Stadt Zürich
Amt für Hochbauten

09 | 2019

Wärmedämmender Reprofiliermörtel für Sichtbeton

Schlussbericht

Fachstelle nachhaltiges Bauen

IMPRESSUM

Auftraggeberin:
Stadt Zürich
Amt für Hochbauten
Fachstelle Nachhaltiges Bauen
Amtshaus III, Lindenhofstrasse 21
8021 Zürich

Bearbeitung:
BWS Labor AG, Winterthur:
Rafael Lenz
Miriam Nydegger
Bernhard Nydegger
office@bwslabor.ch

Projektleitung:
Yvonne Züger (Stadt Zürich, AHB, FS Nachhaltiges Bauen)

Projektteam:
Armin Grieder (Stadt Zürich, AHB, FS Ingenieurwesen)
Mathias Köhler (Stadt Zürich, AFS, Denkmalpflege)
Michael Künzler (mischa badertscher architekten ag)
Michael Pöll (Stadt Zürich, AHB, FS Nachhaltiges Bauen)
Samuel Sutter (mischa badertscher architekten ag)
Bianca Wildrich (Stadt Zürich, AHB, Projektmanagement)

Download als PDF von
www.stadt-zuerich.ch/bauen2000watt-studien

Zürich, Spetember 2019

Inhaltsverzeichnis

1 Motivation 4
2 Ziel 5
3 Technische Anforderungen 6
4 Entwicklungsschritte 7
5 Gesamtbewertung 10
6 Ausblick 12
7 Anhang 14
7.1 Prüfberichte 14

1 Motivation

Die Stadt Zürich strebt die umfassende Nachhaltigkeit an, dabei gehören Qualität, Gesundheit, Denkmalschutz, Wirtschaftlichkeit und die 2000-Watt-Gesellschaft zur Selbstverständlichkeit.

Viele Sichtbetonfassaden ab den 50er Jahren sind heute sanierungsbedürftig und weisen infolge zu wenig Eisenüberdeckung und Wärmebrücken Probleme auf. Teilweise sind ganzflächige Reprofilierungen der äussersten Schicht notwendig. Die Betonästhetik und die mechanische Beständigkeit der Fassaden werden geschätzt und sind bei einigen Gebäuden mittlerweile auch denkmalgeschützt.

Gleichzeitig hat sich die Stadt Zürich per Volksentscheid zur 2000-Watt-Gesellschaft verpflichtet. Dies bedeutet unter anderem, dass die Gebäude wärmegedämmt und mit erneuerbarer Energie beheizt werden sollen. Es gilt, den Heizwärmebedarf zu optimieren, ohne dabei den sommerlichen Wärmeschutz zu vernachlässigen. Auch das Energiegesetz fordert bei einer Betonsanierung über 50% der Fläche eine Wärmedämmung.

Bei der Ertüchtigung einer Sichtbetonfassade ist bauphysikalisch eine Aussenwärmedämmung die erste Priorität. Damit gehen aber die Eigenschaften und die Ästhetik des Sichtbetons verloren, was teilweise nicht zulässig/erwünscht ist. Oft werden die Schalungsstruktur und die Farbigkeit der Originaloberfläche mit dem Reprofiliermörtel wieder abgebildet. Aus geometrischen und ästhetischen Gründen ist meist wenig bis keine zusätzliche Aufbauhöhe für ein aussen angebrachtes Material vorhanden, wie dies auch bei den Werkstattgebäuden der Stadtgärtnerei der Fall war. Bereits wenige Zentimeter Wärmedämmung haben jedoch eine grosse Wirkung um allfällige Wärmebrücken und den Komfort zu verbessern, den Heizwärmebedarf und die Vorlauftemperaturen der Heizung zu senken.

Es ist eine verpasste Chance, dass mittels Betonsanierungen bei beheizten Gebäuden nicht gleichzeitig eine wärmedämmende Funktion der Fassaden erreicht werden kann. Damit könnten viele Probleme entschärft werden. Betontechnisch gesehen stellen die beiden Anforderungen jedoch einen Widerspruch dar. Das Ziel dieser Materialentwicklung ist, innerhalb dieses Spannungsfeldes einen wärmedämmenden Reprofiliermörtel für die Sichtbetonsanierung zu finden und auf Testflächen anzuwenden.

Züricher Stadtgärtnerei mit Sichtbetonbauten im Ensembleschutz; Fotograf: Johannes Marburg

2 Ziel

Das Projektziel umfasst die Entwicklung eines wärmedämmenden Reprofiliermörtels für Beton. Um diese Vorgabe zu erfüllen, wurde ein Material gesucht, welches die Eigenschaften von Beton und einem Wärmedämmputz vereint. Dies stellt in sich einen gewissen Widerspruch dar, da Beton an sich sehr hart und schwer, ein Dämmverputz hingegen sehr weich und leicht ist. Um diese beiden Aspekte möglichst zielführend zusammenzubringen, wurden im Labor zahlreiche Ausgangsstoffe und Rezepturen betestet und geprüft.

Bislang ist gemäss Abklärungen der auf dem Markt verfügbaren Produkte kein Material vorhanden, welches analog eines Dämmputzes die Dämmung von Sichtbetonfassaden ermöglicht. Das entwickelte Material soll diese Lücke schliessen und damit die Dämmung von Sichtbetonflächen ermöglichen.

Die Anwendung des wärmedämmenden Reprofiliermörtels für Beton soll im Rahmen von Sichtbetonsanierungen dort erfolgen, wo Betonflächen neu aufgebaut oder ergänzt werden müssen. In diesem Zusammenhang kommt dem Erhalt des ursprünglichen Charakters des Sichtbetons eine hohe Bedeutung zu. Dabei stehen insbesondere auch denkmalgeschützte Betonbauten im Fokus, wo Reparaturen und Ergänzungen in der Optik und Haptik dem Bestand möglichst exakt angepasst werden müssen, aber dennoch eine Dämmwirkung zur Optimierung der energetischen Bedingungen gewünscht ist.

3 Technische Anforderungen

Die Sanierung von Betonoberflächen setzt in den meisten Fällen einen dichten, geschlossenen zementösen Reprofiliermörtel (6-60mm) ohne Lufteinschlüsse voraus, so dass der Zutritt von Feuchtigkeit, Schadstoffen und CO2 in die Struktur verhindert und die vorhandene oder erneuerte Bewehrung dauerhaft geschützt wird. Die Druckfestigkeit des verwendeten Materials ist dabei eine wichtige Eigenschaft, diese Schicht übernimmt im Verbund mit dem bestehenden Beton teilweise statische Funktionen. Die bestehenden Betone weisen Druckfestigkeiten von ca. 25-50 N/mm2 auf.

Konventionelle Reprofiliermörtel weisen keine wärmedämmende (ca. 2-3.0 W/mK) Wirkung auf. Dieser Anspruch steht auf den ersten Blick im Widerspruch zu den Eigenschaften des auf Mauerwerk angewendeten Wärmedämmputzes (diffusionsoffen, weich (Druckfestigkeit ca.0.4 N/mm2), Lufteinschlüsse, wärmedämmend (ca. 0.04-0.08 W/mK). Diese Putze enthalten Zuschläge wie Luft, Perlite, Kork, EPS oder Aerogele. Es sollte jedoch (vor allem für nicht statische Anwendungen) möglich sein, auch einen gewissen Porengehalt oder wärmedämmende Zuschläge im Reprofiliermörtel zu ergänzen.

Um die Vorgaben der Betonoptik und der Wärmedämmung zielführend zusammenbringen zu können, wurde ein Material gesucht, welches folgende Aspekte in sich vereint:

- Betonoptik und -haptik (Tonalität, Textur und Körnung)
- Möglichkeit, die Oberflächenstruktur (Schalungsstruktur) von Beton nachzuahmen
- möglichst hohe Druckfestigkeit und Härte
- möglichst geringe Wasseraufnahme und -leitfähigkeit (Korrosionsschutz der Bewehrung des Betonbestands)
- möglichst hohe Dämmwirkung (bemessen durch den Lambda-Wert)
- möglichst hoher Karbonatisierungswiderstand

Zur Verwirklichung dieser Zielvorstellungen wurden zahlreiche Materialien evaluiert und im Labor anhand von Kleinmustern beprobt, um auf einem empirischen Weg eine Rezeptur zu entwickeln, welche die Zielvorgaben möglichst umfassend erfüllen kann.

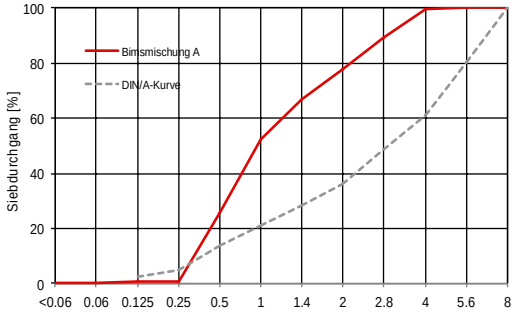
4 Entwicklungsschritte

Die Produktentwicklung erfolgte massgeblich im Labor anhand der empirischen Betestung von unterschiedlichen Ausgangsstoffen. Als Bindemittelmatrix war die Verwendung von Zement massgeblich, damit eine ausreichende Härte erreicht werden konnte. Anstelle von Sand und Kies, welche in der Betonherstellung traditionell zur Anwendung kommen, wurden hingegen unterschiedliche, rein mineralische Leichtbaustoffe verwendet. Diese Leichtbaustoffe konnten bereits ab Werk in aufgeblähten, lufthaltigen Ausgangsformen bezogen werden.

Zur Entwicklung einer passenden Rezeptur wurden unterschiedliche, am Markt erhältliche Leichtbaustoffe in Verbindung mit Zement sowie Zuschlagsstoffen und Hilfsmitteln (natürliches Eiweiss) in verschiedenen Mischverhältnissen bemustert.

Bemustert wurden Leichtbaustoffe wie Poraver
(Abbildung oben links) und Bims (Abbildung oben rechts).

Dabei wurde Wert auf die Verwendung von mineralischen und ökologisch unbedenklichen Materialien gelegt. Die grösste Schwierigkeit bestand dabei darin, ein ausreichend hartes und stabiles Produkt zu erhalten, das dennoch eine möglichst hohe Dämmwirkung und zugleich eine stark verringerte Wasseraufnahme aufweist. Dies, weil die am Markt erhältlichen mineralischen Leichtbaustoffe in der Regel relativ weich und instabil sind und zudem über eine für diesen spezifischen Bedarf zu grosse Wasseraufnahme verfügen. Diese Anforderungen konnten schliesslich durch die Selektion eines möglichst formstabilen Leichtbaustoffs und die partielle Hydrophobierung der Ausgangsmaterialien (zur Verringerung des Wasseraufnahmepotentials) angegangen werden.



Die nebenstehende Abbildung zeigt die Siebkurve einer Bimsmischung, welche für die Bemusterungen zur Anwendung gekommen ist.

Bimsgranulatmischung

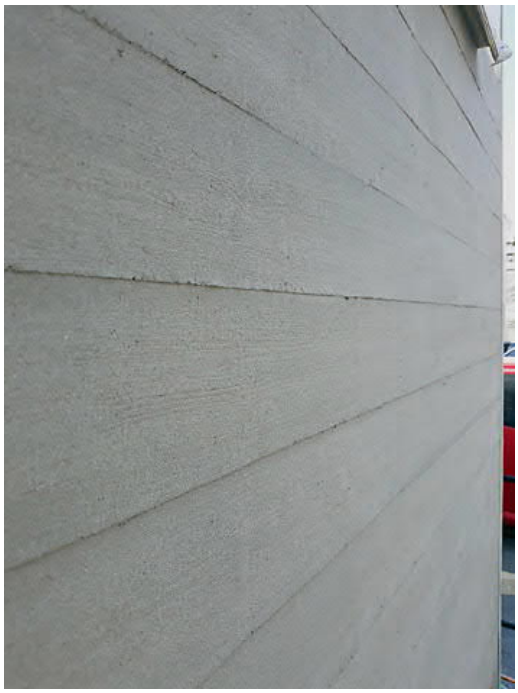
Die Materialentwicklung erfolgte in der ersten Etappe anhand von Materialselektionen und der Bemusterung von Prüfkörpern im Labor. Zur Erfolgsüberprüfung wurden verschiedene, erfolgsversprechende Rezepturen anhand von Materialprüfkörpern einer umfassenden Analyse der betontechnischen Kennwerte (Druckfestigkeit, Biegezugfestigkeit, Elastizitätsmodul, Schwinden, Frost-Tauwiderstand, Chloridwiderstand und Karbonatisierungswiderstand) sowie der Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit (Lambda-Wert) unterzogen. Die Analyseergebnisse wurden zur Erfolgsprüfung beigezogen und auf dieser Basis wurden die besten Rezepturen weiterentwickelt, bis sich ein Prototyp herauskristallisiert hatte.

