

KIBAG Management AG
Baustofflabor
Girendorf
8856 Tuggen

Bericht Nr. 5214016786

| | |
|------------------------|--|
| Auftrag: | Herstellung und Prüfung von UHFB |
| Objekt(e): | 6 knochenförmige Prüfkörper 100x560x33 mm, 6 Plattenstreifen 100x500x33 mm, 3 Würfel 100x100x100 mm, 1 Platte 600x600x50 mm, 9 Prismen 40x40x160 mm, 1 Prisma 120x120x360 mm |
| Bauwerk / Bauteil: | Erstprüfung UHFB Rezept Nr. 12 |
| Eingangs-Nr.: | 0726 |
| Auftragserteilung: | 08.08.2017 / Frau U. Jenny |
| Eingang Objekt(e): | 14.08.2017 |
| Probenahme durch: | Auftraggeber / Empa |
| Anzahl Seiten Bericht: | 10 |
| Beilage(n): | 11 Seiten Prüfprotokolle |

G:\0_Berichte word\2018\08\5214016786 Diverses_UHFB KIBAG.docx

Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Abteilung Beton & Bauchemie
Dübendorf, 16.08.2018

Prüfleiter / Prüfleiterin:
Roman Loser

Gruppenleiter Betontechnologie:
Dr. Andreas Leemann



Inhalt

| | |
|--|---|
| 1. Auftrag | 3 |
| 2. Beton- und Prüfkörperherstellung..... | 3 |
| 3. Prüfungen und Resultate..... | 4 |
| 3.1 Zugverhalten nach SIA MB 2052, Anhang D | 4 |
| 3.2 Biegezugprüfung nach SIA MB 2052, Anhang E | 4 |
| 3.3 Würfeldruckfestigkeit | 5 |
| 3.4 Elastizitätsmodul..... | 5 |
| 3.5 Biegezug- und Druckfestigkeit an Prismen | 5 |
| 3.6 Schwinden und Kriechen..... | 6 |
| 4. Zusammenfassung und Beurteilung..... | 8 |
| Anhang..... | 9 |

Für die Prüfung der Luftpermeabilität nach SIA 262/1, Anhang E wurde durch den Auftraggeber ein Drittlabor beauftragt. Das entsprechende Prüfzeugnis ist am Schluss dieses Berichtes als Beilage angefügt.

1. Auftrag

An der Empa sollen nach Rezepturvorgabe und mit Material des Auftraggebers UHFB 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 (100 mm Kantenlänge) nach SN EN 12390-3
- E-Modul nach SN EN 12390-13
- Biegezug- und Druckfestigkeit nach EN 196 (Prismen 40x40x160 mm)
- Biegezug- und Druckfestigkeit nach SN 640 461 (Prisma 120x120x360 mm)
- Schwinden nach SIA 262/1, Anhang F, nicht abgeklebt (Prismen 40x40x160 mm)
- Schwinden nach SIA 262/1, Anhang F, abgeklebt (Prismen 40x40x160 mm)
- Kriechen nach SIA 262/1, Anhang F, nicht abgeklebt (Prismen 40x40x160 mm)
- Autogenes Schwinden nach ASTM-C 1698-09 ab Abbindebeginn
- Luftpermeabilität nach SIA 262/1, Anhang E (Fremdprüfung durch Auftraggeber)

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 14.08.2017 in einem Eirich Intensivmischer R08W (Kapazität 75 L) hergestellt. Aus der produzierten Charge von 60 Litern wurden 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
- 9 Prismen 40 x 40 x 160 mm
- 1 Prisma 120 x 120 x 360 mm
- 3 gewellte Kunststoffrohre (Prüfkörper autogenes Schwinden)
- 1 Platte 600 x 600 x 50 mm

Die Plattenbalken und die knochenförmigen Prüfkörper wurden unter Verwendung einer Ablaufrinne produziert und nach der Herstellung im Klimaraum gelagert (20°C / > 90 % r.F.). Sämtliche Prüfkörper wurden ca. 24 Stunden nach der Herstellung ausgeschalt und bis zur Prüfung im Wasser gelagert. Eine Ausnahme bilden die Prüfkörper für das Schwinden und Kriechen, welche nach dem Ausschalen bei 20°C und 70% r.F. gelagert wurden. Die Grossplatte wurde für sieben Tage im Wasser gelagert. Anschliessend wurde sie durch den Auftraggeber abgeholt und zum Drittlabor gebracht.

Folgende **Frischbetonwerte** wurden gemessen:

| | |
|------------------|---------|
| Setzflussmass | 575 mm |
| t ₅₀₀ | 7.6 sec |

Luftporengehalt und Rohdichte wurden in Absprache mit dem Auftraggeber nicht bestimmt.

3. Prüfungen und Resultate

3.1 Zugverhalten nach SIA MB 2052, Anhang D

Die Zugversuche wurden im Alter von 28 Tagen an 6 nach MB SIA 2052, Anhang D produzierten und gelagerten knochenförmigen Prüfkörpern 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. Die Kurven der sechs Prüfkörper weisen bis zur Maximalspannung nur eine sehr geringe Streuung auf. Erst beim anschliessenden Spannungsabfall gibt es grössere Unterschiede in den Kurvenverläufen. Dies gilt insbesondere für die Prüfkörper 2, 4 und 6, bei welchen der lokalisierte Riss nahe beim Kopf aufgetreten ist. Dadurch ist jeweils ein Wegaufnehmer relativ kurz nach der Maximalspannung abgerutscht und der Versuch musste abgebrochen werden. Aus diesem Grund verlaufen diese Kurven nur bis zu einer Dehnung von ca. 4 Promille. Die massgebenden Werte sind davon aber nicht betroffen. Folgende Mittelwerte wurden im Zugversuch ermittelt:

| Kennwert: | Ist-Wert: | Mindestwert für UB: |
|---|-----------------------------------|----------------------------------|
| Elastische Grenzzugfestigkeit | $f_{Ute} = 11.4 \text{ MPa}$ | $f_{Ute} \geq 10.0 \text{ MPa}$ |
| Zugfestigkeit | $f_{Utu} = 17.1 \text{ MPa}$ | $f_{Utu} > 12.0 \text{ MPa}$ |
| Dehnung bei Erreichen der Zugfestigkeit | $\epsilon_{Utu} = 3.52 \text{ ‰}$ | $\epsilon_{Utu} > 2.0 \text{ ‰}$ |
| Verhältnis f_{Utu}/f_{Ute} | $= 1.50$ | > 1.2 |
| E-Modul | $E_U = 40.8 \text{ GPa}$ | keine Anforderungen |

Im Zugversuch erfüllt der geprüfte UHFB die Anforderungen an die Sorte UB.

