

Diploma Thesis

PushOver – Method for existing plain masonry *a comparison of Wilhelminian style buildings in step with actual practice*

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

Diplomarbeit

PushOver – Verfahren für unbewehrtes Bestandsmauerwerk *Vergleich von praxisnahen Nachweisen für Gründerzeithäuser*

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

von

Nino Huemer, BSc

Matr.Nr.: 0925736

unter der Anleitung von

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Andreas Kolbitsch

Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich: Hochbaukonstruktionen und Bauwerkserhaltung
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13/208-02, 1040 Wien, Österreich

Wien, im 25. Februar 2019

Vorwort

Die Tatsache, dass diese Arbeit in der vorliegenden Form und nach einem subjektiven Jahrzehnt existiert, wurde durch viele Personen beeinflusst.

Zu aller erst gilt mein besonderer Dank Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Andreas Kolbitsch, der zum Ende hin persönlich die Betreuung dieser Arbeit übernahm, sowie den MitarbeiterInnen des Instituts für Hochbau und Technologie, die mich auch bereits bei meiner Bachelorarbeit bestens unterstützt haben.

Bedanken möchte ich mich auch bei meinen Eltern, die es mir ermöglichten, meinen Bildungsweg frei zu wählen und mir stets mit Worten, Taten - und nicht zuletzt finanziell - zur Seite standen. Ein weiterer Dank gilt meiner Freundin und ihrer Familie, die mich seit dem ersten Tag bis zur Fertigstellung dieser Arbeit motivierten und mich mit Humor begleiteten.

Das technische Wissen und die praktische Erfahrung zusätzlich zu meiner universitären Ausbildung verdanke ich meinem Chefs und ArbeitskollegInnen der Firma KPPK ZT GmbH in Wien, die mir im Zuge meines Dienstverhältnisses die für diese Schrift benötigten Programme nicht nur näher gebracht, sondern diese auch zur Verfügung gestellt haben. Zusätzlich standen die MitarbeiterInnen jederzeit mit ihrer Erfahrung sowie ihrem gesammelten Wissen zur Seite, ein herzliches Danke hierfür.

Zum Schluss möchte ich noch meine beiden Katzen erwähnen, die unser Haus mit viel Chaos und Zuneigung füllen. Auch wenn sie mich das eine oder andere Mal vom Schreiben abgehalten haben, waren diese Auszeiten genauso wichtig, um mit neu gefundener Energie und frischem Elan weiter zu arbeiten.

Kurzfassung

Die Stadt Wien ist weltbekannt für ihr kulturelles Erbe, nicht nur historisch und musisch, sondern auch für ihr Stadtbild. Damit diese typischen alten Fassaden der Grunderzeithäuser im Original erhalten bleiben und weiterhin den Zuwachs an Einwohnern ermöglichen, werden die Gründerzeithäuser um- und ausgebaut.

Der Ausbau beinhaltet beispielsweise eine Aufstockung auf den Bestand, oder das Zusammenlegen von alten Wohnungen um den Anforderungen an moderne Größen- und Zimmeraufteilungen gerecht zu werden. Somit werden die alten Gebäude Wiens mit ihrem Charme und typischen Raumhöhen adaptiert und modernisiert. Im Jahr 2009 wurden die Regeln verschärft und erst durch eine Überarbeitung des Eurocodes 2013 gab es eine neue Betrachtungsweise. Von nun an musste das gesamte Objekt untersucht werden, inklusive einer Risikoanalyse im Hinblick der Personenanzahl vor und nach dem Um- bzw. Ausbau.

In dieser Arbeit wird ausschließlich auf die Berechnung des Bestandes eingegangen. Der momentane Stand der Technik lässt verschiedene Methoden zu, um diesen Bestand nachzuweisen. Hier wird das PushOver Verfahren mit einem dafür entwickelten Programm - 3muri (IngWare) – angewandt. Zusätzlich wird eine “Handrechnung” mit Hilfe einer Excel-Berechnung durchgeführt. Als dritte Variante wird das Ersatzkraftverfahren für die Bemessung herangezogen und die Beanspruchung mit Hilfe eines weit verbreiteten Programms in Ziviltechniker-Büros berechnet - RFEM (Dlubal).

Der wissenschaftliche Blick rückt hier in den Mittelpunkt. Das PushOver Verfahren steht im Raum, mit der nächsten Überarbeitung des zugehörigen Eurocodes, als Stand der Technik für die Berechnung gegen Erdbeben zu werden. Wie schlägt sich ein dafür entwickeltes Programm gegenüber einer reinen Berechnung nach Norm und die momentane Methode mittels Ersatzkraftverfahren?

In diesem Sinne ist eine Untersuchung aus Sicht der Praxis und der Wissenschaft interessant. Der Eurocode soll die Berechnungen nicht unnötig komplex gestalten, jedoch genug Sicherheiten und Nachweise beinhalten, um die Sicherheit der Tragfähigkeit im Ausnahme- zustand Erdbeben zu gewährleisten.

Abstract

The city of Vienna is world-famous for its history, musical heritage and the beautiful city landscape. The old buildings characterize significantly the typical Viennese flair which creates a unique atmosphere for tourists and locals alike. In order to preserve these typical old facades and manage to provide a living space for the increasing population the Wilhelminian style houses are being remodeled and expanded on. The typical changes can include a new floor on top of the existing or a few merging of old apartments into one to meet the requirements of modern sizes and room layouts. Thus modernizing the old buildings of Vienna with their charm and typical room heights.

With the year 2009 new rules tightened and only by a revision of the Eurocode in 2013 there was a new approach of design again with more freedom and execution of the conversions. From now on the entire object had to be examined thoroughly. This includes a risk analysis with regard to the number of persons before and after the remodeling.

This document deals with the calculation of buildings in their present form, thus the condition before the planned conversion. The current state of the art allows various methods to prove this. There is the PushOver Method with a certain developed program - 3muri (IngWare), which is also carried out with a manual calculation with the help of an Excel spreadsheet. As a third variant, the Substitute Force Method is used for the test against earthquakes using a widely used program in civil engineering offices - RFEM (Dlubal).

The comparison of the methods is very interesting from several perspectives: Which of them is the quickest and saves resources and thus money in practice? Which results are too much on the safe side and may not allow the desired result or lead to additional costs for the customer? The PushOver process is on its way to be added into the next revision of the associated Eurocode as state of the art for calculation for earthquakes. How does a developed program compare to a pure calculation according to norm, or against the current Substitute Force Method?

In this sense an investigation from the point of view of practice and science is in order. The Eurocode is not intended to make the calculations unnecessarily complex, but to include sufficient security to ensure the safety against the probable chance of an earthquake.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
Kurzfassung	5
Abstract	7
1. Einleitung	11
1.1. Motivation	11
1.2. Gründerzeithäuser im Wiener Becken	11
1.3. normative Entwicklung	12
1.4. Das PushOver Verfahren	13
1.5. Analyse der Berechnungsmethode	13
2. normative Grundlagen	14
3. Methodik	15
3.1. Berechenmethoden	15
3.1.1. PushOver Programm - 3muri	15
3.1.2. Ersatzkraftverfahren nach EC inkl. RFEM	15
3.1.3. PushOver nach EC via Handrechnung	16
3.2. Vergleichbarkeit	16
4. Grundlagenermittlung	17
4.1. Systembetrachtung	17
4.1.1. Deckenmodellierung	17
4.2. Lastannahmen / Beanspruchungen	18
4.2.1. Eigen- und Ausbaulasten	18
4.2.2. Nutzlasten	18
4.2.3. Lasten aus dem Dachgeschoss	18
4.3. Mauerwerkseigenschaften	18
4.4. Erdbebenklassifizierung	19
5. Kapazitätsermittlung	20
5.1. 3muri	20
5.1.1. 3muri / symmetrischer Grundriss	22
5.1.2. 3muri / unsymmetrischer Grundriss	24
5.2. RFEM	27
5.2.1. RFEM / symmetrischer Grundriss	29
5.2.2. RFEM / unsymmetrischer Grundriss	31
5.3. Handrechnung	32
5.3.1. Handrechnung / symmetrischer Grundriss	33
5.3.2. Handrechnung / unsymmetrischer Grundriss	34
5.4. Kapazitäts Ermittlung	34
5.4.1. Nachweise	35
5.4.2. PushOver	36
5.5. Gegenüberstellung	38
6. Schlussfolgerung	41

A. Berechnung	43
A.1. Wand	43
A.2. Pfeiler	47
B. Ergebnisse	48
B.1. 3muri	48
B.2. RFEM	52
B.3. Handrechnung	61
B.3.1. Massenermittlung	61
B.3.2. Kapazitätsermittlung	68

Abbildungsverzeichnis

1. Grundrisse, Links symetrisch und Rechts unsymetrisch	17
2. Modellparameter	20
3. Links: MWK-Kennwerte; Rechts: seismische Belastung	20
4. Eingabe der schubweichen Tramdecke in 3muri	21
5. Grundriss der Wände & Knoten / Nummerierung - Bestand Ebene 3 (2.OG)	22
6. maßg. Analyse (20) des symmetrischen Grundrisses	23
7. Grundriss der Wände & Knoten / Nummerierung - Bestand Ebene 3 (2.OG)	25
8. Legende zur Auswertung	25
9. maßg. Analyse (12) des unsymmetrischen Grundrisses	26
10. MWK-Kennwerte und Flächen-Einstellungen im RFEM	28
11. Träme und Gelenkeinstellungen im RFEM	29
12. Nummerierung der Wände des symmetrischen Grundrisses	29
13. 3D Ansicht des symmetrischen Modells inkl. Erdbebenkräfte in X-Richtung	30
14. Nummerierung der Wände des symmetrischen Grundrisses	31
15. 3D Ansicht des unsymmetrischen Modells inkl. Erdbebenkräfte in X-Richtung	32
16. gewählter Grundriss mit Abschnitt für Wand in Rot und Pfeiler in Grün	43
17. Wand 21, unter maßgebenden Schritt der Analyse 12 inkl. Legende	44
18. Schnitt in der Wand 16 im 4.OG, oberer Verlauf n_y und unten n_x in der Lastkombination LK1 (X=100,0% & Y=0,0%)	45
19. symmetrischer Grundriss, 3D-Modell von beiden Seiten	48
20. symmetrischer Grundriss, Links: Mauern im Erdgeschoss inklusive der darauf folgenden Deckenebenen; Rechts: Einteilung der Marko-Elemente	48
21. symmetrischer Grundriss, maßg. Analyse der Y-Richtung (9) des symmetrischen Grundrisses	49
22. unsymmetrischer Grundriss, 3D-Modell von beiden Seiten	50
23. unsymmetrischer Grundriss, Links: Mauern im Erdgeschoss inklusive der darauf folgenden Deckenebenen; Rechts: Einteilung der Makro-Elemente	50
24. symmetrischer Grundriss, maßg. Analyse der X-Richtung (12) des symmetrischen Grundrisses	51
25. symmetrischer Grundriss, max. Verschiebung in X- (Links) & Y- (Rechts) Richtung	52
26. unsymmetrischer Grundriss, max. Verschiebung in X- (Links) & Y- (Rechts) Richtung	52

Tabellenverzeichnis

1. Auswertung der PushOver-Analyse - symmetrischer Grundriss	24
2. Auswertung der PushOver-Analyse - unsymmetrischer Grundriss	27

3.	Zusammenfassung Ermittlung der Ersatzkraft - symmetrischer Grundriss	30
4.	maßgebende Wände des symmetrischen Grundrisses	30
5.	Zusammenfassung Ermittlung der Ersatzkraft - unsymmetrischer Grundriss	31
6.	maßgebende Wände des unsymmetrischen Grundrisses	32
7.	MODE 1 des symmetrischen Grundrisses	33
8.	maßgebende Wände des symmetrischen Grundrisses	33
9.	MODE 1 des unsymmetrischen Grundrisses	34
10.	maßgebende Wände des unsymmetrischen Grundrisses	34
11.	Vergleich der Auswertungen mittels Kapazität	38
12.	Vergleich der Verschiebungen [mm] der maßgebenden Richtungen	39
13.	RFEM, Kapazitätsermittlung des EG - symmetrischer Grundriss	53
14.	RFEM, Kapazitätsermittlung des 1.OG - symmetrischer Grundriss	54
15.	RFEM, Kapazitätsermittlung des 2.OG - symmetrischer Grundriss	55
16.	RFEM, Kapazitätsermittlung des EG - unsymmetrischer Grundriss	56
17.	RFEM, Kapazitätsermittlung des 1.OG - unsymmetrischer Grundriss	57
18.	RFEM, Kapazitätsermittlung des 2.OG - unsymmetrischer Grundriss	58
19.	RFEM, Kapazitätsermittlung des 3.OG - unsymmetrischer Grundriss	59
20.	RFEM, Kapazitätsermittlung des 4.OG - unsymmetrischer Grundriss	60
21.	Excel, Massenermittlung des EG - symmetrischer Grundriss	61
22.	Excel, Massenermittlung des 1.OG - symmetrischer Grundriss	62
23.	Excel, Zusammenfassung der Massenermittlung - symmetrischer Grundriss	62
24.	Excel, Massenermittlung des 2.OG - symmetrischer Grundriss	63
25.	Excel, Massenermittlung des EG - unsymmetrischer Grundriss	64
26.	Excel, Massenermittlung des 1. & 2.OG - unsymmetrischer Grundriss	65
27.	Excel, Massenermittlung des 3.OG - unsymmetrischer Grundriss	66
28.	Excel, Massenermittlung des 4.OG - unsymmetrischer Grundriss	67
29.	Excel, Zusammenfassung der Massenermittlung - unsymmetrischer Grundriss	68
30.	Excel, Kapazitätsermittlung des 2.OG - symmetrischer Grundriss	69
31.	Excel, Kapazitätsermittlung des 1.OG - symmetrischer Grundriss	70
32.	Excel, Kapazitätsermittlung des EG - symmetrischer Grundriss	71
33.	Excel, Kapazitätsermittlung - symmetrischer Grundriss	72
34.	Excel, Pfeiler Kapazitätsermittlung - symmetrischer Grundriss	73
35.	Excel, Kapazitätsermittlung via PushOver (1/2) - symmetrischer Grundriss	74
36.	Excel, Kapazitätsermittlung via PushOver (2/2) - symmetrischer Grundriss	75
37.	Excel, zu Kapazitätsermittlung - symmetrischer Grundriss	76
38.	Excel, Kapazitätsermittlung des 4.OG - unsymmetrischer Grundriss	78
39.	Excel, Kapazitätsermittlung des 3.OG - unsymmetrischer Grundriss	79
40.	Excel, Kapazitätsermittlung des 2.OG - unsymmetrischer Grundriss	80
41.	Excel, Kapazitätsermittlung des 1.OG - unsymmetrischer Grundriss	81
42.	Excel, Kapazitätsermittlung des EG - unsymmetrischer Grundriss	82
43.	Excel, Kapazitätsermittlung (1/2) - unsymmetrischer Grundriss	83
44.	Excel, Kapazitätsermittlung (2/2) - unsymmetrischer Grundriss	84
45.	Excel, Pfeiler Kapazitätsermittlung (2/2) - unsymmetrischer Grundriss	84
46.	Excel, Pfeiler Kapazitätsermittlung (1/2) - unsymmetrischer Grundriss	85
47.	Excel, Kapazitätsermittlung via PushOver (1/2) - unsymmetrischer Grundriss	86
48.	Excel, Kapazitätsermittlung via PushOver (2/2) - unsymmetrischer Grundriss	87
49.	Excel, zu Kapazitätsermittlung - unsymmetrischer Grundriss	88

1. Einleitung

1.1. Motivation

In Wien werden die noch bebaubaren Flächen immer mehr zur Mangelware, vor allem im Stadtinneren. Dadurch wird immer mehr der Bestand durch Dachbodenausbauten und Aufstockungen vergrößert, um Platz zu schaffen für neue, moderne Immobilien.

Diese Ausbauten müssen, neben den Untersuchungen der Tragfähigkeit, einen Kapazitätsnachweis erfüllen (Stabilitätsnachweis im Erdbebenfall). Die Berechnungen hierfür werden in der Praxis meist in aufwendigen und komplizierten Excel-Tabellen nach Eurocode berechnet, oder nach der Ermittlung von Ersatzkräften in einem Finiten-Elementen- Programm. Vereinzelt kommt auch ein Programm mit der FME-Methode bei der Berechnung von Mauerwerksgebäuden zum Einsatz.

Ein direkter Vergleich dieser drei Methoden ist vor allem unter dem Aspekt des Zeitaufwandes, der verschiedenen Schwächen und Stärken, jedoch auch wegen einer direkten Gegenüberstellung der verschiedenen Ergebnisse hoch interessant.

Durch die weitere Überarbeitung des Eurocodes wird in Betracht gezogen, das PushOver Verfahren als Standard der Technik bei der Berechnung gegen Erdbeben festzulegen. Die Möglichkeiten, ein Gebäude mit diesem Verfahren mit EDV-Hilfe zu berechnen, sind momentan noch gering.

Der hier geführte Vergleich von zwei Grundrissen mit zwei Methoden, der PushOver Berechnung und einem gewöhnlichen Ersatzkraftverfahren, soll die Unterschiede der beiden Varianten zeigen. Die Excel-Berechnung nach Norm, das Programm und dessen Berücksichtigung der exakten Geometrie und der Steifigkeiten, oder der bisherige meist verwendete Standard, das Ersatzkraftverfahren.

1.2. Gründerzeithäuser im Wiener Becken

Ein Großteil der Altstadt bzw. die Umgebung rund um den ersten Bezirk Wiens entstand in der Österreichisch-Ungarischen Monarchie Ende des 19. Jahrhunderts. Im gleichen Zeitraum war die Gründerzeit in Österreich an seinem Höhepunkt und viele Häuser, die heute das übliche Stadtbild Wiens prägen, wurden in diesem Zeitrahmen errichtet.

Die Gründerzeithäuser wurden im allgemeinen in gleicher Bauweise ausgeführt: Normalformatziegel für das tragende Mauerwerk, Trennmauern sind teilweise auch aus Schutt hergestellt worden, die Decken aus Tramdecken, wobei die letzte Decke als Dippelbaumdecke ausgeführt wurde. Die tragenden Elemente sind die Außenmauern (inkl. seitlicher Feuermauern), die den Grundriss umschließen und eine Mittelmauer, die das Gebäude trennt. Die Einbindung der Decken in das Mauerwerk ist meist nicht zugänglich, somit werden alle Decken als schubweich angenommen, um auf der sicheren Seite zu liegen.

Als Erschließung ist oft in den Hof versetzt das Stiegenhaus angebracht, dies kann jedoch auch mit stärkeren Mauern zwischen einer Mittel- und Außenmauer liegen. Zusätzlich sind außerhalb angebrachte WC-Anlagen bei Gründerzeithäusern üblich.

Das Wiener Becken beginnt mit den Alpen und zieht sich nordöstlich durch Österreich bis zu den Karpaten, genauer die äußeren Westkarpaten in der Slowakei. Im Hinblick auf Erdbebensicherheit ist das südliche Wiener Becken relevant, für Wien ist dies das Gebiet südlich der Donau.

Von der Donau hinab über den Semmering bis zum Gebiet vom oberen Mürztal liegt eine der seismisch aktivsten Regionen Österreichs. Größere Erdbeben bis zu einer Magnitude von 6,2 nach Richter (Neulengbach 1590) sind in Nähe von Wien keine Einzelfälle, und sind auch ein Mitgrund, warum die Normen mit der Zeit schärfere Nachweise diesbezüglich forderten.

1.3. normative Entwicklung

Die aktuellen Normen gelten im Rechtswesen für den Zeitpunkt der Errichtung eines Bauwerkes als “Stand der Technik und sind die Mindestanforderungen, an denen man sich orientiert. Die Zeit blieb auch bei den Normen nicht stehen und so änderte sich auch der Stand der Technik nach neuen Erkenntnissen durch Experimente oder nach Schadens- bzw. Versagensfällen. Nachfolgend werden kurz die primären Anforderungen an einen Planer, basierend auf der technischen Entwicklung über die letzten 150 Jahre, aufgezeigt.

Hinweis: In der Aufzählung unterhalb wird nicht auf jeweilige Unterteilungen des Eurocode- des geachtet. Die angeführten Dokumente sind nur Teil 1 bzw. das Grundlagendokument, ohne dem jeweiligen nationalen Anhang und den restlichen Teilen.

- Verordnung des k.k. Ministeriums des Inneren vom 23. September 1859 (Bauordnung für die k.k. Reichshaupt- und Residenzstadt Wien)
- Normalien des Österreichischen Ingenieur- & Architektenvereines: Bestimmungen für die Belastung von Baukonstruktionen & Beanspruchungen von Baumaterialien, Wien 1902
- Österreichische Regierungsvorschrift vom 15. November 1907
- ÖNORM B 4000-3:1955, Berechnung & Ausführung der Tragwerke; allgemeine Grundlagen; Windlasten & Erdbebenkräfte
- ÖNORM B 4015-1:1979, Belastungsannahmen im Bauwesen; Erdbebenkräfte an nicht schwingungsanfälligen Bauwerken
- ÖNORM B 4014-1:1980, Belastungsannahmen im Bauwesen; statische Windkräfte
- ÖNORM B 4014-2:1994, Belastungsannahmen im Bauwesen – Dynamische Windwirkungen (schwingungsanfällige Bauwerke)
- Vornormen Eurocode (1995): ENV 1998-1-1, Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben
- ÖNORM EN 1998-1-1:2004, Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben
- ÖNORM EN 1998-1-1:2005, Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben
- ÖNORM EN 1998-1-1:2011, Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben, 2012 kam zu dieser Norm eine Änderung “1998-1/A1”
- ÖNORM EN 1998-1-1:2013, Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben
(zum Zeitpunkt der Verfassung dieser Schrift ist dies die aktuell gültige Norm)

Für die Beurteilung von bestehenden Bauwerken können noch zusätzliche oder ergänzende Regelungen zum aktuellen Eurocode geltend sein. Für die Tragfähigkeit bei bestehenden Hochbauten, die vor Einführung des Eurocodes errichtet wurden, gibt die ÖNORM B 4008-1 in Kombination mit der ÖNORM EN/B 1998-3. Mit Ende Juni 2009 war die Übergangsfrist vorbei und der Eurocode war ausschließlich der aktuelle Stand der Technik. Durch die neue Berechnung der Erdbebennachweise bei Umbauten wurden in Wien vorerst rund 400 Projekte auf Eis gelegt. Dies betraf hauptsächlich den Dachausbau von Gründerzeithäusern, was wiederum auf lange Sicht einen großen Verlust an bewohnbarer Fläche bedeutete, in einer Stadt, wo diese zur Mangelware wurde.

Es wurde eine Vorbemessung 2008 entwickelt, die den Spitznahmen “Dachboden light” bekam. Diese ließ zwar einen Dachbodenausbau zu, jedoch nur unter starken Einschränkungen, vor allem was die gestalterische Freiheit betraf. 2013 kam die von Vielen ersehnte Änderung der Norm: Ab sofort musste bei einem Umbau jeglicher Art das gesamte Objekt genauer überprüft werden, jedoch bekam man durch die ganzheitliche Betrachtung mehr Freiheiten in der Ausführung und einen positiven Nachweis.

Der Mehraufwand beinhaltet meistens ein Mauerwerksgutachten und diverse Ertüchtigungsmaßnahmen des Bestandes, wie zum Beispiel Verbunddecken, Stahlrahmen oder eine lokale Verbesserung des Mauerwerks. Diese Maßnahmen verbessern den Bestand, um das erhöhte Risiko durch den Umbau und die vermehrte Personenanzahl zu kompensieren.

1.4. Das PushOver Verfahren

In diesem Verfahren wird die Verformung auf das System aufgebracht und nicht eine zuvor ermittelte Belastung bzw. Ersatzkraft. Die Verformung wird stetig erhöht und die daraus resultierenden Kräfte berechnet, mit diesen Ergebnissen kann die Gebäudeduktilität durch den Zustand der Wände und Pfeiler festgelegt werden. Die PushOver Berechnung eignet sich besonders für Mauerwerks- und Mischbauten, weil darin das nichtlineare Verhalten von Mauerwerk berücksichtigt werden kann und damit zu weniger konservativen Ergebnissen führt.

Im Vergleich zu anderen Methoden kann mit diesem Verfahren eine schnellere Beurteilung der Erdbebensicherheit bestimmt werden. Dies reduziert den Zeitaufwand für die Tragwerksplanung und kann durch die genauere Betrachtung durch die nichtlinearität gegebenenfalls zu geringeren Baukosten führen.

1.5. Analyse der Berechnungsmethode

Es gibt verschiedene Methoden zur Berechnung der Erdbebenbemessung, jede läuft darauf hinaus, die Kräfte aus dem Erdbeben in das Gebäude zu leiten. Das Baumaterial, im Falle von Gründerzeithäusern meist Mauerwerk und Holzdecken, muss den Kräften standhalten können. Lokales Versagen ist erlaubt, jedoch muss das gesamte Gebäude den ermittelten Erdbebenerfüllungsfaktor erfüllen.

Dies inkludiert die üblichen Nachweise für das Mauerwerk über die Tragfestigkeit und Standsicherheit. Gegenüber dem heute üblichen Einsatz von Stahlbeton, hat Mauerwerk einen entscheidenden Nachteil: Es kann keine Zugkräfte übertragen. Es verhält sich durch seinen Aufbau (Verbund mit Mörtel) unter Belastung nicht-linear. Sprich, es besteht kein linearer Zusammenhang zwischen den wirkenden Kräften und den Verformungen, die das Mauerwerk erfährt. In anderen Worten, das Hooke’sche Gesetz ist nicht mehr gültig.

Nach der Ermittlung ist zu überprüfen, ob die Druck- und Schubtragfähigkeiten, die Nachweise gegen Gleiten und Kippen, positiv erfüllt sind. Zusätzlich ist die Einhaltung der maximalen Verschiebung nach Norm der letzten Geschossdecke einzuhalten.

Der schlechteste Nachweis in eine Richtung wird herangezogen und mit dem eigentlich zu erreichenden Wert in Relation gestellt. Die ergibt wiederum den Erdbebenerfüllungsfaktor und bestimmt den Widerstand des Gebäudes gegen das Norm-Erdbeben.

2. normative Grundlagen

Wie im Kapitel 1.3 bereits erwähnt, ist die ÖNORM B 4008-1 heranzuziehen. Somit sind vorliegende Normen, abhängig von den verwendeten Materialien in der Tragstruktur des zu betrachtenden Gründerzeithauses, die Grundlage bei der Betrachtung eines Gebäudes im Ereignis eines Erdbebens. Folgende Dokumente sind dabei heranzuziehen:

- ÖNORM B 1990-1, Eurocode – Grundlagen der Tragwerksplanung – Teil 1: Hochbau - Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1990 und nationale Ergänzungen
- ÖNORM B 1996-1-1, Eurocode 6 – Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk – Nationale Festlegungen zur ÖNORM EN 1996-1-1
- ÖNORM B 1998-1, Eurocode 8 – Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten – Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1998-1 und nationale Erläuterungen
- ÖNORM B 1998-3, Eurocode 8 – Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 3: Beurteilung und Ertüchtigung von Gebäuden – Nationale Festlegung zu ÖNORM EN 1998-3 und nationale Erläuterungen
- ÖNORM EN 1052-1, Prüfverfahren von Mauerwerk – Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit
- ÖNORM EN 1990, Eurocode – Grundlagen der Tragwerksplanung
- ÖNORM EN 1991 (alle Teile), Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke
- ÖNORM EN 1992-1-1, Eurocode 2 – Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- ÖNORM EN 1993-1-1, Eurocode 3 – Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- ÖNORM EN 1996-1-1, Eurocode 6 – Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk
- ÖNORM EN 1998-1, Eurocode 8 – Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten
- ÖNORM EN 1998-3, Eurocode 8 – Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 3: Beurteilung und Ertüchtigung von Gebäuden
- ÖVE/ÖNORM EN 61508-4, Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektronischer / programmierbarer elektronischer Systeme – Teil 4: Begriffe und Abkürzungen (IEC 61508-4:2010)
- ÖNORM B 4008-1, Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Tragwerke - Teil 1: Hochbau - Anwendung in Österreich

3. Methodik

3.1. Berechenmethoden

Die ÖNORM EN 1998-1 gibt für den Nachweis unter seismischer Belastung vier verschiedene Methoden an:

- lineares vereinfachtes Antwortspektrumverfahren (Ersatzlastverfahren)
- lineares modales Antwortspektrumverfahren
- nichtlineare statische (PushOver-) Berechnung
- nichtlineare dynamische Zeitverlaufsrechnung

Eine lineare Methode kann die in-elastische Antwort der Bausubstanz, durch Berücksichtigung der Umlagerungseffekte, unter anderem durch Rissbildungen, schlechter bestimmen. Ziel einer nichtlinearen Methode ist die Ermittlung des Widerstandes der Tragstruktur. Diese wird hauptsächlich von der Festigkeit und dem Verformungsverhalten bestimmt. Die Kapazität wird mit der PushOver-Kurve dargestellt.

3.1.1. PushOver Programm - 3muri

Das Programm wurde ursprünglich an der Universität in Genua (Italien) zur Simulation zyklischen Verhaltens von Mauerwerkswänden entwickelt. Nach der Entwicklung wurde das Programm der Universität von der schweizer Firma "IngWare AG" aufgegriffen und mit einem praxistauglichen Interface ausgestattet, um die Eingabe der verschiedenen Parameter intuitiver zu gestalten.

3muri verwendet ein Makroelementmodell bzw. Finite-Makroelemente Methode (FME- Methode), um die Reaktionen des Modells auf das Erdbeben zu ermitteln. Gleiten und Kippen können dabei in der Berechnung berücksichtigt werden, ohne einen weiteren Nachweis dafür zu führen. Die vertikale Lastableitung ist durch mathematische Randbedingungen der Berechenmethode nach dem Versagen einiger Elemente jedoch nur bedingt korrekt, und sollte daher nach dem Ausfall eines wichtigen vertikal tragenden Elementes als nicht mehr gegeben betrachtet werden.

Das Erdbeben wird mithilfe der PushOver-Analyse bestimmt, somit werden konstante Vertikallasten und monoton wachsende horizontale Verschiebung auf das System aufgebracht. Die Antwort des Systems wird mit einer Last-Verformungskurve (PushOver-Kurve) dargestellt. Normalerweise ist dies die Funktion der Dachverschiebung bzw. die Verschiebung der obersten Geschossdecke und der angreifenden Kraft.

Nach der Berechnung werden einzeln alle Eigenformen und Wände durchgegangen und die Belastungsschritte werden so lange überprüft, bis die Struktur gerade noch tragfähig ist. Dies übernimmt das Programm nicht automatisch, sondern geschieht durch die Einschätzung des bearbeitenden Ziviltechnikers.

Zeitaufwand: 6 Stunden (Modellerstellung, Berechnung und Auswertung)

3.1.2. Ersatzkraftverfahren nach EC inkl. RFEM

RFEM ist ein weit verbreitetes Finite-Elemente (FE) Programm und ist mit vielen verschiedenen Modulen ausgestattet, auch um Erdbebennachweise zu führen. Die Verwendung des Moduls und das daraus resultierende Ergebnis ist auf Grund der nicht einsehbaren Berechnung mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Des Weiteren ist die Verwendung von zugfreien Flächen (Mauerwerk-Wände) in RFEM mit einem größeren Berechnungsaufwand verbunden, was die Arbeitszeit und somit die Kosten nach oben treibt.

So wird meist eine Ersatzlast bestimmt und in der Deckenebene eingeleitet, die Verschiebung und die Kräfte im Modell werden dann mit der jeweiligen Geometrie der Wand nachgewiesen. Diese Methode ist zeitaufwendiger, doch da RFEM eines der weitverbreitetsten Programme für statische Berechnungen ist, kommt es auch dafür zum Einsatz.

Zeitaufwand mit Modul: 15 Stunden (Modellerstellung & Berechnung – ohne Auswertung)

Zeitaufwand mit Ersatzkräften: 10 Stunden (Modell, Berechnung und Auswertung)

Der angegebene Zeitaufwand ist der Mittelwert der beiden Grundrisse. Bei der Berechnung mit RFEM beträgt der Unterschied einige Stunden und wird deshalb hier gesondert erwähnt. Je größer das Modell bzw. je mehr zugfreie Flächen vom Programm berücksichtigt werden müssen, desto länger dauert die Berechnung. Während der Dauer der Kalkulation des Programms ist der verwendete Computer nur begrenzt benutzbar, da RFEM die komplette Hardware für sich beansprucht und alle Arbeiten nebenbei zum Stocken geraten.

Einen weiteren Zeitsprung macht die Verwendung des vorhandenen Moduls. Die Berechnung des symmetrischen Grundrisses dauerte ca. 8 Stunden, wobei der größere unsymmetrische Grundriss nach ca. 17 Stunden beendet war. Diese Zeiten sind natürlich abhängig von der Hardware des Rechners, jedoch steht dieser Zeitaufwand in keinem Vergleich zu den anderen Methoden, oder selbst die Ermittlung der Ersatzkräfte außerhalb von RFEM.

3.1.3. PushOver nach EC via Handrechnung

Gründerzeithäuser besitzen einen ähnlichen Aufbau und somit lässt sich leicht ein allgemeines Excel-Sheet erstellen, das nur bedingt angepasst werden muss. Die Erstellung solcher Excel-Tabellen ist aufwendig und wird meistens nur von einer einzelnen Person durchgeführt. Die Komplexität erschwert es einem Zweiten, die Berechnung komplett zu überprüfen und eventuelle Fehler zu korrigieren.

Individuelle Verbesserungsmaßnahmen für den Fall nach dem Um- bzw. Ausbau ist schwieriger zu ermitteln als bei den anderen beiden Varianten, wo aktiv 3D-Modelle zur Berechnung herangezogen werden.

Zeitaufwand: 4 Stunden (Eingabe und Auswertung, ohne Erstellung des Excel-Sheets)

3.2. Vergleichbarkeit

Alle Berechnungsmethoden halten sich an die Bestimmungen des Eurocodes und unterscheiden sich hauptsächlich in der Bestimmung der auftretenden Kräfte im Mauerwerk. Zwei verschiedene Verfahren, die dreidimensionale Modelle heranziehen und eine Berechnung, die sich alleine auf Formeln in den verschiedenen Normen stützt.

Es können nicht nur die auftretenden Kräfte verglichen werden, sondern vor allem die Verformung ist ein interessanter Aspekt, um die verschiedenen Berechnungsmethoden gegenüberzustellen.

4. Grundlagenermittlung

4.1. Systembetrachtung

Folgend werden jeweils zwei Grundrisse von typischen Gründerzeithäusern gegen eine seismischen Einwirkung berechnet. Ein symmetrischer und unsymmetrischer Grundriss mit allen typischen Merkmalen von Gründerzeithäusern im südlichen Wiener Becken.

Der unsymmetrische Grundriss berücksichtigt vor allem die auftretenden Torsionskräfte durch die unterschiedliche Verteilung der Steifigkeiten gegenüber einer symmetrischen Aufteilung der tragenden Elemente.

In der Abbildung 1 sind beide Grundrisse nebeneinander angeführt.

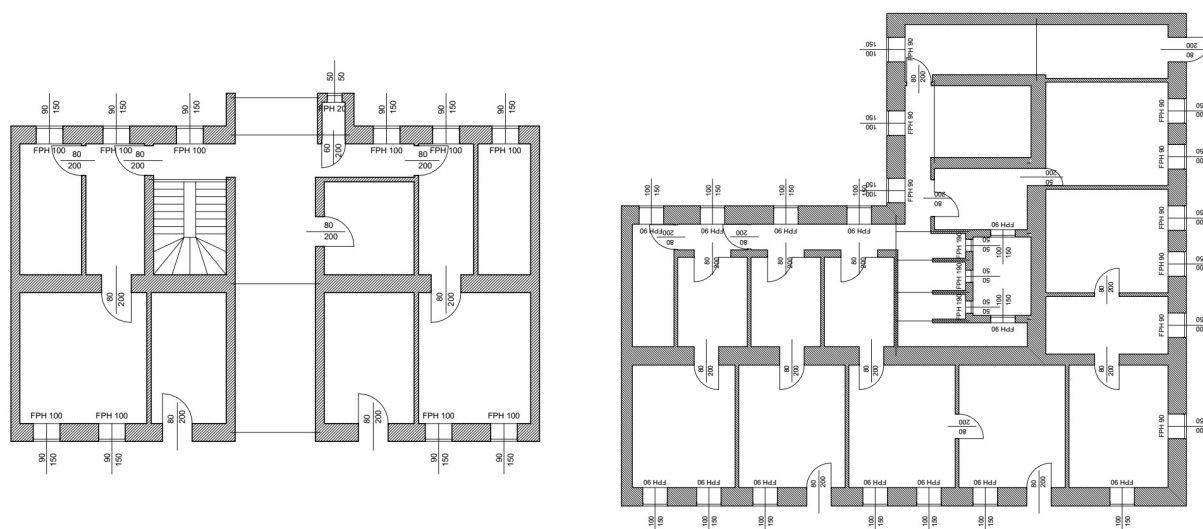


Abbildung 1: Grundrisse, Links symmetrisch und Rechts unsymmetrisch

4.1.1. Deckenmodellierung

Die Decken der einzelnen Geschosse in Gründerzeithäusern sind Tramdecken, wobei die oberste Decke eine Dippelbaumdecke darstellt. Tramdecken werden als Schubweich angesehen und auch als solche in allen betrachtenden Berechnungen modelliert. Dippelbaumdecken sind in der Lage Schub abzuleiten. Jedoch ist der Zustand dieser Decken im Bestand nur sehr selten einzusehen, besonders im Auflagerbereich. Diese Grundlage führt dazu, dass auch die letzte Geschossdecke Schubweich modelliert wird.

Mit diesem Ansatz der Modellierung wird nicht nur die Dippelbaum- sondern auch Tramdecken in ihrer tatsächlichen Schubsteifigkeit unterschätzt. Während des Errichtens von Tramdecken bei Gründerzeithäusern wurden Eisenschließen als konstruktive Maßnahme in Trämen bzw. Dippelbäumen eingeschlagen und im Mauerwerk entsprechend verankert. Diese Verbindung schafft eine gewisse Lastverteilung in der horizontalen Ebene und trägt in einem gewissen Maße zu einer Begrenzung der Verformungen bei.

Somit tragen die Außenwandpfeiler in der Berechnung einen höheren Anteil der Horizontalkraft ab, jene ansonsten über die Eisenschließen in die Zwischenwände jedoch vor allem in die Mittelmauer umlagern würde.

In der Praxis würde dies bedeuten, dass sich der Zustand und das vorhanden sein der Eisenschließen in den Bestandsgebäude vor der Berechnung festgestellt werden muss. Viele Untersuchungen der Machbarkeit der Umbaumaßnahmen und deren Ertüchtigungen wird jedoch durchgeführt während das Objekt bewohnt wird. In weiterer Folge kann, wie vorab schon erwähnt, in der Arbeitswelt diese Tatsache meist nicht festgestellt werden und die Decken werden auf der sicheren Seite schubweich modelliert.

Für 3muri sind die Eingabewerte der Deckenebenen in der Abbildung 4 zu entnehmen. Die Überlegungen und Rahmenbedingungen für RFEM wird im Kapitel 5.2 genauer angeführt. In der Handrechnung wird die Horizontalkraft mittels dem Gewichtsanteil der jeweiligen Wand im Gesamtsystem angenommen.

4.2. Lastannahmen / Beanspruchungen

4.2.1. Eigen- und Ausbaulasten

Die Eigenlasten liegen die ÖNORM B / EN 1991-1-1 und die Annahmen der Deckenkonstruktion zu Grunde.

Eigengewicht + Aufbau der Bestandsdecken:

Tramdecken	2,3 kN/m ²
Doppelbaumdecke	3,5 kN/m ²
Kappendecke	5,0 kN/m ²
Dachkonstruktion	1,3 kN/m ²

Eigengewicht der Wände:

Das Eigengewicht der Wände geht mit einer Wichte von $\gamma = 19,0 \text{ kN/m}^3$ in die Berechnung ein. Für die zusätzlichen Lasten aus dem Mauerwerk im Dachgeschoss siehe Kapitel 4.2.3.

4.2.2. Nutzlasten

Die angesetzten Nutzlasten werden ghemäß ÖNORM B / EN 1991-1-1 bestimmt.

Kategorie A1 (Wohnungen)	2,0 kN/m ²
Kategordie A2 (Decke über letztem Geschoss)	1,5 kN/m ²
Zwischenwandzuschlag (Wohnungen)	0,8 kN/m ²

Die Nutzlasten werden für die Ermittlung der seismischen Massen mit dem Falktor $\Psi_2 = 0,3$ (Kategorie A für Wohngebäude laut ÖNORM EN 1990) berücksichtigt.

4.2.3. Lasten aus dem Dachgeschoss

Im Dachgeschoß befinden sich über den Außenmauern ein Gesimse, zwei Feuermauern und Kamine über der Mittelmauer, die als Auflasten über dem letzten Geschoss berücksichtigt werden müssen.

