

Diploma Thesis

Shear design of Porotherm SBZ.i walls

submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

Diplomarbeit

Schubbemessung von Wänden aus Porotherm SBZ.i

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Dominik Pusch, BSc

Matr.Nr.: 1226580

unter der Anleitung von

Assistant Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Christian Schranz**, M.Sc.

Univ.Ass. Dipl.-Ing. **Stephan Fasching**, B.Sc.

Institut für interdisziplinäre Bauprozessmanagement
Zentrum Digitaler Bauprozess
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13, 1040 Wien, Österreich

Wien, im August 2020



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Kurzfassung

Der Baustoff Ziegel ist einer der ältesten und meistverwendeten Baustoffe. Durch immer größere und komplexere Bauvorhaben sowie strenger werdende bautechnische Vorschriften gerät das konventionelle Mauerwerk, vor allem im mehrgeschossigen Objektbau, schnell an die Grenzen der Tragfähigkeit. Während die Eigenschaften unter Druckbeanspruchung meist ausreichend sind, sind vor allem die schlechten Eigenschaften unter Zugbeanspruchung tragfähigkeitsabmindernd. So ist bei der Erdbebenbemessung, aufgrund der hohen Querkräfte und der geringen Normalkräfte, der Widerstand meist nicht ausreichend. Im Laufe der Zeit hat die Ziegelindustrie mit neuen Innovationen versucht, das Verhalten unter Querkraftbeanspruchung sowohl bei Scheiben- als auch bei Plattenbeanspruchung zu verbessern. Durch die Einführung von Füllbetonsteinen kann die Druckfestigkeit des Mauerwerks erheblich erhöht werden. In den Füllbeton kann zusätzlich Bewehrung eingelegt werden, welche Zugkräfte aufnehmen kann und somit die Tragfähigkeit bei vorhandenen Querkräften signifikant erhöht.

Am Anfang dieser Arbeit wird auf die Schubbemessungskonzepte in verschiedenen Ländern eingegangen und anhand eines Beispielen untereinander verglichen. Auf dieser Grundlage erfolgt eine Zusammenstellung für ein Nachweiskonzept für den Wienerberger Porotherm 25-50 SBZ.i Plan. Die Erstellung eines Bemessungsprogrammes auf Basis von Microsoft Excel sorgt für eine leichtere Verwendbarkeit des Konzeptes. Durch den Vergleich mit Versuchsergebnissen lässt sich zeigen, dass das gewählte Nachweisverfahren auf der sicheren Seite liegt. Die Grundlage dazu bilden verschiedene Forschungsprojekte, in denen Versuchswände aus Füllbetonmauerwerk unter vertikaler und horizontaler Belastung geprüft wurden.

Um ein besseres Verständnis für die Tragfähigkeit von bewehrten Mauerwerkswänden aus dem Porotherm 25-50 SBZ.i Plan zu bekommen, wird eine Parameterstudie erstellt, welche den Einfluss der Bewehrung bei unterschiedlichen Wandlängen wiedergibt. Für diesen Vergleich wird der Bewehrungsgrad von unbewehrt bis zur maximalen vertikalen und horizontalen Bewehrungsfläche variiert sowie die Normal-Querkraft-Interaktion berechnet und bildhaft dargestellt.

Damit die berechnete Bewehrung die vorhandenen Einwirkungen aufnehmen kann, ist die konstruktive Ausbildung der Wände wichtig. Es werden daher die konstruktiven Regeln der Normen und Verarbeitungshinweise gesammelt dargestellt.

Abschließend zeigt eine Erdbebenbemessung an einem einfachen Gebäudegrundriss exemplarisch den Berechnungsvorgang. Das Beispiel zeigt den Ablauf der Berechnung von der Erstellung des vereinfachten Antwortspektrum über die Schnittgrößenermittlung bis zum Nachweis dargestellt.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abstract

Masonry is one of the oldest and most widely used building materials. More complex and larger buildings, especially in the area of multi-storey residential buildings, have become the standard in the past decade. As a result, conventional masonry often reaches its limits in terms of load-bearing capacity. Walls built with bricks can withstand high compression stresses but have poor characteristics under tensile stresses. For example, in earthquake design, due to high shear forces and low normal forces, the resistance is usually not sufficient. Over time, the brick industry tried to improve the residence under horizontal loads for in and out of plane forces. The introduction of hollow bricks filled with concrete masonry results in higher resistance against compression stresses and the infill allows for reinforced concrete where included steel improves the properties under tensile stresses.

At the beginning of this thesis, the current state of the art is described. For better understanding, the most common calculation models are compared. On this basis, a design concept for the Wienerberger Porotherm 25-50 SBZ.i Plan was developed following the rules of the Eurocodes. For easier use, the design concept was implemented into Microsoft Excel. Later on, the correctness and accuracy of the design method is shown with the comparison to experimental results.

The effect of reinforcement is shown in a parameter study for the Porotherm 25-50 SBZ.i Plan. Therefore the amount of reinforcement is modified and the result of the design model is calculated for two different lengths. The iteration starts with plain masonry and ends with a maximum vertical and horizontal reinforced wall. The results will be illustrated with interaction diagrams with the axis of normal and vertical load.

To use the design concept the rules for detailing have to be fulfilled. The most important details from the European Standard and processing guidelines are cumulated.

Finally, an example of a calculation of a building under horizontal forces is given. For a simple layout, the design of the masonry structures is made with the simplified response spectrum methodology.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	8
1.1	Mauerwerksarten	9
1.2	Wienerberger Schalsteine	10
1.3	Grundlagen der Bemessung	11
1.3.1	Bemessung als Verbundstein	12
1.3.2	Bemessung als Stahlbeton-Lochwand	13
1.3.3	Bemessung als Verbundkonstruktion	14
2	Bemessungskonzepte	15
2.1	Bemessung als Stahlbeton-Stabwerk	15
2.1.1	Modell	15
2.1.2	Querschnittswiderstände	16
2.1.3	Ergebnisse	17
2.2	Bemessung als Mauerwerkscheibe	18
2.2.1	Modell	18
2.2.2	Ergebnisse	19
2.3	Bemessungskonzept auf Grundlage der Dissertation von T. Bacht	20
2.3.1	Bemessungsansatz	20
2.3.2	Ergebnisse	21
2.4	Deutsche allgemeine technische Zulassungen	22
2.5	EUROCODE 1996-1-1	23
2.5.1	Mauerwerksbauteile unter Schubbelastung	23
2.5.2	Bewehrte Mauerwerksbauteile unter Biegung, Biegung und Längskraft oder Längskräfte	24
2.6	NZS 4230:2004	25
2.6.1	Biegewiderstand des Mauerwerks	26
2.6.2	Bemessung der Schubbewehrung	26
2.7	AS 3700-2018	27
2.8	TMS 402/602-16	28
3	Bemessungsprogramm	29
3.1	Eingabewerte	30
3.1.1	Wandgeometrie	30
3.1.2	Materialien	32
3.1.3	Lasten	39
3.1.4	Teilsicherheitsbeiwerte	40
3.2	Bemessungswiderstände	40
3.2.1	Nachweis bewehrter Mauerwerksbauteile unter horizontaler Belastung in der Ebene der Wand	40
3.2.2	Normalkraft und Biegung von bewehrtem Mauerwerk	43
3.2.3	Nachweis für vorwiegend vertikal beanspruchtes Mauerwerk	48
3.3	Ausgabewerte	49
3.3.1	Interaktionsdiagramm	49
3.3.2	Berechnete Versagensart	50
3.4	Umlegung auf andere Ziegelformate	50

4	Versuche	52
4.1	Versuche mit dem Porotherm 25-50 SBZ.i Plan	52
4.1.1	Schubversuch Technische Universität Bukarest	52
4.1.2	Schubversuche am ZAG-Ljubljana	55
4.2	Andere Versuche	57
4.2.1	Schubversuche am ZAG-Ljubljana	57
4.2.2	Forschungsbericht EUCENTRE und University of Pavia	59
4.3	Schlussfolgerungen aus den Versuchen	62
5	Vergleich mit Versuchen	63
5.1	Überblick Versuche	63
5.2	Vergleichsrechnung	64
5.2.1	Schubversuch Bukarest	64
5.2.2	Schubversuche am ZAG-Ljubljana	64
5.2.3	Schubversuche IUSS Report	66
5.3	Schlussfolgerungen	67
6	Parameterstudie: Bewehrungsgehalt	69
6.1	Unbewehrtes Mauerwerk	70
6.2	Eingefasstes Mauerwerk	71
6.3	Vertikal bewehrtes Mauerwerk	72
6.4	Vertikal und horizontal bewehrtes Mauerwerk	73
6.5	Schlussfolgerungen der Parameterstudie	76
7	Konstruktive Ausbildung	79
7.1	Mauerwerk	79
7.2	Beton	80
7.3	Bewehrung	80
7.3.1	Vertikale Bewehrung	81
7.3.2	Horizontale Bewehrung	82
8	Berechnungsbeispiel	85
8.1	Modelldaten	85
8.1.1	Bemessungsspektrum	87
8.1.2	Ersatzsystem	88
8.2	Schnittgrößenermittlung	90
8.3	Nachweise	92
8.3.1	Wand W1.1 – DG	92
8.3.2	Wand W1.1 – EG	94
9	Zusammenfassung	97
A	Ausdruckprotokolle	101
B	Benutzerhandbuch	112

Kapitel 1

Einleitung

Die Erdbebengefährdung in Österreich ist relativ gering und daher ist das Auftreten eines starken Erdbebens sehr selten. Aus diesem Grund hat sich die Bemessung gegen Erdbeben in Österreich im Vergleich zu anderen Ländern spät und langsam entwickelt. Im Jahr 1945 wurde die erste österreichische Norm zur Bemessung des Erdbebenfalles mit der ÖNORM B 4000-3 [16] eingeführt. Die anzusetzenden Erdbebenlasten waren im Vergleich zum heutigen Ansatz sehr gering und lagen meist unter den Windlasten, wodurch der Lastfall Erdbeben nur selten berechnet wurde. Das Erdbeben 1976 in Friaul mit einer Magnitude von 6,5 zeigte die Verwundbarkeit von Gebäuden bei hohen Bodenbeschleunigungen. Auch wenn das Epizentrum nicht in Österreich lag, wurden vor allem im Süden, zahlreiche Gebäudeschäden verzeichnet. Durch die Auswertung der Daten und Schäden wurde drei Jahre später die ÖNORM B 4015-1 [17] herausgegeben. Mit der Einführung der Eurocodes im Jahr 1997 regelt vor allem die ÖNORM EN 1998-Reihe mit ihren sechs Teilen und nationalen Anhängen die Berechnung und Bemessung von Bauwerken unter Erdbebenbelastung. Herzstück dabei ist die in Abbildung 1.1 dargestellte Erdbebenkarte, die Österreich in die Gefährdungszonen 0 bis 4 einteilt.

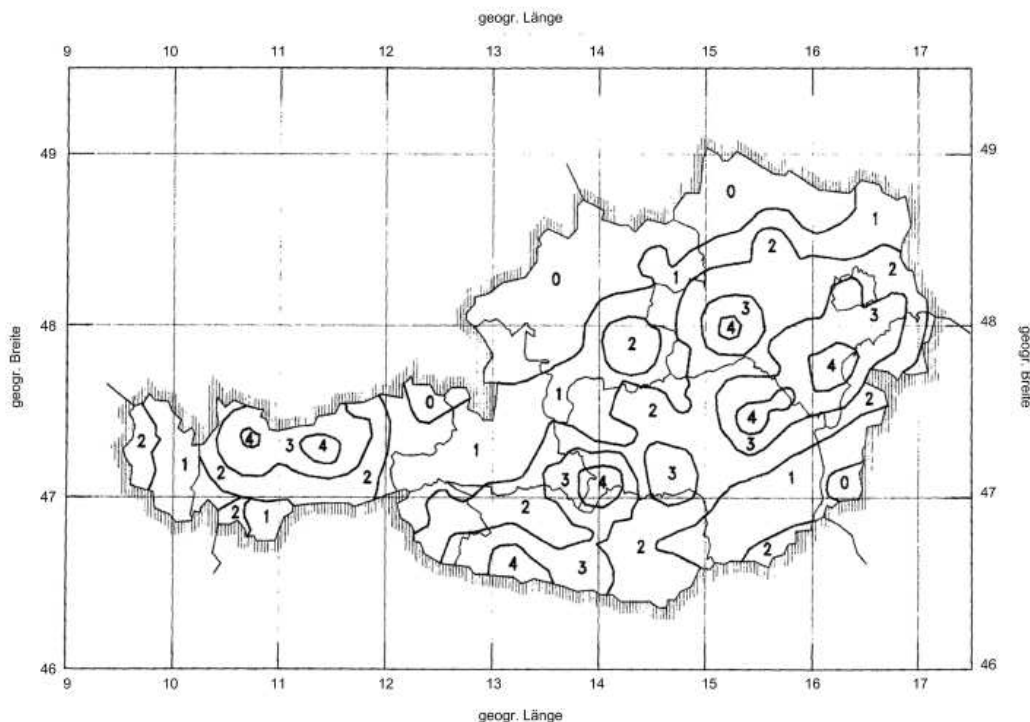


Abb. 1.1: Zoneneinteilung für Erdbeben nach ÖNORM EN 1998-1 [15]

Durch die Einführung der ÖNORM EN 1998-Reihe haben sich die Anforderungen an die Tragfähigkeit von Gebäuden unter Erdbebenlast deutlich erhöht. Vor allem die Horizontallasten während der Erdbebeneinwirkung haben oft fatale Auswirkungen auf die Standfestigkeit von Bauwerken. Das führte dazu, dass größere Wohnbauten nicht mehr so einfach aus Ziegelmauerwerk ausgeführt werden können und Großprojekte vermehrt in Stahlbetonweise hergestellt werden. Zurückführen lässt sich dies vor allem auf die schlechte Zugfestigkeit und das spröde Versagensverhalten von konventionellem Ziegelmauerwerk. Während in anderen, vor allem erdbebengefährdeten Ländern die Verwendung von bewehrtem Mauerwerk oder Wänden aus Füllbetonsteinen schon zum Stand der Technik zählt, wird in Europa die Aussteifung von Gebäuden meist durch Stahlbeton-Konstruktionen gewährleistet.

1.1 Mauerwerksarten

Grundsätzlich kann Mauerwerk aus statischer Sicht nach der ÖNORM EN 1996-1-1 [19] in die vier nachfolgenden Gruppen unterteilt werden:

- Unbewehrtes Mauerwerk
- Eingefasstes Mauerwerk
- Bewehrtes Mauerwerk
- Vorgespanntes Mauerwerk

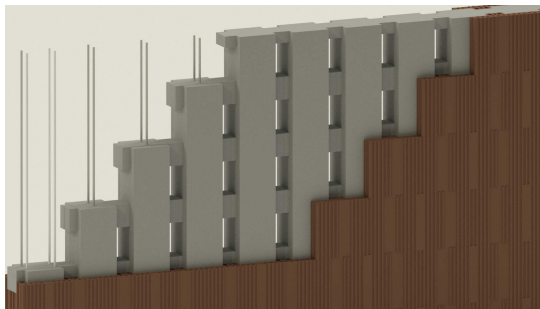
In Österreich ist der Großteil aller Ziegelbauten aus unbewehrtem Mauerwerk, dieses stellt damit den Stand der Technik dar. Das konventionelle Mauerwerk bietet dabei einen guten Widerstand bei vertikalen Belastungen. Bei Beanspruchungen durch Momente oder Horizontallasten sind beim unbewehrten Mauerwerk aufgrund der schlechten Zugfestigkeit schnell die Grenzen der Belastbarkeit erreicht. Durch das Einlegen von Bewehrung in die Fugen oder in dafür vorgesehene Aussparungen kann das Mauerwerk auch Zugkräfte aufnehmen. Dabei ergeben sich durch die Menge der eingebauten Bewehrung und deren Position die verschiedenen Mauerwerksarten.



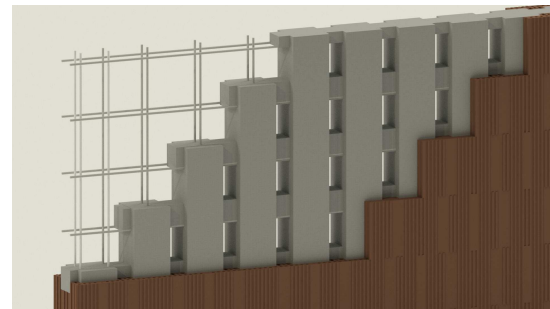
Abb. 1.2: Beispiel für ein eingefasstes Mauerwerk

Wird die Bewehrung wie in Abbildung 1.2 an den Enden der Wand bzw. im großen Abstand verlegt so spricht man von eingefasstem Mauerwerk. Dabei wird eine unbewehrte Wand von Bauteilen aus Stahlbeton oder bewehrtem Mauerwerk in horizontaler und vertikaler Richtung gehalten.

Bewehrtes Mauerwerk beschreibt eine Wand aus Mauersteinen, die eine Bewehrung aus Stäben oder Matten aufweist, welche in Mörtel oder Beton eingebettet sind und durch die Verbundwirkung die Tragfähigkeit der Wand erhöhen. Die Anordnung der Bewehrung kann nur vertikal oder vertikal und horizontal sein. In Abbildung 1.3 sind Beispiele von bewehrtem Mauerwerk mit Stabbewehrung dargestellt.



(a) Vertikal bewehrtes Mauerwerk



(b) Vertikal und horizontal bewehrtes Mauerwerk

Abb. 1.3: Beispiele für bewehrtes Mauerwerk

Vorgespanntes Mauerwerk kommt in Europa kaum zur Anwendung. Die Methoden von vorgespanntem Mauerwerk sind dabei mit den im Betonbau angewendeten Verfahren für Vorspannung mit nachträglichen Verbund nachempfunden.

1.2 Wienerberger Schalsteine

Mit der Einführung von Betonfüllsteinen werden Vorteile des Betonbaus mit jenen des Mauerwerksbaus verbunden. Die Ziegelschale ermöglicht den raschen und einfachen Aufbau im Verband und bildet dabei gleichzeitig die Schalung. Durch das Verfüllen mit Beton und Bewehrung kann die Tragfähigkeit im Vergleich zu konventionellem Mauerwerk gesteigert werden. Es entsteht eine Wandscheibe mit guten Druck- und Schubeigenschaften, welche durch den Stahlbetonkern eine hohe Duktilität aufweist. Im Fall der Erdbebenbeanspruchung können Wände aus Schalsteinen somit eine hohe Anzahl von Lastzyklen aufnehmen.

Zurzeit werden Schalsteine vor allem bei Wohnungstrennwänden aufgrund der guten bauphysikalischen Eigenschaften eingesetzt. Durch die erhöhte Masse im Vergleich zum konventionellen Ziegelmauerwerk kann ein höherer Schallschutz erreicht werden. Eine Wand aus Schalsteinen bietet eine hohe Speichermasse und kann durch die Ziegelschale Feuchtigkeit gut absorbieren und schafft somit ein komfortables Raumklima. Die beidseitige Ziegeloberfläche ist dabei als optimaler Putzuntergrund anzusehen und durch die 3 cm dicke Ziegelschale sind kleinere Installationen wesentlich leichter herzustellen als im Stahlbetonbau.



(a) Porotherm SBZ Plan (Quelle: [28])

(b) Porotherm SBZ.i Plan (Quelle: [28])

Abb. 1.4: Schalsteinangebot von Wienerberger Österreich

Das Produktsortiment der Wienerberger Österreich GmbH umfasst drei verschiedene Schalsteine, als Planziegel auf 249 mm Höhe geschliffen. Der Porotherm 20-40 SBZ Plan und der Porotherm 25-50 SBZ Plan, siehe Abbildung 1.4a, besitzen Ausnehmungen für vertikale Betonkanäle. Im Gegensatz zu den SBZ-Ziegeln bietet der in Abbildung 1.4b dargestellte Porotherm 25-50 SBZ.i Plan noch Ausfräsungen für horizontale Betonkanäle und somit auch die Möglichkeit für den Einbau einer Schubbewehrung. Die Verarbeitung von Planziegeln ist mit Porotherm Dünnbettmörtel oder Porotherm Dryfix extra Kleber möglich. Die Ausführung des Betonkerns kann grundsätzlich unbewehrt oder bewehrt erfolgen.¹ Nach dem Aufmauern kann die Wand alleine oder zusammen mit der Decke verfüllt werden. Um eine fachgerechte Verdichtung des Betons sicherzustellen, wird mit Hilfe einer Rüttelflasche der Beton über die gesamte Wandhöhe verdichtet.

1.3 Grundlagen der Bemessung

Der schadfreie Widerstand gegen Erdbebenlasten von Bauwerken kann durch eine hohe Tragfähigkeit oder eine hohe Duktilität erreicht werden. Die Erhöhung des Tragwiderstands durch vergrößerten Materialaufwand ist eine unwirtschaftliche Methode. Durch eine hohe Duktilität der Querschnitte kann das Gebäude große Verformungen aufnehmen, dies resultiert allerdings in Schäden an den Bauteilen. Abbildung 1.5 zeigt Möglichkeiten zur Aufnahme von Horizontallasten durch das Zusammenspiel von Tragwiderstand und Duktilität. Dabei ist festzuhalten, dass in der Praxis meist eine ideal-elastisch ideal-plastische Verschiebungsgerade für rechnerische Nachweise verwendet wird und damit das bilineare Lastverhalten nicht abgebildet ist.

In der Literatur werden für Schalsteine, welche auf Schub belastet werden, unterschiedliche Bemessungskonzepte vorgeschlagen. Die Unterschiede sind auf die verschiedenen Länder und deren Erbebengefährdung angepasst. Aus Untersuchungen [22] geht hervor, dass sowohl die Ziegelschale als auch der Beton eine Auswirkung auf die Tragfähigkeit haben, wobei der Betonkern den Großteil der Lastabtragung übernimmt. Dabei werden bei fast allen Berechnungsmethoden die positiven Effekte von erhöhter Auflast, vertikaler und horizontaler Bewehrung erfasst. Die meisten Konzepte verbinden analytische Ansätze mit empirischen Methoden. Grundsätzlich können diese Verfahren in verschiedene Gruppen eingeteilt werden, auf welche im Folgenden eingegangen wird.

¹Die vertikale Bewehrung wird typischerweise als Stabbewehrung oder mit Hilfe von Eingurtträgern hergestellt.

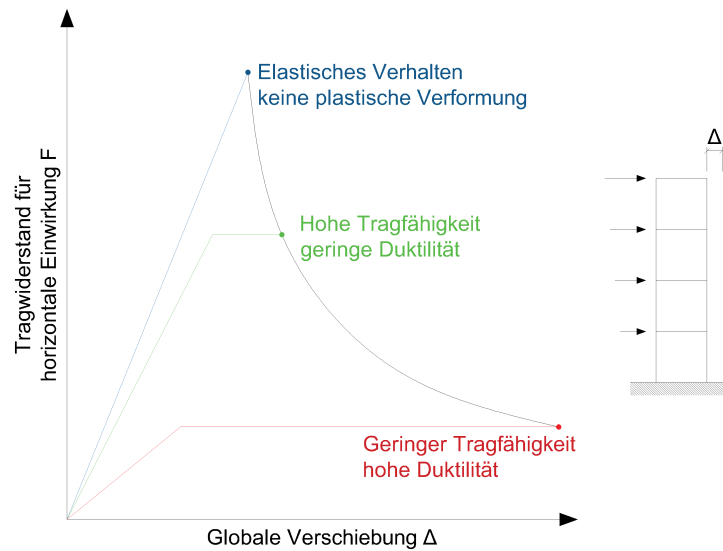


Abb. 1.5: Zusammenhang zwischen Duktilität und Tragwiderstand

1.3.1 Bemessung als Verbundstein

Bei der Bemessung wird die Wand als homogener Bauteil angesehen, wobei im Regelfall die schlechtesten Eigenschaften, meistens jene des Ziegels, für die Bemessung herangezogen werden. Durch den Einsatz von Gutachten [22] oder Ansätzen aus Normen können verbesserte Verbundeigenschaften berücksichtigt werden. Dadurch darf anstelle der Ziegeldruckfestigkeit eine Verbundsteinfestigkeit angenommen werden und somit wird die Tragfähigkeit deutlich erhöht. Voraussetzung für die Bemessung als Verbundstein ist, dass das Verformungsverhalten von Ziegel und Beton ähnlich ist. Der Berechnungsablauf richtet sich grundsätzlich nach dem Bemessungskonzept der ÖNORM EN 1996-1-1 [19].

Für Schubbeanspruchungen setzt sich die Tragfähigkeit der Wand aus mehreren Versagensmechanismen zusammen und wird nach dem Tragmodell von Mann/Müller [11] unterteilt in:

- Fall 1: Reibungsversagen in der Fuge zwischen Wand und Decke
- Fall 2: Steinzugversagen
- Fall 3a: Biegedruckversagen
- Fall 3b: Biegezugversagen bewehrter Wände bzw. Kippversagen unbewehrter Wände

Abbildung 1.6 zeigt eine typische Auswertung der Versagensmechanismen für Mauerwerk. Bei einer geringen Auflast kommt es in erster Linie zu einem Versagen in der Lagerfuge und damit zu geraden oder treppenförmigen Rissen. Steigert man die Normalkraft entstehen im Stein Querkzugspannungen, die zum Aufreißen führen. Bei hohen Auflasten kommt es zum Druckversagen durch Überschreiten der Steindruckfestigkeit.

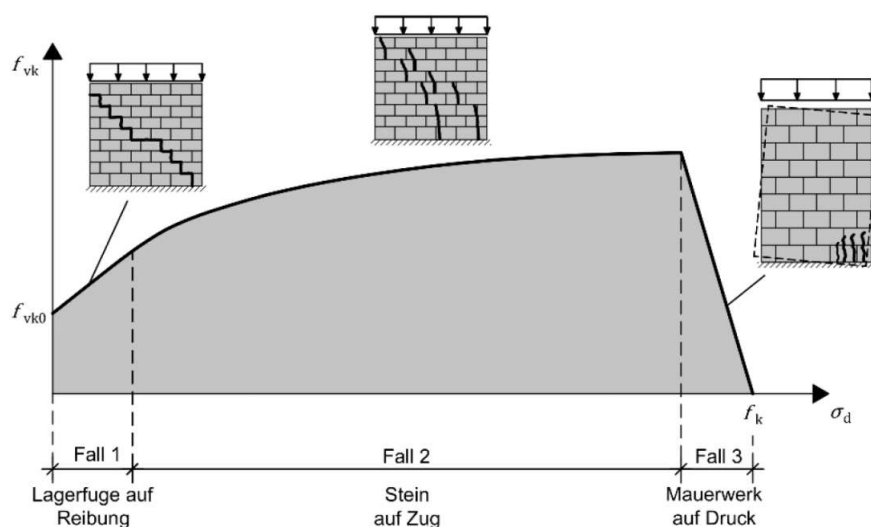


Abb. 1.6: Versagensarten für Mauerwerk unter Schub (Quelle: [23])

Die Berechnung als Betonwand nach ÖNORM EN 1992-1-1 [18] mit den Eigenschaften des Verbundsteines ist ebenso möglich und erfolgt nach Platten- oder Scheibentheorie. Für das Verbundmauerwerk kann dabei ein Parabel-Rechteck-Diagramm oder ein Blockdiagramm als Spannungs-Dehnungsbeziehung herangezogen werden.

1.3.2 Bemessung als Stahlbeton-Lochwand

Ein weiterer Ansatz zur Bemessung von Wänden aus Schalsteinen ist, die Ziegelschalen als verlorene Schalung anzusehen und ihnen damit keinen Anteil an der Lastabtragung zuzuschreiben. Durch das Wegfallen des Ziegels entsteht, wie in Abbildung 1.7 dargestellt, ein Stützenraster bzw. eine Lochwand. Dieser Ansatz eignet sich besonders für Ziegel mit vertikalen und horizontalen Schächten, da diese durch die vertikale Verbindung eine höhere Schubtragfähigkeit aufweisen. Der Schubwiderstand des Mauerwerks ist durch das Versagen der horizontalen Querriegel gegeben. Die Tragfähigkeit kann mit den Regeln des Stahlbetonbaus berechnet werden.

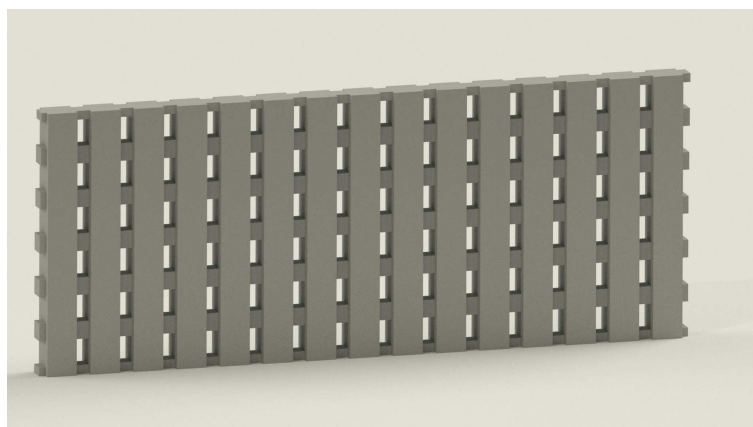


Abb. 1.7: Stahlbeton-Lochwand

1.3.3 Bemessung als Verbundkonstruktion

Durch den Einsatz von Finite-Elemente-Methoden und schnellerer Computer wird der Ansatz einer Verbundkonstruktion weiterentwickelt. Ziegelschale und Betonkern werden steifigkeitsabhängig die Kräfte zugewiesen. Auf Grund der komplexen Berechnungen und der Vielzahl an Parameter ist diese Art der Bemessung zurzeit noch nicht zweckmäßig.

Kapitel 2

Bemessungskonzepte

Im außereuropäischen Raum zählt Mauerwerk aus Schalungssteinen teilweise zum Stand der Technik und wird meist mit Hilfe von experimentell verifizierten empirischen Bemessungsmodellen durch Normen oder Richtlinien geregelt. Hingegen gibt es in Europa wenig Berechnungsansätze, die speziell für Mauerwerk mit Füllbeton ausgelegt sind. Während in Österreich eine Berechnung durch Annahmen nach ÖNORM EN 1996-1-1 [19] erfolgen kann, werden diese z. B. in Deutschland durch allgemeine bautechnische Zulassungen geregelt.

In diesem Kapitel werden verschiedene Nachweisverfahren vorgestellt. Dabei handelt es sich um Bemessungskonzepte oder -ansätze bzw. Normen, technische Zulassungen oder Richtlinien zur Bemessung aus verschiedenen Ländern. Die wesentlichen Gleichungen wurden, wenn möglich, auf eine Anwendung auf den Porotherm 25-50 SBZ.i Plan getestet. Um eine Gegenüberstellung und Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erhalten, wurde jeweils ein Beton mit der Festigkeitsklasse C20/25 sowie eine Horizontal- und Vertikalbewehrung von jeweils 2 Ø10 B 550 B je Kanal verwendet. Die Berechnung erfolgt mit Interaktionskurven bei drei verschiedenen Wandlängen, um sowohl den Einfluss der Abmessungen als auch der Normalkraft darzustellen. Zu beachten ist, dass die folgenden Gleichungen einen Auszug aus dem jeweiligen Bemessungskonzept darstellen und meist nur einen Versagensmechanismus beschreiben.

2.1 Bemessung als Stahlbeton-Stabwerk

2.1.1 Modell

Die Modellierung des Stahlbeton-Stabwerks erfolgt als 2D-Modell. Durch die große Anzahl an Stäben erfolgte die Berechnung der Schnittgrößen mit Hilfe der Statiksoftware RFEM von Dlubal. Der Stahlbetonkern wurde mit Hilfe von Balkenstäben aus Beton nachgebaut. Die Berücksichtigung der horizontalen und vertikalen Bewehrung erfolgte durch Fachwerkstäbe, welche über Koppelstäbe an den Betonquerschnitt angehängt werden. Das für die Berechnung verwendete Modell ist in Abbildung 2.1 und die Modellierung der Bewehrung und Koppelstäbe in Abbildung 2.2 dargestellt. Um die Tragfähigkeit der ganzen Wand bestimmen zu können, wird bei der Erstellung des Modelles versucht, so viele Nichtlinearitäten, wie zum Beispiel Reißen von Beton unter Zug oder Fließen der Bewehrung, zu berücksichtigen, um das Ausfallen von einzelnen Teilen zu ermöglichen. Für eine gleichmäßige Lasteinleitung sorgt eine Betonplatte am Wandkopf, über die die Einwirkungen als Linienlasten eingeleitet werden. Die Lagerung des Modelles erfolgt über eine Einspannungen am Wandfuß.

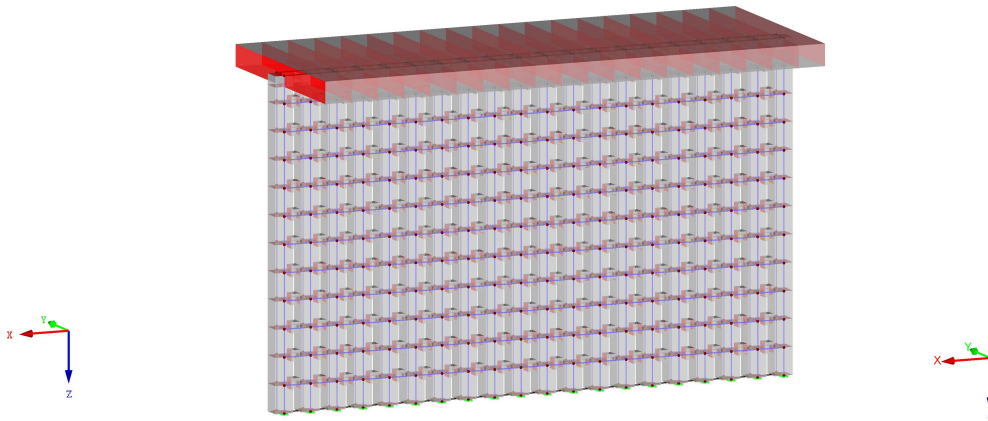


Abb. 2.1: Stabwerkmodell für die Schnittgrößenermittlung in RFEM

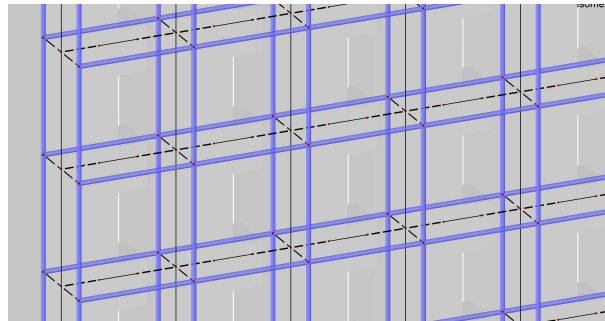


Abb. 2.2: Bewehrung und Koppelstäbe des Modells

2.1.2 Querschnittswiderstände

Die aus dem Programm erhaltenen Schnittgrößen werden im nächsten Schritt mit den Querschnittswiderständen der einzelnen Querschnitte verglichen. Es wird bewusst auf das RFEM-Modul RF-Stäbe verzichtet, da die vorhandene Bewehrung schlecht berücksichtigt werden kann.

Querkraft

Die Berechnung der maximal aufnehmbaren Querkraft kann mit Hilfe der ÖNORM EN 1992-1-1 [18] berechnet werden. Durch die Bewehrung in beiden Hauptrichtungen der Wand erfolgt die Berechnung als Bauteil mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung.

$$V_{Rd,s} = (A_{sw}/s) \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \Theta \quad (2.1)$$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu_1 \cdot f_{cd} / (\cot \Theta + \tan \Theta) \quad (2.2)$$

- A_{sw} = Querschnittsfläche der Querkraftbewehrung
- s = Bügelabstand
- z = innerer Hebelarm
- f_{ywd} = Bemessungswert der Streckgrenze der Querkraftbewehrung
- Θ = Druckstrebenwinkel
- α_{cw} = Beiwert Spannungszustand
- b_w = Querschnittsbreite
- ν_1 = Abminderungsbeiwert Betonfestigkeit
- f_{cd} = Bemessungswert der Betondruckfestigkeit

Im Falle des Protherm 25-50 SBZ.i Plan ergibt sich der Winkel der Druckdiagonale Θ aufgrund der Abmessungen des Riegels zu 0,4rad. Abbildung 2.3 zeigt die Ermittlung des Winkels der Betondruckstrebe, wobei die vertikale Stützenbewehrung als Querkraftbewehrung für den Riegel dient. Die maximal annehmbare Querkraft des Riegels beträgt damit nach Formel (2.2) 22,34 kN.

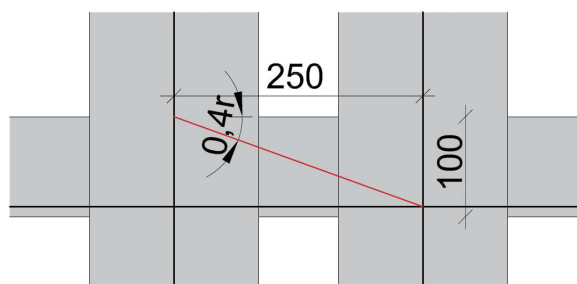


Abb. 2.3: Winkel der Betondruckstrebe

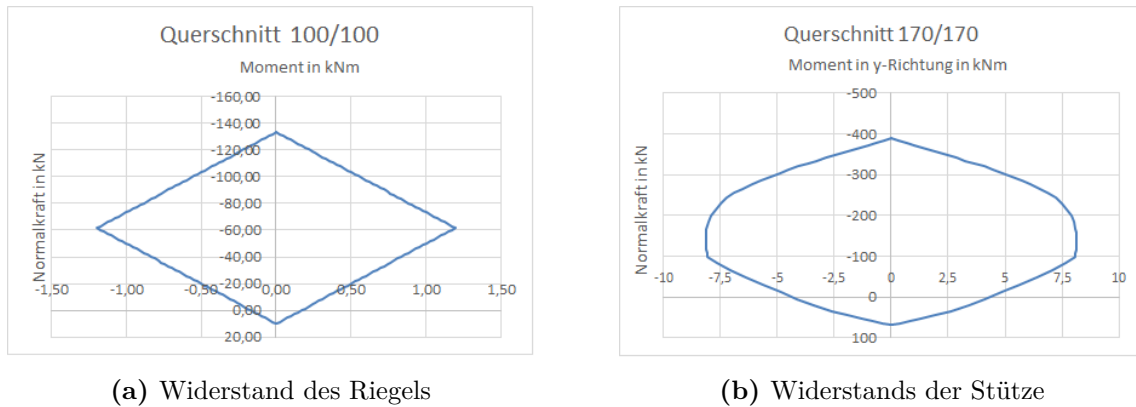
Normalkraft-Momenten-Interaktion

Aufgrund der meist unsymmetrischen Bewehrung¹ des Riegels erfolgt die Berechnung der Normalkraft-Momenten-Interaktion mit einem elastischen Spannungsverlauf. Durch die Beanspruchung, sowohl durch positive als auch negative Momente, ist die Vernachlässigung der Bewehrung in den Riegeln sinnvoll und somit werden die Bemessungswerte f_{ctd} und f_{cd} für die Ermittlung der Tragfähigkeit angenommen. Das Ergebnis der Interaktion ist in Abbildung 2.4a ersichtlich. Die Interaktion für den Stützenquerschnitt wurde mit dem Bemessungsprogramm INCA2 berechnet und ist in Abbildung 2.4b dargestellt. Anzumerken ist hierbei, dass aufgrund der mittigen Bewehrung der Querschnitt bei Momentenbeanspruchung aus Horizontalkräften in der Wandrichtung nur zur Hälfte ausgenutzt werden kann.

2.1.3 Ergebnisse

Im Zuge dieser Arbeit wurde mit Dlubal RFEM ein Modell erstellt. Die Wandabmessungen sind mit 5 m mal 3 m Meter gewählt. Die Auswertung der Ergebnisse zeigt, dass das Versagen der

¹Die horizontale Bewehrung wird in der Regel einfach auf die Unterkante der horizontalen Aussparung gelegt.



(a) Widerstand des Riegels

(b) Widerstands der Stütze

Abb. 2.4: Normalkraft-Momenten-Interaktion für den Riegelquerschnitt sowie den Stützenquerschnitt des Porotherm 25-50 SBZ.i Plan

Riegel maßgebend für das Tragverhalten der Wand ist. Bei geringer Auflast ist die Versagensart des Riegels durch die maximale Momententragfähigkeit gegeben. Aufgrund der unsymmetrischen Bewehrung der Riegel wird für die Berechnung der aufnehmbaren Rieglmomente die Bewehrung vernachlässigt. Weiters wird angenommen, dass sich aufgrund der fehlenden Bewehrung keine Fließgelenke bilden können und bei Überschreitung der Momententragfähigkeit zu Ausfall des Riegels kommt. Abbildung 2.5 zeigt die Schnittgrößen beim Versagen des ersten Riegels, welcher gleichzeitig auch zum globalen Versagen führte. Im Bereich von höheren Auflasten wird die Querkrafttragfähigkeit der Riegel aufgrund der unterschiedlichen Normalkräfte in den Stützen überschritten. Für den berechneten Fall ergibt sich eine Schubtragfähigkeit der Wand von in etwa 71 kN ohne Auflast. Durch eine Erhöhung der Normalkraft kann eine Steigerung der Tragfähigkeit der Wand erreicht werden, diese fällt allerdings sehr gering aus. Auf die Erstellung eines Interaktionsdiagrammes wurde an dieser Stelle aufgrund des hohen Rechenaufwandes und der schlechten Ergebnisse verzichtet.

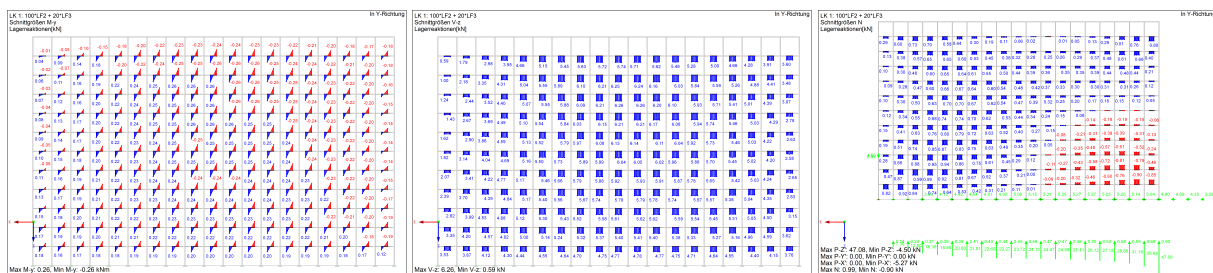


Abb. 2.5: Berechnungsergebnisse des Riegels My-Vz-N (v.l.n.r)

2.2 Bemessung als Mauerwerkscheibe

2.2.1 Modell

Die Modellierung der Wand erfolgt als 2D-Flächenmodell in Dlubal RFEM (siehe Abbildung 2.6) und dem Zusatzmodul *RF-BETON Flächen*. Hierfür wird eine neue Betonfestigkeitsklasse mit den Mauerwerkseigenschaften definiert. Dies ist aufgrund der ähnlichen Spannungs-Dehnungslinien

Auflast die vorhandene Bewehrung ausschlaggebend für die Tragfähigkeit ist, kommt es im Bereich von höherer Normalkraftbeanspruchung zu einem Versagen der Druckstrebe im Mauerwerk.

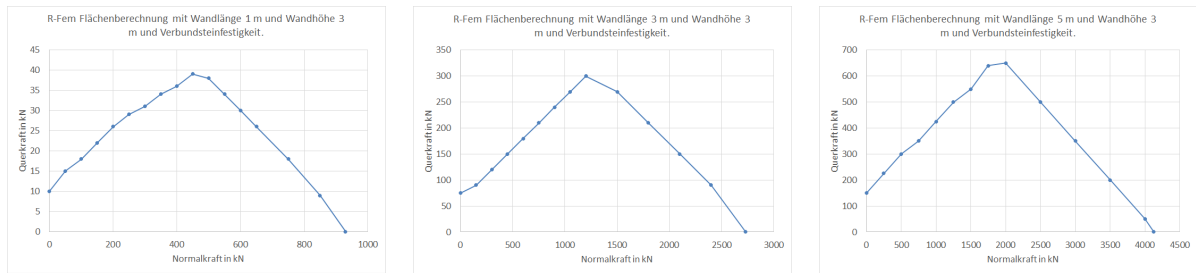


Abb. 2.8: Interaktion zwischen Horizontal- und Vertialkraft nach Scheibenmodell

2.3 Bemessungskonzept auf Grundlage der Dissertation von T. Bacht

Im Zuge seiner Doktorarbeit schrieb Tobias Bacht im Jahr 2014 am Karlsruher Institut für Technologie die Dissertation *Horizontaltragfähigkeit von Wänden aus Leichtbeton-Schalungssteinen – Experimente und numerische Modellierung* [2]. Auf Grundlage von Experimenten und Bemessungsansätzen wurde dabei ein Bemessungskonzept für Schallsteine entwickelt.

2.3.1 Bemessungsansatz

Die Schubtragfähigkeit der Wand wird mit Gleichung (2.3) berechnet, wobei ein linearer Zusammenhang zwischen Widerstand und der Normalkraftbeanspruchung besteht.

$$H_{Vd} = \beta \cdot 0,2 \cdot l \cdot \left[\frac{A_n}{\gamma} \cdot \sqrt{f_{ck}} + n_{Ed} \right] \quad (2.3)$$

β = Korrekturbeiwert für die Wandgeometrie

l = Wandlänge

A_n = Kernfläche Beton

γ = Sicherheitsbeiwert

f_{ck} = char. Zylinderdruckfestigkeit

n_{Ed} = Normalkraftbelastung

Neben der Bemessung für Querkräfte werden ebenfalls Bemessungsgleichungen für andere Versagensarten, wie Schubversagen der Fuge und Biegeversagen, angegeben. Die Schubkraftübertragung in der Fuge kann mit Hilfe des Mohr-Coulomb'schen Reibungsgesetz mit dem Reibbeiwert von $\eta = 0,6$ bzw. für Erdbebenbemessung den um 50 % abgeminderten Reibbeiwert $\eta = 0,3$ nach-

gewiesen werden. Sollte es zu einem Versagen der Fuge kommen, kann eine Fugenbewehrung eingelegt oder die erforderliche Anschlussbewehrung laut Gleichung (2.4) nachgewiesen werden.

$$A_s = \frac{H - \mu \cdot N}{f_{yd} \cdot (1,2 \cdot \mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha)} \quad (2.4)$$

H = Horizontalkraft

μ = Reibungsbeiwert

N = Normalkraft

f_{yd} = Bemessungswert der Streckgrenze des Betonstahls

α = Neigungswinkel der Verbundbewehrung

Für den Nachweis der Biegung werden die Fälle Biegedruckversagen und Biegezugversagen ermittelt. Für Biegedruckversagen von bewehrten Querschnitten wird Gleichung (2.5) angegeben, welche einem elastischen Spannungsnachweis des Betonquerschnittes entspricht. Anzumerken ist hierbei, dass keine plastische Ausnutzung des Querschnittes angenommen wird, allerdings wird darauf hingewiesen, dass bei guten Verbundeigenschaften die Schalungssteine beim Spannungsnachweis berücksichtigt werden können. Dies erfolgt durch die Berücksichtigung der Betonschalen im Widerstandsmoment und der Betonfläche. Für das Biegezugversagen wird die Zugkraft der nicht überdrückten Länge der Wand mit der maximal aufnehmbaren Zugkraft der gewählten Bewehrung verglichen.