3.2 Biegezugprüfung nach SIA MB 2052, Anhang E

Die Biegezugversuche wurden im Alter von 28 Tagen an 6 nach MB SIA 2052, Anhang E produzierten und gelagerten Plattenstreifen 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. Folgende Mittelwerte wurden im Biegezugversuch ermittelt:

| Kennwert: | Ist-Wert: | Mindestwert für UA: |
|---|-----------------------------------|----------------------------------|
| Elastische Grenzzugfestigkeit | $f_{Ute} = 7.9 \text{ MPa}$ | $f_{Ute} \geq 7.0 \text{ MPa}$ |
| Zugfestigkeit | $f_{Utu} = 14.9 \text{ MPa}$ | $f_{Utu} > 7.7 \text{ MPa}$ |
| Dehnung bei Erreichen der Zugfestigkeit | $\epsilon_{Utu} = 3.90 \text{ ‰}$ | $\epsilon_{Utu} > 1.5 \text{ ‰}$ |
| Verhältnis f_{Utu}/f_{Ute} | $= 1.92$ | > 1.1 |
| E-Modul | $E_U = 44.1 \text{ GPa}$ | keine Anforderungen |

Im Biegezugversuch erfüllt der geprüfte UHFB die Anforderungen an die Sorte UA. Mit Ausnahme der elastischen Grenzzugfestigkeit f_{ute} erfüllen die übrigen Werte auch die Anforderungen an die Sorte UB.

3.3 *Würfeldruckfestigkeit*

Die Würfeldruckfestigkeit wurde an drei Prüfkörpern mit Kantenlänge 100 mm bestimmt. Im Alter von 28 Tagen wurde eine Festigkeit von **139.7 MPa** gemessen (vgl. auch Prüfprotokoll Beilage 3).

3.4 *Elastizitätsmodul*

Der Elastizitätsmodul wurde an denjenigen drei Prismen 40 x 40 x 160 mm bestimmt, an welchen anschliessend auch die Biegezug- und Druckfestigkeit geprüft wurde (Kap. 3.5). Die Oberspannung für die E-Modulbestimmung müsste nach Norm SN EN 12390-13 basierend auf der obenstehenden Würfeldruckfestigkeit 32.7 MPa betragen. Die Versuche wurden jedoch auf einer Prüfpresse mit einer Maximalkraft von 50 kN durchgeführt, da diese erfahrungsgemäss für Prismen der vorliegenden Abmessung deutlich besser geeignet ist als die vorhandenen Pressen mit grösseren Kräften. Aufgrund der hohen Festigkeit des UHFB reicht die Maximalkraft der Maschine aber nicht aus, um die normgemässe Oberspannung aufzubringen. Aus diesem Grund betrug die Oberspannung nur 30.3 MPa. Auf den E-Modul dürfte die Auswirkung dieser etwas geringeren Oberspannung allerdings vernachlässigbar sein.

Im Alter von 28 Tagen wurde ein E-Modul von **42.8 GPa** gemessen (vgl. auch Prüfprotokoll Beilage 4).

3.5 *Biegezug- und Druckfestigkeit an Prismen*

Die Biegezug- und Druckfestigkeit wurde an denjenigen drei Prismen 40 x 40 x 160 mm bestimmt, an welchen vorgängig der E-Modul geprüft wurde (Kap. 3.4). Im Alter von 28 Tagen wurde eine **Biegezugfestigkeit $S_B = 44.2$ MPa** sowie eine **Druckfestigkeit** an den Prismenhälften von **$S_D = 166.7$ MPa** gemessen (vgl. auch Prüfprotokoll Beilage 5).

Um einen Vergleich mit beim Auftraggeber vorhandenen Erfahrungswerten an Grossprismen führen zu können, wurde auf Wunsch des Auftraggebers zusätzlich ein einzelnes Prisma 120 x 120 x 360 mm geprüft. Im Alter von 28 Tagen wurde daran eine **Biegezugfestigkeit $S_B = 29.5$ MPa** sowie eine **Druckfestigkeit** an den Prismenhälften von **$S_D = 151.5$ MPa** gemessen (vgl. auch Prüfprotokoll Beilage 6).

3.6 **Schwinden und Kriechen**

Die Materialeigenschaften Schwinden und Kriechen wurden mittels folgender Prüfungen erfasst:

- Schwinden nach SIA 262/1, Anhang F, 2 Prismen 40 x 40 x 160 mm, abgedichtet
- Schwinden nach SIA 262/1, Anhang F, 2 Prismen 40 x 40 x 160 mm, nicht abgedichtet
- Kriechen nach SIA 262/1, Anhang F, 2 Prismen 40 x 40 x 160 mm, nicht abgedichtet
- Autogenes Schwinden nach ASTM-C 1698-09

Die Prismen 40 x 40 x 160 mm wurden nach der Herstellung im Feuchtschrank (20°C / ≥ 95 % r.F.) mit einer Glasplatte abgedeckt gelagert. Nach ca. 22 Stunden wurden sie ausgeschalt. Zwei Prismen wurden anschliessend umgehend allseitig mit Aluklebeband abgedichtet, um autogene Verhältnisse zu erhalten. Die restlichen vier Prismen blieben ohne Abdichtung. Auf alle sechs Prismen wurden Bolzen für die Längenmessung aufgeklebt. Im Alter von 24 Stunden wurde die Nullmessung durchgeführt und die Proben anschliessend gemäss SIA 262/1, Anhang F bei 20°C / 70% r.F. weitergelagert. Die Prismen für die Kriechversuche (nicht abgeklebt) wurden im Alter von 28 Tagen mit einem Drittel der aktuellen Würfeldruckfestigkeit belastet.

Unmittelbar nach dem Mischen des UHFB wurden zudem drei gewellte Kunststoffrohre für die Bestimmung des autogenen Schwindens nach ASTM-C 1698-09 mit UHFB gefüllt. Ca. 45 min nach dem Mischbeginn wurden die Rohre in die Messapparatur eingebaut und die Messungen gestartet. Die Messapparatur befand sich in einem Ölbad bei 20°C \pm 0.1. Die Längenänderung wurde während 28 Tagen automatisch jede Minute aufgenommen und gespeichert. Der Punkt des Abbindeendes konnte aufgrund des hohen Fasergehaltes nicht mit dem Vicat-Gerät bestimmt werden. Erfahrungen mit Messungen an vielen verschiedenen Materialien zeigen allerdings, dass im Zeitbereich des Abbindeendes die Standardabweichung der Schwindgeschwindigkeit zwischen den drei Proben stark abfällt, was ein Zeichen für den Übergang vom flüssigen in den festen Zustand ist. Im vorliegenden Fall war dies nach ca. 10.7 Stunden der Fall, weshalb der Nullpunkt für die Schwindmessungen somit bei 10.7 Stunden (= Abbindeende) angesetzt wurde.

Die Resultate für das Schwinden und Kriechen nach SIA 262/1 können den Prüfprotokollen Beilagen 7 – 9 entnommen werden.

Das autogene Schwinden nach ASTM-C 1698-09 ist in der Abb. 1 aufgetragen.