Prüfkörper des Prototyps (Rezeptur 11.2) Der Prototyp wurde hinsichtlich der optimierten Prüfwerte selektioniert und in der Folge auf Musterplatten und schliesslich an der Musterwand an der Stadtgärtnerei bemustert.

Diese Rezeptur wurde zunächst in der Werkstatt auf einer grösseren Fläche bemustert, dies insbesondere, um die Antragsart evaluieren zu können, welche dann für die reale Anwendung maschinell erfolgen muss. Dazu wurden unterschiedliche Antragsarten und Maschinen (herkömmliche Putzmaschine (G4), Variojet und Putzwerfer/Mörtelspritze) betestet. Die Maschinengängigkeitsprüfungen mit der herkömmlichen Putzmaschine und dem Variojet waren nicht zufriedenstellend, da die Materialbeförderung im Schlauch erschwert war. Die Betestung mit dem Putzwerfer, oder auch Mörtelspritze genannt, war dann jedoch erfolgreich, der Antrag konnte zielführend erfolgen.

Abbildungen oben: Bemusterung des Materials mittels eines Putzwerfers

Nachdem eine Antragsart gefunden war und ein grösseres, zufriedenstellendes Werkstattmuster erstellt werden konnte, wurde die Prüfung des Materials weitergezogen und es erfolgte eine Betestung unter realitätsnahen Bedingungen an der Stadtgärtnerei Zürich. Hier wurden die Sichtbetonfassaden im Rahmen einer Betonsanierung gejettet und neu aufgebaut, was die Erstellung einer ca. 6 m^2 grossen Musterfläche mit dem wärmedämmenden Reprofiliermörtel möglich gemacht hat. Die Musterfläche wurde zunächst vorbereitet, wozu korrodierende Eisen behandelt und auf der gesamten Fläche ein Anwurf (Röfix 670 Zement-Vorspritzmörtel) angebracht wurde. Das Muster wurde in zwei Arbeitsgängen am 4. und 9. Mai 2018 mittels Putzwerfer/Mörtelspritze angetragen. Die 1. Putzschicht wurde nach vermeintlich genügender Abbindung vollflächig gekratzt und dann vor dem Antrag der 2. Schicht gut vorgenässt.



5 Gesamtbewertung

Die Erreichung des Projektziels kann als gelungen bezeichnet werden, da es möglich war, einen wärmedämmenden Reprofiliermörtel zu entwickeln, welcher über folgende Eigenschaften verfügt:

- **gute Dämmleistung (Lambda-Wert: 0.337 W/mK)**
- **an den Beton angepasste Härte (Druckfestigkeit am Prüfkörper: ca. 17 N/mm^2 und Elastizitätsmodul am Prüfkörper: 5900 bis 6100 N/mm^2)**
- **strukturelle und farbliche Anpassung des Materials an Beton**
- **verminderte Wasseraufnahme und Wasserleitfähigkeit**
- **Ermöglichung einer Oberflächengestaltung gemäss der Struktur eines geschalten Betons**

Die Prüfwerte sind den beiden Prüfberichten im Anhang zu entnehmen. Die relevanten Werte beziehen sich auf die Rezeptur 11.2, den Prototypen, welcher auch an der Stadtgärtnerei bemustert wurde.
Es liegen zwei Prüfberichte vor, weil einerseits Prüfungen an Prüfkörpern (siehe Bericht C7312-01 mit Datum 17.07.2017) und andererseits Prüfungen an einer Prüfplatte (siehe Bericht C7312-02) vorgenommen worden sind. Der gesamte Prüfbericht C7312-02 bezieht sich auf die Prüfung der Musterplatte, welche mit der Prototyp-Rezeptur 11.2 angelegt wurde.

In Bezug auf die Karbonatisierungsgeschwindigkeit sind die Anforderungen nicht erfüllt. Eine hemmende Wirkung auf die Karbonatisierungsgeschwindigkeit konnte nur geringfügig umgesetzt werden. Zugleich sind in diesem Zusammenhang auch die in der Regel vorangegangenen Korrosionsschutzmassnahmen zu berücksichtigen, die im Falle von Betonsanierungen standardmässig erfolgen und die Ausgangslage bezüglich der Gefahr von Korrosionserscheinungen der Eisen positiv beeinflussen.

Zudem sollte im Hinblick auf eine Anwendung im grösseren Rahmen die Antragsart des Materials weiter abgeklärt werden, um eine möglichst effiziente Verarbeitung zu ermöglichen.

Die nachfolgenden Aufnahmen zeigen die Musterfläche an der Stadtgärtnerei mit imitierter Schalungsstruktur. Optisch und haptisch ist eine gute Eingliederung in den Bestand gelungen. Der Materialantrag konnte mittels einer Mörtelspritze zielführend erfolgen. Bei einer Besichtigung der Musterfläche im Dezember 2018 nach ca. 7-monatiger Standzeit zeigte sich, dass einige Schwundrisse und wenige kleine Hohlstellen vorhanden waren. Gemäss einer ersten Einschätzung handelt es sich dabei um Schwundrisse, woraus zu schliessen ist, dass der Antrag in zu schichtstarken Schichten erfolgt ist und dass zwischen den Materialanträgen eine unzureichende Abbindezeit eingehalten wurde. Durch Anpassungen hinsichtlich des Materialantrags lassen sich diese Probleme beheben.

Nach dem ersten Standjahr wurde die Musterfläche der Stadtgärtnerei im Mai 2019 beprobt. Die entnommenen Bohrkerne lieferten vergleichbare Werte mit den Laborprüfkörpern jedoch mit einer deutlich höheren Streuung. Diese kann mehrheitlich auf die Applikationstechnik zurückgeführt werden. Einzelne positive Resultate lieferten die Messungen für:

- **geringe Wasseraufnahme und Wasserleitfähigkeit**
- **hoher Frosttausalzwiderstand (ca. 200 g/m^2)**
- **adäquate Werte Elastizitätsmodul – Prüfung (6100 N/mm^2)**
- **einzelne Bohrkerne mit passender Härte (Druckfestigkeit bis 17 N/mm^2)**

Die Prüfwerte sind dem Prüfbericht im Anhang zu entnehmen.

Die ermittelten Werte wurden nach Betonprüfverfahren ermittelt. Da die Situation vor Ort aber eher mit einer Antragsart im Stil einer Mörtel / Putz Applikation zu vergleichen ist, können gewisse Parameter / Prüfungen nicht übernommen werden. Zum Beispiel konnte die Haftzugfestigkeit des Materials nicht bestimmt werden, da der Bruch an der schwächsten Stelle erfolgt und diese klar zwischen Reprofilierungsmörtel und Beton des Bestands resp. im Anwurf situiert ist.

Die Prüfwerte für den Karbonatisierungkoeffizienten sind für eine alkalische Schutzfunktion der Armierungseisen deutlich zu hoch. Der geringe Widerstand ergibt sich einerseits aus der geringen Materialdichte und andererseits aus dem hohen Porenvolumen. Die Applikation des Materials kann ebenfalls für den geringen Wert mitverantwortlich sein, da in der tieferliegenden Materialschicht deutliche Hohlräume / Lufteinschlüsse erkennbar sind.

Im Weiteren konnte eine grosse Streuung der Prüfergebnisse festgestellt werden. Diese konnte ebenfalls auf die Verarbeitung zurückgeführt werden, da zwischen den geprüften Bohrkernen augenfällige Unterschiede (hauptsächlich in der tieferliegenden Materialschicht) auszumachen sind.

6 Ausblick

An der Musterfläche der Stadtgärtnerei wurde nach ca. einjähriger Standzeit eine eingehende Prüfung der Musterfläche mit Untersuchung von Materialproben durchgeführt, um ein definitives Fazit hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit des wärmedämmenden Reprofiliermörtels abgeben zu können. Aufgrund dieser Ergebnisse kann die Zweckmässigkeit des Reprofilierungsmörtels weiter bestätigt, aber nicht in allen Punkten als zufriedenstellend taxiert werden.

Die Maschinengängigkeit des wärmedämmenden Reprofilierungsmörtels sollte dahingehend optimiert werden, dass anstelle eines Putzwerfers o.ä. eine gängige Maschine z.B. Varia Jet verwendet werden kann. Dies würde einerseits die Homogenität fördern und andererseits die Wirtschaftlichkeit der Applikation deutlich verbessern. Um die jetzt verwendete Rezeptur diesbezüglich weiterzuentwickeln, empfiehlt sich die Zusammenarbeit mit einem Putzhersteller oder eventuell auch einem Maschinenhersteller.

Einsatzgebiet des aktuellen Materials ist die nicht statische Reprofilierung von Sichtbeton mit wärmedämmender Funktion, ohne Schutz der Armierung.

Die Vorteile der jetzt vorliegenden Rezeptur ergeben sich einerseits aus dem Bindemittel «Zement» - andererseits aus der eruierten Körnung. Als veränderbare Parameter kommen das Bindemittel sowie etwaige Füll- und Hilfsstoffe in Frage. Durch die Anpassung des Bindemittels kann der Reprofilierungsmörtel zum Beispiel an die Härte des Untergrunds angepasst werden (siehe Tabelle unten). Im Weiteren könnte durch geeignete Hilfsstoffe oder Vergütungen z.B. dem hohen Karbonatisierungskoeffizienten entgegengewirkt werden. Auch die Körnung des Materials könnte verändert werden (z.B. differente Optik, höhere Materialdichte, gasdichte Körnung) dies würde aber zu teils stark abweichenden Materialeigenschaften im Vergleich zu dem wärmedämmenden Reprofilierungsmörtel führen.

Es ist bereits möglich das entwickelte Material ohne Anpassungen im Bereich von bestehenden harten Verputzaufbauten zum Beispiel in Sockelzonen oder Kellerräumen zur Anwendung zu bringen. Dies weil es einerseits eine relativ gute Dämmleistung erbringt und andererseits in besonders durch Feuchtigkeit und Salzkristallisationsdrücke belasteten Zonen ein offenporiges und dennoch widerstandsfähiges Material darstellt.

Durch Anpassungen der Bindemittelzusammensetzung kann das Produkt zudem wie in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt, in der Härte an unterschiedliche Ausgangssituationen angepasst werden.

Somit steht mit dieser Produktentwicklung ein flexibler Dämmverputz zur Verfügung, welcher sich mehrheitlich für stark belastete Bauteile eignet.

Hauptbindemittel als Variable zur Anpassung der Härte an den Untergrund (Grundmaterial Bimsgemisch)						
Bindemittel	**Zement**	**Weisszement**	**Kalk und Weisszement**	**Kalk und hydr. Kalk**	**Kalk**	ev. weitere
Eigenschaft	hart, dicht & wider-standfähig	wie Zement zusätzlich aber salzarm	weicher	weich	weich, denkmal-pflegerisch	
Farbe	grau	weiss	grau/beige oder weiss	beige	weiss	
einfärben	möglich	gut möglich	gut möglich	möglich	gut möglich	
Einsatz	- Beton-Instandstellung - Sockel (hart)	- gleicher Einsatz wie mit Zement - Sockel (hart)	- Sockel (weicher)	- Keller - Sockel im Altbau	- Innen und Aussen Dämmung im Altbau	

Zudem könnte in einem weiterführenden Schritt anhand von neuen Testreihen und Anpassungen der Materialzusammensetzung der Feststoffe versucht werden, den Karbonatisierungskoeffizienten zu verbessern, wobei dies unter Umständen negative Auswirkungen auf die Dämmleistung haben wird. Wenn das Produkt wärmedämmender Reprofiliermörtel für Sichtbeton weiterentwickelt werden soll, müssen die gewünschten Leistungen (Optik, Härte, Wärmedämmung und Karbonatisierungskoeffizient) gegeneinander abgewogen werden, um zu versuchen das Produkt so auszutarieren, dass auf allen Gebieten möglichst gute Leistungen erbracht werden können. Hier besteht insbesondere beim Karbonatisierungskoeffizienten noch Handlungsbedarf, da die erwartete Leistung nicht erbracht werden konnte.

