

**SUPSI**

**Bericht RAP 10906 01**

**Auftrag Nr. 10906**

BETREFF

**BESTIMMUNG DER RADONDURCHLÄSSIGKEIT FÜR:**

**BETON FÜR WEISSE WANNE DRYTECH®  
ELASTISCHES UND EXPANDIERENDES DRYFLEX-HARZ  
DRYSET VERSCHLUßSYSTEME VON SCHALUNGSLÖCHER**

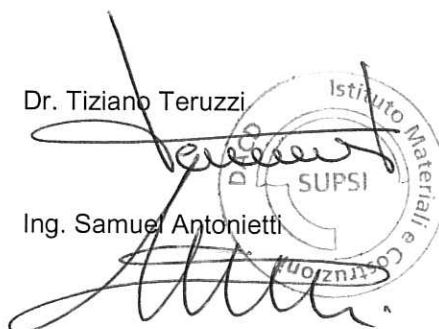
AUFTRAGGEBER

Drytech SA  
Impermeabilizzazioni  
Via Industrie 12  
CH-6930 Bedano TI

VERFASSER DES BERICHTS

Dr. Tiziano Teruzzi

Ing. Samuel Antonietti



Auftrag vom

12. März 2018

Bericht vom

27. Juni 2019

## INDEX

|           |   |   |
|-----------|---|---|
| 1         | EINFÜHRUNG .....  | 3 |
| 2         | VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DER RADONDURCHLÄSSIGKEIT ..... | 3 |
| 3         | ERGEBNISSE .....  | 4 |
| 3.1       | BETON FÜR DAS WEISSE WANNE DRYTECH® SYSTEM .....        | 4 |
| 3.2       | ELASTISCHES UND EXPANDIERENDES DRYFLEX-HARZ .....       | 5 |
| 3.3       | DRYSET VERSCHLUSSSYSTEME VON SCHALUNGLÖCHERN.....       | 5 |
| 4         | SCHLUSSFOLGERUNGEN.....                                 | 6 |
| ANHANG A1 | FOTODOKUMENTATION .....                                 | 8 |

## 1 EINFÜHRUNG

Am 12. März 2018 beauftragte die Firma Drytech SA Impermeabilizzazioni aus Bedano das Istituto Materiali e Costruzioni (IMC) der SUPSI mit der experimentellen Bestimmung der Radonundurchlässigkeit der Komponenten des Weisse Wanne Systems Drytech®, d.h. des wasserdichten Betons Drytech®, des elastischen und expandierenden DRYflex-Harzes und der DRYset Abdichtungssysteme für Schalungslöcher.

Ziel des Mandats war es, festzustellen, ob ausser dem wasserdichten Drytech Beton auch die anderen Komponenten des Weisse Wanne Systems Drytech® für Radon undurchlässig sind. Der wasserdichte Drytech Beton gilt nämlich laut der Publikation "Radon: Praxishandbuch Bau" (Radon: Praxishandbuch Bau, 1. Ausgabe, Januar 2018, Faktor Verlag, Zürich; Seite 19), bei einer Undurchlässigkeitsklasse 1 nach der SIA Norm 272 bereits a priori als eine wirksame Barriere gegen Radondurchdringung für Dicken, die größer oder gleich 25 cm sind.

Die in diesem Bericht genannten Tests wurden im Zeitraum vom 01.10.2018 bis zum 31.05.2019 mit Hilfe einer vom IMC entwickelten Diffusionskammer an Prüfkörpern durchgeführt, die von Drytech SA vorbereitet worden waren. Mangels normalisierter Methoden wurden die Radontransporteigenschaften der Komponenten des Systems Weisse Wanne Drytech® nach einem vom IMC entwickelten und validierten Verfahren bestimmt.

Die in diesem Bericht vorgestellten Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die geprüften Materialproben.