Die Messungen nach ASTM-C 1698-09 wurden nach 28 Tagen beendet, während die Versuche nach SIA 262/1 bis zu einem Jahr weitergeführt wurden.

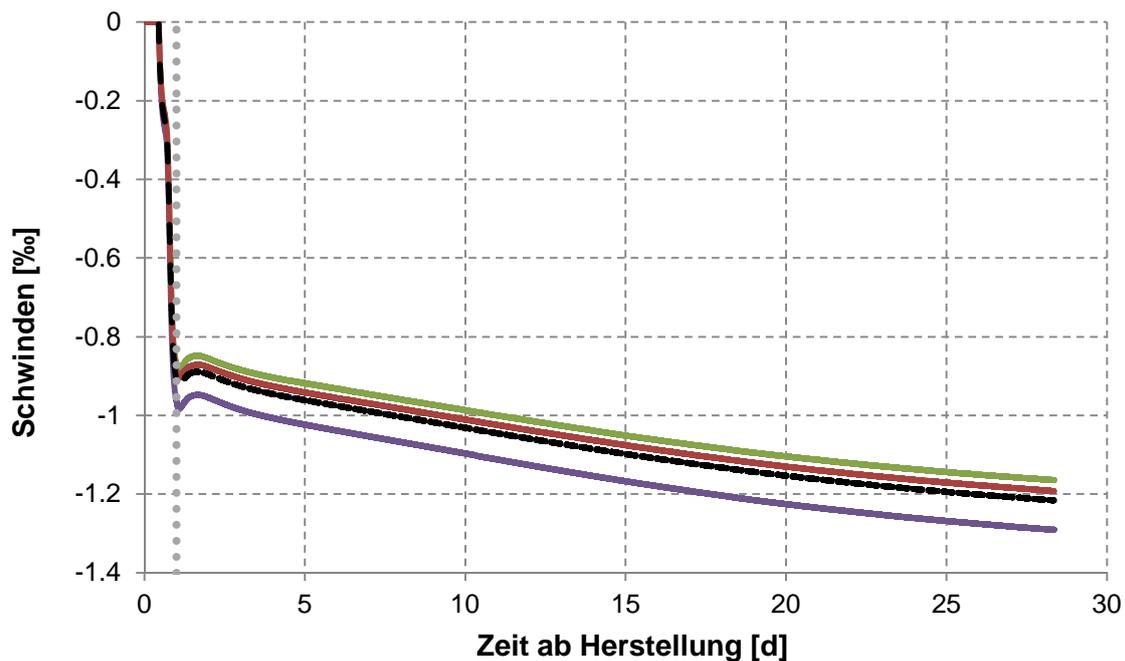


Abb. 1: Autogenes Schwinden nach ASTM-C 1698-09. Kurven der drei Einzelmessungen sowie Mittelwert (schwarz gestrichelte Linie). Grau gepunktete Linie: 24 Stunden.

Der autogene Schwindwert, bestimmt nach ASTM-C 1698-09, beträgt nach 28 Tagen insgesamt -1.21‰ . Der Grossteil dieses Schwindens ergibt sich mit -0.91‰ in den ersten 24 Stunden, wobei dieser Wert relativ stark von der Unsicherheit bei der Festlegung des Abbindeendes abhängt. Betrachtet man nur das Schwinden zwischen 24 Stunden und 28 Tagen, ergibt sich ein Wert von -0.31‰ . Dies ist exakt der gleiche Wert, welcher in der gleichen Zeitspanne nach SIA 262/1, Anhang F an abgeklebten Prismen gemessen wurde (-0.31‰). Es ergibt sich somit eine sehr gute Übereinstimmung der beiden Messverfahren im entsprechenden Zeitraum.

Das Schwindmass nach 364 Tagen ist bei den abgeklebten Prismen etwas kleiner als bei den nicht abgeklebten (abgeklebt -0.39‰ , nicht abgeklebt -0.44‰), was mit anfänglich zusätzlichem Trocknungsschwinden bei den nicht abgeklebten Prismen zusammenhängen dürfte. Zwischen 70 und 364 Tagen ist weist der UHFB in beiden Fällen praktisch kein Schwinden mehr auf. Zu beachten ist, dass beim Schwindmass nach SIA 262/1 die ersten 24 Stunden nicht gemessen werden und somit auch ein beträchtlicher Anteil des gesamten autogenen Schwindens ab Abbindeende nicht erfasst wird.

Zwischen 182 und 364 Tagen weist der UHFB nach wie vor ein messbares Kriechen auf. Dies ist jedoch auch bei Normalbeton üblich und die Versuche wurden deshalb trotzdem nach 364 Tagen beendet. Die Kriechzahl (=Kriechverformung / anfängliche elastische Verformung) beträgt am Versuchsende 0.81.

4. Zusammenfassung und Beurteilung

Im Zugversuch nach MB 2052, Anhang D, werden die Anforderungen an einen UHFB der Sorte UB erfüllt. Gleiches gilt mit Ausnahme der elastischen Grenzzugfestigkeit f_{Ute} auch für die Werte des Biegezugversuches nach MB 2052, Anhang E. Im Biegezugversuch weichen die Kurven schon bei verhältnismässig kleinen Verformungen von einer Geraden ab, weshalb die elastische Grenzzugfestigkeit deutlich kleiner wird als im Zugversuch. Die Zugfestigkeit ist im Biegezugversuch ebenfalls geringer als im Zugversuch, während dies für den E-Modul E_U , das Verhältnis f_{Utu}/f_{Ute} und die Dehnung bei Erreichen der Zugfestigkeit ε_{Utu} jedoch genau umgekehrt ist. Mit Ausnahme der elastischen Grenzzugfestigkeit ist die Übereinstimmung zwischen Biegezug- und Zugversuch somit relativ gut. Für die Klassifizierung wird jedoch die verhältnismässig tiefe elastische Grenzzugfestigkeit aus dem Biegezugversuch massgebend. Der UHFB kann somit gemäss Tabelle 1 sowie Ziffern D.7 resp. E.7.3 des Merkblattes SIA 2052 der **Sorte UA** zugeordnet werden:

| Kennwert | erforderlicher Mindestwert für UA | Messwert Zugversuch | Messwert Biegezugversuch | Anforderung ist |
|-----------------------|-----------------------------------|---------------------|--------------------------|-----------------|
| f_{Utek} | ≥ 7.0 MPa | 11.4 MPa | 7.9 MPa | erfüllt |
| f_{Utuk} / f_{Utek} | > 1.1 | 1.50 | 1.92 | erfüllt |
| ε_{Utu} | > 1.5 ‰ | 3.52 ‰ | 3.90 ‰ | erfüllt |
| f_{Uck} | ≥ 120 MPa | 139.7 MPa | | erfüllt |

Tab. 1: Vergleich der Anforderungen gemäss Merkblatt SIA 2052 für einen UHFB Sorte UA mit den gemessenen Werten im Zug- und Biegezugversuch sowie mit der Würfelzugfestigkeit.