$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{Ed}}{W_{el}} \leq \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \quad (2.5)$$

σ = Spannung am Rand

A = Betonfläche

N_{Ed} = Bemessungswert der Normalkraft

M_{Ed} = Bemessungswert des Biegemoment

W_{el} = elastisches Widerstandsmoment

α_{cc} = Alterungsbeiwert Beton

f_{ck} = Bemessungswert der Betondruckfestigkeit

γ_c = Teilsicherheitsbeiwert Beton

2.3.2 Ergebnisse

Die Anwendung und Auswertung für den Porotherm 25-50 SBZ.i Plan nach dem Bemessungskonzept auf Grundlage der Dissertation von Bacht [2] zeigt, dass bei niedriger Normalkraft je nach Wandgeometrie entweder Fugenversagen oder Querkraftversagen eintritt. Bei höherer Normalkraftbeanspruchung ist der Nachweis der Biegung maßgebend. Bei den dargestellten Interaktionskurven wird die Tragfähigkeit der Ziegelschalen im elastischen Nachweis der Biegung nicht berücksichtigt. Für die Berechnung des Fugenversagens wird eine Anschlussbewehrung angenommen und mit dem Reibbeiwert $\eta = 0,3$ für Erdbebenbelastung gerechnet. Aus den Bemessungsformeln geht hervor, dass eine Erhöhung der Tragfähigkeit der Wand unter den selben Randbedingungen nur durch die Erhöhung der Betonfestigkeitsklasse oder die Zulage

von vertikaler Bewehrung möglich ist. Die Auswirkung von horizontaler Bewehrung geht in die Bemessung nicht ein. Abbildung 2.9 zeigt die Ergebnisse des Bemessungskonzeptes für den Porotherm 25-50 SBZ.i Plan bei verschiedenen Wandlängen.

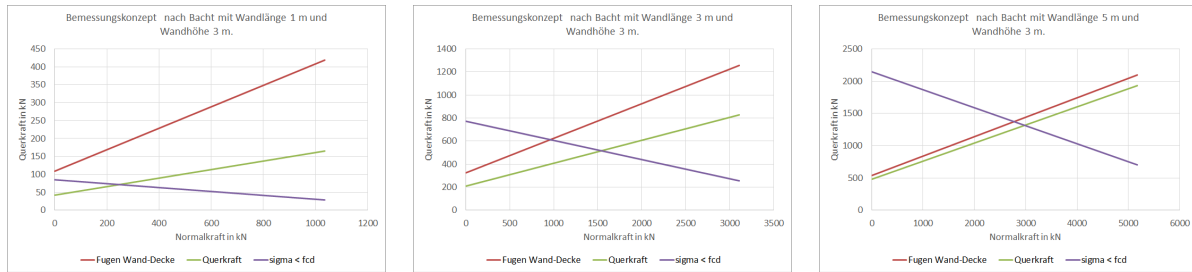


Abb. 2.9: Berechnung auf Grundlage der Dissertation von Bacht [2]

2.4 Deutsche allgemeine technische Zulassungen

Die *Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen MVV TB* [4] enthält unter anderem die allgemeinen Anforderungen an bauliche Anlagen und Bauprodukte. Die jeweiligen Bundesländer bilden auf dieser Grundlage die Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen, kurz VV TB, welche über die jeweiligen Landesbauordnungen verbindlich erklärt werden. Für Ortbeton-Wände aus Schalungssteinen gelten die Bestimmungen laut *Anwendungsregeln für nicht lasttragende verlorene Schalungsbautsätze/-systeme und Schalungssteine für die Erstellung von Ortbeton-Wänden* [3]. Dieses Dokument regelt allerdings nicht die Bemessung und Konstruktion von Tragwerken unter Erdbebeneinwirkung. Mehrere deutsche Ziegel- oder Betonschalsteinproduzenten bieten daher auf ihren Webseiten eine allgemeine technische Zulassungen des Deutschen Instituts für Bautechnik DIBt zum Download an. Enthalten sind unter anderem die relevanten Eigenschaften des Bauproduktes sowie ein Ansatz zur Berechnung des Bemessungswertes der Tragfähigkeit einer Wand in Wandlängsrichtung mit Gleichung (2.6). Dabei wird bei der Bemessung der Schalungssteinen vernachlässigt und nur der Betonkern als tragend angenommen. Weiters sind bei Betonen von Festigkeitsklassen größer C12/15 nur die Rechenwerte für C12/15 in Ansatz zu stellen. Das Nachweiskonzept beruht dabei auf dem analytischen Modell von Makunza [10]. In seiner Arbeit beschreibt Makunza das Versagen der Wand durch das Erreichen des Rissmomentes in Querriegeln. Seine Berechnungen richten sich nach den Grundregeln des Stahlbetonbaus, wobei der Querriegel idealisiert als beidseitig eingespannter, unbewehrter Balken angenommen wird.

$$H_{L,Rd} = 4/3 \cdot \eta_1 \cdot \frac{L \cdot Z_R \cdot f_{ctk;0,05}}{h_s \cdot L_R \cdot \gamma_{ct}} \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned} \eta_1 &= \text{Korrekturfaktor Betonart} \\ L &= \text{Wandlänge} \\ Z_R &= \text{Widerstandsmoment Riegel} \\ f_{ctk;0,05} &= \text{char. Wert der zentrischen Betonzugfestigkeit} \\ \gamma_{ct} &= \text{Teilsicherheitsbeiwert} \\ L_R &= \text{mittlere Länge des Riegels} \\ h_s &= \text{Schalungsziegelhöhe} \end{aligned}$$

Die Tragfähigkeit der Wand ist vom Einzelversagen der Riegel abhängig. Der Bewehrungsgrad der Wand oder die Auflast haben keinen Einfluss auf die Berechnung. Die Umlegung des Bemessungsansatzes auf den Porotherm 25-50 SBZ.i Plan ergibt dabei eine Horizontaltragfähigkeit von zirka 11 kN/m. Der Porotherm 25-50 SBZ.i Plan hat im Vergleich mit den am deutschen Markt erhältlichen Ziegelschalsteinen deutlich höhere Ziegelstegdicken. Daher ergibt sich eine größere Riegelänge und eine geringere Betonkernfläche, welche eine geringe Horizontaltragfähigkeit ergeben.

2.5 EUROCODE 1996-1-1

2.5.1 Mauerwerksbauteile unter Schubbelastung

Die aktuelle Ausgabe der ÖNORM EN 1996-1-1 [19] sieht eine Unterscheidung in zwei Fälle vor. Diese sind *Unbewehrtes Mauerwerk unter Schubbelastung* und *Nachweis bewehrter Mauerwerksbauteile unter horizontaler Belastung in der Ebene der Wand*. Für den Fall einer Bewehrung wird des Weiteren unterschieden, ob die Schubbewehrung rechnerisch angesetzt werden darf oder nicht. Das Kriterium dazu ist die Erfüllung der erforderlichen Mindestschubbewehrung. Der Einfluss des Füllbetons sollte in der Bemessung berücksichtigt werden, ist allerdings die Schubtragfähigkeit durch den Füllbeton wesentlich größer als jene des Mauerwerks, hat der Nachweis nach EN 1992-1-1 [18] zu erfolgen. Beim Nachweisformat des Eurocodes erfolgt die Schubübertragung bei unbewehrten Mauerwerksbauteilen nur über den überdrückten Wandbereich, siehe dazu Gleichung (2.7). Durch eine vertikale Bewehrung kann bei der Berechnung die ganze Wandlänge herangezogen werden und eine vorhandene horizontale Bewehrung ermöglicht eine zusätzliche Erhöhung der Traglast. In der Literatur [23, S. 162] wird angemerkt:

Unterstellt man ein in etwa gleiches Verhältnis Beton und Ziegelmauerwerk, dann erkennt man, dass die Grenzscherfestigkeit bei Ziegel in Bereichen der üblichen Steinausnutzung unter der der Betonfüllung liegt. Es kann deshalb ohne Risiko, eine Scherkraftaufnahme für den Verbundstein gleich wie an Ziegelwänden der Gruppe 1 mit Dünnbettmörtel bzw. Mauerkleber sowie verfüllten Stoßfugen angesetzt werden.

Durch diese Annahme kann die Berechnung der Wand mit den Regeln der ÖNORM EN 1996-1-1 [19] durchgeführt werden, wobei für Mauerwerk mit eingelegter Bewehrung die Gleichungen (2.8) bzw. (2.9) verwendet werden. Zusätzlich bietet die ÖNORM EN1996-1-1 [19] mit Anhang J die Möglichkeit zur Berechnung des Vergrößerungsfaktors f_{vd} für bewehrte Mauerwerksbauteile unter Schubbeanspruchung für Wände aus Füllbetonsteinen. Dadurch ergibt sich eine größere Scherfestigkeit im Bereich mit geringer Auflast.

$$V_{Rd} = f_{vd} \cdot t \cdot l_c \quad (2.7)$$

$$V_{Rd} = f_{vd} \cdot t \cdot l \quad (2.8)$$

$$V_{Rd} = f_{vd} \cdot t \cdot l + 0,9 \cdot A_{sw} \cdot f_{yd} \leq 2,0 \text{ N/mm}^2 \cdot t \cdot l \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} f_{vd} &= \text{Bemessungsschubfestigkeit} \\ t &= \text{Wanddicke} \\ l &= \text{Wandlänge} \\ l_c &= \text{überdrückte Wandlänge} \\ A_{sw} &= \text{horizontale Bewehrungsfläche} \\ f_{yd} &= \text{Bemessungswert der Streckgrenze des Bewehrungsstahls} \end{aligned} \quad (2.10)$$

Die in Abbildung 2.10 dargestellten Ergebnisse zeigen den Einfluss der Normalkraft und horizontalen Bewehrung. Bei geringen Auflasten ist der Grenzwert durch die Grenzscherfestigkeit nach Anhang J maßgebend. Durch die positive Wirkung der Normalkraft steigt die Tragfähigkeit linear bis zur Grenzscherfestigkeit f_{vlt} an und es bildet sich ein Plateau bei der maximalen Wandtragfähigkeit.

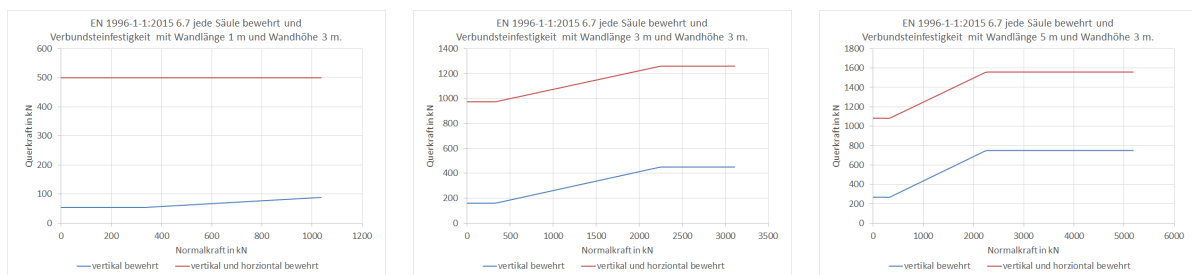


Abb. 2.10: Schubtragfähigkeit einer bewehrten Füllbetonwand nach EN 1996-1-1

2.5.2 Bewehrte Mauerwerksbauteile unter Biegung, Biegung und Längskraft oder Längskräfte

Die aktuelle ÖNORM EN1996-1-1:2005 [19] gibt allgemeine Regeln für die Bemessung von bewehrtem Mauerwerk unter Biegung und Längskraft vor. Unter anderem hat die Berechnung unter folgenden Annahmen zu erfolgen:

- Ebenbleiben der Querschnitte
- die Bewehrung verformt sich wie das Mauerwerk
- die Zugfestigkeit des Mauerwerks ist null
- die maximale Dehnung des Mauerwerks unter Druckbeanspruchung wird entsprechend dem Baustoff gewählt

- die Spannungs-Dehnungslinie des Mauerwerks soll als parabolisch, parabolisch-rechteckig oder rechteckig angenommen werden
- die Spannungs-Dehnungs-Linie des Stahls wird nach EN 1992-1-1 angenommen
- die Dehnung des Mauerwerks bei nicht voll auf Druck beanspruchten Querschnitten ist höchstens $\varepsilon_{mu} = -0,0035$ für Mauersteine der Gruppe 1 und $\varepsilon_{mu} = -0,002$ für Mauersteine der Gruppe 2, 3 und 4

Vergleicht man diese Annahmen mit jenen der ÖNORM EN 1992-1-1 [18], so sieht man die Ähnlichkeiten in der Bemessung. Für die Berechnung des Tragwiderstandes wird für die zu bemessende Wand ein linearer Verzerrungszustand gewählt. Für die Bemessung wird auf einer Seite die maximal zulässige Dehnung der Mauerwerks unter Druckbeanspruchung ε_{mu} angenommen und die Stahldehnung auf der gegenüberliegenden Seite variiert. Durch Formulieren der Gleichgewichtsbedingung können nun die Normalkraft und das Biegemoment berechnet werden. Durch Variation des Verschiebungsverlaufes lassen sich das maximal annehmbare Moment und die dazugehörige maximale Normalkraft berechnen.

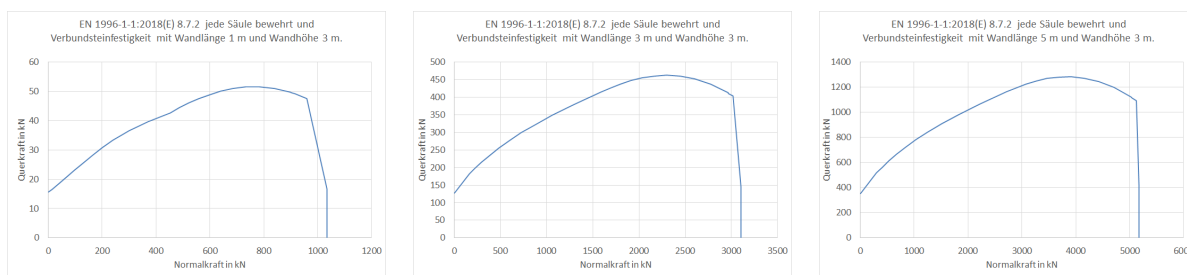


Abb. 2.11: Berechnung nach ÖNORM EN1996-1-1 [18] für Mauerwerk unter Biegung und Längskraft

Aus den Interaktionsdiagrammen in Abbildung 2.11 ist zu sehen, dass die Momententragfähigkeit mit der Normalkraft zunimmt. Die maximale Momententragfähigkeit ergibt sich bei einem Verzerrungsverlauf mit Nullpunkt in der ersten Bewehrungslage. Danach kommt es zu einer Abnahme bis die maximale Normaltragfähigkeit, aufgrund der Wanddruckfestigkeit, erreicht wird.

2.6 NZS 4230:2004

In Neuseeland zählt bewehrtes Mauerwerk aus Verfüllsteinen schon seit längeren zum Stand der Technik und wird überwiegend aus lastabtragenden Betonschalungsteinen gebaut. Durch die starke lokale Erdbebengefahr erlaubt die Norm nur die Ausführung als bewehrte Konstruktion. Die NORM NZS 4230 [13] regelt die Bemessung und Ausführung von Mauerwerk mit Stahlbetonkern. Die im weiteren angegebenen Gleichungen beruhen dabei auf umfangreichen Versuchreihen der Universität Auckland [21, 25, 26].

2.6.1 Biege­widerstand des Mauerwerks

Für die Bemessung der Biegetragfähigkeit der gesamten Wand gibt die Norm NZS 4230 [13] ähnliche Anforderung wie die ÖNORM EN-1996-1-1[19]. Der Ablauf der Berechnung erfolgt analog zu jener des konventionellen Betonbaus durch die Bestimmung der Kräfte durch einen linearen Verzerrungszustandes.

2.6.2 Bemessung der Schubbewehrung

Die Bemessungsformel (2.11) ermöglicht die Berechnung des Schubwiderstandes von bewehrtem Mauerwerk. Zusätzlich zur Schubtragfähigkeit des unbewehrten Mauerwerks und der Erhöhung durch die horizontale Bewehrung darf der positive Effekt der Normalkraftbeanspruchung auf die Schubtragfähigkeit in Rechnung gestellt werden. Die NZS 4230 [13] beschreibt dabei den Einfluss der Normalkraft auf die Horizontaltragfähigkeit der Wand. Mit Zunahme der Normalkraft erhöht sich auch die übertragbare Schubkraft der Wand, allerdings konnte durch Beobachtungen der Versuche [21, 25, 26] festgestellt werden, dass die Nachrissverformungen drastisch aufgrund eines spröderen Versagens abnehmen. Um ein duktileres Versagen der Wand unter Erdbebenlasten zu gewährleisten, wird die zulässige ansetzbare Auflast mit 10 % der maximalen Tragfähigkeit der Wand begrenzt. Zusätzlich darf die Schubkraf­terhöhung durch die Normalkraft 10 % der Druckfestigkeit der Wanddruckfestigkeit nicht überschreiten.

$$V_n = (C_1 + C_2) \cdot v_{bm} \cdot b_w \cdot d + 0,9 \cdot N^* \cdot \tan \alpha + C_3 \cdot A_v \cdot f_y \cdot d/s \quad (2.11)$$

C_1 = Beiwert für vertikalen Bewehrungsgrad

C_2 = Beiwert für Wandgeometrie

v_{bm} = Schubtragfähigkeit Mauerwerk

b_w = Breite der Wand

d = effektive Wandlänge $0,8 \cdot L_W$

N^* = Normalkraft

α = Winkel der Normalkraft

C_3 = Beiwert für Bewehrung: 0,8 für Wände

A_v = Schubbewehrungsfläche

f_y = Bemessungswert der Streckgrenze des Bewehrungsstahls

s = Abstand der horizontalen Bewehrung

Die NZS 4230 [13] liefert, angewendet auf den Porotherm 25-50 SBZ.i Plan, eine sehr hohe Schubtragfähigkeit, wobei diese schnell an die maximalen Grenzwerte stößt. Der allgemeine Aufbau und der Verlauf der Ergebnisse ist mit jenen der ÖNORM EN 1996-1-1 [19] vergleichbar, allerdings ist der Eingangswert für die Scherfestigkeit mit $v_{bm} = 0,2 \cdot \sqrt{f_m}$ sowie die Verbesserung durch die Normalkraft größer gewählt.

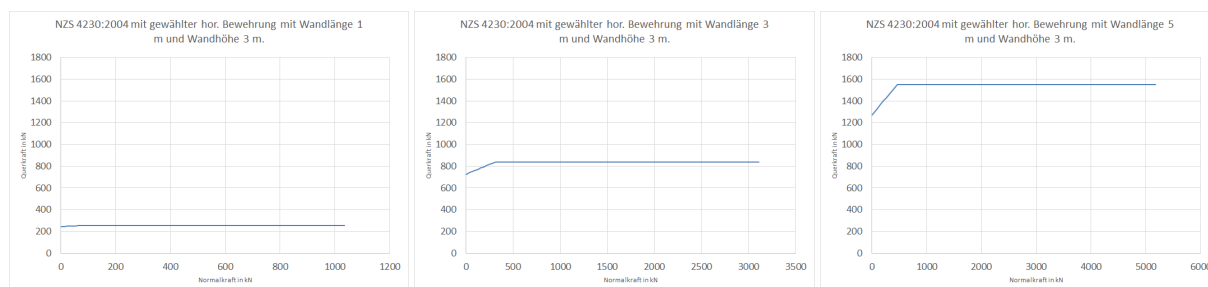


Abb. 2.12: Schubbemessungskonzept der NORM NZS 4230:2004[13] für Porotherm 25-50 SBZ.i Plan

2.7 AS 3700-2018

Die in Australien gültige AS 3700-2018 [1] gibt in Abschnitt 8.7 mit der Formel (2.12) eine empirische Beziehung des Traganteils zwischen Mauerwerk und horizontaler oder vertikaler Bewehrung an. Während für Pfeiler mit einem H/L-Verhältnis von größer als eins nur die Schubbewehrung ausschlaggebend ist, wird bei langen Wänden die kleinere Querschnittsfläche von horizontaler und vertikaler Bewehrung herangezogen. Für sehr kurze bzw. hohe Abschnitte erfolgt die Bemessung auf Schub aus der Wandebene, auf welche hier nicht weiter eingegangen wird.

$$V_d \leq \Theta \cdot (f_{vr} \cdot A_d + 0,8 \cdot f_{sy} \cdot A_s) \quad (2.12)$$

Θ = Ausnutzungsfaktor 0,75

f_{vr} = effektive Scherfestigkeit $1,5 - 0,5 \cdot H/L$

A_d = Querschnittsfläche

f_{sy} = Bemessungswert der Streckgrenze der Bewehrung

A_s = Bewehrungsfläche

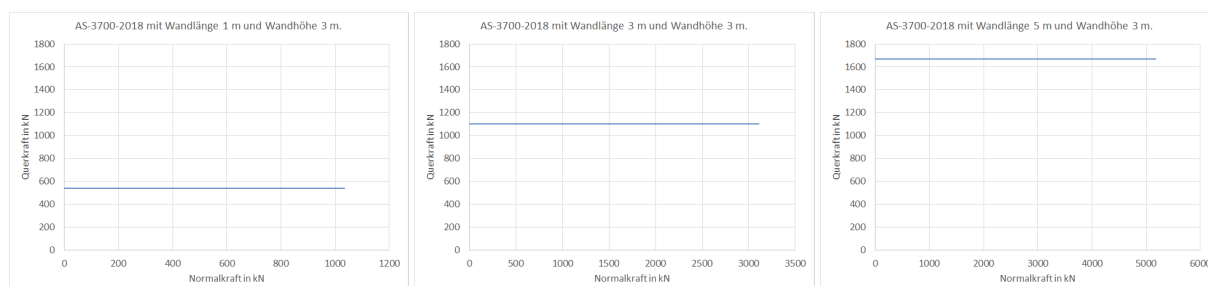


Abb. 2.13: Schubbemessungskonzept der AS 3700-2018[1] für Porotherm 25-50 SBZ.i Plan

Die Auswertung der Gleichung (2.12) für verschiedene Wandgeometrien ist in Abbildung 2.13 dargestellt und ergibt jeweils eine konstante Traglast, bedingt durch die einzigen Einflussgrößen Wandgeometrie und Bewehrung. Im Vergleich zu anderen Ansätzen ergibt sich eine sehr hohe Tragfähigkeit, die auch schon bei geringer Normalkraft vorhanden ist.

2.8 TMS 402/602-16

Der International Building Code sieht eine Bemessung von Mauerwerk nach den Regeln von TMS 402/602-16 [12] vor, welche die empirische Gleichung (2.13) enthält. Der erste Teil berücksichtigt die Schubfestigkeit von Mauerwerk, wobei eine Abhängigkeit von Geometrie und Druckfestigkeit der Wand besteht. Die positive Wirkung von Auflast bzw. horizontaler Bewehrung wird durch additive Teile berücksichtigt. Die Formeln (2.14) und (2.15) geben dabei Grenzwerte für die horizontale Tragfähigkeit in Abhängigkeit der Geometrie an. Für Werte zwischen 0,25 und 1,0 darf linear interpoliert werden. Der Faktor für die Wirkung der Schubbewehrung wurde in den letzten Jahren von 1 auf 0,5 abgemindert und liegt somit nun unter dem Durchschnitt vergleichbarer Bemessungskonzepte.

$$V_n = 0,083 \cdot \left[4 - 1,75 \cdot \left(\frac{M_u}{V_u \cdot d_v} \right) \right] \cdot A_n \cdot \sqrt{f'_m} + 0,25 \cdot P + 0,5 \cdot \left(\frac{A_v}{s} \right) \cdot f_y \cdot d_v \quad (2.13)$$

$$V_n \leq 0,5 \cdot A_n \cdot \sqrt{f'_m} \text{ für } \frac{M_u}{V_u \cdot d_v} \leq 0,25 \quad (2.14)$$

$$V_n \leq 0,33 \cdot A_n \cdot \sqrt{f'_m} \text{ für } \frac{M_u}{V_u \cdot d_v} \geq 1,0 \quad (2.15)$$

M_u = Biegemoment

V_u = Querkraft

d_v = Wandlänge

A_n = Querschnittsfläche

f'_m = Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks

P = Normalkraft

A_v = Schubbewehrungsfläche

s = Bewehrungsabstand

f_y = Bemessungswert der Streckgrenze der Bewehrung

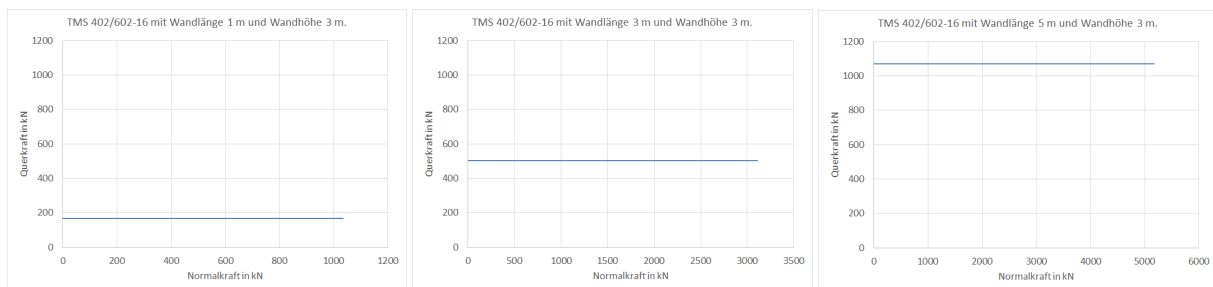


Abb. 2.14: Berechnungsergebnisse nach der TMS 402/602-16

Die Ergebnisse in Abbildung 2.14 zeigen für die gewählten Querschnitte einen konstanten Verlauf des Tragwiderstandes. Durch das Überschreiten des Grenzwertes der Norm in den dargestellten Fällen hat die Normalkraft keinen Einfluss auf die Ergebnisse. Im Vergleich zu ähnlichen Bemessungsansätzen fällt auf, dass die maximale Traglast geringer ausfällt. Dies ist durch den Abminderungsfaktoren für die Normalkraft und die Bewehrung geschuldet.

Kapitel 3

Bemessungsprogramm

Die Auswahl des Bemessungskonzeptes für die Schubbemessung von Wänden aus dem Porotherm 25-50 SBZ.i Plan beruht auf den Erkenntnissen aus dem Stand der Technik im Vergleich mit den Ergebnissen aus den Belastungsversuchen in Kapitel 4. Dabei hat sich gezeigt, dass die Berechnung nach ÖNORM EN 1996-1-1 [14] Ergebnisse liefert, die der tatsächlichen Traglast und Versagensart nahe kommen. Auf den Vergleich zwischen Berechnung und Versuchen wird im Kapitel 5 genauer eingegangen.

Für die Berechnung der Tragfähigkeit gegen eine kombinierte Einwirkung aus Normalkraft und Querkraft sind die Gleichungen (3.1-3.3) zu erfüllen. Durch den engen Zusammenhang der Schub- und Momententragfähigkeit und der einwirkenden Normalkraft sind die Nachweise für jeden Lastfall gesondert nachzuweisen. Der Nachweis gegen Normalkraft hat dabei nur eine untergeordnete Rolle, da für die Normalkrafttragfähigkeit meist Knicken aus der Ebene durch Plattenlasten der maßgebende Fall ist.

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} \quad (3.1)$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} \quad (3.2)$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} \quad (3.3)$$

Ausgangsbasis der Berechnung ist die Einhaltung der Mindestbewehrung sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung. Der Bewehrungsgehalt und die Bewehrungsanordnung ergeben für die Berechnung verschiedene Mauerwerkstypen, welche in Abbildung 3.1 dargestellt und nachfolgend aufgelistet sind.

1. unbewehrtes Mauerwerk
2. eingefasstes Mauerwerk
3. vertikal bewehrtes Mauerwerk
4. vertikal und horizontal bewehrtes Mauerwerk

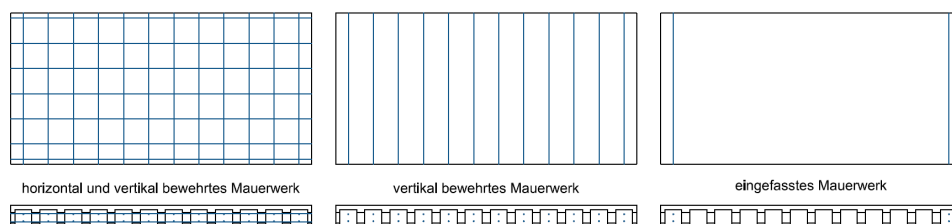


Abb. 3.1: Arten von bewehrten Mauerwerk

Ist eine vertikale Bewehrung über die gesamte Wandlänge verteilt und sind der Mindestgehalt an Haupt- und Schubbewehrung nach Kapitel 3.1.2.4 eingehalten, darf eine Bemessung als vertikal und horizontal bewehrtes Mauerwerk durchgeführt werden. Bei nicht ausreichender horizontaler Bewehrung allerdings ausreichend viel vertikaler Bewehrung, wird die Wand als vertikal bewehrt angesehen. Wird nur eine geringe vertikale Bewehrungsfläche vorgesehen, so ist diese symmetrisch an den Enden einzubauen und die Wand als eingefasstes Mauerwerk zu betrachten.

Auf die Bemessung von unbewehrtem Mauerwerk wird in dieser Arbeit nicht weiter eingegangen, da bereits ein Bemessungsprogramm der Wienerberger Österreich GmbH für diesen Fall existiert. Im Folgenden wird vor allem auf die Bemessung von einer vertikal und horizontal bewehrten Wand genauer eingegangen. Es werden aber auch Hinweise und Regeln für die Berechnung von eingefasstem und nur vertikal bewehrtem Mauerwerk gegeben.

3.1 Eingabewerte

Die nötigen Eingaben für die Berechnung werden im Abschnitt 1 des Bemessungsprogrammes eingegeben. Abbildung 3.2 zeigt dabei die Eingabemaske des Bemessungsprogrammes. Auf die getroffenen Annahmen für die Berechnung und die nötigen Rahmenbedingungen wird in den nachfolgenden Abschnitten genauer eingegangen.

3.1.1 Wandgeometrie

Die ÖNORM EN 1996-1-1 [19] stellt für die Berechnung keine besonderen Anforderungen an bewehrtes Mauerwerk unter Schubbelastung. Es wird auf die allgemeinen Anforderungen des Mauerwerkbaus mit Einhaltung der Mindestdicke, Mindestpfeilerabmessungen und maximaler Schlankheit verwiesen. Bei den verwendeten Ziegelformaten und den üblichen konstruktiven Grundregeln sind diese Anforderungen in der Regel eingehalten.

Meistens erfolgt eine Bemessung auf Schub durch den Nachweis im Erdbebenfall. Daher sind auch die Anforderungen nach ÖNORM EN 1998-1 [20] zusätzlich maßgebend. Um als primäre Tragkonstruktion angesehen werden zu können, wird eine minimale effektive Wanddicke von 240 mm und eine maximale effektive Schlankheit von 15 für bewehrtes Mauerwerk vorgegeben. Das Längen-Höhen-Verhältnis ist für bewehrtes Mauerwerk unbegrenzt. Für eingefasste Schubwände gelten die selben Grenzwerte wie für die effektive Dicke und Schlankheit. Das Längen-Höhen-Verhältnis ist aber mit mindestens 0,3 vorgegeben.

1. Eingabe				
1.1 Wände				
1.1.1 Abmessungen		1.1.2 Ziegel		
Wandhöhe	h	<input type="text" value="2,75"/> m	Ziegelwahl	<input type="text" value="Porotherm 25-50 SBZ,i Plan"/>
Wandlänge	l	<input type="text" value="5,00"/> m	Fugenkomponente	<input type="text" value="Dünnbettmörtel"/>
Deckeneinspannung:		<input type="text" value="oben und unten"/>	Wanddicke	t 0,25 m
Abminderungsfaktor	Φ	<input type="text" value="1,00"/>	Steindruckfestigkeit	f_b 10 N/mm ²
1.1.3 Beton		1.1.5 Randbewehrung		
Betongüte		<input type="text" value="C20/25"/>	Randbewehrung	<input type="text" value="Ø 8"/>
1.1.4 Stahl		Anzahl		<input type="text" value="4"/>
Streckgrenze	f_{yk}	<input type="text" value="550"/> N/mm ²	gewählte Bewehrungsfläche	A_s 2,01 cm ²
	f_{yd}	478,26 N/mm ²	Mindestbewehrung	$A_{s,min}$ 2,00 cm ²
1.1.6 Hauptbewehrung		1.1.7 Schubbewehrung		
Hauptbewehrung		<input type="text" value="Ø 8"/>	Schubbewehrung	<input type="text" value="Ø 8"/>
Felder		<input type="text" value="jedes 2 Feld bewehrt"/>	Felder	<input type="text" value="jede 2 Schar bewehrt"/>
Anzahl		<input type="text" value="2"/> Stk.	Anzahl	<input type="text" value="2"/> Stk.
gewählte Bewehrungsfläche	A_s	12,06 cm ²	gewählte Bewehrungsfläche	A_{sw} 5,53 cm ²
Mindestbewehrung	$A_{s,min}$	10,00 cm ²	Mindestbewehrung	$A_{sw,min}$ 3,44 cm ²
Systemskizze				
1.2 Einwirkungen		1.3 Berechnungsgrundlagen		
1.2.1 Lasten in Wandrichtung		1.3.1 Berechnungsparameter		
Normalkraft	N_{ed}	<input type="text" value="100,00"/> kN	Berechnungsnorm	EN 1996-1-1
Exzentrizität der Normalkraft	e_{Ned}	<input type="text" value="0,00"/> m	nationales Dokument	B 1996-1-1
Horizontalkraft	V_{ed}	<input type="text" value="50,00"/> kN	Anhang J	<input checked="" type="checkbox"/>
			Berechnungsnorm	EN 1998-1-1
			Berechnungsnorm	B 1998-1-1
			Erdbeben	<input type="checkbox"/>
			plastische Berechnung zulassen	<input checked="" type="checkbox"/>

Abb. 3.2: Eingabemöglichkeiten des Bemessungsprogrammes

$$\lambda = \frac{h_{\text{eff}}}{t_{\text{eff}}} \quad (3.4)$$

$$h_{\text{eff}} = \rho_n \cdot h \quad (3.5)$$

h_{eff} = Knicklänge der Wand

h = Wandhöhe

ρ_n = Abminderungsfaktor mit $n = 2,3,4$ je nach Lagerungsbedingungen

Allgemein wird bei bewehrten Wänden aus Porotherm SBZ.i Plan eine Anschlussbewehrung am Wandkopf und am Wandfuß in die Decke bzw. den Rost empfohlen. Dadurch ist die Annahme von vertikal gehaltenen Rändern für die zu bemessende Wand zutreffend und der Fall ρ_4 kann zur Berechnung der Knicklänge verwendet werden. Die zugehörigen Formeln sind in Tabelle 3.1 dargestellt. Typ 1 ist anzuwenden bei Stahlbetondecken oder Dächern mit einer Lastausmitte am Wandkopf nicht größer als das 0,25-fache der Wanddicke. Typ 2 deckt Holzbalkendecken oder Dächer sowie Fälle vom Typ 1 mit einer größeren Lastausmitte ab.

Tab. 3.1: Abminderungsfaktor ρ_4

h/l	Typ 1	Typ 2
$\leq 1,5$	$\frac{1}{1 + \left[\frac{0,75 \cdot h}{t}\right]^2} \cdot 0,75$	$\frac{1}{1 + \left[\frac{h}{t}\right]^2}$
$> 1,15$	$\frac{0,5 \cdot l}{h} \geq 0,3$	$\frac{0,5 \cdot l}{h} \geq 0,3$

3.1.2 Materialien

3.1.2.1 Ziegel

Beim dem in Abbildung 3.3 dargestellten Porotherm 25-50 SBZ.i Plan handelt es sich um einen 25 x 50 x 24,9 cm großen Ziegelstein. Laut Datenblatt [27] besitzt er eine deklarierte Steindruckfestigkeit \bar{f}_b von 10 N/mm², welche mit dem Korrekturfaktor δ von 1,15 eine normierte Steindruckfestigkeit f_b von 11,5 N/mm² erreicht. Für den Füllbeton sind pro Ziegel jeweils eine Ausnehmung mit 17 x 17 cm und zwei mit 8,5 x 17 cm vorhanden. Durch die Kombination von mehreren Ziegelsteinen im Mauerverband ergibt sich ein Raster von 17 x 17 alle 25 cm. Zusätzlich besitzt der Porotherm 25-50 SBZ.i Plan horizontale Ausfräsungen in den Ziegelstegen von 5 x 10 cm, wobei durch das Versetzen der Scharen ein durchgängiger, horizontaler Betonkanal mit den Abmessungen von 10 x 10 cm entsteht.

3.1.2.2 Füllbeton

Die Füllbetoneigenschaften für Mauerwerk werden in ÖNORM EN 1996-1-1 [19] geregelt und sollten mindestens der Betonfestigkeitsklasse C12/15 entsprechen. Die charakteristischen Ei-

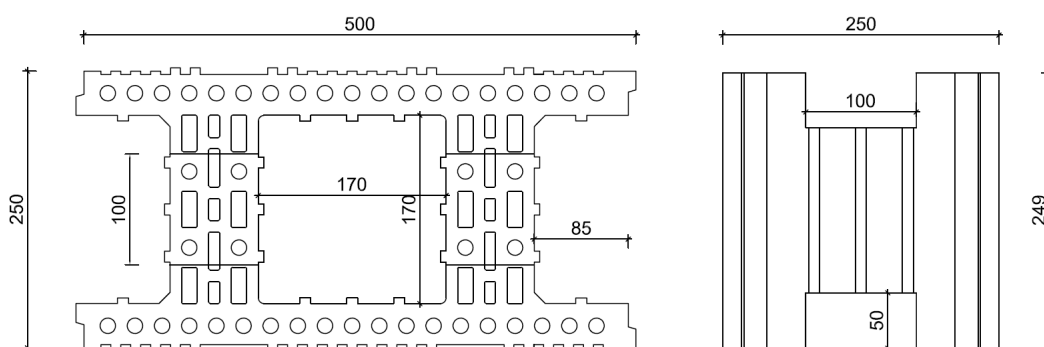


Abb. 3.3: Abmessungen des Porotherm 25-50 SBZ.i Plan

genschaften des Füllbetons sollten dabei aus Versuchen bestimmt werden, allerdings können auch die Werte aus der Tabelle 3.2 der ÖNORM EN 1996-1-1 [19] verwendet werden (siehe Tabelle 3.2). Bei der Ausführung der Füllbetonwand kann nicht von einem ausreichend gesichert hohen Festigkeitsniveau ausgegangen werden, bedingt durch mangelhafte Verdichtung oder den erhöhtem Wasserentzug durch den Ziegel. Die maximal ansetzbare Betonfestigkeit wird daher durch das Gutachten [22] mit C20/25 beschränkt. Wird die Wand mit der Decke mitbetoniert, so hat die Betongüte des Füllbetons jener der Decke zu entsprechen. Wird die Wand in einem eigenen Arbeitsgang betoniert kann auch eine geringere Betongüte als jener der Decke verwendet werden.

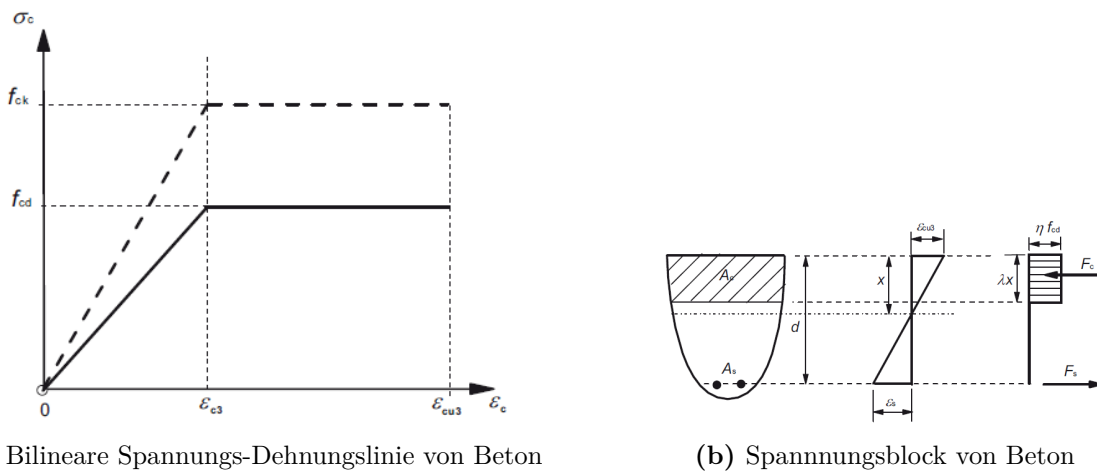
Tab. 3.2: Auszug der Tabelle 3.2 aus der EN 1996-1-1 [19], Werte in N/mm^2

Betonfestigkeitsklasse	C12/15	C16/20	C20/25
f_{ck}	12	16	20
f_{cvk}	0,27	0,33	0,45

ÖNORM EN 1992-1-1 [18] erlaubt für die Berechnung der Spannungen aus Verzerrungen verschiedene Möglichkeiten. Neben dem Parabel-Rechteck-Diagramm ist in Abbildung 3.4a eine vereinfachte bilineare Spannungs-Dehnungs-Linie dargestellt. Die einfachste Variante ist die Verwendung eines Spannungsblockes (siehe 3.4b) mit der abgeminderten Festigkeit $\mu \cdot f_{cd}$ über die um den Beiwert λ abgeminderten Druckzonenhöhe. Für die einsetzbaren Festigkeitsklassen darf der Abminderungsfaktor μ mit 1 und der Beiwert λ mit 0,8 angesetzt werden. Die zulässigen Dehnungen des Beton sind nach ÖNORM EN 1992-1-1 [18] mit $\varepsilon_{cu3} = 3,5\%$ und $\varepsilon_{c3} = 1,75\%$ vorgegeben.

3.1.2.3 Verbundsteinfestigkeit

Das Gutachten [22] für die Verbundsteinfestigkeit für Porotherm Füllmauerwerk bietet eine Möglichkeit zur Bestimmung der Wanddruckfestigkeit für Wände aus Füllziegelmauerwerk der Wienerberger Österreich GmbH. Durch diese Annahmen kann das Betonfüllmauerwerk nach den Berechnungsansätzen der ÖNORM EN 1996-1-1 [19] berechnet werden. Das Anwenden der Verbundsteinfestigkeit setzt das Einhalten der Anwendungsgrenzen und Bestimmungen des Gutachten [22] voraus. Neben den geometrischen Anforderungen an den Ziegel wird auch



(a) Bilineare Spannungs-Dehnungslinie von Beton

(b) Spannungsblock von Beton

Abb. 3.4: Arbeitslinien von Beton nach (Quelle: [19])

der Abminderungsbeiwert $\kappa=0,48$ für das Porotherm Dryfix extra System darin festgelegt. Die Verbundsteinfestigkeit wird dabei mit den nachfolgenden Formeln berechnet:

$$N_{R,Ziegel} = A \cdot \kappa \cdot f_b \quad (3.6)$$

$$N_{R,Beton} = A_{\text{Beton}} \cdot f_{ck} \cdot \frac{\gamma_{M-MWK}}{\gamma_{M-Beton}} \quad (3.7)$$

$$N_R = N_{R,Ziegel} + N_{R,Beton} \quad (3.8)$$

$$f_{b,V} = \frac{N_R}{A} \quad (3.9)$$

A = Bruttofläche Ziegel

A_{Beton} = Fläche des Füllbeton im Ziegel

κ = Abminderungsbeiwert Mörtelart

$N_{R,Ziegel}$ = Traglastanteil Ziegel

$N_{R,Beton}$ = Traglastanteil Beton

N_R = Traglast Verbundstein

f_b = normierte Druckfestigkeit des Verfüllziegels

f_{ck} = char. Dauerfestigkeit des Füllbetons

$f_{b,V}$ = normierte Steindruckfestigkeit des Verbundsteines

γ_{M-MWK} = Teilsicherheitsbeiwert Mauerwerk

$\gamma_{M-Beton}$ = Teilsicherheitsbeiwert Beton

Die charakteristische Wanddruckfestigkeit kann nach ÖNORM B 1996-1-1 [14] mit Hilfe der Gleichung (3.10) errechnet werden, wobei der Verbundstein als Ziegel der Gruppe 1 mit Dünnbettmörtel angesehen wird.

$$f_{k,V} = 0,9 \cdot f_{b,V}^{0,7} \quad (3.10)$$

Für die Berechnung der Schubfestigkeit darf der Porotherm 25-50 SBZ.i Plan als Ziegelstein der Mauersteingruppe 1 mit vollständig vermörtelten Stoßfugen angesehen werden. Die charakteristische Schubfestigkeit von Mauerwerk mit Dünnbettmörtel darf daher nach Gleichung (3.11) ermittelt werden. Wird die Wand mit dem Porotherm Dryfix extra System errichtet, wird die Schubfestigkeit mit Gleichung (3.12) ermittelt. Für die Anfangsscherfestigkeit wird der Wert aus Tabelle 3.4 der ÖNORM EN 1996-1-1 [19] für Dünnbettmörtel mit $0,30 \text{ N/mm}^2$ übernommen. Die für die Bestimmung der Schubfestigkeit benötigte Normalspannung σ_d ergibt sich als Mittelwert der Vertikalspannungen im überdrückten Bereich der Wand und kann mit Hilfe der Formeln (3.13-3.14) errechnet werden. Eventuelle Spannungsspitzen bei kurzen überdrückten Wandlängen sollten dabei vermieden werden, indem die maximale Randspannung eingehalten wird. Aufgrund der verwendeten linear-elastischen Berechnungsmethode der überdrückten Länge werden die Randspannungen mit der Wanddruckfestigkeit f_k begrenzt.

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0,4 \cdot \sigma_d \leq 0,065 \cdot f_b \quad (3.11)$$

$$f_{vk} = 0,28 + 0,28 \cdot \sigma_d \leq 0,065 \cdot f_b \quad (3.12)$$

$$\sigma_d = \frac{N_{Ed}}{l_c \cdot t} \quad (3.13)$$

$$l_c = \frac{l}{2} - 2 \cdot \frac{V_{Ed} \cdot h + N_{Ed} \cdot e_N}{N_{Ed}} \leq l \quad (3.14)$$

f_{vk0} = Anfangsscherfestigkeit

σ_d = Bemessungsdruckspannung

f_b = normierte Steindruckfestigkeit

l_c = überdrückte Wandlänge

V_{Ed} = Bemessungswert der Horizontalkraft

N_{Ed} = Bemessungswert der Normalkraft

e_N = Exzentrizität der Normalkraft

h = Wandhöhe

l = Wandlänge

Die Auswertung der Schubfestigkeit f_{vk} nach Formel (3.11) ergibt in einigen Fällen unterschiedliche Werte für den Wandkopf und den Wandfuß. Ausschlaggebend dafür ist die überdrückte Wandlänge l_c bzw. die damit zusammenhängende Spannung σ_d . Abbildung 3.5 zeigt für ein ausgewähltes Beispiel die Schubfestigkeit f_{vk} in Abhängigkeit von der überdrückten Länge l_c für drei verschiedene Normalkraftfälle. Am Wandkopf entspricht die überdrückte Wandlänge bei fehlender Exzentrizität der einwirkenden Normalkraft der Wandlänge, während am Wandfuß die überdrückte Länge aufgrund der Horizontalkraft meist kleiner als die Wandlänge ist.

Im Bereich von hohen vertikalen Belastungen kann bei einer Überschreitung der Wanddruckfestigkeit die überdrückte Wandlänge mit einer plastischen Spannungsverteilung berechnet werden.

