



DIPLOMARBEIT

Master Thesis

Entwicklung eines SHCC Betons für die Verstärkung von erdbebenbeanspruchtem Gründerzeitmauerwerk

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Ao. Univ. Prof. DI DDr. Dr. hc. Elemer Bölcskey

DI Dr. Johannes Kirnbauer

E 206

Institut für Hochbau und Technologie

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Ing. Alexander Prantl BSc

Mat. Nr. 8825281

Stadtplatz 24

A-2136 Laa an der Thaya

Wien, am 28. 5. 2014

.....

Danksagung

Der größte Dank für Unterstützung in jeglicher Form gebührt meinen Eltern, vor allem meinem Vater unter anderem auch dafür, dass er mir den Beruf des Bauingenieurs bereits als Kind durch oftmaliges Mitnehmen auf Baustellen nahe gebracht hat.

Weiters danke ich besonders Herrn Prof. DDr. Elemer Bölcskey für die überaus informativen Fachgespräche über meine Arbeit und Herrn Dr. Johannes Kirnbauer, der zu jeder Zeit ein offenes Ohr für meine Anliegen hatte.

Dankenswert ist der Einsatz von Herrn Ing. Hubert Mayerhofer und Herrn Dr. Heinrich Bruckner für die Instandsetzung der Prüfapparatur für die Mauerwerksversuche. Knapp vor der Beendigung der Arbeit wurde diese doch noch zur Funktion gebracht und die Durchführung zumindest eines Versuches möglich gemacht.

Meinem Freund Otto Löscher danke ich für die Ermunterung zur Wiederaufnahme des Studiums und für die jederzeit vorhandene Bereitschaft mich zu unterstützen, meinem Freund Stefan Tösch für den selbstlosen Hilfeinsatz bei den Vorbereitungsarbeiten im Versuchslabor.

Herrn Akira Hamano von der Firma Toyobo, Osaka, sowie Herrn Volker Mai von den Schwarzwälder Textilwerken, Schenkenzell, sei für die rasche und kostenlose Übersendung von dringend benötigtem Versuchsmaterial in Form von Kunstfasern gedankt. Ohne diese Fasern wären die Versuche nicht möglich gewesen.

Abstract

Since coming into force of the European standards for the assessment of masonry structures as for the assessment subjected to earthquakes (EN 1996, EN 1998) all buildings, also existing buildings, are subject to these regulatory rules and regulations.

Buildings of the 19th and the early 20th century were mainly produced of brickwork. These buildings normally do not comply with the regulations included in the standards, whereby attempts for the introduction of special methods of calculations for the rebuilding of existing housing stock (e.g. various regulations of the MA 37, respectively MA 37S in Vienna) were made.

A common regulation from an instruction sheet of the municipal building inspection demands a preservation of the existing level of capacity for the evidence of earthquake. But these exceptions are only permissible for refurbishments in a limited extent.

On 1st May 2013 with the ONR 24009 "Evaluation of the load-bearing capacity existing buildings" a new set of regulations became law. In conjunction with the revised ÖNORM B 1998-3 these guidelines present a now comprehensively usable tool for engineering.

Referring to umpteen attempts in literature various attempts with concrete prisms of SHCC were performed. For this purpose before a suitable SHCC concrete mixture was originated and exactly adjusted for the requirements.

The aim is, to achieve a distinctly ductile reaction on flexural tension- and normal force load here, as well as to obtain high energy dissipation during the load history. Besides considerations for the stability of the thin shear walls were made.

Zusammenfassung

Seit Inkrafttreten der europäischen Normen für die Bemessung von Mauerwerksbauten sowie für die Bemessung unter Erdbebenbeanspruchung (EN 1996, EN 1998) unterliegen sämtliche Bauwerke, auch Bauten im Bestand, diesen Regelwerken.

Gebäude des 19. und frühen 20. Jahrhunderts wurden in der Hauptsache aus Ziegelmauerwerk hergestellt. Diese Gebäude erfüllen die in den Normen enthaltene Nachweise in der Regel nicht, wodurch Versuche für die Einführung von speziellen Berechnungsmethoden für Bestandsumbauten (z. B. diverse Regelungen der MA 37 bzw. MA 37 S in Wien) erfolgt sind. Eine bekannte Vorschrift aus einem Merkblatt der Baupolizei verlangt ein Erhalten des bestehenden Kapazitätsniveaus für den Erdbebennachweis. Diese Ausnahmen sind jedoch nur für Umbauten in einem begrenzten Umfang zulässig. Mit 1. 5. 2013 ist mit der ONR 24009 „Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Hochbauten“ ein neues Regelwerk in Kraft getreten. Gemeinsam mit der überarbeiteten ÖNORM B 1998-3 stellen diese Richtlinien ein nunmehr umfangreich zu verwendendes Werkzeug für die Ingenieursarbeit dar.

In Anlehnung an verschiedene Versuche in der Literatur wurden diverse Versuche mit Betonprismen aus SHCC vorgenommen. Hierfür wurde zuvor eine geeignete SHCC Betonrezeptur entwickelt und auf die Anforderungen genau abgestimmt.

Ziel der Entwicklung ist es, hierbei ein ausgeprägt duktilen Verhalten bei Biegezug- und Normalkraftbeanspruchung sowie eine hohe Energiedissipation während der Belastungsgeschichte zu erreichen. Im Übrigen wurden Überlegungen zur Stabilität der dünnen Schubwände angestellt.

Vorwort

Ein Erdbeben wie jenes in Fukushima rückt die mangels an vergleichbaren Ereignissen in Österreich wenig wahrgenommene Thematik zumindest für eine Zeitlang in das Bewusstsein der Menschen. Seit etwa zwei Jahren müssen neu errichtete Gebäude in der ganzen europäischen Union einem 475jährigen Bemessungsbeben standhalten (vgl. Eurocode 8). Für die mehrere hunderttausend Gebäude im Bestand gibt es verschiedene Richtlinien, die bei Umbauten eine Regelung des erforderlichen Erdbebenwiderstands ermöglichen sollen.

Vergleichend sei hier auf die von der Intensität ähnlichen Beben von Haiti im Januar 2010 sowie in Neuseeland im September desselben Jahres hingewiesen. Während in Haiti 220.000 Todesopfer beklagt wurden, gab es in Neuseeland kein einziges Menschenopfer. Zurückzuführen ist dies auf eine nachhaltige und sinnvolle Bewirtschaftung des Gebäudebestands. Im Jahre 2004 wurde in Neuseeland eine Regelung für den Gebäudebestand eingeführt, wonach diese Bauten eine 67prozentige Kapazität des Niveaus von Neubauten haben müssen. Bestehende Gebäude mussten gegebenenfalls nachgerüstet werden. In Österreich ist allein in Wien ein Bestand von etwa 100.000 „aufzurüstenden“ Altbauten vorhanden. In Deutschland sind von etwa 15 Millionen Gebäuden 80 Prozent mehr als 25 Jahre alt.

Im ersten Kapitel wird ein Überblick zur Thematik gegeben, weiters werden verschiedene Möglichkeiten zur Ertüchtigung von Bestandsbauten gegen Erdbebeneinwirkung gegeben. Kapitel zwei bis vier beinhalten allgemeine und technische Grundlagen sowie die geschichtliche Entwicklung der Normung. Im fünften Kapitel erfolgt ein Einblick in die üblichen Berechnungsmethoden für Mauerwerk unter Erdbebenbeanspruchung sowie dessen Verstärkungsmaßnahmen. Das sechste Kapitel enthält die verschiedenen Verstärkungsmöglichkeiten für Mauerwerk.

Kapitel sieben beschäftigt sich mit der nötigen Abstimmung der Betontechnologie im Hinblick auf die Verarbeitbarkeit in Verbindung mit dem vorliegenden Mauerwerk sowie auf die Materialparameter. Darüber hinaus werden in diesem Kapitel zusammenfassend

alle durchgeführten Versuche vorgestellt. Für die Mauerwerksversuche wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Baustofflehre die vorhandene Prüfapparatur umgebaut.

Behandelt werden hier ausschließlich aussteifende Schubwände von Gründerzeithäusern in einer Stärke von 14 cm, die neben den Vertikallasten ausschließlich durch Schubkräfte in ihrer Ebene belastet werden. Mauerwerkswände unter Belastung normal zur Wandebene sind nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit. Die für die Mauerwerksversuche hergestellten Wände sind ausschließlich im Läuferverband hergestellt worden.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung.....	III
Abstract.....	V
Zusammenfassung	VI
Vorwort.....	VII
Inhaltsverzeichnis	1
1. Grundlagen – Zielsetzung	6
1.1 Allgemeines	6
1.2 Problemstellung seismisch beanspruchtes Gründerzeitmauerwerk.....	7
1.3 Zielsetzung.....	7
2. Erdbeben in Österreich	9
2.1 Seismologische Grundlagen	9
2.2 Historische Erdbeben in Österreich	12
2.2.1 Tabellarische Auflistung der wichtigsten bekannten Erdbeben.....	12
2.2.3 Friaul 1348	13
2.2.4 Neulengbach 1590	14
2.2.5 Schwadorf 1927	14
2.2.6 Seebenstein 1972.....	15
2.2.7 Erdbeben der Stärke 5-6 (EMS 98) in Seebenstein am 13. 1. 2013.....	16
2.2.8 Seismische und geologische Gegebenheiten im Wiener Becken und Schlussfolgerung	16
2.3 Überlegungen zur Erdbebengefährdung.....	17
2.3.1 Grundsätzliches.....	17
2.3.2 Schädigungspotential.....	18
2.4 Veränderung der Erdbebenlasten in der Normung in Österreich	19

2.5 Relevanz der normativen Änderungen für den Gebäudebestand aus rechtlicher Sicht.....	21
3. Mauerwerkswände in erdbebenbeanspruchten Gründerzeitbauten	23
3.1 Mauerwerksvorkommen in Österreich	23
3.2 Mauerwerk in Gründerzeithäusern.....	24
3.3 Mechanische Eigenschaften des Gründerzeitmauerwerks.....	26
3.3.1 Grundsätzliches.....	26
3.3.2 Ziegel	26
3.3.3 Mörtel	27
3.3.4 Eigenschaften des Mauerwerks.....	27
3.3.5 Verhalten von Gründerzeitmauerwerk bei Erdbebenbeanspruchung.....	28
3.3.6 Schlussfolgerungen	29
3.4 Arten von Mauerwerkswänden in Gründerzeithäusern	30
3.4.1 Typisches Gründerzeithaus.....	30
3.4.2 Straßen- und Hofmauern	30
3.4.3 Mittel- bzw. Kaminmauern	31
3.4.6 Scheide- bzw. Trennmauern	32
3.5 Dünne Mauerwerksschubwände	32
3.6 Beanspruchungen von dünnen Mauerwerksschubwänden	33
3.6.1 Hauptbeanspruchungsarten	33
3.6.2 Lange ungestörte Wände.....	35
3.6.3 Lange Wände mit Öffnungen.....	35
3.6.3 Kurze ungestörte Wände	35
3.6.4 Kurze Wandpfeiler und kurze Wände mit Öffnungen	36
4. Vorschriften, Regeln, Stand der Technik	37
4.1 Historische Entwicklung der Erdbebennormen in Österreich	37

4.1.1 Chronologisch - Grafische Darstellung der Entwicklung der Erdbebennormung	37
4.1.2 Weiterentwicklung der ÖNORM B 4015 und Ersatz durch EN 1998	39
4.2 Bauen im Bestand – Rückblick und Stand der Technik	39
4.3 Derzeit gültiges Regelwerk in Österreich	42
4.4 Relevante bezugnehmende Normen	42
4.5 Internationale Regelungen für Bestandsbauten	44
4.5.1 Deutschland	44
4.5.2 Neuseeland	45
4.5.3 Vereinigte Staaten von Amerika	46
4.5.4 Schweiz.....	46
4.5.5 Chile	46
4.5.6 Türkei	47
5. Berechnung von erdbebenbeanspruchtem Mauerwerk in Gründerzeithäusern.....	48
5.1 Grundlegendes zur Erdbebenberechnung von Mauerwerksbauten	48
5.2 Kraftbasierte Berechnungsverfahren.....	49
5.2.1 Statische Berechnung mit Massenkoeffizienten	49
5.2.2 Vereinfachtes Antwortspektrenverfahren	49
5.2.3 Multimodales Antwortspektrenverfahren	50
5.3 Verformungsbasierte Methoden	53
5.3.1 Nichtlineare Pushover Analyse	53
5.3.2 Kapazitätsspektrenverfahren.....	55
5.3.3 N2 Methode	57
5.4 Weitere Verfahren	64
5.5 Verhalten von Mauerwerk unter kombinierter Beanspruchung.....	64
5.5.1 Stand der Technik	64

5.5.2 Berechnungsansätze zur Ermittlung der Schnittgrößen	66
5.6 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	68
5.6.1 Mauerwerksnorm EN 1996-1-1	68
5.6.2 Erdbebennorm EN 1998-3	69
5.6.3 SIA 266	70
6. Verstärkung von Mauerwerk mittels hochduktilen SHCC	72
6.1 Grundgedanke und bekannte Verstärkungsmethoden für Schubwände	72
6.2 Verstärkung von Mauerwerk mittels hochduktilen Beton	76
6.2.1 Einführung.....	76
6.2.2 Mechanische Grundlagen	77
6.2.3 Herstellung und Verarbeitung	81
6.4 Bemessungsansätze für verstärktes Mauerwerk.....	83
6.4.1 Literatur	83
6.4.2 Fachwerksmodell	84
6.4.3 Rahmenmodell.....	86
7. Entwicklung von Rezepturen für einen SHCC zur Mauerwerksverstärkung.....	88
7.1 Grundlegendes	88
7.1.1 Betontechnologie und Anforderungen.....	88
7.1.2 Stand der Technik	92
7.1.3 Matrix.....	93
7.1.4 Fasern.....	93
7.1.5 Verarbeitbarkeit.....	93
7.2 Vorversuche	94
7.2.1 Inhaltsstoffe und Rezepturen	94
7.2.2 Probekörper	95
7.2.3 Versuche und Ergebnisse.....	96

7.3 Versuche mit PVA – Faser SHCC.....	100
7.3.1 Inhaltsstoffe und Rezepturen	100
7.3.2 Probekörper	101
7.3.3 Versuche und Ergebnisse	101
7.4 Versuche mit PE – Faser SHCC.....	104
7.4.1 Inhaltsstoffe und Rezepturen	104
7.4.2 Probekörper	104
7.4.3 Versuche und Ergebnisse	105
7.5 Resumee	112
8. Versuche an verstärkten Wandkörpern.....	114
8.1 Motivation	114
8.2 Großversuche an Wandfeilern mit 15 cm Wanddicke und 330 cm Höhe	114
9. Zusammenfassung und Ausblick.....	115
10. Anhang	117
11. Literaturverzeichnis	186
12. Abbildungsverzeichnis	190

1. Grundlagen – Zielsetzung

1.1 Allgemeines

Mauerwerksbauten sind im heutigen Bild der Städte und Ortschaften in Österreich nach wie vor dominierend. Vorteile des Mauerwerks wie einfache Handhabung durch Stückgutbauweise, hohe Druckbelastbarkeit, gutes Raumklima etc. stehen diversen nachteiligen Eigenschaften gegenüber. Eine mangelnde Zugfestigkeit, wenig Duktilität bei hoher Belastungsgeschwindigkeit sowie geringe Energiedissipation bei zyklischer Belastung wirken sich nachteilig auf das Verhalten unter Erdbebeneinwirkung aus. Daher sind Gebäude aus Mauerwerk bei einem Starkbeben nach wenigen Lastwechseln strukturell nachhaltig geschädigt, wobei dies bis zum Einsturz führen kann. Das Inkrafttreten der ÖNORM B 1998 für die Berechnung und Bemessung von Bauten gegen Erdbebenbeanspruchung im Jahr 2009 sollte den Architekten und Ingenieuren dabei helfen, dies mit entsprechenden Planungsmaßnahmen zu verhindern. Da die gegenständlichen Normen keine eindeutigen Regelungen für Bestandsbauten aus Gründerzeitmauerwerk enthalten, gibt es bereits eine große Zahl an daneben verfassten Richtlinien und Bearbeitungen zum Thema Ertüchtigung von Mauerwerksbauten.

Durch derartige Regelwerke soll ein Errichten bzw. Adaptieren von Bauwerken dahingehend ermöglicht werden, dass keine Menschen durch Gebäudeeinstürze verletzt oder getötet werden. In Österreich besteht seit 1. 5. 2013 als relevante Richtlinie die ON Regel 24009, die genaue Bestimmungen für die statischen und konstruktiven Belange von Bestandsbauten beinhaltet.

Wesentlich für die Standfestigkeit der oben angeführten Bauten sind deren Schubwände, die im Erdbebenlastfall die Horizontalstöße aus der Bodenbeschleunigung übertragen. Eine gezielte Verbesserung der Tragfähigkeit dieser Schubwände durch Verstärkungsmaßnahmen mit dünnen faserbewehrten Feinbetonschichten ist der Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

1.2 Problemstellung seismisch beanspruchtes Gründerzeitmauerwerk

Angesichts der in etwa 35.000 vorhandenen Gründerzeithäuser alleine in Wien (dies entspricht ca. einem Drittel des Gesamtbestands) [1] ist von einem alltäglichen Auftreten der Problematik auszugehen. Tatsächlich ist die Aufgabenstellung bei jeglichen Umbauten bzw. Veränderungen derartiger Häuser überhaupt anzutreffen. Nahezu alle dieser im Zeitraum von ca. 1830 bis 1918 errichteten Gebäude weisen dasselbe Konstruktionsprinzip auf. Sie bestehen aus einem Straßen- und einem Hoftrakt mit dazwischenliegender Kaminmauer. Dazu quer sind im Regelfall in Abständen mehrere Scheidewände zwischen den Wohneinheiten oder Räumen angeordnet. Die Wanddicke dieser Zwischenwände beträgt mehrheitlich eine Steinbreite, in etwa 15 cm. Im Erdbebenlastfall sind diese aussteifenden Querwände neben den Stiegenhaus- und den Feuermauern für die Stabilität der Gesamtstruktur maßgebend. Problematisch hinsichtlich eines normativen Nachweises sind die Schlankheit und die Mauerwerksfestigkeit dieser Bauteile, da die in den zugehörigen EN – und ÖNORMEN vorgeschriebenen Mindestwerte nicht erreicht werden. Hinzu kommt die Uneinigkeit der Bauexperten über die Rolle der schubweichen Holzdecken, die vielfach anzutreffen sind.

Diverse Forschungsprojekte in Österreich sind bzw. waren mit der Thematik beschäftigt und es wurden wichtige Erkenntnisse über den Gebäudebestand und dessen bautechnische Beschaffenheit gewonnen. Die gängige und widersinnige Regel, die aussteifenden Querwände nur hinsichtlich ihres Scherwiderstands ohne Normalkraft anzusetzen, soll widerlegt werden. Wände mit großer Schlankheit erhalten mit Sicherheit ebenso wie das tragende Mauerwerk einen, wenn auch geringeren, Widerstand infolge der Auflast.

1.3 Zielsetzung

Das Ziel gegenständlicher Arbeit ist die Entwicklung eines hochduktilen Betons für die Verstärkung von bestehendem Mauerwerk mittels faserverstärkter Außenschalen. Da unbewehrte gemauerte Konstruktionen vor allem einen Mangel an erforderlicher Zugfestigkeit und Duktilität aufweisen, liegt es nahe, diese mittels gezielt applizierten

Zug- und Schubversteifungen zu erzielen. Hinsichtlich dieser Verstärkungsmethoden wurden bereits vielfach Versuche und Forschungsarbeiten unterschiedlicher Art unternommen. Da sich diese Beiträge hauptsächlich auf die Ertüchtigung der Schubtragfähigkeit konzentrieren, werden in der gegenständlichen Arbeit statische Laborversuche hinsichtlich der Tragfähigkeit gegen Normalkräfte unternommen. Diese Art der Beanspruchung ist in Kombination mit Schubkräften häufig im untersten Geschoß maßgebend, wenn die Schubwände Öffnungen aufweisen. Eine Anbringung einer derartigen Verstärkung sollte somit imstande sein, beispielsweise anstatt einem erforderlichen Stahlrahmen eingesetzt zu werden. Die Bemessung solcherart konzipierter Aussteifungswände soll in Anlehnung an die Bemessungsmethode im Stahlbetonbau mittels Stabwerksmodellen [2] erfolgen. Die hoch normalkraftbeanspruchten Teile sollen hierbei eine umschnürte Längsarmierung im Sinne der Herstellung von duktilen Wandenden erfolgen.

2. Erdbeben in Österreich

2.1 Seismologische Grundlagen

Erdbeben können durch verschiedene Ursachen entstehen, unter anderem durch Vulkanausbrüche, Gebirgsschläge, künstlich angelegte Stauseen oder durch die Plattentektonik. Die vorliegende Arbeit beschränkt sich aufgrund der ausschließlichen Relevanz auf die sogenannten Dislokationsbeben, welche durch Plattentektonik ausgelöst werden. Die folgende Abbildung zeigt die im europäischen Teil der eurasischen Platte vorhandenen Bruchstörungen, in denen die durch die andrückende afrikanische Platte entstehenden Kompressionsspannungen abgebaut werden.

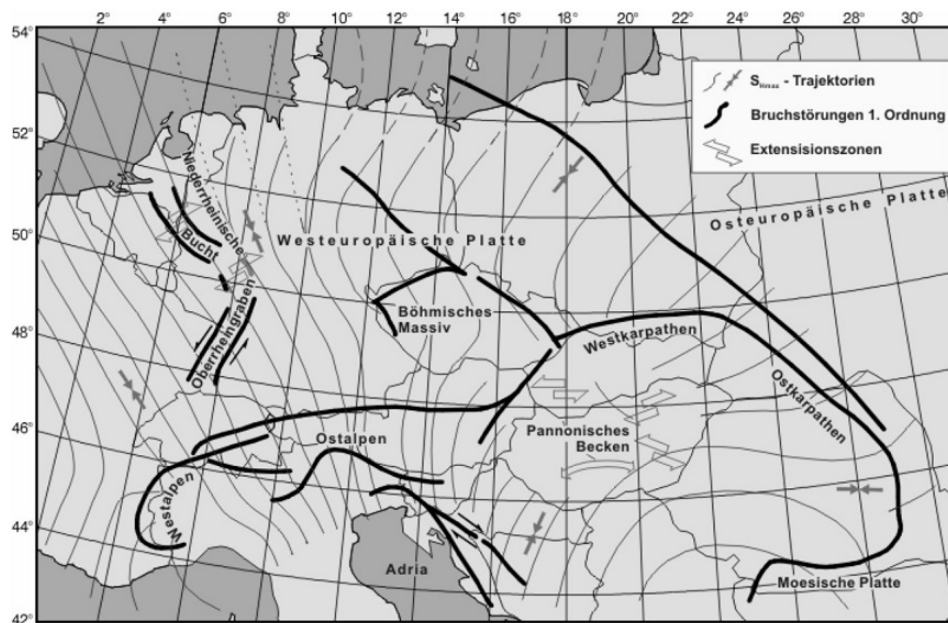


Abbildung 1 – Bruchstörungen in Europa, Grünthal und Strohmeyer, 1994

Das sogenannte Epizentrum des Erdbebens bezeichnet die lotrechte Projektion des Hypozentrums, dem Ort des Bebens in der Erdkruste auf die Erdoberfläche. Im Epizentrum ist die größte Intensität und somit der größte Schaden zu erwarten. Die lokale Intensität im Umkreis des Epizentrums ist abhängig von der Magnitude im Hypozentrum, von der Epizentralentfernung sowie von der Herdtiefe. Die auftretenden Beben werden unterteilt in Flachherdbeben bis 65 km Herdtiefe (85 % aller Beben,

Fleisch [3]) sowie in Mitteltief- und Tiefherdbeben. Die Größe der Scherflächen und somit des Herds, die bis zu 1000 km betragen kann, ist ausschlaggebend für die Magnitude. Die vom Hypozentrum ausgesandten Wellen verlaufen als Longitudinal- und Transversalwellen durch den Erdmantel bzw. die Erdkruste, verbreiten sich allerdings auch als Oberflächenwellen rund um das Epizentrum. Diese werden auch als P(rimär)- und S(ekundär)-Wellen bezeichnet, wobei der Hauptanteil der verursachten Schäden von den S-Wellen verursacht wird. Die Auswirkungen der sich ausbreitenden Erdbebenwellen werden in verschiedenen dafür geschaffenen Intensitätsskalen normiert und beschrieben, wie z. B. in der EMS 1998 (siehe Abbildung 2).

Tabelle C.1

Grad	Maximale Erdbebenwirkungen an der Erdoberfläche	Österreich	
		Zone	a_{gR} (m/s ²)
I	Nicht fühlbar: Wird nur von Erdbebeninstrumenten registriert.	0	bis 0,35
II	Kaum bemerkbar: Wird nur vereinzelt von ruhenden Personen wahrgenommen.		
III	Schwach fühlbar: Wird von wenigen Personen in Gebäuden wahrgenommen; Lampen schwingen leicht.		
IV	Deutlich fühlbar: Wird im Freien von wenigen, in Gebäuden von vielen Personen wahrgenommen. Einige Schlafende erwachen; Geschirr und Fenster klirren.		
V	Stark fühlbar: Wird im Freien von einigen, in Gebäuden von allen wachen Personen wahrgenommen. Viele Schlafende erwachen. Hängende Gegenstände pendeln stark, angelehnte Gegenstände können umfallen. Gelegentlich treten Haarrisse im Verputz auf.		
VI	Leichte Gebäudeschäden: Viele Menschen flüchten aus den Häusern ins Freie. Möbel können von der Stelle gerückt werden. An vielen Häusern entstehen leichte Schäden (Risse im Verputz); von älteren Häusern können Verputzteile, Dachziegel oder Schornsteine herabfallen. Quellschüttungen können sich ändern, es können Trübungen von Quellwässern auftreten.	1	über 0,35 bis 0,5
VII	Gebäudeschäden: Die meisten Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Gegenstände fallen aus Regalen. An vielen Häusern solider Bauart treten mäßige Schäden auf (kleine Mauerrisse, größere Verputzteile fallen ab, Risse an Schornsteinen, Schornsteine fallen herab). Ältere Gebäude zeigen häufig Mauerrisse oder Schornsteineinstürze, vereinzelt auch Spalten im Mauerwerk; Einsturz von Zwischenwänden. Auftreten oder Versiegen von Quellen. Erdbeben, Fels- oder Bergstürze können ausgelöst werden.	2	über 0,5 bis 0,75
		3	über 0,75 bis 1,0
VIII	Schwere Gebäudeschäden: Viele Personen verlieren das Gleichgewicht. Selbst schwere Möbel werden verschoben und zum Teil umgeworfen. An vielen Gebäuden einfacher Bausubstanz treten schwere Schäden auf, d. h. Giebelteile und Dachgesimse stürzen ein. Einige Gebäude sehr einfacher Bauart stürzen ein. Bodenrisse können auftreten. Bodenverflüssigung möglich.	4	über 1,0
IX	Zerstörend: Allgemeine Panik unter den Betroffenen. Viele schlecht gebaute oder alte Häuser stürzen ein, andere Gebäude werden stark beschädigt.		
X	Umfangreiche Zerstörungen: Viele gut gebaute Häuser werden zerstört oder erleiden schwere Beschädigungen. Mögliche Schäden an Dämmen und Brücken.		
XI	Verwüstend: Die meisten Bauwerke werden zerstört. Straßen werden unbrauchbar.		
XII	Vollständig verwüstend: Hoch- und Tiefbauten werden vernichtet.		

Abbildung 2 - EMS 98 Intensitätsskala, ÖNORM B 1998-1

Weitere Intensitätsskalen:

- Richterskala im Jahr 1935 von Charles Richter eingeführte und weit verbreitete Skala, enthält die Magnitude (Energiegehalt des Bebens)
- Mercalli Skala eingeführt von Giuseppe Mercalli im 19. Jahrhundert
- MSK 1964 Skala Medwedew-Sponheuer-Karnik-Skala, 1964 erstmals auf Basis einer modifizierten Mercalli-Skala angegeben

Erdbebenrelevante Zonen in Österreich finden sich entlang der Mur-Mürz-Furche bis zum Wiener Becken, entlang des Inntals sowie des Lavanttals. Bei den meisten Erdbeben in diesen Störungszonen liegt die Herdtiefe im Bereich von etwa 1 – 7 km. Hinsichtlich des zu erwartenden Wiederkehrzeitraums von Erdbeben unterschiedlicher Intensität kann aufgrund historischer Daten folgendes abgeschätzt werden:

- alle 3 Jahre Erdbeben mit einer Intensität von 6
- alle 15 Jahre Erdbeben mit einer Intensität von 7
- alle 75 Jahre Erdbeben mit einer Intensität von 8 (jeweils nach EMS 98)
(Österreichischer Erdbebendienst, ZAMG, 2013)

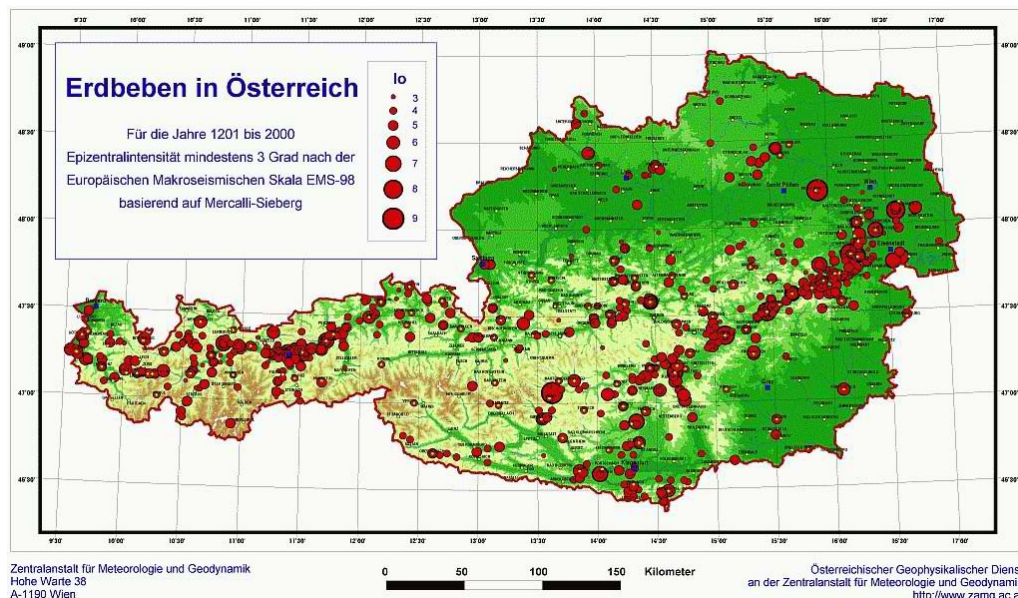


Abbildung 3 - Erdbebenhäufigkeit in Österreich, Zentralanstalt für Meteorologie, 2013

Eine Erdbebenvorhersage ist qualitativ nicht möglich, jedoch quantitativ aufgrund von statistischen Untersuchungen. Im Hinblick auf die Bewertung des Gefährdungspotentials sind Erdbebengefährdungsanalysen von historischen Beben von hoher Wichtigkeit, da sie auf probabilistischer Grundlage die Errechnung von Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten von Beben in der Zukunft erlauben. Daten wie z. B. Spannungsfelder der Erdkruste werden in Projekten wie dem World Stress Map Project zusammengestellt und laufend aktualisiert, beispielsweise mithilfe von aktuellen Bebedaten, Informationen aus Bohrungen, dem Untertagebau u. ä. Auf der Basis der Analysen werden Erdbebengefährdungskarten erstellt, mit deren Hilfe Aussagen über die maximal zu erwartenden Bodenbeschleunigungen bei Erdbeben in den zu beurteilenden Gebieten getroffen werden können, welche sich in den entsprechenden Normen wiederfinden.

2.2 Historische Erdbeben in Österreich

2.2.1 Tabellarische Auflistung der wichtigsten bekannten Erdbeben

Tabelle 1 - Bekannte historische Erdbeben im österreichischen Raum, Zentralanstalt für Meteorologie 2013

Jahr	Intensität	Epizentrum	Region
1201		Raum Katschberg	Ktn/Stmk/Sbg
1267	8	Kindberg	Stmk.
1348	10	Friaul	Friaul/Ktn
1571	7	Innsbruck	Tirol
1572	8	Innsbruck	Tirol
1590	9	Neulengbach	NÖ
1668	7	Wr.Neustadt	NO
1670	8	Hall	Tirol
1689	8	Innsbruck	Tirol
1690	9		Friaul/Ktn/Slow.
1712	7	Wr.Neustadt	NÖ
1766	7	St.Margarethen	Bgld.
1767	7	Straßburg	Ktn.
1768	8	Brunn am Steinfeld	NÖ
1794	7-8	Leoben	Stmk.

1810	7	Admont	Stmk.
1820	7	Schwaz	Tirol
1837	7	Mürzzuschlag	Stmk.
1841	7	Wr.Neustadt	NÖ
1857	7	Rosegg	Ktn.
1876	7-8	Scheibbs	NÖ
1885	8	Kindberg	Stmk.
1886	7-8	Nassereith	Tirol
1888	7	Siegendorf	Bgl.
1910	7	Nassereith	Tirol
1916	7	Judenburg	Stmk.
1927	7	Wartberg	Stmk.
1927	8	Schwadorf	NÖ
1930	7-8	Namlos	Tirol
1936	7-8	Obdach	Stmk.
1938	7	Ebreichsdorf	NÖ
1939	7	Puchberg	NÖ
1967	6-7	Molln	OÖ
1972	7	Seebenstein	NÖ

2.2.2 Katschberg 1201

Dieses Erdbeben ist das früheste, das im historischen Erdbebenkatalog der meteorologischen Zentralanstalt enthalten ist. Das Epizentrum befand sich neueren Erkenntnissen zufolge allerdings nicht in Murau, sondern in Kärnten in der Nähe von Spittal. Die Epizentralintensität betrug Schätzungen zufolge 9 auf der EMS 98 Skala. Quelle: ZAMG

2.2.3 Friaul 1348

Das Epizentrum lag in Friaul mit einer Intensität von 10 nach der Skala EMS 98. Über die Schäden berichtet der Geistliche Andreas von Regensburg, dieser zitierte Augenzeugen, dies waren Kaufleute auf dem Weg: „...das Erdbeben dauerte acht Tage und es entstanden so tiefe Bodenspalten, dass man bis zum Gürtel darin versunken wäre. Die Kaufleute überlebten das Beben, ihre vier Gesellen kamen um.“

Das Kloster und die Burg in Villach wurden zerstört.

2.2.4 Neulengbach 1590

Das historische Erdbeben von Neulengbach (das tatsächliche Epizentrum befand sich in Ried am Riederberg) ist durch eine große Anzahl an Berichten aus den umliegenden Orten sowie in Wien beschrieben. Dieses Beben hatte große Auswirkungen auf den Raum Wien, es wies eine Epizentralintensität von 9° aus. Aufgrund der vielen Aufzeichnungen konnte von diesem Beben eine Isoseistenkarte angefertigt werden.

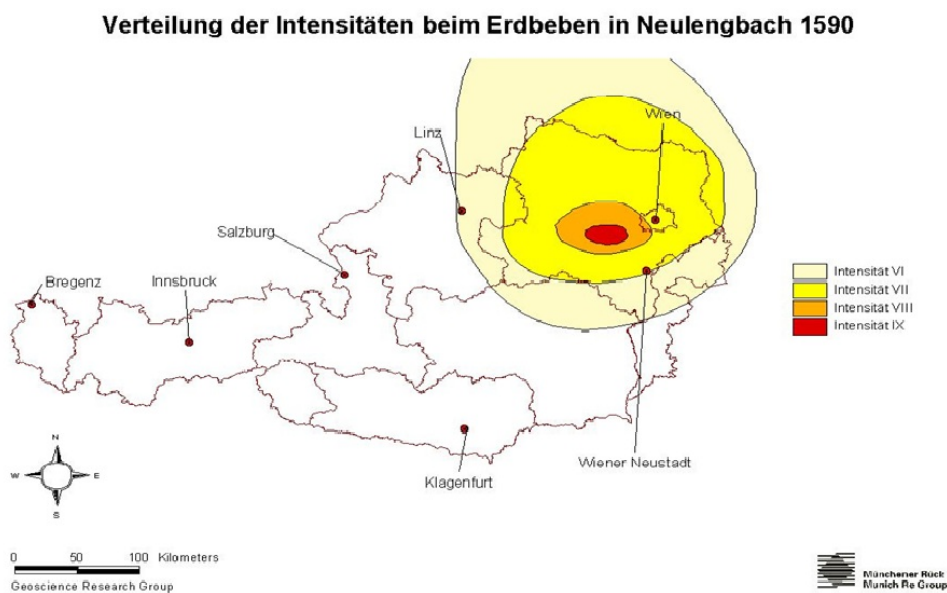


Abbildung 4- Isoseistenkarte des Erdbebens in Neulengbach 1590, Quelle ÖVV 2005

2.2.5 Schwadorf 1927

Ebenfalls schwere Gebäudeschäden verursachte das Beben von Schwadorf im Jahr 1927 mit einer Intensität im Epizentrum von 8 (EMS 98). Verschiedene öffentliche Gebäude wurden stark beschädigt oder zerstört. Fast alle Häuser, auch in Nachbarorten, wiesen Schäden in Form von starken Rissen auf und mussten zum Teil abgetragen werden.

2.2.6 Seebenstein 1972

Das jüngste aufgezeichnete Erdbeben in der Geschichte Österreich trat am 16. April 1972 um etwa 10 Uhr Vormittag in Seebenstein im südlichen Teil des Wiener Beckens auf. Die Epizentralintensität (EMS 98) betrug zwischen 7 und 8. Dieses Erdbeben löste im Wiener Stadtgebiet etwa 800 Einsätze der örtlichen Feuerwehr aus. Die Folgen für die Gebäude waren in erster Linie lose bzw. herabfallende Teile von Schornsteinen, zum Teil stürzten solche auch komplett ein. Starke Beschädigungen an Gebäuden, Risse und dergleichen, blieben größtenteils aus. Die Intensität war durch die Entfernung vom Epizentrum in Wien schon wesentlich abgeschwächt.

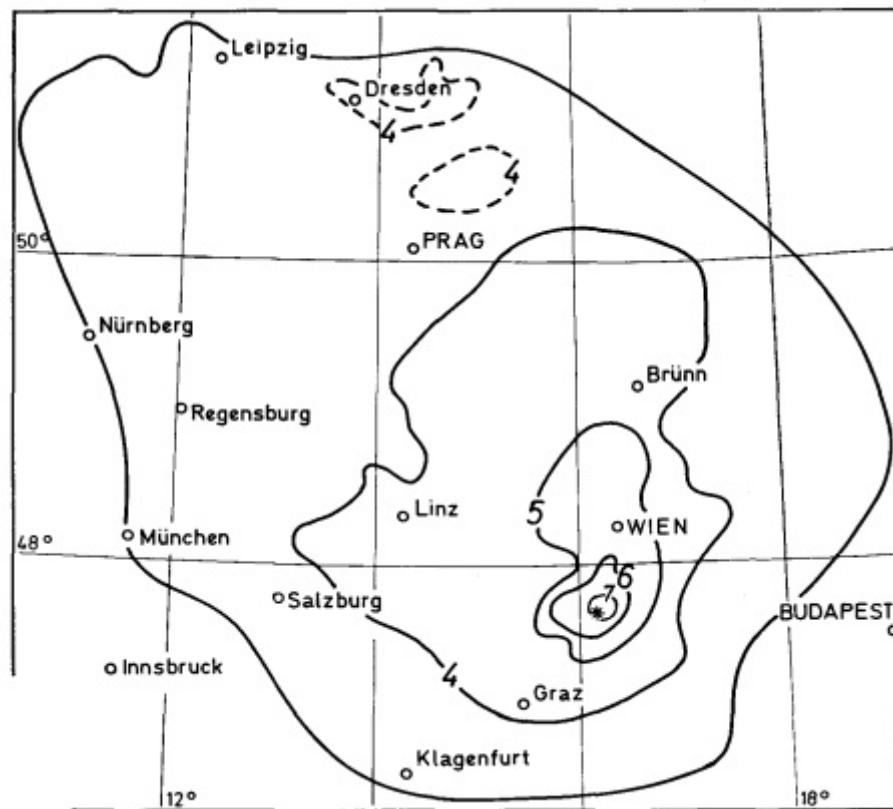


Abbildung 5 - Isoseistenkarte Erdbeben Seebenstein 1972, Quelle [4]



Abbildung 6 - Schaden an einem Gebäude in Seebenstein 1972, Quelle: ZAMG

2.2.7 Erdbeben der Stärke 5-6 (EMS 98) in Seebenstein am 13. 1. 2013

Am 25. Jänner 2013 um 8 Uhr 14 ereignete sich etwa 3 km südlich vom Herd des Bebens von 1972 ein Erdbeben der Intensität 5-6 (EMS 98) in einer Tiefe von ca. 10 km. Das Beben konnte in einer Entfernung bis 25 km deutlich wahrgenommen werden. Der österreichische Erdbebendienst der ZAMG verzeichnete einige hundert Meldungen über das Ereignis.

2.2.8 Seismische und geologische Gegebenheiten im Wiener Becken und Schlussfolgerung

Angesichts der historisch aufgezeichneten Beben der letzten 8 Jahrhunderte kann eine Regelmäßigkeit hinsichtlich des Auftretens festgestellt werden. Im Durchschnitt treten Erdbeben der Epizentralintensität (I_0 nach EMS 98) von 7 und stärker etwa alle 25 Jahre auf, jedoch haben in manchen Jahrhunderten auch 80 Jahre und länger keine solchen Erdbeben stattgefunden. Auch ist zu berücksichtigen, dass in den Aufzeichnungen kein Erdbeben enthalten ist, dessen Epizentrum sich direkt im Bereich der städtischen Bebauung Wiens befunden hat. Mit dem Auftreten eines solchen Erdbebens ist

allerdings grundsätzlich zu rechnen, da sich Wien in einer geologischen Bruchzone befindet. Der Einbruch des Wiener Beckens ist noch nicht zu Ende, sondern hält seit dem mittleren Tertiär noch bis heute an. Diese horizontale Scherzone im Wiener Becken stellt sich als Verlängerung der Mur-Mürztalstörung dar und reicht von Seebenstein über Wiener Neustadt und Schwadorf bis Marchegg.

Bemerkenswert über die auftretenden Beben im Raum Seebenstein/Wr. Neustadt ist, dass deren Isoseisten bei weitem höher in den nördlichen Raum des Epizentrums reichen als nach Süden. Dies wird darauf zurückgeführt, dass hier Zonen geringerer Geschwindigkeitsleitung in der entsprechenden Tiefe des Krustenbereichs vorliegen. Als unmittelbare Folge sind demnach die Beben in dieser Region für den Wiener Raum von höherer Relevanz als für die Gebiete in südlicher Ausbreitungsrichtung [4].

Das Seebensteinbeben von 1972 beispielsweise war in Richtung NNW bis in etwa 500 km Entfernung zu spüren, jedoch nur 200 km weit in südlicher Richtung. Die Herdtiefen liegen in dieser Störungszone durchwegs in einem Bereich von ca. 7 – 13 km, siehe auch [4].

2.3 Überlegungen zur Erdbebengefährdung

2.3.1 Grundsätzliches

Sämtliche Richtlinien für erdbebensicheres Bauen sind darauf ausgerichtet, Bauwerke durch ihre beinhalteten Regeln möglichst so auszulegen, dass es zu keinen Personenschäden kommt. Moderne Erdbebennormen, wie beispielsweise das New Zealand Building Act 2004 (New Zealand Building Standard 1170), sind mit der Absicht entworfen, auch die Sachschäden zu reduzieren. Weltweit durchgesetzt hat sich als Bemessungsbeben das im Mittel alle 475 Jahre auftretende, das zu einer geringeren Wahrscheinlichkeit als 10 % für das Auftreten in 50 Jahren führt. Für im Katastrophenfall wichtige Einrichtungen, so zum Beispiel Spitäler oder generell Gebäude, in denen im Regelfall mit Menschenansammlungen zu rechnen ist, können allerdings auch 1000- oder 2500-jährige Beben herangezogen werden, um das Sicherheitsniveau zu heben.

2.3.2 Schädigungspotential

Achs hat in [5] eine Methode zur Aufstellung einer Bewertung der Vulnerabilität von Gründerzeithäusern in Wien vorgestellt. Die darin enthaltenen Parameter und die Methodik sind speziell auf die Eigenschaften der vorhandenen alten Bauwerkssubstanz in Wien zugeschnitten. Verwendete Kriterien sind unter anderen die Erdbebenzone, die Grundrissform, die Aussteifung, mögliche lokale Versagensmechanismen, der Baugrund und der Erhaltungszustand. In Abhängigkeit von Strukturparametern (Bauwerksparemtern) SP und Schadensrelevanz DR (weitere Teilparameter) wird dem Gebäude eine Vulnerabilitätsklasse zugeordnet (Abbildung 7).

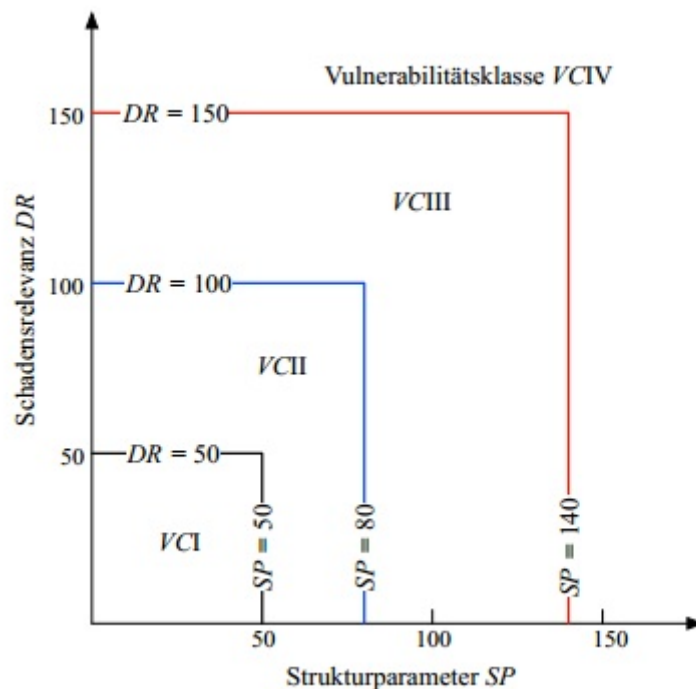


Abbildung 7 - Vulnerabilität von Bestandsgebäuden, Achs [5]

Hinsichtlich der erzielten Vulnerabilitätsklasse ergibt sich die Schadensanfälligkeitsklasse unmittelbar und somit kann das Ergebnis für die Beurteilung weiterer Entscheidungsgrundlagen verwendet werden.

Wesentlicher, wenn nicht hauptsächlich entscheidender Faktor für die Auslegung einer Erdbebennorm ist das gesellschaftlich akzeptierte Restrisiko. Dies bedingt jedoch das

grundsätzliche Vorhandensein eines Risikobewusstseins. Dies ist bei der Bevölkerung insofern in geringem Maße vorhanden, als das Thema Erdbeben aufgrund des sporadisch und seltenen Auftretens geschichtlich betrachtet oftmals für Generationen in Vergessenheit gerät.

In der neu erschienenen ONR 24009 sowie in der ÖNORM B 1998-3 sind ebenso Werkzeuge zur Bewertung der Tragfähigkeit auf Basis von diversen neuen Vorschriften enthalten. Dies sind die Schadensfolgeklassen sowie die Bedeutungskategorien und die Versagensfolgeklassen in der ONR 24009 und die vorgeschriebenen Kenntnisstände in der ÖNORM B 1998-3. In Zusammenwirken mit der in der ÖNORM B 1998-3 enthaltenen Variation der Zuverlässigkeiten kann die Tragfähigkeit unter Einhaltung einer vereinbarten Versagenswahrscheinlichkeit berechnet werden.

2.4 Veränderung der Erdbebenlasten in der Normung in Österreich

Im Jahr 1955 wurde in Österreich die ÖNORM B4000 3. Teil „Berechnung und Ausführung der Tragwerke – allgemeine Grundlagen – Windlasten und Erdbebenkräfte“ eingeführt. In dieser Norm war die Gesamterdbebenkraft in horizontaler Richtung in Höhe von $1/200$ des vertikalen Gesamtgewichts des Gebäudes anzusetzen. Diese Bestimmung war bis 31. 3. 1979 gültig.

Aufgrund statistischer Auswertungen aller Aufzeichnungen von Erdbeben und insbesondere Starkbeben in der Vergangenheit und nicht zuletzt aufgrund des verheerenden Erdbebens in Friaul 1976 kam man zu der Auffassung, dass die in der ÖNORM B 4000-3 enthaltenen Vorschriften nicht den tatsächlich auftretenden Einwirkungen entsprachen. Daher wurde die alte Bestimmung in der ÖNORM B 4000 durch ein Bemessungsmodell mit Beschleunigungen gemäß einer Zonenkarte abgelöst.

Die in der Version 1997 der ÖNORM B 4015 enthaltenen Werte für die Erdbebenbeschleunigung haben sich seither nicht mehr geändert. In der ÖNORM von 1997 war ebenfalls bereits die Überschreitenswahrscheinlichkeit von 10 % während einer Zeitspanne von 50 Jahren enthalten.

Die Zoneneinteilung gemäß ÖNORM B 4015 (1997/2002) und B 1998-1 (2005-2011) ist identisch. Die derzeit gültige Erdbebennorm EN 1998 geht von einem Bemessungsbeben mit einem durchschnittlichen Auftreten alle 475 Jahre aus (Abbildung 8).

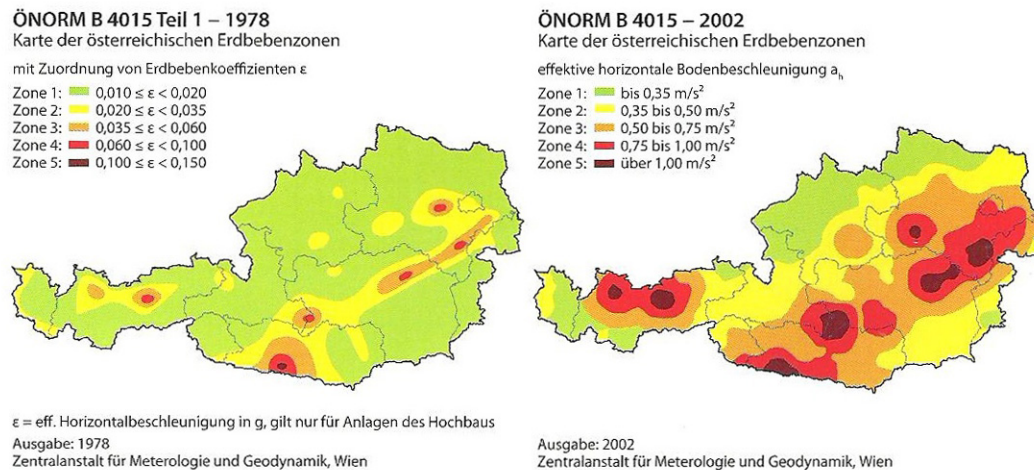


Abbildung 8 – Erdbebenzonen Österreichs im Wandel [1]

Die im Merkblatt der Wiener Baupolizei vom 31. 3. 2008 enthaltene Vorschrift, dass bestehende Gebäude nicht verschlechtert werden dürfen, findet sich auch bereits in der ÖNORM B 4015 (2002). Für Bestandsbauten gilt in der ÖNORM B 1998-3 eine Wiederkehrdauer von 475 Jahren für die wesentliche Schädigung (Grenzzustand SD).

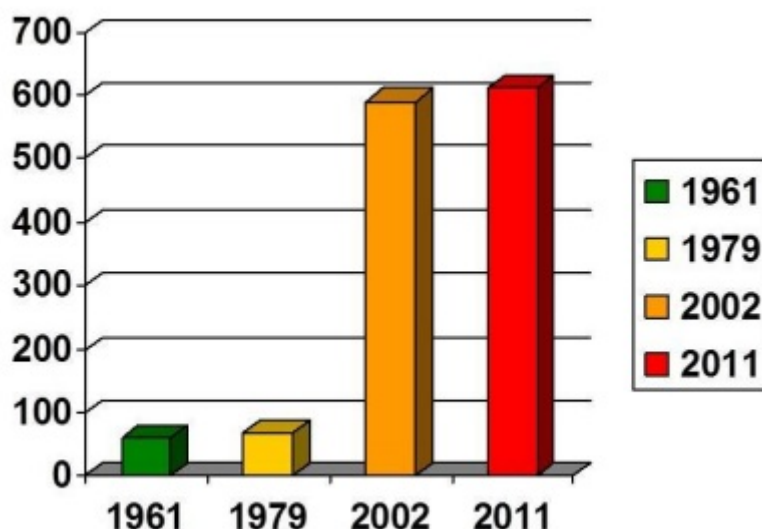


Abbildung 9 - Erdbebenkräfte, Bauer, Plachy 2013 [6]

Hinsichtlich der Abbildung 9 wird angemerkt, dass bereits im Jahr 1997 in der ÖNORM B 4015-1 die Beschleunigungswerte von 2002 enthalten sind.

2.5 Relevanz der normativen Änderungen für den Gebäudebestand aus rechtlicher Sicht

In den Normen B4000 sind keinerlei Inhalte über den Umgang mit bestehender Gebäudesubstanz enthalten. Die ÖNORM B 4015 (2002) beinhaltet erstmals Richtlinien für die Berechnung von Bestandsbauten im Zuge von Zu- und Umbauten. Da allerdings erst mit dem Inkrafttreten der europäischen Normengruppe EN 1998 im Jahre 2005 die Nachweise für Erdbeben europaweit verbindlich verpflichtend wurden, kam der ÖNORM B 4015 bis zu diesem Zeitpunkt baurechtlich wenig Relevanz zuteil.

Aufgegriffen wurde die Problematik erstmals mit dem Merkblatt für statische Vorbemessung (Magistratsabteilung 37, 4.2006 [7]), da aufgrund der Koexistenzperiode und Ermangelung eines nationalen Anhangs zur EN 1998-3 die Bestimmungen aus der ÖNORM B 4015 gültig waren. Von der Möglichkeit der nationalen Festlegung einer Wiederkehrperiode (und damit eines reduzierten Zuverlässigkeitsniveaus) in der ÖNORM B 1998-3 wurde bei deren erstmaligen Erscheinen im Jahr 2009 noch kein Gebrauch gemacht. Daher war ab 2009 die Verlängerung des Merkblatts in modifizierter Form erforderlich, weil ansonsten bei jedem Umbau das Zuverlässigkeitsniveau des EN 1998-1 hätte gefordert werden müssen. In diesem Merkblatt wurden Erleichterungen der Nachweise für die Erdbebenkräfte im Rahmen des Dachgeschoßausbaus „leicht“ mit diversen geometrischen Randbedingungen für die Zubauten festgelegt [8].

Um den unbefriedigenden Zustand im Hinblick auf die nicht ingenieurmäßig ausgelegten Methoden in den Merkblättern abzuändern, wurde bereits im Jahr 2008 eine Arbeitsgruppe mit dem Ziel der Ausarbeitung einer ON – Regel für die rechnerische und ingenieurmäßige Bearbeitung von Bestandsbauten festzulegen [9]. Mit Inkrafttreten der ONR 24009 existieren eindeutige Bestimmungen für die rechnerischen Nachweise auf der Basis von reduzierten, auf statistisch-probabilistischer Grundlage ermittelten Zuverlässigkeiten. Mit Ausnahme der baurechtlichen Bestimmungen (Bauklassen, Fluchten, Bebauungsdichten etc.) sind dem Tragwerksplaner nun im

Rahmen des Stands der Technik keine Grenzen mehr gesetzt. Die erforderliche Kapazität des Widerstands gegen die Horizontalbeanspruchung ist in Anlehnung an das Merkblatt SIA 2018 mit einer zuvor berechneten personenbezogenen Risikoerhöhung zu bemessen [10].

3. Mauerwerkswände in erdbebenbeanspruchten Gründerzeitbauten

3.1 Mauerwerksvorkommen in Österreich

Da das Bauen mit Mauerwerk eine der ältesten vom Menschen verwendete Bauweise überhaupt ist, stellt die Substanz an derartigen Bauten auch in Österreich einen hohen prozentuellen Anteil am Bauwerksbestand dar. Ursprünglich wurden die Bauten hauptsächlich aus natürlichem Steinmaterial hergestellt. In der Bronzezeit wurden bereits erste Siedlungen mit Bauwerken aus Stein errichtet. Bereits in der Spätantike wurden mit dem Vordringen der Römer Ziegelöfen im Donauraum (Limes) errichtet (z. B. militärischer Ziegelofen St. Pantaleon). In späterer Zeit wurde hier allerdings wieder vermehrt auf das Natursteinvorkommen zurückgegriffen.

Im 18. Jahrhundert schließlich wurden durch den Bevölkerungsanstieg und die folgende Bautätigkeit immer mehr Ziegelöfen errichtet. Am Höhepunkt der Gründerzeit gab es an die 6000 Ziegelöfen in der österreichisch-ungarischen Monarchie. Mit dem Einzug der industriellen Fertigung in die Ziegelherstellung wurde Mitte des 19. Jahrhunderts das Ziegelformat im Kaisertum Österreich standardisiert. Die Maße der Ziegel betragen nun 11 x 5,5 x 2,5 österreichische Zoll, dies entspricht etwa 29 x 14,5 x 6,5 cm (siehe Abbildung 10).



Abbildung 10 - Typischer HD Ziegel, Quelle: Wienerberger

Von diesen Ziegeln wurden am Wienerberg bei dem Fabrikanten Heinrich Drasche im Jahr 1849 etwa 30 Mio. Stück hergestellt, die Produktionsleistung stieg bis zur Jahrhundertwende allerdings auf ca. 225 Mio. Stück. Im selben Zeitraum errichtete man mit diesen Ziegeln etwa 450.000 Wohnungen in Wien, von denen die meisten, zum jetzigen Zeitpunkt etwa 35.000 Gebäude, noch existieren und somit einen wichtigen Teil unserer momentanen Bausubstanz darstellen.

3.2 Mauerwerk in Gründerzeithäusern

Die Herstellung von Mauerwerk mit genormten, einheitlichen Ziegelformaten erfolgt zwecks Erreichung einer optimalen Tragfähigkeit grundsätzlich immer im Verband. Geordnete Verbände gab es seit dem 16. Jahrhundert. Bei den Gründerzeitbauten sind, wie in Abbildung 11 dargestellt, der Läufer-, der Binder-, der Block- und der Kreuzverband verbreitet.

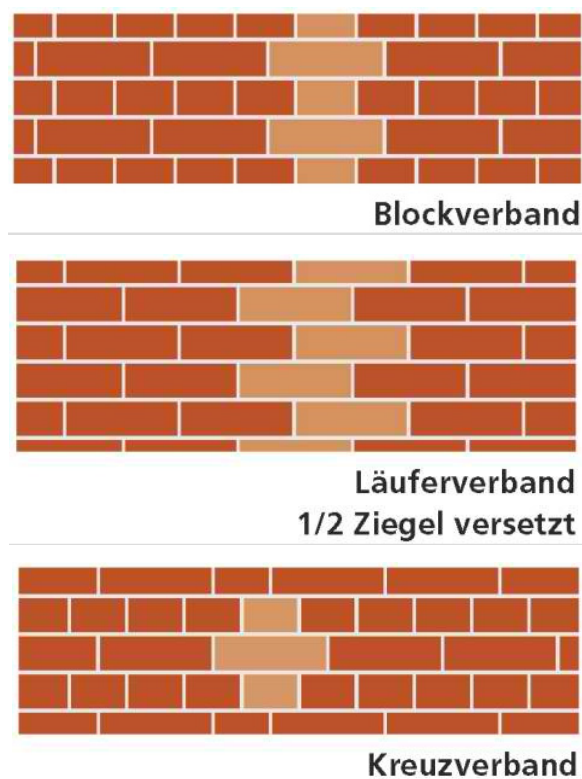


Abbildung 11 - Verschiedene Verbandarten, Quelle Wienerberger

Bei den in Wien vorherrschenden Mauerwerksbauten aus der sogenannten Gründerzeit (etwa 1850 bis 1918) ist meist ein typischer Grundriss mit Straßen-, Hof- und Kaminwänden sowie aussteifendem Stiegenhaus und Feuermauern nebst mehreren quer zur Gebäudefront angeordneten Schubwänden zu finden. Die Konstruktion dieser Gebäude fußt auf Richtlinien, die empirisch aufgestellt wurden und bei den typischerweise regelmäßig auftretenden Grundrissen und Stockwerksanzahlen zur Anwendung kamen. Die Gründerzeithäuser wurden mit 3 – 6 Geschoßen errichtet. Festlegungen trafen hier die Bauordnungen von 1859 und später jene von 1883. Wie in der Abbildung 12 ersichtlich ist, treten Mauerwerksdicken von 30 – 90 cm auf. Diese sind entsprechend dem Ziegelformat in 15 cm Schritten abgestuft. Einzig die über sämtliche Geschoße durchlaufenden, die Deckenträme streichenden Trennwände ohne Auflast sind, im Läuferverband gemauert, nur 15 cm stark und aufgrund dieser Eigenschaft im Fokus der gegenständlichen Arbeit.

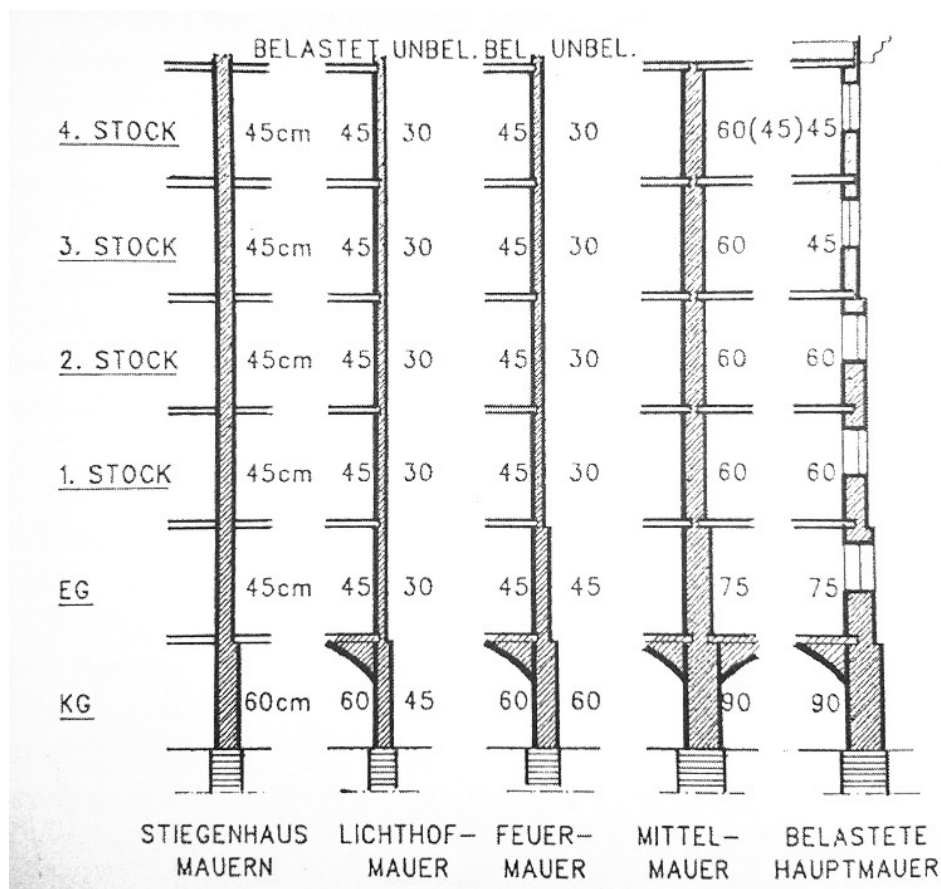


Abbildung 12 - Kolbitsch, Dachgeschoßausbau in Wien, Wien 2008

3.3 Mechanische Eigenschaften des Gründerzeitmauerwerks

3.3.1 Grundsätzliches

Ab etwa dem Jahr 1970 liegen Arbeiten diverser Autoren über das mechanische Verhalten von Mauerwerk vor. Die bekanntesten sind das Materialmodell nach Mann und Müller [11] aus dem Jahr 1973 sowie das von Ganz [12], welches 1985 aufgestellt wurde. Neuere Entwicklungen erarbeiteten Mojsilovic [13] 1999, Schermer [14] 2003, Schlegel [15] 2003. Erwähnenswert ist auch die Dissertation von Lu [16] aus dem Jahr 2006.