## 2 VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DER RADONDURCHLÄSSIGKEIT

Die für die Experimente verwendete Diffusionskammer besteht aus zwei Zellen (siehe Foto 1 im Anhang A1): einer Quellzelle, deren Innenluft mit Radon aus einer spezifischen Quelle angereichert ist (flow-through radon source model RN-1025; Hersteller: Pylon Electronics Inc., Ottawa, Kanada) und einer Aufnahmezelle, in der das durch die Materialprobe strömende Radon gesammelt wird. Dabei ist die Materialprobe zwischen den beiden Zellen platziert und jede der beiden Zellen ist mit einem Messgerät für Radonaktivitätskonzentration (radon and thoron measurement system model RTM 2200; Hersteller: SARAD GmbH, Dresden, Deutschland) verbunden.

Die Werte der Radonaktivitätskonzentration in den beiden Zellen, die zur Berechnung der Diffusionslänge  $R$  und des Diffusionskoeffizienten  $D$  dieses Gases verwendet werden, sind diejenigen, die im stationären Zustand gemessen werden, der typischerweise 7 bis 10 Tage nach Beginn des Experiments erreicht wird. In der Quellzelle ist der Gleichgewichtswert der Aktivitätskonzentration typischerweise  $C_{SC} = 100'000 \text{ Bq/m}^3$ . In der Aufnahmezelle variiert der Gleichgewichtswert ( $C_{SC}$ ) in Abhängigkeit von der Permeabilität der Prüfkörper, ist aber direkt proportional zur Exalationsrate  $E$  des Radons der gegenüberliegenden Oberfläche der Materialprobe. Die Proportionalitätskonstante wurde im Rahmen der Kalibriermessungen der Diffusionskammer bestimmt.

Das Verfahren zur Berechnung der Länge und des Diffusionskoeffizienten des Radon basiert auf der Annahme, dass der Diffusionsprozess durch das Fick'sche Gesetz beschrieben wird. Die partielle Differentialgleichung für die Konzentration der Radonaktivität innerhalb der Materialprobe, die dieser Hypothese entspricht, - die mit einem Glied versehen ist, der den Zerfall des Radons berücksichtigt -, wurde für den stationären Zustand unter Annahme von Randbedingungen des dritten Typs (Robin'sche Bedingungen) gelöst. Auf der Grundlage der erhaltenen Lösung wurde die Formel für die Radonexalationsrate von der Oberfläche der Materialprobe, die der Aufnahmezelle zugewandt ist, abgeleitet. Das Ergebnis ist eine Gleichung, die für die Transporteigenschaften ( $R$  oder  $D$ ) nicht algebraisch gelöst werden kann, bei der bei homogenen Materialproben, wie z.B. Betonproben, die Dicke der Probe  $d$ , die Radonexalationsrate  $E$  zur Aufnahmezelle und die Gleichgewichtswerte  $C_{SC}$  und  $C_{RC}$  der Aktivitätskonzentrationen als Berechnungsparameter erscheinen.

Für homogene Materialien ist – wie in der wissenschaftlichen Gemeinschaft allgemein anerkannt - das Kriterium der Radonundurchlässigkeit erfüllt, wenn die Dicke des Bauteils die Länge der Radondiffusion in dem Material, aus dem es hergestellt wird, um mindestens den Faktor 3 übersteigt (siehe "Radon: Praxis-Handbuch Bau", 1. Ausgabe, Januar 2018, Faktor Verlag, Zürich; Seite 32).

### 3 ERGEBNISSE

#### 3.1 BETON FÜR DAS WEISSE WANNE DRYTECH® SYSTEM

Der geprüfte Drytech® Beton für weisse Wannen ist ein Beton, der mit einem Zementtyp 32.5N CEM IV/A-V hergestellt ist. Insgesamt wurden drei Materialproben (ID: 182551, 182590 und 182591) getestet, die aus zwei verschiedenen Betonmischungen hergestellt wurden. Diese wurden im Betonwerk der HOLCIM SA in Manno produziert. Die folgende Tabelle 1 zeigt die Spezifikationen und die Eigenschaften im frischen Zustand der Betone, die zur Herstellung der Materialproben verwendet wurden.