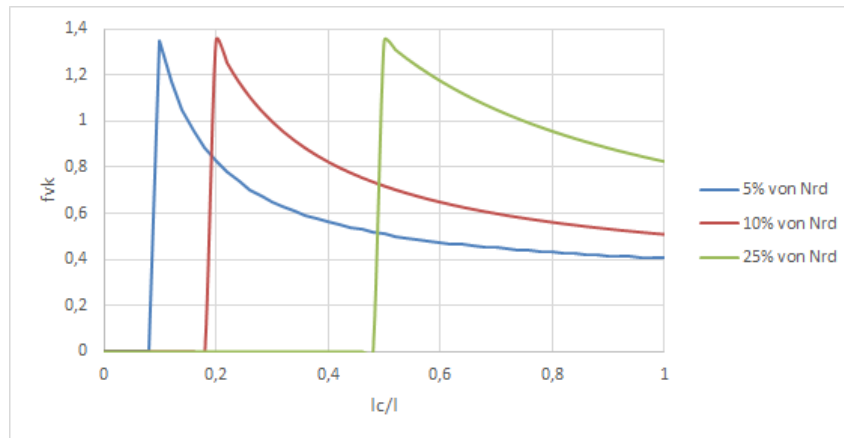


Abb. 3.5: Schubfestigkeit des Mauerwerks in Abhängigkeit von der überdrückten Wandlänge

$$l_{c,plas} = \left(1 - 2 \cdot \frac{V_{Ed} \cdot h + N_{Ed} \cdot e_N}{N_{Ed} \cdot l} \right) \cdot l \quad (3.15)$$

V_{Ed} = Bemessungswert der Horizontalkraft

N_{Ed} = Bemessungswert der Normalkraft

e_N = Exzentrizität der Normalkraft

h = Wandhöhe

l = Wandlänge

Im Anhang J der ÖNORM EN 1996-1-1 [19] ist eine Möglichkeit zur Berechnung des Vergrößerungsfaktors für die Schubbeanspruchung von bewehrten Mauerwerksbauteilen gegeben. Für Wände, bei denen die Hauptbewehrung in mit Beton gefüllten Kanälen liegt, darf die Schubfestigkeit f_{vk} mit Formel (3.16) angesetzt werden.

$$f_{vd} = \frac{0,35 + 17,5 \cdot \rho}{\gamma_M} \leq \frac{0,7}{\gamma_M} \quad (3.16)$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} \quad (3.17)$$

ρ = Bewehrungsgrad

γ_M = Teilsicherheitsbeiwert für das Mauerwerk

b = Breite des Querschnitts

d = Nutzhöhe

Für den Verbundquerschnitt wird die in Abbildung 3.6 dargestellte Arbeitslinie der ÖNORM EN 1996-1-1 [19] für Mauerwerk als idealisierter Parabel-Rechteck-Verlauf angenommen, wobei der E-Modul mit $1000 \cdot f_k$ für Dünnbettmörtel oder $840 \cdot f_k^{0,7}$ für das Protherm Dryfix extra

System angesetzt wird. Für die Bemessung darf der Verlauf auch als linear, parabelförmig oder rechteckig angenommen werden.

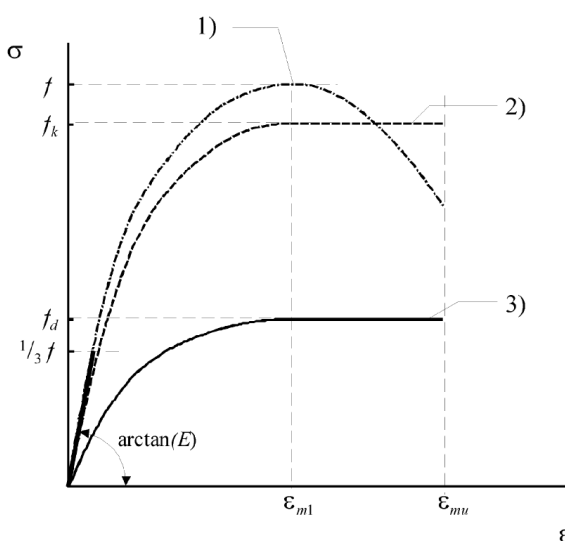


Abb. 3.6: Spannungs-Dehnungslinie für Mauerwerk unter Druckbeanspruchung (Quelle: [19])

3.1.2.4 Bewehrung

Für die Anforderungen von Bewehrungsstäben verweist die ÖNORM EN 1996-1-1 [19] auf den Anhang C der ÖNORM EN 1992-1-1 [18]. Auf Grundlage der Tabelle C.1 der ÖNORM EN 1992-1-1 [18] kann für die Bewehrung von Wänden aus Füllbetonsteinen Baustahl der Klasse A-C mit einer charakteristischen Streckgrenze von 400 bis 600 N/mm² verwendet werden. Die benötigte Klasse richtet sich nach der notwendigen Dehnung der Bewehrungsstäbe aus dem Verzerrungsverlauf. Für die Bemessung wird die Spannungs-Dehnungslinie für Betonstahl nach ÖNORM EN 1992-1-1 [18] verwendet. Im Programm ist der linear-elastisch-ideal-plastische Verlauf der Abbildung 3.7 hinterlegt.

Die Bewehrungsführung ist durch den Aufbau der Ziegelschalsteine zu einem großen Teil vorgegeben, wobei eine vorhandene horizontale Bewehrung schon beim Aufbau der Ziegelscharen eingebaut werden muss und daher direkt an der Ziegelschale anliegt. Für die vertikale Bewehrung werden in der Praxis Eingurträger oder gerade Stahlstäbe verwendet. Diese werden nach dem Aufmauern eingeführt und mit der obersten horizontalen Bewehrung verschnürt (siehe Abbildung 3.8). Für weitere Informationen zum Einbau der Bewehrung oder zur Ausführung von Bewehrungsstößen oder -verankerungen sind die Regeln der ÖNORM EN 1996-1-1 [19] und die Hinweise der Wienerberger Verarbeitungshinweise [29] zu beachten.

Bewehrtes Mauerwerk

Um eine Berechnung als bewehrtes Mauerwerk führen zu können, sind die konstruktiven Anforderungen von Bewehrungsgehalt und Bewehrungsabstand einzuhalten. Dabei sollte die vertikale Bewehrung einen Mindestbewehrungsgehalt von 0,08 % der horizontalen Bruttoquerschnittsfläche

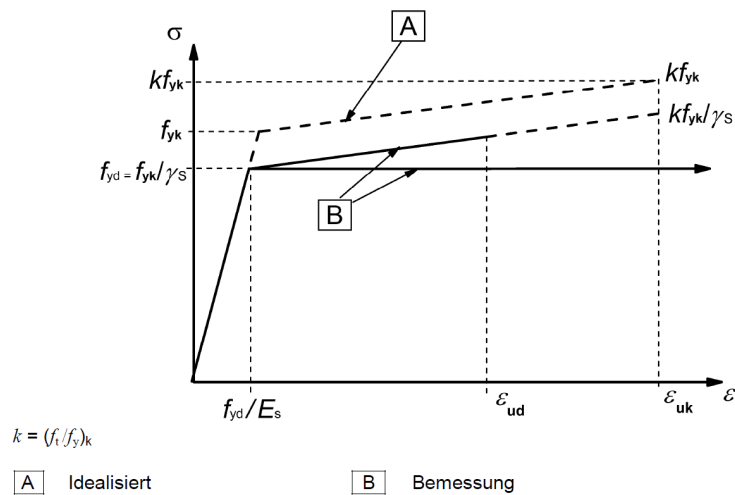


Abb. 3.7: Spannungs-Dehnungslinie für Betonstahl (Quelle: [18])



Abb. 3.8: Einbau der vertikalen und horizontalen Bewehrung (Quelle: [28])

betragen. Die maximale Gesamtfläche der Hauptbewehrung darf 4 % bzw. 8 % bei Stößen der Füllbetonfläche je Kanal nicht überschreiten. Bezogen auf den vertikalen Gesamtquerschnitt sollte der Mindestbewehrungsgrad der horizontalen Bewehrung 0,05 % nicht unterschreiten, allerdings sollten hohe Bewehrungsgrade vermieden werden, um das Druckversagen der Mauersteine vor dem Erreichen der Fließgrenze des Stahls zu vermeiden. Der Abstand der Zugbewehrung wird mit maximal 600 mm begrenzt, umgelegt auf den Porotherm SBZ.i Plan ist damit eine vertikale Bewehrung in jedem zweiten Feld möglich. Bei der Bemessung im Erdbebenfall wird zusätzlich eine Bewehrungsfläche an den Wandenden, an Wandkreuzungen oder innerhalb der Wand im Abstand von 5 m vorgesehen, diese sollte nicht weniger als 200 mm² betragen. Der vertikale Abstand der Horizontalbewehrung sollte nicht größer als 600 mm gewählt werden, wodurch die Möglichkeit besteht, die Bewehrung auch nur jede zweite Schar einzulegen.

Eingefasstes Mauerwerk

Die vertikalen Einfassungselemente sind an beiden Enden der tragenden Wand, an Kreuzungspunkten, an beiden Seiten einer größeren Öffnung sowie innerhalb einer Wand in einem maximalen Abstand von 4 m anzuordnen. Die Hauptbewehrungsfläche der einfassenden Bauteile hat im

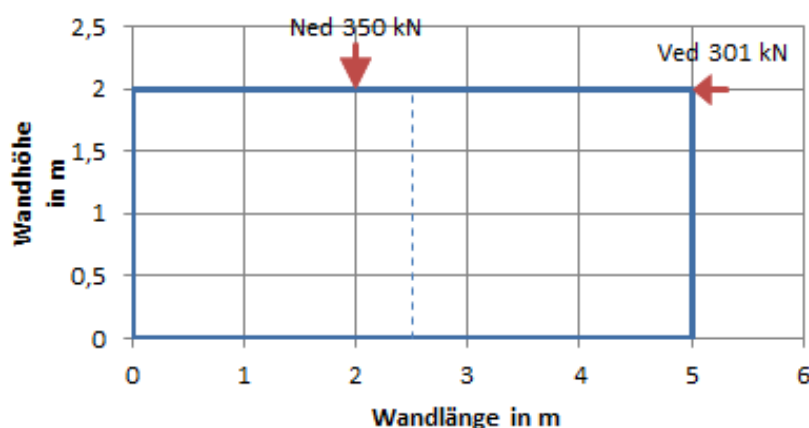


Abb. 3.9: Definition der Lasten im Bemessungsprogramm

Erdbebenfall mindestens 300 mm^2 zu betragen und sollte in einem Abstand von 150 mm verbügelt werden. Im allgemeinen Bemessungsfall ist eine Bewehrung von 200 mm^2 vorzusehen, welche im Abstand von 300 mm mit Bügeln gesichert ist. Der Bügeldurchmesser sollte in beiden Fällen einen Durchmesser von mindestens 6 mm aufweisen.

3.1.3 Lasten

Die Definition der Belastung erfolgt über die Eingabe der Normalkräfte in Wandrichtung und ist in Abbildung 3.9 dargestellt. Dazu wird die Normalkraft der zu bemessenden Wand auf Bemessungsniveau mit der dazugehörigen Exzentrizität sowie die Horizontalkraft auf Bemessungsniveau auf Höhe des Wandkopfes eingegeben. Dabei entspricht eine positive Exzentrizität einer Verschiebung der Normalkraft weg von der Einwirkungsstelle Horizontalkraft. Um die unterschiedlichen Versagensformen und den positiven Einfluss der Normalkraft auf die Tragfähigkeit der Wand berücksichtigen zu können, ist es nötig, sowohl die Berechnung für den Lastfall minimale Auflast als auch maximale Auflast durchzuführen. Eventuell einwirkende Momente am Wandkopf sind statisch äquivalent auf Normalkräfte umzurechnen.

Durch die Abhängigkeit des Biegemomentes von der Wandhöhe ist die maßgebende Stelle für die Bemessung für den Widerstand gegen Normalkraft und Biegemoment der Wandfuß. Aus den eingegebenen Lasten kann das resultierende Moment am Wandfuß mit Hilfe der Formel (3.18) errechnet werden. Das Eigengewicht der zu bemessenden Wand wird dabei vernachlässigt.

$$M_{Ed} = N_{Ed} \cdot e_N + V_{Ed} \cdot h \quad (3.18)$$

N_{Ed} = Bemessungsnormalkraft

e_N = Exzentrizität Normalkraft

V_{Ed} = Bemessungsquerkraft

h = Wandhöhe

Durch den Einbau von bewehrtem Mauerwerk ergeben sich im Vergleich zum konventionellen Mauerwerksbau statische Vorteile bei der Tragfähigkeit der einzelnen Bauteile aber auch bei Erstellung des Antwortspektrums bei der Erdbebenbemessung. Ein wichtiger Parameter bei der Erstellung des Antwortspektrums ist der Verhaltensbeiwert q , welcher bei bewehrtem Mauerwerk mit 2,50 angenommen werden darf. Im Vergleich dazu wird bei unbewehrtem Mauerwerk ein Beiwert von 2,00 vorgegeben.

3.1.4 Teilsicherheitsbeiwerte

Wie in Kapitel 3.1.3 beschrieben, sind die Lasten auf Bemessungsniveau einzugeben. Auf der Seite des Tragwiderstandes können bei der Erdbebenbemessung die Teilsicherheitsbeiwerte verringert werden und dürfen gemäß der ÖNORM B 1998-1 [15] mit den Werten aus Tabelle 3.3 angesetzt werden. Dadurch können für den Lastfall Erdbeben höhere rechnerische Tragfähigkeiten erreicht werden.

Tab. 3.3: Teilsicherheitsbeiwerte für die Materialien

Teilsicherheitsbeiwert		Art der Bemessung	
		Standard	Erdbeben
Mauerwerk	γ_M	2,0	1,5
Stahl	γ_S	1,15	1,0
Beton	γ_C	1,5	1,3

3.2 Bemessungswiderstände

3.2.1 Nachweis bewehrter Mauerwerksbauteile unter horizontaler Belastung in der Ebene der Wand

Der Bemessungswiderstand von Mauerwerk nach der ÖNORM EN 1996-1-1 [19] ist abhängig von den einwirkenden Kräften. Bei bewehrtem Mauerwerk ist ein Einfluss Kräfte nur bei der Berechnung der Schubfestigkeit vorhanden, siehe Kapitel 3.1.2.3. Bei eingefassten oder unbewehrten Wänden ist sowohl die Berechnung der Schubfestigkeit als auch die Schubtragfähigkeit von der überdrückten Wandlänge abhängig. Während im Kapitel 3.2.1.1 die Berechnung für den Fall von bekannten Lasten angegeben wird, wird im Kapitel 3.2.1.2 die maximal aufnehmbare Horizontalkraft bei einer bekannten Normalkraft berechnet.

3.2.1.1 Berechnung der Schubtragfähigkeit bei bekannter horizontaler Belastung

Die Schubtragfähigkeit der bewehrten Wand nach ÖNORM EN 1996-1-1 [19] setzt sich aus zwei Komponenten zusammen. Der erste Teil ist der Bemessungswert der Schubtragfähigkeit, welcher mit Gleichung (3.19) ermittelt werden kann. Die anzusetzende Bemessungsschubfestigkeit hängt, wie in Kapitel 3.1.2.3 beschrieben, vor allem von der Normalkraft ab. Im Bereich niedriger

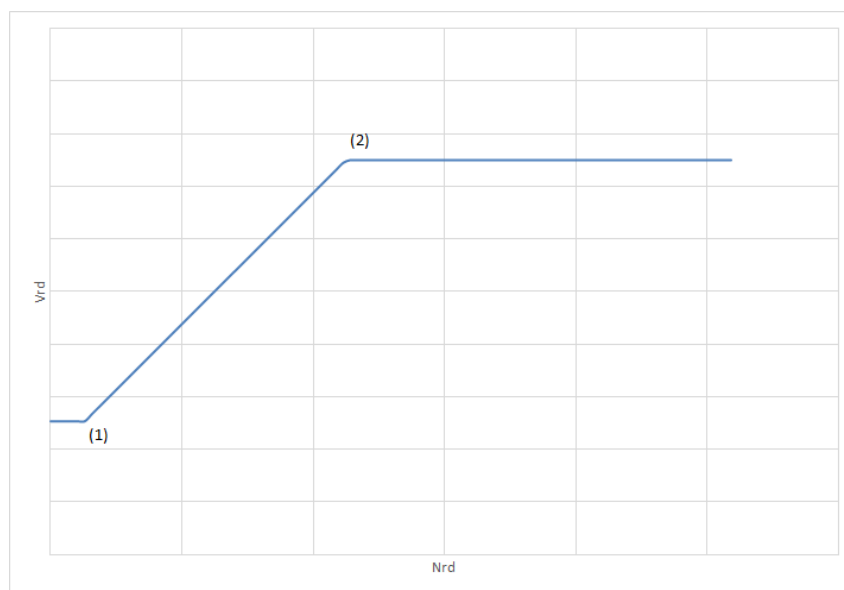


Abb. 3.10: Bemessungsschubtragfähigkeit einer bewehrten Wand

Auflasten kann Formel (3.16) verwendet werden, um eine höhere Schubtragfähigkeit zu erhalten. In Abbildung 3.10 ist ein Beispiel für den Verlauf der Schubtragfähigkeit dargestellt, wobei der Verlauf bis zum Punkt 1 den Einfluss der Erhöhung der Bewehrungsfläche in (3.17) zeigt. Bei einer Erhöhung der Auflast ergibt sich eine höhere Bemessungsschubfestigkeit nach (3.16), welche linear bis zum Erreichen der maximalen Schubfestigkeit im Punkt 2 ansteigt. Ab diesem Punkt ist der Grenzwert der Schubfestigkeit nach (3.12) erreicht und die Schubtragfähigkeit wird konstant.

$$V_{Rd1} = f_{vd} \cdot t \cdot l \quad (3.19)$$

f_{vd} = Bemessungsschubfestigkeit

t = Wanddicke

l = Wandlänge

Zusätzlich zur Bemessungsschubtragfähigkeit V_{Rd1} nach (3.19) darf bei Wänden mit einer Schubbewehrung auch die horizontale Bewehrung in Rechnung gestellt werden. Der Anteil der Bewehrung errechnet sich dabei nach (3.20) aus 90 % der Schubbewehrungsfläche multipliziert mit der Streckgrenze des Bewehrungsstahls. Die Schubtragfähigkeit der Wand kann mit der Formel (3.21) berechnet werden, wobei der Grenzwert der Schubfestigkeit nach (3.22) nicht überschritten werden darf.

$$V_{Rd2} = 0,9 \cdot A_{sw} \cdot f_{yd} \quad (3.20)$$

$$V_{Rd} = V_{Rd1} + V_{Rd2} \quad (3.21)$$

$$\frac{V_{Rd1} + V_{Rd2}}{t \cdot l} \leq 2,0 \text{ N/mm}^2 \quad (3.22)$$

A_{sw} = Gesamtfläche der horizontalen Schubbewehrung
 f_{yd} = Bemessungswert der Streckgrenze des Bewehrungsstahles
 V_{Rd1} = Bemessungswert der Schubtragfähigkeit
 V_{Rd2} = Anteil der Bewehrung
 l = Wandlänge
 t = Wanddicke

Eingefasstes Mauerwerk

Bei der Berechnung von eingefasstem Mauerwerk unter Schubbelastung sind die Regeln des unbewehrten Mauerwerks anzuwenden. Dabei ist die Bewehrung der einfassenden Bauteile zu vernachlässigen und die Schubfestigkeit mit der Wandfläche zu multiplizieren. Die Addition der Schubtragfähigkeit der Stahlbetoneinfassung zu jener des Ziegelmauerwerks, wie in ÖNORM EN 1996-1-1 [19] beschrieben, wird aufgrund der Bemessung mittels Verbundsteinfestigkeit nicht durchgeführt. Der Anhang J der ÖNORM EN 1996-1-1 [19] darf daher nicht angewendet werden.

$$V_{Rd} = f_{vd} \cdot l \cdot t \quad (3.23)$$

f_{vd} = Schubfestigkeit des Mauerwerks
 l = Wandlänge
 t = Wanddicke

3.2.1.2 Berechnung der Schubtragfähigkeit bei unbekannter horizontaler Belastung

Um einen besseren Überblick über das Tragverhalten einer Wand zu erhalten, werden Interaktionsdiagramme erstellt. Im Falle der Schubtragfähigkeit ist dabei die Beziehung zwischen der einwirkenden Normalkraft und der aufnehmbaren Horizontalkraft von besonderer Relevanz. Durch die Abhängigkeit der in der ÖNORM EN 1996-1-1 [19] angegebenen Bemessungsformeln von der einwirkenden Horizontalkraft ist die Berechnung der Schubtragfähigkeit nicht ohne weiteres möglich. Für unbewehrtes Mauerwerk kombinierten Jäger und Gams [8] die Formeln entsprechend und formten sie für die gesuchte Horizontalbelastung um. Auf dieser Grundlage können auch die Bemessungsformeln für den Bemessungswert der Schubtragfähigkeit V_{Rd1} von bewehrtem Mauerwerk umgerechnet werden.

In Abbildung 3.11 ist eine Gegenüberstellung zwischen eingefasstem und bewehrtem Mauerwerk dargestellt. Durch die Vernachlässigung der Bewehrung ist die Schubtragfähigkeit von eingefasstem Mauerwerk in den Bereichen, in denen durch die Wirkung der Querkraft eine Zugzone entsteht, geringer als bei einem bewehrtem Mauerwerk.

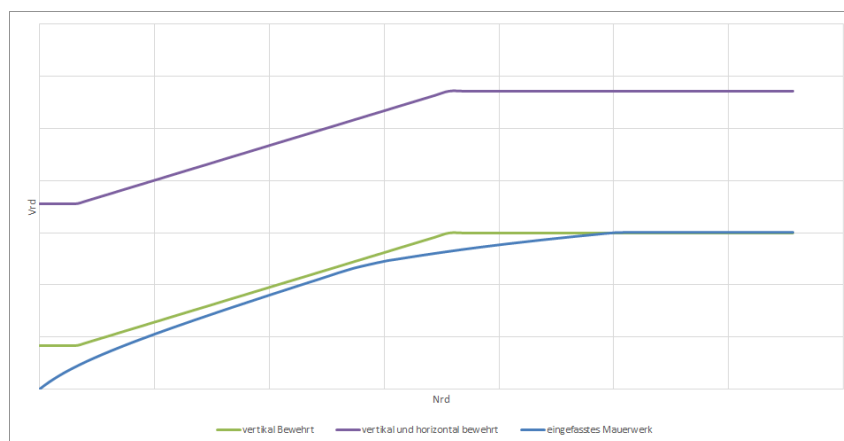


Abb. 3.11: Unterschied der Querkrafttragfähigkeit zwischen eingefasstem und bewehrtem Mauerwerk

3.2.2 Normalkraft und Biegung von bewehrtem Mauerwerk

Der maßgebende Punkt für die Bemessung bei Momenteneinwirkung ist der Wandfuß, da hier der Hebelsarm der horizontalen Kraft am größten ist. Daher werden die einwirkenden Kräfte in eine Normalkraft und ein Biegemoment in der Mitte des Wandfußes umgerechnet, siehe Kapitel 3.1.3. Die Berechnung der Interaktion zwischen Normalkraft und Moment erfolgt analog zum Stahlbetonbau und setzt folgende Annahmen der ÖNORM EN 1996-1-1 [19] voraus:

- Ebenbleiben der Querschnitte
- die Bewehrung verformt sich wie das Mauerwerk
- die Zugfestigkeit des Mauerwerks ist null
- die maximale Dehnung des Mauerwerks unter Druckbeanspruchung wird entsprechend dem Baustoff gewählt
- die Spannungs-Dehnungslinie des Mauerwerks soll als parabolisch, parabolisch-rechteckig oder rechteckig angenommen werden
- die Spannungs-Dehnungslinie des Stahls wird nach EN 1992-1-1 angenommen
- die Dehnung des Mauerwerks bei nicht voll auf Druck beanspruchten Querschnitten ist höchstens $\varepsilon_{mu} = -0,0035$ für Mauersteine der Gruppe 1 und $\varepsilon_{mu} = -0,002$ für Mauersteine der Gruppe 2, 3 und 4

Aufgrund dieser Annahmen wird ein linearer Verzerrungsverlauf für den Querschnitt gewählt. Auftragen der maximalen Dehnungen für Stahl und Mauerwerk ergibt den in Abbildung 3.12 dargestellten Fall. Zur Berechnung der wirkenden Druckkraft des Mauerwerks wird ein rechteckiger Spannungsblock mit 80 % der überdrückten Wandlänge gewählt. Die Normalkräfte im Stahl werden als Produkt aus Stahlfläche mit der wirkenden Stahlspannung, siehe Formeln (3.24-3.25), angesetzt.

$$F_s = A_s \cdot \sigma_s \quad (3.24)$$

$$\sigma_s = E_s \cdot \varepsilon_s \quad (3.25)$$

A_s = Stahlfläche

σ_s = Stahlspannung

E_s = E-Modul Stahl

ε_s = Stahldehnung

In Abbildung 3.12 ist für den Fall der maximalen Stahldehnung die Spannungsermittlung dargestellt. Die aufnehmbare Normalkraft für diesen Fall erhält man durch Aufsummieren aller Kräfte und das aufnehmbare Moment als Summe der Drehmomente der Kräfte um die Wandmitte:

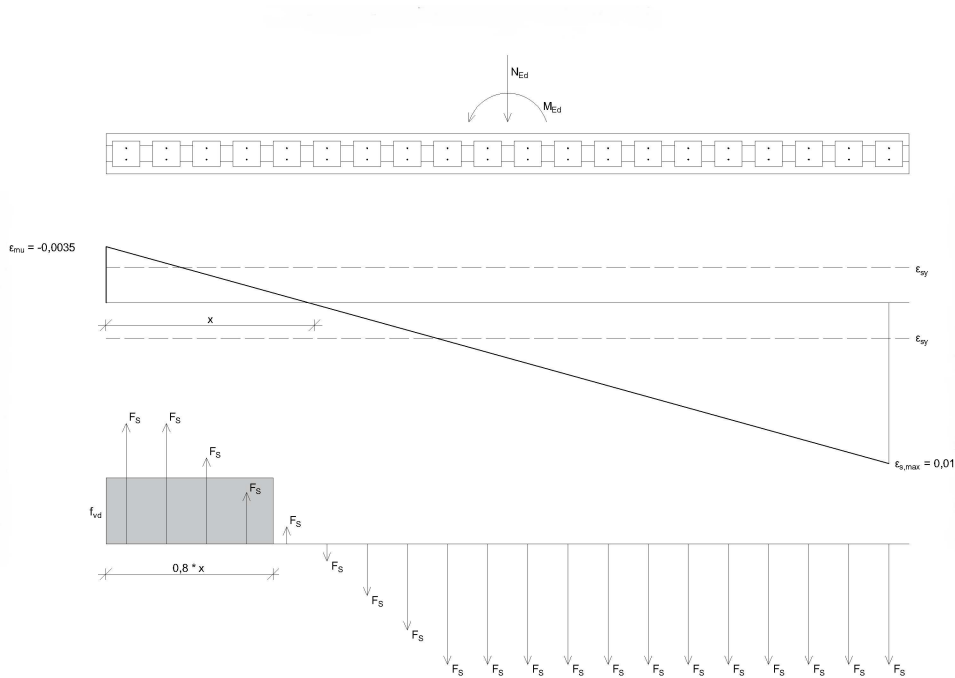


Abb. 3.12: Annahme für den maximalen Verzerrungsverlauf und die dazugehörigen Spannungen

Um den Punkt der reinen Momentenbeanspruchung berechnen zu können, wird ein Punkt mit einer Mauerwerksdehnung kleiner als ε_{mu} benötigt. Für die Berechnung des Punktes ohne Normalkraftbeanspruchung wird eine bilineare Spannungs-Dehnungslinie verwendet, um die in Abbildung 3.13 dargestellten Spannungen zu berechnen. Die Ermittlung der aufnehmbaren Normalkraft und des Biegemoments erfolgen weiterhin nach den Formeln (3.26-3.27). Der berechnete Punkt hat eine negative aufnehmbare Normalkraft, welche durch Interpolation mit dem ersten Punkt mit positiver Normalkraft linear interpoliert das maximale Biegemoment bei reiner Momentbeanspruchung ergibt.

$$N_{Rd} = f_{d,V} \cdot t \cdot 0.8 \cdot x + \sum F_{s,i} \quad (3.26)$$

$$M_{Rd} = f_{d,V} \cdot t \cdot \frac{l \cdot (0.8 \cdot x)^2}{2} + \sum F_{s,i} \cdot s_i \quad (3.27)$$

$f_{d,V}$ = Bemessungsschubfestigkeit

t = Wanddicke

l = Wandlänge

x = Länge der Druckzone

$F_{s,i}$ = Normalkraft im Stahl

s_i = Abstand der Bewehrung zur Wandmitte

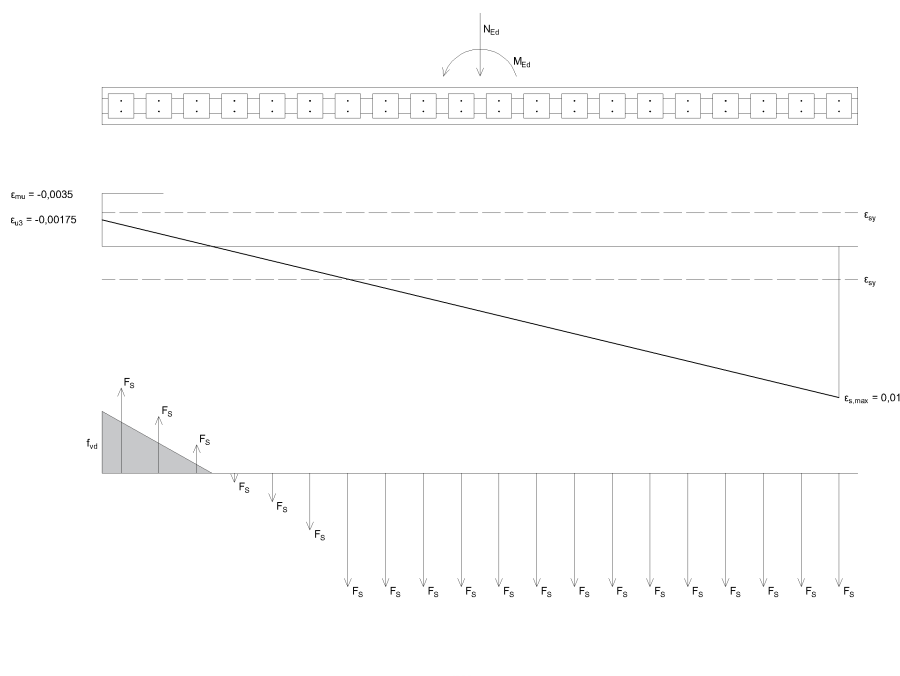


Abb. 3.13: Berechnungspunkt A für das Interaktionsdiagramm

Das Interaktionsdiagramm entsteht durch Variation der Neigung der Verzerrungsebene. Dabei wird die maximale Mauerwerksdehnung auf einer Seite festgehalten und die Stahldehnung in kleinen Schritten verringert. Die in Abbildung (3.14) dargestellte Kurve zeigt die Normalkraft-Momenten-Interaktion des Bemessungsprogrammes. Für die Erstellung des Diagramms werden 42 Punkte berechnet und zwischen den Punkten linear interpoliert. Der Punkt A1 entspricht reiner Momentenbeanspruchung und der Punkt D stellt den Grenzwert der Normalkraftbeanspruchung dar. Die verbleibenden 40 Punkte entsprechen der Normalkraft-Momenten-Interaktion, wobei jeweils 20 Punkte in den Bereichen B und C berechnet werden. Abbildung 3.15 entspricht dabei dem Punkt im Bereich C mit der größten Normalkraft und hat die Eigenschaft, dass die äußerste Bewehrung ungedehnt ist. Der Punkt zwischen den Bereichen B und C ergibt sich durch den

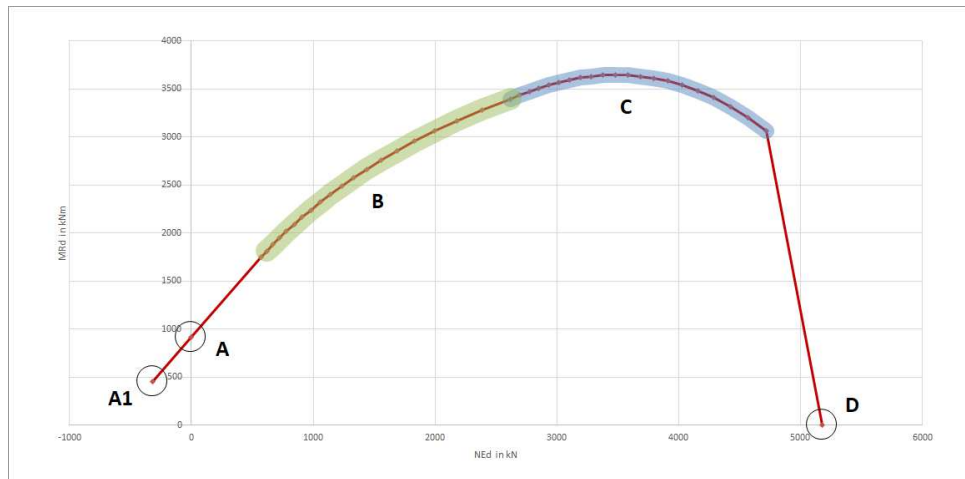


Abb. 3.14: Berechnungspunkte für das Interaktionsdiagramm

Ansatz der Fließdehnung des Stahles für die äußerste Zugbewehrung und ist in Abbildung 3.16 dargestellt.

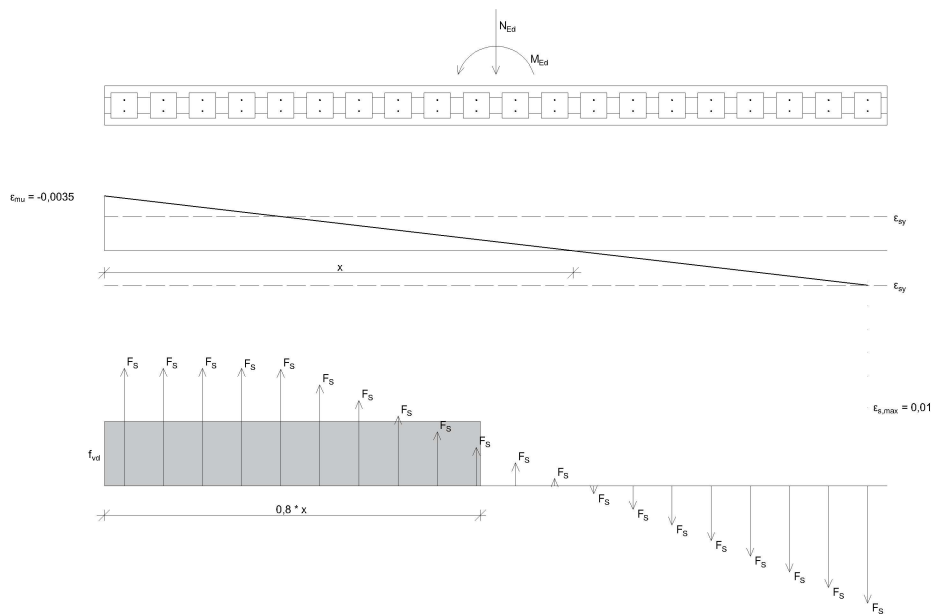


Abb. 3.15: Annahme für den Verzerrungsverlauf zur Berechnung des Punkt I und die dazugehörigen Spannungen

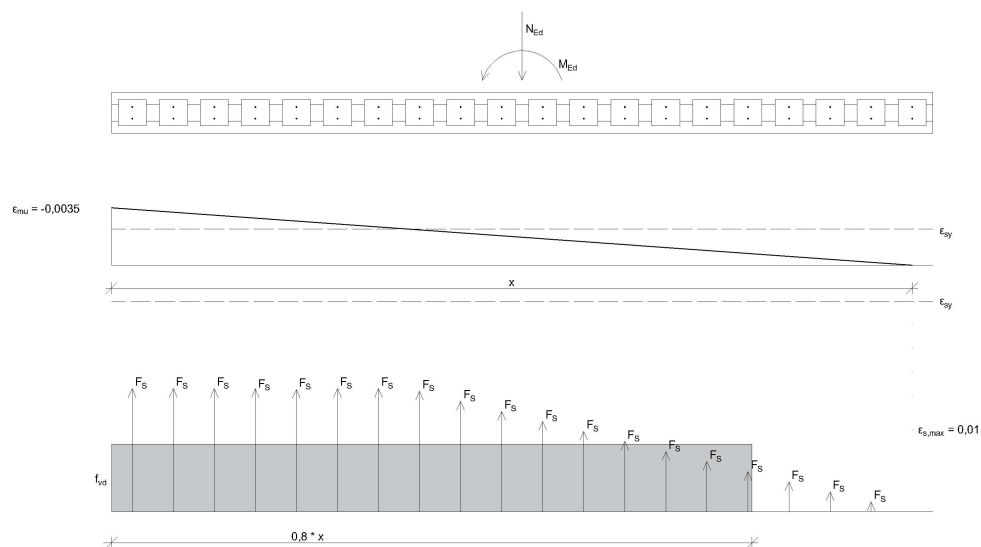


Abb. 3.16: Annahme für den Verzerrungsverlauf zur Berechnung des Punkt II und die dazugehörigen Spannungen

Eingefasstes Mauerwerk

Die Berechnung für eingefasstes Mauerwerk unter Normalkraft und/oder Momentenbeanspruchung erfolgt analog zu jener des bewehrten Mauerwerks, allerdings ist die Bewehrung in der Druckzone zu vernachlässigen. Durch diese Annahme kann die vereinfachte Berechnung nach der ÖNORM EN 1996-1-1 [19] für reine Momentenbeanspruchung mit Formel (3.28) durchgeführt werden.

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z \quad (3.28)$$

$$z = d \left(1 - 0,5 \cdot \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_d} \right) \leq 0,95 \cdot d \quad (3.29)$$

f_d = Wanddruckfestigkeit

z = innerer Hebelsarm

d = statische Nutzhöhe

A_s = Bewehrungsfläche

f_{yd} = Streckgrenze Bewehrungsstahl

b = Querschnittsbreite

3.2.3 Nachweis für vorwiegend vertikal beanspruchtes Mauerwerk

Ist die Wand vollständig auf Druck beansprucht, wird die maximal aufnehmbare Normalkraft mit den allgemeinen Regeln des Mauerwerksbaues mit Hilfe der Formel (3.30) berechnet.

$$N_{Rd} = f_{d,V} \cdot t \cdot l \cdot \Phi \quad (3.30)$$

$f_{d,V}$ = Bemessungsdruckfestigkeit

t = Wanddicke

l = Wandlänge

Φ = Abminderungsbeiwert

Für die Berechnung des Abminderungsbeiwerts Φ werden die Grundsätze des unbewehrten Mauerwerksbaues nach der ÖNORM EN 1996-1-1 [19] verwendet. Dabei wird in die drei Fälle Wandkopf, -mitte und -fuß unterschieden und die jeweils zugehörigen Abminderungsfaktoren berechnet. Die ungewollte Ausmitte darf mit 1/450 der Knicklänge der Wand angenommen werden. Zusätzlich wird bei bewehrten Mauerwerksbauteilen mit einer Schlankheit von größer als 12 der Effekt nach Theorie zweiter Ordnung mit einem zusätzlichen Bemessungsmoment nach (3.31) berücksichtigt.

$$M_{ad} = \frac{N_{Ed} \cdot h_{ef}^2}{2000 \cdot t} \quad (3.31)$$

N_{Ed} = Bemessungswert der Normalkraft

h_{ef} = Knicklänge der Wand

t_w = Wanddicke

Für die Berechnung am Wandkopf und Wandfuß darf die Berechnung mit Hilfe der Formel (3.32) durchgeführt werden.

$$\Phi_i = 1 - 2 \cdot \frac{e_i}{t} \quad (3.32)$$

$$e_i = \frac{M_{id}}{N_{id}} + e_{he} + e_{init} \geq 0,05 \cdot t \quad (3.33)$$

e_i = Lastexzentrizität

M_{id} = Bemessungswert des Biegemoments

N_{id} = Bemessungswert der Normalkraft

e_{he} = Ausmitte zufolge horizontaler Lasten

e_{init} = ungewollte Ausmitte

t = Wanddicke

Am Wandkopf wird der Abminderungsfaktor nach (3.34) bestimmt.

$$\Phi_m = 1 - 2 \cdot \frac{e_{mk}}{t} \cdot e^{-\frac{u^2}{2}} \quad (3.34)$$

$$e_m = \frac{M_{md}}{N_{md}} + e_{hm} + e_{init} + 0,002 \cdot \phi_\infty \cdot \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \sqrt{t \cdot e_m} \geq 0,05 \cdot t \quad (3.35)$$

$$u = \frac{\lambda - 0,063}{0,73 - 1,17 \cdot \frac{e_{mk}}{t}} \quad (3.36)$$

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \sqrt{\frac{f_k}{E}} \quad (3.37)$$

e_{mk} = Lastexzentrität

h_{ef} = Knicklänge der Wand

t_{ef} = effektive Wanddicke

f_k = Wanddruckfestigkeit

ϕ_∞ = Endkriechwert

E = E-Modul

t = Wanddicke

Der im Programm hinterlegte Normalkraftnachweis spielt bei der Schubbemessung nur eine untergeordnete Rolle. Daher wird eine vereinfachte Eingabe mit Hilfe des Abminderungsfaktors Φ vorgenommen. Dieser kann aus einem separaten Normalkraftnachweis kommen oder bei der reinen Schubbemessung mit 1 angenommen werden. Der Nachweis zufolge Knicken aus der Wandebene bei vorwiegend vertikal belasteten Wänden wird vom Programm nicht durchgeführt und ist daher gesondert nachzuweisen. Für den Nachweis von vorwiegend vertikal belasteten oder auf Plattenbiegung beanspruchten Wänden ist der Widerstand durch geeignete Bemessungsverfahren nach der ÖNORM EN 1996-1-1 [19] zu berechnen. Für die Bemessung speziell für den Porotherm 25-50 SBZ.i Plan stellt die Wienerberger Österreich GmbH eine Bemessungshilfe [9] zur Verfügung.

3.3 Ausgabewerte

Für den Nachweis der Wand auf ihre Schubtragfähigkeit werden die in Kapitel 3.2 errechneten Widerstände mit den eingegebenen Einwirkungen verglichen. Weiters werden die Ausnutzungsfaktoren zum jeweiligen Bemessungsfall berechnet.

3.3.1 Interaktionsdiagramm

Für eine grafische Darstellung wie in Abbildung 3.17 werden alle Versagensformen zusammengefasst. Der Momentenwiderstand am Wandfuß wird dabei in einen Widerstand gegen eine Horizontalkraft umgeformt, analog zur Umformung der Einwirkung in Formel (3.19). Die



Abb. 3.17: Zusammenfassung der Ergebnisse im Bemessungsprogramm

Normalkraft-Moment-Beziehung wird an 42 Punkten berechnet (siehe Kapitel 3.2.2). Um im Bereich von niedrigen Auflasten eine verbesserte Aussage des Versagensmechanismus treffen zu können, werden zusätzlich 9 weitere Punkte eingefügt, welche sich durch lineare Interpolation ergeben. An diesen 51 Punkten wird für die jeweilige Normalkraft die Schubtragfähigkeit nach Kapitel 3.2.1 berechnet und das Minimum mit dem Horizontalkraftwiderstand aus der Normalkraft-Momenten-Interaktion gebildet.

3.3.2 Berechnete Versagensart

Sollten die getroffenen Annahmen für die Wand nicht den notwendigen Bemessungswiderstand erreichen, so ist es hilfreich, sich die einzelnen Versagensmechanismen in den Ergebnissen des Bemessungswiderstandes anzusehen. Zu beachten ist, dass der angegebene Ausnutzungsfaktor sowie der berechnete Tragwiderstand nur für die Kombination der eingegebenen Kräfte gilt und somit nicht als Laststeigerungsfaktor angesehen werden kann. Die Ausgabe des Berechnungsprogrammes für die einzelnen Versagensarten ist in Abbildung 3.18 dargestellt.

3.4 Umlegung auf andere Ziegelformate

Die getroffenen Annahmen und Berechnungsregeln können auch für andere Füllbetonsteine von Wienerberger Österreich angenommen werden. Vor allem für den Porotherm 25-50 SBZ Plan, welcher die gleiche Form wie der Porotherm 25-50 SBZ.i Plan hat, allerdings keine Ausnehmungen für horizontale Betonkanäle besitzt. Durch die Möglichkeit des Einbaues von vertikaler Bewehrung in den Kanälen eignen sich diese sowohl für unbewehrtes als auch für eingefasstes oder vertikal bewehrtes Mauerwerk.

Ein weiterer Füllbetonstein im Sortiment ist der Porotherm 20-40 SBZ Plan. Durch die kleineren Abmessungen entstehen dabei Betonstützen von 140x140 mm im Abstand von 200 mm. In den

2.2.9 Schubtragfähigkeit Wandkopf			
Berechnung als vert. und horiz. bewehrtes Mauerwerk			
Schubwiderstand 1	V_{Rd1}	229,4 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Schubwiderstand 2	V_{Rd2}	238,0 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Schubwiderstand	f_{vd}	0,18 N/mm ²	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
überdrückte Länge	l_c	5,00 m	
Bemessungskraft	V_{ed}	50,0 kN	
Bemessungswiderstand	V_{Rd}	467,4 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Ausnutzungsfaktor		0,11	
2.2.9 Schubtragfähigkeit Wandfuß			
Berechnung als vert. und horiz. bewehrtes Mauerwerk			
Schubwiderstand 1	V_{Rd1}	229,4 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Schubwiderstand 2	V_{Rd2}	238,0 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Schubwiderstand	f_{vd}	0,18 N/mm ²	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
überdrückte Länge	l_c	3,38 m	
Bemessungskraft	V_{ed}	50,0 kN	
Bemessungswiderstand	V_{Rd}	467,4 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Ausnutzungsfaktor		0,11	
2.2.2 Normalkraftwiderstand			
Bemessungskraft	N_{Ed}	100,00 kN	
Abminderungsfaktor	Φ	1,0	
Bemessungswiderstand	N_{Rd}	5177,5 kN	lt. EN 1996-1-1 6.1.2.1 (2)
Ausnutzungsfaktor		0,02	
2.2.9 Normalkraft und Biegemoment			
Berechnung als vert. und horiz. bewehrtes Mauerwerk			
maximale Stahldehnung	$\epsilon_{su,max}$	0,01 %	lt. EN 1996-1-1 6.6.2 (2)
Fließdehnung	ϵ_{sy}	0,0023	
Beiwert Spannung Mauerwerk	η_f	1,0	
maximale Mauerwerksdehnung	ϵ_{mu}	0,0035	lt. EN 1996-1-1 6.6.1 (1)
Moment aus Kräften	$M_{Ed,1}$	137,5 kNm	
Zusatzmoment Schlankheit	M_{Ed}	0,0 kNm	lt. EN 1996-1-1 6.6.2 (7)
Bemessungsmoment	M_{Ed}	137,5 kNm	
Normalkraft	N_{Ed}	100,0 kN	
Bemessungswiderstand	M_{Rd}	1021,9 kNm	
Ausnutzungsfaktor		0,13	
Moment als Horizontalkraft	V_{Ed}	371,6 kN	



Abb. 3.18: Versagensarten der zu bemessenden Wand

vertikalen Betonkanälen bietet sich auch hier die Möglichkeit zum Einbau einer Bewehrung. Zu beachten ist, dass die effektive Mindestdicke von Schubwänden im Erdbebenfall nach der ÖNORM EN 1998-1 [20] mit 240 mm vorgegeben ist. Der Porotherm 20-40 SBZ erfüllt mit einer Wanddicke von 200 mm diese Anforderung nicht.

Durch den selben Berechnungsvorgang der beiden hier erwähnten Ziegel sind diese auch im Bemessungsprogramm hinterlegt. Die Eingabe einer horizontalen Bewehrung wird dabei vom Programm allerdings verhindert.

Kapitel 4

Versuche

Im Zuge von Forschungsprojekten wurden in den vergangenen Jahren immer wieder Verfüllbetonwände auf ihre Beanspruchbarkeit gegen Schubkräfte geprüft. Die in diesem Kapitel angeführten Versuche an bewehrtem Mauerwerk bilden die Grundlage für die Vergleichsberechnungen in Kapitel 5. Bei den Prüfkörpern handelt es sich ausschließlich um Wände aus Ziegeln der Wienerberger Österreich GmbH, denn hier stehen für eine genaue Vergleichsberechnung alle nötigen Daten zur Verfügung.

4.1 Versuche mit dem Porotherm 25-50 SBZ.i Plan

Die wichtigsten Versuche für diese Arbeit sind die Auswertungen für Wände gemauert mit dem Porotherm 25-50 SBZ.i Plan. Dazu finden sich insgesamt fünf relevante Schubversuche. Drei wurden im Zuge eines Forschungsberichtes [24] über das Erdbebenverhalten von Mauerwerkselementen von der technischen Universität Bukarest veröffentlicht. Im Jahr 2010 wurden an der ZAG-Ljubljana im Zuge der Untersuchung von zyklisch beanspruchter Mauerwerkswände zwei Wände geprüft und die Ergebnisse sind im Forschungsbericht [7] dargestellt.