Mauerwerk ist ein anisotroper Werkstoff, der durch einfache Spannungs-Verformungsbeziehungen nicht beschreibbar ist. Sämtliche voran zitierte Arbeiten gehen daher von einer mehrdimensionalen Versagensbeschreibung aus. Hierfür wurden mathematische Formulierungen für Versagensflächen des Spannungsraums $\Sigma (\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy})$ für die ebene Beanspruchung in Scheibenebene aufgestellt.

Die Streuung von Materialparametern (Mörtelqualität) beeinflusst die Anisotropie ebenfalls. Im Druckbereich kann es, vor allem bei hohem Normalspannungsniveau, zu sprödem Versagen kommen. Bei zyklischer Schubbeanspruchung kommt es nach kurzer Zeit zu einer Entfestigung und zum Verlorengang der Anfangsscherfestigkeit, die weitere Schubtragfähigkeit ist vom Normalspannungsniveau abhängig. Eine weitgehende gleichzeitige Verbesserung der Tragfähigkeit und Duktilität aufgrund von textilen Verstärkungen konnte in der Literatur schon verschiedentlich gezeigt werden, siehe [2],[19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27].

3.3.2 Ziegel

Bei der Errichtung der Wohnhäuser in der Gründerzeit wurden fast ausschließlich Ziegel im „alten österreichischen Format“ verwendet. Dieses Format leitet sich vom österreichischen Zollmaß ab, welches 2,63 cm beträgt. Die Ziegel weisen eine Größe von 11 x 5,5 x 2,5 Zoll auf, was etwa 29 x 14 x 6,5 cm entspricht. Die Qualität der in den

Ziegeleien von Wien hergestellten Ziegel kann im Wesentlichen als hervorragend bezeichnet werden. Die Druckfestigkeit der Ziegel beträgt um $20 - 22 \text{ N/mm}^2$.

Mechanische Eigenschaften der Mauerziegel:

	Druckfestigkeit f_b (N/mm^2)	Zugfestigkeit f_z (N/mm^2)
Handschlagziegel	15,0 – 30,0	2,5 – 5,0
Maschinenziegel	20,5 – 23,0	2,5 – 5,0
Klinker	30,0– 90,0	10,0

Ein wesentlicher Faktor für die Qualität der Ziegel aus der Fabrikation von Drasche war unter anderem die Verwendung von Kohle anstatt Holz für die Brennöfen. Zu einem nennenswerten Anstieg der Produktion von Maschinenziegel kam es jedoch erst gegen Ende des 19. Jahrhunderts.

3.3.3 Mörtel

Für die Errichtung der Gründerzeithäuser in Wien kam Kalkmörtel zum Einsatz, bei welchem oftmals aus wirtschaftlichen oder möglicherweise auch anderen Überlegungen mit dem Bindemittel gespart wurde. Die Mörtelqualität lässt daher oftmals zu wünschen übrig, da die geforderte Mindestdruckfestigkeit von $1,00 \text{ N/mm}^2$ nicht erreicht wird. In solchen Häusern ist im Falle von Lasterhöhungen in der Regel das Verpressen des Mauerwerks mit geeignetem Injektionsgut (z. B. Epoxidharz) zur Erhöhung der Druckfestigkeit erforderlich. Eine Steigerung der Mörteldruckfestigkeit auf das Mehrfache des Ausgangswerts ist hier möglich.

3.3.4 Eigenschaften des Mauerwerks

Gründerzeitmauerwerk aus den oben beschriebenen Komponenten Ziegel und Kalkmörtel besitzt ein nichtlineares, sprödes Materialverhalten. Bei Druckbeanspruchung im nicht stabilitätsgefährdeten Bereich kommt es zur Stauchung der Mörtelfuge und zum Versagen des Verbundbaustoffs durch Steinzugbruch. Je nach Beanspruchung sind allerdings auch noch andere Versagensarten möglich. Dies sind

beispielsweise das Versagen durch Schubbeanspruchung in der Fuge oder durch Schub verursachtes Steinzugversagen, aber auch durch zu große Lastexzentrizität hervorgerufenen Kippen. Erwähnt werden soll auch das Stabilitätsversagen aus der Ebene („out of plane“, in dieser Arbeit nicht behandelt).

In den gültigen Normen werden die Nachweise für tragendes Mauerwerk für die verschiedenen Beanspruchungsarten geführt. Für die auftretenden Belastungszustände werden die mechanischen Eigenschaften des Mauerwerks wie folgt definiert:

- Anfangsscherfestigkeit
- Druckfestigkeit
- Zugfestigkeit
- Biegefestigkeit

Die Bedeutung der einzelnen Parameter für die Nachweise im Grenzzustand der Horizontal- und Vertikaltragfähigkeit wird im Abschnitt 3.6 eingehend erläutert.

3.3.5 Verhalten von Gründerzeitmauerwerk bei Erdbebenbeanspruchung

Die Beanspruchungen im Erdbebenfall können grundsätzlich in alle Richtungen erfolgen. Somit ergibt sich eine gemischte Schub-, Biege- und Normalkraftbeanspruchung in der Wandebene, zusätzlich aber auch Belastungen aus der Ebene heraus. Damit entstehen die typischen Schadensbilder von Mauerwerk unter Erdbebeneinwirkung, siehe [3],[18].

In den unteren höher beanspruchten Geschoßen sind die Wandstärken von Außen- und Mittelmauern generell größer, sodass hier die schwächsten mitwirkenden Bauteile die dünnen und somit sehr schlanken Zwischenwände sind. Die Abtragung der zyklischen Belastung in Wandebene erfolgt hier durch die Haftscherfestigkeit und den Reibungsanteil für den Schub, durch die Ausbildung eines Spannungsfächers für die Normalkraft. Der Schubnachweis erfolgt mit der Formel für den Haftscheranteil sowie der Spannung aus der Auflast. Die Normalkraft wird mittels Abminderungsfaktoren für das Wandknicken nachgewiesen. Ob der vorhandenen Schlankheiten der Wände dürfte man allerdings einen Normalkraftanteil laut Norm gar nicht in Rechnung stellen. Daher

ist insbesondere das Tragverhalten derart dünner und hoher Wände einer der Kernpunkte der vorliegenden Arbeit.

3.3.6 Schlussfolgerungen

Da die Materialparameter des Gründerzeitmauerwerks mittlerweile hinlänglich bekannt sind, können vergleichende Berechnungen über das Tragverhalten der dünnen Schubwände angestellt werden. Die im Eurocode vorgeschriebenen Grenzschlankheiten werden dabei zum Teil überschritten, diese Bemessungsgrenzen sollen aber durch Versuche weiter ausgelotet werden.

Die Erhöhung der Tragfähigkeit durch Anordnung von textilen Verstärkungen im Schubbereich wurde schon mehrfach nachgewiesen, siehe [2], [19], [22], [23], [24], [25], [26].

Für den in den unteren Geschoßen normalerweise auftretenden Fall des Kippens müssen gesonderte Überlegungen angestellt werden. Die Exzentrizität der resultierenden Kraft in der Wandebene kann durch Rückhängen über die textile Zugbewehrung in allenfalls vorhandene vertikale Wandpfeiler geleitet werden. Die entstehende Zugkraft ist sodann (im Erdgeschoß) in das Kellergeschoß zu verankern. Der Widerstand gegen Normalkraftbeanspruchung soll durch das Aufbringen einer Schicht aus Beton mit Kurzfaserbewehrung ebenfalls erhöht werden, da sich dadurch einerseits die Schlankheit reduziert, andererseits durch Verhinderung der Mörtelausquetschung durch die Umschnürung die Mauerwerksfestigkeit erhöht wird.

3.4 Arten von Mauerwerkswänden in Gründerzeithäusern

3.4.1 Typisches Gründerzeithaus

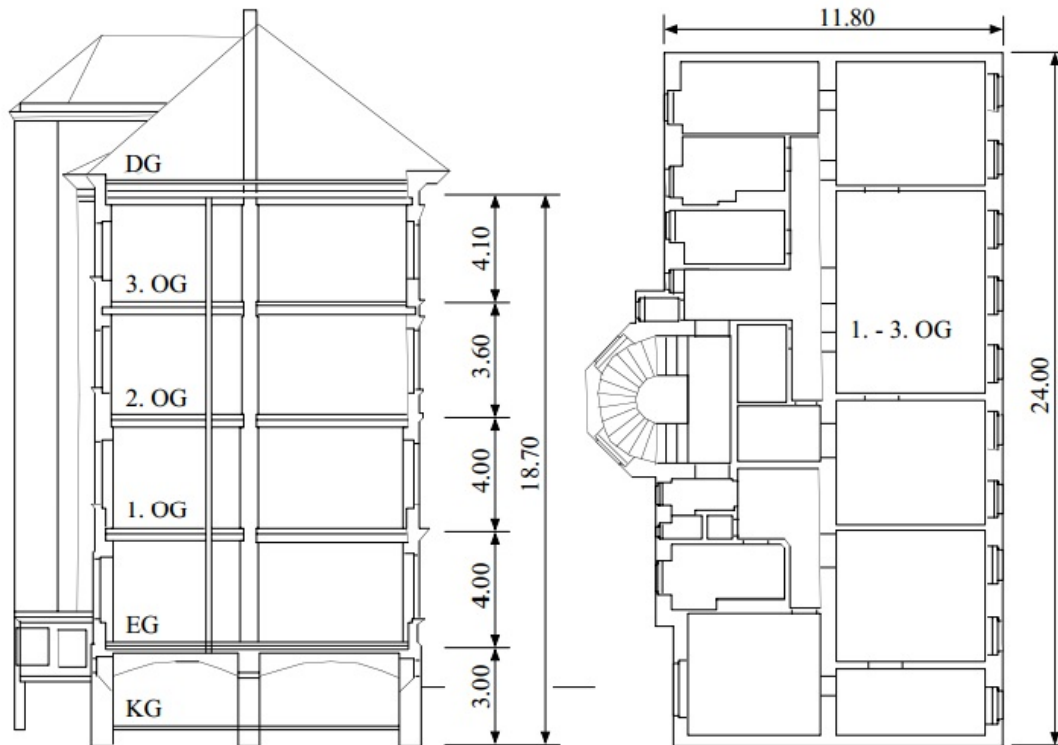


Abbildung 13 - Gründerzeithaus Riglergasse 10, Achs, Adam, Wenzel, 2007

Als Demonstrationsobjekt für alle weiteren Beispiele wird das laut Abbildung 13 dargestellte, bereits bekannte Haus in 1180 Wien, Riglergasse 10 verwendet. Dieses verfügt über einen typischen Grundriss sowie über gestörte und ungestörte aussteifende Trennwände.

3.4.2 Straßen- und Hofmauern

Diese sind als Außenmauern von 45 cm im obersten Geschoß bis zu 90 cm (in Ausnahmefällen 105 oder 120 cm) im Erdgeschoß eingesetzt und in der Regel aufgrund der großen Wanddicken und geringen Schlankheiten problemlos hinsichtlich der Lastabtragung. Bei sehr schlechter Mörtelqualität $< 1,0 \text{ N/mm}^2$ kann allerdings auch bei diesen Wänden eine Verstärkung nötig werden.

Im Erdbebenfall treten bei diesen Wänden aufgrund der kurzen Bereiche mit stützenartigem Charakter zwischen den Fenstern Schubrisse auf, die jedoch in der Regel unkritisch für die Standfestigkeit der Gebäude sind. Bei Beanspruchung aus der Ebene kann es zum Versagen einzelner Wandpfeiler kommen, vor allem dann, wenn diese nicht ausreichend mit den Decken verschlossen sind.



Abbildung 14 - Schaden an einem Pfeiler, Darfield Erdbeben 2010, Retrofitsolutions[25], [26]

Ein Schaden wie in Abbildung 14 tritt in Österreich aufgrund der zu erwartenden Magnituden wahrscheinlich nicht auf.

3.4.3 Mittel- bzw. Kaminmauern

Aufgrund der vom Erdgeschoß bis zum First durchgehenden Kaminzüge haben diese Wände über die Gesamthöhe konstant dieselbe Stärke 60 – 90 cm. Die Mauerwerkskörper sind nur vereinzelt mit Öffnungen versehen. Für die Erdbebenbemessung sind Sie in der Regel nicht maßgebend.

3.4.4 Stiegenhausmauern und Feuermauern

Die in der Regel queraussteifenden Wände sind fast immer öffnungslos und mit Mauerwerksdicken von 30 – 45 cm weisen diese ausreichend Widerstand gegen Erdbebenbeanspruchung auf.

3.4.6 Scheide- bzw. Trennmauern

Mauerwerkstrennwände in Gründerzeithäusern sind, mit Ausnahmen, in einer Stärke von einer Ziegelschar, also 14 – 15 cm dick, anzutreffen. Sie sind nicht mit den Geschoßdecken verbunden. Daher erfolgt die Einleitung der Erdbebenkräfte über die benachbarten Längsmauern entsprechend dem jeweiligen geometrischen Einflussbereich. Diese Wände sind aufgrund der Lasteinleitungsbereiche oftmals mit einer hohen Schub- und Momentenbelastung infolge Horizontalbelastung der Gebäude (Wind und Erdbeben) konfrontiert, deren Aufnahme im Sinne der anzuwendenden Normen meist nicht möglich ist.

3.5 Dünne Mauerwerksschubwände

Diese für die Erdbebenresistenz der Gründerzeithäuser maßgebenden Mauerwerkswände weisen eine Dicke von $t = 14 - 15$ cm auf, die Geometrie entspricht in den meisten Fällen der Abbildung 15. Die statisch wirksame Dicke beträgt im Normalfall weniger, da die Wände in der Regel nicht voll verputzt sind.

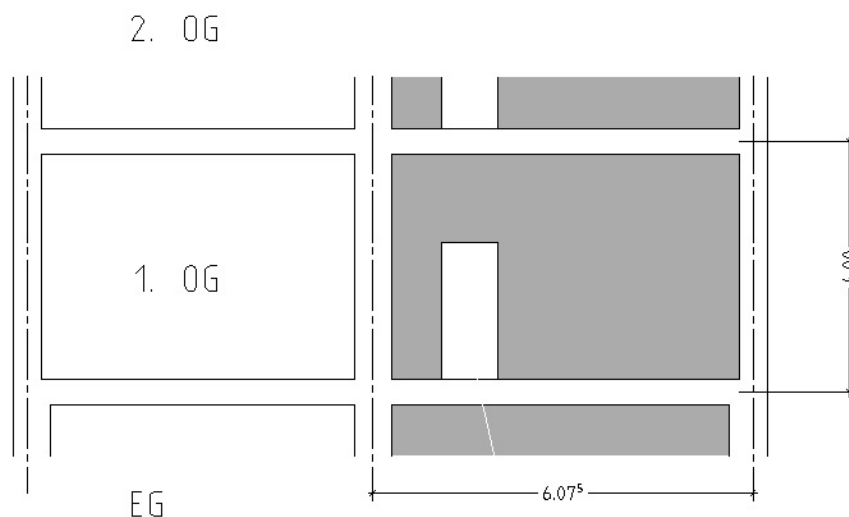


Abbildung 15 - Typische Abmessungen einer Trennwand, Prantl 2013

Die vorhandenen Schlankheiten der Schubwände im EG von typischen Gebäuden bewegen sich zwischen $300/14 = 21,4$ bis $450/14 = 32$. Daher sind die im EC 8

angegebenen maximalen Schlankheiten von 12 bzw. 15 bei geringer Seismizität bei weitem überschritten. Diesen Wänden darf daher laut EN 1998 aufgrund der zu hohen Schlankheit keine Normalkraft zugewiesen werden.

Die SIA 266 (Mauerwerk) schreibt vor, die Schlankheit mit $h_w/t_w = 17$ zu begrenzen, wobei eine Mindestdicke t_w von 150 mm vorgegeben wird.

Mit Hilfe von Berechnungen analog zu [17] und den im Kapitel 10 durchgeführten Mauerwerksversuchen soll nachgewiesen werden, dass verstärkte Wandkörper auch bei Überschreitung der Grenzschlankheiten des Eurocode 8 noch die erforderlichen Tragfähigkeiten aufweisen. Der Fokus soll dabei auf der Ableitung der Druckkräfte im Mauerwerksquerschnitt bei Ausbildung eines geeigneten Stabwerkmodells liegen.

3.6 Beanspruchungen von dünnen Mauerwerksschubwänden

3.6.1 Hauptbeanspruchungsarten

Bei dünnen Mauerwerksschubwänden, die in ihrer Ebene belastet werden, treten typische, dem Auftreten der Beanspruchung entsprechende Schadensbilder auf.

Dem verbreiteten Ansinnen, den dünnen Wänden aufgrund von Schlankheitsregelungen der Eurocodes keine Normalspannung zuzuweisen, kann nicht gefolgt werden [17]. Die Normalspannung ist ob des Eigengewichts tatsächlich vorhanden und muss daher schon aufgrund dieser Tatsache berücksichtigt werden.

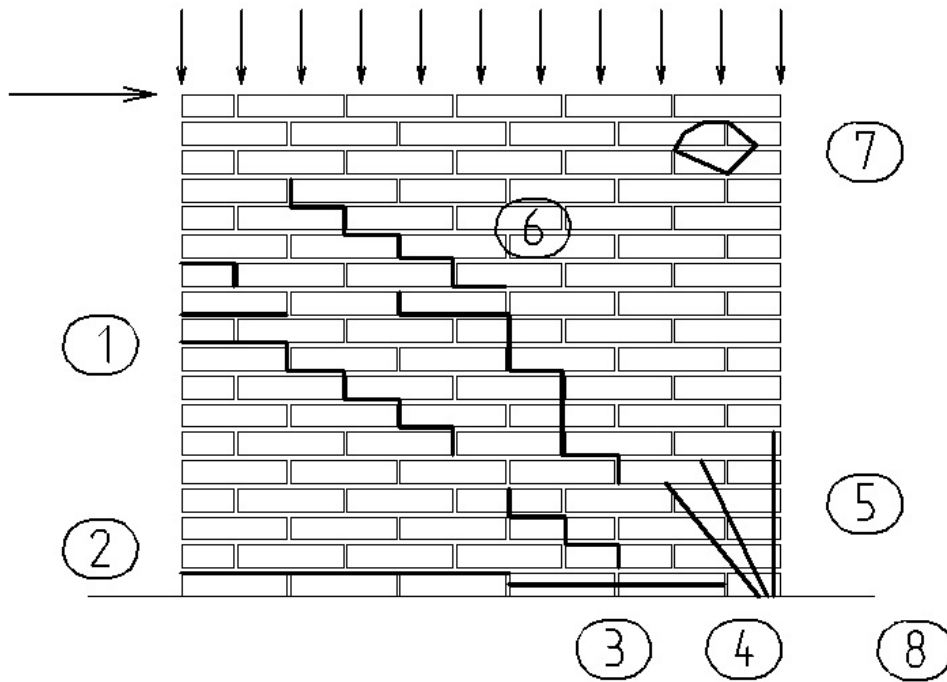


Abbildung 16 - Beanspruchungen in Scheibenebene, Prantl 2013

In Abbildung 16 sind die typischen, bei Schub- und Normalkraftbeanspruchung in Scheibenebene auftretenden Versagensmuster angeführt. Die Lage in der Zeichnung erfolgte dort, wo die Beanspruchung normalerweise auftritt.

Hinsichtlich der Versagensarten von Mauerwerk wird auf die Arbeit von Hans Rudolf Ganz [12] verwiesen, siehe auch Kapitel 5.

- 1 Zugversagen der Lagerfuge durch Biegebeanspruchung
- 2 Schubversagen in der Lagerfuge
- 3 Schubversagen im Stein
- 4 Druckversagen im schrägen Spannungsfächer
- 5 Druckversagen aufgrund von Vertikalspannungen
- 6 Schubzugbruch
- 7 Abplatzung und dadurch Querschnittschwächung aufgrund Überschreitung der Druckfestigkeit

3.6.2 Lange ungestörte Wände

Eine lange (L in etwa 4,50 bis 6,50 m, entspricht der Trakttiefe) ungestörte Wand liegt etwa in Form einer Wohnungstrennwand vor und stellt den Optimalfall hinsichtlich der Tragfähigkeit dar. Für die ungestörte Wand gelten folgende Überlegungen:

Die gesamten Vertikal- und Horizontallasten werden im Erdbebenfall über einen überdrückten Bereich am Rand der Scheibe abgetragen. Im Extremfall sind hier 2 Versagensfälle möglich, nämlich Kippen oder Schub. Eine Kompensation ist hier im Regelfall nur erforderlich, wenn aufgrund einer Tragwerksänderung die Tragwirkung gemindert wird, siehe 3.6.3.

3.6.3 Lange Wände mit Öffnungen

Je nach Anordnung der Öffnung ist die Ableitung der Druckkräfte möglich oder wie in Abbildung 17 ersichtlich behindert.

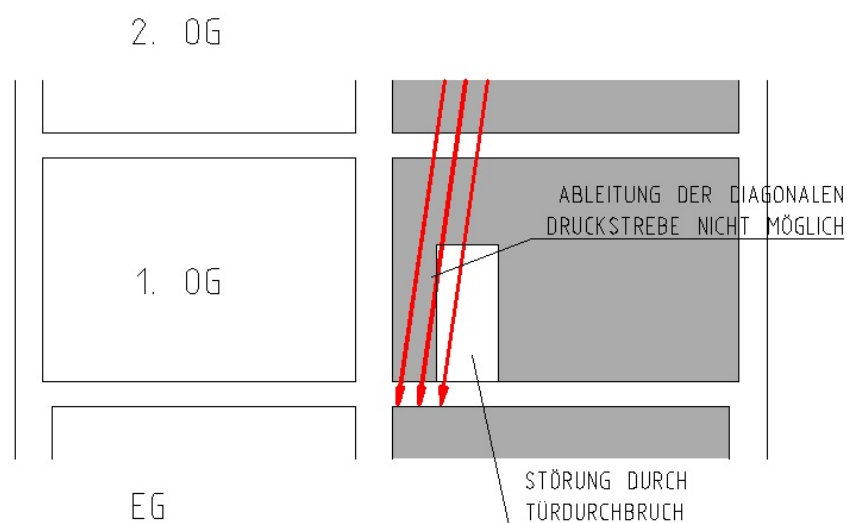


Abbildung 17 – Lange Wand mit Öffnung, Prantl 2013

3.6.3 Kurze ungestörte Wände

Bei kurzen ungestörten Wänden ist der maßgebliche Nachweis der Biege- und Schubwiderstand. Bei Überschreitung des Tragwiderstands erfolgt das Versagen in der Regel durch Kippen, bei

hoher Normalkraft möglicherweise auch durch Druckversagen am Wandfuß mit anschließendem Kippen.

3.6.4 Kurze Wandpfeiler und kurze Wände mit Öffnungen

Bei diesen Wandkonfigurationen ist davon auszugehen, dass entweder der Grenzzustand des Kippens oder aber die Normalkrafttragfähigkeit maßgebend ist.

4. Vorschriften, Regeln, Stand der Technik

4.1 Historische Entwicklung der Erdbebennormen in Österreich

4.1.1 Chronologisch - Grafische Darstellung der Entwicklung der Erdbebennormung

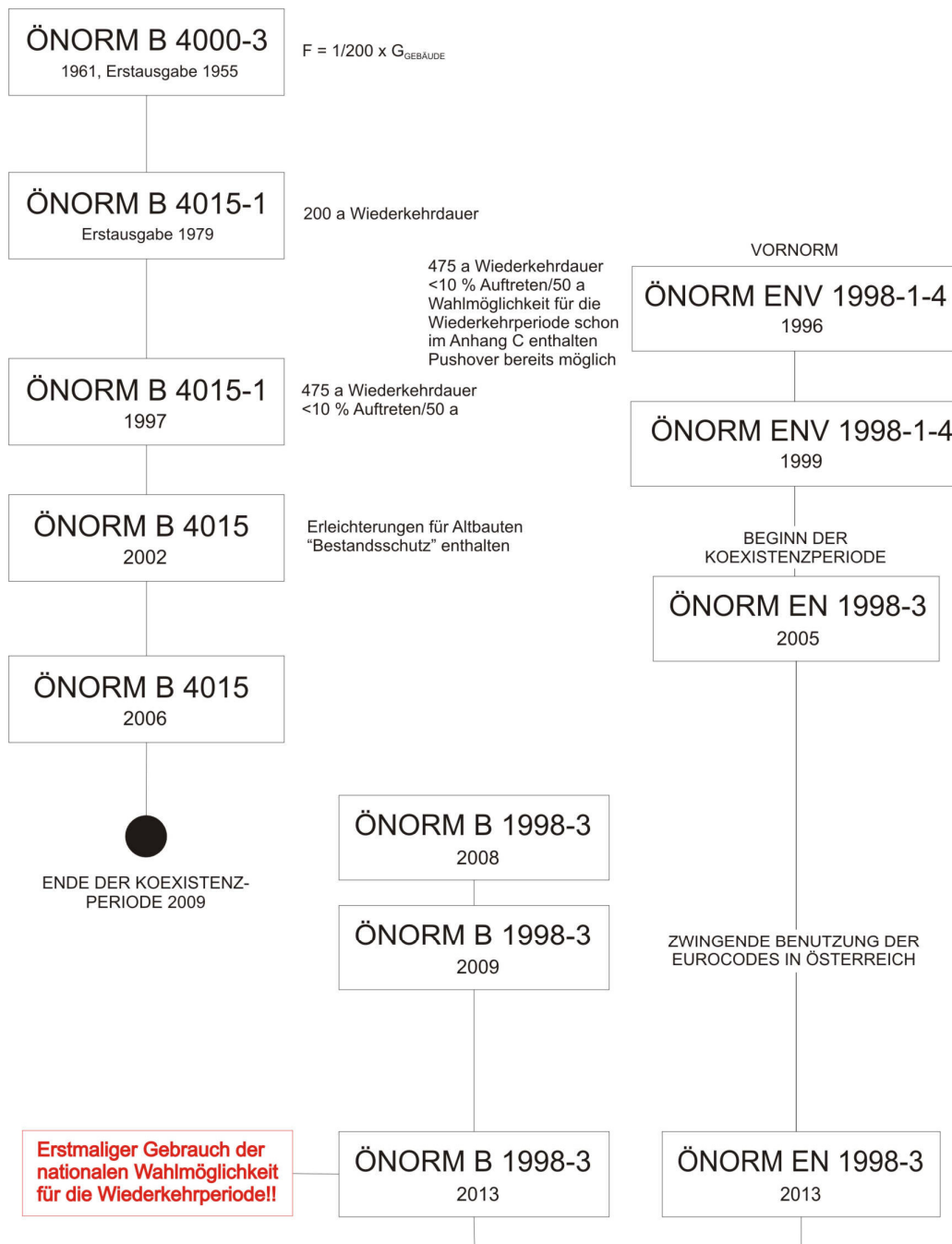


Abbildung 18 - Erdbebennormen Österreich 1955 - 2013, Prantl 2014

Die erstmalige Berücksichtigung von Erdbebenlasten erfolgte im Jahr 1955 in der ÖNORM B 4000-3, diese wurde im Jahr 1961 überarbeitet. Die Berechnung der Einwirkungen beschränkte sich zum damaligen Zeitpunkt auf den Ansatz von $1/200$ (entspricht Erdbebenkoeffizient $e = 0,05$) der vertikalen Gewichtskraft des Gebäudes, ausgenommen waren Gebiete mit höherer seismischer Aktivität wie die Mur-Mürz Furche, das Wiener Becken und der Großteil Tirols, wo höhere Werte laut der meteorologischen Zentralanstalt anzusetzen waren (Abbildung 18 - 20).

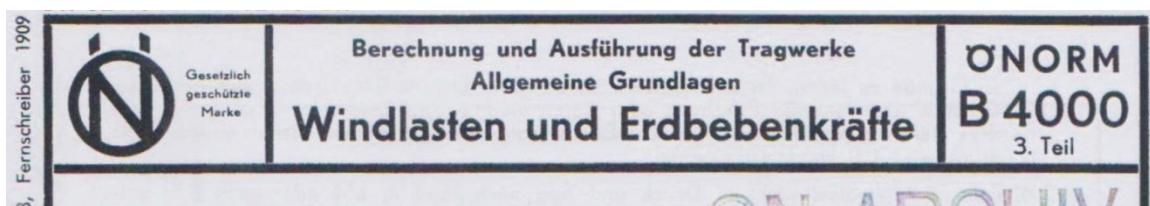


Abbildung 19 – ÖNORM B 4000-3

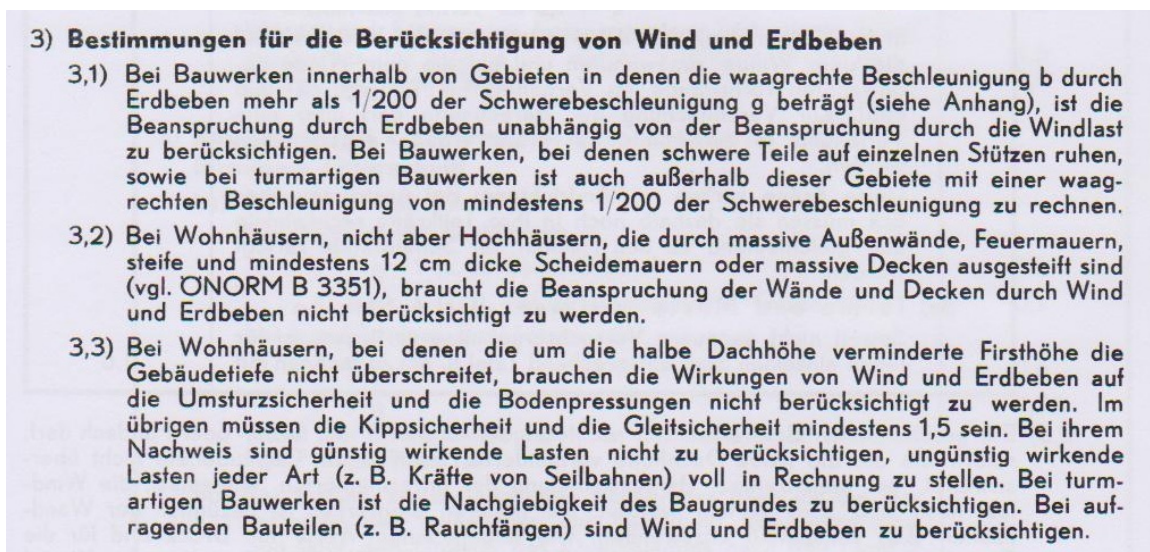


Abbildung 20 – ÖNORM B 4000-3

4.1.2 Weiterentwicklung der ÖNORM B 4015 und Ersatz durch EN 1998

In den Jahren nach dem folgenschweren Erdbeben von Friaul 1976 folgte eine grundlegende Überarbeitung der Bestimmungen, die in der ersten Ausgabe der ÖNORM B 4015-1 mündete. In diesem Regelwerk sind erstmals eine Karte für die Bebenintensität als auch moderne Berechnungsvorschriften unter Berücksichtigung von Koeffizienten für den Gründungs- und Verhaltenseinfluss (Eigenperiode) sowie für die vertikale Verteilung und die Bedeutungskategorie enthalten. Ebenfalls vorhanden sind einfache Angaben für die Bemessung von Einbauten. Die Nutzlasten sind mit einem Faktor in die seismisch wirksame Masse einzurechnen. Für das Bemessungsbeben wird von einer Wiederkehrdauer von 200 Jahren ausgegangen.

Im Hinblick auf das Eurocode Programm wurde die ÖNORM B 4015 im Jahr 1997 erneut neu aufgelegt und an die damals im Gründruck vorliegende ENV 1998 angeglichen. Dies bedeutet eine Wiederkehrdauer des Bemessungsbebens von 475 Jahren, was einer 10% Wahrscheinlichkeit für ein Auftreten innerhalb von 50 Jahren entspricht. Diese Norm wurde in den Jahren 2002 und 2006 erneut überarbeitet und war bis zum Ende der Koexistenzperiode 2009 gültig.

Der Eurocode EN 1998-1 ist in Österreich seit dem Jahr 2005 gültig und in seiner jetzigen Ausgabe 2013 die alleinig gültige Erdbebennorm in Österreich.

4.2 Bauen im Bestand – Rückblick und Stand der Technik

Bis zur Ausgabe der ÖNORM B 4015 – 2002 waren in den Vorgängerdokumenten keine Aussagen über den Umgang mit bestehender Bausubstanz enthalten. Die ÖNORM B 4015 (Anhang E, Abbildung 21) aus dem Jahre 2002 schreibt bei Umbauten von bestehender Substanz vor, dass das Sicherheitsniveau des Bestands nicht verschlechtert werden darf. Diesbezüglich wird auch festgehalten, dass hier eventuell Kompensationsmaßnahmen zu setzen sind, die das ursprüngliche Sicherheitsniveau wieder herstellen. Im Falle der Erhöhung der seismisch wirksamen Masse waren die Nachweise wie für Neubauten zu führen. Dieser Argumentation sind auch die von der

MA 37 in den Jahren 2006 und 2008 herausgegebenen Merkblätter für die statische Vorbemessung gefolgt.

Anhang E (normativ): Hinweise zu Altbauten bzw. Mauerwerksbauten allgemein

Bauliche Maßnahmen an bestehenden Bauwerken dürfen den ursprünglichen Bauzustand nicht verschlechtern, auch nicht in Bezug auf Horizontallasten. Im Bedarfsfall sind entsprechende Kompensationsmaßnahmen zu setzen oder die erforderlichen Nachweise nach ÖNORM B 4015 zu führen. Bei baulichen Veränderungen an bestehenden Bauwerken ist zu unterscheiden, ob eine Aufstockung (neue, zusätzliche Masse: gilt als Neubau) oder ein Umbau (zB Dachbodenausbau in Leichtbauweise) ohne maßgeblichen Zusatz an Masse erfolgt.

- Altbauten sind meist sehr gedrungene Konstruktionen. Es kann nach Abschnitt 11 überprüft werden, ob der Ansatz einer erhöhten Baugrunddämpfung zulässig ist. Bei Mauerwerksbauten mit einem Verhältnis $h_{ges}/b \leq 2$ in den Zonen 3 und 4 darf bei den Bodentypen in den Zeilen 2 und 3 der Tabelle 9 gemäß Abschnitt 11, Bild 10 eine zusätzliche Baugrunddämpfung von $\xi_b = 0,05$ angesetzt werden. Unter Ansatz von vertretbaren vereinfachenden Annahmen (gegenüber der Theorie gemäß Abschnitt 11) ergibt sich die Gesamtdämpfung zu $\xi = 0,12$. Der Parameter η in Formel (15) bzw. (23) beträgt dann $\eta = 0,767$. Bei Berücksichtigung der „natürlichen Duktilität“ mit $k_5 = 1,5$ ergibt sich der Maximalwert von k_2 nach Formel (13) bzw. (23) zu $2,5 \times 0,767 / 1,5 = 1,28$.
- Bei bestehenden Bauwerken wird auf die Möglichkeit verwiesen, durch einfache und kostengünstige Messungen die 1. Eigenfrequenz (eventuell auch die 1. Eigenform) ermitteln zu lassen. Dies ist besonders für den Fall geplanter Aufstockungen sehr hilfreich.
- Bei Mauerwerksbauten wird bei Erdbeben vermutlich in erster Linie die Grundeigenfrequenz maßgeblich sein.

Abbildung 21 – ÖNORM B 4015 (2002) Bestimmung für Altbauten

Gemeinsam ist den Merkblättern der MA 37 aus den Jahren 2006 und 2008 die Vorgabe von geometrischen und konstruktiven Randbedingungen (z. B. schubsteife Decke) sowie die Limitierung der Erhöhung der Vertikallasten. Unter Einhaltung dieser Bedingungen wurde ein derartiger Umbau nicht als Neubau eingestuft.

Diese Vorschriften wurden in erster Linie deshalb ausgearbeitet, weil zum Zeitpunkt des Inkrafttretens des Eurocode 8 die entsprechenden nationalen Anhänge insbesondere für Bestandsbauten nicht fertig gestellt waren.

3.2 Modifizierte seismische Einwirkungen, nicht-seismische Einwirkungen

(1)P Das Basismodell zur Definition der seismischen Bewegung als solches wird im ENV 1998-1-1:1994, Abschnitte 4.2 und 4.3 dargelegt.

(2) Die effektive Spitzengrundbeschleunigung a_g , die für die allgemeine Anwendung in verschiedenen seismischen Zonen definiert (s. ENV 1998-1-1:1994, Abschnitt 4.1) ist, darf für die Zwecke des Neuentwurfs reduziert werden, wenn berücksichtigt wird:

a) Die Zulässigkeit, die Restlebenszeit von Bauwerken, die nicht zur Kategorie I (s. ENV 1998-1-2:1994, Abschnitt 3.7) gehören, geringer zu planen als bei einem entsprechenden Neubau, vorausgesetzt, es ist gewährleistet, daß nach Ablauf dieser geplanten Restlebenszeit das Bauwerk abgerissen oder verstärkt wird (a_g wird entsprechend der vorhandenen Erdbebenzone modelliert). Geeignete Aufzeichnungen sollten sicherstellen, daß eben genannte Maßnahmen am Ende der Restlebenszeit durchgeführt werden.

b) Ein möglicher höherer Wert der Eintretenswahrscheinlichkeit des Ereignisses (s. ENV 1998-1-1:1994, Abschnitt 4.1) um größere soziale, ökonomische und/oder historische Einflüsse zu optimieren.

Anmerkung: Z.B. Im Falle, daß die geschätzten Kosten (einer Verstärkung aller Bauwerke in einem städtischen Siedlungs-gebiet) rapide ansteigen würden, wenn man a_g entsprechend dem, in der Norm festgelegten Wert erhöhen würde; oder in dem Falle, daß der Normwert von a_g bei einer Reparatur und/oder Verstärkung eines Monuments inakzeptable, architektonische Veränderungen nach sich ziehen würde.

(3)P Der Wert nichtseismischer Einwirkungen darf nicht innerhalb der Kombination mit seismischen Einwirkungen verringert werden (s.ENV 1998-1-1:1994, Abschnitt 4.4).

Abbildung 22 – Festlegung der nationalen Wahlmöglichkeit für die Wiederkehrperiode bereits in ENV 1998-1-4

Von der bereits in der ENV 1998-1-4 (1996) enthaltenen nationalen Wahlmöglichkeit für die Wiederkehrperiode des Bebens wurde erst in der B 1998-3 (2013) Gebrauch gemacht (siehe Auszug aus den Normen in Abbildung 22 und 23). Für Bestandsbauten, bei denen das erforderliche Sicherheitsniveau von Neubauten nicht erreicht wird, darf das Sicherheitsniveau entsprechend der Tabelle A.1 abgemindert werden. Genauere Festlegungen und Berechnungsvorschriften hierzu sind in der ONR 24009 sowie in den ÖNORMEN B1990 und B 1991-1-7 und in der OIB Richtlinie 1 enthalten.

(3)P Das angemessene Niveau baulicher Schutzmassnahmen wird definiert, indem für jeden Grenzzustand eine Wiederkehrperiode für die seismische Einwirkung ausgewählt wird.

ANMERKUNG Die Wiederkehrperioden, die den einzelnen Grenzzuständen zur Verwendung in einem Land zugewiesen werden, können in seinem nationalen Anhang festgelegt sein. Es wird davon ausgegangen, dass die Schutzwirkung, die normalerweise für gangrige neu errichtete Bauten als ausreichend angesehen wird, durch Wahl folgender Wiederkehrperioden erreicht wird:

- Grenzzustand des Quasiversagens (NC): 2.475 Jahre, entsprechend einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 2% in 50 Jahren
- Grenzzustand der wesentlichen Schädigung (SD): 475 Jahre, entsprechend einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10% in 50 Jahren
- Grenzzustand der Schadensbegrenzung (DL): 225 Jahre, entsprechend einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 20% in 50 Jahren.

Abbildung 23 – Festlegung einer nationalen Wahlmöglichkeit für die Wiederkehrperiode in EN 1998-3

4.3 Derzeit gültiges Regelwerk in Österreich

Mit 1. 5. 2013 sind nach einer etwa vierjährigen Bearbeitungsphase die ONR 24009 sowie die überarbeitete ÖNORM B 1998-3 in Kraft getreten. Diese Norm enthält erstmals die laut EN 1998-3 als auch im Vorgängerdokument EN 1998-1-4 bereits vorhandene nationale Wahlmöglichkeit einer reduzierten Zuverlässigkeit bei Bestandsbauten. In Anlehnung an die Schweizer SIA 2018 erlaubt die ONR 24009 nunmehr die Bemessung von Bestandsbauten mit einem verminderten Erfüllungsfaktor gegen Erdbebenbeanspruchung in Abhängigkeit von der Schadensfolge- bzw. Versagensfolgeklasse. In der EN 1990 sowie der nationalen Ergänzung B 1990-1 finden sich hier die Grundlagen für die Belange der Zuverlässigkeit im Bauwesen.

4.4 Relevante bezugnehmende Normen

Der derzeit gültige Normungsstand für die Anwendung auf Bestandsbauten stellt ein umfangreiches und ausgereiftes Regelwerk aus aufeinander abgestimmten Einzeldokumenten dar. Die diesbezüglich anzuwendenden Dokumente sind ab 1. 5. 2013 wie folgt:

- OIB – RL 1** Festlegung der ÖNORM EN 1990 als Stand der Technik und Standard für die Zuverlässigkeit im Bauwesen in Österreich
- ONR 24009** Festlegung von Berechnungsvorschriften für die erlaubte Herabsetzung des Zuverlässigkeitsniveaus bei außergewöhnlichen Einwirkungen und Erdbeben sowie der Zulässigkeit von Abweichungen vom aktuellen Normenstand
- Vorbild: SIA 2018 (Schweiz)
- EN 1990** Differenzierung des Zuverlässigkeitsindex β und Festlegung der Zuverlässigkeitsklassen RC (bereits seit 2002)
- B 1990-1** Differenzierung des Zuverlässigkeitsniveaus β (gem. EN 1990) und Einführung von Schadensfolgeklassen CC entsprechend der Zuverlässigkeitsklassen RC
- B 1998-3** Festlegung der Wiederkehrperioden samt Erfüllungsfaktoren im Grenzzustand der wesentlichen Schädigung in Abhängigkeit von der Schadensfolgeklasse (Tabelle A.1 im Anhang A.1)
- EN 1991-1-7** Abschätzung des Auftretens von nicht identifizierbaren und identifizierbaren Einwirkungen (Anprall, Explosionen) und deren Auswirkung sowie Strategien zur Erhöhung der Robustheit von Bauwerken
- B 1991-1-7** nationale Festlegungen zu EN 1991-1-7

Entsprechend der Schadensfolgeklassen laut ÖNORM B-1990-1 ist die erforderliche Redundanz gemäß der Versagensfolgeklassen in der ÖNORM EN 1991-1-7 bzw. B 1991-1-7 zu gewährleisten. EN 1991-1-7 behandelt dabei ausschließlich außergewöhnliche Einwirkungen aus Anprall, Explosion usw., nicht jedoch die Folgen von seismischer oder Brandeinwirkung. Die Norm liefert dabei Strategien zur Abschätzung des Risikos für lokales Versagen sowie zur Anwendung der Versagensfolgeklassen.

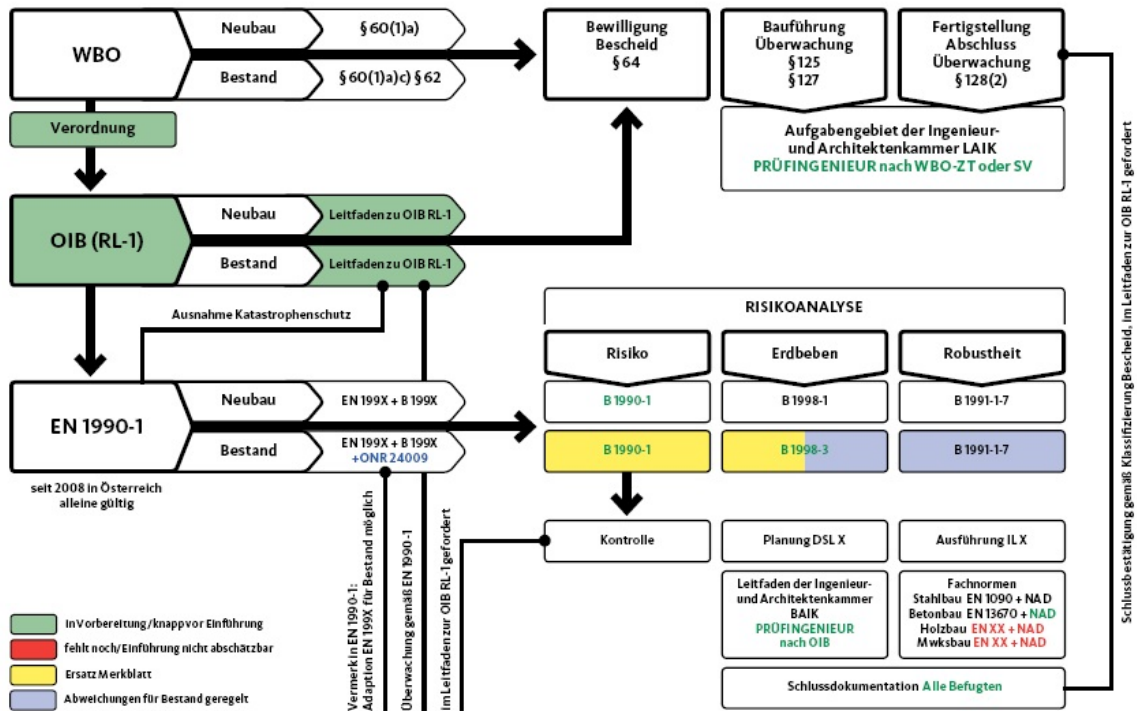


Abbildung 24 – [31] Bauer; Kern: Scheriffs auf die Baustelle, Wien 2013

In dem Diagramm in Abbildung 24 ist ersichtlich, wie die einzelnen Regelwerke in Verbindung miteinander zu verwenden sind, dazu siehe auch Bauer, Kern, Pech, Meinhold, Potucek [30]

4.5 Internationale Regelungen für Bestandsbauten

4.5.1 Deutschland

Im südlichen und mittleren Teil Deutschlands, anzusprechen sind hier insbesondere das Erzgebirge, die schwäbische Alb sowie Teile des Rheinlands, sind laut Expertenmeinung jederzeit starke Beben zu erwarten. Ein entsprechendes nationales Dokument zu der DIN EN 1998-3 existiert derzeit noch nicht. Umfangreiche Forschungstätigkeit ist jedoch in den letzten Jahren im Gange, hier sei auf Beiträge Stempniewsky, Seim etc. verwiesen [23], [24], [27], [28].

4.5.2 Neuseeland

Die Einwohner Neuseelands sind laufend mit auftretenden Starkbeben konfrontiert, womit diese Thematik auch stärker im Bewusstsein der Bevölkerung vorhanden ist als auch hohe politische, wirtschaftliche und wissenschaftliche Priorität genießt. Federführend ist hier die NZSEE (New Zealand Society for Earthquake Engineering), der derzeit gültige Standard für die Erdbebensicherheit ist der New Zealand Building Act 2004 (enthält NZ Building Standard 1170 und weitere).

Ähnlich dem Merkblatt SIA 2018 oder der ONR 24009 wird im NZSEE ein Erfüllungsfaktor für bestehende Bauten festgelegt, der den Erfüllungsfaktor an demjenigen für die Erdbebensicherheit von Neubauten misst. Im Speziellen werden in Neuseeland Gebäude, die bei einem Erdbeben ein hohes Schadenspotential aufweisen, normativ gesondert behandelt.

Earthquake prone buildings, diese weisen einen Erfüllungsfaktor im Bestand $\alpha < 0,34$ auf, müssen auf 34 % des NBS (New Building Standard) verbessert werden, Earthquake risk buildings (Erfüllungsfaktor $\alpha < 0,67$) auf 67 % NBS innerhalb eines bestimmten Zeitraums, maximal jedoch bis 2030 (siehe auch Abbildung 25).

Table 1: Relative Earthquake Risk

Building Grade	Percentage of New Building Strength (%NBS)	Approx. Risk Relative to a New Building	Life-safety Risk Description
A+	>100	<1	low risk
A	80 to 100	1 to 2 times	low risk
B	67 to 79	2 to 5 times	low or medium risk
C	34 to 66	5 to 10 times	medium risk
D	20 to 33	10 to 25 times	high risk
E	<20	more than 25 times	very high risk

Abbildung 25 – Risikoeinstufung gemäß NZSEE (New Zealand Society of Earthquake Engineering)

4.5.3 Vereinigte Staaten von Amerika

Als derzeitige Bauvorschriften in den USA ist der IBC (International Building Code) 2009 gültig. Weitere Normen, insbesondere für Erdbeben und Bestandsbauten, sind der ATC 40 (Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings) und die FEMA (Federal Emergency Management Agency) Richtlinien.

Die wichtigsten sind

FEMA 273	Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings
FEMA 547	Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings
FEMA 356	Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings

Normen werden außerdem auch von der ASCE (American Society of Civil Engineers) bearbeitet und ausgegeben. Erwähnenswert ist weiterhin die Entwicklung des Kapazitätsspektrenverfahrens in den 1970er Jahren für militärische Zwecke [39].

4.5.4 Schweiz

Die seit 2004 gültige Norm für Bestandsbauten SIA 2018 ist ähnlich aufgebaut wie die ONR 24009, die Berechnung des Risikos und der Erfüllungsfaktoren beruht jedoch nicht nur auf der Personenanzahl, sondern auch auf wirtschaftlichen Überlegungen.

Weitere Normen sind die SIA 261 Einwirkungen auf Tragwerke (Anm. inkl. Erdbeben) sowie die SIA 266 Mauerwerk. Die SIA Dokumentationen ergänzen die Normenausgaben, hier seien besonders die SIA D 0231 (Erdbeben und Mauerwerk) und die SIA D 0237 (Beurteilung von Mauerwerksgebäuden bezüglich Erdbeben) hervorgehoben.

4.5.5 Chile

In Chile gibt es Erdbebennormen seit 1935, diese wurden aufgrund eines Starkbebens im Jahr 1928 eingeführt. Die Bemessung dieser Bestimmungen fußt auf einem statischen

Ersatzkraftfaktor in Größe von 5 – 10 % der Gebäudemasse. Im Jahre 1972 wiederum wurden die Normen aufgrund weiterer Erfahrungen mit örtlichen Beben grundlegend überarbeitet. In den chilenischen Normen für Stahlbetonbau wurde auf Umschnürungsbewehrungen für Druckglieder bis zum Jahr 2010 explizit verzichtet, dies wurde jedoch nach dem Beben vom 27. 2. 2010 revidiert [37].

4.5.6 Türkei

In der Türkei sind derzeit Bestrebungen zur Erneuerung der Bestimmungen für erdbebengerechtes Bauen im Gange. In der Region um das Marmarameer wird in den nächsten 20 Jahren aufgrund tektonischer Untersuchungen mit einem Starkbeben etwa der Magnitude 8 gerechnet. Leider sind dort derzeit mehr als die Hälfte der Wohnhäuser entgegen den baulichen Regeln für Erdbebengebiete errichtet, viele davon ohne jegliche Baubewilligung, mit minderwertigem Material. In der Regierung wird derzeit nach Möglichkeiten gesucht, die am stärksten gefährdeten Bewohner in sichere Häuser umzusiedeln.

5. Berechnung von erdbebenbeanspruchtem Mauerwerk in Gründerzeithäusern

5.1 Grundlegendes zur Erdbebenberechnung von Mauerwerksbauten

In der EN 1998-1 ist die Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben geregelt. Diese Regelungen umfassen Funktionsanforderungen und Auslegung von Hochbauten in Beton-, Stahl-, Verbund-, Holz- oder Mauerwerksbauweise sowie empfohlene Berechnungsmethoden (Abbildung 26).

Das vereinfachte Antwortspektrenverfahren nimmt als quasistatische Methode heute nur einen geringen Stellenwert ein und dient bestenfalls zur Abschätzung der Tragfähigkeit von Bauwerken untergeordneter Kategorie. Das multimodale Antwortspektrenverfahren dagegen wird vielfach bei der Konzeption von Neubauten verwendet, es erlaubt die modale Berücksichtigung des seismischen Verhaltens.

Die ersten Entwicklungen zu den verformungsbasierten Verfahren gehen bis auf etwa das Jahr 1960 zurück [40]. Im Jahr 1975 wurde von Freeman et al [39] ein Verfahren für die rasche Beurteilung des seismischen Widerstands von Bauwerken entwickelt, welches sich seit 1996 in dem amerikanischen Code ATC 40, Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings [41] wiederfindet. Es handelt sich dabei um die sogenannte Kapazitätsspektrummethode, welche heute in leicht abgewandelter Form als Pushover Analyse Verbreitung im Ingenieurwesen gefunden hat.

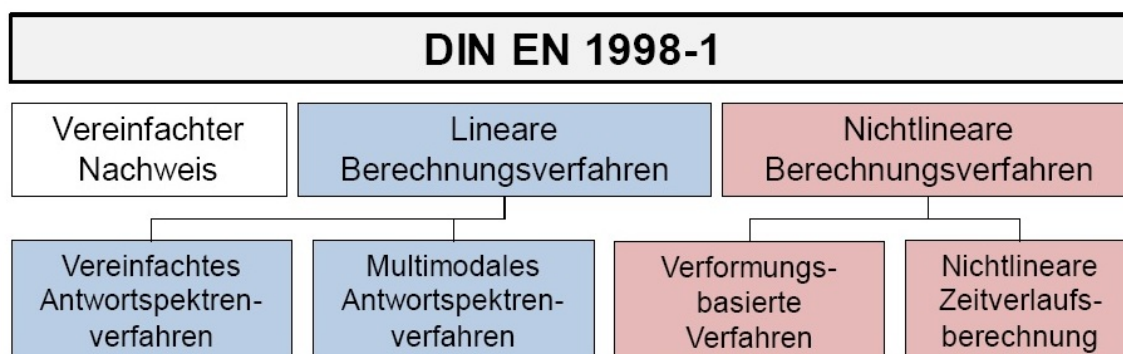


Abbildung 26 – EN 1998-1, inkludierte Berechnungsverfahren [38]

5.2 Kraftbasierte Berechnungsverfahren

5.2.1 Statische Berechnung mit Massenkoeffizienten

Diese Methode basiert darauf, mit einem einzigen Koeffizienten aus der Gesamtmasse des Bauwerks die Basisscherkraft zu errechnen. Sie wird heute nicht mehr angewandt, soll aber der Vollständigkeit halber nicht unerwähnt bleiben.

5.2.2 Vereinfachtes Antwortspektrenverfahren

Das Verfahren darf nur für Hochbauten angewendet werden, deren Grund- und Aufriss gemäß normativer Vorgaben eine Regelmäßigkeit aufweist, vgl. Tabelle 4.1 EN 1998-1.

Eine Modale Analyse ist nicht erforderlich, höhere Eigenformen werden vernachlässigt und es wird nur die Grundschwingzeit berücksichtigt, wobei diese ebenfalls in stark vereinfachter Form berechnet wird. Das in der Regel als Mehrmassenschwinger vorliegende Bauwerk wird als Einmassenschwinger abgebildet.

Gesamterdbebenkraft: $F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda$ mit (1)

S_d Ordinate des Bemessungsbeschleunigungsspektrums bei der Periode T_1

T_1 Grundschwingzeit

m Gesamtmasse des Bauwerks oberhalb der Gründung oder eines starren Keller-geschoßes

λ Korrekturbeiwert

Weitere Voraussetzungen: $T_1 \leq 4 T_C$ T_C siehe ÖNORM EN 1998-1 3.2.2.2

$T_1 \leq 2s$

Der Ansatz der Verteilung der Gesamterdbebenersatzkraft über die Höhe erfolgt entsprechend der Verteilung der Stockwerksverschiebungen oder angenähert entsprechend der ersten Eigenform.

Zur genauen Vorgangsweise und Rechengang siehe 4.3.3.2 EN 1998-1.

5.2.3 Multimodales Antwortspektrenverfahren



Abbildung 27 – Äquivalenter Einmassenschwinger [42]

Das multimodale Antwortspektrenverfahren ist das Standardrechenverfahren in der EN 1998-1. Antwortspektren werden durch eine Zerlegung des realen Bauwerks in eine Reihe von Einmassenschwingern angefertigt, wobei das Schwingverhalten des jeweiligen Einmassenschwingers durch ein Beschleunigungsspektrum in Abhängigkeit von der Schwingperiode dargestellt wird. Die Einhüllenden der den Eigenformen des Mehrmassenschwingers entsprechenden Beschleunigungsantwortspektren der Einmassenschwinger werden als Antwortspektren im Sinne einer Gebäudeantwort bezeichnet. Das Antwortspektrum spiegelt die Antwort aller möglichen Einmassenschwinger wieder (in Abbildung 27 beispielhaft ersichtlich).

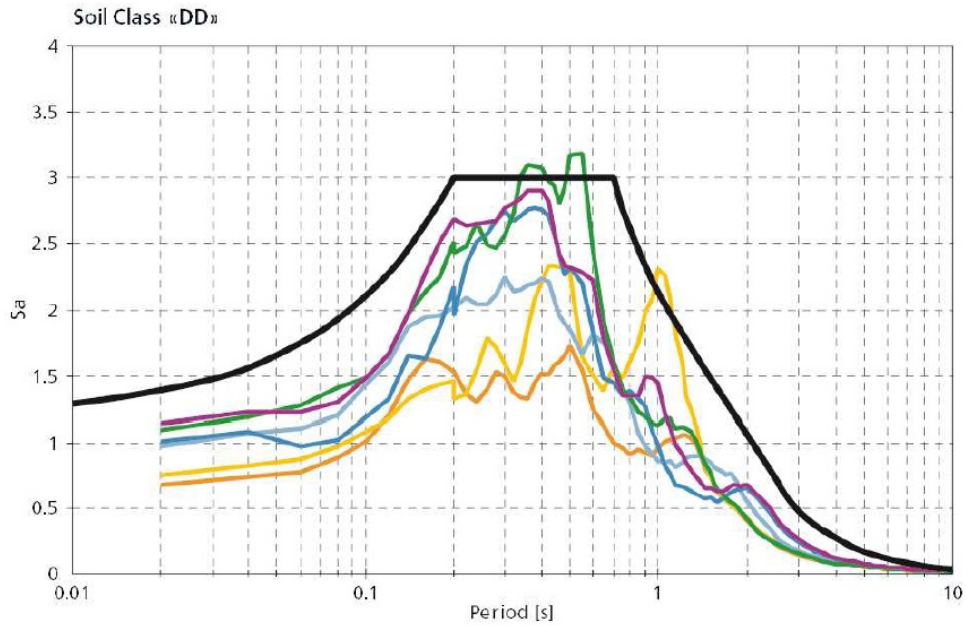


Abbildung 28 – Antwortspektren mit Einhüllender [44]

Die durch das Erdbeben angeregten Eigenfrequenzen des Bauwerks werden dabei vollständig berücksichtigt. Das Gebäude wird als Mehrmassenschwinger modelliert, welcher anschließend durch modale Analyse in seine verschiedenen Eigenformen zerlegt wird, wobei der Gesamtanteil der modalen Masse der Eigenformen, welche für die Erdbebenanalyse relevant ist, mindestens 90 % betragen muss.

Für die Schwingzeit jeder Eigenform findet sich im Antwortspektrum ein Spektralwert mit einer zugehörigen Bodenbeschleunigung, für den die jeweilige Eigenform ausgewertet wird (Bild 28).

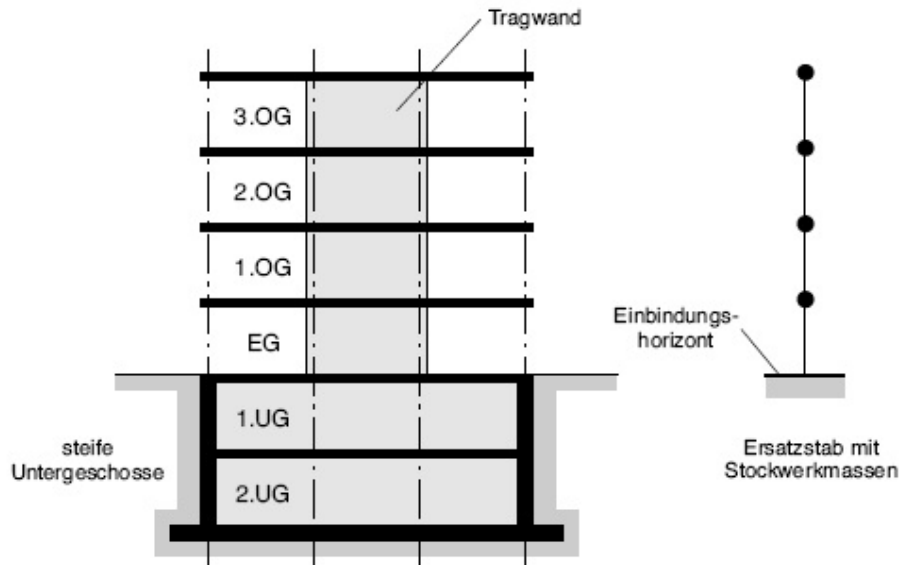


Abbildung 29 – Abbildung des Gebäudes als Mehrmassenschwinger [42]

In Bild 29 ist eine derartige Transformation eines Bauwerks in einen Mehrmassenschwinger dargestellt.

Die Verteilung der Einzelkräfte über die Gebäudehöhe erfolgt nach den jeweils erhaltenen Eigenvektoren der Modalanalyse. Eine manuelle Aufteilung entsprechend des Verschiebungsvektors oder angenähert nach der ersten Eigenform wie bei der vereinfachten Antwortspektrenmethode entfällt daher. Die aus den Eigenvektoren der einzelnen beteiligten Eigenformen erhaltenen Horizontalkräfte werden nun entweder nach der SRSS - oder nach der CQC – Methode superponiert und so die Gesamterdbebenkraft erhalten.

Bei sämtlichen kraftbasierten Methoden handelt es sich um rein statische, lineare Verfahren.

5.3 Verformungsbasierte Methoden

5.3.1 Nichtlineare Pushover Analyse

Die nichtlineare Pushover Analyse zählt zu den verformungsbasierten Berechnungsverfahren. Die Erdbebeneinwirkung für verformungsbasierte Verfahren wird in Form des Antwortspektrums der Verschiebung (Verschiebung/Zeit Diagramm) ausgedrückt. Mithilfe einer Umformung wird dieses in ein Verschiebungs-Beschleunigungsspektrum überführt. Der Nachweis erfolgt durch den Vergleich der Verformung mit dem Verformungsvermögen, der Verformung beim Einsturz.

Dafür wird die sogenannte Pushoverkurve oder auch Kapazitätskurve (Abbildung 30) benötigt, die durch schrittweises Aufbringen einer Horizontalkraft auf den zu untersuchenden Bauteil (z. B. Schubwand) bei konstanter Normalkraft aufgebracht wird.

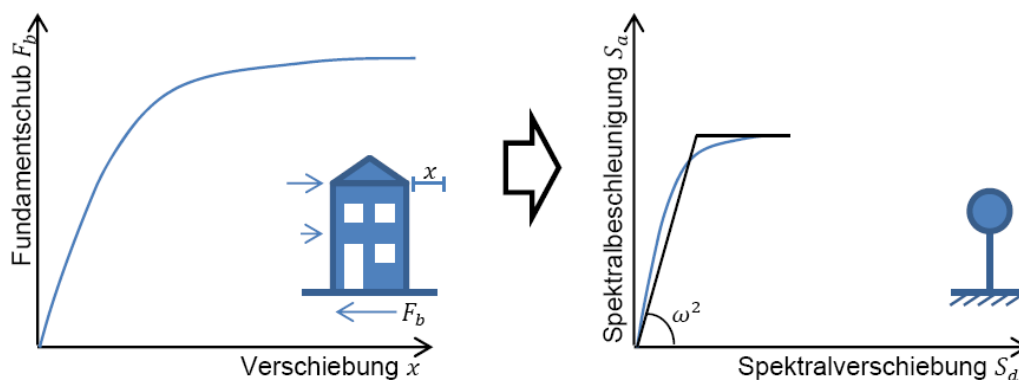


Abbildung 30 - Pushoverkurve und Transformation in AD – Format [46]

Eventuell in den Nachweis zu berücksichtigende Dämpfungsparameter werden im Antwortspektrum integriert. Sequentiell auftretendes Teilversagen sowie der dabei auftretende Steifigkeitsverlust können dabei berücksichtigt werden, womit dieses Verfahren sehr wirtschaftliche und realitätsnahe Ergebnisse bringt. Die Pushoverkurve wird anschließend ebenfalls vom $F - \Delta$ (Kraft – Verschiebung) in das AD – Format (Acceleration – Displacement) des äquivalenten, nichtlinearen Einmassenschwingers überführt, da die Einwirkung in Form des Antwortspektrums ebenfalls für den

entsprechenden Einmassenschwinger vorliegt. Darauf folgend wird die Kurve linearisiert, wobei dies flächengleich mit der Ursprungskurve erfolgt.