In der nachfolgenden Tabelle 2 sind die weiteren Messwerte zusammengefasst, welche am gleichen UHFB bestimmt wurden, für welche jedoch im Merkblatt 2052 keine Anforderungen definiert sind.

| Kennwert | Messwert |
|--|-----------|
| E-Modul, Prismen 40 x 40 x 160 mm | 42.8 GPa |
| Biegezugfestigkeit an Prismen 40 x 40 x 160 mm | 44.2 MPa |
| Druckfestigkeit nach Biegezugversuch, Prismen 40 x 40 x 160 mm | 166.7 MPa |
| Schwindmass nach 364 Tagen, SIA 262/1, Anhang F, Prismen abgeklebt | - 0.39 ‰ |
| Schwindmass nach 364 Tagen, SIA 262/1, Anhang F, Prismen nicht abgeklebt | - 0.44 ‰ |
| Autogenes Schwinden, ASTM C 1698-09, bis 28 Tage | - 1.21 ‰ |
| Kriechzahl nach 364 Tagen, SIA 262/1, Anhang F, Prismen nicht abgeklebt | 0.81 |

Tab. 2: Zusammenfassung der weiteren Messwerte, für welche im Merkblatt SIA 2052 keine Anforderungen definiert sind.

Anhang

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



Abb. A1: Prüfkörper 1 – 3 nach der Prüfung. PK2 = Riss ausserhalb $l_{mes,1}$.



Abb. A2: Prüfkörper 4 – 6 nach der Prüfung. PK4 und PK6 = 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. **5214016786**

Datum: 11.09.2017

Einachsiger Zugversuch

Norm: SIA 2052, Anhang D

Serienbezeichnung: Versuch 2 an der Empa

Prüfer: kap

Herstelldatum: 14.08.2017

Faserdosierung: - kg/m³

Prüfdatum: 11.09.2017

Fasertyp: -

Probenalter: 28 Tage

Eingangs-Nr.: 726

Bemerkungen: PK 2, 4 und 6 Riss ausserhalb lmes1

| Prüfkörper Bezeichnung | Länge L [mm] | Breite b [mm] | Dicke d [mm] | f _{Ute} [MPa] | zugeh. Dehnung [‰] | E _U [GPa] | f _{Utu} [MPa] | ε _{Utu} [‰] | f _{Utu} /f _{Ute} [-] |
|------------------------|--------------|---------------|--------------|------------------------|--------------------|----------------------|------------------------|----------------------|--|
| 1 | 560 | 49.4 | 29.3 | 12.1 | 0.30 | 41.0 | 18.6 | 4.07 | 1.54 |
| 2 | 560 | 49.8 | 29.3 | 12.4 | 0.29 | 41.1 | 17.4 | 3.38 | 1.40 |
| 3 | 560 | 49.3 | 29.3 | 12.0 | 0.33 | 39.2 | 16.5 | 3.44 | 1.38 |
| 4 | 560 | 49.7 | 29.4 | 11.4 | 0.27 | 41.8 | 16.0 | 3.18 | 1.40 |
| 5 | 560 | 49.3 | 29.6 | 10.9 | 0.27 | 39.8 | 17.2 | 3.63 | 1.57 |
| 6 | 560 | 49.5 | 29.5 | 9.9 | 0.23 | 41.8 | 16.8 | 3.43 | 1.70 |
| Mittelwert | 560 | 49.5 | 29.4 | 11.4 | 0.28 | 40.8 | 17.1 | 3.52 | 1.50 |
| Standardabw. | 0 | 0.2 | 0.1 | 0.9 | 0.03 | 1.1 | 0.9 | 0.3 | 0.15 |

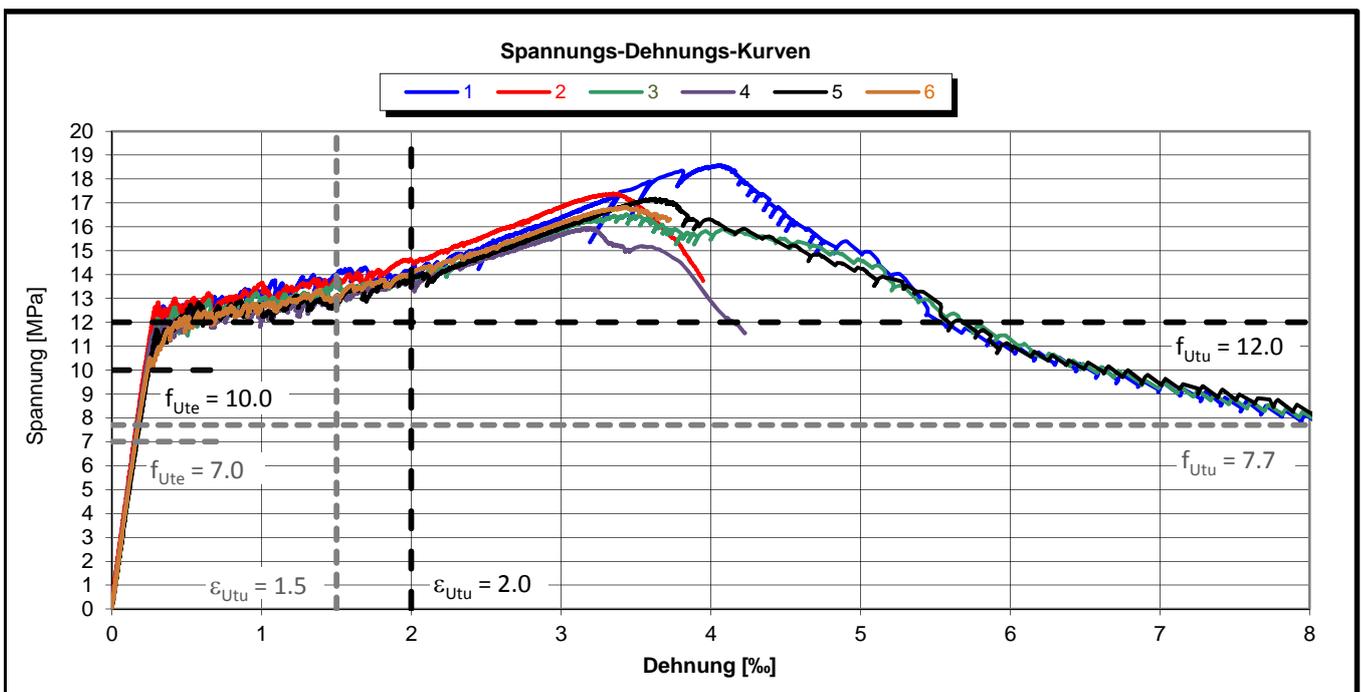
Legende:

f_{Ute}: elastische Grenzzugfestigkeit

f_{Utu}: Zugfestigkeit

E_U: Elastizitätsmodul

ε_{Utu}: Dehnung bei max. Spannung



Legende:

----- Grenzwerte f_{Ute}, f_{Utu} und ε_{Utu} für einen UHFB der Sorte UA

----- Grenzwerte f_{Ute}, f_{Utu} und ε_{Utu} für einen UHFB der Sorte UB

Datum :

Unterschrift :

Prüfprotokoll

(gilt nur zusammen mit dem Berichtsdeckblatt)

Beilage 2

Bericht Nr.