Tabelle 1

| Probe               | Betonspezifikation nach<br>SN EN 206:2013        | MV<br>[kg/m <sup>3</sup> ] | F<br>[mm] | a <sub>eff</sub> /c<br>[-] | LP<br>[%] | Bulletin-Nr. |
|---------------------|--|----------------------------|-----------|----------------------------|-----------|--------------|
| 182551              | C30/37, XC3, D <sub>max</sub> 32, CI 0.10, S4/F4 | 2'394                      | 610       | 0.49                       | 0.9       | 4730080694   |
| 182590              | C25/30, XC3, D <sub>max</sub> 32, CI 0.10, S4/F4 | 2'372                      | 540       | 0.52                       | 0.6       | 4730081216   |
| 182591              |  |                            |           |                            |           |              |
| Legende:            |  |                            |           |                            |           |              |
| MV                  | Rohdichte  |                            |           |                            |           |              |
| F                   | Ausbreitmass                                     |                            |           |                            |           |              |
| a <sub>eff</sub> /c | effektiver Wasser-Zement-Wert                    |                            |           |                            |           |              |
| LP                  | Luftporengehalt                                  |                            |           |                            |           |              |

Für den Diffusionstest wurden zylindrische Proben mit einem Durchmesser von Ø = 150 mm und einer Nenndicke von d = 60 mm verwendet, die seitlich durch Auftragen eines Epoxidharzes geeigneter Dicke abgedichtet wurden, um einen eindimensionalen Radonfluss zu induzieren und Dispersionen zu vermeiden (siehe Foto 2).

Die Ergebnisse der Diffusionstests sind in der folgenden Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2

| Probe   | Alter [Tage] | E [10 <sup>-3</sup> x Bq/s·m <sup>2</sup> ] | D [10 <sup>-9</sup> x m <sup>2</sup> /s] | R [mm] | 3·R [mm] |
|---|--------------|---|--|--------|----------|
| 182551  | 56           | 2.58  | 2.80                                     | 36.5   | 109.5    |
| 182590  | 56           | 2.65  | 2.82                                     | 36.7   | 110.1    |
| 182591  | 127          | 1.16  | 1.65                                     | 28.0   | 84.0     |
| Legende:<br>E Radonexalationsrate<br>D Radondiffusionskoeffizient<br>R Radondiffusionslänge |              |   |  |        |          |

Die Ergebnisse zeigen, dass die beiden geprüften Betone einen Radondiffusionskoeffizienten von weniger als oder gleich 2.82 x 10<sup>-9</sup> m<sup>2</sup>/s und eine Diffusionslänge von weniger als oder gleich 36.7 mm bei einem Alter von etwa 60 Tagen und von 28.0 mm bei einem Alter von 127 Tagen aufweisen.

**Daher sind die beiden geprüften Betone bei Dicken, die größer als ca. 110 mm sind, als Radonundurchlässig anzusehen.**

### 3.2 ELASTISCHES UND EXPANDIERENDES DRYFLEX-HARZ

Die elastische und expandierende DRYflex-Harzprobe wurde von Drytech SA durch Gießen in eine Form mit Innendurchmesser  $\varnothing = 150$  mm und Tiefe  $d_{\text{DRYflex}} = 3.5$  mm vorbereitet (siehe Foto 3). Nach seiner Polymerisationsreaktion wurde die Harzprobe zwischen zwei Scheiben mit je einer Dicke von  $d_{\text{Mörtel}} = 29$  mm aus einem im Labor hergestellten Mörtel platziert, für den zuvor die Transporteigenschaften von Radongas ( $D = 37.6 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ;  $R = 133.8$  mm) bestimmt worden waren (siehe Foto 4).