Gesimse,	$19,0 \text{ kN/m}^3 * 0,45 \text{ m} * 0,45 \text{ m} = 3,85 \text{ kN/m}$
Feuermauer,	$19,0 \text{ kN/m}^3 * 0,30 \text{ m} * (3,5 \text{ m} / 2) = 9,98 \text{ kN/m}$
Kamin,	$19,0 \text{ kN/m}^3 * 0,45 \text{ m} * 4,5 \text{ m} = 38,48 \text{ kN/m}$

Hinweis: Die Dachkonstruktion wird mit dem jeweiligen Einflussbereich auf die Außenwände (exklusive den Feuermauern) und der Mittelwand angesetzt.

4.3. Mauerwerkseigenschaften

Das typische Mauerwerk in Gründerzeithäusern sind Normalformatziegeln, diese besitzen im Durchschnitt eine Steindruckfestigkeit von ca. $20,0 \text{ N/mm}^2$ und eine Steindruckfestigkeit von um die $1,0 \text{ N/mm}^2$. Für die weitere Berechnung wurden aus verschiedenen Projekten mit einem Mauerwerksgutachten ein

Mittelwert gebildet, diese charakteristischen Kennwerte des Mauerwerkes spiegeln typische Werte für Wiener Gründerzeithäuser wieder und werden in den Berechnungen für beide Grundrisse herangezogen.

Steindruckfestigkeit,	$f_b = 19,75 \text{ N/mm}^2$
Mörteldruckfestigkeit,	$f_m = 1,14 \text{ N/mm}^2$
charakteristische Mauerwerksfestigkeit,	$f_k = 3,41 \text{ N/mm}^2$
Anfangshaftscherfestigkeit,	$f_{vk0} = 0,12 \text{ N/mm}^2$

Steifigkeitseigenschaften der verwendeten Kennwerte sind gemäß EN 1998-1 / 9.4(3) bzw. EN 1998-3 / C.3.1(1) und GA GZ.2009-174/G1 (vom 01.07.2010 DI Dr. techn. A. Pech) ergeben sich für die Werte für den gerissenen Elastizitäts- und Schubmodul wie folgt:

E-Modul (im gerissenen Zustand),	$E = 150 * f_k = 511,50 \text{ N/mm}^2$
G-Modul (im gerissenen Zustand),	$G = 0,4 * E = 204,60 \text{ N/mm}^2$

Die Materialfestigkeiten für die PushOver-Analyse gemäß EN 1998-1 / 4.3.3.4.1(4) sind für nichtlineare Verfahren die Mittelwerte der Festigkeiten zu versenden. Der Umrechnungsfaktor $a = 1/0,7$ basiert aus dem im Eurocode 8 zitierten Ordinanza 3274. Somit werden die im Beginn angeführten Kennwerte mit a multipliziert:

Abscher-Festigkeitsgrenze,	$f_{vlim} = a * f_b = 11,83 \text{ N/mm}^2$
Mörteldruckfestigkeit,	$f_m = a * f_m = 1,63 \text{ N/mm}^2$
charakteristische Mauerwerksfestigkeit,	$f_k = a * f_k = 4,87 \text{ N/mm}^2$
Anfangshaftscherfestigkeit,	$f_{vk0} = a * f_{vk0} = 0,17 \text{ N/mm}^2$

Die Konfidenzbeiwerte gemäß ÖNORM EN 1998-3 / Tab.3.1 werden mit KL3 (entspricht $CF_{KL,3} = 1,00$) angenommen für alle Berechnungen und Kennbeiwerte angenommen.

Hinweis: In den Normen wechselt die Bedeutung von f_m , diese Bezeichnung bedeutet entweder die mittlere Druckfestigkeit des Mauerwerks (Eurocode 8) oder die Mörteldruckfestigkeit (Eurocode 6).

4.4. Erdbebenklassifizierung

Zonengruppe (ÖNORM B 1998-1 / A.3)	3
Referenzbodenbeschleunigung a_{gR} (ÖNORM B 1998-1 / A3)	0,8 m/s ²
Baugrundklasse (ÖNORM EN 1998-1 / Tab.3.1)	B
Bedeutungskategorie (ÖNORM EN 1998-1 / Tab.4.3)	II
Bedeutungsbeiwert γ_I (ÖNORM B 1998-1 / Tab.1)	1,0

5. Kapazitätsermittlung

5.1. 3muri

In den folgenden Abbildungen werden die FME-Modelldaten angeführt, die für beide Gebäudetypen gleich sind.

Modell-Parameter

Gebäudetyp: ☒ Bestehend ☐ Neu

Aktive Norm: ☒ EuroCode

Parameterbibliothek: -- EuroCode --

Speichern | Löschen | Als Vorgabe speichern

[1] Materialien	
Bestehend: Drift-Schub	0,004
Bestehend: Drift-Biegung	0,008
Bestehend: FC-LC1	1,35
Bestehend: FC-LC2	1,2
Bestehend: FC-LC3	1
Neu: Drift-Schub	0,004
Neu: Drift-Biegung	0,008
Reduktionsfaktor für gerissene Steifigkeit	2

[2] Statische Berechnung	
?G1	1,35
?G2	1,35
?Q	1,5
Q ₁ Wind	1,5
Q ₂ Wind	0,6
Vorherrschende Windlast	Nein
Koeffizient der Anfangsexzentrizität	450
Grenزشlankheit	27
AxisVM: Fundamente	Methode 2

[1] bilineare Parameter	
Schnittpunkt bilineare PushOver-Kurve	0,7
Grenzwert der Gebrauchstauglichkeit	
Grenzwert der Gebrauchstauglichkeit	gemäss NC
Verschiebungs(Drift)-Grenze der Geschosshöhe	0,02
Koeffizient (Grenzwert)	0,75
Grenzwert der Tragsicherheit	
Grenzwert der Tragsicherheit	Abfall der Horizontal
Abfall der Horizontalkraft	0,8
q*-Grenzwert verwenden	Ja
Grenzwert q*	3
Grenzwert dt*/det* verwenden	Nein
Grenzwert dt*/det*	3
Reduktionsfaktor Verschiebung	1

?G1
Lastfaktor für ständige Lasten auf die Struktur

Abfall der Horizontalkraft
Berechnung wird abgebrochen, wenn die Horizontalkraft auf diesen Anteil der maximalen Horizontalkraft abfällt

OK | Abbrechen

Abbildung 2: Modellparameter

Material

MAUERWERK

BETON

BEWEHRUNGSSTAHL

BAUSTAHL

HOLZ

CFK

Name	MWK
E [N/mm ²]	511,50
G [N/mm ²]	204,60
w [kg/m ³]	19
f _m [N/mm ²]	1,63
f _{vm0} [N/mm ²]	0,17
f _{vim} [N/mm ²]	1,8
f _k [N/mm ²]	4,87
CF	1,00
ym	1,67
Zustand	Bestehend
Bezeichnung	
Bibliothek	Projekt
Verschiebung (Drift) ...	0,0040
Verschiebung (Drift) ...	0,0080
φ _∞	0,0

Materialfarbe:

Textur:

OK | ?

Seismische Last

	NC	SD	DL
Nachweis	☒	☒	☒
a _{gR} [m/s ²]	0,80	0,80	0,80
Baugrundklasse	B	B	B
S	1,20	1,20	1,20
T _B [s]	0,15	0,15	0,15
T _C [s]	0,50	0,50	0,50
T _D [s]	2,00	2,00	2,00

Bedeutungskoeffizient (I): 1,00

Voreinstellung laden | OK | Abbrechen | ?

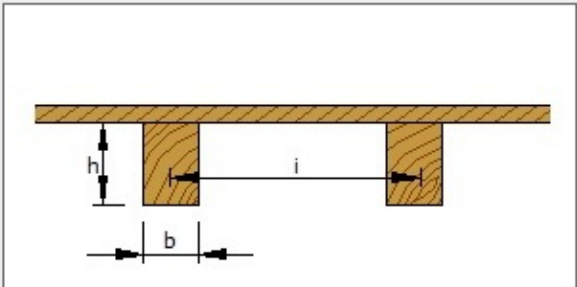
Abbildung 3: Links: MWK-Kennwerte; Rechts: seismische Belastung

Wie im Kapitel 4.1.1 bereits angeführt ist in der Abbildung 4 unterhalb die Modellierung einer schubweichen Decke in 3muri angeführt. Es werden dabei die Dimension der Träme, deren Achsabstand und E-Modul angegeben. Aus diesen Werten ermittelt das Programm, in der angegebenen Spannrichtung der Decke, ein Ersatzmaterial mit entsprechenden Dicke und Kennwerten zur weiteren Berechnung.

In der angesprochenen Abbildung sind ebenfalls die anderen modellierbaren Decken auf der linken oberen Seite angeführt. Um eventuell doch eine Tramdecke schubsteife Wirkung in 3muri anzusetzen müsste die zweite Option "Holzbalkendecke mit doppelter Beplankung" gewählt werden. Diese bewirkt jedoch, dass das Programm nur noch die Dicke der Beplankung verlangt und die Aussteifung der Träme in den Hintergrund rückt. Somit können Eisenschließen mit 3muri in der momentanen Version nicht berücksichtigt werden.

Decken und Dächer

☒ **Holzbalkendecke mit einfacher Beplankung**
☐ Holzbalkendecke mit doppelter Beplankung
☐ Holz-/Beton-Verbunddecke
☐ Doppelbaumdecke
☐ Träger mit Hourdisziegel
☐ Träger und Gewölbe
☐ Beton-Hohlziegel



Berechnete Werte

Dicke	4,0	[cm]
G	10,00	[N/mm ²]
Ex	8.800,00	[N/mm ²]
Ey	0,00	[N/mm ²]
V	0	

Parameter

b [cm]	18
h [cm]	16
i [cm]	90
E Träger [N/mm ²]	11000

OK Abbrechen ?

Abbildung 4: Eingabe der schubweichen Tramdecke in 3muri

5.1.1. 3muri / symmetrischer Grundriss

Im Programm werden der Grundriss sowie die Höhe je Ebene eingegeben. Nach der Angabe der verschiedenen Stärken der Außen-/Innenwände pro Geschoss, der Deckenebenen und der Dachlasten kann das Objekt berechnet werden. Diverse Einstellungen und die Mauerwerkskennwerte sind in den Abbildungen 2 & 3 ersichtlich.

Die Auswertung der Berechnung aus 3muri ist in der Tabelle 1 dargestellt. Der modellierte Grundriss und die Nummerierung der Wände / Knoten kann der Abbildung 5 entnommen werden.

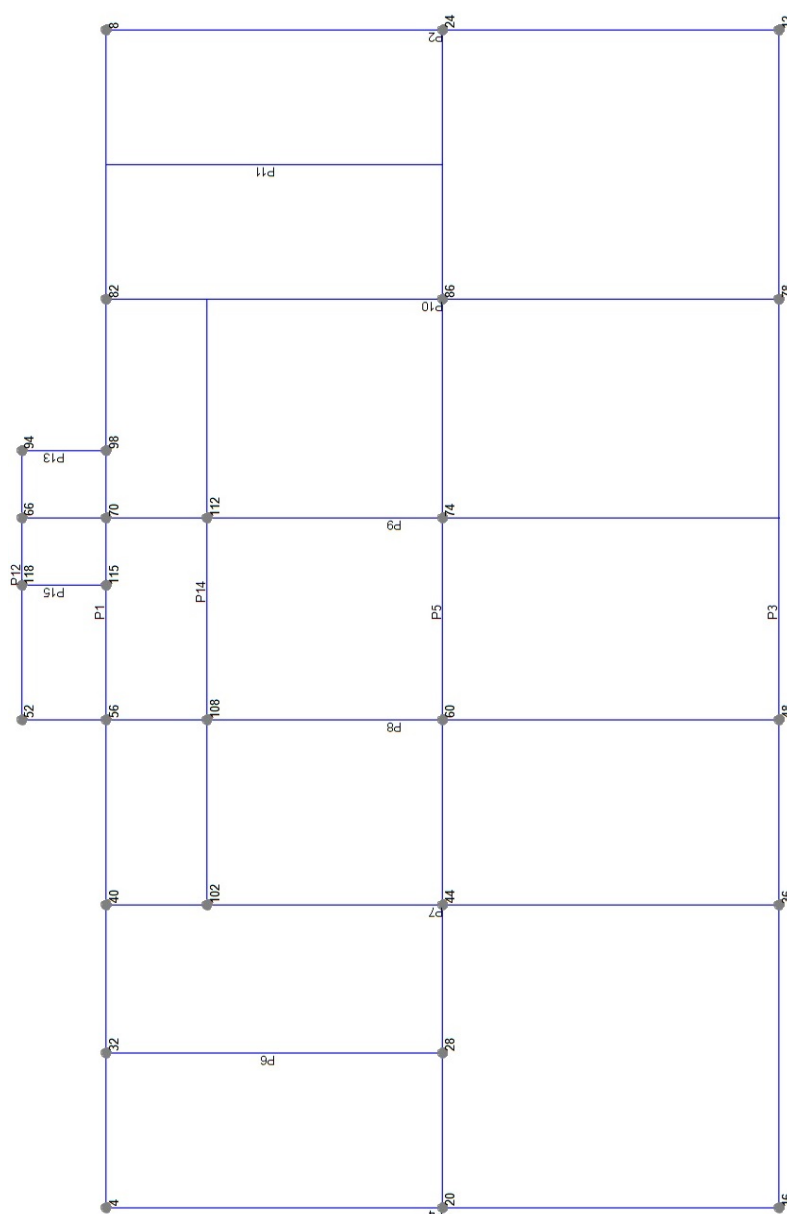


Abbildung 5: Grundriss der Wände & Knoten / Nummerierung - Bestand Ebene 3 (2.OG)

Die Legende zur Erklärung der farblichen Einteilung der Auswertung aus 3muri kann in der Abbildung 8 eingesehen werden. Die hellblauen bzw. grauen Bereiche zwischen den farblich markierten Stellen geben ausschließlich die Kräfte an die anschließenden Marko-Elemente weiter und treffen keine Aussage über ihren Zustand.

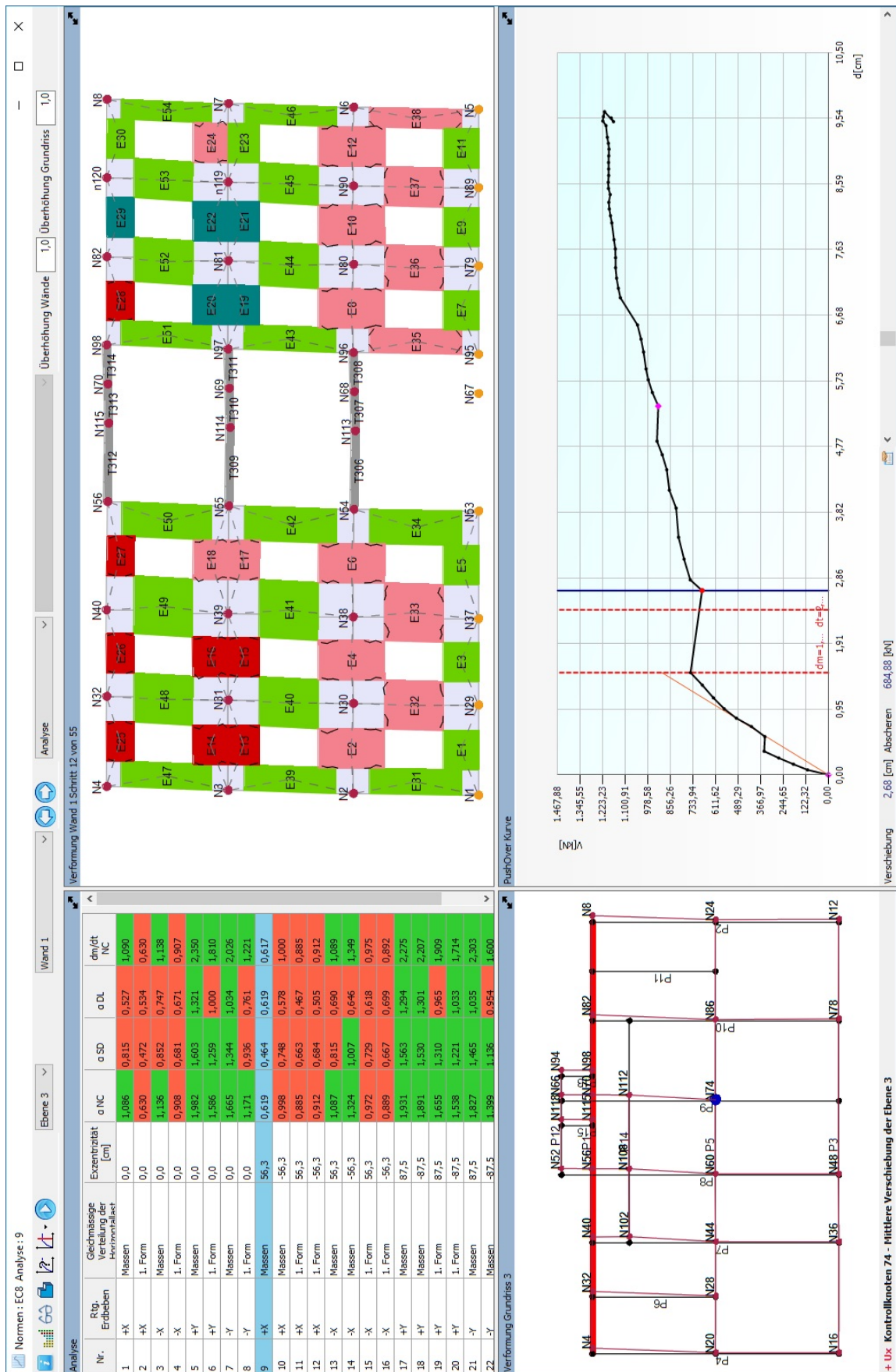


Abbildung 6: maßg. Analyse (20) des symmetrischen Grundrisses

Tabelle 1: Auswertung der PushOver-Analyse - symmetrischer Grundriss

Analyse	Rtg. Erdb.	vert. seism. Last	Exz.	maßg. Wand W	maßg. Element E	Versagen	d_t [mm]	d_m [mm]	α [-] d_m/d_t
1	+X	Massen	0	1	13-16	Biegung	2,34	2,55	1,09
2	+X	1°	0	1	25-27	Biegung	2,54	1,60	0,63
3	-X	Massen	0	1	17	Biegung	2,10	2,39	1,14
4	-X	1°	0	1	15 & 17	Biegung	2,37	2,15	0,91
5	+Y	Massen	0	12	210	Druck	0,80	1,88	2,35
6	+Y	1°	0	12	210	Druck	1,00	1,81	1,81
7	-Y	Massen	0	7	161,162,157	Abscheren	0,77	1,56	2,03
8	-Y	1°	0	7	161,162,157	Abscheren	1,04	1,27	1,22
9	+X	Massen	+	1	14 & 16	Biegung	2,40	1,48	0,62
10	+X	Massen	-	1	14 & 16	Biegung	2,29	2,29	1,00
11	+X	1°	+	1	14 & 16	Biegung	2,61	2,31	0,89
12	+X	1°	-	1	25-27	Biegung	2,49	2,27	0,91
13	-X	Massen	+	1	15 & 17	Biegung	2,14	2,33	1,09
14	-X	Massen	-	3	72 & 75	Biegung	1,75	2,36	1,35
15	-X	1°	+	1	15 & 17	Biegung	2,40	2,34	0,98
16	-X	1°	-	3	72 & 75	Biegung	2,22	1,98	0,89
17	+Y	Massen	+	12	210	Druck	0,80	1,82	2,28
18	+Y	Massen	-	12	210	Druck	0,82	1,81	2,21
19	+Y	1°	+	12	210	Druck	0,99	1,89	1,91
20	+Y	1°	-	12	210	Druckn	1,05	1,80	1,71
21	-Y	Massen	+	9	187	Abscheren	0,76	1,75	2,30
22	-Y	Massen	-	7	161,162,157	Abscheren	0,80	1,28	1,60
23	-Y	1°	+	7	161,162,157	Abscheren	1,02	1,66	1,63
24	-Y	1°	-	7	161,162,157	Abscheren	1,05	1,12	1,07

Maßgebende Analyse ist wie in der Tabelle 1 die Nummer 9 (X-Richtung), jene ist genauer in der Abbildung 6 zusehen. Dies führt zu einem Erdbeneberfüllungsfaktor von $\alpha_{sym} = 0,62$.

5.1.2. 3muri / unsymmetrischer Grundriss

Die Eingabe erfolgt gleich dem symmetrischen Grundriss, wobei der modellierte Grundriss inklusive der Nummerierung der Wände / Knoten aus der Abbildung 7 entnommen werden kann. Die Auswertung der daraus resultierenden Berechnung aus 3muri kann in der Tabelle 2 eingesehen werden.

Der größere Grundriss verlangt vergleichsweise kaum mehr Zeit bei der Modellierung. Die Berechnungszeit steigt natürlich mit der Grundrissgröße, jedoch wirken sich am stärksten zusätzliche Geschosse aus.

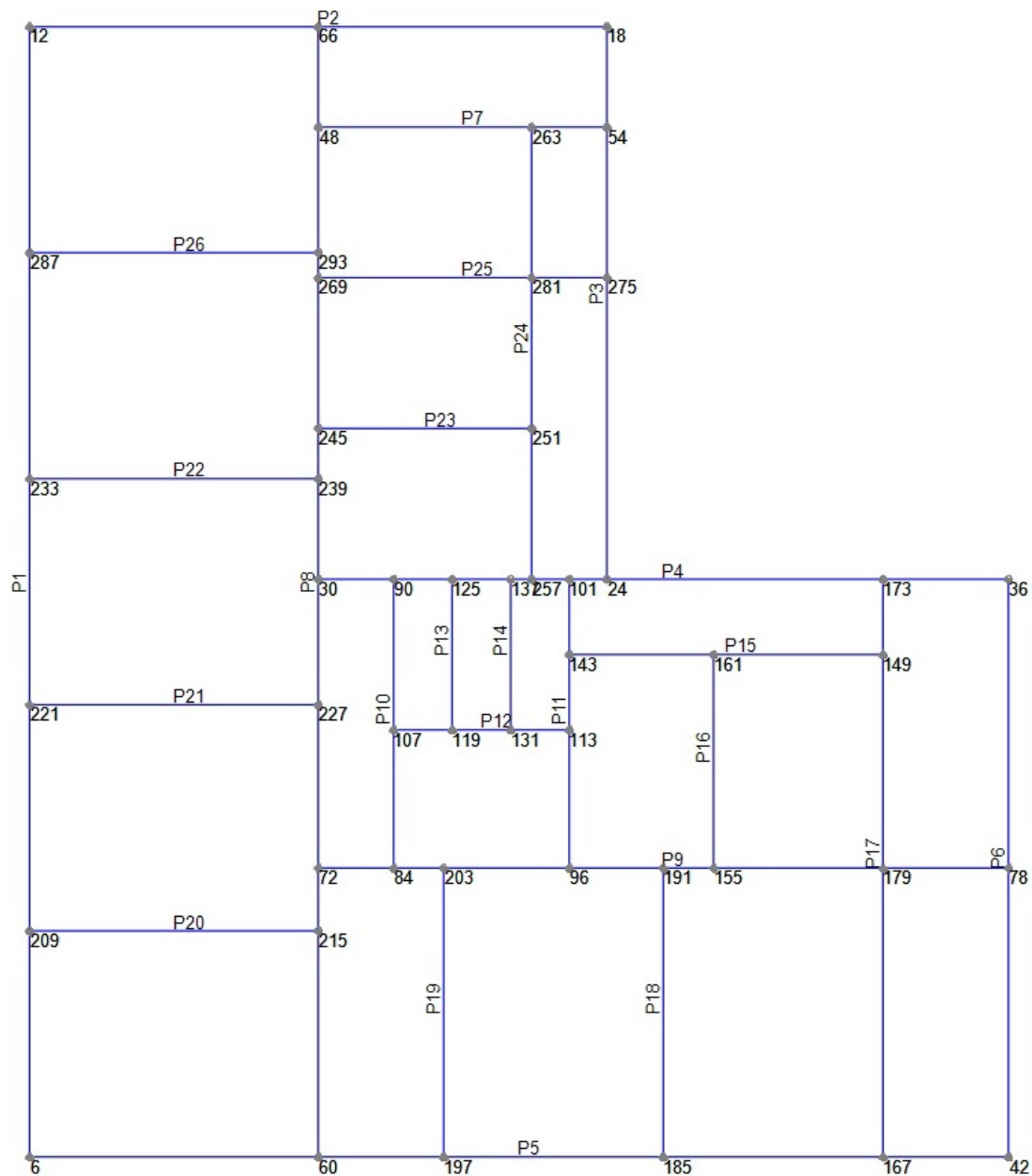


Abbildung 7: Grundriss der Wände & Knoten / Nummerierung - Bestand Ebene 3 (2.OG)

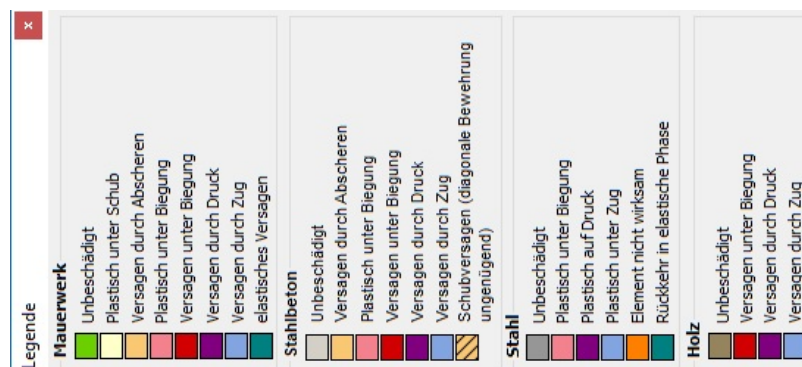


Abbildung 8: Legende zur Auswertung

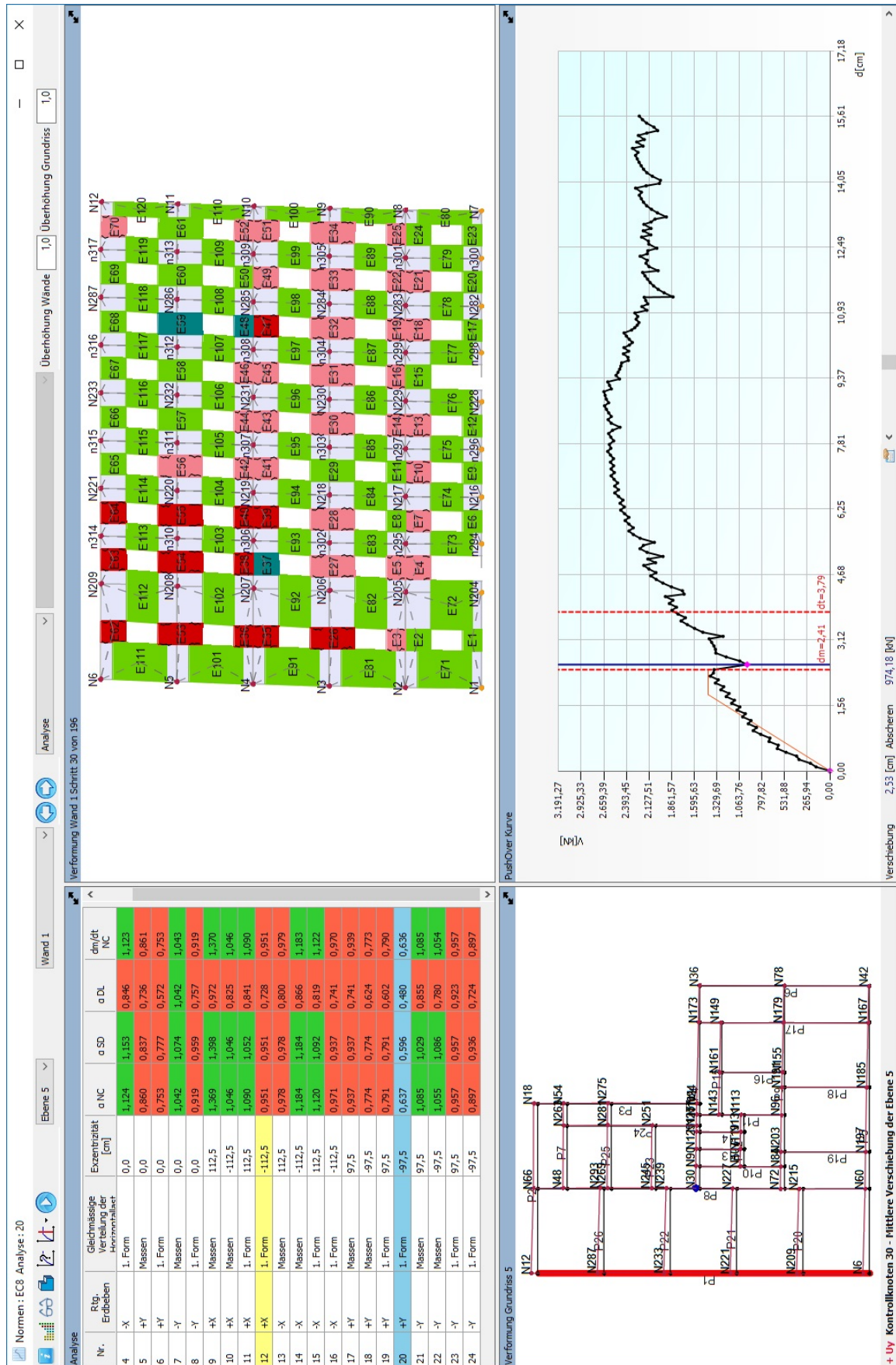


Abbildung 9: maßg. Analyse (12) des unsymmetrischen Grundrisses

Tabelle 2: Auswertung der PushOver-Analyse - unsymmetrischer Grundriss

Analyse	Rtg. Erdb.	vert. seism. Last	Exz.	maßg. Wand W	maßg. Element E	Versagen	d_t [mm]	d_m [mm]	α [-] d_m/d_t
1	+X	Massen	0	5	254	Biegung	3,01	3,79	1,26
2	+X	1°	0	5	254 & 255	Biegung	3,49	3,88	1,11
3	-X	Massen	0	25	615	Abscheren	2,87	3,40	1,18
4	-X	1°	0	5	281	Biegung	3,42	3,84	1,12
5	+Y	Massen	0	8	359 & 360	Biegung	3,37	2,90	0,86
6	+Y	1°	0	8	359 & 360	Biegung	3,84	2,89	0,75
7	-Y	Massen	0	8	254	Biegung	3,03	3,16	1,04
8	-Y	1°	0	8	359	Biegung	3,06	3,18	1,04
9	+X	Massen	+	4	192	Biegung	3,03	4,15	1,37
10	+X	Massen	-	5	254	Biegung	3,06	3,20	1,05
11	+X	1°	+	24	595	Druck	3,45	3,76	1,09
12	+X	1°	-	5	254 & 255	Biegung	3,49	3,32	0,95
13	-X	Massen	+	25	615	Abscheren	2,80	2,74	0,98
14	-X	Massen	-	5	262	Biegung	2,90	3,43	1,18
15	-X	1°	+	4	192	Biegung	3,35	3,76	1,12
16	-X	1°	-	5	262	Biegung	3,35	3,25	0,97
17	+Y	Massen	+	8	360	Biegung	3,27	3,07	0,94
18	+Y	Massen	-	1	54–56	Biegung	3,35	2,59	0,77
19	+Y	1°	+	8	360	Biegung	3,76	2,59	0,79
20	+Y	1°	-	1	54 & 55	Biegung	3,79	2,41	0,64
21	-Y	Massen	+	8	354	Biegung	2,93	3,18	1,09
22	-Y	Massen	-	1	31	Biegung	2,96	3,12	1,05
23	-Y	1°	+	8	359	Biegung	3,46	3,31	0,96
24	-Y	1°	-	8	359	Biegung	3,50	3,14	0,90

Maßgebende Analyse ist wie in der Tabelle 2 die Nummer 20 (Y-Richtung), jene ist genauer in der Abbildung 9 zusehen. Dies führt zu einem Erdbeneberfüllungsfaktor von $\alpha_{unsym} = 0,64$.

5.2. RFEM

In RFEM ist eine PushOver Berechnung direkt nicht möglich, da es keine Belastungsart gibt, die eine reine Verschiebung darstellt. Aus diesem Grund wird das Erdbeben mit einer Ersatzkraft simuliert. Hierzu werden die Wand- und Deckenlasten je Geschoßdecke bzw. Massenhorizont zu einer Erdbebenersatzlast mit den entsprechenden Werten der Erdbebenklassifizierung umgewandelt. Diese Kraft jeweils in X- und Y-Richtung wird in der entsprechenden Deckenebene angesetzt und durch verschiedene Lastkombinationen gemeinsam mit den ständigen und veränderlichen Lasten entsprechend überlagert.

Zur Bestimmung der Massen der Wände je Geschoss, wird ebenfalls das Programm herangezogen. Hierzu werden alle Flächen pro Geschoss selektiert und anschließend kann die gesamte Masse in Kilogramm ausgelesen werden. Die zusätzlichen Auflasten durch Gesimse und Co überhalb der letzten Geschossdecke werden mit den Werten aus Kapitel 4.2.3 ermittelt. Die Lasten aus den Decken werden durch die Fläche aus RFEM und der jeweiligen gewählten Belastung bestimmt.

Eine Auflistung dieser Werte und die weiterführenden Berechnung zur Bestimmung der Erdbebenersatzlast ist zu Beginn des jeweiligen Unterkapitels zu finden. Eine genauere Tabelle der Ermittlung der einzelnen Werte siehe Anhang B.2.

Die Modellierung des Mauerwerks wurde mit Ebenen, die als "membranzugfrei" definiert wurden, durch-

geführt (siehe Abbildung 10). Die Deckenhorizonte wurden mit Trämen in einem Abstand von 0,9 [m] modelliert und mit einem entsprechenden Feder an das Mauerwerk angeschlossen (siehe Abbildung 11), für die Kappendecken wurden die Festigkeiten und Eigenschaften des Mauerwerks herangezogen. Vorhandene Stahl-QS wurden als solche auch im Modell berücksichtigt, wobei Fensterbalken in den Außenfassaden wie die Träme in den Deckenebenen modelliert wurden.

Die Erdbebensatzlast selbst wird mit Hilfe des vereinfachten Antwortspektrumverfahrens (ÖNORM EN & B 1998-1) berechnet. Mit den Daten aus dem Kapitel 4.4 und der Geometrie des Hauses muss eine geringe Seismizität vorhanden sein, um dieses Verfahren anwenden zu können. Mit dem Bemessungsspektrum für lineare Berechnung wird das Bemessungsspektrum $S_{d(T)}$ bestimmt. Gemeinsam mit dem Korrekturbeiwert l und der gesamten Masse des betrachtenden Objektes wird F_b bestimmt, siehe Formel 3. Anschließend kann die Erdbebensatzlasten je Massenhorizontal durch die Formel 2 bestimmt werden.

$$F_b = S_{d(T)} \cdot m_{ges} \cdot l \quad (1)$$

$$F_i = F_b \cdot M_i / M_{i,ges}. \quad (2)$$

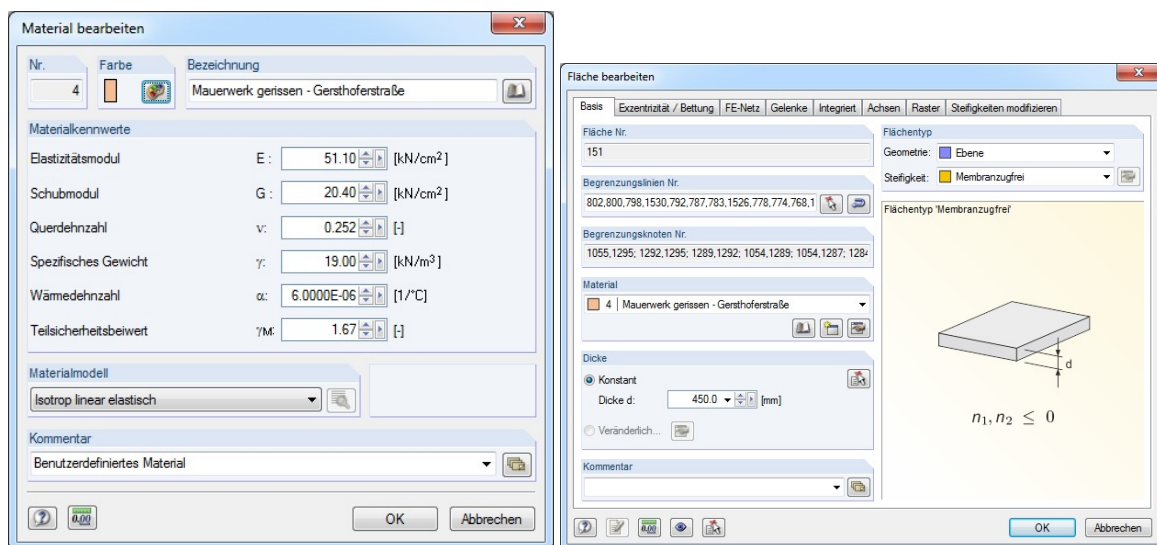


Abbildung 10: MWK-Kennwerte und Flächen-Einstellungen im RFEM

Für beide betrachteten Gebäude ist die Berechnung nach dem vereinfachten Verfahren möglich. Außerdem sind in diesem Fall die Werte für die Formel 3 des Bemessungsspektrum $S_{d(T)} = 1,60[m/s^2]$ und der Korrekturbeiwert $l = 0,85[-]$ gleich.

Die daraus resultierenden Kräfte im Mauerwerk werden pro Geschoss aus RFEM ausgelesen und je Wand mit der jeweiligen Tragfähigkeit gegenübergestellt. Aus der Berechnung wird ebenfalls die überdrückte Länge der jeweiligen Wand abgelesen. Für die Außenwände werden die Pfeiler zwischen den Fensteröffnungen gesondert betrachtet, vor allem gegen Biegung beziehungsweise einwirkende Querkraft.

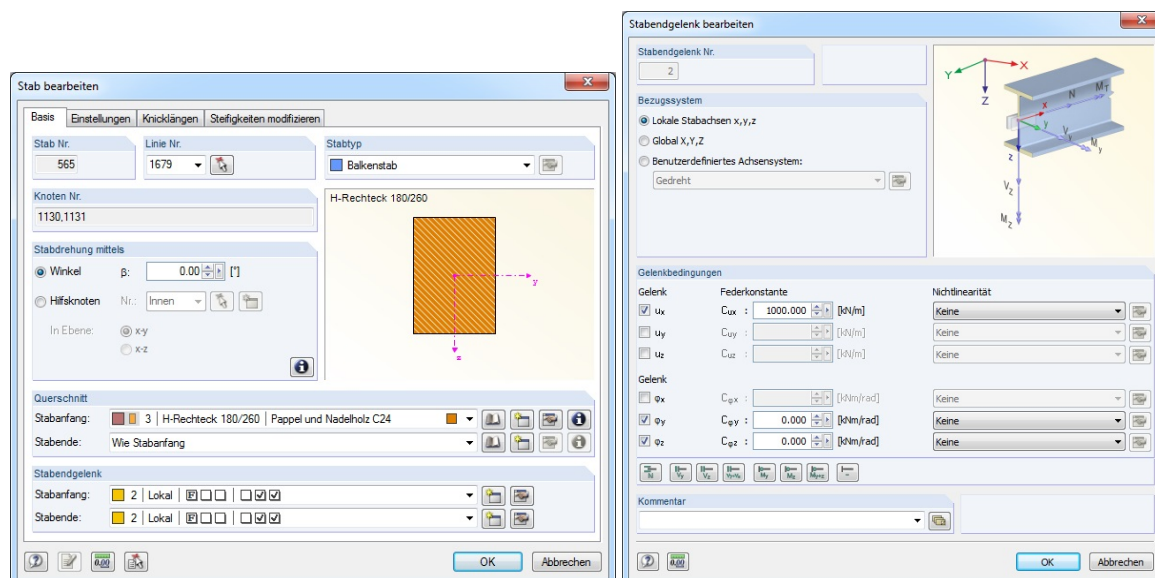


Abbildung 11: Träme und Gelenkeinstellungen im RFEM

5.2.1. RFEM / symmetrischer Grundriss

Die in der Tabelle 3 angefuhrte Last $F_{i,Flche}$ wird in der jeweiligen Decke über dem Geschoss als Flächenlast angesetzt. Diese Flächenlast wird vom Programm auf die modellierten Träme angesetzt und so in das Mauerwerk eingeleitet, siehe Abbildung 13.