Durch Vergleich des Antwortspektrums mit der Kapazitätskurve im AD – Format (auch Kapazitätsspektrum genannt) lässt sich der sogenannte Performance Point bestimmen, welcher der Schnittpunkt des (gegebenenfalls gedämpften oder inelastischen) Antwortspektrums mit der bilinearen Kapazitätskurve ist und die Zielverschiebung des äquivalenten Einmassenschwingers darstellt (Bild 31).

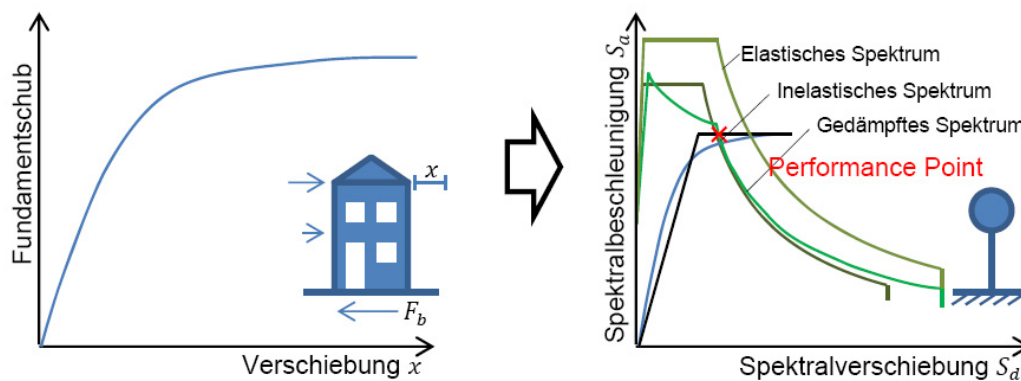


Abbildung 31 – Aufsuchen des „Performance Point“ [46]

Anschließend kann durch Rücktransformation die wirkliche Verschiebung am Bauwerk ermittelt werden und der Nachweis durch Vergleich mit der maximal zulässigen Verschiebung geführt werden.

Die Ermittlung der Kapazität des Gesamtgebäudes erfolgt durch einfaches Aufsummieren der Einzelbauteile. Sämtliche Nachweise, die mit der Pushover Analyse durchgeführt werden, gelten nur für die Schubbeanspruchung, alle anderen Nachweise für Vertikaltragfähigkeit, Stabilität, Gebrauchstauglichkeit etc. sind gesondert zu führen. Im Besonderen ist darüber hinaus zu prüfen, ob aufgrund der Geometrie des Gebäudes Torsionseffekte berücksichtigt werden müssen.

Der Rechenablauf für diese Verfahren wird dem Grunde nach in Kap. 5.3.3 gezeigt.

5.3.2 Kapazitätsspektrenverfahren

Dieses Verfahren wurde von Sigmund A. Freeman ab dem Jahre 1975 entwickelt [39] und diente vorerst zur Schnellabschätzung des seismischen Widerstands von militärischen Einrichtungen in den USA. Ab etwa 1980 ist dieses Verfahren für die zivile Nutzung weiterentwickelt worden und genau im ATC 40 [41] beschrieben.

Das Verfahren der Kapazitätsspektrenmethode basiert auf der Anwendung von gedämpften Antwortspektren. Freeman hat 1975 bereits Empfehlungen für Dämpfungsfaktoren abgegeben (Bild 32). Die Auffindung des „Performance Point“ erfolgt in der Regel numerisch oder mit einer Iteration, ist jedoch auch graphisch möglich. Hierfür sind innerhalb [41] drei verschiedene Verfahren (Procedure A, B, C) vorgesehen.

Table 3: Damping Values for Structural Systems

Structural System	Freeman et al. (1975)		Freeman et al. (1984)	
	Yield Limit	Ultimate Limit	Elastic-Linear	Post-Yield
Structural Steel	2%	5%	3%	7%
Reinforced Concrete	5%	10%	5%	10%
Masonry Shear Walls	2%	10%	7%	12%
Wood	5%	10%	10%	15%

Abbildung 32 – Empfehlungen für Dämpfungswerte [39]

Die im allgemeinen Pushover – Verfahren verwendete Vorgangsweise, die Kapazitätskurve durch eine bilineare Kurve anzunähern, wird hier nicht angewandt, anstatt dessen wird mit der rein nichtlinearen Darstellung der Kapazitätskurve weitergerechnet, weshalb die Methode auch den Namen „Kapazitätsspektrenmethode“ trägt. Eine mehrfach linear approximierete Annäherung der Kapazitätskurve ist jedoch auch hier möglich (Abbildung 33).

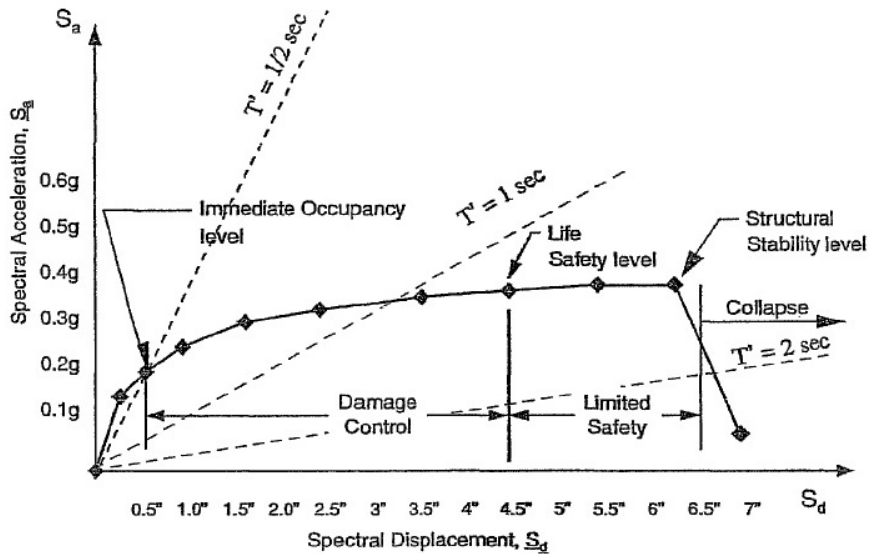


Abbildung 33 – Kapazitätsspektrum mit Beschreibung des Schadenslevels[41]

Bei Freeman sind gedämpfte Spektren im Einsatz, dies entspricht der ursprünglichen Formulierung der Kapazitätsspektrummethode [39].

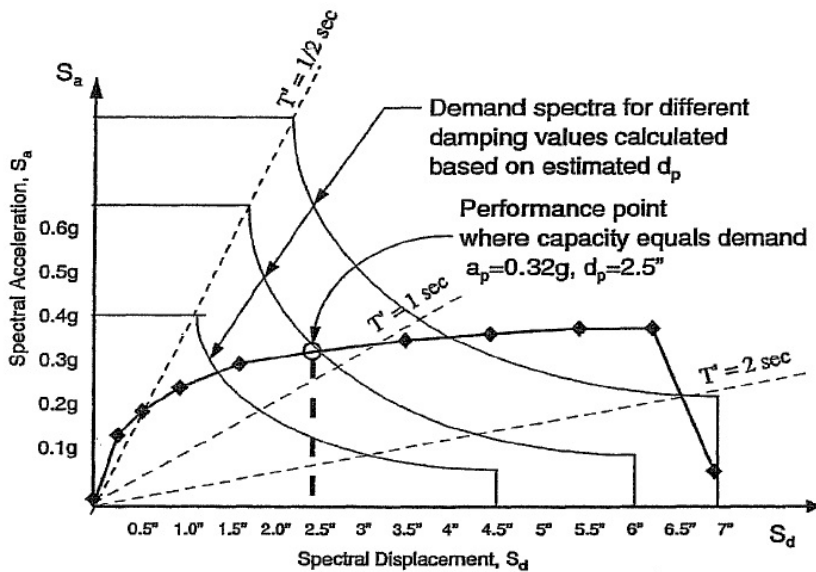


Abbildung 34 – Auffinden des „Performance Point“ mit gedämpften Spektren laut [41]

Sofern der Verhaltenspunkt („Performance Point“) im inelastischen (plastischen) Bereich liegt, muss dieser mit einem entsprechend gedämpften Antwortspektrum aufgesucht werden, um der Bauteilduktilität ausreichend Rechnung zu tragen (Bild 34).

Die maximal auftretende Verschiebung kann durch das Kapazitätsspektrum noch genauer bestimmt werden.

5.3.3 N2 Methode

Da diese Methode in der EN 1998-1 enthalten ist, wird diese hier näher vorgestellt und deren Rechenschritte erklärt.

Wie bei allen verformungsbasierten Verfahren brauchen hier keine Kräfte ausgerechnet zu werden, allerdings ist es nötig, die Art der horizontalen Lastverteilung festzulegen. Generell sollten laut ÖNORM immer zwei Untersuchungen durchgeführt werden.

Mode1: Anfangssteifigkeit - höhenproportionale Verteilung (Beschleunigung wächst mit der Gebäudehöhe an)

Mode2: weiches, vorgeschädigtes Erdgeschoß - massenproportionale Verteilung (Beschleunigung über die Gebäudehöhe konstant), siehe Bild 35.

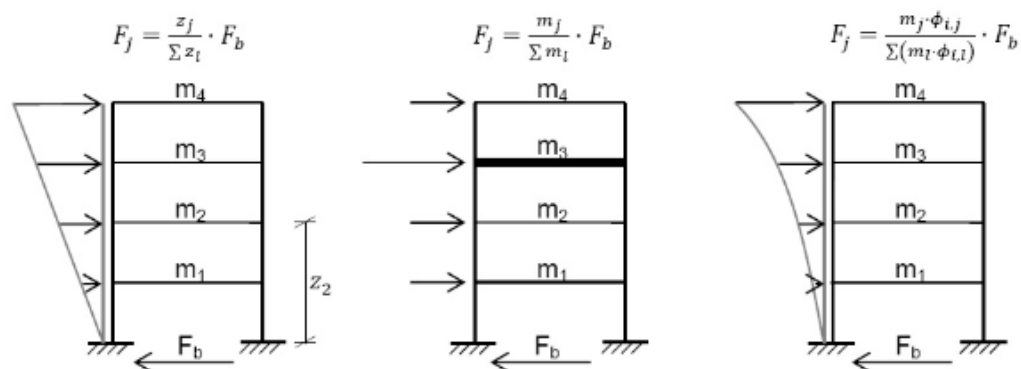


Abbildung 35 – mögliche Lastverteilungen [46]

Für die Berechnung der Einwirkung werden beim N2 Verfahren inelastische Antwortspektren verwendet im Gegensatz zu den gedämpften Spektren bei der Kapazitätsspektrenmethode. Diese inelastischen Spektren basieren auf dem inelastischen Verhalten des Gebäudes, welche mit den Reduktionsfaktoren, siehe beispielsweise [46]

$$R_{\mu} = (\mu - 1) \frac{T}{T_C} + 1 \quad T < T_C \quad (2)$$

$$R_{\mu} = \mu \quad T \geq T_C \quad (3)$$

proportional abgemindert werden. Den Ansatz der plastischen Reduktionsfaktoren R_{μ} verwendet auch die Methode in der ÖNORM EN 1998-1. Für die Reduktionsfaktoren gibt es in der Literatur auch noch einige andere geeignete Ansätze [48].

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte bei der nichtlinearen N2 Berechnung erläutert.

Schritt 1

Festlegung der Einwirkung gemäß EN 1998-1, hierzu werden die in der Norm enthaltenen Antwortspektren in das sogenannte ADRS – Format transformiert, siehe Abbildung 36.

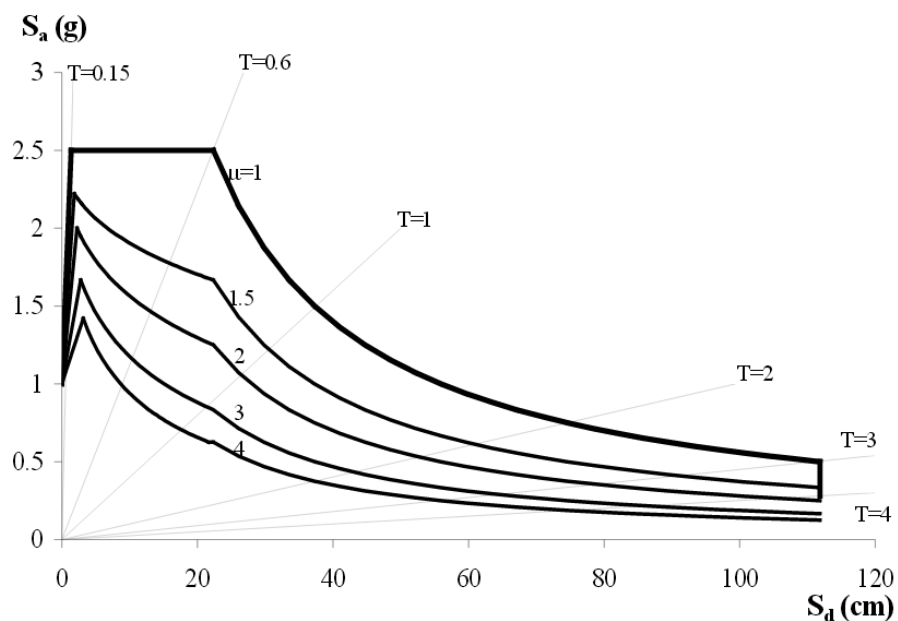


Abbildung 36 – Antwortspektrum EN 1998-1

Schritt 2

Tragwandidentifikation mit anschließender Ermittlung der Kapazitätskurven der einzelnen Tragwände, z. B. gemäß EN 1998-3 Anhang C.

Schritt 3

Ermittlung der globalen Kapazitätskurve des Gebäudes durch Summation der Kapazitätskurven der einzelnen Tragwände.

Schritt 4

Umformung der Kapazitätskurve des MMS in die Kapazitätskurve des äquivalenten EMS mit Hilfe der bekannten Transformationsformeln

$$\Gamma_1 = \frac{\boldsymbol{\phi}_1^T \mathbf{M} \mathbf{r}}{\boldsymbol{\phi}_1^T \mathbf{M} \boldsymbol{\phi}_1} = \frac{\sum m_j \cdot \phi_{1,j}}{\sum m_j \cdot \phi_{1,j}^2} \quad (4)$$

$$m_1^* = \boldsymbol{\phi}_1^T \mathbf{M} \mathbf{r} = \sum m_j \cdot \phi_{1,j} \quad (5)$$

Schritt 5

Bilineare Idealisierung der Kapazitätskurve. Die dazugehörige Formel lautet

$$d_y^* = 2 \left(d_m^* - \frac{E_m^*}{F_y^*} \right) \quad (6)$$

und basiert auf der Betrachtung des gleichen Energieinhalts der beiden Kurven, siehe Abbildung 37. Die Fließverschiebung d_y^* bezeichnet hier den Übergang der Kapazitätskurve des äquivalenten EMS in den plastischen Bereich.

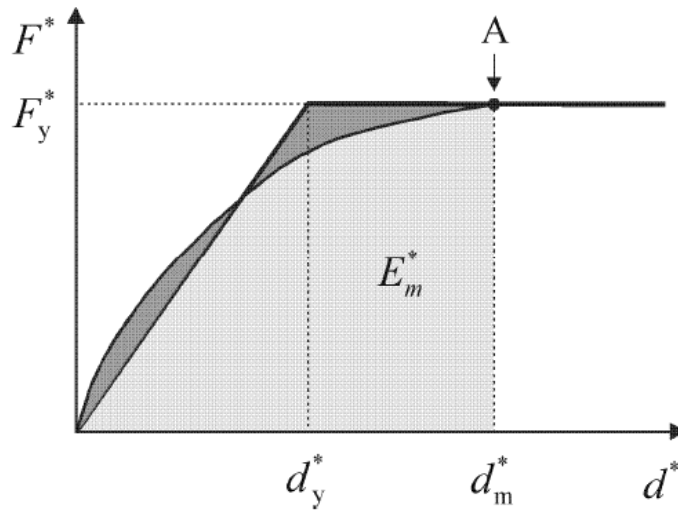


Abbildung 37 – Bilineare Approximation der Pushoverkurve [45]

Schritt 6

Transformation der Kapazitätskurve in das ADRS – Format mit Hilfe der Formeln

$$S_a = \frac{F_b}{\Gamma_1 \cdot m_1^*} \quad (7)$$

$$S_d = \frac{x_{\text{Kontrollpunkt}}}{\Gamma_1 \cdot \phi_{1,\text{Kontrollpunkt}}} \quad (8)$$

Schritt 7

Bestimmung der maximalen Antwort des äquivalenten EMS anhand der inelastischen Antwortspektren im ADRS – Format gemäß der Abbildung 38.

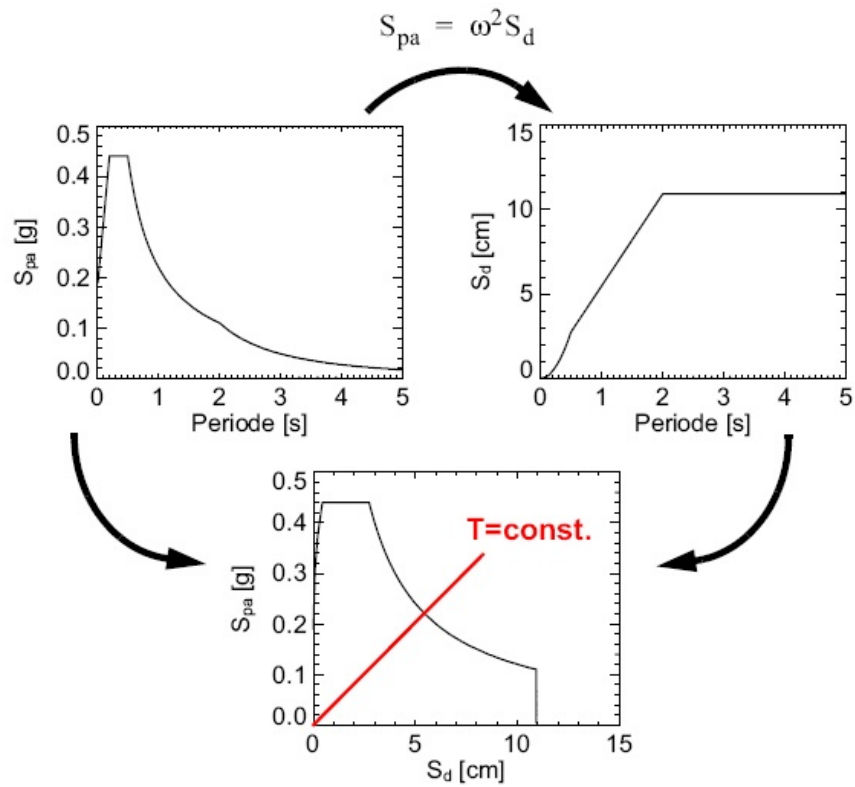


Abbildung 38 – Transformation des Antwortspektrums in das ADRS – Format[42]

Umwandlungsformel:

$$S_{de} = \frac{T^2}{4 \pi^2} S_{ae} \quad (9)$$

Die Formeln für die Bestimmung der inelastischen Spektren, diese werden mit Hilfe der Duktilitäts- und Reduktionsfaktoren μ und R_μ berechnet, lauten wie folgt:

$$S_a = \frac{S_{ae}}{R_\mu} \quad (10)$$

$$S_d = \frac{\mu}{R_\mu} S_{de} = \frac{\mu}{R_\mu} \frac{T^2}{4 \pi^2} S_{ae} = \mu \frac{T^2}{4 \pi^2} S_a \quad (11)$$

Die Definition der Reduktionsfaktoren im inelastischen Bereich des Antwortspektrums beruht auf dem Prinzip der gleichen Verschiebung bzw. der gleichen Verformungsenergie (in der ÖNORM enthalten).

Gleiche Verschiebung: Bei weichen Systemen ist die Verschiebung von elastischen und inelastischen EMS gleich – ab T_c ist daher der Reduktionsfaktor linear, weil dann weiches Systemverhalten vorliegt.

Gleiche Energie: Im Bereich 0 bis T_c gilt die nichtlineare Reduktionsbeziehung

$$R_{\mu} = (\mu - 1) \frac{T}{T_c} + 1 \quad T < T_c \quad (12)$$

da bis zur Periode T_c ein steifes Bauteilverhalten vorliegt, dies zeigt auch Abb. 39.

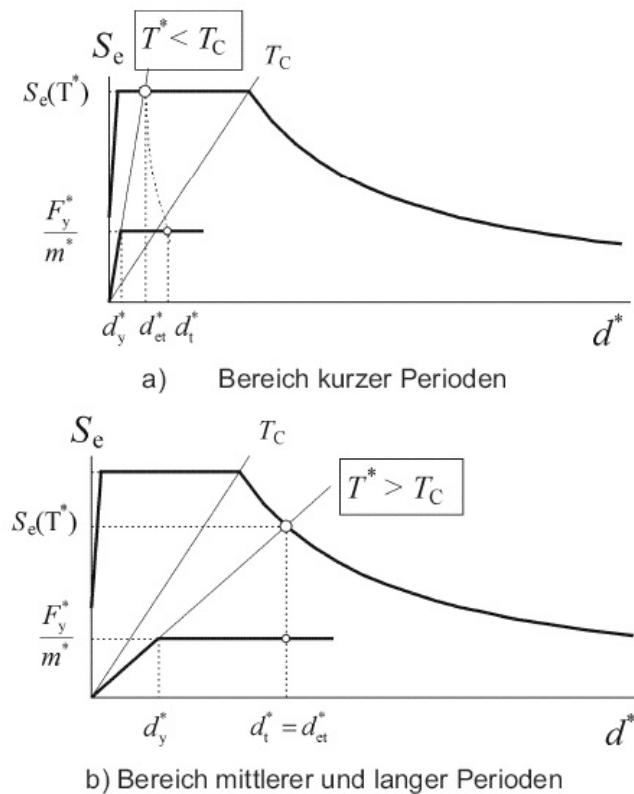


Abbildung 39 – Bauteilverhalten in Abhängigkeit von der Periode [45]

Schritt 8

Bestimmung der maximalen Antwortgrößen am EMS infolge der Einwirkung (Zielverschiebung) laut Abbildung 40.

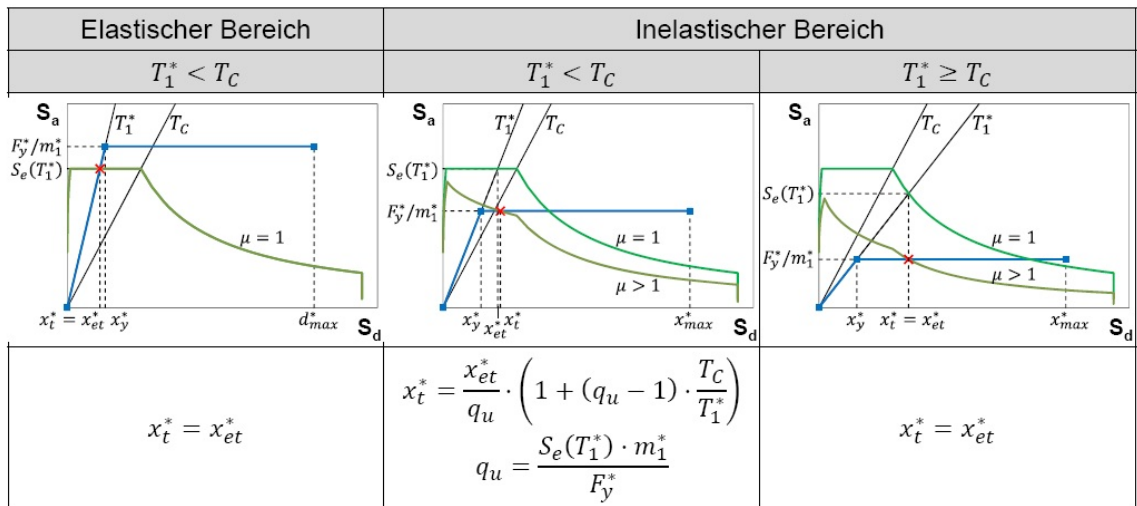


Abbildung 40 – Ermittlung der Zielverschiebung am äquivalenten EMS [46]

Schritt 9

Rücktransformation des EMS in den MMS und Vergleich der Zielverschiebung des MMS mit der maximal zulässigen Verschiebung (Erdbebennachweis).

5.4 Weitere Verfahren

Vollständigkeitshalber soll nicht unerwähnt bleiben, dass außer den besprochenen Verfahren noch diverse andere nichtlineare statische bzw. dynamische Rechenverfahren existieren, deren Praxisrelevanz jedoch aufgrund des hohen Rechenaufwands derzeit von untergeordneter Bedeutung ist.

- Nichtlineare multimodale pushover Berechnung am MMS
- Vereinfachte nichtlineare dynamische Analyse am äquivalenten EMS
- Vereinfachte nichtlineare dynamische Analyse am äquivalenten MMS
- Nichtlineare dynamische Analyse am Realmodell (=Zeitverlaufsverfahren)

5.5 Verhalten von Mauerwerk unter kombinierter Beanspruchung

5.5.1 Stand der Technik

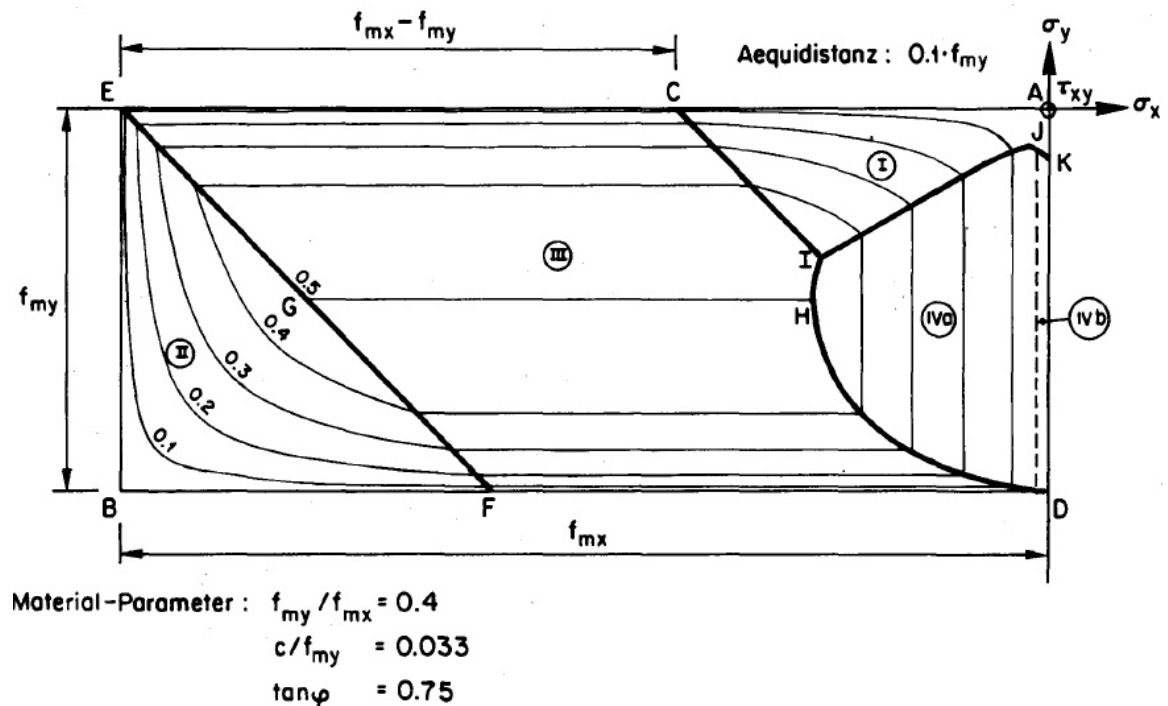
Hinsichtlich des Tragverhaltens von Mauern gibt es eine Reihe von Publikationen, hervorzuheben sei an dieser Stelle die Arbeit von Hans Rudolf Ganz [12], in dessen Arbeit aus dem Jahr 1985 die Beanspruchung von Mauerwerk durch Normal- und Schubkräfte behandelt wurde.

Grundlegend wird hier die Erkenntnis festgehalten, dass die Schubtragfähigkeit einerseits von einem konstanten Wert, der sogenannten Anfangsscherfestigkeit, sowie von der Vertikalspannung und der vorhandenen Reibung abhängt.

Entsprechend der Abbildung 41 sind hier, abgesehen von Stabilitätsversagen aus der Wandebene, fünf verschiedene Versagensarten möglich, nämlich Zug-, Schub- oder Druckversagen im Stein sowie Gleiten oder Zugversagen in der Lagerfuge.

Für die Erdbebenbemessung sind insbesondere das Gleiten in der Lagerfuge, das Steinzugversagen sowie das Druckversagen am Wandfuß im Grenzzustand des Kippens relevant.

Ein Stabilitätsnachweis für das Versagen aus der Wandebene ist bei schlanken Wänden ebenfalls notwendig, hier wird auf Paulay/Priestley [49] verwiesen.



Die fünf Regimes der Bruchbedingung haben folgende Bedeutung:

- (I) : Zugversagen im Stein (Ausschluss von Zugspannungen)
- (II) : Druckversagen im Stein (Druckfestigkeit des gesamten Querschnittes ausgenützt)
- (III) : Schubversagen im Stein (Druckfestigkeit der zweiachsig beanspruchten Querschnittsteile ausgenützt)
- (IVa) : Gleiten entlang der Lagerfugen
- (IVb) : Zugversagen (Trennbruch) in den Lagerfugen

Abbildung 41 - Modell der Bruchflächen nach Ganz samt Bruchregimes [12]

In Abbildung 42 ist der Einfluss des Zusammenwirkens von Normal- und Schubbeanspruchung dargestellt. Der von der Geraden (2) begrenzte Bereich bildet das Schubversagen zufolge Gleiten in der Lagerfuge bei geringem Normalkraftniveau ab. Bei höherer Normalspannung ergibt sich Steinzugversagen im Bereich des durch die Gerade (4) begrenzten Plateaus. Erfährt der Bauteil eine weitere Erhöhung der Normalkraft, resultiert daraus das Druckversagen im Stein am Wandfuß (Biegeversagen, vgl. ÖNORM EN 1998-3).

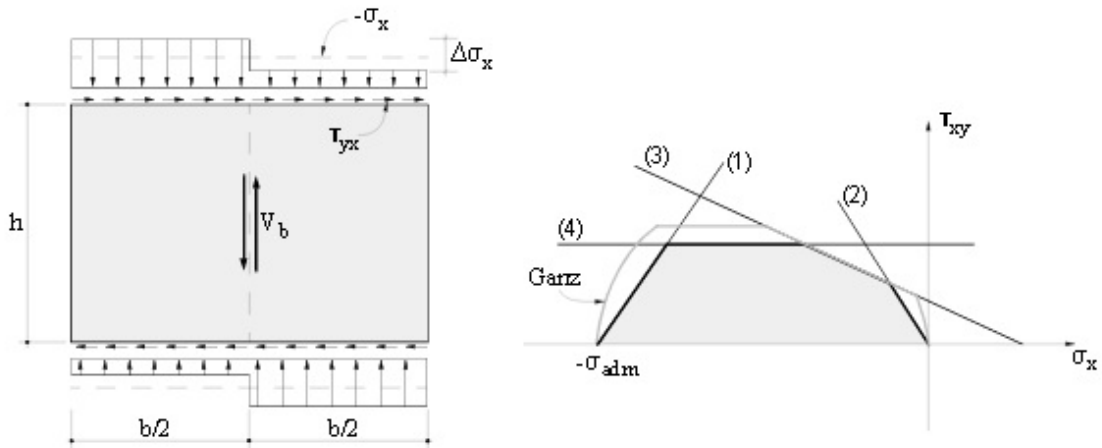


Abbildung 42 – N – V – Interaktionskurve nach Mann/Müller [13]

Bei Wänden mit nachträglich eingebauten Öffnungen verändert sich die geometrisch mögliche Abtragung von Schub- und Druckkräften nachteilig. Oftmalig ist es erwünscht, in bestehende Wände, welche zur Abtragung von Erdbebenkräften herangezogen werden müssen, Durchbrüche zu schaffen, wodurch sich die Aussteifungssituation in einem Gebäude maßgeblich verschlechtert. In der Regel wird hier mit aufwendigen Stahlkonstruktionen Abhilfe geschaffen, was jedoch hohe Kosten mit sich bringt. Die Möglichkeiten, hier alternative Verstärkungsmethoden einzusetzen, werden ausführlich in Kapitel 6 erläutert.

5.5.2 Berechnungsansätze zur Ermittlung der Schnittgrößen

Kragträgermodell

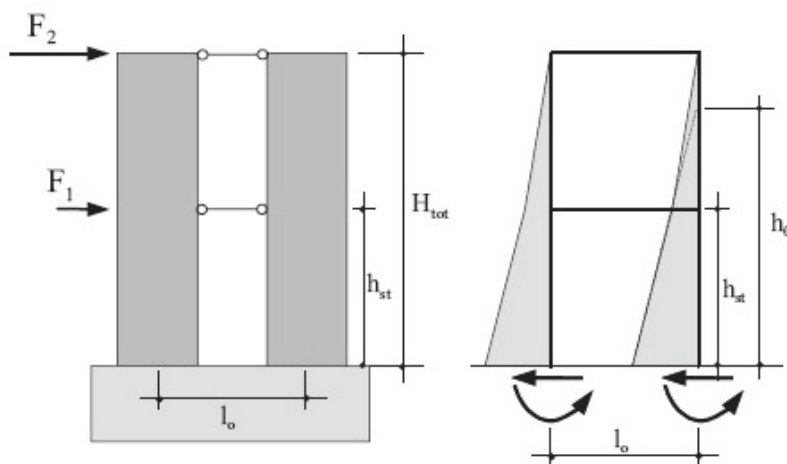


Abbildung 43 – Kragarmmodell nach [43]

Das Kragarmmodell (Abb. 43) wird angewendet, wenn keine Schub- und Biegesteifigkeit der Geschoßdecken vorhanden ist. Dies ist bei den Gründerzeithäusern in der Regel der Fall, wenn noch keine Umbau- bzw. Modernisierungsmaßnahmen (Stahlbetondecken oder gleichwertig) getroffen wurden. Der für die Berechnung relevante Momentennullpunkt liegt an der Stelle des Angriffs der Ersatzkraft.

Rahmenmodell

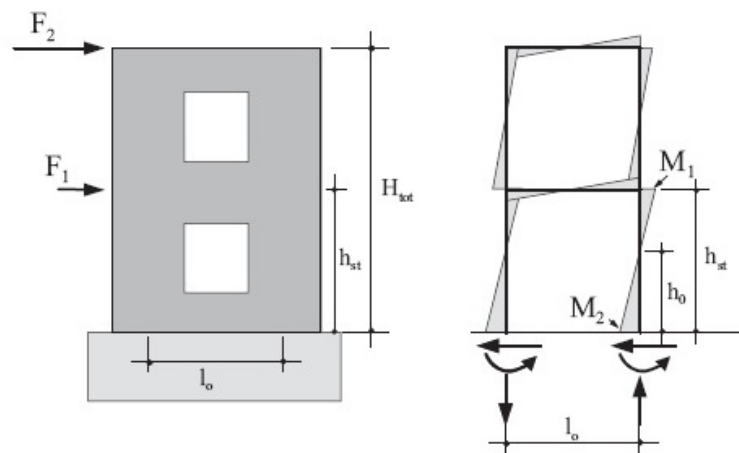


Abbildung 44 – Rahmenmodell nach [43]

Aufgrund der Koppelung der Riegel mit den Stielen durch die Steifigkeit der Decken treten Einspannmomente auf. Diese entstehen durch die Verformungsbehinderung, welche durch die Biegesteifigkeit der Geschoßdecken entstehen. Dieser Fall ist für die Gründerzeithäuser in der Regel nicht relevant (Abb. 44).

Nachgiebige Einspannung

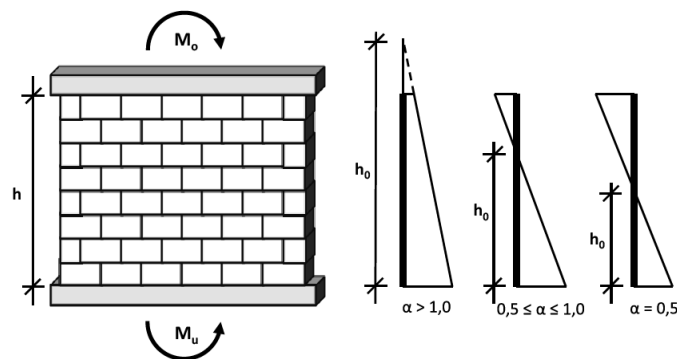


Abbildung 45 – Einspanngrad einer Mauerwerksscheibe nach [50]

Die Einspannwirkung entsteht durch das Aufstellmoment, welches aufgrund der Horizontalkraft auftritt, in Zusammenwirken mit der Verformungsbehinderung durch die Deckensteifigkeit. Der Einspanngrad α errechnet sich aus der Wandhöhe und der Höhe des Momentennullpunkts

$$\alpha = \frac{h_0}{h} = \frac{M_u}{M_u - M_o} \quad (13)$$

und muss nicht zwangsläufig im entsprechenden Wandteil liegen, siehe Abbildung 45.

Zu beachten ist insbesondere, dass sich die Aufstellendenz unmittelbar auf die Deckenbelastung und in weiterer Folge auf das lokale Normalkraftniveau in der Wandscheibe auswirkt, wobei zu beachten ist, dass eine Abnahme der Normalkraft immer mit einer Verminderung der Schubtragfähigkeit einhergeht.

5.6 Nachweiseim Grenzzustand der Tragfähigkeit

5.6.1 Mauerwerksnorm EN 1996-1-1

Die charakteristische Schubtragfähigkeit von Mauerwerk laut ÖNORM EN 1996-1-1 ist definiert als

$$V_{Rd} = f_{vd} t l_c \quad \text{dabei ist} \quad (14)$$

$$f_{vd} = f_{vk} / \gamma_M = (f_{vk0} + 0,4 \sigma_d) / \gamma_M \quad \text{mit } f_{vk} < 0,065 f_b \quad (15)$$

der Bemessungswert der Schubfestigkeit von Mauerwerk unter Zugrundelegung des Mittelwertes der vertikalen Druckspannung im überdrückten Teil der schubbeanspruchten Wand unter Vernachlässigung der Zugfestigkeit des Mauerwerks, für Mauerwerk mit vermörtelten Stoßfugen

t die Wanddicke der schubbeanspruchten Wand

l_c die Länge des überdrückten Teiles der Wand unter Vernachlässigung auf Zug beanspruchter Teile der Wand

f_b die normierte Druckfestigkeit der Mauersteine in Krafrichtung

γ_M der Teilsicherheit für die Mauerwerksfestigkeit

Neben dem Schubtragnachweis sind noch folgende Nachweise zu führen:

- Nachweis der Vertikaltragfähigkeit (siehe Kapitel 6)
- Nachweis der Biegetragfähigkeit (zulässige Ausmitte bzw. Kippen)
- Stabilitätsnachweis für das Versagen aus der Ebene

Zu beachten ist, dass sich aufgrund der Höhenlage und der Massenverteilung im Gebäude eine unterschiedliche Vertikalspannung in den einzelnen Geschoßen einstellt, was wiederum die Schubtragfähigkeit beeinflusst. Darüber hinaus bewirkt die zyklische Normalkraft eine Entlastung von einzelnen Wandteilen mit der Konsequenz, dass hier die Schubtragfähigkeit ebenfalls auf ein Minimum abfällt.

5.6.2 Erdbebennorm EN 1998-3

Die Horizontalkapazität einer Mauerwerksscheibe wird durch Biegung oder Querkraft begrenzt und beträgt das Minimum der beiden folgenden Ausdrücke:

$$V_f = \min \left(V_f = \frac{DN}{2H_0} (1 - 1,15 v_d) \right), \quad V_f = f_{vd} D' t \quad \text{dabei ist} \quad (16)$$

D Horizontale Wandabmessung in ihrer Ebene

N Normalkraft in der Ebene der Wand

H₀ Abstand zwischen dem betrachteten Querschnitt und dem Momentennullpunkt

v_d =N/(Dt_{f_d}) dimensionslose Längskraft (f_d mittlere Druckfestigkeit)

f_{vd} Schubfestigkeit des Mauerwerks unter Berücksichtigung der Vertikallast

D' Höhe des überdrückten Teils der Wandfläche

t Wanddicke

Im Gegensatz zur EN 1996-1-1 ist hier eine Aussage über die Biegekapazität der Wände enthalten. Die EN 1998-3 ist bereits an die modernen Verfahren zur Bestimmung der Gebäudekapazitäten angepasst.

In der EN 1998-3 finden sich ebenfalls Angaben zur Verformungsfähigkeit der Wände im Grenzzustand der wesentlichen Schädigung. Diese Werte können der Norm entnommen werden und dienen zur Festlegung der Kapazität bei den verformungsbasierten Verfahren.

In allen Fällen zu beachten sind selbstverständlich die in den Normen enthaltenen Angaben über die Höchstschlankheiten.

5.6.3 SIA 266

Die Methode aus SIA 266 [29] wird hier angeführt, weil sie anhand des Spannungsfächers (Abb. 46) anschaulich und leicht begreifbar ist. Der Schubnachweis ist wie folgt zu führen:

$$V_d = k_v l_1 t_w f_{yd} \quad (17)$$

$$l_1 = l_w - 2 M_{z1d} / N_{xd}$$

V_d Bemessungswert der Querkraft parallel zur Wandebene

M_{z1d} Bemessungswert des Biegemoments am Kopf des Bauteils

N_{xd} Bemessungswert der wirkenden Normalkraft

l_w, t_w Länge und Dicke der Wand

f_{yd} Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks parallel zur Lagerfuge

k_v Beiwert aus Tabelle 6 SIA 266 (Abbildung 47)

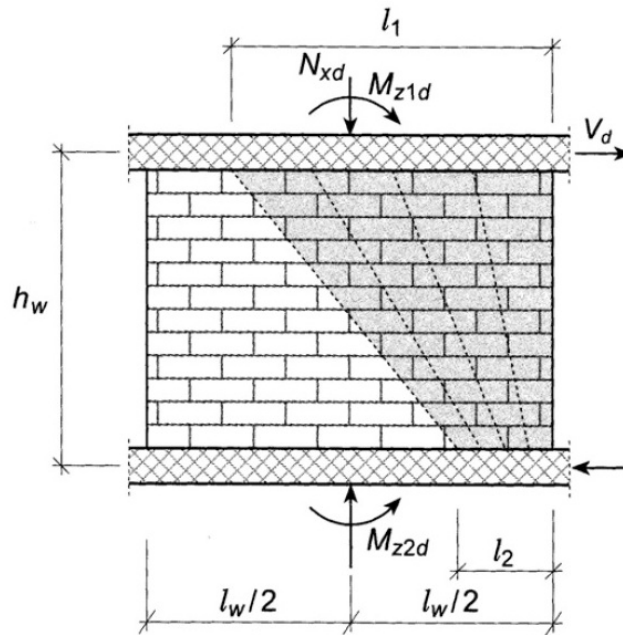


Abbildung 46 – Spannungsfächer Schubnachweis [29]

Für die in Kapitel 6 behandelten Verstärkungsmethoden ist die Kraftableitung mittels Spannungsfeldern bzw. Druck- und Zugstreben wesentlich.

Zusätzlich zu dem oben beschriebenen Nachweis ist noch der Nachweis der Vertikaltragfähigkeit am Wandfuß und in Wandmitte zu führen sowie eventuell Stabilitätsnachweise.

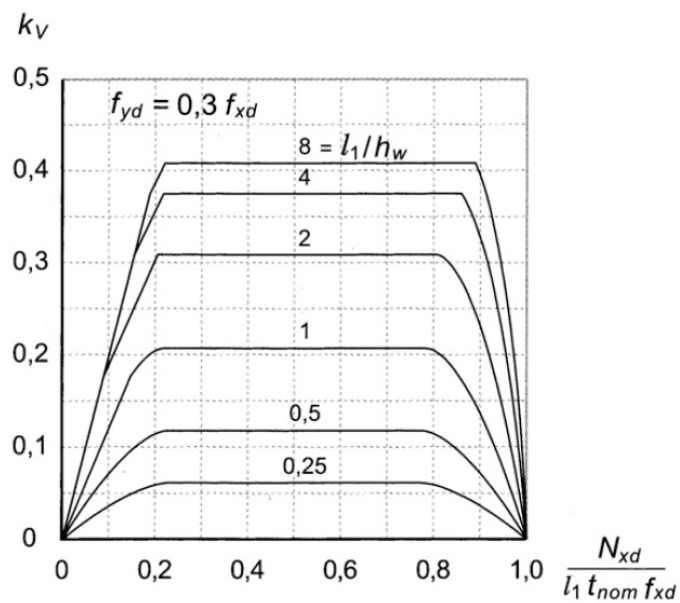


Abbildung 47 – k_v – Werte für den Schubnachweis Tabelle 6 SIA 266[29]

6. Verstärkung von Mauerwerk mittels hochduktilen SHCC

6.1 Grundgedanke und bekannte Verstärkungsmethoden für Schubwände

Einbau von Stahlrahmen

Der Einbau von Stahlrahmen ist als effiziente Methode für den Ersatz bzw. die Auswechslung von gänzlich zu entfernenden Schubwänden anzusehen. Die Abbildung 48 links unten zeigt, wie man bei solchen Kompensationen auch Türdurchbrüche realisieren kann.

Der hohe Transport- und Montageaufwand und hohe Kosten stellen somit den Hauptnachteil der Methode dar.

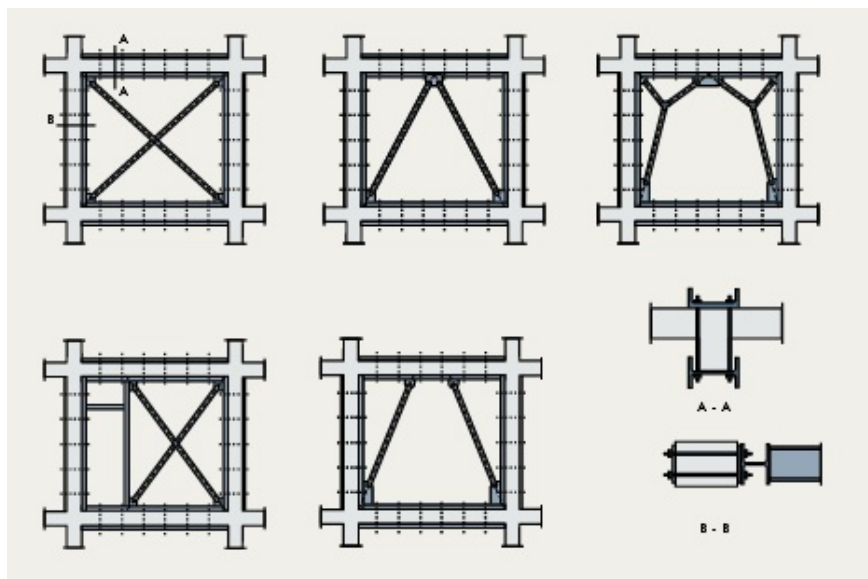


Abbildung 48 – Ausfachung von Mauerwerksbauten mit Stahlrahmen – Arcellormittel [52]

Die Abbildung 49 illustriert eine mögliche Variante für die Verstärkung eines Betongebäudes mit geschraubten Stahlrahmen zur Aufnahme der Schubkräfte. Die Rahmen sind über beide Geschoße angeordnet und mit duktilen Anschlüssen versehen, welche sich bei Belastung verformen können.



Abbildung 49 – Verstärkung eines Stahlbetongebäudes mit Stahlrahmen, www.pournatzis.com

Montage von Stahlapplikationen

Die Verstärkung mittels aufgeklebter oder endverankerter Stahllamellen ist seit Jahren Stand der Technik. Die Schwierigkeit besteht in der Verankerung der Armierungslamellen.



Abbildung 50 – Verstärkung von Wänden mit Stahllamellen, stahlton-bautechnik.ch

Aufbringen einer Schicht aus bewehrtem Spritzbeton

Die Aufbringung von ein- bzw. beidseitigen Schichten aus Spritzbeton stellt eine bereits häufig genutzte Möglichkeit zur Verstärkung von seismisch hoch beanspruchten Mauerwerksbauteilen dar. Ein Vorteil der Methode sind die geringen Materialkosten, der Nachteil besteht in der relativ aufwendigen Baustelleneinrichtung.

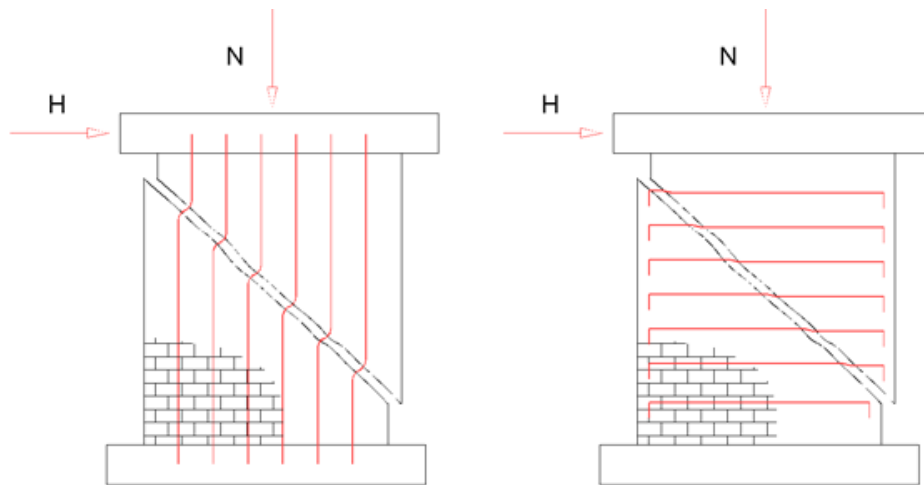


Abbildung 51–Verstärkung mit bewehrtem Spritzbeton [51]

FRP Sheets



Abbildung 52 – Verstärkung von Mauerwerk mittels Carbonlamellen, Master Builders Australia

FRP Sheets können mit Glas-, Kohle-, Aramid- und ähnlichen Fasern appliziert werden, die Verarbeitung erfolgt wie bei den Stahllamellen mittels Aufklebung, auch hier muss besonderes Augenmerk auf die Endverankerung gelegt werden.

Aufbringen von dünnen Textilbetonschichten

Bei der Verstärkungsmethode durch das Aufbringen von textilbewehrten Betonschichten kann das Tragverhalten mit der Verstärkungsmethode durch bewehrten Spritzbeton verglichen werden. Im Unterschied zu den orthogonalen Bewehrungsnetzen beim Spritzbeton kommen beim Textilbeton vermehrt auch Textilien mit 3 oder 4 Bewehrungsrichtungen zum Einsatz, siehe Abbildung 53 und 54.



Abbildung 53 – Aufbringen von textilbewehrtem Spritzbeton [53]

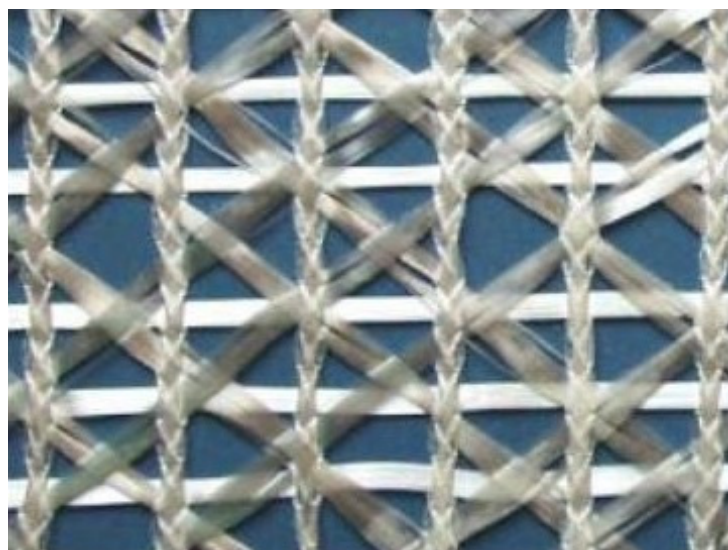


Abbildung 54 – vieraxiales Gelege [36]

Umschnürungen mit textilverstärkten Beton- oder Mörtelschichten

Für Säulen und Stützen bzw. stützenförmige Bauteile bestehen Systeme zur Umschnürung mit faserarmierten Polymerbeschichtungen bzw. faserarmierten Mörtelsystemen. Die Umschnürungswirkung beruht dabei auf der Wirkung der Behinderung der Querdehnung.

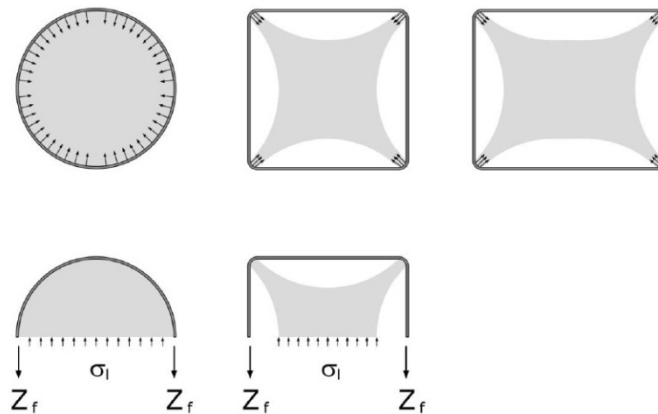


Abbildung 55 – Umschnürung mit Faserbeton, Seim [27]

6.2 Verstärkung von Mauerwerk mittels hochduktilen Beton

6.2.1 Einführung

Grundsätzlich wird als bekannt vorausgesetzt, dass Beton ohne herkömmliche Bewehrung und ohne Faserzusätze ein sprödes Verhalten ohne für den praktischen Gebrauch nennenswerte Zugfestigkeit aufweist. Beim Anfang des 20. Jahrhunderts erfundenen Stahlbeton wird diesem Nachteil des Baustoffs Beton durch gezielt eingebaute Stahleinlagen begegnet. Damit einhergehend folgt durch die aufgrund von Korrosionserscheinungen nötige Betondeckung eine große Massigkeit bei der Konstruktion von Stahlbetonbauwerken, trotz dieser lässt sich die Stahl- und Betonkorrosion allerdings nicht gänzlich vermeiden.

Der Ersatz der Stahlbewehrung durch andere Werkstoffkomponenten zur Übernahme der in den Bauteilen auftretenden Zugkräfte ist daher schon seit längerem in den Fokus der Forschung gerückt. Etwa von 1960 an begann der Einsatz von Stahlfaserbeton, beispielsweise im Tunnelbau bzw. bei Hangsicherungen und dergleichen. Die in anderen

Technologiebereichen erfolgreich entwickelte Verbundbauweise, bei welcher eine Matrix aus Polymeren mit verschiedensten Fasererzeugnissen armiert wird, hat mittlerweile auch in die Betontechnologie Einzug gefunden. Die in dieser Arbeit behandelten ECC (Engineered Cementitious Composites) bzw. nach aktueller Bezeichnung SHCC (Strain Hardening Cementitious Composites) werden seit etwa 20 Jahren entwickelt und haben mittlerweile bereits für diverse Anwendungen die Marktreife erreicht.

6.2.2 Mechanische Grundlagen

Die nötigen Komponenten für die Herstellung von SHCC sind eine zementgebundene Feinkornmatrix mit einer maximalen Korngröße von etwa 1 mm sowie geeignete alkalibeständige Fasern, diese vorzugsweise als Kurzschnittfasern mit einer maximalen Länge von ca. 15 mm.

Die Fasern sind in der Zementmatrix zufällig verteilt und weisen keine geordnete Richtung auf, eine gezielte Anordnung wie beispielsweise bei Stahlbeton ist hier von vornherein nicht möglich, ein Ersatz der Bewehrung durch Fasern nicht nachweisbar. Stahlfaserbeton beispielsweise besitzt eine Tragfähigkeit wie gering bewehrter Stahlbeton mit etwa 0,2 % Bewehrungsanteil. Faserbeton, welcher mit organischen oder mit Kunstfasern hergestellt wird, weist im Normalfall kein duktiler Verhalten wie Stahlbeton auf, da die mechanischen Eigenschaften von Matrix, Fasern sowie dem Verbundbaustoff nicht optimiert sind.

Wichtige Ansatzpunkte für die Eigenschaften des SHCC sind

- Kritischer Fasergehalt
- Kritische Faserlänge und –durchmesser
- Faser – Matrixverbund bzw. Faserauszugsverhalten
- Matrix – Erstrissspannung

Weist die Matrix eine zu hohe Erstrissspannung auf, so ist multiple Rissbildung nicht so einfach zu erreichen wie bei niedrigem Spannungsniveau des Erstrisses. Der Grund liegt

darin, dass bereits für den Erstriss eine viel höhere Energie abgebaut werden muss. Die gewünschten Eigenschaften der Matrix sind wie folgt aufgelistet

Druckfestigkeit	$f_{ck} = 30 - 40 \text{ N/mm}^2$
Biegezugfestigkeit	$f_{ct,fl} = 4 - 8 \text{ N/mm}^2$
E – Modul	$E = 25000 - 35000 \text{ N/mm}^2$.

Die verwendeten Fasern sind Polypropylen-, Polyvinylalkohol- und Polyethylenfasern. Diese weisen folgende mechanische Eigenschaften auf:

Fasertyp	Dichte (kg/m ³)	L (mm)	D (my)	Querschnitt	E (Mpa)	f _t (Mpa)	τ (Mpa)	Bruchdehnung (%)
PP	0,91	12	32	rund	4000	300 - 400	keine Ang.	130
HDPE	0,97	12	15	nierenf.	100000	3000	keine Ang.	3,5
PVA	1,3	6 bis 10	13	nierenf.	40000	1830	keine Ang.	6 bis 7

Abbildung 56 – Verwendete Fasertypen, Prantl 2014

Da am Anfang der Versuchsreihen nur PP – Fasern vorhanden waren, wurden mit diesen die Vorversuche zur Feststellung der optimalen Matrixzusammensetzung durchgeführt. In der Matrix für die Versuche V1 – V6 waren PVA – Fasern der Schwarzwälder Textilwerke enthalten. Anschließend wurden nochmals Versuche mit PE – Fasern (Handelsname Dyneema) der japanischen Firma Toyobo bei gleicher Matrixzusammensetzung unternommen. Die Ergebnisse der Versuche sind in Kapitel 7 nachzulesen.

Ein wesentlicher Punkt für die duktilen Eigenschaften des SHCC ist das Verbundverhalten zwischen Fasern und Matrix. Die PP – Fasern sind für das Erreichen eines „strain hardening“ – Effekts zu weich, sie verfügen über einen zu geringen E – Modul, für die Vorversuche waren die Ergebnisse aber ausreichend.

Die beiden anderen Fasertypen, PE und PVA – Fasern, weisen gegenüber den PP – Fasern eine relativ geringe Bruchdehnung von maximal 7 % auf. Damit es zu multipler Rissbildung und zu einer gleichmäßigen Ausbreitung von vielen Rissen konstanter Breite kommt, ist ein sogenanntes „strain hardening debonding“ notwendig, d. h. ein Auszugverhalten, bei welchem die Auszugskraft möglichst konstant bleibt, um bei

gleichem Spannungsniveau nach dem Erstriss weitere Risse herbeizuführen. Dabei muss allerdings aufgrund der linear abnehmenden Verbundlänge die Verbundspannung zunehmen oder die Faser selbst eine Dehnungsverfestigung erfahren. Ersteres gilt für die PVA – Fasern, letzteres für solche aus Hochmodulpolyethylen (siehe auch Abbildungen 57 und 58).

Bei den PVA – Fasern besteht aufgrund des hydrophilen Verhaltens ein chemischer Verbund zwischen Faser und Matrix durch die in der Grenzschicht vorhandenen Carboxylgruppen. Diese Eigenschaft ist unerwünscht und daher werden diese Fasern in der Regel für ECC und SHCC Anwendungen modifiziert, indem sie mit einem „oil agent“ vergütet werden. Die Beschichtung besteht aus etwa 0,006 – 0,012 Gewichtsanteilen mineralischen Öls. Leider waren solche Fasern zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung auf dem Markt nicht erhältlich. Weiteres Augenmerk bei den PVA Fasern ist auf den Faserdurchmesser zu legen. Da die Querschnittsfläche mit dem Quadrat des Durchmessers abnimmt, die Verbundfläche jedoch nur linear, wird ab einem zu dünnen Faserdurchmesser die Faser immer reißen.

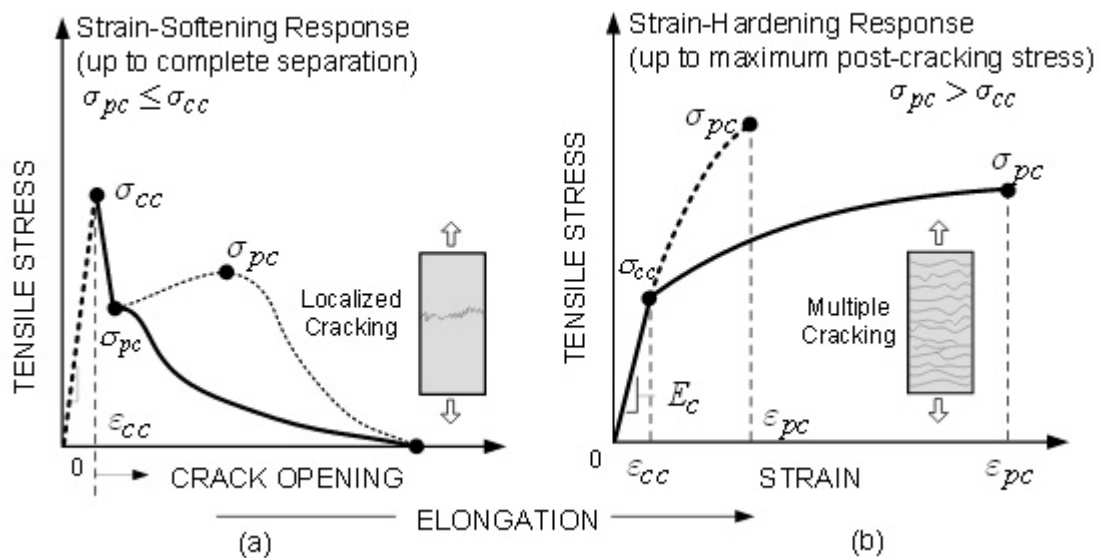


Abbildung 57 – Vergleich Strain Hardening – Strain Softening[57]

Bei der PE – Faser stellt man das gegenteilige Verhalten fest. Die Faser ist hydrophob und weist daher eine geringe Verbundspannung mit der Matrix ohne chemische Bindung auf. Die Verbundkraft nimmt daher bei zunehmendem Faserauszug konstant ab, was zu

erheblicher Kriechneigung führt. Die mangelnde Verbundfestigkeit wird daher in der Regel mit einer Beschichtung der Faser (wasserlösliche Harze) erhöht. Es kann zu Kompensation auch eine größere Faserlänge verwendet werden, was jedoch unter Umständen zu einer schlechteren Verarbeitbarkeit führt.

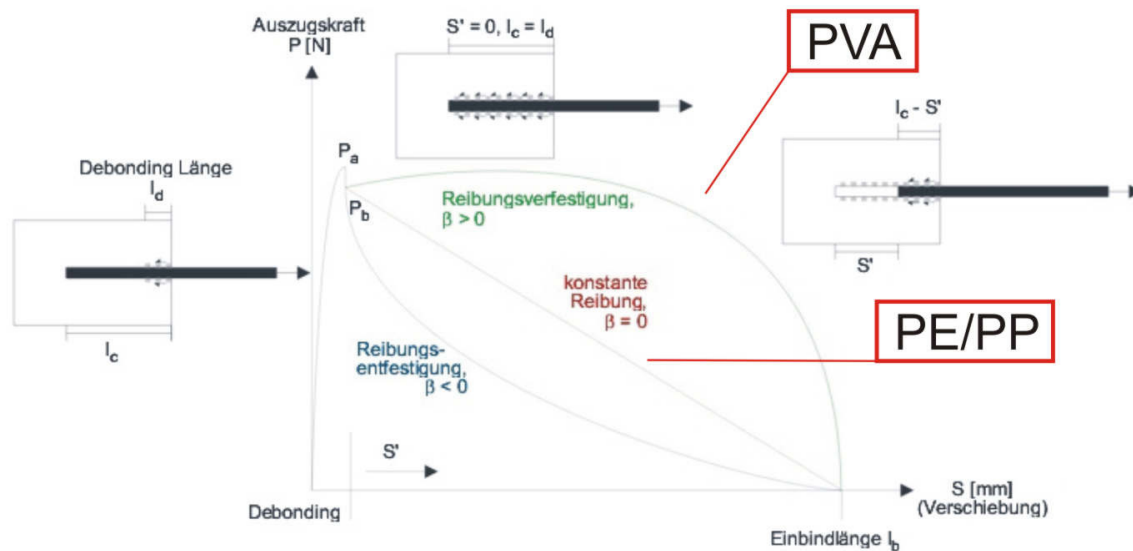


Abbildung 58– Verschiedene charakteristische Auszugsverhalten von Fasern [54]

Im Bild 58 ist die Bedeutung des Bonding Koeffizienten β anschaulich abzulesen. Bei der PVA – Faser ist β immer > 0 . Der Koeffizient drückt daher die Funktion des Verlaufs der Verbundspannung bei der PVA – Faser aus.