7 Anhang

7.1 Prüfberichte

TecnoTest AG / Versuche Reprofiliermörtel mit Bimsstein C7312-01 / Berichtdatum 17.07.2017

TecnoTest AG / Versuche Reprofiliermörtel mit Bimsstein / Prüfbericht C7312-02 / Berichtdatum 23.02.2018

TecnoTest AG / Vorversuch mit Bimssteinbeton Prüfbericht C7545-01 / Berichtdatum 09.07.2019

tecnotest ag

Prüfbericht

C7312-01

Auftraggeber	BWS Labor AG 8408 Winterthur
Auftrag erteilt durch	Auftraggeber
Bauwerk/Bauteil	Versuche Reprofiliermörtel mit Bimsstein
Gegenstand/Zweck	Musterprüfkörper und Prismen 40/40/160 mm Porosität, Frosttausalzwiderstand, Biegezug- und Druckfestigkeit

Auftrags-, Prüfungs- und Probedaten

Auftragserteilung	02.06.2017 durch Herrn Nydegger, BWS Labor AG Winterthur
Unterlagen/Angaben	Keine
Probenanlieferung	02.06.2017 durch Post
Art der Proben	4 Musterprüfkörper ca. 100/100/34 mm und 8 Prismen 40/40/160 mm
Bezeichnung	11.1, 11.2, 11.4 und 14.5
Wareneingangs-Nr.	23780
Prüfverfahren	Porosität PC004 (nicht akkr. Pr.) Frosttausalzwiderstand PC042 (akkr. Pr.) Biegezugfestigkeit PC054 (akkr. Pr.) Druckfestigkeit (akkr. Pr.)
Bemerkungen	Keine

		Seite
Prüfergebnisse	Porosität	2
	Frosttausalzwiderstand	3
	Biegezugfestigkeit	4-5
	Druckfestigkeit	6-9

Sachbearbeiterin	Laura Calabrese
Leiter Prüfstelle	Aldo Rancati

Auftrag vom	02.06.2017
Berichtdatum	17.07.2017

Der Prüfbericht enthält 9 Seiten. Alle Ergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die oben erwähnten Proben.
Ohne schriftliche Genehmigung der Tecnotest AG darf der vorliegende Bericht nicht auszugsweise veröffentlicht werden.

Porosität

Ergebnisblatt

Grundlage: SIA 162/1:1989, Prüfung Nr. 7 (ungültige Norm)
Tecnotest Prüfanweisung PC004

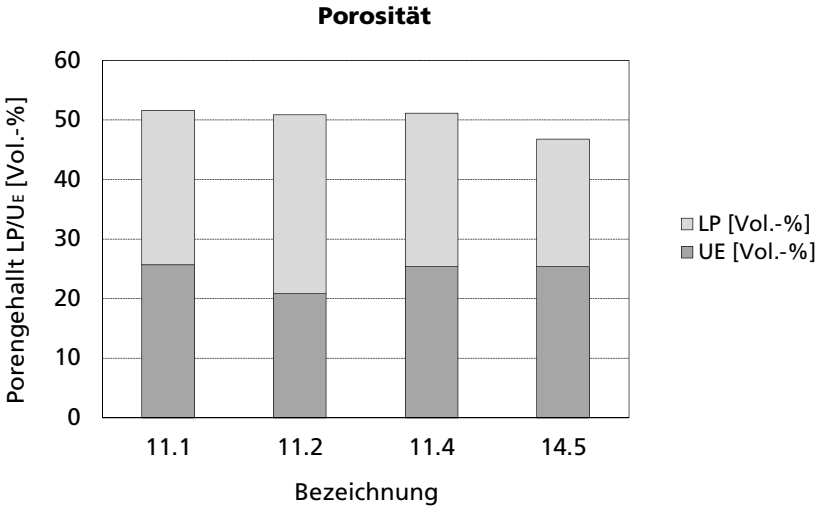
Auftrag: C7312-01
Wareneingang: 23780

Bauteil: Musterprüfkörper
Prüfkörper: Ausschnitt aus Musterprüfkörper
Betonsorte: Reprofiliermörtel mit Bimsstein
Prüfbeginn: 12.06.2017
Alter: Keine Angabe
Bemerkungen: Keine

Bezeichnung	**U_B** [Vol%]	**U_E** [Vol%]	**n** [Vol%]	**LP** [Vol%]	**ρ_{R110}** [kg/m³]	**ρ_{110}** [kg/m³]	**FS** [-]
11.1	5.15	25.69	51.61	25.92	909	1878	2.09
11.2	6.60	20.84	50.89	30.05	920	1873	2.17
11.4	7.09	25.37	51.13	25.76	920	1883	2.09
14.5	4.61	25.44	46.77	21.33	815	1532	2.05
Mittelwert	5.86	24.34	50.10	25.76	891	1791	2.10

Legende:

U_B:	Wassergehalt zu Beginn	ρ_{R110}:	Trockenrohdichte
U_E:	Kapillarporen	ρ_{110}:	Dichte des Betons
n:	Gesamtporosität	FS:	Frostbeständigkeit
LP:	Luftporengehalt		



Frost-Tausalzwiderstand

Grundlage: SIA 262/1: 2013, Anhang C
Tecnotest Prüfanweisung PC042

Ergebnisblatt
Auftrag: C7312-01
Wareneingang: 23780

Bauteil:	Musterprüfkörper
Betonsorte:	Reprofiliermörtel mit Bimsstein
Prüfkörper:	Quader aus Musterprüfkörper
Prüfbeginn:	20.06.2017
Alter:	Keine Angabe
Art der Oberfläche:	glatt bis leicht rau
Wasserlagerung:	7 Tage
Prüfbedingungen:	1 Temperaturwechsel pro 12 Std. von -15 °C bis +15 °C
Bemerkungen:	Prüfkörper 11.4 teilweise undicht.

Bezeichnung	**Prüffläche** [cm²]	**Rohdichte** [kg/m³]	**Δm_6** [g/m²]	**Δm_{14}** [g/m²]	**Δm_{28}** [g/m²]	**m** [g/m²]
11.1	68.9	945	20	100	300	400
11.2	68.5	939	10	10	20	40
11.4	66.3	941	40	20	20	90
14.5	66.9	834	50	400	400	800
Mittelwert	67.6					342
Gerundeter Mittelw.						**300**
Standardabweichung						367
Mittelwert $\Delta m_6 + \Delta m_{14}$						151
Mittelwert Δm_{28}						191

Δm_6: abgelöste Betonmasse nach 0-6 Zyklen
Δm_{14}: abgelöste Betonmasse nach 6-14 Zyklen
Δm_{28}: abgelöste Betonmasse nach 14-28 Zyklen
m: abgelöste Betonmasse nach insgesamt 28 Zyklen

Augenscheinprüfung (relevant ist der Probekörper mit der grössten Abwitterung)

Nach 6 Zyklen:	punktuelle Abwitterung
Nach 14 Zyklen:	punktuelle Abwitterung
Nach 28 Zyklen:	flächige Abwitterung

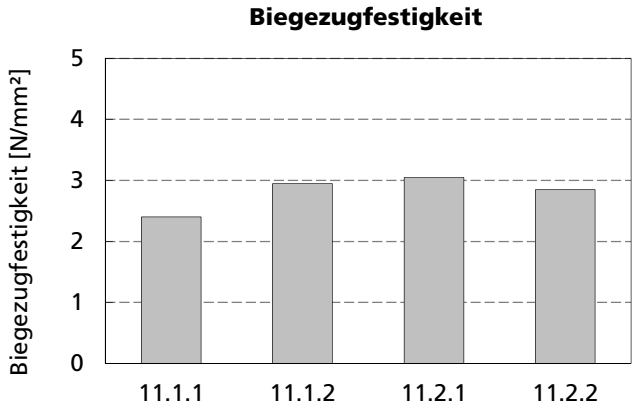
Biegezugfestigkeit

Grundlage: SN EN 13892-2:2002
Tecnotest Prüfanweisung PC054
Lastart: Prüfung mit einer Einzellast

Ergebnisblatt
Auftrag: C7312-01
Wareneingang: 23780

Bauteil: Musterprismen
Material: Reprofiliermörtel mit Bimsstein
Prüfkörper: Prismen 40/40/160 mm
Herstelldatum: Keine Angabe
Prüfdatum: 12.06.2017
Alter: Keine Angabe
Lagerung: 10 Tage bei 20 °C / 50 % r.F.
Belastung: Geschwindigkeit: 50 N/s
Bemerkung: Keine

Bezeichnung	**Stützweite** [mm]	**Bruchkraft** [kN]	**Biegezugfestigkeit** [N/mm²]	**Rohdichte** [kg/m³]
11.1.1	100	1.01	2.40	940
11.1.2	100	1.24	2.95	940
11.2.1	100	1.31	3.05	940
11.2.2	100	1.18	2.85	940



	Biegezugfestigkeit	**Rohdichte**
Anzahl Werte n	4	4
Mittelwert x	2.8 N/mm²	940 kg/m³

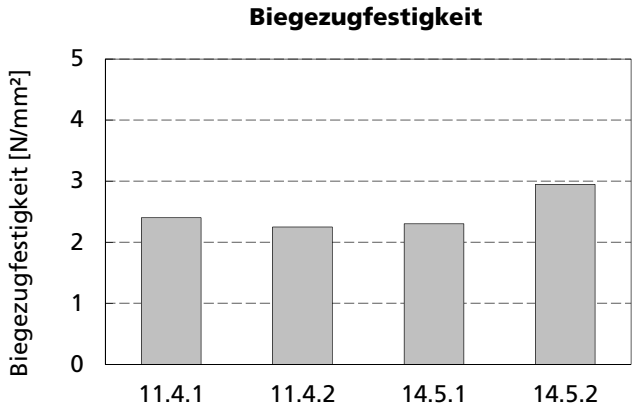
Biegezugfestigkeit

Grundlage: SN EN 13892-2:2002
Tecnotest Prüfanweisung PC054
Lastart: Prüfung mit einer Einzellast

Ergebnisblatt
Auftrag: C7312-01
Wareneingang: 23780

Bauteil: Musterprismen
Material: Reprofiliermörtel mit Bimsstein
Prüfkörper: Prismen 40/40/160 mm
Herstelldatum: Keine Angabe
Prüfdatum: 12.06.2017
Alter: Keine Angabe
Lagerung: 10 Tage bei 20 °C / 50 % r.F.
Belastung: Geschwindigkeit: 50 N/s
Bemerkung: Keine

Bezeichnung	**Stützweite** [mm]	**Bruchkraft** [kN]	**Biegezugfestigkeit** [N/mm²]	**Rohdichte** [kg/m³]
11.4.1	100	1.02	2.40	930
11.4.2	100	0.96	2.25	930
14.5.1	100	0.97	2.30	820
14.5.2	100	1.24	2.95	810



	Biegezugfestigkeit	**Rohdichte**
Anzahl Werte n	4	4
Mittelwert x	2.5 N/mm²	870 kg/m³

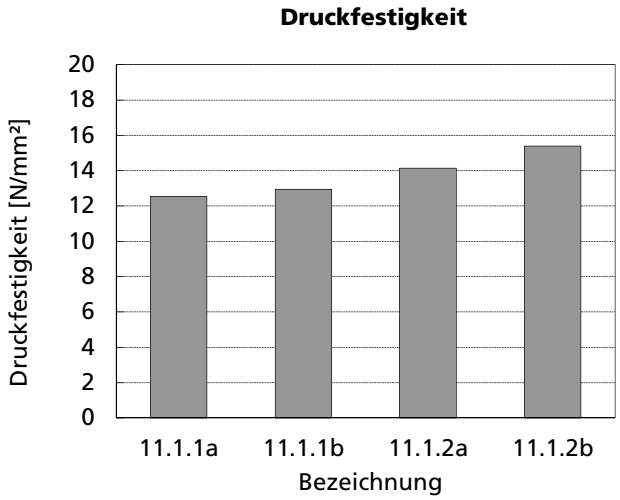
Druckfestigkeit nach Biegezugprüfung

Ergebnisblatt
Auftrag: C7312-01
Wareneingang: 23780

Grundlage: SN EN 13892-2:2002
Tecnotest-Prüfanweisung PC048

Bauteil:	Musterprismen
Prüfkörper:	Prismenenden nach Biegezugprüfung
Herstelldatum:	Keine Angabe
Prüfdatum:	12.06.2017
Alter:	Keine Angabe
Belastung:	Geschwindigkeit: 2400 N/s
Bemerkungen:	Keine

