

KIBAG Management AG  
Baustofflabor  
Girendorf  
8856 Tuggen

## Bericht Nr. 5214019817.1

<b>Auftrag:</b>	<b>Herstellung und Prüfung von UHFB im Rahmen der Erstprüfung</b>
Objekt(e):	6 knochenförmige Prüfkörper 100x560x33 mm, 6 Plattenstreifen 100x500x33 mm, 3 Würfel 100x100x100 mm, 6 Prismen 40x40x160 mm, Bezeichnung AHADUR UB
Bauwerk / Bauteil:	Bezeichnung AHADUR UB
Eingangs-Nr.:	1106
Auftragserteilung:	03.07.2018 / Frau U. Jenny
Eingang Objekt(e):	16.08.2018
Probenahme durch:	Auftraggeber / Empa
Anzahl Seiten Bericht:	9
Beilage(n):	4 Seiten Prüfprotokolle

G:\0\_Berichte word\2018\09\5214019817\_Diverses\_UHFB KIBAG.docx

---

Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Abteilung Beton & Bauchemie  
Dübendorf, 18.09.2018

Prüfleiter / Prüfleiterin: Gruppenleiter Betontechnologie:  
Roman Loser Dr. Andreas Leemann

## Inhalt

1. Auftrag .....	3
2. Beton- und Prüfkörperherstellung.....	3
3. Prüfungen und Resultate.....	4
3.1 Frischbetonprüfungen .....	4
3.2 Zugverhalten nach SIA MB 2052, Anhang D.....	4
3.3 Biegezugprüfung nach SIA MB 2052, Anhang E .....	5
3.4 Würfeldruckfestigkeit.....	6
3.5 Elastizitätsmodul.....	6
4. Zusammenfassung und Beurteilung.....	7
Anhang.....	8

## 1. Auftrag

An der Empa soll nach Rezepturvorgabe und mit Material des Auftraggebers eine Mischung UHFB mit der Bezeichnung AHADUR UB hergestellt und daraus Prüfkörper für diverse Prüfungen produziert werden. An den Prüfkörpern sollen folgende Prüfungen durchgeführt werden:

- Prüfung des Zugverhaltens nach SIA MB 2052, Anhang D
- Biegezugprüfung nach SIA MB 2052, Anhang E
- Würfeldruckfestigkeit nach SN EN 12390-3
- Elastizitätsmodul nach SN EN 12390-13

## 2. Beton- und Prüfkörperherstellung

Sämtliche Komponenten für die Betonherstellung (Gesteinskörnung, Bindemittel, Zusatzstoffe, Fasern, Zusatzmittel) wurden durch den Auftraggeber geliefert. Die Rezeptur und der Herstellungsablauf wurden durch den Auftraggeber vorgegeben und vor Ort überwacht. Sie werden deshalb in diesem Bericht nicht mehr genauer beschrieben. Der UHFB wurde am 16.08.2018 in einem Eirich Intensivmischer R08W (Kapazität 75 L) hergestellt. An der produzierten Charge von 50 Litern wurde eine Frischbetonkontrolle durchgeführt und anschliessend folgende Prüfkörper hergestellt:

- 6 Plattenbalken 500 x 100 x 33 mm
- 6 knochenförmige Prüfkörper 560 x 100 x 33 mm
- 3 Würfel 100 x 100 x 100 mm
- 6 Prismen 40x40x160 mm

Der UHFB war gut verarbeitbar und die Prüfkörper für die Zug- und Biegezugversuche konnten mittels Ablaufrinne problemlos hergestellt werden. Nach der Herstellung wurden sämtliche Prüfkörper im Klimaraum gelagert (20°C / > 90 % r.F.) und nach ca. 24 Stunden ausgeschalt. Anschliessend wurden sie bis zur Prüfung im Wasser gelagert.