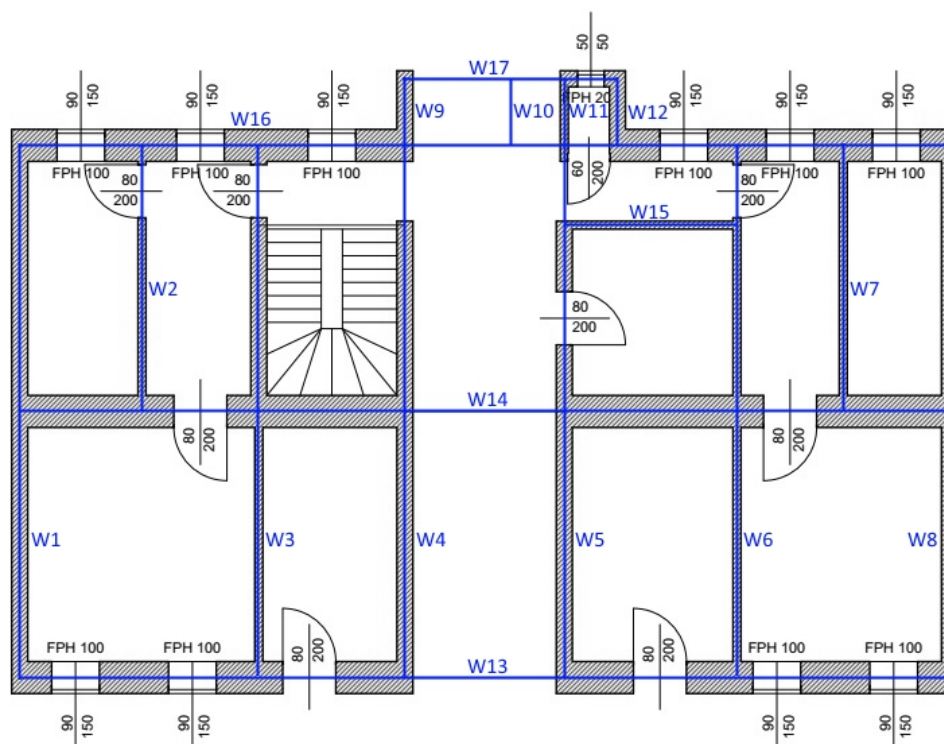


Abbildung 12: Nummerierung der Wände des symmetrischen Grundrisses

Tabelle 3: Zusammenfassung Ermittlung der Ersatzkraft - symmetrischer Grundriss

	Höhe [m]	z_i [m]	Wand (RFEM) [kN]	Decke (inkl.Last) [kN]	G_{Wand} [kN]	$F_{ges.}$ [MN]	M_i [MNm]	F_i [kN]	$F_{i,Fläche}$ [kN/m²]
EG	3,2	3,2	2357,47	580,06	2357,43	2,94	94,0	206,66	1,20
1.OG	3,2	6,4	2357,39	580,06	2208,48	2,21	17,8	392,36	2,27
2.OG	3,1	9,5	2059,57	714,66	1558,46	2,27	21,6	481,00	2,75

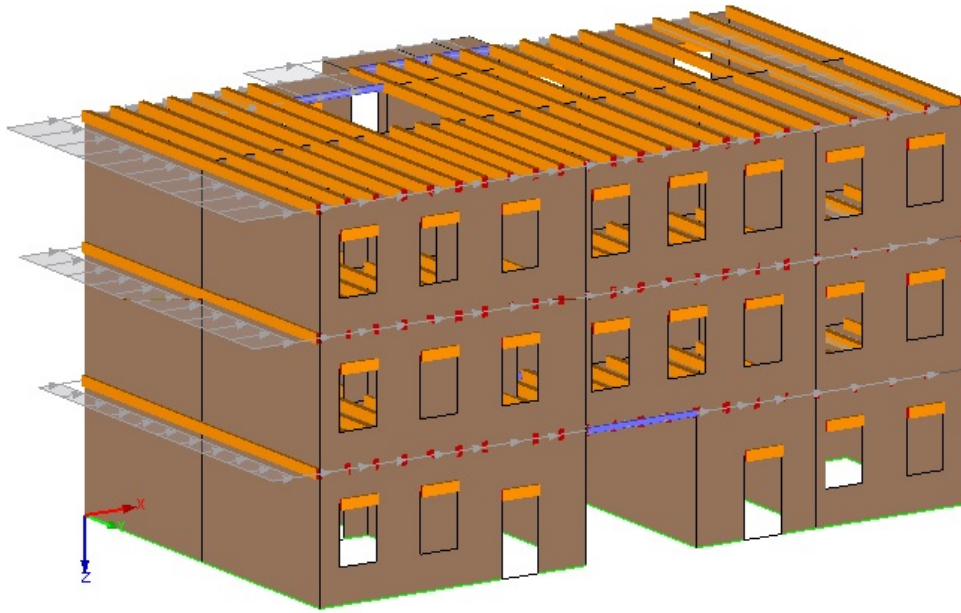


Abbildung 13: 3D Ansicht des symmetrischen Modells inkl. Erdbebenkräfte in X-Richtung

Tabelle 4: maßgebende Wände des symmetrischen Grundrisses

Wand-Segment	t [m]	l_c [m]	N_{Sd} [kN]	V_{Sd} [kN]	Versagens-art	V_{Rd} [kN]	α_{IST} [-]
W_9	0,30	1,25	260,25	95,38	Schubvers.	89,25	0,94
W_{11}	0,15	1,25	138,56	59,03	Schubvers.	89,25	0,79
W_{13}	0,45	12,50	3964,95	1244,78	Schubvers.	1288,13	1,04
2.OG-Pfeiler	t [m]	l_c [m]	N_{Sd} [kN]	V_{Sd} [kN]	Versagens-art	V_{Rd} [kN]	α_{IST} [-]
W_{13}	0,45	0,60	466,73	157,23	Schubvers.	131,22	0,84
W_{16}	0,45	1,00	417,14	112,64	Schubvers.	132,30	1,18

Nach der Auslesung und Auswertung der Kräfte werden die Pfeiler im Erdgeschoss der Außenwand W_{13} maßgebend und führen zu einem Erdbeneberfüllungsfaktor des symmetrischen Gebäudes von $a_{sym} = 0,84$, siehe Tabelle 4.

Für die Berechnung wurde die gesamte Kraft in der Wand durch die Anzahl der Pfeiler dividiert und die überdrückte Länge aus RFEM abgelesen. Diese Länge ist meist ungefähr die Hälfte der Pfeilerbreite. Die genaue Auflistung und Werte können dem Anhang B.2 entnommen werden.

5.2.2. RFEM / unsymmetrischer Grundriss

Die in der Tabelle 5 angeführte Last $F_{i,Fläche}$ wird in der jeweiligen Decke über dem Geschoss als Flächenlast angesetzt. Diese Flächenlast wird vom Programm auf die modellierten Träme angesetzt und so in das Mauerwerk eingeleitet, siehe Abbildung 15.

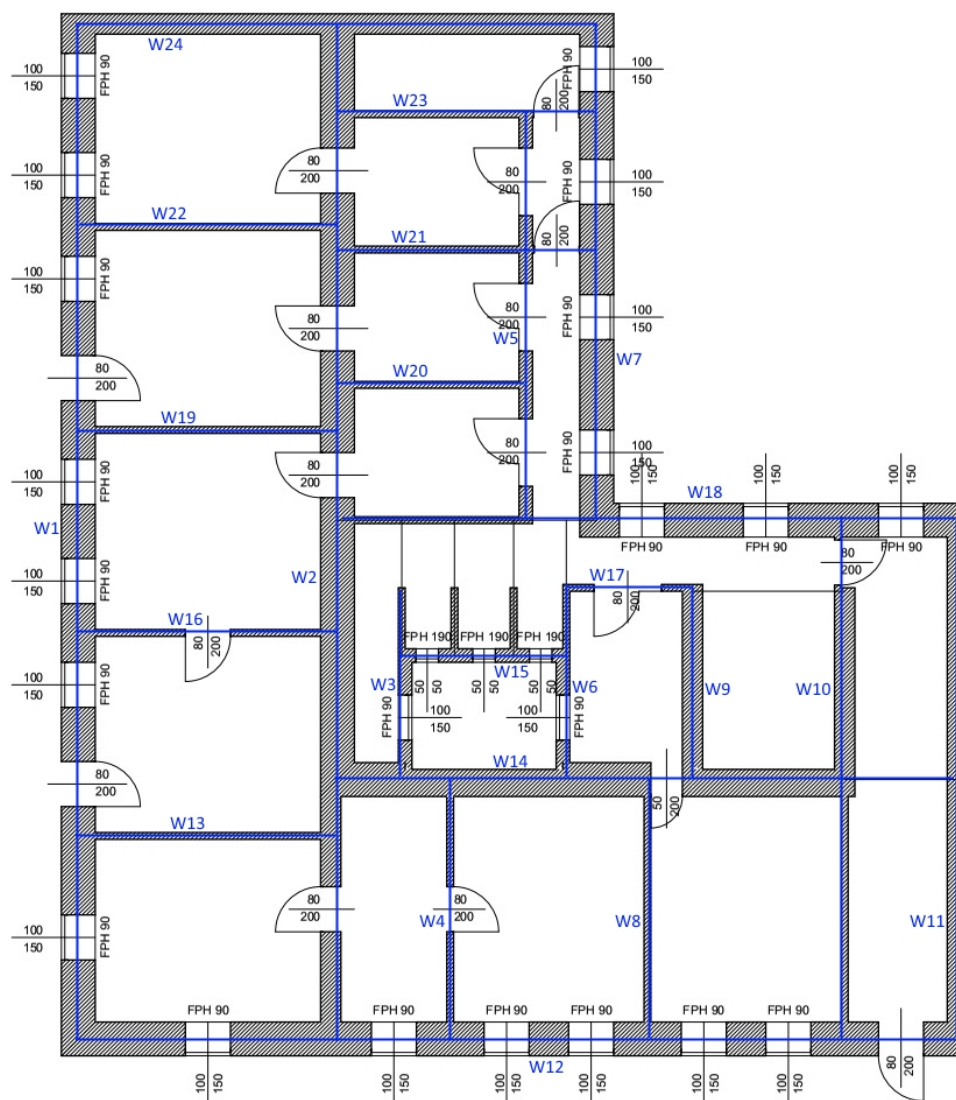


Abbildung 14: Nummerierung der Wände des symmetrischen Grundrisses

Tabelle 5: Zusammenfassung Ermittlung der Ersatzkraft - unsymmetrischer Grundriss

	Höhe [m]	z_i [m]	Wand (RFEM) [kN]	Decke (inkl.Last) [kN]	G_{wand} [kN]	$F_{ges.}$ [MN]	M_i [MNm]	F_i [kN]	$F_{i,Fläche}$ [kN/m²]
EG	3,6	3,6	6123,8	1142,26	5606,31	6,75	24,3	320,78	1,32
1.OG	3,6	7,2	5088,82	1142,26	5088,82	6,23	44,9	592,36	2,43
2.OG	3,5	10,8	5088,82	1142,26	4825,05	5,97	64,5	850,93	3,50
3.OG	3,6	14,4	4561,28	1142,26	4561,28	5,70	82,1	1084,42	4,46
4.OG	3,5	17,9	4561,28	1758,35	3264,03	5,02	89,9	1187,01	4,88



Abbildung 15: 3D Ansicht des unsymmetrischen Modells inkl. Erdbebenkräfte in X-Richtung

Tabelle 6: maßgebende Wände des unsymmetrischen Grundrisses

Wand-Segment	t [m]	l_c [m]	N_{Sd} [kN]	V_{Sd} [kN]	Versagens-art	V_{Rd} [kN]	α_{IST} [-]
W_4	0,15	5,55	535,21	155,02	Schubvers.	188,15	1,21
W_5	0,30	9,00	2167,38	785,88	Schubvers.	712,80	0,91
W_{17}	0,15	1,44	76,25	63,03	Schubvers.	33,64	0,49
W_x -Pfeiler	t [m]	l_c [m]	N_{Sd} [kN]	V_{Sd} [kN]	Versagens-art	V_{Rd} [kN]	α_{IST} [-]
$W_{1,EG}$	0,75	0,60	520,24	144,34	Schubvers.	157,05	1,09
$W_{18,4.OG}$	0,35	0,90	81,00	47,32	Schubvers.	41,72	0,88

Nach der Auslesung und Auswertung der Kräfte werden die Pfeiler in der Außenwand W_{18} im 4.OG maßgebend und führen zu einem Erdbeneberfüllungsfaktor des unsymmetrischen Gebäudes von $a_{sym} = 0,88$, siehe Tabelle 6. Aus der Tabelle ist ebenfalls abzulesen, dass W_{17} eine niedrigere Kapazität besitzt und somit rein mathematisch betrachtet eigentlich die maßgebende Größe darstellen sollte. Bei genauer Betrachtung der Lage und Funktion der Zwischenwand kommt man zum Ergebnis, dass beim Versagen dieses Abschnittes es zu keinem gesamten Einsturz des Gebäudes käme.

Für die Berechnung des Pfeilers wurde die gesamte Kraft in der Wand durch die Anzahl der Pfeiler dividiert und die überdrückte Länge wird mit $l/2$ angenommen. Die genaue Auflistung und Werte können dem Anhang B.2 entnommen werden.

5.3. Handrechnung

Die einzelnen Geschosse werden durch die Masse eines Mehrmassenschwingers zusammengefasst und schließlich zu einem äquivalenten Einmassenschwinger transformiert. Nachdem die Zielverschiebung

ermittelt wurde, wird diese wieder für einen Mehrmassenschwingers zurück gerechnet, um auf die maximale Verschiebung des vorliegenden Systems zu gelangen. Anschließend wird diese maximale Verschiebung mit der lokalen Verschiebung der maximalen Kraft, die in diesem Abschnitt - ohne ein Versagen hervorzurufen - auftritt verglichen, um die Kapazität zu ermitteln. Der insgesamt kleinste Wert des Gebäudes ergibt den gesuchten Erdbhebenerfüllungsfaktor.

Die Ermittlung der Zielverschiebung für eine PushOver-Berechnung ist in der ÖNORM EN 1998-1 Anhang B angeführt.

Zuerst muss nach einer Massenermittlung der Decken, Wände (siehe Anhang B.3.2) und die Gesamterdbebenkraft F_b ermittelt werden. Anschließend wird daraus die Belastung, jene auf den einzeln betrachtenden Wänden, via Prozentuale der Masse der jeweiligen Wand auf die gesamte Masse je Richtung (X/Y) angesetzt, um die Kapazität und Verschiebung zu bestimmen.

$$F_b = S_{d(T)} \cdot \frac{m}{g} \cdot \lambda \quad (3)$$

5.3.1. Handrechnung / symmetrischer Grundriss

Tabelle 7: MODE 1 des symmetrischen Grundrisses

Decke über	h [m]	z_i [m]	m [kN]	MODE 1 - Dreieck-Verteilung				MODE 1 - F_b	
				ϕ	$m \cdot \phi$	$m \cdot \phi^2$	$m \cdot \phi \cdot h$	F_i	$F_i \cdot h_i$
2.OG	3,10	9,50	2272,93	1,00	2272,93	2272,93	21592,80	563,17	5350,13
1.OG	3,20	6,40	2811,61	0,67	1894,14	1276,05	12122,48	375,45	2402,86
EG	3,20	3,20	3040,04	0,34	1024,01	344,93	3276,84	187,72	600,72
Σ	9,50		8124,57		5191,08	3893,91	36992,12	1126,34	8353,71

Die Summe aus der Basisscherkraft ($F_* = m \cdot \phi$) und Masse ($m_* = m \cdot \phi^2$) je Stockwerk ergibt dividiert den Transformbeiwert Γ um einen Mehrmassenschwinger zu einem Einmassenschwinger und zurück zu rechnen. Die Höhe des äquivalenten Einmassenschwingers wird über die einzelnen Kräfte bestimmt, siehe Formel 5. Die Werte zu diesen Berechnungen können aus der Tabelle 7 entnommen werden.

$$\Gamma_{M1} = \Sigma F_* / \Sigma m_* = 5191,08 / 3893,91 = 1,34 \quad (4)$$

$$H_0 = \Sigma F_* \cdot h_i / \Sigma F_* = 36992,12 / 5191,08 = 7,13 \text{ [m]} \quad (5)$$

Nach der Bestimmung der Kapazitätsnachweise und Verschiebungen wurde die Außenwände bzw. dessen Pfeiler unter Biegung, siehe einen Auszug der Berechnung in der Tabelle 8. Die vollständige Berechnung kann im Anhang B.3 entnommen werden.

Tabelle 8: maßgebende Wände des symmetrischen Grundrisses

Wand- Segment	V_{Rd} [kN]	Versagens- art	d_u [mm]	T^* [sec]	$S_{e(T^*)}$ [m/s ²]	q_u [-]	d_t^* [mm]	$k \cdot d_t$ [mm]	α_{IST} [-]
W_{16}	843,81	Schubvers.	43,33	0,61	1,97	2,69	18,53	37,06	1,17
W_{13}	900,61	Schubvers.	43,33	0,67	1,79	2,62	20,41	40,82	1,06
W_{14}	1201,97	Schubvers.	43,33	0,67	1,78	2,61	20,44	40,87	1,06
2.OG- Pfeiler	V_{Rd} [kN]	Versagens- art	V_{Ed} [kN]	N_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm]	e [m]	l_c [m]	V_{Ed}/V_{Rd} [-]	α_{IST} [-]
W_{13}	11,83	Biegevers.	21,85	53,58	67,73	1,26	0,12	1,85	0,54
W_{16}	9,46	Biegevers.	18,07	41,61	56,02	1,35	0,09	1,91	0,52

Im oberen Abschnitt der Tabelle 8 ist die Kapazität des PushOvers (MODE 1) und der zweite Abschnitt zeigt die zwei relevanten Werte aus der Berechnung. Maßgebend ist die Außenwand W_{16} (X-Richtung) bzw. dessen Pfeiler im 2.Obergeschoss. Dies führt zu einem Erdbeneberfüllungsfaktor von $\alpha_{sym} = 0,54$.

5.3.2. Handrechnung / unsymmetrischer Grundriss

Tabelle 9: MODE 1 des unsymmetrischen Grundrisses

Decke über	h [m]	z_i [m]	m [kN]	MODE 1 - Dreieck-Verteilung				MODE 1 - F_b	
				ϕ	$m \cdot \phi$	$m \cdot \phi^2$	$m \cdot \phi \cdot h$	F_i	$F_i \cdot h_i$
4.OG	3,50	17,90	4729,76	1,00	4729,76	4729,76	84662,47	1357,18	24293,45
3.OG	3,60	14,40	5652,62	0,80	4547,36	3658,21	65481,96	1085,74	15634,67
2.OG	3,60	10,80	5986,48	0,60	3611,95	2179,28	39009,10	814,31	8794,50
1.OG	3,60	7,20	6250,25	0,60	2514,07	1011,24	18101,27	542,87	3908,67
EG	3,60	3,60	6749,78	0,20	1357,50	273,02	4886,99	271,44	977,17
Σ	17,90		29368,89		16760,64	11851,51	212142,07	4071,53	53608,45

Die Bestimmung des Transformbeiwert Γ und die anschließende Berechnung der Höhe des äquivalenten Einmassenschwingers wird nach den Formeln 4 & 5 ermittelt. Die vollständige Berechnung kann aus dem Anhang B.3 entnommen werden, einen Überblick der Ergebnisse bietet die Tabelle 10.

Tabelle 10: maßgebende Wände des unsymmetrischen Grundrisses

Wand-Segment	V_{Rd} [kN]	Versagens-art	d_u [mm]	T^* [sec]	$S_{e(T^*)}$ [m/s ²]	q_u [-]	d_t^* [mm]	$k \cdot d_t$ [mm]	α_{IST} [-]
W_2	2029,38	Schubvers.	108,21	1,24	0,96	2,01	37,81	80,20	1,35
W_{12}	1984,87	Schubvers.	92,95	1,16	1,03	1,64	35,36	75,02	1,24
W_1	2637,59	Schubvers.	80,56	1,08	1,11	1,52	32,83	69,64	1,16
3.OG-Pfeiler	V_{Rd} [kN]	Versagens-art	V_{Ed} [kN]	N_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm]	e [m]	l_c [m]	V_{Ed}/V_{Rd} [-]	α_{IST} [-]
W_1	19,26	Biegevers.	54,81	116,07	303,86	2,62	0,26	2,85	0,35
W_{12}	18,64	Biegevers.	67,89	110,61	376,41	3,40	0,25	3,64	0.27

Der obere Bereich der Tabelle 10 betrifft die Kapazität des PushOvers im MODE 1 und der untere die zwei kleinsten relevanten Werte aus den verschiedenen Nachweisen. Das maßgebende Wandsegment ist die Außenwand W_1 (X-Richtung) bzw. dessen Pfeiler im 3.Obergeschoss. Dies führt zu einem Erdbeneberfüllungsfaktor von $\alpha_{sym} = 0,27$.

5.4. Kapazitäts Ermittlung

Für die Berechnungen ohne 3muri muss die auftretende Kraft im System für die Tragfähigkeit nach Norm nachgewiesen werden. In diesem Kapitel wird ein exemplarischer Weg der Berechnung aufgezeigt und genauer auf die Ermittlung dieser Nachweise eingegangen. Dies beinhaltet folgende Nachweise gem. ÖNORM EN/B 1996-1-1 und ÖNORM EN 1998-1/3:

- Schubtragfähigkeit (mit gemessener oder berechneter überdrückten Länge)
- Querkraftkapazität (infolge Biegung)
- Druckkraft bzw. vorwiegende vertikale Belastung
- Stabilitätsnachweis (Kippen)

5.4.1. Nachweise

Schubtragfähigkeit Die Schubkraft muss gegen den vorhandenen Widerstand, siehe Formel 6, mit den entsprechenden weiteren Formeln und die Geometrie der betrachtenden Wand bzw. einen Abschnitt berechnet werden.

$$V_{Rd} = f_{vd} \cdot t \cdot l_c \quad (6)$$

$$f_{vd} = \min(f_{vk1}; f_{vk2}) \quad (7)$$

$$f_{vk1} = f_{vk0} + 0,4 \cdot s_d ; \quad f_{vk2} = 0,065 \cdot f_b \quad (8)$$

$$s_d = N_{sd} / (l_c \cdot t) \quad (9)$$

$$l_c = 3 \cdot (l/2 - e); \quad e = M_{Ed} / N_{Ed} \leq l/6 \quad (10)$$

Die überdrückte Länge l_c wird bei der Berechnung von RFEM direkt aus dem Programm abgelesen bzw. ausgemessen, für die Handrechnung muss diese Länge entsprechend nach der Formel 10 mit der ermittelten Belastung bestimmt werden.

Querkrafttragfähigkeit Den Widerstand gegen die angreifende Querkraft wird mit der Formel 11 bestimmt. Auch hier fließt die Geometrie der auszuwertenden Wand ein.

$$V_{f,Rd} = l \cdot N_{sd} / (2 \cdot H_0) \cdot (1 - 1,15 \cdot v_d) \quad (11)$$

$$v_d = N_{sd} / (l \cdot t \cdot f_m / CF / \gamma_m) \quad (12)$$

$$H_0 = 0,75 \cdot h \quad (13)$$

In der Formel 13 für H_0 wird normalerweise die ermittelte Höhe für den äquivalenten Einmassenschwinger herangezogen. Bei der Betrachtung von herausgelösten einzelnen Wänden wird die Höhe der Wand mit h , wie in der Formel angegeben, herangezogen bzw. abgemindert.

Vertikale Belastung Unter vorwiegend vertikaler Belastung wird das Mauerwerk ausschließlich durch eine Normalkraft belastet. Diese resultiert aus dem Eigengewicht und Belastungen aus der Dachkonstruktion und Decken inkl. deren Belastungen. In die Berechnung fließt die Geometrie und Lage des betrachtenden Abschnittes ein.

$$N_{Rd} = \phi_s \cdot f_d \cdot A ; \quad A = t \cdot l \quad (14)$$

$$\phi_s = 0,85 - 0,0011 \cdot (h_{ef} / t_{ef})^2 \quad (15)$$

Der Abminderungsbeiwert ϕ_s ist für Wänden die als Endauflager für Decken oder des Daches wirken, mit weiteren Formeln und minimalen Werten nach Norm geregelt, wobei die Abminderung mit 0,85 einen absoluten Höchstwert besitzt, der kleinste fix Wert nach Norm beträgt 0,40.

Die tragenden Mauerwerkswände in Gründerzeithäusern sind aufgrund der Tatsache, dass diese zum heutigen Zeitpunkt noch stehen, ein augenscheinlicher Nachweis in sich selbst, und es wird in dieser Schrift nicht weiter darauf eingegangen.

Stabilität Die Stabilität von einzelnen Wandscheiben, aber auch von Pfeilern, muss ebenfalls berücksichtigt werden. Hierzu wird Gleiten bzw. Kippen herangezogen. Glücklicherweise sind diese Nachweise mit der Formel 11 bereits abgedeckt. Es bleibt jedoch noch die Tatsache, dass bei kleinen betrachtenden Wandabschnitten mit entsprechender Einwirkung, eine überdrückte Länge (siehe Formel 10), die negativ, wird entstehen kann. Ein Abschnitt mit l_c von mindestens Null kann keinen Druck mehr übertragen und hat somit keine Tragfähigkeit mehr.

In diesem Fall wird die kleinste Länge berechnet, die für die vorhandene Normalkraft benötigt wird (Formel 14 ohne Abminderungsbeiwert bzw. $\phi_S = 1,0$) und als die überdrückte Länge l_c angenommen. Diese Bereiche betreffen meist Dickensprünge in einer Wand oder kurze, nicht tragende Zwischenwände, die beim Ausfall nur zu einem lokalen Versagen führen würden. Als Versagensart für diesen ungewöhnlichen Fall wird "Schub/Druckängegeben und es liegt in der Einschätzung des Tragwerkplaners, die Aussage des Ergebnisses zu interpretieren, vor allem durch die Nicht-Berücksichtigung der Verzahnung der anschließenden Wände bei der Bestimmung des Widerstandes

5.4.2. PushOver

Folgende Formeln berechnen die Verschiebung mittels Umformen des Systems in einen äquivalenten Einmassenschwinger und zurück, woraus letztendlich die Kapazität des Objektes ermittelt wird.

elastische Verschiebung (mit H_0),

$$d_{y,0} = \frac{V_{Rd} \cdot H_0^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{6}{5} \cdot \frac{V_{Rd} \cdot H_0}{G \cdot A} \quad (16)$$

Steifigkeit der Mauerscheibe,

$$k = V_{Rd} / d_{y,0} \quad (17)$$

elastische Verschiebung (mit H_{tot}),

$$d_y = V_{Rd} \cdot H_0^2 \cdot \frac{3 \cdot H_{tot} \cdot H_0}{6 \cdot E \cdot I} + \frac{6}{5} \cdot \frac{V_{Rd} \cdot H_0}{G \cdot A} \quad (18)$$

effektive Steifigkeit,

$$k_{eff} = V_{Rd} / d_y \quad (19)$$

Kapazität als Verschiebungsfunktion (mit H_{tot}),

$$\begin{aligned} d_u &= 0,008 \cdot (H_0/L) \cdot H_{tot} \quad \dots \text{unter Biegung \& Längskraft} \\ d_u &= 0,004 \cdot H_{tot} \quad \dots \text{unter Schubbeanspruchung} \end{aligned} \quad (20)$$

Duktilitätsfaktor / Zeitduktilität,

$$\mu = F_{i,M1} \cdot \text{Anteil}_{[\%]} \quad (21)$$

Energiegehalt des Mehrmassenschwingers,

$$E_m = d_y \cdot \frac{F_y}{2} + (d_u - d_y) \cdot F_y \quad \text{mit } k_{eff} = k_{eff}^* \quad (22)$$

Umrechnung für den Energiegehalt des Einmassenschwingers,

$$E_m^* = E_m / \Gamma^2 \quad (23)$$

Umrechnung der Kraft auf den äquivalenten Einmassenschwinger,

$$F_y^* = V_{Rd} / \Gamma \quad (24)$$

plastische Grenzverschiebung,

$$d_n^* = d_u / \Gamma \quad (25)$$

elastischste Grenzverschiebung,

$$d_y^* = 2 \cdot (d_n^* - E_m^* / F_y^*) \quad (26)$$

Schwingungsdauer eines linearen Einmassenschwingers,

$$T^* = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m^* \cdot d_y^*}{F_y^*}} \quad (27)$$

Ermittlung der Ordinate des elastischen Antwortspektrums,

$$\begin{aligned} 0 \leq T \leq T_B : S_{e(T^*)} &= a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1)\right] \\ T_B \leq T \leq T_C : S_{e(T^*)} &= a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \\ T_C \leq T \leq T_D : S_{e(T^*)} &= a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot [T_C / T] \\ T_D \leq T \leq 4s : S_{e(T^*)} &= a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T}\right] \end{aligned} \quad (28)$$

elastische Zielverschiebung,

$$d_{et}^* = S_{e(T^*)} \cdot [T^* / 2\pi^2] \quad (29)$$

Verhältnis der Beschleunigung im Tragwerk bei unbeschränkt elastischem Verhalten und derjenigen bei beschränkter Tragwerksfestigkeit (lt. EN 1998-1 Anhang B),

$$q_u = \frac{S_{e(T^*)} \cdot m^*}{F_y^*} \quad (30)$$

Zielverschiebung des äquivalenten Einmassenschwingers,

$$\begin{aligned} T^* < T_C : d_t^* &= d_{et}^* \text{ bei } F_y^* / m^* \geq S_{e(T^*)} \text{ sonst,} \\ d_t^* &= (d_{et}^* / q_u) \cdot \left[1 + (q_u - 1) \frac{T_C}{T^*}\right] \geq d_{et}^* \\ T^* \geq T_C : d_t^* &= d_{et}^* \end{aligned} \quad (31)$$

Umrechnung der Zielverschiebung für einen Mehrmassenschwingers,

$$d_t = d_t^* \cdot \Gamma \quad (32)$$

theoretische elastische Kraft bei Erreichen von d_u (siehe Formel 20),

$$F_{y,du} = V_{Rd} + (V_{Rd}/d_y) \cdot (d_u - d_y) \quad (33)$$

Verhaltensbeiwert,

$$q_{AS} = F_{y,du}/V_{Rd} \quad (34)$$

Kapazität Ermittlung via den Verschiebungen,

$$\alpha_{IST} = d_u/(k \cdot d_t) \quad (35)$$

5.5. Gegenüberstellung

Diese drei Berechenmethoden gegenüber zu stellen ist nicht ganz leicht oder anders ausgedrückt: nicht ganz fair.

3muri betrachtet das gesamte Objekt inklusive aller Steifigkeiten im System, die Deckenebenen und die genaue Anordnung der Wände mit ihren Eigenschaften je Stockwerk. RFEM kann die Berechnung mittels PushOver-Verfahren nicht, hier kommt man auf das Ergebnis durch einen anderen Ansatz, dem Ersatzkraftverfahren. Die Berechnung via Hand bzw. computerunterstützt mit vorwiegend Excel, hält sich an die Norm und nimmt vereinfachende Nachweise und Annahmen, welche auf der sicheren Seite liegen. Dies führt dazu, dass bei einer Excel-Tabelle, die wiederverwendbar für weitere Berechnungen sein soll, nur bedingt auf die Geometrie des Grundrisses eingegangen wird bzw. diese in ihrer Anordnung berücksichtigt.

Diese Gegenüberstellung vergleicht die gängigsten Methoden, die momentan in der Praxis herrschen und zeigt somit, ob die Erwartungen dieser Verfahren erfüllt werden, und zwar im Sinne des verwendeten Aufwandes und wie aussagekräftig das Endresultat der jeweiligen Berechnung ist.

Tabelle 11: Vergleich der Auswertungen mittels Kapazität

	symmetrisch	unsymmetrisch	Dauer [h]
3muri	0,62	0,64	6,0
RFEM	0,84	0,88	10,0
Excel	0,52	0,27	4,0
Excel*	1,06	1,16	4,0

* unter reiner Berücksichtigung der Verschiebung nach der PushOver-Berechnung laut Norm

Aus der Gegenüberstellung in der Tabelle 11 ist ersichtlich, dass RFEM um 3muri ungefähr 0,2 bzw. 20% Unterschied aufweisen, wobei RFEM einen besseren Wert im Sinne der Tragfähigkeit erzielen würde. Die Handrechnung, die als "Excel" in der Tabelle bezeichnet wird, liegt weit von den Werten der 3D-Programme entfernt. Wenn man sich jedoch ausschließlich auf die Auswertung der Verschiebungen lt. Norm hält, würde die computerunterstützte Handrechnung besser ausfallen und in einem gewissen Verhältnis auch wieder den Ergebnissen der anderen beiden Methoden entsprechen. Doch wird bei der Bestimmung der Verschiebung nur vom Widerstand ausgegangen und nicht von der tatsächlich angreifenden Kraft.

Diese Diskrepanz zwischen den Ergebnissen ist auf ein paar Faktoren zurück zu führen, jedoch sticht am meisten die berücksichtigte Steifigkeit der Deckenebenen in Kombination verschiedener benachbarter Wandscheiben hervor. RFEM und 3muri berücksichtigen genau diese geometrischen Eigenschaften des Gebäudes mit den angegebenen Materialkennwerten und der Art der Belastung bzw. deren Einwirkung. Es gäbe genauere Nachweise für die händische Ermittlung, die diese Punkte besser berücksichtigen, wie zum Beispiel gewisse anschließende Wände an den Enden, ähnlich wie Flansche bei einem I-Profil zur Verbesserung des Widerstandes. Diese Nachweise sind je Gebäude nicht nur komplett unterschiedlich, sondern wären je Knotenpunkt einzeln zu betrachten. Dies würde in der Praxis mehr Zeit benötigen, vor allem bei größeren Gebäuden. Im Sinne der Wirtschaftlichkeit und der Thematik dieser Schrift wird ausschließlich auf der sicheren Seite gerechnet. Je komplexer das betrachtende Objekt, desto größer schlägt die Berechnung auf der sicheren Seite aus und stellt einen schlechteren Zustand des Widerstandes dar (siehe größeren Abfall beim umfangreicheren unsymmetrischen Grundriss).

Tabelle 12: Vergleich der Verschiebungen [mm] der maßgebenden Richtungen

	symmetrisch		unsymmetrisch	
	X-Richtung	Y-Richtung	X-Richtung	Y-Richtung
3muri*	14,8 (W_{16})	11,8 (W_3)	24,1 (W_1)	33,2 (W_{12})
RFEM	25,5 (W_{16})	17,2 (W_4)	29,0 (W_1)	48,4 (W_{18})
Excel	24,7 (W_{16})	34,6 (W_3)	50,0 (W_1)	46,43 (W_{12})

* Wand Bezeichnung an das von RFEM & Excel angepasst.

Die PushOver Berechnung hängt von der Verschiebung ab, aus diesem Grunde wird in der Tabelle 12 diese je im maßgebenden Fall in X-/Y-Richtung gegenübergestellt. Die Lage der Wände kann aus der Abbildung 11 und 13 entnommen werden. Aus diesen Werten wird ersichtlich, dass 3muri die geringste Verschiebung errechnet. Die beiden anderen Methoden ähneln sich hin und wieder, was sich vermutlich auf die geometrische Berücksichtigung der anschließenden Wände in RFEM zurückführen lässt.

Die zuvor angesprochene Wirtschaftlichkeit ist gerade in der momentanen Lage der Bau- branche und dem daraus resultierenden starken Preisdruck, ein sehr wichtiger Faktor, um potentielle Aufträge und neue Kunden zu gewinnen. Hier ist ein deutlicher Unterschied zwischen den verschiedenen Methoden zu erkennen.

Die Handrechnung liegt durch die Vereinfachung der Eingabe und in konkreter Folge der Außerachtlassung geometrischer Gegebenheiten bzw. die daraus resultierenden höheren Widerstände der zu betrachtenden Elemente, an erster Stelle. Gefolgt von 3muri, welches durch die Anwendung der FME-Methode relativ schnell rechnet und zuverlässige Ergebnisse liefert. Auf der letzten Stelle liegt RFEM, dies ist ausschließlich der langen Zeit geschuldet, die das Programm bei zugfreien Flächen (aka Mauerwerk) benötigt. Des Weiteren kann der Benutzer von RFEM eine Belastung nicht via einer Verschiebung eingeben. Dies entspricht - wie bereits in dieser Schrift erwähnt - nicht der PushOver Berechnung und wird nach der Änderung des Eurocodes nicht mehr dem Stand der Technik entsprechen.

Zum Thema Zeitfaktor ist noch zu erwähnen, dass RFEM bei der Berechnung die Hardware komplett ausnutzt und eine Verwendung des Systems während einer Berechnung stark beeinträchtigt. Wobei 3muri hingegen auch mit zwei Instanzen gleichzeitig noch ohne große Probleme im Hintergrund rechnet.

Ein weiterer Punkt ist die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse und dessen Überprüfung nach den Kenntnissen eines fachlich geschulten Personals. Programme mit Modellen in 3D und graphischen Ausgaben helfen, eventuelle falsche Eingaben auf einen Blick leicht zu erkennen. In einer Berechnung rein in Excel geht die Übersichtlichkeit und der Zusammenhang zwischen den einzelnen Zeilen leicht verloren, vor allem, wenn man eine Datei verwendet, die nicht von einem selbst verfasst wurde. RFEM ist hier in der

Eingabe und Berechnung zwar hilfreich, jedoch findet die Auswertung des Mauerwerks nicht direkt im Programm statt und verliert somit an einem kritischen Punkt den Vorteil eines Modells bei der Auswertung. Darüber hinaus ist die Auswertung des Programms für die überdrückte Länge l_c (siehe Abbildung 18) und die dazugehörige exemplarische Berechnung meist komplett überdrückt. Dies beeinflusst den Widerstand im Vergleich zur Handrechnung enorm, mit diesen "besseren" Ergebnissen lassen sich auch gut die Rund 20% besseren Resultate im Vergleich zu 3muri erklären.

Der Mittelweg, also die Berechnung nach PushOver mit 3muri, bietet nicht nur eine zukunftsichere Methode der Bestimmung von Erdbebenerfüllungsfaktoren, sondern auch eine gewisse wirtschaftliche Schnelligkeit, ohne dabei auf eine Tabelle reiner Zahlen angewiesen zu sein. Das Programm selbst ist definitiv noch nicht komplett ausgereift und bei Weitem nicht so bedienungsfreundlich wie zum Beispiel RFEM, doch sprechen die restlichen Punkte und die Ergebnisse im Vergleich zu den anderen Methoden für sich.

Exkurs:

Mit dem laut Norm vorhandenen mindesten zu erfüllenden Erdbebenerfüllungsfaktor von 0,25 bei Gründerzeithäusern liegt 3muri, im Vergleich zu RFEM-Berechnungen, zwar auf der sicheren Seite, jedoch in einem übersichtlichen Rahmen. Die Handrechnung weist jedoch je nach Programmierung bzw. Verwendung von unterschiedlichen Ansätzen der Widerstandsbestimmung eine starke Streuung auf. In der Praxis werden solche Berechnungen meist durchgeführt, um ein Bestandsgebäude aus- und/oder umzubauen. Hierzu muss der Erdbebenerfüllungsfaktor des Bestandes α_{IST} bestimmt werden, woraus durch Änderungen der Personenanzahl im Gebäude ein erforderlicher Erdbebenerfüllungsfaktor α_{SOLL} bestimmt wird. Danach wird das Modell nach den geplanten Bauwerksänderungen, inkl. eventueller Ertüchtigungsmaßnahmen, erneut berechnet und davon ein α_{NEU} ermittelt. Im Endeffekt ist wichtig, dass $\alpha_{NEU} \geq \alpha_{SOLL}$ erreicht wird und somit das Gebäude nach Umbau keine Verschlechterung erfahren hat. Falls der Bestand unter 0,25 fällt, muss dieser bis auf mindestens $\alpha_{IST} = 0,25$ ertüchtigt werden, auch wenn kein Umbau erfolgt.

Dieser Ablauf beinhaltet grundsätzlich eine Verbesserung des Gebäudes gegen die außergewöhnliche Einwirkung Erdbeben. Der Zustand vor und nach der Bauwerksänderung wird meist mit der gleichen Vorgangsweise nachgewiesen und somit ist die Verbesserung, ohne Berücksichtigung der Berechnungsmethode, definitiv vorhanden.

6. Schlussfolgerung

Das PushOver Verfahren steckt in Europa vergleichsweise noch in den Kinderschuhen. Es wird im EN 1998-1 im Anhang B mit geschlagenen vier Seiten abgehandelt und es existieren für den europäischen Raum nur eine handvoll Programme, welche eine Berechnung von PushOver beherrschen. Vorreiter in diesen Dingen sind im europäischen Raum vor allem Italien und die Schweiz, wobei letztere sich nicht auf den Eurocode beziehen. Außerhalb von Europa, wie zum Beispiel in Asien und Amerika ist PushOver allgegenwärtig. In Amerika ist durch den deutlichen Kontrast in der Bauweise und den eingesetzten Materialien ein weiterer großer Unterschied in der Betrachtungsweise dieser Thematik vorhanden. Die Programme sind hier auf die Berechnung von Leichtbauweise und vor allem Holzbauweise ausgelegt und ein noch viel wichtigerer Punkt: Diese Software beherrscht nicht den hier gültigen Eurocode.

Die jetzt noch häufige Verwendung von RFEM bei der Ermittlung des Erdbebenwiderstandes zeigt vergleichbare Ergebnisse, bringt jedoch einen gewissen Zeitaufwand mit sich und wird nach der Umstellung des Eurocodes nicht mehr dem Stand der Technik entsprechen. Die Erstellung einer Excel-Tabelle, die in der Lage ist, ohne große Umstände verschiedene Gebäude (Stichwort: Geometrie) zu berechnen, ist sehr Zeit intensiv und wird in der Praxis ausschließlich von einer Person erstellt. Dies stellt die Berechnung und deren Richtigkeit, aber vor allem die Wirtschaftlichkeit der Ergebnisse im Sinne der späteren Ausführung, in Frage.