Das Dreischichtsystem wurde anschließend auf der Seitenfläche versiegelt, um einen eindimensionalen Radonfluss zu induzieren und Dispersionen zu vermeiden. Die mehrschichtige Anordnung wurde gewählt, um das Harz in die Diffusionskammer klemmen zu können, ohne es zu beschädigen: Die mechanischen Eigenschaften des Harzes sind nämlich so beschaffen, dass es keine konzentrierten Lasten aushalten kann, ohne beschädigt zu werden.

Für die Berechnung der Länge und des Diffusionskoeffizienten des Radongases wurde in diesem Fall ein System von drei partiellen Differentialgleichungen (eine Gleichung für jede Komponente des Systems) für die Konzentration der Radonaktivität innerhalb der Materialprobe gelöst. Dabei wurden sowohl dieselben Randbedingungen wie für die Betonproben (Robin-Bedingungen) als auch die Kontinuitätsbedingungen für die Konzentration von Radon an den beiden Kontaktflächen zwischen den Komponenten des Systems festgesetzt. Auch in diesem Fall ist das Ergebnis eine Gleichung für die Transporteigenschaften des Harzes ( $R$  oder  $D$ ), die nicht algebraisch gelöst werden kann, wobei, ausser den schon oben genannten Parametern (siehe Kapitel 3.1), auch die Dicke und der Diffusionskoeffizient des Radons der beiden Mörtelscheiben, zwischen die das Harz platziert ist, erscheinen.

Die Ergebnisse des Diffusionstests sind in der folgenden Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3

| Probe   | Alter [Tage] | E [ $10^{-3} \times \text{Bq/s} \cdot \text{m}^2$ ] | D [ $10^{-9} \times \text{m}^2/\text{s}$ ] | R [mm] | 3-R [mm] |
|---|--------------|---|--|--------|----------|
| DRYflex-Harz  | 7            | 6.9   | 0.35                                       | 13.0   | 39.0     |
| Legende:<br>E Radonexalationsrate<br>D Radondiffusionskoeffizient<br>R Radondiffusionslänge |              |   |  |        |          |

Die Ergebnisse zeigen, dass das Harz bei einem Diffusionskoeffizientenwert von  $0.35 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  durch eine geringere Radondurchlässigkeit gekennzeichnet ist als der Beton, in den es injiziert wird. Das DRYflex-Harz ist bei einer Dicke, die grösser als 39.0 mm ist, als radonundurchlässig anzusehen.

### 3.3 DRYSET VERSCHLUSSSYSTEME VON SCHALUNGLÖCHERN

Insgesamt wurden drei verschiedene Arten von Verschlussystemen von Schalungslöchern in Stahlbetonkonstruktionen, die durch die Schalungsabstandhalter entstehen, getestet. Diese wurden aus einer axial gebohrten zylindrischen Betonprobe mit einer Dicke von  $d = 100$  mm und einem Durchmesser von  $\varnothing = 150$  mm hergestellt. Die Spezifikation des Betons, aus dem die Materialproben hergestellt werden, ist SN EN 206:2013 C30/37, XC3,  $D_{\text{max}} 32$ , CI 0.10, S4/F4. Der Beton wurde im Produktionswerk der HOLCIM SA in Manno (Herstellungsschein Nr. 47300840484) mit Zementtyp CEM IV/A-V 32.5N hergestellt. Er zeichnet sich durch folgende Eigenschaften im frischen Zustand aus: Rohdichte:  $2'375 \text{ kg/m}^3$ , Ausbreitmass: 600 mm, effektiver Wasser/Zement-Wert: 0.56, Luftgehalt: 1.3%.

Die drei getesteten Arten von Verschlussystemen sind in der folgenden Tabelle 4 beschrieben und auf den Fotos 5, 6 und 7 dargestellt.