### 3. Prüfungen und Resultate

#### 3.1 Frischbetonprüfungen



Unmittelbar nach der Herstellung im Labormischer wurden folgende Frischbetonwerte bestimmt:

<b>Kennwert:</b>	<b>Messwert:</b>
Setzflussmass (SN EN 12350-8) 1 min:	540 mm
Setzflussmass (SN EN 12350-8) 5 min:	550 mm
$t_{500}$ (SN EN 12350-8):	8.2 sec
Rohdichte (SN EN 12350-6):	2'465 kg/m <sup>3</sup>
Luftgehalt (SN EN 12350-7):	4.5 Vol-%
Temperatur Frisch-UHFB:	35.2 °C

#### 3.2 Zugverhalten nach SIA MB 2052, Anhang D

Die Zugversuche wurden im Alter von 28 Tagen an 6 knochenförmigen Prüfkörpern (Geometrie gemäss MB SIA 2052, Anhang D) durchgeführt. Die Proben wurden vorgängig durch die Empa auf eine Dicke von ca. 30 mm geschliffen. Die Durchführung und Auswertung der Zugversuche erfolgte unter Berücksichtigung der Korrigenda C1 zum Merkblatt SIA 2052 vom 01.07.2017.

Die Resultate des Zugversuches sind im Prüfprotokoll Beilage 1 zusammengefasst und die Lage der lokalisierten Risse kann den Abbildungen A1 - A2 im Anhang entnommen werden. Sämtliche Prüfkörper weisen eine deutliche Verfestigung auf und die Streuung der Kurven ist bis zum Erreichen der Zugfestigkeit verhältnismässig klein. Der Prüfkörper 1 wurde bei einer Dehnung von ca. 3.2 ‰ und einer hohen Zugspannung von knapp 21 MPa aus den Klemmbanken ausgezogen und der Versuch musste abgebrochen werden, obwohl das Maximum der Zugfestigkeit noch nicht erreicht war. Da das Ausziehen erst bei sehr hohen Werten erfolgte, haben die Resultate dieses Prüfkörpers keinen negativen Einfluss auf die Sortenzuordnung und er wurde deshalb in der Auswertung trotzdem mitberücksichtigt. Bei den Prüfkörpern 2, 3, 5 und 6 trat der Riss ausserhalb von  $l_{mes,1}$  auf und die Dehnungen wurden mit  $l_{mes,2}$  berechnet. Folgende Mittelwerte wurden im Zugversuch unter Berücksichtigung aller sechs Prüfkörper ermittelt:

<b>Kennwert:</b>	<b>Ist-Wert:</b>	<b>Mindestwert UA:</b>	<b>Mindestwert UB:</b>
Elastische Grenzzugfestigkeit	$f_{Ute} = 12.9 \text{ MPa}$	$f_{Ute} \geq 7.0 \text{ MPa}$	$f_{Ute} \geq 10.0 \text{ MPa}$
Zugfestigkeit	$f_{Utu} = 20.3 \text{ MPa}$	$f_{Utu} > 7.7 \text{ MPa}$	$f_{Utu} > 12.0 \text{ MPa}$
Dehnung bei Erreichen der Zugfestigkeit	$\epsilon_{Utu} = 3.60 \text{ ‰}$	$\epsilon_{Utu} > 1.5 \text{ ‰}$	$\epsilon_{Utu} > 2.0 \text{ ‰}$
Verhältnis $f_{Utu}/f_{Ute}$	$= 1.58$	$> 1.1$	$> 1.2$
E-Modul	$E_U = 41.9 \text{ GPa}$	keine Anforderungen	keine Anforderungen

Im Zugversuch erfüllt der geprüfte UHFB im Mittel sämtliche Anforderungen an die **Sorten UA und UB**. Bei sämtlichen Kennwerten sind relativ grosse Reserven gegenüber den für einen UB geforderten Mindestwerten vorhanden.