4.1.1 Schubversuch Technische Universität Bukarest

Im Jahr 2008 wurden an der Technischen Universität in Bukarest Versuche zur Schubtragfähigkeit von Ziegeln der Wienerberger Österreich GmbH durchgeführt und im Bericht [24] veröffentlicht. Es wurden dabei auch Wände aus bewehrten Porotherm 25-50 SBZ.i Plan geprüft. Die Prüfandserie hatte eine Wandhöhe von 1,75 m und eine Wandlänge von 2,50 m und wurde mit Porotherm Dünnbettmörtel errichtet. Die Festigkeitsklasse für den Füllbeton wurde mit C25/30 festgelegt. Als vertikale Bewehrung wurden pro Kanal 2 Ø10 verwendet und die Schubbewehrung wurde ebenfalls mit 2 Ø10 je Schar ausgebildet. Als Stahlgüte wurde ein Baustahl mit der Fließspannung von 550 N/mm² verwendet. Abbildung 4.1 zeigt eine Systemskizze der Prüfand und der Bewehrungsanordnung.

Die Versuche der Wände W19 bis W21 wurden mit einer jeweils konstanten Auflast geprüft. Nach dem Aufbringen der vertikalen Belastung wurde eine zyklische horizontale Belastung aufgebracht, welche bis zum Versagen gesteigert wurde. Die Messungen der aufgebrachten Lasten sind in Tabelle 4.1 dargestellt.

Die Abbildungen 4.2, 4.4 und 4.6 zeigen die aufgezeichnete Last-Verschiebungskurve. Erkennbar ist das gute duktile Verhalten der Wände. Auch nach mehreren Lastzyklen ist noch eine hohe Tragfähigkeit der Wand vorhanden. In den Abbildungen 4.3, 4.5 und 4.7 sind die Versagensarten der Wände ersichtlich. Auffallend ist das Abplatzen der Ziegelschalen vor allem in den Ecken der

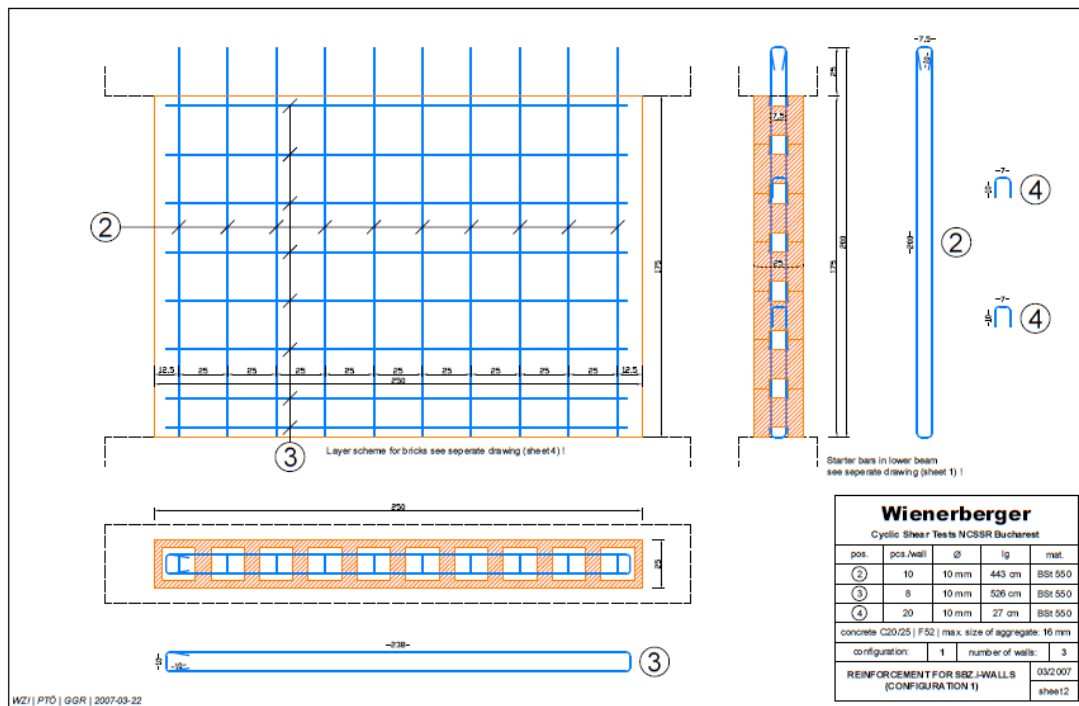
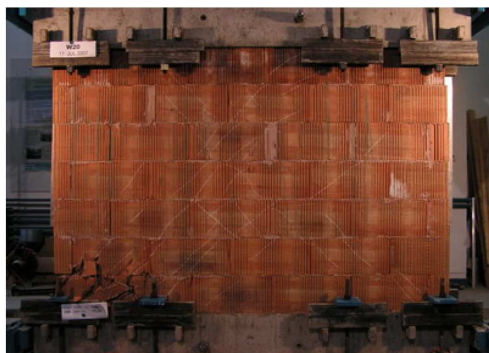


Abb. 4.1: Systemskizze der Prüfwand (Quelle: [24])

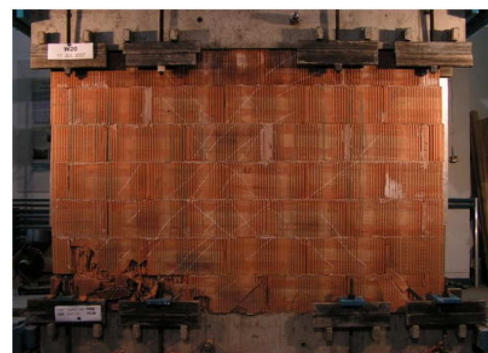
Tab. 4.1: Prüflasten der Versuche

Wand	N_{exp} [kN]	V_{exp} [kN]
W19-2007	375	732
W20-2007	315	707
W21-2007	311	682

Wandfüße. Daraus kann auf ein Versagen aufgrund von Biegung geschlossen werden. Auch sind Quersugrisse diagonal über die Ziegelschalen erkennbar.



(a) Prüfwand kurz vor dem Versagen



(b) Prüfwand kurz nach dem Versagen

Abb. 4.5: Fotos der Prüfwand W20-2007 (Quelle: [24])

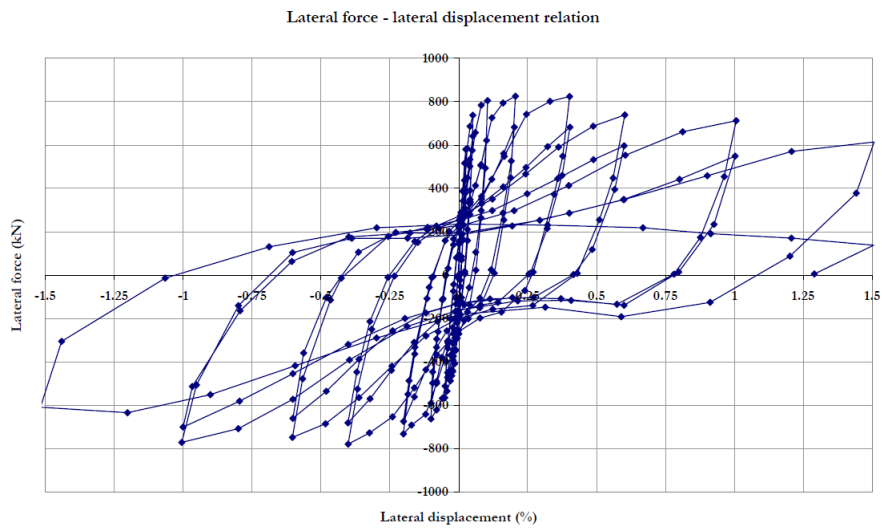


Abb. 4.2: Horizontale Kraft und Verschiebung für die Wand W19-2007 (Quelle: [24])



(a) Prüfwand kurz vor dem Versagen



(b) Prüfwand kurz nach dem Versagen

Abb. 4.3: Fotos der Prüfwand W19-2007 (Quelle: [24])

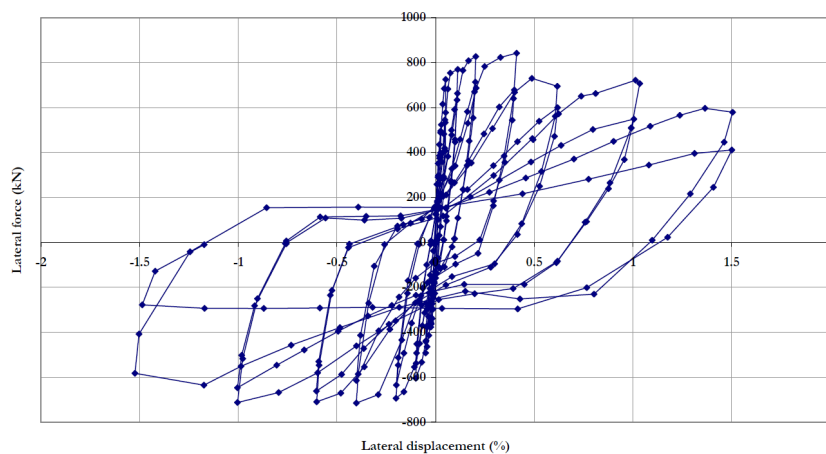


Abb. 4.6: Horizontale Kraft und Verschiebung für die Wand W21-2007 (Quelle: [24])

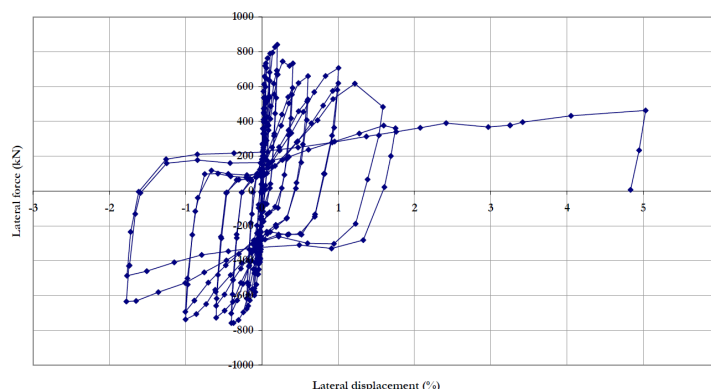
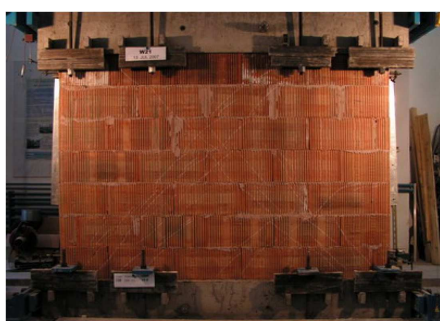
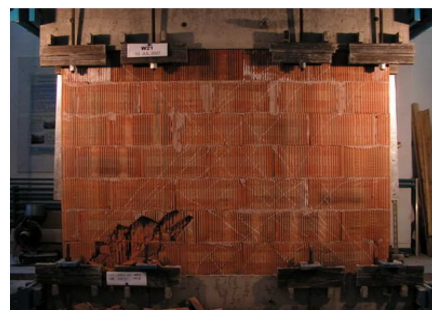


Abb. 4.4: Horizontale Kraft und Verschiebung für die Wand W20-2007 (Quelle: [24])



(a) Prüfwand kurz vor dem Versagen



(b) Prüfwand kurz nach dem Versagen

Abb. 4.7: Fotos der Prüfwand W21-2007 (Quelle: [24])

4.1.2 Schubversuche am ZAG-Ljubljana

Im Auftrag der Wienerberger AG wurden im Jahr 2010 am slowenischen Institut für Hoch- und Tiefbau eine Reihe von Schubversuchen durchgeführt und im Bericht [7] veröffentlicht. Es wurden vier Schubversuche mit dem Porotherm 25-50 SBZ.i Plan durchgeführt, wobei nur zwei für diese Arbeit relevant¹ sind. Die Wände wurden mit einer Höhe von 1,75 m und einer Länge von 2,5 m mit Porotherm Dünnbettmörtel und der Betonklasse C25/30 hergestellt. Die vertikale Bewehrung erfolgte mit 2Ø8/250 mm und die horizontale Bewehrung durch 2Ø6/250 mm. Im Zuge der Versuche wurden auch die Arbeitslinien der Bewehrungsstäbe untersucht. Die Stäbe Ø8 entsprechen Baustahl 550 und die Stäbe Ø6 erreichten bei der Prüfung eine Fließgrenze von 450 N/mm. Eine Skizze des Versuchsaufbau ist in Abbildung 4.8 dargestellt.

Die Ergebnisse der Messungen sind in den Abbildungen 4.9 bis 4.10 dargestellt. Die aufgebrachten vertikalen und horizontalen Lasten sind in Tabelle 4.2 angeführt. Aus den Hysteresen kann auf die Versagensart der jeweiligen Wand zurückgeschossen werden. Abbildung 4.9a zeigt einen Last-Verschiebungslinie, welche mit zunehmenden Belastungszyklen nur leicht an Tragfähigkeit verlieren. Dieser Verlauf ist typisch für eine Biegedruck- bzw. Biegedruckversagen. Bei der Wand 2.4-2 (siehe 4.10a) ist eine konstanter Abfall der Tragfähigkeit bei Zunahme der Verformungen zu sehen. Diese Hysterese entsteht meistens bei Wänden mit Steinzugversagen.

¹Unter den Versuchen waren auch zwei Wände, welche mit stahlfaserverstärkten Beton hergestellt wurden.

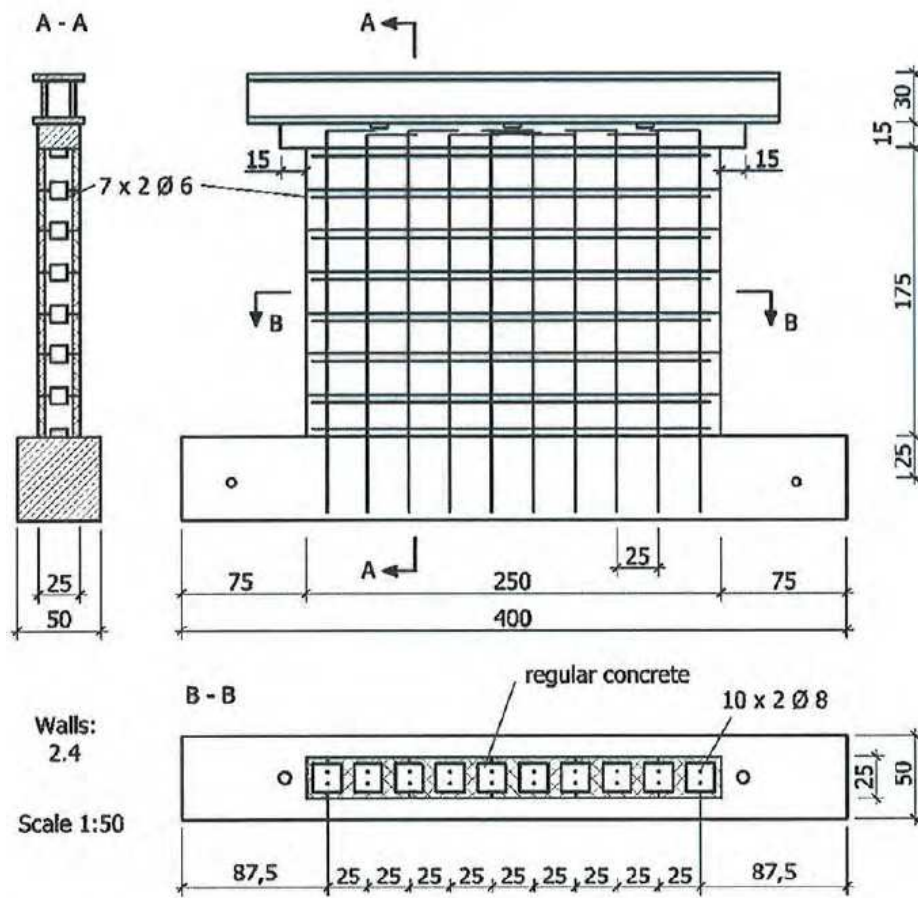
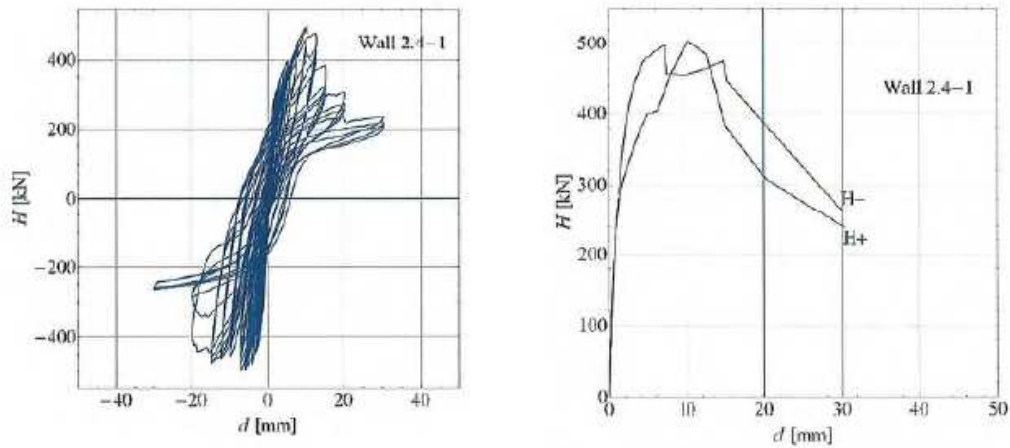


Abb. 4.8: Horizontale Kraft und Verschiebung während der Prüfung (Quelle: [7])

Tab. 4.2: Prüflasten der Versuche

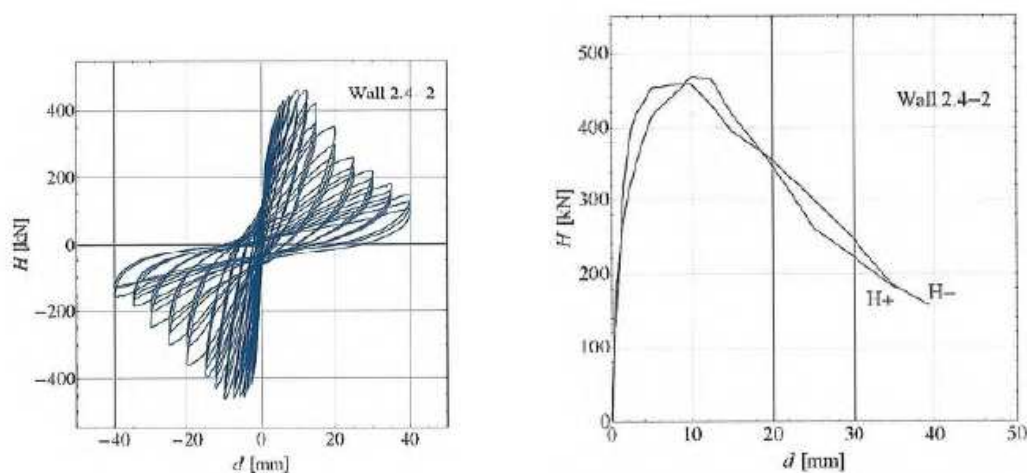
Wand	N_{exp} [kN]	V_{exp} [kN]
2.4-1	351	459
2.4-2	354	425



(a) Hysterese (Quelle: [7])

(b) Last-Verschiebungs-Diagramm (Quelle: [7])

Abb. 4.9: Prüfergebnisse der Versuchswand 2.4-1



(a) Hysterese (Quelle: [7])

(b) Last-Verschiebungs-Diagramm (Quelle: [7])

Abb. 4.10: Prüfergebnisse der Versuchswand 2.4-2

4.2 Andere Versuche

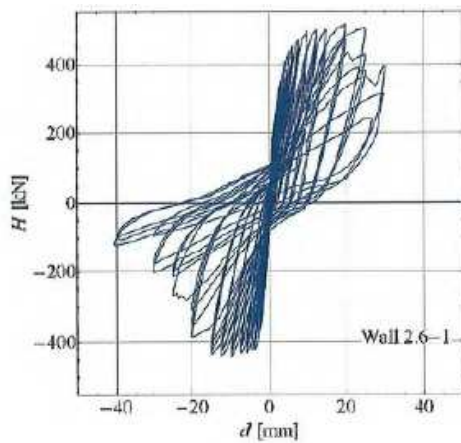
Um eine bessere Aussage über die Richtigkeit und Genauigkeit des Bemessungskonzeptes zu erhalten, werden neben den in Kapitel 4.1 vorgestellten Versuchen mit dem Porotherm 25-50 SBZ.i Plan auch weitere Versuche mit betonverfüllten Ziegeln aufgenommen. Es handelt sich um Schubversuche am Porotherm 20-40 SBZ.i Plan, welcher dem Porotherm 25-50 SBZ.i Plan sehr nahe kommt. Bei einer Wanddicke von 20 cm besitzt der Ziegel Ausnehmungen für den Füllbeton mit einer Größe von 14x14 cm, welche sich im Achsabstand von 20 cm befinden. Als SBZ.i ist der Stein nicht mehr im Produktsortiment der Wienerberger Österreich GmbH, allerdings sind die Eigenschaften ähnlich jenen des 20-40 SBZ Plan².

4.2.1 Schubversuche am ZAG-Ljubljana

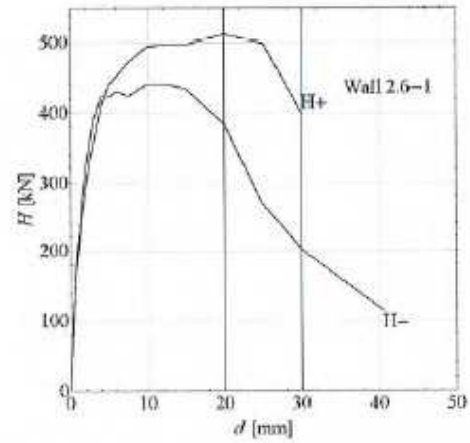
Neben den in Kapitel 4.1.2 dargestellten Versuchen mit dem Porotherm 25-50 SBZ.i Plan wurden auch Schubversuche am Porotherm 20-40 SBZ.i Plan durchgeführt und im Bericht [7] veröffentlicht. Unter den fünf Versuchswänden befanden sich drei für diese Arbeit relevante³ Versuche. Die Bewehrungsanordnung war wie bei den Versuchen des Porotherm 25-50 SBZ.i Plan mit 2Ø8/250 mm als vertikaler Bewehrung und einer horizontale Bewehrung von 2Ø6/250 mm. Als Füllbeton wurde ein Beton der Festigkeitsklasse C25/30 gewählt. Zwei der Versuchswände wurden mit dem Porotherm Dryfix System hergestellt, während die dritte Wand zum Vergleich mit Porotherm Dünnbettmörtel errichtet wurde. Die Ergebnisse der Versuche sind in den Abbildungen 4.11 bis 4.13 dargestellt.

²Die Produktion der SBZ.i Plan Produkte erfolgt durch Ausschneiden der Ausnehmungen für die horizontalen Kanäle aus den SBZ Ziegeln.

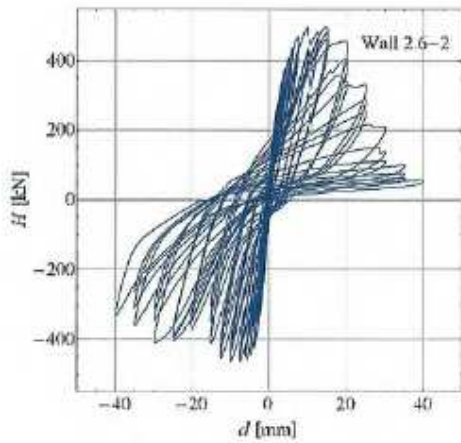
³Unter den Versuchen waren auch zwei Wände, welche mit stahlfaserverstärkten Beton hergestellt wurden.



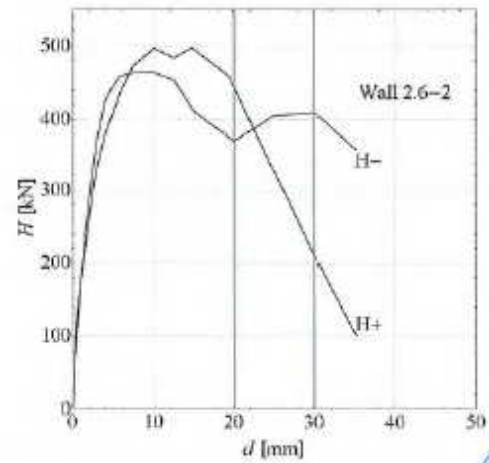
(a) Hysterese (Quelle: [7])



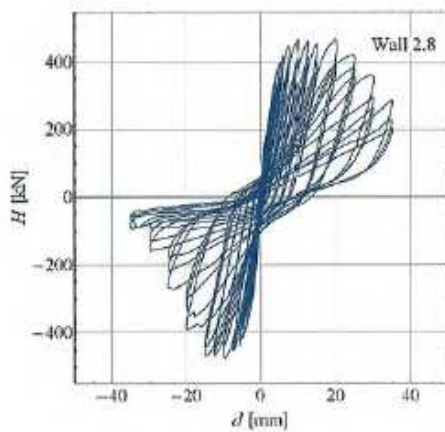
(b) Last-Verschiebungs-Diagramm (Quelle: [7])

Abb. 4.11: Prüfergebnisse der Versuchswand 2.6-1

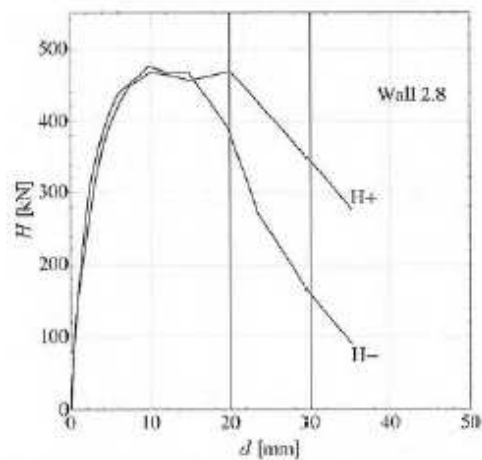
(a) Hysterese (Quelle: [7])



(b) Last-Verschiebungs-Diagramm (Quelle: [7])

Abb. 4.12: Prüfergebnisse der Versuchswand 2.6-2

(a) Hysterese (Quelle: [7])



(b) Last-Verschiebungs-Diagramm (Quelle: [7])

Abb. 4.13: Prüfergebnisse der Versuchswand 2.8

4.2.2 Forschungsbericht EUCENTRE und University of Pavia

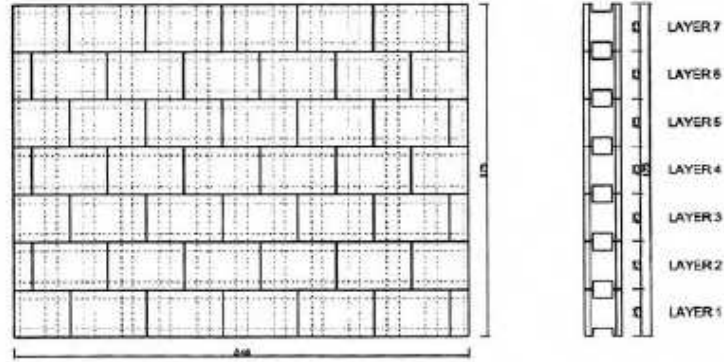
Im Zuge eines Forschungsprojektes [6] wurden acht Wände aus Füllbetonmauerwerk mit verschiedenen Auflasten und Bewehrungsgehalten geprüft. Aus den Prüfungen sind die Prüfwände 17-1 bis 17-6 relevant, da die damals verwendeten Porotherm 20-40 SBZ.i Plan dem Porotherm 25-50 SBZ.i Plan ähnlich sind. Unter den Versuchen befinden sich sowohl unbewehrte als auch horizontal bewehrte Wände sowie eingefasste Wände. Die Abmessungen und Bewehrungsangaben sind in Tabelle 4.3 und Abbildung 4.14 angegeben. Für einen Großteil der Versuche wurde eine konstante Auflast von 1000 kN verwendet. Die Abbildungen 4.15 bis 4.17 zeigen ausgewählte Fotos und Ergebnisse von den Versuchen. Die Last-Verschiebungskurven (siehe Abbildungen 4.15b und 4.16b) der unbewehrten und eingefassten Versuchswänden zeigen eine Hysterese im Form eines Parallelogrammes. Es kann somit auf eine Fugenversagen geschlossen werden, welches auch in den Fotos der Versuche erkennbar sind. Bei den Versuchen mit den bewehrten Versuchswänden nimmt die Hysterese (siehe Abbildung 4.17b) eine S-Form an, wodurch auf ein Biegedruck- oder Biegezugversagen geschlossen werden. Durch die bekannten Ziegeldaten und die Ähnlichkeit der Ziegel mit dem Porotherm 25-50 SBZ.i Plan liefern die Versuchsergebnisse eine gute Basis für Vergleichsrechnung.

Tab. 4.3: Abmessungen und Bewehrung der Prüfwände

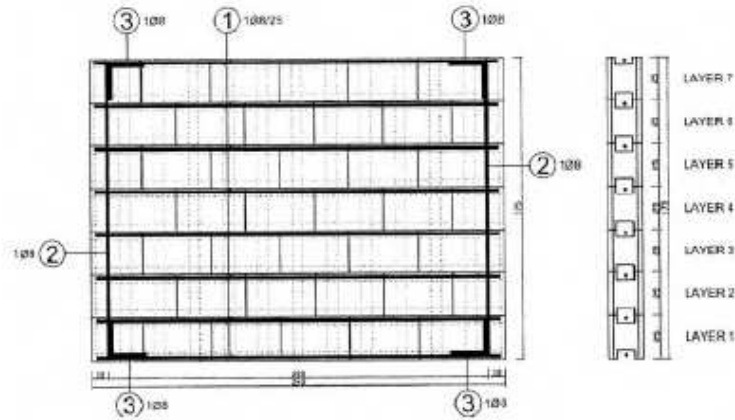
Wand	Länge [mm]	Höhe [mm]	Dicke [mm]	Beton [MPa]	$\varnothing_{\text{horiz}}$ [mm]	$\varnothing_{\text{vert}}$ [mm]	f_{yk} [MPa]	Art
17-1	2400	1750	200	13,67				unbew.
17-2	2400	1750	200	19,14				unbew.
17-3	2400	1750	200	24,7	1 Ø8/25	8	500	Rand und horiz.
17-4	2400	1750	200	24,9	1 Ø8/25	8	500	Rand und horiz.
17-5	2400	1750	200	25,8	2 Ø8/25	8	500	vert. verteil und horiz.
17-6	2400	1750	200	26,9	2 Ø8/25	8	500	vert. verteil und horiz.

Tab. 4.4: Lasten und Versagensart der Prüfwände

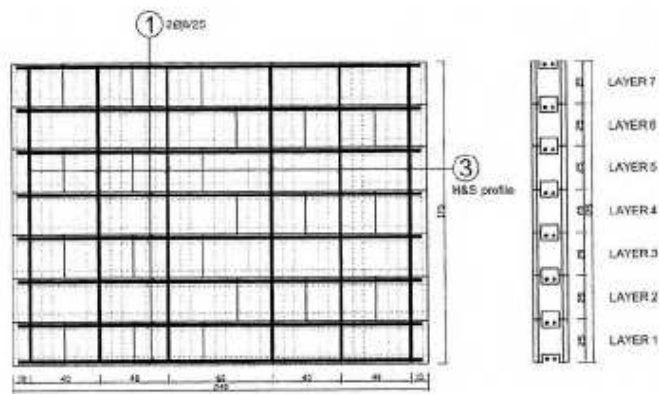
Wand	N_{exp} kN	V_{exp} kN	Versagenmechanismus
17-1	1440	680,5	Diagonalrisse – Schubversagen
17-2	1000	655,0	Diagonalrisse – Schubversagen
17-3	1000	659,5	Diagonalrisse – Schubversagen
17-4	1000	414,0	Diagonalrisse – Schubversagen
17-5	1000	758,5	Diagonalrisse, Abplatzen der Ziegelschale – Schubversagen
17-6	1000	741,0	Diagonalrisse, Abplatzen der Ziegelschale – Schubversagen



[17-1] and [17-2]



[17-3] and [17-4]

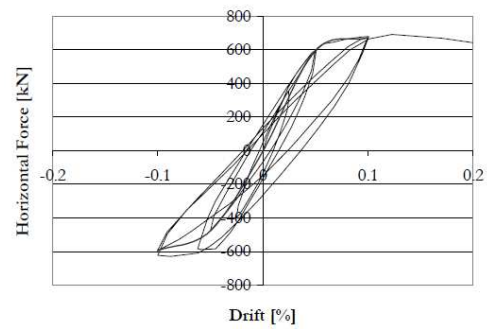


[17-5] and [17-6]

Abb. 4.14: Skizzen der Prüfaufbauten (Quelle: [6])



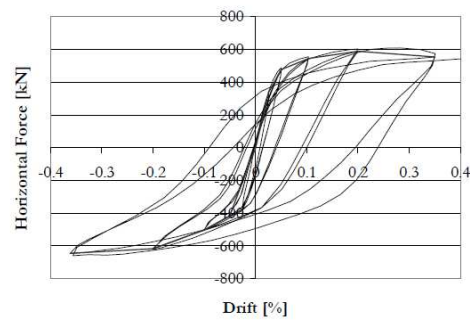
(a) Prüfwand 17-1 (Quelle: [6])



(b) Hysterese der Wand 17-1 (Quelle: [6])

Abb. 4.15: Fotos und Ergebnisse der Prüfwand 17-1

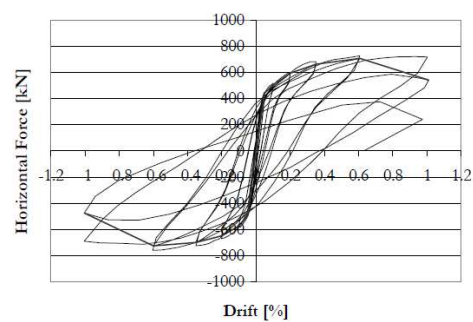
(a) Prüfwand 17-3 (Quelle: [6])



(b) Hysterese der Wand 17-3 (Quelle: [6])

Abb. 4.16: Fotos und Ergebnisse der Prüfwand 17-3

(a) Prüfwand 17-5 (Quelle: [6])



(b) Hysterese der Wand 17-5 (Quelle: [6])

Abb. 4.17: Fotos und Ergebnisse der Prüfwand 17-5

4.3 Schlussfolgerungen aus den Versuchen

Die angeführten Versuche bieten eine gute Grundlage für eine Vergleichsberechnung. Es sind durch die fünf Ergebnisse für den Porotherm 25-50 SBZ.i Plan ausreichend Daten für eine Auswertung vorhanden. Bei den Versuchen sind Ergebnisse für den Fall mit geringer Auflast, als auch mit erhöhter Normalkraftbelastung vorhanden. Zusätzlich können durch die Ähnlichkeiten auch die Versuchswerte des Porotherm 20-40 SBZ Plan herangezogen werden. Die dazu vorliegenden zwei Forschungsberichte erhöhen den Datenstamm für die Auswertung. Des weiteren können durch die Unterschiede in dem Bewehrungsgehalt und Anordnung auch Aufschlüsse über den Einfluss der Bewehrung gezogen werden.

Kapitel 5

Vergleich mit Versuchen

Um einen Überblick über die Richtigkeit und Sicherheit des Bemessungsprogramms zu bekommen, werden die Versuchsergebnisse mit dem berechneten Tragwiderstand des Bemessungsprogrammes verglichen. Um die Vergleichsberechnung mit den Versuchsergebnissen vergleichen zu können, wurde das Bemessungsprogramm modifiziert. Die Teilsicherheitsbewerte sind auf 1,0 gestellt und die Eigenschaften von Ziegel und Beton wurden, wenn angegeben, mit den Prüfwerten übernommen. Für den Fall, dass die Materialparameter in den Prüfberichten nicht angeführt sind, wurden entsprechende übliche Mittelwerte für die Parameter verwendet.

5.1 Überblick Versuche

Im Nachfolgenden sind die durchgeführten Prüfungen, welche mit dem Bemessungsprogramm nachgerechnet worden angegeben. Die dabei errechneten Tragfähigkeiten sind in der Tabelle 5.1 angeführt.

Tab. 5.1: Vergleich zwischen Prüfung und Berechnung

Prüfnummer	Art	Auflast [kN]	horiz. Prüflast [kN]	Berechnung [kN]	Faktor
W19-2007	v. und h. bew.	378	779	428	1,82
W20-2007	v. und h. bew.	381	759	429	1,77
W21-2007	v. und h. bew.	379	715	428	1,67
2.4-1	v. und h. bew.	370	499	415	1,20
2.4-2	v. und h. bew.	370	459	415	1,11
2.6-1	v. und h. bew.	290	420	319	1,32
2.6-2	v. und h. bew.	290	417	319	1,31
2.8	v. und h. bew.	290	469	350	1,34
IUSS 17-1	unbew.	1440	681	482	1,41
IUSS 17-2	unbew.	1000	655	460	1,42
IUSS 17-3	Rand- und h. bew.	1000	660	477	1,38
IUSS 17-4	Rand- und h. bew.	1000	414	477	0,87
IUSS 17-5	v. und h. bew.	1000	759	567	1,34
IUSS 17-6	v. und h. bew.	1000	741	571	1,30

5.2 Vergleichsrechnung

5.2.1 Schubversuch Bukarest

Für die Vergleichsrechnung des Schubversuches von der Technischen Universität Bukarest (siehe 4.1.1) wurden die Abmessungen und Eigenschaften der Prüfwand W-19-2007 in das Bemessungsprogramm übernommen. Für die Prüfwand ergeben sich aus dem Bemessungsprogramm die Werte laut Abbildungen 5.1 und 5.2. Der Tragwiderstand der Prüfwand liegt laut der Berechnung bei 428 kN. Der vertikale Abstand der einwirkenden Horizontalkraft zu der Versagenskurve stellt den Sicherheitsfaktor des Bemessungsprogrammes dar. Für den Schubversuch der W19 an der Technischen Universität Bukarest liegt das Versuchsergebnis beim 1,82-fachen des berechneten Widerstandes. Berücksichtigt man die Teilsicherheitsbeiwerte, so würde die Wand im Erdbebenfall ein rechnerische Traglast von 349 kN und im allgemeinen Fall 300 kN aufnehmen können. Vergleicht man die Ergebnisse mit den Fotos während der Prüfung (siehe Kapitel 4), so kann man erkennen, dass auch die Wand während der Prüfung auf Biegung am Wandfuß versagt hat. Der Versagensmechanismus für die Wand laut Berechnung ist ebenfalls Biegung am Wandfuß.

Die Ergebnisse für die Versuchswände W20 und W21 sind aufgrund der ähnlichen Belastungen in der selben Größenordnung und weisen auch das gleiche Versagensbild auf. Auf eine genaue Darstellung der Ergebnisse wird an dieser Stelle verzichtet und auf die Werte in der Tabelle 5.1 verwiesen.

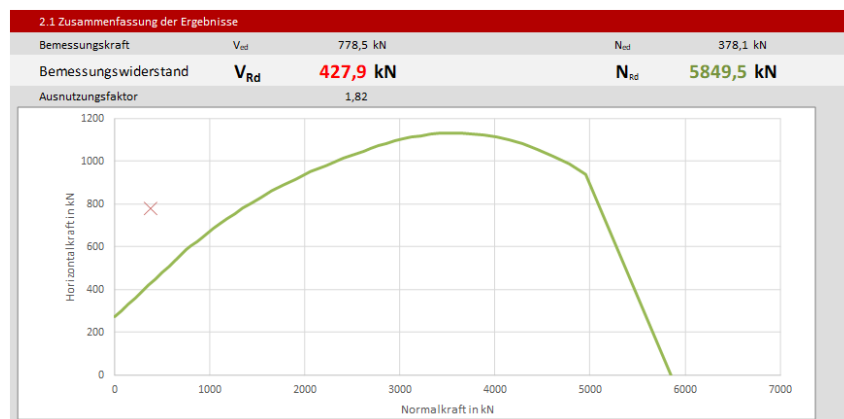


Abb. 5.2: Interaktionsdiagramm des Bemessungsprogrammes für die Prüfwand W19

5.2.2 Schubversuche am ZAG-Ljubljana

Für die Versuche der Schubversuche vom ZAG-Ljubljana (siehe Kapitel 4.1.2) wurden die Abmessungen und die Eigenschaften der Prüfwände in das Berechnungsprogramm übernommen. Die Prüfwände 2.4-1 und 2.4-2 wurden mit dem Porotherm 25-50 SBZ.i Plan und Porotherm Dünnbettmörtel hergestellt. Die Vergleichsberechnung ergibt einen berechneten Tragwiderstand von 415 kN. Für die Prüfwände 2.6-1 und 2.6-2 ist das Bemessungsprogramm entsprechend der Herstellung auf das Porotherm Dryfix System und dem Porotherm 20-40 SBZ.i Plan eingestellt. Der Tragwiderstand der Berechnung ergibt sich zu 319 kN. Für die Vergleichsmessung mit dem Porotherm Dünnbettmörtel ergibt sich nach der Bemessung ein Widerstand der Prüfwand 2.8

2.2.9 Schubtragfähigkeit Wandkopf			
Berechnung als		vert. und horiz. bewehrtes Mauerwerk	
Schubwiderstand 1	V_{Rd1}	338,7 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Schubwiderstand 2	V_{Rd2}	544,3 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Schubwiderstand	f_{vd}	0,54 N/mm ²	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
überdrückte Länge	l_c	2,50 m	
Bemessungskraft	V_{ed}	778,5 kN	
Bemessungswiderstand	V_{Rd}	883,0 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Ausnutzungsfaktor		0,88	
2.2.9 Schubtragfähigkeit Wandfuß			
Berechnung als		vert. und horiz. bewehrtes Mauerwerk	
Schubwiderstand 1	V_{Rd1}	870,0 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Schubwiderstand 2	V_{Rd2}	544,3 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Schubwiderstand	f_{vd}	1,39 N/mm ²	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
überdrückte Länge	l_c	0,00 m	
Bemessungskraft	V_{ed}	778,5 kN	
Bemessungswiderstand	V_{Rd}	1414,3 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Ausnutzungsfaktor		0,55	
2.2.2 Normalkraftwiderstand			
Bemessungskraft	N_{Ed}	378,11 kN	
Abminderungsfaktor	Φ	1,0	
Bemessungswiderstand	N_{Rd}	5849,5 kN	lt. EN 1996-1-1 6.1.2.1 (2)
Ausnutzungsfaktor		0,06	
2.2.9 Normalkraft und Biegemoment			
Berechnung als		vert. und horiz. bewehrtes Mauerwerk	
maximale Stahldehnung	$\epsilon_{su,max}$	0,01 %	lt. EN 1996-1-1 6.6.2 (2)
Fließdehnung	ϵ_{sy}	0,0026	
Beiwert Spannung Mauerwerk	η_f	1,0	
maximale Mauerwerksdehnung	ϵ_{mu}	0,0035	lt. EN 1996-1-1 6.6.1 (1)
Moment aus Kräften	$M_{Ed,1}$	1362,4 kNm	
Zusatzmoment Schlankheit	M_{Ed}	0,0 kNm	lt. EN 1996-1-1 6.6.2 (7)
Bemessungsmoment	M_{Ed}	1362,4 kNm	
Normalkraft	N_{Ed}	378,1 kN	
Bemessungswiderstand	M_{Rd}	748,9 kNm	
Ausnutzungsfaktor		1,82	
Moment als Horizontalkraft	V_{Ed}	427,9 kN	

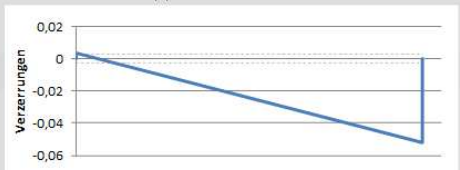


Abb. 5.1: Ergebnisse des Bemessungsprogrammes für die Prüfwand W19

von 350 kN. Die Berechnungen, sowie die Versuche selbst, zeigen die Reduktion der Tragfähigkeit bei der Verwendung des Porotherm Dryfix Systems. Die grafische Darstellung der Ergebnisse sind den Abbildungen 5.3-5.5 dargestellt.

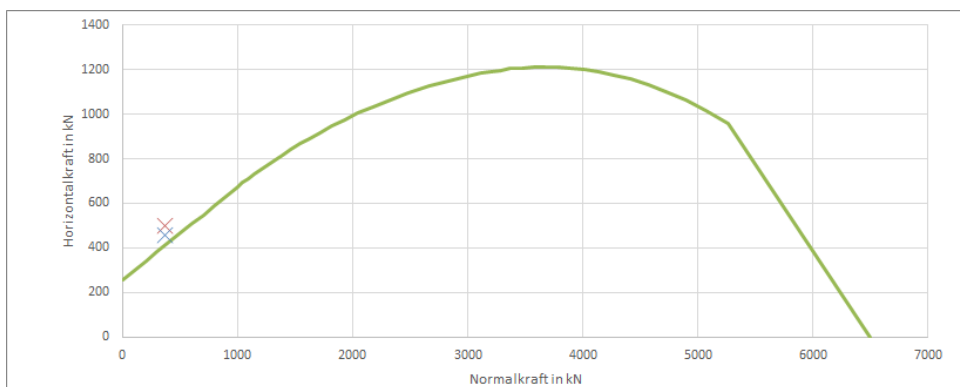


Abb. 5.3: Ergebnisse des Bemessungsprogrammes für die Prüfwände 2.4-1 und 2.4-2

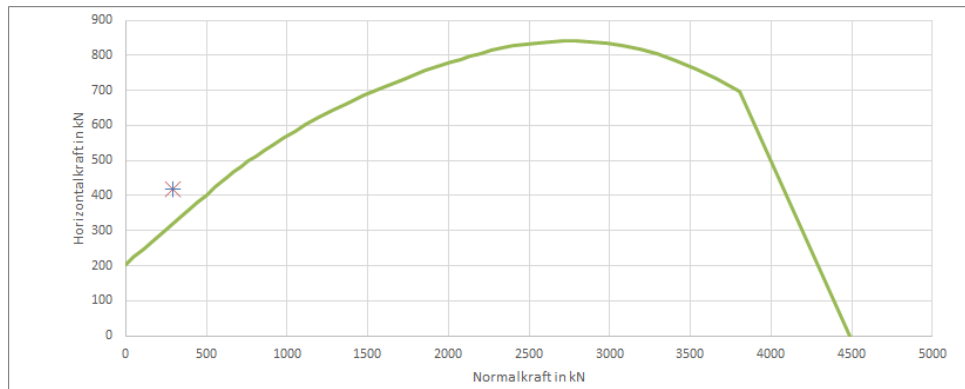


Abb. 5.4: Ergebnisse des Bemessungsprogrammes für die Prüfwände 2.6-1 und 2.6-2

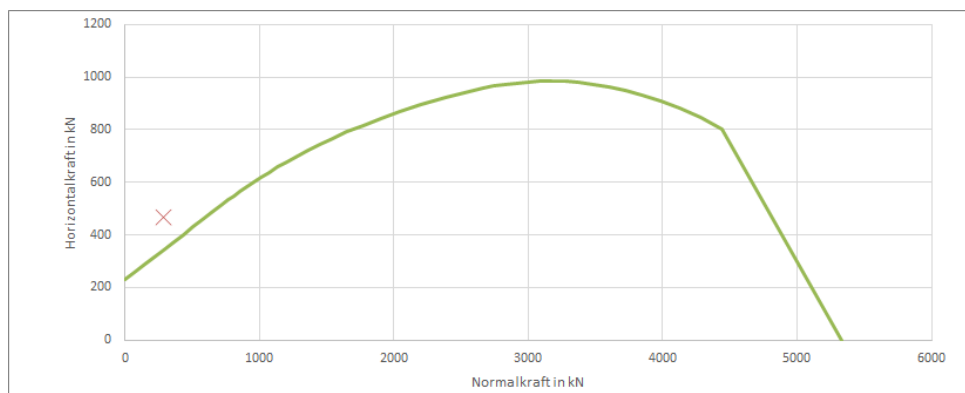


Abb. 5.5: Ergebnisse des Bemessungsprogrammes für die Prüfwand 2.8

5.2.3 Schubversuche IUSS Report

Für die Versuche des unbewehrten Mauerwerks ergeben sich abhängig von der Auflast die berechneten Schubtragfähigkeiten von 460 kN für eine Normalkraft von 1000 kN bzw. 482 kN für eine Normalkraft von 1440 kN.