Tabelle 4

| System | Beschreibung   |
|--------|--|
| Typ 1  | Lochdurchmesser $\varnothing = 25$ mm, elastischer Verschluss RIVESTOP Modell D24 x 50 PS  |
| Typ 2  | Lochdurchmesser $\varnothing = 20$ mm, doppelter Gummistopfen (Gesamtlänge: 2 x 21 mm), Band und DRYpox Harz auf dem Extrados (Oberfläche 11 cm x 11 cm) |
| Typ 3  | Lochdurchmesser $\varnothing = 20$ mm, doppelter Gummistopfen (Gesamtlänge: 2 x 21 mm)   |

Die Materialproben wurden in der Diffusionskammer so installiert, dass die dem Extrados entsprechende Oberfläche der Quellzelle ausgesetzt war. In der empfangenden Zelle wurde der Anstieg der Radonaktivitätskonzentration bis zum Erreichen des Gleichgewichtswertes überwacht. Dieser wurde verwendet, um die äquivalente Radonexalationsrate zu berechnen. Die Bewertung der Radonabdichtung der Verschlussysteme der Schalungslöcher erfolgte im Vergleich zur Exalationsrate, die an einer monolithischen Betonprobe gleicher Dicke wie die getesteten Materialproben gemessen wurde (der benutzte Beton ist derselbe wie derjenige der drei Verschlussysteme).

Die Ergebnisse der Tests sind in der folgenden Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5

| System   | $C_{SC,eq}$ [Bq/m <sup>3</sup> ] | E [10 <sup>-3</sup> x Bq/s·m <sup>2</sup> ] |
|--|----------------------------------|---|
| Typ 1  | 97'936                           | 0.74  |
| Typ 2  | 118'879                          | 0.75  |
| Typ 3  | 101'663                          | 0.98  |
| Beton  | 100'049                          | 0.83  |
| Legende:<br>$C_{SC,eq}$ Gleichgewichtswert der Radonaktivitätskonzentration in der Quellzelle<br>E Radonexalationsrate |                                  |   |

Die Ergebnisse zeigen, dass für die Systeme vom Typ 1 und Typ 2 die äquivalente Exalationsrate niedriger ist als die für den monolithischen Beton. Daher sind **diese Systeme als radondicht zu betrachten**.

Das System Typ 3 hingegen erwies sich als leicht durchlässig für Radon. In diesem Fall ist die äquivalente Exalationsrate höher als die bei monolithischem Beton.

## 4 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Ergebnisse der Radondurchlässigkeitstests an Drytech® Beton für weisse Wanne, DRYflex elastisches und expandierendes Harz und DRYset Verschlussysteme für Schalungslöcher lassen die folgenden Schlussfolgerungen zu:

- Die beiden im Alter von 60 Tagen geprüften Drytech® Betone für weisse Wanne haben einen Radondiffusionskoeffizienten kleiner oder gleich  $2.82 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s und eine Diffusionslänge kleiner oder gleich 36.7 mm; **sie sind für Dicken, die größer als 110 mm sind, als undurchlässig anzusehen**;
- Im Alter von 7 Tagen ist das DRYflex-Harz gekennzeichnet durch einen Radondiffusionskoeffizienten von  $0.35 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s; seine Durchlässigkeit für Radon ist **geringer** als die von Drytech® Beton für weisse Wanne, in den es injiziert wird; das Harz gilt bei Dicken, die größer als 39.0 mm sind, als radondicht;
- Die DRYset Verschlussysteme für Schalungslöcher Typ 1 und Typ 2 (Beschreibung der Typen siehe Tabelle 4 in Kapitel 3.3) gelten als **radondicht**. Das System Typ 3, hingegen, ist als leicht durchlässig anzusehen.

Auf der Grundlage der Ergebnisse der getesteten Komponenten des Weisse Wanne Systems Drytech® kann erwartet werden, dass in unterirdischen Räumen, die durch 25 cm dicke, mit diesem System hergestellten Aussenwände begrenzt sind, bei einwandfreier Beschaffenheit und bei einem den geltenden Vorschriften entsprechenden Luftwechsel, der Radonbezugswert von 300 Bq/m<sup>3</sup> gemäß der Strahlenschutzverordnung (StSV) vom 26. April 2017 (Stand 1. Februar 2019) für Räume, in denen sich Menschen regelmäßig mehrere Stunden am Tag aufhalten, oder der von der Weltgesundheitsorganisation oder dem Minergie-ECO definierte Referenzwert von 100 (- 300) Bq/m<sup>3</sup> nicht überschritten werden.