Bezeichnung	**Fläche** [mm²]	**Druckfestigkeit** [N/mm²]	**Rohdichte** [kg/m³]	**Bemerkungen**
11.1.1a	1601	12.55	940	
11.1.1b	1601	12.95	940	
11.1.2a	1599	14.15	940	
11.1.2b	1599	15.40	940	



	Druckfestigkeit	**Rohdichte**
Anzahl Werte n	4	4
Mittelwert x	13.8 N/mm²	940 kg/m³

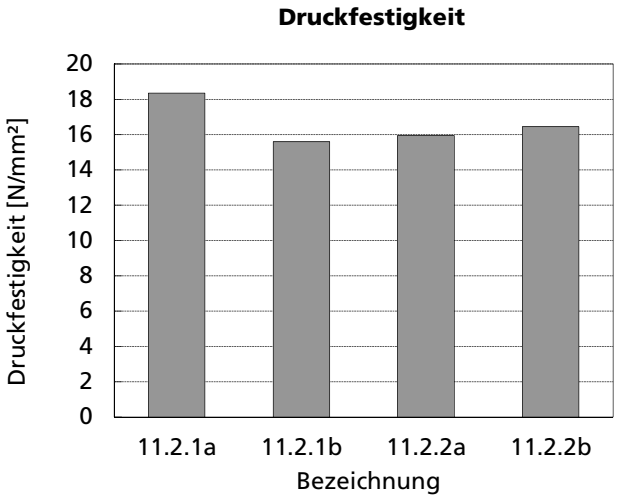
Druckfestigkeit nach Biegezugprüfung

Ergebnisblatt
Auftrag: C7312-01
Wareneingang: 23780

Grundlage: SN EN 13892-2:2002
Tecnotest-Prüfanweisung PC048

Bauteil: Musterprismen
Prüfkörper: Prismenenden nach Biegezugprüfung
Herstelldatum: Keine Angabe
Prüfdatum: 12.06.2017
Alter: Keine Angabe
Belastung: Geschwindigkeit: 2400 N/s
Bemerkungen: Keine

Bezeichnung	**Fläche** [mm²]	**Druckfestigkeit** [N/mm²]	**Rohdichte** [kg/m³]	**Bemerkungen**
11.2.1a	1616	18.35	940	
11.2.1b	1616	15.60	940	
11.2.2a	1608	15.95	940	
11.2.2b	1608	16.45	940	



	Druckfestigkeit	**Rohdichte**
Anzahl Werte n	4	4
Mittelwert x	16.6 N/mm²	940 kg/m³

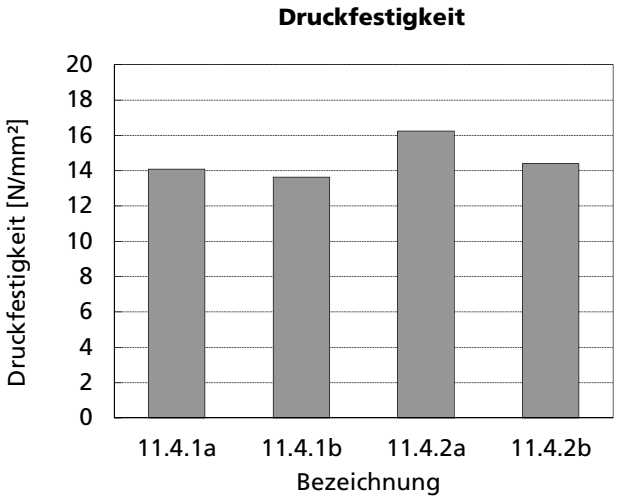
Druckfestigkeit nach Biegezugprüfung

Ergebnisblatt
Auftrag: C7312-01
Wareneingang: 23780

Grundlage: SN EN 13892-2:2002
Tecnotest-Prüfanweisung PC048

Bauteil: Musterprismen
Prüfkörper: Prismenenden nach Biegezugprüfung
Herstelldatum: Keine Angabe
Prüfdatum: 12.06.2017
Alter: Keine Angabe
Belastung: Geschwindigkeit: 2400 N/s
Bemerkungen: Keine

Bezeichnung	**Fläche** [mm²]	**Druckfestigkeit** [N/mm²]	**Rohdichte** [kg/m³]	**Bemerkungen**
11.4.1a	1623	14.10	930	
11.4.1b	1623	13.65	930	
11.4.2a	1619	16.25	930	
11.4.2b	1619	14.40	930	



	Druckfestigkeit	**Rohdichte**
Anzahl Werte n	4	4
Mittelwert x	14.6 N/mm²	930 kg/m³

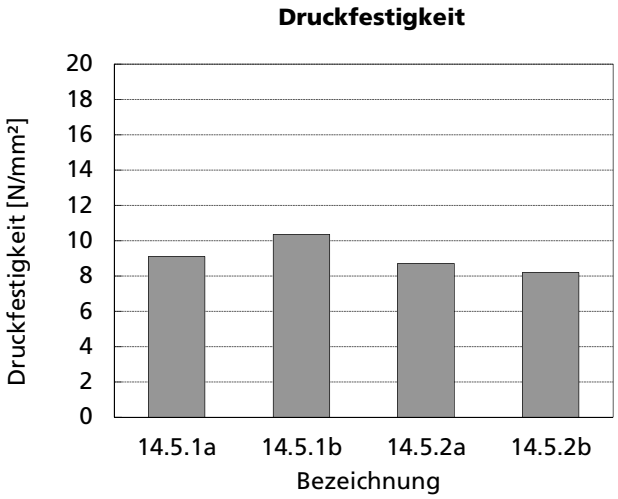
Druckfestigkeit nach Biegezugprüfung

Ergebnisblatt
Auftrag: C7312-01
Wareneingang: 23780

Grundlage: SN EN 13892-2:2002
Tecnotest-Prüfanweisung PC048

Bauteil:	Musterprismen
Prüfkörper:	Prismenenden nach Biegezugprüfung
Herstelldatum:	Keine Angabe
Prüfdatum:	12.06.2017
Alter:	Keine Angabe
Belastung:	Geschwindigkeit: 2400 N/s
Bemerkungen:	Keine

Bezeichnung	**Fläche** [mm²]	**Druckfestigkeit** [N/mm²]	**Rohdichte** [kg/m³]	**Bemerkungen**
14.5.1a	1601	9.10	820	
14.5.1b	1601	10.35	820	
14.5.2a	1615	8.70	810	
14.5.2b	1615	8.20	810	



	Druckfestigkeit	**Rohdichte**
Anzahl Werte n	4	4
Mittelwert x	9.1 N/mm²	820 kg/m³

tecnotest ag

Prüfbericht

C7312-02

Auftraggeber	BWS Labor AG 8408 Winterthur
Auftrag erteilt durch	Auftraggeber
Bauwerk/Bauteil	Versuche Reprofiliermörtel mit Bimsstein
Gegenstand/Zweck	Platte, Würfel und Prismen/Laborprüfungen

Auftrags-, Prüfungs- und Probedaten

Auftragserteilung	13.09.2017 durch Herrn Nydegger, BWS Labor AG
Unterlagen/Angaben	Herstelldatum 12.09.2017
Probenanlieferung	13.09.2017 durch Herrn Nydegger
Art der Proben	1 Platte 500/500/95 mm, 7 Würfel 150 mm, 6 Prismen 120/120/360 mm
Bezeichnung	Platte, W2.1 bis W2.7, P2.1 bis 2.6
Wareneingangs-Nr.	24333
Prüfverfahren	Haftzugfestigkeit im Labor PC003 (akkr. Pr.) Elastizitätsmodul PC007 (akkr. Pr.) Schwinden PC023 (akkr. Pr.) Wasseraufnahme PC031 (akkr. Pr.) Wasserleitfähigkeit PC035 (akkr. Pr.) Frosttausalzwiderstand PC042 (akkr. Pr.) Chloridwiderstand PC057 (akkr. Pr.) Karbonatisierungswiderstand PC060 (akkr. Pr.) Wärmeleitfähigkeit durch VSH AG (nicht akkr. Pr.)
Bemerkungen	Keine

		Seite
Prüfergebnisse	Laborprüfungen Tecnotest AG	2-11
	Laborprüfungen VersuchsStollen Hagerbach AG	12

Sachbearbeiter	Silvan Bäurle
Leiter Prüfstelle	Aldo Rancati
Auftrag vom	13.09.2017
Berichtdatum	23.02.2018

Der Prüfbericht enthält 12 Seiten. Alle Ergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die oben erwähnten Proben.
Ohne schriftliche Genehmigung der Tecnotest AG darf der vorliegende Bericht nicht auszugsweise veröffentlicht werden.

Haftzugfestigkeit im Labor

Ergebnisblatt

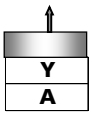
Grundlage: SN EN 1542:1999
Tecnotest Prüfanweisung PA037/PC003

Auftrag: C7312-02
Wareneingang: 24333

Bauteil:	Musterwürfel		
Prüfschicht:	Reprofiliermörtel mit Bimsstein		
Prüfkörper:	Bohrkern Ø 49.5 mm aus Würfel	Alter:	28 Tag(e)
Prüfdatum:	10.10.2017	Prüfstempel:	Ø 50 mm
Prüfvorbereitung:	Ablängen	Prüffläche:	siehe unten
Klebstoff:	Epoxidharzkleber	Kraftsteigerung:	0,05 N/(mm² s)
Bemerkungen:	Keine		

Prüfstelle	Fläche [mm²]	Bruchlast [kN]	Festigkeit [N/mm²]	Bruchtiefe [mm]	Schichtdicke [mm]	Bruchart/Bemerkungen
W2.2a	1932	1.40	0.75	109-111		100 % A
W2.2b	1924	1.66	0.85	113-120		100 % A
W2.2c	1924	1.58	0.80	145-147		100 % A
W2.3a	1924	1.59	0.85	144-146		100 % A
W2.3b	1924	1.54	0.80	101-107		100 % A
W2.3c	1932	1.24	0.65	110-118		100 % A

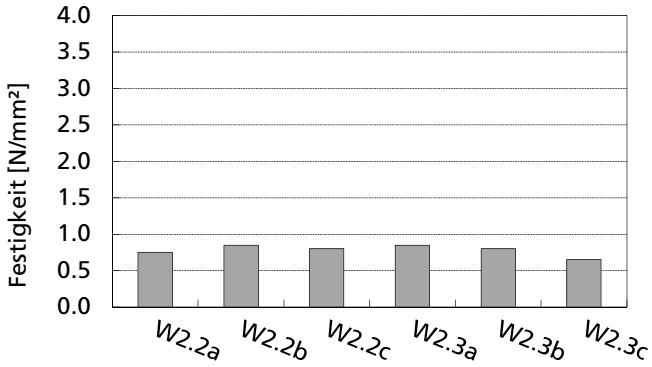
Prüfkörper



Prüfkleber
Prüfschicht

Schichten
Epoxidharzkleber
Reprofiliermörtel mit Bimsstein

Brucharten
y/A Adhäsionsbruch Klebstoff/Schicht A
A Kohäsionsbruch Schicht A
A/B Adhäsionsbruch zwischen Schicht A und B
B Kohäsionsbruch Schicht B
B/C Adhäsionsbruch zwischen Schicht B und C



Anzahl Werte:	6	
Mittelwert:	0.8	N/mm²
Standardabweichung:	0.08	N/mm²
Standardabw. in %:	10.6	%

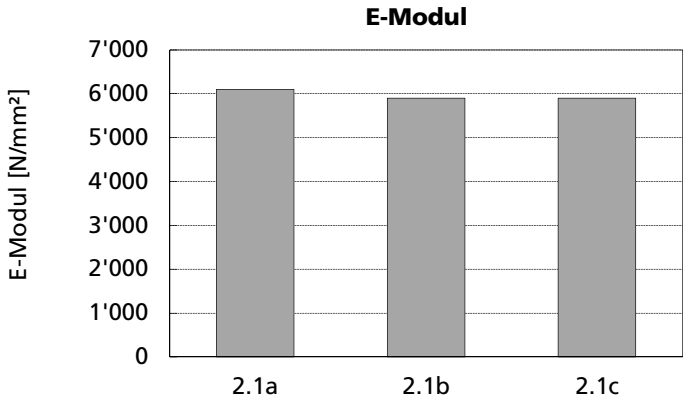
Elastizitätsmodul

Ergebnisblatt
Auftrag: C7312-02
Wareneingang: 24333

Grundlage: SN EN 12390-13:2013, Verfahren B
Tecnotest Prüfanweisung PC007

Bauteil:	Musterwürfel
Prüfkörper:	Bohrkerne aus Würfel 150 mm
Betonsorte:	Reprofiliermörtel mit Bimsstein
Lagerung:	Bis zur Prüfung im Wasser
Herstelldatum:	12.09.2017
Prüfdatum:	10.10.17
Alter:	28 Tage
Unterspannung $\sigma 1$:	0.5 N/mm²
Oberspannung $\sigma 2$:	7.0 N/mm²
Messlänge l_{tot}:	64 mm
Druckfestigkeit:	30 N/mm² (Nach Norm, da keine Angabe möglich)
Bemerkungen:	Keine