Lösungen bringen spezielle Programme, die auf genau diese Berechnung zugeschnitten sind. Dies bedeutet in der Praxis eine weitere Anschaffung einer Software inklusive eventueller jährlicher Servicekosten.

Des Weiteren ist festzuhalten, dass durch die unzähligen Parameter und Unbekannten im Bestand bei Gründerzeithäusern eine gewisse Unsicherheit vorhanden ist. Zustand der Decken und die tatsächliche Qualität jeder Wand wird und kann in der Praxis nicht zu 100% bestimmt werden. All diese Punkte führen dazu, dass die gesamte Berechnung von Materialkennwerten (ergo ein zwingend erforderliches Mauerwerksgutachten oder Einbussen bei den Konfidenzbeiwerten) und der Eingabe der Geometrie in das Programm abhängig ist, die in der Realität von großen Schwankungen betroffen sind. Hier kommen natürlich die Teilsicherheitsbeiwerte ins Spiel, jedoch besteht bei Mauerwerk im allgemeinen noch ein Bedarf an Klarheit der Bestimmung der Widerstände im Zusammenhang mit PushOver- Verfahren. Welche Elemente einzeln betrachtet werden dürfen oder sollen, ist gerade bei einer händischen Berechnung von großer Wichtigkeit, aber auch für die Einschätzung von Software-Ergebnissen. Diese geben außer ihrem Endergebnis meist keinen Einblick in die dahinter liegenden Rechenschritte.

Das Resultat des Vergleiches für unbewehrtes Mauerwerk liefert ein teils ernüchterndes Resultat. Im Vergleich zum Ersatzkraftverfahren mit Hilfe von RFEM für Gründerzeithäuser wird eine bessere Kapazität für das betrachtende Objekt ermittelt als gegenüber der Berechnung mittels 3muri. Jedoch ist auch ein durchaus messbarer Mehraufwand in der Berechnung und Auswertung der Ergebnisse erforderlich.

Die allseits beliebte Methode der schnellen Berechnungen via der in der Praxis vorhandenen Excel-Berechnungen, nach einer zuerst Zeit intensiven Programmierung des PushOvers, gibt Ergebnisse, die stark auf der sicheren Seite liegen. Für diese Excel-Tabellen gibt es nur selten vom Ersteller mitgelieferte Tutorials, eine umfangreiche Beschreibung und einen Support-Dienst für das Hinterfragen einiger Informationen. Sogar eine selbst erstellte Excel-Tabelle wirft hin und wieder nach einer gewissen Arbeitspause Rätsel auf.

Somit bleiben für eine Sicherstellung der zukünftigen Einhaltung des Eurocodes, für eine nachvollziehbare Eingabe und für eine sichere Prüfbarkeit der Berechnung nur PushOver-Programme, wie zum Beispiel 3muri, übrig.

Der Einfluss der Geometrie, vor allem im Sinne des Grundrisses (symmetrisch/unsymmetrisch) und Geschosßanzahl, sollte in zukünftigen Arbeiten näher betrachtet werden. Ein genauer Vergleich des Biegeversagens für gesamte Wandabschnitte, Pfeiler bzw. allgemein die Berücksichtigung von Öffnungen ist zu verifizieren. Diverse Lagen von Durchbrüchen können die Ausbildung von Druckstreben im Mauerwerk verhindern, die in diversen Erläuterungen als “wesentliche” und “unwesentliche” Wandöffnungen bezeichnet werden. Diese sollten in den Nachweisen inkludiert werden.

Auf diesem Gebiet besteht noch Bedarf an verschiedenen Vergleichsrechnungen und eventuell an weiterer Forschung rund um PushOver für unbewehrtes Mauerwerk, vor allem in Hinblick der durchaus vorhandenen Nachfrage für den Aus-/Umbau von Gründerzeithäusern, um diese besser rechnerisch, aber auch normativ zu erfassen.

A. Berechnung

Der Erdbebenerfüllungsfaktor ist jener Wert, ab wann das zu betrachtende Objekt unter der auftretenden Last zum Einsturz kommen würde bzw. die Kapazität laut Norm. Lokales Versagen, das nicht zu einem Einsturz führt, wird nicht als maßgebend herangezogen, diese Einschätzung unterliegt dem Tragwerksplaner, ab wann welches Versagen zu einem Zustand führt, in welchem das Objekt nicht mehr standhaft ist.

In den folgenden Abschnitten wird exemplarisch eine komplette Wand und ein einzelner Pfeiler herangezogen, um den Rechenweg der in dieser Schrift angeführten Berechnungsmethoden schrittweise darzustellen.

Für die Erläuterung wird der unsymmetrische Grundriss gewählt. Die zu betrachtende Wand enthält keine Durchbrüche, die so angeordnet sind, dass schlanke Wandabschnitte und so- mit Pfeiler entstehen. Die Außen- und Mittelwände sind meist die mächtigsten und ziehen somit die meisten Kräfte. Jene sind auch, bedingt durch die Beleuchtung und Erschließung, die Elemente mit den meisten Durchbrüchen. Somit wird für die exemplarische Berechnung ein Pfeiler in der Außenwand im obersten Stockwerk herangezogen.

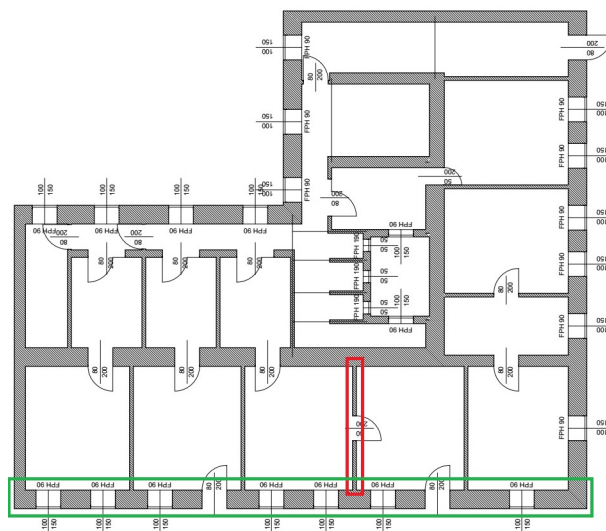


Abbildung 16: gewählter Grundriss mit Abschnitt für Wand in Rot und Pfeiler in Grün

Auf den Nachweis der Druckkraft wird in den folgenden Unterkapiteln nicht näher eingegangen. Im weiteren Anhang kann entnommen werden, dass nach der Formel im Kapitel 5.4.1 für vertikale Belastung jede betrachtende Wand unter vorwiegender vertikaler Belastung tragfähig bleibt.

A.1. Wand

Die gewählte Wand kann in der Abbildung 16 in Rot entnommen werden. In der Berechnung in 3muri wird dieses Element mit Wand 21 bezeichnet, wobei in den beiden anderen Methoden bzw. deren Auflistungen als Wand 16 betitelt ist.

3muri Nach der Berechnung wird jede Wand einzeln betrachtet. Es wird schrittweise entlang der PushOver-Kurve die Auswirkung der steigenden Verschiebung in jeder Wand und seine zerlegten Elemente betrachtet. Es wird so lange eine Steigerung durchgeführt bis ein Element zum Versagen der Wand, und in weiterer Folge des gesamten Objektes, führen würde.

Die Auswertung der Wand 21, im maßgebenden Fall in X-Richtung, ist in der Abbildung 17 ersichtlich. Die Elemente 552 und 553 versagen darin unter Biegung (farblich in rot gehalten), jedoch bewirken diese noch kein Versagen dieser Wand. Die Außenwand bzw. Wand 5 ist in dieser betrachtenden Analyse maßgebend.

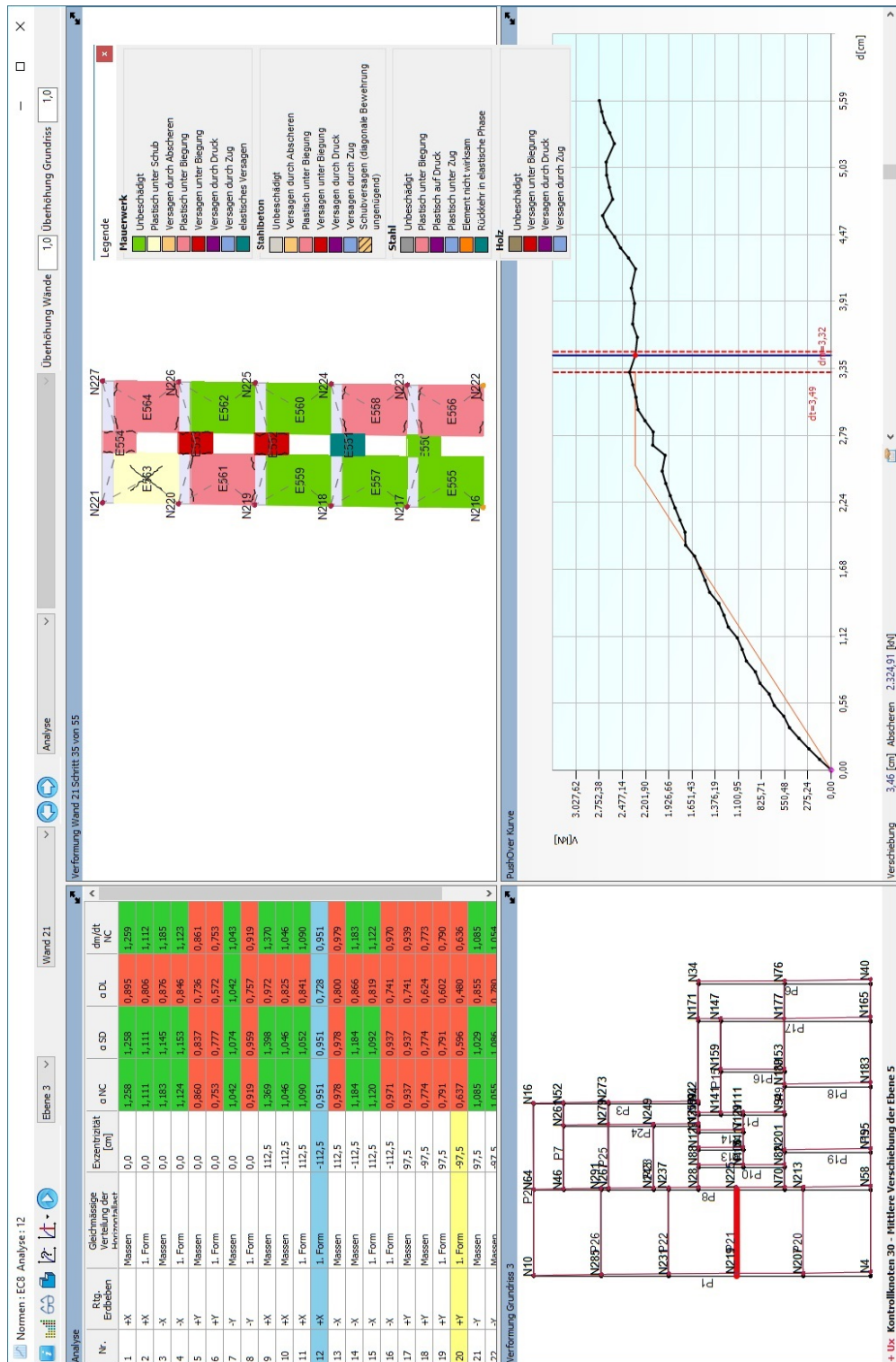


Abbildung 17: Wand 21, unter maßgebenden Schritt der Analyse 12 inkl. Legende

Eine Aussage über den Widerstand gegen Erdbeben von einer Wand kann 3muri nur mit großem Zeitaufwand wiedergeben. Hierzu müssten alle Analysen betrachtet werden, wobei man sich ausschließlich auf die einzelne Wand konzentriert. Bei der Bestimmung des Erdbebenerfüllungsfaktors werden solche einzelne Ergebnisse nicht gesondert erfasst und sind für die Bestimmung von α auch nicht relevant.

Die maßgebende Analyse gibt den Erdbebenerfüllungsfaktor des gesamten Gebäudes an, wobei man in dieser die maßgebende Wand inkl. dem Versagensmechanismus bestimmt.

RFEM Nach der Bestimmung der Ersatzkräfte werden diese als Kraft in der Deckenebene angesetzt und das System mit vier verschiedenen Lastkombinationen berechnet, wobei die ersten beiden die Belastung zu 100% aus X- bzw. Y-Richtung kommt und einmal inklusive 30% der anderen Richtung. Nach der Berechnung durch das Programm wird in jede Wand an der Unterseite der Fläche im RFEM ein Schnitt gelegt, wobei dieser Schnitt nur durch die Wand darüber gelegt wird. Jeder dieser Schnitte wird einzeln in jeder Lastkombination betrachtet, wobei die Mittelwerte von n_y und n_x ausgelesen und notiert werden, aus welcher Lastkombination diese stammen. Die Normalkraft in Y-Richtung der Fläche ist laut Definition der Fläche in RFEM die Normalkraft in der Wand für die weitere Berechnung und die Normalkraft in X-Richtung repräsentiert die Querkraft in der betrachteten Wand.

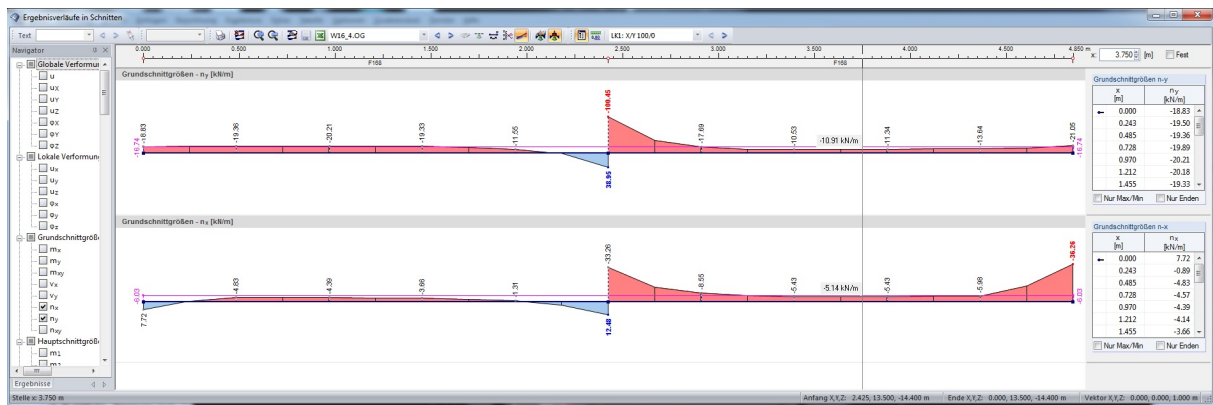


Abbildung 18: Schnitt in der Wand 16 im 4.OG, oberer Verlauf n_y und unten n_x in der Lastkombination LK1 (X=100,0% & Y=0,0%)

Die ausgelesene Belastung wird in eine Excel-Liste Übertragung und mit dem Widerstand der Wand verglichen, wobei die Materialkennwerte aus dem Kapitel 4.3 und Formeln aus Kapitel 5.4.1 herangezogen werden. Die überdrückte Länge wird jedoch aus dem RFEM herausgelesen und nicht laut Norm berechnet.

Die Abmessungen der Wand inkl. den ausgelesenen Daten sind ausreichend, um die Schubtragfähigkeit zu berechnen und somit die Kapazität jeder Wand. Für den niedrigsten Wert muss die Lastkombination für n_y und n_x betrachtet werden. Wenn diese nicht aus der gleichen stammen, muss für beide Kombinationen die Kapazität ermittelt werden. Auf diese Art und Weise erspart man sich in der Praxis die Berechnung jeder Wand in jedem Stock für alle Lastfallkombinationen und bleibt dabei auf der sicheren Seite, bis man im maßgebenden Fall, wenn benötigt, eine genaue Berechnung einführt.

$$\begin{aligned}
 H &= 3,50\text{m} ; \quad t = 0,15\text{m} ; \quad L = 5,75\text{m} \\
 l_c &= 5,25\text{m} ; \quad n_{yd} = 18,0\text{kN/m} ; \quad n_{xd} = 6,45\text{kN/m} \quad \dots \text{aus RFEM} \\
 \Rightarrow N_{Ed} &= n_{yd} \cdot L = 103,96\text{kN} ; \quad V_{Ed} = n_{xd} \cdot L = 37,09\text{kN/m}
 \end{aligned}$$

In der weiteren Berechnung wird ausschließlich die Schubtragfähigkeit betrachtet. Für die Querkraftkapazität in Folge Biegung kann die Verzahnung zwischen den Wänden nicht berücksichtigt werden.

$$\begin{aligned}
s_d &= 0,01 \text{ kN/cm}^2 ; \quad f_{vk1} = 0,02 \text{ kN/cm}^2 ; \quad f_{vk2} = 0,13 \text{ kN/cm}^2 ; \quad f_{vd} = 0,01 \text{ kN/cm}^2 \\
\Rightarrow V_{Rd} &= 81,90 \text{ kN} \\
V_{Ed}/V_{Rd} &= 0,45 \rightarrow 45,0\% \text{ Ausnutzung} \\
V_{Rd}/V_{Ed} &= 2,21 \rightarrow 221\% \text{ Kapazität}
\end{aligned}$$

In dieser Abfolge werden für alle Wände die Belastung und der Widerstand bestimmt. Die niedrigste Kapazität bestimmt letztendlich der Erdbebenerfüllungsfaktor α , hierzu müssen jedoch noch die Pfeiler näher betrachtet werden.

Handrechnung Für die Anwendung in der Praxis wird für gewöhnlich von einem Mitarbeiter eine Excel-Tabelle erstellt, die über eine entsprechende Eingabe und verwendbare Ausgabe verfügt, um nach der Bestimmung der Basisscherkraft und Masse (siehe Tabelle 9) je Stockwerk und die Umrechnung zu einem Mehrmassenschwinger, ein brauchbares Ergebnis zu erlangen. Danach wird vom höchsten Stock nach unten gerechnet, um die ermittelten Kräfte (vor allem die Normalkraft) in die Berechnung vom Stock darunter einfließen zu lassen.

Als eventuelle Auflast wird das Dach bzw. Gesimse herangezogen. Ist die betrachtete Wand eine Innenwand bzw. eine nicht tragende Wand, besitzt diese keine Auflast aus dem Dachgeschoss. Danach wird die Abmessung (Höhe, Dicke und Länge) herangezogen, um die Normalkraft in der betrachteten Wand zu bestimmen. Die vorhandene Querkraft resultiert aus der prozentualen Masse der Wand zur gesamten des Geschosses mal der angreifenden Scherkraft (aus der Basisscherkraft). Ähnlich wird das Moment ermittelt, wobei hier die Höhe der Wand einfließt und in den Stöcken darunter die angreifende Kraft inkl. deren Abstand aus den darüber liegenden Geschossen.

$$\begin{aligned}
H &= 3,50 \text{ m} ; \quad t = 0,15 \text{ m} ; \quad L = 5,75 \text{ m} \\
A &= H \cdot L - \text{Öffnungen} = 20,13 - 1,8 = 18,33 \text{ m}^2 \\
N_{Ed} &= A \cdot \gamma_m = 18,33 \cdot 19,00 = 52,23 \text{ kN} \\
V_{Ed} &= F_{i,MODE1} \cdot \text{Anteil}\% = 1357,18 \cdot (2,42/100) = 32,83 \text{ kN} \\
M_{Ed} &= V_{Ed} \cdot H = 32,83 \cdot 3,5 = 114,91 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Anschließend muss die überdrückten Länge der Wand berechnet werden, mit diesen Werten, den Materialkennwerten aus dem Kapitel 4.3 und den Formeln aus dem Kapitel 5.4.1, werden die Widerstände der Wandabschnitte bestimmt.

$$\begin{aligned}
e &= M_{Ed}/N_{Ed} = 2,20 \text{ m} \leq l/6 = 5,75/6 = 0,96 \text{ m} \\
l_c &= 3 \cdot (l/2 - e) = 3 \cdot (5,75/2 - 2,20) = 2,02 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
s_d &= 0,01 \text{ kN/cm}^2 ; \quad f_{vk1} = 0,02 \text{ kN/cm}^2 ; \quad f_{vk2} = 0,13 \text{ kN/cm}^2 ; \quad f_{vd} = 0,01 \text{ kN/cm}^2 \\
\Rightarrow V_{Rd, Schub} &= 56,77 \text{ kN} \\
v_d &= 0,04 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow V_{Rd, Biege} = 54,75 \text{ kN} \rightarrow \text{maßgebend}
\end{aligned}$$

Nach der Ermittlung kann die Ausnutzung/Kapazität der berechneten Wand bestimmt werden.

$$\begin{aligned}
V_{Ed}/V_{Rd} &= 0,60 \rightarrow 60,0\% \text{ Ausnutzung} \\
V_{Rd}/V_{Ed} &= 1,67 \rightarrow 167,0\% \text{ Kapazität}
\end{aligned}$$

In dieser Abfolge werden für alle Wände die Belastung und der Widerstand bestimmt. Die niedrigste Kapazität bestimmt letztendlich der Erdbebenerfüllungsfaktor α , hierzu müssen jedoch noch die Pfeiler näher betrachtet werden.

Für die Ermittlung der Verschiebungen über einen äquivalenten Einmassenschwinger werden die For-

meln nach dem Kapitel 5.4.2 berechnet und hier nicht nochmal näher ausgeführt. Die komplette Berechnung kann im Anhang B.3 eingesehen werden.

A.2. Pfeiler

Die gewählte Wand kann in der Abbildung 16 in grün entnommen werden. In 3muri und in den beiden anderen Berechnungsmethoden wird diese als Wand 1 bezeichnet. Für diese exemplarische Berechnung wird der schmalste Pfeiler im 4. OG herangezogen, in den Geschossen darunter steigt die Normalkraft und verbessert die Tragfähigkeit gegen Schubversagen.

3muri Mit der Berechnung wurde die hier betrachtende Wand maßgebend und die Auswertung ist in der Abbildung 9 ersichtlich. Daraus ist abzulesen, dass die Wand in der äußeren Ecke des Gebäudes auf Abscheren versagt bzw. die Pfeiler am Randbereich versagen. Das Programm berechnet die gesamte Wand inklusive eventuell darin enthaltender Pfeiler gleichzeitig und unter Berücksichtigung der gesamten Steifigkeit der einzelnen Elemente im 3D-Modell.

RFEM Die Pfeilerlänge bzw. Breite wurde mit $L = 1,2m$ festgelegt. Die ausgelesene Belastung wird durch die Länge der Wand minus der vorhandenen Fensteröffnung dividiert und anschließend mit der Pfeilerbreite L multipliziert. Danach folgt dieselbe Vorgehensweise analog zur Wand.

$$\begin{aligned}
 V_{Ed} &= [V_{Ed,W1} / (L_{W1} - \text{Fensterbreite} \cdot \text{Anzahl})] \cdot L \\
 V_{Ed} &= [140,85 / (22,50 - 1,0 \cdot 9)] \cdot 1,2 = 12,52kN \text{ mit } l = 1,2m ; \quad l_c = 0,6m \\
 s_d &= 0,03kN/cm^2 ; \quad f_{vk1} = 0,02kN/cm^2 ; \quad f_{vk2} = 0,13kN/cm^2 ; \quad f_{vd} = 0,01kN/cm^2 \\
 &\Rightarrow V_{Rd} = 40,23kN \\
 V_{Ed}/V_{Rd} &= 0,31 \rightarrow 31,0\% \text{ Ausnutzung} \\
 V_{Rd}/V_{Ed} &= 3,21 \rightarrow 321\% \text{ Kapazität}
 \end{aligned}$$

Gemeinsam mit den Wänden gibt die niedrigste Kapazität den Erdbebenerfüllungsfaktor α wieder.

Handrechnung Die Pfeilerlänge bzw. Breite wurde mit $L = 1,2m$ festgelegt. Die einzelnen bestimmten Belastungen werden durch die Länge der Wand minus der vorhandenen Fensteröffnung dividiert und anschließend mit der Pfeilerbreite L multipliziert. Danach folgt dieselbe Vorgehensweise der Bestimmung des Widerstandes wie für eine Wand.

$$\begin{aligned}
 V_{Ed} &= [V_{Ed,W1} / (L_{W1} - \text{Fensterbreite} \cdot \text{Anzahl})] \cdot L \\
 V_{Ed} &= [342,53 / (22,50 - 1,0 \cdot 9)] \cdot 1,2 = 30,45kN \\
 \text{analog} &\Rightarrow N_{Ed} = 64,77kN ; \quad M_{Ed} = 106,57kNm \\
 e &= 1,65m ; \quad l_c = L/2 = 0,60m \text{ (Kippen)} \\
 s_d &= 0,02kN/cm^2 ; \quad f_{vk1} = 0,03kN/cm^2 ; \quad f_{vk2} = 0,13kN/cm^2 ; \quad f_{vd} = 0,03kN/cm^2 \\
 &\Rightarrow V_{Rd, Schub} = 43,23kN \\
 v_d &= 0,07kN/cm^2 \Rightarrow V_{Rd, Biege} = 13,55kN \rightarrow \text{maßgebend}
 \end{aligned}$$

Nach der Ermittlung kann die Ausnutzung/Kapazität der berechneten Wand bestimmt werden.

$$\begin{aligned}
 V_{Ed}/V_{Rd} &= 2,25 \rightarrow 225\% \text{ Ausnutzung} \\
 V_{Rd}/V_{Ed} &= 0,45 \rightarrow 45,0\% \text{ Kapazität}
 \end{aligned}$$

Gemeinsam mit den Wänden gibt die niedrigste Kapazität bestimmt letztendlich der Erdbebenerfüllungsfaktor α für das betrachtete Objekt wieder. Die Verschiebungen werden hier nicht gesondert für die Pfeiler ermittelt, jene werden mit der gesamten Wand gemeinsam betrachtet.

B. Ergebnisse

B.1. 3muri

symmetrischer Grundriss Zum besseren Verständnis wird in der folgenden Abbildung das 3D-Modell aus 3muri dargestellt. Die Auswertung kann der Tabelle 1 entnommen werden, die maßgebende Wand ist in der Abbildung 6 (X-Richtung) ersichtlich. Die maßgebende Y-Richtung kann der Abbildung 21 entnommen werden. In diesen Darstellungen kann entlang der horizontalen Achse der PushOver-Kurve die Verschiebung zu diesem Zeitpunkt abgelesen werden.

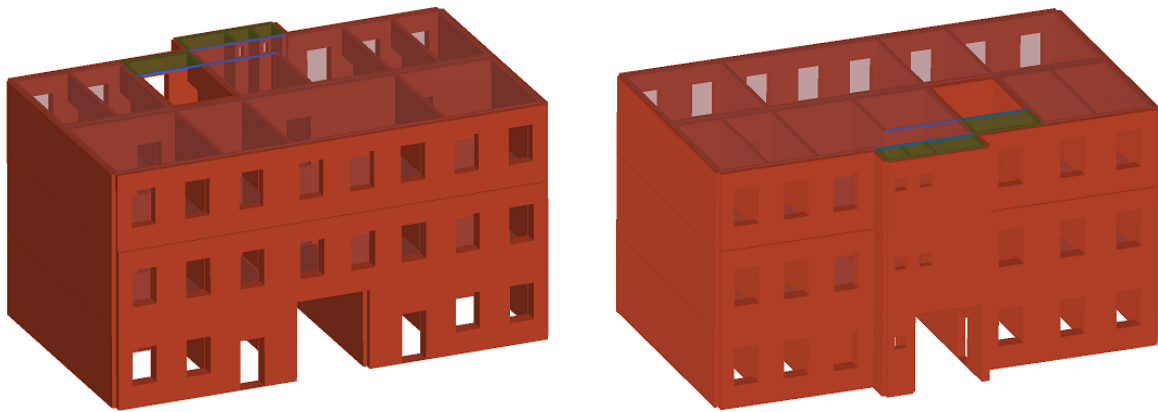


Abbildung 19: symmetrischer Grundriss, 3D-Modell von beiden Seiten

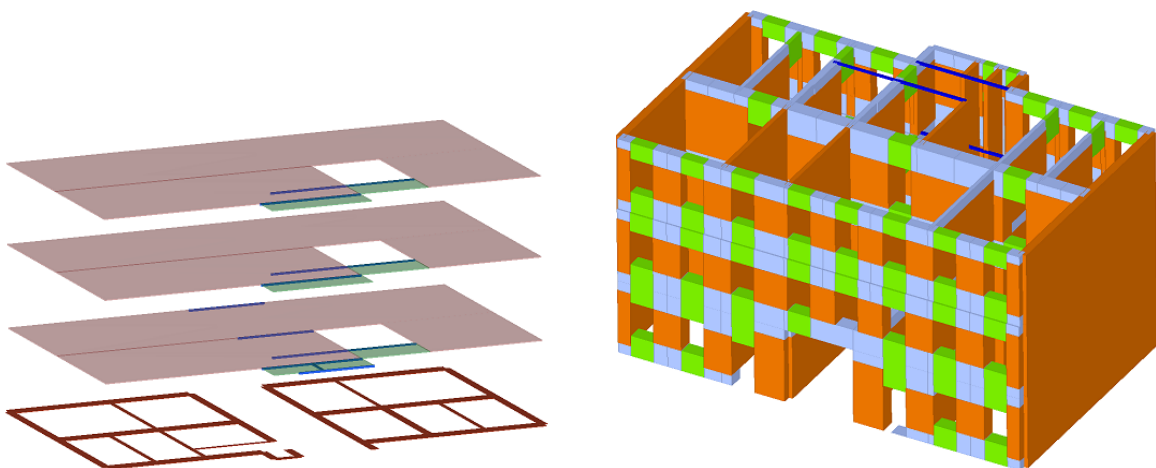


Abbildung 20: symmetrischer Grundriss, Links: Mauern im Erdgeschoss inklusive der darauf folgenden Deckenebenen; Rechts: Einteilung der Marko-Elemente

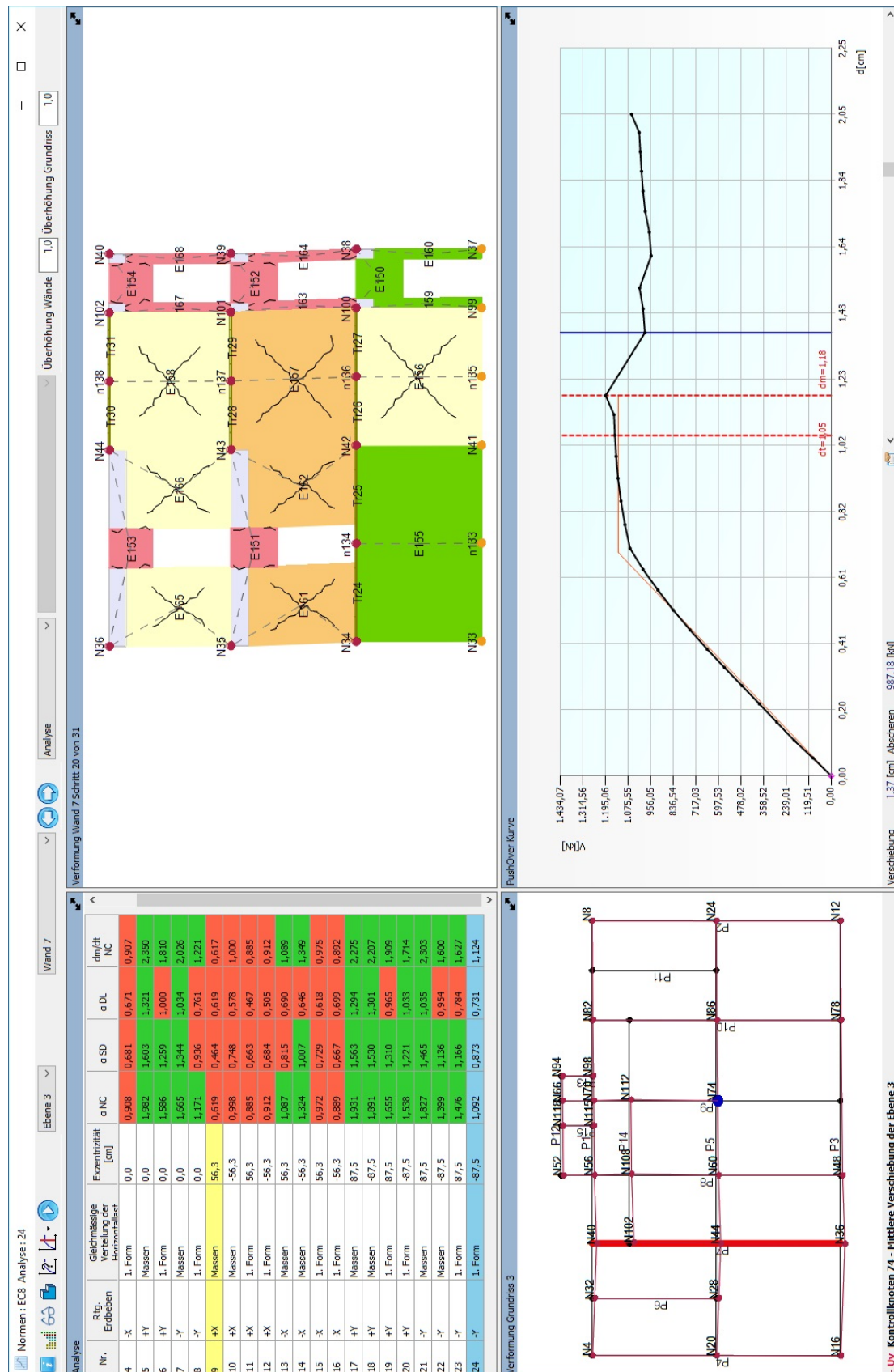


Abbildung 21: symmetrischer Grundriss, maßg. Analyse der Y-Richtung (9) des symmetrischen Grundrisses

unsymmetrischer Grundriss Zum besseren Verständnis wird in den folgenden Abbildung das 3D-Modell aus 3muri dargestellt. Die Auswertung kann der Tabelle 2 entnommen werden, die maßgebende Wand ist in der Abbildung 9 (Y-Richtung) ersichtlich. Die maßgebende X-Richtung kann aus der Abbildung 24 entnommen werden. In dieser Darstellungen kann entlang der horizontalen Achse der PushOver-Kurve die Verschiebung zu diesem Zeitpunkt abgelesen werden.

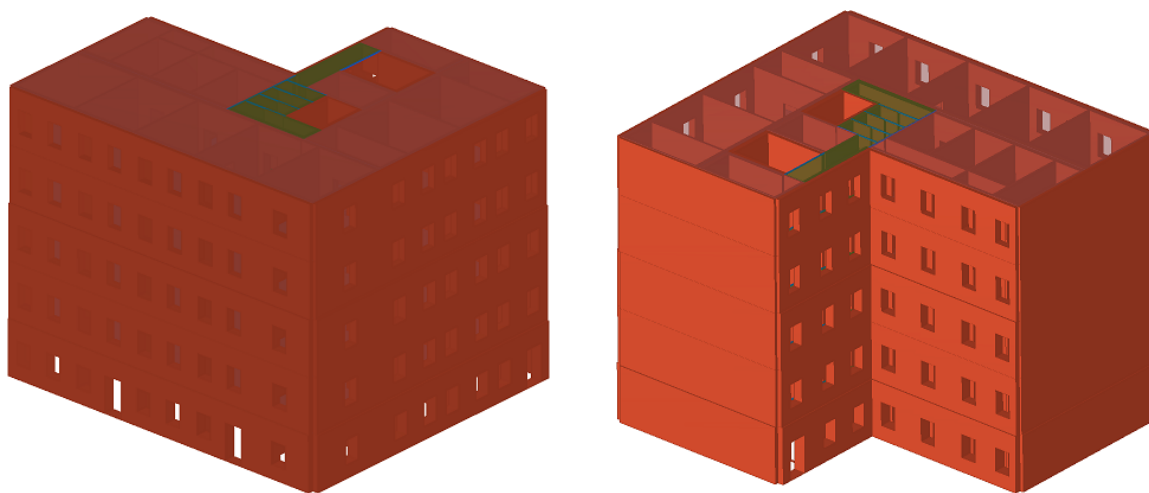


Abbildung 22: unsymmetrischer Grundriss, 3D-Modell von beiden Seiten

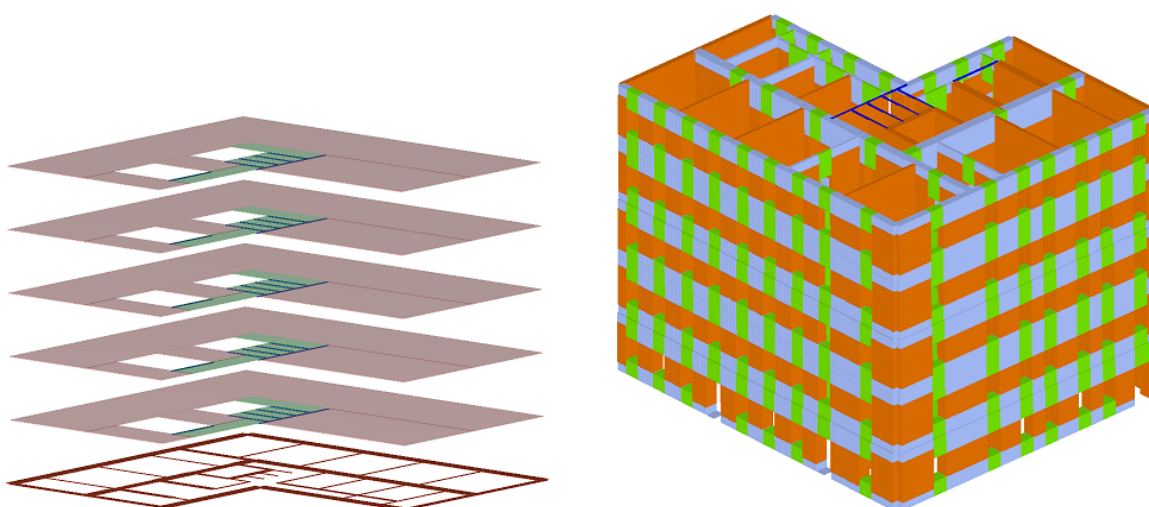


Abbildung 23: unsymmetrischer Grundriss, Links: Mauern im Erdgeschoss inklusive der darauf folgenden Deckenebenen; Rechts: Einteilung der Makro-Elemente

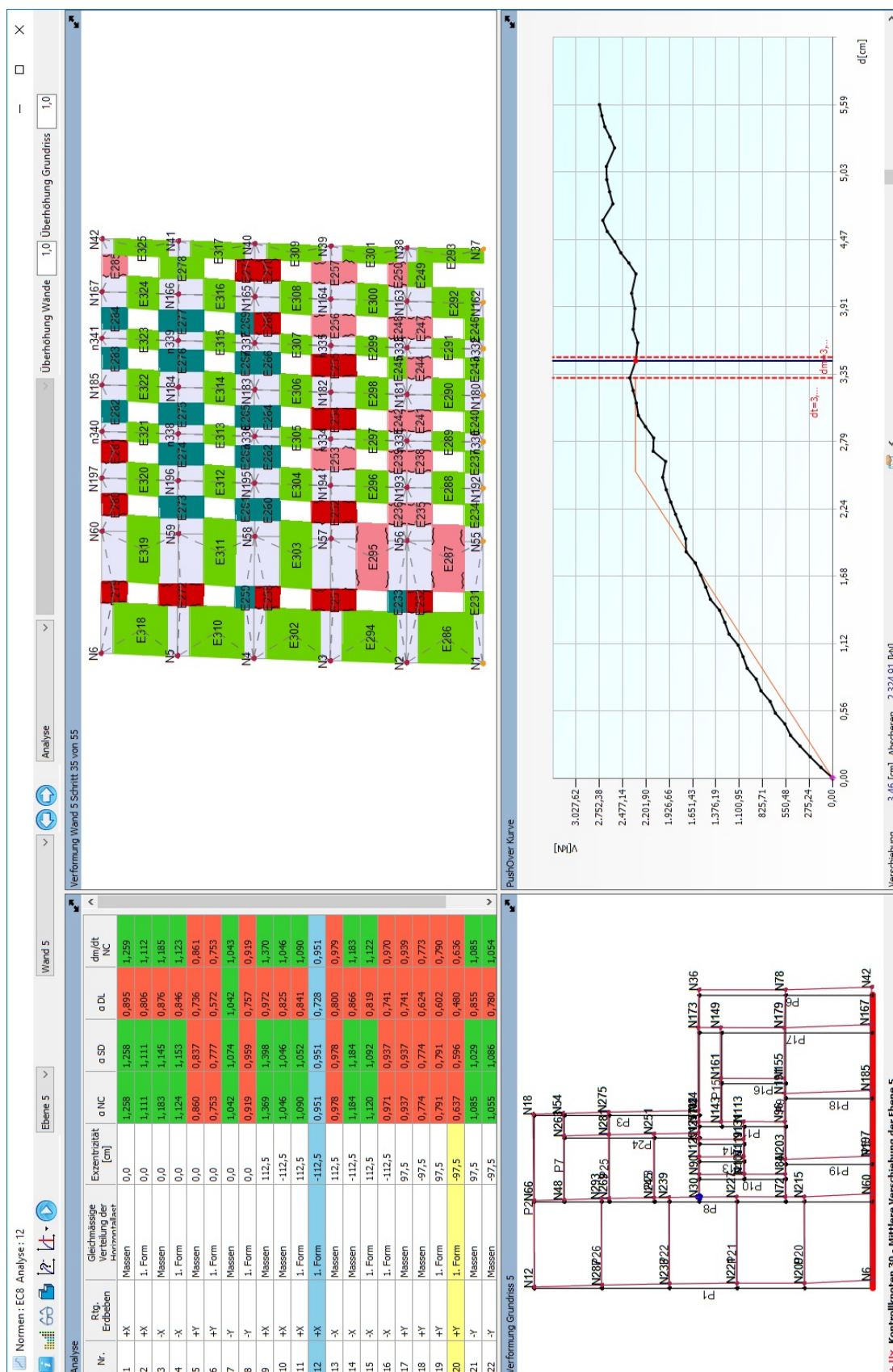


Abbildung 24: symmetrischer Grundriss, maßg. Analyse der X-Richtung (12) des symmetrischen Grundrisses

B.2. RFEM

Auf den folgenden Seiten dieses Kapitels sind in den Tabellen die Ergebnisse der Simulation aus RFEM und die anschließende Berechnung je Stockwerk angeführt. Gleichzeitig wird auch die Ermittlung der Kapazität der Pfeiler in den vorhandenen Außenwänden angezeigt.