### 3.3 Biegezugprüfung nach SIA MB 2052, Anhang E



Die Biegezugversuche wurden im Alter von 28 Tagen an 6 Plattenstreifen (Geometrie gemäss MB SIA 2052, Anhang E) durchgeführt. Die Proben wurden vorgängig durch die Empa auf eine Dicke von ca. 30 mm geschliffen. Die Durchführung und Auswertung der Biegezugversuche erfolgte unter Berücksichtigung der Korrigenda C1 zum Merkblatt SIA 2052 vom 01.07.2017.

Die Resultate des Biegezugversuches sind im Prüfprotokoll Beilage 2 zusammengefasst und die Lage der lokalisierten Risse kann den Abbildungen A3 – A4 im Anhang entnommen werden. Die Streuung der sechs Kurven ist verhältnismässig klein und es konnten folgende Mittelwerte im Biegezugversuch ermittelt werden:

<b>Kennwert:</b>	<b>Ist-Wert:</b>	<b>Mindestwert UA:</b>	<b>Mindestwert UB:</b>
Elastische Grenzzugfestigkeit	$f_{Ute} = 11.3 \text{ MPa}$	$f_{Ute} \geq 7.0 \text{ MPa}$	$f_{Ute} \geq 10.0 \text{ MPa}$
Zugfestigkeit	$f_{Utu} = 18.0 \text{ MPa}$	$f_{Utu} > 7.7 \text{ MPa}$	$f_{Utu} > 12.0 \text{ MPa}$
Dehnung bei Erreichen der Zugfestigkeit	$\varepsilon_{Utu} = 3.90 \text{ ‰}$	$\varepsilon_{Utu} > 1.5 \text{ ‰}$	$\varepsilon_{Utu} > 2.0 \text{ ‰}$
Verhältnis $f_{Utu}/f_{Ute}$	$= 1.60$	$> 1.1$	$> 1.2$
E-Modul	$E_U = 44.2 \text{ GPa}$	keine Anforderungen	keine Anforderungen

Im Biegezugversuch erfüllt der geprüfte UHFB im Mittel sämtliche Anforderungen an die **Sorten UA und UB**. Bei sämtlichen Kennwerten sind relativ grosse Reserven gegenüber den für einen UB geforderten Mindestwerten vorhanden, wobei die Reserven insbesondere bei der elastischen Grenzzugfestigkeit etwas kleiner sind als beim Zugversuch.

### 3.4 Würfeldruckfestigkeit



Die Würfeldruckfestigkeit wurde an drei Würfeln mit Kantenlänge 100 mm im Alter von 28 Tagen bestimmt. Die Resultate sind in Tab. 1 zusammengefasst (vgl. auch Prüfprotokoll in der Beilage 3).

Mischungsbezeichnung	AHADUR UB
Alter 28 d [MPa]	136.6

Tab. 1: Würfeldruckfestigkeiten.

### 3.5 Elastizitätsmodul



Der Elastizitätsmodul wurde an sechs Prismen 40x40x160 mm im Alter von 28 Tagen bestimmt. Die Resultate sind in Tab. 2 zusammengefasst (vgl. auch Prüfprotokoll in der Beilage 4).

Mischungsbezeichnung	AHADUR UB
Alter 28 d [GPa]	43.2

Tab. 2: Elastizitätsmodul.

## 4. Zusammenfassung und Beurteilung

Im Biegezugversuch sind die Werte für die Zugfestigkeit  $f_{Utu}$  und die elastische Grenzzugfestigkeit  $f_{Ute}$  etwas kleiner als beim Zugversuch. Bei der Dehnung bei Erreichen der Zugfestigkeit  $\varepsilon_{Utu}$  und insbesondere beim Verhältnis  $f_{Utu} / f_{Ute}$  sind die ermittelten Werte aus dem Biegezug- und aus dem Zugversuch jedoch in einer ähnlichen Grössenordnung. Insgesamt führen die beiden Versuche zur gleichen Klassifizierung und der UHFB kann gemäss Tabelle 1 sowie Ziffern D.7 resp. E.7.3 des Merkblattes SIA 2052 der **Sorte UB** zugeordnet werden (Tab. 3):