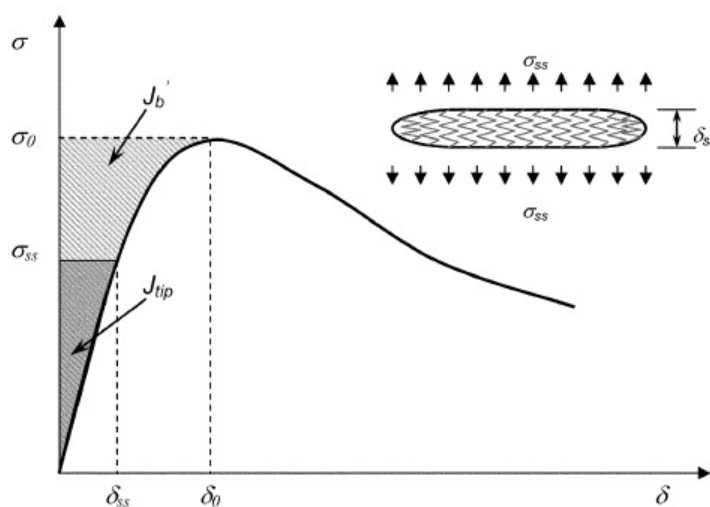


Abbildung 59 – Darstellung der Erstriss- und der Komplementärarbeit zur Beurteilung des Vorhandenseins von duktilem Verhalten [56]

Ein weiteres, von Li et al [56] entwickeltes Kriterium für das Vorhandensein von duktilem Verhalten drückt sich aus durch

$$J_{tip} \leq \sigma_0 \delta_0 - \int_0^{\delta_0} \sigma(\delta) d\delta \equiv J_b' - \sigma_{ss} \delta_{ss} - \int_0^{\delta_{ss}} \sigma(\delta) d\delta = J_{tip} \quad (18)$$

wobei J_{tip} die Bruchenergie beim Erstriss darstellt und J_b' die Bruchenergie bis zum Absinken der Bauteilfestigkeit. Ist $J_b' > J_{tip}$, dann liegt duktiler Bruch vor (Abb. 59).

6.2.3 Herstellung und Verarbeitung

Die Verarbeitung des hergestellten SHCC Betons kann nach angemessener Mischzeit durch die pastöse Konsistenz ohne weitere Schwierigkeiten mit einer Zahn- oder auch einer normalen Breitspachtel erfolgen. Dabei ist darauf zu achten, dass nicht zu viel Material auf die Spachtel geladen wird, da sonst aufgrund der steiferen Konsistenz im Vergleich zu gängigen Spachtelmassen das Aufziehen erschwert wird.

Nach erfolgtem Auftrag kann die Masse mit der Spachtel geglättet werden, wobei sich die Oberfläche der Betonschicht automatisch schließt, dies ist auf Abbildung 60 ersichtlich.



Abbildung 60 – SHCC Schicht, 2 cm dick, mit Zahnschachtel aufgetragen, anschließend geglättet, Prantl 2014

Die Herstellung der Labormischungen erfolgte in einem Eirich Mischer mit einem Inhalt von $2,80 \text{ dm}^3$. Die Mischzeit betrug trocken ca. 2 Minuten bei 800 U/min, danach erfolgte die Wasserzugabe und eine Mischzeit von weiteren 2 Minuten. Entgegen der Mischanweisung in den Excel Sheets wurden Verflüssiger und Fasern erst anschließend zugegeben und noch 12 Minuten bei 1200 U/min gemischt. Erst dann stellte sich eine brauchbare Konsistenz ohne Knäuelbildung ein. Die probeweise Verarbeitung war mit den erweiterten Matrix- und Faserzusammensetzungen sowohl mit den PVA- als auch mit den PE – Fasern problemlos wie oben beschrieben möglich. Dabei erwies sich als vorteilhaft, dass die Fasern beim Auftrag auf die vertikale Mauerfläche einen inneren Zusammenhalt und somit eine Standfestigkeit gegen Abrutschen bzw. Abfließen gewährleisten (Abbildung 61).



Abbildung 61 – SHCC Schicht auf Mauerwerkspfeiler, Prantl 2014

6.4 Bemessungsansätze für verstärktes Mauerwerk

6.4.1 Literatur

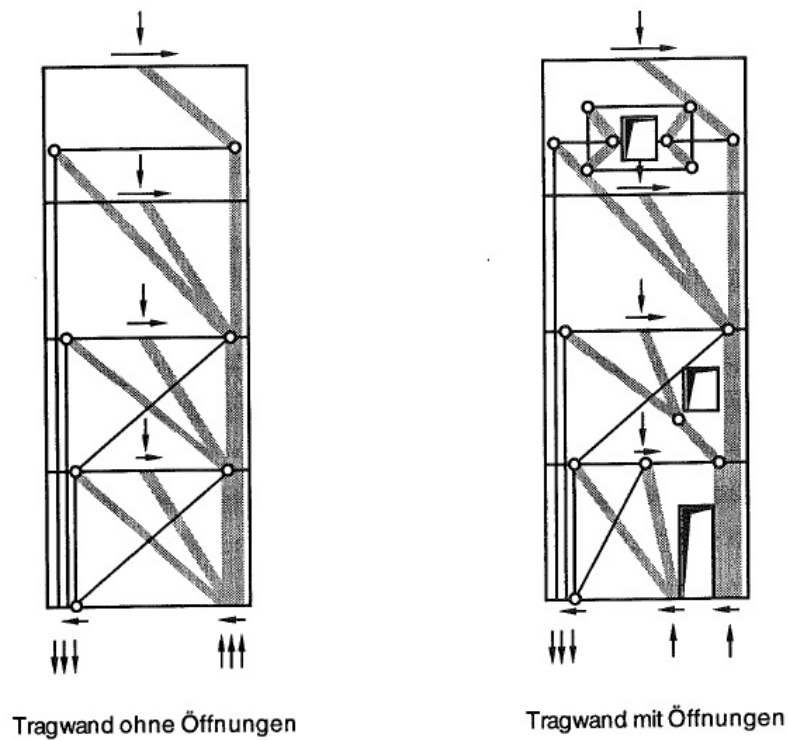


Abbildung 62 – Verstärkte Tragwände mit und ohne Öffnungen [2]

An Vorarbeiten hinsichtlich des Themas der Mauerwerksverstärkung für Erdbebenbeanspruchung seien der EMPA Bericht 229 [2] genannt, in welchem Modelle für die Berechnung von Mauerwerksschubwänden mit Spannungsfächern vorgestellt werden. Es werden auch Überlegungen für die Entwicklung von Fachwerksmodellen für Schubwände mit Öffnungen angestellt (Abbildung 62).

Darüber hinaus wird auf die Berichte der NZSEE (New Zealand Society for Earthquake Engineering) und der New Zealand Concrete Masonry Association [58] verwiesen.

Ein Projekt der University of Auckland befasst sich ebenfalls mit der Thematik [25], [26].

6.4.2 Fachwerksmodell

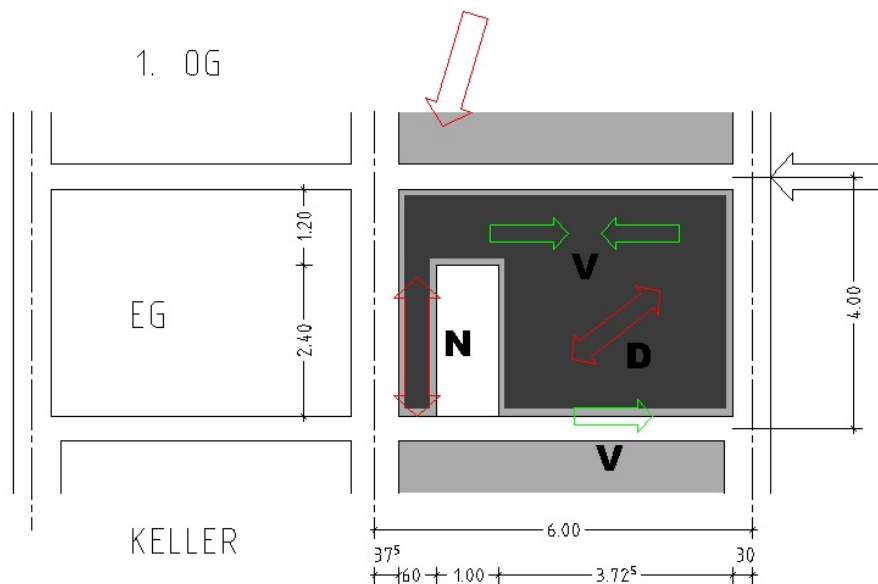


Abbildung 63 – Kräfteverlauf, Auflösung in Stabwerk, Prantl 2014

Die Bemessung der Strebenkräfte des Spannungsfächers kann z. B. nach SIA 266 erfolgen, wobei hier offensichtlich die Gewichtskraft der Zwischenwand über alle Geschosse über den verstärkten Mauerwerkspfeiler im Erdgeschoß abgetragen werden muss (Abbildung 63).

Im Falle des typischen Gründerzeithauses würde dies bedeuten, dass die Vertikaleinwirkung auf den Teilquerschnitt 60 x 15 cm

$$N_{ed} = 3,1 \cdot [(4,0 + 3,6 + 4,1) \cdot (6,0 - 0,375 - 0,30) + 4,0 \cdot 0,60] = \mathbf{200,58 \text{ kN}}$$

beträgt.

Geschoßhöhen $h =$ EG 4,00, OG 4,00, OG 2 3,60, OG 3 4,10

Wandstärke $d = 0,15 \text{ m}$

Wandgewicht $g = 3,10 \text{ kN/m}^2$

Der restliche Teilabschnitt der Wand muss auf Schub sowie auf Momentenbeanspruchung (Kippen) bemessen werden, wobei hier eventuell eine vertikale Rückverankerung am rechten Mauerrand erfolgen muss.

Die vertikale Tragfähigkeit eines unverstärkten Wandquerschnitts mit Abmessungen 0,60 x 0,15 m beträgt laut EN 1996-1-1

mit

$$N_{Rd} = \phi \cdot t \cdot f_d \quad \text{Tragwiderstand pro m Wandlänge} \quad (19)$$

$$\phi = \quad \text{Abminderungsbeiwert für Schlankheit und Ausmitte am Wandkopf und -fuß bzw. in Wandmitte}$$

$$\phi_i = 1 - 2 \cdot e_i/t \quad (20)$$

$$\phi_i = 1 - 2 \cdot 0,009/0,15 = 0,88$$

$$e_i = e_{init} = h_{ef} / 450 \quad \text{Ausmitte zufolge Schlankheit und Lastexzentrizität}$$

$$e_{init} = 0,009 \text{ m}$$

$$\phi_m = \quad \text{aus Tabelle Abbildung 64}$$

$$\phi_m = 0,43$$

$$e_{mk} = e_m + e_k = e_{init} + e_k \quad \text{Ausmitte zufolge Schlankheit und Lastexzentrizität} \quad (21)$$

$$e_k = 0,002 \cdot \phi_\infty \cdot h_{ef}/t_{ef} \cdot (t \cdot e_m)^{0,5} \quad \text{Ausmitte zufolge Kriechen} \quad (22)$$

$$e_{mk} = 0,011 \text{ m}$$

$$t = 150\text{mm} \quad \text{Wanddicke}$$

$$f_k = K \cdot f_b^\alpha \cdot f_m^\beta \quad \text{charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit} \quad (23)$$

$$f_k = 3,98 \text{ N/mm}^2$$

$$f_d = f_k / \gamma_M \quad \text{Bemessungswert d. Mauerwerksdruckfestigkeit} \quad (24)$$

$$f_d = 3,98/2,20 = 1,81 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_M = 2,20 \quad \text{Teilsicherheitsfaktor für Mauerwerk}$$

$$K = 0,55 \quad \text{Beiwert für Mauerstein}$$

$$f_b = 21,0 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Druckfestigkeit der Mauersteine}$$

$$f_m = 1,0 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Druckfestigkeit des Mörtels}$$

$$\alpha = 0,65 \quad \text{Exponent}$$

$$\beta = 0,25 \quad \text{Exponent}$$

Anmerkung: die Endkriechzahl ϕ_∞ wird 1 gesetzt

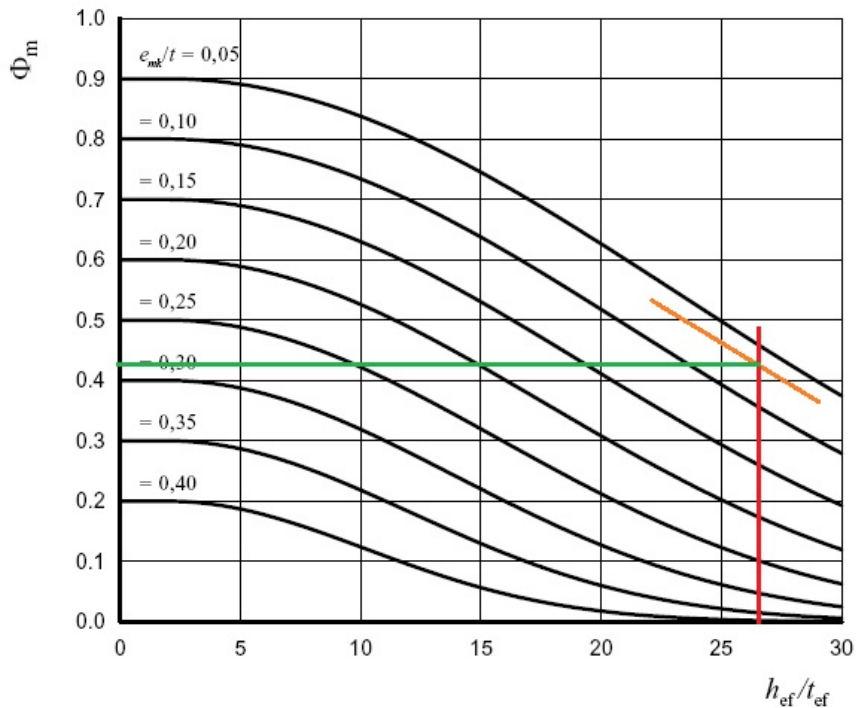


Abbildung 64 – Tabelle für die Bestimmung des Abminderungsfaktors ϕ aus EN 1996-1-1

Die Tragfähigkeit des unverstärkten Querschnitts beträgt somit

$$\text{am Wandfuß/-kopf} \quad N_{Rd} = 0,88 \cdot 150 \cdot 1,81 \cdot 600 = 143.350 \text{ N} = 143,35 \text{ kN}$$

$$\text{in Wandmitte} \quad N_{Rd} = 0,43 \cdot 150 \cdot 1,81 \cdot 600 = 70.047 \text{ N} = 70,05 \text{ kN}$$

Ob ein derartiger Querschnitt mit einer 2,0 cm dicken SHCC – Verstärkung die vorhandene Normalkraft $N_{ed} = 200,58 \text{ kN}$ aufnehmen kann, sollte der im Kapitel 8 durchzuführende Versuch zeigen, welcher jedoch aufgrund von Problemen mit der Prüfmaschine zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt werden soll.

6.4.3 Rahmenmodell

Beim Rahmenmodell wird der Verstärkung die Fähigkeit zur Aufnahme von Biegemomenten in den Eckbereichen der Öffnung zugeschrieben, was durch den längeren bzw. höheren Mauerquerschnitt eine Verbesserung der Momenten Tragfähigkeit und somit der Kippsicherheit mit sich bringt. Durch die multiple Rissbildung in den Rahmenecken kann der SHCC seine mechanisch duktilen

Eigenschaften ausspielen. Eine zusätzliche Umschnürungswirkung in den Eckbereichen sowie gezielte Endverankerung ist hier Voraussetzung für zusätzliche Tragfähigkeit und Duktilität im Vergleich zum Urzustand.

Durch die Aufbringung der SHCC – Schicht wird der Querschnitt vergrößert und somit die Schlankheit reduziert. Dies gilt selbstverständlich auch für das Stabwerksmodell.

Schlankheit vorh. EG $d = 0,15 \text{ m}$ $h = 4,00 \text{ m}$

$$h/d = 4,00/0,15 = 26,7$$

Schlankheit verstärkt $d = 0,19 \text{ m}$ $h = 4,00 \text{ m}$

(2 cm SHCC beidseitig) $h/d = 4,00/0,19 = 21,1$

Es steht somit zu erwarten, dass aufgrund der Reduktion der Schlankheit die vertikale Tragfähigkeit ebenfalls erhöht wird.

7. Entwicklung von Rezepturen für einen SHCC zur Mauerwerksverstärkung

7.1 Grundlegendes

7.1.1 Betontechnologie und Anforderungen

Herkömmliche Betonsorten, beispielsweise diverse Sorten von Konstruktionsbetonen, sind im Regelfall als 3-Stoff-System aufgebaut. Die dabei verwendeten Komponenten sind Wasser, Zement und Zuschlag. Die in dieser Arbeit behandelten Feinkornbetone sind als 5-Stoff-System konzipiert. UHPC (Ultra High Performance Concrete), ECC (Engineered Cementitious Composite) sowie SHCC (Strain Hardening Cementitious Composite) sind kürzlich entwickelte moderne Feinkornbetone. Allen gemeinsam ist, dass sie ohne Zusatzmittel bzw. Zusatz- oder Zusatzstoffe ihre gewünschten Eigenschaften nicht erreichen können, sie zählen somit alle zu den 5-Stoff-Systemen.

Der zu entwickelnde SHCC – Beton zur Verstärkung des Mauerwerks in den Gründerzeithäusern soll möglichst duktilen Verhalten bei nicht zu hoher Zug- und Druckfestigkeit aufweisen. Diese Grundforderung bedingt einen niedrigen Zementgehalt und Ersatz desselben durch Flugasche sowie die Zugabe eines hohen Faseranteils. Durch die Forderung nach hohem Fasergehalt scheiden größere Kornfraktionen als 1 mm für eventuelle Zuschläge von vornherein aus, da diese die Wirksamkeit der Kurzschnittfasern verhindern. Die Fasern sind im Sinne einer ausreichenden Verarbeitbarkeit nicht länger als 10 – 12 mm und würden bei Zuschlägen von 4 – 8 mm aufgrund der Umlenkung durch die Zuschlagskörner die Kräfte an den Rissufern nicht übertragen können.

Die Begrenzung der Zug- und Druckfestigkeit ist aufgrund des erwünschten niedrigen Niveaus der Erstrissspannung notwendig und soll durch den Ersatz von etwa 70 % des Zements durch Flugasche sowie durch den Einsatz von Leichtsand mit niedriger Festigkeit erfolgen.

Duktilen Verhalten des Baustoffs wird in diversen Arbeiten durch entsprechende Faserzugabe nachgewiesen, vgl. z. B. [21].

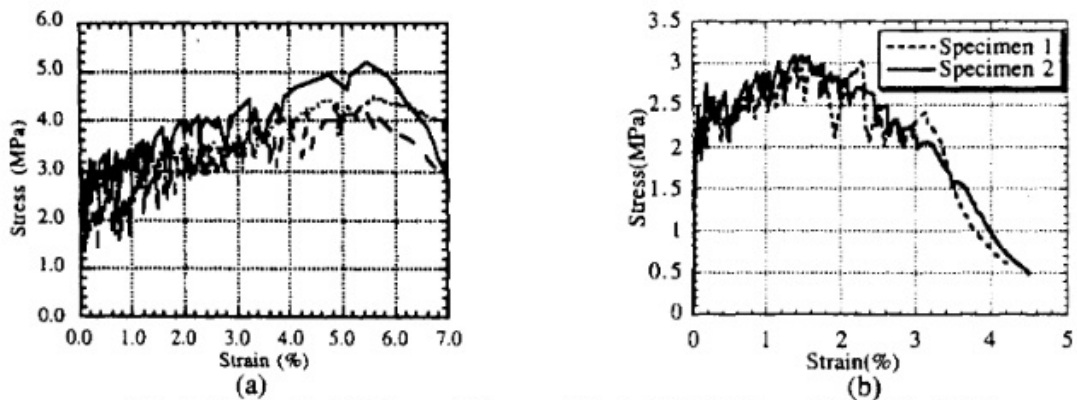


Fig. 1: Stress-Strain Curves Measured for (a) PE-ECC; and (b) PVA-ECC

Abbildung 65 – Veranschaulichung des Unterschieds zwischen PE – und PVA – ECC [55]

Versuchsweise wurde unter anderem die Zugabe von ca. 1,4 – 2,2 % PVA Fasern erprobt, höhere Fasergehalte führen nicht zu einer signifikanten Erhöhung der Duktilität, jedoch zu einer verminderten Verarbeitbarkeit. Ein Beispiel eines Mischungsentwurfs zeigt Abbildung 66. Dabei handelt es sich um eine Mischung mit 2,29 % Volumenanteil an Polyvinylalkoholfasern. Es handelt sich hierbei um ein 5-Stoff-System.

Matrix							
	Bezeichnung	Anteile [M. 1]	Anteile [V. 1]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm ³]	Stoffraum [dm ³]	
Fließmittel	ACE 430	69,76	64,00	74,92	1,09	68,73	30,00 Feststoff [M. %]
Wasser inkl. FM-Anteil flüssig	Wasser	268,80	268,80	288,67	1,00	288,67	
FM Festanteil		20,93	15,17	22,47	1,38	16,29	
Zement	CEM I 42,5 R	320,00	103,23	343,65	3,10	110,86	
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,00	0,00	0,00	2,65	0,00	
Zusatzstoff 2	FA Dünnrohr	750,00	317,80	805,44	2,36	341,29	
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,00	0,00	0,00	2,30	0,00	
Entschäumer	DCC-Entlüfter	nb	nb	nb	1,06	nb	
		1359,73	704,99	1460,23	1,93	757,10	
Zuschläge							
	Bezeichnung	Anteil [%]	Trocken-M. [kg]	Rohdichte t [kg/dm ³]	Stoffraum tr [dm ³]	Wassergehalt [M. %]	Feucht-M. [kg/m ³]
Sand 1	Ulopor 0-1 mm	100	290	1,45	200	0	0,00
Sand 2	nv	0	0	2,65	0	0	0,00
Sand 3	nv	0	0	2,65	0	0	0,00
***		100	290,00	1,45	200,00	0,00	290,00
Fasern							
	Bezeichnung	Anteil [M. %]	Zugabe [kg/m ³]	Rohdichte [kg/dm ³]	Stoffraum [dm ³]		
Faser 1	PVA Fasern STW 6 mm	0,00	0,00	1,31	0,00		
Faser 2	PVA Fasern STW 10 mm	100,00	30,00	1,31	22,90		
Faser 3	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		

Abbildung 66 – Mischungsentwurf SHCC V6mod, Prantl 2014

Weitere Forderungen nach den Eigenschaften sind die Verarbeitbarkeit durch konventionelles Aufziehen per Spachtel und Glättbarkeit sowie die Standfestigkeit gegen Abrinnen.

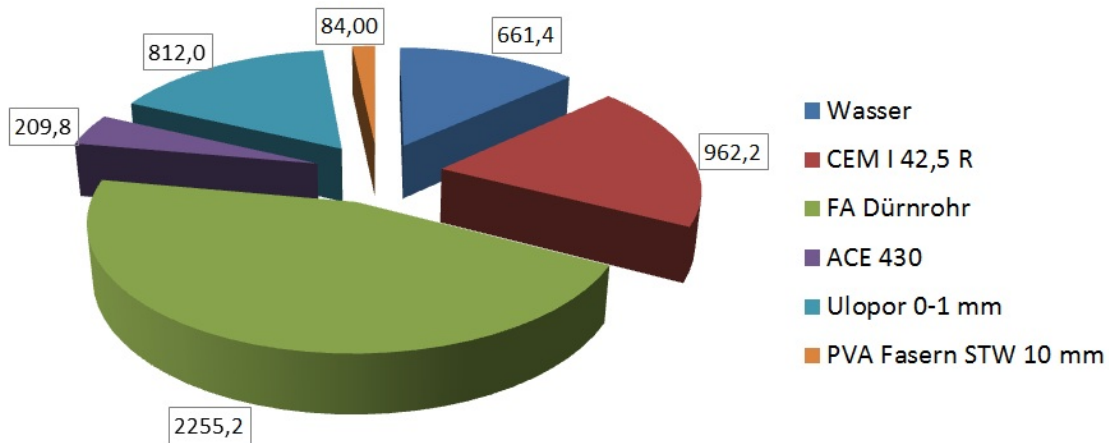


Abbildung 67 – Anteile der Inhaltsstoffe der Rezeptur „V6mod“ (in Gramm), Prantl 2014

Die Abbildung 67 verdeutlicht beispielsweise die Zusammensetzung der Rezeptur V6 modifiziert in Gewichtsanteilen je Mischungscharge. Allen brauchbaren Mischungen gemein ist der hohe Anteil an Flugasche.

Eine ausreichende Haftzugfestigkeit auf dem Mauerwerk ist ebenfalls erforderlich, wird jedoch hierbei nicht näher untersucht, da bei üblichem Vornässen mit einer Bürste ohne weitere Maßnahmen eine ausreichende Haftzugfestigkeit auf dem Untergrund erreicht wurde. Möglicherweise ist das Mauerwerk zu imprägnieren, um eine optimale Verarbeitung zu gewährleisten.

Da die Wasserdampfdurchlässigkeit der sehr dichten Matrix nicht gegeben ist, sollte bei der Applikation auf bauphysikalische Aspekte besonders Acht gegeben werden, da es ansonsten eventuell zu einer Feuchtigkeitsansammlung in applizierten Bauteilen kommen könnte.

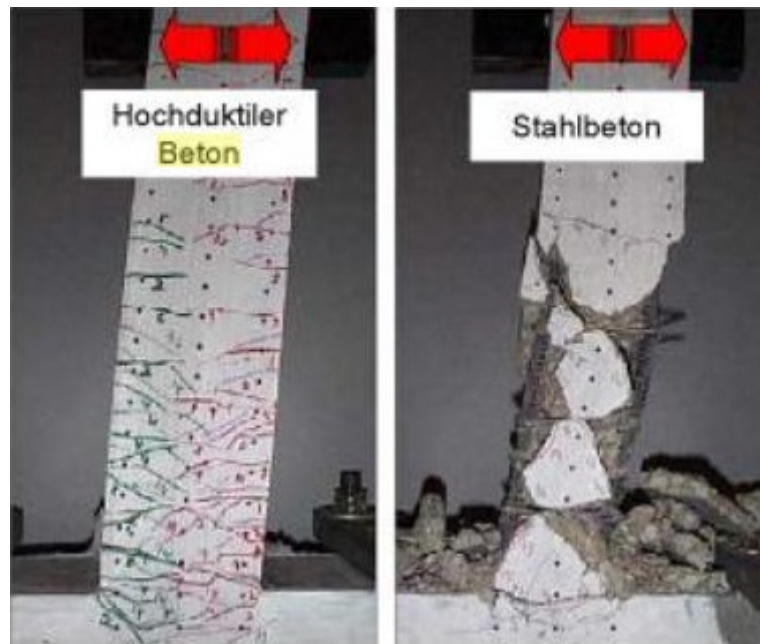


Abbildung 68 – Vergleich Stahlbeton mit hochduktilen Beton [36]

Hauptmotivation und Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist jedoch Entwicklung eines geeigneten hochduktilen Materials zur Verstärkung und Ertüchtigung von bestehenden Mauerwerksstrukturen. Die Abbildung 68 zeigt, wie der hochduktiler Beton die Bewegungsenergie durch das Pseudoplastizieren der Betondeckung sowie ebenfalls durch die multiple Rissbildung abbaut. Die hochduktilen Eigenschaften auch bei zyklischer Belastung sollen eine maximale Energiedissipation durch hochmultiple Rissbildung sicherstellen, durch innere Reibung sowie erhöhte Reibung in den Mauerwerksfugen soll ein höherer Tragwiderstand gegen Schubbeanspruchung erreicht werden. Durch die Schließung der Fugen mit SHCC und die Umschnürungswirkung beim Verputzen von Mauerwerkswänden oder -pfeilern wird ebenfalls eine Steigerung der Vertikaltragfähigkeit erhofft.

Im Gegensatz zum spröden, nichtduktilen Werkstoff Stahlbeton soll sich hier ein regelrechter Rissfächer ausbilden, der durch den Fasergehalt nicht aufbricht und den Zusammenhalt des Bauteils auch nach vielen Belastungszyklen gewährleistet. Daher würde es auch nicht zum Abplatzen der gesamten Betondeckung und zur lokalen Auflösung und Zerstörung der Tragstruktur kommen (siehe Abbildung 68).

Hauptkriterien für die Einstufung als hochduktil in den Versuchsreihen waren die multiple Rissbildung sowie die Dehnungsverfestigung (kein Abfall, sondern deutlicher, jedoch nicht jäher Anstieg der Last – Verformungskurve direkt nach dem Erstriss).

7.1.2 Stand der Technik

Herausragende Forschungstätigkeiten auf dem Gebiet des hochduktilen Betons wurden von Viktor Li (University of Michigan) sowie von Viktor Mechtcherine (Technische Universität Dresden) unternommen. Die Entwicklung von ECC bzw. SHCC begann Anfang bis Mitte der 1990er Jahre, hier ist zu unterscheiden in den hier behandelten Faserbeton und den Textilbeton, welcher ebenfalls duktile Eigenschaften aufweisen kann und bereits etwas früher entstand.

Mechtcherine beschreibt in [33] Anforderungen an die Inhaltsstoffe bzw. Entwicklung von geeigneten Rezepturen für die Herstellung von hochduktilen ECC bzw. SHCC, siehe nachfolgendes Bild 69.

Fasern	<ul style="list-style-type: none"> • Verringerung des Fasergehaltes (Kosten-, Verarbeitbarkeitsgründe) <ul style="list-style-type: none"> → beste Eignung von speziellen Kunststofffasern V_f i. A. $\leq 2\%$, $d < 50\ \mu\text{m}$, $L = 8$ bis $15\ \text{mm}$
Matrix	<ul style="list-style-type: none"> • Gleichmäßige Faserverteilung <ul style="list-style-type: none"> → Optimierung der rheologischen Eigenschaften der Matrix im Frischzustand → Verwendung von Feinstsand als Gesteinskörnung • Einstellung der Erstrissspannung <ul style="list-style-type: none"> → Optimierung der Matrixfestigkeit/-zähigkeit durch W/Z, Flugaschezugabe, Zementwahl etc. • Initiierung multipler Rissbildung <ul style="list-style-type: none"> → Einführung von Mikrofehlern (z. B. Leichtsand, LP)
Verbund	<ul style="list-style-type: none"> • Kontrolle der Bruchenergie und der Schubfestigkeit <ul style="list-style-type: none"> → Wahl des L/d-Verhältnisses und der Faserart → Behandlung der Faseroberfläche (z. B. mit Ölpräparaten)

Abbildung 69 – Mechtcherine, Vorgangsweise bei Mischungsentwürfen [33]

7.1.3 Matrix

Die mechanische Druckfestigkeit von SHCC ist im Normalfall $<70 \text{ N/mm}^2$. Der hier entwickelte SHCC soll eine Druckfestigkeit von nicht mehr als 30 N/mm^2 erreichen. Eine zu hohe Druckfestigkeit, die wiederum mit spröderem Material- und Bauteilverhalten einhergeht, ist hier unerwünscht.

Die Matrixfestigkeit im Biegequerschnitt muss für duktilen Verhalten kleiner sein als die Kraft, die die Fasern übertragen können. Zur duktilen Rissbildung kommt es dann durch den weiteren Kraftanstieg nach dem Erstriss mit dem Überschreiten der Biegezugfestigkeit der Matrix.

7.1.4 Fasern

Die Vorversuche wurden aufgrund der sofortigen Verfügbarkeit mit PP – Fasern durchgeführt. Diese Fasern weisen eine Zugfestigkeit von ca. $300\text{-}400 \text{ N/mm}^2$ auf sowie einen E-Modul von 4000 N/mm^2 . Durch die hohe Bruchdehnung von etwa 100-150 % und ein lineares Auszugsverhalten sind diese Fasern für Vorversuche gut geeignet.

7.1.5 Verarbeitbarkeit

Es wurden Versuche mit Fasergehalten zwischen 0,50 bis 2,30 % vorgenommen. Die geringeren Fasergehalte versprechen eine bessere Verarbeitbarkeit mit geringer Bildung von Faserknäueln und einer pastösen, für Spachtelauftrag geeigneten Konsistenz. Die Faserlänge dürfte ebenfalls Einfluss auf die rheologischen Eigenschaften des Betons haben, daher wurden bei den modifizierten Mischungen mit unterschiedlichen Faserlängen und –gehalten auch die Setzfließigenschaften untersucht. Angestrebt wird eine Aufziehbarkeit auf die Ziegelwand, ohne dass ein Abfließen bzw. Abfallen erfolgt bei gleichzeitig hohem Haftvermögen.

Generell kann gesagt werden, dass die Verarbeitbarkeit mit zunehmender Mischzeit besser wird und sich die Knäuelbildung vermindert, wobei jedoch darauf geachtet werden muss, dass die Frischbetontemperatur nicht zu sehr ansteigt. Es wurden Temperaturen von bis zu 68° C am Ende des Mischvorgangs gemessen.

7.2 Vorversuche

7.2.1 Inhaltsstoffe und Rezepturen

Die Übernahme bestehender Rezepturen aus der Literatur ist im Generellen leider nicht möglich, da einerseits die Rezepturen bzw. der Herstellungsvorgang nicht eindeutig genug beschrieben ist bzw. die identischen Bestandteile nicht beschaffbar sind.

Die bei Vorversuchen verwendeten Basisrezepturen wurden der Literatur entnommen, die Rezeptur VV1, jedoch ohne Fasern, entstammt aus [34]. Diese Rezeptur wurde mangels Verarbeitbarkeit nicht weiter verfolgt.

Die Rezeptur VV2 [35] enthält ebenfalls keine Fasern, jedoch wurde die Matrixzusammensetzung von VV2 in den Mischungsentwürfen VV4 und VV6 weiter verfolgt.

Mischungsberechnung für SHCC	
durchgeführt von:	DI Johannes Kirnbauer
Ort:	Labor 1030, Adolf-Blamauergasse 1-3
Datum:	25.09.2013
Zweck:	SHCC VV3 Lit: Hochdukt. Bet. mit Kurzfaser, V. Mechtcherine, HDB-I
◊ Grau hinterlegte Felder müssen eingetragen werden ◊	

Matrix							
	Bezeichnung	Anteile [M. 1]	Anteile [V. 1]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]	
Fließmittel	ACE 430	16,00	14,68	15,95	1,09	14,63	30,00 Feststoff [M. %]
Wasser inkl. FM-Anteil flüssig	Wasser	336,00	336,00	334,90	1,00	334,90	
FM Festanteil		4,80	3,48	4,78	1,38	3,47	
Zement	CEM I 42,5 R	320,00	103,23	318,96	3,10	102,89	
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,00	0,00	0,00	2,65	0,00	
Zusatzstoff 2	FA Dümrohr	750,00	317,80	747,55	2,36	316,76	
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,00	0,00	0,00	2,30	0,00	
Entschäumer	DCC-Entlüfter	nb	nb	nb	1,06	nb	
		1410,80	760,50	1406,20	1,86	758,02	
Zuschläge							
	Bezeichnung	Anteil [%]	Trocken-M. [kg]	Rohdichte tr [kg/dm³]	Stoffraum tr [dm³]	Wassergehalt [M. %]	Feucht-M. [kg/m³]
Sand 1	ME 0,1-0,5	100	530	2,65	200	0	0,00
Sand 2	nv	0	0	2,65	0	0	0,00
Sand 3	nv	0	0	2,65	0	0	0,00
***		100	530,00	2,65	200,00	0,00	530,00
Fasern							
	Bezeichnung	Anteil [M. %]	Zugabe [kg/m³]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Faser 1	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
PP Faser 12 mm	nv	100,00	20,00	0,91	21,98		
Faser 3	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
		100,00	20,00	0,91	21,98		

Abbildung 70 – Mischungszusammensetzung PP – SHCC, Prantl 2014

Die Mischungszusammensetzung von VV3 [21] unterscheidet sich von den anderen Betonen dadurch, dass kein Quarzmehl enthalten ist, anstatt dessen jedoch mehr Zement und Flugasche (Abbildung 70).

Aufgrund der schwierigen Verfügbarkeit von PVA- und PE-Fasern wurden die Vorversuche mit den vorhandenen PP – Fasern durchgeführt.

7.2.2 Probekörper

Die Herstellung der Proben erfolgte in den üblichen Prismenschalungen mit Abmessungen von 40 x 40 x 160 mm. Die Inhaltsstoffe wurden in einem Eirich – Labormischer mit einem Fassungsvermögen von 2,80 dm³ Frischbetonvolumen bei einer maximalen Wirblerdrehzahl von 1400 U/min zur Matrix verarbeitet. Anschließend wurden die Fasern und gegebenenfalls weiteres Fließmittel hinzugefügt. Die Mischzeit betrug dabei in Summe etwa 6 Minuten. Die Mischtemperatur stieg dabei auf etwa 45 – 50° C an. Sämtliche Probekörper wurden bei 20°C 28 Tage wassergelagert.

Es wurde jeweils mindestens eine Serie von 3 Prismen hergestellt, wobei vorerst die Biegezugversuche durchgeführt wurden. Anschließend wurde die Druckfestigkeit mit den verbliebenen kurzen Prismenteilen durchgeführt (Abbildung 71). Der E – Modul wurde bei den Vorversuchen ebenfalls bestimmt.



Abbildung 71 – Betonprismen Vorversuche 40 x 40 x 160, Prantl 2014

7.2.3 Versuche und Ergebnisse

Sämtliche Biegezug- und Druckversuche wurden mit einer Zwick-Prüfmaschine im Labor des Institut für Hochbau und Technologie, Forschungsbereich für Baustofflehre, Werkstofftechnik und Brandsicherheit, Adolf Blamauer Gasse 1-3, 1030 Wien durchgeführt. Die Stützweite betrug 100 mm, die Belastungsgeschwindigkeit verformungsgesteuert 0,2 mm/min.



Abbildung 72 – PP – Faserbeton VV4 im Biegeversuch, Prantl 2014

Auf Abbildung 72 ist ein Prisma aus der Serie VV4 ersichtlich. Es ist bereits ein Biegeriss im Probekörper aufgetreten. Zur multiplen Rissbildung kommt es bei dieser Serie nicht, da offensichtlich der Fasergehalt von 8 kg/m^3 zu niedrig und die mittlere Matrixdruckfestigkeit von $45,68 \text{ N/mm}^2$ (siehe Abbildung 74) zu hoch ist.

Es wurde festgestellt, dass bei hoher Matrixfestigkeit auch die Verbundfestigkeit höher ist. Es kommt daher eher zum Faserriss als zum Faserauszug, was sich in geringerem Verformungsvermögen dieser Proben zeigt.

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
1	1	1644	39,94	41,17	7,45	3260,56	13.01.2014	11:39:01
2	2	1707	40,13	42,54	6,52	2977,66	13.01.2014	11:49:28
3	3	1647	40,01	41,17	7,18	3156,71	13.01.2014	11:56:20
4	4	1700	40,14	42,34	7,04	3199,68	13.01.2014	12:03:06
5	5	1673	40,11	41,71	5,71	2553,30	13.01.2014	12:10:59

Prüfgeschwindigkeit : 0,2 mm/min

Seriengrafik:

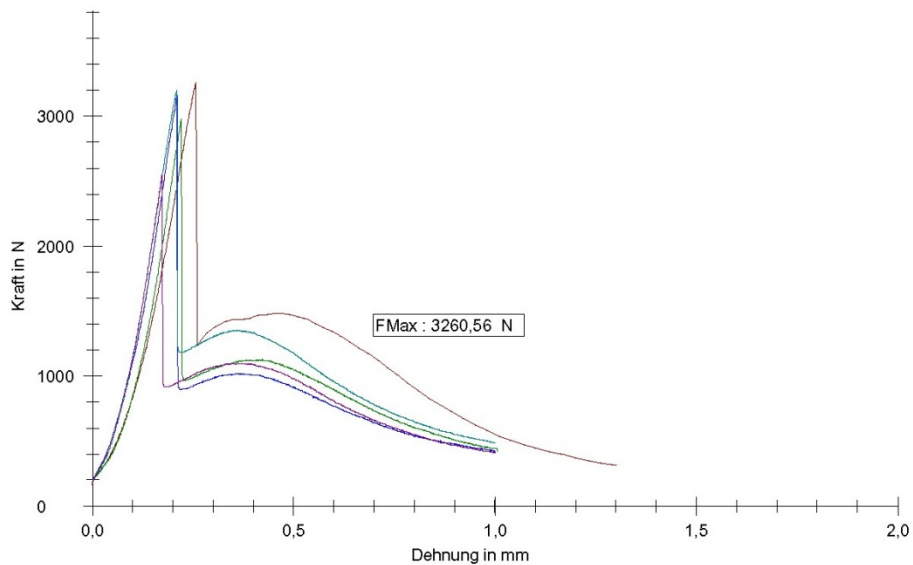


Abbildung 73 – Ergebnisse Biegeversuch VV4, Prantl 2014

Den Ergebnissen der Biegezugversuche der Serie VV4 (Abbildung 73) ist zu entnehmen, dass bei einem geringen Fasergehalt mit den PP-Fasern keine Übernahme der Risskraft der Matrix erfolgen kann. Es zeigt sich ein ausgeprägter Kraftabfall nach dem Erstriss der Matrix mit anschließendem Versagen durch Faserriss.

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
1	1	1600	40	40	49,45	79119,91	13.01.2014	15:18:25
2	2	1600	40	40	48,10	76958,34	13.01.2014	15:23:53
3	3	1600	40	40	43,32	69304,98	13.01.2014	15:28:29
4	4	1600	40	40	43,04	68856,89	13.01.2014	15:33:10
5	5	1600	40	40	44,50	71197,71	13.01.2014	15:37:54

Prüfgeschwindigkeit : 0,5 mm/min

Abbildung 74 – Ergebnisse Druckversuch VV4, Prantl 2014



Abbildung 75 – PP – Faserbeton VV3 im Biegeversuch, Prantl 2014

Bei dem in Abbildung 75 ersichtlichen Biegezugversuch VV3 mit einer mittleren Matrixdruckfestigkeit von $33,95 \text{ N/mm}^2$ (Abbildung 77) sind am Probekörper mehrere Risse erkennbar. Die Serie VV3 weist einen Fasergehalt von 20 kg/m^3 (bezogen auf das Bruttovolumen) auf. Die Erstrissspannung der Matrix liegt auf einem ca. 13 % niedrigeren Niveau als bei der Serie VV4. Durch den höheren Fasergehalt vermögen die Fasern dieses Spannungsniveau zu halten und initiieren durch weitere mehrfache Überschreitung der Matrixfestigkeit multiple Rissbildung. Dies ist an dem zackenförmigen Verlauf der Kraft – Verschiebungskurve (Abbildung 76) erkennbar.

Bei einer Probe konnte das Spannungsniveau beim Erstriss im Bereich der Faserübernahme gesteigert werden. Nach Überschreiten der Maximalkraft kommt es zum Faserauszug.

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
1	1	1720	40,03	42,97	5,95	2732,36	13.01.2014	13:05:28
2	2	1688	40,05	42,15	5,44	2453,03	13.01.2014	13:12:53
3	3	1665	39,87	41,76	6,06	2680,43	13.01.2014	13:34:11
4	4	1671	39,91	41,88	6,49	2887,36	13.01.2014	13:45:41
5	5	1652	39,94	41,35	5,62	2473,36	13.01.2014	13:57:51
6	6	1694	40,04	42,3	5,25	2373,02	13.01.2014	14:09:23
7	7	1711	39,97	42,8	5,84	2661,61	13.01.2014	14:20:29
8	8	1725	39,99	43,13	5,61	2579,18	13.01.2014	14:32:03

Prüfgeschwindigkeit : 0,2 mm/min

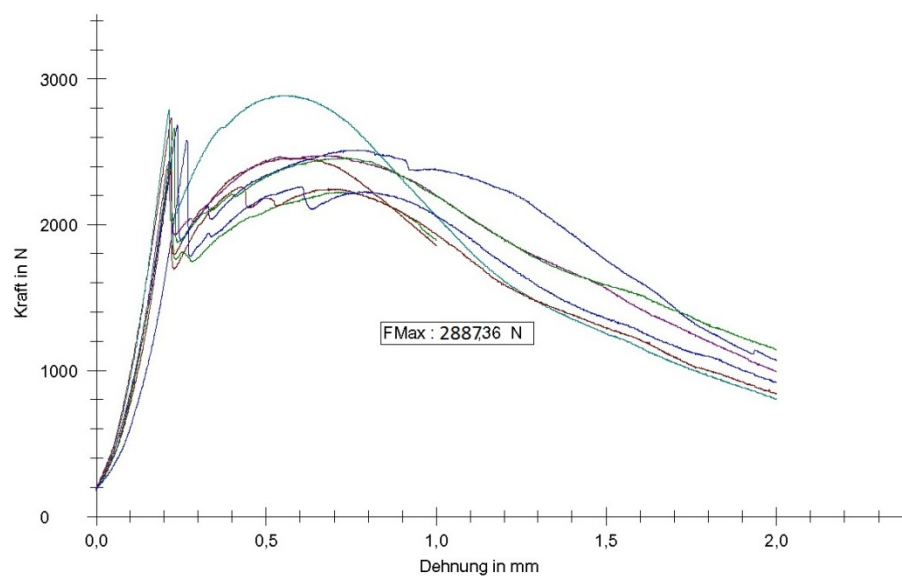
Seriengrafik:

Abbildung 76 – Ergebnisse Biegeversuch VV3 Serie, Prantl 2014

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
1	1	1600	40	40	31,13	49802,37	13.01.2014	16:22:08
2	2	1600	40	40	35,04	56066,65	13.01.2014	16:27:04
3	3	1600	40	40	34,52	55238,58	13.01.2014	16:31:22
4	4	1600	40	40	34,92	55864,11	13.01.2014	16:35:44
5	5	1600	40	40	34,15	54641,73	13.01.2014	16:40:05

Prüfgeschwindigkeit : 0,5 mm/min

Abbildung 77 – Ergebnisse Druckversuch VV3 Serie, Prantl 2014

7.3 Versuche mit PVA – Faser SHCC

7.3.1 Inhaltsstoffe und Rezepturen

Es wurden die Rezepturen V1 – V6 mit verschiedenen Modifikationen hergestellt. Der in den Vorversuchen verwendete Quarzsand wurde durch einen Sand aus Blähschiefer der deutschen Firma Ulopor ersetzt. Die Körnung dieses Sands betrug 0,5 – 1,0 mm. Der Leichtsand bewirkt eine geringere Wichte von unter 20 kN/m^3 und somit eine geringere Neigung zum Abgleiten beim Auftrag auf vertikale Flächen. Ein Vorteil bei der Erstrissbildung konnte hingegen nicht beobachtet werden.

Die ursprünglich geplanten Mischungen V7 – V12 mit dem Quarzmehl wurden nicht mehr weiter verfolgt. Die Bezeichnungen V7, V8 und V9 wurden jedoch neu vergeben für die PE-Faserbetone in Kapitel 7.4.

Bei allen Versuchen wurde der w/b Wert solange variiert, bis beim Einbau des Frischbetons in die Schalung kein Bluten des Betons mehr feststellbar war.

Die bei dem PVA – SHCC verwendeten Fasern stammen von den Schwarzwälder Textilwerken. Es handelt sich um Polyvinylalkoholfasern mit einem Durchmesser von 12 my (0,012 mm). Ursprünglich sollten Fasern der japanischen Firma Kuraray mit einer Dicke von 40 my verwendet werden, diese wurden jedoch bis Beendigung der Arbeit nicht geliefert. Es wurden Versuche mit verschiedenen langen Fasern von 6 und 10 mm Länge durchgeführt. Die Fasern wurden auch im Verhältnis 50/50 gemischt und mit diesem Fasergemisch Betonmischungen angefertigt. Die Fasergehalte wurden im Bereich von 1,22 bis 2,29 % (Volumen) variiert.

PVA Fasern gehen mit dem Zementstein eine chemische Verbindung ein und weisen daher eine extrem hohe Verbundfestigkeit mit der Matrix auf. Daher wird auf derartige Fasern für die Herstellung von SHCC eine Beschichtung aufgebracht, die die Verbundfestigkeit herabsetzt. Die verwendeten Fasern der Schwarzwälder Textilwerke sind jedoch unbehandelt. Eine für den Zweck einer verminderten Verbundfestigkeit entsprechende Behandlung mit einem „oil agent“ [56] war nicht vorhanden.

Die Mischdauer musste von anfänglich 6 min 30 sek auf etwa 15 min erhöht werden, um eine gleichmäßige Konsistenz ohne Knäuelbildung zu erreichen. Dann jedoch war auch bei dem höchsten Fasergehalt von 2,29 % keine Knäuelbildung mehr feststellbar. Die Frischbetontemperatur stieg durch die erhöhte Mischdauer bis auf etwa 62°C an.

7.3.2 Probekörper

Es wurden insgesamt 18 Mischungen mit insgesamt 108 Proben hergestellt, sodass von jeder Mischungszusammensetzung eine Serie mit 6 Proben vorhanden war. Die Probekörper wurden 28 Tage bei 20°C wassergelagert.

7.3.3 Versuche und Ergebnisse

Keine der getesteten Proben zeigte duktilen Verhalten beim Biegezugversuch. Vermutlich ist dies auf den zu großen Verbund der Fasern mit der Zementmatrix zurückzuführen. Offensichtlich verstärkt wird dieser Effekt durch den geringen Faserdurchmesser, weil die Verbundkraft von der Mantelfläche der Faser abhängt und diese bei geringerem Faserdurchmesser langsamer abnimmt als die Faserquerschnittsfläche.

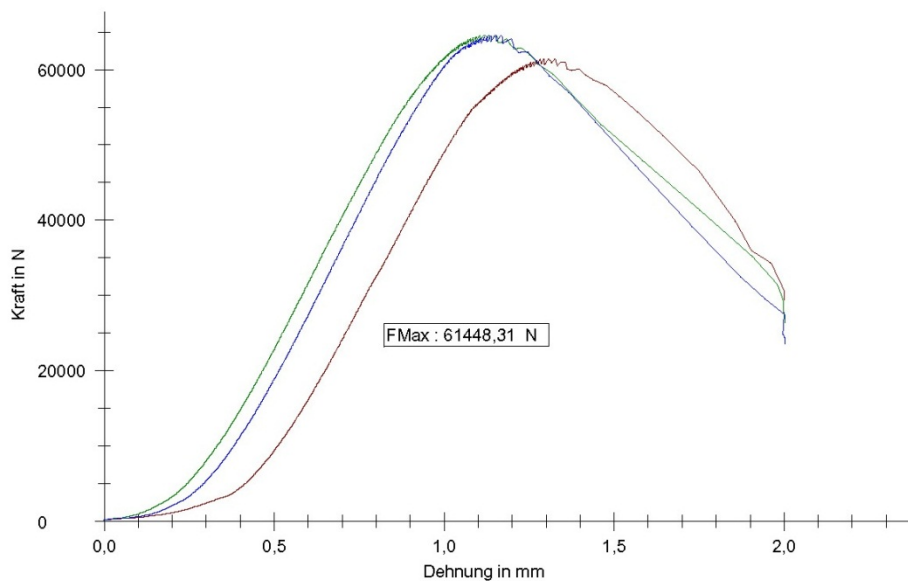
Zur Erzielung von duktilem Nachbruchverhalten sind Fasern mit spezieller Verbundbeschichtung, siehe [56] sowie Fasern mit größerem Querschnitt erforderlich. Die Matrixfestigkeit sollte 35 N/mm² nicht überschreiten. Die Biegezugfestigkeit sollte nicht über 5 N/mm² liegen, damit die Faserkraft die Matrixfestigkeit überschreitet.

Aufgrund der unbefriedigenden Ergebnisse bei den Biegeversuchen und Mangels an weiteren Proben wurden bei diesen Rezepturen keine Messungen der E-Moduln mehr durchgeführt.

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
1	1	1600	40	40	38,41	61448,31	30.04.2014	10:56:53
2	2	1600	40	40	40,38	64608,65	30.04.2014	10:59:17
3	3	1600	40	40	40,32	64508,27	30.04.2014	11:00:33

Prüfgeschwindigkeit : 1 N/mm²s

Seriengrafik:**Statistik:**

n = 3	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
\bar{x}	2	1600	40	40	39,70	63521,74
s	1	0,000	0,000	0,000	1,12	1796,35
v	50,00	0,00	0,00	0,00	2,83	2,83

Abbildung 78 – Druckversuch PVA-SHCC V6mod Serie, Prantl 2014

Das nachfolgende Bild 79 zeigt das Biegezugverhalten des SHCC V6mod. Man beachte, dass trotz des Fasergehalts von 2,29 % (Volumen) kein duktiler Bruch- bzw. Verformungsverhalten erreicht wird. Dies ist zum einen auf die hohe Matrixfestigkeit zurückzuführen (siehe Bild 78), zum anderen auf die hohe Verbundfestigkeit und den geringen Faserdurchmesser sowie auf die relativ geringe Bruchdehnung der PVA-Fasern.

Es kommt bereits bei einer Biegeverformung von weniger als 1 mm zum Versagen durch das vollständige Reißen der Fasern (Abbildung 80).

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
1	1	1600	40	40	6,86	2929,02	30.04.2014	10:28:06
2	2	1600	40	40	6,58	2805,34	30.04.2014	10:30:38
3	3	1600	40	40	6,44	2749,77	30.04.2014	10:36:26

Prüfgeschwindigkeit : 50 N/s

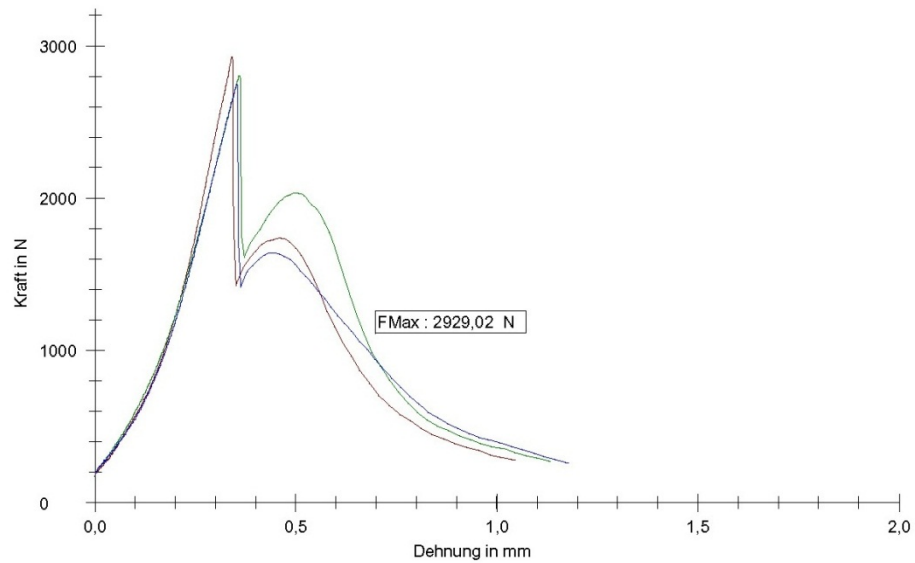
Seriengrafik:

Abbildung 79 – Biegezugverhalten PVA-SHCC V6mod Serie, Prantl 2014



Abbildung 80 – PVA-SHCC V6mod im Biegeversuch, Prantl 2014

7.4 Versuche mit PE – Faser SHCC

7.4.1 Inhaltsstoffe und Rezepturen

Aufgrund der überraschend schnellen Verfügbarkeit der Hochmodul-Polyethylenfasern der japanischen Firma Toyobo wurden mit diesem Fasertyp ebenfalls Versuche durchgeführt. Die Fasern sind auch unter dem Markennamen Dyneema bekannt und werden unter anderem für Impaktbelastungen z. B. für Schutzkleidung im militärischen Bereich eingesetzt. Diese Fasern besitzen eine besondere, entlang der Faserachse ausgerichtete Molekularanordnung, welche in einer hohen Zugfestigkeit und einem sehr hohen E-Modul resultiert. Die Zugfestigkeit beträgt ca. 3000 – 4000 N/mm². Der E-Modul ist in einem Bereich von 100.000 N/mm² vorzufinden. Die Fasern verfügen über eine geringere Verbundfestigkeit als die PVA-Fasern, sie gehen außerdem auch keine chemische Reaktion mit der Zementmatrix ein.

Es wurden drei Rezepturen entwickelt. Sämtliche Matrixanteile, ausgenommen der Anteil des Verflüssigers, entsprechen den Rezepturen V1 – V6. Die Fasergehalte der HDPE-Fasern wurden von 0,84 – 1,58 % (Volumen) verändert. Die Verarbeitbarkeit der Mischungen war nicht in der Art gegeben wie bei den PVA-SHCC, bei der Mischung V7mod wurde auch bei längerer Mischdauer (20 Minuten) keine Verbesserung mehr festgestellt, jedoch stieg die Frischbetontemperatur auf 68°C an. Das Temperaturniveau beim Mischvorgang dürfte darüber hinaus einen Einfluss auf die Festigkeit haben.

7.4.2 Probekörper

Es wurde jeweils eine Serie von 6 Proben pro Mischungsentwurf hergestellt.

Die Mischungen V7mod, V8mod und V9mod wurden 4 Tage bei 20°C wassergelagert, anschließend 48 Stunden bei 90°C im Wasserbad gehärtet.

Die Proben V7mod und V9mod, welche bereits beim Mischvorgang eine hohe Temperaturentwicklung zeigten, erreichten Druckfestigkeiten von ca. 70 bzw. 50 N/mm², während V8mod nur eine Druckfestigkeit von ca. 12 - 17 N/mm² aufwies.

7.4.3 Versuche und Ergebnisse

Der Biegezugversuch bei den Rezepturen V7mod und V9mod zeigt, ähnlich wie bei den Rezepturen mit dem PVA-SHCC, einen steilen Abfall des Lastniveaus nach dem Erstriss, gefolgt von einem Anstieg durch die Faserkraft. Die Fasern können das von der Matrix erreichte Spannungsniveau nicht überbrücken. Anschließend kommt es zum Riss der meisten Fasern im Querschnitt (siehe Bruchfläche in Bild 81). Offenbar ist die Verbundfestigkeit so groß, dass die Fasern aufgrund des geringen Durchmessers von 0,012 mm eher reißen als ausgezogen werden.



Abbildung 81 – Bruchfläche des PE-SHCC V7mod nach dem Biegeversuch, Prantl 2014

Im Biegezugversuch sieht man bei V9mod ein hohes Erstrissniveau bei einer Spannung von $10,78 \text{ N/mm}^2$ (Bild 83). Der erwünschte linear verlaufende Faserauszug findet nicht statt, vermutlich deshalb, weil die Druckfestigkeit (siehe Bild 82) zu hoch ist und diese anscheinend in einem Verhältnis zur Auszugskraft steht.

D_V9_mod_2014-05-22.ZSE

23.05.14

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
2	2	1600	40	40	52,36	83771,31	23.05.2014	10:28:46
3	3	1600	40	40	52,24	83579,51	23.05.2014	10:37:59
4	4	1600	40	40	78,36	125383,60	23.05.2014	10:42:41

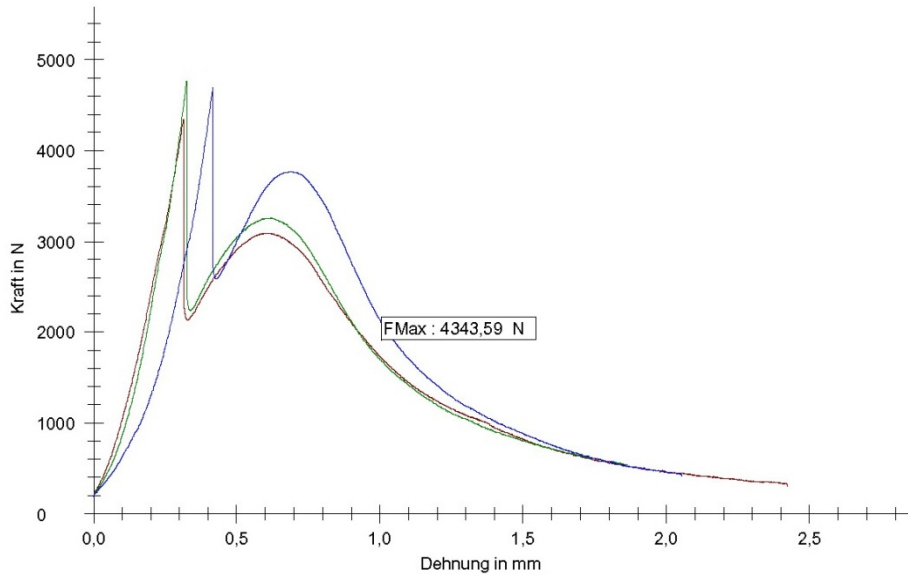
Abbildung 82 – Ergebnisse Druckversuch PE-SHCC V9mod Serie, Prantl 2014

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
1	1	1600	40	40	10,18	4343,59	22.05.2014	09:15:07
2	2	1600	40	40	11,16	4761,43	22.05.2014	09:29:45
3	3	1600	40	40	11,01	4699,32	22.05.2014	09:44:43

Prüfgeschwindigkeit : 0,2 mm/min

Seriengrafik:



Statistik:

n = 3	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
\bar{x}	2	1600	40	40	10,78	4601,45
s	1	0,000	0,000	0,000	0,53	225,46
v	50,00	0,00	0,00	0,00	4,90	4,90

Abbildung 83 – Ergebnisse Biegeversuch PE-SHCC V9mod Serie, Prantl 2014

Das Versagen der Proben findet bereits bei einer Verformung von ca. 1,0 mm statt, daher kann auch hier von einem duktilen Verhalten nicht gesprochen werden. Das Erstrissniveau ist deutlich höher als die Lasthaltefähigkeit der Fasern. Die Erstrissenergie ist somit ebenfalls höher als die durch die Fasern entstehende Komplementärenergie (siehe Bilder 57-59).

Der PE-SHCC mit der Rezeptur V8mod wies von allen Mischungen, inklusive der PP- und PVA-SHCC, das duktilste Verhalten auf. Auffällig war, wie bereits auf Seite 110 erwähnt, die deutlich niedrigere Druckfestigkeit im Vergleich zu den SHCC V7mod und V9mod. Es

kommt daher in diesem Fall aufgrund der geringen Druckfestigkeit zum vollständigen Faserauszug, d. h. es erfolgt kein Faserriss (siehe Bild 84).



Abbildung 84 – Vollständiger Faserauszug beim SHCC V8mod, Prantl 2014

Die Biegezugfestigkeit sowie die Matrixfestigkeit sind bei der vorliegenden Rezeptur SHCC V8mod im unteren Bereich (siehe Abbildung 86 bzw. 87). Der Faserauszug ist daher maßgebend für das Biegeversagen. Bei der Probe V8mod erfolgt der Erstriss bereits bei einer Biegezugspannung von ca. $3,8 \text{ N/mm}^2$, dies entspricht einem Kraftniveau von etwa 1.550 N beim Biegeversuch. Die Druckfestigkeit der Matrix dieser Proben betrug im Mittel nur ca. 14 N/mm^2 , daher ist gemäß der Erkenntnis auf Seite 111, Abs. 2 auch die maximale Faserauszugskraft geringer. Im Last – Verformungsdiagramm ist ersichtlich, dass eine Kraft von etwa 1.500 N bis ca. 3,0 mm Verformung gehalten wird. Anschließend erfolgt ein Kraftabfall, bis sämtliche Fasern aus der Matrix ausgezogen sind.

Die Abhängigkeit der Erstrissspannung und Verbundfestigkeit von der Druckfestigkeit wurde anhand der verschiedenen Versuche ausgewertet und in Bild 85 dargestellt.