Einblicke in die Modellierung des 3D-Modells, die Findung der angreifenden Belastung und eine Zusammenfassung der Ergebnisse können im Kapitel 5.2 bzw. den jeweiligen Unterkapiteln entnommen werden.

symmetrischer Grundriss Siehe Tabelle 13 bis 15. Die Verschiebung der Belastung wird aus einer Ergebniskombination der Lastfälle in X- & Y-Richtung in der Abbildung 25 dargestellt. Die maximale Verformung beträgt 38,7 in X- und 28,0 [mm] in Y-Richtung.

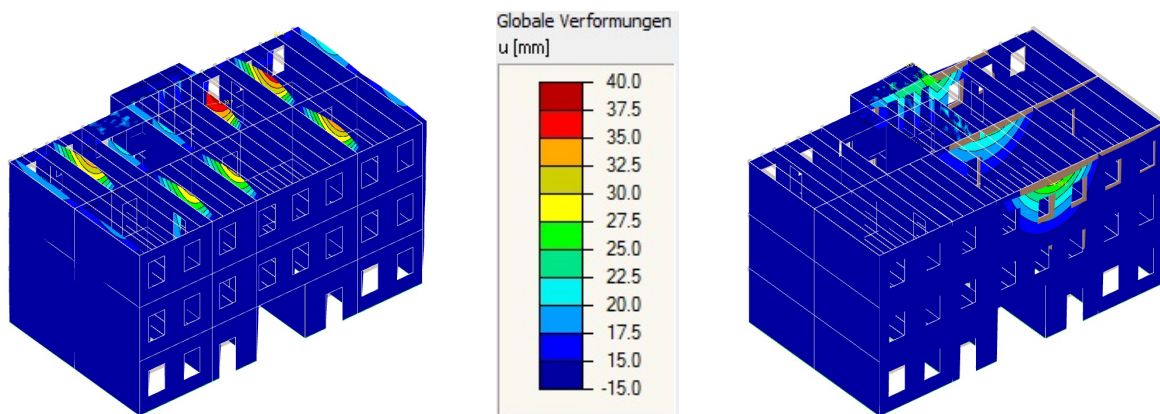


Abbildung 25: symmetrischer Grundriss, max. Verschiebung in X- (Links) & Y- (Rechts) Richtung

unsymmetrischer Grundriss Siehe Tabelle 16 bis 20. Die Verschiebung der Belastung wird aus einer Ergebniskombination der Lastfälle in X- & Y-Richtung in der Abbildung 26 dargestellt. Die maximale Verformung beträgt 61,2 in X- und 77,4 [mm] in Y-Richtung.

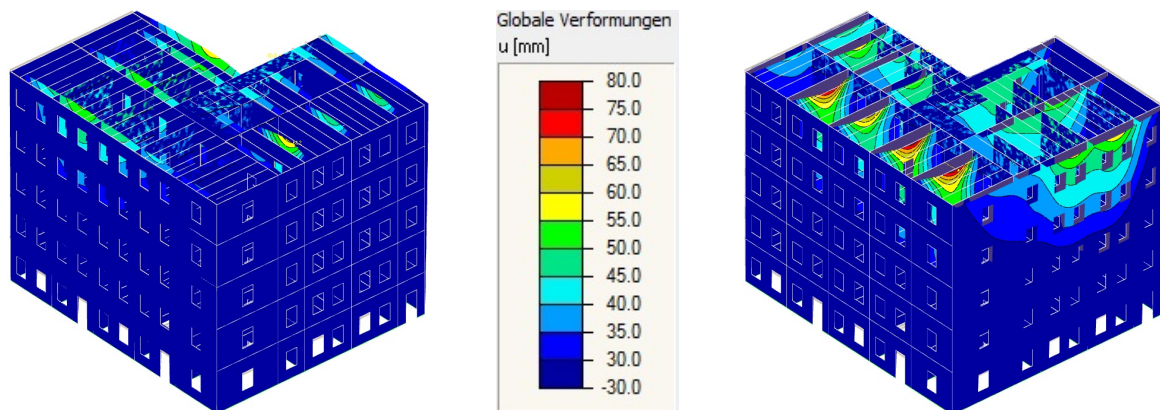


Abbildung 26: unsymmetrischer Grundriss, max. Verschiebung in X- (Links) & Y- (Rechts) Richtung

Tabelle 13: RFEM, Kapazitätsermittlung des EG - symmetrischer Grundriss

EG	Wand-Abmessungen			Werte aus RFEM			$N_{Sd} =$ $L \cdot n_{yd}$ [kN]					$V_{Sd} =$ $L \cdot v_{yd}$ [kN]	Schubtragfähigkeit				Ausn.	Kap.
	h [m]	L [m]	t [m]	l_c [m]	$n_{Sd} =$ n_{yd} [kN/m]	$v_{Sd} =$ n_{yd} [kN/m]	s_d [kN/m ²]	f_{vk1} [N/mm ²]	f_{vk2} [N/mm ²]	f_{vd} [N/mm ²]	V_{Rd} [kN]	[-]	[-]					
W1	3,20	10,00	0,30	10,00	99	25	330,367	0,252	1,284	0,151	453,00	0,55	1,81					
W2	3,20	5,00	0,15	5,00	52	15	346,667	0,259	1,284	0,155	116,25	0,63	1,59					
W3	3,20	5,00	0,15	5,00	68	19	452,667	0,301	1,284	0,180	135,00	0,69	1,46					
W4	3,20	5,00	0,30	5,00	151	41	504,367	0,322	1,284	0,193	289,50	0,71	1,42					
W5	3,20	8,50	0,30	7,35	71	19	275,585	0,230	1,284	0,138	304,29	0,53	1,87					
W6	3,20	10,00	0,15	10,00	69	18	457,200	0,303	1,284	0,181	271,50	0,66	1,52					
W7	3,20	5,00	0,15	5,00	35	9	231,933	0,213	1,284	0,128	96,00	0,46	2,19					
W8	3,20	10,00	0,30	10,00	155	39	517,800	0,327	1,284	0,196	588,00	0,67	1,50					
W9	3,20	1,25	0,30	1,25	208	76	694,000	0,398	1,284	0,238	89,25	1,07	0,94					
W10	3,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
W11	3,20	1,25	0,15	1,25	111	47	739,000	0,416	1,284	0,249	46,69	1,26	0,79					
W12	3,20	1,25	0,30	1,25	108	32	361,233	0,264	1,284	0,158	59,25	0,67	1,49					
W13	3,20	17,50	0,45	12,50	211	71	656,880	0,383	1,284	0,229	1288,13	0,97	1,04					
W14	3,20	17,50	0,60	17,50	227	66	378,350	0,271	1,284	0,162	1701,00	0,68	1,46					
W15	3,20	3,25	0,15	3,25	38	11	254,200	0,222	1,284	0,133	64,84	0,56	1,79					
W16	3,20	17,50	0,45	12,50	137	37	426,409	0,291	1,284	0,174	978,75	0,66	1,51					
W17	3,20	4,00	0,30	4,00	112	31	371,833	0,269	1,284	0,161	193,20	0,64	1,56					
Pfeiler	h [m]	l [m]	t [m]	L_{ges} [m]	$L_{Pf.f.}$ [m]	l_c [m]	s_d [kN/m ²]	f_{vk1} [N/mm ²]	f_{vk2} [N/mm ²]	f_{vvd} [N/mm ²]	V_{Rd} [kN]	Ausn. [-]	Kap. [-]					
W13	3,20	1,20	0,45	17,50	8,00	0,60	1728,632	0,811	1,284	0,486	131,22	1,20	0,84					
W16	3,20	2,00	0,45	17,50	6,00	1,00	926,976	0,491	1,284	0,294	132,30	0,85	1,18					

Tabelle 14: RFEM, Kapazitätsermittlung des 1.OG - symmetrischer Grundriss

EG	Wand-Abmessungen			Werte aus RFEM			$N_{Sd} =$ $L \cdot n_{yd}$ [kN]	$V_{Sd} =$ $L \cdot v_{yd}$ [kN]	Schubtragfähigkeit					Ausn.	Kap.
	h [m]	L [m]	t [m]	l_c [m]	$n_{Sd} =$ n_{yd} [kN/m]	$v_{Sd} =$ v_{yd} [kN/m]	s_d [kN/m ²] 9	f_{vk1} [N/mm ²] 8	f_{vk2} [N/mm ²] 8	f_{vd} [N/mm ²] 7	V_{Rd} [kN]	[-]	[-]		
W1	3,20	10,00	0,30	8,70	69	8	686,20	77,40	262,912	0,225	1,284	0,135	352,35	0,22	4,55
W2	3,20	5,00	0,15	4,40	36	5	179,55	23,80	272,045	0,229	1,284	0,137	90,42	0,26	3,80
W3	3,20	5,00	0,15	3,95	53	7	263,15	34,40	444,135	0,298	1,284	0,178	105,47	0,33	3,07
W4	3,20	5,00	0,30	4,25	85	13	427,10	66,30	334,980	0,254	1,284	0,152	193,80	0,34	2,92
W5	3,20	8,50	0,30	8,30	56	11	478,89	90,53	192,325	0,197	1,284	0,118	293,82	0,31	3,25
W6	3,20	10,00	0,15	8,45	44	6	442,80	60,60	349,349	0,260	1,284	0,156	197,73	0,31	3,26
W7	3,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W8	3,20	10,00	0,30	8,60	98	11	979,10	107,50	379,496	0,272	1,284	0,163	420,54	0,26	3,91
W9	3,20	1,25	0,30	1,13	93	5	116,16	6,84	344,185	0,258	1,284	0,154	51,98	0,13	7,60
W10	3,20	1,25	0,15	0,55	2	4	3,05	4,60	36,970	0,135	1,284	0,081	6,68	0,69	1,45
W11	3,20	1,25	0,15	0,95	66	2	83,11	2,45	583,246	0,353	1,284	0,211	30,07	0,08	12,27
W12	3,20	1,25	0,30	1,25	88	6	110,03	8,01	293,400	0,237	1,284	0,142	53,25	0,15	6,65
W13	3,20	17,50	0,45	5,83	116	6	2036,83	103,60	775,933	0,430	1,284	0,257	674,63	0,15	6,51
W14	3,20	17,50	0,60	5,83	163	21	2849,35	365,23	814,100	0,446	1,284	0,267	934,50	0,39	2,56
W15	3,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W16	3,20	17,50	0,45	3,75	99	1	1735,48	13,65	1028,430	0,531	1,284	0,318	536,63	0,03	39,31
W17	3,20	4,00	0,30	2,00	38	11	150,84	45,40	251,400	0,221	1,284	0,132	79,20	0,57	1,74
Pfeiler	h [m]	l [m]	t [m]	L_{ges} [m]	$L_{pf.}$ [m]	l_c [m]	N_{Sd} [kN]	V_{Sd} [kN]	s_d [kN/m ²]	f_{vk1} [N/mm ²]	f_{vk2} [N/mm ²]	f_{vvd} [N/mm ²]	V_{Rd} [kN]	Ausn.	Kap.
W13	3,20	1,20	0,45	17,50	8,00	0,60	257,28	13,09	952,901	0,501	1,284	0,300	81,00	0,16	6,19
W16	3,20	2,00	0,45	17,50	6,00	1,00	301,82	2,37	670,715	0,388	1,284	0,232	104,40	0,02	43,98

Tabelle 15: RFEM, Kapazitätsermittlung des 2.OG - symmetrischer Grundriss

EG	Wand-Abmessungen			Werte aus RFEM			$N_{Sd} =$ $L \cdot n_{yd}$ [kN]	$V_{Sd} =$ $L \cdot v_{yd}$ [kN]	Schubtragfähigkeit					Ausn. [-]	Kap. [-]
	h [m]	L [m]	t [m]	l_c [m]	$n_{Sd} =$ n_{yd} [kN/m]	$v_{Sd} =$ n_{yd} [kN/m]			s_d [kN/m ²] 9	f_{yk1} [N/mm ²] 8	f_{yk2} [N/mm ²] 8	f_{vd} [N/mm ²] 7	V_{Rd} [kN]		
W1	3,20	10,00	0,30	8,90	39	4	385,70	37,60	144,457	0,178	1,284	0,107	285,69	0,13	7,60
W2	3,20	5,00	0,15	4,35	20	2	97,80	9,75	149,885	0,180	1,284	0,108	70,47	0,14	7,23
W3	3,20	5,00	0,15	4,40	36	7	181,20	36,85	274,545	0,230	1,284	0,138	91,08	0,41	2,47
W4	3,20	5,00	0,30	3,10	29	1	144,60	6,55	155,484	0,182	1,284	0,109	101,37	0,07	15,48
W5	3,20	8,50	0,30	7,90	25	3	212,08	23,72	89,483	0,156	1,284	0,093	220,41	0,11	9,29
W6	3,20	10,00	0,15	8,40	24	4	241,70	38,30	191,825	0,197	1,284	0,118	148,68	0,26	3,88
W7	3,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W8	3,20	10,00	0,30	8,30	49	4	492,20	37,00	197,671	0,199	1,284	0,119	296,31	0,13	8,01
W9	3,20	1,25	0,30	1,25	33	5	41,24	6,23	109,967	0,164	1,284	0,098	36,75	0,17	5,90
W10	3,20	1,25	0,15	0,63	2	1	2,15	1,55	22,933	0,129	1,284	0,077	7,22	0,22	4,66
W11	3,20	1,25	0,15	0,63	19	4	23,25	4,94	248,000	0,219	1,284	0,131	12,28	0,40	2,49
W12	3,20	1,25	0,30	0,42	54	4	67,34	5,48	538,700	0,335	1,284	0,201	25,13	0,22	4,59
W13	3,20	17,50	0,45	8,75	54	2	951,30	31,15	241,600	0,217	1,284	0,130	511,88	0,06	16,43
W14	3,20	17,50	0,60	5,83	88	14	1532,65	236,25	437,900	0,295	1,284	0,177	619,50	0,38	2,62
W15	3,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W16	3,20	17,50	0,45	12,50	47	4	825,13	74,38	146,689	0,179	1,284	0,107	601,88	0,12	8,09
W17	3,20	4,00	0,30	3,90	28	5	112,64	21,08	96,274	0,159	1,284	0,095	111,15	0,19	5,27
Pfeiler	h [m]	l [m]	t [m]	L_{ges} [m]	$L_{Pf.}$ [m]	l_c [m]	N_{Sd} [kN]	V_{Sd} [kN]	s_d [kN/m ²]	f_{yk1} [N/mm ²]	f_{yk2} [N/mm ²]	f_{vd} [N/mm ²]	V_{Rd} [kN]	Ausn. [-]	Kap. [-]
W13	3,20	1,20	0,45	17,50	8,00	0,60	120,16	3,93	445,053	0,298	1,284	0,178	48,06	0,08	12,21
W16	3,20	2,00	0,45	17,50	6,00	1,00	143,50	12,93	318,889	0,248	1,284	0,149	67,05	0,19	5,18

Tabelle 16: RFEM, Kapazitätsermittlung des EG - unsymmetrischer Grundriss

EG	Wand-Abmessungen			Werte aus RFEM			$N_{Sd} =$ $L \cdot n_{yd}$ [kN]	$V_{Sd} =$ $L \cdot v_{yd}$ [kN]	Schubtragfähigkeit					Ausn. [-]	Kap. [-]
	h [m]	L [m]	t [m]	l_c [m]	$n_{Sd} =$ n_{yd} [kN/m]	$v_{Sd} =$ n_{yd} [kN/m]			s_d [kN/m ²]	f_{vk1} [N/mm ²]	f_{vk2} [N/mm ²]	f_{vd} [N/mm ²]	V_{kd} [kN]		
W1	3,60	22,50	0,75	22,50	260	72	5852,70	1623,83	346,827	0,259	1,284	0,155	2615,63	0,62	1,61
W2	3,60	22,50	0,67	22,50	315	96	7097,63	2150,78	468,490	0,307	1,284	0,184	2787,60	0,77	1,30
W3	3,60	4,25	0,25	3,75	101	25	429,55	104,38	463,639	0,305	1,284	0,183	169,54	0,62	1,62
W4	3,60	5,75	0,15	5,55	93	27	535,21	155,02	642,895	0,377	1,284	0,226	188,15	0,82	1,21
W5	3,60	9,00	0,30	9,00	241	87	2167,38	785,88	802,733	0,441	1,284	0,264	712,80	1,10	0,91
W6	3,60	4,25	0,25	4,25	157	40	666,91	170,77	635,152	0,374	1,284	0,224	235,20	0,73	1,38
W7	3,60	11,00	0,75	11,00	253	65	2779,81	709,50	336,947	0,255	1,284	0,153	1262,25	0,56	1,78
W8	3,60	5,75	0,15	5,75	93	23	532,74	133,92	617,667	0,367	1,284	0,220	189,75	0,71	1,42
W9	3,60	4,25	0,45	4,25	221	60	939,55	256,11	491,267	0,317	1,284	0,190	363,38	0,71	1,42
W10	3,60	11,50	0,26	11,50	161	42	1847,25	481,97	615,748	0,366	1,284	0,219	657,00	0,73	1,36
W11	3,60	11,50	0,45	11,50	278	70	3192,86	805,92	616,978	0,367	1,284	0,220	1138,50	0,71	1,41
W12	3,60	19,50	0,75	19,50	399	102	7775,43	1994,07	531,653	0,333	1,284	0,199	2910,38	0,69	1,46
W13	3,60	5,75	0,15	5,75	84	21	481,10	120,52	557,800	0,343	1,284	0,205	176,81	0,68	1,47
W14	3,60	13,75	0,68	13,50	383	102	5265,15	1405,53	577,794	0,351	1,284	0,210	1913,63	0,73	1,36
W15	3,60	3,50	0,45	3,50	210	54	734,69	188,90	466,467	0,307	1,284	0,184	289,80	0,65	1,53
W16	3,60	5,75	0,15	5,75	85	25	491,40	142,20	569,733	0,348	1,284	0,208	179,40	0,79	1,26
W17	3,60	2,88	0,15	2,73	95	28	272,98	81,62	667,844	0,387	1,284	0,232	94,83	0,86	1,16
W18	3,60	12,25	0,54	12,25	211	58	2588,79	707,44	390,025	0,276	1,284	0,165	1095,19	0,65	1,55
W19	3,60	5,75	0,15	5,75	78	20	450,74	113,10	522,600	0,329	1,284	0,197	169,91	0,67	1,50
W20	3,60	4,25	0,15	4,25	103	26	436,48	110,20	684,667	0,394	1,284	0,236	150,45	0,73	1,37
W21	3,60	5,75	0,15	5,75	97	26	559,71	152,03	648,933	0,380	1,284	0,228	196,65	0,77	1,29
W22	3,60	5,75	0,15	5,75	60	16	346,73	92,29	402,000	0,281	1,284	0,168	144,90	0,64	1,57
W23	3,60	5,75	0,15	5,60	83	22	479,72	124,26	571,098	0,348	1,284	0,208	174,72	0,71	1,41
W24	3,60	11,50	0,45	11,50	185	47	2126,70	535,79	410,956	0,284	1,284	0,170	879,75	0,61	1,64
Pfeiler	h [m]	l [m]	t [m]	L_{ges} [m]	$L_{pf.}$ [m]	l_c [m]	N_{Sd} [kN]	V_{Sd} [kN]	s_d [kN/m ²]	f_{vk1} [N/mm ²]	f_{vk2} [N/mm ²]	f_{vvd} [N/mm ²]	V_{kd} [kN]	Ausn. [-]	Kap. [-]
W1	3,60	1,20	0,75	22,50	9,00	0,60	520,24	144,34	1156,089	0,582	1,284	0,349	157,05	0,92	1,09
W7	3,60	2,00	0,75	11,00	4,00	1,00	794,23	202,71	1058,975	0,544	1,284	0,326	244,50	0,83	1,21
W12	3,60	1,20	0,75	19,50	7,00	0,60	746,44	191,43	1658,758	0,784	1,284	0,469	211,05	0,91	1,10
W18	3,60	1,80	0,54	12,25	3,00	0,90	503,77	137,66	1033,040	0,533	1,284	0,319	155,56	0,89	1,13

Tabelle 17: RFEM, Kapazitätsermittlung des 1.OG - unsymmetrischer Grundriss

EG	Wand-Abmessungen			Werte aus RFEM			$N_{Sd} =$ $L \cdot n_{yd}$ [kN]		$V_{Sd} =$ $L \cdot v_{yd}$ [kN]	Schubtragfähigkeit					Ausn.	Kap.
	h [m]	L [m]	t [m]	l_c [m]	$n_{Sd} =$ n_{yd} [kN/m]	$v_{Sd} =$ n_{yd} [kN/m]				s_d [kN/mm ²]	f_{yk1} [N/mm ²]	f_{yk2} [N/mm ²]	f_{vd} [N/mm ²]	V_{Rd} [kN]	[-]	[-]
W1	3,60	22,50	0,60	17,00	181	14	4078,80	321,08		399,882	0,280	1,284	0,168	1713,60	0,19	5,34
W2	3,60	22,50	0,56	18,50	253	35	5686,65	781,65		547,276	0,339	1,284	0,203	2109,34	0,37	2,70
W3	3,60	4,25	0,25	4,25	86	3	367,50	12,79		349,998	0,260	1,284	0,156	163,80	0,08	12,80
W4	3,60	5,75	0,15	5,00	77	8	441,03	44,79		588,033	0,355	1,284	0,213	159,75	0,28	3,57
W5	3,60	9,00	0,15	9,00	137	29	1233,00	264,15		913,333	0,485	1,284	0,290	391,50	0,68	1,48
W6	3,60	4,25	0,25	3,75	116	16	492,62	66,56		531,714	0,333	1,284	0,199	184,37	0,36	2,77
W7	3,60	11,00	0,60	7,25	195	7	2148,52	73,81		493,913	0,318	1,284	0,190	826,50	0,09	11,20
W8	3,60	5,75	0,15	5,00	76	11	435,22	63,14		580,290	0,352	1,284	0,211	158,25	0,40	2,51
W9	3,60	4,25	0,45	4,25	188	25	797,39	104,68		416,933	0,287	1,284	0,172	328,95	0,32	3,14
W10	3,60	11,50	0,26	9,00	130	15	1489,37	171,93		634,359	0,374	1,284	0,224	525,91	0,33	3,06
W11	3,60	11,50	0,30	9,50	190	26	2184,66	298,77		766,546	0,427	1,284	0,256	729,60	0,41	2,44
W12	3,60	19,50	0,60	16,50	274	22	5350,80	435,24		540,485	0,336	1,284	0,201	1989,90	0,22	4,57
W13	3,60	5,75	0,15	5,00	69	10	399,40	55,78		532,527	0,333	1,284	0,199	149,25	0,37	2,68
W14	3,60	13,75	0,60	9,75	292	35	4010,05	474,93		685,479	0,394	1,284	0,236	1380,60	0,34	2,91
W15	3,60	3,50	0,45	3,50	179	9	626,68	29,96		397,889	0,279	1,284	0,167	263,03	0,11	8,78
W16	3,60	5,75	0,15	5,00	68	11	391,81	63,31		522,407	0,329	1,284	0,197	147,75	0,43	2,33
W17	3,60	2,88	0,15	1,44	75	5	216,92	15,35		1006,000	0,522	1,284	0,313	67,49	0,23	4,40
W18	3,60	12,25	0,44	9,50	150	16	1833,21	192,94		434,736	0,294	1,284	0,176	742,16	0,26	3,85
W19	3,60	5,75	0,15	5,00	63	9	361,10	51,87		481,467	0,313	1,284	0,187	140,25	0,37	2,70
W20	3,60	4,25	0,15	4,25	87	18	370,56	76,63		581,267	0,353	1,284	0,211	134,51	0,57	1,76
W21	3,60	5,75	0,15	5,00	84	15	482,48	84,64		643,310	0,377	1,284	0,226	169,50	0,50	2,00
W22	3,60	5,75	0,15	5,00	51	7	293,71	37,38		391,613	0,277	1,284	0,166	124,50	0,30	3,33
W23	3,60	5,75	0,15	5,00	69	9	398,13	49,11		530,840	0,332	1,284	0,199	149,25	0,33	3,04
W24	3,60	11,50	0,30	9,50	131	18	1506,50	210,22		528,596	0,331	1,284	0,198	564,30	0,37	2,68
Pfeiler	h [m]	l [m]	t [m]	L_{ges} [m]	$L_{Pf.}$ [m]	l_c [m]	N_{Sd} [kN]	V_{Sd} [kN]		s_d [kN/mm ²]	f_{yk1} [N/mm ²]	f_{yk2} [N/mm ²]	f_{vkd} [N/mm ²]	V_{Rd} [kN]	Ausn. [-]	Kap. [-]
W1	3,60	1,20	0,60	22,50	9,00	0,60	362,56	28,54		1007,111	0,523	1,284	0,313	112,68	0,25	3,95
W7	3,60	2,00	0,60	11,00	4,00	1,00	613,86	21,09		1023,105	0,529	1,284	0,317	190,20	0,11	9,02
W12	3,60	1,20	0,60	19,50	7,00	0,60	513,68	41,78		1426,880	0,691	1,284	0,414	149,04	0,28	3,57
W18	3,60	1,80	0,44	12,25	3,00	0,90	356,73	37,54		892,972	0,477	1,284	0,286	114,25	0,33	3,04

Tabelle 18: RFEM, Kapazitätsermittlung des 2.OG - unsymmetrischer Grundriss

EG	Wand-Abmessungen			Werte aus RFEM			$N_{Sd} =$ $L \cdot n_{yd}$ [kN]	$V_{Sd} =$ $L \cdot v_{yd}$ [kN]	Schubtragfähigkeit				Ausn. [-]	Kap. [-]
	h [m]	L [m]	t [m]	l_c [m]	$n_{Sd} =$ n_{yd} [kN/m]	$v_{Sd} =$ n_{yd} [kN/m]			s_d [kN/m ²]	f_{vk1} [N/mm ²]	f_{vk2} [N/mm ²]	f_{vd} [N/mm ²]		
W1	3,60	22,50	0,60	11,25	133	1	2991,60	25,43	443,200	0,297	1,284	0,178	0,02	47,26
W2	3,60	22,50	0,56	11,25	191	15	4306,28	346,95	681,507	0,393	1,284	0,235	0,23	4,28
W3	3,60	4,25	0,25	3,50	70	5	299,16	19,98	345,964	0,258	1,284	0,154	0,15	6,67
W4	3,60	5,75	0,15	5,00	57	6	325,57	32,14	434,087	0,294	1,284	0,176	0,24	4,11
W5	3,60	9,00	0,15	8,00	83	16	749,34	139,77	624,450	0,370	1,284	0,222	0,53	1,91
W6	3,60	4,25	0,25	3,75	79	9	334,73	36,98	361,296	0,265	1,284	0,159	0,25	3,98
W7	3,60	11,00	0,60	11,00	144	15	1584,77	164,89	240,117	0,216	1,284	0,129	0,19	5,16
W8	3,60	5,75	0,15	5,75	57	8	329,99	43,64	382,600	0,273	1,284	0,163	0,31	3,22
W9	3,60	4,25	0,45	3,75	149	21	631,59	89,68	374,277	0,270	1,284	0,162	0,33	3,05
W10	3,60	11,50	0,26	10,00	81	10	929,55	114,89	356,326	0,263	1,284	0,157	0,28	3,57
W11	3,60	11,50	0,30	11,50	131	12	1511,22	141,80	438,033	0,295	1,284	0,177	0,23	4,31
W12	3,60	19,50	0,60	9,75	190	10	3700,52	203,39	632,567	0,373	1,284	0,223	0,16	6,41
W13	3,60	5,75	0,15	5,00	53	8	306,25	44,10	408,327	0,283	1,284	0,169	0,35	2,87
W14	3,60	13,75	0,60	6,88	214	16	2937,69	224,81	712,167	0,405	1,284	0,243	0,22	4,46
W15	3,60	3,50	0,45	3,10	141	2	492,00	8,05	352,685	0,261	1,284	0,156	0,04	27,03
W16	3,60	5,75	0,15	5,00	52	9	298,20	51,69	397,593	0,279	1,284	0,167	0,41	2,42
W17	3,60	2,88	0,15	1,44	50	16	144,50	45,08	670,133	0,388	1,284	0,232	0,90	1,11
W18	3,60	12,25	0,44	9,50	110	13	1347,50	162,68	319,552	0,248	1,284	0,149	0,26	3,86
W19	3,60	5,75	0,15	5,25	48	8	277,90	43,99	352,886	0,261	1,284	0,156	0,36	2,79
W20	3,60	4,25	0,15	4,00	64	14	272,09	58,69	453,475	0,301	1,284	0,180	0,54	1,84
W21	3,60	5,75	0,15	5,25	63	13	360,64	76,71	457,956	0,303	1,284	0,181	0,54	1,86
W22	3,60	5,75	0,15	5,00	40	5	229,02	26,62	305,363	0,242	1,284	0,145	0,25	4,09
W23	3,60	5,75	0,15	5,25	54	7	308,66	42,61	391,949	0,277	1,284	0,166	0,33	3,07
W24	3,60	11,50	0,30	9,25	96	10	1098,48	112,01	395,849	0,278	1,284	0,166	0,24	4,11
Pfeiler	h [m]	l [m]	t [m]	L_{ges} [m]	L_{pf} [m]	l_c [m]	N_{Sd} [kN]	V_{Sd} [kN]	s_d [kN/m ²]	f_{vk1} [N/mm ²]	f_{vk2} [N/mm ²]	f_{vd} [N/mm ²]	Ausn. [-]	Kap. [-]
W1	3,60	1,20	0,60	22,50	9,00	0,60	265,92	2,26	738,667	0,415	1,284	0,249	0,03	39,66
W7	3,60	2,00	0,60	11,00	4,00	1,00	452,79	47,11	754,652	0,422	1,284	0,253	0,31	3,22
W12	3,60	1,20	0,60	19,50	7,00	0,60	355,25	19,52	986,804	0,515	1,284	0,308	0,18	5,68
W18	3,60	1,80	0,44	12,25	3,00	0,90	262,22	31,66	656,378	0,383	1,284	0,229	0,35	2,89

Tabelle 19: RFEM, Kapazitätsermittlung des 3.OG - unsymmetrischer Grundriss

EG	Wand-Abmessungen			Werte aus RFEM			$N_{Sd} =$ $L \cdot n_{yd}$ [kN]	$V_{Sd} =$ $L \cdot v_{yd}$ [kN]	Schubtragfähigkeit					Ausn. [-]	Kap. [-]
	h [m]	L [m]	t [m]	l_c [m]	$n_{Sd} =$ n_{yd} [kN/m]	$v_{Sd} =$ v_{yd} [kN/m]			s_d [kN/m ²]	f_{vk1} [N/mm ²]	f_{vk2} [N/mm ²]	f_{vd} [N/mm ²]	V_{Rd} [kN]		
W1	3,60	22,50	0,45	16,00	84	4	1883,25	100,35	261,563	0,225	1,284	0,135	972,00	0,10	9,69
W2	3,60	22,50	0,56	11,25	132	9	2960,33	191,48	468,499	0,307	1,284	0,184	1162,65	0,17	6,07
W3	3,60	4,25	0,25	2,13	51	7	215,77	28,43	410,995	0,284	1,284	0,170	89,25	0,32	3,14
W4	3,60	5,75	0,15	5,00	37	4	211,89	21,97	282,517	0,233	1,284	0,140	105,00	0,21	4,78
W5	3,60	9,00	0,15	8,00	50	12	445,68	108,45	371,400	0,269	1,284	0,161	193,20	0,56	1,78
W6	3,60	4,25	0,25	3,50	45	7	189,89	27,97	219,601	0,208	1,284	0,125	108,09	0,26	3,87
W7	3,60	11,00	0,45	5,50	91	7	998,47	76,56	403,422	0,281	1,284	0,168	415,80	0,18	5,43
W8	3,60	5,75	0,15	5,00	39	5	225,17	28,81	300,227	0,240	1,284	0,144	108,00	0,27	3,75
W9	3,60	4,25	0,45	3,75	105	16	446,25	69,06	264,444	0,226	1,284	0,135	227,81	0,30	3,30
W10	3,60	11,50	0,26	10,50	63	7	729,22	78,89	266,221	0,226	1,284	0,135	369,78	0,21	4,69
W11	3,60	11,50	0,30	10,50	84	7	966,35	82,57	306,776	0,243	1,284	0,146	459,90	0,18	5,57
W12	3,60	19,50	0,45	9,75	111	2	2169,18	32,76	494,400	0,318	1,284	0,190	833,63	0,04	25,45
W13	3,60	5,75	0,15	5,75	37	7	211,03	39,79	244,667	0,218	1,284	0,131	112,99	0,35	2,84
W14	3,60	13,75	0,60	6,88	142	10	1950,44	137,91	472,833	0,309	1,284	0,185	763,13	0,18	5,53
W15	3,60	3,50	0,45	3,00	98	4	344,44	14,56	255,137	0,222	1,284	0,133	179,55	0,08	12,33
W16	3,60	5,75	0,15	5,00	36	8	204,13	45,20	272,167	0,229	1,284	0,137	102,75	0,44	2,27
W17	3,60	2,88	0,15	1,44	27	24	76,25	69,03	353,600	0,261	1,284	0,156	33,64	2,05	0,49
W18	3,60	12,25	0,35	10,75	68	15	828,71	189,14	222,855	0,209	1,284	0,125	464,83	0,41	2,46
W19	3,60	5,75	0,15	5,25	33	6	191,02	36,00	242,559	0,217	1,284	0,130	102,38	0,35	2,84
W20	3,60	4,25	0,15	4,00	38	9	160,01	36,93	266,688	0,227	1,284	0,136	81,60	0,45	2,21
W21	3,60	5,75	0,15	5,45	41	12	235,06	68,94	287,535	0,235	1,284	0,141	115,27	0,60	1,67
W22	3,60	5,75	0,15	5,00	29	4	163,88	22,48	218,500	0,207	1,284	0,124	93,00	0,24	4,14
W23	3,60	5,75	0,15	5,00	36	6	204,93	34,39	273,240	0,229	1,284	0,137	102,75	0,34	2,99
W24	3,60	11,50	0,30	10,50	66	7	757,39	82,46	240,441	0,216	1,284	0,129	406,35	0,20	4,93
Pfeiler	h [m]	l [m]	t [m]	L_{ges} [m]	$L_{Pf.}$ [m]	l_c [m]	N_{Sd} [kN]	V_{Sd} [kN]	s_d [kN/m ²]	f_{vk1} [N/mm ²]	f_{vk2} [N/mm ²]	f_{vd} [N/mm ²]	V_{Rd} [kN]	Ausn. [-]	Kap. [-]
W1	3,60	1,20	0,45	22,50	9,00	0,60	167,40	8,92	620,000	0,368	1,284	0,220	59,40	0,15	6,66
W7	3,60	2,00	0,45	11,00	4,00	1,00	285,28	21,87	633,949	0,374	1,284	0,224	100,80	0,22	4,61
W12	3,60	1,20	0,45	19,50	7,00	0,60	208,24	3,14	771,264	0,429	1,284	0,257	69,39	0,05	22,06
W18	3,60	1,80	0,35	12,25	3,00	0,90	161,26	36,81	517,987	0,327	1,284	0,196	61,02	0,60	1,66

Tabelle 20: RFEM, Kapazitätsermittlung des 4.OG - unsymmetrischer Grundriss

EG	Wand-Abmessungen			Werte aus RFEM			Schubtragfähigkeit					Ausn. [-]	Kap. [-]	
	h [m]	L [m]	t [m]	l_c [m]	$n_{Sd} =$ n_{yd} [kN/m]	$v_{Sd} =$ n_{yd} [kN/m]	s_d [kN/mm ²]	f_{vk1} [N/mm ²]	f_{vk2} [N/mm ²]	f_{vd} [N/mm ²]	V_{Rd} [kN]			
W1	3,50	22,50	0,45	19,50	44	6	981,90	140,85	0,165	1,284	0,099	868,73	0,16	6,17
W2	3,50	22,50	0,56	11,25	73	7	1638,00	167,63	0,224	1,284	0,134	846,71	0,20	5,05
W3	3,50	4,25	0,25	3,00	27	8	114,58	32,22	0,182	1,284	0,109	80,79	0,40	2,51
W4	3,50	5,75	0,15	4,75	17	1	98,61	3,85	0,175	1,284	0,105	74,81	0,05	19,42
W5	3,50	9,00	0,15	4,50	22	9	202,32	76,50	0,240	1,284	0,144	97,20	0,79	1,27
W6	3,50	4,25	0,25	2,13	23	1	96,94	2,34	0,194	1,284	0,116	60,90	0,04	26,05
W7	3,50	11,00	0,45	5,50	48	9	525,14	95,59	0,205	1,284	0,123	304,43	0,31	3,19
W8	3,50	5,75	0,15	5,25	19	2	111,90	11,21	0,177	1,284	0,106	83,48	0,13	7,45
W9	3,50	4,25	0,45	3,75	56	10	238,77	42,03	0,177	1,284	0,106	178,88	0,24	4,26
W10	3,50	11,50	0,26	10,50	31	3	360,76	36,80	0,173	1,284	0,104	284,87	0,13	7,74
W11	3,50	11,50	0,30	10,50	43	4	491,97	46,12	0,182	1,284	0,109	343,35	0,13	7,45
W12	3,50	19,50	0,45	9,75	53	2	1027,07	44,07	0,214	1,284	0,128	561,60	0,08	12,74
W13	3,50	5,75	0,15	5,75	19	6	110,46	32,72	0,171	1,284	0,102	87,98	0,37	2,69
W14	3,50	13,75	0,60	6,88	73	7	1008,56	97,35	0,218	1,284	0,131	540,38	0,18	5,55
W15	3,50	3,50	0,45	3,00	52	9	181,02	32,80	0,174	1,284	0,104	140,40	0,23	4,28
W16	3,50	5,75	0,15	5,25	18	6	103,96	37,09	0,173	1,284	0,104	81,90	0,45	2,21
W17	3,50	2,88	0,15	1,44	9	6	24,44	18,29	0,165	1,284	0,099	21,35	0,86	1,17
W18	3,50	12,25	0,35	11,25	34	20	416,26	243,16	0,163	1,284	0,098	381,38	0,64	1,57
W19	3,50	5,75	0,15	5,25	17	3	96,83	19,49	0,169	1,284	0,101	79,54	0,25	4,08
W20	3,50	4,25	0,15	4,00	16	4	67,83	17,38	0,165	1,284	0,099	59,40	0,29	3,42
W21	3,50	5,75	0,15	5,25	19	9	111,03	51,98	0,176	1,284	0,105	82,69	0,63	1,59
W22	3,50	5,75	0,15	5,25	16	2	90,97	12,77	0,166	1,284	0,099	77,96	0,16	6,11
W23	3,50	5,75	0,15	5,45	17	4	97,46	20,53	0,168	1,284	0,101	82,57	0,25	4,02
W24	3,50	11,50	0,30	9,50	37	5	420,90	54,05	0,179	1,284	0,107	304,95	0,18	5,64
Pfeiler	h [m]	l [m]	t [m]	L_{ges} [m]	L_{pf} [m]	l_c [m]	N_{Sd} [kN]	V_{Sd} [kN]	f_{vk1} [N/mm ²]	f_{vk2} [N/mm ²]	f_{vvd} [N/mm ²]	V_{Rd} [kN]	Ausn. [-]	Kap. [-]
W1	3,50	1,20	0,45	22,50	9,00	0,60	87,28	12,52	0,249	1,284	0,149	40,23	0,31	3,21
W7	3,50	2,00	0,45	11,00	4,00	1,00	150,04	27,31	0,253	1,284	0,151	67,95	0,40	2,49
W12	3,50	1,20	0,45	19,50	7,00	0,60	98,60	4,23	0,266	1,284	0,159	42,93	0,10	10,15
W18	3,50	1,80	0,35	12,25	3,00	0,90	81,00	47,32	0,224	1,284	0,134	41,72	1,13	0,88

B.3. Handrechnung

B.3.1. Massenermittlung

Die Bezeichnung der in diesem Unterkapitel angeführten Wände, können den Abbildungen 12 für den symmetrischen und Abbildung 14 für den unsymmetrischen Grundriss eingesehen werden. Wände, die verschiedene Stärken besitzen, werden in mit derselben Nummer, jedoch mit einer weiteren Unterteilung je Länge angegeben.