Bezeichnung	**Tiefe** [mm]	**Ø** [mm]	**Höhe** [mm]	**Fläche** [mm²]	**E-Modul** [N/mm²]	**Rohdichte** [kg/m³]	**Bemerkungen**
2.1a		49.5	117	1924	6100	1200	
2.1b		49.5	117	1924	5900	1190	
2.1c		49.5	117	1924	5900	1200	



Anzahl Werte	3	
Mittelwert	6000	N/mm²

Chloridwiderstand

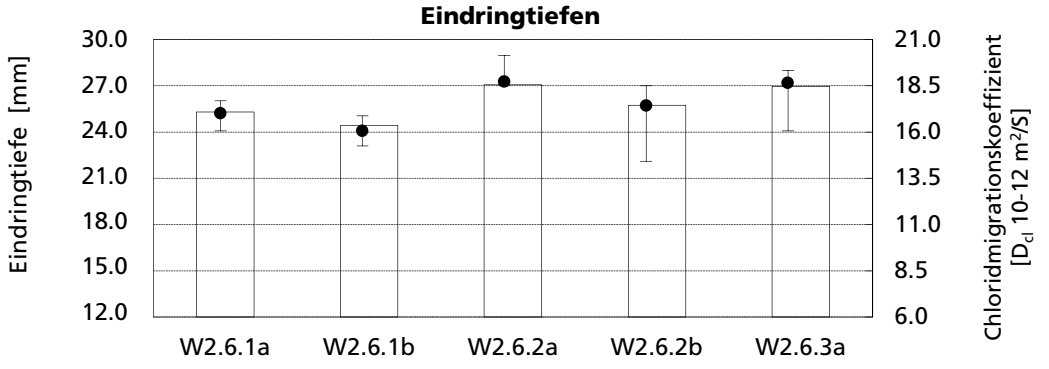
Ergebnisblatt

Grundlage: SIA 262/1:2013, Anhang B
Tecnotest Prüfanweisung PC057

Auftrag: C7312-02
Wareneingang: 24333

Bauteil:	Musterwürfel
Prüfkörper:	Bohrkern Ø ca. 50 mm aus Würfel 150 mm
Betonsorte:	Reprofiliermörtel mit Bimsstein
Herstelldatum:	12.09.2017
Prüfbeginn:	10.10.2017
Prüfdatum:	13.10.2017
Alter:	28 Tage
Bemerkungen:	Keine

Bezeichnung	**Rohdichte nass** [kg/m^3]	**Maximale Eindringtiefe** [mm]	**Mittlere Eindringtiefe** [mm]	**Chloridmigrations-koeffizient D_{cl}** [10^{-12} m^2/s]
Werte (Messung bei 20 V, 24 h)				
W2.6.1a	1193	26.0	25.2	17.0
W2.6.1b	1184	25.0	24.0	16.3
W2.6.2a	1194	29.0	27.3	18.5
W2.6.2b	1192	27.0	25.7	17.4
W2.6.3a	1193	28.0	27.2	18.4



Mittelwerte:	1191 kg/m^3	27.0 mm	25.9 mm	**17.5** 10^{-12} m^2/s
Standardabweichung:	4 kg/m^3	1.6 mm	1.4 mm	0.9 10^{-12} m^2/s
Variationskoeffizient:	0.3 %	5.9 %	5.3 %	5.3 %

Anforderungen nach SIA 262/1, Ziffer 4, Tabelle 6

$D_{Cl} \leq 10 \cdot 10^{-12} m^2/s$

Chloridwiderstand: nicht erfüllt

Frost-Tausalzwiderstand

Ergebnisblatt
Auftrag: C7312-02
Wareneingang: 24333

Grundlage: SIA 262/1: 2013, Anhang C
Tecnotest Prüfanweisung PC042

Bauteil: Musterwürfel
Betonsorte: Reprofiliermörtel mit Bimsstein
Prüfkörper: Platte 150/150/50 mm aus Würfel 150 mm
Prüfbeginn: 10.10.2017
Alter: 28 Tage
Art der Oberfläche: glatt
Wasserlagerung: 7 Tage
Prüfbedingungen: 1 Temperaturwechsel pro 12 Std. von -15 °C bis +15 °C
Bemerkungen: Prüfkörper W2.4B war bei 28 Zyklen trocken.

Bezeichnung	**Prüffläche** [cm²]	**Rohdichte** [kg/m³]	**Δm_6** [g/m²]	**Δm_{14}** [g/m²]	**Δm_{28}** [g/m²]	**m** [g/m²]
W2.4A	174.2	1051	300	90	100	500
W2.4B	174.2	1043	300	50	8	300
W2.5A	174.2	1047	200	50	20	200
Gerundeter Mittelw.	m					300
Standardabweichung	s					128
Mittelwert	$\Delta m_6 + \Delta m_{14}$					291
Mittelwert	Δm_{28}					55

Δm_6: abgelöste Betonmasse nach 0-6 Zyklen
Δm_{14}: abgelöste Betonmasse nach 6-14 Zyklen
Δm_{28}: abgelöste Betonmasse nach 14-28 Zyklen
m: abgelöste Betonmasse nach 0-28 Zyklen

Augenscheinprüfung (relevant ist der Probekörper mit der grössten Abwitterung)

Nach 6 Zyklen: flächige Abwitterung
Nach 14 Zyklen: flächige Abwitterung
Nach 28 Zyklen: flächige Abwitterung

Anforderungen nach SN EN 206:2013

Frost-Tausalzwiderstand	mittel	hoch
Expositionsklassen	XF2 (CH) und XF3 (CH)	XF4 (CH)
Grenzwerte	$m \leq 2500$ g/m²	$m \leq 200$ g/m² oder $m \leq 600$ g/m² und $\Delta m_{28} \leq (\Delta m_6 + \Delta m_{14})$

Frost-Tausalzwiderstand: hoch

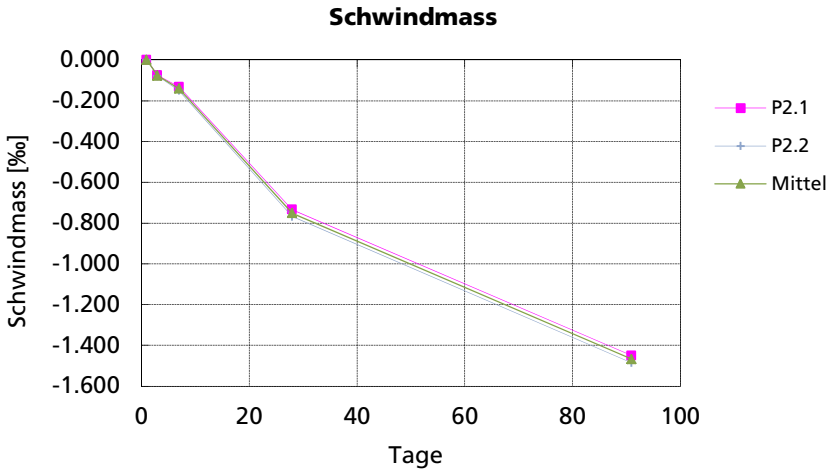
Schwinden

Grundlage: SIA 262/1 Anhang F:2013
Tecnotest Prüfanweisung PC023

Ergebnisblatt
Auftrag: C7312-02
Wareneingang: 24333

Bauteil:	Musterprüfkörper
Prüfkörper:	Prismen 120/120/360 mm
Betonsorte:	Reprofiliermörtel mit Bimsstein
Herstelldatum:	12.09.2017
Prüfbeginn:	13.09.2017
Messlänge in mm:	1200
Bemerkungen:	Keine

Prüfzeitpunkt	**Schwindmass** [‰]			**Klima**
[Tage]	P2.1	P2.2	Mittel	
1	0.000	0.000	0.000	20 °C / 70 % r.F.
3	-0.075	-0.078	-0.077	20 °C / 70 % r.F.
7	-0.132	-0.150	-0.141	20 °C / 70 % r.F.
28	-0.734	-0.768	-0.751	20 °C / 70 % r.F.
91	-1.450	-1.485	-1.468	20 °C / 70 % r.F.



Karbonatisierungswiderstand

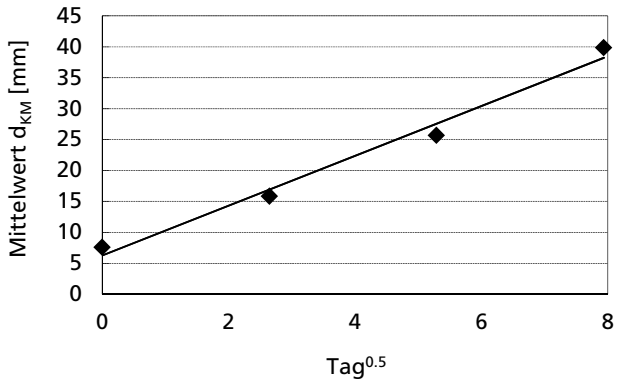
Grundlage: SIA 262/1:2013, Anhang I
Tecnotest Prüfanweisung PC060

Ergebnisblatt
Auftrag: C7312-02
Wareneingang: 24333

Bauteil:	Musterprüfkörper
Betonsorte:	Reprofiliermörtel mit Bimsstein
Prüfkörper:	Prismen 120/120/360 mm
Herstelldatum:	12.09.2017
Prüfbeginn:	10.10.2017
Lagerung:	Gemäss SIA 262/1, Anhang I
Alter:	28 Tage
Bemerkungen:	Keine

Bezeichnung	**Tage**	**$d_{KE,1}$** [mm]	**$d_{KE,2}$** [mm]	**$d_{KE,3}$** [mm]	**$d_{KE,4}$** [mm]	**d_{KM}** [mm]
P2.3.0	0	8.0	7.3	7.3	7.7	7.6
P2.3.7	7	15.7	16.3	15.3	16.0	15.8
P2.3.28	28	26.0	26.3	25.0	25.3	25.7
P2.3.63	63	40.0	40.0	38.3	41.0	39.8

Mittlere Karbonatisierungstiefe d_{KM}



Regressionskoeffizient R^2	0.9842	-
Konstante A bei 4.0 Vol.-% CO_2	6.2	mm
Karbonatisierungskoeffizient K_S bei 4.0 Vol.-% CO_2	4.0	mm/Tag$^{0.5}$
Korrekturfaktor c für Schnellkarbonatisierung	1.36	-

Karbonatisierungskoeffizient K_N bei 0,04 Vol-% CO_2 **10.5** **mm/Jahr$^{0.5}$**

Bewertung:

Grenzwert bei Nutzungsdauer 50 Jahre:	$K_N \leq 5{,}0$ mm/Jahr$^{0.5}$ für XC3 und XC4
Grenzwert bei Nutzungsdauer 100 Jahre:	$K_N \leq 4{,}5$ mm/Jahr$^{0.5}$ für XC4
	$K_N \leq 4{,}0$ mm/Jahr$^{0.5}$ für XC3