Darin ist ersichtlich, dass ab einer Druckfestigkeit von ca. 20 N/mm^2 die Erstrissspannung deutlich schneller ansteigt als die Verbundfestigkeit und daher Druckfestigkeiten über diesem Wert für duktilen Verhalten nicht so gut geeignet sind. Dieses Diagramm gilt selbstverständlich nur für die Fasern mit einem Durchmesser von 0,012 mm und einer

Länge von 12 mm. Bei größerer Länge und größerem Durchmesser verschiebt sich der Ast der Faserauszugskraft nach oben, somit wird die Begrenzung der Druckfestigkeit für duktilen Verhalten auch in einen höheren Bereich verlegt. Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse kann man davon ausgehen, dass ein praktikabler Wert für die Matrixdruckfestigkeit von 35 N/mm^2 auch bei Fasern mit größerem Durchmesser nicht überschritten werden sollte.

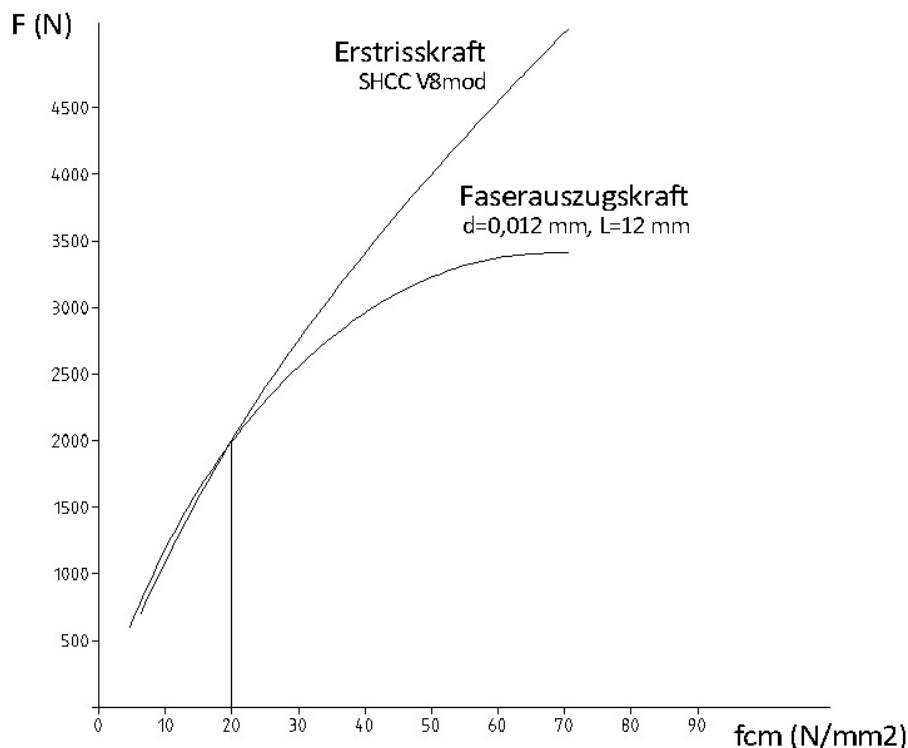


Abbildung 85 – Zusammenhang zwischen Druckfestigkeit, Faserauszugs- und Erstrisskraft bei PE-SHCC V8mod, Prantl 2014

Laut dem Diagramm (Bild 85) kann man davon ausgehen, dass die Duktilität des SHCC V8mod (Bild 86) durch die Erhöhung der mittleren Matrixdruckfestigkeit auf etwa 20 – 25 N/mm^2 (die mittlere Druckfestigkeit bei SHCC V8mod beträgt $13,92 \text{ N/mm}^2$, siehe Bild 87) noch etwas gesteigert werden kann. Eine weitere Erhöhung des Energiegehalts der Last – Verformungskurve wäre durch Erhöhung des Faserdurchmessers und der Faserlänge möglich. Dabei müsste allerdings auch der Fasergehalt weiter gesteigert werden, damit sich die Faser-Gesamtauszugskraft erhöht. Eine weitere Möglichkeit zur Erhöhung der Faserverbundfestigkeit besteht im Aufschweißen von „Verbundzwiebeln“

auf die Faserenden bei einem thermischen Schneidvorgang während der Faserherstellung.

Bei dem in Abbildung 85 dargestellten Diagramm ist zu berücksichtigen, dass im oberen Bereich des Astes der Faserauszugskraft die Werte durch die Faserrisskraft begrenzt werden (die Faserauszugskräfte liegen für diesen Wertebereich nicht vor). Die wirklichen Werte der Faserauszugskraft liegen höher. Daher ist davon auszugehen, dass auch im mittleren Diagrammbereich die Faserauszugskräfte in Wirklichkeit etwas höher liegen. Die Kurve sollte dann beim Übergang von der Auszugs- zur Risskraft einen Knick aufweisen. Die optimale Druckfestigkeit für die Matrix muss daher entgegen dem Diagramm im unteren Diagrammbereich real etwas nach oben korrigiert werden.

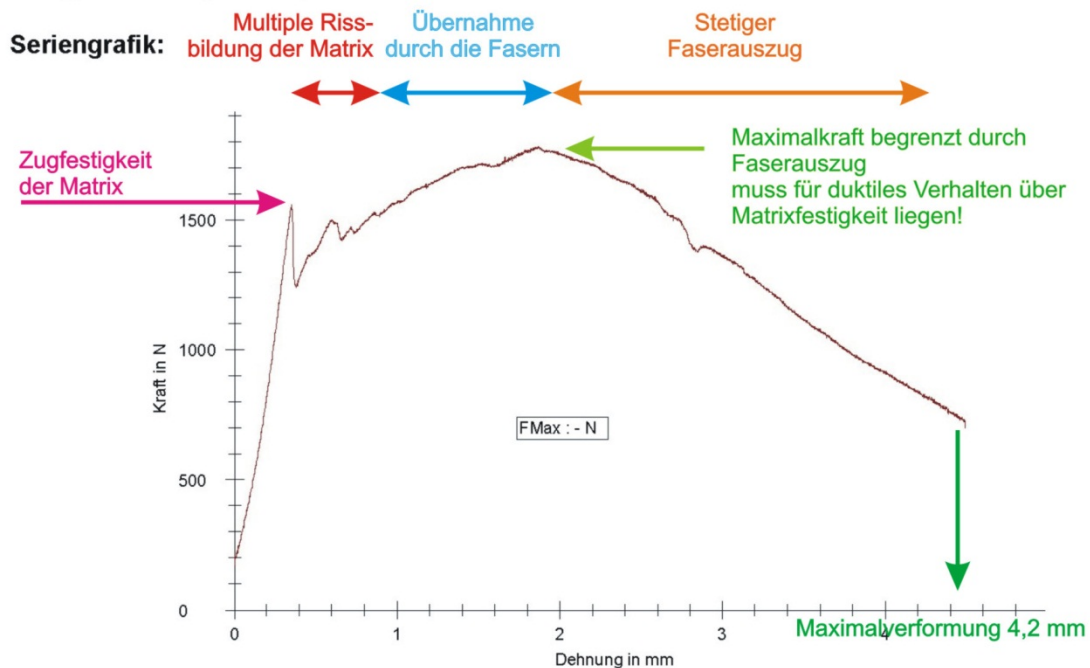
BZ_V8mod_2014-05-22_duktil.ZSE

23.05.14

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
6	6	1600	40	40	4,18	1783,60	22.05.2014	10:42:29

Prüfgeschwindigkeit : 0,25 mm/min



Statistik:

n = 1	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
\bar{x}	6	1600	40	40	4,18	1783,60
s	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-

Abbildung 86 – duktilen Verhalten im Biegezugversuch V8mod, Prantl 2014

In Abbildung 86 ist das erzielte duktile Verhalten des PE-SHCC abgebildet. Die Verfestigung nach dem Erstriss ist deutlich zu erkennen (blauer Bereich). Der abfallende Ast (orange) resultiert aus dem vollständigen Faserauszug durch die geringe Matrixfestigkeit.

D_V8_mod_2014-05-22.ZSE

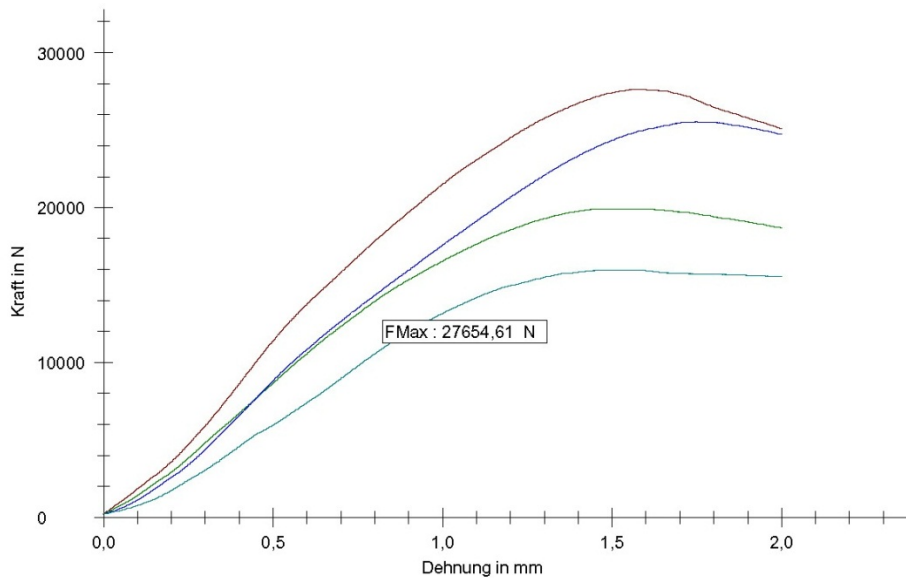
23.05.14

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
1	1	1600	40	40	17,28	27654,61	22.05.2014	12:22:40
2	2	1600	40	40	12,46	19936,42	22.05.2014	12:25:38
3	3	1600	40	40	15,97	25553,45	22.05.2014	12:28:47
5	5	1600	40	40	9,98	15970,68	22.05.2014	12:38:29

Prüfgeschwindigkeit : 1 mm/min

Seriengrafik:



Statistik:

n = 4	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
\bar{x}	2,75	1600	40	40	13,92	22278,79
s	1,708	0,000	0,000	0,000	3,32	5319,83
v	62,10	0,00	0,00	0,00	23,88	23,88

Abbildung 87 – Ergebnis Druckversuch PE-SHCC V8mod, Prantl 2014

Die Abbildung 88 zeigt den Biegeversuch des SHCC V8mod mit duktilem Verhalten. Das Bild spiegelt das hohe Verformungsvermögen am Ende der Belastung von etwa 5 mm wieder. Die multiple Rissbildung ist in Abbildung 89 deutlich erkennbar. Es liegen viele dünne Risse mit geringen Rissweiten bis etwa maximal 0,2 mm vor. Es traten sowohl

Biege- als auch Schubrisse auf. Die Abbildung 89 zeigt den Probekörper im Zustand nach der Entlastung.



Abbildung 88 – Duktileres Verhalten beim Biegezugversuch mit PE-SHCC V8mod, Prantl 2014

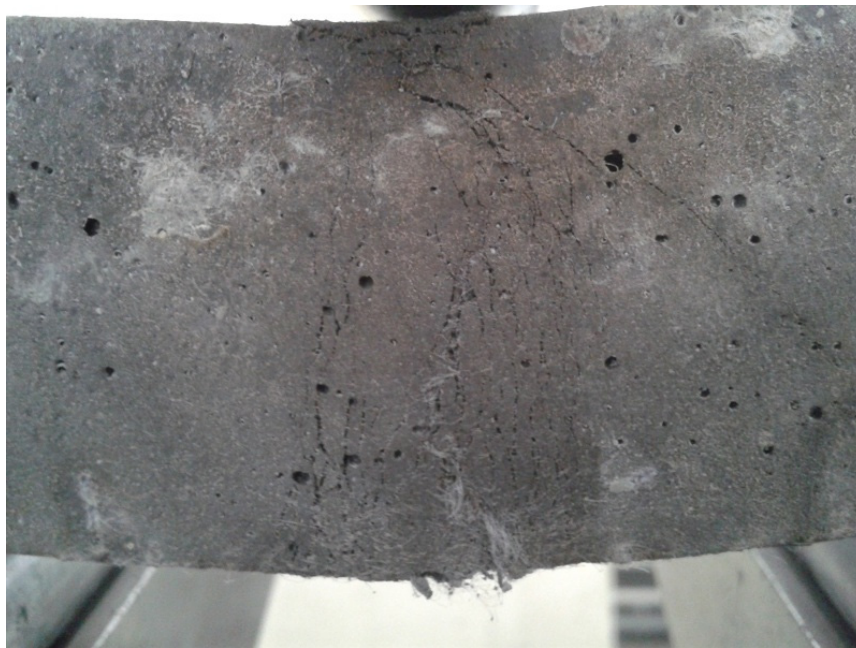


Abbildung 89 – Multiple Rissbildung bei PE-SHCC V8mod, Prantl 2014

Aufgrund der Ausführungen auf Seite 114-115 ist davon auszugehen, dass die gezeigte multiple Rissbildung (Abbildung 89) bei einer höheren Matrixfestigkeit von ca. $25 - 30 \text{ N/mm}^2$ mit den vorhandenen PE – Fasern mit einem Durchmesser von $0,012 \text{ mm}$ und einer Länge von 12 mm noch ausgeprägter wäre.

7.5 Resumee

Die Versuche zeigen deutlich, dass mit den unterschiedlichen Fasertypen gänzlich konträre Strategien für die Auslegung der SHCC – Eigenschaften verfolgt werden müssen.

Ein Vorteil des PE – SHCC ist die leichtere Erzielung von duktilem Verhalten durch die Eigenschaften der Fasern hinsichtlich der Zähigkeit und des gutmütigen Faserauszugverhaltens. Ein Nachteil des PE – SHCC ist, dass auch nach längerer Mischdauer keine Verbesserung der Verarbeitbarkeit eintritt, es verbleibt eine gewisse Knäuelbildung.

Die Matrixfestigkeit des PE-SHCC muss bei gleichzeitiger Verbesserung der Verbundfestigkeit gezielt eingestellt werden. Aus dem Versuch mit dem PE-SHCC V9mod ist ersichtlich, dass bei einer Matrixdruckfestigkeit von 50 N/mm^2 man bereits mit 0,84 % der Fasern in der Matrix eine Kraft von mehr als 3.000 N übertragen kann. Ein optimierter Zusammenhang zwischen Verbund- und Matrixfestigkeit ist daher beim PE-SHCC wichtig.

Bei den PVA – SHCC ist die leichtere Verarbeitbarkeit hervorzuheben, das Faserauszugsverhalten ist hier allerdings empfindlicher und nicht so leicht einzustellen. Es findet ein chemischer Verbund mit dem Zementstein durch Carboxylgruppen an der Faseroberfläche statt. Der Verbund muss daher bei dieser Betonzusammensetzung, anders als bei den PE-SHCC, herabgesetzt werden. Dies kann durch geeignete Beschichtungen erfolgen, welche darüber hinaus ein nichtlineares Auszugverhalten ermöglichen.

Strategien für die Erzielung von mehr Duktilität können daher wie folgt aufgezählt werden:

- Gezielte Einstellung der Matrixfestigkeit (Flugasche – Zementverhältnis, Leichtsand, w/b-Wert) auf die Verbundfestigkeit
- Faserarten und Fasergehalt
- Faserlänge
- Faserdurchmesser

- Einstellung der Faserverbundfestigkeit (Störung des Verbunds durch Faserbeschichtung bei PVA Fasern)
- Maximaltemperatur bei der Herstellung



Abbildung 90 – Probefeld SHCC Beschichtung, Prantl 2014

Die Verarbeitbarkeit als Beschichtungsmörtel war bei allen Rezepturen gegeben, dies ist in Bild 89 dargestellt. Eine Verwendbarkeit als Verstärkungsschicht ist, nach erfolgter Optimierung der Matrix- und Fasereigenschaften, im Bereich des technisch Möglichen.

8. Versuche an verstärkten Wandkörpern

8.1 Motivation

Es sollte eine Verifikation der Erhöhung der vertikalen Tragfähigkeit des Wandpfeilers durch die Umschnürung nachgewiesen werden. Die Zugfestigkeit des SHCC soll die stabilitätsgefährdende Mörtelstauchung bzw. Gelenkbildung durch Zugversagen in der Fuge verhindern.

8.2 Großversuche an Wandpfeilern mit 15 cm Wanddicke und 330 cm Höhe



Abbildung 91 – Wandpfeiler 15 x 60 cm während Aufmauerung, Prantl 2014

Die Druckversuche (Bild 91) konnten leider aufgrund von Problemen mit der Prüfmaschine nicht mehr im Rahmen dieser Diplomarbeit durchgeführt werden.

9. Zusammenfassung und Ausblick

Die Entwicklung von ECC bzw. SHCC Betonen mit duktilen Eigenschaften ist in den letzten zehn Jahren unter anderem für die Verstärkung von erdbebengefährdeten Mauerwerks- und Betonbauten vorangetrieben worden. Vor allem in typischen Erdbebenregionen wie Neuseeland, Japan oder Kalifornien ist die Kenntnislage über diese neuartige Werkstoffentwicklung bereits sehr hoch.

Obwohl in der vorliegenden Arbeit der Anteil an bereits vorliegenden Erkenntnissen umfangreich ist, so ist es doch schwierig, diese entsprechend umzusetzen. Trotzdem sind sowohl die Ergebnisse der Betonprüfungen als auch die Mauerwerksversuche als Erfolg zu bezeichnen, da die erwarteten Eigenschaften, insbesondere im Hinblick auf verbesserte Tragfähigkeit und Duktilität erfüllt wurden. Es muss an dieser Stelle erwähnt werden, dass die Entwicklung einer Betonmischung mit duktilen Eigenschaften trotz Vorkenntnissen aus anderen Publikationen sehr aufwendig war, weil es bei der Beschaffung der Ausgangsstoffe schwierig ist, die geforderten Eigenschaften der jeweiligen Ingredienzien wie Fasern oder Fließmittel vorherzusagen.

Es wurden etwa 30 verschiedene Mischungen ausprobiert. Die rheologischen Eigenschaften der finalen Mischungszusammensetzung sind ausreichend stabil, um eine händische Verarbeitung mit Spachtelauftrag zu gewährleisten. Es trat kein Abgleiten des Mörtelauftrags auf und auch die Haftung auf dem Ziegelgrund hat sich als zufriedenstellend erwiesen.

Bei den Prismenversuchen konnte duktiler Verhalten nachgewiesen werden.

Betreffend die Versuche mit den geschoßhohen Wandpfeilern muss leider auf spätere Arbeiten verwiesen werden, da zum Zeitpunkt der Fertigstellung der gegenständlichen Arbeit die Prüfmaschine der TU Wien reparaturbedürftig und somit nicht einsatzbereit war. Als interessant für die zukünftige Verwendung wäre die Erkenntnis, ob so wie geplant eine Umschnürung durch Fasern zumindest teilweise ersetzt werden kann.

Für die Einstellung eines optimalen Faserauszugverhaltens besteht ebenfalls noch Forschungsbedarf, ausschlaggebend dürfte hier die Vorbehandlung der Fasern sowie die Matrixfestigkeit sein. Vielversprechend sind außerdem Mischungsansätze mit hybrider Zusammensetzung der Faserzugabe.

Die geplante Bestimmung der Bruchenergie (Einheit: N/mm) als freiwerdende Energie bei der Rissbildung in einem Wandquerschnitt wäre eine aussagekräftige Vergleichsmöglichkeit, um die Effektivität der oben angeführten Ertüchtigungsmethode zu prüfen bzw. die Varianten zu vergleichen.

Es ist geplant, diese Versuche samt den Erkenntnissen über die Betontechnologie und die Bruchmechanik im Rahmen einer weiteren Publikation nachzuholen.

10. Anhang

A.1 Mischungsentwürfe SHCC

Mischungsrechnung für SHCC							
durchgeführt von:	DI Johannes Kirnbauer						
Ort:	Labor 1030, Adolf-Blamauer gasse 1-3						
Datum:	18.04.2012						
Zweck:	SHCC VV1 Lit: Slowik/Schmidt S.206						
◊ Grau hinterlegte Felder müssen eingetragen werden ◊							
Anforderungen							
W/Z-Wert	W/B-Wert	0,625	1,20	Fließmittel [M.% v. Z]		4,00	
Sand trocken [dm³/m³]			50,00	Fließmittel [M.% v. F]		0,93	
Luftgehalt (angenommen) [V.%]			2,00	w/Fv		0,717	
Entschäumer [kg/m³]			0,00	Relativdichte rechnerisch		0,742	
Matrix							
	Bezeichnung	Anteile [M. 1]	Anteile [V. 1]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]	
Fließmittel	ACE 430	4,00	3,67	12,90	1,09	11,84	30,00 Feststoff [M.%]
Wasser inkl. FM-Anteil flüssig	Wasser	120,00	120,00	387,07	1,00	387,07	
FM Festanteil		1,20	0,87	3,87	1,38	2,81	
Zement	CEM I 42,5 N	100,00	32,26	322,56	3,10	104,05	
Zusatzstoff 1	QM 10000	100,00	37,74	322,56	2,65	121,72	
Zusatzstoff 2	FA Dümrohr	230,00	97,46	741,88	2,36	314,36	
Zusatzstoff 3	nv	0,00	0,00	0,00	4,59	0,00	
Entschäumer	DCC-Entlüfter	nb	nb	nb	1,06	nb	
		551,20	288,32	1777,93	1,91	930,00	
Zuschläge							
	Bezeichnung	Anteil [%]	Trocken-M. [kg]	Rohdichte tr [kg/dm³]	Stoffraum tr [dm³]	Wassergehalt [M. %]	Feucht-M. [kg/m³]
Sand 1	ME 0,1-0,5	100	132,5	2,65	50	0,00	132,50
Sand 2	nv	0	0	2,65	0	0,00	0,00
Sand 3	nv	0	0	2,65	0	0,00	0,00
***		100	132,50	2,65	50,00	0,00	132,50
Fasern							
	Bezeichnung	Anteil [M.%]	Zugabe [kg/m³]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Faser 1	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
Faser 2	nv	0,00	0,00	0,91	0,00		
Faser 3	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
		0,00	0,00	0,00	0,00		
Stoffraum							
	Anteil [V. %]	Anteil [M. %]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Luft	2,00	0,00	0,00	0,00	20,00		
Matrix	93,00	93,06	1777,93	1,91	930,00		
Zuschläge	5,00	6,94	132,50	2,65	50,00		
Fasern	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Frischbetonrohddichte			1910,43	4,562	1000,00		
Wasserzugabe gesamt [l/m³]:			378,04				
Mischung							
	Volumen der Mischung			2,80	dm³	V Kontrolle	
	Bezeichnung	Einwaage					
Wasser	Wasser			1058,5	g		2800
Zement	CEM I 42,5 N			903,2	g		1058,50
Zusatzstoff 1	QM 10000			903,2	g		291,34
Zusatzstoff 2	FA Dümrohr			2077,3	g		340,81
Zusatzstoff 3	nv			0,0	g		880,20
Fließmittel	ACE 430			36,1	g		0,00
Entschäumer	DCC-Entlüfter			0,0	ml		33,14
Sand 1	ME 0,1-0,5			371,0	g		0,00
Sand 2	nv			0,0	g		140,00
Sand 3	nv			0,0	g		0,00
Faser 1	nv			0,0	g		0,00
Faser 2	nv			0,00	g		0,00
Faser 3	nv			0,0	g		0,00
Mischreihenfolge und Dauer							
Mischertyp:	Eirich R 02						
Mischart:	Gleichstrommischen						
Wirblertyp:	Stiftenwirbler			Mischbehälter		Wirbler	
Mischreihenfolge:	[s]	[min]			[U/min]	[m/s]	
1) Cem, MS, QM, QS, Fasern	60,0	01:00		Stufe 1	1000	6,3	
2) Wasser+FM+DCC	30,0	00:30			1000	6,3	
3) Mischen	120,0	02:00			1000	6,3	
4) Mischpause	0,0	00:00			0	0,0	
5) Mischen	0,0	00:00			0	0,0	
6) FM einfüllen	0,0	00:00			0	0,0	
7) Nachmischen	180,0	03:00			300	1,9	
8) Enlüften [60 mbar]	0,0	00:00			0	0,0	
Summe	390,0	06:30					
Frischbetonprüfung Datum:				Festbetonprüfung Datum:			
Ausbreitmaß: SFM	cm			Biegezug:			
Rohdichte:	kg/m³			Druck:			
Luftgehalt:	%			Rohdichte:			
Mischungstemperatur:	°C						
Nachbehandlung:							

Mischungsberechnung für SHCC							
durchgeführt von:	DI Johannes Kirnbauer						
Ort:	Labor 1030, Adolf-Blamauergasse 1-3						
Datum:	25.09.2013						
Zweck:	SHCC VV2 Lit: Handbuch Flugasche S. 135 Mischung 3						
◊ Grau hinterlegte Felder müssen eingetragen werden ◊							
Anforderungen							
W/Z-Wert	W/B-Wert	0,713	1,33	Fließmittel [M.% v. Z]		2,70	
Sand trocken [dm³/m³]			250,00	Fließmittel [M% v. F]		0,49	
Luftgehalt (angenommen) [V.%]			2,00	w/Fv		0,617	
Entschäumer [kg/m³]			0,00	Relativedichte rechnerisch		0,808	
Matrix							
	Bezeichnung	Anteile [M. 1]	Anteile [V. 1]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]	
Fließmittel	ACE 430	5,67	5,20	5,65	1,09	5,18	30,00 Feststoff [M.%]
Wasser inkl. FM-Anteil flüssig	Wasser	279,30	279,30	278,20	1,00	278,20	
FM Festanteil		1,70	1,23	1,69	1,38	1,23	
Zement	CEM I 42,5 R	210,00	67,74	209,17	3,10	67,47	
Zusatzstoff 1	QM 10000	468,00	176,60	466,15	2,65	175,91	
Zusatzstoff 2	FA Dürnrohr	455,00	192,80	453,20	2,36	192,04	
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	35,00	15,22	34,86	2,30	15,16	
Entschäumer	DCC-Entlüfter	nb	nb	nb	1,06	nb	
		1449,00	732,89	1443,28	1,98	730,00	
Zuschläge							
	Bezeichnung	Anteil [%]	Trocken-M. [kg]	Rohdichte tr [kg/dm³]	Stoffraum tr [dm³]	Wassergehalt [M. %]	Feucht-M. [kg/m³]
Sand 1	ME 0,1-0,5	100	662,5	2,65	250	0	662,50
Sand 2	nv	0	0	2,65	0	0,00	0,00
Sand 3	nv	0	0	2,65	0	0,00	0,00
****		100	662,50	2,65	250,00	0,00	662,50
Fasern							
	Bezeichnung	Anteil [M.%]	Zugabe [kg/m³]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Faser 1	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
Faser 2	nv	0,00	0,00	0,91	0,00		
Faser 3	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
		0,00	0,00	0,00	0,00		
Stoffraum							
	Anteil [V. %]	Anteil [M. %]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Luft	2,00	0,00	0,00	0,00	20,00		
Matrix	73,00	68,54	1443,28	1,98	730,00		
Zuschläge	25,00	31,46	662,50	2,65	250,00		
Fasern	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Frischbetonrohddichte			2105,78	4,627	1000,00		
Wasserzugabe gesamt [l/m³]:			274,24				
Mischung							
	Volumen der Mischung			2,80 dm³	V Kontrolle		
	Bezeichnung	Einwaage					
Wasser	Wasser			767,9 g	2800		
Zement	CEM I 42,5 R			585,7 g	767,88		
Zusatzstoff 1	QM 10000			1305,2 g	188,93		
Zusatzstoff 2	FA Dürnrohr			1269,0 g	492,54		
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U			97,6 g	537,70		
Fließmittel	ACE 430			15,8 g	42,44		
Entschäumer	DCC-Entlüfter			0,0 ml	14,51		
Sand 1	ME 0,1-0,5			1855,0 g	0,00		
Sand 2	nv			0,0 g	700,00		
Sand 3	nv			0,0 g	0,00		
Faser 1	nv			0,0 g	0,00		
Faser 2	nv			0,00 g	0,00		
Faser 3	nv			0,0 g	0,00		
Mischreihenfolge und Dauer							
Mischertyp:	Eirich R 02						
Mischart:	Gleichstrommischen						
Wirblertyp:	Stiftenwirbler			Mischbehälter		Wirbler	
Mischreihenfolge:	[s]	[min]			[U/min]	[m/s]	
1) Cem, MS, QM, QS, Fasern	60,0	01:00	Stufe 1		1000	6,3	
2) Wasser+FM+DCC	30,0	00:30			1000	6,3	
3) Mischen	120,0	02:00			1000	6,3	
4) Mischpause	0,0	00:00			0	0,0	
5) Mischen	0,0	00:00			0	0,0	
6) FM einfüllen	0,0	00:00			0	0,0	
7) Nachmischen	180,0	03:00			300	1,9	
8) Entlüften [60 mbar]	0,0	00:00			0	0,0	
Summe	390,0	06:30					
Frischbetonprüfung Datum:				Festbetonprüfung Datum:			
Ausbreitmaß: SFM	cm			Biegezug:			
Rohdichte:	kg/m³			Druck:			
Luftgehalt:	%			Rohdichte:			
Mischungstemperatur:	°C						
Nachbehandlung:							

Mischungsberechnung für SHCC							
durchgeführt von:	DI Johannes Kirnbauer						
Ort:	Labor 1030, Adolf-Blamauergasse 1-3						
Datum:	25.09.2013						
Zweck:	SHCC VV3 Lit: Hochdukt. Bet. mit Kurzfaser, V. Mechtcherine, HDB-I						
◊ Grau hinterlegte Felder müssen eingetragen werden ◊							
Anforderungen							
W/Z-Wert	W/B-Wert	0,542	1,05	Fließmittel [M.% v. Z]		5,00	
Sand trocken [dm ³ /m ³]			200,00	Fließmittel [M% v. F]		1,50	
Luftgehalt (angenommen) [V.%]			2,00	w/Fv		0,798	
Entschäumer [kg/m ³]			0,00	Relativdichte rechnerisch		0,776	
Matrix							
	Bezeichnung	Anteile [M. 1]	Anteile [V. 1]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm ³]	Stoffraum [dm ³]	
Fließmittel	ACE 430	16,00	14,68	15,95	1,09	14,63	30,00 Feststoff [M.%]
Wasser inkl. FM-Anteil flüssig	Wasser	336,00	336,00	334,90	1,00	334,90	
FM Festanteil		4,80	3,48	4,78	1,38	3,47	
Zement	CEM I 42,5 R	320,00	103,23	318,96	3,10	102,89	
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,00	0,00	0,00	2,65	0,00	
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr	750,00	317,80	747,55	2,36	316,76	
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,00	0,00	0,00	2,30	0,00	
Entschäumer	DCC-Entlüfter	nb	nb	nb	1,06	nb	
		1410,80	760,50	1406,20	1,86	758,02	
Zuschläge							
	Bezeichnung	Anteil [%]	Trocken-M. [kg]	Rohdichte tr [kg/dm ³]	Stoffraum tr [dm ³]	Wassergehalt [M. %]	Feucht-M. [kg/m ³]
Sand 1	ME 0,1-0,5	100	530	2,65	200	0	530,00
Sand 2	nv	0	0	2,65	0	0	0,00
Sand 3	nv	0	0	2,65	0	0	0,00
***		100	530,00	2,65	200,00	0,00	530,00
Fasern							
	Bezeichnung	Anteil [M.%]	Zugabe [kg/m ³]	Rohdichte [kg/dm ³]	Stoffraum [dm ³]		
Faser 1	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
PP Faser 12 mm	nv	100,00	20,00	0,91	21,98		
Faser 3	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
		100,00	20,00	0,91	21,98		
Stoffraum							
	Anteil [V. %]	Anteil [M. %]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm ³]	Stoffraum [dm ³]		
Luft	2,00	0,00	0,00	0,00	20,00		
Matrix	75,80	71,88	1406,20	1,86	758,02		
Zuschläge	20,00	27,09	530,00	2,65	200,00		
Fasern	2,20	1,02	20,00	0,91	21,98		
	Frischbetonrohddichte		1956,20	4,505	1000,00		
	Wassergabe gesamt [l/m³]:		323,74				
Mischung							
	Volumen der Mischung			2,80 dm ³		V Kontrolle	
	Bezeichnung	Einwaage					
Wasser	Wasser	906,5 g				2800	
Zement	CEM I 42,5 R	893,1 g				906,48	
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,0 g				288,09	
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr	2093,2 g				0,00	
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,0 g				886,93	
Fließmittel	ACE 430	44,7 g				0,00	
Entschäumer	DCC-Entlüfter	0,0 ml				40,87	
Sand 1	ME 0,1-0,5	1484,0 g				0,00	
Sand 2	nv	0,0 g				560,00	
Sand 3	nv	0,0 g				0,00	
Faser 1	nv	0,0 g				0,00	
Faser 2	nv	56,00 g				61,54	
Faser 3	nv	0,0 g				0,00	
Mischreihenfolge und Dauer							
Mischertyp:	Eirich R 02						
Mischart:	Gleichstrommischen						
Wirblertyp:	Stiftenwirbler			Mischbehälter		Wirbler	
Mischreihenfolge:	[s]	[min]			[U/min]	[m/s]	
1) Cem, MS, QM, QS, Fasern	60,0	01:00		Stufe 1	1000	6,3	
2) Wasser+FM+DCC	30,0	00:30			1000	6,3	
3) Mischen	120,0	02:00			1000	6,3	
4) Mischpause	0,0	00:00			0	0,0	
5) Mischen	0,0	00:00			0	0,0	
6) FM einfüllen	0,0	00:00			0	0,0	
7) Nachmischen	180,0	03:00			300	1,9	
8) Enlüften [60 mbar]	0,0	00:00			0	0,0	
Summe	390,0	06:30					
Frischbetonprüfung Datum:				Festbetonprüfung Datum:			
Ausbreitmaß: SFM	cm			Biegezug:			
Rohdichte:	kg/m ³			Druck:			
Luftgehalt:	%			Rohdichte:			
Mischungstemperatur:	°C						
Nachbehandlung:							

Mischungsberechnung für SHCC							
durchgeführt von:	DI Johannes Kirnbauer						
Ort:	Labor 1030, Adolf-Blamauergasse 1-3						
Datum:	25.09.2013						
Zweck:	SHCC VV4 Lit: Handbuch Flugasche S. 135 Mischung 3						
◊ Grau hinterlegte Felder müssen eingetragen werden ◊							
Anforderungen							
W/Z-Wert	W/B-Wert	0,713	1,33	Fließmittel [M.% v. Z]			3,50
Sand trocken [dm³/m³]			250,00	Fließmittel [M.% v. F]			
Luftgehalt (angenommen) [V.%]			2,00	w/Fv			0,617
Entschäumer [kg/m³]			0,00	Relativdichte rechnerisch			0,811
Matrix							
	Bezeichnung	Anteile [M. 1]	Anteile [V. 1]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]	
Fließmittel	ACE 430	7,35	6,74	7,23	1,09	6,63	30,00 Feststoff [M.%]
Wasser inkl. FM-Anteil flüssig	Wasser	279,30	279,30	274,71	1,00	274,71	
FM Festanteil		2,21	1,60	2,17	1,38	1,57	
Zement	CEM I 42,5 R	210,00	67,74	206,55	3,10	66,63	
Zusatzstoff 1	QM 10000	468,00	176,60	460,31	2,65	173,70	
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr	455,00	192,80	447,52	2,36	189,63	
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	35,00	15,22	34,42	2,30	14,97	
Entschäumer	DCC-Entlüfter	nb	nb	nb	1,06	nb	
		1449,51	733,26	1425,69	1,98	721,21	
Zuschläge							
	Bezeichnung	Anteil [%]	Trocken-M. [kg]	Rohdichte tr [kg/dm³]	Stoffraum tr [dm³]	Wassergehalt [M. %]	Feucht-M. [kg/m³]
Sand 1	ME 0,1-0,5	100	662,5	2,65	250	0	0,00
Sand 2	nv	0	0	2,65	0	0	0,00
Sand 3	nv	0	0	2,65	0	0	0,00
***		100	662,50	2,65	250,00	0,00	662,50
Fasern							
	Bezeichnung	Anteil [M.%]	Zugabe [kg/m³]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Faser 1	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
PP Faser 12 mm	nv	100,00	8,00	0,91	8,79		
Faser 3	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
		100,00	8,00	0,91	8,79		
Stoffraum							
	Anteil [V. %]	Anteil [M. %]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Luft	2,00	0,00	0,00	0,00	20,00		
Matrix	72,12	68,01	1425,69	1,98	721,21		
Zuschläge	25,00	31,61	662,50	2,65	250,00		
Fasern	0,88	0,38	8,00	0,91	8,79		
Frischbetonrohddichte			2096,19	4,627	1000,00		
Wasserzugabe gesamt [l/m³]:			269,65				
Mischung							
	Volumen der Mischung			2,80 dm³	V Kontrolle		
	Bezeichnung	Einwaage					
Wasser	Wasser			755,0 g	2800		
Zement	CEM I 42,5 R			578,3 g	755,02		
Zusatzstoff 1	QM 10000			1288,9 g	186,58		
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr			1253,1 g	486,36		
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U			96,4 g	530,96		
Fließmittel	ACE 430			20,2 g	41,91		
Entschäumer	DCC-Entlüfter			0,0 ml	18,57		
Sand 1	ME 0,1-0,5			1855,0 g	0,00		
Sand 2	nv			0,0 g	700,00		
Sand 3	nv			0,0 g	0,00		
Faser 1	nv			0,0 g	0,00		
Faser 2	nv			22,40 g	24,62		
Faser 3	nv			0,0 g	0,00		
Mischreihenfolge und Dauer							
Mischertyp:	Eirich R 02						
Mischart:	Gleichstrommischen						
Wirblertyp:	Stiftenwirbler			Mischbehälter		Wirbler	
Mischreihenfolge:	[s]	[min]			[U/min]	[m/s]	
1) Cem, MS, QM, QS, Fasern	60,0	01:00		Stufe 1	1000	6,3	
2) Wasser+FM+DCC	30,0	00:30			1000	6,3	
3) Mischen	120,0	02:00			1000	6,3	
4) Mischpause	0,0	00:00			0	0,0	
5) Mischen	0,0	00:00			0	0,0	
6) FM einfüllen	0,0	00:00			0	0,0	
7) Nachmischen	180,0	03:00			300	1,9	
8) Enlüften [60 mbar]	0,0	00:00			0	0,0	
Summe	390,0	06:30					
Frischbetonprüfung Datum:				Festbetonprüfung Datum:			
Ausbreitmaß: SFM		cm		Biegezug:			
Rohdichte:		kg/m³		Druck:			
Luftgehalt:		%		Rohdichte:			
Mischungstemperatur:		°C					
Nachbehandlung:							

Mischungsberechnung für SHCC							
durchgeführt von:	DI Johannes Kirnbauer						
Ort:	Labor 1030, Adolf-Blamauergasse 1-3						
Datum:	25.09.2013						
Zweck:	SHCC VV6 Lit: Handbuch Flugasche S. 135 Mischung 3						
◊ Grau hinterlegte Felder müssen eingetragen werden ◊							
Anforderungen							
W/Z-Wert	W/B-Wert	0,713	1,33	Fließmittel [M.% v. Z]		3,00	
Sand trocken [dm³/m³]			250,00	Fließmittel [M.% v. F]			
Luftgehalt (angenommen) [V.%]			2,00	w/Fv		0,617	
Entschäumer [kg/m³]			0,00	Relativdichte rechnerisch		0,810	
Matrix							
	Bezeichnung	Anteile [M. 1]	Anteile [V. 1]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]	
Fließmittel	ACE 430	6,30	5,78	6,22	1,09	5,70	30,00 Feststoff [M.%]
Wasser inkl. FM-Anteil flüssig	Wasser	279,30	279,30	275,63	1,00	275,63	
FM Festanteil		1,89	1,37	1,87	1,38	1,35	
Zement	CEM I 42,5 R	210,00	67,74	207,24	3,10	66,85	
Zusatzstoff 1	QM 10000	468,00	176,60	461,86	2,65	174,29	
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr	455,00	192,80	449,03	2,36	190,27	
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	35,00	15,22	34,54	2,30	15,02	
Entschäumer	DCC-Entlüfter	nb	nb	nb	1,06	nb	
		1449,19	733,03	1430,17	1,98	723,41	
Zuschläge							
	Bezeichnung	Anteil [%]	Trocken-M. [kg]	Rohdichte tr [kg/dm³]	Stoffraum tr [dm³]	Wassergehalt [M. %]	Feucht-M. [kg/m³]
Sand 1	ME 0,1-0,5	100	662,50	2,65	250	0,00	662,50
Sand 2	nv	0	0	2,65	0	0,00	0,00
Sand 3	nv	0	0	2,65	0	0,00	0,00
***		100	662,50	2,65	250,00	0,00	662,50
Fasern							
	Bezeichnung	Anteil [M.%]	Zugabe [kg/m³]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Faser 1	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
PP Faser 12 mm	nv	100,00	6,00	0,91	6,59		
Faser 3	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
		100,00	6,00	0,91	6,59		
Stoffraum							
	Anteil [V. %]	Anteil [M. %]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Luft	2,00	0,00	0,00	0,00	20,00		
Matrix	72,34	68,15	1430,17	1,98	723,41		
Zuschläge	25,00	31,57	662,50	2,65	250,00		
Fasern	0,66	0,29	6,00	0,91	6,59		
	Frischbetonrohddichte		2098,67	4,627	1000,00		
	Wasserzugabe gesamt [l/m³]:		271,28				
Mischung							
	Volumen der Mischung	2,80 dm³		V Kontrolle			
	Bezeichnung	Einwaage					
Wasser	Wasser	759,6 g					2900
Zement	CEM I 42,5 R	580,3 g					759,58
Zusatzstoff 1	QM 10000	1293,2 g					187,19
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr	1257,3 g					488,00
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	96,7 g					532,74
Fließmittel	ACE 430	17,4 g					42,05
Entschäumer	DCC-Entlüfter	0,0 ml					15,97
Sand 1	ME 0,1-0,5	1855,0 g					0,00
Sand 2	nv	0,0 g					700,00
Sand 3	nv	0,0 g					0,00
Faser 1	nv	0,0 g					0,00
Faser 2	nv	16,80 g					0,00
Faser 3	nv	0,0 g					18,46
							0,00
Mischreihenfolge und Dauer							
Mischertyp:	Eirich R 02						
Mischart:	Gleichstrommischen						
Wirblertyp:	Stiftenwirbler						
Mischreihenfolge:	[s]	[min]	Mischbehälter	Wirbler			
1) Cem, MS, QM, QS, Fasern	60,0	01:00	Stufe 1	[U/min]	[m/s]		
2) Wasser+FM+DCC	30,0	00:30		1000	6,3		
3) Mischen	120,0	02:00		1000	6,3		
4) Mischpause	0,0	00:00		0	0,0		
5) Mischen	0,0	00:00		0	0,0		
6) FM einfüllen	0,0	00:00		0	0,0		
7) Nachmischen	180,0	03:00		300	1,9		
8) Enlüften [60 mbar]	0,0	00:00		0	0,0		
Summe	390,0	06:30					
Frischbetonprüfung Datum:			Festbetonprüfung Datum:				
Ausbreitmaß: SFM		cm	Biegezug:				
Rohdichte:		kg/m³	Druck:				
Luftgehalt:		%	Rohdichte:				
Mischungstemperatur:		°C					
Nachbehandlung:							

Mischungsberechnung für SHCC							
durchgeführt von:	Ing. Alexander Prantl						
Ort:	Labor 1030, Adolf-Blamauergasse 1-3						
Datum:	25.03.2014						
Zweck:	SHCC V1 Hochdukt. Bet. mit Kurzfaser PVA 6 1,22 %, Leichtsand (VV3)						
◊ Grau hinterlegte Felder müssen eingetragen werden ◊							
Anforderungen							
W/Z-Wert	W/B-Wert	0,671	1,30	Fließmittel [M.% v. Z]		4,20	
Sand trocken [dm³/m³]			200,00	Fließmittel [M% v. F]		1,26	
Luftgehalt (angenommen) [V.%]			2,00	w/Fv		0,988	
Entschäumer [kg/m³]			0,00	Relativdichte rechnerisch		0,776	
Matrix							
	Bezeichnung	Anteile [M. 1]	Anteile [V. 1]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]	
Fließmittel	ACE 430	13,44	12,33	12,29	1,09	11,27	30,00 Feststoff [M.%]
Wasser inkl. FM-Anteil flüssig	Wasser	416,00	416,00	380,26	1,00	380,26	
FM Festanteil		4,03	2,92	3,69	1,38	2,67	
Zement	CEM I 42,5 R	320,00	103,23	292,51	3,10	94,36	
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,00	0,00	0,00	2,65	0,00	
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr	750,00	317,80	685,57	2,36	290,50	
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,00	0,00	0,00	2,30	0,00	
Entschäumer	DCC-Entlüfter	nb	nb	nb	1,06	nb	
		1490,03	839,94	1362,03	1,77	767,79	
Zuschläge							
	Bezeichnung	Anteil [%]	Trocken-M. [kg]	Rohdichte tr [kg/dm³]	Stoffraum tr [dm³]	Wassergehalt [M. %] [l]	
Sand 1	Ulopor 0-1 mm	100	290	1,45	200	0	0,00
Sand 2	nv	0	0	2,65	0	0	0,00
Sand 3	nv	0	0	2,65	0	0	0,00
***		100	290,00	1,45	200,00	0,00	290,00
Fasern							
	Bezeichnung	Anteil [M.%]	Zugabe [kg/m³]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Faser 1	PVA Faser STW 6 mm	100,00	16,00	1,31	12,21		
Faser 2	PVA Faser STW 10 mm	0,00	0,00	1,31	0,00		
Faser 3	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
		100,00	16,00	1,31	12,21		
Stoffraum							
	Anteil [V. %]	Anteil [M. %]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Luft	2,00	0,00	0,00	0,00	20,00		
Matrix	76,78	81,65	1362,03	1,77	767,79		
Zuschläge	20,00	17,39	290,00	1,45	200,00		
Fasern	1,22	0,96	16,00	1,31	12,21		
Frischbetonrohddichte:			1668,03	3,224	1000,00		
Wasserzugabe gesamt [l/m³]:			371,66				
Mischung							
	Volumen der Mischung	2,80 dm³		V Kontrolle			
	Bezeichnung	Einwaage					
Wasser	Wasser		1040,7 g	2800			
Zement	CEM I 42,5 R		819,0 g	1040,65			
Zusatzstoff 1	QM 10000		0,0 g	264,20			
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr		1919,6 g	0,00			
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U		0,0 g	813,39			
Fließmittel	ACE 430		34,4 g	0,00			
Entschäumer	DCC-Entlüfter		0,0 ml	31,56			
Sand 1	Ulopor 0-1 mm		812,0 g	0,00			
Sand 2	nv		0,0 g	560,00			
Sand 3	nv		0,0 g	0,00			
Faser 1	PVA Faser STW 6 mm		44,8 g	0,00			
Faser 2	PVA Faser STW 10 mm		0,00 g	34,20			
Faser 3	nv		0,0 g	0,00			
Mischreihenfolge und Dauer							
Mischertyp:	Eirich R 02						
Mischart:	Gleichstrommischen						
Wirblertyp:	Stiftenwirbler						
Mischreihenfolge:	[s]	[min]	Mischbehälter		Wirbler		
1) Cem, MS, QM, QS, Fasern	60,0	01:00	Stufe 1		[U/min]	[m/s]	
2) Wasser+FM+DCC	30,0	00:30			1000	6,3	
3) Mischen	120,0	02:00			1000	6,3	
4) Mischpause	0,0	00:00			0	0,0	
5) Mischen	0,0	00:00			0	0,0	
6) FM einfüllen	0,0	00:00			0	0,0	
7) Nachmischen	180,0	03:00			300	1,9	
8) Entlüften [60 mbar]	0,0	00:00			0	0,0	
Summe	390,0	06:30					
Frischbetonprüfung Datum:					Festbetonprüfung Datum:		
Ausbreitmaß: SFM	cm				Biegezug:		
Rohdichte:	kg/m³				Druck:		
Luftgehalt:	%				Rohdichte:		
Mischungstemperatur:	°C						
Nachbehandlung:							

Mischungsberechnung für SHCC							
durchgeführt von:	Ing. Alexander Prantl						
Ort:	Labor 1030, Adolf-Blamauergasse 1-3						
Datum:	01.04.2014						
Zweck:	SHCC V1 mod, Hochdukt. Bet. mit Kurzf. PVA 6 1,22 %, Leichtsand (VV3)						
◊ Grau hinterlegte Felder müssen eingetragen werden ◊							
Anforderungen							
W/Z-Wert	W/B-Wert	0,568	1,10	Fließmittel [M.% v. Z]	4,80		
Sand trocken [dm³/m³]			200,00	Fließmittel [M.% v. F]	1,44		
Luftgehalt (angenommen) [V. %]			2,00	w/Fv	0,836		
Entschäumer [kg/m³]			0,00	Relativdichte rechnerisch	0,791		
Matrix							
	Bezeichnung	Anteile [M. 1]	Anteile [V. 1]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]	
Fließmittel	ACE 430	15,36	14,09	15,19	1,09	13,94	30,00 Feststoff [M. %]
Wasser inkl. FM-Anteil flüssig	Wasser	352,00	352,00	348,11	1,00	348,11	
FM Festanteil		4,61	3,34	4,56	1,38	3,30	
Zement	CEM I 42,5 R	320,00	103,23	316,47	3,10	102,09	
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,00	0,00	0,00	2,65	0,00	
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr	750,00	317,80	741,72	2,36	314,29	
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,00	0,00	0,00	2,30	0,00	
Entschäumer	DCC-Entlüfter	nb	nb	nb	1,06	nb	
		1426,61	776,36	1410,85	1,84	767,79	
Zuschläge							
	Bezeichnung	Anteil [%]	Trocken-M. [kg]	Rohdichte tr [kg/dm³]	Stoffraum tr [dm³]	Wassergehalt [M. %]	Feucht-M. [kg/m³]
Sand 1	Ulopor 0-1 mm	100	290	1,45	200	0	290,00
Sand 2	nv	0	0	2,65	0	0	0,00
Sand 3	nv	0	0	2,65	0	0	0,00
***		100	290,00	1,45	200,00	0,00	290,00
Fasern							
	Bezeichnung	Anteil [M. %]	Zugabe [kg/m³]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Faser 1	PVA Faser STW 6 mm	100,00	16,00	1,31	12,21		
Faser 2	PVA Faser STW 10 mm	0,00	0,00	1,31	0,00		
Faser 3	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
		100,00	16,00	1,31	12,21		
Stoffraum							
	Anteil [V. %]	Anteil [M. %]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Luft	2,00	0,00	0,00	0,00	20,00		
Matrix	76,78	82,18	1410,85	1,84	767,79		
Zuschläge	20,00	16,89	290,00	1,45	200,00		
Fasern	1,22	0,93	16,00	1,31	12,21		
Frischbetonrohddichte			1716,85	3,288	1000,00		
Wasserzugabe gesamt [l/m³]:			337,48				
Mischung							
	Volumen der Mischung			2,80 dm³		V Kontrolle	
	Bezeichnung	Einwaage					
Wasser	Wasser	944,9 g				2800	
Zement	CEM I 42,5 R	886,1 g				944,94	
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,0 g				285,84	
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr	2076,8 g				0,00	
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,0 g				880,00	
Fließmittel	ACE 430	42,5 g				0,00	
Entschäumer	DCC-Entlüfter	0,0 ml				39,02	
Sand 1	Ulopor 0-1 mm	812,0 g				0,00	
Sand 2	nv	0,0 g				560,00	
Sand 3	nv	0,0 g				0,00	
Faser 1	PVA Faser STW 6 mm	44,8 g				0,00	
Faser 2	PVA Faser STW 10 mm	0,0 g				34,20	
Faser 3	nv	0,0 g				0,00	
Mischreihenfolge und Dauer							
Mischertyp:	Eirich R 02						
Mischart:	Gleichstrommischen						
Wirblertyp:	Stiftenwirbler			Mischbehälter		Wirbler	
Mischreihenfolge:	[s]	[min]			[U/min]	[m/s]	
1) Cem, MS, QM, QS, Fasern	60,0	01:00		Stufe 1	1000	6,3	
2) Wasser+FM+DCC	30,0	00:30			1000	6,3	
3) Mischen	120,0	02:00			1000	6,3	
4) Mischpause	0,0	00:00			0	0,0	
5) Mischen	0,0	00:00			0	0,0	
6) FM einfüllen	0,0	00:00			0	0,0	
7) Nachmischen	180,0	03:00			300	1,9	
8) Enlüften [60 mbar]	0,0	00:00			0	0,0	
Summe	390,0	06:30					
Frischbetonprüfung Datum:				Festbetonprüfung Datum:			
Ausbreitmaß: SFM	cm			Biegezug:			
Rohdichte:	kg/m³			Druck:			
Luftgehalt:	%			Rohdichte:			
Mischungstemperatur:	°C						
Nachbehandlung:							

Mischungsberechnung für SHCC							
durchgeführt von:	Ing. Alexander Prantl						
Ort:	Labor 1030, Adolf-Blamauergasse 1-3						
Datum:	01.04.2014						
Zweck:	SHCC V1 mod2, Hochdukt. Bet. mit Kurzf. PVA 6 1,22 %, Leichtsand (VV3)						
◊ Grau hinterlegte Felder müssen eingetragen werden ◊							
Anforderungen							
W/Z-Wert	W/B-Wert	0,516	1,00	Fließmittel [M.% v. Z]	5,60		
Sand trocken [dm³/m³]			200,00	Fließmittel [M% v. F]	1,67		
Luftgehalt (angenommen) [V.%]			2,00	w/Fv	0,760		
Entschäumer [kg/m³]			0,00	Relativdichte rechnerisch	0,800		
Matrix							
	Bezeichnung	Anteile [M. 1]	Anteile [V. 1]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]	
Fließmittel	ACE 430	17,92	16,44	18,47	1,09	16,95	30,00 Feststoff [M.%]
Wasser inkl. FM-Anteil flüssig	Wasser	320,00	320,00	329,82	1,00	329,82	
FM Festanteil		5,38	3,90	5,54	1,38	4,02	
Zement	CEM I 42,5 R	320,00	103,23	329,82	3,10	106,39	
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,00	0,00	0,00	2,65	0,00	
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr	750,00	317,80	773,02	2,36	327,55	
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,00	0,00	0,00	2,30	0,00	
Entschäumer	DCC-Entlüfter	nb	nb	nb	1,06	nb	
		1395,38	744,92	1438,21	1,87	767,79	
Zuschläge							
	Bezeichnung	Anteil [%]	Trocken-M. [kg]	Rohdichte tr [kg/dm³]	Stoffraum tr [dm³]	Wassergehalt [M. %]	Feucht-M. [kg/m³]
Sand 1	Ulopor 0-1 mm	100	290	1,45	200	0	290,00
Sand 2	nv	0	0	2,65	0	0,00	0,00
Sand 3	nv	0	0	2,65	0	0	0,00
***		100	290,00	1,45	200,00	0,00	290,00
Fasern							
	Bezeichnung	Anteil [M.%]	Zugabe [kg/m³]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Faser 1	PVA Faser STW 6 mm	100,00	16,00	1,31	12,21		
Faser 2	PVA Faser STW 10 mm	0,00	0,00	1,31	0,00		
Faser 3	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
		100,00	16,00	1,31	12,21		
Stoffraum							
	Anteil [V. %]	Anteil [M. %]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Luft	2,00	0,00	0,00	0,00	20,00		
Matrix	76,78	82,46	1438,21	1,87	767,79		
Zuschläge	20,00	16,63	290,00	1,45	200,00		
Fasern	1,22	0,92	16,00	1,31	12,21		
	Frischbetonrohddichte		1744,21	3,323	1000,00		
	Wasserzugabe gesamt [l/m³]:		316,89				
Mischung							
	Volumen der Mischung			2,80 dm³	V Kontrolle		
	Bezeichnung	Einwaage					
Wasser	Wasser			887,3 g	2800		
Zement	CEM I 42,5 R			923,5 g	887,30		
Zusatzstoff 1	QM 10000			0,0 g	297,90		
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr			2164,5 g	0,00		
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U			0,0 g	917,15		
Fließmittel	ACE 430			51,7 g	0,00		
Entschäumer	DCC-Entlüfter			0,0 ml	47,45		
Sand 1	Ulopor 0-1 mm			812,0 g	0,00		
Sand 2	nv			0,0 g	560,00		
Sand 3	nv			0,0 g	0,00		
Faser 1	PVA Faser STW 6 mm			44,8 g	0,00		
Faser 2	PVA Faser STW 10 mm			0,00 g	34,20		
Faser 3	nv			0,0 g	0,00		
Mischreihenfolge und Dauer							
Mischertyp:	Eirich R 02						
Mischart:	Gleichstrommischen						
Wirblertyp:	Stiftenwirbler						
Mischreihenfolge:		[s]	[min]	Mischbehälter	Wirbler		
1) Cem, MS, QM, QS, Fasern		60,0	01:00	Stufe 1	[U/min]	[m/s]	
2) Wasser+FM+DCC		30,0	00:30		1000	6,3	
3) Mischen		120,0	02:00		1000	6,3	
4) Mischpause		0,0	00:00		0	0,0	
5) Mischen		0,0	00:00		0	0,0	
6) FM einfüllen		0,0	00:00		0	0,0	
7) Nachmischen		180,0	03:00		300	1,9	
8) Enlüften [60 mbar]		0,0	00:00		0	0,0	
Summe		390,0	06:30				
Frischbetonprüfung Datum:				Festbetonprüfung Datum:			
Ausbreitmaß: SFM	cm			Biegezug:			
Rohdichte:	kg/m³			Druck:			
Luftgehalt:	%			Rohdichte:			
Mischungstemperatur:	°C						
Nachbehandlung:							

Mischungsberechnung für SHCC							
durchgeführt von:	Ing. Alexander Prantl						
Ort:	Labor 1030, Adolf-Blamauergerasse 1-3						
Datum:	01.04.2014						
Zweck:	SHCC V1 mod3, Hochdukt. Bet. mit Kurzf. PVA 6 1,22 %, Leichtsand (VV3)						
◊ Grau hinterlegte Felder müssen eingetragen werden ◊							
Anforderungen							
W/Z-Wert	W/B-Wert	0,480	0,93	Fließmittel [M.% v. Z]	6,60		
Sand trocken [dm³/m³]			200,00	Fließmittel [M.% v. F]	1,97		
Luftgehalt (angenommen) [V. %]			2,00	w/Fv	0,707		
Entschäumer [kg/m³]			0,00	Relativdichte rechnerisch	0,807		
Matrix							
	Bezeichnung	Anteile [M. 1]	Anteile [V. 1]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]	
Fließmittel	ACE 430	21,12	19,38	22,42	1,09	20,57	30,00 Feststoff [M. %]
Wasser inkl. FM-Anteil flüssig	Wasser	297,60	297,60	315,94	1,00	315,94	
FM Festanteil		6,34	4,59	6,73	1,38	4,88	
Zement	CEM I 42,5 R	320,00	103,23	339,72	3,10	109,59	
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,00	0,00	0,00	2,65	0,00	
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr	750,00	317,80	796,22	2,36	337,38	
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,00	0,00	0,00	2,30	0,00	
Entschäumer	DCC-Entlüfter	nb	nb	nb	1,06	nb	
		1373,94	723,21	1458,61	1,90	767,79	
Zuschläge							
	Bezeichnung	Anteil [%]	Trocken-M. [kg]	Rohdichte tr [kg/dm³]	Stoffraum tr [dm³]	Wassergehalt [M. %]	Feucht-M. [kg/m³]
Sand 1	Ulopor 0-1 mm	100	290	1,45	200	0	290,00
Sand 2	nv	0	0	2,65	0	0,00	0,00
Sand 3	nv	0	0	2,65	0	0,00	0,00
***		100	290,00	1,45	200,00	0,00	290,00
Fasern							
	Bezeichnung	Anteil [M. %]	Zugabe [kg/m³]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Faser 1	PVA Faser STW 6 mm	100,00	16,00	1,31	12,21		
Faser 2	PVA Faser STW 10 mm	0,00	0,00	1,31	0,00		
Faser 3	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
		100,00	16,00	1,31	12,21		
Stoffraum							
	Anteil [V. %]	Anteil [M. %]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Luft	2,00	0,00	0,00	0,00	20,00		
Matrix	76,78	82,66	1458,61	1,90	767,79		
Zuschläge	20,00	16,43	290,00	1,45	200,00		
Fasern	1,22	0,91	16,00	1,31	12,21		
Frischbetonrohddichte			1764,61	3,350	1000,00		
Wasserzugabe gesamt [l/m³]:			300,25				
Mischung							
	Volumen der Mischung			2,80 dm³	V Kontrolle		
	Bezeichnung	Einwaage					
Wasser	Wasser	840,7 g			2800		
Zement	CEM I 42,5 R	951,2 g			840,69		
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,0 g			306,85		
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr	2229,4 g			0,00		
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,0 g			944,67		
Fließmittel	ACE 430	62,8 g			0,00		
Entschäumer	DCC-Entlüfter	0,0 ml			57,60		
Sand 1	Ulopor 0-1 mm	812,0 g			0,00		
Sand 2	nv	0,0 g			560,00		
Sand 3	nv	0,0 g			0,00		
Faser 1	PVA Faser STW 6 mm	44,8 g			0,00		
Faser 2	PVA Faser STW 10 mm	0,0 g			34,20		
Faser 3	nv	0,0 g			0,00		
Mischreihenfolge und Dauer							
Mischertyp:	Eirich R 02						
Mischart:	Gleichstrommischen						
Wirblertyp:	Stiftenwirbler			Mischbehälter		Wirbler	
Mischreihenfolge:	[s]	[min]			[U/min]	[m/s]	
1) Cem, MS, QM, QS, Fasern	60,0	01:00	Stufe 1		1000	6,3	
2) Wasser+FM+DCC	30,0	00:30			1000	6,3	
3) Mischen	120,0	02:00			1000	6,3	
4) Mischpause	0,0	00:00			0	0,0	
5) Mischen	0,0	00:00			0	0,0	
6) FM einfüllen	0,0	00:00			0	0,0	
7) Nachmischen	180,0	03:00			300	1,9	
8) Enlüften [60 mbar]	0,0	00:00			0	0,0	
Summe	390,0	06:30					
Frischbetonprüfung Datum:				Festbetonprüfung Datum:			
Ausbreitmaß: SFM	cm			Biegezug:			
Rohdichte:	kg/m³			Druck:			
Luftgehalt:	%			Rohdichte:			
Mischungstemperatur:	°C						
Nachbehandlung:							