5214016786

Datum:

11.09.2017

Biegezugprüfung

Norm: SIA 2052, Anhang E

Serienbezeichnung: Versuch 2 an der Empa

Prüfer: kap

Herstelldatum: 14.08.2017

Faserdosierung: - kg/m³

Prüfdatum: 11.09.2017

Fasertyp: -

Probenalter: 28 Tage

Eingangs-Nr.: 726

Bemerkungen:

| Prüfkörper Bezeichnung | Länge L [mm] | Breite b [mm] | Dicke d [mm] | Rohdichte [kg/m ³] | Maximalkraft [kN] | zugeh. Verf. [mm] | f _{Utu} [MPa] | f _{Ute} [MPa] | zugeh. Verf. [mm] | E _U [GPa] | f _{Utu} /f _{Ute} [-] | ε _{Utu} [‰] |
|------------------------|--------------|---------------|--------------|--------------------------------|-------------------|-------------------|------------------------|------------------------|-------------------|----------------------|--|----------------------|
| 1 | 500 | 99.5 | 29.4 | 2'513 | 7.0 | 5.15 | 13.1 | 8.0 | 0.22 | 43.7 | 1.64 | 4.42 |
| 2 | 500 | 99.7 | 29.7 | 2'509 | 7.2 | 4.73 | 13.1 | 9.1 | 0.25 | 42.8 | 1.45 | 3.96 |
| 3 | 500 | 99.9 | 29.6 | 2'512 | 8.1 | 4.59 | 15.0 | 8.3 | 0.22 | 45.1 | 1.79 | 3.84 |
| 4 | 500 | 99.6 | 29.5 | 2'507 | 8.2 | 4.74 | 15.2 | 7.3 | 0.20 | 44.8 | 2.08 | 3.22 |
| 5 | 500 | 99.6 | 29.5 | 2'502 | 9.0 | 5.12 | 16.6 | 7.3 | 0.20 | 44.2 | 2.29 | 4.02 |
| 6 | 500 | 99.8 | 29.4 | 2'503 | 8.8 | 5.20 | 16.5 | 7.2 | 0.20 | 43.9 | 2.29 | 3.94 |
| Mittelwert | 500 | 99.7 | 29.5 | 2'508 | 8.1 | 4.92 | 14.9 | 7.9 | 0.21 | 44.1 | 1.92 | 3.90 |
| Standardabw. | 0 | 0.2 | 0.1 | 5 | 0.8 | 0.26 | 1.5 | 0.7 | 0.02 | 0.8 | 0.12 | 0.39 |

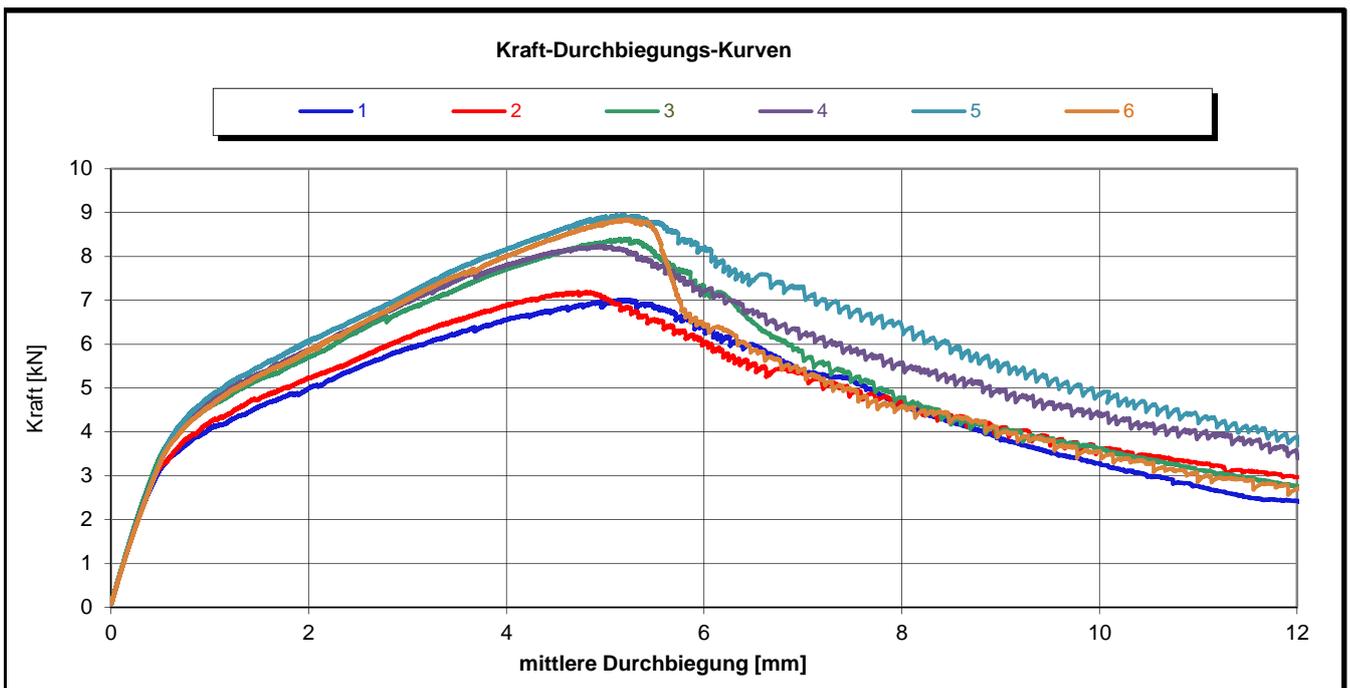
Legende:

f_{Utu}: Zugfestigkeit

E_U: Elastizitätsmodul

f_{Ute}: elastische Grenzzugfestigkeit

ε_{Utu}: Dehnung bei Erreichen der Zugfestigkeit (Verfestigung)



Datum :

Unterschrift :

Empa

Abteilung Beton / Bauchemie

Prüfprotokoll (gilt nur zusammen mit dem Berichtsdeckblatt)**Auftragsnummer:** 5214016786**Seriebezeichnung:** 0726**Prüfung:** Druckversuch