Die Wichte des Mauerwerks wird, wie in Kapitel 4.2.1 angeführt, mit $19,0 \text{ kN/m}^3$ angenommen um das Eigengewicht zu bestimmen. Im letzten Geschoß müssen die Lasten aus dem Dach und weitere Belastungen - wie zum Beispiel Kamine - berücksichtigt werden.

Jeweils am Ende der Tabellen des jeweiligen Grundrisses gibt es eine Zusammenfassung der Massenermittlungen, wo alle Geschoße je Richtung und Anteile in Prozent angegeben werden. Diese Tabelle 23 ist die Grundlage der Berechnungen, wo jeweils ein Prozentanteil der Masse für die jeweilige Richtung benötigt wird.

symmetrischer Grundriss In den folgenden Tabellen wird je Geschoß die Ermittlung der Massen aufgelistet und gleichzeitig der prozentuale Anteil jeder Wand in dem Stockwerk bestimmt.

Tabelle 21: Excel, Massenermittlung des EG - symmetrischer Grundriss

	t	L	A_{Wand}	$A_{\text{Öff.}}$	A	M	$M \cdot \gamma$		
	[cm]	[m]	[m ²]	[m ²]	A [m ²]	M [m ³]	[kN]	[kg]	[%]
W1	30,00	10,00	32,00	0,00	32,00	9,60	182,40	18240,00	7,18
W2	15,00	5,00	16,00	1,80	14,20	2,13	40,47	4047,00	1,59
W3.1	30,00	5,00	16,00	0,00	16,00	4,80	91,20	9120,00	3,59
W3.2	30,00	5,00	16,00	4,80	11,20	3,36	63,84	6384,00	2,51
W4.1	30,00	5,00	16,00	0,00	16,00	4,80	91,20	9120,00	3,59
W4.2	30,00	5,00	16,00	4,80	11,20	3,36	63,84	6384,00	2,51
W5.1	30,00	8,50	27,20	0,00	27,20	8,16	155,04	15504,00	6,11
W5.2	30,00	8,50	27,20	1,80	25,40	7,62	144,78	14478,00	5,70
W6	15,00	10,00	32,00	4,80	27,20	4,08	77,52	7752,00	3,05
W7	15,00	5,00	16,00	0,00	16,00	2,40	45,60	4560,00	1,80
W8	30,00	10,00	32,00	0,00	32,00	9,60	182,40	18240,00	7,18
W9	30,00	1,25	4,00	0,00	4,00	1,20	22,80	2280,00	0,90
W10	0,00	1,25	4,00	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00
W11	15,00	1,25	4,00	0,00	4,00	0,60	11,40	1140,00	0,45
W12	30,00	1,25	4,00	0,00	4,00	1,20	22,80	2280,00	0,90
W13	60,00	17,50	56,00	19,20	36,80	22,08	419,52	41952,00	16,52
W14	60,00	17,50	56,00	13,20	42,80	25,68	487,92	48792,00	19,22
W15	15,00	3,25	10,40	0,00	10,40	1,56	29,64	2964,00	1,17
W16	60,00	17,50	56,00	21,80	34,20	20,52	389,88	38988,00	15,36
W17	30,00	4,00	12,80	9,85	2,95	0,89	16,82	1681,50	0,66
Σ							2539,07	253906,50	100,00

Tabelle 22: Excel, Massenermittlung des 1.OG - symmetrischer Grundriss

	t	L	A_{Wand}	$A_{Öff.}$	A	M	$M \cdot \gamma$		
	[cm]	[m]	[m ²]	[m ²]	A [m ²]	M [m ³]	[kN]	[kg]	[%]
W1	30,00	10,00	32,00	0,00	32,00	9,60	182,40	18240,00	7,66
W2	15,00	5,00	16,00	1,80	14,20	2,13	40,47	4047,00	1,70
W3.1	15,00	5,00	16,00	0,00	16,00	2,40	45,60	4560,00	1,92
W3.2	30,00	5,00	16,00	4,80	11,20	3,36	63,84	6384,00	2,68
W4.1	15,00	5,00	16,00	1,80	14,20	2,13	40,47	4047,00	1,70
W4.2	30,00	5,00	16,00	4,80	11,20	3,36	63,84	6384,00	2,68
W5.1	0,00	8,50	27,20	0,00	27,20	0,00	0,00	0,00	0,00
W5.2	15,00	8,50	27,20	0,00	27,20	4,08	77,52	7752,00	3,26
W6	15,00	10,00	32,00	1,80	30,20	4,53	86,07	8607,00	3,62
W7	0,00	5,00	16,00	0,00	16,00	0,00	0,00	0,00	0,00
W8	30,00	10,00	32,00	0,00	32,00	9,60	182,40	18240,00	7,66
W9	30,00	1,25	4,00	0,00	4,00	1,20	22,80	2280,00	0,96
W10	15,00	1,25	4,00	0,00	4,00	0,60	11,40	1140,00	0,48
W11	15,00	1,25	4,00	0,00	4,00	0,60	11,40	1140,00	0,48
W12	30,00	1,25	4,00	0,00	4,00	1,20	22,80	2280,00	0,96
W13	60,00	17,50	56,00	12,00	44,00	26,40	501,60	50160,00	21,07
W14	60,00	17,50	56,00	5,40	50,60	30,36	576,84	57684,00	24,23
W15	0,00	3,25	10,40	0,00	10,40	0,00	0,00	0,00	0,00
W16	60,00	17,50	56,00	21,80	34,20	20,52	389,88	38988,00	16,38
W17	30,00	4,00	12,80	2,00	10,80	3,24	61,56	6156,00	2,59
Σ							2380,89	238089,00	100,00

Tabelle 23: Excel, Zusammenfassung der Massenermittlung - symmetrischer Grundriss

	X-Richtung		Y-Richtung	
	[kg]	[%]	[kg]	[%]
W1			54150,00	18,87
W2			11998,50	4,18
W3.1			17584,50	6,13
W3.2			18952,50	6,60
W4.1			17548,50	6,13
W4.2			18952,50	6,60
W5.1			15504,00	5,40
W5.2			29739,75	10,36
W6			24681,00	8,60
W7			4560,00	1,59
W8			54150,00	18,87
W9			6768,75	2,36
W10			2244,38	0,78
W11			3384,38	1,18
W12			6768,75	2,36
W13	128235,75	31,04		
W14	162165,00	39,25		
W15	2964,00	0,72		
W16	106062,75	25,67		
W17	13765,50	3,33		
Σ	413193,00	100,00	287023,50	100,00

Tabelle 24: Excel, Massenermittlung des 2.OG - symmetrischer Grundriss

	t [cm]	L [m]	A_{Wand} [m ²]	$A_{Öff.}$ [m ²]	A [m ²]	M [m ³]	M* γ [kN]	Dach [kN]	Gesamt [kN]	[kg]	[%]
W1	30,00	10,00	31,00	0,00	31,00	9,30	176,70	99,80	276,50	27650,00	10,64
W2	15,00	5,00	15,50	1,80	13,70	2,06	39,05	0,00	39,05	3904,50	1,50
W3.1	15,00	5,00	15,50	1,80	13,70	2,06	39,05	0,00	39,05	3904,50	1,50
W3.2	30,00	5,00	15,50	4,65	10,85	3,26	61,85	0,00	61,85	6184,50	2,38
W4.1	15,00	5,00	15,50	0,00	15,50	2,33	44,18	0,00	44,18	4417,50	1,70
W4.2	30,00	5,00	15,50	4,65	10,85	3,26	61,85	0,00	61,85	6184,50	2,38
W5.1	0,00	8,50	26,35	0,00	26,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
W5.2	15,00	8,50	26,35	0,00	26,35	3,95	75,10	0,00	75,10	7509,75	2,89
W6	15,00	10,00	31,00	1,80	29,20	4,38	83,22	0,00	83,22	8322,00	3,20
W7	0,00	5,00	15,50	0,00	15,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
W8	30,00	10,00	31,00	0,00	31,00	9,30	176,70	99,80	276,50	27650,00	10,64
W9	30,00	1,25	3,88	0,00	3,88	1,16	22,09	0,00	22,09	2208,75	0,85
W10	15,00	1,25	3,88	0,00	3,88	0,58	11,04	0,00	11,04	1104,38	0,42
W11	15,00	1,25	3,88	0,00	3,88	0,58	11,04	0,00	11,04	1104,38	0,42
W12	30,00	1,25	3,88	0,00	3,88	1,16	22,09	0,00	22,09	2208,75	0,85
W13	45,00	17,50	54,25	12,00	42,25	19,01	361,24	67,38	428,61	42861,25	16,49
W14	60,00	17,50	54,25	5,40	48,85	29,31	556,89	182,82	739,71	73970,50	28,46
W15	0,00	3,25	10,08	0,00	10,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
W16	45,00	17,50	54,25	21,40	32,85	14,78	280,87	51,98	332,84	33284,25	12,80
W17	30,00	4,00	12,40	2,00	10,40	3,12	59,28	15,40	74,68	7468,00	2,87
Σ									2599,38	259937,50	100,00

unsymmetrischer Grundriss , in den folgenden Tabellen wird je Geschoss die Ermittlung der Massen aufgelistet und gleichzeitig der prozentuale Anteil der jeder Wand in dem Stockwerk bestimmt.

Tabelle 25: Excel, Massenermittlung des EG - unsymmetrischer Grundriss

	t	L	A_{Wand}	$A_{Öff.}$	A	M	$M \cdot \gamma$		
	[cm]	[m]	[m ²]	[m ²]	A [m ²]	M [m ³]	[kN]	[kg]	[%]
W1	75,00	22,50	81,00	15,30	65,70	49,28	936,23	93622,50	15,32
W2.1	75,00	16,75	60,30	1,80	58,50	43,88	833,63	83362,50	13,64
W2.2	45,00	5,75	20,70	1,80	18,90	8,51	161,60	16159,50	2,64
W3.1	15,00	1,50	5,40	0,00	5,40	0,81	15,39	1539,00	0,25
W3.2	30,00	2,75	9,90	0,00	9,90	2,97	56,43	5643,00	0,92
W4	15,00	5,75	20,70	1,80	18,90	2,84	53,87	5386,50	0,88
W5	30,00	9,00	32,40	9,60	22,80	6,84	129,96	12996,00	2,13
W6.1	15,00	1,50	5,40	0,00	5,40	0,81	15,39	1539,00	0,25
W6.2	30,00	2,75	9,90	0,00	9,90	2,97	56,43	5643,00	0,92
W7	75,00	11,00	39,60	6,00	33,60	25,20	478,80	47880,00	7,83
W8	15,00	5,75	20,70	0,00	20,70	3,11	59,00	5899,50	0,97
W9	45,00	4,25	15,30	0,00	15,30	6,89	130,82	13081,50	2,14
W10.1	15,00	1,50	5,40	1,80	3,60	0,54	10,26	1026,00	0,17
W10.2	45,00	4,25	15,30	0,00	15,30	6,89	130,82	13081,50	2,14
W10.3	15,00	5,75	20,70	0,00	20,70	3,11	59,00	5899,50	0,97
W11	45,00	11,50	41,40	0,00	41,40	18,63	353,97	35397,00	5,79
W12	75,00	19,50	70,20	11,40	58,80	44,10	837,90	83790,00	13,71
W13	15,00	5,75	20,70	0,00	20,70	3,11	59,00	5899,50	0,97
W14.1	75,00	1,50	5,40	1,80	3,60	2,70	51,30	5130,00	0,84
W14.2	60,00	3,50	12,60	0,00	12,60	7,56	143,64	14364,00	2,35
W14.3	75,00	2,88	10,35	1,80	8,55	6,41	121,84	12183,75	1,99
W14.4	60,00	3,38	12,15	0,00	12,15	7,29	138,51	13851,00	2,27
W14.5	75,00	2,50	9,00	1,80	7,20	5,40	102,60	10260,00	1,68
W15	45,00	3,50	12,60	0,75	11,85	5,33	101,32	10131,75	1,66
W16	15,00	5,75	20,70	1,80	18,90	2,84	53,87	5386,50	0,88
W17	15,00	2,88	10,35	3,20	7,15	1,07	20,38	2037,75	0,33
W18.1	15,00	4,25	15,30	0,00	15,30	2,30	43,61	4360,50	0,71
W18.2	75,00	8,00	28,80	5,40	23,40	17,55	333,45	33345,00	5,46
W19	15,00	5,75	20,70	0,00	20,70	3,11	59,00	5899,50	0,97
W20	15,00	4,25	15,30	0,00	15,30	2,30	43,61	4360,50	0,71
W21	15,00	5,75	20,70	1,80	18,90	2,84	53,87	5386,50	0,88
W22	15,00	5,75	20,70	0,00	20,70	3,11	59,00	5899,50	0,97
W23	15,00	5,75	20,70	1,80	18,90	2,84	53,87	5386,50	0,88
W24	45,00	11,50	41,40	0,00	41,40	18,63	353,97	35397,00	5,79
Σ							6112,25	611225,25	100,00

Tabelle 26: Excel, Massenermittlung des 1. & 2.OG - unsymmetrischer Grundriss

	t	L	A_{Wand}	$A_{Öff.}$	A	M	$M \cdot \gamma$		
	[cm]	[m]	[m ²]	[m ²]	A [m ²]	M [m ³]	[kN]	[kg]	[%]
W1	60,00	22,50	81,00	13,50	67,50	40,50	769,50	76950,00	15,05
W2.1	60,00	16,75	60,30	1,80	58,50	35,10	666,90	66690,00	13,04
W2.2	45,00	5,75	20,70	1,80	18,90	8,51	161,60	16159,50	3,16
W3.1	15,00	1,50	5,40	0,00	5,40	0,81	15,39	1539,00	0,30
W3.2	30,00	2,75	9,90	0,00	9,90	2,97	56,43	5643,00	1,10
W4	15,00	5,75	20,70	1,80	18,90	2,84	53,87	5386,50	1,05
W5	15,00	9,00	32,40	9,60	22,80	3,42	64,98	6498,00	1,27
W6.1	15,00	1,50	5,40	0,00	5,40	0,81	15,39	1539,00	0,30
W6.2	30,00	2,75	9,90	0,00	9,90	2,97	56,43	5643,00	1,10
W7	60,00	11,00	39,60	6,00	33,60	20,16	383,04	38304,00	7,49
W8	15,00	5,75	20,70	0,00	20,70	3,11	59,00	5899,50	1,15
W9	45,00	4,25	15,30	0,00	15,30	6,89	130,82	13081,50	2,56
W10.1	15,00	1,50	5,40	1,80	3,60	0,54	10,26	1026,00	0,20
W10.2	45,00	4,25	15,30	0,00	15,30	6,89	130,82	13081,50	2,56
W10.3	15,00	5,75	20,70	0,00	20,70	3,11	59,00	5899,50	1,15
W11	30,00	11,50	41,40	0,00	41,40	12,42	235,98	23598,00	4,62
W12	60,00	19,50	70,20	10,50	59,70	35,82	680,58	68058,00	13,31
W13	15,00	5,75	20,70	0,00	20,70	3,11	59,00	5899,50	1,15
W14.1	60,00	1,50	5,40	1,80	3,60	2,16	41,04	4104,00	0,80
W14.2	60,00	3,50	12,60	0,00	12,60	7,56	143,64	14364,00	2,81
W14.3	60,00	2,88	10,35	1,80	8,55	5,13	97,47	9747,00	1,91
W14.4	60,00	3,38	12,15	0,00	12,15	7,29	138,51	13851,00	2,71
W14.5	60,00	2,50	9,00	1,80	7,20	4,32	82,08	8208,00	1,61
W15	45,00	3,50	12,60	0,75	11,85	5,33	101,32	10131,75	1,98
W16	15,00	5,75	20,70	1,80	18,90	2,84	53,87	5386,50	1,05
W17	15,00	2,88	10,35	3,20	7,15	1,07	20,38	2037,75	0,40
W18.1	15,00	4,25	15,30	0,00	15,30	2,30	43,61	4360,50	0,85
W18.2	60,00	8,00	28,80	4,50	24,30	14,58	277,02	27702,00	5,42
W19	15,00	5,75	20,70	0,00	20,70	3,11	59,00	5899,50	1,15
W20	15,00	4,25	15,30	0,00	15,30	2,30	43,61	4360,50	0,85
W21	15,00	5,75	20,70	1,80	18,90	2,84	53,87	5386,50	1,05
W22	15,00	5,75	20,70	0,00	20,70	3,11	59,00	5899,50	1,15
W23	15,00	5,75	20,70	1,80	18,90	2,84	53,87	5386,50	1,05
W24	30,00	11,50	41,40	0,00	41,40	12,42	235,98	23598,00	4,62
Σ							5113,19	511318,50	100,00

Tabelle 27: Excel, Massenermittlung des 3.OG - unsymmetrischer Grundriss

	t	L	A_{Wand}	$A_{Öff.}$	A	M	$M \cdot \gamma$		
	[cm]	[m]	[m ²]	[m ²]	A [m ²]	M [m ³]	[kN]	[kg]	[%]
W1	45,00	22,50	81,00	13,50	67,50	30,38	577,13	57712,50	12,59
W2.1	60,00	16,75	60,30	1,80	58,50	35,10	666,90	66690,00	14,54
W2.2	45,00	5,75	20,70	1,80	18,90	8,51	161,60	16159,50	3,52
W3.1	15,00	1,50	5,40	0,00	5,40	0,81	15,39	1539,00	0,34
W3.2	30,00	2,75	9,90	0,00	9,90	2,97	56,43	5643,00	1,23
W4	15,00	5,75	20,70	1,80	18,90	2,84	53,87	5386,50	1,17
W5	15,00	9,00	32,40	9,60	22,80	3,42	64,98	6498,00	1,42
W6.1	15,00	1,50	5,40	0,00	5,40	0,81	15,39	1539,00	0,34
W6.2	30,00	2,75	9,90	0,00	9,90	2,97	56,43	5643,00	1,23
W7	45,00	11,00	39,60	6,00	33,60	15,12	287,28	28728,00	6,26
W8	15,00	5,75	20,70	0,00	20,70	3,11	59,00	5899,50	1,29
W9	45,00	4,25	15,30	0,00	15,30	6,89	130,82	13081,50	2,85
W10.1	15,00	1,50	5,40	1,80	3,60	0,54	10,26	1026,00	0,22
W10.2	45,00	4,25	15,30	0,00	15,30	6,89	130,82	13081,50	2,85
W10.3	15,00	5,75	20,70	0,00	20,70	3,11	59,00	5899,50	1,29
W11	30,00	11,50	41,40	0,00	41,40	12,42	235,98	23598,00	5,15
W12	45,00	19,50	70,20	10,50	59,70	26,87	510,44	51043,50	11,13
W13	15,00	5,75	20,70	0,00	20,70	3,11	59,00	5899,50	1,29
W14.1	60,00	1,50	5,40	1,80	3,60	2,16	41,04	4104,00	0,89
W14.2	60,00	3,50	12,60	0,00	12,60	7,56	143,64	14364,00	3,13
W14.3	60,00	2,88	10,35	1,80	8,55	5,13	97,47	9747,00	2,13
W14.4	60,00	3,38	12,15	0,00	12,15	7,29	138,51	13851,00	3,02
W14.5	60,00	2,50	9,00	1,80	7,20	4,32	82,08	8208,00	1,79
W15	45,00	3,50	12,60	0,75	11,85	5,33	101,32	10131,75	2,21
W16	15,00	5,75	20,70	1,80	18,90	2,84	53,87	5386,50	1,17
W17	15,00	2,88	10,35	3,20	7,15	1,07	20,38	2037,75	0,44
W18.1	15,00	4,25	15,30	0,00	15,30	2,30	43,61	4360,50	0,95
W18.2	45,00	8,00	28,80	4,50	24,30	10,94	207,77	20776,50	4,53
W19	15,00	5,75	20,70	0,00	20,70	3,11	59,00	5899,50	1,29
W20	15,00	4,25	15,30	0,00	15,30	2,30	43,61	4360,50	0,95
W21	15,00	5,75	20,70	1,80	18,90	2,84	53,87	5386,50	1,17
W22	15,00	5,75	20,70	0,00	20,70	3,11	59,00	5899,50	1,29
W23	15,00	5,75	20,70	1,80	18,90	2,84	53,87	5386,50	1,17
W24	30,00	11,50	41,40	0,00	41,40	12,42	235,98	23598,00	5,15
Σ							4585,65	458565,00	100,00

Tabelle 28: Excel, Massenermittlung des 4.OG - unsymmetrischer Grundriss

	t [cm]	L [m]	A_{Wind} [m ²]	$A_{Off.}$ [m ²]	A [m ²]	M [m ³]	$M * \gamma$ [kN]	Dach [kN]	Ges. [kN]	[kg]	[%]
W1	45,00	22,50	78,75	13,50	65,25	29,36	557,89	170,78	728,66	72866,25	13,11
W2.1	60,00	16,75	58,63	1,80	56,83	34,10	647,81	269,59	917,40	91739,50	16,50
W2.2	45,00	5,75	20,13	1,80	18,33	8,25	156,68	0,00	156,68	15667,88	2,82
W3.1	15,00	1,50	5,25	0,00	5,25	0,79	14,96	0,00	14,96	1496,25	0,27
W3.2	30,00	2,75	9,63	0,00	9,63	2,89	54,86	0,00	54,86	5486,25	0,99
W4	15,00	5,75	20,13	1,80	18,33	2,75	52,23	0,00	52,23	5222,63	0,94
W5	15,00	9,00	31,50	9,60	21,90	3,29	62,42	0,00	62,42	6241,50	1,12
W6.1	15,00	1,50	5,25	0,00	5,25	0,79	14,96	0,00	14,96	1496,25	0,27
W6.2	30,00	2,75	9,63	0,00	9,63	2,89	54,86	0,00	54,86	5486,25	0,99
W7	45,00	11,00	38,50	6,00	32,50	14,63	277,88	83,49	361,37	36136,50	6,50
W8	15,00	5,75	20,13	0,00	20,13	3,02	57,36	0,00	57,36	5735,63	1,03
W9	45,00	4,25	14,88	0,00	14,88	6,69	127,18	0,00	127,18	12718,13	2,29
W10.1	15,00	1,50	5,25	1,80	3,45	0,52	9,83	0,00	9,83	983,25	0,18
W10.2	45,00	4,25	14,88	0,00	14,88	6,69	127,18	0,00	127,18	12718,13	2,29
W10.3	15,00	5,75	20,13	0,00	20,13	3,02	57,36	0,00	57,36	5735,63	1,03
W11	30,00	11,50	40,25	0,00	40,25	12,08	229,43	114,77	344,20	34419,50	6,19
W12	45,00	19,50	68,25	10,50	57,75	25,99	493,76	148,01	641,77	64176,75	11,55
W13	15,00	5,75	20,13	0,00	20,13	3,02	57,36	0,00	57,36	5735,63	1,03
W14.1	60,00	1,50	5,25	1,80	3,45	2,07	39,33	11,22	50,55	5055,00	0,91
W14.2	60,00	3,50	12,25	0,00	12,25	7,35	139,65	26,18	165,83	16583,00	2,98
W14.3	60,00	2,88	10,06	1,80	8,26	4,96	94,19	21,51	115,70	11569,75	2,08
W14.4	60,00	3,38	11,81	0,00	11,81	7,09	134,66	73,35	208,01	20800,75	3,74
W14.5	60,00	2,50	8,75	1,80	6,95	4,17	79,23	18,70	97,93	9793,00	1,76
W15	45,00	3,50	12,25	0,75	11,50	5,18	98,33	0,00	98,33	9832,50	1,77
W16	15,00	5,75	20,13	1,80	18,33	2,75	52,23	0,00	52,23	5222,63	0,94
W17	15,00	2,88	10,06	3,20	6,86	1,03	19,56	0,00	19,56	1955,81	0,35
W18.1	15,00	4,25	14,88	0,00	14,88	2,23	42,39	0,00	42,39	4239,38	0,76
W18.2	45,00	8,00	28,00	4,50	23,50	10,58	200,93	60,72	261,65	26164,50	4,71
W19	15,00	5,75	20,13	0,00	20,13	3,02	57,36	0,00	57,36	5735,63	1,03
W20	15,00	4,25	14,88	0,00	14,88	2,23	42,39	0,00	42,39	4239,38	0,76
W21	15,00	5,75	20,13	1,80	18,33	2,75	52,23	0,00	52,23	5222,63	0,94
W22	15,00	5,75	20,13	0,00	20,13	3,02	57,36	0,00	57,36	5735,63	1,03
W23	15,00	5,75	20,13	1,80	18,33	2,75	52,23	0,00	52,23	5222,63	0,94
W24	30,00	11,50	40,25	0,00	40,25	12,08	229,43	114,77	344,20	34419,50	6,19

Summe der letzten Drei Spalten,

	Ges. [kN]	[kg]	[%]
Σ	5558,54	555853,56	100,00

Tabelle 29: Excel, Zusammenfassung der Massenermittlung - unsymmetrischer Grundriss

	X-Richtung		Y-Richtung	
	[kg]	[%]	[kg]	[%]
W1			361023,75	25,24
W2.1			348213,00	24,34
W2.2			80305,88	5,61
W3.1			7652,25	0,53
W3.2			28058,25	1,96
W4			26768,63	1,87
W5			38731,50	2,71
W6.1			7652,25	0,53
W6.2			28058,25	1,96
W7			181003,50	12,65
W8			29333,63	2,05
W9			65044,13	4,55
W10.1			5087,25	0,36
W10.2			65044,13	4,55
W10.3			29333,63	2,05
W11			129133,50	9,03
W12	320325,75	28,95		
W13	29333,63	2,65		
W14.1	21375,00	1,93		
W14.2	71421,00	6,45		
W14.3	50844,00	4,59		
W14.4	68870,25	6,22		
W14.5	42807,00	3,87		
W15	50359,50	4,55		
W16	26768,63	2,42		
W17	10106,81	0,91		
W18.1	21681,00	1,96		
W18.2	129618,00	11,71		
W19	29333,63	2,65		
W20	21681,38	1,96		
W21	26768,63	2,42		
W22	29333,63	2,65		
W23	26768,63	2,42		
W24	129133,50	11,67		
Σ	413193,00	100,00	287023,50	100,00

B.3.2. Kapazitätsermittlung

Die angeführten Werte in diesem Unterkapitel werden vom obersten Geschoß zum Erdgeschoß hin aufgelistet. Die Belastung, vor allem die Normalkraft, wird von dem Geschoß darüber für das zu betrachtende herangezogen.

symmetrischer Grundriss In den folgenden Tabellen wird zuerst die Belastung aus der Tabelle 7 und jene aus der Massenermittlung herangezogen, um die Widerstände und Kapazität der einzelnen Abschnitte zu ermitteln. Abschließend wird mit den ermittelten maßgebenden Widerständen die Verschiebung nach Norm für PushOver berechnet.

Tabelle 30: Excel, Kapazitätsermittlung des 2.OG - symmetrischer Grundriss

2.OG	Abmessungen und Kennwerte der Wand, W_i							Biegeversagen			Schubversagen				
	L [m]	t [cm]	H [m]	V_{Ed} [kN] % - 2.OG	N_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm] % - 2.OG	e [m]	l_c [m]	v_d [-]	$V_{Rd,1}$ [kN]	s_d [kN/cm ²]	f_{yk1} [kN/cm ²]	f_{yk2} [kN/cm ²]	f_d [-]	$V_{Rd,2}$ [kN]
Formel															
W1	10,00	30,0	3,10	106,25	276,50	329,37	1,67	10,00	0,09	530,00	0,01	0,02	0,13	0,01	374,13
W2	5,00	15,0	3,10	23,54	39,05	72,98	1,87	1,89	0,05	39,41	0,01	0,02	0,13	0,01	38,49
W3.1	5,00	15,0	3,10	34,50	39,05	106,96	2,74	0,27	0,05	39,41	0,10	0,06	0,13	0,03	13,46
W3.2	5,00	30,0	3,10	37,19	61,85	115,28	1,86	1,91	0,04	63,27	0,01	0,02	0,13	0,01	73,56
W4.1	5,00	15,0	3,10	34,50	44,18	106,96	2,42	0,30	0,06	44,20	0,10	0,06	0,13	0,03	15,23
W4.2	5,00	30,0	3,10	37,19	61,85	115,28	1,86	1,91	0,04	63,27	0,01	0,02	0,13	0,01	73,56
W5.1	8,50	30,0	3,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W5.2	8,50	15,0	3,10	58,35	75,10	180,89	2,41	5,52	0,06	127,74	0,01	0,02	0,13	0,01	103,03
W6	10,00	15,0	3,10	48,43	83,22	150,12	1,80	9,59	0,06	167,26	0,01	0,02	0,13	0,01	167,55
W7	5,00	15,0	3,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W8	10,00	30,0	3,10	106,25	276,50	329,37	1,67	10,00	0,09	530,00	0,01	0,02	0,13	0,01	374,13
W9	1,25	30,0	3,10	13,28	22,09	41,17	1,86	0,08	0,06	5,53	0,10	0,06	0,13	0,03	7,61
W10	1,25	15,0	3,10	4,40	11,04	13,65	1,24	0,08	0,06	2,76	0,10	0,06	0,13	0,03	3,81
W11	1,25	15,0	3,10	6,64	11,04	20,59	1,86	0,08	0,06	2,76	0,10	0,06	0,13	0,03	3,81
W12	1,25	30,0	3,10	13,28	22,09	41,17	1,86	0,08	0,06	5,53	0,10	0,06	0,13	0,03	7,61
W13	12,50	45,0	3,10	174,78	428,61	541,82	2,08	12,50	0,08	1048,65	0,01	0,02	0,13	0,01	679,98
W14	12,50	60,0	3,10	221,03	739,71	685,18	2,08	12,50	0,10	1757,19	0,01	0,02	0,13	0,01	946,94
W15	3,25	15,0	3,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W16	12,50	45,0	3,10	144,56	332,84	448,14	2,08	12,50	0,06	832,31	0,01	0,02	0,13	0,01	657,04
W17	4,00	30,0	3,10	18,76	74,68	58,16	0,78	3,66	0,06	59,53	0,01	0,02	0,13	0,01	130,69

Tabelle 31: Excel, Kapazitätsermittlung des 1.OG - symmetrischer Grundriss

1.OG	Abmessungen und Kennwerte der Wand, W_i								Biegeversagen		Schubversagen				
	L [m]	t [cm]	H [m]	V_{Ed} [kN] % - 1.OG	N_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm] % - 1.OG	e [m]	l_c [m]	v_d [-]	$V_{Rd,1}$ [kN]	s_d [kN/cm ²]	f_{yk1} [kN/cm ²]	f_{yk2} [kN/cm ²]	f_d [-]	$V_{Rd,2}$ [kN]
Formel															
W1	10,00	30,00	3,20	177,08	458,90	896,03	1,95	9,14	0,16	783,59	0,02	0,02	0,13	0,01	391,41
W2	5,00	15,00	3,20	39,24	79,52	198,54	2,50	0,54	0,11	72,47	0,10	0,06	0,13	0,03	27,41
W3.1	5,00	15,00	3,20	57,50	84,65	290,97	3,44	0,58	0,12	76,44	0,10	0,06	0,13	0,03	29,18
W3.2	5,00	30,00	3,20	61,98	125,69	313,61	2,50	0,43	0,09	117,99	0,10	0,06	0,13	0,03	43,33
W4.1	5,00	15,00	3,20	57,50	84,65	290,97	3,44	0,58	0,12	76,44	0,10	0,06	0,13	0,03	29,18
W4.2	5,00	30,00	3,20	61,98	125,69	313,61	2,50	0,43	0,09	117,99	0,10	0,06	0,13	0,03	43,33
W5.1	8,50	30,00	3,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W5.2	8,50	15,00	3,20	97,25	152,62	492,11	3,22	3,08	0,12	232,11	0,03	0,03	0,13	0,02	83,92
W6	10,00	15,00	3,20	80,71	169,29	408,40	2,41	7,76	0,12	305,75	0,01	0,02	0,13	0,01	160,06
W7	5,00	15,00	3,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W8	10,00	30,00	3,20	177,08	458,90	896,03	1,95	9,14	0,16	783,59	0,02	0,02	0,13	0,01	391,41
W9	1,25	30,00	3,20	22,14	44,89	112,00	2,50	0,15	0,12	10,04	0,10	0,06	0,13	0,03	15,48
W10	1,25	15,00	3,20	7,34	22,44	37,14	1,65	0,15	0,12	5,02	0,10	0,06	0,13	0,03	7,74
W11	1,25	15,00	3,20	11,07	22,44	56,00	2,50	0,15	0,12	5,02	0,10	0,06	0,13	0,03	7,74
W12	1,25	30,00	3,20	22,14	44,89	112,00	2,50	0,15	0,12	10,04	0,10	0,06	0,13	0,03	15,48
W13	12,50	45,00	3,20	291,30	930,21	1473,99	2,08	12,50	0,17	1950,03	0,02	0,02	0,13	0,01	800,13
W14	12,50	60,00	3,20	368,38	1316,55	1863,99	2,08	12,50	0,18	2718,80	0,02	0,02	0,13	0,01	1085,10
W15	3,25	15,00	3,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W16	12,50	45,00	3,20	240,93	722,72	1219,13	2,08	12,50	0,13	1596,93	0,01	0,02	0,13	0,01	750,43
W17	4,00	30,00	3,20	31,27	136,24	158,23	1,16	2,52	0,12	98,33	0,02	0,02	0,13	0,01	110,10

Tabelle 32: Excel, Kapazitätsermittlung des EG - symmetrischer Grundriss

EG	Abmessungen und Kennwerte der Wand, W_i									Biegeversagen		Schubversagen				
	L [m]	t [cm]	H [m]	V_{Ed} [kN] %- EG	N_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm] %- EG	e [m]	l_c [m]	v_d [-]	$V_{Rd,1}$ [kN]	s_d [kN/cm ²]	f_{rk1} [kN/cm ²]	f_{rk2} [kN/cm ²]	f_d [-]	$V_{Rd,2}$ [kN]	
Formel																
W1	10,00	30,00	3,20	212,50	641,30	1576,01	2,46	7,63	0,22	999,25	0,03	0,03	0,13	0,02	388,46	
W2	5,00	15,00	3,20	47,08	119,99	349,21	2,91	0,82	0,16	101,41	0,10	0,06	0,13	0,03	41,37	
W3.1	5,00	15,00	3,20	69,01	175,85	511,79	2,91	1,20	0,24	132,53	0,10	0,06	0,13	0,03	60,63	
W3.2	5,00	30,00	3,20	74,37	189,53	551,61	2,91	0,65	0,13	168,01	0,10	0,06	0,13	0,03	65,34	
W4.1	5,00	15,00	3,20	69,01	175,85	511,79	2,91	1,20	0,24	132,53	0,10	0,06	0,13	0,03	60,63	
W4.2	5,00	30,00	3,20	74,37	189,53	551,61	2,91	0,65	0,13	168,01	0,10	0,06	0,13	0,03	65,34	
W5.1	8,50	30,00	3,20	10,14	155,04	451,24	2,91	4,02	0,06	254,87	0,01	0,02	0,13	0,01	160,87	
W5.2	8,50	15,00	3,20	116,71	297,40	865,56	2,91	4,02	0,24	381,78	0,05	0,04	0,13	0,02	133,10	
W6	10,00	15,00	3,20	96,85	246,81	718,33	2,91	6,27	0,17	414,42	0,03	0,03	0,13	0,02	155,62	
W7	5,00	15,00	3,20	2,98	45,60	132,72	2,91	0,31	0,06	44,09	0,10	0,06	0,13	0,03	15,72	
W8	10,00	30,00	3,20	212,50	641,30	1576,01	2,46	7,63	0,22	999,25	0,03	0,03	0,13	0,02	388,46	
W9	1,25	30,00	3,20	26,56	67,69	197,00	2,91	0,23	0,19	13,88	0,10	0,06	0,13	0,03	23,34	
W10	1,25	15,00	3,20	8,81	22,44	65,32	2,91	0,15	0,12	5,02	0,10	0,06	0,13	0,03	7,74	
W11	1,25	15,00	3,20	13,28	33,84	98,50	2,91	0,23	0,19	6,94	0,10	0,06	0,13	0,03	11,67	
W12	1,25	30,00	3,20	26,56	67,69	197,00	2,91	0,23	0,19	13,88	0,10	0,06	0,13	0,03	23,34	
W13	12,50	45,00	3,20	349,56	1349,73	2592,60	2,08	12,50	0,25	2520,34	0,02	0,03	0,13	0,02	900,61	
W14	12,50	60,00	3,20	442,05	1804,47	3278,56	2,08	12,50	0,25	3365,90	0,02	0,03	0,13	0,02	1201,97	
W15	3,25	15,00	3,20	1,35	29,64	59,92	2,02	0,20	0,06	18,63	0,10	0,06	0,13	0,03	10,22	
W16	12,50	45,00	3,20	289,12	1112,60	2144,32	2,08	12,50	0,20	2221,59	0,02	0,03	0,13	0,02	843,81	
W17	4,00	30,00	3,20	37,52	153,06	278,30	1,82	0,55	0,13	108,36	0,09	0,05	0,13	0,03	53,44	

Tabelle 33: Excel, Kapazitätsermittlung - symmetrischer Grundriss

	2.OG:		1.OG:		EG:		Versagens-		Ausn.		Kap.	
	V_{Rd}	Versagens- Typ	V_{Ed}/V_{Rd}	Ausn.	V_{Rd}	Versagens- Typ	V_{Ed}/V_{Rd}	Ausn.	V_{Rd}	Versagens- Typ	V_{Ed}/V_{Rd}	Ausn.
W1	374,13	Schubvers,	0,28	3,52	391,41	Schubvers,	0,45	2,21	388,46	Schubvers,	0,55	1,83
W2	38,49	Schubvers,	0,61	1,63	27,41	Schub/Druck	1,43	0,70	41,37	Schub/Druck	1,14	0,88
W3.1	13,46	Schub/Druck	2,56	0,39	29,18	Schub/Druck	1,97	0,51	60,63	Schub/Druck	1,14	0,88
W3.2	63,27	Biegebers,	0,59	1,70	43,33	Schub/Druck	1,43	0,70	65,34	Schub/Druck	1,14	0,88
W4.1	15,23	Schub/Druck	2,27	0,44	29,18	Schub/Druck	1,97	0,51	60,63	Schub/Druck	1,14	0,88
W4.2	63,27	Biegebers,	0,59	1,70	43,33	Schub/Druck	1,43	0,70	65,34	Schub/Druck	1,14	0,8
W5.1	-	-	-	-	-	-	-	-	160,87	Schubvers,	0,06	15,86
W5.2	103,03	Schubvers,	0,57	1,77	83,92	Schubvers,	1,16	0,86	133,10	Schubvers,	0,88	1,14
W6	167,26	Biegebers,	0,29	3,45	160,06	Schubvers,	0,50	1,98	155,62	Schubvers,	0,62	1,61
W7	-	-	-	-	-	-	-	-	15,72	Schub/Druck	0,19	5,27
W8	374,13	Schubvers,	0,28	3,52	391,41	Schubvers,	0,45	2,21	388,46	Schubvers,	0,55	1,83
W9	5,53	Schub/Druck	2,40	0,42	10,04	Schub/Druck	2,20	0,45	13,88	Schub/Druck	1,91	0,52
W10	2,76	Schub/Druck	1,59	0,63	5,02	Schub/Druck	1,46	0,68	5,02	Schub/Druck	1,75	0,57
W11	2,76	Schub/Druck	2,40	0,42	5,02	Schub/Druck	2,20	0,45	6,94	Schub/Druck	1,91	0,52
W12	5,53	Schub/Druck	2,40	0,42	10,04	Schub/Druck	2,20	0,45	13,88	Schub/Druck	1,91	0,52
W13	679,98	Schubvers,	0,26	3,89	800,13	Schubvers,	0,36	2,75	900,61	Schubvers,	0,39	2,58
W14	946,94	Schubvers,	0,23	4,28	1085,10	Schubvers,	0,34	2,95	1201,97	Schubvers,	0,37	2,72
W15	-	-	-	-	-	-	-	-	10,22	Schub/Druck	0,13	7,59
W16	657,04	Schubvers,	0,22	4,55	750,43	Schubvers,	0,32	3,11	843,81	Schubvers,	0,34	2,92
W17	59,53	Biegebers,	0,32	3,17	98,33	Biegebers,	0,32	3,14	53,44	Schubvers,	0,70	1,42