Mischungsberechnung für SHCC							
durchgeführt von:	Ing. Alexander Prantl						
Ort:	Labor 1030, Adolf-Blamauergasse 1-3						
Datum:	25.03.2014						
Zweck:	SHCC V2 Hochdukt. Bet. mit Kurzfasern PVA 6 1,68 %, Leichtsand (VV3)						
◊ Grau hinterlegte Felder müssen eingetragen werden ◊							
Anforderungen							
W/Z-Wert	W/B-Wert	0,671	1,30	Fließmittel [M.% v. Z]		4,80	
Sand trocken [dm³/m³]			200,00	Fließmittel [M% v. F]		1,44	
Luftgehalt (angenommen) [V.%]			2,00	w/Fv		0,988	
Entschäumer [kg/m³]			0,00	Relativdichte rechnerisch		0,777	
Matrix							
	Bezeichnung	Anteile [M. 1]	Anteile [V. 1]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]	
Fließmittel	ACE 430	15,36	14,09	13,95	1,09	12,80	30,00 Feststoff [M.%]
Wasser inkl. FM-Anteil flüssig	Wasser	416,00	416,00	377,81	1,00	377,81	
FM Festanteil		4,61	3,34	4,18	1,38	3,03	
Zement	CEM I 42,5 R	320,00	103,23	290,62	3,10	93,75	
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,00	0,00	0,00	2,65	0,00	
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr	750,00	317,80	681,14	2,36	288,62	
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,00	0,00	0,00	2,30	0,00	
Entschäumer	DCC-Entlüfter	nb	nb	nb	1,06	nb	
		1490,61	840,36	1353,75	1,77	763,21	
Zuschläge							
	Bezeichnung	Anteil [%]	Trocken-M. [kg]	Rohdichte tr [kg/dm³]	Stoffraum tr [dm³]	Wassergehalt [M. %]	
						[l]	Feucht-M. [kg/m³]
Sand 1	Ulopor 0-1 mm	100	290	1,45	200	0	0,00 290,00
Sand 2	nv	0	0	2,65	0	0	0,00 0,00
Sand 3	nv	0	0	2,65	0	0	0,00 0,00
***		100	290,00	1,45	200,00	0,00	290,00
Fasern							
	Bezeichnung	Anteil [M.%]	Zugabe [kg/m³]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Faser 1	PVA Faser STW 6 mm	100,00	22,00	1,31	16,79		
Faser 2	PVA Faser STW 10 mm	0,00	0,00	1,31	0,00		
Faser 3	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
		100,00	22,00	1,31	16,79		
Stoffraum							
	Anteil [V. %]	Anteil [M. %]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Luft	2,00	0,00	0,00	0,00	20,00		
Matrix	76,32	81,27	1353,75	1,77	763,21		
Zuschläge	20,00	17,41	290,00	1,45	200,00		
Fasern	1,68	1,32	22,00	1,31	16,79		
Frischbetonrohddichte:			1665,75	3,224	1000,00		
Wasserzugabe gesamt [l/m³]:			368,04				
Mischung							
	Volumen der Mischung	2,80 dm³		V Kontrolle			
	Bezeichnung	Einwaage					
Wasser	Wasser		1030,5 g	2800			
Zement	CEM I 42,5 R		813,7 g	1030,51			
Zusatzstoff 1	QM 10000		0,0 g	262,50			
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr		1907,2 g	0,00			
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U		0,0 g	808,13			
Fließmittel	ACE 430		39,1 g	0,00			
Entschäumer	DCC-Entlüfter		0,0 ml	35,83			
Sand 1	Ulopor 0-1 mm		812,0 g	0,00			
Sand 2	nv		0,0 g	560,00			
Sand 3	nv		0,0 g	0,00			
Faser 1	PVA Faser STW 6 mm		61,6 g	0,00			
Faser 2	PVA Faser STW 10 mm		0,00 g	47,02			
Faser 3	nv		0,0 g	0,00			
				0,00			
Mischreihenfolge und Dauer							
Mischertyp:	Eirich R 02						
Mischart:	Gleichstrommischen						
Wirblertyp:	Stiftenwirbler			Mischbehälter		Wirbler	
Mischreihenfolge:	[s]	[min]		[U/min]	[m/s]		
1) Cem, MS, QM, QS, Fasern	60,0	01:00	Stufe 1	1000	6,3		
2) Wasser+FM+DCC	30,0	00:30		1000	6,3		
3) Mischen	120,0	02:00		1000	6,3		
4) Mischpause	0,0	00:00		0	0,0		
5) Mischen	0,0	00:00		0	0,0		
6) FM einfüllen	0,0	00:00		0	0,0		
7) Nachmischen	180,0	03:00		300	1,9		
8) Entlüften [60 mbar]	0,0	00:00		0	0,0		
Summe	390,0	06:30					
Frischbetonprüfung Datum:				Festbetonprüfung Datum:			
Ausbreitmaß: SFM	cm			Biegezug:			
Rohdichte:	kg/m³			Druck:			
Luftgehalt:	%			Rohdichte:			
Mischungstemperatur:	°C						
Nachbehandlung:							

Mischungsberechnung für SHCC							
durchgeführt von:	Ing. Alexander Prantl						
Ort:	Labor 1030, Adolf-Blamauergasse 1-3						
Datum:	01.04.2014						
Zweck:	SHCC V2 mod, Hochdukt. Bet. mit Kurzf. PVA 6 1,68 %, Leichtsand (VV3)						
◊ Grau hinterlegte Felder müssen eingetragen werden ◊							
Anforderungen							
W/Z-Wert	W/B-Wert	0,475	0,92	Fließmittel [M.% v. Z]		7,80	
Sand trocken [dm³/m³]			200,00	Fließmittel [M.% v. F]		2,33	
Luftgehalt (angenommen) [V.%]			2,00	w/Fv		0,699	
Entschäumer [kg/m³]			0,00	Relativdichte rechnerisch		0,809	
Matrix							
	Bezeichnung	Anteile [M. 1]	Anteile [V. 1]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]	
Fließmittel	ACE 430	24,96	22,90	26,43	1,09	24,24	30,00 Feststoff [M.%]
Wasser inkl. FM-Anteil flüssig	Wasser	294,40	294,40	311,70	1,00	311,70	
FM Festanteil		7,49	5,43	7,93	1,38	5,75	
Zement	CEM I 42,5 R	320,00	103,23	338,80	3,10	109,29	
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,00	0,00	0,00	2,65	0,00	
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr	750,00	317,80	794,07	2,36	336,47	
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,00	0,00	0,00	2,30	0,00	
Entschäumer	DCC-Entlüfter	nb	nb	nb	1,06	nb	
		1371,89	720,85	1452,50	1,90	763,21	
Zuschläge							
	Bezeichnung	Anteil [%]	Trocken-M. [kg]	Rohdichte tr [kg/dm³]	Stoffraum tr [dm³]	Wassergehalt [M.%]	Feucht-M. [kg/m³]
Sand 1	Ulopor 0-1 mm	100	290	1,45	200	0	290,00
Sand 2	nv	0	0	2,65	0	0	0,00
Sand 3	nv	0	0	2,65	0	0	0,00
***		100	290,00	1,45	200,00	0,00	290,00
Fasern							
	Bezeichnung	Anteil [M.%]	Zugabe [kg/m³]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Faser 1	PVA Faser STW 6 mm	100,00	22,00	1,31	16,79		
Faser 2	PVA Faser STW 10 mm	0,00	0,00	1,31	0,00		
Faser 3	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
		100,00	22,00	1,31	16,79		
Stoffraum							
	Anteil [V. %]	Anteil [M. %]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Luft	2,00	0,00	0,00	0,00	20,00		
Matrix	76,32	82,32	1452,50	1,90	763,21		
Zuschläge	20,00	16,44	290,00	1,45	200,00		
Fasern	1,68	1,25	22,00	1,31	16,79		
Frischbetonrohddichte			1764,50	3,353	1000,00		
Wasserzugabe gesamt [l/m³]:			293,20				
Mischung							
	Volumen der Mischung		2,80 dm³		V Kontrolle		
	Bezeichnung	Einwaage					
Wasser	Wasser		821,0 g				2800
Zement	CEM I 42,5 R		948,6 g				820,96
Zusatzstoff 1	QM 10000		0,0 g				306,02
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr		2223,4 g				0,00
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U		0,0 g				942,12
Fließmittel	ACE 430		74,0 g				0,00
Entschäumer	DCC-Entlüfter		0,0 ml				67,88
Sand 1	Ulopor 0-1 mm		812,0 g				0,00
Sand 2	nv		0,0 g				560,00
Sand 3	nv		0,0 g				0,00
Faser 1	PVA Faser STW 6 mm		61,6 g				0,00
Faser 2	PVA Faser STW 10 mm		0,0 g				47,02
Faser 3	nv		0,0 g				0,00
							0,00
Mischreihenfolge und Dauer							
Mischertyp:	Eirich R 02						
Mischart:	Gleichstrommischen						
Wirblertyp:	Stüftenwirbler			Mischbehälter	Wirbler		
Mischreihenfolge:	[s]	[min]			[U/min]	[m/s]	
1) Cem, MS, QM, QS, Fasern	60,0	01:00		Stufe 1	1000	6,3	
2) Wasser+FM+DCC	30,0	00:30			1000	6,3	
3) Mischen	120,0	02:00			1000	6,3	
4) Mischpause	0,0	00:00			0	0,0	
5) Mischen	0,0	00:00			0	0,0	
6) FM einfüllen	0,0	00:00			0	0,0	
7) Nachmischen	180,0	03:00			300	1,9	
8) Enlüften [80 mbar]	0,0	00:00			0	0,0	
Summe	390,0	06:30					
Frischbetonprüfung Datum:				Festbetonprüfung Datum:			
Ausbreitmaß: SFM		cm		Biegezug:			
Rohdichte:		kg/m³		Druck:			
Luftgehalt:		%		Rohdichte:			
Mischungstemperatur:		°C					
Nachbehandlung:							

Mischungsberechnung für SHCC							
durchgeführt von:	Ing. Alexander Prantl						
Ort:	Labor 1030, Adolf-Blamauergasse 1-3						
Datum:	01.04.2014						
Zweck:	SHCC V2 mod2, Hochdukt. Bet. mit Kurzf. PVA 6 1,83 %, Leichtsand (VV3)						
◇ Grau hinterlegte Felder müssen eingetragen werden ◇							
Anforderungen							
W/Z-Wert	W/B-Wert	0,434	0,84	Fließmittel [M.% v. Z]	13,00		
Sand trocken [dm³/m³]		200,00		Fließmittel [M.% v. F]	3,89		
Luftgehalt (angenommen) [V.%]		2,00		w/Fv	0,638		
Entschäumer [kg/m³]		0,00		Relativdichte rechnerisch	0,817		
Matrix							
	Bezeichnung	Anteile [M. 1]	Anteile [V. 1]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]	
Fließmittel	ACE 430	41,60	38,17	45,34	1,09	41,60	30,00 Feststoff [M.%]
Wasser inkl. FM-Anteil flüssig	Wasser	268,80	268,80	292,96	1,00	292,96	
FM Festanteil		12,48	9,05	13,60	1,38	9,86	
Zement	CEM I 42,5 R	320,00	103,23	348,76	3,10	112,50	
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,00	0,00	0,00	2,65	0,00	
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr	750,00	317,80	817,41	2,36	346,36	
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,00	0,00	0,00	2,30	0,00	
Entschäumer	DCC-Entlüfter	nb	nb	nb	1,06	nb	
		1351,28	698,87	1472,73	1,93	761,68	
Zuschläge							
	Bezeichnung	Anteil [%]	Trocken-M. [kg]	Rohdichte tr [kg/dm³]	Stoffraum tr [dm³]	Wassergehalt [M. %]	Feucht-M. [kg/m³]
Sand 1	Ulopor 0-1 mm	100	290	1,45	200	0	290,00
Sand 2	nv	0	0	2,65	0	0,00	0,00
Sand 3	nv	0	0	2,65	0	0,00	0,00
***		100	290,00	1,45	200,00	0,00	290,00
Fasern							
	Bezeichnung	Anteil [M.%]	Zugabe [kg/m³]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Faser 1	PVA Faser STW 6 mm	100,00	24,00	1,31	18,32		
Faser 2	PVA Faser STW 10 mm	0,00	0,00	1,31	0,00		
Faser 3	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
		100,00	24,00	1,31	18,32		
Stoffraum							
	Anteil [V. %]	Anteil [M. %]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Luft	2,00	0,00	0,00	0,00	20,00		
Matrix	76,17	82,43	1472,73	1,93	761,68		
Zuschläge	20,00	16,23	290,00	1,45	200,00		
Fasern	1,83	1,34	24,00	1,31	18,32		
	Frischbetonrohddichte		1786,73	3,384	1000,00		
	Wasserzugabe gesamt [l/m³]:		261,22				
Mischung							
	Volumen der Mischung			2,80 dm³	V Kontrolle		
	Bezeichnung	Einwaage					
Wasser	Wasser	731,4 g					2800
Zement	CEM I 42,5 R	976,5 g					731,42
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,0 g					315,01
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr	2288,7 g					0,00
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,0 g					969,81
Fließmittel	ACE 430	126,9 g					0,00
Entschäumer	DCC-Entlüfter	0,0 ml					116,47
Sand 1	Ulopor 0-1 mm	812,0 g					0,00
Sand 2	nv	0,0 g					560,00
Sand 3	nv	0,0 g					0,00
Faser 1	PVA Faser STW 6 mm	67,2 g					0,00
Faser 2	PVA Faser STW 10 mm	0,0 g					51,30
Faser 3	nv	0,0 g					0,00
Mischreihenfolge und Dauer							
Mischertyp:	Eirich R 02						
Mischart:	Gleichstrommischen						
Wirblertyp:	Stiftenwirbler			Mischbehälter	Wirbler		
Mischreihenfolge:	[s]	[min]			[U/min]	[m/s]	
1) Cem, MS, QM, QS, Fasern	60,0	01:00		Stufe 1	1000	6,3	
2) Wasser+FM+DCC	30,0	00:30			1000	6,3	
3) Mischen	120,0	02:00			1000	6,3	
4) Mischpause	0,0	00:00			0	0,0	
5) Mischen	0,0	00:00			0	0,0	
6) FM einfüllen	0,0	00:00			0	0,0	
7) Nachmischen	180,0	03:00			300	1,9	
8) Enlüften [60 mbar]	0,0	00:00			0	0,0	
Summe	390,0	06:30					
Frischbetonprüfung Datum:				Festbetonprüfung Datum:			
Ausbreitmaß: SFM		cm		Biegezug:			
Rohdichte:		kg/m³		Druck:			
Luftgehalt:		%		Rohdichte:			
Mischungstemperatur:		°C					
Nachbehandlung:							

Mischungsberechnung für SHCC							
durchgeführt von:	Ing. Alexander Prantl						
Ort:	Labor 1030, Adolf-Blamauergasse 1-3						
Datum:	25.03.2014						
Zweck:	SHCC V3 Hochdukt. Bet. mit Kurzf. PVA6/10 1:1 1,22 %, Leichtsand (VV3)						
◊ Grau hinterlegte Felder müssen eingetragen werden ◊							
Anforderungen							
W/Z-Wert	W/B-Wert	0,671	1,30	Fließmittel [M.% v. Z]		4,40	
Sand trocken [dm³/m³]			200,00	Fließmittel [M.% v. F]		1,32	
Luftgehalt (angenommen) [V.%]			2,00	w/Fv		0,988	
Entschäumer [kg/m³]			0,00	Relativdichte rechnerisch		0,776	
Matrix							
	Bezeichnung	Anteile [M. 1]	Anteile [V. 1]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]	
Fließmittel	ACE 430	14,08	12,92	12,87	1,09	11,81	30,00 Feststoff [M.%]
Wasser inkl. FM-Anteil flüssig	Wasser	416,00	416,00	380,20	1,00	380,20	
FM Festanteil		4,22	3,06	3,86	1,38	2,80	
Zement	CEM I 42,5 R	320,00	103,23	292,46	3,10	94,34	
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,00	0,00	0,00	2,65	0,00	
Zusatzstoff 2	FA Dünnrohr	750,00	317,80	685,46	2,36	290,45	
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,00	0,00	0,00	2,30	0,00	
Entschäumer	DCC-Entlüfter	nb	nb	nb	1,06	nb	
		1490,22	840,08	1361,98	1,77	767,79	
Zuschläge							
	Bezeichnung	Anteil [%]	Trocken-M. [kg]	Rohdichte tr [kg/dm³]	Stoffraum tr [dm³]	Wassergehalt [M. %]	Feucht-M. [kg/m³]
Sand 1	Ulopor 0-1 mm	100	290	1,45	200	0,00	290,00
Sand 2	nv	0	0	2,65	0	0,00	0,00
Sand 3	nv	0	0	2,65	0	0,00	0,00
***		100	290,00	1,45	200,00	0,00	290,00
Fasern							
	Bezeichnung	Anteil [M.%]	Zugabe [kg/m³]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Faser 1	PVA Fasern STW 6 mm	50,00	8,00	1,31	6,11		
Faser 2	PVA Fasern STW 10 mm	50,00	8,00	1,31	6,11		
Faser 3	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
		100,00	16,00	1,31	12,21		
Stoffraum							
	Anteil [V. %]	Anteil [M. %]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Luft	2,00	0,00	0,00	0,00	20,00		
Matrix	76,78	81,65	1361,98	1,77	767,79		
Zuschläge	20,00	17,39	290,00	1,45	200,00		
Fasern	1,22	0,96	16,00	1,31	12,21		
Frischbetonrohddichte			1667,98	3,224	1000,00		
Wasserzugabe gesamt [l/m³]:			371,19				
Mischung							
	Volumen der Mischung			2,80 dm³	V Kontrolle		
	Bezeichnung	Einwaage					
Wasser	Wasser	1039,3 g					2900
Zement	CEM I 42,5 R	818,9 g					1039,34
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,0 g					264,16
Zusatzstoff 2	FA Dünnrohr	1919,3 g					0,00
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,0 g					813,25
Fließmittel	ACE 430	36,0 g					0,00
Entschäumer	DCC-Entlüfter	0,0 ml					33,06
Sand 1	Ulopor 0-1 mm	812,0 g					0,00
Sand 2	nv	0,0 g					560,00
Sand 3	nv	0,0 g					0,00
Faser 1	PVA Fasern STW 6 mm	22,4 g					0,00
Faser 2	PVA Fasern STW 10 mm	22,40 g					17,10
Faser 3	nv	0,0 g					17,10
							0,00
Mischreihenfolge und Dauer							
Mischertyp:	Eirich R 02						
Mischart:	Gleichstrommischen						
Wirblertyp:	Stiftenwirbler						
Mischreihenfolge:	[s]	[min]	Mischbehälter		Wirbler		
1) Cem, MS, QM, QS, Fasern	60,0	01:00	Stufe 1		[U/min]	[m/s]	
2) Wasser+FM+DCC	30,0	00:30			1000	6,3	
3) Mischen	120,0	02:00			1000	6,3	
4) Mischpause	0,0	00:00			0	0,0	
5) Mischen	0,0	00:00			0	0,0	
6) FM einfüllen	0,0	00:00			0	0,0	
7) Nachmischen	180,0	03:00			300	1,9	
8) Enlüften [60 mbar]	0,0	00:00			0	0,0	
Summe	390,0	06:30					
Frischbetonprüfung Datum:							
Ausbreitmaß: SFM				cm	Biegezug:		
Rohdichte:				kg/m³	Druck:		
Luftgehalt:				%	Rohdichte:		
Mischungstemperatur:				°C			
Nachbehandlung:							

Mischungsberechnung für SHCC									
durchgeführt von:	Ing. Alexander Prantl								
Ort:	Labor 1030, Adolf-Blamauergerasse 1-3								
Datum:	02.04.2014								
Zweck:	SHCC V3 mod, Hochdukt. Bet. mit Kurzf. PVA6/10 1:1 1,22 %, Leichts. (VV3)								
◊ Grau hinterlegte Felder müssen eingetragen werden ◊									
Anforderungen									
W/Z-Wert	W/B-Wert	0,465	0,90	Fließmittel [M.% v. Z]	10,00				
Sand trocken [dm³/m³]			200,00	Fließmittel [M.% v. F]	2,99				
Luftgehalt (angenommen) [V.%]			2,00	w/Fv	0,684				
Entschäumer [kg/m³]			0,00	Relativdichte rechnerisch	0,809				
Matrix									
	Bezeichnung	Anteile [M. 1]	Anteile [V. 1]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]			
Fließmittel	ACE 430	32,00	29,36	34,32	1,09	31,48	30,00	Feststoff [M.%]	
Wasser inkl. FM-Anteil flüssig	Wasser	288,00	288,00	308,84	1,00	308,84			
FM Festanteil		9,60	6,96	10,29	1,38	7,46			
Zement	CEM I 42,5 R	320,00	103,23	343,15	3,10	110,69			
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,00	0,00	0,00	2,65	0,00			
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr	750,00	317,80	804,27	2,36	340,79			
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,00	0,00	0,00	2,30	0,00			
Entschäumer	DCC-Entlüfter	nb	nb	nb	1,06	nb			
		1367,60	715,98	1466,56	1,91	767,79			
Zuschläge									
	Bezeichnung	Anteil [%]	Trocken-M. [kg]	Rohdichte tr [kg/dm³]	Stoffraum tr [dm³]	Wassergehalt [M. %]		Feucht-M. [kg/m³]	
Sand 1	Ulopor 0-1 mm	100	290	1,45	200	0	0,00	290,00	0,00
Sand 2	nv	0	0	2,65	0	0	0,00	0,00	0,00
Sand 3	nv	0	0	2,65	0	0	0,00	0,00	0,00
***		100	290,00	1,45	200,00	0,00	0,00	290,00	0,00
Fasern									
	Bezeichnung	Anteil [M.%]	Zugabe [kg/m³]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]				
Faser 1	PVA Fasern STW 6 mm	50,00	8,00	1,31	6,11				
Faser 2	PVA Fasern STW 10 mm	50,00	8,00	1,31	6,11				
Faser 3	nv	0,00	0,00	7,85	0,00				
		100,00	16,00	1,31	12,21				
Stoffraum									
	Anteil [V. %]	Anteil [M. %]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]				
Luft	2,00	0,00	0,00	0,00	20,00				
Matrix	76,78	82,74	1466,56	1,91	767,79				
Zuschläge	20,00	16,36	290,00	1,45	200,00				
Fasern	1,22	0,90	16,00	1,31	12,21				
Frischbetonrohddichte			1772,56	3,360	1000,00				
Wasserzugabe gesamt [l/m³]:			284,82						
Mischung									
	Volumen der Mischung	2,80 dm³			V Kontrolle				
	Bezeichnung	Einwaage							
Wasser	Wasser	797,5 g	2800						
Zement	CEM I 42,5 R	960,8 g	797,49						
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,0 g	309,95						
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr	2251,9 g	0,00						
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,0 g	954,22						
Fließmittel	ACE 430	96,1 g	0,00						
Entschäumer	DCC-Entlüfter	0,0 ml	88,15						
Sand 1	Ulopor 0-1 mm	812,0 g	0,00						
Sand 2	nv	0,0 g	560,00						
Sand 3	nv	0,0 g	0,00						
Faser 1	PVA Fasern STW 6 mm	22,4 g	0,00						
Faser 2	PVA Fasern STW 10 mm	22,40 g	17,10						
Faser 3	nv	0,0 g	17,10						
			0,00						
Mischreihenfolge und Dauer									
Mischertyp:	Eirich R 02								
Mischart:	Gleichstrommischen								
Wirblertyp:	Stiftenwirbler								
Mischreihenfolge:	[s]	[min]	Mischbehälter		Wirbler				
1) Cem, MS, QM, QS, Fasern	60,0	01:00	Stufe 1		1000	6,3			
2) Wasser+FM+DCC	30,0	00:30			1000	6,3			
3) Mischen	120,0	02:00			1000	6,3			
4) Mischpause	0,0	00:00			0	0,0			
5) Mischen	0,0	00:00			0	0,0			
6) FM einfüllen	0,0	00:00			0	0,0			
7) Nachmischen	180,0	03:00			300	1,9			
8) Enlüften [60 mbar]	0,0	00:00			0	0,0			
Summe	390,0	06:30							
Frischbetonprüfung Datum:					Festbetonprüfung Datum:				
Ausbreitmaß: SFM	cm				Biegezug:				
Rohdichte:	kg/m³				Druck:				
Luftgehalt:	%				Rohdichte:				
Mischungstemperatur:	°C								
Nachbehandlung:									

Mischungsberechnung für SHCC							
durchgeführt von:	Ing. Alexander Prantl						
Ort:	Labor 1030, Adolf-Blamauegasse 1-3						
Datum:	02.04.2014						
Zweck:	SHCC V3 mod2, Hochdukt. Bet. mit Kurzf. PVA6/10 1:1 1,22 %, Leichts. (VV3)						
◊ Grau hinterlegte Felder müssen eingetragen werden ◊							
Anforderungen							
W/Z-Wert	W/B-Wert	0,439	0,85	Fließmittel [M.% v. Z]	12,50		
Sand trocken [dm³/m³]			200,00	Fließmittel [M.% v. F]	3,74		
Luftgehalt (angenommen) [V.%]			2,00	w/Fv	0,646		
Entschäumer [kg/m³]			0,00	Relativedichte rechnerisch	0,814		
Matrix							
	Bezeichnung	Anteile [M. 1]	Anteile [V. 1]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]	
Fließmittel	ACE 430	40,00	36,70	43,77	1,09	40,15	30,00 Feststoff [M.%]
Wasser inkl. FM-Anteil flüssig	Wasser	272,00	272,00	297,61	1,00	297,61	
FM Festanteil		12,00	8,70	13,13	1,38	9,52	
Zement	CEM I 42,5 R	320,00	103,23	350,13	3,10	112,94	
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,00	0,00	0,00	2,65	0,00	
Zusatzstoff 2	FA Dümrohr	750,00	317,80	820,61	2,36	347,72	
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,00	0,00	0,00	2,30	0,00	
Entschäumer	DCC-Entlüfter	nb	nb	nb	1,06	nb	
		1354,00	701,72	1481,48	1,93	767,79	
Zuschläge							
	Bezeichnung	Anteil [%]	Trocken-M. [kg]	Rohdichte tr [kg/dm³]	Stoffraum tr [dm³]	Wassergehalt [M. %]	Feucht-M. [kg/m³]
Sand 1	Ulopor 0-1 mm	100	290	1,45	200	0	290,00
Sand 2	nv	0	0	2,65	0	0	0,00
Sand 3	nv	0	0	2,65	0	0	0,00
***		100	290,00	1,45	200,00	0,00	290,00
Fasern							
	Bezeichnung	Anteil [M.%]	Zugabe [kg/m³]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Faser 1	PVA Fasern STW 6 mm	50,00	8,00	1,31	6,11		
Faser 2	PVA Fasern STW 10 mm	50,00	8,00	1,31	6,11		
Faser 3	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
		100,00	16,00	1,31	12,21		
Stoffraum							
	Anteil [V. %]	Anteil [M. %]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Luft	2,00	0,00	0,00	0,00	20,00		
Matrix	76,78	82,88	1481,48	1,93	767,79		
Zuschläge	20,00	16,22	290,00	1,45	200,00		
Fasern	1,22	0,90	16,00	1,31	12,21		
	Frischbetonrohddichte		1787,48	3,380	1000,00		
	Wasserzugabe gesamt [l/m³]:		266,97				
Mischung							
	Volumen der Mischung			2,80 dm³	V Kontrolle		
	Bezeichnung	Einwaage					
Wasser	Wasser			747,5 g	2800		
Zement	CEM I 42,5 R			980,4 g	747,52		
Zusatzstoff 1	QM 10000			0,0 g	316,24		
Zusatzstoff 2	FA Dümrohr			2297,7 g	0,00		
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U			0,0 g	973,61		
Fließmittel	ACE 430			122,5 g	0,00		
Entschäumer	DCC-Entlüfter			0,0 ml	112,43		
Sand 1	Ulopor 0-1 mm			812,0 g	0,00		
Sand 2	nv			0,0 g	560,00		
Sand 3	nv			0,0 g	0,00		
Faser 1	PVA Fasern STW 6 mm			22,4 g	0,00		
Faser 2	PVA Fasern STW 10 mm			22,40 g	17,10		
Faser 3	nv			0,0 g	17,10		
					0,00		
Mischreihenfolge und Dauer							
Mischertyp:	Eirich R.02						
Mischart:	Gleichstrommischen						
Wirblertyp:	Stiftenwirbler			Mischbehälter		Wirbler	
Mischreihenfolge:	[s]	[min]			[U/min]	[m/s]	
1) Cem, MS, QM, QS, Fasern	60,0	01:00		Stufe 1	1000	6,3	
2) Wasser+FM+DCC	30,0	00:30			1000	6,3	
3) Mischen	120,0	02:00			1000	6,3	
4) Mischpause	0,0	00:00			0	0,0	
5) Mischen	0,0	00:00			0	0,0	
6) FM einfüllen	0,0	00:00			0	0,0	
7) Nachmischen	180,0	03:00			300	1,9	
8) Enlüften [60 mbar]	0,0	00:00			0	0,0	
Summe	390,0	06:30					
Frischbetonprüfung Datum:				Festbetonprüfung Datum:			
Ausbreitmaß: SFM	cm			Biegezug:			
Rohdichte:	kg/m³			Druck:			
Luftgehalt:	%			Rohdichte:			
Mischungstemperatur:	°C						
Nachbehandlung:							

Mischungsberechnung für SHCC							
durchgeführt von:	Ing. Alexander Prantl						
Ort:	Labor 1030, Adolf-Blamauergasse 1-3						
Datum:	25.03.2014						
Zweck:	SHCC V4 Hochdukt. Bet. mit Kurzf. PVA6/10 1:1 1,68 %, Leichtsand (VV3)						
◊ Grau hinterlegte Felder müssen eingetragen werden ◊							
Anforderungen							
W/Z-Wert	W/B-Wert	0,671	1,30	Fließmittel [M.% v. Z]		5,20	
Sand trocken [dm³/m³]			200,00	Fließmittel [M% v. F]		1,56	
Luftgehalt (angenommen) [V.%]			2,00	w/Fv		0,988	
Entschäumer [kg/m³]			0,00	Relativedichte rechnerisch		0,777	
Matrix							
	Bezeichnung	Anteile [M. 1]	Anteile [V. 1]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]	
Fließmittel	ACE 430	16,64	15,27	15,11	1,09	13,86	30,00 Feststoff [M.%]
Wasser inkl. FM-Anteil flüssig	Wasser	416,00	416,00	377,68	1,00	377,68	
FM Festanteil		4,99	3,62	4,53	1,38	3,28	
Zement	CEM I 42,5 R	320,00	103,23	290,52	3,10	93,72	
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,00	0,00	0,00	2,65	0,00	
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr	750,00	317,80	680,91	2,36	288,52	
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,00	0,00	0,00	2,30	0,00	
Entschäumer	DCC-Entlüfter	nb	nb	nb	1,06	nb	
		1490,99	840,64	1353,65	1,77	763,21	
Zuschläge							
	Bezeichnung	Anteil [%]	Trocken-M. [kg]	Rohdichte tr [kg/dm³]	Stoffraum tr [dm³]	Wassergehalt [M. %] [l]	
Sand 1	Ulopor 0-1 mm	100	290	1,45	200	0	0,00
Sand 2	nv	0	0	2,65	0	0	0,00
Sand 3	nv	0	0	2,65	0	0	0,00
***		100	290,00	1,45	200,00	0,00	290,00
Fasern							
	Bezeichnung	Anteil [M.%]	Zugabe [kg/m³]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Faser 1	PVA Fasern STW 6 mm	50,00	11,00	1,31	8,40		
Faser 2	PVA Fasern STW 10 mm	50,00	11,00	1,31	8,40		
Faser 3	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
		100,00	22,00	1,31	16,79		
Stoffraum							
	Anteil [V. %]	Anteil [M. %]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Luft	2,00	0,00	0,00	0,00	20,00		
Matrix	76,32	81,27	1353,65	1,77	763,21		
Zuschläge	20,00	17,41	290,00	1,45	200,00		
Fasern	1,68	1,32	22,00	1,31	16,79		
Frischbetonrohddichte:			1665,65	3,224	1000,00		
Wasserzugabe gesamt [l/m³]:			367,11				
Mischung							
	Volumen der Mischung			2,80 dm³	V Kontrolle		
	Bezeichnung	Einwaage					
Wasser	Wasser			1027,9 g	2800		
Zement	CEM I 42,5 R			813,5 g	1027,90		
Zusatzstoff 1	QM 10000			0,0 g	-262,41		
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr			1906,6 g	0,00		
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U			0,0 g	807,87		
Fließmittel	ACE 430			42,3 g	0,00		
Entschäumer	DCC-Entlüfter			0,0 ml	38,81		
Sand 1	Ulopor 0-1 mm			812,0 g	0,00		
Sand 2	nv			0,0 g	560,00		
Sand 3	nv			0,0 g	0,00		
Faser 1	PVA Fasern STW 6 mm			30,8 g	0,00		
Faser 2	PVA Fasern STW 10 mm			30,80 g	23,51		
Faser 3	nv			0,0 g	23,51		
					0,00		
Mischreihenfolge und Dauer							
Mischertyp:	Eirich R 02						
Mischart:	Gleichstrommischen						
Wirblertyp:	Stiftenwirbler			Mischbehälter		Wirbler	
Mischreihenfolge:	[s]	[min]			[U/min]	[m/s]	
1) Cem, MS, QM, QS, Fasern	60,0	01:00		Stufe 1	1000	6,3	
2) Wasser+FM+DCC	30,0	00:30			1000	6,3	
3) Mischen	120,0	02:00			1000	6,3	
4) Mischpause	0,0	00:00			0	0,0	
5) Mischen	0,0	00:00			0	0,0	
6) FM einfüllen	0,0	00:00			0	0,0	
7) Nachmischen	180,0	03:00			300	1,9	
8) Enlüften [60 mbar]	0,0	00:00			0	0,0	
Summe	390,0	06:30					
Frischbetonprüfung Datum:				Festbetonprüfung Datum:			
Ausbreitmaß: SFM	cm			Biegezug:			
Rohdichte:	kg/m³			Druck:			
Luftgehalt:	%			Rohdichte:			
Mischungstemperatur:	°C						
Nachbehandlung:							

Mischungsberechnung für SHCC							
durchgeführt von:	Ing. Alexander Prantl						
Ort:	Labor 1030, Adolf-Blamauergerasse 1-3						
Datum:	02.04.2014						
Zweck:	SHCC V4 mod, Hochdukt. Bet. mit Kurzf. PVA6/10 1:1 1,68 %, Leichts. (V3)						
◊ Grau hinterlegte Felder müssen eingetragen werden ◊							
Anforderungen							
W/Z-Wert	W/B-Wert	0,439	0,85	Fließmittel [M.% v. Z]	17,00		
Sand trocken [dm³/m³]			200,00	Fließmittel [M.% v. F]	5,08		
Luftgehalt (angenommen) [V.%]			2,00	w/Fv	0,646		
Entschäumer [kg/m³]			0,00	Relativdichte rechnerisch	0,815		
Matrix							
	Bezeichnung	Anteile [M. 1]	Anteile [V. 1]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]	
Fließmittel	ACE 430	54,40	49,91	58,90	1,09	54,04	30,00 Feststoff [M.%]
Wasser inkl. FM-Anteil flüssig	Wasser	272,00	272,00	294,52	1,00	294,52	
FM Festanteil		16,32	11,83	17,67	1,38	12,81	
Zement	CEM I 42,5 R	320,00	103,23	346,49	3,10	111,77	
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,00	0,00	0,00	2,65	0,00	
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr	750,00	317,80	812,09	2,36	344,11	
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,00	0,00	0,00	2,30	0,00	
Entschäumer	DCC-Entlüfter	nb	nb	nb	1,06	nb	
		1358,32	704,85	1470,78	1,93	763,21	
Zuschläge							
	Bezeichnung	Anteil [%]	Trocken-M. [kg]	Rohdichte tr [kg/dm³]	Stoffraum tr [dm³]	Wassergehalt [M. %]	Feucht-M. [kg/m³]
Sand 1	Ulopor 0-1 mm	100	290	1,45	200	0	290,00
Sand 2	nv	0	0	2,65	0	0	0,00
Sand 3	nv	0	0	2,65	0	0	0,00
***		100	290,00	1,45	200,00	0,00	290,00
Fasern							
	Bezeichnung	Anteil [M.%]	Zugabe [kg/m³]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Faser 1	PVA Fasern STW 6 mm	50,00	11,00	1,31	8,40		
Faser 2	PVA Fasern STW 10 mm	50,00	11,00	1,31	8,40		
Faser 3	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
		100,00	22,00	1,31	16,79		
Stoffraum							
	Anteil [V. %]	Anteil [M. %]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Luft	2,00	0,00	0,00	0,00	20,00		
Matrix	76,32	82,50	1470,78	1,93	763,21		
Zuschläge	20,00	16,27	290,00	1,45	200,00		
Fasern	1,68	1,23	22,00	1,31	16,79		
Frischbetonrohddichte			1782,78	3,377	1000,00		
Wasserzugabe gesamt [l/m³]:			253,29				
Mischung							
	Volumen der Mischung	2,80 dm³			V Kontrolle		
	Bezeichnung	Einwaage					
Wasser	Wasser	709,2	g				2800
Zement	CEM I 42,5 R	970,2	g				709,20
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,0	g				312,96
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr	2273,9	g				0,00
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,0	g				963,50
Fließmittel	ACE 430	164,9	g				0,00
Entschäumer	DCC-Entlüfter	0,0	ml				151,31
Sand 1	Ulopor 0-1 mm	812,0	g				0,00
Sand 2	nv	0,0	g				560,00
Sand 3	nv	0,0	g				0,00
Faser 1	PVA Fasern STW 6 mm	30,8	g				0,00
Faser 2	PVA Fasern STW 10 mm	30,80	g				23,51
Faser 3	nv	0,0	g				23,51
							0,00
Mischreihenfolge und Dauer							
Mischertyp:	Eirich R 02						
Mischart:	Gleichstrommischen						
Wirblertyp:	Stiftenwirbler			Mischbehälter		Wirbler	
Mischreihenfolge:	[s]	[min]			[U/min]	[m/s]	
1) Cem, MS, QM, QS, Fasern	60,0	01:00		Stufe 1	1000	6,3	
2) Wasser+FM+DCC	30,0	00:30			1000	6,3	
3) Mischen	120,0	02:00			1000	6,3	
4) Mischpause	0,0	00:00			0	0,0	
5) Mischen	0,0	00:00			0	0,0	
6) FM einfüllen	0,0	00:00			0	0,0	
7) Nachmischen	180,0	03:00			300	1,9	
8) Enlüften [60 mbar]	0,0	00:00			0	0,0	
Summe	390,0	06:30					
Frischbetonprüfung Datum:				Festbetonprüfung Datum:			
Ausbreitmaß: SFM		cm		Biegezug:			
Rohdichte:		kg/m³		Druck:			
Luftgehalt:		%		Rohdichte:			
Mischungstemperatur:		°C					
Nachbehandlung:							

Mischungsberechnung für SHCC							
durchgeführt von:	Ing. Alexander Prantl						
Ort:	Labor 1030, Adolf-Blamauergasse 1-3						
Datum:	02.04.2014						
Zweck:	SHCC V4 mod2, Hochdukt. Bet. mit Kurzf. PVA6/10 1:1 1,68 %, Leichts. (VV3)						
◊ Grau hinterlegte Felder müssen eingetragen werden ◊							
Anforderungen							
W/Z-Wert	W/B-Wert	0,428	0,83	Fließmittel [M.% v. Z]		18,50	
Sand trocken [dm³/m³]			200,00	Fließmittel [M.% v. F]		5,53	
Luftgehalt (angenommen) [V.%]			2,00	w/Fv		0,631	
Entschäumer [kg/m³]			0,00	Relativdichte rechnerisch		0,817	
Matrix							
	Bezeichnung	Anteile [M. t]	Anteile [V. t]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]	
Fließmittel	ACE 430	59,20	54,31	64,59	1,09	59,26	30,00 Feststoff [M. %]
Wasser inkl. FM-Anteil flüssig	Wasser	265,60	265,60	289,79	1,00	289,79	
FM Festanteil		17,76	12,87	19,38	1,38	14,04	
Zement	CEM I 42,5 R	320,00	103,23	349,15	3,10	112,63	
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,00	0,00	0,00	2,65	0,00	
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr	750,00	317,80	818,31	2,36	346,74	
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,00	0,00	0,00	2,30	0,00	
Entschäumer	DCC-Entlüfter	nb	nb	nb	1,06	nb	
		1353,36	699,49	1476,63	1,93	763,21	
Zuschläge							
	Bezeichnung	Anteil [%]	Trocken-M. [kg]	Rohdichte tr [kg/dm³]	Stoffraum tr [dm³]	Wassergehalt [M. %] [l]	
Sand 1	Ulopor 0-1 mm	100	290	1,45	200	0	0,00
Sand 2	nv	0	0	2,65	0	0	0,00
Sand 3	nv	0	0	2,65	0	0	0,00
***		100	290,00	1,45	200,00	0,00	290,00
Fasern							
	Bezeichnung	Anteil [M. %]	Zugabe [kg/m³]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Faser 1	PVA Fasern STW 6 mm	50,00	11,00	1,31	8,40		
Faser 2	PVA Fasern STW 10 mm	50,00	11,00	1,31	8,40		
Faser 3	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
		100,00	22,00	1,31	16,79		
Stoffraum							
	Anteil [V. %]	Anteil [M. %]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Luft	2,00	0,00	0,00	0,00	20,00		
Matrix	76,32	82,56	1476,63	1,93	763,21		
Zuschläge	20,00	16,21	290,00	1,45	200,00		
Fasern	1,68	1,23	22,00	1,31	16,79		
	Frischbetonrohddichte		1788,63	3,385	1000,00		
	Wasserzugabe gesamt [l/m³]:		244,58				
Mischung							
	Volumen der Mischung			2,80	dm³	V Kontrolle	
	Bezeichnung	Einwaage					
Wasser	Wasser	684,8	g			2800	
Zement	CEM I 42,5 R	977,6	g			684,82	
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,0	g			315,36	
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr	2291,3	g			0,00	
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,0	g			970,88	
Fließmittel	ACE 430	180,9	g			0,00	
Entschäumer	DCC-Entlüfter	0,0	ml			165,92	
Sand 1	Ulopor 0-1 mm	812,0	g			0,00	
Sand 2	nv	0,0	g			580,00	
Sand 3	nv	0,0	g			0,00	
Faser 1	PVA Fasern STW 6 mm	30,8	g			0,00	
Faser 2	PVA Fasern STW 10 mm	30,80	g			23,51	
Faser 3	nv	0,0	g			23,51	
						0,00	
Mischreihenfolge und Dauer							
Mischertyp:	Eirich R 02						
Mischart:	Gleichstrommischen						
Wirblertyp:	Stüfenwirbler			Mischbehälter		Wirbler	
Mischreihenfolge:	[s]	[min]			[U/min]	[m/s]	
1) Cem, MS, QM, QS, Fasern	60,0	01:00	Stufe 1		1000	6,3	
2) Wasser+FM+DCC	30,0	00:30			1000	6,3	
3) Mischen	120,0	02:00			1000	6,3	
4) Mischpause	0,0	00:00			0	0,0	
5) Mischen	0,0	00:00			0	0,0	
6) FM einfüllen	0,0	00:00			0	0,0	
7) Nachmischen	180,0	03:00			300	1,9	
8) Entlüften [60 mbar]	0,0	00:00			0	0,0	
Summe	390,0	06:30					
Frischbetonprüfung Datum:				Festbetonprüfung Datum:			
Ausbreitmaß: SFM	cm			Biegezug:			
Rohdichte:	kg/m³			Druck:			
Luftgehalt:	%			Rohdichte:			
Mischungstemperatur:	°C						
Nachbehandlung:							

Mischungsrechnung für SHCC							
durchgeführt von:	Ing. Alexander Prantl						
Ort:	Labor 1030, Adolf-Blamauergerasse 1-3						
Datum:	03.04.2014						
Zweck:	SHCC V4 mod3, Hochdukt. Bet. mit Kurzf. PVA6/10 1:1 1,83 %, Leichts. (VV3)						
◊ Grau hinterlegte Felder müssen eingetragen werden ◊							
Anforderungen							
W/Z-Wert	W/B-Wert	0,434	0,84	Fließmittel [M.% v. Z]	20,00		
Sand trocken [dm³/m³]			200,00	Fließmittel [M.% v. F]	5,98		
Luftgehalt (angenommen) [V.%]			2,00	w/Fv	0,638		
Entschäumer [kg/m³]			0,00	Relativdichte rechnerisch	0,817		
Matrix							
	Bezeichnung	Anteile [M. t]	Anteile [V. t]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]	
Fließmittel	ACE 430	64,00	58,72	69,27	1,09	63,55	30,00 Feststoff [M.%]
Wasser inkl. FM-Anteil flüssig	Wasser	268,80	268,80	290,93	1,00	290,93	
FM Festanteil		19,20	13,92	20,78	1,38	15,06	
Zement	CEM I 42,5 R	320,00	103,23	346,35	3,10	111,72	
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,00	0,00	0,00	2,65	0,00	
Zusatzstoff 2	FA Dümrohr	750,00	317,80	811,75	2,36	343,96	
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,00	0,00	0,00	2,30	0,00	
Entschäumer	DCC-Entlüfter	nb	nb	nb	1,06	nb	
		1358,00	703,74	1469,81	1,93	761,68	
Zuschläge							
	Bezeichnung	Anteil [%]	Trocken-M. [kg]	Rohdichte tr [kg/dm³]	Stoffraum tr [dm³]	Wassergehalt [M.%]	Feucht-M. [kg/m³]
Sand 1	Ulopor 0-1 mm	100	290	1,45	200	0	290,00
Sand 2	nv	0	0	2,65	0	0	0,00
Sand 3	nv	0	0	2,65	0	0	0,00
***		100	290,00	1,45	200,00	0,00	290,00
Fasern							
	Bezeichnung	Anteil [M.%]	Zugabe [kg/m³]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Faser 1	PVA Fasern STW 6 mm	50,00	12,00	1,31	9,16		
Faser 2	PVA Fasern STW 10 mm	50,00	12,00	1,31	9,16		
Faser 3	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
		100,00	24,00	1,31	18,32		
Stoffraum							
	Anteil [V.%]	Anteil [M.%]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Luft	2,00	0,00	0,00	0,00	20,00		
Matrix	76,17	82,40	1469,81	1,93	761,68		
Zuschläge	20,00	16,26	290,00	1,45	200,00		
Fasern	1,83	1,35	24,00	1,31	18,32		
	Frischbetonrohichte		1783,81	3,380	1000,00		
	Wasserzugabe gesamt [l/m³]:		242,44				
Mischung							
	Volumen der Mischung			2,80	dm³	V Kontrolle	
	Bezeichnung	Einwaage					
Wasser	Wasser			678,8	g	2800	
Zement	CEM I 42,5 R			969,8	g	678,84	
Zusatzstoff 1	QM 10000			0,0	g	312,83	
Zusatzstoff 2	FA Dümrohr			2272,9	g	0,00	
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U			0,0	g	963,09	
Fließmittel	ACE 430			194,0	g	0,00	
Entschäumer	DCC-Entlüfter			0,0	ml	177,94	
Sand 1	Ulopor 0-1 mm			812,0	g	0,00	
Sand 2	nv			0,0	g	580,00	
Sand 3	nv			0,0	g	0,00	
Faser 1	PVA Fasern STW 6 mm			33,6	g	0,00	
Faser 2	PVA Fasern STW 10 mm			33,6	g	25,65	
Faser 3	nv			0,0	g	25,65	
						0,00	
Mischreihenfolge und Dauer							
Mischertyp:	Eirich R 02						
Mischart:	Gleichstrommischen						
Wirblertyp:	Stiftenwirbler						
Mischreihenfolge:	[s]	[min]		Mischbehälter	Wirbler		
1) Cem, MS, QM, QS, Fasern	60,0	01:00		Stufe 1	[U/min]	[m/s]	
2) Wasser+FM+DCC	30,0	00:30			1000	6,3	
3) Mischen	120,0	02:00			1000	6,3	
4) Mischpause	0,0	00:00			0	0,0	
5) Mischen	0,0	00:00			0	0,0	
6) FM einfüllen	0,0	00:00			0	0,0	
7) Nachmischen	600,0	10:00			1200	7,5	
8) Enlüften [60 mbar]	0,0	00:00			0	0,0	
Summe	810,0	13:30					
Frischbetonprüfung Datum:				Festbetonprüfung Datum:			
Ausbreitmaß: SFM		cm		Biegezug:			
Rohdichte:		kg/m³		Druck:			
Luftgehalt:		%		Rohdichte:			
Mischungstemperatur:		°C					
Nachbehandlung:							

Mischungsberechnung für SHCC							
durchgeführt von:	Ing. Alexander Prantl						
Ort:	Labor 1030, Adolf-Blamauergasse 1-3						
Datum:	25.03.2014						
Zweck:	SHCC V5 Hochdukt. Bet. mit Kurzfasern PVA 10 1,22 %, Leichtsand (VV3)						
◊ Grau hinterlegte Felder müssen eingetragen werden ◊							
Anforderungen							
W/Z-Wert	W/B-Wert	0,671	1,30	Fließmittel [M.% v. Z]			4,60
Sand trocken [dm³/m³]			200,00	Fließmittel [M.% v. F]			1,38
Luftgehalt (angenommen) [V.%]			2,00	w/Fv			0,988
Entschäumer [kg/m³]			0,00	Relativdichte rechnerisch			0,776
Matrix							
	Bezeichnung	Anteile [M. 1]	Anteile [V. 1]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]	
Fließmittel	ACE 430	14,72	13,50	13,45	1,09	12,34	30,00 Feststoff [M.%]
Wasser inkl. FM-Anteil flüssig	Wasser	416,00	416,00	380,14	1,00	380,14	
FM Festanteil		4,42	3,20	4,04	1,38	2,92	
Zement	CEM I 42,5 R	320,00	103,23	292,41	3,10	94,33	
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,00	0,00	0,00	2,65	0,00	
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr	750,00	317,80	685,34	2,36	290,40	
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,00	0,00	0,00	2,30	0,00	
Entschäumer	DCC-Entlüfter	nb	nb	nb	1,06	nb	
		1490,42	840,22	1361,93	1,77	767,79	
Zuschläge							
	Bezeichnung	Anteil [%]	Trocken-M. [kg]	Rohdichte tr [kg/dm³]	Stoffraum tr [dm³]	Wassergehalt [M. %]	Feucht-M. [kg/m³]
Sand 1	Ulopor 0-1 mm	100	290	1,45	200	0,00	290,00
Sand 2	nv	0	0	2,65	0	0,00	0,00
Sand 3	nv	0	0	2,65	0	0,00	0,00
***		100	290,00	1,45	200,00	0,00	290,00
Fasern							
	Bezeichnung	Anteil [M.%]	Zugabe [kg/m³]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Faser 1	PVA Fasern STW 6 mm	0,00	0,00	1,31	0,00		
Faser 2	PVA Fasern STW 10 mm	100,00	16,00	1,31	12,21		
Faser 3	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
		100,00	16,00	1,31	12,21		
Stoffraum							
	Anteil [V. %]	Anteil [M. %]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Luft	2,00	0,00	0,00	0,00	20,00		
Matrix	76,78	81,65	1361,93	1,77	767,79		
Zuschläge	20,00	17,39	290,00	1,45	200,00		
Fasern	1,22	0,96	16,00	1,31	12,21		
Frischbetonrohddichte			1667,93	3,224	1000,00		
Wasserzugabe gesamt [l/m³]:			370,72				
Mischung							
	Volumen der Mischung			2,80	dm³	V Kontrolle	
	Bezeichnung	Einwaage					
Wasser	Wasser			1038,0	g		2900
Zement	CEM I 42,5 R			818,8	g		1038,02
Zusatzstoff 1	QM 10000			0,0	g		264,11
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr			1919,0	g		0,00
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U			0,0	g		813,12
Fließmittel	ACE 430			37,7	g		0,00
Entschäumer	DCC-Entlüfter			0,0	ml		34,55
Sand 1	Ulopor 0-1 mm			812,0	g		0,00
Sand 2	nv			0,0	g		560,00
Sand 3	nv			0,0	g		0,00
Faser 1	PVA Fasern STW 6 mm			0,0	g		0,00
Faser 2	PVA Fasern STW 10 mm			44,80	g		34,20
Faser 3	nv			0,0	g		0,00
Mischreihenfolge und Dauer							
Mischertyp:	Eirich R 02						
Mischart:	Gleichstrommischen						
Wirblertyp:	Stiftenwirbler			Mischbehälter		Wirbler	
Mischreihenfolge:	[s]	[min]		[U/min]	[m/s]		
1) Cem, MS, QM, QS, Fasern	60,0	01:00	Stufe 1	1000	6,3		
2) Wasser+FM+DCC	30,0	00:30		1000	6,3		
3) Mischen	120,0	02:00		1000	6,3		
4) Mischpause	0,0	00:00		0	0,0		
5) Mischen	0,0	00:00		0	0,0		
6) FM einfüllen	0,0	00:00		0	0,0		
7) Nachmischen	180,0	03:00		300	1,9		
8) Enlüften [60 mbar]	0,0	00:00		0	0,0		
Summe	390,0	06:30					
Frischbetonprüfung Datum:				Festbetonprüfung Datum:			
Ausbreitmaß: SFM	cm			Biegezug:			
Rohdichte:	kg/m³			Druck:			
Luftgehalt:	%			Rohdichte:			
Mischungstemperatur:	°C						
Nachbehandlung:							

Mischungsberechnung für SHCC							
durchgeführt von:	Ing. Alexander Prantl						
Ort:	Labor 1030, Adolf-Blamauergasse 1-3						
Datum:	03.04.2014						
Zweck:	SHCC V5 mod, Hochdukt. Bet. mit Kurzfasern PVA 10 1,83 %, Leichts. (VV3)						
◊ Grau hinterlegte Felder müssen eingetragen werden ◊							
Anforderungen							
W/Z-Wert	W/B-Wert	0,434	0,84	Fließmittel [M.% v. Z]		14,00	
Sand trocken [dm³/m³]			200,00	Fließmittel [M.% v. F]		4,19	
Luftgehalt (angenommen) [V.%]			2,00	w/Fv		0,638	
Entschäumer [kg/m³]			0,00	Relativdichte rechnerisch		0,817	
Matrix							
	Bezeichnung	Anteile [M. 1]	Anteile [V. 1]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]	
Fließmittel	ACE 430	44,80	41,10	48,78	1,09	44,75	30,00 Feststoff [M. %]
Wasser inkl. FM-Anteil flüssig	Wasser	268,80	268,80	292,67	1,00	292,67	
FM Festanteil		13,44	9,74	14,63	1,38	10,61	
Zement	CEM I 42,5 R	320,00	103,23	348,41	3,10	112,39	
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,00	0,00	0,00	2,65	0,00	
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr	750,00	317,80	816,59	2,36	346,01	
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,00	0,00	0,00	2,30	0,00	
Entschäumer	DCC-Entlüfter	nb	nb	nb	1,06	nb	
		1352,24	699,56	1472,31	1,93	761,68	
Zuschläge							
	Bezeichnung	Anteil [%]	Trocken-M. [kg]	Rohdichte tr [kg/dm³]	Stoffraum tr [dm³]	Wassergehalt [M. %]	Feucht-M. [kg/m³]
Sand 1	Ulopor 0-1 mm	100	290	1,45	200	0	290,00
Sand 2	nv	0	0	2,65	0	0	0,00
Sand 3	nv	0	0	2,65	0	0	0,00
***		100	290,00	1,45	200,00	0,00	290,00
Fasern							
	Bezeichnung	Anteil [M.%]	Zugabe [kg/m³]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Faser 1	PVA Fasern STW 6 mm	0,00	0,00	1,31	0,00		
Faser 2	PVA Fasern STW 10 mm	100,00	24,00	1,31	18,32		
Faser 3	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
		100,00	24,00	1,31	18,32		
Stoffraum							
	Anteil [V. %]	Anteil [M. %]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Luft	2,00	0,00	0,00	0,00	20,00		
Matrix	76,17	82,42	1472,31	1,93	761,68		
Zuschläge	20,00	16,23	290,00	1,45	200,00		
Fasern	1,83	1,34	24,00	1,31	18,32		
Frischbetonrohddichte			1786,31	3,383	1000,00		
Wasserzugabe gesamt [l/m³]:			258,52				
Mischung							
	Volumen der Mischung		2,80 dm³		V Kontrolle		
	Bezeichnung	Einwaage					
Wasser			723,9 g			2800	
Zement			975,6 g			723,88	
Zusatzstoff 1			0,0 g			314,70	
Zusatzstoff 2			2286,5 g			0,00	
Zusatzstoff 3			0,0 g			988,84	
Fließmittel			136,6 g			0,00	
Entschäumer			0,0 ml			125,30	
Sand 1			812,0 g			0,00	
Sand 2			0,0 g			560,00	
Sand 3			0,0 g			0,00	
Faser 1			0,0 g			0,00	
Faser 2			67,20 g			0,00	
Faser 3			0,0 g			51,30	
						0,00	
Mischreihenfolge und Dauer							
Mischertyp:	Eirich R 02						
Mischart:	Gleichstrommischen						
Wirblertyp:	Stiftenwirbler		Mischbehälter		Wirbler		
Mischreihenfolge:	[s]	[min]			[U/min]	[m/s]	
1) Cem, MS, QM, QS, Fasern	60,0	01:00	Stufe 1		1000	6,3	
2) Wasser+FM+DCC	30,0	00:30			1000	6,3	
3) Mischen	120,0	02:00			1000	6,3	
4) Mischpause	0,0	00:00			0	0,0	
5) Mischen	0,0	00:00			0	0,0	
6) FM einfüllen	0,0	00:00			0	0,0	
7) Nachmischen	720,0	12:00			1200	7,5	
8) Entlüften [60 mbar]	0,0	00:00			0	0,0	
Summe	930,0	15:30					
Frischbetonprüfung Datum:			Festbetonprüfung Datum:				
Ausbreitmaß: SFM		cm	Biegezug:				
Rohdichte:		kg/m³	Druck:				
Luftgehalt:		%	Rohdichte:				
Mischungstemperatur:		°C					
Nachbehandlung:							

Mischungsberechnung für SHCC								
durchgeführt von:	Ing. Alexander Prantl							
Ort:	Labor 1030, Adolf-Blamauergasse 1-3							
Datum:	25.03.2014							
Zweck:	SHCC V6 Hochdukt. Bet. mit Kurzfasern PVA 10 1,68 %, Leichtsand (VV3)							
◊ Grau hinterlegte Felder müssen eingetragen werden ◊								
Anforderungen								
W/Z-Wert	W/B-Wert	0,671	1,30	Fließmittel [M.% v. Z]	5,40			
Sand trocken [dm ³ /m ³]			200,00	Fließmittel [M% v. F]	1,61			
Luftgehalt (angenommen) [V.%]			2,00	w/Fv	0,988			
Entschäumer [kg/m ³]			0,00	Relativdichte rechnerisch	0,777			
Matrix								
	Bezeichnung	Anteil [M. 1]	Anteil [V. 1]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm ³]	Stoffraum [dm ³]		
Fließmittel	ACE 430	17,28	15,85	15,69	1,09	14,39	30,00 Feststoff [M.%]	
Wasser inkl. FM-Anteil flüssig	Wasser	416,00	416,00	377,62	1,00	377,62		
FM Festanteil		5,18	3,76	4,71	1,38	3,41		
Zement	CEM I 42,5 R	320,00	103,23	290,48	3,10	93,70		
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,00	0,00	0,00	2,65	0,00		
Zusatzstoff 2	FA Dünnrohr	750,00	317,80	680,80	2,36	288,48		
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,00	0,00	0,00	2,30	0,00		
Entschäumer	DCC-Entlüfter	nb	nb	nb	1,06	nb		
		1491,18	840,78	1353,60	1,77	763,21		
Zuschläge								
	Bezeichnung	Anteil [%]	Trocken-M. [kg]	Rohdichte tr [kg/dm ³]	Stoffraum tr [dm ³]	Wassergehalt [M. %]		Feucht-M. [kg/m ³]
Sand 1	Ulopor 0-1 mm	100	290	1,45	200	0	0,00	290,00
Sand 2	nv	0	0	2,65	0	0	0,00	0,00
Sand 3	nv	0	0	2,65	0	0	0,00	0,00
***		100	290,00	1,45	200,00		0,00	290,00
Fasern								
	Bezeichnung	Anteil [M.%]	Zugabe [kg/m ³]	Rohdichte [kg/dm ³]	Stoffraum [dm ³]			
Faser 1	PVA Fasern STW 6 mm	0,00	0,00	1,31	0,00			
Faser 2	PVA Fasern STW 10 mm	100,00	22,00	1,31	16,79			
Faser 3	nv	0,00	0,00	7,85	0,00			
		100,00	22,00	1,31	16,79			
Stoffraum								
	Anteil [V. %]	Anteil [M. %]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm ³]	Stoffraum [dm ³]			
Luft	2,00	0,00	0,00	0,00	20,00			
Matrix	76,32	81,27	1353,60	1,77	763,21			
Zuschläge	20,00	17,41	290,00	1,45	200,00			
Fasern	1,68	1,32	22,00	1,31	16,79			
	Frischbetonrohddichte		1665,60	3,224	1000,00			
	Wasserzugabe gesamt [l/m³]:		366,64					
Mischung								
	Volumen der Mischung			2,80 dm ³		V Kontrolle		
	Bezeichnung	Einwaage						
Wasser	Wasser		1026,6	g		2800		
Zement	CEM I 42,5 R		813,3	g		1026,59		
Zusatzstoff 1	QM 10000		0,0	g		262,37		
Zusatzstoff 2	FA Dünnrohr		1906,2	g		0,00		
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U		0,0	g		807,73		
Fließmittel	ACE 430		43,9	g		0,00		
Entschäumer	DCC-Entlüfter		0,0	ml		40,29		
Sand 1	Ulopor 0-1 mm		812,0	g		0,00		
Sand 2	nv		0,0	g		560,00		
Sand 3	nv		0,0	g		0,00		
Faser 1	PVA Fasern STW 6 mm		0,0	g		0,00		
Faser 2	PVA Fasern STW 10 mm		61,60	g		47,02		
Faser 3	nv		0,0	g		0,00		
Mischreihenfolge und Dauer								
Mischertyp:	Eirich R 02							
Mischart:	Gleichstrommischen							
Wirblertyp:	Stiftenwirbler							
Mischreihenfolge:			Mischbehälter		Wirbler			
	[s]	[min]			[U/min]	[m/s]		
1) Cem, MS, QM, QS, Fasern	60,0	01:00	Stufe 1		1000	6,3		
2) Wasser+FM+DCC	30,0	00:30			1000	6,3		
3) Mischen	120,0	02:00			1000	6,3		
4) Mischpause	0,0	00:00			0	0,0		
5) Mischen	0,0	00:00			0	0,0		
6) FM einfüllen	0,0	00:00			0	0,0		
7) Nachmischen	180,0	03:00			300	1,9		
8) Entlüften [60 mbar]	0,0	00:00			0	0,0		
Summe	390,0	06:30						
Frischbetonprüfung Datum:					Festbetonprüfung Datum:			
Ausbreitmaß: SFM			cm		Biegezug:			
Rohdichte:			kg/m ³		Druck:			
Luftgehalt:			%		Rohdichte:			
Mischungstemperatur:			°C					
Nachbehandlung:								

Mischungsberechnung für SHCC							
durchgeführt von:	Ing. Alexander Prantl						
Ort:	Labor 1030, Adolf-Blamauergerasse 1-3						
Datum:	03.04.2014						
Zweck:	SHCC V6 mod, Hochdukt. Bet. mit Kurzfaser PVA 10 2,29 %, Leichts. (VV3)						
◊ Grau hinterlegte Felder müssen eingetragen werden ◊							
Anforderungen							
W/Z-Wert	W/B-Wert	0,434	0,84	Fließmittel [M.% v. Z]	21,80		
Sand trocken [dm³/m³]			200,00	Fließmittel [M% v. F]	6,52		
Luftgehalt (angenommen) [V.%]			2,00	w/Fv	0,638		
Entschäumer [kg/m³]			0,00	Relativdichte rechnerisch	0,818		
Matrix							
	Bezeichnung	Anteile [M. 1]	Anteile [V. 1]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]	
Fließmittel	ACE 430	69,76	64,00	74,92	1,09	68,73	30,00 Feststoff [M.%]
Wasser inkl. FM-Anteil flüssig	Wasser	268,80	268,80	288,67	1,00	288,67	
FM Festanteil		20,93	15,17	22,47	1,38	16,29	
Zement	CEM I 42,5 R	320,00	103,23	343,65	3,10	110,86	
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,00	0,00	0,00	2,65	0,00	
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr	750,00	317,80	805,44	2,36	341,29	
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,00	0,00	0,00	2,30	0,00	
Entschäumer	DCC-Entlüfter	nb	nb	nb	1,06	nb	
		1359,73	704,99	1460,23	1,93	757,10	
Zuschläge							
	Bezeichnung	Anteil [%]	Trocken-M. [kg]	Rohdichte tr [kg/dm³]	Stoffraum tr [dm³]	Wassergehalt [M. %]	Feucht-M. [kg/m³]
Sand 1	Ulopor 0-1 mm	100	290	1,45	200	0	290,00
Sand 2	nv	0	0	2,65	0	0,00	0,00
Sand 3	nv	0	0	2,65	0	0,00	0,00
***		100	290,00	1,45	200,00	0,00	290,00
Fasern							
	Bezeichnung	Anteil [M.%]	Zugabe [kg/m³]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Faser 1	PVA Fasern STW 6 mm	0,00	0,00	1,31	0,00		
Faser 2	PVA Fasern STW 10 mm	100,00	30,00	1,31	22,90		
Faser 3	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
		100,00	30,00	1,31	22,90		
Stoffraum							
	Anteil [V. %]	Anteil [M. %]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Luft	2,00	0,00	0,00	0,00	20,00		
Matrix	75,71	82,02	1460,23	1,93	757,10		
Zuschläge	20,00	16,29	290,00	1,45	200,00		
Fasern	2,29	1,69	30,00	1,31	22,90		
Frischbetonrohddichte			1780,23	3,379	1000,00		
Wasserzugabe gesamt [l/m³]:			236,23				
Mischung							
	Volumen der Mischung			2,80 dm³	V Kontrolle		
	Bezeichnung	Einwaage					
Wasser	Wasser			661,4 g	2800		
Zement	CEM I 42,5 R			962,2 g	661,43		
Zusatzstoff 1	QM 10000			0,0 g	310,40		
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr			2255,2 g	0,00		
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U			0,0 g	955,80		
Fließmittel	ACE 430			209,8 g	0,00		
Entschäumer	DCC-Entlüfter			0,0 ml	192,45		
Sand 1	Ulopor 0-1 mm			812,0 g	0,00		
Sand 2	nv			0,0 g	560,00		
Sand 3	nv			0,0 g	0,00		
Faser 1	PVA Fasern STW 6 mm			0,0 g	0,00		
Faser 2	PVA Fasern STW 10 mm			84,00 g	64,12		
Faser 3	nv			0,0 g	0,00		
Mischreihenfolge und Dauer							
Mischertyp:	Eirich R 02						
Mischart:	Gleichstrommischen						
Wirblertyp:	Stiftenwirbler			Mischbehälter		Wirbler	
Mischreihenfolge:	[s]	[min]			[U/min]	[m/s]	
1) Cem, MS, QM, QS, Fasern	60,0	01:00		Stufe 1	1000	6,3	
2) Wasser+FM+DCC	30,0	00:30			1000	6,3	
3) Mischen	120,0	02:00			1000	6,3	
4) Mischpause	0,0	00:00			0	0,0	
5) Mischen	0,0	00:00			0	0,0	
6) FM einfüllen	0,0	00:00			0	0,0	
7) Nachmischen	720,0	12:00			1200	7,5	
8) Enlüften [60 mbar]	0,0	00:00			0	0,0	
Summe	930,0	15:30					
Frischbetonprüfung Datum:				Festbetonprüfung Datum:			
Ausbreitmaß: SFM				cm	Biegezug:		
Rohdichte:				kg/m³	Druck:		
Luftgehalt:				%	Rohdichte:		
Mischungstemperatur:				°C			
Nachbehandlung:							