Herstelldatum: 14.08.2017

Norm: EN 12390-3:2009

Probenalter: 28

Prüfkörper: Würfel 100x100x100

Prüfdatum: 11.09.2017

Betonklasse: -----

Prüfer: kap

| Bezeichnung | Länge [mm] | Breite [mm] | Höhe [mm] | Masse [g] | Rohdichte [kg/m ³] | Höchstkraft [kN] | Festigkeit [MPa] |
|-------------|---------------|----------------|--------------|--------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|
| 13 | 100.1 | 100.1 | 98.6 | 2472 | 2503 | 1408.6 | 140.6 |
| 14 | 100.1 | 100.4 | 98.6 | 2488 | 2510 | 1399.3 | 139.2 |
| 15 | 100.7 | 100.9 | 98.6 | 2491 | 2485 | 1416.8 | 139.4 |
| Mittelwert | | | | | 2499 | | 139.7 |
| Std. Abw. | | | | | 13 | | 0.8 |

Datum: 11.09.17

Unterschrift Prüfer: 

Empa

Abteilung Beton / Bauchemie

Prüfprotokoll

(gilt nur zusammen mit dem Berichtsdeckblatt)

Auftragsnummer: 5214016786

Seriebezeichnung: 0726

Prüfung: E-Modul Verfahren B

Herstelldatum: 14.08.2017

Norm: EN 12390-13:2013

Probenalter: 28

Prüfkörper: Prisma stehend 40x40x160

Prüfdatum: 11.09.2017

Prüfer: kap

Bedingungen nach EN 12390-13: erfüllt

Nominal-Festigkeit: 140 MPa

Feld 1 Oberspannung 30.3 MPa anstatt 32.7 MPa

| Name | h [mm] | b [mm] | l [mm] | m [g] | p [kg/m ³] | f _{c,no} [MPa] | E _{c,0} [GPa] | s _b [MPa] | s _a [MPa] | e _b [%] | e _a [%] | e _d [%] | F _{br} [kN] | f _c [MPa] |
|------------|-----------|-----------|-----------|----------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| 23 | 40.0 | 40.5 | 159.7 | 644.2 | 2488 | 140.0 | 42.6 | 0.51 | 30.34 | 0.000 | 0.070 | ... | ... | ... |
| 24 | 40.0 | 40.6 | 159.8 | 646.0 | 2487 | 140.0 | 42.7 | 0.51 | 30.34 | 0.001 | 0.071 | ... | ... | ... |
| 25 | 40.0 | 40.5 | 159.8 | 643.9 | 2490 | 140.0 | 43.0 | 0.51 | 30.34 | 0.000 | 0.070 | ... | ... | ... |
| Mittelwert | | | | | 2488 | | 42.8 | | | | | | | 0.0 |
| Std. Abw. | | | | | 1 | | 0.2 | | | | | | | 0.00 |

h = Länge

f_{c,no} = Nominal-Festigkeite_a = obere Dehnung (stab.)

b = Breite

E_{c,0} = stabilisierter E-Module_d = Dehnungsdifferenz

l = Höhe

s_b = untere Spannung (stab.)F_{br} = Bruchlast

m = Masse

s_a = obere Spannung (stab.)f_c = Festigkeit

p = Rohdichte

e_b = untere Dehnung (stab.)

Datum: 11.09.17

Unterschrift Prüfer: 

Empa

Abteilung Beton / Bauchemie

Prüfprotokoll (gilt nur zusammen mit dem Berichtsdeckblatt)**Auftragsnummer:** 5214016786**Seriebezeichnung:** 0726**Prüfung:** Biegezug-Druck

Herstelldatum: 14.08.2017

Norm: EN 196

Probenalter: 28

Prüfkörper: Prisma 40x40x160

Prüfdatum: 11.09.2017

Prüfer: kap

Güteprüfung: erfüllt (6 Werte)

Stützweite: 100 mm

Belastungsart: Mittiger Lastangriff

Druckfläche: 1600 mm²

| Name | h [mm] | b [mm] | l [mm] | m [g] | p [kg/m ³] | F _B [kN] | S _B [MPa] | F _{D1} [kN] | S _{D1} [MPa] | F _{D2} [kN] | S _{D2} [MPa] |
|------------|-----------|-----------|-----------|----------|---------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 23 | 40.0 | 40.5 | 159.8 | 644.2 | 2489.2 | 19.2 | 44.4 | 260.8 | 163.0 | 267.1 | 166.9 |
| 24 | 40.0 | 40.6 | 159.8 | 645.9 | 2483.9 | 18.9 | 43.4 | 269.6 | 168.5 | 272.2 | 170.1 |
| 25 | 40.0 | 40.5 | 159.8 | 643.8 | 2488.0 | 19.3 | 44.6 | 264.2 | 165.1 | 266.8 | 166.8 |
| Mittelwert | | | | | 2487.0 | | 44.2 | | | | 166.7 |
| Std. Abw. | | | | | 2.76 | | 0.63 | | | | 2.50 |

h = Höhe

p = Rohdichte

S_{D1} = Druckfestigkeit 1

b = Breite

F_B = BiegebruchlastF_{D2} = Druckbruchlast 2

l = Länge

S_B = BiegefestigkeitS_{D2} = Druckfestigkeit 2

m = Masse

F_{D1} = Druckbruchlast 1Datum: 11.09.17 Unterschrift Prüfer: 

Empa

Abteilung Beton / Bauchemie

Prüfprotokoll (gilt nur zusammen mit dem Berichtsdeckblatt)**Auftragsnummer:** 5214016786**Seriebezeichnung:** 0726**Prüfung:** Biegezug- und Druckversuch Herstelldatum: 14.08.2017**Norm:** SN 640 461 Probenalter: 28**Prüfkörper:** Prisma 120x120x360 Prüfdatum: 11.09.2017Prüfer: kap

Stützweite: 300 mm

Belastungsart: Mittiger Lastangriff

Druckfläche: 14400 mm²

| Name | h [mm] | b [mm] | l [mm] | m [g] | p [kg/m ³] | F _B [kN] | S _B [MPa] | F _{D1} [kN] | S _{D1} [MPa] | F _{D2} [kN] | S _{D2} [MPa] |
|------------|-----------|-----------|-----------|----------|---------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 26 | 119.7 | 121.4 | 360.7 | 12902 | 2461 | 114.0 | 29.5 | 2166.0 | 150.4 | 2196.6 | 152.5 |
| Mittelwert | | | | | 2460 | | 29.5 | | | | 151.5 |
| Std. Abw. | | | | | 0 | | 0.00 | | | | 1.50 |