## ANHANG A1

## FOTODOKUMENTATION

Foto 1

Diffusionskammer,  
zusammen mit den beiden  
Geräten zum Messen der  
Aktivitätskonzentration  
in der Quell- und  
Aufnahmezelle und der  
Radonquelle.

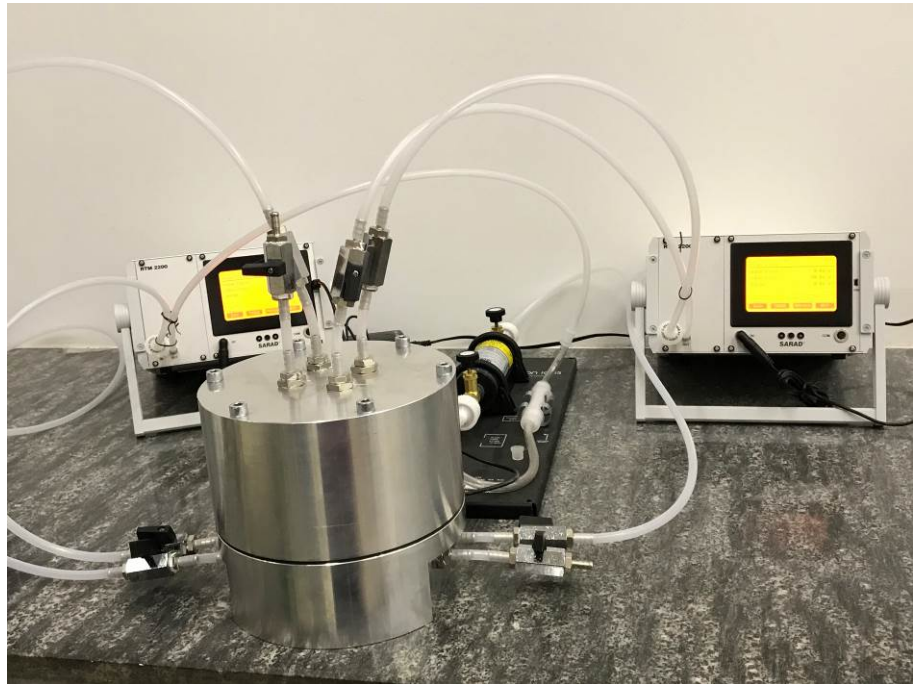


Foto 2

Betonprobe (Durchmesser  
 $\varnothing = 150 \text{ mm}$ ; Nenndicke  
 $d = 60 \text{ mm}$ ; seitlich  
abgedichtet).





## ANHANG A1

## FORTSETZUNG

Foto 3

Form mit dem noch flüssigen DRYflex-Harz und den beiden Mörtelscheiben, zwischen die diese platziert wurde.