Tabelle 34: Excel, Pfeiler Kapazitätsermittlung - symmetrischer Grundriss

Pfeiler	L [m]	t [cm]	H [m]	V_{Ed} [kN]	N_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm]	e [m]	l_c [m]	ν_d [-]	$V_{Rd,1}$ [kN]
W13										
2.OG	1,20	45,00	3,20	21,85	53,58	67,73	1,26	0,12	0,10	11,83
1.OG	1,20	45,00	3,20	36,41	116,28	184,25	1,58	0,26	0,22	21,69
EG	1,20	45,00	3,20	49,94	192,82	370,37	1,92	0,44	0,37	27,91
W16										
2.OG	1,20	45,00	3,20	18,07	41,61	56,02	1,35	0,09	0,08	9,46
1.OG	1,20	45,00	3,20	30,12	90,34	152,39	1,69	0,21	0,17	18,13
EG	1,20	45,00	3,20	41,30	158,94	306,33	1,93	0,36	0,30	25,94
	s_d [kN/cm ²]	f_{vk1} [kN/cm ²]	f_{vk2} [kN/cm ²]	f_d [-]	$V_{Rd,2}$ [kN]	Versagensart V_{Rd} Typ	V_{Ed}/V_{Rd} [-]	V_{Rd}/V_{Ed} [-]		
W13										
2.OG	0,10	0,06	0,13	0,03	18,47	11,83 Schub/Druck	1,85	0,54		
1.OG	0,10	0,06	0,13	0,03	40,09	21,69 Schub/Druck	1,68	0,60		
EG	0,10	0,06	0,13	0,03	66,48	27,91 Schub/Druck	1,79	0,56		
W16										
2.OG	0,10	0,06	0,13	0,03	14,34	9,46 Schub/Druck	1,91	0,52		
1.OG	0,10	0,06	0,13	0,03	31,15	18,13 Schub/Druck	1,66	0,60		
EG	0,10	0,06	0,13	0,03	54,80	25,94 Schub/Druck	1,59	0,63		

Tabelle 35: Excel, Kapazitätsermittlung via PushOver (1/2) - symmetrischer Grundriss

	A	I	V _{kd}	d _{y,o}	k	d _y	k _{eff}	d _u	μ	Anteil	m _{eff}	E _m	E _m	F _y *	d _n	d _y *
	[cm ²]	[cm ⁴]	[kN]	[mm]	[kN/cm]	[mm]	[kN/cm]	[mm]	[-]	[%]	[kg]	[Nm]	[Nm]	[kN]	[mm]	[mm]
	L · t	36	s. Tab. 37	37	16	17	18	19	20		21	22	23	24	25	26
W1	30000	2,50E+09	336,54	7,86	428,00	9,45	356,15	54,16	5,73	8,53	442,73	16636,30	9360,80	252,44	40,63	7,09
W2	7500	1,56E+08	34,15	7,06	48,39	9,63	35,45	108,32	11,24	1,60	82,83	3534,77	1988,92	25,62	81,25	7,23
W3.1	7500	1,56E+08	44,63	9,22	48,39	12,59	35,45	108,32	8,60	2,34	121,40	4553,65	2562,22	33,48	81,25	9,44
W3.2	15000	3,13E+08	56,58	5,85	96,78	7,98	70,90	108,32	13,57	2,52	130,84	5903,11	3321,53	42,44	81,25	5,99
W4.1	7500	1,56E+08	44,63	9,22	48,39	12,59	35,45	108,32	8,60	2,34	121,40	4553,65	2562,22	33,48	81,25	9,44
W4.2	15000	3,13E+08	56,58	5,85	96,78	7,98	70,90	108,32	13,57	2,52	130,84	5903,11	3321,53	42,44	81,25	5,99
W5.1	25500	1,54E+09	85,84	2,73	314,96	3,38	253,64	63,72	18,83	2,06	107,03	5323,87	2995,60	64,39	47,79	2,54
W5.2	12750	7,68E+08	128,58	8,16	157,48	10,14	126,82	63,72	6,28	3,96	205,31	7540,80	4243,01	96,45	47,79	7,61
W6	15000	1,25E+09	139,57	6,52	214,00	7,84	178,07	54,16	6,91	3,28	170,39	7012,03	3945,48	104,70	40,63	5,88
W7	7500	1,56E+08	14,85	3,07	48,39	4,19	35,45	108,32	25,86	0,61	31,48	1577,46	887,59	11,14	81,25	3,14
W8	30000	2,50E+09	336,54	7,86	428,00	9,45	356,15	54,16	5,73	8,53	442,73	16636,30	9360,80	252,44	40,63	7,09
W9	3750	4,88E+06	4,67	23,09	2,02	34,37	1,36	433,27	12,61	0,90	46,73	1944,35	1094,03	3,51	325,00	25,78
W10	1875	2,44E+06	1,69	16,71	1,01	24,87	0,68	433,27	17,42	0,30	15,49	711,46	400,32	1,27	325,00	18,65
W11	1875	2,44E+06	2,34	23,09	1,01	34,37	0,68	433,27	12,61	0,45	23,36	972,17	547,02	1,75	325,00	25,78
W12	3750	4,88E+06	4,67	23,09	2,02	34,37	1,36	433,27	12,61	0,90	46,73	1944,35	1094,03	3,51	325,00	25,78
W13	56250	7,32E+09	848,83	9,04	938,96	10,41	815,73	43,33	4,16	17,95	931,81	32360,52	18208,41	636,72	32,50	7,81
W14	75000	9,77E+09	1133,60	9,05	1251,95	10,42	1087,64	43,33	4,16	24,00	1245,74	43207,68	24311,81	850,33	32,50	7,82
W15	4875	4,29E+07	6,27	3,99	15,74	5,71	10,99	166,64	29,19	0,39	20,46	1027,65	578,23	4,71	125,00	4,28
W16	56250	7,32E+09	748,21	7,97	938,96	9,17	815,73	43,33	4,72	14,80	768,10	28986,05	16309,68	561,24	32,50	6,88
W17	12000	1,60E+08	36,50	6,65	54,88	9,34	39,08	135,40	14,50	2,04	105,66	4770,92	2684,47	27,38	101,56	7,00

Tabelle 36: Excel, Kapazitätsermittlung via PushOver (2/2) - symmetrischer Grundriss

	T^* [sec]	$T < > T^*$	$S_e(T^*)$ [m/s ²]	d_{el}^* [mm]	q_u [-]	$S_e(T^*)/q_u$ [m/s ²]	F_y^*/m^* [m/s ²]	Antwort	d_t^* [mm]	d_t [mm]	$k \cdot d_t$ [mm]	$k \cdot d_t$ < d_u	$F_{y,du}$ [kN]	q_{AS} [-]	α_{IST} [-]
	27		28	29	30				31	32			33	34	35
W1	0,70	$T \leq T_D$	1,71	21,29	3,00	0,57	0,57	$T^* \geq T_C$	21,29	28,39	42,58	OK	1928,83	5,73	1,27
W2	0,96	$T \leq T_D$	1,25	29,19	4,04	0,31	0,31	$T^* \geq T_C$	29,19	38,92	58,38	OK	384,00	11,24	1,86
W3.1	1,16	$T \leq T_D$	1,03	35,34	3,74	0,28	0,28	$T^* \geq T_C$	35,34	47,11	70,67	OK	384,00	8,60	1,53
W3.2	0,85	$T \leq T_D$	1,41	25,94	4,33	0,32	0,32	$T^* \geq T_C$	25,94	34,59	51,88	OK	768,01	13,57	2,09
W4.1	1,16	$T \leq T_D$	1,03	35,34	3,74	0,28	0,28	$T^* \geq T_C$	35,34	47,11	70,67	OK	384,00	8,60	1,53
W4.2	0,85	$T \leq T_D$	1,41	25,94	4,33	0,32	0,32	$T^* \geq T_C$	25,94	34,59	51,88	OK	768,01	13,57	2,09
W5.1	0,41	$T \leq T_C$	2,40	10,13	3,99	0,60	0,60	n. linear	11,84	15,78	23,67	OK	1616,10	18,83	2,69
W5.2	0,80	$T \leq T_D$	1,50	24,30	3,20	0,47	0,47	$T^* \geq T_C$	24,30	32,40	48,59	OK	808,05	6,28	1,31
W6	0,61	$T \leq T_D$	1,95	18,68	3,18	0,61	0,61	$T^* \geq T_C$	18,68	24,91	37,36	OK	964,42	6,91	1,45
W7	0,59	$T \leq T_D$	2,03	18,00	5,73	0,35	0,35	$T^* \geq T_C$	18,00	23,99	35,99	OK	384,00	25,86	3,01
W8	0,70	$T \leq T_D$	1,71	21,29	3,00	0,57	0,57	$T^* \geq T_C$	21,29	28,39	42,58	OK	1928,83	5,73	1,27
W9	3,68	$T \leq 4$	0,18	60,79	2,36	0,08	0,08	$T^* \geq T_C$	60,79	81,04	121,57	OK	58,91	12,61	3,56
W10	3,00	$T \leq 4$	0,27	60,79	3,26	0,08	0,08	$T^* \geq T_C$	60,79	81,04	121,57	OK	29,46	17,42	3,56
W11	3,68	$T \leq 4$	0,18	60,79	2,36	0,08	0,08	$T^* \geq T_C$	60,79	81,04	121,57	OK	29,46	12,61	3,56
W12	3,68	$T \leq 4$	0,18	60,79	2,36	0,08	0,08	$T^* \geq T_C$	60,79	81,04	121,57	OK	58,91	12,61	3,56
W13	0,67	$T \leq T_D$	1,79	20,41	2,62	0,68	0,68	$T^* \geq T_C$	20,41	27,21	40,82	OK	3534,29	4,16	1,06
W14	0,67	$T \leq T_D$	1,78	20,44	2,61	0,68	0,68	$T^* \geq T_C$	20,44	27,25	40,87	OK	4712,38	4,16	1,06
W15	0,86	$T \leq T_D$	1,40	26,06	6,09	0,23	0,23	$T^* \geq T_C$	26,06	34,74	52,11	OK	183,14	29,19	3,20
W16	0,61	$T \leq T_D$	1,97	18,53	2,69	0,73	0,73	$T^* \geq T_C$	18,53	24,71	37,06	OK	3534,29	4,72	1,17
W17	1,03	$T \leq T_D$	1,16	31,40	4,48	0,26	0,26	$T^* \geq T_C$	31,40	41,86	62,80	OK	529,16	14,50	2,16

Tabelle 37: Excel, zu Kapazitätsermittlung - symmetrischer Grundriss

	V_{Ed} [kN]	N_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm]	e [m]	l_c [m]	L [m] für neuen Biege-NW	t [cm]	$H_{0,M1}$ [m]	v_d [-]	$V_{Rd,1}$ [kN]	$V_{Rd,2}$ [kN] s. Tab. 32	Versagensart Biege/Schub/Kippen	V_{Ed}/V_{Rd} [-]	V_{Rd}/V_{Ed} [-]
W1	212,50	641,30	1576,01	2,46	7,63	10,00	30,00	7,13	0,22	336,54	388,46	336,54 Biegebers.	0,63	1,58
W2	47,08	119,99	349,21	2,91	0,82	5,00	15,00	7,13	0,16	34,15	41,37	34,15 Biegebers.	1,38	0,73
W3.1	69,01	175,85	511,79	2,91	1,20	5,00	15,00	7,13	0,24	44,63	60,63	44,63 Biegebers.	1,55	0,65
W3.2	74,37	189,53	551,61	2,91	0,65	5,00	30,00	7,13	0,13	56,58	65,34	56,58 Biegebers.	1,31	0,76
W4.1	69,01	175,85	511,79	2,91	1,20	5,00	15,00	7,13	0,24	44,63	60,63	44,63 Biegebers.	1,55	0,65
W4.2	74,37	189,53	551,61	2,91	0,65	5,00	30,00	7,13	0,13	56,58	65,34	56,58 Biegebers.	1,31	0,76
W5.1	10,14	155,04	451,24	2,91	4,02	8,50	30,00	7,13	0,06	85,84	160,87	85,84 Biegebers.	0,12	8,46
W5.2	116,71	297,40	865,56	2,91	4,02	8,50	15,00	7,13	0,24	128,58	133,10	128,58 Biegebers.	0,91	1,10
W6	96,85	246,81	718,33	2,91	6,27	10,00	15,00	7,13	0,17	139,57	155,62	139,57 Biegebers.	0,69	1,44
W7	2,98	45,60	132,72	2,91	0,31	5,00	15,00	7,13	0,06	14,85	15,72	14,85 Biegebers.	0,20	4,98
W8	212,50	641,30	1576,01	2,46	7,63	10,00	30,00	7,13	0,22	336,54	388,46	336,54 Biegebers.	0,63	1,58
W9	26,56	67,69	197,00	2,91	0,23	1,25	30,00	7,13	0,19	4,67	23,34	4,67 Biegebers.	5,68	0,18
W10	8,81	22,44	65,32	2,91	0,15	1,25	15,00	7,13	0,12	1,69	7,74	1,69 Biegebers.	5,21	0,19
W11	13,28	33,84	98,50	2,91	0,23	1,25	15,00	7,13	0,19	2,34	11,67	2,34 Biegebers.	5,68	0,18
W12	26,56	67,69	197,00	2,91	0,23	1,25	30,00	7,13	0,19	4,67	23,34	4,67 Biegebers.	5,68	0,18
W13	349,56	1349,73	2592,60	2,08	12,50	12,50	45,00	7,13	0,25	848,83	900,61	848,83 Biegebers.	0,41	2,43
W14	442,05	1804,47	3278,56	2,08	12,50	12,50	60,00	7,13	0,25	1133,60	1201,97	1133,60 Biegebers.	0,39	2,56
W15	1,35	29,64	59,92	2,02	0,20	3,25	15,00	7,13	0,06	6,27	10,22	6,27 Biegebers.	0,21	4,66
W16	289,12	1112,60	2144,32	2,08	12,50	12,50	45,00	7,13	0,20	748,21	843,81	748,21 Biegebers.	0,39	2,59
W17	37,52	153,06	278,30	1,82	0,55	4,00	30,00	7,13	0,13	36,50	53,44	36,50 Biegebers.	1,03	0,97

Nachstehend sind jene Formeln angeführt, die in den Kapiteln 5.4.1 & 5.4.2 noch nicht angegeben wurden:

Fläche der zu betrachtenden Wand,

$$A_{W_i} = L \cdot t \quad (36)$$

Flächenträgheitsmoment der jeweiligen Wand,

$$I_{W_i} = t \cdot L^3 / 12 \quad (37)$$

unsymmetrischer Grundriss In den folgenden Tabellen wird zuerst die Belastung aus der Tabelle 9 und jene aus der Massenermittlung herangezogen, um die Widerstände und Kapazitäten der einzelnen Abschnitte zu ermitteln. Abschließend wird mit den ermittelten maßgebenden Widerständen die Verschiebung nach Norm für PushOver berechnet.

Auf den folgenden Seiten sind die Tabellen der Kapazitätsermittlung des unsymmetrischen Grundrisses angeführt.

Tabelle 38: Excel, Kapazitätsermittlung des 4.OG - unsymmetrischer Grundriss

4.OG	Abmessungen und Kennwerte der Wand, W_i										Biegeversagen		Schubversagen				
	L [m]	t [cm]	H [m]	V_{Ed} [kN] %- 4.OG	N_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm] %- 4.OG	e [m]	l_c [m]	v_d [-]	$V_{Rd,1}$ [kN]	s_d [kN/cm ²]	f_{yk1} [kN/cm ²]	f_{yk2} [kN/cm ²]	f_d [-]	$V_{Rd,2}$ [kN]		
Formel																	
W1	22,50	45,0	3,50	342,53	728,66	1198,86	3,75	22,50	0,07	2857,82	0,01	0,02	0,13	0,01	1213,71		
W2.1	16,75	60,0	3,50	330,38	917,40	1156,32	2,79	16,75	0,09	2611,86	0,01	0,02	0,13	0,01	1251,21		
W2.2	5,75	45,0	3,50	76,19	156,68	266,67	1,70	3,52	0,06	159,35	0,01	0,02	0,13	0,01	200,05		
W3.1	1,50	15,0	3,50	7,26	14,96	25,41	1,70	0,10	0,07	3,94	0,10	0,06	0,13	0,03	5,16		
W3.2	2,75	30,0	3,50	26,62	54,86	93,17	1,70	0,19	0,07	26,48	0,10	0,06	0,13	0,03	18,91		
W4	5,75	15,0	3,50	25,40	52,23	88,89	1,70	3,52	0,06	53,12	0,01	0,02	0,13	0,01	66,68		
W5	9,00	15,0	3,50	36,75	62,42	128,62	2,06	7,32	0,05	101,16	0,01	0,02	0,13	0,01	127,61		
W6.1	1,50	15,0	3,50	7,26	14,96	25,41	1,70	0,10	0,07	3,94	0,10	0,06	0,13	0,03	5,16		
W6.2	2,75	30,0	3,50	26,62	54,86	93,17	1,70	0,19	0,07	26,48	0,10	0,06	0,13	0,03	18,91		
W7	11,00	45,0	3,50	171,73	361,37	601,06	1,83	11,00	0,07	691,96	0,01	0,02	0,13	0,01	594,60		
W8	5,75	15,0	3,50	27,83	57,36	97,41	1,70	3,53	0,07	57,89	0,01	0,02	0,13	0,01	68,08		
W9	4,25	45,0	3,50	61,71	127,18	215,99	1,70	1,28	0,07	94,88	0,02	0,03	0,13	0,02	89,58		
W10.1	1,50	15,0	3,50	4,83	9,83	16,89	1,72	0,07	0,04	2,66	0,10	0,06	0,13	0,03	3,39		
W10.2	4,25	45,0	3,50	61,71	127,18	215,99	1,70	1,28	0,07	94,88	0,02	0,03	0,13	0,02	89,58		
W10.3	5,75	15,0	3,50	27,83	57,36	97,41	1,70	3,53	0,07	57,89	0,01	0,02	0,13	0,01	68,08		
W11	11,50	30,0	3,50	122,52	344,20	428,82	1,92	11,50	0,10	665,25	0,01	0,02	0,13	0,01	436,53		
W12	19,50	45,0	3,50	392,88	641,77	1375,10	3,25	19,50	0,07	2178,13	0,01	0,02	0,13	0,01	1054,34		
W13	5,75	15,0	3,50	35,98	57,36	125,92	2,20	2,04	0,07	57,89	0,02	0,02	0,13	0,01	45,12		
W14.1	1,50	60,0	3,50	26,22	50,55	91,76	1,82	0,09	0,06	13,49	0,10	0,06	0,13	0,03	17,43		
W14.2	3,50	60,0	3,50	87,60	165,83	306,60	1,85	0,28	0,08	100,26	0,10	0,06	0,13	0,03	57,17		
W14.3	2,88	60,0	3,50	62,36	115,70	218,26	1,89	0,20	0,07	58,35	0,10	0,06	0,13	0,03	39,89		
W14.4	3,38	60,0	3,50	84,47	208,01	295,65	1,42	0,80	0,11	117,52	0,04	0,03	0,13	0,02	99,00		
W14.5	2,50	60,0	3,50	52,50	97,93	183,76	1,88	0,17	0,07	43,04	0,10	0,06	0,13	0,03	33,76		
W15	3,50	45,0	3,50	61,77	98,33	216,18	2,20	0,22	0,06	60,72	0,10	0,06	0,13	0,03	33,90		
W16	5,75	15,0	3,50	32,83	52,23	114,91	2,20	2,02	0,06	53,12	0,02	0,02	0,13	0,01	43,67		
W17	2,88	15,0	3,50	12,40	19,56	43,39	2,22	0,13	0,05	10,14	0,10	0,06	0,13	0,03	6,74		
W18.1	4,25	15,0	3,50	26,59	42,39	93,07	2,20	0,29	0,07	31,63	0,10	0,06	0,13	0,03	14,62		
W18.2	8,00	45,0	3,50	158,98	261,65	556,42	2,13	5,62	0,07	364,53	0,01	0,02	0,13	0,01	322,24		
W19	5,75	15,0	3,50	35,98	57,36	125,92	2,20	2,04	0,07	57,89	0,02	0,02	0,13	0,01	45,12		
W20	4,25	15,0	3,50	26,59	42,39	93,07	2,20	0,29	0,07	31,63	0,10	0,06	0,13	0,03	14,62		
W21	5,75	15,0	3,50	32,83	52,23	114,91	2,20	2,02	0,06	53,12	0,02	0,02	0,13	0,01	43,67		
W22	5,75	15,0	3,50	35,98	57,36	125,92	2,20	2,04	0,07	57,89	0,02	0,02	0,13	0,01	45,12		
W23	5,75	15,0	3,50	32,83	52,23	114,91	2,20	2,02	0,06	53,12	0,02	0,02	0,13	0,01	43,67		
W24	11,50	30,0	3,50	158,38	344,20	554,34	1,92	11,50	0,10	665,25	0,01	0,02	0,13	0,01	436,53		

Tabelle 39: Excel, Kapazitätsermittlung des 3.OG - unsymmetrischer Grundriss

3.OG	Abmessungen und Kennwerte der Wand, W_i										Biegeversagen		Schubversagen				
	L	t	H	V_{Ed}	N_{Ed}	M_{Ed}	e	l_c	v_d	$V_{d,1}$	s_d	f_{yk1}	f_{yk2}	f_d	$V_{d,2}$		
	[m]	[cm]	[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[-]	[kN]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[-]	[kN]		
Formel				% - 3.OG		% - 3.OG											
W1	22,50	45,00	3,60	616,56	1305,79	3418,47	3,75	22,50	0,13	4613,34	0,01	0,02	0,13	0,01	1351,94		
W2.1	16,75	60,00	3,60	594,68	1584,30	3297,17	2,79	16,75	0,16	4000,71	0,02	0,02	0,13	0,01	1410,95		
W2.2	5,75	45,00	3,60	137,15	318,27	760,40	2,39	1,46	0,13	289,74	0,05	0,04	0,13	0,02	143,55		
W3.1	1,50	15,00	3,60	13,07	30,35	72,46	2,39	0,21	0,14	7,09	0,10	0,06	0,13	0,03	10,46		
W3.2	2,75	30,00	3,60	47,92	111,29	265,68	2,39	0,38	0,14	47,66	0,10	0,06	0,13	0,03	38,37		
W4	5,75	15,00	3,60	45,72	106,09	253,47	2,39	1,46	0,13	96,58	0,05	0,04	0,13	0,02	47,85		
W5	9,00	15,00	3,60	66,15	127,40	366,74	2,88	4,86	0,10	188,70	0,02	0,02	0,13	0,01	105,39		
W6.1	1,50	15,00	3,60	13,07	30,35	72,46	2,39	0,21	0,14	7,09	0,10	0,06	0,13	0,03	10,46		
W6.2	2,75	30,00	3,60	47,92	111,29	265,68	2,39	0,38	0,14	47,66	0,10	0,06	0,13	0,03	38,37		
W7	11,00	45,00	3,60	309,12	648,65	1713,89	2,64	8,57	0,13	1117,14	0,02	0,02	0,13	0,01	551,32		
W8	5,75	15,00	3,60	50,10	116,35	277,75	2,39	1,46	0,14	104,18	0,05	0,04	0,13	0,02	50,40		
W9	4,25	45,00	3,60	111,08	258,00	615,89	2,39	0,59	0,14	170,75	0,10	0,06	0,13	0,03	88,95		
W10.1	1,50	15,00	3,60	8,69	20,09	48,17	2,40	0,14	0,09	4,99	0,10	0,06	0,13	0,03	6,93		
W10.2	4,25	45,00	3,60	111,08	258,00	615,89	2,39	0,59	0,14	170,75	0,10	0,06	0,13	0,03	88,95		
W10.3	5,75	15,00	3,60	50,10	116,35	277,75	2,39	1,46	0,14	104,18	0,05	0,04	0,13	0,02	50,40		
W11	11,50	30,00	3,60	220,53	580,18	1222,74	2,11	10,93	0,17	990,54	0,02	0,02	0,13	0,01	475,42		
W12	19,50	45,00	3,60	707,19	1152,20	3920,99	3,40	19,04	0,13	3516,49	0,01	0,02	0,13	0,01	1155,39		
W13	5,75	15,00	3,60	64,76	116,35	359,06	3,09	0,80	0,14	104,18	0,10	0,06	0,13	0,03	40,11		
W14.1	1,50	60,00	3,60	47,19	91,59	261,64	2,86	0,16	0,10	22,39	0,10	0,06	0,13	0,03	31,58		
W14.2	3,50	60,00	3,60	157,68	309,47	874,24	2,82	0,53	0,15	165,73	0,10	0,06	0,13	0,03	106,69		
W14.3	2,88	60,00	3,60	112,25	213,17	622,36	2,92	0,36	0,13	96,95	0,10	0,06	0,13	0,03	73,49		
W14.4	3,38	60,00	3,60	152,05	346,52	843,01	2,43	0,59	0,18	172,87	0,10	0,06	0,13	0,03	119,47		
W14.5	2,50	60,00	3,60	94,51	180,01	523,98	2,91	0,31	0,12	71,54	0,10	0,06	0,13	0,03	62,06		
W15	3,50	45,00	3,60	111,18	199,64	616,43	3,09	0,45	0,13	110,06	0,10	0,06	0,13	0,03	68,83		
W16	5,75	15,00	3,60	59,10	106,09	327,66	3,09	0,73	0,13	96,58	0,10	0,06	0,13	0,03	36,58		
W17	2,88	15,00	3,60	22,31	39,94	123,71	3,10	0,27	0,09	18,94	0,10	0,06	0,13	0,03	13,77		
W18.1	4,25	15,00	3,60	47,87	86,00	265,39	3,09	0,59	0,14	56,92	0,10	0,06	0,13	0,03	29,65		
W18.2	8,00	45,00	3,60	286,16	469,41	1586,60	3,38	1,86	0,13	588,49	0,06	0,04	0,13	0,02	198,34		
W19	5,75	15,00	3,60	64,76	116,35	359,06	3,09	0,80	0,14	104,18	0,10	0,06	0,13	0,03	40,11		
W20	4,25	15,00	3,60	47,87	86,00	265,39	3,09	0,59	0,14	56,92	0,10	0,06	0,13	0,03	29,65		
W21	5,75	15,00	3,60	59,10	106,09	327,66	3,09	0,73	0,13	96,58	0,10	0,06	0,13	0,03	36,58		
W22	5,75	15,00	3,60	64,76	116,35	359,06	3,09	0,80	0,14	104,18	0,10	0,06	0,13	0,03	40,11		
W23	5,75	15,00	3,60	59,10	106,09	327,66	3,09	0,73	0,13	96,58	0,10	0,06	0,13	0,03	36,58		
W24	11,50	30,00	3,60	285,09	580,18	1580,67	2,72	9,08	0,17	990,54	0,02	0,03	0,13	0,02	418,44		

Tabelle 40: Excel, Kapazitätsermittlung des 2.OG - unsymmetrischer Grundriss

2.OG	Abmessungen und Kennwerte der Wand, W_i								Biegeversagen			Schubversagen			
	L [m]	t [cm]	H [m]	V_{Ed} [kN]	N_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm]	e [m]	l_c [m]	v_d [-]	$V_{Rd,1}$ [kN]	s_d [kN/cm ²]	f_{yk1} [kN/cm ²]	f_{yk2} [kN/cm ²]	f_d [-]	$V_{Rd,2}$ [kN]
Formel				% - 2.OG					12	11	9	8	8	7	6
W1	22,50	60,00	3,60	822,08	2075,29	6377,95	3,75	22,50	0,16	7079,52	0,02	0,02	0,13	0,01	1882,64
W2.1	16,75	60,00	3,60	792,91	2251,20	6151,63	2,79	16,75	0,23	5138,36	0,02	0,03	0,13	0,02	1570,69
W2.2	5,75	45,00	3,60	182,86	479,87	1418,71	2,96	1,09	0,19	399,22	0,10	0,06	0,13	0,03	165,44
W3.1	1,50	15,00	3,60	17,42	45,74	135,19	2,96	0,31	0,21	9,66	0,10	0,06	0,13	0,03	15,77
W3.2	2,75	30,00	3,60	63,89	167,72	495,68	2,96	0,57	0,21	64,94	0,10	0,06	0,13	0,03	57,82
W4	5,75	15,00	3,60	60,95	159,96	472,90	2,96	1,09	0,19	133,07	0,10	0,06	0,13	0,03	55,15
W5	9,00	15,00	3,60	88,19	192,38	684,24	3,56	2,83	0,15	266,75	0,05	0,04	0,13	0,02	89,64
W6.1	1,50	15,00	3,60	17,42	45,74	135,19	2,96	0,31	0,21	9,66	0,10	0,06	0,13	0,03	15,77
W6.2	2,75	30,00	3,60	63,89	167,72	495,68	2,96	0,57	0,21	64,94	0,10	0,06	0,13	0,03	57,82
W7	11,00	60,00	3,60	412,16	1031,69	3197,66	3,10	7,20	0,16	1714,19	0,02	0,03	0,13	0,02	690,59
W8	5,75	15,00	3,60	66,79	175,35	518,22	2,96	1,20	0,21	141,95	0,10	0,06	0,13	0,03	60,45
W9	4,25	45,00	3,60	148,11	388,81	1149,09	2,96	0,89	0,21	232,65	0,10	0,06	0,13	0,03	134,05
W10.1	1,50	15,00	3,60	11,58	30,35	89,87	2,96	0,21	0,14	7,09	0,10	0,06	0,13	0,03	10,46
W10.2	4,25	45,00	3,60	148,11	388,81	1149,09	2,96	0,89	0,21	232,65	0,10	0,06	0,13	0,03	134,05
W10.3	5,75	15,00	3,60	66,79	175,35	518,22	2,96	1,20	0,21	141,95	0,10	0,06	0,13	0,03	60,45
W11	11,50	30,00	3,60	294,05	816,16	2281,31	2,80	8,86	0,24	1253,23	0,03	0,03	0,13	0,02	468,43
W12	19,50	60,00	3,60	942,92	1832,78	7315,51	3,99	17,28	0,16	5395,80	0,02	0,02	0,13	0,01	1502,83
W13	5,75	15,00	3,60	86,35	175,35	669,91	3,82	1,20	0,21	141,95	0,10	0,06	0,13	0,03	60,45
W14.1	1,50	60,00	3,60	62,92	132,63	488,16	3,68	0,23	0,15	30,44	0,10	0,06	0,13	0,03	45,73
W14.2	3,50	60,00	3,60	210,24	453,11	1631,09	3,60	0,77	0,22	218,96	0,10	0,06	0,13	0,03	156,22
W14.3	2,88	60,00	3,60	149,67	310,64	1161,16	3,74	0,53	0,18	130,27	0,10	0,06	0,13	0,03	107,10
W14.4	3,38	60,00	3,60	202,73	485,03	1572,84	3,24	0,83	0,25	217,52	0,10	0,06	0,13	0,03	167,22
W14.5	2,50	60,00	3,60	126,01	262,09	977,61	3,73	0,45	0,18	96,34	0,10	0,06	0,13	0,03	90,36
W15	3,50	45,00	3,60	148,24	300,96	1150,10	3,82	0,69	0,20	151,11	0,10	0,06	0,13	0,03	103,76
W16	5,75	15,00	3,60	78,80	159,96	611,33	3,82	1,09	0,19	133,07	0,10	0,06	0,13	0,03	55,15
W17	2,88	15,00	3,60	29,75	60,31	230,82	3,83	0,41	0,14	26,82	0,10	0,06	0,13	0,03	20,79
W18.1	4,25	15,00	3,60	63,82	129,60	495,15	3,82	0,89	0,21	77,55	0,10	0,06	0,13	0,03	44,68
W18.2	8,00	60,00	3,60	381,55	746,43	2960,18	3,97	1,28	0,16	903,04	0,10	0,06	0,13	0,03	257,34
W19	5,75	15,00	3,60	86,35	175,35	669,91	3,82	1,20	0,21	141,95	0,10	0,06	0,13	0,03	60,45
W20	4,25	15,00	3,60	63,82	129,60	495,15	3,82	0,89	0,21	77,55	0,10	0,06	0,13	0,03	44,68
W21	5,75	15,00	3,60	78,80	159,96	611,33	3,82	1,09	0,19	133,07	0,10	0,06	0,13	0,03	55,15
W22	5,75	15,00	3,60	86,35	175,35	669,91	3,82	1,20	0,21	141,95	0,10	0,06	0,13	0,03	60,45
W23	5,75	15,00	3,60	78,80	159,96	611,33	3,82	1,09	0,19	133,07	0,10	0,06	0,13	0,03	55,15
W24	11,50	30,00	3,60	380,12	816,16	2949,11	3,61	6,41	0,24	1253,23	0,04	0,03	0,13	0,02	392,84

Tabelle 41: Excel, Kapazitätsermittlung des 1.OG - unsymmetrischer Grundriss

1.OG	Abmessungen und Kennwerte der Wand, W_i										Biegeversagen		Schubversagen				
	L [m]	t [cm]	H [m]	V_{Ed} [kN] % - 1.OG	N_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm] % - 1.OG	e [m]	l_c [m]	v_d [-]	$V_{Rd,1}$ [kN]	s_d [kN/cm ²]	f_{yk1} [kN/cm ²]	f_{yk2} [kN/cm ²]	f_d [-]	$V_{Rd,2}$ [kN]		
	Formel																
W1	22,50	60,00	3,60	959,09	2844,79	9830,67	3,75	22,50	0,22	8907,81	0,02	0,03	0,13	0,02	2066,96		
W2.1	16,75	60,00	3,60	925,06	2918,10	9481,83	3,25	15,38	0,30	5952,27	0,03	0,03	0,13	0,02	1645,88		
W2.2	5,75	45,00	3,60	213,34	641,46	2186,73	3,41	1,46	0,25	483,36	0,10	0,06	0,13	0,03	221,15		
W3.1	1,50	15,00	3,60	20,33	61,13	208,37	3,41	0,42	0,28	11,54	0,10	0,06	0,13	0,03	21,08		
W3.2	2,75	30,00	3,60	74,54	224,15	764,03	3,41	0,77	0,28	77,58	0,10	0,06	0,13	0,03	77,28		
W4	5,75	15,00	3,60	71,11	213,82	728,91	3,41	1,46	0,25	161,12	0,10	0,06	0,13	0,03	73,72		
W5	9,00	15,00	3,60	102,89	257,36	1054,66	4,10	1,76	0,20	332,50	0,10	0,06	0,13	0,03	88,73		
W6.1	1,50	15,00	3,60	20,33	61,13	208,37	3,41	0,42	0,28	11,54	0,10	0,06	0,13	0,03	21,08		
W6.2	2,75	30,00	3,60	74,54	224,15	764,03	3,41	0,77	0,28	77,58	0,10	0,06	0,13	0,03	77,28		
W7	11,00	60,00	3,60	480,85	1414,73	4928,72	3,48	6,05	0,22	2153,40	0,04	0,03	0,13	0,02	711,32		
W8	5,75	15,00	3,60	77,93	234,34	798,75	3,41	1,60	0,28	169,58	0,10	0,06	0,13	0,03	80,79		
W9	4,25	45,00	3,60	172,80	519,63	1771,15	3,41	1,18	0,28	277,93	0,10	0,06	0,13	0,03	179,15		
W10.1	1,50	15,00	3,60	13,51	40,61	138,53	3,41	0,28	0,19	8,88	0,10	0,06	0,13	0,03	14,00		
W10.2	4,25	45,00	3,60	172,80	519,63	1771,15	3,41	1,18	0,28	277,93	0,10	0,06	0,13	0,03	179,15		
W10.3	5,75	15,00	3,60	77,93	234,34	798,75	3,41	1,60	0,28	169,58	0,10	0,06	0,13	0,03	80,79		
W11	11,50	30,00	3,60	343,05	1052,14	3516,30	3,34	7,22	0,31	1434,86	0,05	0,04	0,13	0,02	474,43		
W12	19,50	60,00	3,60	1100,08	2513,36	11275,78	4,49	15,79	0,22	6776,89	0,03	0,03	0,13	0,02	1574,43		
W13	5,75	15,00	3,60	100,74	234,34	1032,57	4,41	1,60	0,28	169,58	0,10	0,06	0,13	0,03	80,79		
W14.1	1,50	60,00	3,60	73,41	173,67	752,42	4,33	0,30	0,20	37,26	0,10	0,06	0,13	0,03	59,88		
W14.2	3,50	60,00	3,60	245,28	596,75	2514,09	4,21	1,02	0,29	257,17	0,10	0,06	0,13	0,03	205,74		
W14.3	2,88	60,00	3,60	174,61	408,11	1789,76	4,39	0,70	0,24	156,66	0,10	0,06	0,13	0,03	140,70		
W14.4	3,38	60,00	3,60	236,52	623,54	2424,30	3,89	1,07	0,32	248,20	0,10	0,06	0,13	0,03	214,97		
W14.5	2,50	60,00	3,60	147,01	344,17	1506,85	4,38	0,59	0,24	116,23	0,10	0,06	0,13	0,03	118,66		
W15	3,50	45,00	3,60	172,95	402,28	1772,70	4,41	0,92	0,26	182,20	0,10	0,06	0,13	0,03	138,69		
W16	5,75	15,00	3,60	91,93	213,82	942,28	4,41	1,46	0,25	161,12	0,10	0,06	0,13	0,03	73,72		
W17	2,88	15,00	3,60	34,71	80,69	355,77	4,41	0,55	0,19	33,48	0,10	0,06	0,13	0,03	27,82		
W18.1	4,25	15,00	3,60	74,46	173,21	763,21	4,41	1,18	0,28	92,64	0,10	0,06	0,13	0,03	59,72		
W18.2	8,00	60,00	3,60	445,14	1023,45	4562,68	4,46	1,75	0,22	1134,99	0,10	0,06	0,13	0,03	352,85		
W19	5,75	15,00	3,60	100,74	234,34	1032,57	4,41	1,60	0,28	169,58	0,10	0,06	0,13	0,03	80,79		
W20	4,25	15,00	3,60	74,46	173,21	763,21	4,41	1,18	0,28	92,64	0,10	0,06	0,13	0,03	59,72		
W21	5,75	15,00	3,60	91,93	213,82	942,28	4,41	1,46	0,25	161,12	0,10	0,06	0,13	0,03	73,72		
W22	5,75	15,00	3,60	100,74	234,34	1032,57	4,41	1,60	0,28	169,58	0,10	0,06	0,13	0,03	80,79		
W23	5,75	15,00	3,60	91,93	213,82	942,28	4,41	1,46	0,25	161,12	0,10	0,06	0,13	0,03	73,72		
W24	11,50	30,00	3,60	443,48	1052,14	4545,63	4,32	4,29	0,31	1434,86	0,08	0,05	0,13	0,03	384,06		