Fotodokumentation

Bild 1 Karbonatisierung nach der Vorlagerung

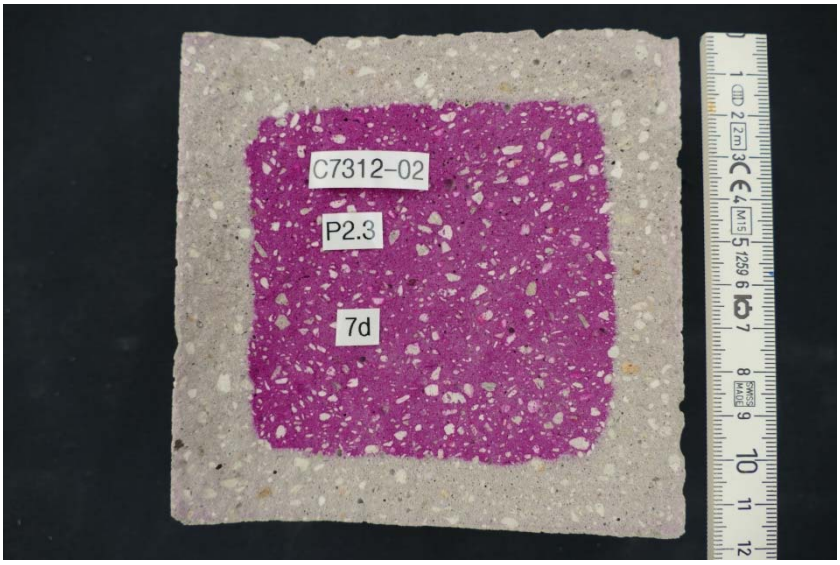


Bild 2 Karbonatisierung nach 7 Tagen

Fotodokumentation

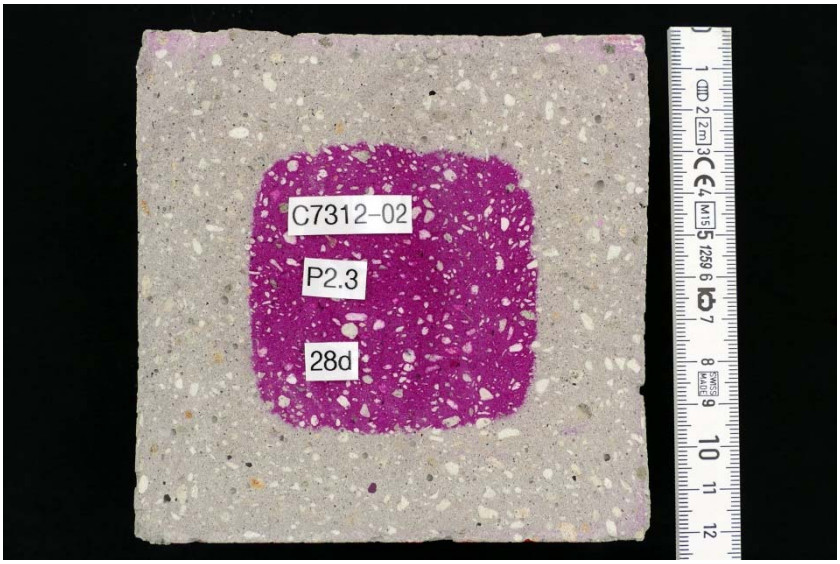


Bild 3 Karbonatisierung nach 28 Tagen

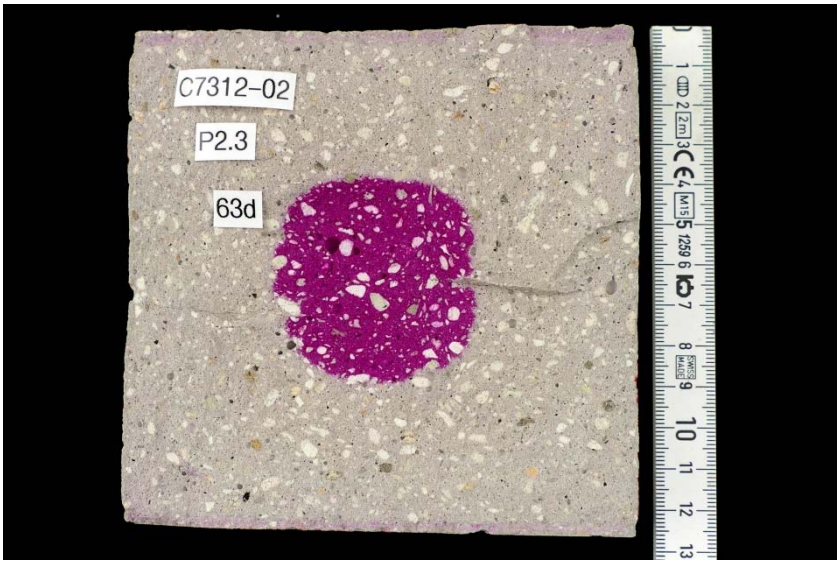


Bild 4 Karbonatisierung nach 63 Tagen

Wasseraufnahme

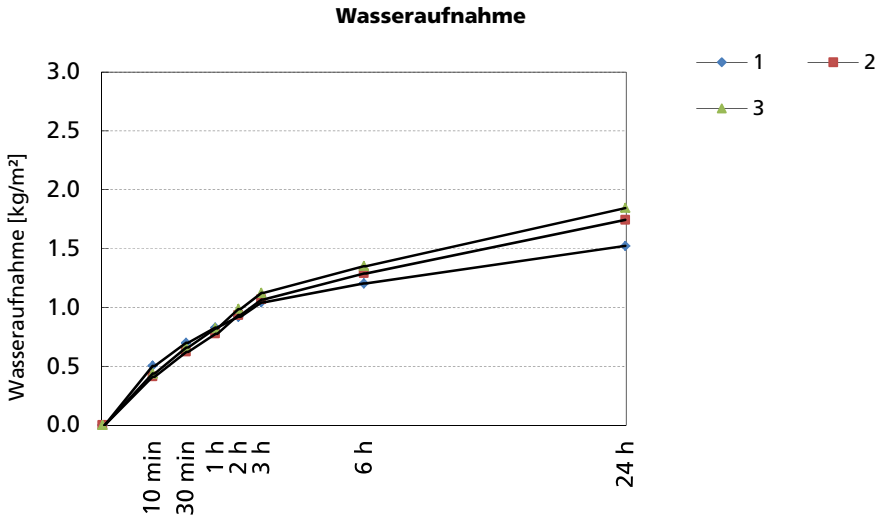
Grundlage: SN EN 1062-3:2008
Tecnotest Prüfanweisung PC031

Ergebnisblatt
Auftrag: C7312-02
Wareneingang: 24333

Bauteil: Musterprüfkörper
Prüfkörper: Bohrkern aus Prisma
Prüfschicht: Reprofiliermörtel mit Bimsstein
Herstelldatum: Keine Angabe
Prüfbeginn: 11.01.2018
Alter: Keine Angabe
Bemerkungen: Keine

Bezeichnung	**Fläche** [mm²]	**W_{10min}**	**W_{30min}**	**W_{1h}**	**W_{2h}**	**W_{3h}**	**W_{6h}**	**W_{24h}**	**w**
1	1948	0.504	0.700	0.830	0.921	1.044	1.204	1.523	0.311
2	1948	0.412	0.623	0.776	0.934	1.068	1.289	1.744	0.356
3	1948	0.438	0.660	0.823	0.988	1.123	1.352	1.845	0.377

W_t: Flächenbezogene Wasseraufnahme [kg/m²] während der Zeit t
w: Wasseraufnahmekoeffizient [kg/m²√h] (Verhältnis der flächenbezogenen Wasseraufnahme W_t zur Wurzel der Zeit)



Anzahl Werte n	3
Mittelwert x aus w	0.348

Wasserleitfähigkeit

Ergebnisblatt

Grundlage: SIA 262/1:2013, Anhang A
Tecnotest Prüfanweisung PC035

Auftrag: C7312-02
Wareneingang: 24333

Bauteil: Musterwürfel
Bauteildicke d: 200 mm (angenommen)
Betonsorte: Reprofiliermörtel mit Bimsstein
Prüfkörper: Bohrkern aus Würfel
Prüfbeginn: 16.10.2017
Alter: 34 Tage
Bemerkungen: Keine
Hinweis: Dichte ρ_{110} ausserhalb der Normvorgabe zwischen 2650 - 2750 kg/m^3

Bezeichnung	**Ø** [mm]	**h_{PK}** [mm]	**U_E** [Vol.-%]	**n** [Vol.-%]	**LP** [Vol.-%]	**M_{24}** [g/m^2]	**ρ_{R110}** [kg/m³]	**ρ_{110}** [kg/m³]	**U_B** [Vol.-%]	**h_{24}** [mm]
W2.7.1a	49.5	48.6	26.4	45.1	18.7	4369	906	1650	7.5	23.3
W2.7.1b	49.6	48.7	26.5	45.3	18.8	4627	908	1659	7.6	24.7
W2.7.2a	49.5	48.8	27.6	46.3	18.7	5269	902	1679	7.8	26.9
W2.7.2b	49.6	48.5	27.5	46.7	19.2	4855	904	1695	7.4	24.3
W2.7.3b	49.6	48.7	26.4	45.2	18.8	4224	906	1654	7.7	22.7
Mittelwert	49.6	48.7	26.9	45.7	18.8	4669	905	1667	7.6	24.4
Stabw.	0.1	0.1	0.6	0.7	0.2	413.4	2.2	19.0	0.2	1.6
Variationsk. [%]	0.1	0.2	2.2	1.5	1.1	8.9	0.2	1.1	2.0	6.6

Wasserleitfähigkeit	**q_w** [g/m²h]
Mittelwert	8.3
Standardabweichung	1.3
Variationskoeffizient [%]	15.1

Legende

Ø	Durchmesser Prüfkörper	ρ_{R110}	Trockenrohdichte
h_{PK}	Prüfkörperhöhe	ρ_{110}	Dichte des Betons
U_E	Kapillarporen	U_B	Wassergehalt zu Beginn
n	Gesamtporosität	h_x	Steighöhe nach x Std.
LP	Luftporengehalt	qw	Wasserleitfähigkeit bezogen Bauteildicke Bauwerk
M_x	Wasseraufnahme nach x Std.		

Anforderungen nach SIA 262/1, Ziffer 4, Tabelle 6

$q_w \leq 10$ g/m^{2}h

Wasserleitfähigkeit: erfüllt

V-S-H-
VersuchsStollen Hagerbach AG
Polistrasse 1
CH-8893 Flums Hochwiese
www.hagerbach.ch

Baustoff-Prüflabore in:
Flums Tel +41 81 734 14 00 Fax +41 81 734 14 01
Altdorf Tel +41 41 872 09 71 Fax +41 41 872 09 70
Regensdorf Tel +41 44 840 22 61 Fax +41 44 840 22 62
Basel Tel +41 61 322 25 45 Fax +41 61 322 25 46

Prüfbericht Wärmeleitfähigkeit SN EN 12667:2001

Bericht-Nr. **201715551** Projekt-Nr. 50 L00541 0001

Auftraggeber Tecnotest AG, Alemannenweg 4, 8803 Rüschlikon
zusätzl. Kopien an

Bauobjekt	**C7312-02**		
Bauteil	Bimssteinbetonplatte 500 x 500 x 95 mm, Herstelldatum 12.09.2017		
Baustoff	Angaben gemäss Auftraggeber	Art	**Beton**
Name/Bezeichnung		Herkunft	
weitere Angaben			
Probematerial	Angaben gemäss Auftraggeber	Eingang im Labor	07.12.17
Lieferschein-Nr.		Probenmenge	
Entnahmestelle		Probenehmer	
Entnahmedatum		Überbringer	VSH, R. Niederhauser
weitere Angaben			

Angaben zum Prüfverfahren

Die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit wird mittels dem Einplattenverfahren (SN EN 12667) bestimmt. Die Prüfkörperabmessungen betragen 500x500x90 mm. Die Messfläche weist einen Durchmesser von 200 mm auf. Loses Material wird in einen Holrahmen eingebaut und mit einem stabilen PVC-Boden und -Deckel von 5 mm Stärke verschraubt. Es wird immer die gleiche PVC-Qualität eingesetzt.

Untersuchungsergebnisse

Probenbezeichnung	Auftraggeber			C7312-02		
	VSH			4506		
Korngruppe			[mm]			
Zustand (Anlieferung / Klima 23/50 / trocken)				trocken		
Dichtemessungen						
Prüfdatum			[-]	08.12.17		
Abmessungen	Länge bzw. Ø	L	[mm]	151		
	Breite	B	[mm]	151		
	Höhe	H	[mm]	94		
Gewicht Tara		M_{PR}	[kg]	2.168		
Verdichtungsfaktor			[-]	-		
Gewicht Brutto (Tara + Material) verdichtet		$M_v + M_{PR}$	[kg]	-		
Schüttdichte (lose)		ρ_l	[kg/m³]	-		
Rohdichte (verdichtet)		ρ_v	[kg/m³]	**1013**		
Wärmeleitfähigkeitsmessung						
Prüfdatum			[-]	13.02.18		
Messdicke			[mm]	94		
Temperatur Kaltseite			[°C]	2.5		
Temperatur Warmseite			[°C]	17.5		
Temperaturdifferenz			[°C]	15.0		
Mitteltemperatur			[°C]	10.0		
Lambda / λ	Einzelmessungen		[mW/mK]	336.80		
Lambda / λ	Einzelmessungen		**[W/mK]**	**0.337**		
Lambda-10 / λ_{10}	**Lambda bei**	**°C**	**[W/mK]**			

Bemerkungen

Die λ-Messungen wurde mit dem Einplattengerät der Lambda-Messtechnik GmbH, Dresden durchgeführt (Bericht G255Nr.139).