Bei den Versuchen mit der Randbewehrung ist bei den Prüfergebnissen eine große Streuung der Ergebnisse vorhanden. Der berechnete Tragwiderstand gegen Querkraft errechnet sich dabei mit 477 kN für die einwirkende Auflast von 1000 kN und liegt zwischen den beiden Versuchsergebnissen. Anzumerken ist dabei, dass laut ÖNORM EN 1996-1-1 [19] die horizontale Bewehrung nur bei ausreichender vertikaler Bewehrung angesetzt werden darf. Die Mindestbewehrung ist allerdings in diesem Fall nicht eingehalten und das Programm rechnet die Schubtragfähigkeit als eingefasstes Mauerwerk. Daher ergeben sich Tragwiderstände ähnlich wie bei dem unbewehrten Versuch mit 1000 kN Normalkraftbeanspruchung. Weiters ist zu beachten, dass der Versuch mit V_{exp} unter jenen des unbewehrten Mauerwerks liegt und das Ergebnis des Versuches damit hinterfragt werden sollte.

Der Widerstand für die Versuchswände 17-5 und 17-6 errechnet sich für eine Auflast von 1000 kN zu V_{Rd} von 567 kN bzw. 571 kN. Die Versagenskurven für die verschiedenen Prüfwände sind in den Abbildungen 5.6-5.8 dargestellt.

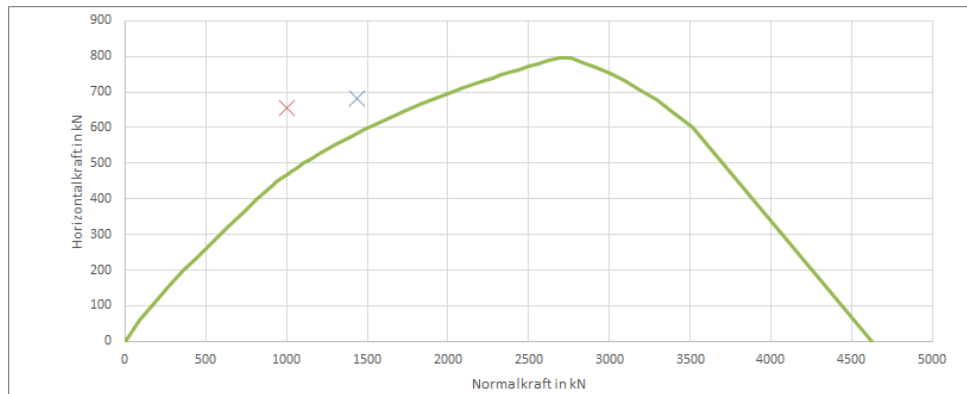


Abb. 5.6: Ergebnisse für die Prüfwand 17-1 und 17-2

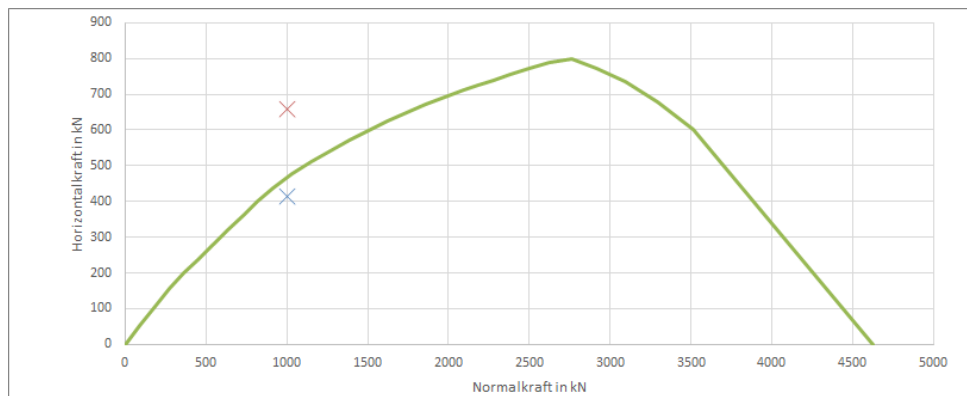


Abb. 5.7: Ergebnisse für die Prüfwand 17-3 und 17-4

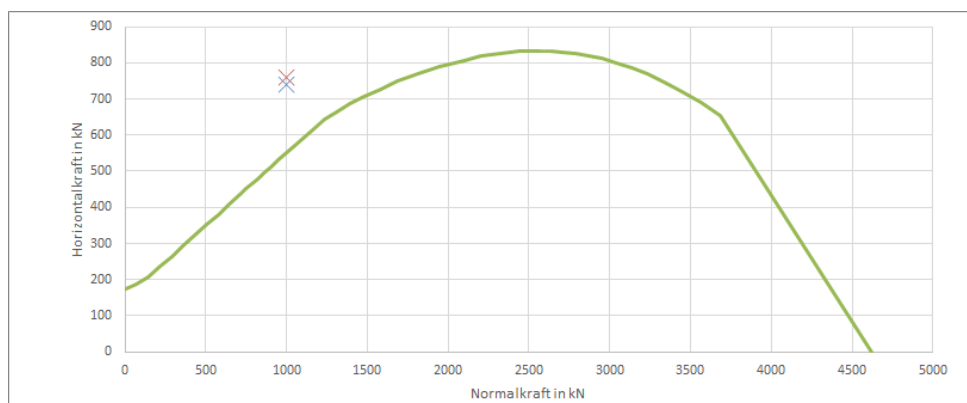


Abb. 5.8: Ergebnisse für die Prüfwand 17-5 und 17-6

5.3 Schlussfolgerungen

Der Vergleich zwischen den Versuchsergebnissen und der Berechnung ergibt in den meisten Fällen Ergebnisse, die auf der sicheren Seite liegen. Die durchschnittliche Abweichung liegt

bei den betrachteten Fällen bei 1,38 und weist dabei eine Standardabweichung von 0,24 auf. Die Versuche wurden jeweils im Bereich einer geringen Auflast durchgeführt, welche für die Berechnung der Querkrafttragfähigkeit relevant sind. Speziell für den Porotherm 25-50 SBZ.i Plan mit vertikaler und horizontaler Bewehrung sind die Ergebnisse ohne Teilsicherheitsbeiwerte mit mehr als 1,5 weit auf der sicheren Seite. Unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsbeiwerte für den Erdbebenfall ergibt sich ein Sicherheitsfaktor von 1,72. In Abbildungen 5.9 und 5.10 sind die Ergebnisse der Prüfungen mit den Ergebnissen der Vergleichrechnung für alle geprüften Wände dargestellt.

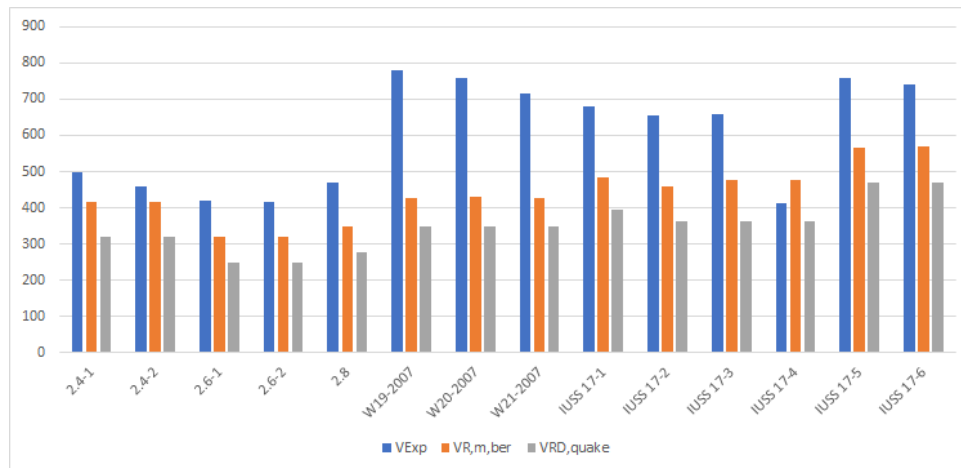


Abb. 5.9: Vergleich zwischen Prüfergebnissen und berechneten Tragwiderstand

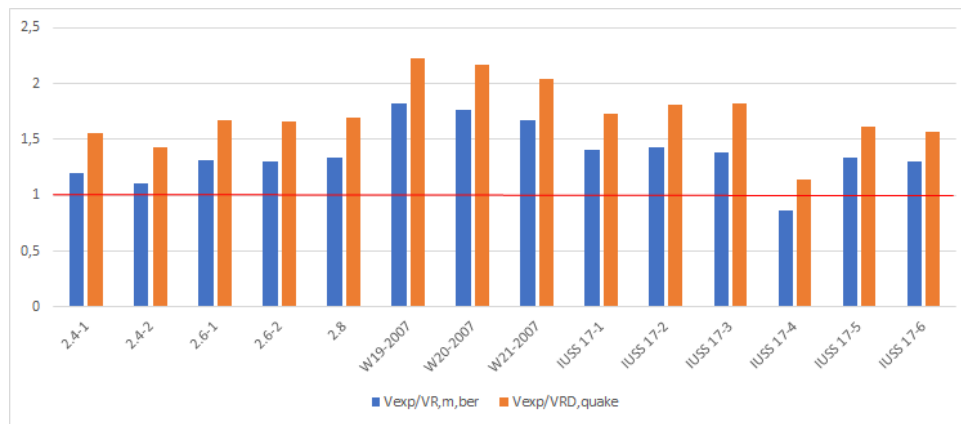


Abb. 5.10: Sicherheitsfaktor der geprüften Wände

Kapitel 6

Parameterstudie: Bewehrungsgehalt

In den vorhergegangenen Kapiteln wurden die verschiedenen Versagensmechanismen beschrieben und die Berechnung des Tragwiderstandes angeführt. Es hat sich gezeigt, dass eine Vielzahl von Parametern einen wesentlichen Einfluss auf die Berechnung des Tragwiderstandes haben. Für eine wirtschaftliche Bemessung der Wand ist es nötig, den Einfluss der unterschiedlichen Parameter zu kennen. Neben den meistens vorgegebenen geometrischen Eigenschaften kann der Schubtragwiderstand vor allem durch den Bewehrungsgrad erhöht werden. Im Nachfolgenden werden die verschiedenen Einflussfaktoren bei der Berechnung mit dem Berechnungsprogramm aufgelistet:

- Geometrische Eigenschaften
 - Wandhöhe
 - Wandlänge
 - Wanddicke – Ziegelart
- Ausführungstechnische Eigenschaften
 - Fugenkomponente
 - Betongüte
- Bewehrungstechnische Eigenschaften
 - Bewehrungsstahlgüte
 - Bewehrungsabstand
 - Bewehrungsanzahl
 - Bewehrungsdurchmesser
- Rechentechnische Eigenschaften
 - Erdbebenberechnung
 - verwendete Anhänge, z. B. Scherfestigkeit von bewehrten Mauerwerk

Nachfolgend wird für verschiedene Wände der Tragwiderstand mit dem Berechnungsprogramm für verschiedene Bewehrungsgehälter berechnet und verglichen. Die Berechnung erfolgt für die typische Wandhöhe für Wohnbauten von 2,75 m. Die Wand wird als Füllmauerwerk mit den Porotherm 25-50 SBZ.i Plan verarbeitet mit Porotherm Dünnbettmörtel und einer Füllbetonklasse von C20/25 angenommen. Die gewählte Fließgrenze der Bewehrung entspricht den für Betonstahl üblichen Wert von 550 N/mm^2 . Die Berechnung wurde als Standardbemessung ohne Abminderung der Teilsicherheitsbeiwerte und mit der Verwendung von Anhang J durchgeführt. Für den Fall der Erdbebenbemessung ergeben sich ähnliche Verläufe und Einflüsse der Bewehrung. Um auch den Einfluss durch die Mauerwerkslänge zu berücksichtigen, erfolgt die Berechnung jeweils mit einer Wandlänge von 2,5 m und 5 m durchgeführt.

6.1 Unbewehrtes Mauerwerk

Bei unbewehrtem Mauerwerk ist der Versagenstyp in aller Regel durch das Schubversagen gegeben. Die Ergebnisse der Berechnung sind in Abbildung 6.1 dargestellt und bilden die Ausgangsbasis für die Parameterstudie. Sie spiegeln die Ergebnisse der Schubtragfähigkeit eines unbewehrten Mauerwerks aus Porotherm 25-50 SBZ.i wider.

Die Auswirkung der Wandlänge auf die Tragfähigkeit der Wand ist bei der Gegenüberstellung in Abbildung 6.2 dargestellt. Bei einer längeren Wand können, vor allem durch die lineare Spannungsverteilung und die dadurch längere überdruckte Wandlänge, bessere Ergebnisse pro Laufmeter erreicht werden.

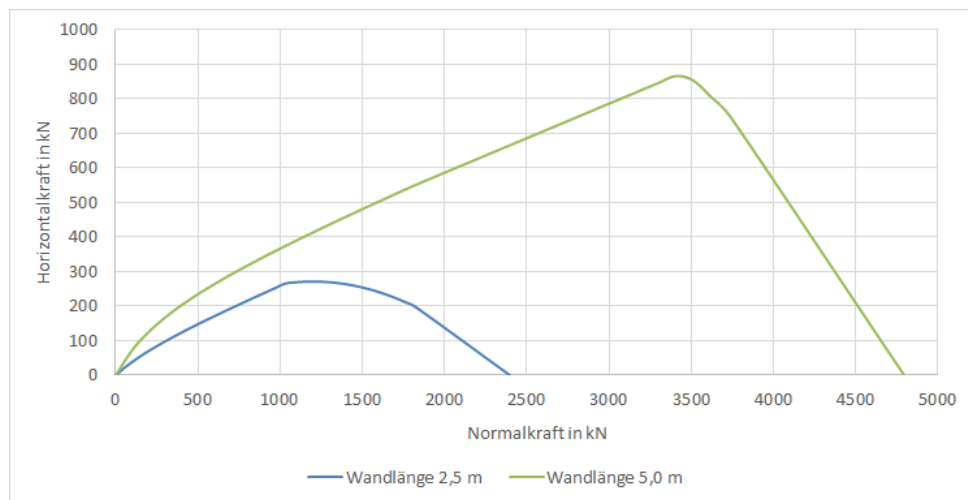


Abb. 6.1: Versagenkurven für unbewehrte Wände aus Porotherm 25-50 SBZ.i Plan

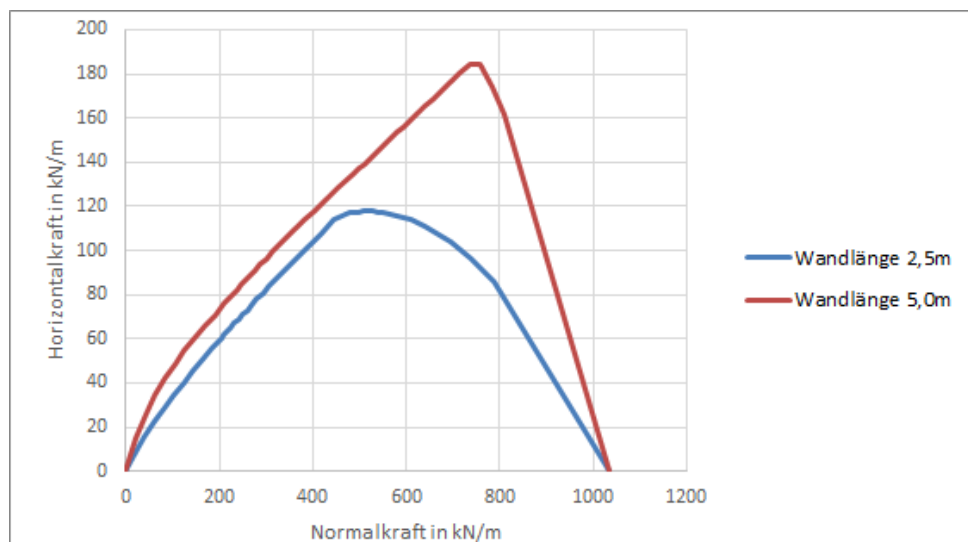


Abb. 6.2: Aufnehmbare Horizontalkraft pro Laufmeter für Wände aus Porotherm 25-50 SBZ.i Plan

Um auch einen Vergleich mit konventionellem Mauerwerk zu haben, sind in Abbildung 6.3 die Versagenkurven für einen Porotherm 25-38 LDF Plan angegeben. Dieser ist ein Hochlochziegel

mit erhöhter Druckfestigkeit und Masse, welcher speziell auf die Anforderungen des Objektbaus abgestimmt ist. Der Vergleich zwischen Porotherm 25-38 LDF Plan und Porotherm 25-50 SBZ.i Plan zeigt einen ähnlichen Verlauf der Interaktionsdiagramme und unterscheidet sich nur durch die möglichen maximalen Werte. Bei den selben Berechnungsmethoden ergibt sich die Verbesserung durch die erhöhte Druckfestigkeit des Porotherm 25-50 SBZ.i Plan. Im Bereich von niedrigen Auflasten ergeben sich für den Porotherm 25-38 LDF Plan leicht schlechtere Werte für die Schubtragfähigkeit durch die unterschiedlichen Berechnungsformeln für die Schubfestigkeit. Dies ist bedingt durch die Ausbildung der Stoßfugen¹.

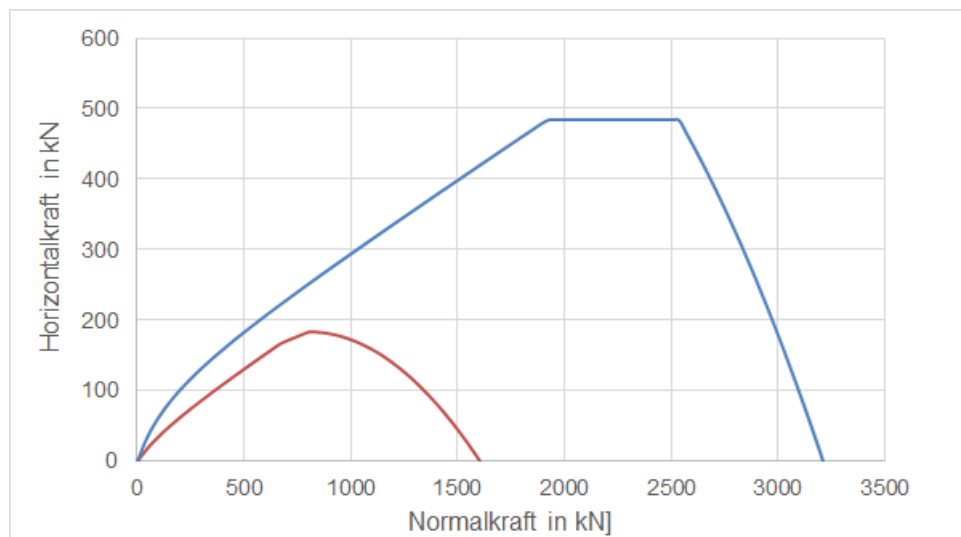


Abb. 6.3: Aufnehmbare Horizontalkraft für Wände aus Porotherm 25-38 LDF Plan

6.2 Eingefasstes Mauerwerk

Eingefasstes Mauerwerk ist eine Ausführungsform des bewehrten Mauerwerks. Durch die konzentrierte Bewehrung an den Enden ergibt sich ein positiver Einfluss auf die Schubtragfähigkeit der Wand. Die Momentenragfähigkeit der Wand kann durch die Bewehrung, welche in der Zugzone angesetzt werden kann, erhöht werden. Aber auch der Querkraftwiderstand ist verbessert durch das Ansetzen der Schubfestigkeit über die gesamten Wandfläche, anstatt nur über den überdrückten Bereich.

Die Abbildungen 6.4 und 6.5 zeigen die Tragfähigkeiten für die berechneten Fälle. Die Bewehrung wird dabei für den Grundfall mit der Mindestbewehrung für den Erdbebenfall durch 4Ø10 gewählt. Als Vergleich wird die selbe Wand mit einer hohen Bewehrung von 4Ø14 berechnet. Dieser Fall mit großem Bewehrungsdurchmesser ist in der Praxis unüblich, bietet aber einen guten Wert, um den Einfluss der Bewehrung von eingefasstem Mauerwerk zu erkennen. Im Vergleich zum unbewehrten Mauerwerk sind die Vorteile schon erkennbar. Der Bewehrungsgehalt für die Einfassung hat bei den gewählten Fällen nur einen geringen Einfluss auf die Tragfähigkeit.

¹Für knirsch gestoßene Stirnflächen, wie sie beim Porotherm 25-38 LDF Plan vorgesehen sind, wird der Wert der Anfangsscherfestigkeit mit 50 % abgemindert. Die Stoßfugen des Porotherm 25-50 SBZ.i Plan dürfen dagegen als vermörtelt angenommen werden.

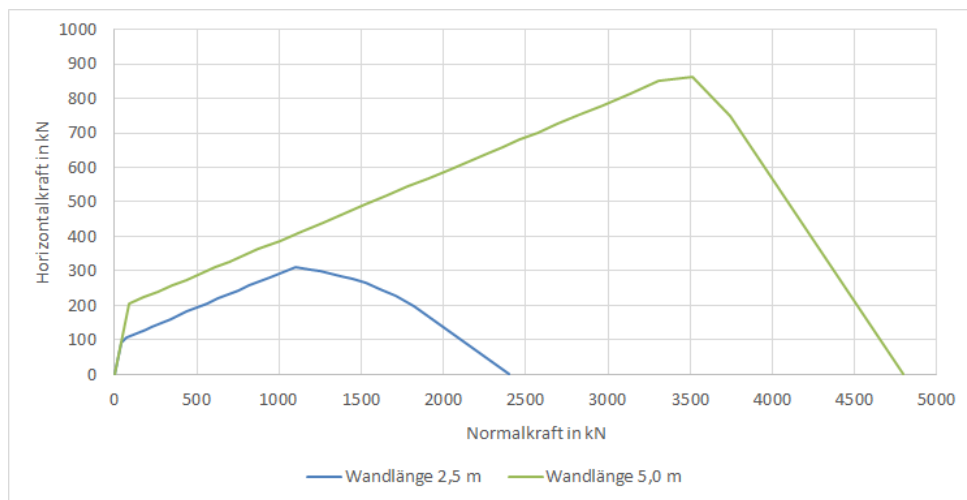


Abb. 6.4: Versagenskurven für eingefasste Wände mit Mindestrandbewehrung

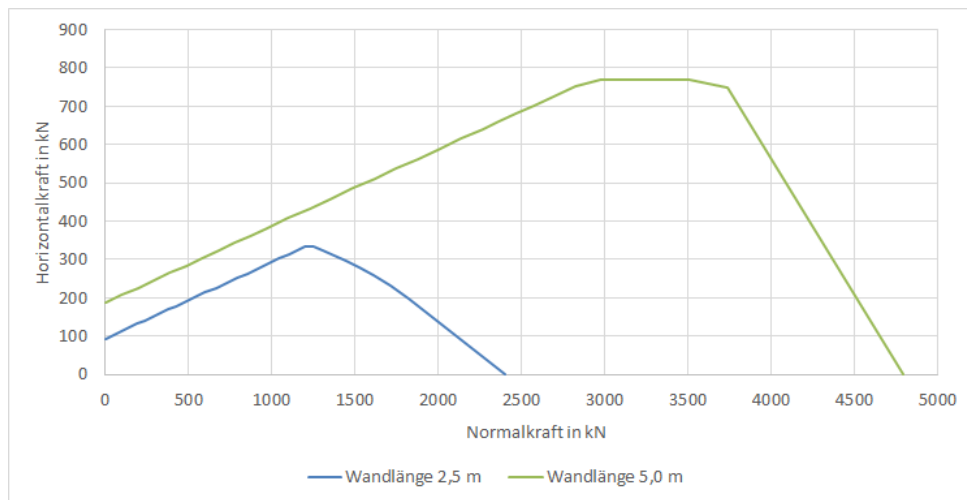


Abb. 6.5: Versagenskurven für eingefasste Wände mit Maximalrandbewehrung

Während bei der Tragfähigkeit unter Querkraftbeanspruchung durch das eingefasste Mauerwerk sich schon Vorteile ergeben, so ist weiters anzumerken, dass vor allem bei frei stehenden Pfeilern die Ränder als gehalten angenommen werden können. Dadurch ergeben sich auch für den Nachweis unter vorwiegend vertikaler Belastung höhere Tragfähigkeiten.

6.3 Vertikal bewehrtes Mauerwerk

Bei vertikal bewehrtem Mauerwerk kann die Bewehrung vollständig in der Berechnung berücksichtigt werden. Dies spiegelt sich vor allem bei der Ermittlung der Schubtragfähigkeit wider. Durch die vorhandene Bewehrung darf der Anhang J der ÖNORM EN 1996-1-1 [19] angewendet werden, der eine Erhöhung der Schubfestigkeit vor allem im Bereich der niedrigen Auflast ermöglicht. Außerdem darf bei der Berechnung des Querkraftwiderstandes, wie beim eingefassten Mauerwerk die gesamte, und nicht nur die überdruckte Wandlänge, herangezogen werden.

Wie bei den anderen Mauerwerksarten wird als erstes die Tragfähigkeit der Wand mit der Mindestbewehrung berechnet. Das Ergebnis ist in Abbildung 6.6 dargestellt. Die Bewehrung wurde dabei mit einer Randbewehrung von $4\text{Ø}8$ und einer Hauptbewehrung von $2\text{Ø}8/500\text{ mm}$ gewählt. Beim Vergleich zwischen den Wandlängen sind die unterschiedlichen Versagensarten auffallend. Während bei der kurzen Wand das Biegeversagen maßgebend ist, ist das Versagen der langen Wand durch Schub gegeben.

Im Vergleich zu unbewehrtem oder eingefasstem Mauerwerk ergeben sich vor allem Vorteile bei der Tragfähigkeit im Bereich niedriger Auflasten. Für die rechnerischen maximalen Traglasten ergeben sich in etwa die gleichen Werte, allerdings ist der Abfall der Tragfähigkeit im Bereich hoher Normalkräfte nicht so stark ausgeprägt.

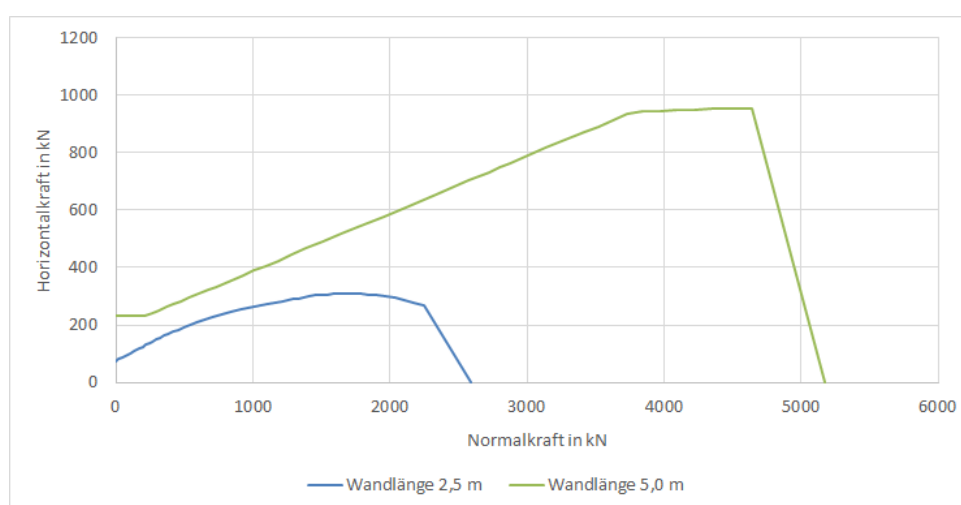


Abb. 6.6: Versagenskurven für vertikal bewehrte Wände mit Mindestbewehrung

Durch die Erhöhung des Bewehrungsgrades bei bewehrtem Mauerwerk kann die Tragfähigkeit der Wand leicht erhöht werden. Die Ergebnisse in Abbildung 6.7 zeigen Interaktionsdiagramme für eine Wand mit einer Randbewehrung von $4\text{Ø}12$ und einer Hauptbewehrung von $2\text{Ø}10/250\text{ mm}$. Zu erkennen ist, dass die Erhöhung der vertikalen Bewehrung keinen Einfluss auf die Schubtragfähigkeit hat.

6.4 Vertikal und horizontal bewehrtes Mauerwerk

Der wesentliche Vorteil des Porotherm 25-50 SBZ.i Plan sind die horizontalen Betonkanäle, in welchen die Schubbewehrung einfach eingebaut werden kann. Für die Parameterstudie für den Bewehrungsgehalt ergeben sich vier maßgebende Fälle. Der Ausgangspunkt für vertikal und horizontal bewehrtes Mauerwerk ist der Punkt der Einhaltung der Mindestbewehrung in beiden Richtungen. Der zweite Extremfall ist der maximale Bewehrungsgrad für die Haupt- und Schubbewehrung. Die restlichen Punkte sind jeweils ein Bewehrungsgrad als Minimum und der jeweils andere Bewehrungsgrad als Maximum. Die gewählte Bewehrung für die einzelnen Berechnungsbeispiele ist in Tabelle 6.1 beschrieben.

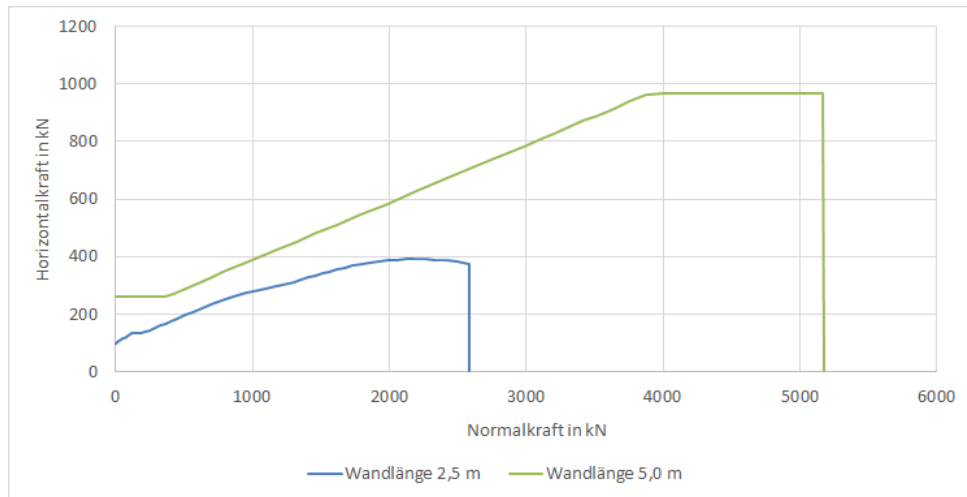


Abb. 6.7: Versagenskurven für vertikal bewehrte Wände mit hohem Bewehrungsgehalt

Tab. 6.1: Bewehrungswahl für die Parameterstudie

Fall	Randbewehrung	Vertikale Bewehrung	Horizontale Bewehrung
I. Mindestbew.	4Ø8	2Ø8/500 mm	2Ø8/500 mm
II. Maximalbew.	4Ø12	4Ø12/250 mm	2Ø12/250 mm
III. Min. Schubbew.	4Ø12	4Ø12/250 mm	2Ø8/500 mm
IV. Min. Hauptbew.	4Ø8	2Ø8/500 mm	2Ø12/250 mm

Abbildung 6.8 zeigt die Versagenskurven für den Fall bei Einhaltung der Mindestbewehrung. Im Vergleich zu den Fällen des ausschließlich vertikal bewehrten Mauerwerks (ersichtlich in Abbildung 6.6) ergibt sich für kurze Wandlängen keine Verbesserung aufgrund des Biegeversagens. Bei größeren Wandlängen, welche durch das Schubversagen maßgebend sind, ist die Erhöhung der Tragfähigkeit im Bereich der niedrigen Auflasten klar ersichtlich.

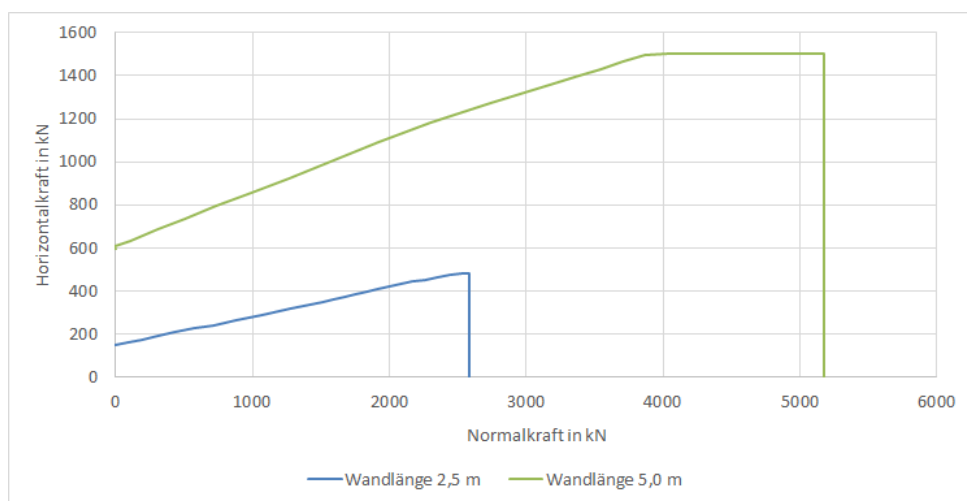


Abb. 6.9: Versagenskurven für vertikal und horizontal bewehrte Wände mit Maximalbewehrung – Fall II

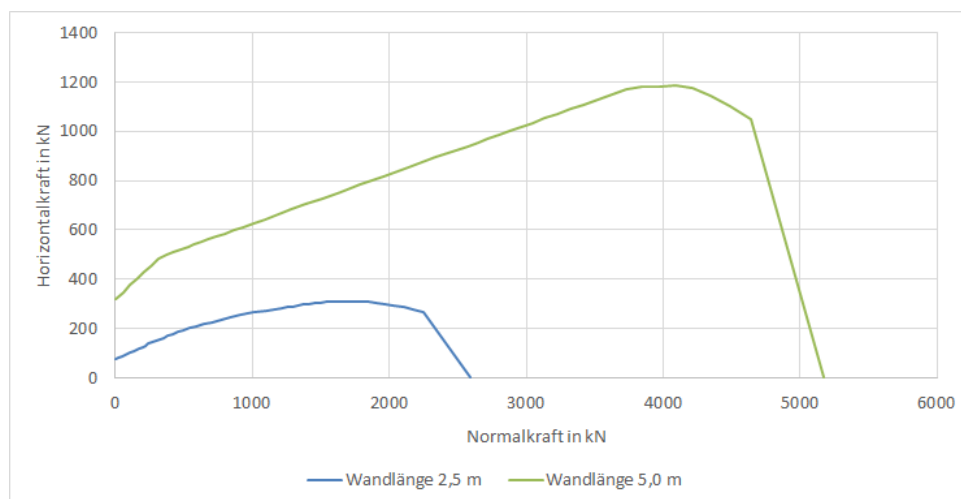


Abb. 6.8: Versagenskurven für vertikal und horizontal bewehrte Wände mit Mindestbewehrung – Fall I

Für Wände mit hohen Bewehrungsgraden in beiden Richtungen ergeben sich die Versagenskurven nach Abbildung 6.9. Wie schon bei den vorigen Beispielen ist ein positiver Einfluss der Bewehrung bei kurzen Wänden im kritischen Bereich der niedrigen Auflast fast nicht gegeben. Bei längeren Wänden kann durch die Erhöhung des Bewehrungsgrades die Tragfähigkeit im Bereich der geringen Auflast fast linear mit der Schubbewehrungsfläche erhöht werden.

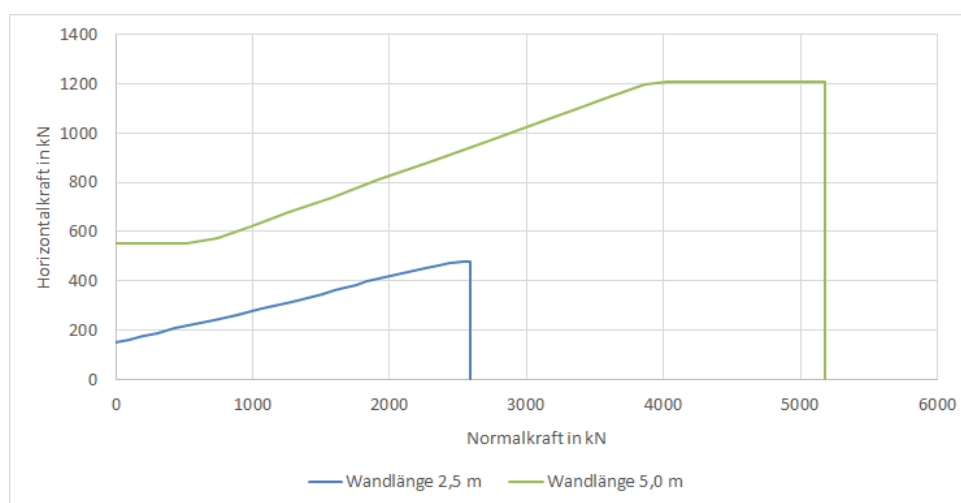


Abb. 6.10: Versagenskurve für maximal vertikal und minimal horizontal bewehrte Wände – Fall III

Die Abbildungen 6.10 und 6.11 stellen die Versagensverläufe für die Fälle mit Mindestbewehrung in einer und Maximalbewehrung in der anderen Richtung dar. Für eine wirtschaftliche Ausführung ist es wichtig, den Einfluss der Bewehrung in den jeweiligen Richtungen zu kennen.

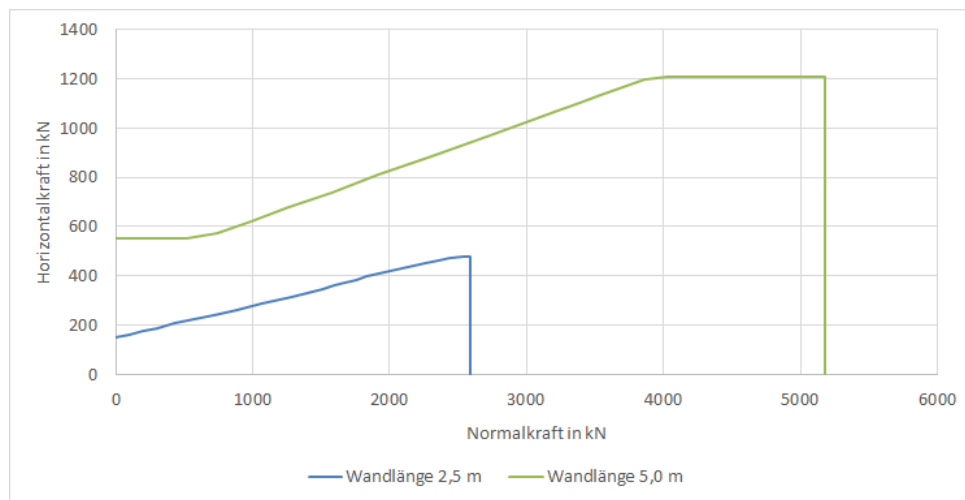


Abb. 6.11: Versagenkurve für minimal vertikal und maximal horizontal bewehrte Wände – Fall IV

6.5 Schlussfolgerungen der Parameterstudie

Um bessere Aussagen über den Einfluss der Bewehrung und des Bewehrungsgrades treffen zu können, werden die Ergebnisse nur für die einzelnen Wandlängen übereinandergelegt und verglichen. Das Ergebnis ist in Abbildung 6.12 für die Wandlänge von 2,5 m und in Abbildung 6.13 für die Wandlänge von 5 m dargestellt. Für den Vergleich werden dabei jeweils die Mindestbewehrungshalter herangezogen. Generell kann nicht davon ausgegangen werden, dass mehr Bewehrung die Schubtragfähigkeit einer Wand erhöht. Ob und wie viel Einfluss die Bewehrung hat, ist zu einem großen Teil von der Wandlänge abhängig, welche einen wesentlichen Faktor für die Versagensform darstellt. Wie aus den vorgestellten Bemessungsformeln in Kapitel 3.2 erkennbar ist, kann die Bewehrung nicht in allen Versagensformen gleich angesetzt werden. Bei kurzen Wänden ist der maßgebende Versagensmechanismus die Momentenragfähigkeit. Diese kann durch Anordnung von vertikaler Bewehrung, vor allem im kritischen Bereich der geringen Auflast, verbessert werden. Erkennbar ist auch, dass es beim eingefassten Mauerwerk im Gegensatz zum bewehrten Mauerwerk eine verschobenes Maximum gibt. Dies ist auf Grund der unterschiedlichen Berechnungsarten gegeben. Für längere Wände ist meist die Schubtragfähigkeit am Wandkopf der maßgebende Versagensfall und kann mit horizontaler Bewehrung sehr gut verbessert werden.

Um die verschiedenen Bewehrungsgehalte bei vertikal und horizontal bewehrten Wänden besser vergleichen zu können, werden die Ergebnisse jeweils für die zwei Wandlängen zusammengefasst dargestellt. Die Abbildung 6.14 zeigt die Ergebnisse für die Wandlänge von 2,5 m. Durch die überlagerten Verläufe bei gleichem vertikalen Bewehrungsgehalt zeigt sich, dass das Versagen durch die Überschreitung der Biegetragfähigkeit der Wand erreicht wird. Die Menge an horizontaler Bewehrung hat bei der kurzen Wand keinen Einfluss auf die Tragfähigkeit. Auffallend ist, dass beim eingefassten Mauerwerk die maximale Schubtragfähigkeit bei einer niedrigeren Normalkraft liegt als beim bewehrtem Mauerwerk. Dies ist vor allem durch der vereinfachten Berechnungsmethode und der Vernachlässigung der Druckbewehrung geschuldet.

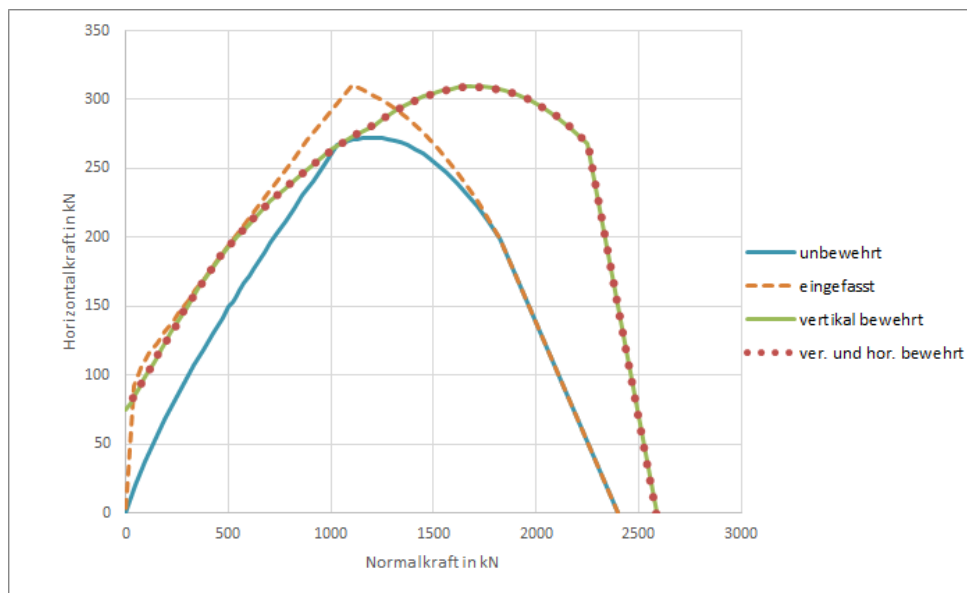


Abb. 6.12: Tragfähigkeit unterschiedlicher Wandtypen mit einer Wandlänge 2,5 m

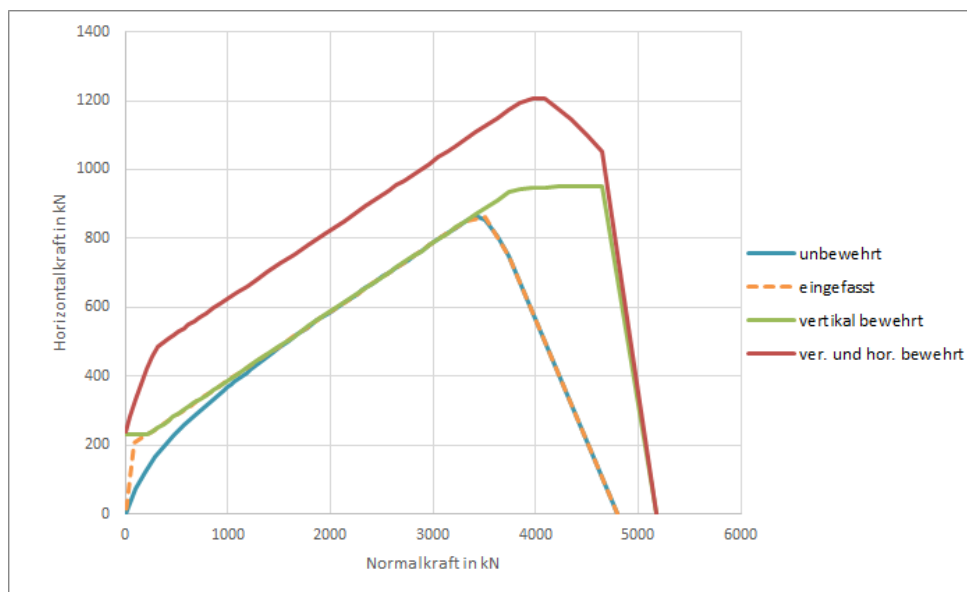


Abb. 6.13: Tragfähigkeit unterschiedlicher Wandtypen mit einer Wandlänge 5,0 m

Bei einer Wandlänge von 5 m ergeben sich, wie in Abbildung 6.15 abgebildet, unterschiedliche Verläufe auf Grund der verschiedenen Versagensformen. Im Gegensatz zu einer kurzen Wand hat die Bewehrung, sowohl die vertikale als auch die horizontale, einen wesentlich größeren Einfluss auf den berechneten Tragwiderstand. Wie zu erwarten war, erreicht die Wand mit Mindestbewehrung in beiden Richtungen die geringsten Werte. Durch das Versagen, welches durch Überschreitung der Schubtragfähigkeit eintritt, kann der Widerstand durch eine horizontale Bewehrung erhöht werden. Die Erhöhung ist allerdings nur sinnvoll, wenn die Momententragfähigkeit, welche vor allem durch die vertikale Bewehrung hergestellt wird, nicht überschritten wird.