Tabelle 42: Excel, Kapazitätsermittlung des EG - unsymmetrischer Grundriss

EG	Abmessungen und Kennwerte der Wand, W_i										Biegeversagen		Schubversagen				
	L [m]	t [cm]	H [m]	V_{Ed} [kN]	N_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm]	e [m]	l_c [m]	v_d [-]	$V_{kd,1}$ [kN]	s_d [kN/cm ²]	f_{vk1} [kN/cm ²]	f_{vk2} [kN/cm ²]	f_d [-]	$V_{kd,2}$ [kN]		
Formel					% - EG		% - EG		12	11	9	8	8	7	6		
W1	22,50	75,00	3,60	1027,60	3781,01	13530,02	3,75	22,50	0,23	11591,65	0,02	0,03	0,13	0,02	2637,59		
W2.1	16,75	75,00	3,60	991,13	3751,72	13049,91	3,48	14,69	0,31	7538,96	0,03	0,03	0,13	0,02	2029,38		
W2.2	5,75	45,00	3,60	228,58	803,06	3009,61	3,75	1,83	0,32	542,15	0,10	0,06	0,13	0,03	276,87		
W3.1	1,50	15,00	3,60	21,78	76,52	286,78	3,75	0,52	0,35	12,73	0,10	0,06	0,13	0,03	26,38		
W3.2	2,75	30,00	3,60	79,86	280,58	1051,53	3,75	0,96	0,35	85,58	0,10	0,06	0,13	0,03	96,73		
W4	5,75	15,00	3,60	76,19	267,69	1003,20	3,75	1,83	0,32	180,72	0,10	0,06	0,13	0,03	92,29		
W5	9,00	30,00	3,60	110,24	387,32	1451,53	3,75	2,26	0,15	536,33	0,06	0,04	0,13	0,02	162,26		
W6.1	1,50	15,00	3,60	21,78	76,52	286,78	3,75	0,52	0,35	12,73	0,10	0,06	0,13	0,03	26,38		
W6.2	2,75	30,00	3,60	79,86	280,58	1051,53	3,75	0,96	0,35	85,58	0,10	0,06	0,13	0,03	96,73		
W7	11,00	75,00	3,60	515,20	1893,53	6783,43	3,58	5,75	0,24	2813,21	0,04	0,03	0,13	0,02	896,36		
W8	5,75	15,00	3,60	83,49	293,34	1099,33	3,75	2,01	0,35	187,08	0,10	0,06	0,13	0,03	101,13		
W9	4,25	45,00	3,60	185,14	650,44	2437,65	3,75	1,48	0,35	306,61	0,10	0,06	0,13	0,03	224,25		
W10.1	1,50	15,00	3,60	14,48	50,87	190,65	3,75	0,35	0,23	10,36	0,10	0,06	0,13	0,03	17,54		
W10.2	4,25	45,00	3,60	185,14	650,44	2437,65	3,75	1,48	0,35	306,61	0,10	0,06	0,13	0,03	224,25		
W10.3	5,75	15,00	3,60	83,49	293,34	1099,33	3,75	2,01	0,35	187,08	0,10	0,06	0,13	0,03	101,13		
W11	11,50	45,00	3,60	367,56	1406,11	4839,51	3,44	6,92	0,28	2035,02	0,05	0,04	0,13	0,02	656,61		
W12	19,50	75,00	3,60	1178,65	3351,26	15518,93	4,63	15,36	0,23	8831,68	0,03	0,03	0,13	0,02	1984,87		
W13	5,75	15,00	3,60	107,93	293,34	1421,14	4,84	2,01	0,35	187,08	0,10	0,06	0,13	0,03	101,13		
W14.1	1,50	75,00	3,60	78,65	224,97	1035,56	4,60	0,31	0,21	47,76	0,10	0,06	0,13	0,03	77,56		
W14.2	3,50	60,00	3,60	262,80	740,39	3460,16	4,67	1,27	0,36	280,37	0,10	0,06	0,13	0,03	255,26		
W14.3	2,88	75,00	3,60	187,08	529,95	2463,26	4,65	0,72	0,25	200,37	0,10	0,06	0,13	0,03	182,71		
W14.4	3,38	60,00	3,60	253,41	762,05	3336,58	4,38	1,30	0,39	264,92	0,10	0,06	0,13	0,03	262,73		
W14.5	2,50	75,00	3,60	157,51	446,77	2073,89	4,64	0,61	0,24	148,72	0,10	0,06	0,13	0,03	154,03		
W15	3,50	45,00	3,60	185,30	503,60	2439,78	4,84	1,15	0,33	203,33	0,10	0,06	0,13	0,03	173,62		
W16	5,75	15,00	3,60	98,50	267,69	1296,87	4,84	1,83	0,32	180,72	0,10	0,06	0,13	0,03	92,29		
W17	2,88	15,00	3,60	37,19	101,07	489,65	4,84	0,69	0,24	38,94	0,10	0,06	0,13	0,03	34,84		
W18.1	4,25	15,00	3,60	79,78	216,81	1050,40	4,84	1,48	0,35	102,20	0,10	0,06	0,13	0,03	74,75		
W18.2	8,00	75,00	3,60	476,94	1356,90	6279,65	4,63	1,86	0,23	1474,13	0,10	0,06	0,13	0,03	467,81		
W19	5,75	15,00	3,60	107,93	293,34	1421,14	4,84	2,01	0,35	187,08	0,10	0,06	0,13	0,03	101,13		
W20	4,25	15,00	3,60	79,78	216,81	1050,40	4,84	1,48	0,35	102,20	0,10	0,06	0,13	0,03	74,75		
W21	5,75	15,00	3,60	98,50	267,69	1296,87	4,84	1,83	0,32	180,72	0,10	0,06	0,13	0,03	92,29		
W22	5,75	15,00	3,60	107,93	293,34	1421,14	4,84	2,01	0,35	187,08	0,10	0,06	0,13	0,03	101,13		
W23	5,75	15,00	3,60	98,50	267,69	1296,87	4,84	1,83	0,32	180,72	0,10	0,06	0,13	0,03	92,29		
W24	11,50	45,00	3,60	475,15	1406,11	6256,17	4,45	3,90	0,28	2035,02	0,08	0,05	0,13	0,03	517,01		

Tabelle 43: Excel, Kapazitätsermittlung (1/2) - unsymmetrischer Grundriss

	4.OG:		3.OG:		2.OG:		Ausn. V_{Ed}/V_{Rd}	Kap. V_{Rd}/V_{Ed}	
	Versagens- Typ	Ausn. V_{Ed}/V_{Rd}	Versagens- Typ	Ausn. V_{Ed}/V_{Rd}	Versagens- Typ	Ausn. V_{Ed}/V_{Rd}			
W1	1213,71 Schubvers.	0,28	3,54	1351,94 Schubvers.	0,46	2,19	1882,64 Schubvers.	0,44	2,29
W2.1	1251,21 Schubvers.	0,26	3,79	1410,95 Schubvers.	0,42	2,37	1570,69 Schubvers.	0,50	1,98
W2.2	159,35 Biegebers.	0,48	2,09	143,55 Schubvers.	0,96	1,05	165,44 Schub/Druck	1,11	0,90
W3.1	3,94 Schub/Druck	1,84	0,54	7,09 Schub/Druck	1,84	0,54	9,66 Schub/Druck	1,80	0,55
W3.2	18,91 Schub/Druck	1,41	0,71	38,37 Schub/Druck	1,25	0,80	57,82 Schub/Druck	1,10	0,91
W4	53,12 Biegebers.	0,48	2,09	47,85 Schubvers.	0,96	1,05	55,15 Schub/Druck	1,11	0,90
W5	101,16 Biegebers.	0,36	2,75	105,39 Schubvers.	0,63	1,59	89,64 Schubvers.	0,98	1,02
W6.1	3,94 Schub/Druck	1,84	0,54	7,09 Schub/Druck	1,84	0,54	9,66 Schub/Druck	1,80	0,55
W6.2	18,91 Schub/Druck	1,41	0,71	38,37 Schub/Druck	1,25	0,80	57,82 Schub/Druck	1,10	0,91
W7	594,60 Schubvers.	0,29	3,46	551,32 Schubvers.	0,56	1,78	690,59 Schubvers.	0,60	1,68
W8	57,89 Biegebers.	0,48	2,08	50,40 Schubvers.	0,99	1,01	60,45 Schub/Druck	1,10	0,91
W9	89,58 Schubvers.	0,69	1,45	88,95 Schub/Druck	1,25	0,80	134,05 Schub/Druck	1,10	0,91
W10.1	2,66 Schub/Druck	1,81	0,55	4,99 Schub/Druck	1,74	0,57	7,09 Schub/Druck	1,63	0,61
W10.2	89,58 Schubvers.	0,69	1,45	88,95 Schub/Druck	1,25	0,80	134,05 Schub/Druck	1,10	0,91
W10.3	57,89 Biegebers.	0,48	2,08	50,40 Schubvers.	0,99	1,01	60,45 Schub/Druck	1,10	0,91
W11	436,53 Schubvers.	0,28	3,56	475,42 Schubvers.	0,46	2,16	468,43 Schubvers.	0,63	1,59
W12	1054,34 Schubvers.	0,37	2,68	1155,39 Schubvers.	0,61	1,63	1502,83 Schubvers.	0,63	1,59
W13	45,12 Schubvers.	0,80	1,25	40,11 Schub/Druck	1,61	0,62	60,45 Schub/Druck	1,43	0,70
W14.1	13,49 Schub/Druck	1,94	0,51	22,39 Schub/Druck	2,11	0,47	30,44 Schub/Druck	2,07	0,48
W14.2	57,17 Schub/Druck	1,53	0,65	106,69 Schub/Druck	1,48	0,68	156,22 Schub/Druck	1,35	0,74
W14.3	39,89 Schub/Druck	1,56	0,64	73,49 Schub/Druck	1,53	0,65	107,10 Schub/Druck	1,40	0,72
W14.4	99,00 Schubvers.	0,85	1,17	119,47 Schub/Druck	1,27	0,79	167,22 Schub/Druck	1,21	0,82
W14.5	33,76 Schub/Druck	1,56	0,64	62,06 Schub/Druck	1,52	0,66	90,36 Schub/Druck	1,39	0,72
W15	33,90 Schub/Druck	1,82	0,55	68,83 Schub/Druck	1,62	0,62	103,76 Schub/Druck	1,43	0,70
W16	43,67 Schubvers.	0,75	1,33	36,58 Schub/Druck	1,62	0,62	55,15 Schub/Druck	1,43	0,70
W17	6,74 Schub/Druck	1,84	0,54	13,77 Schub/Druck	1,62	0,62	20,79 Schub/Druck	1,43	0,70
W18.1	14,62 Schub/Druck	1,82	0,55	29,65 Schub/Druck	1,61	0,62	44,68 Schub/Druck	1,43	0,70
W18.2	322,24 Schubvers.	0,49	2,03	198,34 Schubvers.	1,44	0,69	257,34 Schub/Druck	1,48	0,67
W19	45,12 Schubvers.	0,80	1,25	40,11 Schub/Druck	1,61	0,62	60,45 Schub/Druck	1,43	0,70
W20	14,62 Schub/Druck	1,82	0,55	29,65 Schub/Druck	1,61	0,62	44,68 Schub/Druck	1,43	0,70
W21	43,67 Schubvers.	0,75	1,33	36,58 Schub/Druck	1,62	0,62	55,15 Schub/Druck	1,43	0,70
W22	45,12 Schubvers.	0,80	1,25	40,11 Schub/Druck	1,61	0,62	60,45 Schub/Druck	1,43	0,70
W23	43,67 Schubvers.	0,75	1,33	36,58 Schub/Druck	1,62	0,62	55,15 Schub/Druck	1,43	0,70
W24	436,53 Schubvers.	0,36	2,76	418,44 Schubvers.	0,68	1,47	392,84 Schubvers.	0,97	1,03

Tabelle 44: Excel, Kapazitätsermittlung (2/2) - unsymmetrischer Grundriss

	1. OG:	Versagens- Typ	Ausn. V_{Ed}/V_{Rd}	Kap. V_{Rd}/V_{Ed}	EG:	Versagens- Typ	Ausn. V_{Ed}/V_{Rd}	Kap. V_{Rd}/V_{Ed}
W1	2066,96	Schubvers.	0,46	2,16	2637,59	Schubvers.	0,39	2,57
W2.1	1645,88	Schubvers.	0,56	1,78	2029,38	Schubvers.	0,49	2,05
W2.2	221,15	Schub/Druck	0,96	1,04	276,87	Schub/Druck	0,83	1,21
W3.1	11,54	Schub/Druck	1,76	0,57	12,73	Schub/Druck	1,71	0,58
W3.2	77,28	Schub/Druck	0,96	1,04	85,58	Schub/Druck	0,93	1,07
W4	73,72	Schub/Druck	0,96	1,04	92,29	Schub/Druck	0,83	1,21
W5	88,73	Schub/Druck	1,16	0,86	162,26	Schubvers.	0,68	1,47
W6.1	11,54	Schub/Druck	1,76	0,57	12,73	Schub/Druck	1,71	0,58
W6.2	77,28	Schub/Druck	0,96	1,04	85,58	Schub/Druck	0,93	1,07
W7	711,32	Schubvers.	0,68	1,48	896,36	Schubvers.	0,57	1,74
W8	80,79	Schub/Druck	0,96	1,04	101,13	Schub/Druck	0,83	1,21
W9	179,15	Schub/Druck	0,96	1,04	224,25	Schub/Druck	0,83	1,21
W10.1	8,88	Schub/Druck	1,52	0,66	10,36	Schub/Druck	1,40	0,72
W10.2	179,15	Schub/Druck	0,96	1,04	224,25	Schub/Druck	0,83	1,21
W10.3	80,79	Schub/Druck	0,96	1,04	101,13	Schub/Druck	0,83	1,21
W11	474,43	Schubvers.	0,72	1,38	656,61	Schubvers.	0,56	1,79
W12	1574,43	Schubvers.	0,70	1,43	1984,87	Schubvers.	0,59	1,68
W13	80,79	Schub/Druck	1,25	0,80	101,13	Schub/Druck	1,07	0,94
W14.1	37,26	Schub/Druck	1,97	0,51	47,76	Schub/Druck	1,65	0,61
W14.2	205,74	Schub/Druck	1,19	0,84	255,26	Schub/Druck	1,03	0,97
W14.3	140,70	Schub/Druck	1,24	0,81	182,71	Schub/Druck	1,02	0,98
W14.4	214,97	Schub/Druck	1,10	0,91	262,73	Schub/Druck	0,96	1,04
W14.5	116,23	Schub/Druck	1,26	0,79	148,72	Schub/Druck	1,06	0,94
W15	138,69	Schub/Druck	1,25	0,80	173,62	Schub/Druck	1,07	0,94
W16	73,72	Schub/Druck	1,25	0,80	92,29	Schub/Druck	1,07	0,94
W17	27,82	Schub/Druck	1,25	0,80	34,84	Schub/Druck	1,07	0,94
W18.1	59,72	Schub/Druck	1,25	0,80	74,75	Schub/Druck	1,07	0,94
W18.2	352,85	Schub/Druck	1,26	0,79	467,81	Schub/Druck	1,02	0,98
W19	80,79	Schub/Druck	1,25	0,80	101,13	Schub/Druck	1,07	0,94
W20	59,72	Schub/Druck	1,25	0,80	74,75	Schub/Druck	1,07	0,94
W21	73,72	Schub/Druck	1,25	0,80	92,29	Schub/Druck	1,07	0,94
W22	80,79	Schub/Druck	1,25	0,80	101,13	Schub/Druck	1,07	0,94
W23	73,72	Schub/Druck	1,25	0,80	92,29	Schub/Druck	1,07	0,94
W24	384,06	Schubvers.	1,15	0,87	517,01	Schubvers.	0,92	1,09

Tabelle 45: Excel, Pfeiler Kapazitätsermittlung (2/2) - unsymmetrischer Grundriss

Versagensart V_{Rd} [kN]	Ausn. V_{Ed}/V_{Rd} [-]	Kap. V_{Rd}/V_{Ed} [-]
W1		
12,71 Biegevers.	2,40	0,42
19,26 Biegevers.	2,85	0,35
28,61 Biegevers.	2,55	0,39
32,92 Biegevers.	2,59	0,39
41,80 Biegevers.	2,19	0,46
W7		
34,01 Biegevers.	1,44	0,69
51,97 Biegevers.	1,70	0,59
77,55 Biegevers.	1,52	0,66
90,24 Biegevers.	1,52	0,66
115,15 Biegevers.	1,28	0,78
W12		
12,19 Biegevers.	3,09	0,32
18,64 Biegevers.	3,64	0,27
27,83 Biegevers.	3,25	0,31
32,43 Biegevers.	3,26	0,31
41,36 Biegevers.	2,74	0,37
W18.2		
27,87 Biegevers.	2,05	0,49
42,47 Biegevers.	2,43	0,41
63,29 Biegevers.	2,17	0,46
73,41 Biegevers.	2,18	0,46
93,35 Biegevers.	1,84	0,54

Tabelle 46: Excel, Pfeiler Kapazitätsermittlung (1/2) - unsymmetrischer Grundriss

Pfeiler	Abmessungen und Kennwerte der Wand, W_i								Biegeversagen		Schubversagen				
	L [m]	t [cm]	H [m]	V_{Ed} [kN]	N_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm]	e [m]	l_c [m]	ν_d [-]	$V_{Rd,1}$ [kN]	s_d [kN/cm ²]	f_{yk1} [kN/cm ²]	f_{yk2} [kN/cm ²]	f_d [-]	$V_{Rd,2}$ [kN]
W1															
4.OG	1,2	45	3,5	30,45	64,77	106,57	1,65	0,15	0,12	12,71	0,10	0,06	0,13	0,03	22,33
3.OG	1,2	45	3,6	54,81	116,07	303,86	2,62	0,26	0,22	19,26	0,10	0,06	0,13	0,03	40,02
2.OG	1,2	60	3,6	73,07	184,47	566,93	3,07	0,32	0,26	28,61	0,10	0,06	0,13	0,03	63,60
1.OG	1,2	60	3,6	85,25	252,87	873,84	3,46	0,43	0,36	32,92	0,10	0,06	0,13	0,03	87,18
EG	1,2	75	3,6	91,34	336,09	1202,67	3,58	0,46	0,38	41,80	0,10	0,06	0,13	0,03	115,87
W7															
4.OG	2,0	45	3,5	49,07	103,25	171,73	1,66	0,24	0,12	34,01	0,10	0,06	0,13	0,03	35,60
3.OG	2,0	45	3,6	88,32	185,33	489,68	2,64	0,42	0,21	51,97	0,10	0,06	0,13	0,03	63,89
2.OG	2,0	60	3,6	117,76	294,77	913,62	3,10	0,50	0,25	77,55	0,10	0,06	0,13	0,03	101,63
1.OG	2,0	60	3,6	137,39	404,21	1408,21	3,48	0,69	0,35	90,24	0,10	0,06	0,13	0,03	139,36
EG	2,0	75	3,6	147,20	541,01	1938,12	3,58	0,74	0,37	115,15	0,10	0,06	0,13	0,03	186,52
W12															
4.OG	1,2	45	3,5	37,72	61,61	132,01	2,14	0,14	0,12	12,19	0,10	0,06	0,13	0,03	21,24
3.OG	1,2	45	3,6	67,89	110,61	376,41	3,40	0,25	0,21	18,64	0,10	0,06	0,13	0,03	38,13
2.OG	1,2	60	3,6	90,52	175,95	702,29	3,99	0,30	0,25	27,83	0,10	0,06	0,13	0,03	60,66
1.OG	1,2	60	3,6	105,61	241,28	1082,47	4,49	0,41	0,34	32,43	0,10	0,06	0,13	0,03	83,19
EG	1,2	75	3,6	113,15	321,72	1489,82	4,63	0,44	0,37	41,36	0,10	0,06	0,13	0,03	110,92
W18.2															
4.OG	1,8	45	3,5	57,23	94,19	200,31	2,13	0,21	0,12	27,87	0,10	0,06	0,13	0,03	32,47
3.OG	1,8	45	3,6	103,02	168,99	571,18	3,38	0,39	0,21	42,47	0,10	0,06	0,13	0,03	58,26
2.OG	1,8	60	3,6	137,36	268,71	1065,66	3,97	0,46	0,26	63,29	0,10	0,06	0,13	0,03	92,64
1.OG	1,8	60	3,6	160,25	368,44	1642,56	4,46	0,63	0,35	73,41	0,10	0,06	0,13	0,03	127,03
EG	1,8	75	3,6	171,70	488,48	2260,67	4,63	0,67	0,37	93,35	0,10	0,06	0,13	0,03	168,41

Tabelle 47: Excel, Kapazitätsermittlung via PushOver (1/2) - unsymmetrischer Grundriss

	A	I	V _{Ed}	d _{yo}	k	d _y	k _{eff}	d _u	μ	Anteil	m _%	E _m	E _m	F _y	d _n	d _y
	[cm ²]	[cm ⁴]	[kN]	[mm]	[kN/cm]	[mm]	[kN/cm]	[mm]	[-]	[%]	[kg]	[Nm]	[Nm]	[kN]	[mm]	[mm]
	L · t	36	s.Tab. 37	37	16	17	18	19	20		21	22	23	24	25	26
W1	101250,00	4,27E+10	2472,71	25,78	959,19	30,53	809,87	80,56	2,64	14,28	2392,96	161442,48	80720,58	1748,46	56,96	21,59
W2.1	100500,00	2,35E+10	1608,20	20,92	768,62	26,54	605,89	108,21	4,08	14,17	2374,42	152678,85	76338,80	1137,16	76,52	18,77
W2.2	25875,00	7,13E+08	115,65	24,75	46,72	38,07	30,38	315,22	8,28	3,03	508,25	34253,45	17126,59	81,78	222,89	26,92
W3.1	2250,00	4,22E+06	2,72	85,96	0,32	138,82	0,20	1208,34	8,70	0,29	48,43	3093,11	1546,54	1,92	854,42	98,16
W3.2	8250,00	5,20E+07	18,26	48,04	3,80	76,87	2,37	659,09	8,57	1,06	177,58	11330,88	5665,40	12,91	466,05	54,36
W4	8625,00	2,38E+08	38,55	24,75	15,57	38,07	10,13	315,22	8,28	1,01	169,42	11417,82	5708,86	27,26	222,89	26,92
W5	13500,00	9,11E+08	114,41	22,88	50,00	33,19	34,47	201,39	6,07	1,46	245,13	21142,01	10570,92	80,90	142,40	23,47
W6.1	2250,00	4,22E+06	2,72	85,96	0,32	138,82	0,20	1208,34	8,70	0,29	48,43	3093,11	1546,54	1,92	854,42	98,16
W6.2	8250,00	5,20E+07	18,26	48,04	3,80	76,87	2,37	659,09	8,57	1,06	177,58	11330,88	5665,40	12,91	466,05	54,36
W7	49500,00	4,99E+09	600,11	24,89	241,13	34,76	172,65	164,77	4,74	7,15	1198,39	88452,24	44225,76	424,34	116,51	24,58
W8	8625,00	2,38E+08	39,91	25,63	15,57	39,41	10,13	315,22	8,00	1,11	185,65	11793,06	5896,48	28,22	222,89	27,87
W9	19125,00	2,88E+08	65,41	32,56	20,09	51,22	12,77	426,47	8,33	2,46	411,66	26218,78	13109,28	46,25	301,56	36,22
W10.1	2250,00	4,22E+06	2,21	69,98	0,32	113,00	0,20	1208,34	10,69	0,19	32,20	2546,39	1273,19	1,56	854,42	79,90
W10.2	19125,00	2,88E+08	65,41	32,56	20,09	51,22	12,77	426,47	8,33	2,46	411,66	26218,78	13109,28	46,25	301,56	36,22
W10.3	8625,00	2,38E+08	39,91	25,63	15,57	39,41	10,13	315,22	8,00	1,11	185,65	11793,06	5896,48	28,22	222,89	27,87
W11	34500,00	3,80E+09	434,11	24,43	177,71	33,80	128,43	157,61	4,66	5,31	889,91	61082,26	30540,88	306,96	111,45	23,90
W12	87750,00	2,78E+10	1883,96	24,89	756,87	30,45	618,62	92,95	3,05	12,65	2120,97	146424,66	73211,73	1332,15	65,72	21,53
W13	8625,00	2,38E+08	39,91	25,63	15,57	39,41	10,13	315,22	8,00	1,11	185,65	11793,06	5896,48	28,22	222,89	27,87
W14.1	9000,00	1,69E+07	10,19	80,61	1,26	130,18	0,78	1208,34	9,28	0,85	142,38	11646,32	5823,11	7,20	854,42	92,05
W14.2	21000,00	2,14E+08	59,81	38,98	15,34	61,89	9,66	517,86	8,37	2,80	468,58	29121,16	14560,46	42,29	366,18	43,76
W14.3	17250,00	1,19E+08	42,74	49,38	8,66	78,91	5,42	630,44	7,99	2,00	335,40	25260,55	12630,17	30,22	445,78	55,80
W14.4	20250,00	1,92E+08	56,51	40,92	13,81	65,06	8,69	537,04	8,25	2,88	482,29	28511,03	14255,40	39,96	379,74	46,00
W14.5	15000,00	7,81E+07	31,72	55,23	5,74	88,57	3,58	725,00	8,19	1,69	282,76	21595,47	10797,65	22,43	512,65	62,63
W15	15750,00	1,61E+08	43,37	37,69	11,51	59,84	7,25	517,86	8,65	1,90	318,72	21164,08	10581,96	30,67	366,18	42,31
W16	8625,00	2,38E+08	38,55	24,75	15,57	38,07	10,13	315,22	8,28	1,01	169,42	11417,82	5708,86	27,26	222,89	26,92
W17	4312,50	2,97E+07	8,31	38,38	2,16	61,34	1,35	630,44	10,28	0,38	63,96	4981,81	2490,89	5,87	445,78	43,37
W18.1	6375,00	9,60E+07	21,80	32,56	6,70	51,22	4,26	426,47	8,33	0,82	137,22	8739,59	4369,76	15,42	301,56	36,22
W18.2	36000,00	1,92E+09	314,46	28,13	111,80	41,57	75,64	226,56	5,45	5,12	858,77	64708,04	32353,76	222,35	160,20	29,40
W19	8625,00	2,38E+08	39,91	25,63	15,57	39,41	10,13	315,22	8,00	1,11	185,65	11793,06	5896,48	28,22	222,89	27,87
W20	6375,00	9,60E+07	21,80	32,56	6,70	51,22	4,26	426,47	8,33	0,82	137,22	8739,59	4369,76	15,42	301,56	36,22
W21	8625,00	2,38E+08	38,55	24,75	15,57	38,07	10,13	315,22	8,28	1,01	169,42	11417,82	5708,86	27,26	222,89	26,92
W22	8625,00	2,38E+08	39,91	25,63	15,57	39,41	10,13	315,22	8,00	1,11	185,65	11793,06	5896,48	28,22	222,89	27,87
W23	8625,00	2,38E+08	38,55	24,75	15,57	38,07	10,13	315,22	8,28	1,01	169,42	11417,82	5708,86	27,26	222,89	26,92
W24	34500,00	3,80E+09	434,11	24,43	177,71	33,80	128,43	157,61	4,66	5,31	889,91	61082,26	30540,88	306,96	111,45	23,90

Tabelle 48: Excel, Kapazitätsermittlung via PushOver (2/2) - unsymmetrischer Grundriss

	T^* [sec]	$T < > T^*$	$S_e(T^*)$ [m/s ²]	d_{st}^* [mm]	q_u [-]	$S_e(T^*)/q_u$ [m/s ²]	F_y^*/m^* [m/s ²]	Antwort	d_t^* [mm]	d_t [mm]	$k \cdot d_t$ [mm]	$k \cdot d_t$ < d_u	F_{y,d_u} [kN]	q_{AS} [-]	q_{ST} [-]
W1	1,08	$T \leq T_D$	1,11	32,83	1,52	0,73	0,73	$T^* \geq T_C$	31	46,43	69,64	OK	6523,98	2,64	1,16
W2.1	1,24	$T \leq T_D$	0,96	37,81	2,01	0,48	0,48	$T^* \geq T_C$	32	53,47	80,20	OK	6556,31	4,08	1,35
W2.2	2,57	$T \leq 4$	0,36	60,79	2,26	0,16	0,16	$T^* \geq T_C$	60,79	85,97	128,96	OK	957,49	8,28	2,44
W3.1	9,89	$T > 4$	0,02	60,79	0,62	0,04	0,04	$T^* \geq T_C$	60,79	85,97	128,96	OK	23,64	8,70	9,37
W3.2	5,43	$T > 4$	0,08	60,79	1,12	0,07	0,07	$T^* \geq T_C$	60,79	85,97	128,96	OK	156,53	8,57	5,11
W4	2,57	$T \leq 4$	0,36	60,79	2,26	0,16	0,16	$T^* \geq T_C$	60,79	85,97	128,96	OK	319,16	8,28	2,44
W5	1,68	$T \leq T_D$	0,72	50,93	2,17	0,33	0,33	$T^* \geq T_C$	50,93	72,03	108,04	OK	694,20	6,07	1,86
W6.1	9,89	$T > 4$	0,02	60,79	0,62	0,04	0,04	$T^* \geq T_C$	60,79	85,97	128,96	OK	23,64	8,70	9,37
W6.2	5,43	$T > 4$	0,08	60,79	1,12	0,07	0,07	$T^* \geq T_C$	60,79	85,97	128,96	OK	156,53	8,57	5,11
W7	1,66	$T \leq T_D$	0,72	50,32	2,05	0,35	0,35	$T^* \geq T_C$	50,32	71,16	106,74	OK	2844,77	4,74	1,54
W8	2,69	$T \leq 4$	0,33	60,79	2,18	0,15	0,15	$T^* \geq T_C$	60,79	85,97	128,96	OK	319,16	8,00	2,44
W9	3,57	$T \leq 4$	0,19	60,79	1,68	0,11	0,11	$T^* \geq T_C$	60,79	85,97	128,96	OK	544,62	8,33	3,31
W10.1	8,06	$T > 4$	0,04	60,79	0,76	0,05	0,05	$T^* \geq T_C$	60,79	85,97	128,96	OK	23,64	10,69	9,37
W10.2	3,57	$T \leq 4$	0,19	60,79	1,68	0,11	0,11	$T^* \geq T_C$	60,79	85,97	128,96	OK	544,62	8,33	3,31
W10.3	2,69	$T \leq 4$	0,33	60,79	2,18	0,15	0,15	$T^* \geq T_C$	60,79	85,97	128,96	OK	319,16	8,00	2,44
W11	1,65	$T \leq T_D$	0,73	50,27	2,10	0,34	0,34	$T^* \geq T_C$	50,27	71,10	106,65	OK	2024,12	4,66	1,48
W12	1,16	$T \leq T_D$	1,03	35,36	1,64	0,63	0,63	$T^* \geq T_C$	35,36	50,01	75,02	OK	5750,02	3,05	1,24
W13	2,69	$T \leq 4$	0,33	60,79	2,18	0,15	0,15	$T^* \geq T_C$	60,79	85,97	128,96	OK	319,16	8,00	2,44
W14.1	8,48	$T > 4$	0,03	60,79	0,66	0,05	0,05	$T^* \geq T_C$	60,79	85,97	128,96	OK	94,56	9,28	9,37
W14.2	4,38	$T > 4$	0,13	60,79	1,39	0,09	0,09	$T^* \geq T_C$	60,79	85,97	128,96	OK	500,47	8,37	4,02
W14.3	4,94	$T > 4$	0,10	60,79	1,09	0,09	0,09	$T^* \geq T_C$	60,79	85,97	128,96	OK	341,48	7,99	4,89
W14.4	4,68	$T > 4$	0,11	60,79	1,32	0,08	0,08	$T^* \geq T_C$	60,79	85,97	128,96	OK	466,48	8,25	4,16
W14.5	5,58	$T > 4$	0,08	60,79	0,97	0,08	0,08	$T^* \geq T_C$	60,79	85,97	128,96	OK	259,69	8,19	5,62
W15	4,17	$T > 4$	0,14	60,79	1,44	0,10	0,10	$T^* \geq T_C$	60,79	85,97	128,96	OK	375,35	8,65	4,02
W16	2,57	$T \leq 4$	0,36	60,79	2,26	0,16	0,16	$T^* \geq T_C$	60,79	85,97	128,96	OK	319,16	8,28	2,44
W17	4,32	$T > 4$	0,13	60,79	1,40	0,09	0,09	$T^* \geq T_C$	60,79	85,97	128,96	OK	85,37	10,28	4,89
W18.1	3,57	$T \leq 4$	0,19	60,79	1,68	0,11	0,11	$T^* \geq T_C$	60,79	85,97	128,96	OK	181,54	8,33	3,31
W18.2	2,12	$T \leq 4$	0,54	60,79	2,07	0,26	0,26	$T^* \geq T_C$	60,79	85,97	128,96	OK	1713,69	5,45	1,76
W19	2,69	$T \leq 4$	0,33	60,79	2,18	0,15	0,15	$T^* \geq T_C$	60,79	85,97	128,96	OK	319,16	8,00	2,44
W20	3,57	$T \leq 4$	0,19	60,79	1,68	0,11	0,11	$T^* \geq T_C$	60,79	85,97	128,96	OK	181,54	8,33	3,31
W21	2,57	$T \leq 4$	0,36	60,79	2,26	0,16	0,16	$T^* \geq T_C$	60,79	85,97	128,96	OK	319,16	8,28	2,44
W22	2,69	$T \leq 4$	0,33	60,79	2,18	0,15	0,15	$T^* \geq T_C$	60,79	85,97	128,96	OK	319,16	8,00	2,44
W23	2,57	$T \leq 4$	0,36	60,79	2,26	0,16	0,16	$T^* \geq T_C$	60,79	85,97	128,96	OK	319,16	8,28	2,44
W24	1,65	$T \leq T_D$	0,73	50,27	2,10	0,34	0,34	$T^* \geq T_C$	50,27	71,10	106,65	OK	2024,12	4,66	1,48

Tabelle 49: Excel, zu Kapazitätsermittlung - unsymmetrischer Grundriss

	V_{Ed} [kN]	N_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm]	e [m]	l_c [m]	L [m]	t [cm]	$H_{0,M1}$ [m]	ν_d [-]	$V_{Rd,1}$ [kN]	$V_{Rd,2}$ [kN]	Versagensart Biege/Schub/Kippen	V_{Ed}/V_{Rd} [-]	V_{Rd}/V_{Ed} [-]
		Werte aus Tab. 32												
W1	1027,60	3781,01	13530,02	3,75	22,50	22,50	75,00	12,66	0,23	2472,71	2637,59	2472,71 Biegebers.	0,42	2,41
W2.1	991,13	3751,72	13049,91	3,48	14,69	16,75	75,00	12,66	0,31	1608,20	2029,38	1608,20 Biegebers.	0,62	1,62
W2.2	228,58	803,06	3009,61	3,75	1,83	5,75	45,00	12,66	0,32	115,65	276,87	115,65 Biegebers.	1,98	0,51
W3.1	21,78	76,52	286,78	3,75	0,52	1,50	15,00	12,66	0,35	2,72	26,38	2,72 Biegebers.	8,02	0,12
W3.2	79,86	280,58	1051,53	3,75	0,96	2,75	30,00	12,66	0,35	18,26	96,73	18,26 Biegebers.	4,37	0,23
W4	76,19	267,69	1003,20	3,75	1,83	5,75	15,00	12,66	0,32	38,55	92,29	38,55 Biegebers.	1,98	0,51
W5	110,24	387,32	1451,53	3,75	2,26	9,00	30,00	12,66	0,15	114,41	162,26	114,41 Biegebers.	0,96	1,04
W6.1	21,78	76,52	286,78	3,75	0,52	1,50	15,00	12,66	0,35	2,72	26,38	2,72 Biegebers.	8,02	0,12
W6.2	79,86	280,58	1051,53	3,75	0,96	2,75	30,00	12,66	0,35	18,26	96,73	18,26 Biegebers.	4,37	0,23
W7	515,20	1893,53	6783,43	3,58	5,75	11,00	75,00	12,66	0,24	600,11	896,36	600,11 Biegebers.	0,86	1,16
W8	83,49	293,34	1099,33	3,75	2,01	5,75	15,00	12,66	0,35	39,91	101,13	39,91 Biegebers.	2,09	0,48
W9	185,14	650,44	2437,65	3,75	1,48	4,25	45,00	12,66	0,35	65,41	224,25	65,41 Biegebers.	2,83	0,35
W10.1	14,48	50,87	190,65	3,75	0,35	1,50	15,00	12,66	0,23	2,21	17,54	2,21 Biegebers.	6,55	0,15
W10.2	185,14	650,44	2437,65	3,75	1,48	4,25	45,00	12,66	0,35	65,41	224,25	65,41 Biegebers.	2,83	0,35
W10.3	83,49	293,34	1099,33	3,75	2,01	5,75	15,00	12,66	0,35	39,91	101,13	39,91 Biegebers.	2,09	0,48
W11	367,56	1406,11	4839,51	3,44	6,92	11,50	45,00	12,66	0,28	434,11	656,61	434,11 Biegebers.	0,85	1,18
W12	1178,65	3351,26	15518,93	4,63	15,36	19,50	75,00	12,66	0,23	1883,96	1984,87	1883,96 Biegebers.	0,63	1,60
W13	107,93	293,34	1421,14	4,84	2,01	5,75	15,00	12,66	0,35	39,91	101,13	39,91 Biegebers.	2,70	0,37
W14.1	78,65	224,97	1035,56	4,60	0,31	1,50	75,00	12,66	0,21	10,19	77,56	10,19 Biegebers.	7,72	0,13
W14.2	262,80	740,39	3460,16	4,67	1,27	3,50	60,00	12,66	0,36	59,81	255,26	59,81 Biegebers.	4,39	0,23
W14.3	187,08	529,95	2463,26	4,65	0,72	2,88	75,00	12,66	0,25	42,74	182,71	42,74 Biegebers.	4,38	0,23
W14.4	253,41	762,05	3336,58	4,38	1,30	3,38	60,00	12,66	0,39	56,51	262,73	56,51 Biegebers.	4,48	0,22
W14.5	157,51	446,77	2073,89	4,64	0,61	2,50	75,00	12,66	0,24	31,72	154,03	31,72 Biegebers.	4,96	0,20
W15	185,30	503,60	2439,78	4,84	1,15	3,50	45,00	12,66	0,33	43,37	173,62	43,37 Biegebers.	4,27	0,23
W16	98,50	267,69	1296,87	4,84	1,83	5,75	15,00	12,66	0,32	38,55	92,29	38,55 Biegebers.	2,56	0,39
W17	37,19	101,07	489,65	4,84	0,69	2,88	15,00	12,66	0,24	8,31	34,84	8,31 Biegebers.	4,48	0,22
W18.1	79,78	216,81	1050,40	4,84	1,48	4,25	15,00	12,66	0,35	21,80	74,75	21,80 Biegebers.	3,66	0,27
W18.2	476,94	1356,90	6279,65	4,63	1,86	8,00	75,00	12,66	0,23	314,46	467,81	314,46 Biegebers.	1,52	0,66
W19	107,93	293,34	1421,14	4,84	2,01	5,75	15,00	12,66	0,35	39,91	101,13	39,91 Biegebers.	2,70	0,37
W20	79,78	216,81	1050,40	4,84	1,48	4,25	15,00	12,66	0,35	21,80	74,75	21,80 Biegebers.	3,66	0,27
W21	98,50	267,69	1296,87	4,84	1,83	5,75	15,00	12,66	0,32	38,55	92,29	38,55 Biegebers.	2,56	0,39
W22	107,93	293,34	1421,14	4,84	2,01	5,75	15,00	12,66	0,35	39,91	101,13	39,91 Biegebers.	2,70	0,37
W23	98,50	267,69	1296,87	4,84	1,83	5,75	15,00	12,66	0,32	38,55	92,29	38,55 Biegebers.	2,56	0,39
W24	475,15	1406,11	6256,17	4,45	3,90	11,50	45,00	12,66	0,28	434,11	517,01	434,11 Biegebers.	1,09	0,91

Literaturverzeichnis

- [1] Achs Günther/Adam Christoph/Bekö Adrian/Brusatti Walter/Fritz Martin/Furtmüller Thomas/Kopf Fritz/Pietsch Michael/Schäfer David/Strauss Alfred/Theilen-Willige Barbara/Wenzel Helmut/Zimmermann Thomas (2011): Erdbeben im Wiener Becken. Beurteilung/Gefährdung/Standortisiko, Wien: VCE Holding GmbH
- [2] Pech Anton (2010): GZ. 2009-174/G1 „Gutachten Forschungsprogramm zur Verifizierung der konstruktiven Kennwerte von altem Vollziegelmauerwerk nach EC 6“ Wien: ZT-Büro Dr. Pech & Magistrat der Stadt Wien – MA 39
- [3] Brenker Elena (2010): Modellierung der pseudodynamischen Versuche an Reihenhäusern aus Kalksandstein und Ziegelmauerwerk am JRC Ispra mit Hilfe der Equivalent Frame Methode, Kassel: Universität Kassel
- [4] Dipl.-Ing Dimitrios Stefanoudakis (Jänner 2016): Aussteifungsvermögen der bestehenden Holztramdecken in Wiener Gründerzeithäusern im Lastfall Erdbeben, Wien: TU Wien
- [5] Daniel Gass (2018): 3muri SupportBuch - Informationen, Tipps & Tricks, Erlenbach: IngWare AG
- [6] Krakora Alexander (31.03.2014): Berechnungsbeispiele anhand des Wiener Gründerzeitmuttergebäudes; Wien: Fachgruppe Bauwesen der LK W/Nö/Bgld
- [7] Bauer Peter (17.08.2013): Über die Kompensation von Schubwänden in Wiener Gründerzeithäusern - Allgemeine Grundlagen, Wien: Fachgruppe Bauwesen der LK W/Nö/Bgld
- [8] Bauer Peter (31.03.2014): Die Beurteilung von Schubwänden in Wiener Gründerzeithäusern. Nichtlineares Verfahren (push-over) gemäß EN 1998-1, Wien: Fachgruppe Bauwesen der LK W/Nö/Bgld
- [9] Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk; ÖNORM EN 1996-1-1 (01.01.2013), Wien: Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut (ON)
- [10] Eurocode 6 - Nationaler Anhang: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk; ÖNORM B 1996-1-1 (01.07.2016), Wien: Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut (ON)
- [11] Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten; ÖNORM EN 1996-3 (01.12.2009), Wien: Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut (ON)
- [12] Eurocode 6 - Nationaler Anhang: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten; ÖNORM B 1996-3 (01.07.2016), Wien: Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut (ON)
- [13] Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben. Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten; ÖNORM EN 1998-1 (15.06.2013), Wien: Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut (ON)

- [14] Eurocode 8 - Nationaler Anhang: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben. Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten; ÖNORM B 1998-1 (15.06.2013), Wien: Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut (ON)
- [15] Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben. Teil 3: Beurteilung und Ertüchtigung von Gebäuden; ÖNORM EN 1998-3 (01.10.2013), Wien: Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut (ON)
- [16] Eurocode 8 - Nationaler Anhang: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben. Teil 3: Beurteilung und Ertüchtigung von Gebäuden; ÖNORM B 1998-3 (01.02.2016), Wien: Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut (ON)
- [17] ÖNORM B 4008-1: Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Tragwerke - Teil 1: Hochbau (15.10.2018), Wien: Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut (ON)

Software

- [18] RFEM Programm-Version Version 5.07.07.121238,
<https://www.dlubal.com/>
- [19] 3muri PRO Programm-Version 11,
<https://www.ingware.ch/>
- [20] Microsoft Office Excel 2007 Programm-Version 12.0.6787.5000,
<https://office.microsoft.com/>