Messunsicherheit

Auf Anfrage informieren wir Sie gerne über die Messunsicherheit des Prüfergebnisses und deren Bestimmungsgrundlage.

VersuchsStollen Hagerbach AG
Flums, 20.02.18

Das ist die elektronische Version eines Prüfberichtes. Nur die unterschriebenen Prüfberichte sind rechtsgültig. Prüfberichte werden in elektronischer Form als Pdf-File abgegeben. Der Versand per Email erfolgt auf Verlangen und auf das Risiko des Auftraggebers.

Der Prüfbericht darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Die gekürzte oder auszugsweise Vervielfältigung bedarf unserer schriftlichen Genehmigung.
Die Prüfergebnisse gelten nur für die untersuchten Proben. (01.056-09.17t)

tecnotest ag

Prüfbericht

C7545-01

Auftraggeber	BWS Labor AG 8408 Winterthur
Auftrag erteilt durch	Auftraggeber
Bauwerk/Bauteil	Vorversuch Bimssteinbeton, Muster Stadtgärtnerei
Gegenstand/Zweck	Materialtechnologische Zustandsuntersuchungen

Auftrags-, Prüfungs- und Probedaten

Auftragserteilung	01.04.2019 durch Frau Nydegger
Unterlagen/Angaben	Keine
Bohrkernentnahme	02.05.2019 durch Herrn Baumann, Tecnotest AG
Art der Proben	11 Bohrkerne ∅ 50 mm, 7 Bohrkerne ∅ 100 mm, 5 Haftzugprüfkörper
Bezeichnung	Siehe Ergebnisblätter
Wareneingangs-Nr.	26634
Prüfdatum	Siehe Ergebnisblätter
Prüfverfahren	Haftzugfestigkeit am Bauwerk PA037 (akkr. Pr.) Druckfestigkeit PC005 (akkr. Pr.) Elastizitätsmodul PC007 (in Anlehnung nicht akkr. Pr.) Wasseraufnahme PC031 (akkr. Pr.) Wasserleitfähigkeit PC035 (akkr. Pr.) Frost-Tausalzwiderstand PC042 (akkr. Pr.) Chloridwiderstand PC057 (in Anlehnung nicht akkr. Pr.) Karbonatisierungswiderstand PC060 (in Anl. nicht akkr. Pr.)
Bemerkungen	Keine

		Seite
Prüfergebnisse	Festbetonkontrollen/Fotodokumentation	2-13

Sachbearbeiter	Silvan Bäurle
Leiter Prüfstelle	Aldo Rancati
Auftrag vom	01.04.2019
Berichtdatum	09.07.2019

Der Prüfbericht enthält 13 Seiten. Alle Ergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die oben erwähnten Proben.
Ohne schriftliche Genehmigung der Tecnotest AG darf der vorliegende Bericht nicht auszugsweise veröffentlicht werden.

Haftzugfestigkeit am Bauwerk

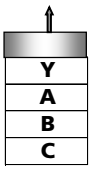
Ergebnisblatt
Auftrag: C7545-01

Grundlage: SN EN 1542:1999, ZTV-ING
Tecnotest Prüfanweisung PA037

Bauteil:	Musterfläche Bimssteinbeton		
Prüfschicht:	Bimssteinbeton		
Prüfkörper:	Durchbohrte Prüfschicht		
Prüfdatum:	02.05.2019	Prüfstempel:	Ø 50 mm
Prüfvorbereitung:	Schleifen/Bohren/Bürsten	Prüffläche:	1963 mm²
Klebstoff:	Epoxidharzkleber	Kraftsteigerung:	100 N/s
Bemerkungen:	Prüfstellen 3 bis 5 beim Ansetzten der Prüfmaschine gebrochen.		

Prüfstelle	Fläche [mm²]	Bruchlast [kN]	Festigkeit [N/mm²]	Bruchtiefe [mm]	Schichtdicke [mm]	Bruchart/Bemerkungen
ZB1	1963	0.10	0.05	42-49	41-49	50%A/B,50%B
ZB2	1963	0.03	0.00	43-59	48-57	70%A/B,30%B
ZB3	1963	0.00	0.00	47-52	47-52	50%A/B,50%B
ZB4	1963	0.00	0.00	43-63	43-54	20%A/B,40%B,40%C
ZB5	1963	0.00	0.00	50-52	50-52	100%A/B

Prüfkörper



Prüfkleber	Y	Epoxidharzkleber
Prüfschicht	A	Bimssteinbeton
Prüfschicht	B	Haftbrücke
Prüfschicht	C	Beton

Schichten

Brucharten

y/A Adhäsionsbruch Klebstoff/Schicht A
A Kohäsionsbruch Schicht A
A/B Adhäsionsbruch zwischen Schicht A und B
B Kohäsionsbruch Schicht B
B/C Adhäsionsbruch zwischen Schicht B und C

Druckfestigkeit, Bohrkern

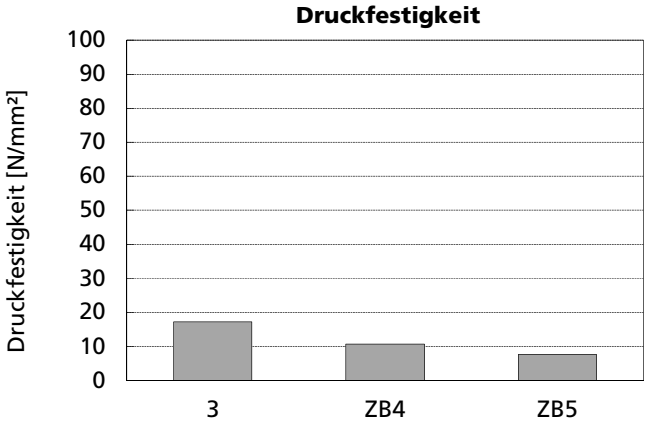
Ergebnisblatt

Grundlage: SN EN 12504-1:2009, SN EN 12390-7:2009
Tecnotest Prüfanweisung PC002

Auftrag: C7545-01
Wareneingang: 26634

Bauteil: Musterfläche Bimssteinbeton
Prüfkörper: Bohrkern aus Bauwerk
Herstelldatum: Keine Angabe
Prüfdatum: 17.06.2019
Alter: Keine Angabe
Belastung: Geschwindigkeit: 0,6 N/mm²s
Bemerkungen: Keine

Bezeichnung	Tiefe	Ø	Höhe	Fläche	Höchst-kraft	Druck-festigkeit	Rohdichte	Bemerkungen
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm²]	[kN]	[N/mm²]	[kg/m³]	
3	00-50	49.4	49.3	1917	33.0	17.2	1000	
ZB4	00-37	49.4	36.6	1915	20.5	10.7	930	
ZB5	00-44	49.3	43.7	1906	14.5	7.6	900	



	Druckfestigkeit	Rohdichte
Anzahl Werte n	3	3

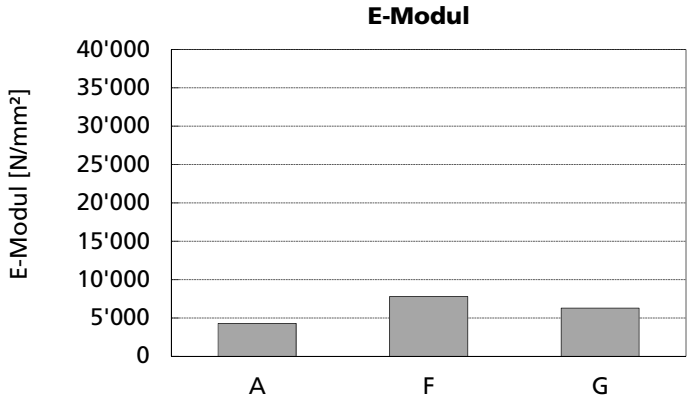
Elastizitätsmodul

Ergebnisblatt
Auftrag: C7545-01
Wareneingang: 26634

Grundlage: SN EN 12390-13:2013 Verfahren B, SN EN 12390-7:2009
Tecnotest Prüfanweisung PC007

Bauteil: Musterfläche Bimssteinbeton
Prüfkörper: Prisma 40/40/80 mm aus Bohrkern
Herstelldatum: Keine Angabe
Prüfdatum: 18.06.2019
Alter: Keine Angabe
Unterspannung $\sigma 1$: 0.5 N/mm²
Oberspannung $\sigma 2$: 2.8 N/mm²
Messlänge l_{tot}: 50 mm
Druckfestigkeit: 11.8 N/mm² (durch Best. der Druckfestigkeit an Bohrkernen aus gleichem Bauteil)
Bemerkungen: Keine

Bezeichnung	Tiefe [mm]	Breite 1 [mm]	Breite 2 [mm]	Höhe [mm]	Fläche [mm²]	E-Modul [N/mm²]	Rohdichte [kg/m³]	Bemerkungen
A		39.7	40.4	81.4	1604	4300	830	
F		39.8	40.1	81.7	1596	7800	910	
G		40.7	39.7	81.3	1616	6300	920	



Anzahl Werte 3
Mittelwert 6100 N/mm²

Wasseraufnahme

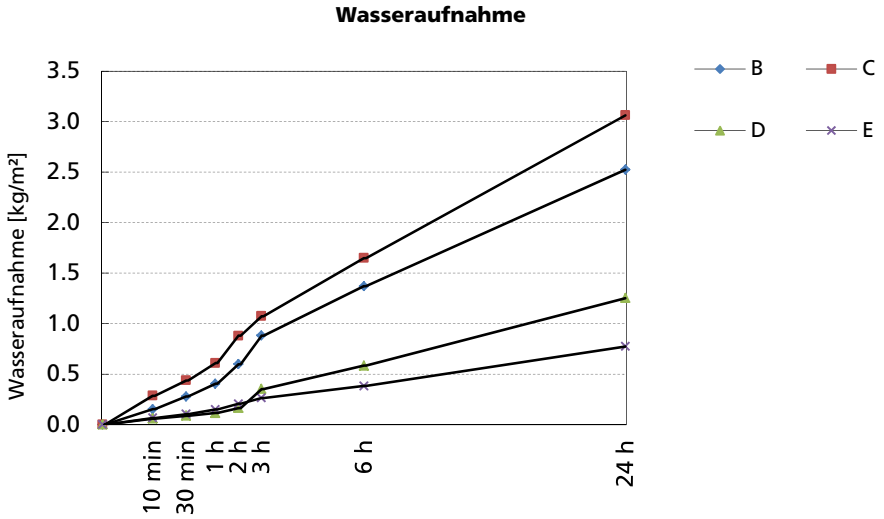
Grundlage: SN EN 1062-3:2008
Tecnotest Prüfanweisung PC031

Ergebnisblatt
Auftrag: C7545-01
Wareneingang: 26634

Bauteil: Musterfläche Bimssteinbeton
Prüfkörper: Bohrkern aus Bauwerk
Prüfschicht: Betonoberfläche
Herstelldatum: Keine Angabe
Prüfbeginn: 21.05.2019
Alter: Keine Angabe
Bemerkungen: Keine

Bezeichnung	Fläche [mm²]	W_{10min}	W_{30min}	W_{1h}	W_{2h}	W_{3h}	W_{6h}	W_{24h}	w
B	7791	0.152	0.278	0.404	0.598	0.882	1.370	2.523	0.515
C	7776	0.287	0.438	0.608	0.880	1.072	1.648	3.063	0.625
D	7823	0.059	0.088	0.115	0.164	0.352	0.584	1.252	0.255
E	7807	0.066	0.103	0.149	0.207	0.265	0.382	0.774	0.158

W_t: Flächenbezogene Wasseraufnahme [kg/m²] während der Zeit t
w: Wasseraufnahmekoeffizient [kg/m²√h] (Verhältnis der flächenbezogenen Wasseraufnahme W_t zur Wurzel der Zeit)