Mischungsberechnung für SHCC							
durchgeführt von:	Ing. Alexander Prantl						
Ort:	Labor 1030, Adolf-Blamauegasse 1-3						
Datum:	14.05.2014						
Zweck:	SHCC V7mod Hochdukt. Bet. mit Kurzfaser PE12 1,05 %, Leichtsand (VV3)						
◊ Grau hinterlegte Felder müssen eingetragen werden ◊							
Anforderungen							
W/Z-Wert	W/B-Wert	0,434	0,84	Fließmittel [M.% v. Z]		10,00	
Sand trocken [dm³/m³]			200,00	Fließmittel [M.% v. F]		2,99	
Luftgehalt (angenommen) [V.%]			2,00	w/Fv		0,638	
Entschäumer [kg/m³]			0,00	Relativdichte rechnerisch		0,816	
Matrix							
	Bezeichnung	Anteile [M. 1]	Anteile [V. 1]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]	
Fließmittel	ACE 430	32,00	29,36	35,34	1,09	32,42	30,00 Feststoff [M.%]
Wasser inkl. FM-Anteil flüssig	Wasser	268,80	268,80	296,84	1,00	296,84	
FM Festanteil		9,60	6,96	10,60	1,38	7,68	
Zement	CEM I 42,5 R	320,00	103,23	353,38	3,10	114,00	
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,00	0,00	0,00	2,65	0,00	
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr	750,00	317,80	828,25	2,36	350,95	
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,00	0,00	0,00	2,30	0,00	
Entschäumer	DCC-Entlüfter	nb	nb	nb	1,06	nb	
		1348,40	696,78	1489,08	1,94	769,47	
Zuschläge							
	Bezeichnung	Anteil [%]	Trocken-M. [kg]	Rohdichte tr [kg/dm³]	Stoffraum tr [dm³]	Wassergehalt [M.%]	Feucht-M. [kg/m³]
Sand 1	Ulopor 0-1 mm	100	290	1,45	200	0	0,00
Sand 2	nv	0	0	2,65	0	0	0,00
Sand 3	nv	0	0	2,65	0	0	0,00
***		100	290,00	1,45	200,00	0,00	290,00
Fasern							
	Bezeichnung	Anteil [M.%]	Zugabe [kg/m³]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Faser 1	PE Fasern Toyobo 12 mm	100,00	10,00	0,95	10,53		
Faser 2	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
Faser 3	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
		100,00	10,00	0,95	10,53		
Stoffraum							
	Anteil [V.%]	Anteil [M.%]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Luft	2,00	0,00	0,00	0,00	20,00		
Matrix	76,95	83,23	1489,08	1,94	769,47		
Zuschläge	20,00	16,21	290,00	1,45	200,00		
Fasern	1,05	0,56	10,00	0,95	10,53		
Frischbetonrohddichte			1789,08	3,385	1000,00		
Wasserzugabe gesamt [l/m³]:			272,11				
Mischung							
	Volumen der Mischung			2,80 dm³		V Kontrolle	
	Bezeichnung	Einwaage					
Wasser	Wasser	761,9 g					2800
Zement	CEM I 42,5 R	989,5 g					761,90
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,0 g					319,19
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr	2319,1 g					0,00
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,0 g					982,66
Fließmittel	ACE 430	98,9 g					0,00
Entschäumer	DCC-Entlüfter	0,0 ml					90,78
Sand 1	Ulopor 0-1 mm	812,0 g					0,00
Sand 2	nv	0,0 g					560,00
Sand 3	nv	0,0 g					0,00
Faser 1	PE Fasern Toyobo 12 mm	28,0 g					0,00
Faser 2	nv	0,00 g					29,47
Faser 3	nv	0,0 g					0,00
							0,00
Mischreihenfolge und Dauer							
Mischertyp:	Erlich R 02						
Mischart:	Gleichstrommischen						
Wirblertyp:	Stiftenwirbler						
				Mischbehälter	Wirbler		
Mischreihenfolge:	[s]	[min]			[U/min]	[m/s]	
1) Cem, MS, QM, QS, Fasern	60,0	01:00		Stufe 1	1000	6,3	
2) Wasser+FM+DCC	30,0	00:30			1000	6,3	
3) Mischen	120,0	02:00			1000	6,3	
4) Mischpause	0,0	00:00			0	0,0	
5) Mischen	0,0	00:00			0	0,0	
6) FM einfüllen	0,0	00:00			0	0,0	
7) Nachmischen	720,0	12:00			300	1,9	
8) Entlüften [60 mbar]	0,0	00:00			0	0,0	
Summe	930,0	15:30					
Frischbetonprüfung Datum:				Festbetonprüfung Datum:			
Ausbreitmaß: SFM	cm			Biegezug:			
Rohdichte:	kg/m³			Druck:			
Luftgehalt:	%			Rohdichte:			
Mischungstemperatur:	°C						
Nachbehandlung:							

Mischungsberechnung für SHCC							
durchgeführt von:	Ing. Alexander Prantl						
Ort:	Labor 1030, Adolf-Blamauergerasse 1-3						
Datum:	14.05.2014						
Zweck:	SHCC V8mod Hochdukt. Bet. mit Kurzfaser PE12 1,58 %, Leichtsand (VV3)						
◊ Grau hinterlegte Felder müssen eingetragen werden ◊							
Anforderungen							
W/Z-Wert	W/B-Wert	0,434	0,84	Fließmittel [M.% v. Z]	22,00		
Sand trocken [dm³/m³]			200,00	Fließmittel [M.% v. F]	6,58		
Luftgehalt (angenommen) [V.%]			2,00	w/Fv	0,638		
Entschäumer [kg/m³]			0,00	Relativedichte rechnerisch	0,816		
Matrix							
	Bezeichnung	Anteile [M. 1]	Anteile [V. 1]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]	
Fließmittel	ACE 430	70,40	64,59	76,30	1,09	70,00	30,00 Feststoff [M.%]
Wasser inkl. FM-Anteil flüssig	Wasser	268,80	268,80	291,32	1,00	291,32	
FM Festanteil		21,12	15,31	22,89	1,38	16,59	
Zement	CEM I 42,5 R	320,00	103,23	346,81	3,10	111,87	
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,00	0,00	0,00	2,65	0,00	
Zusatzstoff 2	FA Dünnrohr	750,00	317,80	812,84	2,36	344,42	
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,00	0,00	0,00	2,30	0,00	
Entschäumer	DCC-Entlüfter	nb	nb	nb	1,06	nb	
		1359,92	705,13	1473,86	1,93	764,21	
Zuschläge							
	Bezeichnung	Anteil [%]	Trocken-M. [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum tr [dm³]	Wassergehalt [M.%]	Feucht-M. [kg/m³]
Sand 1	Ulopor 0-1 mm	100	290	1,45	200	0,00	290,00
Sand 2	nv	0	0	2,65	0	0,00	0,00
Sand 3	nv	0	0	2,65	0	0,00	0,00
***		100	290,00	1,45	200,00	0,00	290,00
Fasern							
	Bezeichnung	Anteil [M.%]	Zugabe [kg/m³]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Faser 1	PE Fasern Toyobo 12 mm	100,00	15,00	0,95	15,79		
Faser 2	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
Faser 3	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
		100,00	15,00	0,95	15,79		
Stoffraum							
	Anteil [V. %]	Anteil [M. %]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Luft	2,00	0,00	0,00	0,00	20,00		
Matrix	76,42	82,85	1473,86	1,93	764,21		
Zuschläge	20,00	16,30	290,00	1,45	200,00		
Fasern	1,58	0,84	15,00	0,95	15,79		
Frischbetonrohddichte			1778,86	3,379	1000,00		
Wasserzugabe gesamt [l/m³]:			237,91				
Mischung							
	Volumen der Mischung			2,80 dm³	V Kontrolle		
	Bezeichnung	Einwaage					
Wasser	Wasser			666,2 g			2800
Zement	CEM I 42,5 R			971,1 g			313,25
Zusatzstoff 1	QM 10000			0,0 g			0,00
Zusatzstoff 2	FA Dünnrohr			2276,0 g			964,39
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U			0,0 g			0,00
Fließmittel	ACE 430			213,6 g			196,00
Entschäumer	DCC-Entlüfter			0,0 ml			0,00
Sand 1	Ulopor 0-1 mm			812,0 g			560,00
Sand 2	nv			0,0 g			0,00
Sand 3	nv			0,0 g			0,00
Faser 1	PE Fasern Toyobo 12 mm			42,0 g			44,21
Faser 2	nv			0,00 g			0,00
Faser 3	nv			0,0 g			0,00
Mischreihenfolge und Dauer							
Mischertyp:	Eirich R 02						
Mischart:	Gleichstrommischen						
Wirblertyp:	Stiftenwirbler						
Mischreihenfolge:	[s]	[min]	Mischbehälter		Wirbler		
1) Cem. MS, QM, QS, Fasern	60,0	01:00	Stufe 1		1000	6,3	
2) Wasser-FM-DCC	30,0	00:30			1000	6,3	
3) Mischen	120,0	02:00			1000	6,3	
4) Mischpause	0,0	00:00			0	0,0	
5) Mischen	0,0	00:00			0	0,0	
6) FM einfüllen	0,0	00:00			0	0,0	
7) Nachmischen	720,0	12:00			300	1,9	
8) Enlüften [60 mbar]	0,0	00:00			0	0,0	
Summe	930,0	15:30					
Frischbetonprüfung Datum:				Festbetonprüfung Datum:			
Ausbreitmaß: SFM	cm			Biegezug:			
Rohdichte:	kg/m³			Druck:			
Luftgehalt:	%			Rohdichte:			
Mischungstemperatur:	°C						
Nachbehandlung:							

Mischungsberechnung für SHCC							
durchgeführt von:	Ing. Alexander Prantl						
Ort:	Labor 1030, Adolf-Blamauergasse 1-3						
Datum:	14.05.2014						
Zweck:	SHCC V9mod Hochdukt. Bet. mit Kurzfaser PE12 0,84 %, Leichtsand (VV3)						
◊ Grau hinterlegte Felder müssen eingetragen werden ◊							
Anforderungen							
W/Z-Wert	WB-Wert	0,434	0,84	Fließmittel [M.% v. Z]		11,50	
Sand trocken [dm³/m³]			200,00	Fließmittel [M.% v. F]		3,44	
Luftgehalt (angenommen) [V.%]			2,00	w/Fv		0,638	
Entschäumer [kg/m³]			0,00	Relativdichte rechnerisch		0,815	
Matrix							
	Bezeichnung	Anteile [M. 1]	Anteile [V. 1]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]	
Fließmittel	ACE 430	36,80	33,76	40,69	1,09	37,33	30,00 Feststoff [M.%]
Wasser inkl. FM-Anteil flüssig	Wasser	268,80	268,80	297,21	1,00	297,21	
FM Festanteil		11,04	8,00	12,21	1,38	8,85	
Zement	CEM I 42,5 R	320,00	103,23	353,82	3,10	114,14	
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,00	0,00	0,00	2,65	0,00	
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr	750,00	317,80	829,27	2,36	351,39	
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,00	0,00	0,00	2,30	0,00	
Entschäumer	DCC-Entlüfter	nb	nb	nb	1,06	nb	
		1349,84	697,82	1492,51	1,93	771,58	
Zuschläge							
	Bezeichnung	Anteil [%]	Trocken-M. [kg]	Rohdichte tr [kg/dm³]	Stoffraum tr [dm³]	Wassergehalt [M. %]	Feucht-M. [kg/m³]
Sand 1	Ulopor 0-1 mm	100	290	1,45	200	0	290,00
Sand 2	nv	0	0	2,65	0	0	0,00
Sand 3	nv	0	0	2,65	0	0	0,00
***		100	290,00	1,45	200,00	0,00	290,00
Fasern							
	Bezeichnung	Anteil [M.%]	Zugabe [kg/m³]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Faser 1	PE Fasern Toyobo 12 mm	100,00	8,00	0,95	8,42		
Faser 2	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
Faser 3	nv	0,00	0,00	7,85	0,00		
		100,00	8,00	0,95	8,42		
Stoffraum							
	Anteil [V. %]	Anteil [M. %]	Masse [kg]	Rohdichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]		
Luft	2,00	0,00	0,00	0,00	20,00		
Matrix	77,16	83,36	1492,51	1,93	771,58		
Zuschläge	20,00	16,20	290,00	1,45	200,00		
Fasern	0,84	0,45	8,00	0,95	8,42		
Frischbetonrohddichte			1790,51	3,384	1000,00		
Wasserzugabe gesamt [l/m³]:			268,73				
Mischung							
	Volumen der Mischung			2,80 dm³	V Kontrolle		
	Bezeichnung	Einwaage					
Wasser	Wasser	752,4 g					2800
Zement	CEM I 42,5 R	990,7 g					752,44
Zusatzstoff 1	QM 10000	0,0 g					319,58
Zusatzstoff 2	FA Dürrrohr	2322,0 g					0,00
Zusatzstoff 3	Elkem 940 U	0,0 g					983,88
Fließmittel	ACE 430	113,9 g					0,00
Entschäumer	DCC-Entlüfter	0,0 ml					104,52
Sand 1	Ulopor 0-1 mm	812,0 g					0,00
Sand 2	nv	0,0 g					560,00
Sand 3	nv	0,0 g					0,00
Faser 1	PE Fasern Toyobo 12 mm	22,4 g					0,00
Faser 2	nv	0,00 g					23,58
Faser 3	nv	0,0 g					0,00
Mischreihenfolge und Dauer							
Mischertyp:	Eirich R 02						
Mischart:	Gleichstrommischen						
Wirblertyp:	Stiftenwirbler			Mischbehälter	Wirbler		
Mischreihenfolge:	[s]	[min]			[U/min]	[m/s]	
1) Cem, MS, QM, QS, Fasern	60,0	01:00	Stufe 1	1000	6,3		
2) Wasser+FM+DCC	30,0	00:30		1000	6,3		
3) Mischen	120,0	02:00		1000	6,3		
4) Mischpause	0,0	00:00		0	0,0		
5) Mischen	0,0	00:00		0	0,0		
6) FM einfüllen	0,0	00:00		0	0,0		
7) Nachmischen	720,0	12:00		300	1,9		
8) Entlüften [60 mbar]	0,0	00:00		0	0,0		
Summe	930,0	15:30					
Frischbetonprüfung Datum:				Festbetonprüfung Datum:			
Ausbreitmaß: SFM		cm		Biegezug:			
Rohdichte:		kg/m³		Druck:			
Luftgehalt:		%		Rohdichte:			
Mischungstemperatur:		°C					
Nachbehandlung:							

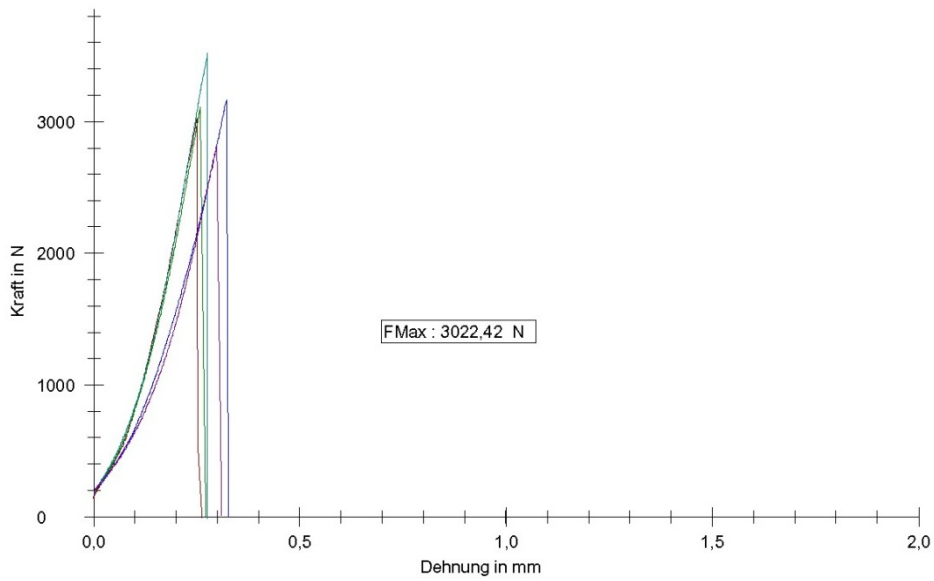
A.2 Last - Verschiebungsdiagramme Betonprüfung

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
1	1	1597	40,01	39,92	7,09	3022,42	13.01.2014	11:23:17
2	2	1606	40,09	40,05	7,25	3110,16	13.01.2014	11:28:17
3	3	1616	40,14	40,26	7,32	3163,87	13.01.2014	11:30:22
4	4	1596	40,04	39,86	8,26	3518,40	13.01.2014	11:32:43
5	5	1597	39,97	39,96	6,60	2809,35	13.01.2014	11:34:39

Prüfgeschwindigkeit : 50 N/s

Seriengrafik:



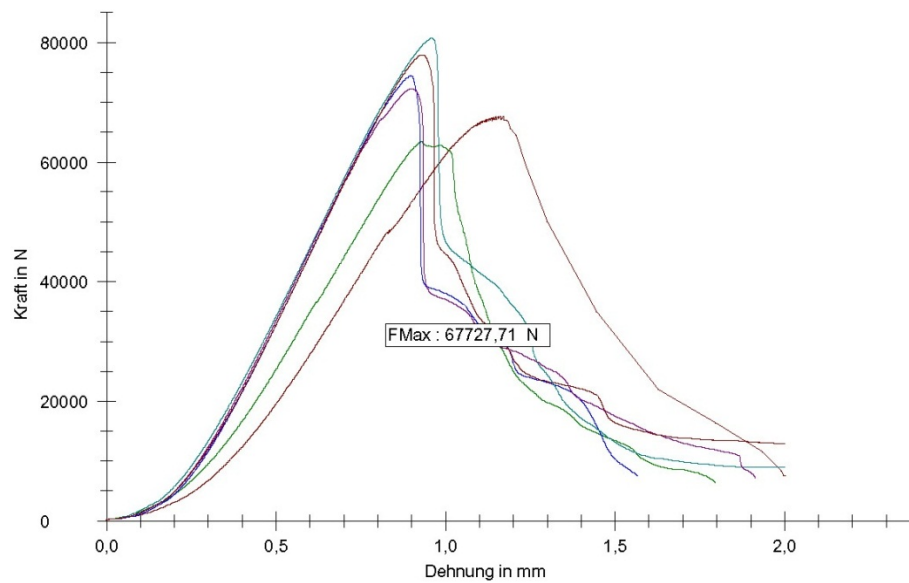
Statistik:

n = 5	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
\bar{x}	3	1602	40,05	40,01	7,30	3124,84
s	1,581	8,534	0,06671	0,1559	0,60	258,19
v	52,70	0,53	0,17	0,39	8,25	8,26

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
1	1	1600	40	40	42,33	67727,71	13.01.2014	14:42:17
2	2	1600	40	40	39,66	63461,91	13.01.2014	14:48:50
3	3	1600	40	40	46,48	74366,59	13.01.2014	14:54:08
4	4	1600	40	40	50,42	80670,30	13.01.2014	15:03:46
5	5	1600	40	40	45,17	72264,16	13.01.2014	15:08:06
6	6	1600	40	40	48,69	77899,32	13.01.2014	15:13:25

Prüfgeschwindigkeit : 0,5 mm/min

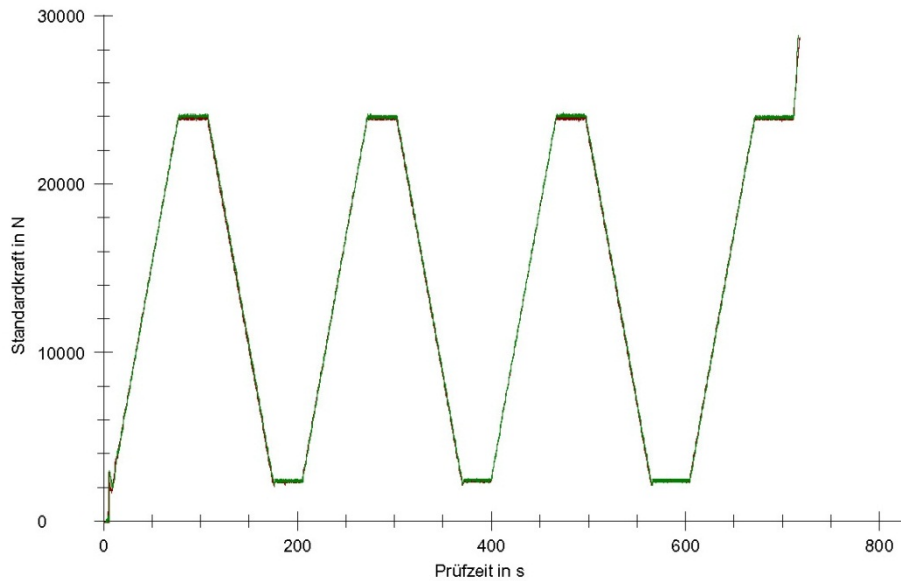
Seriengrafik:**Statistik:**

n = 6	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
\bar{x}	3,5	1600	40	40	45,46	72731,67
s	1,871	0,000	0,000	0,000	3,99	6381,01
v	53,45	0,00	0,00	0,00	8,77	8,77

Ergebnisse:

Nr	F_{\max} kN	σ_m N/mm ²	F_b N/mm ²	A mm ²	EMod N/mm ²	σ_u N/mm ²	ϵ_u mm	σ_o N/mm ²	ϵ_o mm
1	28,72	18,01	-	1594	30891,82	1,50	0,00	14,98	0,04
2	28,82	18,01	-	1600	30505,13	1,50	0,00	14,97	0,04

:

Prüfgeschwindigkeit 0,5 N/mm²s**Seriengrafik:****Statistik:**

Serie	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ_u N/mm ²	ϵ_u mm	σ_o N/mm ²	ϵ_o mm
n = 2								
\bar{x}	1,5	1597	40,03	39,9	1,50	0,00	14,98	0,04
s	0,7071	4,243	0,02121	0,08485	0,00	0,00	0,01	0,00
v	47,14	0,27	0,05	0,21	0,13	35,90	0,04	2,71

Serie	EMod N/mm ²	F_{\max} kN	σ_m N/mm ²	F_b N/mm ²	ϵ_b mm	σ_{unten} N/mm ²	σ_{oben} N/mm ²	s_m mm	s bei σ_o mm	s bei σ_u mm	s/ ϵ
n = 2											
\bar{x}	30698,47	28,77	18,01	-	-	1,50	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00
s	273,43	0,07	0,01	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
v	0,89	0,23	0,03	-	-	0,00	0,00	-	-	-	-

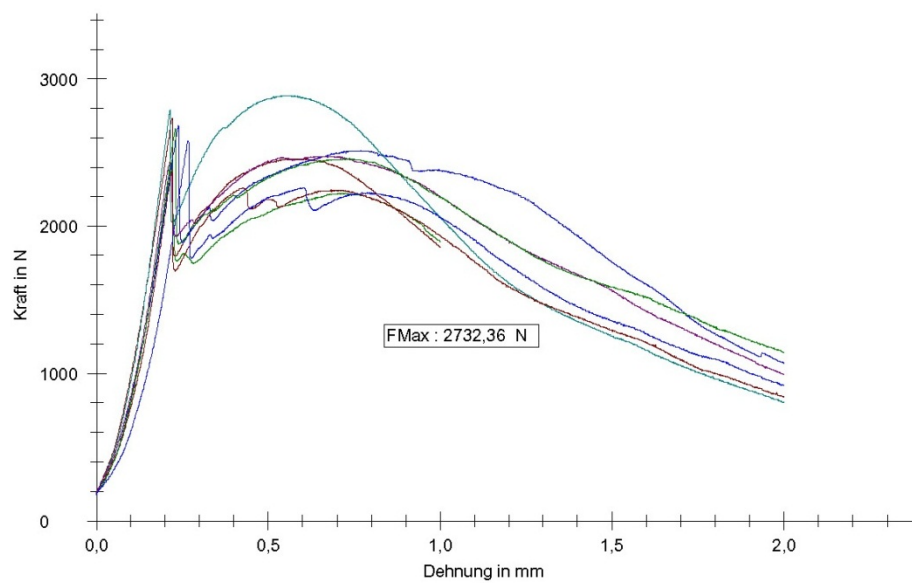
Serie	Emod1 N/mm ²	Emod2 N/mm ²	Emods N/mm ²	μ	ρ g/mm ³
n = 2					
\bar{x}	30698,47	0,00	0,00	0,00	0,00
s	273,43	0,00	0,00	0,00	0,00
v	0,89	-	-	-	0,27

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
1	1	1720	40,03	42,97	5,95	2732,36	13.01.2014	13:05:28
2	2	1688	40,05	42,15	5,44	2453,03	13.01.2014	13:12:53
3	3	1665	39,87	41,76	6,06	2680,43	13.01.2014	13:34:11
4	4	1671	39,91	41,88	6,49	2887,36	13.01.2014	13:45:41
5	5	1652	39,94	41,35	5,62	2473,36	13.01.2014	13:57:51
6	6	1694	40,04	42,3	5,25	2373,02	13.01.2014	14:09:23
7	7	1711	39,97	42,8	5,84	2661,61	13.01.2014	14:20:29
8	8	1725	39,99	43,13	5,61	2579,18	13.01.2014	14:32:03

Prüfgeschwindigkeit : 0,2 mm/min

Seriengrafik:



Statistik:

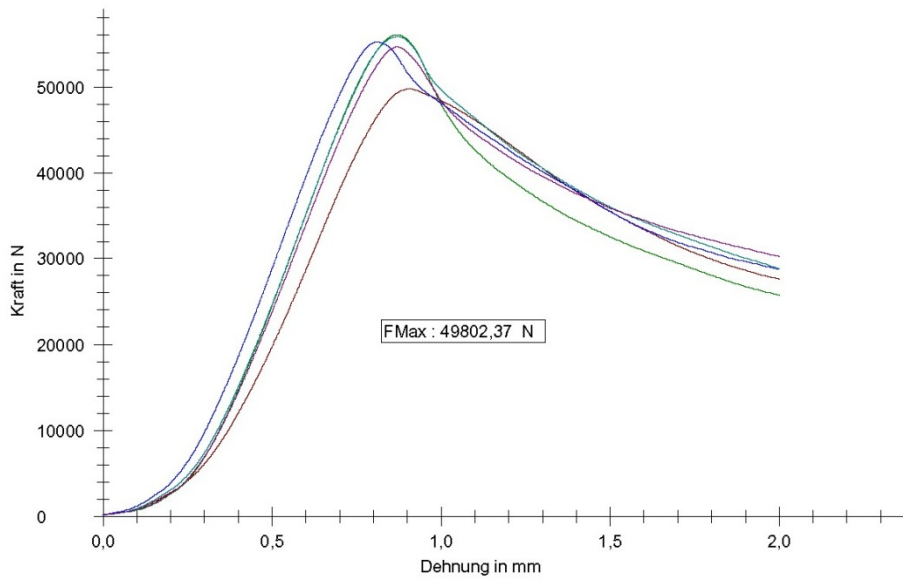
n = 8	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
\bar{x}	4,5	1691	39,97	42,29	5,78	2605,04
s	2,449	26,75	0,06503	0,6302	0,39	168,92
v	54,43	1,58	0,16	1,49	6,75	6,48

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
1	1	1600	40	40	31,13	49802,37	13.01.2014	16:22:08
2	2	1600	40	40	35,04	56066,65	13.01.2014	16:27:04
3	3	1600	40	40	34,52	55238,58	13.01.2014	16:31:22
4	4	1600	40	40	34,92	55864,11	13.01.2014	16:35:44
5	5	1600	40	40	34,15	54641,73	13.01.2014	16:40:05

Prüfgeschwindigkeit : 0,5 mm/min

Seriengrafik:



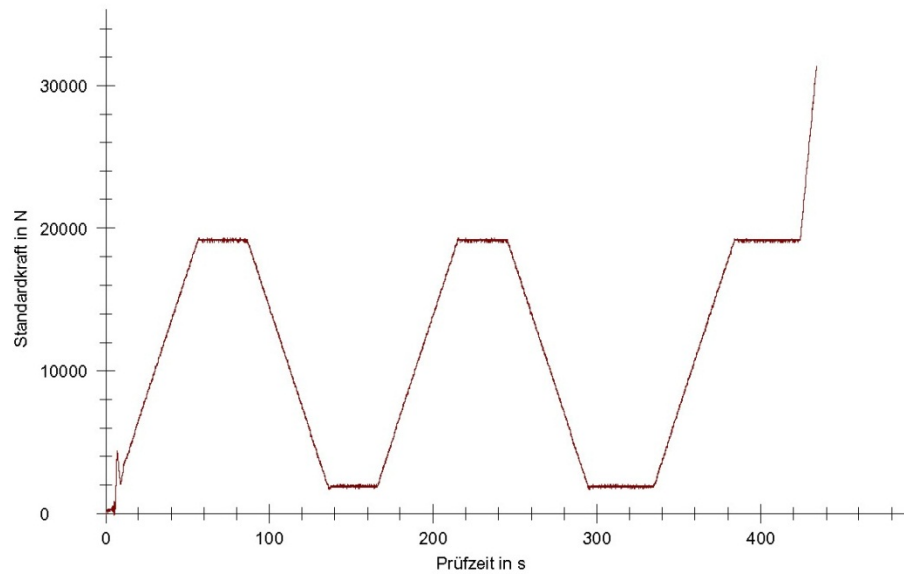
Statistik:

n = 5	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
\bar{x}	3	1600	40	40	33,95	54322,69
s	1,581	0,000	0,000	0,000	1,62	2588,02
v	52,70	0,00	0,00	0,00	4,76	4,76

Ergebnisse:

Nr	F _{max} kN	σ _m N/mm ²	F _b N/mm ²	A mm ²	EMod N/mm ²	σ _u N/mm ²	ε _u mm	σ _o N/mm ²	ε _o mm
1	31,38	18,02	-	1742	18658,92	1,09	0,00	10,99	0,05

Prüfgeschwindigkeit 0,7 N/mm²s

Seriengrafik:**Statistik:**

Serie n = 1	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	EMod N/mm ²	σ _u N/mm ²	ε _u mm	σ _o N/mm ²
\bar{x}	1	1742	40,45	43,06	18658,92	1,09	0,00	10,99
s	-	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-	-

Serie n = 1	ε _o mm	F _{max} kN	σ _m N/mm ²	F _b N/mm ²	ε _b mm	σ _{unten} N/mm ²	σ _{oben} N/mm ²	s _m mm	s bei σ _o mm	s bei σ _u mm	s/ε
\bar{x}	0,05	31,38	18,02	-	-	1,10	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00
s	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

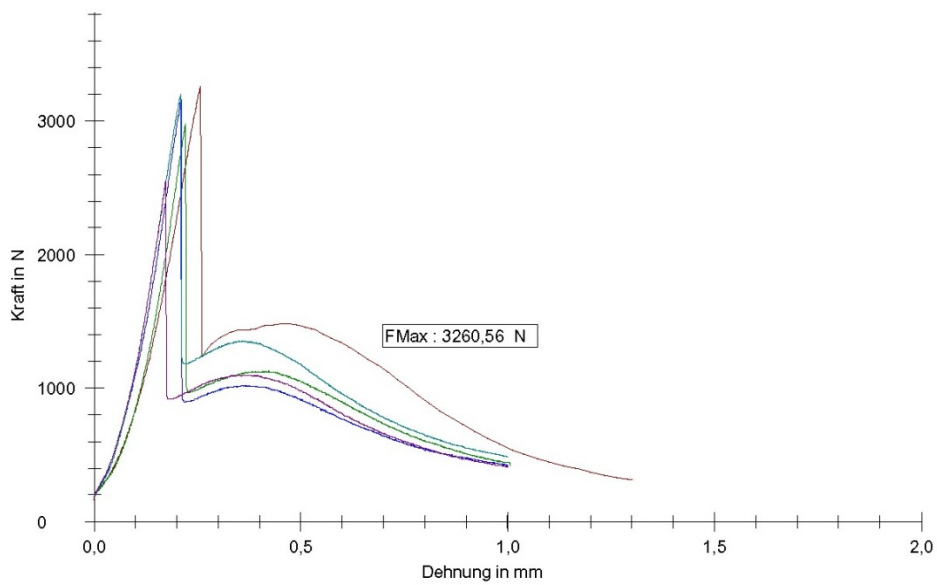
Serie n = 1	Emod1 N/mm ²	Emod2 N/mm ²	Emod3 N/mm ²	μ	ρ g/mm ³
\bar{x}	18658,92	0,00	0,00	0,00	0,00
s	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
1	1	1644	39,94	41,17	7,45	3260,56	13.01.2014	11:39:01
2	2	1707	40,13	42,54	6,52	2977,66	13.01.2014	11:49:28
3	3	1647	40,01	41,17	7,18	3156,71	13.01.2014	11:56:20
4	4	1700	40,14	42,34	7,04	3199,68	13.01.2014	12:03:06
5	5	1673	40,11	41,71	5,71	2553,30	13.01.2014	12:10:59

Prüfgeschwindigkeit : 0,2 mm/min

Seriengrafik:



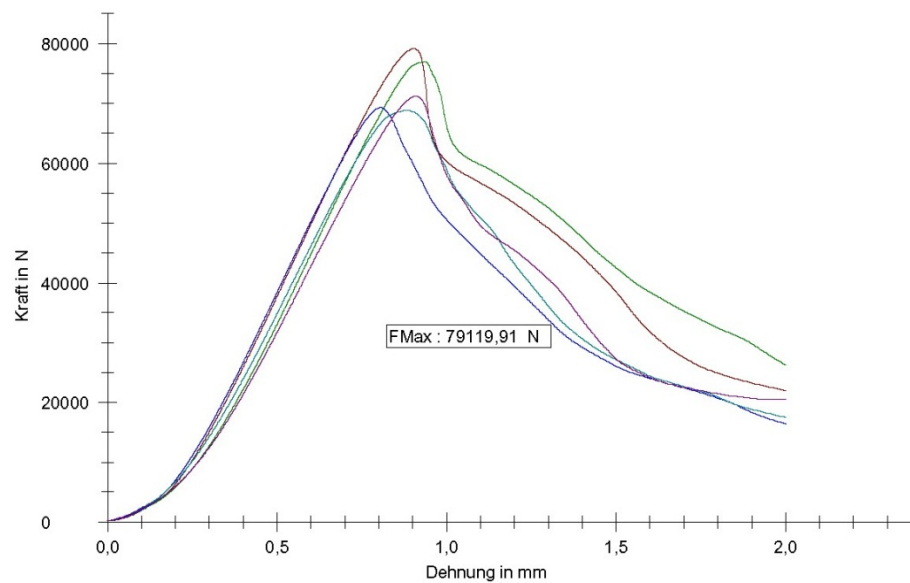
Statistik:

n = 5	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
\bar{x}	3	1674	40,07	41,79	6,78	3029,58
s	1,581	28,93	0,08735	0,6403	0,69	286,35
v	52,70	1,73	0,22	1,53	10,15	9,45

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
1	1	1600	40	40	49,45	79119,91	13.01.2014	15:18:25
2	2	1600	40	40	48,10	76958,34	13.01.2014	15:23:53
3	3	1600	40	40	43,32	69304,98	13.01.2014	15:28:29
4	4	1600	40	40	43,04	68856,89	13.01.2014	15:33:10
5	5	1600	40	40	44,50	71197,71	13.01.2014	15:37:54

Prüfgeschwindigkeit : 0,5 mm/min

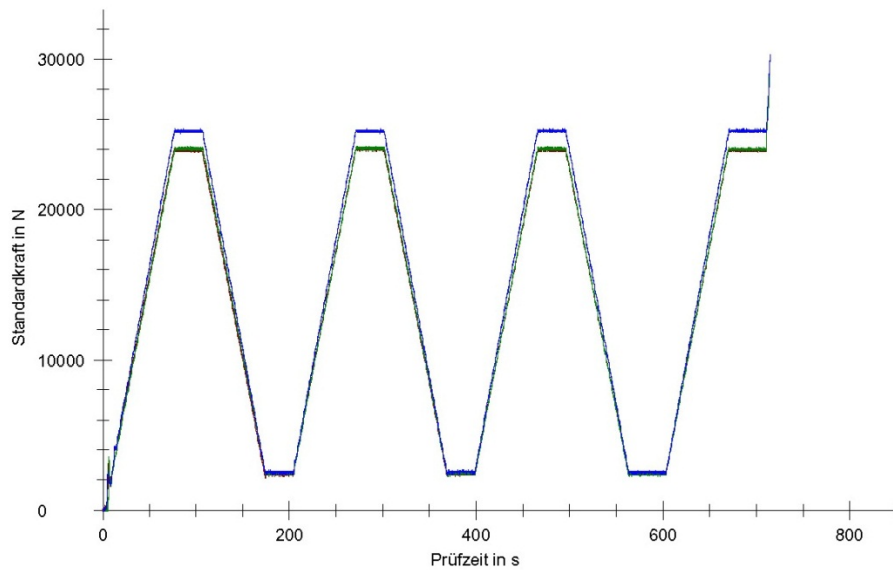
Seriengrafik:**Statistik:**

n = 5	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
\bar{x}	3	1600	40	40	45,68	73087,57
s	1,581	0,000	0,000	0,000	2,92	4667,71
v	52,70	0,00	0,00	0,00	6,39	6,39

Ergebnisse:

Nr	F _{max} kN	σ _m N/mm ²	F _b N/mm ²	A mm ²	EMod N/mm ²	σ _u N/mm ²	ε _u mm	σ _o N/mm ²	ε _o mm
3	28,82	18,02	-	1600	21757,43	1,52	-0,00	14,98	0,05
4	28,91	18,01	-	1606	25588,58	1,49	0,01	14,96	0,05
5	30,34	18,02	-	1684	22147,13	1,50	0,01	14,99	0,06

Prüfgeschwindigkeit 0,7 N/mm²s

Seriengrafik:**Statistik:**

Serie	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	EMod N/mm ²	σ _u N/mm ²	ε _u mm	σ _o N/mm ²
n = 3								
\bar{x}	4	1630	40,03	40,71	23164,38	1,51	0,00	14,98
s	1	46,93	0,02517	1,149	2108,44	0,02	0,00	0,01
v	25,00	2,88	0,06	2,82	9,10	1,06	-	0,10

Serie	ε _o mm	F _{max} kN	σ _m N/mm ²	F _b N/mm ²	ε _b mm	σ _{unten} N/mm ²	σ _{oben} N/mm ²	S _m mm	s bei σ _o mm	s bei σ _u mm	s/ε
n = 3											
\bar{x}	0,05	29,36	18,01	-	-	1,50	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00
s	0,01	0,85	0,01	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
v	10,16	2,90	0,03	-	-	0,00	0,00	-	-	-	-

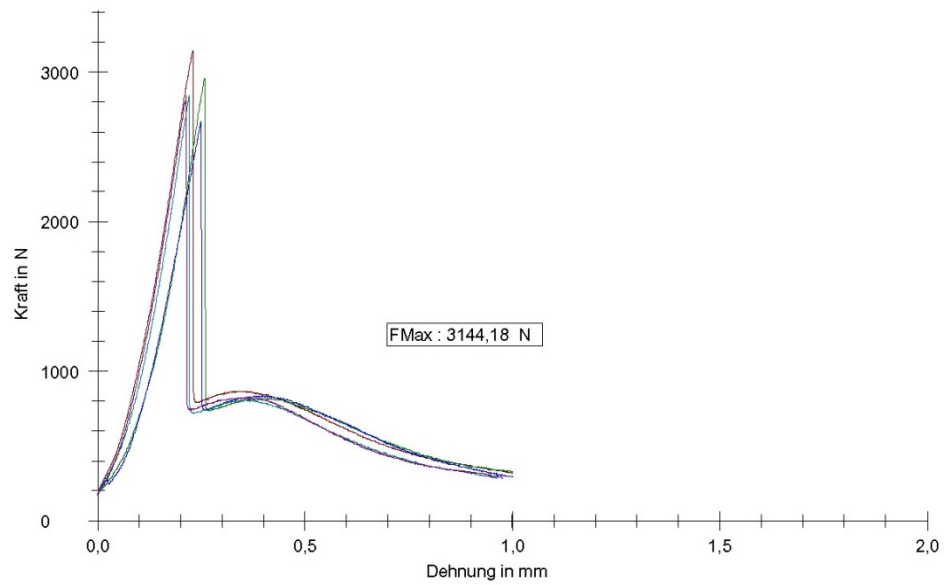
Serie	Emod1 N/mm ²	Emod2 N/mm ²	Emods N/mm ²	μ	ρ g/mm ³
n = 3					
\bar{x}	23164,38	0,00	0,00	0,00	0,00
s	2108,44	0,00	0,00	0,00	0,00
v	9,10	-	-	-	2,83

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
1	1	1650	40,08	41,17	7,13	3144,18	13.01.2014	12:19:59
2	2	1756	40,1	43,8	6,30	2956,17	13.01.2014	12:26:21
3	3	1685	39,98	42,14	5,95	2673,27	13.01.2014	12:40:37
4	4	1689	40,07	42,16	6,30	2843,37	13.01.2014	12:47:52
5	5	1691	40,03	42,25	6,30	2845,16	13.01.2014	12:55:06

Prüfgeschwindigkeit : 0,2 mm/min

Seriengrafik:



Statistik:

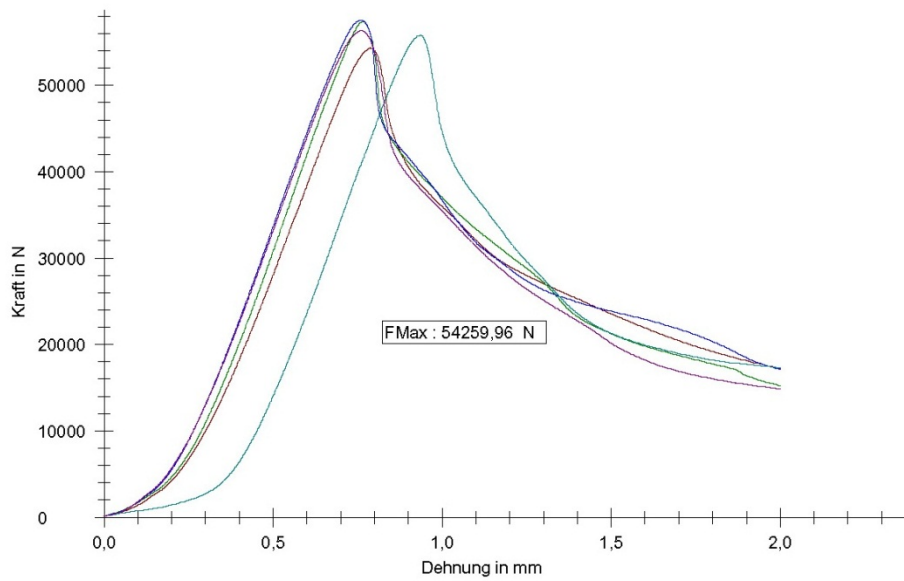
n = 5	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
\bar{x}	3	1694	40,05	42,3	6,40	2892,43
s	1,581	38,51	0,04764	0,9453	0,44	173,29
v	52,70	2,27	0,12	2,23	6,83	5,99

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
1	1	1600	40	40	33,91	54259,96	13.01.2014	15:43:41
2	2	1600	40	40	35,85	57357,14	13.01.2014	15:48:08
3	3	1600	40	40	35,94	57507,70	13.01.2014	15:54:00
4	4	1600	40	40	34,85	55754,78	13.01.2014	16:07:48
5	5	1600	40	40	35,17	56278,15	13.01.2014	16:14:44

Prüfgeschwindigkeit : 0,5 mm/min

Seriengrafik:



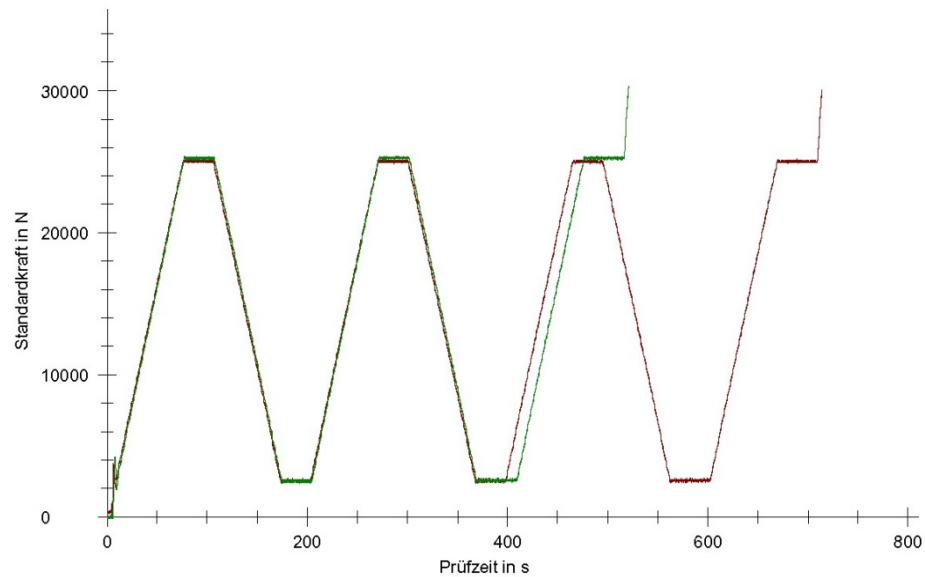
Statistik:

n = 5	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
\bar{x}	3	1600	40	40	35,14	56231,55
s	1,581	0,000	0,000	0,000	0,83	1324,03
v	52,70	0,00	0,00	0,00	2,35	2,35

Ergebnisse:

Nr	F _{max} kN	σ _m N/mm ²	F _b N/mm ²	A mm ²	EMod N/mm ²	σ _u N/mm ²	ε _u mm	σ _o N/mm ²	ε _o mm
1	30,05	18,01	-	1668	23783,00	1,54	0,00	14,99	0,05
2	30,34	18,01	-	1684	24826,05	1,52	0,01	14,99	0,05

:

Prüfgeschwindigkeit 0,7 N/mm²s**Seriengrafik:****Statistik:**

Serie n = 2	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	EMod N/mm ²	σ _u N/mm ²	ε _u mm	σ _o N/mm ²
\bar{x}	1,5	1676	39,96	41,95	24304,53	1,53	0,01	14,99
s	0,7071	11,39	0,04243	0,2404	737,55	0,01	0,00	0,00
v	47,14	0,68	0,11	0,57	3,03	0,54	30,30	0,00

Serie n = 2	ε _o mm	F _{max} kN	σ _m N/mm ²	F _b N/mm ²	ε _b mm	σ _{unten} N/mm ²	σ _{oben} N/mm ²	s _m mm	s bei σ _o mm	s bei σ _u mm	s/c
\bar{x}	0,05	30,19	18,01	-	-	1,50	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00
s	0,00	0,20	0,00	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
v	0,92	0,67	0,01	-	-	0,00	0,00	-	-	-	-

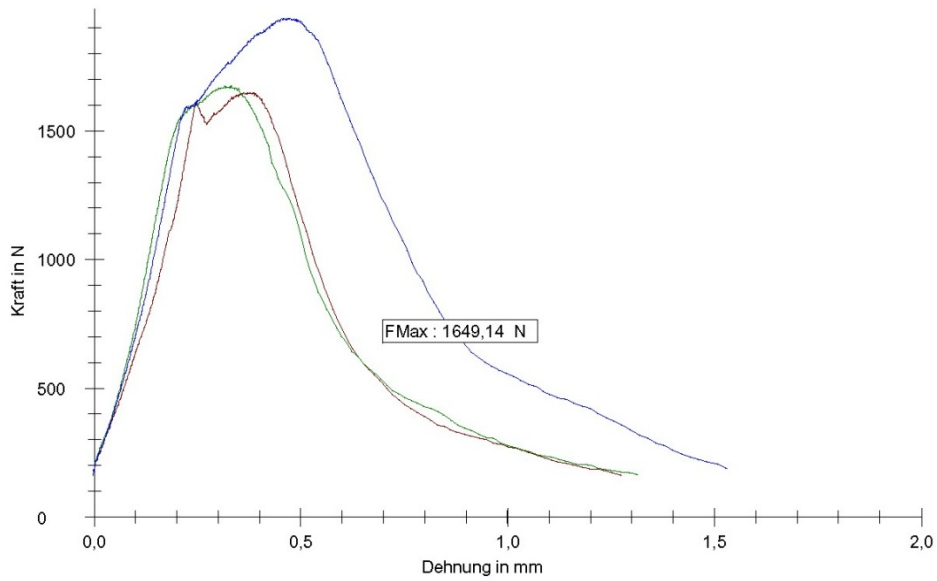
Serie n = 2	Emod1 N/mm ²	Emod2 N/mm ²	Emods N/mm ²	μ	ρ g/mm ³
\bar{x}	24304,53	0,00	0,00	0,00	0,00
s	737,55	0,00	0,00	0,00	0,00
v	3,03	-	-	-	0,68

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
13	13	1600	40	40	3,87	1649,14	30.04.2014	10:18:15
14	14	1600	40	40	3,93	1676,03	30.04.2014	10:21:03
15	15	1600	40	40	4,54	1937,74	30.04.2014	10:23:15

Prüfgeschwindigkeit : 50 N/s

Seriengrafik:



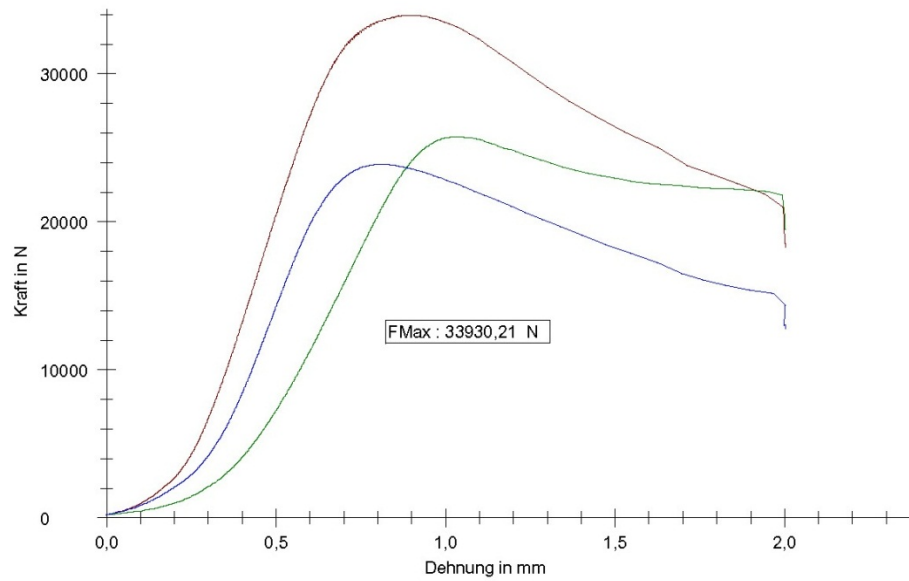
Statistik:

n = 3	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
\bar{x}	14	1600	40	40	4,11	1754,31
s	1	0,000	0,000	0,000	0,37	159,43
v	7,14	0,00	0,00	0,00	9,09	9,09

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
1	1	1600	40	40	21,21	33930,21	30.04.2014	11:19:38
2	2	1600	40	40	16,08	25727,30	30.04.2014	11:20:15
3	3	1600	40	40	14,91	23863,00	30.04.2014	11:20:55

Prüfgeschwindigkeit : 1 N/mm²s

Seriengrafik:**Statistik:**

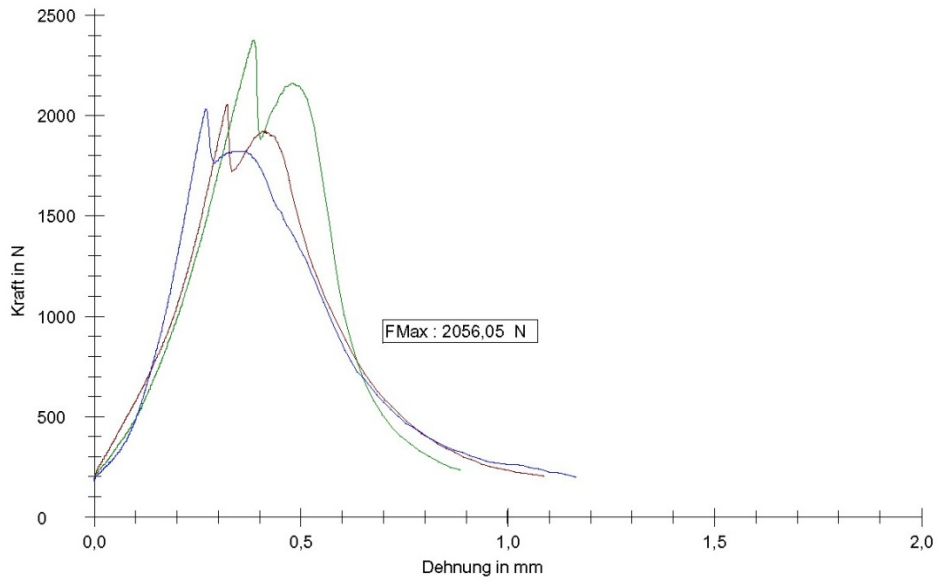
n = 3	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
\bar{x}	2	1600	40	40	17,40	27840,17
s	1	0,000	0,000	0,000	3,35	5355,87
v	50,00	0,00	0,00	0,00	19,24	19,24

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
4	4	1600	40	40	4,82	2056,05	30.04.2014	09:18:21
5	5	1600	40	40	5,57	2376,92	30.04.2014	09:19:45
6	6	1600	40	40	4,76	2030,96	30.04.2014	09:20:54

Prüfgeschwindigkeit : 50 N/s

Seriengrafik:



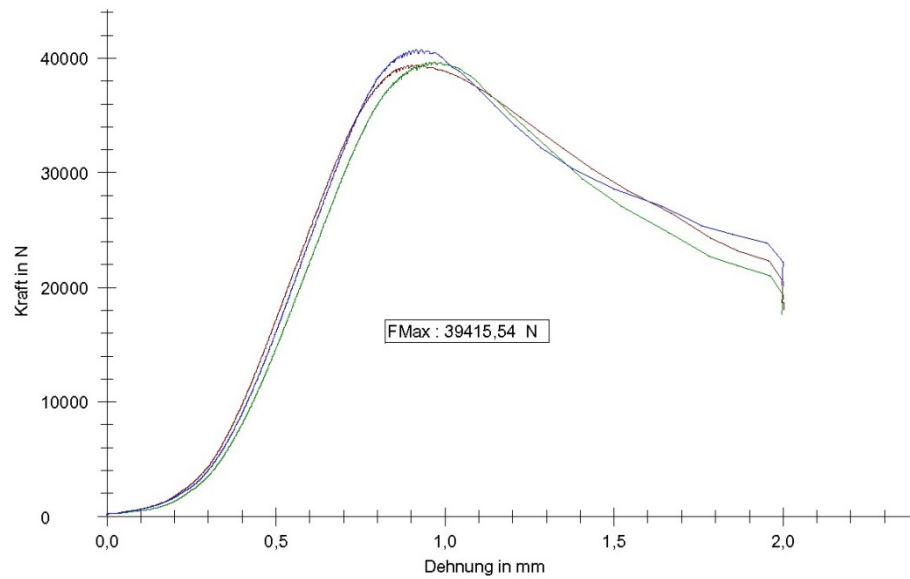
Statistik:

n = 3	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
\bar{x}	5	1600	40	40	5,05	2154,64
s	1	0,000	0,000	0,000	0,45	192,90
v	20,00	0,00	0,00	0,00	8,95	8,95

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
1	1	1600	40	40	24,63	39415,54	30.04.2014	11:08:31
2	2	1600	40	40	24,79	39659,34	30.04.2014	11:10:51
3	3	1600	40	40	25,48	40774,33	30.04.2014	11:11:55

Prüfgeschwindigkeit : 1 N/mm²s

Seriengrafik:**Statistik:**

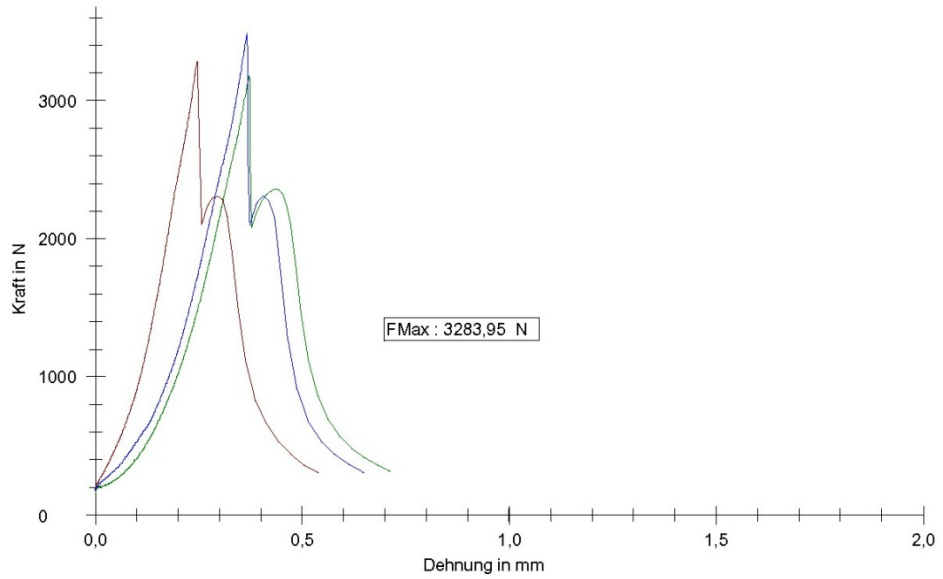
n = 3	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
x	2	1600	40	40	24,97	39949,74
s	1	0,000	0,000	0,000	0,45	724,45
v	50,00	0,00	0,00	0,00	1,81	1,81

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
4	4	1600	40	40	7,70	3283,95	30.04.2014	09:31:39
5	5	1600	40	40	7,45	3179,98	30.04.2014	09:34:04
6	6	1600	40	40	8,18	3490,09	30.04.2014	09:35:56

Prüfgeschwindigkeit : 50 N/s

Seriengrafik:



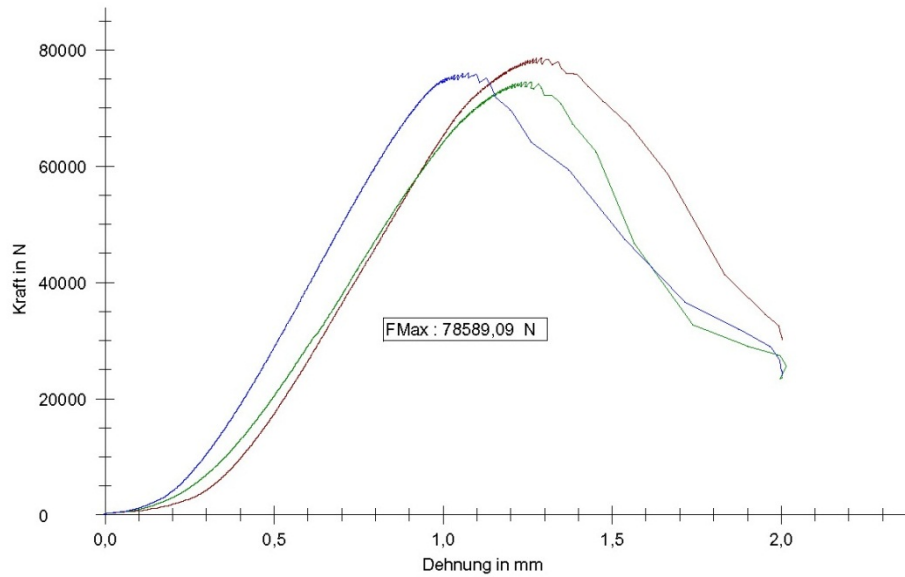
Statistik:

n = 3	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
\bar{x}	5	1600	40	40	7,78	3318,00
s	1	0,000	0,000	0,000	0,37	157,84
v	20,00	0,00	0,00	0,00	4,76	4,76

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
7	7	1600	40	40	49,12	78589,09	30.04.2014	11:47:06
8	8	1600	40	40	46,56	74496,59	30.04.2014	11:48:32
9	9	1600	40	40	47,53	76040,02	30.04.2014	11:49:46

Prüfgeschwindigkeit : 1 N/mm²s

Seriengrafik:**Statistik:**

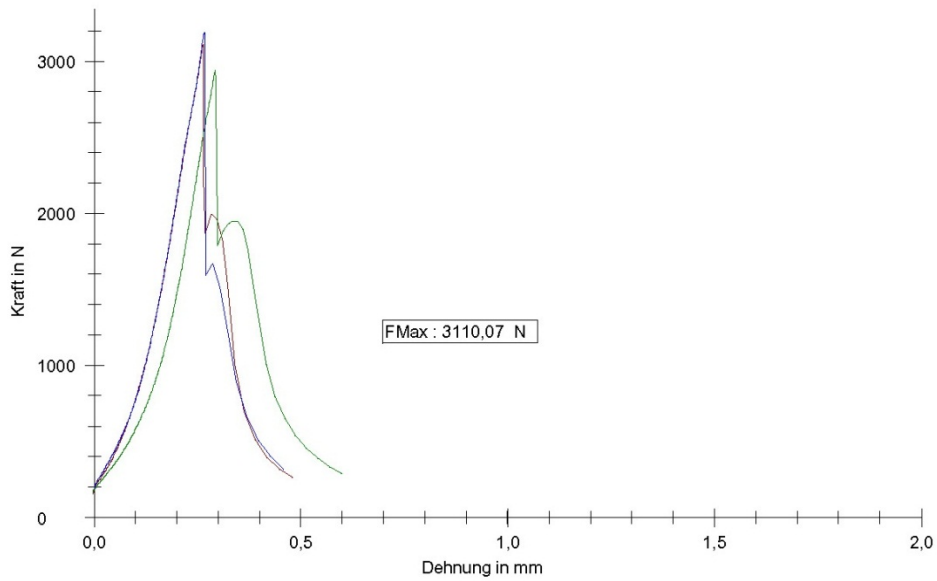
n = 3	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
x	8	1600	40	40	47,73	76375,23
s	1	0,000	0,000	0,000	1,29	2066,74
v	12,50	0,00	0,00	0,00	2,71	2,71

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
1	1	1600	40	40	7,29	3110,07	30.04.2014	08:49:09
2	2	1600	40	40	6,89	2941,57	30.04.2014	08:52:52
3	3	1600	40	40	7,48	3192,53	30.04.2014	08:54:25

Prüfgeschwindigkeit : 50 N/s

Seriengrafik:



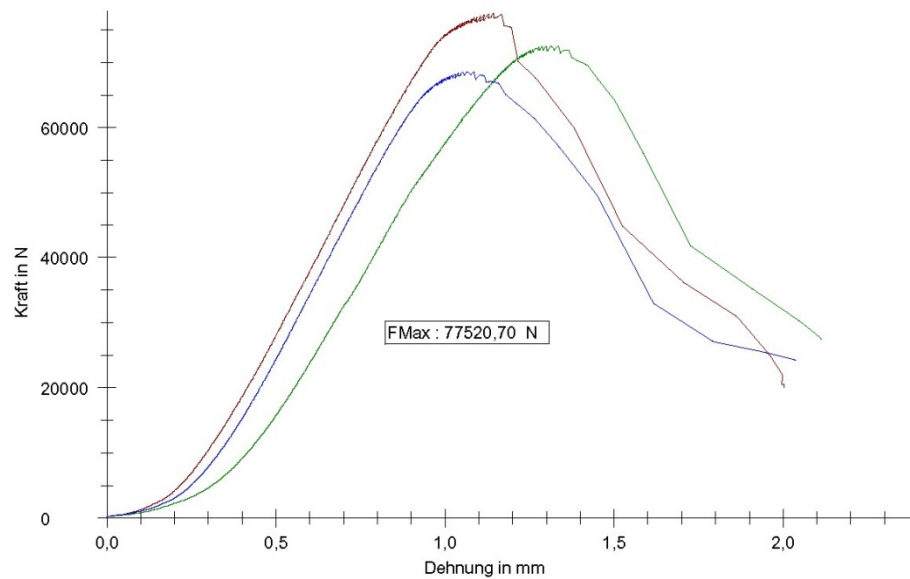
Statistik:

n = 3	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
x	2	1600	40	40	7,22	3081,39
s	1	0,000	0,000	0,000	0,30	127,91
v	50,00	0,00	0,00	0,00	4,15	4,15

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
4	4	1600	40	40	48,45	77520,70	30.04.2014	11:13:45
5	5	1600	40	40	45,35	72564,18	30.04.2014	11:14:50
6	6	1600	40	40	42,88	68602,55	30.04.2014	11:15:55

Prüfgeschwindigkeit : 1 N/mm²s

Seriengrafik:**Statistik:**

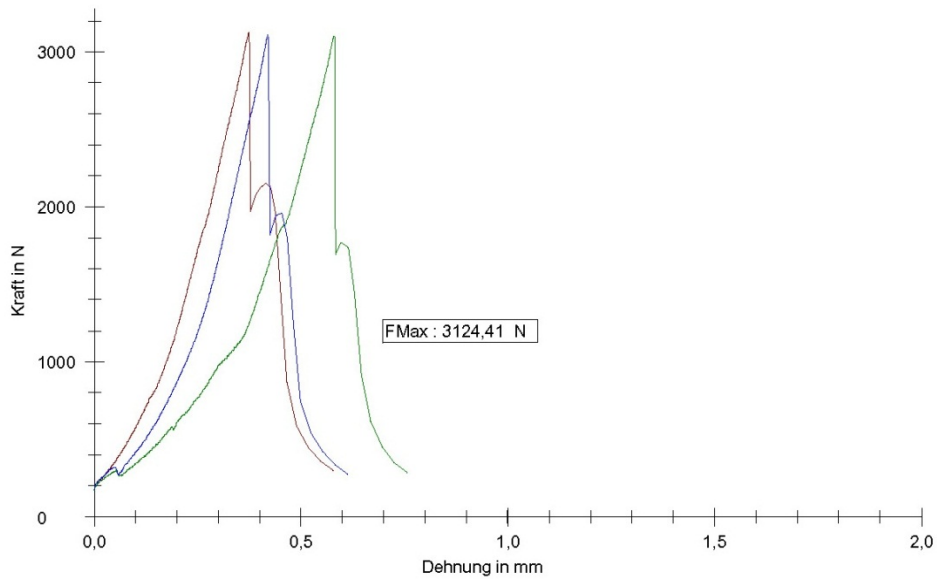
n = 3	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
x	5	1600	40	40	45,56	72895,81
s	1	0,000	0,000	0,000	2,79	4468,32
v	20,00	0,00	0,00	0,00	6,13	6,13

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
10	10	1600	40	40	7,32	3124,41	30.04.2014	09:47:25
11	11	1600	40	40	7,26	3099,31	30.04.2014	09:49:32
12	12	1600	40	40	7,29	3110,07	30.04.2014	09:51:50

Prüfgeschwindigkeit : 50 N/s

Seriengrafik:



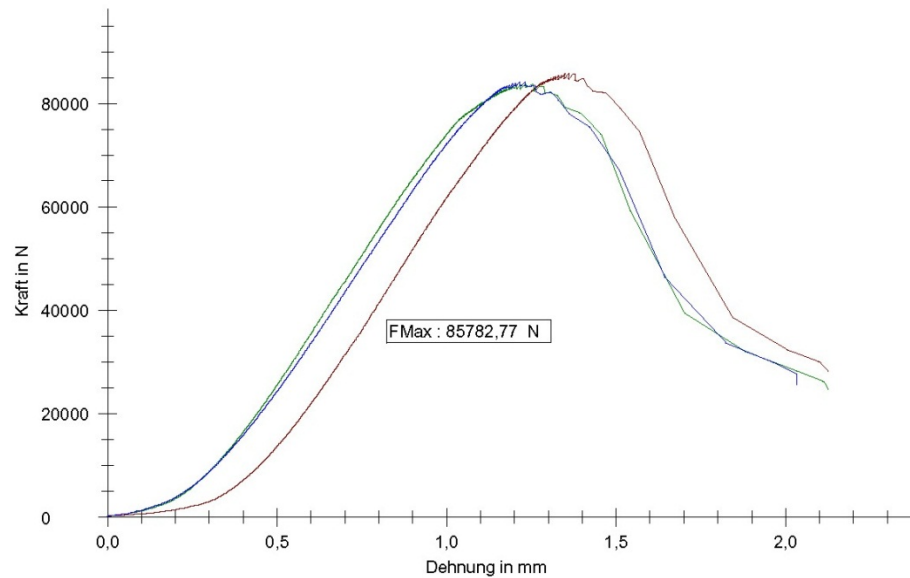
Statistik:

n = 3	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
\bar{x}	11	1600	40	40	7,29	3111,26
s	1	0,000	0,000	0,000	0,03	12,59
v	9,09	0,00	0,00	0,00	0,40	0,40

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
4	4	1600	40	40	53,61	85782,77	30.04.2014	11:37:17
5	5	1600	40	40	52,38	83809,12	30.04.2014	11:38:40
6	6	1600	40	40	52,60	84158,67	30.04.2014	11:40:07

Prüfgeschwindigkeit : 1 N/mm²s

Seriengrafik:**Statistik:**

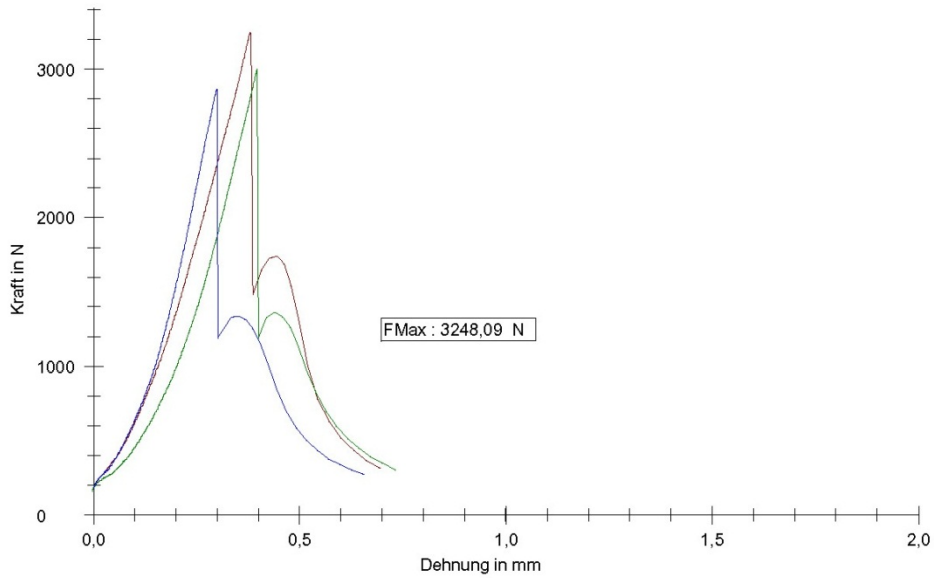
n = 3	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
\bar{x}	5	1600	40	40	52,86	84583,52
s	1	0,000	0,000	0,000	0,66	1053,18
v	20,00	0,00	0,00	0,00	1,25	1,25

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
4	4	1600	40	40	7,61	3248,09	30.04.2014	08:58:28
5	5	1600	40	40	7,03	3000,72	30.04.2014	09:01:35
6	6	1600	40	40	6,71	2862,70	30.04.2014	09:04:40

Prüfgeschwindigkeit : 50 N/s

Seriengrafik:



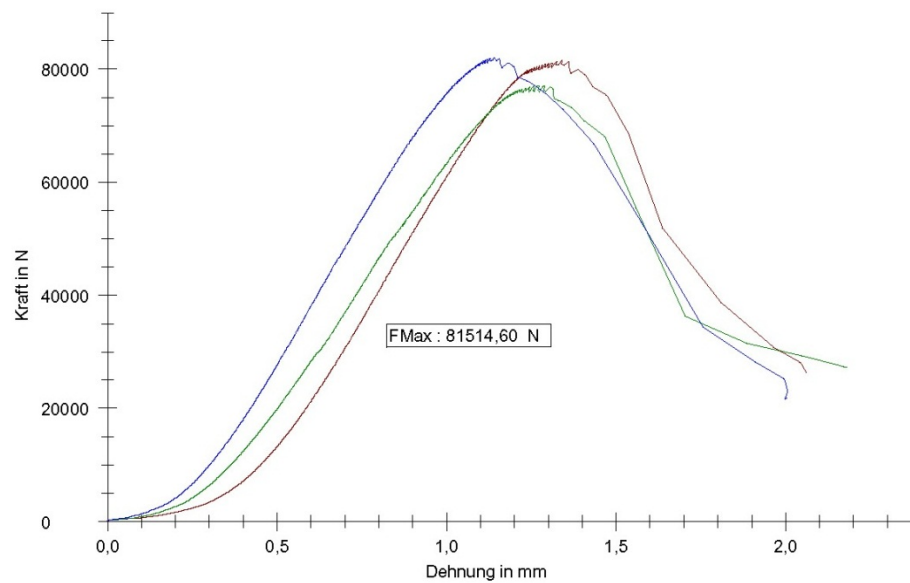
Statistik:

n = 3	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
x	5	1600	40	40	7,12	3037,17
s	1	0,000	0,000	0,000	0,46	195,27
v	20,00	0,00	0,00	0,00	6,43	6,43

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
4	4	1600	40	40	50,95	81514,60	30.04.2014	11:33:01
5	5	1600	40	40	48,18	77094,06	30.04.2014	11:34:09
6	6	1600	40	40	51,26	82020,11	30.04.2014	11:35:22

Prüfgeschwindigkeit : 1 N/mm²s

Seriengrafik:**Statistik:**

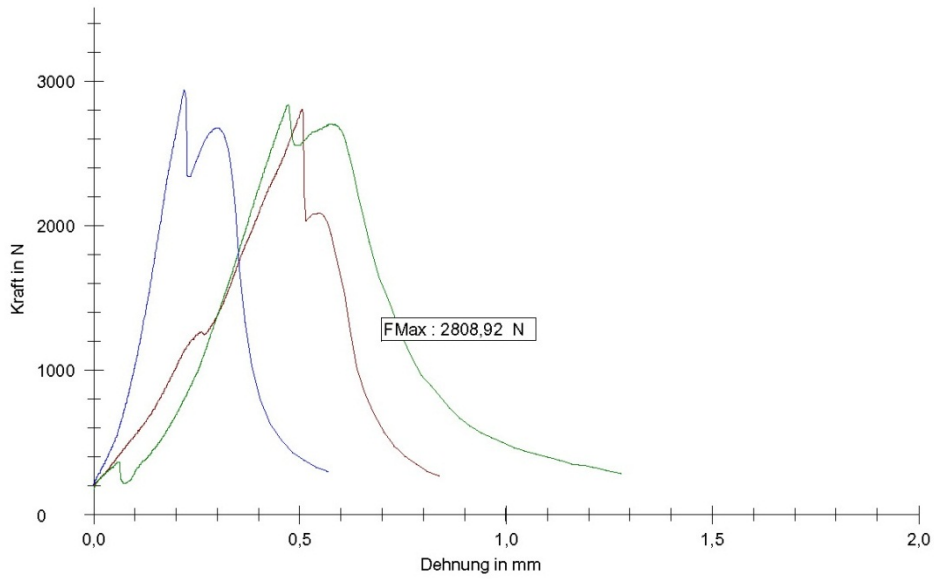
n = 3	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
x	5	1600	40	40	50,13	80209,59
s	1	0,000	0,000	0,000	1,69	2709,94
v	20,00	0,00	0,00	0,00	3,38	3,38

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
1	1	1600	40	40	6,58	2808,92	30.04.2014	09:09:06
2	2	1600	40	40	6,66	2841,19	30.04.2014	09:11:24
3	3	1600	40	40	6,89	2939,78	30.04.2014	09:13:28

Prüfgeschwindigkeit : 50 N/s

Seriengrafik:



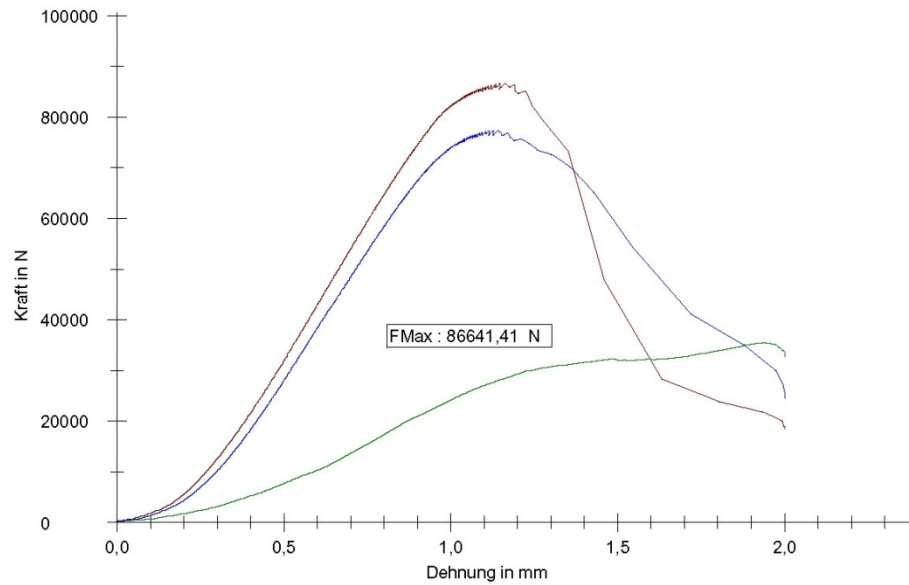
Statistik:

n = 3	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
x	2	1600	40	40	6,71	2863,29
s	1	0,000	0,000	0,000	0,16	68,17
v	50,00	0,00	0,00	0,00	2,38	2,38

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
4	4	1600	40	40	54,15	86641,41	30.04.2014	11:04:00
5	5	1600	40	40	22,14	35421,64	30.04.2014	11:05:10
6	6	1600	40	40	48,36	77370,13	30.04.2014	11:06:31

Prüfgeschwindigkeit : 1 N/mm²s

Seriengrafik:**Statistik:**

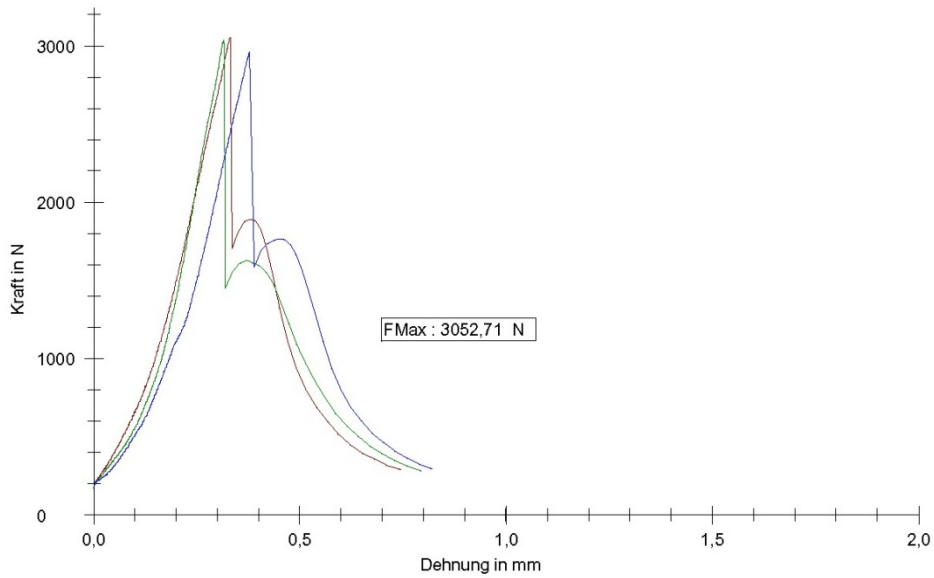
n = 3	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
x	5	1600	40	40	41,55	66477,73
s	1	0,000	0,000	0,000	17,06	27291,93
v	20,00	0,00	0,00	0,00	41,05	41,05

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
4	4	1600	40	40	7,15	3052,71	30.04.2014	10:45:21
5	5	1600	40	40	7,13	3040,16	30.04.2014	10:47:19
6	6	1600	40	40	6,94	2963,08	30.04.2014	10:49:29

Prüfgeschwindigkeit : 50 N/s

Seriengrafik:



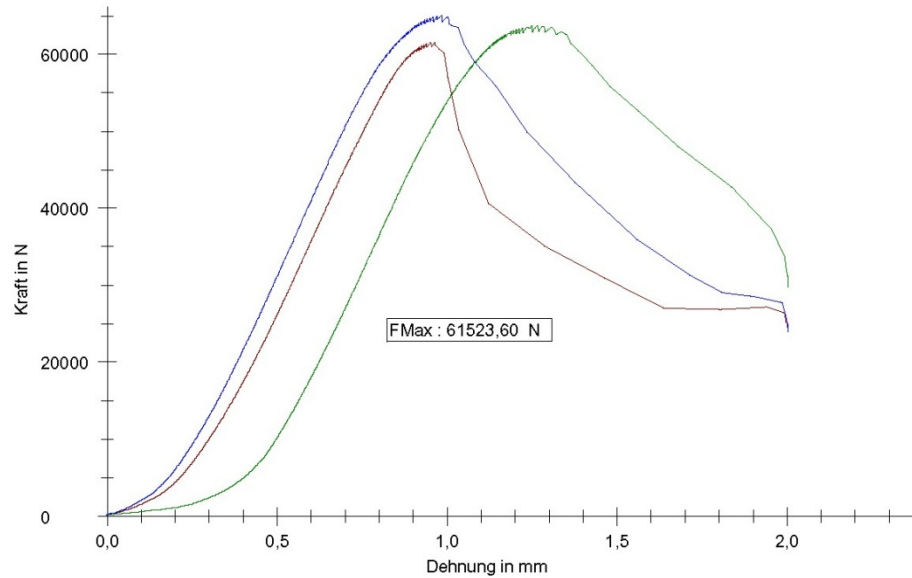
Statistik:

n = 3	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
x	5	1600	40	40	7,07	3018,65
s	1	0,000	0,000	0,000	0,11	48,53
v	20,00	0,00	0,00	0,00	1,61	1,61

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
7	7	1600	40	40	38,45	61523,60	30.04.2014	11:28:19
8	8	1600	40	40	39,80	63685,46	30.04.2014	11:29:17
9	9	1600	40	40	40,66	65062,18	30.04.2014	11:30:31

Prüfgeschwindigkeit : 1 N/mm²s

Seriengrafik:**Statistik:**

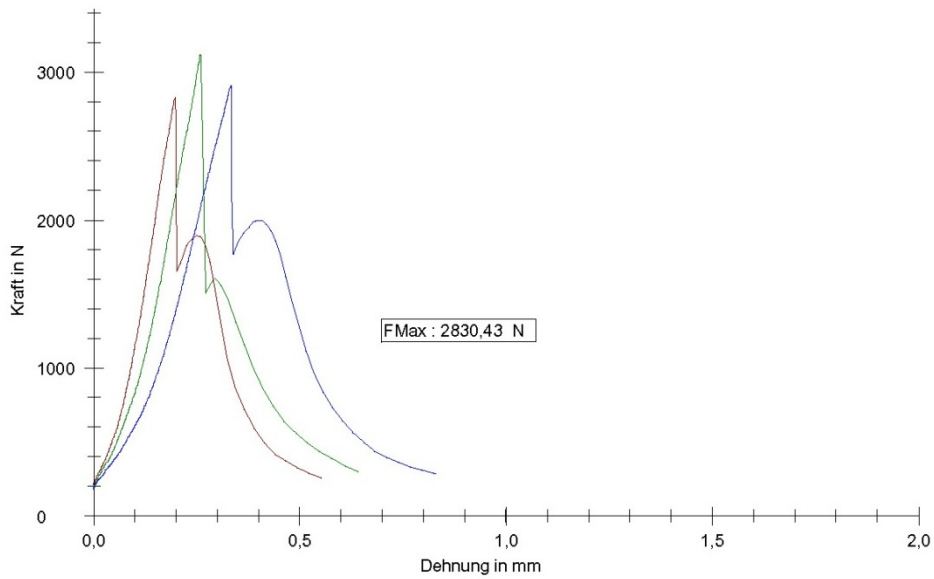
n = 3	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
\bar{x}	8	1600	40	40	39,64	63423,75
s	1	0,000	0,000	0,000	1,11	1783,75
v	12,50	0,00	0,00	0,00	2,81	2,81

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
7	7	1600	40	40	6,63	2830,43	30.04.2014	09:39:40
8	8	1600	40	40	7,32	3122,62	30.04.2014	09:42:04
9	9	1600	40	40	6,82	2909,30	30.04.2014	09:44:40

Prüfgeschwindigkeit : 50 N/s

Seriengrafik:



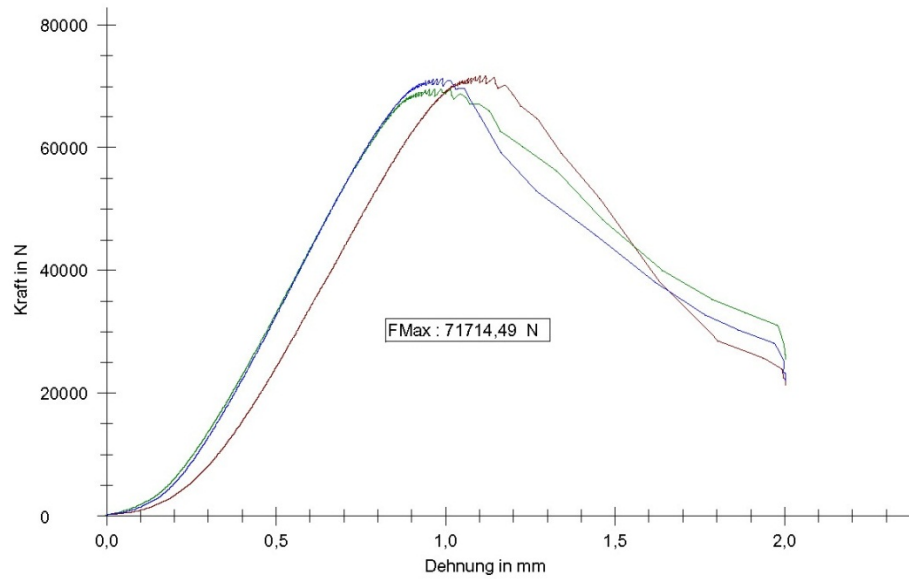
Statistik:

n = 3	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
\bar{x}	8	1600	40	40	6,92	2954,12
s	1	0,000	0,000	0,000	0,35	151,16
v	12,50	0,00	0,00	0,00	5,12	5,12

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
4	4	1600	40	40	44,82	71714,49	30.04.2014	11:42:03
5	5	1600	40	40	43,49	69590,27	30.04.2014	11:43:11
6	6	1600	40	40	44,55	71284,27	30.04.2014	11:44:38

Prüfgeschwindigkeit : 1 N/mm²s

Seriengrafik:**Statistik:**

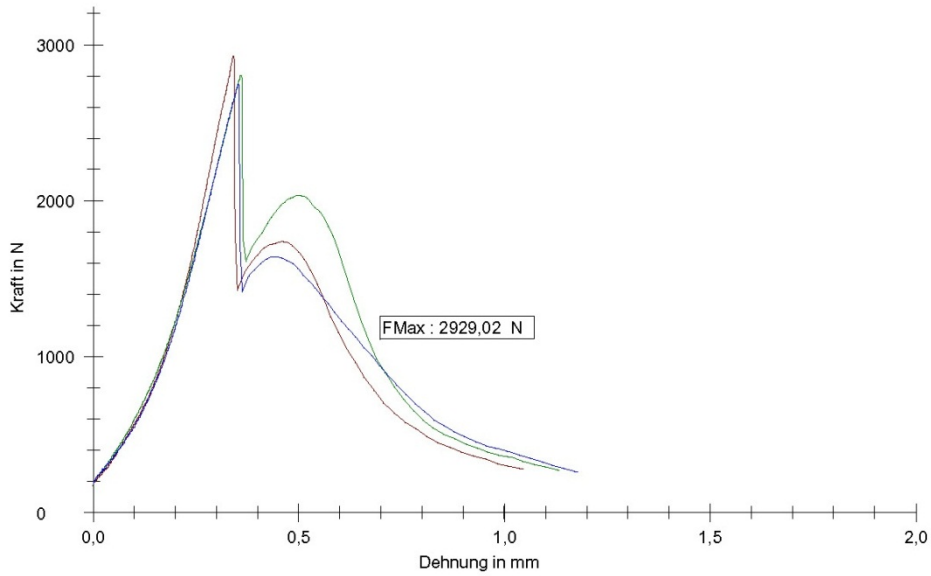
n = 3	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
\bar{x}	5	1600	40	40	44,29	70863,01
s	1	0,000	0,000	0,000	0,70	1123,02
v	20,00	0,00	0,00	0,00	1,58	1,58

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
1	1	1600	40	40	6,86	2929,02	30.04.2014	10:28:06
2	2	1600	40	40	6,58	2805,34	30.04.2014	10:30:38
3	3	1600	40	40	6,44	2749,77	30.04.2014	10:36:26

Prüfgeschwindigkeit : 50 N/s

Seriengrafik:



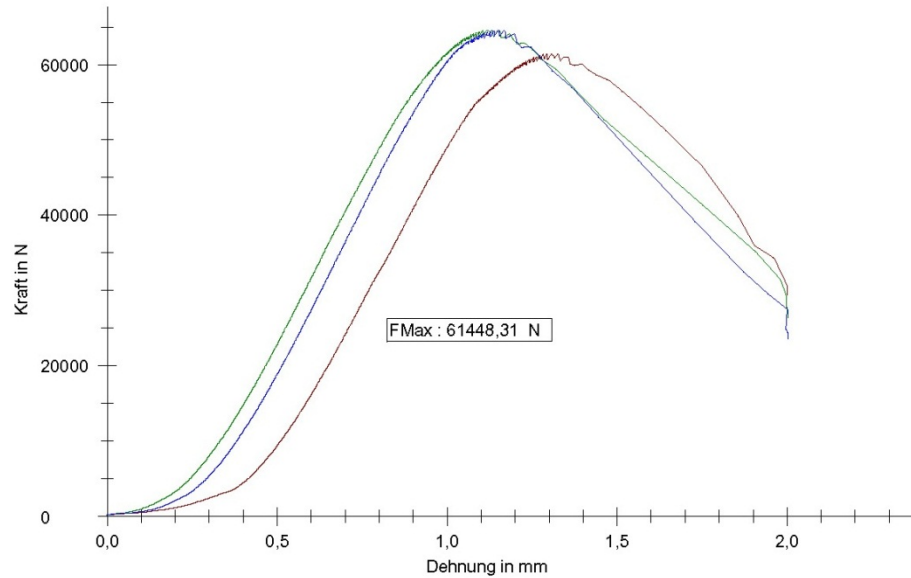
Statistik:

n = 3	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
x	2	1600	40	40	6,63	2828,04
s	1	0,000	0,000	0,000	0,22	91,76
v	50,00	0,00	0,00	0,00	3,24	3,24

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
1	1	1600	40	40	38,41	61448,31	30.04.2014	10:56:53
2	2	1600	40	40	40,38	64608,65	30.04.2014	10:59:17
3	3	1600	40	40	40,32	64508,27	30.04.2014	11:00:33

Prüfgeschwindigkeit : 1 N/mm²s

Seriengrafik:**Statistik:**

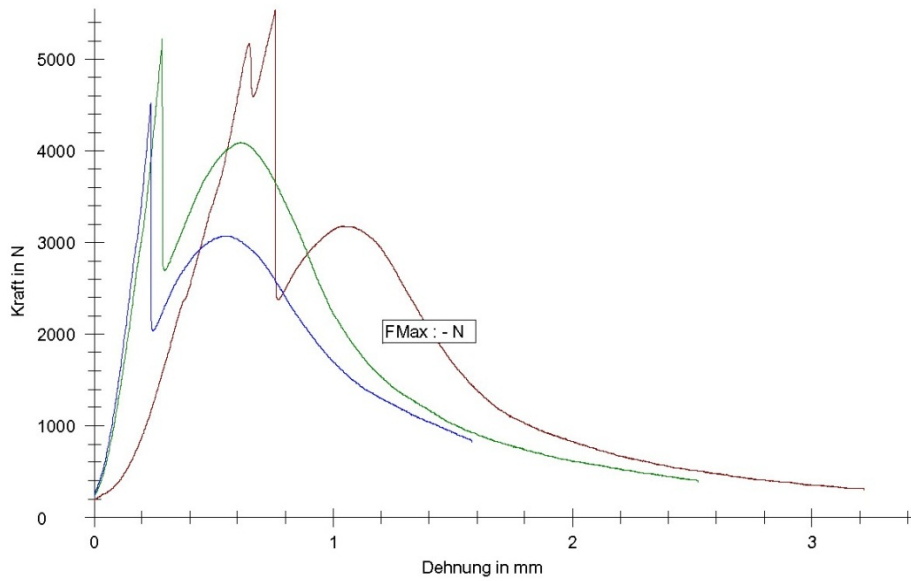
n = 3	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
\bar{x}	2	1600	40	40	39,70	63521,74
s	1	0,000	0,000	0,000	1,12	1796,35
v	50,00	0,00	0,00	0,00	2,83	2,83

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
2	2	1600	40	40	12,99	5541,44	22.05.2014	11:37:07
3	3	1600	40	40	12,23	5217,02	22.05.2014	11:48:37
4	4	1600	40	40	10,60	4523,27	22.05.2014	11:56:48

Prüfgeschwindigkeit : 0,25 mm/min

Seriengrafik:



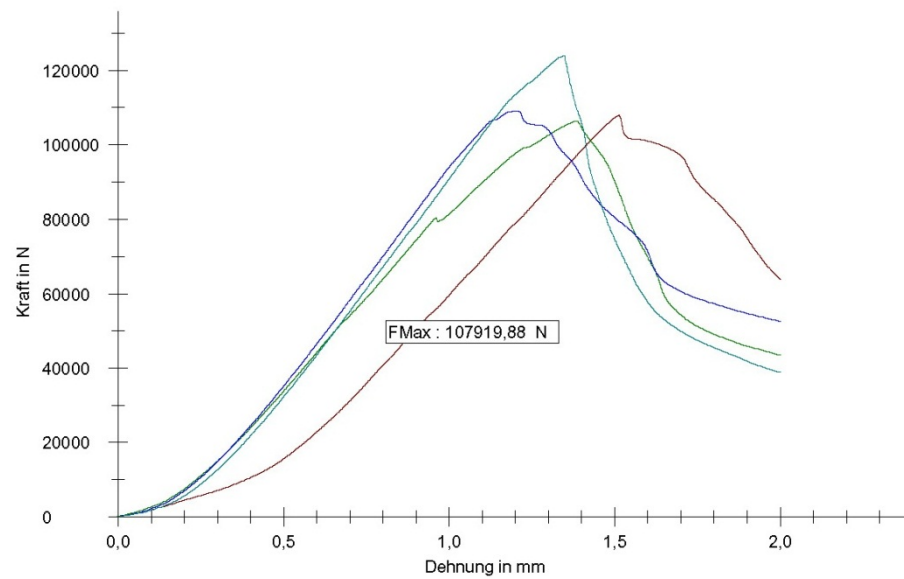
Statistik:

n = 3	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
x	3	1600	40	40	11,94	5093,91
s	1	0,000	0,000	0,000	1,22	520,13
v	33,33	0,00	0,00	0,00	10,21	10,21

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
1	1	1600	40	40	67,45	107919,88	22.05.2014	12:11:17
2	2	1600	40	40	66,45	106322,45	22.05.2014	12:14:03
3	3	1600	40	40	68,21	109139,00	22.05.2014	12:16:30
4	4	1600	40	40	77,44	123910,20	22.05.2014	12:18:48

Prüfgeschwindigkeit : 1 mm/min

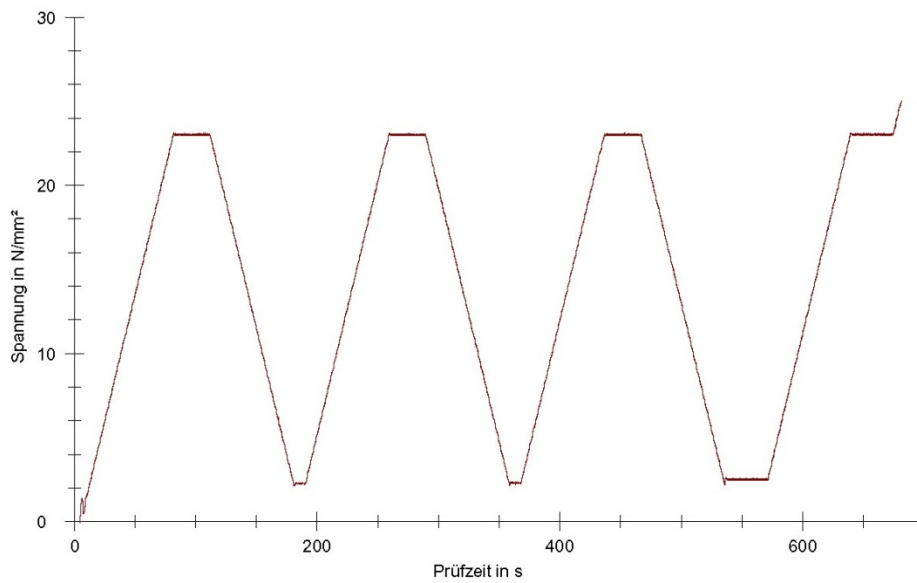
Seriengrafik:**Statistik:**

n = 4	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
\bar{x}	2,5	1600	40	40	69,89	111822,88
s	1,291	0,000	0,000	0,000	5,09	8140,32
v	51,64	0,00	0,00	0,00	7,28	7,28

Ergebnisse:

Nr	F _{max} kN	σ _m N/mm ²	F _b N/mm ²	A mm ²	EMod N/mm ²	σ _u N/mm ²	ε _u mm	σ _o N/mm ²	ε _o mm
1	40,01	25,01	-	1600	31112,09	2,49	0,01	23,01	0,06

:

Prüfgeschwindigkeit 0,3 N/mm²s**Seriengrafik:****Statistik:**

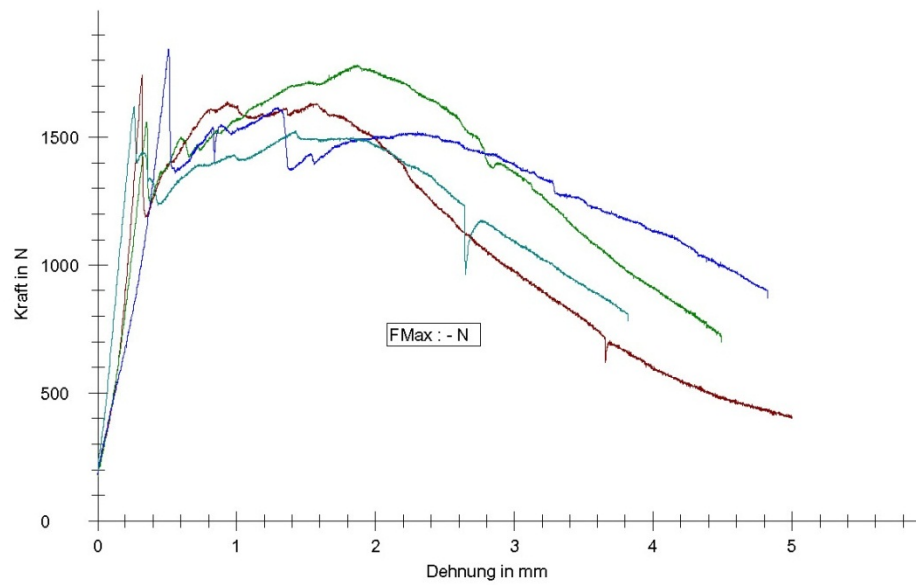
Serie	Probennummer	EMod N/mm ²
n = 1		
x	1	31112,09
s	-	-
v	-	-

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
5	5	1600	40	40	4,08	1742,30	22.05.2014	10:14:48
6	6	1600	40	40	4,18	1783,60	22.05.2014	10:42:29
7	7	1600	40	40	4,32	1844,66	22.05.2014	11:03:06
8	8	1600	40	40	1,44	614,91		
9	9	1600	40	40	3,79	1618,83	22.05.2014	11:21:34

Prüfgeschwindigkeit : 0,25 mm/min

Seriengrafik:



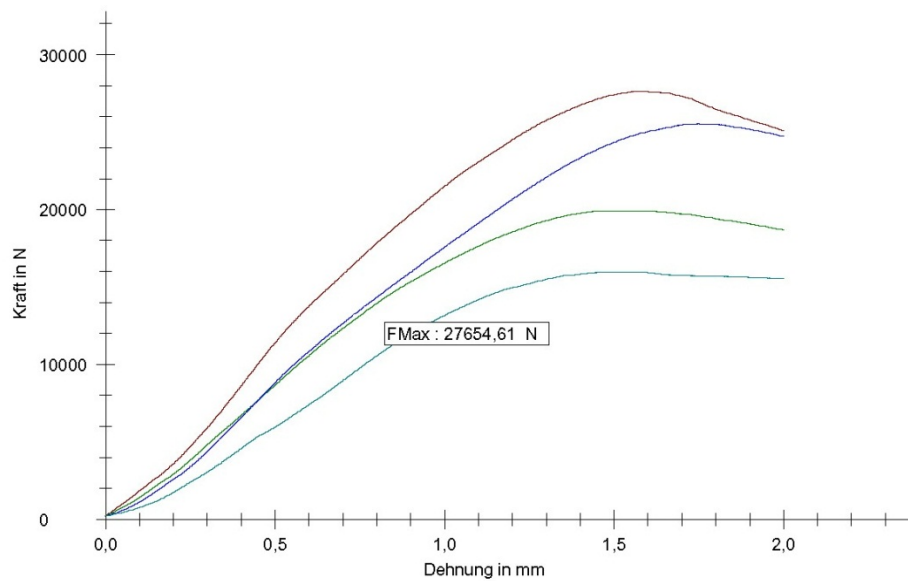
Statistik:

n = 4	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
\bar{x}	6,75	1600	40	40	4,10	1747,35
s	1,708	0,000	0,000	0,000	0,22	95,44
v	25,30	0,00	0,00	0,00	5,46	5,46

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
1	1	1600	40	40	17,28	27654,61	22.05.2014	12:22:40
2	2	1600	40	40	12,46	19936,42	22.05.2014	12:25:38
3	3	1600	40	40	15,97	25553,45	22.05.2014	12:28:47
5	5	1600	40	40	9,98	15970,68	22.05.2014	12:38:29

Prüfgeschwindigkeit : 1 mm/min

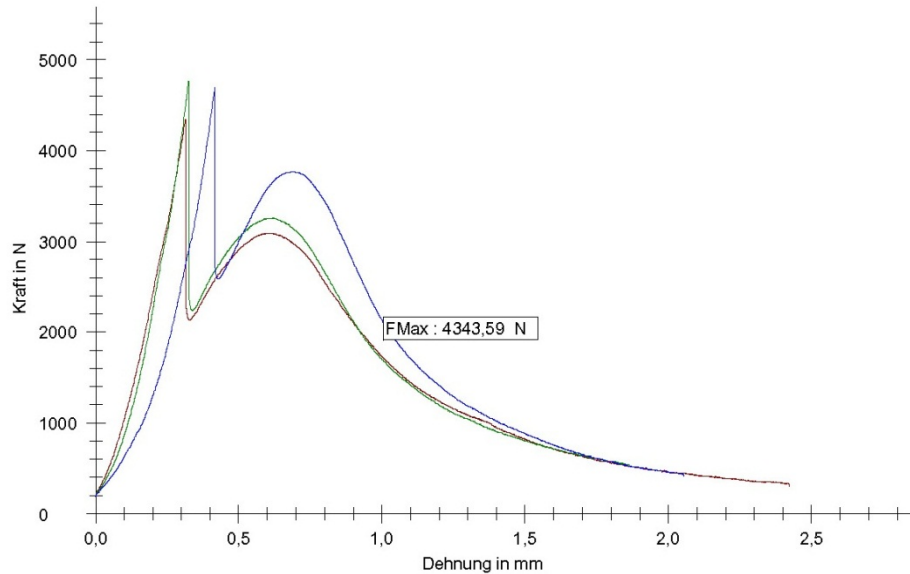
Seriengrafik:**Statistik:**

n = 4	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
\bar{x}	2,75	1600	40	40	13,92	22278,79
s	1,708	0,000	0,000	0,000	3,32	5319,83
v	62,10	0,00	0,00	0,00	23,88	23,88

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
1	1	1600	40	40	10,18	4343,59	22.05.2014	09:15:07
2	2	1600	40	40	11,16	4761,43	22.05.2014	09:29:45
3	3	1600	40	40	11,01	4699,32	22.05.2014	09:44:43

Prüfgeschwindigkeit : 0,2 mm/min

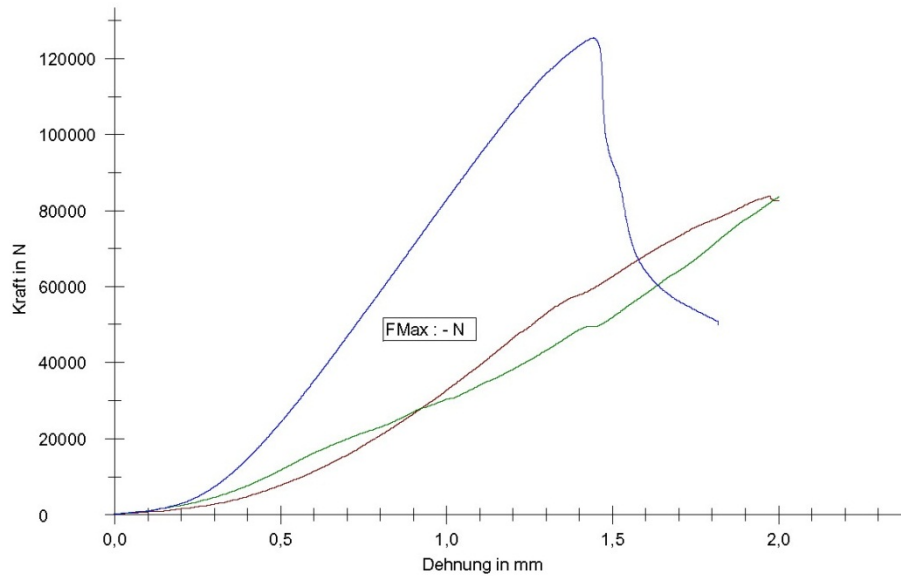
Seriengrafik:**Statistik:**

n = 3	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
\bar{x}	2	1600	40	40	10,78	4601,45
s	1	0,000	0,000	0,000	0,53	225,46
v	50,00	0,00	0,00	0,00	4,90	4,90

Ergebnisse:

Nr	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N	Datum	Uhrzeit
2	2	1600	40	40	52,36	83771,31	23.05.2014	10:28:46
3	3	1600	40	40	52,24	83579,51	23.05.2014	10:37:59
4	4	1600	40	40	78,36	125383,60	23.05.2014	10:42:41

Prüfgeschwindigkeit : 0,5 mm/min

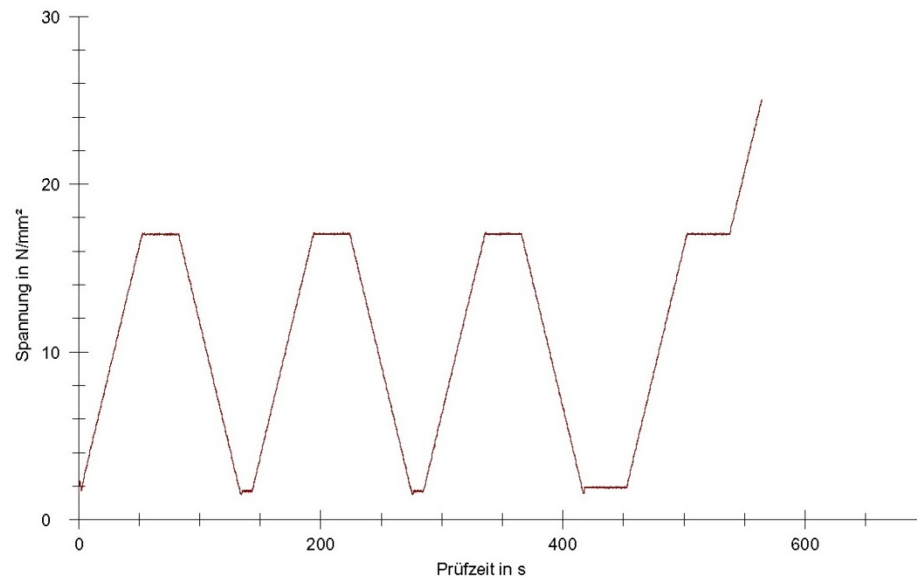
Seriengrafik:**Statistik:**

n = 3	Probennummer	A mm ²	Probendicke a0 mm	Probenbreite b0 mm	σ N/mm ²	FMax N
x	3	1600	40	40	60,99	97578,14
s	1	0,000	0,000	0,000	15,05	24080,43
v	33,33	0,00	0,00	0,00	24,68	24,68

Ergebnisse:

Nr	F _{max} kN	σ _m N/mm ²	F _b N/mm ²	A mm ²	E _{Mod} N/mm ²	σ _u N/mm ²	ε _u mm	σ _o N/mm ²	ε _o mm
2	40,03	25,02	-	1600	20950,61	1,90	0,00	17,00	0,06

Prüfgeschwindigkeit 0,3 N/mm²s

Seriengrafik:**Statistik:**

Serie n = 1	Probennummer	E _{Mod} N/mm ²
x	2	20950,61
s	-	-
v	-	-

11. Literaturverzeichnis

- [1] Achs, Günter et al.: Erdbeben im Wiener Becken, SEISMID Projekt Forschungsbericht, Wien 2011
- [2] Schwegler, Gregor: Verstärken von Mauerwerk mit Faserverbundwerkstoffen in seismisch gefährdeten Zonen, EMPA Bericht 229, 1994
- [3] Flesch, Rainer: Baudynamik, Band 1 Grundlagen, Bauverlag Wiesbaden und Berlin, 1993
- [4] Gangl, Georg: Seismotektonische Untersuchungen am Alpenostrand, Mitteilungen der geologischen Gesellschaft in Wien, 1973
- [5] Achs, Günter; Adam, Christoph: Schnellbewertung der seismischen Schadensanfälligkeit von Wiener Gründerzeithäusern, D-A-CH Tagung für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik, Wien 2013
- [6] Bauer, Christian; Plachy, R.: Kapazitätsausweis statt Energieausweis, D-A-CH Tagung Wien 2013
- [7] Merkblatt über Vorgangsweise und Inhalt der statischen Vorbemessung, Magistratsabteilung 37, Wien April 2006
- [8] Merkblatt für die VerfasserInnen von statischen Vorbemessungen, Magistratsabteilung 37, März 2008
- [9] ONR 24009, Austrian Standards Institut, Wien, 2013
- [10] SIA 2018
- [11] Mann, W; Müller, H: Bruchkriterien für querkraftbeanspruchtes Mauerwerk und ihre Anwendung auf gemauerte Wandscheiben, Die Bautechnik, 1973
- [12] Ganz, Hans Rudolf; Thürlimann, Bruno: Mauerwerksscheiben unter Normalkraft und Schub, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Dissertation 1985
- [13] Mojsilovic, Nebojsa: Zum Tragverhalten von kombiniert beanspruchtem Mauerwerk, Institut für Baustatik und Konstruktion, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Forschungsarbeit, 1995
- [14] Schermer, D. C.: Verhalten von unbewehrtem Mauerwerk unter Erdbebenbeanspruchung, Technische Universität München, 2003

- [15] Schlegel, Roger: Numerische Berechnung von Mauerwerksstrukturen in homogenen und diskreten Modellierungsstrategien, Bauhaus Universität Weimar, Fakultät für Bauingenieurwesen, 2004
- [16] Lu, S: Evaluierung der Erdbebensicherheit von maßgeblichen Mauerwerkshochbauten für das Katastrophenmanagement, Dissertation Wien 2006
- [17] Bauer, Peter; Kern, Erich; Resch, Peter: „und wenn die ganze Erde bebt“, ArchIng, Erläuterung, Wien, 2010
- [18] Bachmann, Hugo: Erdbebensicherung von Bauwerken, Birkhäuser Verlag 1995
- [19] München, Johannes Christian: Hybride Multidirektionaltextilien zur Erdbebenverstärkung von Mauerwerk, KIT Scientific Publishing, Dissertation 2010
- [20] Ertüchtigung von Gebäuden in Erdbebenregionen durch Mauerwerkverstärkung mit Naturfasergewebe. Prof. Dr. Ing. Michael Schlimmer, Fourth International Conference on FRP in Civil Engineering (CICE 2008), Zurich, Switzerland
- [21] Mechtcherine, Viktor; Brüderl, Arnd Eike: Verstärkung von Mauerwerk durch hochduktilen Spritzbeton, Spritzbeton-Tagung 2009
- [22] Lin, Yi Wei; Lawley, Derek; Ingham, Jason M.: Seismic Strengthening of an Unreinforced Masonry Building Using ECC Shotcrete, 8th International Masonry Conference, Dresden 2008
- [23] Wallner, Christian: Erdbebengerechtes Verstärken von Mauerwerk durch Faserverbundwerkstoffe: Experimentelle und numerische Untersuchungen, Universität Karlsruhe 2008
- [24] Urban, M.; Stempniewski, L.: Experimentelle Untersuchungen von Ertüchtigungsmaßnahmen an einem Mauerwerksgebäude mit multiaxialen Fasergelege unter Erdbebenbeanspruchung, KIT, D-A-CH Tagung 2011
- [25] Abdul Karim, Abdul Razak et al.: Assessment and Improvement of Unreinforced Masonry Buildings for Earthquake Resistance, University of Auckland, 2011
- [26] Abdul Karim, Abdul Razak et al.: Commentary to Assessment and Improvement of Unreinforced Masonry Buildings for Earthquake Resistance, University of Auckland, 2011
- [27] Seim, Werner: Verstärkung von Mauerwerkskonstruktionen mit Faserverbundwerkstoffen, in: Faserverbundwerkstoffe, Dehn et al., Bauwerk Verlag Berlin, 2005

- [28] Huster, U; Seim, W.: Mauerwerkskonstruktionen – Bewerten, Instandsetzen und Verstärken, Folge 1 und 2, Mauerwerksbau Aktuell, Bauwerk Verlag Berlin, 2005 und 2006
- [29] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, SIA 266 (Swisscodes)
- [30] Bauer; Kern; Meinhold; Pech; Potucek: Neuerungen bei der Bewertung bestehender Hochbauten und beim Dachgeschoßausbau in Wien, Unterlagen zum Seminar, Wien 2013
- [31] Bauer; Kern: Scheriffs auf die Baustelle, Wien 2013
- [32] Mistler, Michael: Seismisches Verhalten von Mauerwerksbauten, DACH Tagung Köln, 2005
- [33] Mechtcherine, Viktor: Bauen im Bestand - Hochleistungsbetone, Hochduktile Betone mit Kurzfasern, Skriptum TU Dresden, 2013
- [34] Slowik, Volker: Kapillare Schwindrissbildung in Beton, Forschungsbericht zu Ursachen und Auswirkungen sowie zur Vermeidung von Frühschwindrissen, 2010
- [35] Lutze, Dietmar: Handbuch Flugasche im Beton, Grundlagen der Herstellung und Verwendung, Verlag Bau und Technik, 2009
- [36] Harald Müller: Symposium Beherrschung von Rissen im Beton, KIT Karlsruhe 2007
- [37] K. Beyer, T. Wenk: Das Verhalten von Gebäuden mit Stahlbetontragwänden während des Erdbebens Centro-Sur in Chile am 27.2.2010, DACH Mitteilungsblatt, 2010
- [38] Jin Park: Makroelement für unbewehrte Mauerwerkswandscheiben unter Erdbebenbelastung, RWTH Aachen, Dissertation 2012
- [39] Freeman S. A., Nicoletti JP, Tyrell JV. Evaluations of existing buildings for seismic risk – A case study of Puget Sound Naval Shipyard, Bremerton, Washington, Proceedings of the 1st U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Berkeley: EERI, 1975
- [40] M J N Priestley, Performance Based Seismic Design, 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand 2000
- [41] California Seismic Safety Commission, ATC 40, Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, Redwood City, CA 1996
- [42] Alessandro Dazio, Vorlesungsunterlagen Erdbebensicherung I, ETH Zürich 2009
- [43] SIA Dokumentation D0211, Überprüfung bestehender Gebäude gegen Erdbeben, Einführung in das Merkblatt SIA 2018

- [44] Van den Heuvel, D.: Erdbebensicherheit von bestehenden Mauerwerksgebäuden, Berner Fachhochschule, Projektarbeit 2012
- [45] EN 1998-1, Austrian Standards Institute, 2013
- [46] Norda, Hannah: Beitrag zum statisch nichtlinearen Nachweis von unbewehrten Mauerwerksbauten unter Berücksichtigung einer und höherer Modalformen, RWTH Aachen, Dissertation 2012
- [47] Alessandro Dazio, Vorlesungsunterlagen Erdbebensicherung II, ETH Zürich 2009
- [48] Chopra A. K. et. al.: Capacity Demand Diagram Methods based on inelastic design spectrum, Earthquake Spectra Vol. 15, 1999
- [49] Paulay Th.; Priestley M. J. N.: Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, Wiley & Sons, 1992
- [50] Gellert, Christoph: Nichtlinearer Nachweis von unbewehrten Mauerwerksbauten unter Erdbebeneinwirkung, Rheinisch – Westfälische technische Hochschule Aachen, Fakultät für Bauingenieurwesen, Dissertation 2010
- [51] Sichuan Earthquake 2008, <http://know2do.org>, Seismic retrofit of Brick Masonry
- [52] Arcellormittal: Refurbishment by steelwork, <http://amsections.arcelormittal.com>
- [53] Patrick Bischof; René Suter: Retrofitting Masonry Walls with Carbon Mesh, Institute of Construction and Environment, University of Applied Sciences, Fribourg, Switzerland
- [54] Stähli, P: Analytische und experimentelle Untersuchung des Einzelfaserauszugsverhaltens unterschiedlicher Fasertypen aus zementgebundenen Werkstoffen, ETH Zürich, Diplomarbeit 2002
- [55] V. C. Li et. al: Development of ductile Engineered Cementitious Composites for Seismic Structural Applications, Publikation, University of Michigan 1998
- [56] V. C. Li; Shuxing Wang: Engineered Cementitious Composites with high volume Fly Ash, ACI Materials Journal, 2007
- [57] Antoine E. Naaman: High Performance Fiber Reinforced Cement Composites, University of Michigan, 2007
- [58] New Zealand Concrete Masonry Association: Design of reinforced concrete masonry structures, Users Guide to NZS 4230, 2004

12. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 – Bruchstörungen in Europa, Grünthal und Strohmeier, 1994	9
Abbildung 2 - EMS 98 Intensitätsskala, ÖNORM B 1998-1	10
Abbildung 3 - Erdbebenhäufigkeit in Österreich, Zentralanstalt für Meteorologie, 2013	11
Abbildung 4 - Isoleistenkarte des Erdbebens in Neulengbach 1590, Quelle ÖVV 2005...	14
Abbildung 5 - Isoleistenkarte Erdbeben Seebenstein 1972, Quelle [4]	15
Abbildung 6 - Schaden an einem Gebäude in Seebenstein 1972, Quelle: ZAMG	16
Abbildung 7 - Vulnerabilität von Bestandsgebäuden, Achs [5]	18
Abbildung 8 – Erdbebenzonen Österreichs im Wandel [1]	20
Abbildung 9 - Erdbebenkräfte, Bauer, Plachy 2013 [6]	20
Abbildung 10 - Typischer HD Ziegel, Quelle: Wienerberger	23
Abbildung 11 - Verschiedene Verbandarten, Quelle Wienerberger	24
Abbildung 12 - Kolbitsch, Dachgeschoßausbau in Wien, Wien 2008	25
Abbildung 13 - Gründerzeithaus Riglergasse 10, Achs, Adam, Wenzel, 2007.....	30
Abbildung 14 - Schaden an einem Pfeiler, Darfield Erdbeben 2010, Retrofitsolutions [25], [26]	31
Abbildung 15 - Typische Abmessungen einer Trennwand, Prantl 2013.....	32
Abbildung 16 - Beanspruchungen in Scheibenebene, Prantl 2013	34
Abbildung 17 – Lange Wand mit Öffnung, Prantl 2013	35
Abbildung 18 - Erdbebennormen Österreich 1955 - 2013, Prantl 2014.....	37
Abbildung 19 – ÖNORM B 4000-3	38
Abbildung 20 – ÖNORM B 4000-3	38
Abbildung 21 – ÖNORM B 4015 (2002) Bestimmung für Altbauten	40
Abbildung 22 – Festlegung der nationalen Wahlmöglichkeit für die Wiederkehrperiode bereits in ENV 1998-1-4	41
Abbildung 23 – Festlegung einer nationalen Wahlmöglichkeit für die Wiederkehrperiode in EN 1998-3.....	42
Abbildung 24 – [31] Bauer; Kern: Scheriffs auf die Baustelle, Wien 2013	44

Abbildung 25 – Risikoeinstufung gemäß NZSEE (New Zealand Society of Earthquake Engineering)	45
Abbildung 26 – EN 1998-1, inkludierte Berechnungsverfahren [38].....	48
Abbildung 27 – Äquivalenter Einmassenschwinger [42]	50
Abbildung 28 – Antwortspektren mit Einhüllender [44]	51
Abbildung 29 – Abbildung des Gebäudes als Mehrmassenschwinger [42].....	52
Abbildung 30 - Pushoverkurve und Transformation in AD – Format [46].....	53
Abbildung 31 – Aufsuchen des „Performance Point“ [46]	54
Abbildung 32 – Empfehlungen für Dämpfungswerte [39].....	55
Abbildung 33 – Kapazitätsspektrum mit Beschreibung des Schadenslevels [41]	56
Abbildung 34 – Auffinden des „Performance Point“ mit gedämpften Spektren laut [41]	56
Abbildung 35 – mögliche Lastverteilungen [46]	57
Abbildung 36 – Antwortspektrum EN 1998-1.....	58
Abbildung 37 – Bilineare Approximation der Pushoverkurve [45].....	60
Abbildung 38 – Transformation des Antwortspektrums in das ADRS – Format [42].....	61
Abbildung 39 – Bauteilverhalten in Abhängigkeit von der Periode [45]	62
Abbildung 40 – Ermittlung der Zielverschiebung am äquivalenten EMS [46].....	63
Abbildung 41 - Modell der Bruchflächen nach Ganz samt Bruchregimes [12]	65
Abbildung 42 – N – V – Interaktionskurve nach Mann/Müller [13]	66
Abbildung 43 – Kragarmmodell nach [43]	66
Abbildung 44 – Rahmenmodell nach [43]	67
Abbildung 45 – Einspanngrad einer Mauerwerksscheibe nach [50]	67
Abbildung 46 – Spannungsfächer Schubnachweis [29].....	71
Abbildung 47 – kv – Werte für den Schubnachweis Tabelle 6 SIA 266 [29].....	71
Abbildung 48 – Ausfachung von Mauerwerksbauten mit Stahlrahmen – Arcellormittal [52]	72
Abbildung 49 – Verstärkung eines Stahlbetongebäudes mit Stahlrahmen, www.pournatzis.com	73
Abbildung 50 – Verstärkung von Wänden mit Stahl lamellen, stahlton-bautechnik.ch	73
Abbildung 51 – Verstärkung mit bewehrtem Spritzbeton [51]	74
Abbildung 52 – Verstärkung von Mauerwerk mittels Carbonlamellen, Master Builders Australia	74

Abbildung 53 – Aufbringen von textilbewehrtem Spritzbeton [53]	75
Abbildung 54 – vieraxiales Gelege [36].....	75
Abbildung 55 – Umschnürung mit Faserbeton, Seim [27].....	76
Abbildung 56 – Verwendete Fasertypen, Prantl 2014.....	78
Abbildung 57 – Vergleich Strain Hardening – Strain Softening [57].....	79
Abbildung 58 – Verschiedene charakteristische Auszugsverhalten von Fasern [54]	80
Abbildung 59 – Darstellung der Erstriss- und der Komplementärarbeit zur Beurteilung des Vorhandenseins von duktilem Verhalten [56]	80
Abbildung 60 – SHCC Schicht, 2 cm dick, mit Zahnpachtel aufgetragen, anschließend geglättet, Prantl 2014	81
Abbildung 61 – SHCC Schicht auf Mauerwerkspfeiler, Prantl 2014	82
Abbildung 62 – Verstärkte Tragwände mit und ohne Öffnungen [2].....	83
Abbildung 63 – Kräfteverlauf, Auflösung in Stabwerk, Prantl 2014	84
Abbildung 64 – Tabelle für die Bestimmung des Abminderungsfaktors ϕ aus EN 1996-1-1	86
Abbildung 65 – Veranschaulichung des Unterschieds zwischen PE – und PVA – ECC [55]	89
Abbildung 66 – Mischungsentwurf SHCC V6mod, Prantl 2014	89
Abbildung 67 – Anteile der Inhaltsstoffe der Rezeptur „V6mod“ (in Gramm), Prantl 2014	90
Abbildung 68 – Vergleich Stahlbeton mit hochduktilen Beton [36].....	91
Abbildung 69 – Mechtcherine, Vorgangsweise bei Mischungsentwürfen [33]	92
Abbildung 70 – Mischungszusammensetzung PP – SHCC, Prantl 2014.....	94
Abbildung 71 – Betonprismen Vorversuche 40 x 40 x 160, Prantl 2014	95
Abbildung 72 – PP – Faserbeton VV4 im Biegeversuch, Prantl 2014	96
Abbildung 73 – Ergebnisse Biegeversuch VV4, Prantl 2014	97
Abbildung 74 – Ergebnisse Druckversuch VV4, Prantl 2014.....	97
Abbildung 75 – PP – Faserbeton VV3 im Biegeversuch, Prantl 2014	98
Abbildung 76 – Ergebnisse Biegeversuch VV3 Serie, Prantl 2014	99
Abbildung 77 – Ergebnisse Druckversuch VV3 Serie, Prantl 2014.....	99
Abbildung 78 – Druckversuch PVA-SHCC V6mod Serie, Prantl 2014	102
Abbildung 79 – Biegezugverhalten PVA-SHCC V6mod Serie, Prantl 2014	103

Abbildung 80 – PVA-SHCC V6mod im Biegeversuch, Prantl 2014	103
Abbildung 81 – Bruchfläche des PE-SHCC V7mod nach dem Biegeversuch, Prantl 2014	105
Abbildung 82 – Ergebnisse Druckversuch PE-SHCC V9mod Serie, Prantl 2014.....	105
Abbildung 83 – Ergebnisse Biegeversuch PE-SHCC V9mod Serie, Prantl 2014	106
Abbildung 84 – Vollständiger Faserauszug beim SHCC V8mod, Prantl 2014	107
Abbildung 85 – Zusammenhang zwischen Druckfestigkeit, Faserauszugs- und Erstrisskraft bei PE-SHCC V8mod, Prantl 2014	108
Abbildung 86 – duktiles Verhalten im Biegezugversuch V8mod, Prantl 2014	109
Abbildung 87 – Ergebnis Druckversuch PE-SHCC V8mod, Prantl 2014	110
Abbildung 88 – Duktiles Verhalten beim Biegezugversuch mit PE-SHCC V8mod, Prantl 2014	111
Abbildung 89 – Multiple Rissbildung bei PE-SHCC V8mod, Prantl 2014	111
Abbildung 90 – Probefeld SHCC Beschichtung, Prantl 2014.....	113
Abbildung 91 – Wandpfeiler 15 x 60 cm während Aufmauerung, Prantl 2014	114