h = Höhe

b = Breite

l = Länge

m = Masse

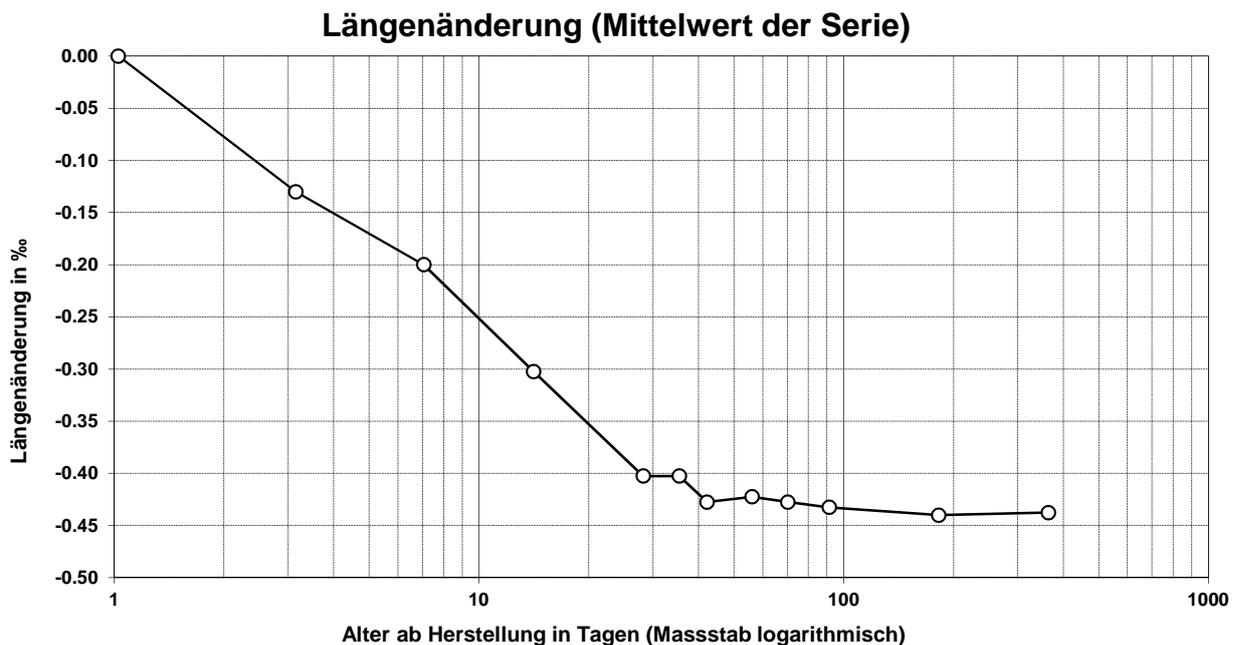
p = Rohdichte

F_B = BiegebruchlastS_B = BiegefestigkeitF_{D1} = Druckbruchlast 1S_{D1} = Druckfestigkeit 1F_{D2} = Druckbruchlast 2S_{D2} = Druckfestigkeit 2Datum: 11.09.17 Unterschrift Prüfer: 

Schwinden (nach SIA 262/1 Anhang F)

Zur Bestimmung des Schwindmasses werden an Prüfkörpern die durch den Austrocknungsprozess bei bestimmten klimatischen Bedingungen hervorgerufenen Längenänderungen in Abhängigkeit der Zeit gemessen.

| | | | |
|--------------------|-----------------------|----------------------|------------------|
| Prüfkörper: | 2 Prismen 40x40x160mm | EMPA Kontroll-Nr.: | 726 |
| Serienbezeichnung: | M1 Dry 17 + 18 | Herstelldatum/-zeit: | 14.08.2017 08:22 |
| Messbeginn: | 15.08.2017 09:00 | Alter (Stunden): | 24.6 |
| Messvorrichtung: | Ditast L = 100 mm | Klima: | 20°C 70% r.F. |
| | | Prüfer: | kap |



Schwindwert nach 28 Tagen: $\epsilon_{cs,28} = -0.40 \text{ ‰}$

Schwindwert nach 91 Tagen: $\epsilon_{cs,91} = -0.43 \text{ ‰}$

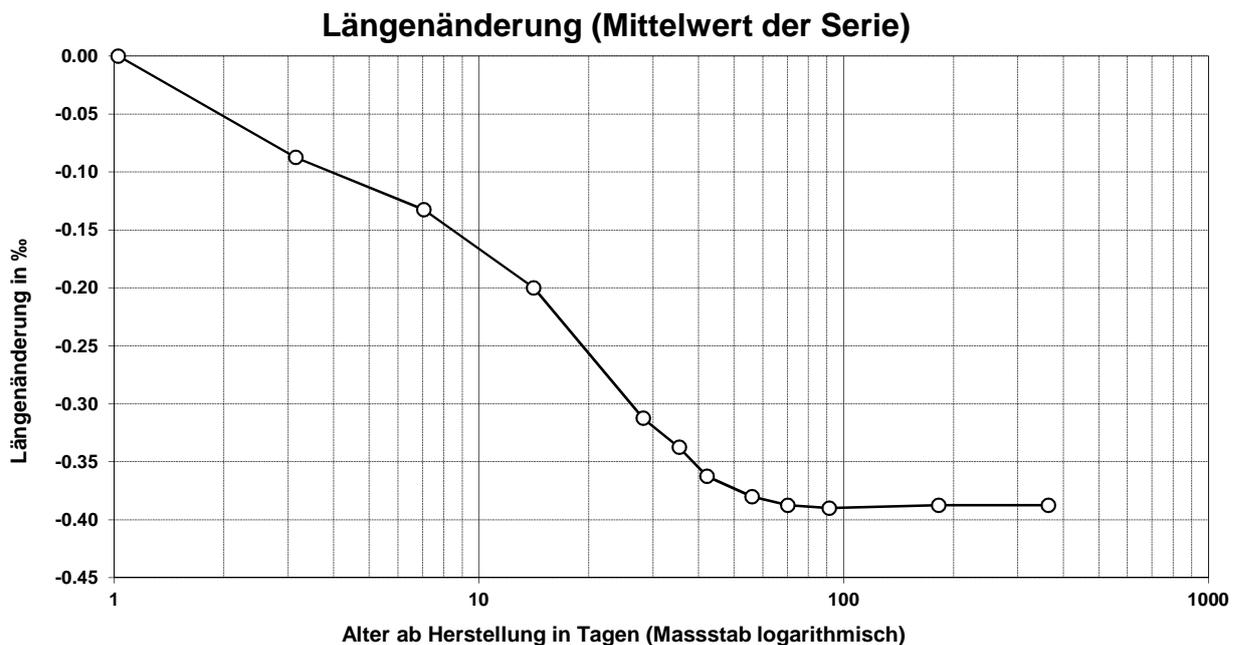
Schwindwert am Versuchsende nach 182 Tagen: $\epsilon_{cs,182} = -0.44 \text{ ‰}$

| | Messzeitpunkt [Datum] | Alter [d] | Prüfkörper 17 | Prüfkörper 18 | Mittelwerte |
|------------|---|--------------|------------------|------------------|-------------|
| | Versuchs- ergebnisse Schwinden $\epsilon_{cs(t)}$ in ‰ | 15.08.2017 | 1 | 0.00 | 0.00 |
| 17.08.2017 | | 3 | -0.13 | -0.13 | -0.13 |
| 21.08.2017 | | 7 | -0.20 | -0.20 | -0.20 |
| 28.08.2017 | | 14 | -0.30 | -0.31 | -0.30 |
| 11.09.2017 | | 28 | -0.40 | -0.41 | -0.40 |
| 18.09.2017 | | 35 | -0.40 | -0.41 | -0.40 |
| 25.09.2017 | | 42 | -0.42 | -0.44 | -0.43 |
| 09.10.2017 | | 56 | -0.42 | -0.43 | -0.42 |
| 23.10.2017 | | 70 | -0.42 | -0.44 | -0.43 |
| 13.11.2017 | | 91 | -0.43 | -0.44 | -0.43 |
| 12.02.2018 | | 182 | -0.43 | -0.45 | -0.44 |
| 13.08.2018 | | 364 | -0.43 | -0.45 | -0.44 |

Schwinden (nach SIA 262/1 Anhang F)

Zur Bestimmung des Schwindmasses werden an Prüfkörpern die durch den Austrocknungsprozess bei bestimmten klimatischen Bedingungen hervorgerufenen Längenänderungen in Abhängigkeit der Zeit gemessen.

| | | | |
|--------------------|-----------------------|----------------------|------------------|
| Prüfkörper: | 2 Prismen 40x40x160mm | EMPA Kontroll-Nr.: | 726 |
| Serienbezeichnung: | M1 Autoge 21 + 22 | Herstelldatum/-zeit: | 14.08.2017 08:22 |
| Messbeginn: | 15.08.2017 09:00 | Alter (Stunden): | 24.6 |
| Messvorrichtung: | Ditast L = 100 mm | Klima: | 20°C 70% r.F. |
| | | Prüfer: | kap |



Schwindwert nach 28 Tagen: $\epsilon_{cs,28} = -0.31 \text{ ‰}$

Schwindwert nach 91 Tagen: $\epsilon_{cs,91} = -0.39 \text{ ‰}$

Schwindwert am Versuchsende nach 91 Tagen: $\epsilon_{cs,91} = -0.39 \text{ ‰}$

| | Messzeitpunkt [Datum] | Alter [d] | Prüfkörper 21 | Prüfkörper 22 | Mittelwerte |
|------------|---|--------------|------------------|------------------|-------------|
| | Versuchs- ergebnisse Schwinden $\epsilon_{cs(t)}$ in ‰ | 15.08.2017 | 1 | 0.00 | 0.00 |
| 17.08.2017 | | 3 | -0.08 | -0.10 | -0.09 |
| 21.08.2017 | | 7 | -0.13 | -0.14 | -0.13 |
| 28.08.2017 | | 14 | -0.20 | -0.20 | -0.20 |
| 11.09.2017 | | 28 | -0.31 | -0.32 | -0.31 |
| 18.09.2017 | | 35 | -0.33 | -0.35 | -0.34 |
| 25.09.2017 | | 42 | -0.35 | -0.38 | -0.36 |
| 09.10.2017 | | 56 | -0.37 | -0.39 | -0.38 |
| 23.10.2017 | | 70 | -0.38 | -0.40 | -0.39 |
| 13.11.2017 | | 91 | -0.38 | -0.41 | -0.39 |
| 12.02.2018 | | 182 | -0.37 | -0.41 | -0.39 |
| 13.08.2018 | | 364 | -0.37 | -0.41 | -0.39 |



Technik und Forschung im Betonbau

KIBAG Management AG
Baustofflabor
Frau Ursina Jenny
Girendorf
8856 Tuggen

Wildegg, 13. Oktober 2017

Auftrag Nr. U172438-01
Prüfprotokoll Luftpermeabilität nach Norm SIA 262/1, Anhang E
SOP 3332

| | | |
|---|--|--|
| Auftraggeber | Kibag AG | |
| Bauwerk | Prüfplatte Nr. 12 | |
| Bauteil, Etappe | UHFB-Platte 60x60x7 cm, Nr. 17.214.003 | |
| Betonzusammensetzung / Eigenschaften | UHFB | |
| Herstellungsdatum des Bauteils | 14.8.2017, Eingang TFB 1.9.2017 | |
| Messung durchgeführt von (Person/Firma) | Reto Berner, TFB AG | |
| Luftpermeabilitätsmessgerät PermeaTORR | Feuchtemessgerät Tramex CME | |
| Geforderte Luftpermeabilität kTs | kTs = 10^{-16} m^2 | |
| Messung am: | 13.10.2017 | |

| | |
|--|--|
| Messtellen: 1 - 6 | |
| Anzahl Messwerte > kTs: | Konform mit kTs: Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> |
| Randbedingungen für Messungen zulässig: Ja x Nein <input type="checkbox"/> bedingt <input type="checkbox"/> wegen | |
| Messstellen: | |
| Anzahl Messwerte > kTs: | Konform mit kTs: Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> |
| Randbedingungen für Messungen zulässig: Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> bedingt <input type="checkbox"/> wegen | |

| | | | | |
|--|--|----------|--------|-------|
| Ergebnisse der Kalibrierungen | 2.3 mbar | 1.9 mbar | mbar | mbar |
| Behandlung der Oberfläche (z.B. entgraten): | Nein | | | |
| Bemerkungen (Vorhandensein von Rissen, Oberflächenschutzsystemen, etc.): | Keine Risse | | | |
| Bauteil Witterung ausgesetzt (Exposition) | Lagerung ab Eingang TFB 20 °C, 70 % r.F. | | | |
| Wetter letzten 2 Tage | 20 °C, 70 % r.F. | | | |
| Wetter Messtag | 20 °C, 70 % r.F. | | | |
| Lufttemperatur | 13 Uhr | 20 °C | 14 Uhr | 20 °C |
| Bauteiltemperatur | 13 Uhr | 20 °C | 14 Uhr | 20 °C |

| Messstelle [-] | Zentrum Messkammer | | Geräte mess-Nr. [-] | Luftpermeabilität kTi [10 ⁻¹⁶ m ²] | Betonfeuchte [M.-%] | Bemerkung |
|----------------|-----------------------|-------------------------------|---------------------|---|---------------------|-----------|
| | Abstand von [m] | Höhe ab Boden [m] | | | | |
| 1 | | | | < 0.001 | 5.0 | |
| 2 | | | | < 0.001 | 5.1 | |
| 3 | | | | < 0.001 | 4.9 | |
| 4 | | | | < 0.001 | 5.0 | |
| 5 | | | | < 0.001 | 4.9 | |
| 6 | | | | < 0.001 | 4.9 | |

Bemerkungen

Unterschrift



Beratung & Expertisen
Wildegg, 13. Oktober 2017



Beanstandungen: Der Auftraggeber hat das Recht, bei Nichterfüllung seiner Erwartungen an die erbrachten Dienstleistungen, dies bei der TFB zu beanstanden.

Vorbehalte/Einschränkungen: Die Untersuchungsergebnisse haben nur Gültigkeit für die geprüften Proben. Bitte beachten Sie auch die "Allgemeinen Geschäftsbedingungen". Dieser Bericht darf ohne vorherige Genehmigung der TFB nicht auszugsweise vervielfältigt werden.