Anzahl Werte n	4
Mittelwert x aus w	0.388

Wasserleitfähigkeit

Ergebnisblatt

Grundlage: SIA 262/1:2013, Anhang A
Tecnotest Prüfanweisung PC035

Auftrag: C7545-01
Wareneingang: 26634

Bauteil: Musterfläche Bimssteinbeton
Bauteildicke d: 200 mm (angenommen)
Prüfkörper: Bohrkern Ø ca. 49 mm aus Bauwerk
Prüfbeginn: 21.05.2019
Alter: Keine Angabe
Bemerkungen: Keine
Hinweis: Dichte ρ_{110} ausserhalb der Normvorgabe zwischen 2650 - 2750 kg/m^3

Bezeichnung	**Ø** [mm]	**h_{PK}** [mm]	**U_E** [Vol.-%]	**n** [Vol.-%]	**LP** [Vol.-%]	**M_{24}** [g/m^2]	**ρ_{R110}** [kg/m³]	**ρ_{110}** [kg/m³]	**U_B** [Vol.-%]	**h_{24}** [mm]
1	49.2	43.3	24.9	51.8	27.0	3095	904	1877	1.8	13.6
4	49.2	40.4	22.7	50.9	28.2	2806	927	1886	1.9	13.5
9	49.3	41.2	27.1	53.9	26.8	5920	870	1890	1.5	23.4
Mittelwert	49.2	41.6	24.9	52.2	27.3	3940	900	1884	1.8	16.8

Wasserleitfähigkeit	**q_w** [g/m²h]
Mittelwert	4.1
Standardabweichung	3.1
Variationskoeffizient [%]	76.6

Legende

Ø	Durchmesser Prüfkörper	ρ_{R110}	Trockenrohdichte
h_{PK}	Prüfkörperhöhe	ρ_{110}	Dichte des Betons
U_E	Kapillarporen	U_B	Wassergehalt zu Beginn
n	Gesamtporosität	h_x	Steighöhe nach x Std.
LP	Luftporengehalt	qw	Wasserleitfähigkeit bezogen Bauteildicke Bauwerk
M_x	Wasseraufnahme nach x Std.		

Anforderungen für die Prüfungsart TT-3 nach SN EN 206-C2:2017, Tabelle NA 14: Keine

Richtwert TT-2: $qw \leq 12$ g/m^{2}h

Frost-Tausalzwiderstand

Ergebnisblatt
Auftrag: C7545-01
Wareneingang: 26634

Grundlage: SIA 262/1: 2013 Anhang C, SN EN 12390-7:2009
Tecnotest Prüfanweisung PC042

Bauteil:	Musterfläche Bimssteinbeton
Prüfkörper:	Bohrkern aus Bauwerk
Prüfbeginn:	03.06.2019
Alter:	Keine Angabe
Art der Oberfläche:	Glatt
Wasserlagerung:	7 Tage
Prüfbedingungen:	1 Temperaturwechsel pro 12 Std. von -15 °C bis +15 °C
Bemerkungen:	Keine

Bezeichnung	**Prüffläche** [cm²]	**Rohdichte** [kg/m³]	**Δm_6** [g/m²]	**Δm_{14}** [g/m²]	**Δm_{28}** [g/m²]	**m** [g/m²]
B	79.4	829	100	100	100	400
C	80.5	887	200	60	30	300
D	79.7	950	20	20	10	50
E	79.9	1020	90	50	8	200
Mittelwert	79.9					211
Gerundeter Mittelw.						200
Standardabweichung						141
Mittelwert $\Delta m_6 + \Delta m_{14}$						169
Mittelwert Δm_{28}						42

Δm_6: abgelöste Betonmasse nach 0-6 Zyklen
Δm_{14}: abgelöste Betonmasse nach 6-14 Zyklen
Δm_{28}: abgelöste Betonmasse nach 14-28 Zyklen
m: abgelöste Betonmasse nach insgesamt 28 Zyklen

Augenscheinprüfung (relevant ist der Probekörper mit der grössten Abwitterung)

Nach 6 Zyklen:	punktuelle Abwitterung
Nach 14 Zyklen:	punktuelle Abwitterung
Nach 28 Zyklen:	flächige Abwitterung

Anforderungen für die Prüfungsart TT-3 nach SN EN 13670:2009, Tabelle NA.3, KEINE (Richtwerte von TT-2)

Frost-Tausalzwiderstand	mittel	hoch
Expositionsklassen	XF2 (CH) und XF3 (CH)	XF4 (CH)
Grenzwerte	$m \leq 1500$ g/m^2	$m \leq 300$ g/m^2

Frost-Tausalzwiderstand: hoch

Chloridwiderstand

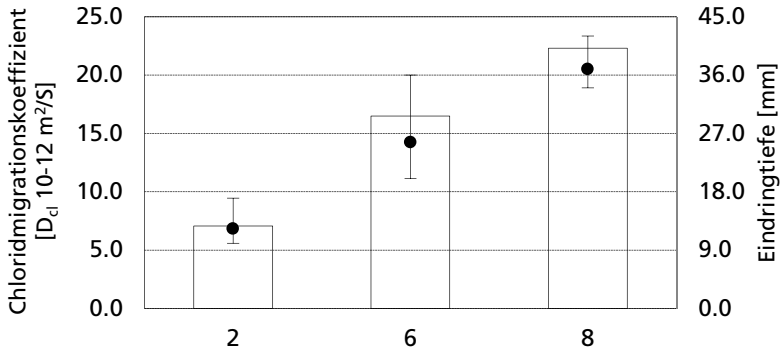
Ergebnisblatt

Grundlage: SIA 262/1:2013, Anhang B
Tecnotest Prüfanweisung PC057

Auftrag: C7545-01
Wareneingang: 26634

Bauteil:	Musterfläche Bimssteinbeton
Prüfkörper:	Bohrkern aus Bauwerk
Betonsorte:	Keine Angaben
Herstelldatum:	Keine Angaben
Prüfbeginn:	03.06.2019
Prüfdatum:	25.06.2019
Alter:	Keine Angaben
Bemerkungen:	Alle Prüfkörper entmischt

Bezeichnung	**Nassrohdichte** [kg/m^3]	**Maximale Eindringtiefe** [mm]	**Mittlere Eindringtiefe** [mm]	**Chloridmigrations-koeffizient D_{cl}** [10^{-12} m^2/s]
Werte (Messung bei 20 V, 24 h)				
2	1119	17.0	12.3	7.0
6	1081	36.0	25.6	16.5
8	1106	42.0	36.9	22.3



Mittelwerte:	1102 kg/m^3	31.7 mm	24.9 mm	**15.3** 10^{-12} m^2/s
Standardabweichung:	19 kg/m^3	13.1 mm	12.3 mm	7.7 10^{-12} m^2/s
Variationskoeffizient:	1.8 %	41.2 %	49.5 %	50.4 %

Anforderungen für die Prüfungsart TT-3 nach SN EN 206-C2:2017, Tabelle NA 14: Keine

Richtwert TT-2: $D_{Cl} \leq 12 \cdot 10^{-12} m^2/s$

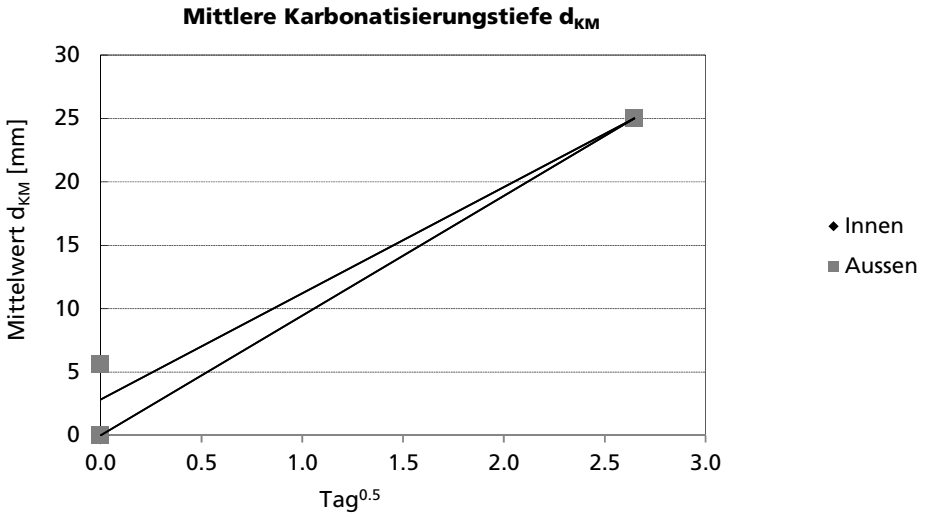
Karbonatisierungswiderstand

Grundlage: SIA 262/1:2013, Anhang I
Tecnotest Prüfanweisung PC060

Ergebnisblatt
Auftrag: C7545-01
Wareneingang: 26634

Bauteil:	Musterfläche Bimssteinbeton
Betonsorte:	Bimssteinbeton
Prüfkörper:	Bohrkern aus Bauwerk
Lage:	Innen (I) und Aussen (A)
Herstelldatum:	Keine Angabe
Prüfbeginn:	09.05.2019
Lagerung:	Gemäss SIA 262/1, Anhang I
Alter:	Keine Angabe
Bemerkungen:	Keine

Bezeichnung	**Tage**	**$d_{KE,1}$ (I)** [mm]	**$d_{KE,2}$ (I)** [mm]	**d_{KM} (I)** [mm]	**$d_{KE,1}$ (A)** [mm]	**$d_{KE,2}$ (A)** [mm]	**d_{KM} (A)** [mm]
BK7	0	0.0	0.0	0.0	6.0	5.3	5.7
BK11	7	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0



	Innen		**Aussen**	
Regressionskoeffizient R^2	1.0	-	1.0	-
Konstante A bei 4.0 Vol.-% CO_2	0.0	mm	5.7	mm
Karbonatisierungskoeffizient K_S bei 4.0 Vol.-% CO_2	9.4	mm/Tag$^{0.5}$	7.3	mm/Tag$^{0.5}$
Korrekturfaktor c für Schnellkarbonatisierung	1.36	-	1.36	-
Karbonatisierungskoeffizient K_N bei 0,04 Vol-% CO_2	**> 25**	**mm/Jahr$^{0.5}$**	**> 19**	**mm/Jahr$^{0.5}$**

Bewertung: Der Karbonatisierungskoeffizient liegt ein Mehrfaches über den üblichen Anforderungen für einen Beton der Sorte NPK C, der für Sichtbetonfassaden verwendet wird.

Fotodokumentation

Bild 1 Nullmessung: 0 Tage

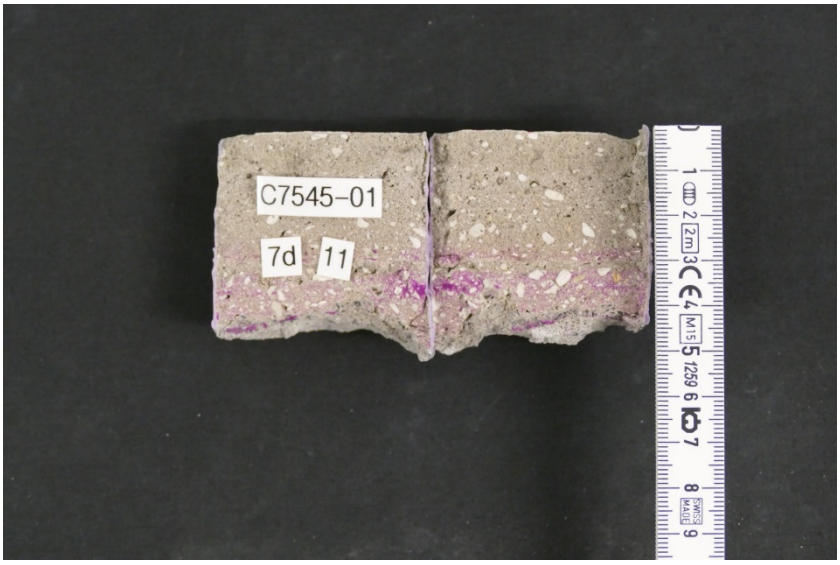


Bild 2 2. Messung: 7 Tage

Fotodokumentation

Bild 3 Übersicht Musterfläche

Bild 4 Bohrkerne A bis C

Fotodokumentation

Bild 5 Bohrkern D bis G

Bild 6 Bohrkerne 1 bis 5

Fotodokumentation

Bild 7 Bohrkerne 6 bis 11

Bild 8 Haftzugprüfkörper ZB1 bis ZB5