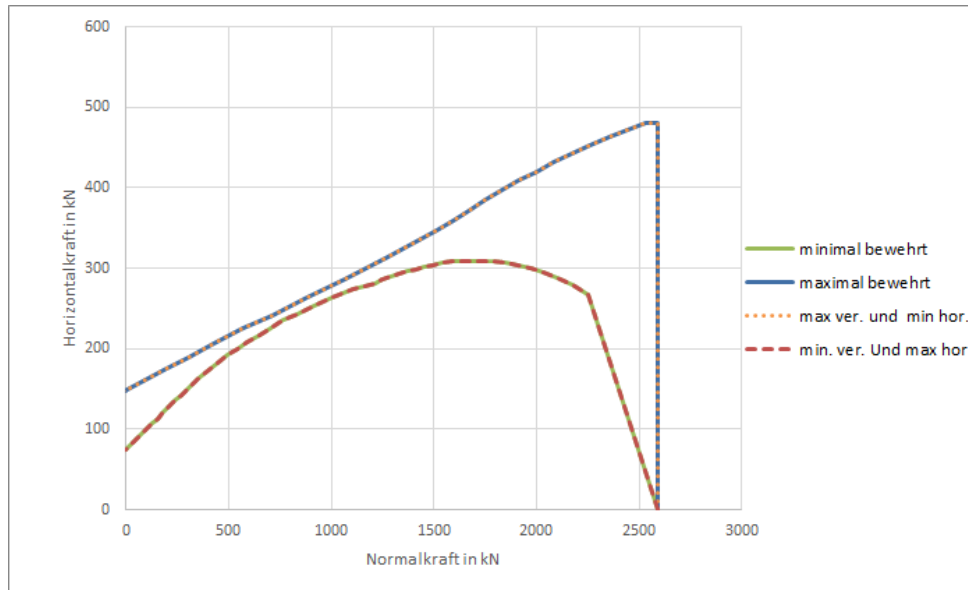


Abb. 6.14: Einfluss der Bewehrung bei einer Wandlänge 2,5 m

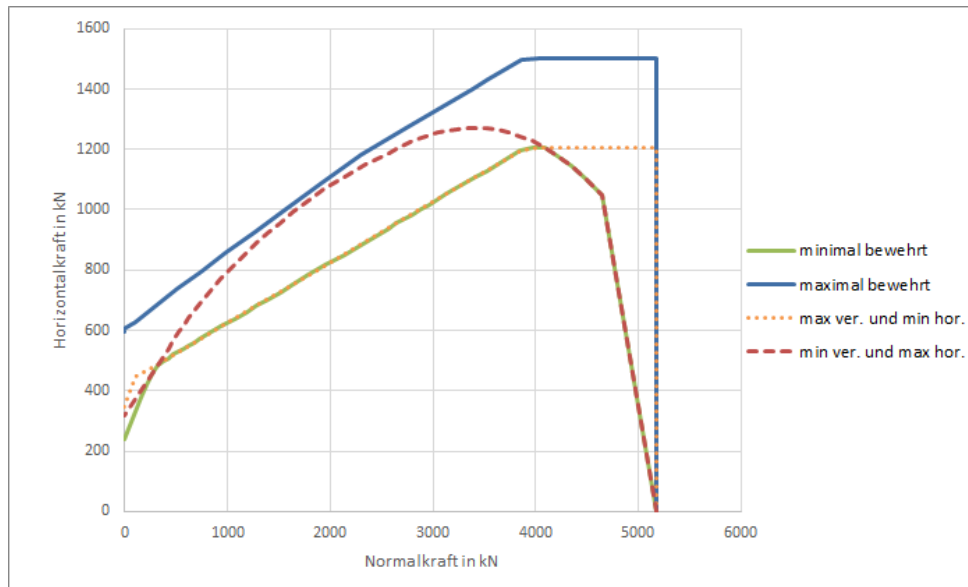


Abb. 6.15: Einfluss der Bewehrung bei einer Wandlänge 5 m

Kapitel 7

Konstruktive Ausbildung

Genau so wichtig wie die statische Berechnung einer bewehrten Mauerwerkswand ist die konstruktive Ausbildung. Im Folgenden wird auf die richtige Ausführung der Mauerwerkserstellung, Bewehrungsführung und Ähnlichen eingegangen. Dabei werden die wichtigsten konstruktiven Regeln der ÖNORM EN 1996-1-1 [19], der ÖNORM EN 1992-1-1 [18] und der Porotherm Verarbeitungshinweise [29] zusammengefasst.

7.1 Mauerwerk

Der Porotherm 25-50 SBZ.i Plan sowie die anderen Verfüllziegel der Wienerberger Österreich GmbH sind Bestandteil des Planziegelsortiments. Durch den plan-parallelen Schliff werden die Ziegel mit Porotherm Dünnbettmörtel oder dem Porotherm Dryfix extra System verarbeitet. Die Lagerfugendicke hat eine Mindestdicke von 0,5 mm aufzuweisen, sollte aber 3 mm nicht überschreiten. Durch die fehlende Möglichkeit, Unebenheiten und Schiefstellungen auszugleichen, ist auf die Herstellung eines planebenen Mörtelbetts zu achten.

Wie für alle Mauerwerkssteine gelten auch für Verfüllsteine die Verbandsregeln. Durch die Geometrie und die vertikalen Betonkanäle ist der Verband mit der halben Steinlänge bereits vorgegeben. Bei Mauerwerksecken oder T-Stößen mit anderen Mauerwerksarten ist auf eine fachgerechte Einbindung zu achten. Die gängigste Form ist die Anbindung in Stumpfstoßtechnik mit der Einlage von Flachstahlankern, wie in Abbildung 7.1 gezeigt. Bei schallschutztechnischen Anforderungen ist eine Einbindung der Füllbetonwand in eine monolithische Außenwand nicht durch die Stumpfstoßtechnik, sondern durch Verzahnung herzustellen, um einen möglichst biegesteifen Knoten zu erreichen.

Wenn möglich sollte die Wandhöhe im Rastermaß von 25 cm geplant werden. Soll eine abweichende Höhe ausgeführt werden, kann dies mit Hilfe des Porotherm 25-50 SBZ Plan Höhenausgleichsziegel für die Wanddicke von 25 cm erfolgen. Mit der Ziegelhöhe von 22 cm können durch Mischung der unterschiedlichen Ziegelabmessungen nahezu alle Wandhöhen erreicht werden. Zu beachten ist, dass auf Grund der fehlenden horizontalen Ausnehmungen nicht der volle Betonriegelquerschnitt erreicht werden kann. Höhenausgleichsziegel sollten bei horizontal bewehrtem Mauerwerk möglichst vermieden oder die Ausnehmungen für die betroffenen Scharen per Hand nachgeschnitten werden.

Besondere Vorsicht besteht im Hinblick auf die Standsicherheit von Porotherm SBZ und SBZ.i Wänden im Bauzustand. Unverfüllte Wände sind durch geeignete Maßnahmen zu sichern, um ein Kippen unter Windbelastung zu verhindern.

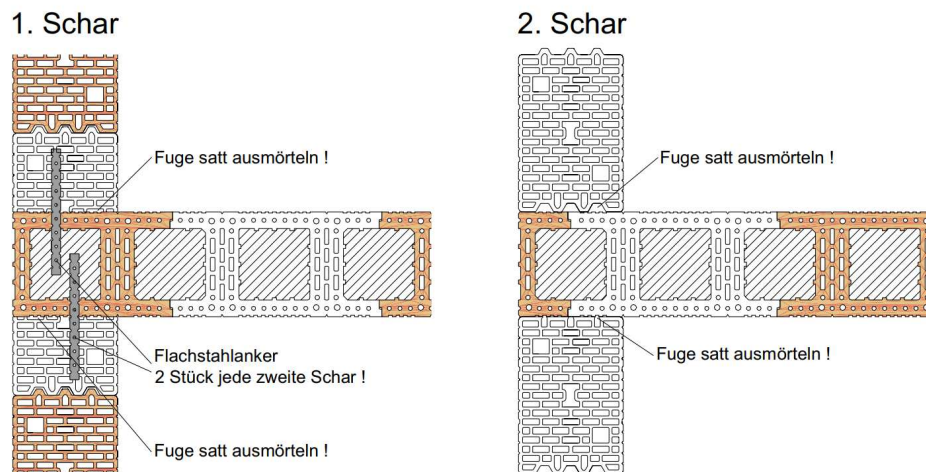


Abb. 7.1: Einbindung einer Porotherm SBZ.i Wand (Quelle:[28])

7.2 Beton

Für eine ausreichende Tragfähigkeit ist die Auswahl und die Verarbeitung des Füllbetons von großer Bedeutung. Die Betongüte sollte je nach den statischen Anforderungen gewählt werden. Wird die Füllbetonwand allerdings gleichzeitig mit der Decke betoniert, ist dabei dieselbe Betongüte zu wählen. Grundsätzlich wird aufgrund der schützenden Ziegelschale eine Expositions-klasse von XC1 empfohlen. Als Größtkorn der Betonmischung sollte 16 mm gewählt werden.

Vor dem Betonieren sind die Innenflächen der Ziegel ausreichend vorzunässen. Ohne den Wasserfilm kann kein ausreichender Verbund zwischen Ziegel und Beton gewährleistet werden und der Ziegel entzieht dem Beton zusätzlich Wasser. Das Vornässen sollte mit einem Schlauch mit aufgesetzter Spritze und geringem Wasserdruck erfolgen. Es ist darauf zu achten, dass sich in der ersten Ziegelschar kein stehendes Wasser bildet. Wie bei der Betonherstellung sollte auch beim Vornässen Wasser ohne betonschädliche Substanzen verwendet werden.

Das Verdichten des Betons erfolgt mit einer Rüttelflasche. Durch die geringen Abmessungen der vertikalen Kanäle und der vorhandenen Bewehrung ist eine Rüttelflasche mit maximal 36 mm zu wählen. Um eine fachgerechte Verarbeitung des Betones zu gewährleisten, sollte jeder vertikale Kanal durch Hinablassen bis zum Wandfuß und langsamen Herausziehen verdichtet werden. Es ist auf ein möglichst gerades Absenken der Rüttelflasche zu achten, um ein Abschlagen der Ziegelschalen zu vermeiden. Die Verwendung von Schalungsrüttlern ist nicht möglich.

7.3 Bewehrung

Die bauliche Durchbildung der Bewehrung richtet sich nach den Vorgaben der ÖNORM EN 1996-1-1 [19] und der ÖNORM EN 1992-1-1 [18]. Die Betondeckung des Stahls hat bei bewehrtem Mauerwerk der Expositions-klasse XC1 mindestens 20 mm oder so groß wie der größte Stabdurchmesser zu sein, wobei der größere Wert maßgebend ist. Für die Betondeckung dürfen die am Beton

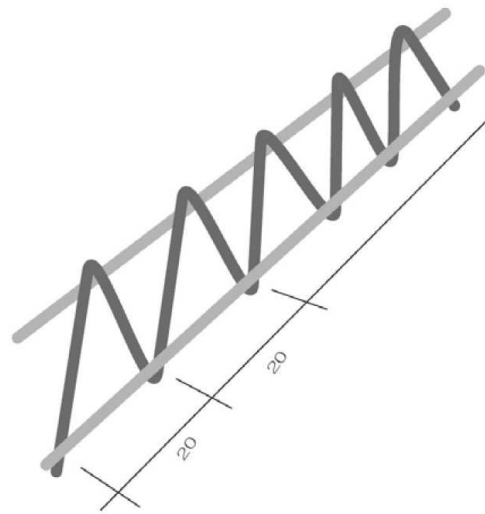


Abb. 7.2: Eingurträger

anliegenden Ziegelstege berücksichtigt werden. ÖNORM EN 1992-1-1 gibt für Stabbewehrungen eine Fließgrenze von mindestens 400 N/mm^2 vor. Die empfohlene Bewehrungsgüte ist B 550 B und sollte, wenn möglich, auch eingehalten werden. Für die Anforderungen an die Minimal- und Maximalbewehrung wird auf Kapitel 3.1.2.4 verwiesen.

7.3.1 Vertikale Bewehrung

Für die vertikale Bewehrung werden in der Praxis Eingurträger (siehe Abbildung 7.2) oder gerade Stabstäbe verwendet. Nach dem Aufmauern werden diese von oben eingeführt und, wenn vorhanden, mit der horizontalen Bewehrung verdrahtet.

Für die Anschlussbewehrung sind die nötigen Übergreifungslängen einzuhalten, um die Kraftübertragung zwischen Mauerwerk und Decke zu gewährleisten. Der Stoß wird in der Regel durch eine gerade Verlängerung in die Wand darüber hergestellt. Bei Wänden im obersten Geschoss sollte die Verankerung durch Winkelhaken in die Decke verankert werden. Die Verankerungslänge kann gemäß der ÖNORM EN 1996-1-1 [19] mit Hilfe der Formel (7.1) berechnet werden.

$$l_b = \gamma_M \cdot \frac{\sigma}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bod}} \quad (7.1)$$

f_{yd} = Streckgrenze Stahl

f_{bok} = Verbundfestigkeit der Bewehrung

Für die Berechnung der Verankerungslänge sollten aufgrund der verwendeten Berechnungsmethode für den Momentenwiderstand die volle Stahlzugfestigkeit angesetzt werden. Die Verbundfestigkeit

für Füllbetonsteine kann aus der ÖNORM EN 1996-1-1 [19] entnommen werden und ist in Tabelle 7.1 für die verwendbaren Betongüten angegeben.

Tab. 7.1: Charakteristische Verbundsteifigkeit der Bewehrung im Füllbeton

Betondruckfestigkeit	C12/15 [N/mm ²]	C16/20 [N/mm ²]	C20/25 [N/mm ²]	C25/30 [N/mm ²]
f_{bok} glatte Baustähle	1,3	1,5	1,6	1,8
f_{bok} gerippte Baustähle	2,4	3,0	3,4	4,1
f_{bok} nichtrostende Baustähle	2,4	3,0	3,4	4,1

Für die wichtigsten Bewehrungsdurchmesser und Betonfestigkeitsklassen sind die nötigen Verankerungslängen in Tabelle 7.2 dargestellt. Für die Berechnung ist ein Teilsicherheitsbeiwert von 2,0 gewählt.

Tab. 7.2: Charakteristische Verbundsteifigkeit der Bewehrung im Füllbeton

Ø	C12/15 mm	C16/20 mm	C20/25 mm	C25/30 mm
6	598	478	422	350
8	797	637	562	466
10	996	797	703	583
12	1195	956	844	700

Werden bei der Ausführung der Wand größere Bewehrungsdurchmesser verwendet als nach der Bemessung erforderlich, darf die nötige Verankerungslänge abgemindert werden. Aufgrund der zyklischen Belastungen sollten die Grenzwerte für Druck beanspruchte Stäbe verwendet werden, wobei der größte Wert von $0,6 l_b$, 10‰ oder 100 mm maßgebend ist. Bei eingefasstem Mauerwerk wird nach der Berechnung keine Druckbewehrung in Rechnung gestellt, daher können die Grenzwerte für Zugbewehrungsstöße verwendet werden. Die Verankerungslänge ergibt sich in diesem Fall aus dem größten Wert aus $0,3 l_b$, 10‰ oder 100 mm. Je nach Ausbildung der Verankerung kann der Bemessungswert für die Verankerungslänge nach Abbildung 7.3 weiter abgemindert werden.

7.3.2 Horizontale Bewehrung

Um die verbesserte Schubkraftfähigkeit durch die Schubbewehrung in der Berechnung ansetzen zu können, muss die Verankerung gewährleistet sein. Diese ist durch einen Haken oder einen Winkelhaken sicherzustellen. Die Übergreifungslänge der Schubbewehrung gilt als erfüllt, wenn die Hakenlänge mindestens den 5-fachen Stabdurchmesser oder 50 mm beträgt. Bei einem Winkelhaken ist der größere Wert vom 10-fachen Stabdurchmesser und 70 mm maßgebend. Mögliche Formen der Verankerung der Schubbewehrungen und die Mindestlängen sind in Abbildung 7.4 dargestellt. In Tabelle 7.3 sind für die wichtigsten Stabdurchmesser die Verankerungslängen angegeben. Für eine kraftschlüssige Verbindung von horizontal bewehrten Wänden sollte in den Ecken L-förmige Bewehrungsseisen, wenn möglich über Kreuz, eingelegt werden. Abbildung 7.5 zeigt eine mögliche Ausführung der Eckbewehrung.

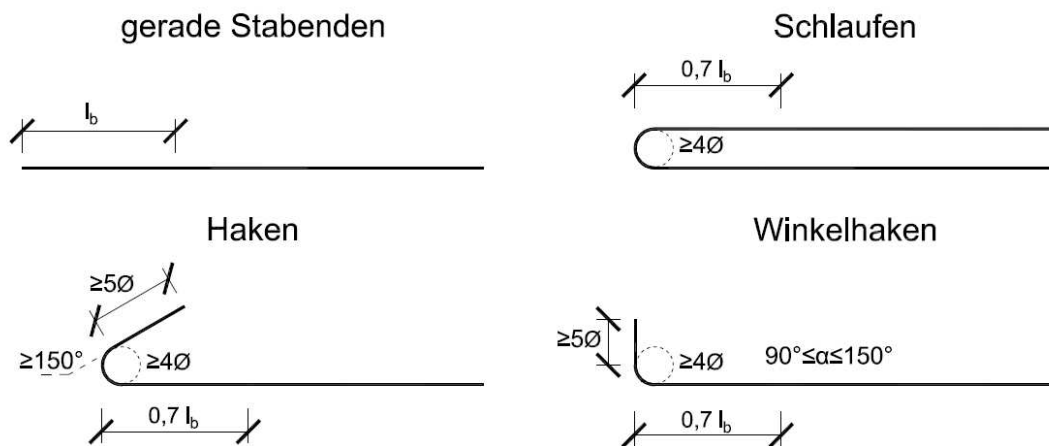


Abb. 7.3: Verankerungslängen der Hauptbewehrung

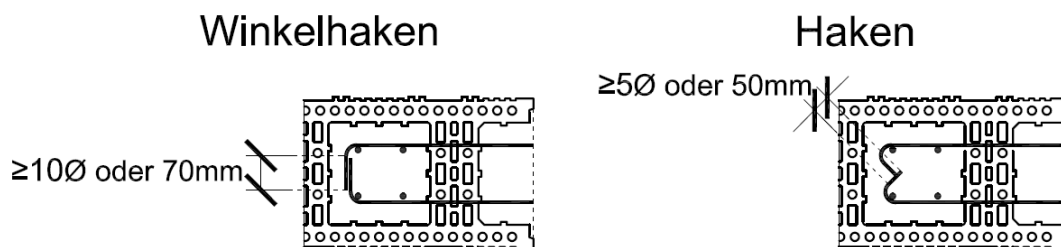


Abb. 7.4: Verankerungslängen der Schubbewehrung

Tab. 7.3: Verankerungslängen der Schubbewehrung

Art	Ø6 mm	Ø8 mm	Ø10 mm	Ø12 mm
Haken	50	50	50	60
Winkelhaken	70	80	100	120

Wird keine horizontale Schubbewehrung angeordnet, so sind die Bewehrungsstäbe gegen Ausknicken zu sichern. Dies kann wie im Betonbau üblich mit Bügel ausgeführt werden oder bei Verwendung von Eingurträgern bildet dessen Steg die Knicksicherung der Stäbe. Nach der ÖNORM EN 1996-1-1 [19] ist der maximale Abstand der Bügelbewehrung der kleinste Wert aus kleinster Querschnittsabmessung, dem 12-fachen \varnothing der Hauptbewehrung oder 300 mm. Der Durchmesser der Bügelbewehrung ist mindestens mit $1/4$ des Durchmessers der Hauptbewehrung oder 4 mm zu wählen.

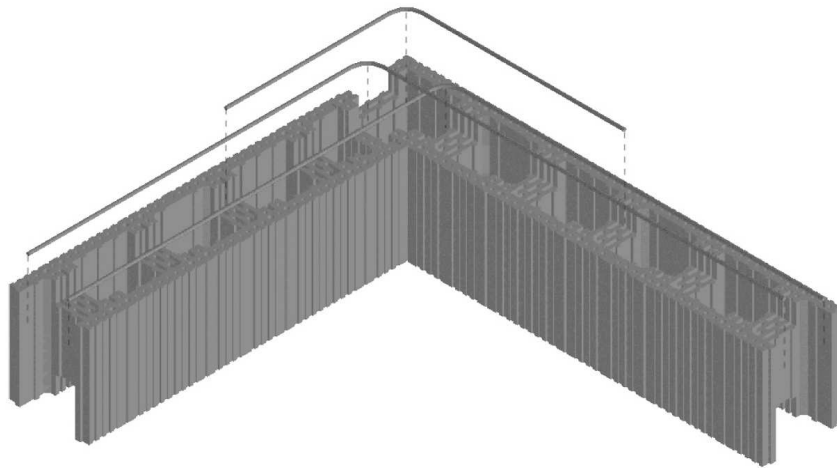


Abb. 7.5: Verankerungslängen der Schubbewehrung

Kapitel 8

Berechnungsbeispiel

An einem einfachen Gebäude wird die Erdbebenbemessung für ein bewehrtes Mauerwerk vorgestellt. Auf die nachweisfreie Vorgangsweise der ÖNORM EN 1996-1-1 [19] wird hier nicht weiter eingegangen, da keine gesonderte Querkraftberechnung erforderlich ist. Die typische Nachweisform für nicht nachweisfreie Gebäude ist die quasi-statische Berechnung. Das Bauwerk wird durch einen Ein- oder Mehrmassenschwinger abgebildet, an welchem die Ersatzkräfte einfach berechnet werden können. Die berechneten Kräfte des Ersatzsystems werden anschließend in Deckenebene am Gebäude angesetzt. Die Aufteilung der Kräfte auf die einzelnen Wandscheiben, sollte steifigkeitsabhängig angesetzt werden.

Die im Weiteren berechneten Schnittgrößen und Nachweise werden für den Erdbebenfall berechnet und beziehen sich damit nur auf diesen einen Lastfall. Für den gesamten Nachweis des Gebäudes sind auch alle weiteren maßgebenden Lastkombinationen zu berechnen. Die Ermittlung der Schnittgrößen richtet sich nach einem einfachen Verfahren für eine nachvollziehbare Berechnung. Der Einsatz von FE-Programmen kann zu anderen Schnittgrößen führen.

8.1 Modelldaten

Der Grundriss (siehe Abbildung 8.1) wird als Rechteckgrundriss mit Außenabmessungen von 20 m auf 20 m angenommen. Alle eingezeichneten Wände werden als bewehrtes Mauerwerk, mit dem Porotherm 25-50 SBZ.i Plan angesetzt. Für eine vereinfachte Berechnung wird eine doppelt symmetrische Wandaufteilung gewählt. In jedem Geschoss sind pro Gebäuderichtung drei Wandzüge geplant. Jeder Wandzug besteht aus drei Wänden mit Längen von zwei mal 5 m und ein mal 2 m. Das Gebäude hat sechs Geschosse mit gleichem Grundriss und ein Flachdach. Als lichte Geschosshöhe sind 2,75 m angesetzt, wodurch sich mit den Deckenstärken von 25 cm ein Höhenraster von 3,00 m ergibt. Um die Schubkrafteinleitung und die großen Spannweiten der Decken zu gewährleisten, werden diese aus Stahlbeton gewählt. Ein vereinfachter Schnitt des Gebäudes ist in Abbildung 8.2 dargestellt. Für das Beispielgebäude ergibt sich eine für die Berechnung relevante Gebäudehöhe von 21 m.

Für die Wahl des Rechenmodells, der Berechnungsmethode und des Verhaltensbeiwertes ist nach ÖNORM EN 1998-1 [20] die konstruktive Regelmäßigkeit zu prüfen. Durch den gewählten symmetrischen Grundriss, welcher in jedem Geschoss gleich gewählt ist, ist die Annahme von einem regelmäßigen Grundriss und Aufriss zutreffend. Für die Erdbebenbemessung darf ein ebenes Modell angewendet werden und es ist keine Abminderung des Verhaltensbeiwertes q nötig. Für die Anwendung des vereinfachten Antwortspektumverfahrens, mit horizontalen Ersatzlasten ist zusätzlich noch der maximale Wert der Eigenschwingungsdauer t_1 in den beiden Hauptrichtungen von $4T_C$ oder 2,0s einzuhalten, wobei der kleinere Wert maßgebend ist. Diese Bedingung wird zu einem späteren Zeitpunkt nachgewiesen.

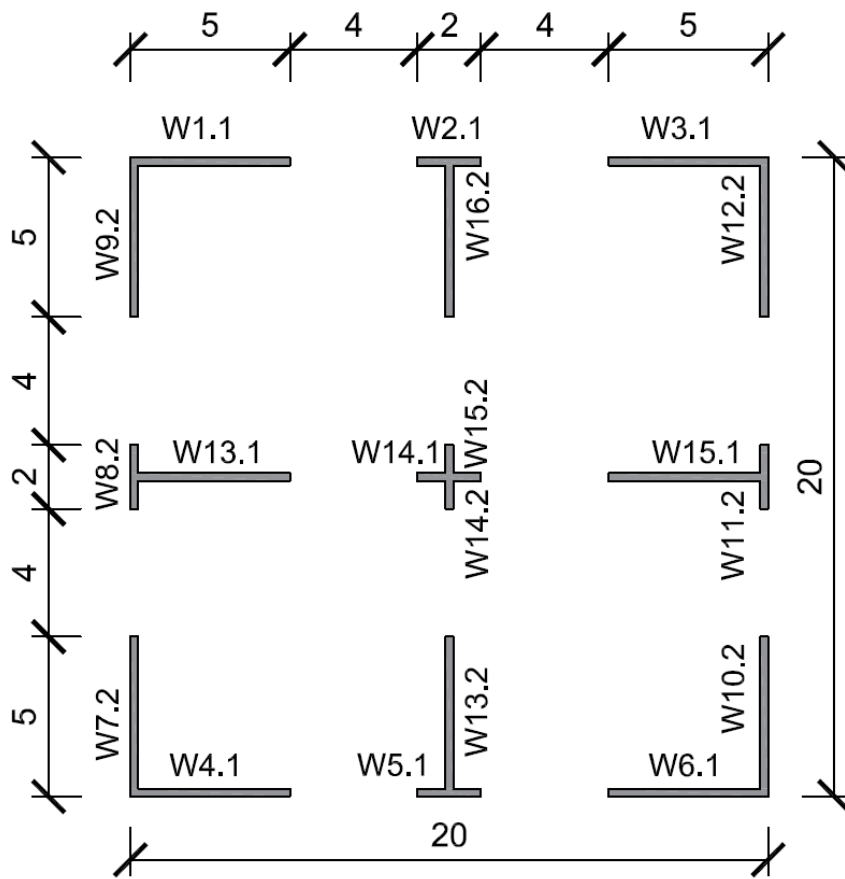


Abb. 8.1: Grundriss des Beispielgebäudes

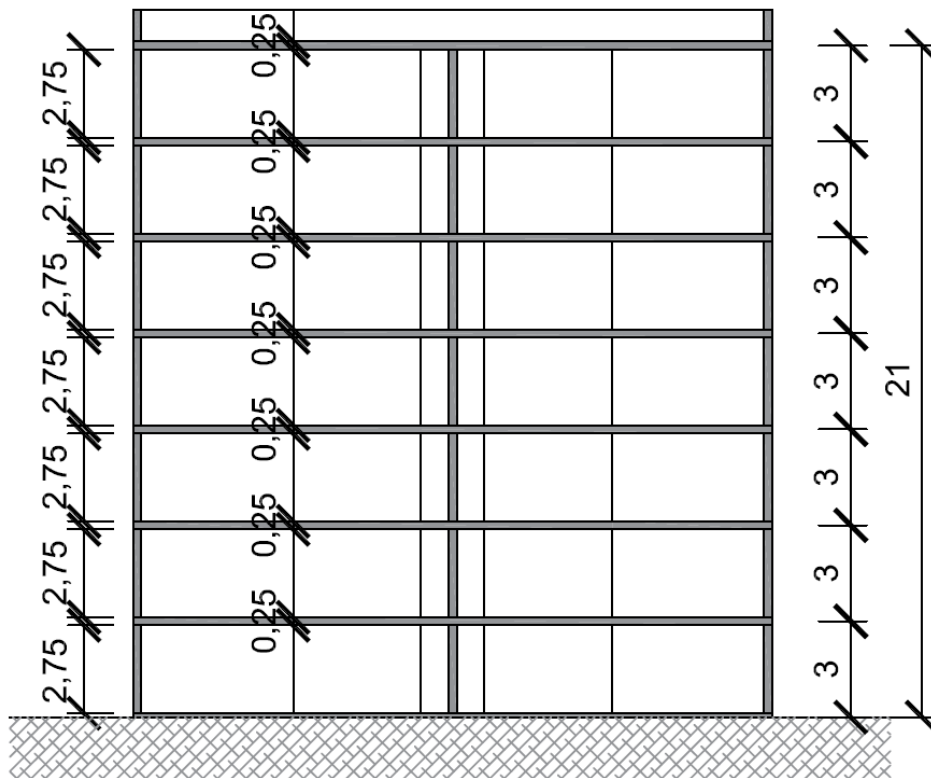


Abb. 8.2: Schnitt des Beispielgebäudes

8.1.1 Bemessungsspektrum

Das Gebäude ist als Büro ausgelegt und fällt damit in die Bedeutungskategorie II nach ÖNORM EN 1998-1 [20]. Der Bedeutungsbeiwert γ_1 ergibt sich nach ÖNORM B 1998-1 [15] zu 1,0. Als Standort wird die Stadt Baden bei Wien gewählt. Nach ÖNORM B 1998-1 [15] beträgt die Referenzbodenbeschleunigung a_{gR} $0,91 \text{ m/s}^2$. Baden liegt geologisch gesehen im Wiener Becken, wodurch von der Baugrundklasse C ausgegangen werden kann. Aus ÖNORM EN 1998-1 [20] können für das in Österreich anzuwendende elastische Antwortspektrum vom Typ 1 die Parameter aus Tabelle 8.1 entnommen werden. Der Verhaltensbeiwert q wird für bewehrtes Mauerwerk mit 2,5 angesetzt. Für den Beiwert des unteren Grenzwertes β wird der empfohlene Wert von 0,20 angenommen. In Abbildung 8.3 ist das berechnete Antwortspektrum für eine lineare Berechnung nach ÖNORM EN 1998-1 [20] dargestellt.

Tab. 8.1: Parameter für das Antwortspektrum

Baugrundklasse	S	T_B [s]	T_C [s]	T_D [s]
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,65	2,0
D	1,35	0,2	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

$$0 \leq T \leq T_B : S_d(T) = a_{gR} \cdot \gamma_1 \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad (8.1)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_d(T) = a_{gR} \cdot \gamma_1 \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \quad (8.2)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_d(T) = a_{gR} \cdot \gamma_1 \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \frac{T_C}{T} \geq \beta \cdot a_{gR} \cdot \gamma_1 \quad (8.3)$$

$$T_C \geq T \leq T_D : S_d(T) = a_{gR} \cdot \gamma_1 \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \geq \beta \cdot a_{gR} \cdot \gamma_1 \quad (8.4)$$

$S_d(T_1)$ = Ordinate des Bemessungsspektrum

a_{gR} = Bemessungs-Bodenbeschleunigung

γ_1 = Ordinate des Bemessungsspektrum

S = Bodenparameter

q = Verhaltensbeiwert

T = Schwingungsdauer eines linearen Einmassenschwingers

T_B = untere Grenze des Bereichs konstanter Spektralbeschleunigung

T_C = obere Grenze des Bereichs konstanter Spektralbeschleunigung

T_D = Beginn des Bereichs konstanter Verschiebungen

β = Beiwert für den unteren Grenzwert

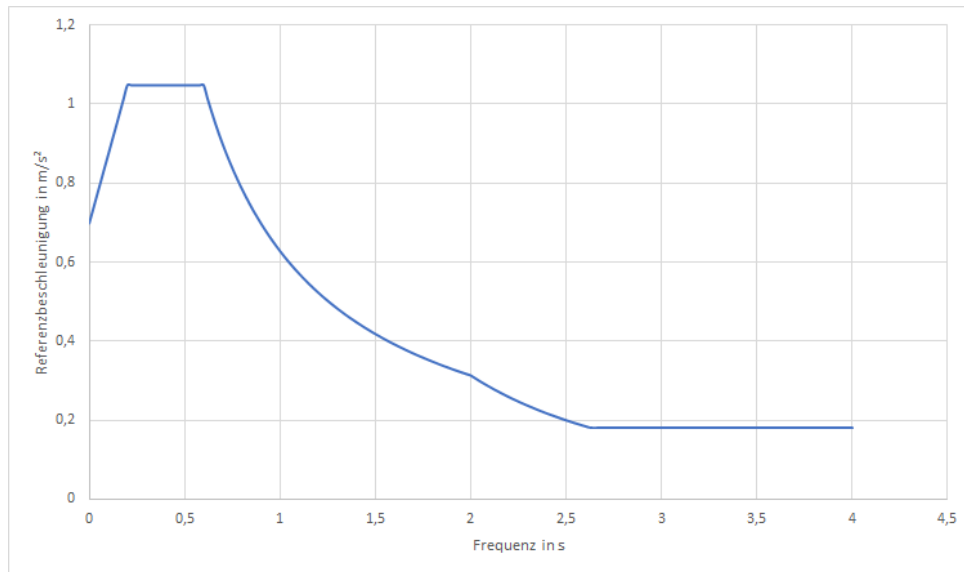


Abb. 8.3: Antwortspektrum für das Beispiel

8.1.2 Ersatzsystem

Für die Berechnung der Gesamterdbebenkraft wird das Gebäude in einen Mehrmassenschwinger umgewandelt. Im ersten Schritt erfolgt die Berechnung der seismischen Bauwerksmasse. Die Tabellen 8.2 bis 8.3 zeigen die vereinfachte Ermittlung für die Stahlbetondecken und Wände aus dem Porothem 25-50 SBZ.i Plan. Für die Approximation als Mehrmassenschwinger werden die Massen auf Höhen der Geschossdecken zusammengefasst. Die Gesamterdbebenkraft kann beim quasi-statischen Erdbebennachweis mit Hilfe der Formel (8.5) berechnet werden.

Tab. 8.2: Ermittlung der seismischen Deckenmassen

Decke:			Dach:		
Eigengewicht STB	6,25	kN/m ²	Eigengewicht STB	6,25	kN/m ²
Fußbodenaufbau	2,00	kN/m ²	Fußbodenaufbau	2,00	kN/m ²
Nutzlast inkl. Trennwand	1,00	kN/m ²	Nutzlast	0,45	kN/m ²
seismische Masse Decke	9,25	kN/m ²	seismische Masse Dach	8,7	kN/m ²
seismische Masse Decke	3700	kN/m ²	seismische Masse Dach	3480	kN/m ²

Tab. 8.3: Ermittlung der seismischen Wandmassen

Wand	Länge [m]	Dicke [m]	Höhe [m]	Wichte [kN/m]	Masse [kN]
W1.1	5,00	0,25	2,75	17,6	60,5
W2.1	3,00	0,25	2,75	17,6	36,3
W3.1	5,00	0,25	2,75	17,6	60,5
W4.1	5,00	0,25	2,75	17,6	60,5
W5.1	3,00	0,25	2,75	17,6	36,3
W6.1	5,00	0,25	2,75	17,6	60,5
W7.2	4,75	0,25	2,75	17,6	57,5
W8.2	3,00	0,25	2,75	17,6	36,3
W9.2	4,75	0,25	2,75	17,6	57,5
W10.2	4,75	0,25	2,75	17,6	57,5
W11.2	3,00	0,25	2,75	17,6	36,3
W12.2	4,75	0,25	2,75	17,6	57,5
W13.1	4,75	0,25	2,75	17,6	57,5
W14.1	3,00	0,25	2,75	17,6	36,3
W15.1	4,75	0,25	2,75	17,6	57,5
W16.2	4,75	0,25	2,75	17,6	57,5
W17.2	1,38	0,25	2,75	17,6	16,6
W18.2	1,38	0,25	2,75	17,6	16,6
W19.2	4,75	0,25	2,75	17,6	57,5
					916,6

Tab. 8.4: Ermittlung der Erdbebenkraft

Geschoss	h_i [m]	m_i [kN]	z_i [m]	$z_i \cdot m_i$ [kNm]	V_i [kN]	M_i [kNm]	%-Anteil
DG	3,0	3938,3	21,0	82 704,0	635,3	13 341,9	22,14
5. OG	3,0	4616,6	18,0	83 098,4	638,4	11 490,5	22,25
4. OG	3,0	4616,6	15,0	69 248,6	532,0	7979,5	18,54
3. OG	3,0	4616,6	12,0	55 398,9	425,6	5106,9	14,83
2. OG	3,0	4616,6	9,0	41 549,2	319,2	2872,6	11,12
1. OG	3,0	4616,6	6,0	27 699,5	212,8	1276,7	7,42
EG	3,0	4616,6	3,0	13 849,7	106,4	319,2	3,71
		31 637,7		373 548,3	2869,6	42 387,2	100,00

$$F_b = S_d(T_1) \cdot m/g \cdot \lambda = 1,05 \cdot 31\,637,7/9,81 \cdot 0,85 = 2869,6 \text{ kN} \quad (8.5)$$

$$T_1 = C_t \cdot H^{3/4} = 0,05 \cdot 21^{3/4} = 0,49 \text{ s} \quad (8.6)$$

$S_d(T_1)$ = Ordinate des Bemessungsspektrum

T_1 = Eigenschwingungsdauer des Bauwerks

m = Masse des Bauwerks

λ = Korrekturbeiwert Bauwerkshöhe

C_t = Korrekturbeiwert Bauwerksart

H = Bauwerkshöhe für die Erdbebenbemessung

Mit der Gebäudehöhe von 21 m sowie dem Korrekturfaktor C_t von 0,05 ergibt sich die Eigenschwingungsdauer in der Größe von 0,5 s und liegt in jenem Bereich, in dem das vereinfachte Antwortspektrum verwendet werden darf. Mit dem in Abbildung 8.3 angegebenem Antwortspektrum kann man die Ordinate von $1,05 \text{ m/s}^2$ herauslesen. Die seismische Masse des Gebäudes wurde mit 31 638 kN in Tabelle 8.4 berechnet. Der Korrekturbeiwert λ darf auf Grund der hohen Stockwerksanzahl mit 0,85 angenommen werden. Für den vorliegenden Fall errechnet sich die gesamte Erdbebenkraft zu 2869,6 kN. Die für die Nachweise benötigten Schnittgrößen werden nach den Grundformeln für einen Kragarm berechnet und sind in Abbildung 8.4 dargestellt.

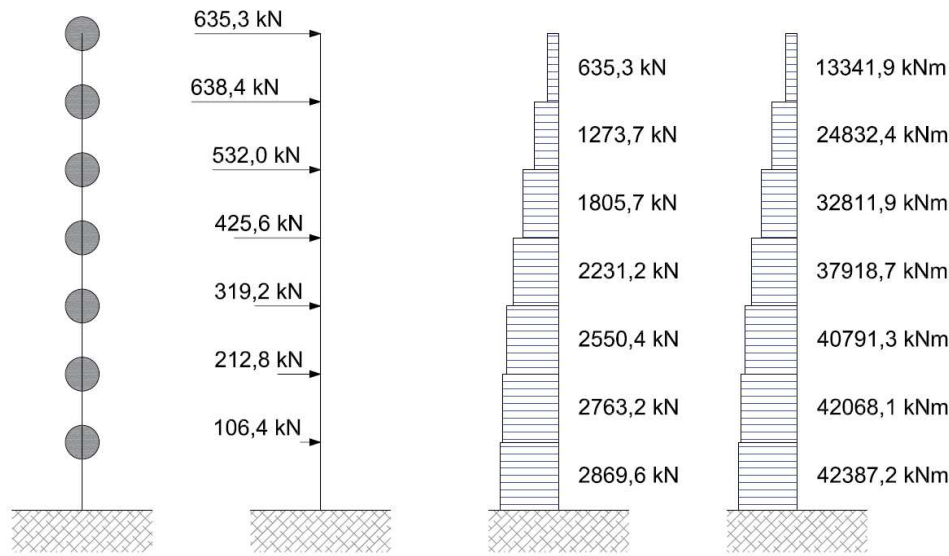


Abb. 8.4: Schnittgrößen am Ersatzsystem

8.2 Schnittgrößenermittlung

Aufgrund des doppelt symmetrischen Grundrisses weisen Massenmittelpunkt und Schubmittelpunkt dieselben Koordinaten auf. Daher ist eine Berücksichtigung der Torsionswirkung nicht nötig. Die Aufteilung der Erdbebenersatzkräfte im Geschoss erfolgt bei schubsteifen Stahlbetondecken proportional zu den Steifigkeiten der Einzelwände je Hauptrichtung. Die Ersatzkraft je Scheibe kann mit Hilfe der Formel (8.7) berechnet werden.

$$V_i = \frac{V_{i,1}}{\sum V_{i,1}} \quad (8.7)$$

$$V_{i,1} = \frac{E_i \cdot G_i \cdot t_i \cdot b_i^3}{4 \cdot h_i^3 \cdot G_i + 1,2 \cdot h_i \cdot E_i \cdot b_i^2} \quad (8.8)$$

E_i = E-Modul der Wandscheibe
 G_i = Schub-Modul der Wandscheibe
 t_i = Wanddicke
 b_i = Wandlänge
 h_i = Wandhöhe

Tab. 8.5: Ermittlung der Schnittgrößen für die Hauptrichtung 1

Wand	Länge [m]	Dicke [m]	Höhe [m]	f_k [kN/m ²]	$V_{i,1}$ %-Anteil
W1.1	5,00	0,25	3,00	7880	13,9
W2.1	3,00	0,25	3,00	7880	5,5
W3.1	5,00	0,25	3,00	7880	13,9
W4.1	5,00	0,25	3,00	7880	13,9
W5.1	3,00	0,25	3,00	7880	5,5
W6.1	5,00	0,25	3,00	7880	13,9
W13.1	5,00	0,25	3,00	7880	13,9
W14.1	3,00	0,25	3,00	7880	5,5
W15.1	5,00	0,25	3,00	7880	13,9

Nach der Berechnung der Kraftverteilung (siehe Tabelle 8.5) können die Schubnachweise geführt werden. Für die Berechnung ist es von Vorteil, die Wandabschnitte zu Wandzügen zusammenzufassen. Das berechnete Moment kann durch Normalkräfte auf die Einzelscheiben umverteilt werden. Für dieses Beispiel wird exemplarisch ein Wandzug berechnet, um eine mögliche Vorgangsweise der Bemessung vorzuzeigen. Für den Nachweis des gesamten Bauwerks sind alle Wände zu berechnen.

Tab. 8.6: Ermittlung der Schnittgrößen für die Hauptrichtung 1 – DG

Wand	%	V_i [kN]	M_i [kNm]	A_{Pf} [m ²]	e_v [m]	I [m]	N_M [kN]	N_D [kN]	$N_{Ed,min}$ [kN]	$N_{Ed,max}$ [kN]
W1.1	13,9	88,3	1855,3	1,25	-8,5	143,7	-164,1	178,4	14,3	342,4
W2.1	5,5	35,1	736,7	0,75	0	0,6	0	78,3	78,3	78,3
W3.1	13,9	88,3	1855,3	1,25	8,5	143,7	164,1	178,4	14,3	342,4
	33,3	211,8	4447,3	3,25	0	288,0				

Tab. 8.7: Ermittlung der Schnittgrößen für die Hauptrichtung 1 – EG

Wand	%	V_i [kN]	M_i [kNm]	A_{Pf} [m ²]	e_v [m]	I [m]	N_M [kN]	N_D [kN]	$N_{Ed,min}$ [kN]	$N_{Ed,max}$ [kN]
W1.1	13,9	399,0	5894,2	1,25	-8,5	143,7	-521,3	1316,1	794,8	1837,4
W2.1	5,5	158,5	2340,6	0,75	0	0,6	0	577,8	577,8	577,8
W3.1	13,9	399,0	5894,2	1,25	8,5	143,7	521,3	1316,1	794,8	1837,4
	33,3	956,5	14 129,1	3,25	0	288,0				

8.3 Nachweise

8.3.1 Wand W1.1 – DG

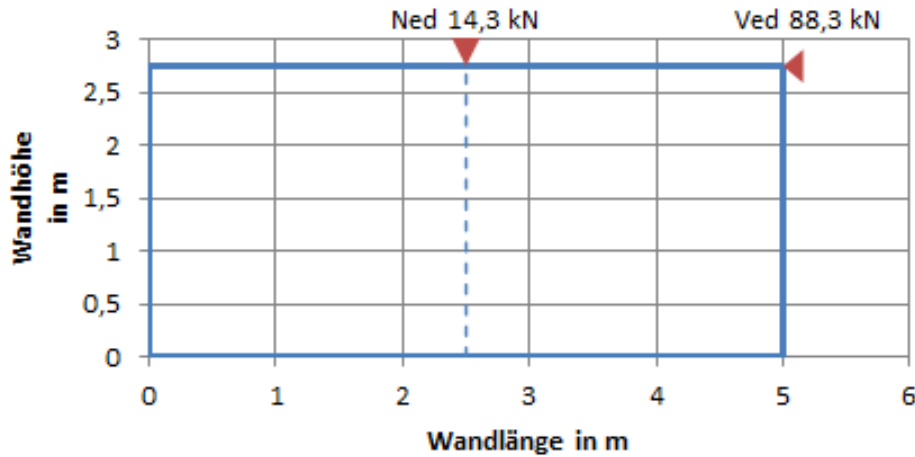


Abb. 8.5: Einwirkungen auf die W1.1 im Dachgeschoss

Für die Wand W1.1 im Dachgeschoss ergeben sich die Bemessungsschnittgrößen nach Tabelle 8.6 und Abbildung 8.5. Die minimale Normalkrafteinwirkung, welche für die Schubwand maßgebend ist, beträgt 14,3 kN. Der Bemessungswert der einwirkenden Querkraft wurde mit 88,3 kN bestimmt. Auf Grund der horizontalen Einwirkung und der geometrischen Abmessungen der Wand ergibt sich ein Biegemoment am Wandfuß von 242,8 kNm.

Aufgrund der geringen Auflast und des angesetzten Verhaltensbeiwertes q wird die Wand als bewehrtes Mauerwerk ausgeführt. Als Bewehrung werden 4Ø10 als Eckbewehrung, 2Ø8 alle 50 cm für die Hauptbewehrung verwendet. Als Schubbewehrung werden 2Ø8 jede zweite Schar eingelegt. Als Betonklasse wird für alle Wände und Decken C20/25 gewählt.

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{1433}{250 \cdot 4960} = 0,0012 \quad (8.9)$$

$$f_{vd} = \frac{0,35 + 17,5 \cdot \rho}{\gamma_M} = \frac{0,35 + 17,5 \cdot 0,0012}{1,5} \leq \frac{0,7}{\gamma_M} \quad (8.10)$$

$$f_{vd} = 0,25 \leq 0,47 \text{ N/mm}^2 \quad (8.11)$$

$$V_{Rd1} = f_{vd} \cdot t \cdot l = 0,25 \cdot 250 \cdot 5000 = 308\,515 \text{ N} \quad (8.12)$$

$$V_{Rd2} = 0 \text{ N} \quad (8.13)$$

$$V_{Rd} = V_{Rd1} + V_{Rd2} = 308\,515 \text{ N} \quad (8.14)$$

Die Schubfestigkeit f_{vd} des Mauerwerks wird mit Hilfe des Anhanges J der ÖNORM EN 1996-1-1 [19] bestimmt und berechnet sich zu 0,25 N/mm². Multipliziert mit der Wandfläche ergibt sich

der Grundwert der Schubtragfähigkeit zu 309 kN. Die Verbesserung durch die Schubbewehrung durch den Anhang J erlaubt keine Verbesserung der Schubtragfähigkeit durch die horizontale Bewehrung. Durch den Vergleich des Widerstandes mit der einwirkenden Querkraft ergibt sich ein Ausnutzungsfaktor von 0,25.

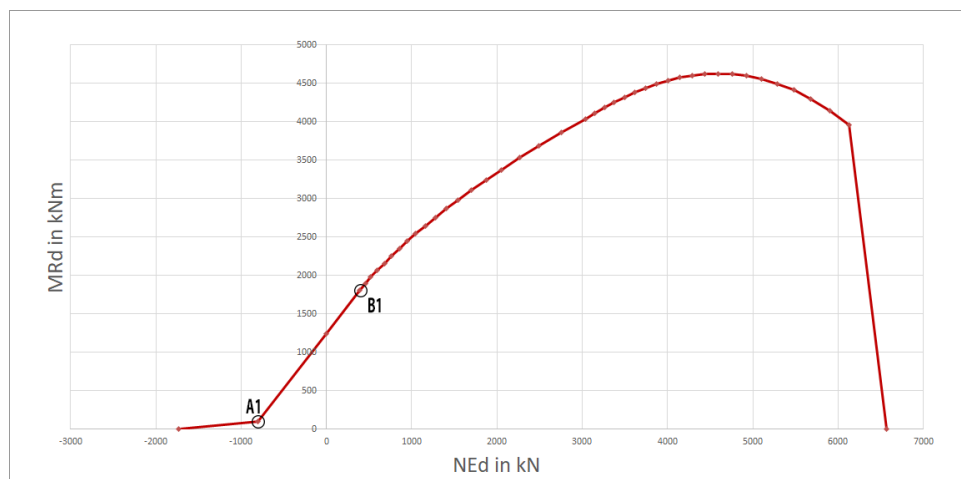


Abb. 8.6: Normalkraft-Biegemoment-Interaktion

Tab. 8.8: Berechnete Punkte für die Interaktion – DG

Punkt	ϵ_r	ϵ_l	l_c [m]	F_m [kN]	$\sum F_s$ [kN]	N_{Rd} [kN]	M_{Rd} [kNm]
Punkt A1	-0,01	0,00175	0,73	476,5	-1280,6	-804,0	96,6
Punkt B1	-0,01	0,0035	1,26	1327,2	-935,2	392,0	1805,4

Die gesamte Normalkraft-Biegemoment-Interaktion ist in Abbildung 8.6 dargestellt. Die wichtigsten Punkte für die Berechnung für die Wand W1.1 im Dachgeschoss sind in Tabelle 8.8 zusammengeschrieben. Die genaue Vorgangsweise richtet sich nach Kapitel 3.2.2. Der Widerstand gegen das Biegemoment bei kombinierter Beanspruchung von Normalkraft und Biegemoment ergibt sich zu 1258,5 kNm. Die Besonderheit bei der Berechnung der Interaktion ist, dass aufgrund der geringen Normalkraft das Mauerwerk nicht in den plastischen Bereich kommt, daher wird die Resultierende des Druckbereiches mit elastischen Ansätzen berechnet. Der Ausnutzungsfaktor für das Biegemoment am Wandfuß ergibt sich zu 0,19.