Kennwert	erforderlicher Mindestwert für UA	erforderlicher Mindestwert für UB	Messwerte		Anforderung für	
			Zugversuch	Biegezugversuch	UA	UB
$f_{Utek}$ $f_{Utuk} / f_{Utek}$ $\varepsilon_{Utu}$	$\geq 7.0$ MPa $> 1.1$ $> 1.5$ ‰	$\geq 10.0$ MPa $> 1.2$ $> 2.0$ ‰	12.9 MPa 1.58 3.60 ‰	11.3 MPa 1.60 3.90 ‰	<b>erfüllt</b> <b>erfüllt</b> <b>erfüllt</b>	<b>erfüllt</b> <b>erfüllt</b> <b>erfüllt</b>
Würfeldruck	$f_{Uck} \geq 120$ MPa		136.6 MPa		<b>erfüllt</b>	
E-Modul	keine Anforderungen		43.2 GPa		-	

Tab. 3: Vergleich der Anforderungen gemäss Merkblatt SIA 2052 für die Sorten UA und UB mit den gemessenen Werten im Zug- und Biegezugversuch sowie mit der Würfeldruckfestigkeit.

## Anhang

### Lage der lokalisierten Risse im Zugversuch nach SIA MB 2052, Anhang D:



Abb. A1: Prüfkörper 1 – 3 nach der Prüfung. Prüfkörper 1 ohne Riss (aus der Klemmbanke ausgezogen), Prüfkörper 2 und 3 mit Riss ausserhalb  $l_{mes,1}$ .



Abb. A2: Prüfkörper 4 – 6 nach der Prüfung. Prüfkörper 5 und 6 mit Riss ausserhalb  $l_{mes,1}$ .

**Lage der lokalisierten Risse im Biegezugversuch nach SIA MB 2052, Anhang E:**



Abb. A3: Prüfkörper 1 – 3 nach der Biegezugprüfung.

