest mit viel Zeit für all die Dinge, die sonst immer ein bisschen zu kurz kommen.

Starten Sie gut ins neue Jahr und bleiben Sie gesund!

Ihre

**Dagmar Küchlin**

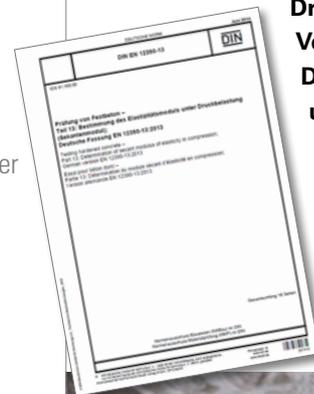
Bauberatung Zement,

Entwicklung und Anwendung, Leimen

→ **Bestimmung des Elastizitätsmoduls von Beton unter Druckbelastung –**

**Vergleich von DIN EN 12390-13 und DIN 1048-5**

**mehr»»**



→ **Prüfung des Blutens von Beton: ist die Prüfung mit der Betonfilterpresse nach ÖVBB-Merkblatt „Weiche Betone“ eine Alternative?**

**mehr»»**





Oelzetalbrücke, Neubaustrecke Ebensfeld - Erfurt,  
Verkehrsprojekt der Deutschen Einheit 8, DB ProjektBau GmbH, Berlin

## Bestimmung des Elastizitätsmoduls von Beton unter Druckbelastung – Vergleich von DIN EN 12390-13 und DIN 1048-5



**Dr. Jennifer Scheydt,**  
**Projektingenieurin**  
**Bauberatung,**  
**E&A Leimen**

Einer der wichtigsten Festbetonkennwerte ist der Elastizitätsmodul (E-Modul), der den Widerstand von Beton gegenüber einer elastischen Verformung beschreibt. Seit Juni dieses Jahres wird die Ermittlung des E-Moduls von Beton unter Druckbeanspruchung in DIN EN 12390-13 [1] geregelt. Damit wurde die bislang in Deutschland geltende DIN 1048-5 [2] abgelöst.

Die sich durch die neue Prüfnorm ergebenden Veränderungen bei der Prüfung des E-Moduls werden nachfolgend erläutert. Die maßgebenden Unterschiede sind in Tabelle 1 gegenübergestellt. Wesentliche Schlussfolgerung ist, dass mit Verfahren B nach DIN EN 12390-13 im Wesentlichen, mit nur geringfügigen Abweichungen (10 s kürzere Haltezeit der Spannungsplateaus), die bisherige Prüfungsdurchführung nach DIN 1048-5 beibehalten werden kann.

► Bestimmung des Elastizitätsmoduls von Beton unter Druckbelastung – Vergleich von DIN EN 12390-13 und DIN 1048-5

	Für in Form hergestellte Probekörper	DIN 1048-5	DIN EN 12390-13		
			Verfahren A	Verfahren B	
Allgemeines	<b>Bestimmter Kennwert</b>	E-Modul $E_b$	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ anfänglicher E-Modul <math>E_{c,0}</math></li> <li>■ stabilisierter E-Modul <math>E_{c,s}</math></li> </ul>	stabilisierter E-Modul $E_{c,s}$	
	<b>Probekörpergeometrie</b>	bevorzugt Zylinder mit $d/h = 150/300$ mm			
	<b>Probekörperanzahl</b>	3	keine Vorgaben		
	<b>Prüfalter des Betons</b>	i. d. R. 28 Tage			
	<b>Prüfmaschine</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Prüfmaschine Klasse 2</li> <li>■ es muss möglich sein, die Last eine Minute lang konstant zu halten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Prüfmaschine Klasse 1</li> <li>■ es muss möglich sein, die Last mit einer maximalen Abweichung von <math>\pm 5\%</math> konstant zu halten</li> </ul>		
	<b>Messgeräte</b>	Änderung der Anzeige um 1 mm bzw. um 1 Ableseeinheit darf max. einer Dehnungsänderung von $5 \mu\text{m}/\text{m}$ entsprechen	mind. Klasse 2 nach DIN EN ISO 9513 (d. h. Abweichung $< 6 \mu\text{m}$ im Bereich einer Längenänderung von 0 bis $300 \mu\text{m}$ und $< 2\%$ im Bereich einer Längenänderung von $> 300 \mu\text{m}$ )		
	<b>Probenlagerung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ nach Entformen 6 Tage bei <math>15 - 22^\circ\text{C}</math> (besser <math>20 \pm 2^\circ\text{C}</math>) in Feuchtkammer oder Wasserlagerung <sup>1)</sup></li> <li>■ danach bis zur Prüfung vor Zugluft geschützt trocken bei <math>15 - 22^\circ\text{C}</math> (besser <math>20 \pm 2^\circ\text{C}</math>)</li> </ul>	Analog zur Lagerung der Probekörper für die Druckfestigkeitsprüfung; bei Lagerung nach DIN 12390-2 (Nasslagerung) vor der Prüfung trockene Lagerung bei $20 \pm 2^\circ\text{C}$ so lange (max. 24 Stunden), dass Messgeräte angebracht werden können, hierbei Austrocknen des Probekörpers verhindern.		
Prüfungsdurchführung	<b>Belastungs-Zeitdiagramm</b>	siehe Abb. 1	siehe Abb. 2	siehe Abb. 4 und 5	
	<b>Bestimmung der Druckfestigkeit <math>f_c</math> vor Durchführung der E-Modulprüfung</b>	nach DIN EN 12390-3 3 Probekörper <sup>2)</sup>	nach DIN EN 12390-3 $\geq 1$ Probekörper <sup>2)</sup>		
	<b>Be-/Entlastungsgeschwindigkeit</b>	0,3 bis 0,7 MPa/s	0,4 bis 0,8 MPa/s		
	<b>Vorbelastungszyklen <sup>3)</sup></b>	<b>Anzahl Zyklen</b>	–	3	–
		<b>Unterspannung</b>		$0,5 \text{ MPa} \leq \sigma_p \leq 0,15 \cdot f_c$	
		<b>Oberspannung</b>		$0,10 \cdot f_c \leq \sigma_b \leq 0,15 \cdot f_c$	
		<b>Halteplateau</b>		$\leq 20$ s jeweils bei Erreichen der Ober- bzw. Unterspannung	
	<b>Belastungszyklen</b>	<b>Anzahl Zyklen</b>	$\sigma_u \approx 0,5 \text{ MPa}$	3	$0,5 \text{ MPa} \leq \sigma_p \leq 0,15 \cdot f_c$
		<b>Unterspannung</b>		$0,10 \cdot f_c \leq \sigma_b \leq 0,15 \cdot f_c$	
		<b>Oberspannung</b>		$\sigma_o \approx f_c/3$	
<b>Halteplateau</b>		$\leq 20$ s jeweils bei Erreichen der Ober- bzw. Unterspannung			
<b>Berechnung des E-Moduls</b>	$E_b = \frac{\sigma_o - \sigma_u}{\epsilon_o - \epsilon_u}$		$E_{c,0} = \frac{\sigma_a^m - \sigma_b^m}{\epsilon_{a,1} - \epsilon_{b,0}}$ $E_{c,0} = \frac{\sigma_a^m - \sigma_b^m}{\epsilon_{a,3} - \epsilon_{b,2}}$	$E_{c,s} = \frac{\sigma_a^m - \sigma_p^m}{\epsilon_{a,3} - \epsilon_{p,2}}$	
<b>Bestimmung der Druckfestigkeit <math>f_c</math> nach Durchführung der E-Modulprüfung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ nach DIN EN 12390-3 am Probekörper, an dem der E-Modul bestimmt wurde</li> <li>■ Abweichungen <math>&gt; 20\%</math> von der eingangs bestimmten Druckfestigkeit <math>f_c</math> sind im Prüfprotokoll zu vermerken</li> </ul>				