Auf den Nachweis der Normalkraft wird bei dieser Wand verzichtet, da dieser für die meist beanspruchte Wand im Erdgeschoss geführt wird.

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse des Bemessungsprogrammes ist in Abbildung 8.7 dargestellt und das Ausdruckprotokoll befindet sich im Anhang A.

2.2.9 Schubtragfähigkeit Wandkopf			
Berechnung als		vert. und horiz. bewehrtes Mauerwerk	
Schubwiderstand 1	V_{Rd1}	308,5 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Schubwiderstand 2	V_{Rd2}	273,7 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Schubwiderstand	f_{vd}	0,25 N/mm ²	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
überdrückte Länge	l_c	5,00 m	
Bemessungskraft	V_{ed}	88,3 kN	
Bemessungswiderstand	V_{Rd}	582,2 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Ausnutzungsfaktor		0,15	
2.2.9 Schubtragfähigkeit Wandfuß			
Berechnung als		vert. und horiz. bewehrtes Mauerwerk	
Schubwiderstand 1	V_{Rd1}	308,5 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Schubwiderstand 2	V_{Rd2}	0,0 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Schubwiderstand	f_{vd}	0,25 N/mm ²	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
überdrückte Länge	l_c	0,00 m	
Bemessungskraft	V_{ed}	88,3 kN	
Bemessungswiderstand	V_{Rd}	308,5 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Ausnutzungsfaktor		0,29	
2.2.2 Normalkraftwiderstand			
Bemessungskraft	N_{Ed}	14,30 kN	
Abminderungsfaktor	Φ	1,0	
Bemessungswiderstand	N_{Rd}	6563,1 kN	lt. EN 1996-1-1 6.1.2.1 (2)
Ausnutzungsfaktor		0,00	
2.2.9 Normalkraft und Biegemoment			
Berechnung als		vert. und horiz. bewehrtes Mauerwerk	
maximale Stahldehnung	$\epsilon_{su,max}$	0,01 %	lt. EN 1996-1-1 6.6.2 (2)
Fließdehnung	ϵ_{sy}	0,0026	
Beiwert Spannung Mauerwerk	η_I	1,0	
maximale Mauerwerksdehnung	ϵ_{mw}	0,0035	lt. EN 1996-1-1 6.6.1 (1)
Moment aus Kräften	$M_{Ed,1}$	242,8 kNm	
Zusatzmoment Schlankheit	M_{Ed}	0,0 kNm	lt. EN 1996-1-1 6.6.2 (7)
Bemessungsmoment	M_{Ed}	242,8 kNm	
Normalkraft	N_{Ed}	14,3 kN	
Bemessungswiderstand	M_{Rd}	1265,8 kNm	
Ausnutzungsfaktor		0,19	
Moment als Horizontalkraft	V_{Ed}	460,3 kN	



Abb. 8.7: Auszug aus den Ergebnissen W1.1 im Dachgeschoss

8.3.2 Wand W1.1 – EG

Für die Wand W1.1 im Erdgeschoss ergeben sich die Bemessungsschnittgrößen nach Tabelle 8.7 und Abbildung 8.8. Die minimale Normalkrafteinwirkung, welche für die Schubwand maßgebend ist, beträgt 764,8 kN. Der Bemessungswert der einwirkenden Querkraft wurde mit 399,0 kN berechnet. Aufgrund der horizontalen Einwirkung und der geometrischen Abmessungen der Wand ergibt sich ein Biegemoment am Wandfuß von 1097,3 kNm.

$$\sigma_d = \frac{N}{t \cdot l} = \frac{674800}{250 \cdot 5000} = 0,61 \text{ N/mm}^2 \quad (8.15)$$

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0,4\sigma_d = 0,3 + 0,4 \cdot 0,61 = 0,54 \leq 0,065 \cdot f_b = 1,30 \text{ N/mm}^2 \quad (8.16)$$

$$f_{vd} = \frac{f_{vk}}{\gamma_M} = \frac{0,54}{1,5} = 0,36 \text{ N/mm}^2 \quad (8.17)$$

$$V_{Rd1} = f_{vd} \cdot t \cdot l = 0,36 \cdot 250 \cdot 5000 = 453 \, 947 \text{ N} \quad (8.18)$$

$$V_{Rd2} = 0,9 \cdot A_{sw} \cdot f_{yd} = 0,9 \cdot 630 \cdot 550 = 273 \, 696 \text{ N} \quad (8.19)$$

$$V_{Rd} = V_{Rd1} + V_{Rd2} = 727 \, 642 \text{ N} \quad (8.20)$$

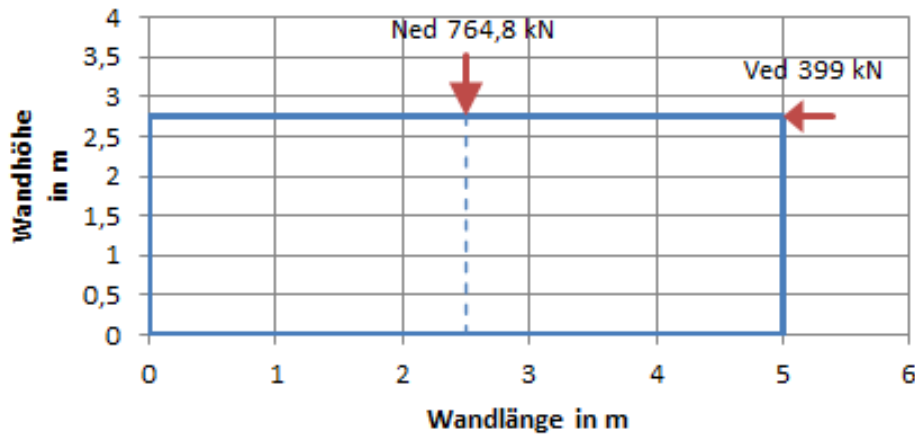


Abb. 8.8: Einwirkungen auf die Wand W1.1 im Dachgeschoss

Für die Momenten Tragfähigkeit wird das Interaktionsdiagramm für Normalkraft und Biegung berechnet. Die genaue Vorgangsweise richtet sich nach dem Kapitel 3.2.2. Für die wichtigsten Punkte können die Werte für die Wand W1.1 im Erdgeschoss aus der Tabelle 8.9 entnommen werden. Den nachzuweisenden Punkt erhält man durch lineare Interpolation zwischen den berechneten Punkten.

Tab. 8.9: Berechnete Punkte für die Interaktion – EG

Punkt	ϵ_r	ϵ_l	l_c [m]	F_m [kN]	$\sum F_s$ [kN]	N_{Rd} [kN]	M_{Rd} [kNm]
Punkt A1	-0,01	0,00175	0,73	476,5	-1280,6	-804,0	96,6
Punkt B1	-0,01	0,0035	1,26	1327,2	-935,2	392,0	1805,4
Punkt B2	-0,0096	0,0035	1,30	1366,5	-911,6	455,0	1889,4

Für die Schubtragfähigkeit ist der maßgebende Bemessungspunkt der Wandkopf. Aufgrund der vorhandenen Normalkraft kann die Schubfestigkeit f_{vd} mit $0,36 \text{ N/mm}^2$ errechnet werden. Die Schubtragfähigkeit der Wand berechnet sich im Folgenden zu 728 kN und der Ausnutzungsgrad beträgt $0,55$.

Der Widerstand gegen das Biegemoment bei kombinierter Beanspruchung von Normalkraft und Biegemoment ergibt sich zu 2252 kNm . Besonderheit bei der Berechnung der Interaktion ist, dass aufgrund der geringen Normalkraft das Mauerwerk nicht in den plastischen Bereich kommt, daher wird die Resultierende des Druckbereiches mit elastischen Ansätzen berechnet. Der Ausnutzungsfaktor für das Biegemoment am Wandfuß ergibt sich zu $0,49$.

Der Normalkraftnachweis kann mit Hilfe des Wienerberger NRd-Pro-Tool durchgeführt werden. Als einwirkende Kraft wird die maximale Normalkraft nach Tabelle 8.7 verwendet. Die Berechnung erfolgt als unbewehrtes Füllbetonmauerwerk und liegt damit auf der sicheren Seite. Auf eine Darstellung der Ergebnisse wird an dieser Stelle verzichtet.

2.2.9 Schubtragfähigkeit Wandkopf			
Berechnung als		vert. und horiz. bewehrtes Mauerwerk	
Schubwiderstand 1	V_{Rd1}	453,9 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Schubwiderstand 2	V_{Rd2}	273,7 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Schubwiderstand	f_{vd}	0,36 N/mm ²	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
überdrückte Länge	l_c	5,00 m	
Bemessungskraft	V_{ed}	399,0 kN	
Bemessungswiderstand	V_{Rd}	727,6 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Ausnutzungsfaktor		0,55	
2.2.9 Schubtragfähigkeit Wandfuß			
Berechnung als		vert. und horiz. bewehrtes Mauerwerk	
Schubwiderstand 1	V_{Rd1}	569,1 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Schubwiderstand 2	V_{Rd2}	273,7 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Schubwiderstand	f_{vd}	0,46 N/mm ²	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
überdrückte Länge	l_c	3,20 m	
Bemessungskraft	V_{ed}	399,0 kN	
Bemessungswiderstand	V_{Rd}	842,8 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Ausnutzungsfaktor		0,47	
2.2.2 Normalkraftwiderstand			
Bemessungskraft	N_{Ed}	764,80 kN	
Abminderungsfaktor	Φ	1,0	
Bemessungswiderstand	N_{Rd}	6563,1 kN	lt. EN 1996-1-1 6.1.2.1 (2)
Ausnutzungsfaktor		0,12	
2.2.9 Normalkraft und Biegemoment			
Berechnung als		vert. und horiz. bewehrtes Mauerwerk	
maximale Stahldehnung	$\epsilon_{su,max}$	0,01 %	lt. EN 1996-1-1 6.6.2 (2)
Fließdehnung	ϵ_{sy}	0,0026	
Beiwert Spannung Mauerwerk	η_f	1,0	
maximale Mauerwerksdehnung	ϵ_{mu}	0,0035	lt. EN 1996-1-1 6.6.1 (1)
Moment aus Kräften	$M_{Ed,1}$	1097,3 kNm	
Zusatzmoment Schlankheit	M_{ad}	0,0 kNm	lt. EN 1996-1-1 6.6.2 (7)
Bemessungsmoment	M_{Ed}	1097,3 kNm	
Normalkraft	N_{Ed}	764,8 kN	
Bemessungswiderstand	M_{RD}	2251,6 kNm	
Ausnutzungsfaktor		0,49	
Moment als Horizontalkraft	V_{Ed}	818,8 kN	



Abb. 8.9: Auszug aus den Ergebnissen W1.1 im Erdgeschoss

Kapitel 9

Zusammenfassung

Durch immer größere und komplexere Bauvorhaben sowie strenger werdende bautechnische Vorschriften gerät das konventionelle Mauerwerk, vor allem im mehrgeschossigen Objektbau, schnell an die Grenzen der Tragfähigkeit. Während die Eigenschaften unter Druckbeanspruchung meist ausreichend sind, sind vor allem die schlechten Eigenschaften unter Zugbeanspruchung tragfähigkeitsabmindernd. So ist bei der Erdbebenbemessung, aufgrund der hohen Querkräfte und der geringen Normalkräfte, der Widerstand meist nicht ausreichend. Im Laufe der Zeit hat die Ziegelindustrie mit neuen Innovationen versucht, das Verhalten unter Querkraftbeanspruchung sowohl bei Scheiben- als auch bei Plattenbeanspruchung zu verbessern.

Der Wienerberger Porotherm 25-50 SBZ.i Plan ist ein spezieller Mauerwerksziegel für die Errichtung von Verfüllwänden. Die vertikalen Schächte und die horizontalen Ausfräsungen ergeben ein Hohlraumraster, welches mit Beton oder Stahlbeton verfüllt wird. Im Vergleich zum konventionellen Mauerwerk kann sowohl die vertikale als auch die horizontale Tragfähigkeit verbessert werden. Der höhere vertikale Widerstand ergibt sich durch die höhere Druckfestigkeit durch die gemeinsame Lastabtragung von Beton und Ziegel. Bei Wänden unter horizontaler Beanspruchung wirkt vor allem die Bewehrung positiv auf das Tragverhalten.

Die Verwendung des Porotherm 25-50 SBZ.i Plan erlaubt die Herstellung von unterschiedlichen Wandtypen. Neben dem unbewehrten Mauerwerk ermöglicht der Einbau von Bewehrung die Ausführung als eingefasstes, vertikal bewehrtes oder vertikal und horizontal bewehrtes Mauerwerk. Jeder Typ hat seine eigenen Vor- und Nachteile. Während beim unbewehrten Mauerwerk vor allem die schnelle und einfache Ausführung im Vordergrund steht, kann durch den Einbau von vertikaler und horizontaler Bewehrung die Platten- und Scheibentragfähigkeit erhöht werden.

Der Vergleich von Bemessungskonzepten für die Schubtragfähigkeit aus verschiedenen Ländern hat gezeigt, dass Verfüllwände unterschiedlich geregelt sind. Grundsätzlich wird vom Großteil der Normen ein positiver Effekt der vorhandenen Auflast sowie der angesetzten Bewehrung in den Formeln berücksichtigt. In Österreich können Wände aus dem Porotherm 25-50 SBZ.i Plan Ziegel mit Hilfe der ÖNORM EN 1996-1-1 [19] als bewehrtes Mauerwerk oder nach den Regeln des Stahlbetonbaues auf Grundlage der ÖNORM EN 1992-1-1 [18] bemessen werden. Zusätzlich gibt es einige Gutachten [9, 22], in denen Eingangsparameter für die Bemessung oder Berechnungsmethoden genauer definiert werden.

Für das im Zuge dieser Arbeit erstellte Bemessungsprogramm wurde eine Kombination der ÖNORM EN 1996-1-1 [19] und dem Gutachten [22] herangezogen. Die Verfüllwand aus Ziegel und Stahlbeton wird in eine homogene Ziegelwand mit einer Verbundsteifigkeit umgewandelt. Für diese Wand werden nach den Regeln der ÖNORM EN 1996-1-1 [19] die Nachweise für Normal-, Schub- und Momententragfähigkeit geführt. Ein wesentlicher Parameter für die Schubtragfähigkeit ist die Schubfestigkeit. Neben der Anfangsscherfestigkeit ist vor allem die vorhandene Auflast für die Berechnung der Schubfestigkeit ausschlaggebend. Für Wände mit vertikaler Bewehrung in Kanälen erlaubt die ÖNORM EN 1996-1-1 [19] die Verwendung einer

erhöhten Schubfestigkeit im Bereich von niedrigen Auflasten. Ein weiterer Vorteil von bewehrtem gegenüber unbewehrtem Mauerwerk ist die Möglichkeit, die Schubfestigkeit über die gesamte Wandfläche anzusetzen. Die Berechnung der Momententragfähigkeit von bewehrtem Mauerwerk verläuft ähnlich jener des Stahlbetonbaues. Dabei gibt die ÖNORM EN 1996-1-1 [19] die grundlegenden Annahmen und Regeln für die Bemessung vor. Bei vertikal bewehrten Wänden kann die Zug- und Druckbewehrung in der Berechnung berücksichtigt werden, während bei eingefasstem Mauerwerk nur die Zugbewehrung angesetzt werden darf.

Die Auswertung der Schubversuche aus den Berichten [6, 7, 24] und der Vergleich mit der Berechnung ergab eine Einschätzung der Genauigkeit des Bemessungsprogrammes. Bei den Versuchen handelte es sich um Versuche an Wänden aus Porotherm 25-50 SBZ.i Plan und Porotherm 20-40 SBZ.i Plan mit verschiedenen vertikalen Belastungen sowie verschiedenen Bewehrungsgehalten. Es konnte gezeigt werden, dass die berechneten Traglasten mit einem durchschnittlichen Sicherheitsfaktor von 1,43 auf der sicheren Seite liegen.

Mit Hilfe einer Parameterstudie wurde der Einfluss des Bewehrungsgehaltes auf die Schubtragfähigkeit bei verschiedenen Wandlängen dargestellt. Grundsätzlich konnte gezeigt werden, dass die Bewehrung einen positiven Effekt auf die Schubtragfähigkeit hat. Bei kurzen Wandlängen erhöht vor allem die vertikale Bewehrung die rechnerische Traglast. Die Verbesserung ergibt sich durch den verbesserten Momentenwiderstand infolge der Aufnahme von Zugkräften durch die Bewehrung. Bei langen Wänden ist das Versagen durch die Überschreitung des Schubwiderstandes ausschlaggebend. Die Tragfähigkeit kann durch den Einbau einer horizontalen Bewehrung verbessert werden. ÖNORM EN 1996-1-1 [19] erlaubt es, die Schubbewehrung mit 90 % der Bewehrungsfläche in der Berechnung für Schubtragfähigkeit anzusetzen. Diese Erkenntnisse erlauben, eine wirtschaftliche Auslegung für die Bewehrung zu treffen.

Um die Tragfähigkeit der Berechnung mit den getroffenen Annahmen und Bewehrungsgehalten auch erreichen zu können, ist die richtige Ausführung der Wand sicherzustellen. Es sind dabei die konstruktiven Regeln der ÖNORM EN 1996-1-1 [19] sowie die Herstellerangaben einzuhalten. Wichtige Punkte in diesem Zusammenhang sind die Wahl der Beton- und Stahlgüte sowie der Verankerungslänge.

Schlussendlich wurde an einem einfachen Beispielgebäude eine Erdbebenbemessung exemplarisch gezeigt. Die wichtigsten Punkte waren die Erstellung des Bemessungsspektrums, die Massenermittlung, die Schnittgrößenermittlung und die Nachweise. Um einen Überblick über den Berechnungsablauf des Programmes zu erhalten, wurden die Nachweise mit Hilfe des Bemessungsprogrammes berechnet und durch eine händische Kontrollrechnung überprüft.

Im Anhang dieser Arbeit befindet sich neben den Ausdruckprotokollen auch eine Bedienungsanleitung für das Bemessungsprogramm. Neben dem grundsätzlichen Ablauf sind vor allem die nötigen Eingabeparameter genau beschrieben.

Literaturverzeichnis

- [1] *AS 3700-2018 Masonry structures:2018 02 14*. Sydney, Standards Australia, Feb. 2018.
- [2] T. Bacht. „Horizontaltragfähigkeit von Wänden aus Leichtbeton-Schalungssteinen – Experimente und numerische Modellierung“. Dissertation. Karlsruher Institut für Technologie, 2014.
- [3] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt). *Anwendungsregeln für nicht lasttragende verlorene Schalungsbauten/-systeme und Schalungssteine für die Erstellung von Ortbeton-Wänden*. Forschungsber. Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), 2011. 16 S.
- [4] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt). *Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen – MVV TB*. Forschungsber. Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), 2017. 330 S.
- [5] Dlubal Software GmbH. *RF-BETON Flächen – Programmbeschreibung; Fassung Mai 2018*. 2018. URL: <https://www.dlubal.com/de/produkte/rfem-und-rstab-zusatzmodule/stahlbetonbau/rf-beton> (Zugriff am 04.05.2018).
- [6] S. Frumento, G. Magenes und M. Paolo. *Interpretation of experimental shear tests on clay brick masonry walls and evaluation of q-factors for seismic design*. Forschungsber. European Centre for Training, Research in Earthquake Engineering, EUCENTRE und University Pavia, 2009. 313 S.
- [7] M. Gams und M. Tomažević. *Cyclic lateral resistance tests of masonry walls*. Forschungsber. ZAG Ljubljana – Slovenian national building and civil engineering institute, 2010. 114 S.
- [8] A. Jäger und M. Gams. *Practical design of masonry subjected to horizontal loads based on Eurocode 6 shear model*. Forschungsber. 2016. 6 S.
- [9] F. Jeindl. *Statische Untersuchung – Erstellung von Bemessungshilfen PTH 25-50 SBZi Plan*. Forschungsber. 2007. 37 S.
- [10] J. K. Makunza. „Design concept for concrete grid walls“. Dissertation. Universität Dortmund, 2001.
- [11] W. Mann und H. Müller. „Schubtragfähigkeit von Mauerwerk“. In: *Mauerwerks-Kalender* (1978). Berlin: Ernst & Sohn Verlag, 1978, S. 35–65.
- [12] Masonry Standards Joint Committee. *Building Code Requirements for Masonry Structures*. Forschungsber. Masonry Standards Joint Committee (MSJC), 2016. 58 S.
- [13] *NZS 4230:2004: Design of reinforced concrete masonry structures:2004 06 28*. Wellington, Standards New Zealand, Juni 2004.
- [14] *ÖNORM B 1996-1-1:2016 07 01: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk Nationale Festlegungen zur ÖNORM EN 1996-1-1*. Wien: Austrian Standards, Juli 2016.
- [15] *ÖNORM B 1998-1:2017 07 01: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkung und Regeln für Hochbauten – Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1998-1 und nationale Erläuterungen*. Wien: Austrian Standards, Juli 2017.
- [16] *ÖNORM B 4000-3:1955 06 30: Berechnung und Ausführung der Tragwerke; allgemeine Grundlagen; Windlasten und Erdbebenkräfte*. Wien: Austrian Standards, Juni 1995.

- [17] ÖNORM B 4015-1:1979 04 01: *Belastungsannahmen im Bauwesen; Erdbebenkräfte an nicht schwingungsanfälligen Bauwerken*. Wien: Austrian Standards, Apr. 1979.
- [18] ÖNORM EN 1992-1-1:2015 02 15: *Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau (konsolidierte Fassung)*. Wien: Austrian Standards, Feb. 2015.
- [19] ÖNORM EN 1996-1-1:2013 01 01: *Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk (konsolidierte Fassung)*. Wien: Austrian Standards, Jan. 2013.
- [20] ÖNORM EN 1998-1:2013 06 15: *Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkung und Regeln für Hochbauten (konsolidierte Fassung)*. Wien: Austrian Standards, Juni 2013.
- [21] T. Paulay und M. Priestly. *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. 2. Aufl. Hoboken: John Wiley & Sohn Inc., 1992. ISBN: 978-0-4715-4915-4.
- [22] A. Pech. *Gutachten – Verbundsteinfestigkeit Planziegel-Füllmauerwerk*. Forschungsber. Dr. Peh Ziviltechniker GmbH, 2016. 7 S.
- [23] A. Pech, H. Gangoly, P. Holzer und P. Maydl. *Ziegel im Hochbau – Theorie und Praxis*. 2. Aufl. Basel: Birkhäuser Verlag GmbH, 2018. ISBN: 978-3-0356-1615-6.
- [24] P. Viorel, D. Cotofana, B. Chesca, E. Lozinca und R. Vacareanu. *Structural testing program for masonry elements*. Forschungsber. Technical University of Civil Engineering Bucharest National Center for Seismic Risk Reduction, 2008. 282 S.
- [25] K. Voon und J. Ingham. *Shear Strength of Concrete Masonry Walls*. Forschungsber. School of Engineering Report No. 611, University of Auckland, New Zealand, 2003. 8 S.
- [26] K. Voon und J. Ingham. *Towards Suitable Shear Strength Provisions for Inclusion in the New Zealand Masonry Design Standard*. Forschungsber. 6th Australasian Masonry Conference, 2001. 8 S.
- [27] Wienerberger Österreich GmbH. *Datenblatt Porotherm 25-50 SBZ.i Plan*. 2014. URL: <https://www.wienerberger.at/produkte/wand/produktkatalog/porotherm-25-50-sbzi-plan.html> (Zugriff am 08.10.2019).
- [28] Wienerberger Österreich GmbH. *Produkte*. 2019. URL: <https://www.wienerberger.at/produkte> (Zugriff am 15.07.2019).
- [29] Wienerberger Österreich GmbH. *Ziegelbausystem Verarbeitungshinweise*. Wienerberger Österreich GmbH, 2019. 40 S.

Anhang A

Ausdruckprotokolle

Nachfolgend sind die Ausdruckprotokolle der Wand 1.1 für Dachgeschoss und Erdgeschoss angefügt.

Wienerberger V_{Rd}-Pro-Tool

Schubbemessung von Porotherm SBZ-Wänden



WARNHINWEIS:
Für die Richtigkeit der
verwendeten Daten und
Ergebnisse
kann von Wienerberger
keinerlei Haftung
übernommen werden!

Version 1.0 | 01/2020

Projekt: Beispielgebäude
Bauteil: Wand 1 - EG
Datum: 11.12.2019
Bearbeiter: Dominik Pusch

1. Eingabe

1.1 Wände

1.1.1 Abmessungen

Wandhöhe h 2,75 m
Wandlänge l 5,00 m
Deckeneinspannung: oben und unten
Abminderungsfaktor Φ 1,00

1.1.2 Ziegel

Ziegelwahl Porotherm 25-50 SBZ i Plan
Fugenkomponente Dünnbettmörtel
Wanddicke t 0,25 m
Steindruckfestigkeit f_b 10 N/mm²

1.1.3 Beton

Betongüte C20/25

1.1.5 Randbewehrung

Randbewehrung Ø 10
Anzahl 4
gewählte Bewehrungsfläche A_s 3,14 cm²
Mindestbewehrung $A_{s,min}$ 3,00 cm²

1.1.4 Stahl

Streckgrenze f_{yk} 550 N/mm²
 f_{yd} 550,00 N/mm²

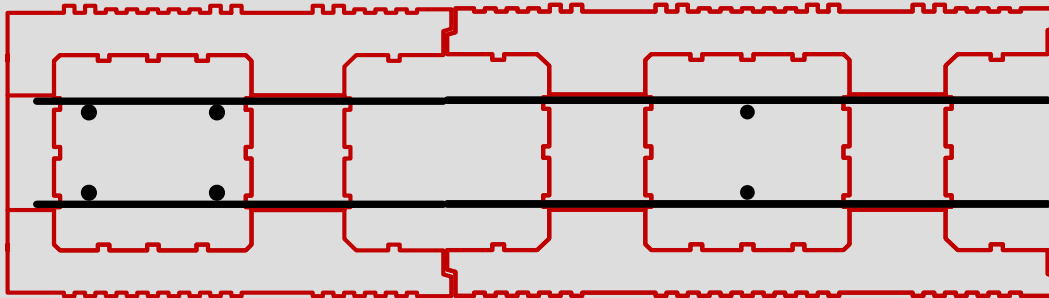
1.1.6 Hauptbewehrung

Hauptbewehrung Ø 8
Felder jedes 2 Feld bewehrt
Anzahl 2 Stk.
gewählte Bewehrungsfläche A_s 14,33 cm²
Mindestbewehrung $A_{s,min}$ 10,00 cm²

1.1.7 Schubbewehrung

Schubbewehrung Ø 8
Felder jede 2 Schar bewehrt
Anzahl 2 Stk.
gewählte Bewehrungsfläche A_{sw} 5,53 cm²
Mindestbewehrung $A_{sw,min}$ 3,44 cm²

Systemskizze



1.2 Einwirkungen

1.2.1 Lasten in Wandrichtung

Normalkraft N_{ed} 14,30 kN
Exzentrizität der Normalkraft e_{Ned} 0,00 m
Horizontalkraft V_{ed} 88,30 kN

1.3 Berechnungsgrundlagen

1.3.1 Berechnungsparameter

Berechnungsnorm EN 1996-1-1
nationales Dokument B 1996-1-1
Anhang J
Berechnungsnorm EN 1998-1-1
Berechnungsnorm B 1998-1-1
Erdbeben
plastische Berechnung zulassen

Wienerberger V_{Rd}-Pro-Tool

Schubbemessung von Porotherm SBZ-Wänden



WARNHINWEIS:
Für die Richtigkeit der
verwendeten Daten und
Ergebnisse
kann von Wienerberger
keinerlei Haftung
übernommen werden!

Version 1.0 | 01/2020

Projekt: Beispielgebäude
Bauteil: Wand 1 - EG
Datum: 11.12.2019
Bearbeiter: Dominik Pusch

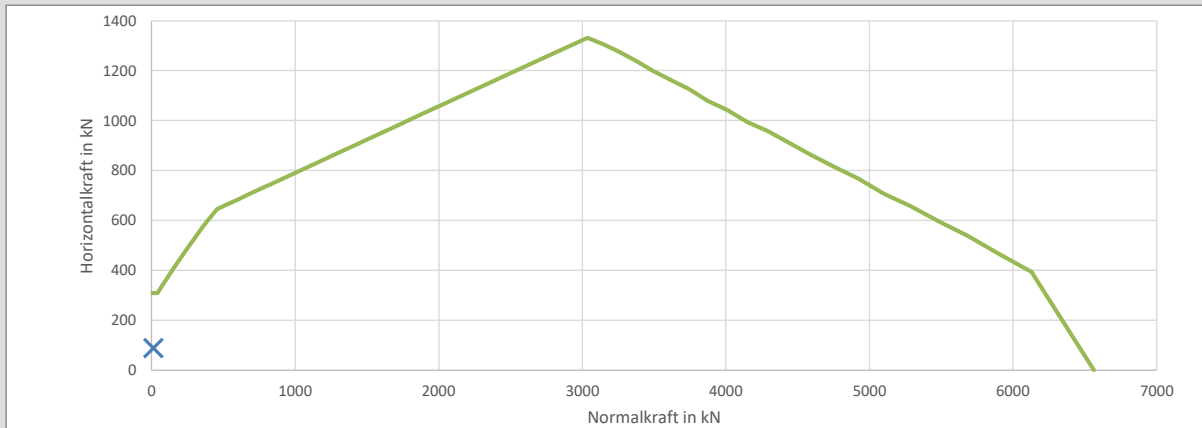
2. Ausgabe

Es gibt 1 Fehlermeldungen und 1 Hinweise.

Bei Fehlermeldungen Eingaben kontrollieren.

2.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Bemessungskraft	V _{ed}	88,3 kN	N _{ed}	14,3 kN
Bemessungswiderstand	V _{Rd}	308,5 kN	N _{Rd}	6563,1 kN
Ausnutzungsfaktor		0,29		



2.2 Ergebnisse im Detail

2.2.1 Wandeigenschaften

Wandlänge	l	5,00 m	
Wandhöhe	h	2,75 m	
Deckeneinspannung		oben und unten	
seitliche Halterung		2	
Knickbeiwert	ρ ₂	0,75	lt. EN 1996-1-1 5.5.1.2
Knickbeiwert	ρ ₃	0,74	lt. EN 1996-1-1 5.5.1.2
Knickbeiwert	ρ ₄	0,64	lt. EN 1996-1-1 5.5.1.2
Knickbeiwert	ρ _n	0,64	lt. EN 1996-1-1 5.5.1.2
effektive Höhe	h _{eff}	1,76 m	lt. EN 1996-1-1 5.5.1.2
Schlankheit der Wand	λ	7,05	lt. EN 1996-1-1 5.5.1.4

2.2.2 Berechnungseigenschaften

Berechnungsnormen	EN 1996-1-1	mit nat. Dokument B 1996-1-1	
	EN 1992-1-1	mit nat. Dokument B 1992-1-1	
	EN 1998-1	mit nat. Dokument B 1998-1	
Erdbebenberechnung		Ja	
Teilsicherheitsbeiwert Ziegel	γ _M	1,50	lt. EN 1998-1 9.6 (3)
Teilsicherheitsbeiwert Beton	γ _C	1,30	lt. EN 1998-1 9.1.3
Teilsicherheitsbeiwert Stahl	γ _S	1,00	lt. EN 1998-1 9.6 (3)

2.2.3 Ziegeleigenschaften

Ziegel		Porotherm 25-50 SBZ.i Plan	
Ziegelabmessungen	l b h	250 500 249 mm	
Fugenkomponente		Dünnbettmörtel	
Beiwert Verbund	κ	1	
Ziegeldruckfestigkeit	f _b	10 N/mm ²	lt. Wienerberger Produktdaten
Korrekturfaktor	δ	1,15	lt. Wienerberger Produktdaten
normierte Ziegeldruckfestigkeit	f _b	11,5 N/mm ²	lt. Wienerberger Produktdaten
Anfangsscherfestigkeit	f _{vk0}	0,30 N/mm ²	lt. EN 1996-1-1 Tab.3.4
Grenzwert Schubtragfähigkeit	f _{vit}	1,44 N/mm ²	lt. EN 1996-1-1 3.6.2 (3)
E- Modul Mauerwerk	E _M	7876 N/mm ²	lt. EN 1996-1-1 3.7.2 (2)

Wienerberger V_{Rd}-Pro-Tool

Schubbemessung von Porotherm SBZ-Wänden



WARNHINWEIS:
Für die Richtigkeit der
verwendeten Daten und
Ergebnisse
kann von Wienerberger
keinerlei Haftung
übernommen werden!

Version 1.0 | 01/2020

Projekt:	Beispielgebäude
Bauteil:	Wand 1 - EG
Datum:	11.12.2019
Bearbeiter:	Dominik Pusch

2.2.4 Betoneigenschaften

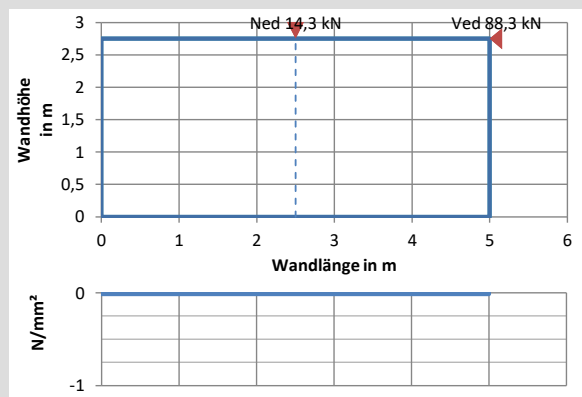
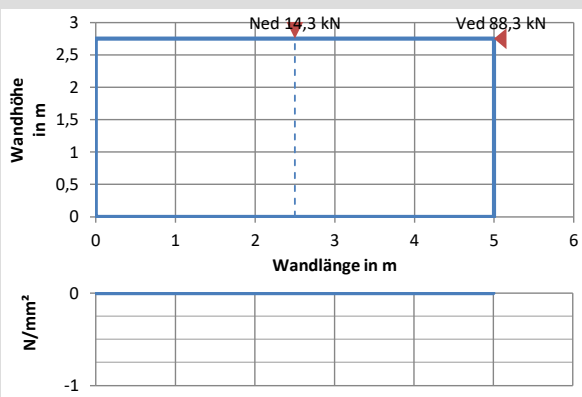
Betonklasse		C20/25	
Druckfestigkeit	f_{ck}	20 N/mm ²	lt. EN 1996-1-1 3.3.3
Langzeitfaktor	$\alpha_{cc,pl}$	1	lt. EN 1992-1-1 12.3.1
Dauerstandfestigkeit	$f_{ck,pl}$	20 N/mm ²	lt. EN 1992-1-1 12.3.1
Betonkanalgröße		170 x 170 mm	
Betonkanalfläche pro Ziegel	A_c	57800 mm ²	
Betonfläche pro Kanal	A_c	28900 mm ²	
Scherfestigkeit char.	f_{cvk}	0,39 N/mm ²	lt. EN 1996-1-1 Tab. 3.3.3
Scherfestigkeit char.	f_{cvd}	0,3 N/mm ²	lt. EN 1996-1-1 2.4.1
horizontale Kanalgröße		100 x 100 mm	
horizontaler Kanal	A_{cw}	10000 mm ²	
Anzahl vert. Betonkanäle		20	
Anzahl horiz. Betonkanäle		11	

2.2.8 Verbundsteinfestigkeiten

Traglastanteil Ziegel	$N_{R,Ziegel}$	1437500 N	Pech GZ. 2014-234/G2
Traglastanteil Beton	$N_{R,Beton}$	1333846 N	Pech GZ. 2014-234/G2
Traglast	N_R	2771346 N	Pech GZ. 2014-234/G2
Verbundsteinfestigkeit	$f_{b,V}$	22,17 N/mm ²	Pech GZ. 2014-234/G2
Verbundwanddruckfestigkeit	$f_{k,V}$	7,88 N/mm ²	Pech GZ. 2014-234/G2
Verbundwanddruckfestigkeit	$f_{d,V}$	5,25 N/mm ²	Pech GZ. 2014-234/G2

2.2.7 Überdrückte Wandlänge

Wandfuß			Wandkopf		
Normalkraft	N_{Ed}	14,3 kN	Normalkraft	N_{Ed}	14,3 kN
exzentrizität Normalkraft	e_N	0 m	exzentrizität Normalkraft	e_N	0 m
Horizontalkraft	V_{Ed}	88,3 kN	Horizontalkraft	V_{Ed}	88,3 kN
fd nicht eingehalten					
Moment	M_{Ed}	242,825 kNm	Moment	M_{Ed}	0 kNm
exzentrizität Normalkraft total	e_{tot}	16,98 m	exzentrizität Normalkraft total	e_{tot}	0 m
überdrückte Länge:	l_c	1,005 m	überdrückte Länge:	l_c	5 m
Spannung rechts	σ_{rd}	0,00 N/mm ²	Spannung rechts	σ_{rd}	-0,01 N/mm ²
Spannung links	σ_{ld}	0,00 N/mm ²	Spannung links	σ_{ld}	-0,01 N/mm ²
Spannung mittel	σ_{md}	0,00 N/mm ²	Spannung mittel	σ_{md}	-0,01 N/mm ²



Wandfuß			Wandkopf		
Verbundscherfestigkeit char.	f_{vk}	0,00 N/mm ²	0,30 N/mm ²		lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Verbundscherfestigkeit design	f_{vd}	0,00 N/mm ²	0,20 N/mm ²		lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Verbundscherfestigkeit char.	$f_{vd,Anhang}$	0,25 N/mm ²	0,25 N/mm ²		lt. EN 1996-1-1 Anh. J

Wienerberger V_{Rd}-Pro-Tool

Schubbemessung von Porotherm SBZ-Wänden



WARNHINWEIS:
Für die Richtigkeit der
verwendeten Daten und
Ergebnisse
kann von Wienerberger
keinerlei Haftung
übernommen werden!

Version 1.0 | 01/2020

Projekt: Beispielgebäude
Bauteil: Wand 1 - EG
Datum: 11.12.2019
Bearbeiter: Dominik Pusch

2.2.5 Bewehrungseigenschaften allgemein

Streckgrenze Stahl	f_{yk}	550 N/mm ²	
Streckgrenze Stahl	f_{yd}	550 N/mm ²	
E-Modul Stahl	E_s	210000 N/mm ²	
maximale Stahldehnung	$\epsilon_{su,max}$	0,01	lt. EN 1996-1-1 6.6.2 (2)
Fließdehnung	ϵ_{sy}	0,0026	

2.2.5 Bewehrungseigenschaften Randbewehrung

Randbewehrung vorhanden		Ja	
Randbew.durchmesser	\emptyset	10 mm	
Randbewehrungsanzahl		4	
Randbewehrungsfläche	A_s	6,28 cm ²	
Randbewehrungsfläche	A_s	3,14 cm ² /Rand	
Mindesthauptbewehrung	$A_{s,min}$	2,00 cm ² /Rand	lt. EN 1998-1 9.5.4 (8)
Mindesthauptbewehrung vorhanden		Ja	
Maximalhauptbewehrung	$A_{s,max}$	11,56 cm ² /Kanal	lt. EN 1996-1-1 8.2.7

2.2.5 Bewehrungseigenschaften Hauptbewehrung

Hauptbewehrung vorhanden		Ja	
Hauptbew.durchmesser	\emptyset	8 mm	
Bewehrungsabstand		500 mm	
Hauptbewehrungsanzahl		2	
Hauptbewehrungsfläche	A_s	14,33 cm ²	inkl. Randbewehrung
Hauptbewehrungsfläche	A_s	1,01 cm ² /Kanal	
statische Nutzhöhe	d	4960 mm	
Mindesthauptbewehrung	$A_{s,min}$	10,00 cm ²	lt. EN 1998-1 9.5.4
Mindesthauptbewehrung vorhanden		Ja	
Maximalhauptbewehrung	$A_{s,max}$	11,56 cm ² /Kanal	lt. EN 1996-1-1 8.2.7
Bewehrungsgrad	ρ	0,12 %	lt. EN 1996-1-1 Anh.J

2.2.6 Bewehrungseigenschaften Längsbewehrung

Längsbewehrung vorhanden		Ja	
Längsbew.sdurchmesser:	\emptyset	8 mm	
Längsbewehrungsabstand		500 mm	
Längsbewehrungsanzahl:		2	
Längsbewehrungsfläche:	A_{sw}	5,53 cm ²	
Längsbewehrungsfläche:	A_{sw}	0,50 cm ² /Kanal	
Mindestschubbewehrung	$A_{sw,min}$	3,44 cm ²	lt. EN 1998-1 9.5.4 (4)
Mindestschubbewehrung vorhanden		Ja	

Wienerberger V_{Rd}-Pro-Tool

Schubbemessung von Porotherm SBZ-Wänden



WARNHINWEIS:
Für die Richtigkeit der
verwendeten Daten und
Ergebnisse
kann von Wienerberger
keinerlei Haftung
übernommen werden!

Version 1.0 | 01/2020

Projekt: Beispielgebäude
Bauteil: Wand 1 - EG
Datum: 11.12.2019
Bearbeiter: Dominik Pusch

2.2.9 Schubtragfähigkeit Wandkopf

Berechnung als	vert. und horiz. bewehrtes Mauerwerk		
Schubwiderstand 1	V _{Rd1}	308,5 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Schubwiderstand 2	V _{Rd2}	273,7 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Schubwiderstand	f _{vd}	0,25 N/mm ²	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
überdrückte Länge	l _c	5,00 m	
Bemessungskraft	V _{ed}	88,3 kN	
Bemessungswiderstand	V_{Rd}	582,2 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Ausnutzungsfaktor		0,15	

2.2.9 Schubtragfähigkeit Wandfuß

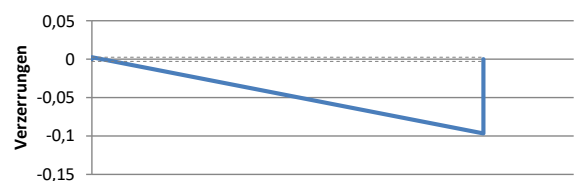
Berechnung als	vert. und horiz. bewehrtes Mauerwerk		
Schubwiderstand 1	V _{Rd1}	308,5 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Schubwiderstand 2	V _{Rd2}	0,0 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Schubwiderstand	f _{vd}	0,25 N/mm ²	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
überdrückte Länge	l _c	0,00 m	
Bemessungskraft	V _{ed}	88,3 kN	
Bemessungswiderstand	V_{Rd}	308,5 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Ausnutzungsfaktor		0,29	

2.2.2 Normalkraftwiderstand

Bemessungskraft	N _{Ed}	14,30 kN	
Abminderungsfaktor	Φ	1,0	
Bemessungswiderstand	N_{Rd}	6563,1 kN	lt. EN 1996-1-1 6.1.2.1 (2)
Ausnutzungsfaktor		0,00	

2.2.9 Normalkraft und Biegemoment

Berechnung als	vert. und horiz. bewehrtes Mauerwerk		
maximale Stahldehnung	ε _{su,max}	0,01 %	lt. EN 1996-1-1 6.6.2 (2)
Fließdehnung	ε _{sy}	0,0026	
Beiwert Spannung Mauerwerk	η _f	1,0	
maximale Mauerwerksdehnung	ε _{mu}	0,0035	lt. EN 1996-1-1 6.6.1 (1)
Moment aus Kräften	M _{Ed,1}	242,8 kNm	
Zusatzmoment Schlankheit	M _{ad}	0,0 kNm	lt. EN 1996-1-1 6.6.2 (7)
Bemessungsmoment	M _{Ed}	242,8 kNm	
Normalkraft	N _{Ed}	14,3 kN	
Bemessungswiderstand	M_{RD}	1265,8 kNm	
Ausnutzungsfaktor		0,19	
Moment als Horizontalkraft	V _{Rd}	460,3 kN	



Wienerberger V_{Rd}-Pro-Tool

Schubbemessung von Porotherm SBZ-Wänden



WARNHINWEIS:
Für die Richtigkeit der
verwendeten Daten und
Ergebnisse
kann von Wienerberger
keinerlei Haftung
übernommen werden!

Version 1.0 | 01/2020

Projekt: Beispielgebäude
Bauteil: Wand 1 - EG
Datum: 11.12.2019
Bearbeiter: Dominik Pusch

1. Eingabe

1.1 Wände

1.1.1 Abmessungen

Wandhöhe h m
Wandlänge l m
Deckeneinspannung:
Abminderungsfaktor Φ

1.1.2 Ziegel

Ziegelwahl
Fugenkomponente
Wanddicke t m
Steindruckfestigkeit f_b N/mm²

1.1.3 Beton

Betongüte

1.1.5 Randbewehrung

Randbewehrung
Anzahl
gewählte Bewehrungsfläche A_s cm²
Mindestbewehrung $A_{s,min}$ cm²

1.1.4 Stahl

Streckgrenze f_{yk} N/mm²
 f_{yd} N/mm²

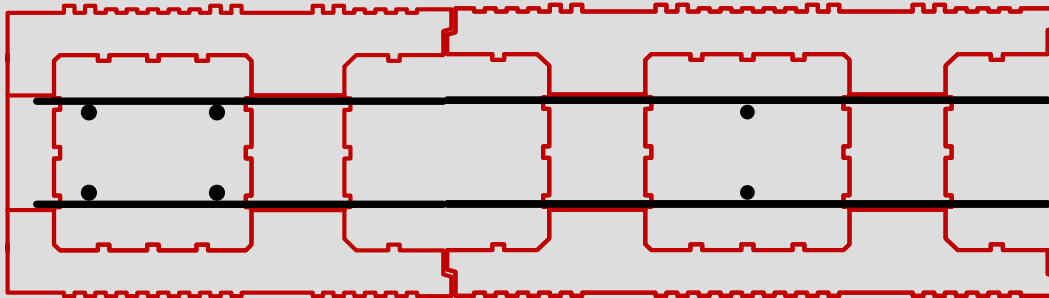
1.1.6 Hauptbewehrung

Hauptbewehrung
Felder
Anzahl Stk.
gewählte Bewehrungsfläche A_s cm²
Mindestbewehrung $A_{s,min}$ cm²

1.1.7 Schubbewehrung

Schubbewehrung
Felder
Anzahl Stk.
gewählte Bewehrungsfläche A_{sw} cm²
Mindestbewehrung $A_{sw,min}$ cm²

Systemskizze



1.2 Einwirkungen

1.2.1 Lasten in Wandrichtung

Normalkraft N_{ed} kN
Exzentrizität der Normalkraft e_{Ned} m
Horizontalkraft V_{ed} kN

1.3 Berechnungsgrundlagen

1.3.1 Berechnungsparameter

Berechnungsnorm
nationales Dokument
Anhang J
Berechnungsnorm
Berechnungsnorm
Erdbeben
plastische Berechnung zulassen

Wienerberger V_{Rd}-Pro-Tool

Schubbemessung von Porotherm SBZ-Wänden



WARNHINWEIS:
Für die Richtigkeit der
verwendeten Daten und
Ergebnisse
kann von Wienerberger
keinerlei Haftung
übernommen werden!