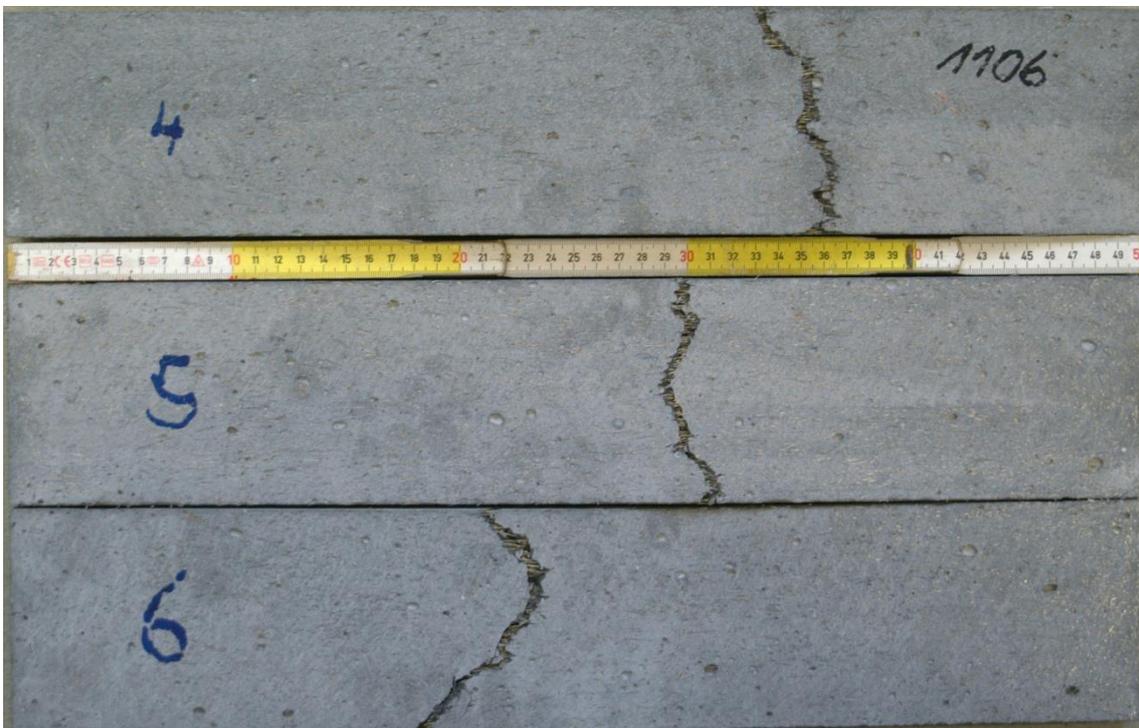


Abb. A4: Prüfkörper 4 – 6 nach der Biegezugprüfung.

## Prüfprotokoll

(gilt nur zusammen mit dem Berichtsdeckblatt)

Beilage 1

Bericht Nr. **5214019817**

Datum: 13.09.2018

### Einachsiger Zugversuch

Norm: SIA 2052, Anhang D

Serienbezeichnung: AHADUR UB

Prüfer: juj

Herstelldatum: 16.08.2018

Faserdosierung: - kg/m<sup>3</sup>

Prüfdatum: 13.09.2018

Fasertyp: -

Probenalter: 28 Tage

Eingangs-Nr.: 1106

Bemerkungen: PK1: aus Klemmbacke ausgezogen, PK2, 3, 5 und 6 Riss ausserhalb lmes,1

Prüfkörper Bezeichnung	Länge L [mm]	Breite b [mm]	Dicke d [mm]	f <sub>Ute</sub> [MPa]	zugeh. Dehnung [‰]	E <sub>U</sub> [GPa]	f <sub>Utu</sub> [MPa]	ε <sub>Utu</sub> [‰]	f <sub>Utu</sub> /f <sub>Ute</sub> [-]
M2/1	560	49.5	29.8	13.9	0.34	41.1	20.8	3.21	1.50
M2/2	560	49.5	29.9	12.7	0.30	42.2	21.5	3.83	1.69
M2/3	560	49.5	30.0	13.3	0.32	41.4	20.0	3.57	1.50
M2/4	560	49.2	29.7	12.5	0.29	42.8	21.3	3.69	1.71
M2/5	560	49.9	29.2	11.8	0.28	41.9	18.8	3.99	1.60
M2/6	560	49.5	29.4	13.1	0.31	42.3	19.5	3.33	1.49
<b>Mittelwert</b>	<b>560</b>	<b>49.5</b>	<b>29.7</b>	<b>12.9</b>	<b>0.31</b>	<b>41.9</b>	<b>20.3</b>	<b>3.60</b>	<b>1.58</b>
Standardabw.	0	0.2	0.3	0.7	0.02	0.6	1.1	0.3	0.10