1) Leichtbeton ist vor Feuchtaufnahme zu schützen

2) Probekörper sollten hinsichtlich Art, Maßen, Herstellung und Nachbehandlung den Proben für die E-Modulprüfung entsprechen

3) Durchführung der Vorbelastungszyklen zur Überprüfung des Versuchsaufbaus

↑ Tabelle 1: Gegenüberstellung von DIN 1048-5 und DIN EN 12390-13 (Verfahren A und B)

► Bestimmung des Elastizitätsmoduls von Beton unter Druckbelastung – Vergleich von DIN EN 12390-13 und DIN 1048-5

**BESTIMMUNG DES E-MODULS NACH DIN 1048-5**

Nach DIN 1048-5 wird der E-Modul als Sehnenmodul bestimmt. In Abbildung 1 ist das Belastungs-Zeit-Diagramm zur Bestimmung des E-Moduls nach DIN 1048-5 dargestellt, Tabelle 1 gibt die wesentlichen Schritte der Prüfungsdurchführung wieder.

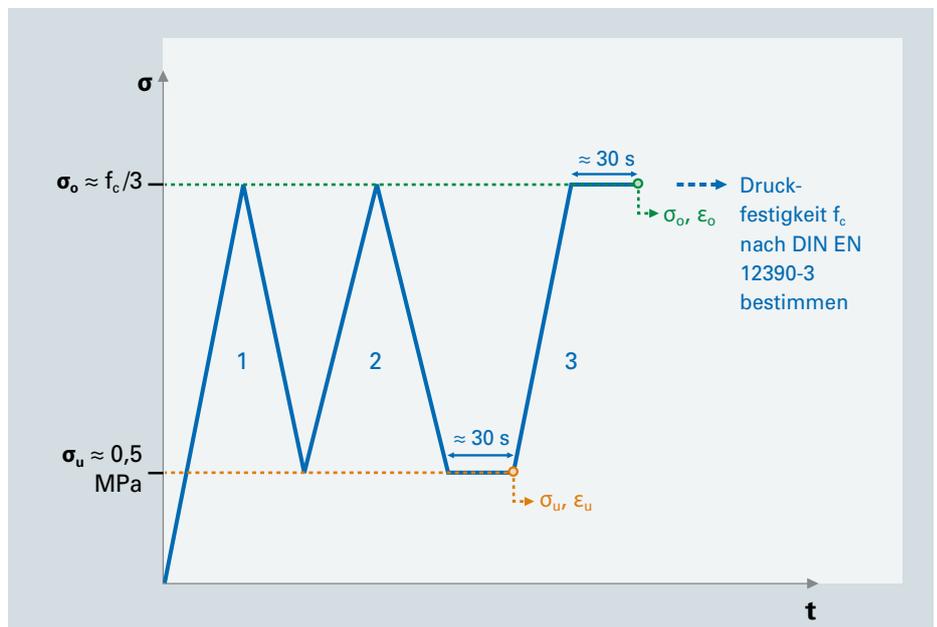
Die Ermittlung des E-Moduls erfolgt nach drei Belastungszyklen. Durch das Aufbringen mehrerer Belastungszyklen wird die viskose Betonverformung minimiert, so dass sich der Beton bei der dritten Belastung hauptsächlich elastisch verformt. Vor und nach der dritten Belastung ist ein Halteplateau der unteren bzw. oberen Prüfspannung von 30 s vorgesehen. Am Ende des jeweiligen Plateaus werden die Spannungen und zugehörigen Dehnungen erfasst, die zur Berechnung des E-Moduls herangezogen werden.

**BESTIMMUNG DES E-MODULS NACH DIN EN 12390-13**

Die aktuelle Prüfnorm DIN EN 12390-13 erlaubt die Bestimmung des E-Moduls nach zwei Verfahren (Verfahren A und B). Verfahren B wurde u. a. auf Veranlassung der deutschen Mitglieder des Normen-gremiums aufgenommen, da es die Bestimmung des E-Moduls in Analogie zur DIN 1048-5 ermöglicht (siehe hierzu Abschnitt „Verfahren B nach DIN EN 12390-13“).

Der E-Modul wird in DIN EN 12390-13 als Sekantenmodul bezeichnet. Die Unterspannung darf bis zu 15 % der Druckfestigkeit betragen. Durch die Möglichkeit, eine höhere Unterspannung zu wählen, kann bei Prüfung mit Prüfmaschinen mit höheren Höchstlasten die Prüfgenauigkeit verbessert werden, da diese höhere Unterspannung besser gehalten werden kann, als die geringe Unterspannung nach DIN 1048-5 ( $\sigma_u = 0,5 \text{ MPa}$ ). Auch wird damit sichergestellt,

Wesentliche Formelzeichen		
DIN 1048-5	$E_b$	Elastizitätsmodul [N/mm <sup>2</sup> ]
	$\epsilon_o$	Dehnung bei oberer Prüfspannung [-]
	$\epsilon_u$	Dehnung bei unterer Prüfspannung [-]
	$\sigma_o$	obere Prüfspannung [N/mm <sup>2</sup> ]
	$\sigma_u$	untere Prüfspannung [N/mm <sup>2</sup> ]
DIN EN 12390-13	$E_{c,0}$	anfänglicher Elastizitätsmodul [MPa]
	$E_{c,s}$	stabilisierter Elastizitätsmodul [MPa]
	$f_c$	Druckfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]
	$\epsilon_a$	Dehnung bei oberer Prüfspannung [-]
	$\epsilon_b$	Dehnung bei unterer Prüfspannung [-]
	$\epsilon_p$	Dehnung bei Vorbelastungsspannung [-]
	$\sigma_a$	Nennwert der oberen Prüfspannung [MPa]
	$\sigma_b$	Nennwert der unteren Prüfspannung [MPa]
	$\sigma_p$	Nennwert der Vorbelastungsspannung [MPa]



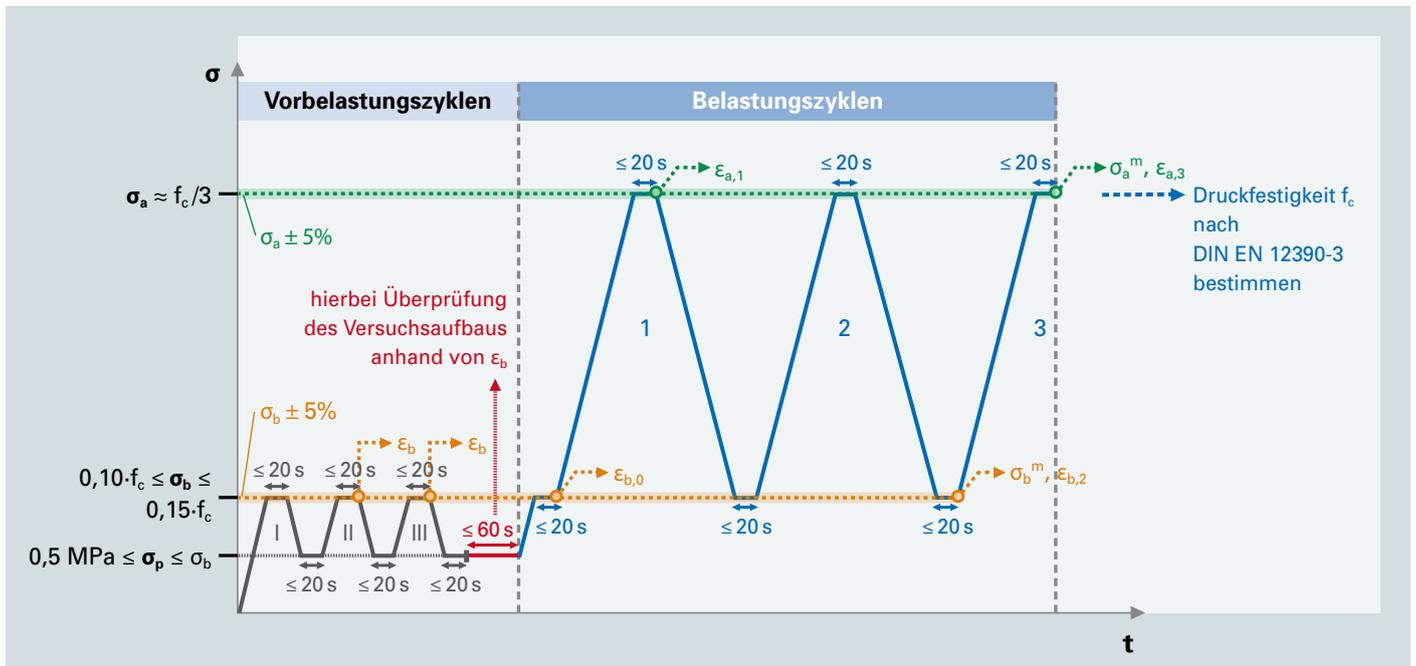
↑ Abbildung 1: Belastungs-Zeit-Diagramm für die Bestimmung des E-Moduls nach DIN 1048-5

dass im kalibrierten Bereich der Prüfmaschine (i.d.R. 1 % von  $F_{max}$ ) geprüft wird.

Die Prüfungsdurchführung nach DIN EN 12390-13 sieht vor, dass bei Erreichen der Unterspannung bzw. Oberspannung diese jeweils zwischen 0 und 20 s gehalten werden kann, wobei die Haltezeit nicht protokolliert werden muss. Variable

Haltezeiten können zu einer Erhöhung der Prüfstreuung zwischen Prüflaboren führen, insbesondere dann, wenn aufgrund der Betonzusammensetzung eine erhöhte Kriechneigung oder Rissanfälligkeit des Betons besteht. Es wird daher empfohlen, die Haltezeiten im Prüfbericht zu vermerken.

► Bestimmung des Elastizitätsmoduls von Beton unter Druckbelastung – Vergleich von DIN EN 12390-13 und DIN 1048-5



↑ Abbildung 2: Belastungs-Zeit-Diagramm für die Bestimmung des anfänglichen und stabilisierten E-Moduls nach DIN EN 12390-13, Verfahren A

**Verfahren A nach DIN EN 12390-13**

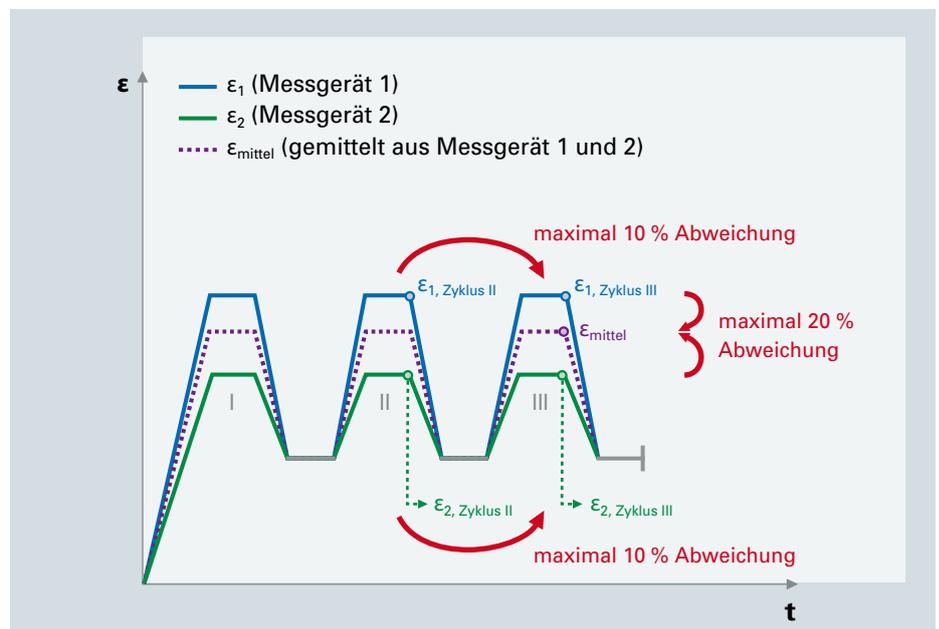
Verfahren A gliedert sich in zwei Prüfabschnitte:

- 3 Vorbelastungszyklen zur Überprüfung des Versuchsaufbaus
- 3 Belastungszyklen zur Bestimmung des sog. *anfänglichen* ( $E_{c,0}$ ) und *stabilisierten* ( $E_{c,s}$ ) E-Moduls

Die wesentlichen Schritte der Prüfungsdurchführung für Verfahren A sind in Tabelle 1, das Belastungs-Zeit-Diagramm in Abbildung 2 dargestellt.

Innerhalb der Vorbelastungszyklen (Abb. 2, I bis III) werden die zentrische Positionierung des Probekörpers in der Prüfmaschine und die Stabilität der Verkabelung der Messgeräte (z. B. Wegaufnehmer) überprüft. Es gelten folgende Anforderungen (siehe auch Abb. 3):

- (1) Zwischen dem zweiten und dritten Zyklus darf die mit Messgerät 1 gemessene Dehnung maximal um 10 % von der mit Messgerät 2 gemessenen Dehnung abweichen.



↑ Abbildung 3: Überprüfung des Versuchsaufbaus anhand der Dehnungen aus dem Dehnungs-Zeit-Diagramm (DIN EN 12390-13, Verfahren A, Vorbelastungszyklus)

- (2) Die nach dem dritten Zyklus mit den Messgeräten 1 bzw. 2 gemessene Dehnung darf um maximal 20 % vom Mittelwert aus beiden Dehnungen abweichen.

Bei nichtbestandener Überprüfung sind die Messgeräte zu justieren bzw. der Probekörper ist neu auszurichten und der Versuch muss neu gestartet werden. Werden die Überprüfungs-kriterien nicht eingehalten, ist die Prüfung abzubrechen und die Prüfkörper zu verwerfen.

► Bestimmung des Elastizitätsmoduls von Beton unter Druckbelastung – Vergleich von DIN EN 12390-13 und DIN 1048-5

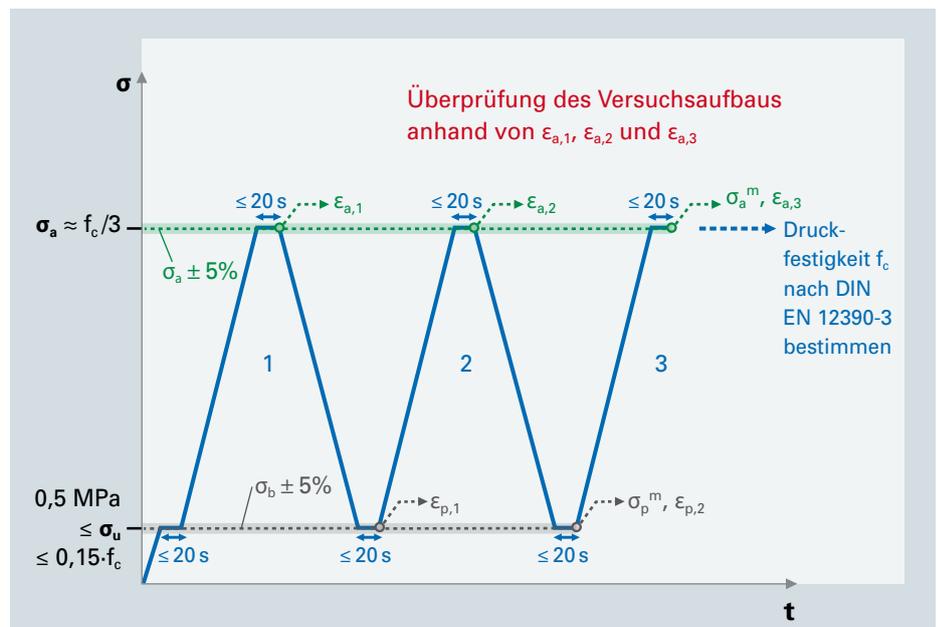
Innerhalb der anschließenden Belastungszyklen (Abb. 2, 1 bis 3) wird der anfängliche E-Modul  $E_{C,0}$  nach der ersten Belastung und der stabilisierte E-Modul  $E_{C,S}$  nach der dritten Belastung ermittelt (vgl. auch Tab. 1). Bei der Bestimmung des anfänglichen E-Moduls wird also noch ein viskoser Verformungsanteil erfasst, der bei der Bestimmung des stabilisierten E-Moduls durch das Aufbringen der drei Belastungszyklen weitgehend eliminiert ist, so dass nur noch der nahezu elastische Verformungsanteil erfasst wird.

Abweichungen zwischen dem anfänglichen und dem stabilisierten E-Modul können außerdem ein Hinweis darauf sein, dass die zyklische Belastung bzw. das Halten der Prüfspannung zu einer Mikrorissbildung oder zu einer Zunahme von bereits vorhandenen Mikrorissen (z. B. bei Bohrkernen) geführt hat.

#### Verfahren B nach DIN EN 12390-13

Die wesentlichen Schritte der Prüfungsdurchführung für Verfahren B sind in Tabelle 1, das Belastungs-Zeit-Diagramm ist in Abbildung 4 dargestellt.

In Verfahren B wird ausschließlich der stabilisierte E-Modul  $E_{C,S}$  bestimmt. Die Überprüfung des Versuchsaufbaus erfolgt bei Verfahren B nicht im Rahmen von Vorbelastungszyklen, sondern inner-



↑ Abbildung 4: Belastungs-Zeit-Diagramm für die Bestimmung des E-Moduls nach DIN EN 12390-13, Verfahren B

halb der Belastungszyklen durch den Vergleich der Dehnungen:

- (1) Die nach dem zweiten Zyklus mit den Messgeräten 1 bzw. 2 gemessene Dehnung darf um maximal 20 % vom Mittelwert der im ersten Zyklus gemessenen Dehnungen (Mittelwert =  $\epsilon_{a,1}$ , vgl. Abb. 4) abweichen.
- (2) Zwischen dem zweiten und dritten Zyklus darf die mit Messgerät 1 gemessene Dehnung maximal um 10 % von der mit Messgerät 2 gemessenen Dehnung abweichen.

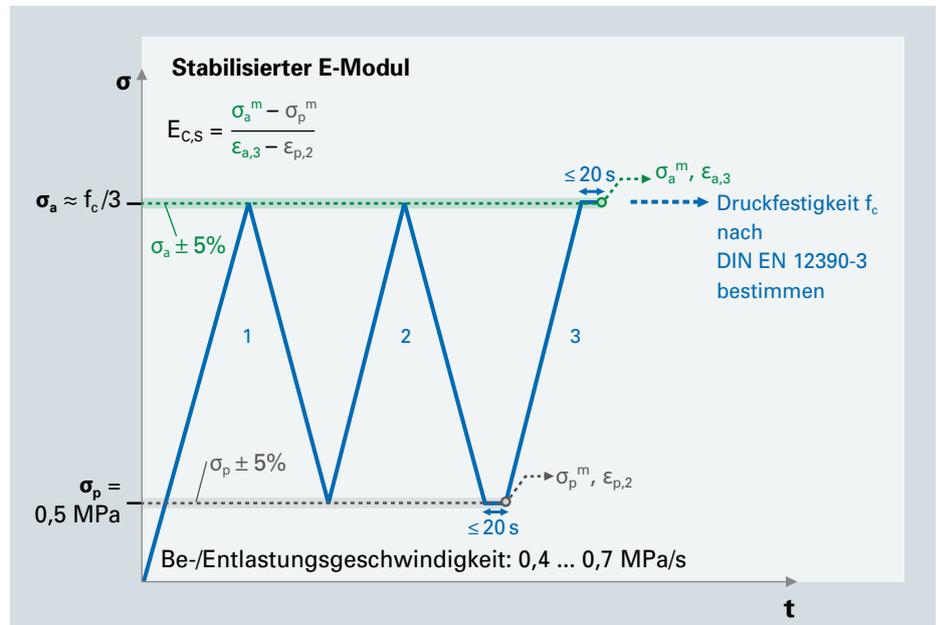
Bei nichtbeständiger Überprüfung sind die Messgeräte zu justieren bzw. der Probekörper ist neu auszurichten, und der Versuch muss neu gestartet werden. Werden die Überprüfungs-kriterien nicht eingehalten, ist die Prüfung abzubrechen. Wird lediglich Kriterium (2) verfehlt, d. h. die Abweichung beträgt mehr als 10 %, so kann die Prüfung fortgesetzt werden, aber die Abweichung ist im Prüfprotokoll zu vermerken.

► Bestimmung des Elastizitätsmoduls von Beton unter Druckbelastung – Vergleich von DIN EN 12390-13 und DIN 1048-5

Es ist möglich, die E-Modulprüfung nach Verfahren B im Wesentlichen an die Prüfungsdurchführung nach DIN 1048-5 anzupassen (vgl. Abb. 5). Der Unterschied liegt dann lediglich in der Haltedauer der Last vor und nach dem dritten Belastungszyklus, da DIN 1048-5 eine Haltezeit von 30 s vorgibt und nach Verfahren B die Spannung maximal 20 s gehalten wird. Die kürzere Haltezeit hat zur Folge, dass eine geringere Kriechverformung zu erwarten ist als nach DIN 1048-5, was zu einem höheren E-Modul führen kann. Ein ebenfalls zeitabhängiger Prozess ist die Entwicklung von Mikrorissen im Beton, das heißt mit zunehmender Haltezeit kann es zu einer Zunahme von Mikrorissen kommen. Da Mikrorisse den Verformungswiderstand herabsetzen, kann die Prüfung nach DIN EN 12390-13 bei rissanfälligen Betonen zu einem höheren E-Modul führen als die Prüfung nach DIN 1048-5. Dies ist ggf. in systematischen Untersuchungen zu überprüfen.

**VERGLEICHBARKEIT DER E-MODULN NACH DIN EN 12390-13 (VERFAHREN B) UND DIN 1048-5**

Zur Abschätzung des zu erwartenden Einflusses der kürzeren Haltedauer der Spannung bei Prüfung nach DIN EN 12390-13, Verfahren B im Vergleich zur



↑ Abbildung 5: Anpassung des Belastungs-Zeit-Diagramms nach DIN EN 12390-13 (Verfahren B) an DIN 1048-5

Prüfung nach DIN 1048-5 wurden vorliegende Dehnungs-Zeit-Kurven von drei Betonen unterschiedlicher Festigkeitsklassen herangezogen. Diese waren nach DIN 1048-5 mit der dort festgelegten Haltezeit von 30 s ermittelt worden. Aus diesen Diagrammen wurden die mittleren Dehnungen und Spannungen nach einer Haltezeit von 20 s abgegriffen und der zugehörige E-Modul  $E_{b,20s}$  berechnet.

Aus Tabelle 2 wird ersichtlich, dass die nach einer Haltedauer von 20 s ermittelten E-Moduln zwar tendenziell höher liegen, als die nach DIN 1048-5 ermittelten Werte. Allerdings ist die Zunahme mit Werten von < 1 % vernachlässigbar. Bei Verwendung des Belastungs-Zeit-Diagramms nach Abb. 5 ist somit nicht mit einer praxisrelevanten Abweichung der Prüfergebnisse nach DIN EN 12390-13 im Vergleich zur Prüfung nach DIN 1048-5 zu rechnen.

$f_c^{1)}$	$\epsilon_{u,20s}$	$\epsilon_{u,30s}$	$\epsilon_{o,20s}$	$\epsilon_{o,30s}$	$E_{b,20s}$	$E_b$ (DIN 1048-5)	$\Delta E_b$
[N/mm <sup>2</sup> ]	[µm/100 mm]	[µm/100 mm]	[µm/100 mm]	[µm/100 mm]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[%]
46,7	1,588	1,507	40,858	41,050	40.500	40.200	+ 0,7
41,1	5,265	5,183	55,718	55,928	32.300	32.100	+ 0,6
36,4	6,382	6,322	51,870	52,102	28.200	28.100	+ 0,4

1) Druckfestigkeit  $f_c$  ermittelt im Anschluss an die E-Modulprüfung

↑ Tabelle 2: Abschätzung des Einflusses der Reduktion der Haltezeit von 30 s auf 20 s auf den ermittelten E-Modul

► Bestimmung des Elastizitätsmoduls von Beton unter Druckbelastung – Vergleich von DIN EN 12390-13 und DIN 1048-5

## ZUSAMMENFASSUNG

Im vorliegenden Artikel wurden die wesentlichen Unterschiede zwischen DIN 1048-5 und der im Juni 2014 eingeführten DIN EN 12390-13 zur Bestimmung des E-Moduls unter Druckbelastung beleuchtet.

Die Veränderungen sowie mögliche Auswirkungen für die Praxis sind nachfolgend kurz zusammengefasst:

- Die Prüfungsdurchführung gestaltet sich bei Verfahren A deutlich komplexer als nach DIN 1048-5. Hinzu kommt, dass die Beschreibung der Prüfverfahren in DIN EN 12390-13 schwerer verständlich ist als in DIN 1048-5.
- Die höheren Anforderungen an Prüfgeräte und Messtechnik nach DIN EN 12390-13 können zu einer Verringerung der Streubreite der Prüfergebnisse beitragen.
- Bei der Prüfung nach DIN EN 12390-13 ist eine höhere untere Prüfspannung wählbar (maximal 15 % der Druckfestigkeit anstatt 0,50 MPa nach DIN 1048-5). Dies erhöht die Prüfgenauigkeit, da diese höhere Prüfspannung besser gehalten werden kann.
- Die Prüfung nach DIN EN 12390-13, Verfahren A ermöglicht die Bestimmung eines anfänglichen und eines stabilisierten E-Moduls und damit auch die Beurteilung der Rissneigung des Betons. Dies kann im Einzelfall von Vorteil sein.

- Die Haltezeiten der oberen und unteren Prüfspannung sind nicht fest vorgegeben, sondern zwischen 0 und 20 s frei wählbar und müssen nicht protokolliert werden. Da variable Haltezeiten jedoch zu einer Erhöhung der Prüfstreuung zwischen Prüflaboren führen, insbesondere dann, wenn aufgrund der Betonzusammensetzung eine erhöhte Kriechneigung oder Rissanfälligkeit des Betons besteht, wird empfohlen, die gewählte Haltezeit im Prüfprotokoll anzugeben.
- Verfahren B der DIN EN 12390-13 ermöglicht eine Prüfungsdurchführung, die weitestgehend derjenigen nach DIN 1048-5 entspricht (vgl. Abb. 5). Die Prüfungsdurchführung unterscheidet sich dann nur durch eine um rd. 10 s kürzere Haltezeit der Spannungsplateaus. Eine erste Abschätzung (siehe Tab. 2) hat gezeigt, dass die nach Verfahren B, Abb.5 ermittelten Werte nicht signifikant von den Werten nach DIN 1048-5 abweichen.

Da DIN EN 12390-13 vergleichsweise große Variationen im Belastungs-Zeit-Diagramm zulässt, wäre es sinnvoll, die Anpassung an DIN 1048-5 (vgl. Abb. 5) als nationale Empfehlung festzulegen. Dies würde die Reproduzierbarkeit der ermittelten Kennwerte sicherstellen sowie die Anschlussfähigkeit an die nach alter Normung ermittelten Kennwerte gewährleisten.

## Literatur

- [1] DIN EN 12390-13:2014-06: Prüfung von Festbeton – Teil 13: Bestimmung des Elastizitätsmoduls unter Druckbelastung (Sekantenmodul). Beuth Verlag, Berlin, 2014
- [2] DIN 1048-5:1991-06: Prüfverfahren für Beton – Teil 5: Festbeton, gesondert hergestellte Probekörper. Beuth Verlag, Berlin, 1991



## Prüfung des Blutens von Beton: ist die Prüfung mit der Betonfilterpresse nach ÖVBB-Merkblatt „Weiche Betone“ eine Alternative?



**Benjamin  
Bohrmann,  
Projektingenieur  
Bauberatung,  
E&A Leimen**

Zur Bestimmung des Blutens von Beton gibt es verschiedene Prüfverfahren. In Deutschland hat sich das im DBV-Merkblatt „Besondere Verfahren zur Prüfung von Frischbeton“ [1] beschriebene Eimerverfahren etabliert.

Ein weiteres Prüfverfahren am Beton, das bei HeidelbergCement in Deutsch-

land verwendet wird ist das sog. E&A-Verfahren, bei dem in Anlehnung ASTM C 232 [2] wie beim DBV-Verfahren auch Beton in einen „Eimer“ gefüllt und das Blutwasser in bestimmten Zeitintervallen abgezogen wird. Allerdings wird hier das Blutwasser nicht wieder auf die Betonprobe zurückgegeben.

Beide Verfahren haben den Nachteil, dass die Prüfung in Abhängigkeit von der Verarbeitbarkeitszeit des Betons sehr lange dauern kann, denn die Prüfung wird erst beendet, wenn das Bluten beendet ist. Ein weiterer Aspekt ist die Prüfstreuung beider Verfahren.

Ein Verfahren, das ursprünglich für die Prüfung von Pfahl- und Schlitzwandbetonen entwickelt wurde, ist der im Merk-

blatt „Weiche Betone“ [3] der Österreichischen Vereinigung für Beton- und Bautechnik (ÖVBB) beschriebene Versuch mit der Filterpresse, der nur über eine Prüfdauer von 1 Stunde geht. Dieser ist laut Merkblatt „Weiche Betone“ auch für Betone im Hochbau geeignet.

Aufgrund der beschriebenen Nachteile der beiden Prüfverfahren im „Eimer“ wurde im Betonlabor der Abteilung Entwicklung und Anwendung (E&A Deutschland) untersucht, ob mit dem Filterpressenversuch eine Differenzierung des Blutverhaltens in Abhängigkeit von Betonrezeptur und Frischbetontemperatur möglich ist und wie gut die Ergebnisse reproduzierbar sind.

► Prüfung des Blutens von Beton: ist die Prüfung mit der Betonfilterpresse nach ÖVBB-Merkblatt „Weiche Betone“ eine Alternative?

## KURZBESCHREIBUNG DER PRÜFVERFAHREN

### Betonfilterpresse nach ÖVBB-Merkblatt „Weiche Betone“

Mit der Betonfilterpresse (siehe Abb. 1) wird die Wasserabsonderung (Bluten) von Beton unter Druck bestimmt. Dafür wird Beton bis zum oberen Rand in einen Stahlbehälter (10 l Gefäß) eingebracht und durch 10-maliges Stochern mit dem Verdichtungsholz verdichtet. Nach Verschließen des Behälters wird ein Prüfdruck von 3 bar kontinuierlich innerhalb von 30 Sekunden aufgebracht. Durch eine Öffnung im Boden der Betonfilterpresse, über der ein Vlies und Stützsieb angebracht ist, kann das unter Druck abgesonderte Wasser des Betons austreten. Dieses wird in einem Messzylinder aufgefangen. Die Filtratwassermenge (ml) wird nach 15 und 60 Minuten abgelesen. Die Blutwassermenge wird, bezogen auf 1 m<sup>3</sup> Beton in kg/m<sup>3</sup> angegeben.



↑ Abbildung 1: Betonfilterpresse nach ÖVBB-Merkblatt „Weiche Betone“

### Eimerverfahren nach DBV-Merkblatt „Besondere Verfahren zur Prüfung von Frischbeton“

Das im genannten DBV-Merkblatt beschriebene Verfahren beruht auf dem Sedimentationsprinzip. Eine Frischbetonprobe von 10 Litern wird in einen Eimer, vorzugsweise aus Kunststoff, gefüllt und verdichtet. Der Eimer wird luftdicht verschlossen, die Abdeckung nur für die Messungen entfernt. Die abgesonderte Wassermenge wird stündlich bestimmt, indem das auf der Frischbetonoberfläche befindliche Wasser mit Hilfe einer Saugflasche oder Spritze abgezogen und nach der Bestimmung der Wassermenge durch Ablesen der Skala am Standzylinder oder Wiegen auf die Betonoberfläche zurückgegeben wird. Die Prüfung wird beendet, sobald keine weitere Zunahme des Blutwassers festzustellen ist.

Die Blutwassermenge wird, bezogen auf 1 m<sup>3</sup> Beton, entweder in kg/m<sup>3</sup> oder Vol.-% angegeben. Im Rahmen der E&A-Versuche erfolgte die Bestimmung der Blutwassermenge mit einer Doppelbestimmung, d.h. je Versuch wurden 2 Eimer geprüft.



► Prüfung des Blutens von Beton: ist die Prüfung mit der Betonfilterpresse nach ÖVBB-Merkblatt „Weiche Betone“ eine Alternative?

**„E&A-Verfahren“ in Anlehnung an ASTM C 232**

Das E&A-Verfahren basiert wie das Eimerverfahren auf dem Sedimentationsprinzip und wird in Anlehnung an ASTM C 232 durchgeführt. Auch hier erfolgte eine Doppelbestimmung je Versuch.

Beim E&A-Verfahren wird eine Betonprobe von 10 l in einen definierten Eimer gefüllt und verdichtet. Die Befüllung erfolgt in 3 Lagen und das Verdichten mit einem Stampfer. Jede Lage wird mit 25 Stößen verdichtet. Der Eimer wird luftdicht verschlossen und nur für die Messungen entfernt. Die Messung beginnt 30 Minuten nach Verschließen des Eimers. Die Prüfintervalle über die gesamte Zeitdauer liegen bei 30 min. Das abgezogene Wasser wird nicht wieder auf die Betonoberfläche zurückgegeben. Die Prüfung gilt als beendet, wenn kein Wasser mehr abgezogen werden kann.

Die Blutwassermenge wird entweder in kg/m<sup>3</sup> bezogen auf 1 m<sup>3</sup> Beton oder in Vol.-% bezogen auf den Wassergehalt im Beton angegeben.

**VERSUCHSPROGRAMM**

Im Rahmen des E&A-Versuchsprogramms wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Prüfung der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse des Betonfilterpresseversuchs

- Einfluss der Betonrezeptur auf das Bluten, geprüft mit dem DBV-Eimertest, dem E&A-Verfahren sowie dem Filterpressenversuch nach ÖVBB-Merkblatt
- Einfluss der Frischbetontemperatur (10, 20 und 30 °C) auf das Bluten, geprüft mit den genannten Prüfverfahren (nur Betonrezeptur Typ B)

Um beim Filterpressenversuch den Einfluss der Prüfdauer auf das Ergebnis zu untersuchen, wurde die Prüfdauer verlängert bis kein Filtratwasser mehr aus der Frischbetonprobe austrat.

Die Versuche wurden mit drei Betonrezepturen (B1, B2 und B3) durchgeführt, von denen B1 und B3 in Anlehnung an den technischen Bericht der TU Kaiserslautern [4] gewählt waren, die die im DBV-Merkblatt genannten Typen A und B abbilden sollten:

- Typ A - geringe und stetige Wasserabsonderung über kürzeren Zeitraum (rd. 3 bis 8 Stunden), z. B. Konstruktionsbeton, Sichtbeton
- Typ B – stärkere gegen einen Grenzwert strebende Wasserabsonderung über mittleren Zeitraum (rd. 0,5 bis 1,5 Tage), z. B. Massenbeton

Die Betone B1 (Typ A) und B3 (Typ B) waren in Wasser- bzw. Leimgehalt identisch, es wurden jedoch unterschiedliche Zemente eingesetzt und das Größtkorn variiert. Damit sollte das Wasserückhaltevermögen der Betone verändert werden (siehe Tab. 1). Bei Rezeptur Beton B2 wurde im Vergleich zu Beton B1 der Wassergehalt abgesenkt, um zu untersuchen, ob sich der Einfluss des geringeren Leimgehalts auf das Bluten in allen drei Prüfverfahren widerspiegelt.

	Typ A		Typ B
	Beton 1 (B1)	Beton 2 (B2)	Beton 3 (B3)
Konsistenzklasse	F3/F4		F4/F5
Zement	CEM I 32,5 R		CEM III/A 32,5 N
Zementgehalt	360 kg/m <sup>3</sup>		260 kg/m <sup>3</sup>
Flugasche	-		80 kg/m <sup>3</sup>
Wassergehalt	180 kg/m <sup>3</sup>	162 kg/m <sup>3</sup>	175 kg/m <sup>3</sup>
w/(z+0,4f)	0,5	0,45	0,6
Zusatzmittel	VC 1020X		
Gesteinskörnungen	D <sub>max</sub> 16 mm		D <sub>max</sub> 32 mm

↑ Tabelle 1: Betonrezepturen

► Prüfung des Blutens von Beton: ist die Prüfung mit der Betonfilterpresse nach ÖVBB-Merkblatt „Weiche Betone“ eine Alternative?

**VERSUCHSERGEBNISSE**

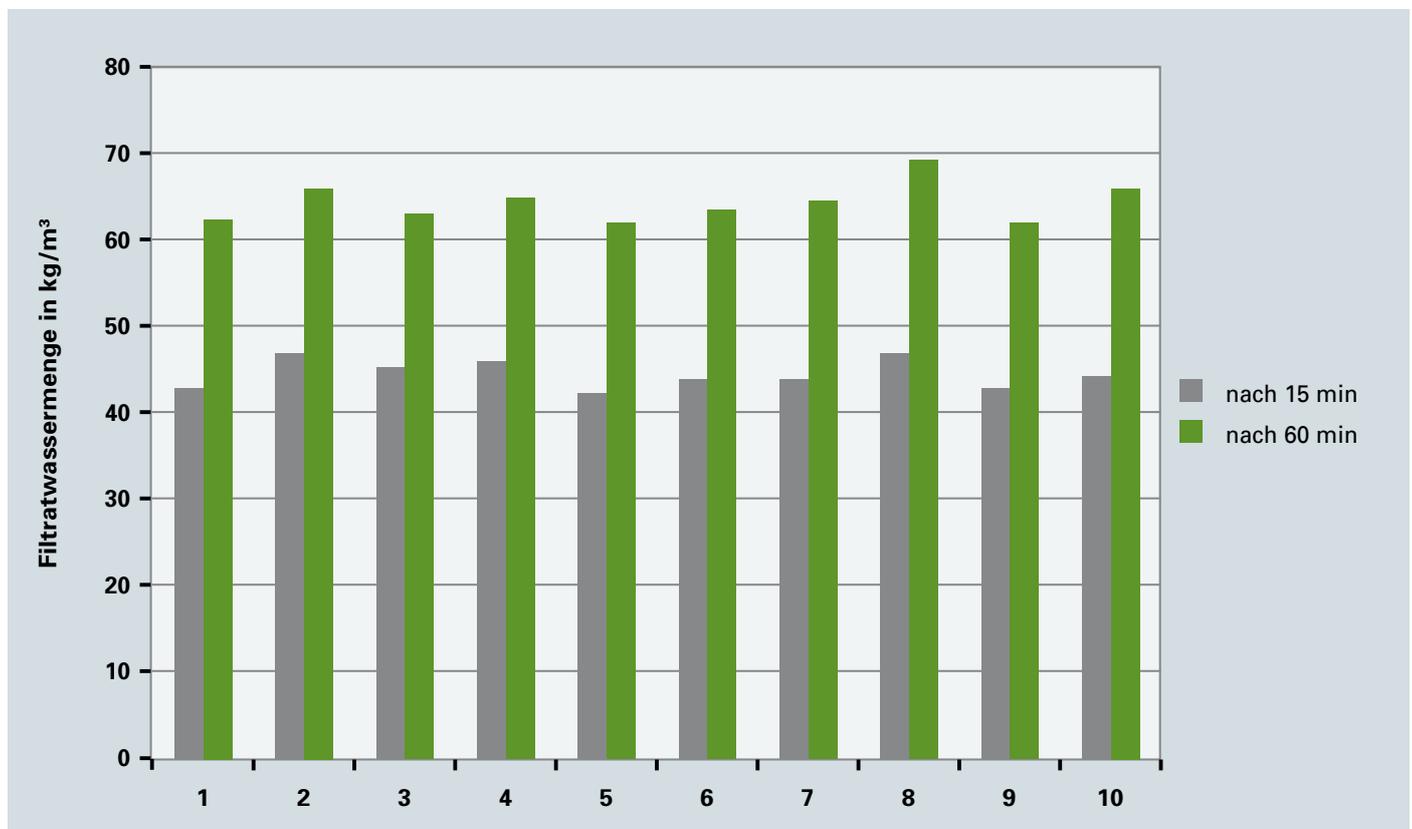
**Ermittlung der Prüfstreuung des Filterpressenversuchs**

Zur Bestimmung der Prüfstreuung des Versuchs mit der Filterpresse wurden 10 Versuche mit Betonrezeptur B3 (Typ B) bei einer Frischbetontemperatur von 20 °C gemäß der Beschreibung im ÖVBB-Merkblatt „Weiche Betone“ durchgeführt.

Der Mittelwert  $\bar{X}$ , die Standardabweichung  $\sigma$  sowie die Min.- und Max.-Werte der Filtratwassermengen sind in Tabelle 2 angegeben, die grafische Darstellung der Einzelergebnisse in Abbildung 2.

	Filtratwassermenge [kg/m³]	
	nach 15 Min.	nach 60 Min.
Mittelwert $\bar{X}$	44,7	64,4
Standardabweichung $\sigma$	1,7	2,3
Min.-Wert	41,5	62,5
Max.-Wert	47	69,5

↑ Tabelle 2: Ergebnisse der Wiederholungsversuche mit der Filterpresse



↑ Abbildung 2: Einzelwerte der Wiederholungsversuche mit der Filterpresse (Beton B3, Frischbetontemperatur 20 °C)

► Prüfung des Blutens von Beton: ist die Prüfung mit der Betonfilterpresse nach ÖVBB-Merkblatt „Weiche Betone“ eine Alternative?

**Einfluss der Betonzusammensetzung auf das Prüfergebn im Filterpressenversuch, DBV-Eimerverfahren und E&A-Verfahren**

Die Vergleichsversuche wurden mit den gewählten Rezepturen B1 bis B3 bei einer Frischbetontemperatur von 20 °C durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 dargestellt. Zusätzlich wurde untersucht wie sich das Ergebnis im Filterpressenversuch verändert, wenn die Prüfung so lange verlängert wird, bis kein Wasser mehr austritt (siehe Abb. 3).

■ **Ergebnisse aus dem DBV-Eimerverfahren und E&A-Verfahren:**

Beton B3 (Typ B) blutet stärker als die Betone B1 und B2 (beide Typ A).

Beton B1 blutet bei vergleichbarem Leim- und Wassergehalt weniger als Beton B3, da ein anderer Zement und eine andere Gesteinskörnungszusammensetzung verwendet wurden. Der niedrigere Wassergehalt des Betons B2 im Vergleich zu Beton B1 führte zu einer deutlichen Verringerung der Blutwassermenge.

■ **Filterpressenversuch:**

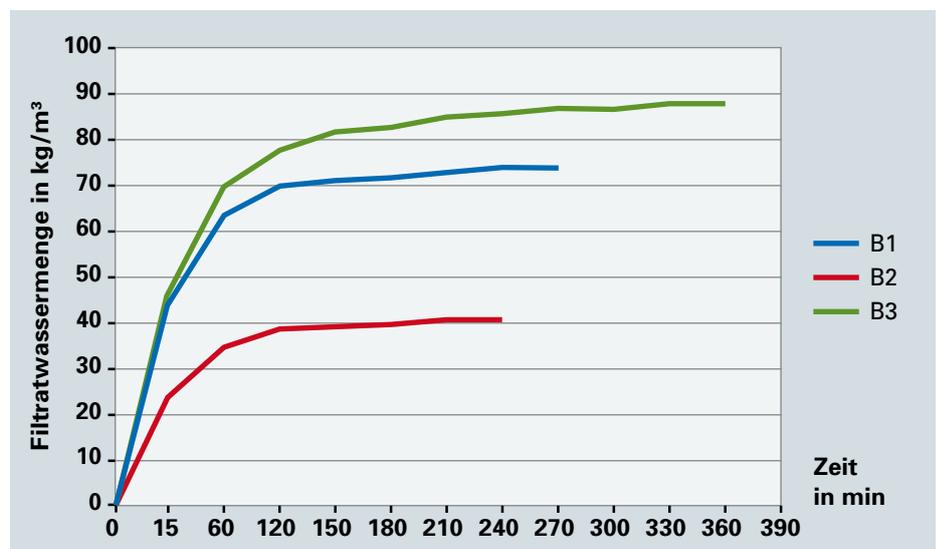
Eine Differenzierung zwischen Beton B1 und B3 hinsichtlich ihres Blutverhaltens ist nicht möglich, da die Filtratwassermengen nach 60 min bei beiden Betonen vergleichbar waren (ca. 61 kg/m³). Auch die Verlängerung der Prüfdauer führte nicht zu einer

besseren Differenzierungsmöglichkeit zwischen den Rezepturen B1 und B3, da die Unterschiede in den Filtratwassermengen im Vergleich zu DBV- und E&A-Verfahren und in Anbetracht der Wiederholgenauigkeit der Ergebnisse (s. Tabelle 2) gering sind. Das eigentliche Wasserrückhaltevermögen einer Rezeptur lässt sich daher auch mit einer längeren Prüfdauer nicht abbilden.

Lediglich der deutlich niedrigere Wassergehalt in Beton B2 zeigte sich auch im Prüfergebn: hier lag die Filtratwassermenge nach 60 Minuten bei 35 kg/m³ und damit deutlich niedriger als bei Beton B1 zum gleichen Zeitpunkt.

Rezeptur	Frischbetontemperatur [°C]	Filterpresse (3 bar)		DBV-Eimerfahren				E&A-Verfahren			
		[kg/m³]		[kg/m³]		Prüfdauer [h]	[kg/m³]		Prüfdauer [h]		
		15 min	60 min	Einzelwerte	Mittelwert		Einzelwerte	Mittelwert			
B1	22,8	45	61	5,6	5,1	<b>5,4</b>	5	5,7	5,5	<b>5,6</b>	6
B2	23,1	23,5	35	3,0	3,4	<b>3,2</b>	8,5	2,6	2,6	<b>2,6</b>	8
B3	19,6	41,5	61,5	14,3	13,5	<b>13,9</b>	7	18,3	18,4	<b>18,6</b>	8

↑ Tabelle 3: Blutwassermengen in Abhängigkeit der Betonrezeptur im Filterpressenversuch, DBV-Eimerverfahren und E&A-Verfahren bei einer Soll-Frischbetontemperatur von 20 °C



↑ Abbildung 3: Filtratwassermengen in Abhängigkeit von der Betonzusammensetzung bei Verlängerung der Prüfdauer

► Prüfung des Blutens von Beton: ist die Prüfung mit der Betonfilterpresse nach ÖVBB-Merkblatt „Weiche Betone“ eine Alternative?

### Einfluss der Frischbetontemperatur auf die Blutwassermengen bei den drei untersuchten Prüfverfahren

Für die Untersuchungen zum Einfluss der Frischbetontemperatur wurden Versuche mit Betonzusammensetzung B3 (Typ B) bei 10, 20 und 30 °C durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 dargestellt.

Daraus ist ersichtlich, dass der Zusammenhang zwischen Temperatur und Blutwassermenge sowohl im DBV-Eimerverfahren als auch im E&A-Verfahren abgebildet wird.

Im Filterpressenversuch gelingt diese Differenzierung des Blutens jedoch nicht, da bei allen drei Frischbetontemperaturen vergleichbare Ergebnisse zum jeweiligen Prüfzeitpunkt ermittelt wurden. Dies erscheint aufgrund der Prüfungsdurchführung nachvollziehbar, da das Wasser unter Druck ausgepresst wird und die Prüfung nur über 1 Stunde geht.

### FAZIT

Auf Grundlage der im Rahmen dieser Versuchsreihen erzielten Ergebnisse erscheint ein Einsatz der Betonfilterpresse zur Bestimmung des Blutens für im Hochbau übliche Betone nicht zielführend, da mit der im ÖVBB-Merkblatt beschriebenen Verfahrensweise weder der Einfluss aus Rezeptur noch aus Temperatur abgebildet werden konnte. Eine Einstufung der Betone hinsichtlich ihres Blutens war mit dem Filterpressenversuch nicht möglich. Mit den beiden anderen Prüfverfahren war eine Differenzierung möglich und auch der Temperatureinfluss auf das Bluten

konnte abgebildet werden. Tendenziell werden mit dem E&A-Verfahren etwas höhere Blutwassermengen erzielt als mit dem DBV-Eimerverfahren. Die für das DBV-Eimerverfahren im Merkblatt angegebenen Anhaltswerte wurden mit Beton B1 und B3 überschritten. Beton B2 lag im Bereich der angegebenen Anhaltswerte.

Ob sich ein späterer Prüfbeginn beim Filterpressenversuch auf das Ergebnis auswirkt und damit die Aussagefähigkeit des Ergebnisses verbessert wird, wurde bisher nicht untersucht.

Soll-Temperatur im Frischbeton [°C]	Frischbetontemperatur [°C]	Filterpresse (3 bar)		DBV-Eimerfahren				E&A-Verfahren			
		[kg/m³]		[kg/m³]		Prüfdauer	[kg/m³]		Prüfdauer		
		15 min	60 min	Einzelwerte	Mittelwert	[h]	Einzelwerte	Mittelwert	[h]		
10	13,2	39	63	22,3	23,4	22,9	8	27,9	26,4	27,1	9
20	19,6	41,5	61,5	14,3	13,5	13,9	7	18,3	19	18,6	8
30	25,6	42,5	62	6,2	6,7	6,6	4	8	8,1	8,1	4,5

↑ Tabelle 4: ermittelte Blutwassermengen der Rezeptur B3 mit den Verfahren Filterpresse, Eimerverfahren und E&A-Verfahren bei Soll-Frischbetontemperaturen von 10, 20 und 30 °C

### Literatur

- [1] Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V.: Merkblatt Besondere Verfahren zur Prüfung von Frischbeton, Fassung Januar 2014
- [2] ASTM International designation C 232/ C 232M: Standard Test Methods for Bleeding of Concrete, 2009-07

- [3] Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik: Merkblatt Weiche Betone – Betone mit Konsistenz  $\geq F 59$ , Wien, Juni 2009
- [4] Breit, W.: Technischer Bericht „FWB-F09-218“. Ermittlung der Blutneigung – Eimerverfahren (Bluteimertest), Kaiserslautern, März 2011