Version 1.0 | 01/2020

Projekt: Beispielgebäude
Bauteil: Wand 1 - EG
Datum: 11.12.2019
Bearbeiter: Dominik Pusch

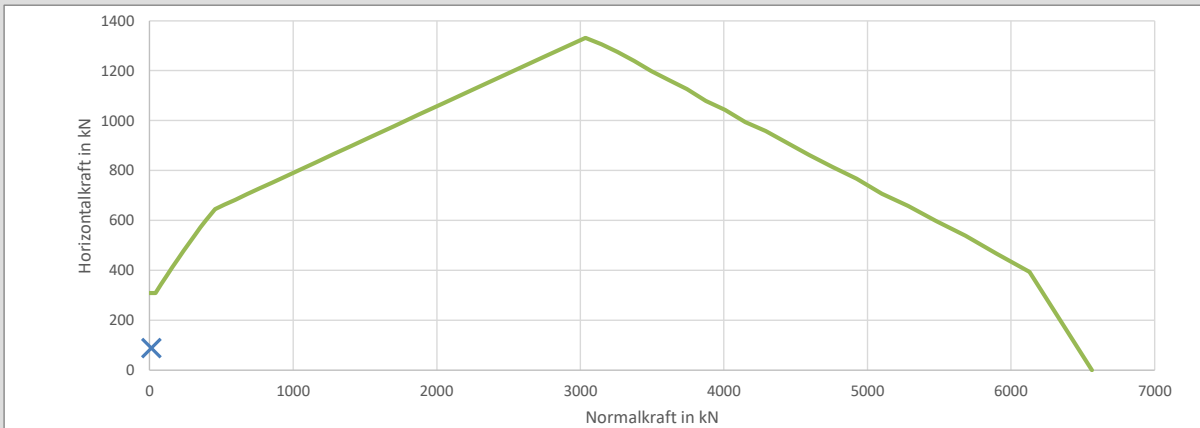
2. Ausgabe

Es gibt 1 Fehlermeldungen und 1 Hinweise.

Bei Fehlermeldungen Eingaben kontrollieren.

2.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Bemessungskraft	V _{ed}	88,3 kN	N _{ed}	14,3 kN
Bemessungswiderstand	V _{Rd}	308,5 kN	N _{Rd}	6563,1 kN
Ausnutzungsfaktor		0,29		



2.2 Ergebnisse im Detail

2.2.1 Wandeigenschaften

Wandlänge	l	5,00 m	
Wandhöhe	h	2,75 m	
Deckeneinspannung		oben und unten	
seitliche Halterung		2	
Knickbeiwert	ρ ₂	0,75	lt. EN 1996-1-1 5.5.1.2
Knickbeiwert	ρ ₃	0,74	lt. EN 1996-1-1 5.5.1.2
Knickbeiwert	ρ ₄	0,64	lt. EN 1996-1-1 5.5.1.2
Knickbeiwert	ρ _n	0,64	lt. EN 1996-1-1 5.5.1.2
effektive Höhe	h _{eff}	1,76 m	lt. EN 1996-1-1 5.5.1.2
Schlankheit der Wand	λ	7,05	lt. EN 1996-1-1 5.5.1.4

2.2.2 Berechnungseigenschaften

Berechnungsnormen	EN 1996-1-1	mit nat. Dokument B 1996-1-1	
	EN 1992-1-1	mit nat. Dokument B 1992-1-1	
	EN 1998-1	mit nat. Dokument B 1998-1	
Erdbebenberechnung		Ja	
Teilsicherheitsbeiwert Ziegel	γ _M	1,50	lt. EN 1998-1 9.6 (3)
Teilsicherheitsbeiwert Beton	γ _C	1,30	lt. EN 1998-1 9.1.3
Teilsicherheitsbeiwert Stahl	γ _S	1,00	lt. EN 1998-1 9.6 (3)

2.2.3 Ziegeleigenschaften

Ziegel		Porotherm 25-50 SBZ.i Plan	
Ziegelabmessungen	l b h	250 500 249 mm	
Fugenkomponente		Dünnbettmörtel	
Beiwert Verbund	κ	1	
Ziegeldruckfestigkeit	f _b	10 N/mm ²	lt. Wienerberger Produktdaten
Korrekturfaktor	δ	1,15	lt. Wienerberger Produktdaten
normierte Ziegeldruckfestigkeit	f _b	11,5 N/mm ²	lt. Wienerberger Produktdaten
Anfangsscherfestigkeit	f _{vk0}	0,30 N/mm ²	lt. EN 1996-1-1 Tab.3.4
Grenzwert Schubtragfähigkeit	f _{vit}	1,44 N/mm ²	lt. EN 1996-1-1 3.6.2 (3)
E- Modul Mauerwerk	E _M	7876 N/mm ²	lt. EN 1996-1-1 3.7.2 (2)

Wienerberger V_{Rd}-Pro-Tool

Schubbemessung von Porotherm SBZ-Wänden



WARNHINWEIS:
Für die Richtigkeit der
verwendeten Daten und
Ergebnisse
kann von Wienerberger
keinerlei Haftung
übernommen werden!

Version 1.0 | 01/2020

Projekt:	Beispielgebäude
Bauteil:	Wand 1 - EG
Datum:	11.12.2019
Bearbeiter:	Dominik Pusch

2.2.4 Betoneigenschaften

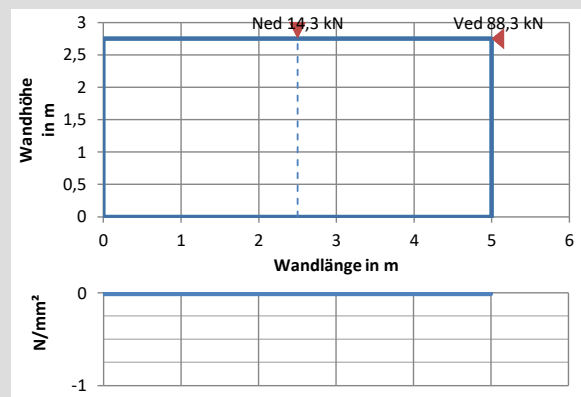
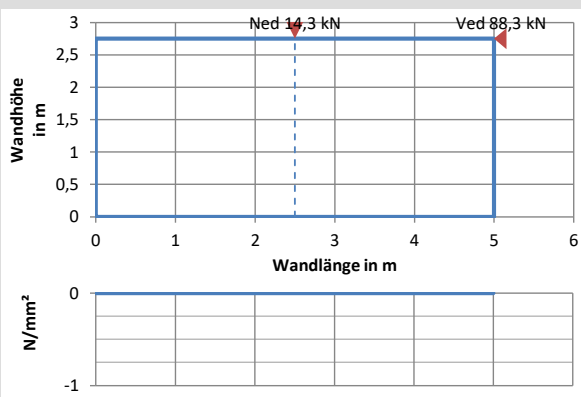
Betonklasse		C20/25	
Druckfestigkeit	f_{ck}	20 N/mm ²	lt. EN 1996-1-1 3.3.3
Langzeitfaktor	$\alpha_{cc,pl}$	1	lt. EN 1992-1-1 12.3.1
Dauerstandfestigkeit	$f_{ck,pl}$	20 N/mm ²	lt. EN 1992-1-1 12.3.1
Betonkanalgröße		170 x 170 mm	
Betonkanalfläche pro Ziegel	A_c	57800 mm ²	
Betonfläche pro Kanal	A_c	28900 mm ²	
Scherfestigkeit char.	f_{cvk}	0,39 N/mm ²	lt. EN 1996-1-1 Tab. 3.3.3
Scherfestigkeit char.	f_{cvd}	0,3 N/mm ²	lt. EN 1996-1-1 2.4.1
horizontale Kanalgröße		100 x 100 mm	
horizontaler Kanal	A_{cw}	10000 mm ²	
Anzahl vert. Betonkanäle		20	
Anzahl horiz. Betonkanäle		11	

2.2.8 Verbundsteinfestigkeiten

Traglastanteil Ziegel	$N_{R,Ziegel}$	1437500 N	Pech GZ. 2014-234/G2
Traglastanteil Beton	$N_{R,Beton}$	1333846 N	Pech GZ. 2014-234/G2
Traglast	N_R	2771346 N	Pech GZ. 2014-234/G2
Verbundsteinfestigkeit	$f_{b,V}$	22,17 N/mm ²	Pech GZ. 2014-234/G2
Verbundwanddruckfestigkeit	$f_{k,V}$	7,88 N/mm ²	Pech GZ. 2014-234/G2
Verbundwanddruckfestigkeit	$f_{d,V}$	5,25 N/mm ²	Pech GZ. 2014-234/G2

2.2.7 Überdrückte Wandlänge

		Wandfuß		Wandkopf	
Normalkraft	N_{Ed}	14,3 kN	Normalkraft	N_{Ed}	14,3 kN
exzentrizität Normalkraft	e_N	0 m	exzentrizität Normalkraft	e_N	0 m
Horizontalkraft	V_{Ed}	88,3 kN	Horizontalkraft	V_{Ed}	88,3 kN
fd nicht eingehalten					
Moment	M_{Ed}	242,825 kNm	Moment	M_{Ed}	0 kNm
exzentrizität Normalkraft total	e_{tot}	16,98 m	exzentrizität Normalkraft total	e_{tot}	0 m
überdrückte Länge:	l_c	1,005 m	überdrückte Länge:	l_c	5 m
Spannung rechts	σ_{rd}	0,00 N/mm ²	Spannung rechts	σ_{rd}	-0,01 N/mm ²
Spannung links	σ_{ld}	0,00 N/mm ²	Spannung links	σ_{ld}	-0,01 N/mm ²
Spannung mittel	σ_{md}	0,00 N/mm ²	Spannung mittel	σ_{md}	-0,01 N/mm ²



		Wandfuß		Wandkopf	
Verbundscherfestigkeit char.	f_{vk}	0,00 N/mm ²	0,30 N/mm ²	lt. EN 1996-1-1 6.7.2	
Verbundscherfestigkeit design	f_{vd}	0,00 N/mm ²	0,20 N/mm ²	lt. EN 1996-1-1 6.7.2	
Verbundscherfestigkeit char.	$f_{vd,Anhang}$	0,25 N/mm ²	0,25 N/mm ²	lt. EN 1996-1-1 Anh. J	

Wienerberger V_{Rd}-Pro-Tool

Schubbemessung von Porotherm SBZ-Wänden



WARNHINWEIS:
Für die Richtigkeit der
verwendeten Daten und
Ergebnisse
kann von Wienerberger
keinerlei Haftung
übernommen werden!

Version 1.0 | 01/2020

Projekt: Beispielgebäude
Bauteil: Wand 1 - EG
Datum: 11.12.2019
Bearbeiter: Dominik Pusch

2.2.5 Bewehrungseigenschaften allgemein

Streckgrenze Stahl	f_{yk}	550 N/mm ²	
Streckgrenze Stahl	f_{yd}	550 N/mm ²	
E-Modul Stahl	E_s	210000 N/mm ²	
maximale Stahldehnung	$\epsilon_{su,max}$	0,01	lt. EN 1996-1-1 6.6.2 (2)
Fließdehnung	ϵ_{sy}	0,0026	

2.2.5 Bewehrungseigenschaften Randbewehrung

Randbewehrung vorhanden		Ja	
Randbew.durchmesser	\emptyset	10 mm	
Randbewehrungsanzahl		4	
Randbewehrungsfläche	A_s	6,28 cm ²	
Randbewehrungsfläche	A_s	3,14 cm ² /Rand	
Mindesthauptbewehrung	$A_{s,min}$	2,00 cm ² /Rand	lt. EN 1998-1 9.5.4 (8)
Mindesthauptbewehrung vorhanden		Ja	
Maximalhauptbewehrung	$A_{s,max}$	11,56 cm ² /Kanal	lt. EN 1996-1-1 8.2.7

2.2.5 Bewehrungseigenschaften Hauptbewehrung

Hauptbewehrung vorhanden		Ja	
Hauptbew.durchmesser	\emptyset	8 mm	
Bewehrungsabstand		500 mm	
Hauptbewehrungsanzahl		2	
Hauptbewehrungsfläche	A_s	14,33 cm ²	inkl. Randbewehrung
Hauptbewehrungsfläche	A_s	1,01 cm ² /Kanal	
statische Nutzhöhe	d	4960 mm	
Mindesthauptbewehrung	$A_{s,min}$	10,00 cm ²	lt. EN 1998-1 9.5.4
Mindesthauptbewehrung vorhanden		Ja	
Maximalhauptbewehrung	$A_{s,max}$	11,56 cm ² /Kanal	lt. EN 1996-1-1 8.2.7
Bewehrungsgrad	ρ	0,12 %	lt. EN 1996-1-1 Anh.J

2.2.6 Bewehrungseigenschaften Längsbewehrung

Längsbewehrung vorhanden		Ja	
Längsbew.sdurchmesser:	\emptyset	8 mm	
Längsbewehrungsabstand		500 mm	
Längsbewehrungsanzahl:		2	
Längsbewehrungsfläche:	A_{sw}	5,53 cm ²	
Längsbewehrungsfläche:	A_{sw}	0,50 cm ² /Kanal	
Mindestschubbewehrung	$A_{sw,min}$	3,44 cm ²	lt. EN 1998-1 9.5.4 (4)
Mindestschubbewehrung vorhanden		Ja	

Wienerberger V_{Rd}-Pro-Tool

Schubbemessung von Porotherm SBZ-Wänden



WARNHINWEIS:
Für die Richtigkeit der
verwendeten Daten und
Ergebnisse
kann von Wienerberger
keinerlei Haftung
übernommen werden!

Version 1.0 | 01/2020

Projekt: Beispielgebäude
Bauteil: Wand 1 - EG
Datum: 11.12.2019
Bearbeiter: Dominik Pusch

2.2.9 Schubtragfähigkeit Wandkopf

Berechnung als	vert. und horiz. bewehrtes Mauerwerk		
Schubwiderstand 1	V _{Rd1}	308,5 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Schubwiderstand 2	V _{Rd2}	273,7 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Schubwiderstand	f _{vd}	0,25 N/mm ²	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
überdrückte Länge	l _c	5,00 m	
Bemessungskraft	V _{ed}	88,3 kN	
Bemessungswiderstand	V_{Rd}	582,2 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Ausnutzungsfaktor		0,15	

2.2.9 Schubtragfähigkeit Wandfuß

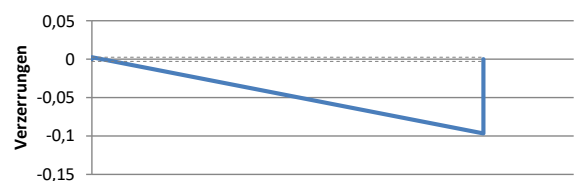
Berechnung als	vert. und horiz. bewehrtes Mauerwerk		
Schubwiderstand 1	V _{Rd1}	308,5 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Schubwiderstand 2	V _{Rd2}	0,0 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Schubwiderstand	f _{vd}	0,25 N/mm ²	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
überdrückte Länge	l _c	0,00 m	
Bemessungskraft	V _{ed}	88,3 kN	
Bemessungswiderstand	V_{Rd}	308,5 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Ausnutzungsfaktor		0,29	

2.2.2 Normalkraftwiderstand

Bemessungskraft	N _{Ed}	14,30 kN	
Abminderungsfaktor	Φ	1,0	
Bemessungswiderstand	N_{Rd}	6563,1 kN	lt. EN 1996-1-1 6.1.2.1 (2)
Ausnutzungsfaktor		0,00	

2.2.9 Normalkraft und Biegemoment

Berechnung als	vert. und horiz. bewehrtes Mauerwerk		
maximale Stahldehnung	ε _{su,max}	0,01 %	lt. EN 1996-1-1 6.6.2 (2)
Fließdehnung	ε _{sy}	0,0026	
Beiwert Spannung Mauerwerk	η _f	1,0	
maximale Mauerwerksdehnung	ε _{mu}	0,0035	lt. EN 1996-1-1 6.6.1 (1)
Moment aus Kräften	M _{Ed,1}	242,8 kNm	
Zusatzmoment Schlankheit	M _{ad}	0,0 kNm	lt. EN 1996-1-1 6.6.2 (7)
Bemessungsmoment	M _{Ed}	242,8 kNm	
Normalkraft	N _{Ed}	14,3 kN	
Bemessungswiderstand	M_{RD}	1265,8 kNm	
Ausnutzungsfaktor		0,19	
Moment als Horizontalkraft	V _{Rd}	460,3 kN	



Anhang B

Benutzerhandbuch

Für die leichtere Anwendung für Benutzer des Berechnungsprogramms wurde im Zuge der Arbeit auch ein Benutzerhandbuch angefertigt. Dieses gibt eine Zusammenfassung über die möglichen Eingaben und Berechnungsschritte. Das Manual beinhaltet auch das Beispiel aus dem Kapitel 8, welches in diesem Anhang nicht noch einmal dargestellt wird.

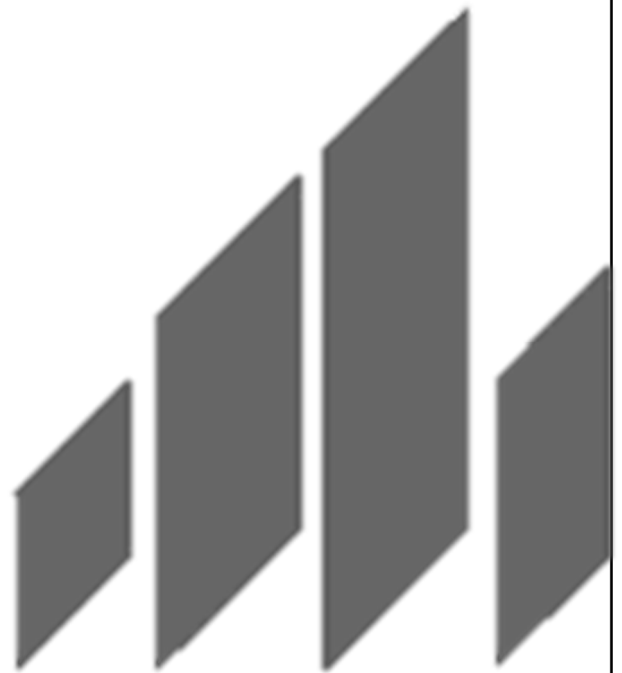
Benutzerhandbuch

für das Wienerberger Bemessungsprogramm

VRd-Pro-Tool

Version 1 | 04.01.2020

Microsoft Excel basiertes Bemessungsprogramm zur Berechnung der Schubtragfähigkeit von unbewertem, eingefasstem oder bewehrtem Mauerwerk aus Porotherm 25-50 SBZ Plan. Porotherm 25-50 SBZ.i Plan und Porotherm 20-40 SBZ Plan.



Wienerberger Österreich GmbH
Hauptstraße 2
2332 Hennersdorf
T 01 605 03-0
E office@wienerberger.at
www.wienerberger.at



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Grundlagen	3
1.2	Anwendungsgrenzen	4
1.3	Benötigte Unterlagen	4
1.4	Hilfe und Support	4
2	Wienerberger VRd-Pro-Tool	5
2.1	Protokollkopf	5
2.2	Eingabebereich	5
2.2.1	Abmessungen	6
2.2.2	Ziegel	7
2.2.3	Beton	7
2.2.4	Bewehrung	7
2.2.5	Einwirkungen	8
2.2.6	Berechnungsgrundlagen	9
2.3	Kurzübersicht	10
2.4	Ergebnisse	11
2.4.1	Schubtragfähigkeit	11
2.4.2	Normalkraftwiderstand	12
2.4.3	Normalkraft und Biegemoment	12
2.5	Drucken der Ergebnisse	12
2.6	Fehlermeldungen	13
A	Berechnungsbeispiel	15
A.1	Modelldaten	15
A.1.1	Bemessungsspektrum	17
A.1.2	Ersatzsystem	18
A.2	Schnittgrößenermittlung	20
A.3	Nachweise	21
A.3.1	Wand W1.1 – DG	21
A.3.2	Wand W1.1 – EG	23

Kapitel 1

Einleitung

Das Programm VRd-Pro-Tool zur Bemessung von Betonfüllziegelmauerwerk nach ÖNORM EN 1992-1-1, ÖNORM EN 1996-1-1 und ÖNORM EN 1998-1 wurde von der Abteilung Produktmanagement der Wienerberger GmbH entwickelt und von den Verfassern mit größter Sorgfalt erstellt und getestet. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass vereinzelt Fehler auftreten. Daher sind für die Bedienung des Programmes einschlägige statische Kenntnisse erforderlich. Es wird dringend empfohlen, sich vor der Anwendung mit den verwendeten Normen und dem Berechnungsablauf vertraut zu machen.

Weder das Programm noch die Programmbeschreibung erheben Anspruch auf Vollständigkeit. Die Anwendbarkeit der Berechnungsmethode ist im Einzelfall anhand der ÖNORM EN 1992-1-1, ÖNORM EN 1996-1-1 und ÖNORM EN 1998-1 vom Anwender zu prüfen.

1.1 Grundlagen

Das Programm VRd-Pro-Tool ist auf das österreichische Produktsortiment der Wienerberger Österreich GmbH abgestimmt. Eine Verwendung von externen Daten ist daher nicht möglich.

Das Bemessungsprogramm basiert auf verschiedenen Normen, Zulassungen und Gutachten, welche nachfolgend aufgelistet werden. Es wird empfohlen, sich mit diesen vor der Berechnung vertraut zu machen.

- ÖNORM EN 1992-1-1
- ÖNORM B 1992-1-1
- ÖNORM EN 1996-1-1
- ÖNORM B 1996-1-1
- ÖNORM EN 1998-1
- ÖNORM B 1998-1
- Gutachten Verbundsteinfestigkeit Planziegel-Füllmauerwerk – (GZ. 2014-234/G2 | Dipl.-Ing. Dr. Anton Pech | Wien | 25.04.2016)
- Diplomarbeit Schubbemessung von Wänden aus Porotherm 25-50 SBZ.i Plan

1.2 Anwendungsgrenzen

Für die Bemessung gelten die Anwendungsgrenzen für Mauerwerk der ÖNORM EN 1996-1-1 und ÖNORM B 1996-1-1 sowie im Falle einer Erdbebenbemessung die zusätzlichen Anforderungen der ÖNORM EN 1998-1 und ÖNORM B 1998-1.

Die Berechnung des Wienerberger VRd-Pro-Tools berechnet nur den Schubwiderstand der eingegebenen Wand. Weitere Nachweise, wie z. B. Widerstand gegen Normalkraft oder Momentenwirkung aus der Ebene, sind getrennt zu führen.

Bei der Berechnung werden keine Teilsicherheitsbewerte auf der Einwirkungsseite berücksichtigt. Die erforderlichen Einwirkungen sind anhand der ÖNORM EN 1990 und ÖNORM B 1990 vom Benutzer zu berechnen, inklusive der jeweiligen Teilsicherheitsbeiwerte und Kombinationsbeiwerte in den einzelnen Lastfällen.

1.3 Benötigte Unterlagen

Damit eine schnelle und genaue Berechnung mit dem Wienerberger VRd-Pro-Tool erreicht werden kann, werden folgende Unterlagen benötigt:

- Abmessungen und Lagerungsbedingungen der Wand
- Verwendeter Verfüllziegel
- Verfüllbetongüte
- Verwendete Bewehrung
- Einwirkungen auf die Wandscheibe

Die Genauigkeit und Richtigkeit der Eingabedaten hat einen wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse. Auf die Eingabe wird zu einem späteren Punkt eingegangen.

1.4 Hilfe und Support

Bei Fragen und Problemen kontaktieren Sie bitte die Abteilung Produktmanagement der Wienerberger Österreich GmbH oder die Abteilung Produktmanagement der Wienerberger AG.

Wienerberger Österreich GmbH
A-1100 Wien, Wienerbergerplatz 1
Dominik Pusch
Tel: +43 16205 03 – 382
dominik.pusch@wienerberger.com
www.wienerberger.at

Wienerberger AG
A-1100 Wien, Wienerbergerplatz 1
Dr. Andreas Jäger
Tel: +43 160 192 – 10613
andreas.jaeger@wienerberger.com
www.clay-wienerberger.com

Kapitel 2

Wienerberger VRd-Pro-Tool

In diesem Kapitel wird der Aufbau des Programmes zur Berechnung der Schubtragfähigkeit nach ÖNORM EN 1996-1-1 beschrieben. Das Tool wurde in Microsoft Excel ohne Makros umgesetzt und kann daher auf jedem Computer eingesetzt werden, sofern Microsoft Excel installiert ist.

- ✓ Vor der Eingabe der Daten empfiehlt es sich die Datei unter einem aussagekräftigen Namen zu speichern. Datei → Speichern unter.

Im Wesentlichen gliedert sich die Oberfläche in vier Bereiche: Protokollkopf, Eingabebereich, Kurzübersicht und Ergebnisse.

2.1 Protokollkopf

Im oberen Bereich des Programmes (siehe Abbildung 2.1) besteht die Möglichkeit, die wesentlichen Projektangaben einzugeben. Da die Programmoberfläche auch gleichzeitig die Ansicht für das druckfertige Protokoll darstellt, ist die Kopfzeile für eine spätere Zuordnung wichtig.



Abb. 2.1: Protokollkopf

2.2 Eingabebereich

Im Eingabebereich (siehe 2.2) werden alle benötigten Daten für die nachfolgende Berechnung eingegeben. Für eine einfachere Eingabe erfolgt der Großteil der Eingaben durch Auswahlmöglichkeiten. Bei freien Eingabefeldern sind die möglichen Wertebereiche hinterlegt und werden in Form einer Fehlermeldung bei falscher Eingabe angezeigt. Im Folgenden wird auf die verschiedenen Möglichkeiten

1. Eingabe			
1.1 Wände			
1.1.1 Abmessungen		1.1.2 Ziegel	
Wandhöhe	h	2,75 m	Ziegelwahl
Wandlänge	l	5,00 m	Porotherm 25-50 SBZ-I Plan
Deckeneinspannung:		oben und unten	Fugenkomponente
Abminderungsfaktor	Φ	1,00	Dünnbettmörtel
			Wanddicke
			t
			0,25 m
			Steindruckfestigkeit
			f_b
			10 N/mm ²
1.1.3 Beton		1.1.5 Randbewehrung	
Betongüte		C20/25	Randbewehrung
			Φ 8
1.1.4 Stahl		Anzahl	
Streckgrenze	f_{yk}	550 N/mm ²	4
	f_{yd}	478,26 N/mm ²	gewählte Bewehrungsfläche
			A_s
			2,01 cm ²
			Mindestbewehrung
			$A_{s,min}$
			2,00 cm ²
1.1.6 Hauptbewehrung		1.1.7 Schubbewehrung	
Hauptbewehrung		Φ 8	Schubbewehrung
Felder		jedes 2 Feld bewehrt	jede 2 Schar bewehrt
Anzahl		2 Stk.	Anzahl
			2 Stk.
gewählte Bewehrungsfläche	A_s	12,06 cm ²	gewählte Bewehrungsfläche
			A_{sW}
			5,53 cm ²
Mindestbewehrung	$A_{s,min}$	10,00 cm ²	Mindestbewehrung
			$A_{sW,min}$
			3,44 cm ²
Systemskizze			
1.2 Einwirkungen		1.3 Berechnungsgrundlagen	
1.2.1 Lasten in Wandrichtung			
Normalkraft	N_{ed}	100,00 kN	Berechnungsnorm
Exzentrizität der Normalkraft	e_{Ned}	0,00 m	EN 1996-1-1
			nationales Dokument
			B 1996-1-1
			Anhang J
			<input checked="" type="checkbox"/>
Horizontalkraft	V_{ed}	50,00 kN	Berechnungsnorm
			EN 1998-1-1
			Berechnungsnorm
			B 1998-1-1
			Erdbeben
			<input type="checkbox"/>
			plastische Berechnung zulassen
			<input checked="" type="checkbox"/>

Abb. 2.2: Eingabebereich

der Eingaben eingegangen. Für eine genaue Beschreibung der Eingaben, deren Auswirkungen und Anwendungsgrenzen wird auf die im Kapitel 1.1 aufgelisteten Unterlagen verwiesen.

2.2.1 Abmessungen

Im Bereich Abmessungen werden die geometrischen Abmessungen und die Lagerungsart der Wand eingegeben. Bei der Wandhöhe ist die lichte Wandhöhe der zu bemessenden Wand einzugeben. Wird die Bewehrung mit der nötigen Verankerungslänge verankert, so kann eine Deckeneinspannung angenommen werden. Weiters kann für den Fall, dass ein Abminderungsfaktor für die Normalkraft aus einer separaten Berechnung vorhanden ist, angegeben werden, um diesen in der Darstellung und Berechnung einfließen zu lassen.

2.2.2 Ziegel

Die Auswahlmöglichkeiten für den Verfüllziegel richten sich nach dem Produktsortiment der Wienerberger Österreich GmbH. Derzeit wird der Porotherm 25-50 SBZ Plan, Porotherm 25-50 SBZ.i Plan sowie der Porotherm 20-40 SBZ Plan angeboten. Unter der Auswahl des Ziegels kann auch die Fugenkomponente ausgewählt werden. Hier gibt es die Möglichkeit des Dünnbettmörtel oder des Porotherm Dryfix extra Systems. Alle weiteren Ziegeldaten sind bereits im Programm. Für die einzelnen Ziegelkennwerte wird auf die Technischen Produktdaten oder auf die Datenblätter verwiesen, welche unter www.wienerberger.at heruntergeladen werden können.



Der Porotherm 20-40 SBZ Plan erfüllt für den Fall einer Erdbebenbemessung die geforderte Mindestwanddicke nach ÖNORM EN 1998-1 nicht.

2.2.3 Beton

Die Eingabe der Betongüte erfolgt über ein Auswahlfeld und ist durch die Anwendungsgrenzen des Gutachtens für die Verbundsteinfestigkeit gegeben. Für die Bemessung darf als maximale charakteristische Dauerfestigkeit f_{ck} des Füllbetons der Wert der Betonklasse C20/25 angesetzt werden. Bei zeitgleichem Betonieren der Wand und der Decke sollte die gleiche Betongüte verwendet werden. Wird die Wand zu einem früheren Zeitpunkt hergestellt, können auch verschiedene Betongüten verwendet werden.

2.2.4 Bewehrung

Die Eingabe der Bewehrung ist in vier Abschnitte unterteilt: Bewehrungsgüte, Randbewehrung, Hauptbewehrung und Schubbewehrung.

Für eine bessere Übersicht über die Eingabe wird auch eine Systemskizze der Bewehrungsanordnung (siehe Abbildung 2.3) im Anschluss an die Eingabefelder angeboten.

2.2.4.1 Bewehrungsgüte

Die ÖNORM EN 1992-1-1 gibt für Stabbewehrungen eine Fließgrenze von mindestens 400 N/mm² vor. Die empfohlene Bewehrungsgüte ist B 550 B und sollte, wenn möglich, auch eingehalten werden.

2.2.4.2 Randbewehrung

Im Bereich der Randbewehrung kann die Bewehrung für die Wandenden eingegeben werden. Durch die konstruktiven bzw. normativen Anforderungen ist hier meist ein höherer Stahlquerschnitt erforderlich. Neben dem Stabdurchmesser, welcher mittels der Auswahlliste festgelegt wird, kann die Anzahl

1.1.3 Beton		1.1.5 Randbewehrung	
Betongüte	C20/25	Randbewehrung	Ø 8
1.1.4 Stahl		Anzahl	4
Streckgrenze	f_{yk} 550 N/mm ²	gewählte Bewehrungsfläche	A_s 2,01 cm ²
	f_{yd} 478,26 N/mm ²	Mindestbewehrung	$A_{s,min}$ 2,00 cm ²
1.1.6 Hauptbewehrung		1.1.7 Schubbewehrung	
Hauptbewehrung	Ø 8	Schubbewehrung	Ø 8
Felder	jedes 2 Feld bewehrt	Felder	jede 2 Schar bewehrt
Anzahl	2 Stk.	Anzahl	2 Stk.
gewählte Bewehrungsfläche	A_s 12,06 cm ²	gewählte Bewehrungsfläche	A_{sw} 5,53 cm ²
Mindestbewehrung	$A_{s,min}$ 10,00 cm ²	Mindestbewehrung	$A_{sw,min}$ 3,44 cm ²
Systemskizze			

Abb. 2.3: Eingabebereich der Bewehrung

der Bewehrungsstäbe eingeben werden. Die möglichen Eingabewerte für die Anzahl wurden dabei mit 0, 2 oder 4 im Programm festgelegt.

2.2.4.3 Hauptbewehrung

Die Eingabe der Hauptbewehrung erfolgt analog zu jener der Randbewehrung. Für eine wirtschaftlichere Bewehrung verfügt der Eingabebereich auch noch über die Auswahlmöglichkeit der bewehrten Felder. Damit kann die Bewehrung in jedem zweiten Betonkanal ausgeschaltet werden.

2.2.4.4 Schubbewehrung

Die Eingabe der Hauptbewehrung erfolgt analog zu jener der Hauptbewehrung.

2.2.5 Einwirkungen

1.2 Einwirkungen		1.3 Berechnungsgrundlagen	
1.2.1 Lasten in Wandrichtung		1.3.1 Berechnungsparameter	
Normalkraft	N_{ed} 100,00 kN	Berechnungsnorm	EN 1996-1-1
Exzentrizität der Normalkraft	$e_{N,ed}$ 0,00 m	nationales Dokument	B 1996-1-1
		Anhang J	<input checked="" type="checkbox"/>
Horizontalkraft	V_{ed} 50,00 kN	Berechnungsnorm	EN 1998-1-1
		Berechnungsnorm	B 1998-1-1
		Erdbeben	<input type="checkbox"/>
		plastische Berechnung zulassen	<input checked="" type="checkbox"/>

Abb. 2.4: Eingabe der Einwirkungen

Die Definition der Belastung erfolgt über die Eingabe der Normalkräfte in Wandrichtung und ist in Abbildung 2.4 dargestellt. Dazu wird die Normalkraft der zu bemessenden Wand auf Bemessungsniveau mit der dazugehörigen Exzentrizität sowie die Horizontalkraft auf Bemessungsniveau auf Höhe des Wandkopfes eingegeben. Dabei entspricht eine positive Exzentrizität einer Verschiebung der Normalkraft weg von der Horizontalkraft. Die Eingabe kann mit Hilfe der Abbildung 2.5 kontrolliert werden. Um die unterschiedlichen Versagensformen und den positiven Einfluss der Normalkraft auf die Tragfähigkeit der Wand berücksichtigen zu können, ist es nötig, sowohl die Berechnung für den Lastfall minimale Auflast als auch maximale Auflast durchzuführen. Eventuell einwirkende Momente am Wandkopf sind statisch äquivalent auf Normalkräfte umzurechnen.

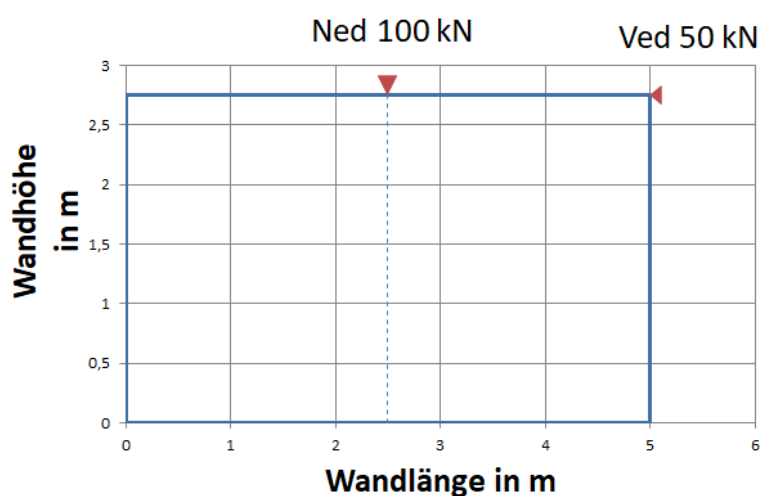


Abb. 2.5: Kontrolle der Einwirkungen

Aus den Eingaben wird jeweils für den Berechnungspunkt Wandkopf und Wandfuß das vorliegende Biegemoment auf Grundlage eines Kragarms berechnet. Das Eigengewicht der Wand wird dabei nicht berücksichtigt.

2.2.6 Berechnungsgrundlagen

Im Abschnitt Berechnungsgrundlagen werden die verwendeten Berechnungsnormen angeführt. Wie in Abbildung 2.6 dargestellt, gibt es ein Auswahlfeld für die Erdbebenbemessung. Durch die Aktivierung werden die Grundlagen der ÖNORM EN 1998-1 und B 1998-1 in die Bemessung übernommen. Dies beinhaltet unter anderem die Anwendungsgrenzen, Mindestbewehrung und abgeminderte Teilsicherheitsbeiwerte auf der Materialeite.

Weiters gibt es auch eine Auswahlmöglichkeit, den Anhang J der ÖNORM EN 1996-1-1 zu berücksichtigen. Dieser darf für bewehrte Füllbetonwände angesetzt werden, um die Schubtragfähigkeit im Bereich niedriger Auflasten zu erhöhen.

Um im Bereich von hohen Auflasten die Tragfähigkeit zu erhöhen, wird eine plastische Berechnung im Programm zugelassen. Durch Abwählen des Feldes kann die plastische Berechnung unterdrückt werden und es wird für die Ermittlung der Schubfestigkeit nur mit einer linear-elastischen Span-

nungsverteilung gerechnet. Die Momententragfähigkeit wird allerdings weiterhin mit dem plastischen Spannungsblock berechnet.

1.3 Berechnungsgrundlagen	
1.3.1 Berechnungsparameter	
Berechnungsnorm	EN 1996-1-1
nationales Dokument	B 1996-1-1
Anhang J	<input checked="" type="checkbox"/>
Berechnungsnorm	EN 1998-1-1
Berechnungsnorm	B 1998-1-1
Erdbeben	<input type="checkbox"/>
plastische Berechnung zulassen	<input checked="" type="checkbox"/>

Abb. 2.6: Eingabe der Berechnungsparameter

2.3 Kurzübersicht

Die Kurzübersicht (siehe Abbildung 2.7) gibt eine Zusammenfassung der Ergebnisse. Hier finden Sie in diesem Bereich die aufnehmbare Horizontalkraft und den Ausnutzungsfaktor für den eingegebenen Bemessungsfall.



Abb. 2.7: Kurzübersicht der Ergebnisse

Darauffolgend ist das Normal-Querkraft-Interaktionsdiagramm für den eingegebenen Bemessungsfall dargestellt. Hiermit kann schnell abgeschätzt werden, welche Kräfte von der Konstruktion aufgenommen werden können.

- ✓ Solange der Punkt innerhalb der Widerstandslinie liegt, ist der Nachweis der Tragfähigkeit erfüllt.

2.4 Ergebnisse

Im Bereich Ergebnisse sind abschließend die Eingabe-, Zwischenwerte und Endergebnisse im Detail aufgelistet. Um die Berechnung nachvollziehbar zu machen, ist ein Verweis zu den verwendeten Formeln angegeben.

Für eine genauere Beschreibung des Berechnungsvorganges wird auf die Unterlagen von Abschnitt 1.1 verwiesen.

2.2.9 Schubtragfähigkeit Wandkopf			
Berechnung als	vert. und horiz. bewehrtes Mauerwerk		
Schubwiderstand 1	V_{Rd1}	229,4 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Schubwiderstand 2	V_{Rd2}	238,0 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Schubwiderstand	f_{vd}	0,18 N/mm ²	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
überdrückte Länge	l_c	5,00 m	
Bemessungskraft	V_{ed}	50,0 kN	
Bemessungswiderstand	V_{Rd}	467,4 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Ausnutzungsfaktor		0,11	
2.2.9 Schubtragfähigkeit Wandfuß			
Berechnung als	vert. und horiz. bewehrtes Mauerwerk		
Schubwiderstand 1	V_{Rd1}	229,4 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Schubwiderstand 2	V_{Rd2}	238,0 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Schubwiderstand	f_{vd}	0,18 N/mm ²	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
überdrückte Länge	l_c	3,38 m	
Bemessungskraft	V_{ed}	50,0 kN	
Bemessungswiderstand	V_{Rd}	467,4 kN	lt. EN 1996-1-1 6.7.2
Ausnutzungsfaktor		0,11	
2.2.2 Normalkraftwiderstand			
Bemessungskraft	N_{ED}	100,00 kN	
Abminderungsfaktor	ϕ	1,0	
Bemessungswiderstand	N_{Rd}	5177,5 kN	lt. EN 1996-1-1 6.1.2.1 (2)
Ausnutzungsfaktor		0,02	
2.2.9 Normalkraft und Biegemoment			
Berechnung als	vert. und horiz. bewehrtes Mauerwerk		
maximale Stahldehnung	$\epsilon_{su,max}$	0,01 %	lt. EN 1996-1-1 6.6.2 (5)
Fließdehnung	ϵ_{sy}	0,0023	
Beiwert Spannung Mauerwerk	η_f	1,0	
maximale Mauerwerksdehnung	ϵ_{mu}	0,0035	lt. EN 1996-1-1 6.6.1 (1)
Moment aus Kräften	$M_{Ed,1}$	137,5 kNm	
Zusatzmoment Schlankheit	M_{Ed}	0,0 kNm	lt. EN 1996-1-1 6.6.2 (7)
Bemessungsmoment	M_{Ed}	137,5 kNm	
Normalkraft	N_{Ed}	100,0 kN	
Bemessungswiderstand	M_{Rd}	1021,9 kNm	
Ausnutzungsfaktor		0,13	
Moment als Horizontalkraft	V_{Ed}	371,6 kN	

Abb. 2.8: Detaillierte Ausgabe der Ergebnisse

2.4.1 Schubtragfähigkeit

Auf Grundlage der Mauerwerksart wird die Schubtragfähigkeit für den eingegebenen Fall berechnet. Grundlage der Berechnung ist die ÖNORM EN 1996-1-1. Durch die Abhängigkeit der Schubfestigkeit des Mauerwerks von der wirkenden Normalkraft ist der geführte Nachweis nur für betrachteten Normalkraftfall maßgebend. Weiters wird die überdrückte Wandlänge sowohl am Wandkopf als auch am Wandfuß berechnet, da diese stark voneinander abweichen können. Am Wandkopf ist sie in der Regel gleich der Wandlänge. Am Wandfuß ist die überdrückte Wandlänge sehr stark von der einwirkenden Horizontalkraft abhängig und kann in einigen Fällen auch nur ein Bruchteil der Wandlänge sein. Um ein Steinversagen aufgrund von hohen Spannungsspitzen zu vermeiden, wird die zulässige Spannung am Wandende mit der Wanddruckfestigkeit begrenzt. Die Spannungsverteilung, ist in Abbildung 2.9 dargestellt und wird je nach ausgewählter Berechnungsmethode linear-elastisch oder ideal-plastisch angenommen.

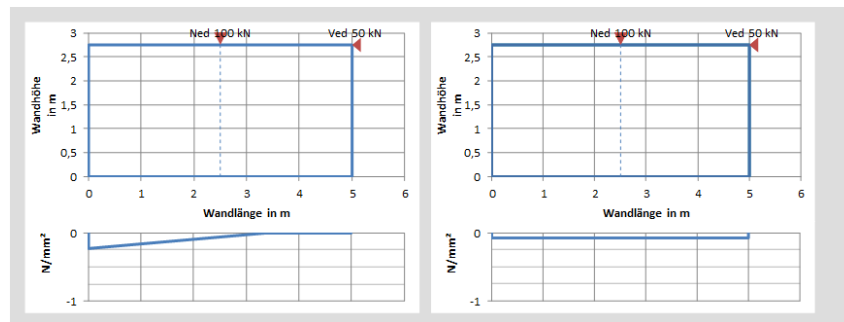


Abb. 2.9: Spannungsverteilung über die überdrückte Länge

2.4.2 Normalkraftwiderstand

Die Normalkrafttragfähigkeit wird unter Zuhilfenahme des Gutachtens Verbundsteinfestigkeit Planziegel-Füllmauerwerk berechnet. Es besteht die Möglichkeit, einen Abminderungsfaktor aus vorangegangener Berechnung einzugeben, um die Interaktionskurven zu begrenzen.



Das Programm ist für die Querkraftbemessung ausgelegt und bietet keinen Nachweis der Normaltragfähigkeit. Diese ist mittels geeignetem Nachweis gesondert zu berechnen.

2.4.3 Normalkraft und Biegemoment

Die kombinierte Beanspruchung von Normalkraft und Biegemoment führt zu einer Überlagerung der Spannungen aus den einzelnen Einwirkungen. Daher wird auf Grundlage der Anwendungsgrenzen für bewehrtes Mauerwerk nach ÖNORM EN 1996-1-1 eine Momenten-Normalkraft-Interaktion analog zum klassischen Betonbau erstellt. Die Berechnung des Querschnittwiderstandes erfolgt auf Spannungsebenen durch Variation des Verzerrungszustandes und Formulieren der Gleichgewichtsbedingungen. Zur Berechnung der Mauerwerkskraft wird das Blockdiagramm nach ÖNORM EN 1992-1-1 verwendet. Für eine vereinfachte Berechnung wird die vertikale Bewehrung gebündelt im Mittelpunkt jedes Kanales angenommen.

2.5 Drucken der Ergebnisse

Das Drucken der Ergebnisse funktioniert wie gewohnt unter Datei -> Drucken oder mit den Shortcut Strg+P. Die Standardeinstellung für diese Datei gibt einen Ausdruck in A4-Hochformat über 5 Seiten aus.

Dabei ist auf jeder Seite der Protokollkopf für eine bessere Zuweisung abgedruckt. Einen Testausdruck finden Sie im Beispiel im Anhang.

2.6 Fehlermeldungen

Neben dem Eingabebereich befinden sich die Hinweis- und Fehlermeldungen, welche nach der Eingabe kontrolliert werden sollten. Die Tabellen 2.1 – 2.2 zeigen Auflistungen der möglichen Fehler- und Hinweismeldungen des Programmes.



Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass vereinzelt andere Fehler auftreten. Daher sind für die Bedienung des Programmes einschlägige statische Kenntnisse erforderlich. Es wird dringend empfohlen, sich vor der Anwendung mit den verwendeten Normen vertraut zu machen.

Tab. 2.1: Liste der Hinweismeldungen

Mindesthauptbewehrung unterschritten	Die eingebene Bewehrungsfläche ist zu klein, damit eine Betrachtung als eingefasstes bzw. bewehrtes Mauerwerk angesehen werden kann.
Mindestschubbewehrung unterschritten	Die eingegebene Schubbewehrungsfläche ist zu klein und wird in der Berechnung nicht berücksichtigt.
Wandlänge über 5 m	Ab einer Wandlänge von 5 m ist bei eingefassten Mauerwerk auch eine konstruktive Bewehrung in Feldmitte erforderlich.

Tab. 2.2: Liste der Fehlermeldungen

Schlankheit > 27	Wandhöhe zu groß für die Wanddicke
Maximale Wandlänge \leq 10 m	Programmgrenze für die Wandlänge liegt bei 10 m
Ganze Wand unter Zug	Horizontalkraft zu groß bzw. Auflast zu gering
Keine horizontale Bewehrung bei Randbewehrung	Schubbewehrung wird bei eingefasstem Mauerwerk nicht berücksichtigt
Länge als Vielfaches von 0,25 m	Für den Porotherm 25-50 SBZ Plan und den Porotherm 25-50 SBZ.i Plan ist die Wandlänge als Vielfaches von 0,25 m einzugeben. Bedingt durch die vertikalen Kanäle.
Länge als Vielfaches von 0,20 m	Für den Porotherm 20-40 SBZ Plan und den Porotherm SBZ.i Plan ist die Wandlänge als Vielfaches von 0,20 m einzugeben. Bedingt durch die vertikalen Kanäle.
Exentrität Normalkraft außerhalb der Wand	Kraftangriffspunkt der vertikalen Kraft liegt außerhalb der Wand.
Wandhöhe als Vielfaches von 0,25 m	Die Wandhöhe ist an die Scharenhöhe von 25 cm gebunden.
Längen-Höhen-Verhältnis nicht eingehalten	Unbewehrte und eingefasste Mauerwerkspfeiler haben bei der Erdbebenbemessung ein Längen-Höhenverhältnis zu erfüllen.
Randbewehrung im Erdbebenfall mindestens 300 mm ²	Laut ÖNORM EN 1998-1 ist an den Mauerwerksenden mindestens ein Bewehrungsquerschnitt von 300 mm ² vorzusehen.
Randbewehrung mindestens 200 mm ²	Laut ÖNORM EN 1996-1-1 ist an Wandenden mindestens ein Bewehrungsquerschnitt von 200 mm ² vorzusehen.
Schlankheit > 15	Die maximale Schlankheit für ein primäres Bauteil im Erdbebenfall ist 15.