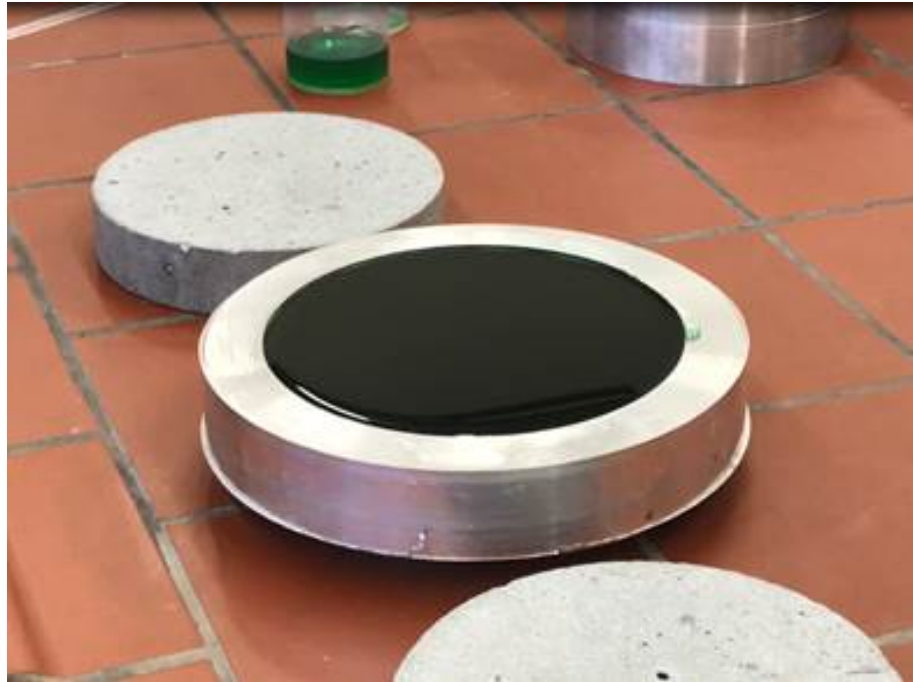


Foto 4

Komplette Materialprobe zur Messung der Transporteigenschaften des DRYflex-Harzes (vor der seitlichen Abdichtung).



**ANHANG A1**

**FORTSETZUNG**

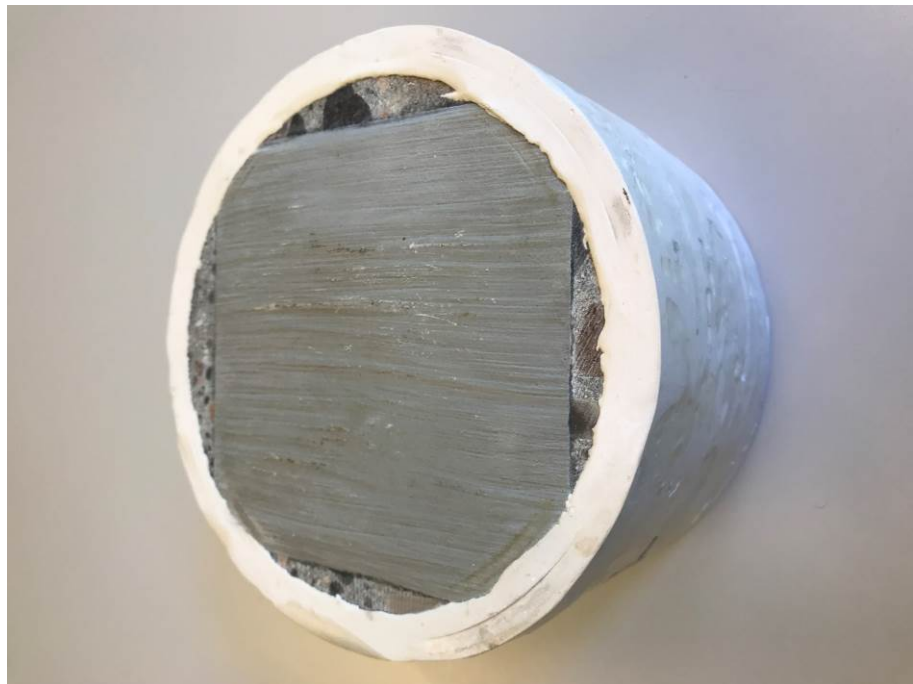
Foto 5

Verschlussystem für  
Schalungslöcher Typ 1.



Foto 5

Verschlussystem für  
Schalungslöcher Typ 2.



**ANHANG A1**

**FORTSETZUNG**

Foto 7

Verschlussystem für  
Schalungslöcher Typ 3.