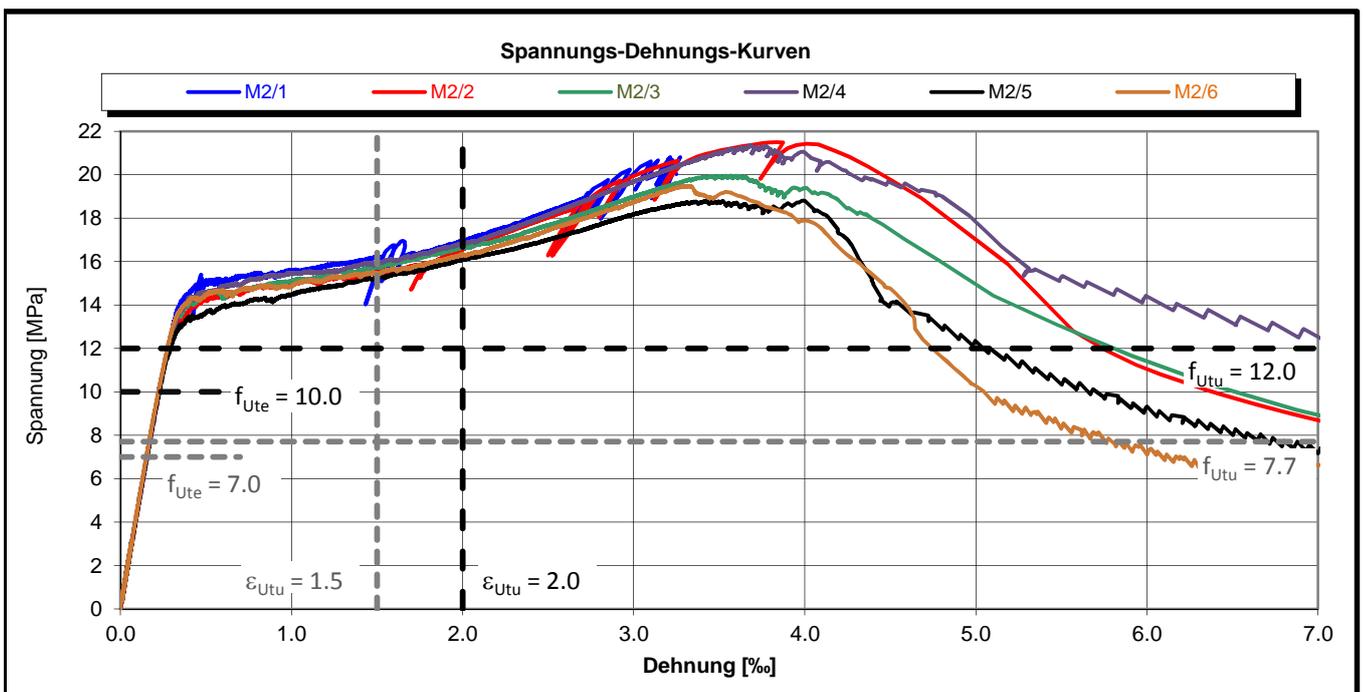
Legende:

f<sub>Ute</sub>: elastische Grenzzugfestigkeit

f<sub>Utu</sub>: Zugfestigkeit

E<sub>U</sub>: Elastizitätsmodul

ε<sub>Utu</sub>: Dehnung bei max. Spannung



Legende:

----- Grenzwerte f<sub>Ute</sub>, f<sub>Utu</sub> und ε<sub>Utu</sub> für einen UHFB der Sorte UA

----- Grenzwerte f<sub>Ute</sub>, f<sub>Utu</sub> und ε<sub>Utu</sub> für einen UHFB der Sorte UB

Datum : 13.09.2018

Unterschrift : 

## Prüfprotokoll

(gilt nur zusammen mit dem Berichtsdeckblatt)

**Beilage 2**

Bericht Nr.

**5214019817**

Datum:

13.09.2018

## Biegezugprüfung

**Norm: SIA 2052, Anhang E**

Serienbezeichnung: AHADUR UB

Prüfer: juj

Herstelldatum: 16.08.2018

Faserdosierung: - kg/m<sup>3</sup>

Prüfdatum: 13.09.2018

Fasertyp: -

Probenalter: 28 Tage

Eingangs-Nr.: 1106

Bemerkungen:

Prüfkörper Bezeichnung	Länge L [mm]	Breite b [mm]	Dicke d [mm]	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Maximalkraft [kN]	zugeh. Verf. [mm]	f <sub>Utu</sub> [MPa]	f <sub>Ute</sub> [MPa]	zugeh. Verf. [mm]	E <sub>U</sub> [GPa]	f <sub>Utu</sub> /f <sub>Ute</sub> [-]	ε <sub>Utu</sub> [‰]
M2/7	500	99.9	30.0	2'538	10.8	5.97	19.4	11.6	0.31	44.6	1.66	4.57
M2/8	500	99.4	30.2	2'531	9.9	5.07	17.5	11.0	0.30	43.8	1.59	3.82
M2/9	500	99.9	29.8	2'539	9.7	5.08	17.6	12.8	0.35	44.1	1.38	3.70
M2/10	500	99.4	30.0	2'532	10.3	5.68	18.5	11.5	0.31	44.5	1.61	4.37
M2/11	500	99.6	29.3	2'530	9.3	5.46	17.5	10.9	0.30	44.1	1.60	3.37
M2/12	500	100.0	29.5	2'514	9.6	5.35	17.7	10.2	0.28	44.2	1.74	3.57
<b>Mittelwert</b>	<b>500</b>	<b>99.7</b>	<b>29.8</b>	<b>2'531</b>	<b>9.9</b>	<b>5.44</b>	<b>18.0</b>	<b>11.3</b>	<b>0.31</b>	<b>44.2</b>	<b>1.60</b>	<b>3.90</b>
Standardabw.	0	0.3	0.3	9	0.5	0.35	0.8	0.9	0.02	0.3	0.12	0.47

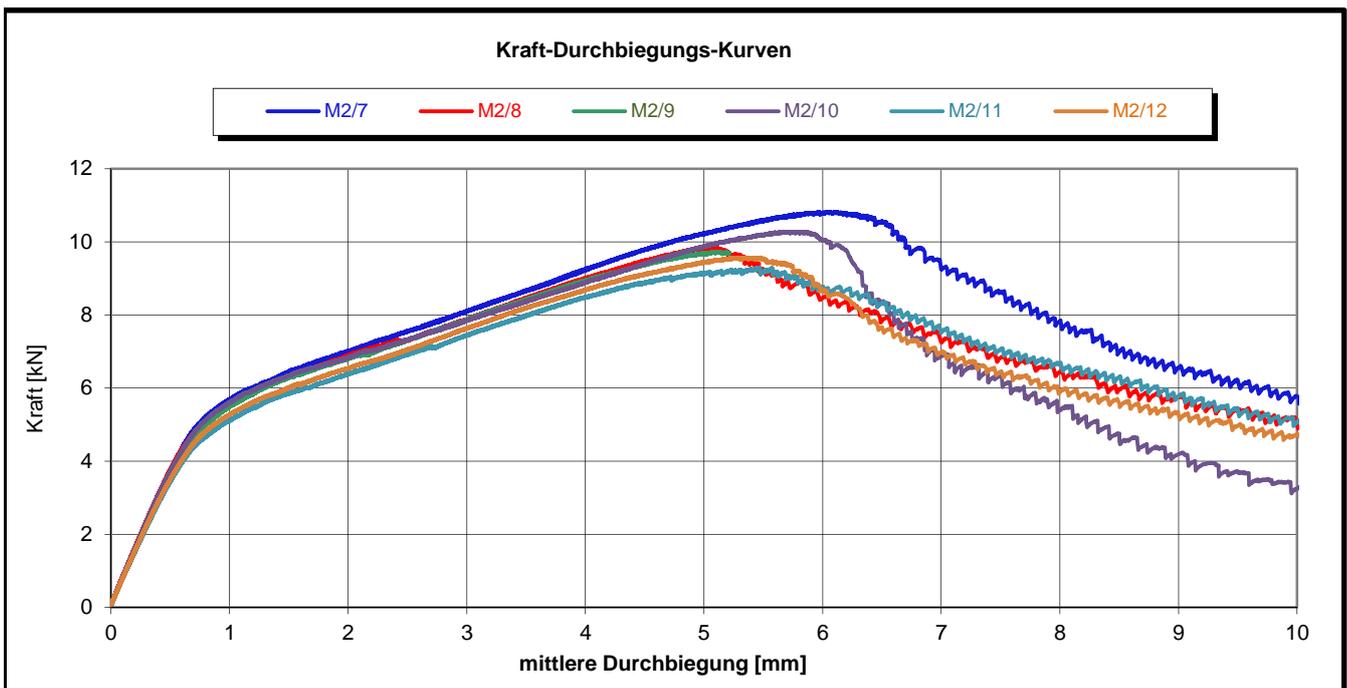
Legende:

f<sub>Utu</sub>: Zugfestigkeit

E<sub>U</sub>: Elastizitätsmodul

f<sub>Ute</sub>: elastische Grenzzugfestigkeit

ε<sub>Utu</sub>: Dehnung bei Erreichen der Zugfestigkeit (Verfestigung)



Datum : 13.09.2018

Unterschrift :



# Empa

Abteilung Beton / Bauchemie

## Prüfprotokoll

(gilt nur zusammen mit dem Berichtsdeckblatt)

**Auftragsnummer:** 5214019817

**Seriebezeichnung:** 1106

**Prüfung:** Druckversuch

Herstelldatum: 16.08.2018

**Norm:** EN 12390-3:2009

Probenalter: 28

**Prüfkörper:** Würfel 100x100x100

Prüfdatum: 13.09.2018

**Betonklasse:** -----

Prüfer: juj

Bezeichnung	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse [g]	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Höchstkraft [kN]	Festigkeit [MPa]
M2/13	100.2	100.4	100.0	2545	2530	1400.9	139.3
M2/14	100.1	101.0	99.9	2559	2535	1319.6	130.5
M2/15	100.5	99.5	99.9	2530	2533	1398.8	139.9
Mittelwert					2532		136.6
Std. Abw.					3		5.2

Datum: 13.09.2018 Unterschrift Prüfer:

# Empa

Abteilung Beton / Bauchemie

## Prüfprotokoll

(gilt nur zusammen mit dem Berichtsdeckblatt)

**Auftragsnummer:** 5214019817

**Seriebezeichnung:** 1106

**Prüfung:** E-Modul Verfahren B

**Herstelldatum:** 16.08.2018

**Norm:** EN 12390-13:2013

**Probenalter:** 28

**Prüfkörper:** Prisma stehend 40x40x160

**Prüfdatum:** 13.09.2018

**Prüfer:** juj

**Bedingungen nach EN 12390-13:** erfüllt

Nominal-Festigkeit: 136.6 MPa

Name	h [mm]	b [mm]	l [mm]	m [g]	p [kg/m³]	f <sub>c,no</sub> [MPa]	E <sub>c,0</sub> [GPa]	s <sub>b</sub> [MPa]	s <sub>a</sub> [MPa]	e <sub>b</sub> [%]	e <sub>a</sub> [%]	e <sub>d</sub> [%]	F <sub>br</sub> [kN]	f <sub>c</sub> [MPa]
1	39.8	40.1	160.0	646	2532	136.6	43.6	0.52	31.82	0.002	0.073	...	...	...
2	39.8	40.0	160.0	648	2545	136.6	42.7	0.53	31.85	0.002	0.075	...	...	...
3	40.1	40.4	160.0	655	2533	136.6	43.9	0.48	31.87	0.002	0.074	...	...	...
4	40.0	40.8	160.1	662	2536	136.6	41.9	0.49	31.87	0.001	0.076	...	...	...
5	39.9	41.5	160.0	673	2542	136.6	43.1	0.52	31.88	0.002	0.075	...	...	...
6	40.0	40.3	160.1	652	2524	136.6	43.7	0.50	31.90	0.002	0.073	...	...	...
Mittelwert					2535		43.2							0.0
Std. Abw.					7		0.7							0.00

h = Länge

b = Breite

l = Höhe

m = Masse

p = Rohdichte

f<sub>c,no</sub> = Nominal-Festigkeit

E<sub>c,0</sub> = stabilisierter E-Modul

s<sub>b</sub> = untere Spannung (stab.)

s<sub>a</sub> = obere Spannung (stab.)

e<sub>b</sub> = untere Dehnung (stab.)

e<sub>a</sub> = obere Dehnung (stab.)

e<sub>d</sub> = Dehnungsdifferenz

F<sub>br</sub> = Bruchlast

f<sub>c</sub> = Festigkeit

Datum: 13.09.2018 Unterschrift Prüfer: