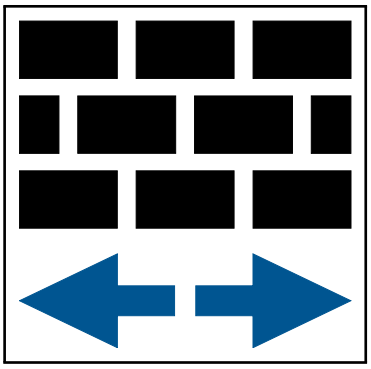
MINEA

Erdbebennachweis von Mauerwerksbauten



Benutzerhandbuch

© MINEA ab Version 4.11

Copyright (C)
Alle Rechte vorbehalten.

URL: www.minea-design.com

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis ii

1 Allgemeine Programmbeschreibung 1
- 1.1 DIN EN Nachweisverfahren . . . 2
  - 1.1.1 Berechnungsverfahren . . . 4
- 1.2 DIN Nachweisverfahren . . . 5

2 Menü 6
- 2.1 Menü Datei . . . 6
  - 2.1.1 Neu . . . 6
  - 2.1.2 Öffnen... . . . 7
  - 2.1.3 Speichern . . . 7
  - 2.1.4 Speichern unter... . . . 7
  - 2.1.5 Import SAF... . . . 7
  - 2.1.6 Einstellungen... . . . 7
  - 2.1.7 Beenden . . . 8
  - 2.1.8 Projekteliste . . . 8
- 2.2 Menü Ansicht . . . 8
  - 2.2.1 Zoom . . . 9
  - 2.2.2 Zoom Toolbar anzeigen . . . 9
  - 2.2.3 Maus Toolbar anzeigen . . . 10
  - 2.2.4 Darstellungsparameter . . . 11
  - 2.2.5 Wandkoordinatenfenster . . . 11
  - 2.2.6 Unterzugkoordinatenfenster . . . 12
  - 2.2.7 Stützenkoordinatenfenster . . . 12
  - 2.2.8 Zeichenhintergrund . . . 12
  - 2.2.9 3D-Ansicht . . . 13
- 2.3 Menü Nachweis . . . 13
  - 2.3.1 Nachweiseinstellungen . . . 14
  - 2.3.2 Systemoptimierung (nur im 3D Nachweis aktiv) . . . 15
  - 2.3.3 Nachweis starten . . . 20
  - 2.3.4 Ergebnisse und Bericht . . . 20
  - 2.3.5 Ergebnisse speichern (nur im 3D Nachweis aktiv) . . . 21
  - 2.3.6 Ergebnisse laden . . . 21



2.4 Menü ? . . . 21
2.4.1 Hilfe . . . 22
2.4.2 Lizenzinfo . . . 22
2.4.3 Auf Updates prüfen . . . 22
2.4.4 Über... . . . 22

3 Gebäudemodellierung 23
3.1 Eingabeoberfläche . . . 23
3.2 Gebäude und Lastdaten . . . 23
3.2.1 Gebäude . . . 24
3.2.2 Erdbebendaten . . . 26
3.2.3 Winddaten . . . 27
3.2.4 Netz-Parameter (nur im 3D Nachweis aktiv) . . . 30
3.2.5 Berechnungs-Parameter (nur im 3D Nachweis aktiv) . . . 32
3.3 Modell und Materialdaten . . . 34
3.3.1 Stockwerk . . . 34
3.3.2 Wandscheiben . . . 34
3.3.3 Unterzüge (nur 3D) . . . 39
3.3.4 Stützen . . . 41
3.3.5 Decken . . . 43
3.4 SAF-Schnittstelle . . . 48

4 Nachweis 51
4.1 DIN EN 1998-1/NA-DE - Vereinfachter Nachweis . . . 51
4.1.1 Nachweis . . . 51
4.1.2 Ergebnisausgabe . . . 53
4.2 DIN EN 1998-1/NA-DE - DIN EN 1996-1-1/NA-DE (2D) . . . 55
4.2.1 Nachweiseinstellungen . . . 55
4.2.2 Nachweis . . . 56
4.2.3 Ergebnisausgabe . . . 56
4.3 DIN EN 1998-1/NA-DE – DIN EN 1996-1-1/NA-DE (3D) [x64] . . . 57
4.3.1 Nachweiseinstellungen . . . 57
4.3.2 Nachweis . . . 59
4.3.3 Ergebnisausgabe . . . 60
4.4 DIN EN 1998-1 – DIN EN 1996-1-1 – Pushover (2D) . . . 60
4.4.1 Nachweiseinstellungen . . . 60
4.4.2 Nachweis . . . 63
4.4.3 Ergebnisausgabe . . . 64

5 Theorie 66
5.1 Erdbebeneinwirkung . . . 66
5.2 DIN EN 1998-1 - Vereinfachter Nachweis . . . 69
5.2.1 Nachweis . . . 69
5.3 DIN EN 1998-1 in Kombination mit DIN EN 1996-1-1 (2D) . . . 73
5.3.1 Regelmäßigkeitskriterien . . . 75
5.3.2 Tragwerksmodell . . . 77

5.3.3 Beanspruchung . . . 79
5.3.4 Nachweis . . . 84
5.3.5 Ansatz der Rahmentragwirkung (2D-Modelle) . . . 93
5.3.6 Effekte aus Theorie II. Ordnung (nur 2D Nachweis) . . . 98
5.3.7 Imperfektionen (nur 2D Nachweis) . . . 98
5.4 Nichtlinear statischer Nachweis (2D Pushover-Berechnung) . . . 99
5.4.1 Berechnungsablauf . . . 99
5.4.2 Ermittlung der Kapazitätskurven für Mauerwerksgebäude . . . 102

6 Beispiele 105
6.1 DIN EN 1998-1 - Vereinfachter Nachweis . . . 105
6.1.1 Systembeschreibung . . . 105
6.1.2 Eingabedaten . . . 106
6.1.3 Durchführung des vereinfachten Nachweises . . . 107
6.1.4 Ausgabe des Berichts . . . 112
6.2 DIN EN 1998-1 in Kombination mit DIN EN 1996-1-1 (2D) . . . 121
6.2.1 Systembeschreibung . . . 121
6.2.2 Eingabedaten . . . 121
6.2.3 Durchführung des rechnerischen Nachweises . . . 125
6.2.4 Ausgabe des Berichts . . . 131
6.3 DIN EN 1998-1 in Kombination mit DIN EN 1996-1-1 (2D) unter Berücksichtigung der Rahmentragwirkung und Ansatz von automatisch ermittelten Windlasten . . . 142
6.3.1 Systembeschreibung . . . 142
6.3.2 Eingabedaten . . . 142
6.3.3 Durchführung des rechnerischen Nachweises . . . 149
6.3.4 Ausgabe des Berichts . . . 155
6.4 DIN EN 1998-1 in Kombination mit DIN EN 1996-1-1 (3D) [x64] . . . 181
6.4.1 Systembeschreibung . . . 181
6.4.2 Eingabedaten . . . 181
6.4.3 Durchführung des rechnerischen Nachweises . . . 186
6.4.4 Ausgabe des Berichts . . . 193
6.5 DIN EN 1998-1 in Kombination mit DIN EN 1996-1-1 (3D) [x64] unter Berücksichtigung von entkoppelten Stahlbetonstützen in Schalungssteinen . . . 206
6.5.1 Systembeschreibung . . . 206
6.5.2 Eingabedaten . . . 206
6.5.3 Durchführung des rechnerischen Nachweises . . . 209
6.5.4 Ausgabe des Berichts . . . 212
6.6 DIN EN 1998-1 in Kombination mit DIN EN 1996-1-1 (2D Pushover) . . . 231
6.6.1 Systembeschreibung . . . 231
6.6.2 Eingabedaten . . . 231
6.6.3 Durchführung des Nachweises . . . 237
6.6.4 Ausgabe des Berichts . . . 241

Literaturverzeichnis 261

Abbildungsverzeichnis 263

Tabellenverzeichnis

268

Kapitel 1

Allgemeine Programmbeschreibung

Die Software MINEA ermöglicht es dem Tragwerksplaner die Standsicherheitsnachweise von Mauerwerksbauten und Mauerwerksbauten in Mischbauweise unter Vertikal- und Horizontallasten aus Erdbeben und Wind schnell und effektiv durchzuführen. Durch eine integrierte Datenbankstruktur können alle Mauerwerksmaterialen inkl. Zulassungsprodukten sowie Betonmaterialien in der Berechnung verwendet werden. Die Berechnung erfolgt in MINEA, je nach Anforderungen des konkreten Objektes, anhand einer zwei- oder dreidimensionalen linearen oder nichtlinearen Modellierung des Tragwerks.

Mit der Software können wandausgesteifte Tragwerke des üblichen Wohn- und Mehrfamilienhausbaus sowie Büro- und Geschäftsgebäude mit Stahlbetondecken oder vergleichbaren Deckenkonstruktionen berechnet werden. Aufgrund der vollständigen Automatisierung der Modellbildung und der Nachweisführung ist die Anwendung der zweidimensionalen linearen und nichtlinearen Modellierung derzeit auf bis zu fünf Vollgeschosse beschränkt. Es stehen, je nach Lizensierung, folgende Nachweisverfahren zur Verfügung:

- DIN EN 1998-1/NA-DE - Vereinfachter Nachweis
- DIN EN 1998-1/NA-DE - DIN EN 1996-1-1/NA-DE (2D)
- DIN EN 1998-1/NA-DE - DIN EN 1996-1-1/NA-DE (3D)*
- DIN EN 1998-1/NA-DE - DIN EN 1996-1-1/NA-DE (3D) [x64]
- DIN EN 1998-1 - DIN EN 1996-1-1 - Pushover (2D)
- DIN 4149 - Vereinfachter Nachweis
- DIN 4149 - DIN 1053-1 (2D)
- DIN 4149 - DIN 1053-100 (2D)
- DIN 4149 - DIN 1053-100 (3D)*

Informationen zu den Nachweisverfahren auf Grundlage der in Deutschland umgesetzten europäischen Normengeneration DIN EN finden sich in den weiteren Kapiteln dieses Dokumentes. Dabei werden der allgemeine Aufbau des Programms, der Aufbau der einzelnen Menüpunkte und die Eingabe der Gebäude vorgestellt. Darüber hinaus werden die theoretischen Grundlagen und die praktische Anwendung anhand von Beispielen beschrieben.



Das Nachweisverfahren „DIN EN 1998-1/NA-DE - DIN EN 1996-1-1/NA-DE (3D) [x64]“ stellt das auf dem neuen 64-bit-Rechenkern basierende Berechnungsmodul dar. Dieses wird zukünftig weiterentwickelt, wohingegen die mit * gekennzeichneten Programmmodule ausschließlich dem Import älterer Programmdateien dienen und ab der MINEA-Version 4.8 nicht mehr zur Berechnung genutzt werden können.

Ein Wechsel zwischen den unterschiedlichen Nachweisverfahren, auch Normenübergreifend, ist jederzeit möglich. Dabei werden die eingegebenen Daten, so weit möglich, übernommen. Dies gilt auch für einen Wechsel in das neue 3D-Berechnungsmodul. Eine Prüfung der übernommenen Informationen und Einstellungen sollte in jedem Fall erfolgen.

1.1 DIN EN Nachweisverfahren

Im Rahmen der DIN EN Nachweise stehen dem Anwender vier mögliche Nachweisverfahren zur Verfügung. Die Nachweise werden nach DIN EN 1998-1:2010-12/NA:2023-11 in Kombination mit DIN EN 1996-1-1:2013-02/NA:2019-12 geführt.

Erstens der Nachweis über die konstruktiven Regeln ohne expliziten rechnerischen Nachweis (Vereinfachter Nachweis), der rechnerische Nachweis nach dem vereinfachten Antwortspektrumverfahren und der rechnerische Nachweis nach dem multimodalen Antwortspektrumverfahren. Darüber hinaus besteht in der nichtlinearen Version von MINEA die Möglichkeit des verformungsbasierten Nachweises auf Grundlage einer Pushover-Berechnung.

Der rechnerische Nachweis unterstützt auch den Nachweis von Tragwerken in Mischbauweise, d.h. mit Aussteifungselementen aus Stahlbeton.



MINEA ermittelt die Beanspruchungsgrößen aller Aussteifungselemente und führt alle Nachweise der Aussteifungselemente aus Mauerwerk automatisiert durch. Die Bemessung der Stahlbetonbauteile muss gesondert mit den von MINEA ermittelten Beanspruchungsgrößen geführt werden.

Das Programm beinhaltet die in Abbildung 1.1 dargestellten Rechenverfahren.

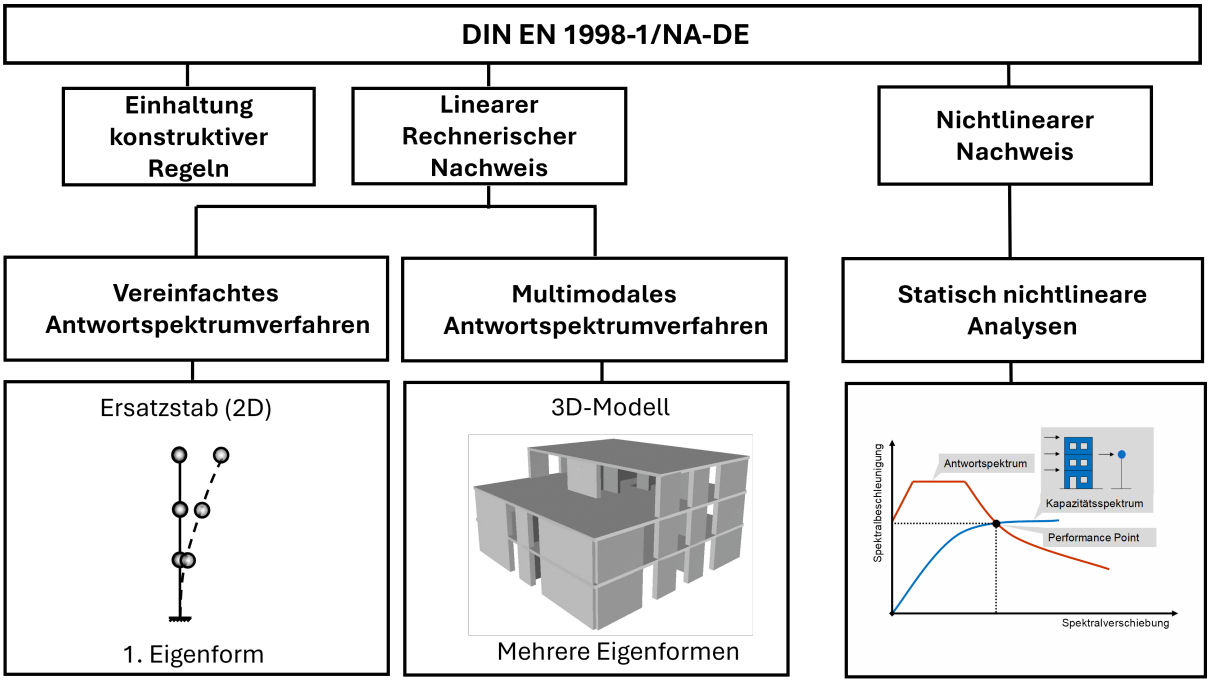


Abbildung 1.1: Übersicht über die in MINEA verfügbaren Rechenverfahren / Programmteile

Die einzelnen Programmteile weisen dabei eine grundsätzlich ähnliche Struktur auf:

Eingabe (Eingabeoberflächen)

- Eingabe allgemeiner Gebäude-, Wind- und Erdbebendaten
- Automatische Ermittlung der Antwortspektren nach DIN EN 1998-1/NA-DE
- Eingabe der Grundrissgeometrie eines Geschosses
- Eingabe der Wandscheiben und Stützen mit Zuordnung der Material- und Querschnittseigenschaften

↓

Nachweisverfahren / Berechnung

- Berechnung nach DIN EN 1998-1/NA-DE - Vereinfachter Nachweis
- Berechnung nach DIN EN 1998-1/NA-DE - DIN EN 1996-1-1/NA-DE (2D)
- Berechnung nach DIN EN 1998-1/NA-DE - DIN EN 1996-1-1/NA-DE (3D)
- Berechnung nach DIN EN 1998-1 - DIN EN 1996-1-1 - Pushover (2D)

↓

Ausgabe (Berichtausgabe in prüffähiger Form)

- Protokoll der Eingabedaten
- Protokoll des Nachweises
- ggf. Zusammenfassung der Nachweisergebnisse mit Angabe der Ausnutzungsgrade (3D Nachweisverfahren auch: Ergebnisse stat. & dyn. Lastfälle, Deckenbewehrung, graphische Darstellung der Eigenformen sowie stat. & dyn. Verformungen)

Die Anzeige und das Umschalten der einzelnen installierten Nachweisverfahren erfolgt über die Dropdown-Liste im linken Bereich des Eingabefensters.

Je nach verwendetem Nachweisverfahren können sich die Programmfenster sowie die benötigten Eingaben unterscheiden.

1.1.1 Berechnungsverfahren

Im Weiteren erfolgt eine kurze Beschreibung der Berechnungsabläufe der einzelnen Nachweisverfahren.

Vereinfachter Nachweis nach DIN EN 1998-1/NA-DE Anhang NA.H

- Ermittlung der Gebäudegrundrissfläche
- Ermittlung der vorhandenen aussteifenden Schubwände
- Automatische Ermittlung der erforderlichen Schubwände
- Automatische Auswertung der Kriterien des vereinfachten Nachweises nach DIN EN 1998-1/NA-DE Anhang NA.H

Rechnerischer Nachweis nach DIN EN 1998-1/NA-DE Abschnitt 4.3.3.2 mit dem vereinfachten Antwortspektrenverfahren

- Ermittlung der Systemsteifigkeiten und Massen
- Berechnung der Eigenperioden des Tragwerks durch eine Modalanalyse
- Berechnung der Erdbebenbeanspruchung nach dem vereinfachten Antwortspektrenverfahren
- Ermittlung der Einzelwandbeanspruchungen mit Berücksichtigung von Torsionswirkungen
- Automatisierte Nachweisführung der Mauerwerksscheiben für exzentrische Druck- und Schubbeanspruchung
- Ermittlung der Beanspruchung für Schubwände aus Stahlbeton

Rechnerischer Nachweis nach DIN EN 1998-1/NA-DE Abschnitt 4.3.3.3 mit dem multimodalen Antwortspektrenverfahren

- Berechnung mit dreidimensionalem Modell auf Grundlage der Finite-Elemente-Methode
- Bemessung der Deckenplatten nach DIN EN 1992/NA-DE

Nichtlineare statische (pushover) Berechnung nach DIN EN 1998-1 Abschnitt 4.3.3.4.2

- Ermittlung der Einzelwandkapazitäten und -dämpfungen
- Ermittlung der Gebäudekapazität
- Transformation der Gebäudekapazität in das Spektralbeschleunigung-Spektralverschiebungsdiagramm (S_a-S_d-Diagramm)
- Überlagerung von Antwortspektrum und Gebäudekapazität und Ermittlung des Performance Points

1.2 DIN Nachweisverfahren

Die DIN Nachweise stehen ausschließlich aus Kompatibilitätsgründen zur Verfügung. Für eine Beschreibung sowie den vollen Umfang der Nachweise wird an dieser Stelle auf die MINEA-Version 4.7 verwiesen.

Kapitel 2

Menü

Über das Menü können Grundfunktionen aufgerufen werden. Dieses gliedert sich in **Datei**, **Ansicht**, **Nachweis** und **?**, welche im Folgenden detailliert vorgestellt werden.

2.1 Menü Datei

Unter dem Menüpunkt **Datei** finden sich die Punkte **Neu**, **Öffnen...**, **Speichern**, **Speichern unter...**, **Import SAF...**, **Einstellungen...** und **Beenden** sowie eine Liste mit den zuletzt bearbeiteten Projekten.

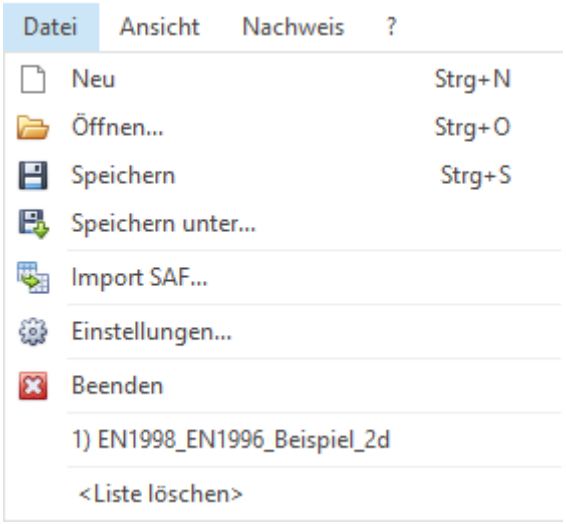


Abbildung 2.1: Menü Datei

2.1.1 Neu

Der Menüpunkt **Neu** (STRG + N) erstellt ein neues Projekt. Falls bisher eingegebene Daten nicht gesichert sind, erscheint eine Speicher-Abfrage.

2.1.2 Öffnen...

Der Menüpunkt **Öffnen...** (STRG + O) öffnet einen Dateidialog, in dem ein zuvor gespeichertes Projekt ausgewählt und geöffnet werden kann. Auch hierbei erscheint eine Speicher-Abfrage, falls nicht gesicherte Daten existieren.

2.1.3 Speichern

Der Menüpunkt **Speichern** speichert die aktuelle Datei. Sofern die Datei noch nicht gespeichert wurde, öffnet sich einen Dateidialog, in dem ein Speicherort und ein Dateiname für das aktuelle Projekt ausgewählt werden können

2.1.4 Speichern unter...

Der Menüpunkt **Speichern unter...** öffnet einen Dateidialog, in dem ein Speicherort und ein Dateiname für das aktuelle Projekt ausgewählt werden können. Anschließend wird das Projekt unter dem eingegebenen Dateinamen gespeichert.

2.1.5 Import SAF...

Der Menüpunkt **Import SAF...** öffnet einen Dateidialog, in dem eine SAF-Austauschdatei ausgewählt werden kann. Anschließend wird die SAF-Quelle mittels der SAF-Schnittstelle in MINEA in das 3D-Modul importiert.

2.1.6 Einstellungen...

Der Menüpunkt **Einstellungen...** öffnet das Dialogfenster Einstellungen, in dem die drei Registerkarten **Bericht**, **Farbauswahl** und **Allg. Farbeinstellungen** angezeigt werden können.

In der Registerkarte **Bericht** werden Daten eingegeben, die später in der Kopfzeile und Fußzeile des Berichts abgebildet werden. Zusätzlich kann über den Button in der Zeile **Bilddatei für Kopfzeile** ein Dateidialog geöffnet werden, in dem eine Bilddatei (z.B. Firmenlogo) der Kopfzeile zugewiesen wird.

In dem Kasten **Daten für Fußzeile** kann ein beliebiger Text für die Fußzeile angegeben werden. Um eine fortlaufende Seitennummer einzufügen, sind die Zeichen {0} als Platzhalter zu verwenden. Die Nummer der ersten Seite des Berichts kann unter **Startseite** definiert werden. Die Fußzeile wird mit einer waagerechten Linie abgetrennt. Wird das Eingabefeld für das Seitennummernformat leer gelassen, wird keine Fußzeile, also auch keine Linie angezeigt.

In der Registerkarte **Farbauswahl** können die Farbeinstellungen von 10 Wänden und Stützen vorgenommen werden. Bei der Verwendung von mehr als 10 Materialien erhält das 11. Wand- bzw. Stützenmaterial dieselbe Farbe wie das erste Material. In den Auswahllisten sind 48 Farben voreingestellt. Weitere 16 Farben können individuell hinzugefügt werden. Durch Rechtsklick auf die letzten Farbfelder können benutzerdefinierte Farben festgelegt werden. Über die Buttons **Farben zurücksetzen** und **Farben als Standardfarben übernehmen** können die Farbeinstellungen auf die Standartwerte zurückgesetzt bzw. als Standardwerte definiert werden.

In der Registerkarte **Allg. Farbeinstellungen** können Farben für den Zeichnungshintergrund und die Darstellung der Programmfenster eingestellt werden. Für die Darstellung der Programmfenster stehen verschiedene Farbschemen zur Verfügung.

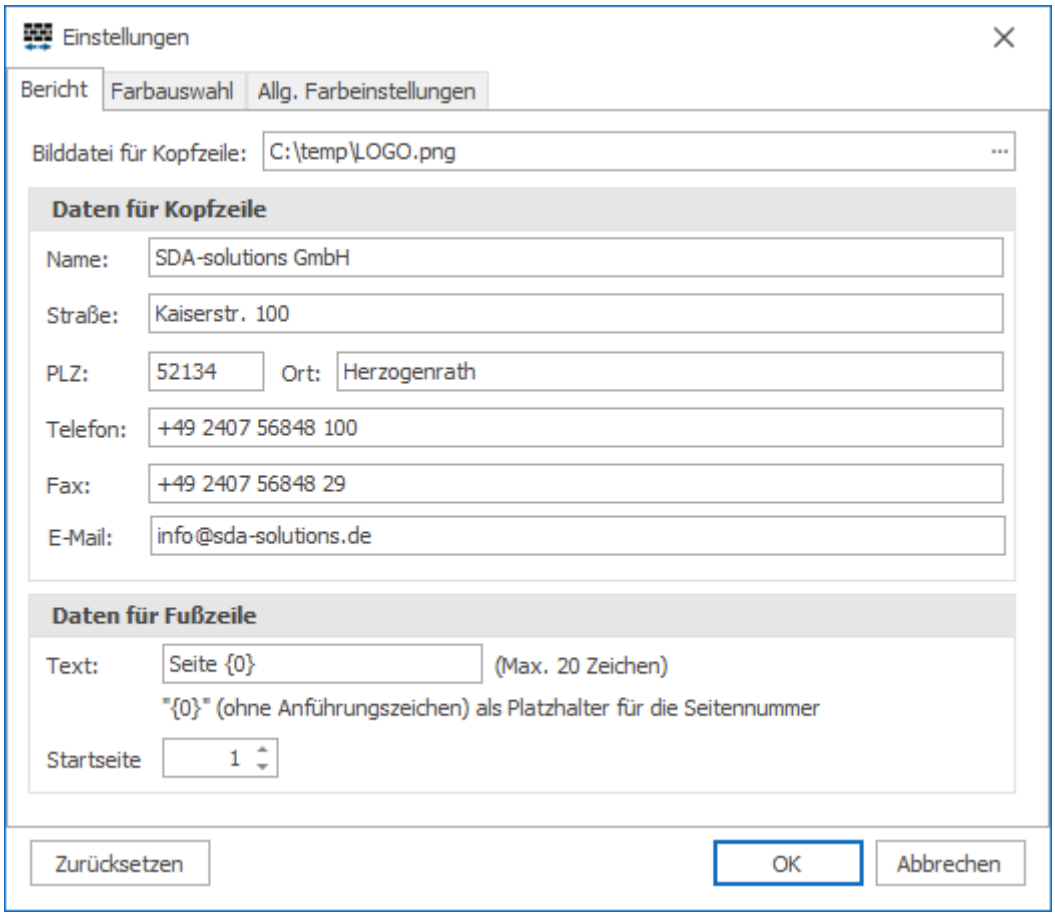


Abbildung 2.2: Dialogfenster Einstellungen - Bericht

Alle Einstellungen werden beim Drücken des Buttons **OK** automatisch gespeichert und beim Programmstart wieder geladen. So besteht die Möglichkeit, durch einmaliges Festlegen der Einstellungen für verschiedene Projekte ein einheitliches Berichtslayout zu erreichen.

2.1.7 Beenden

Der Menüpunkt **Beenden** schließt das Programm MINEA. Falls Änderungen an dem aktuellen Projekt nicht gespeichert wurden, erscheint eine entsprechende Abfrage.

2.1.8 Projekteliste

Das Menü enthält für den Schnellzugriff eine Liste mit den zuletzt bearbeiteten Projekten. Diese Liste kann über **<Liste löschen>** entfernt werden.

2.2 Menü Ansicht

Über das Menü **Ansicht** werden Eingabehilfen zur Systemeingabe aktiviert sowie Übersichtsfenster über den eingegebenen Grundriss dargestellt.

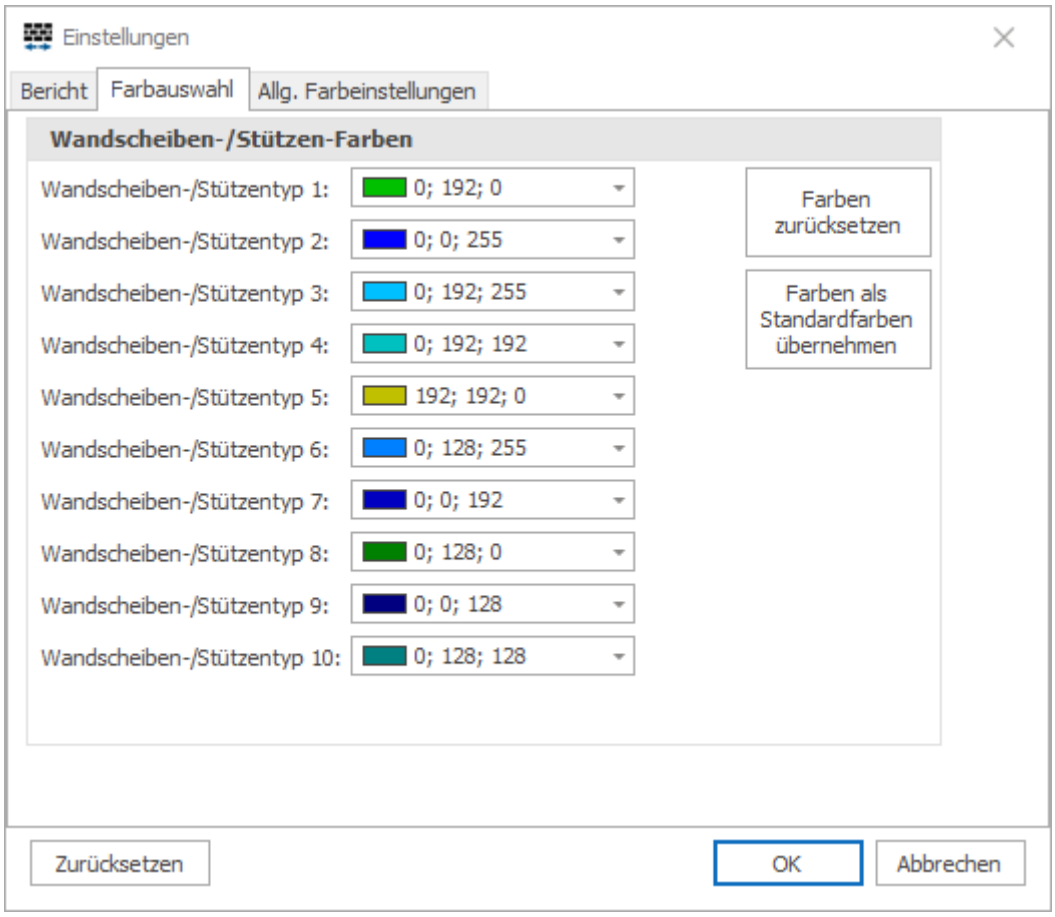


Abbildung 2.3: Dialogfenster Einstellungen - Farbauswahl

2.2.1 Zoom

Unter dem Menüpunkt **Ansicht** kann unter dem Eintrag **Zoom** zwischen vier Funktionen gewählt werden: **Vergrößern**, **Verkleinern**, **Zurücksetzen** und **Best Fit**.

Alle Zoom-Funktionen stehen auch über folgende Hotkeys zur Verfügung:

Vergrößern:	STRG + +
Verkleinern:	STRG + -
Zurücksetzen:	STRG + 0
BestFit:	STRG + F

2.2.2 Zoom Toolbar anzeigen

Alternativ zum Vergrößern oder Verkleinern der Ansicht über den Menüpunkt **Zoom**, können über **Zoom Toolbar anzeigen** alle Funktionen über die grafische Oberfläche benutzt werden.

Die Lupe mit Plus-Zeichen vergrößert die Grundrissansicht (Hineinzoomen), die Lupe mit Minus-Zeichen verkleinert die Ansicht (Herauszoomen). Der Button **Zurücksetzen** setzt die Vergrößerung wieder auf den Standardwert zurück. Der Button **BestFit** gibt den Grundriss optimal unter Ausnutzung des gesamten Zeichenbereiches wieder. Die Toolbar ist mit der Maus frei verschiebbar.

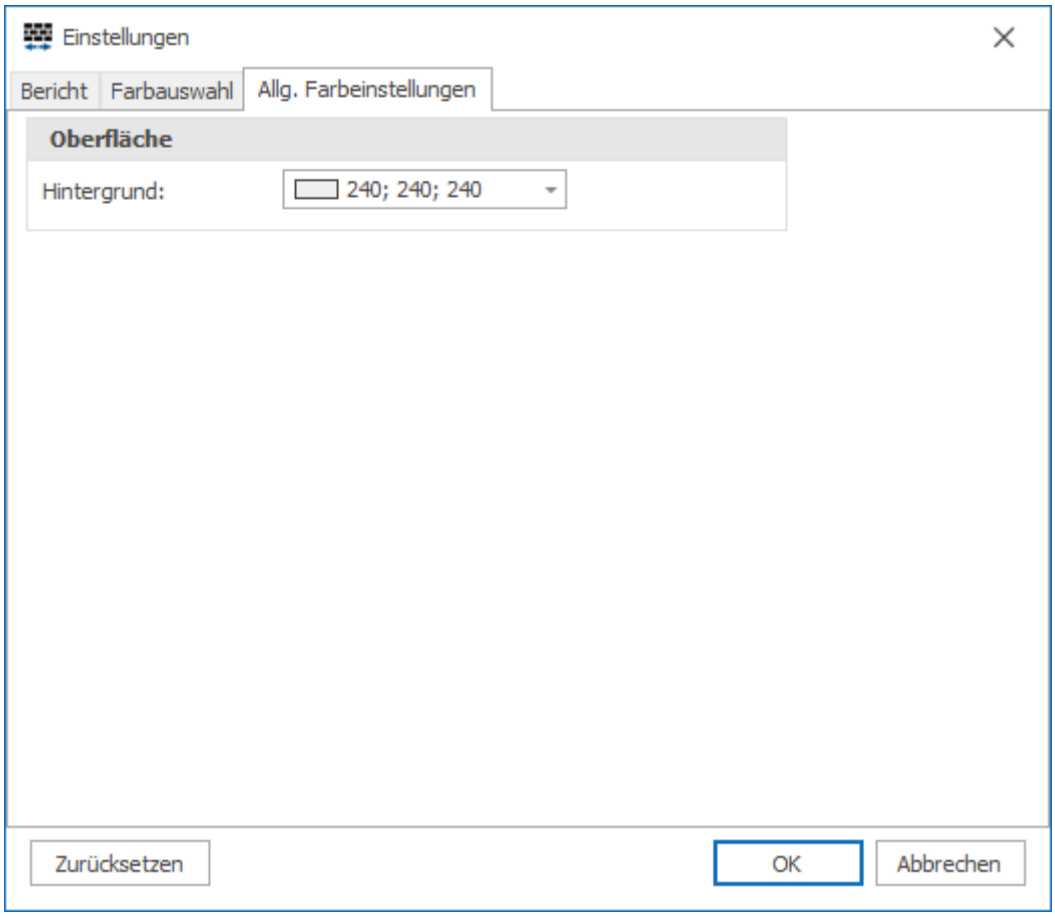


Abbildung 2.4: Dialogfenster Einstellungen - Allg. Farbeinstellungen

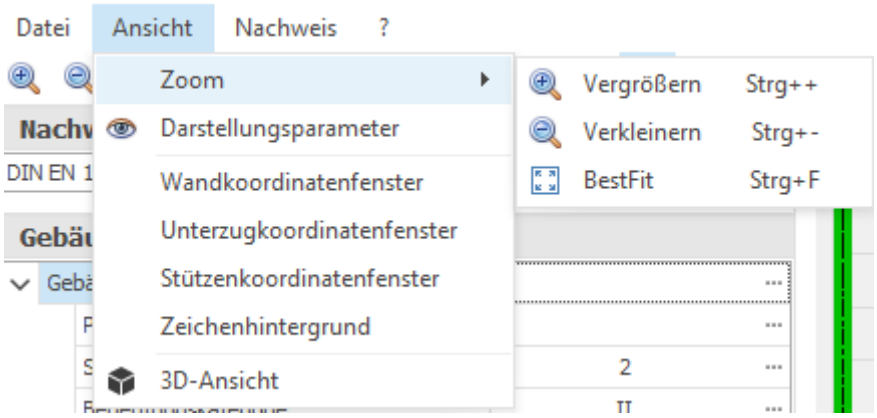


Abbildung 2.5: Menüoptionen Zoom



Abbildung 2.6: Zoom Toolbar

2.2.3 Maus Toolbar anzeigen

Die Maus Symbolleiste enthält Funktionen zur Eingabe des Grundrisses und der Decke per Maus. Ist die Symbolleiste Maus nicht sichtbar, kann sie unter dem Menüpunkt Maus Toolbar anzeigen geöffnet werden.



Abbildung 2.7: Maus Toolbar

Die Funktionen der in Abbildung 2.7 dargestellten Toolbar von links nach rechts: einen Schritt rückgängig machen (STRG + Z); einen Schritt wiederholen, Maus aktivieren, Verschiebemodus des Zeichenbereichs aktivieren, Wand-/Unterzug-/Stützen-/Deckeneingabe per Maus aktivieren, Raster aktivieren, Fang-Winkel und Fang-Länge. Diese Funktionen sind in Abschnitt 3.3.2 genau erklärt.

2.2.4 Darstellungsparameter

In dem Menü **Ansicht** kann über den Menüpunkt **Darstellungsparameter** die Ansicht im Zeichenbereich gesteuert werden. Dazu gehört die Möglichkeit, dass die Eckpunkte von Rand- und Öffnungspolygonen angezeigt werden können. Außerdem können die Start- und Endpunkte sowie die Wandachsen dargestellt werden. Im 3D-Nachweisverfahren ist es auch möglich, dass jeweils unter dem gerade bearbeiteten Stockwerk liegende Stockwerk zur besseren Orientierung gleichzeitig anzeigen zu lassen.

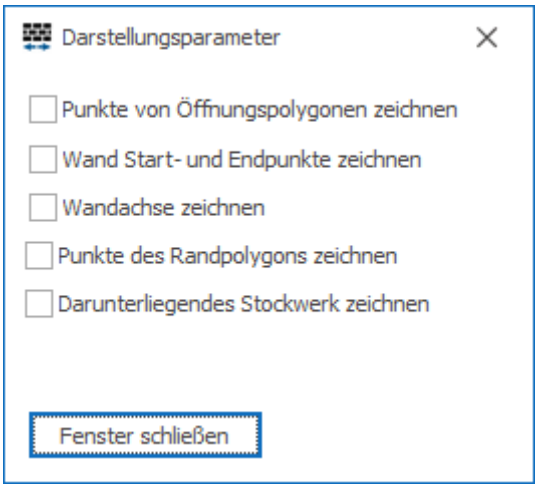
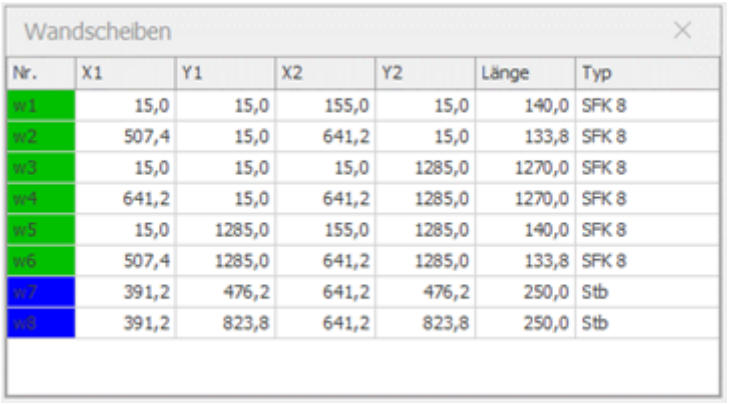


Abbildung 2.8: Darstellungsparameter

2.2.5 Wandkoordinatenfenster

Beim Programmstart erscheint das Fenster **Wandscheiben**. Dieses Fenster zeigt eine Übersicht der eingegebenen Wandscheiben. Es beinhaltet die Nummer der Wandscheiben, die zugehörigen Koordinaten, die Länge sowie den zugewiesenen Wandscheibentyp. Die angezeigten Werte dienen der Kontrolle der Eingabe und können in diesem Fenster nicht modifiziert werden. Dies erfolgt ausschließlich in der Registerkarte Wandscheibe im unteren Teil des Hauptfensters. Detaillierte Informationen werden in Abschnitt 3.3.2 vorgestellt.

Wird das Koordinatenfenster geschlossen, so kann es unter dem Menüpunkt **Wandkoordinatenfenster** wieder angezeigt werden.



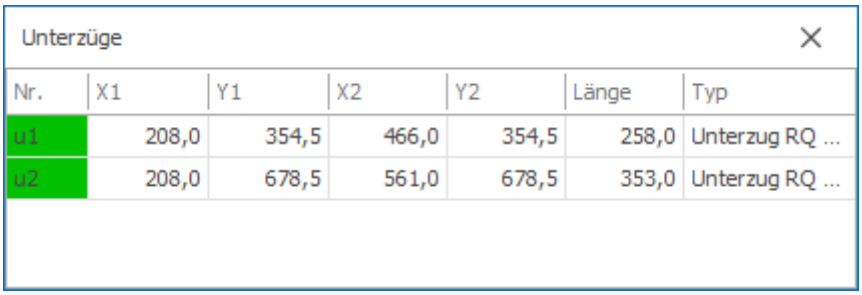
Nr.	X1	Y1	X2	Y2	Länge	Typ
w1	15,0	15,0	155,0	15,0	140,0	SFK 8
w2	507,4	15,0	641,2	15,0	133,8	SFK 8
w3	15,0	15,0	15,0	1285,0	1270,0	SFK 8
w4	641,2	15,0	641,2	1285,0	1270,0	SFK 8
w5	15,0	1285,0	155,0	1285,0	140,0	SFK 8
w6	507,4	1285,0	641,2	1285,0	133,8	SFK 8
w7	391,2	476,2	641,2	476,2	250,0	Stb
w8	391,2	823,8	641,2	823,8	250,0	Stb

Abbildung 2.9: Wandkoordinatenfenster

2.2.6 Unterzugkoordinatenfenster

Das Fenster **Unterzüge** zeigt eine Übersicht der eingegebenen Unterzüge. Es beinhaltet die Nummer des Unterzugs, die zugehörigen Koordinaten, die Länge sowie den zugewiesenen Unterzugtyp. Die angezeigten Werte dienen der Kontrolle der Eingabe und können in diesem Fenster nicht modifiziert werden. Dies erfolgt ausschließlich in der Registerkarte Unterzüge im unteren Teil des Hauptfensters.

Wird das Koordinatenfenster geschlossen, so kann es unter dem Menüpunkt **Unterzugkoordinatenfenster** wieder angezeigt werden.



Nr.	X1	Y1	X2	Y2	Länge	Typ
u1	208,0	354,5	466,0	354,5	258,0	Unterzug RQ ...
u2	208,0	678,5	561,0	678,5	353,0	Unterzug RQ ...

Abbildung 2.10: Unterzugkoordinatenfenster

2.2.7 Stützenkoordinatenfenster

Das Fenster **Stützen** zeigt eine Übersicht der eingegebenen Stützen. Es beinhaltet die Nummer der Stütze, die zugehörigen Koordinaten sowie den zugewiesenen Stützentyp. Die angezeigten Werte dienen der Kontrolle der Eingabe und können in diesem Fenster nicht modifiziert werden. Dies erfolgt ausschließlich in der Registerkarte Stützen im unteren Teil des Hauptfensters.

Wird das Koordinatenfenster geschlossen, so kann es unter dem Menüpunkt **Stützenkoordinatenfenster** wieder angezeigt werden.

2.2.8 Zeichenhintergrund

Das Dialogfenster **Zeichenhintergrund** öffnet über den Button **Bild laden** einen Dateidialog in dem ein zuvor gespeichertes Bild ausgewählt und als Hintergrundbild geladen werden kann. Das

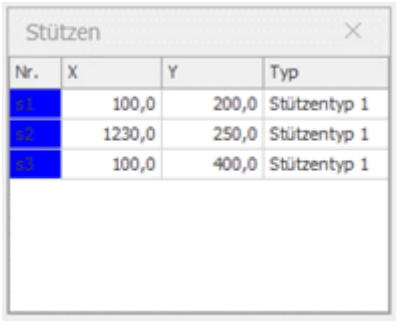


Abbildung 2.11: Stützenkoordinatenfenster

Bild wird im Zeichenbereich dargestellt. Mit dem Button **Reset** kann das Bild wieder gelöscht werden.

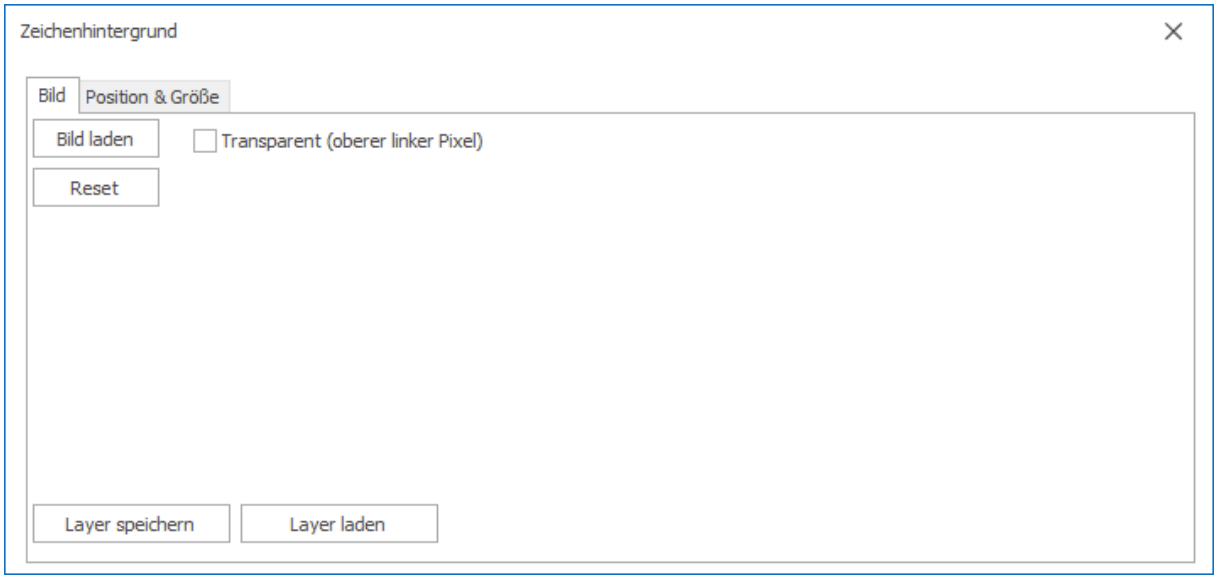


Abbildung 2.12: Zeichenhintergrund - Bild

In der Registrierkarte **Position & Größe** werden Lage, Größe und Skalierung festgelegt. Wird das Koordinatenfenster geschlossen, so kann es unter dem Menüpunkt **Zeichenhintergrund** wieder angezeigt werden.

2.2.9 3D-Ansicht

Über den Menüpunkt **3D-Ansicht** wird ein dreidimensionales Modell des Gebäudes erzeugt, das einen Überblick über die Gesamtstruktur gibt. Die einzelnen Elemente (Wände, Unterzüge, Stützen, Decken und Etagen) können einzeln angezeigt und kontrolliert werden.

2.3 Menü Nachweis

Über das Menü **Nachweis** werden für jeden Nachweis die spezifischen Einstellungen getätigt, der Nachweis gestartet sowie die Ergebnisse und der Bericht dargestellt.

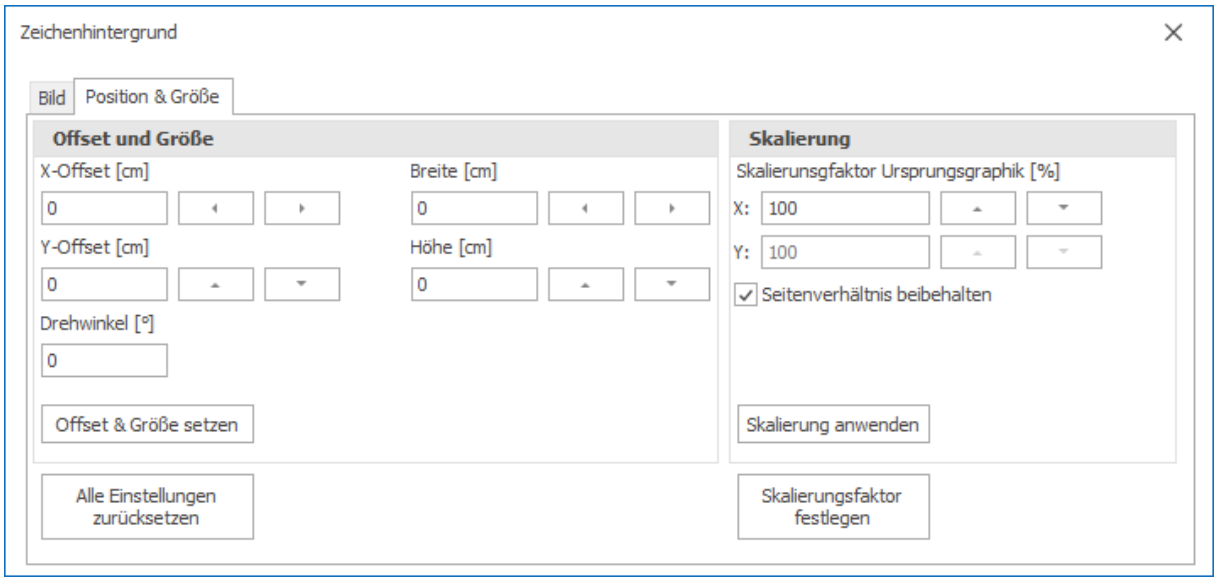


Abbildung 2.13: Zeichenhintergrund - Position & Größe

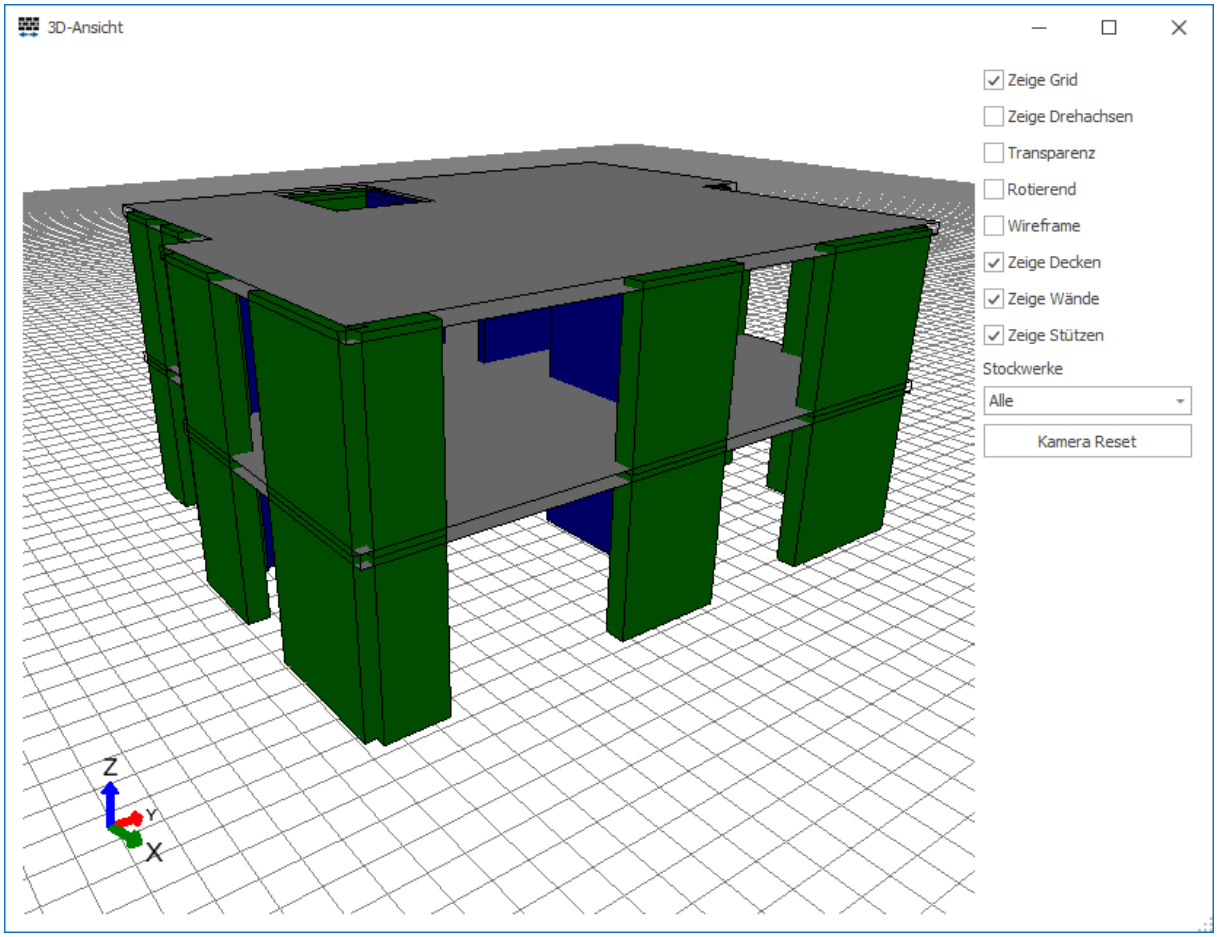


Abbildung 2.14: 3D-Ansicht

2.3.1 Nachweiseinstellungen

Über den Menüpunkt **Nachweiseinstellungen** können die allgemeinen Einstellungen für den Nachweis modifiziert werden. Detaillierte Informationen zu den Einstellungen der einzelnen

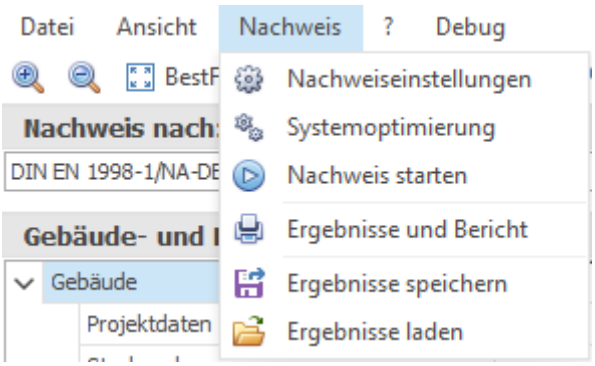


Abbildung 2.15: Menü Nachweis

Berechnungsverfahren und Nachweisverfahren finden sich in den jeweiligen Abschnitten.

2.3.2 Systemoptimierung (nur im 3D Nachweis aktiv)

Der Menüpunkt **Systemoptimierung** steht ausschließlich im 3D Nachweis zur Verfügung und kann die eingegebene Geometrie für die automatische Vernetzung des Finite-Elemente-Netzes optimieren.

Neben Werkzeugen zur **automatischen Systemoptimierung** steht im Falle von unregelmäßigen Bauwerken mit unterschiedlichen Stockwerksgeomterien zudem ein Menü zur **manuellen Netzoptimierung** zur Verfügung, in dem Zwangspunkte für die automatische Vernetzung definiert werden können.

Ziehe Punkte auf Raster

Bei der Optimierung **Ziehe Punkte auf Raster** werden alle Punkte (Wandpunkte, Unterzugpunkte, Stützen, Öffnungen und Außenpolygon), die noch nicht auf dem gewählten Raster liegen, auf den nächstgelegenen Rasterpunkt gezogen. So können Ungenauigkeiten bei der Eingabe ausgeglichen werden. Die Länge von Wänden kann sich dadurch ändern.

Optimierung der Eingabegenauigkeit

Um eine optimale Vernetzung zu erzielen, sollten die Achsen der Wände genau auf den Kanten des Öffnungs- bzw. Außenpolygons. Des Weiteren ist es erforderlich, dass die Eckpunkte von schrägen Wänden, die auf der Kante eines Öffnungs- oder des Außenpolygons liegen, im Polygon enthalten sind.

Die **Optimierung der Eingabegenauigkeit** verschiebt Wände, die sich in der Nähe (festgelegt durch **Maximaler Abstand zum Außenpolygon**) eines Öffnungs- oder des Außenpolygons befinden, auf das Polygon. Ist ein Wandpunkt in der Nähe (festgelegt durch **Maximaler Abstand zu Endpunkten**) eines Punktes des Polygons, wird der Wandpunkt auf diesen verschoben, sofern **Erlaube Wandlängenänderung** aktiviert ist.

Wird eine schräge Wand auf ein Polygon verschoben, so werden außerdem Endpunkte der Wand in das Polygon eingefügt.

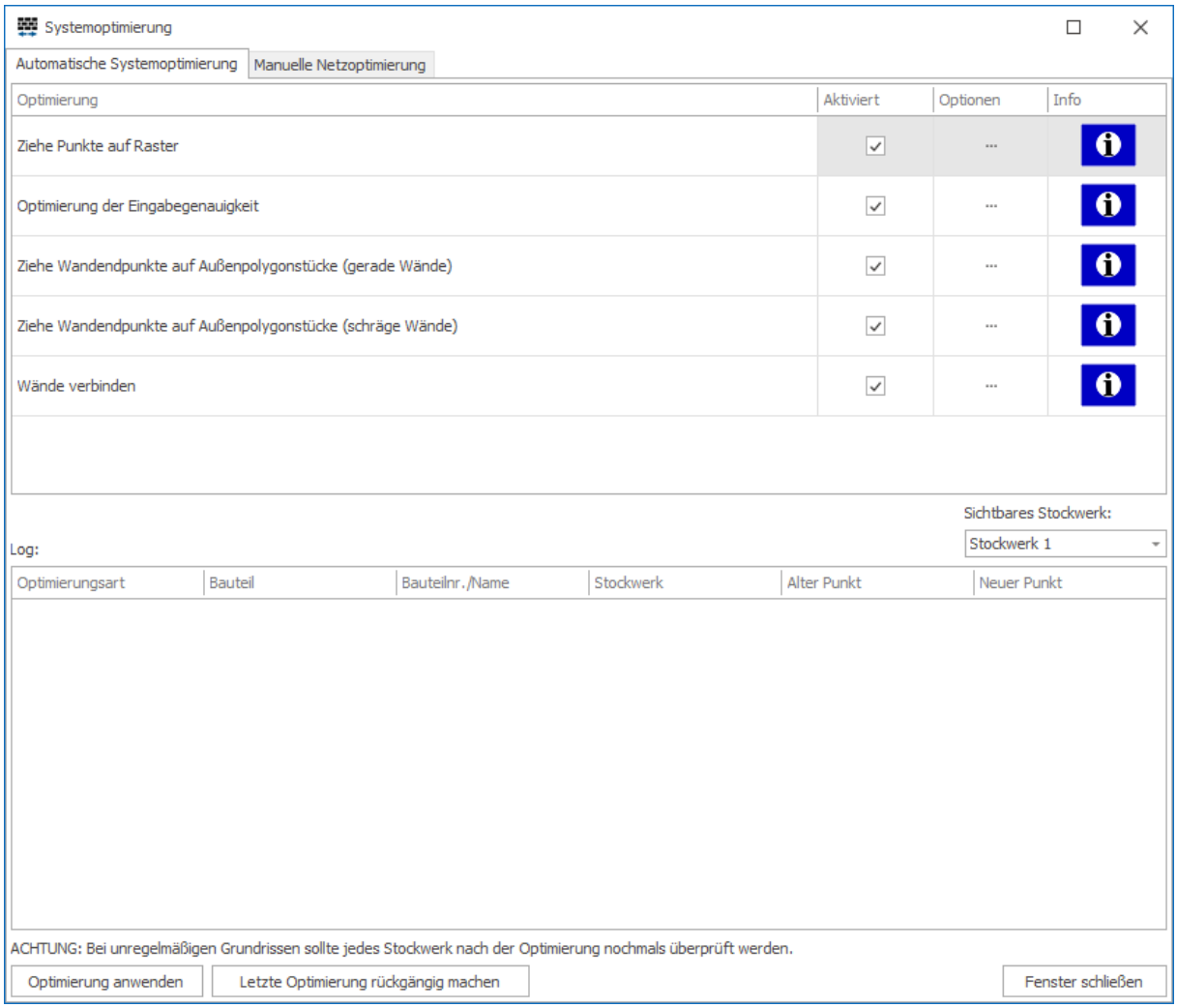


Abbildung 2.16: Systemoptimierung

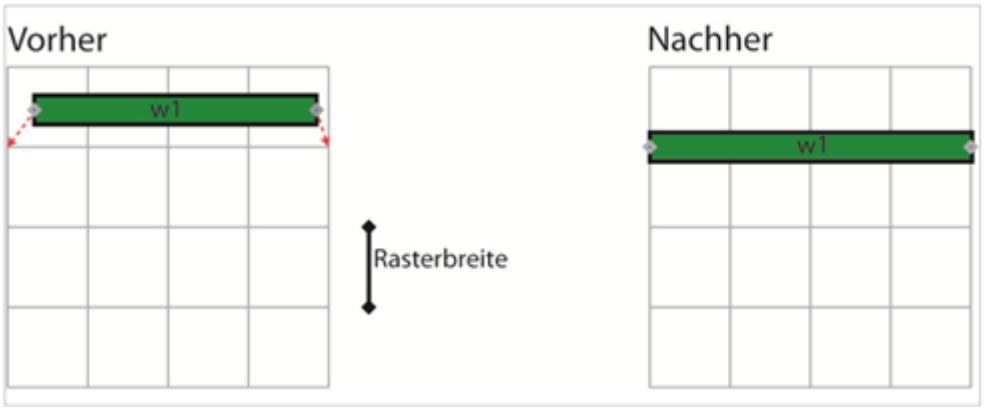


Abbildung 2.17: Ziehe Punkte auf Raster-Optimierung

Ziehe Wandendpunkte auf Außenpolygonstücke (gerade Wände)

Mit der Optimierung **Ziehe Wandendpunkte auf Außenpolygonstücke** können senkrechte und waagerechte Wände, von denen sich ein Endpunkt in der Nähe (festgelegt durch **Maximaler Abstand**) eines Außenpolygons befindet, auf das Außenpolygon verschoben werden.

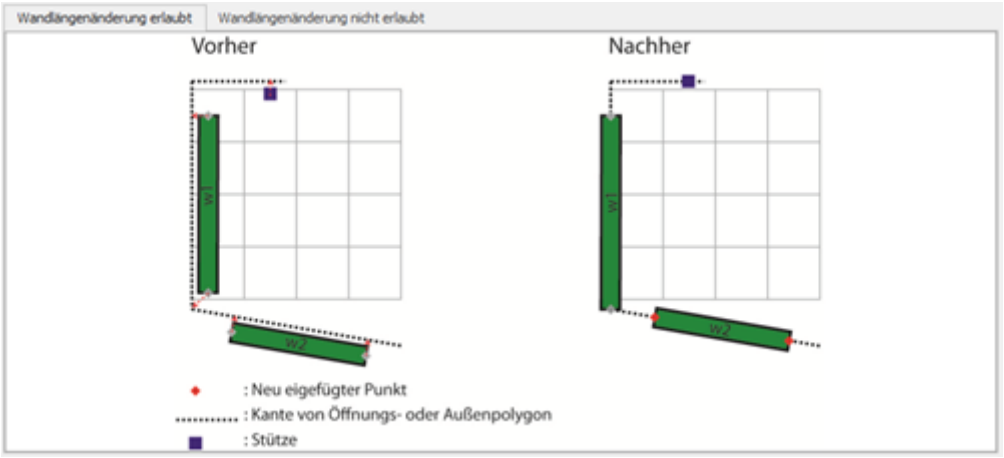


Abbildung 2.18: Optimierung der Eingabegenauigkeit

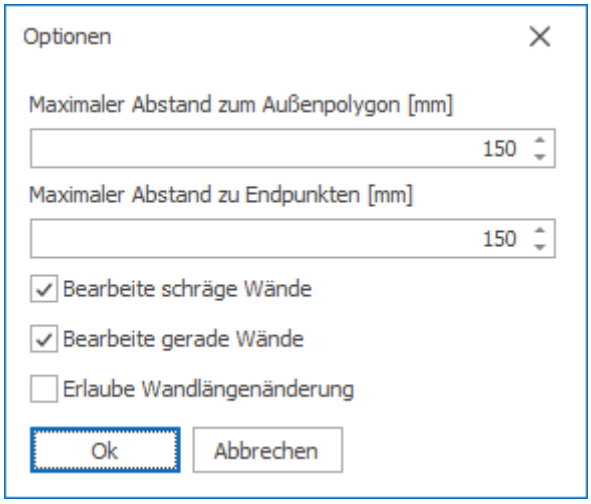


Abbildung 2.19: Optionen Optimierung der Eingabegenauigkeit

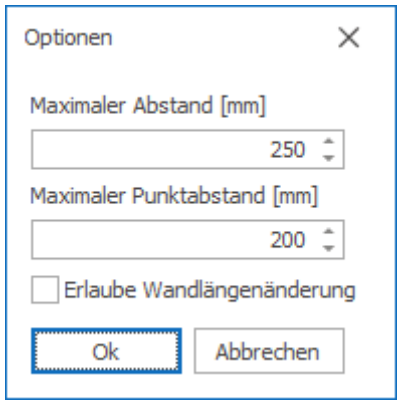


Abbildung 2.20: Optionen Ziehe Wandendpunkte auf Außenpolygonstücke

Ist **Erlaube Wandlängenänderung** aktiviert, wird der entsprechende Punkt auf das Außenpolygon verschoben.

Ansonsten wird die ganze Wand in Richtung des Außenpolygons verschoben. Sollte sich der zweite Wandpunkt in der Nähe einer anderen Wand (festgelegt durch **Maximaler Punktabstand**) befinden, so wird die Wand nicht verschoben.

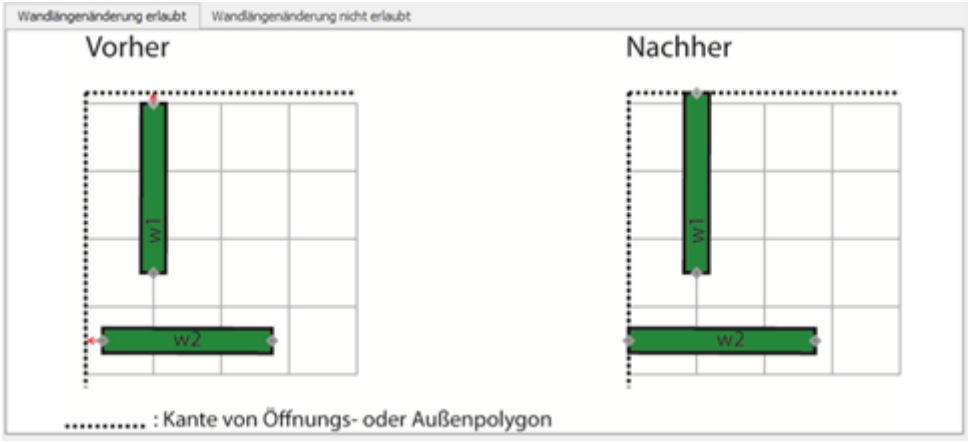


Abbildung 2.21: Ziehe Wandendpunkte auf Außenpolygonstücke

Wände verbinden

Bei der Optimierung Wände verbinden werden senkrechte oder waagerechte Wände, die sich sehr nah (festgelegt durch **Maximaler Abstand**) an einer anderen Wand befinden, mit dieser verbunden.

Ist **Richtung** auf x-Richtung gesetzt, werden nur Wände, die parallel zur x-Achse verlaufen, bearbeitet. Ist y-Richtung gewählt, werden nur Wände parallel zur y-Achse bearbeitet. Daher kann es notwendig sein, die Optimierung zweimal anzuwenden.

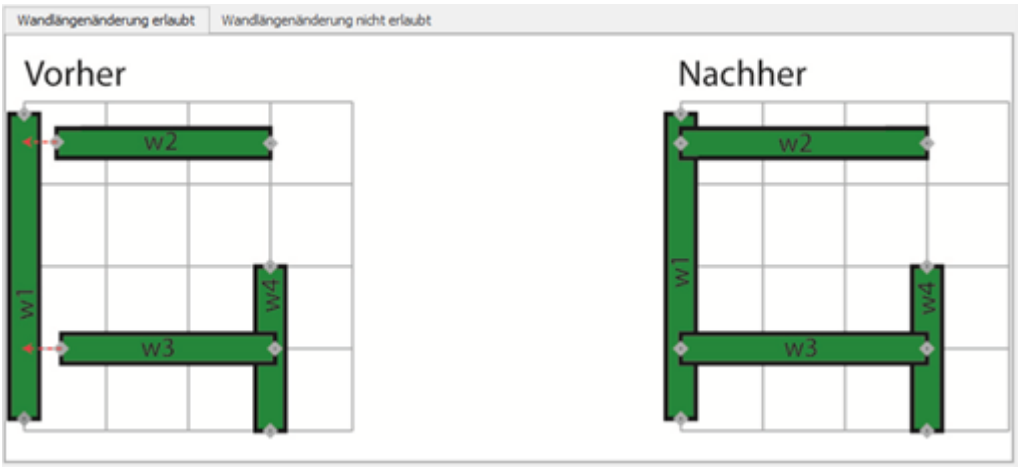


Abbildung 2.22: Wände verbinden

Der Schalter **Erlaube Wandlängenänderung** beeinflusst die Art der Verschiebung. Ist er gesetzt, wird der Punkt der Wand, der sich nah an einer anderen Wand befindet, auf die Wand verschoben - der andere Punkt bleibt unverändert. Somit ändert sich die Länge der Wand.

Ist die Option nicht gesetzt, wird auch der zweite Punkt um den gleichen Wert wie der erste verschoben.

Manuelle Netzoptimierung

Im Rahmen der **manuellen Netzoptimierung** können Wandzwischenpunkte auf Wandscheiben festgelegt werden, die bei der automatischen Vernetzung als Zwangspunkte berücksichtigt wer-

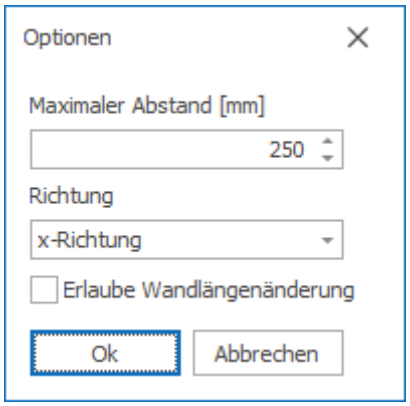


Abbildung 2.23: Optionen Wände verbinden

den. So können z.B. bei schrägen Wandachsen Wandendpunkte von übereinanderstehenden, aber unterschiedlich langen Wandscheiben berücksichtigt werden.

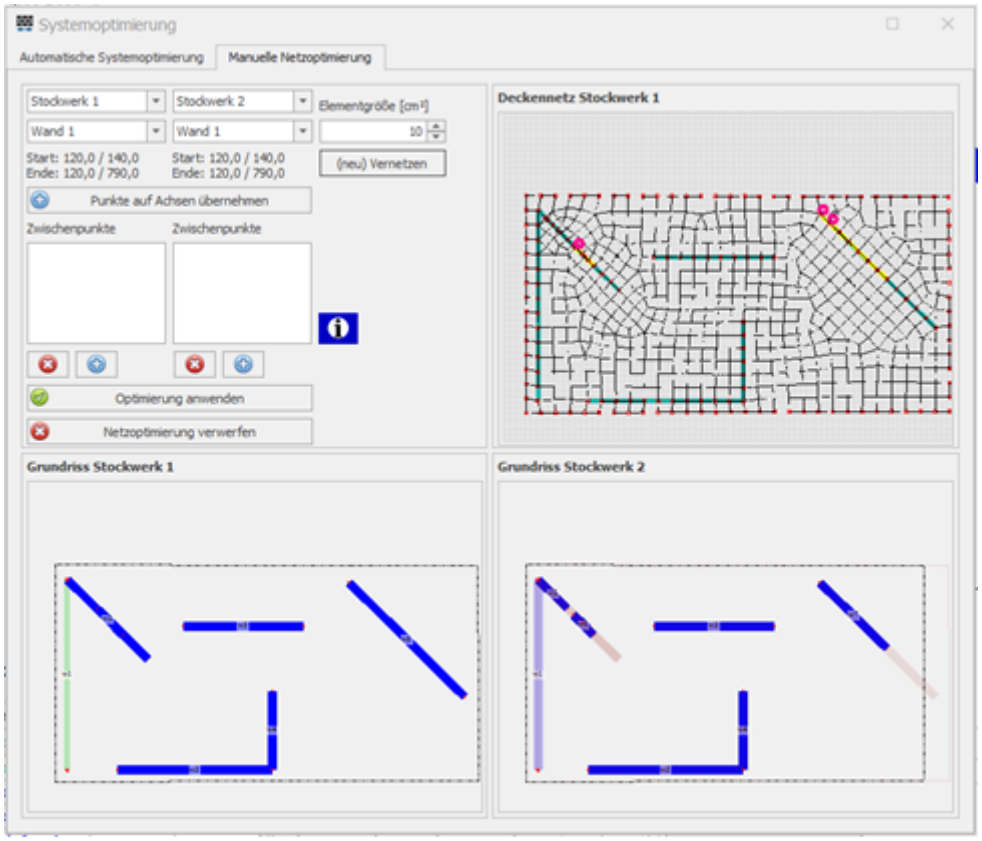


Abbildung 2.24: Manuelle Netzoptimierung

Über den Button (neu) Vernetzen wird das Deckennetz über dem links ausgewählten Stockwerk vernetzt und im Fenster oben rechts angezeigt - ggf. kleine Elemente werden (in Abhängigkeit der eingestellten Elementgröße) rot markiert. Dies deutet auf zu eng beieinanderliegende Zwangspunkte bei der Vernetzung hin. Bei zu kleinen Elementen kann es zu Problemen bei der Berechnung kommen.

Für die manuelle Netzoptimierung im Bereich der Wand W2 im Stockwerk 1 bzw. der darüber liegenden Wände W2 und W6 im Stockwerk 2 werden nun auf der Wand W2 im Stockwerk 1 Zwi-

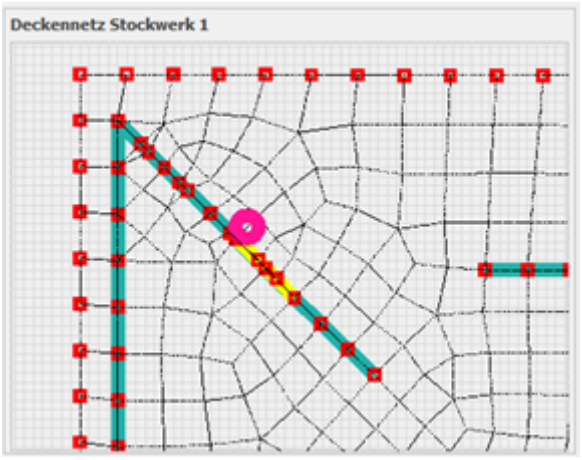


Abbildung 2.25: Darstellung des Deckennetzes mit markierten „kleinen“ Elementen

schenpunkte definiert. Dies kann zum einen automatisch über den Button **Punkte auf Achsen übernehmen** geschehen. Dazu müssen zwei in einem Achsbereich liegende Wandscheiben aus unterschiedlichen Stockwerken ausgewählt sein und es werden automatisch alle Punkte der rechts ausgewählten Wand als Zwischenpunkte auf der links ausgewählten Wand definiert werden. Alternativ können über den Button Zwischenpunkte manuell definiert werden. Es wird hierbei automatisch überprüft, ob der eingegebene Punkt unter Berücksichtigung einer Toleranzabweichung auf der bezogenen Wandachse liegt. Der maximal mögliche senkrechte Abstand eines Zwischenpunktes zur Wandachse ist auf 5 cm begrenzt. Bei der automatischen Definition der Zwischenpunkte über die Funktion **Punkte auf Achsen übernehmen** wird dies ebenfalls überprüft.

Über den Button können einzeln ausgewählte Zwischenpunkte auch wieder gelöscht werden. Alle definierten Zwischenpunkte eines Modells können über den Button **Netzoptimierung verwerfen** gelöscht werden.

In der folgenden Abbildung sind im Fenster unten links u.a. die definierten Wandzwischenpunkte auf der Wand W2 in Stockwerk 1 dargestellt, welche die Wandendpunkte der Wandscheiben W2 und W6 im Stockwerk 2 darstellen.

2.3.3 Nachweis starten

Der Menüpunkt **Nachweis starten** startet den Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit des Mauerwerksgebäudes für den Lastfall Erdbeben bzw. Wind. Weitere Informationen hierzu finden sich in Kapitel 4.

2.3.4 Ergebnisse und Bericht

Der Menüpunkt **Ergebnisse und Bericht** öffnet direkt das Ergebnisfenster, falls der Nachweis be-reits berechnet wurde. Andernfalls erscheint der Hinweis, dass keine Ergebnisse verfügbar sind.

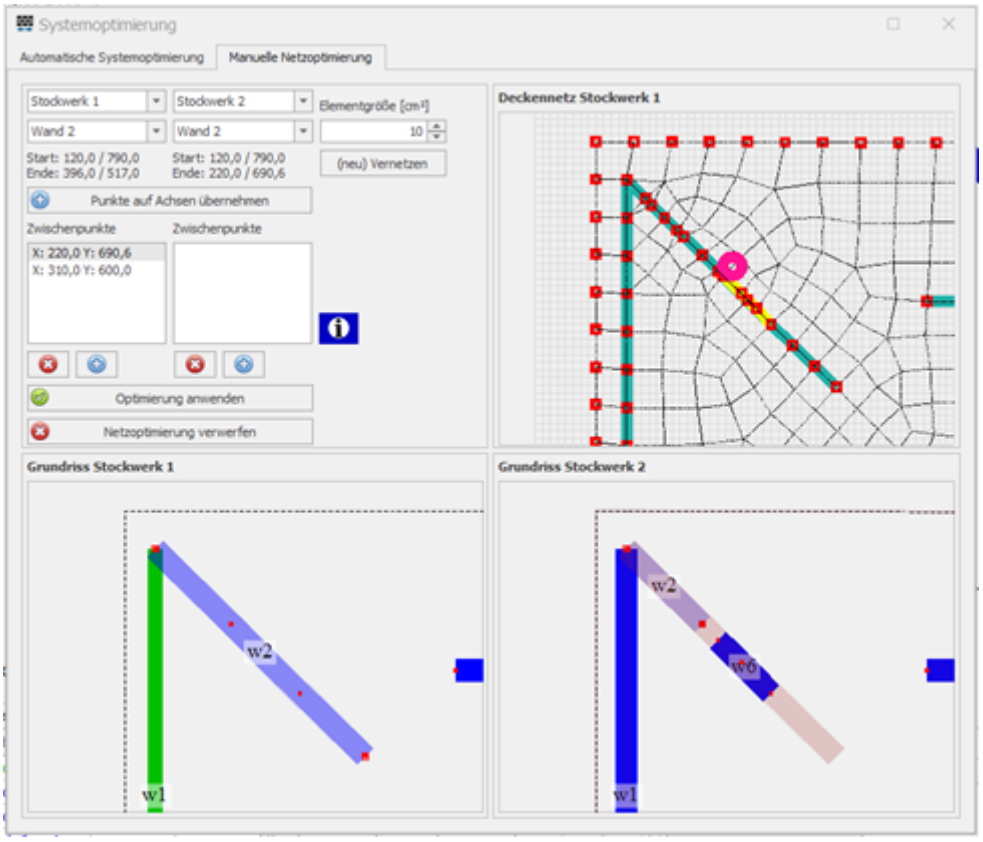


Abbildung 2.26: Manuelle Netzoptimierung inkl. Wandzwischenpunkte Wand W2 in Stockwerk 1

2.3.5 Ergebnisse speichern (nur im 3D Nachweis aktiv)

Der Menüpunkt **Ergebnisse speichern** ermöglicht bei einer Berechnung mit dem 3D Nachweis das Speichern der Ergebnisse.

2.3.6 Ergebnisse laden

Über den Menüpunkt **Ergebnisse laden** können zuvor gespeicherte Ergebnisse dargestellt werden.

2.4 Menü ?

Das Menü **?** enthält die Hilfe sowie Versionsinformationen.

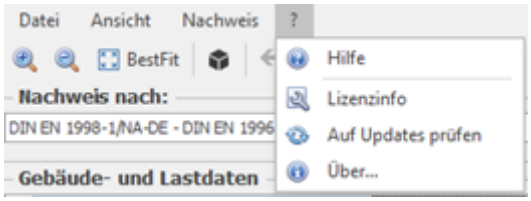


Abbildung 2.27: Menü ?

2.4.1 Hilfe

Der Menüpunkt **Hilfe** zeigt diese Hilfedatei an.

2.4.2 Lizenzinfo

Der Menüpunkt **Lizenzinfo** zeigt ein Dialogfenster mit Informationen über die Nachweismöglichkeiten des Programms und die vorhandene Lizenz an.

2.4.3 Auf Updates prüfen

Der Menüpunkt **Auf Updates prüfen** zeigt an, ob eine aktuellere Version von MINEA verfügbar ist. Durch Aktivierung des Kontrollkästchens, wird bei jedem Programmstart automatisch überprüft, ob eine aktuellere Version vorhanden ist.

2.4.4 Über...

Der Menüpunkt **Über...** zeigt ein Dialogfenster mit Informationen über die Version sowie die installierte Nachweisverfahren des Programms MINEA an.

Kapitel 3

Gebäudemodellierung

Die Modellierung des Gebäudes erfolgt in Abhängigkeit des Nachweisverfahrens. Daher unterscheiden sich die Programmfenster und Eingabemöglichkeiten in Abhängigkeit des gewählten Nachweisverfahrens. Im Folgenden werden die Eingaben detailliert vorgestellt und es wird auf die Unterschiede eingegangen.

3.1 Eingabeoberfläche

Die Eingabe sämtlicher Daten erfolgt über eine benutzerfreundliche, grafische Oberfläche. In untenstehender Abbildung ist das Hauptfenster dargestellt, das beim Programmstart erscheint. Unterhalb der Menüleiste ist dieses in drei Bereiche aufgeteilt. Der größte Teil des Fensters wird von dem Zeichenbereich ① eingenommen. Links davon befindet sich der Eingabebereich ② für allgemeine Gebäude- und Erdbebendaten sowie für Windlasten. Unterhalb davon erfolgt die Eingabe der Stockwerksdaten ③, die aus den vier Registerkarten Wandscheiben, Unterzüge, Stützen und Decke besteht.

Vor Beginn der Eingabe muss aus der Dropdown-Liste im linken Bereich das gewünschte Nachweisverfahren ausgewählt werden. Der generelle Eingabeablauf ist symbolisch durch den blauen Pfeil gekennzeichnet und wird in der folgenden Beschreibung chronologisch dargestellt. Je nach gewähltem Verfahren können sich die Programmfenster, sowie die benötigten Eingaben unterscheiden.

3.2 Gebäude und Lastdaten

Im linken Bereich erfolgt die Angabe allgemeiner Gebäude und Lastdaten. Die Eingaben sind zum Teil abhängig vom gewählten Nachweisverfahren, da mit zunehmendem Modellierungsniveau detailliertere Angaben erforderlich sind. Im Folgenden werden alle Eingaben vorgestellt und daraufhin gewiesen, welches Verfahren welche Angaben erfordert.

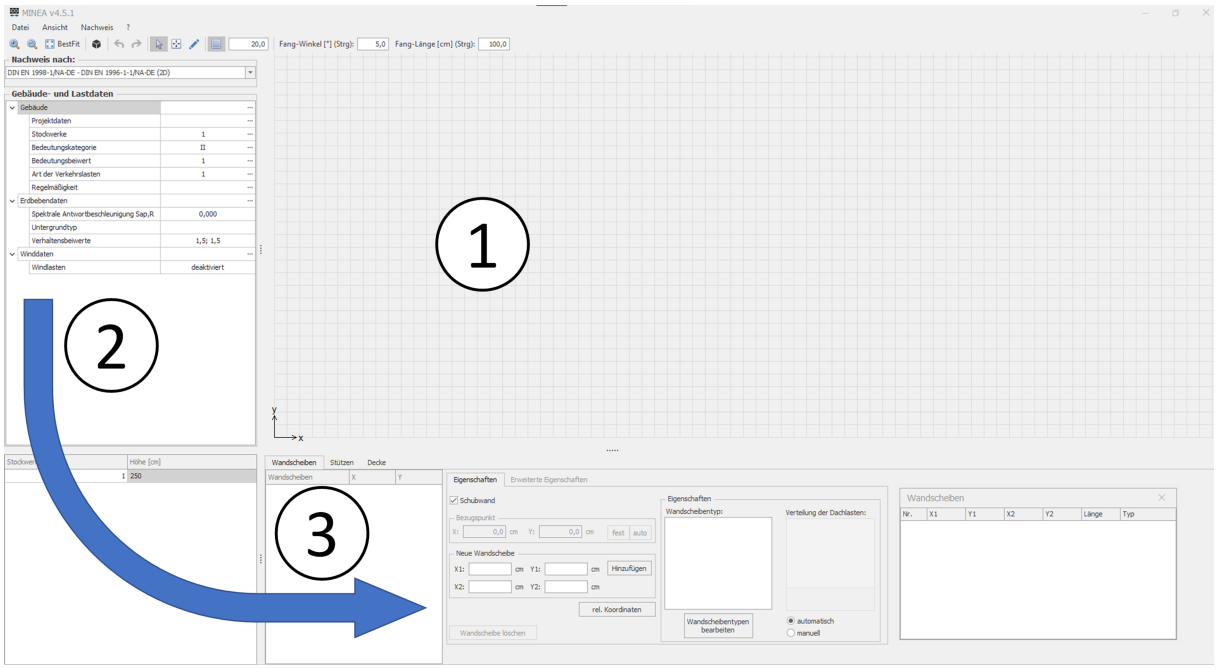


Abbildung 3.1: Eingabeoberfläche

3.2.1 Gebäude

Ein Klick auf den zugehörigen Button zu **Gebäude** öffnet das Dialogfenster Projektdaten, in dem allgemeine Daten zum Projekt eingegeben werden können. Mit **OK** wird das Dialogfenster geschlossen und es werden die übrigen Eingabezeilen **Stockwerke**, **Bedeutungskategorie**, **Bedeutungsbeiwert**, **Art der Verkehrslasten** und **Regelmäßigkeit** in diesem Bereich aufgeklappt.

Durch Klick auf den entsprechenden Button zu **Stockwerke** öffnet sich das Dialogfenster Stockwerkanzahl, in dem die Anzahl der Stockwerke (maximal 5 Stockwerke bei zweidimensionaler Modellierung) einzugeben ist.

Im 3D Nachweisverfahren gibt es bei der Definition der Stockwerkanzahl zusätzlich die Möglichkeit, einen Haken **Alle Stockwerke gleich** zu (de-)aktivieren. Je nach Einstellung können so variable Grundrissdaten sowie Stockwerkhöhen für jedes Stockwerk eingegeben werden bzw. es werden für jedes Stockwerk die gleichen Geometrieeingaben übernommen.

Der Button in der Zeile **Bedeutungskategorie** öffnet ein Dialogfenster zur Auswahl der Bedeutungskategorie nach DIN EN 1998-1/NA, Tabelle NA.5. Damit wird der Bedeutungsfaktor γ_I festgelegt. Als Standardwert ist die Kategorie II vorgewählt ($\gamma_I = 1,0$).

Über den Button in der Zeile **Bedeutungsbeiwert** wird ein Dialogfenster zur Bestimmung des Bedeutungsbeiwertes geöffnet.

Über den Button in der Zeile **Art der Verkehrslasten** wird ein Dialogfenster zur Auswahl der Art der veränderlichen Einwirkung gemäß DIN EN 1998-1/NA Tabelle NA.4 geöffnet. Voreingestellt sind Nutzlasten der Kategorie A - C einschließlich Nutzlasten der Kategorien T und Z.

Über den Button in der Zeile **Regelmäßigkeit** wird ein Dialogfenster zur Überprüfung der Regelmäßigkeitskriterien geöffnet. Da die Kriterien i.d.R. für Mauerwerksbauten als erfüllt betrachtet werden können, werden als Voreinstellung alle Kriterien als erfüllt gesetzt. Diese Abfrage

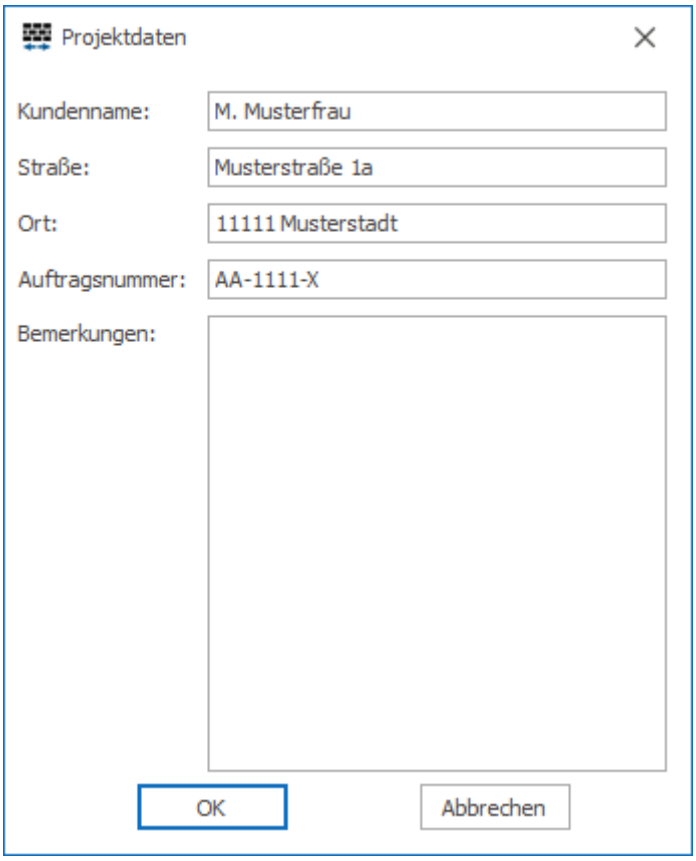


Abbildung 3.2: Projektdaten

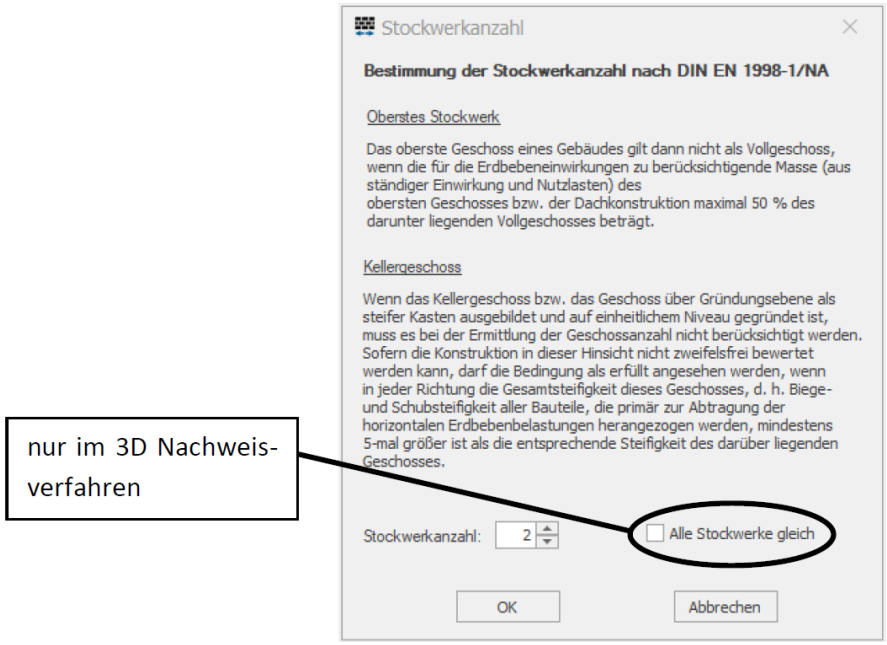


Abbildung 3.3: Stockwerkanzahl

erscheint nur in dem Nachweisverfahren „DIN EN 1998-1/NA-DE - DIN EN 1996-1-1/NA-DE (2D)“, da diese Kriterien hier zur Überprüfung der Anwendbarkeit des vereinfachten Antwortspektrumverfahrens und der Kombination der Erdbebenrichtungen herangezogen werden.

3.2.2 Erdbebendaten

Die standortspezifische Erdbebeneinwirkung wird in dem Dialogfenster **Erdbebendaten** definiert. Die Erdbebendaten können über ein Normspektrum oder über ein **freies Spektrum** definiert werden.

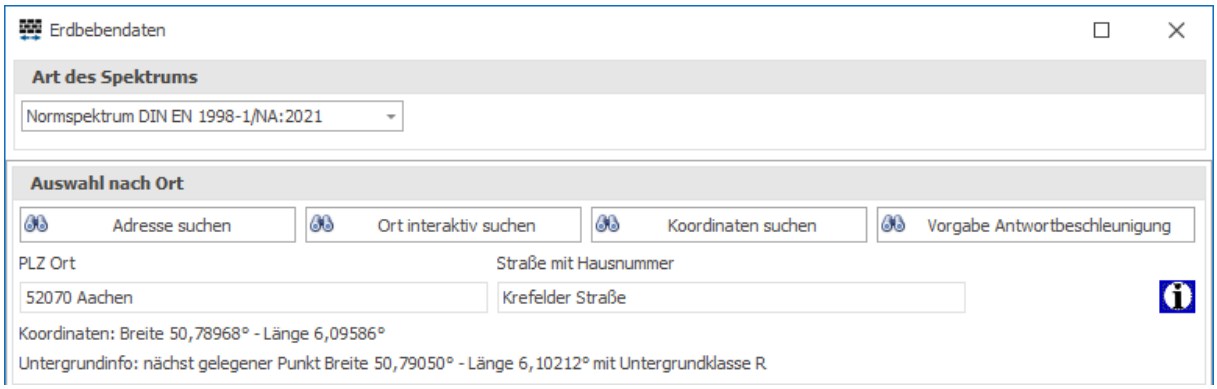


Abbildung 3.4: Eingabemöglichkeiten für die Erdbebendaten

Die Eingabe des Normspektrums kann entweder entsprechend **DIN EN 1998-1/NA:2023** oder gemäß **DIN 4149:2005** erfolgen. Für das Normspektrum nach DIN EN 1998-1/NA:2023 kann die Auswahl des Gebäudestandortes entweder direkt über die Option **Adresse suchen** mit der Angabe einer Adresse oder über **Ort interaktiv suchen** über eine grafisch interaktive Kartensuche oder über **Koordinaten suchen** durch eine direkte Eingabe der geografischen Koordinaten erfolgen. Auf Grundlage der jeweiligen Eingaben erfolgt die Ermittlung der standortspezifischen Antwortbeschleunigung anhand einer im Programm hinterlegten Datenbank. Alternativ kann auch, sofern bekannt, über die Option **Vorgabe Antwortbeschleunigung** direkt die Antwortbeschleunigung am Gebäudestandort eingegeben werden. Für das Normspektrum nach DIN 4149:2005 erfolgt die Auswahl der jeweiligen Erdbebenzone und Untergrundkombination.

Mit den zusätzlichen Informationen über die Untergrund- und Baugrundklasse sowie den Verhaltensbeiwert q bzw. die richtungsabhängigen Verhaltensbeiwerte q_x und q_y wird das normative Bemessungsantwortspektrum bestimmt.



Die Aktivierung der Auswahl „kein ansteigender Verlauf des Antwortspektrums“ führt dazu, dass für kleine Perioden des Antwortspektrums konservativ der Plateauwert übernommen wird.

Alternativ ist auch die Eingabe eines freien Spektrums möglich. Dies steht in allen Nachweisverfahren, außer bei „DIN EN 1998-1/NA-DE - Vereinfachter Nachweis“ zur Verfügung.

Die Definition eines freien Spektrums ist zum einen über die manuelle Eingabe von Punkten (T[s]/Se(T)[m/s²]) möglich. Alternativ können auch Wertepaare direkt in das Datenfeld kopiert werden (bspw. aus Excel). Die Eingabe des freien Spektrums erfolgt über Bemessungswerte für einen Bedeutungsbeiwert $\gamma_I = 1,0$. Eine gesonderte Eingabe der Verhaltensbeiwerte q ist nicht mehr nötig.

Wurde das Dialogfenster **Erdbebendaten** durch Drücken auf den Button **OK** geschlossen, werden die eingegebenen Werte übernommen und in den entsprechenden Zeilen des linken Hauptmenüs angezeigt.

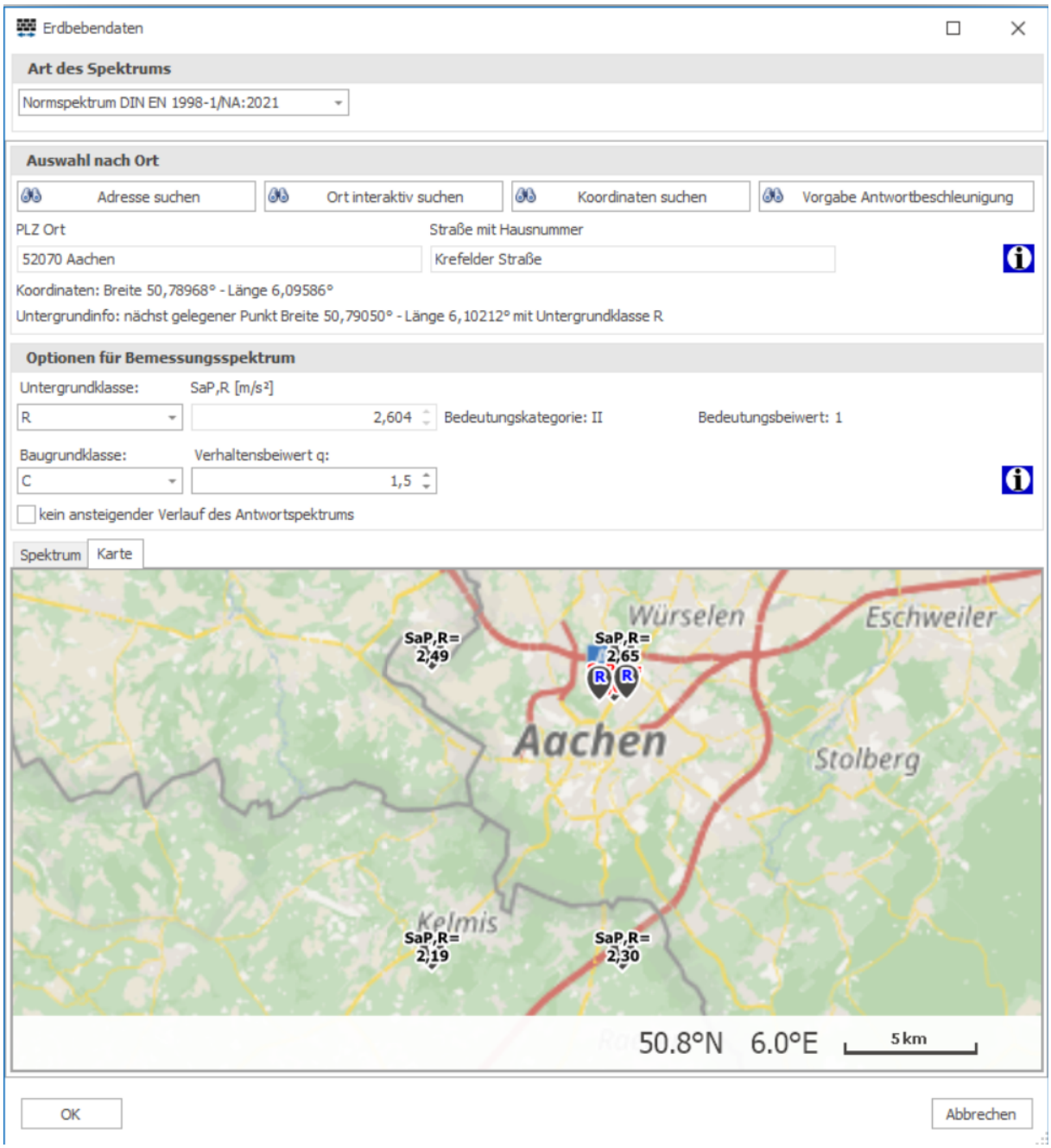


Abbildung 3.5: Eingabefenster für die Erdbebendaten

3.2.3 Winddaten

2D Nachweisverfahren

Die standortspezifischen Windlasten werden in dem Dialogfenster **Winddaten** definiert. Bei der Eingabe der Windlasten besteht die Möglichkeit die Windlasten stockwerksweise und richtungsabhängig zu definieren (Berechnungsmethode: **Manuell**). Neben der Lastdefinition ist auch die Eingabe des Lastangriffspunktes erforderlich. Hierbei sind absolute Koordinaten zu verwenden.

Alternativ hierzu besteht die Möglichkeit zur Auswahl der Windzone sowie der zugehörigen

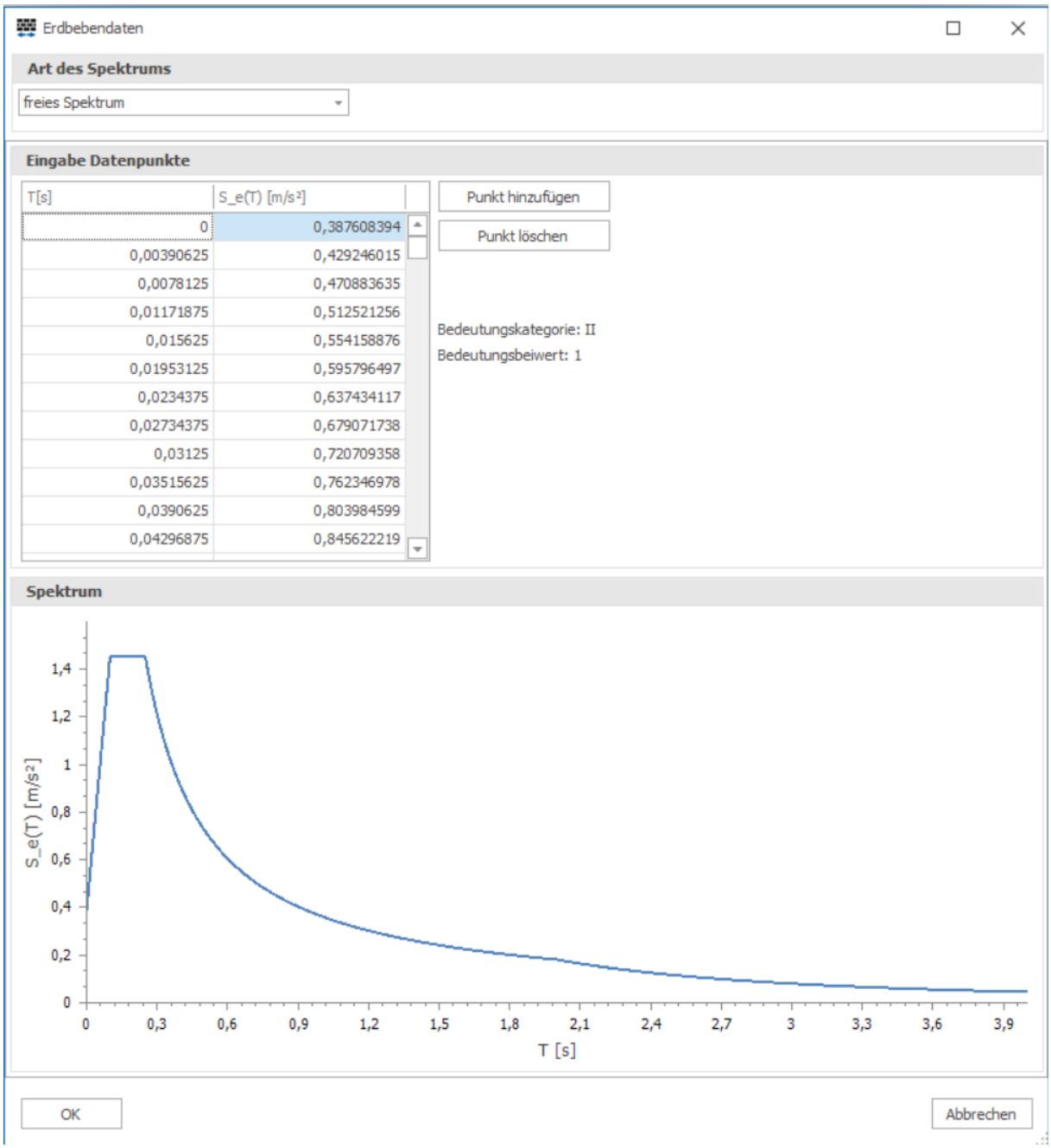


Abbildung 3.6: Eingabefenster Freies Spektrum

Geländekategorie gemäß DIN EN 1991-1-4/NA (Berechnungsmethode: **Automatisch**). Anhand dieser erfolgt eine automatisierte Ermittlung der resultierenden Gesamtwindkraft je Richtung, basierend auf der angeströmten Gebäudefläche unter der konservativen Annahme eines Kraftbeiwertes $c_f = 2,0$ nach DIN EN 1991-1-4 sowie eines gleichmäßigen Geschwindigkeitsdrucks über die gesamte Gebäudehöhe gemäß DIN EN 1991-1-4/NA. Zusätzlich wird hierbei eine Schiefstellung gemäß DIN EN 1996-1-1 5.3(2) ermittelt und innerhalb der berechneten Windlasten berücksichtigt. Die Aufteilung der Gesamtwindkräfte je Richtung erfolgt entsprechend der Geschossflächen auf die einzelnen Geschosse. Dabei wird für die oberste Geschossdecke die Fläche des halben Vollgeschosses angesetzt. Mittels des Faktors für das Dach besteht die Möglichkeit zur Berücksichtigung der Windlast auf das Dach oder Giebelwände innerhalb

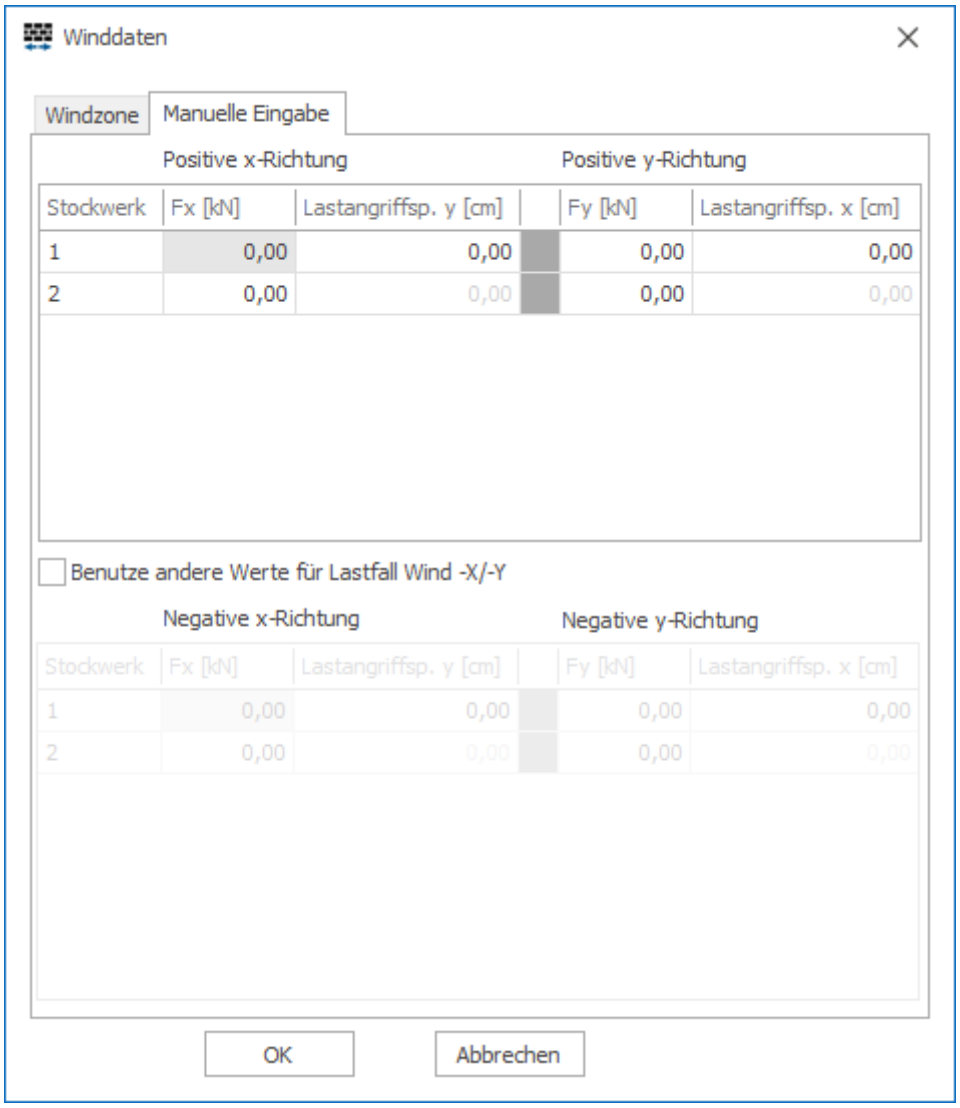


Abbildung 3.7: Manuelle Eingabe der Winddaten (2D)

der Windlast auf die oberste Geschossdecke. Ein **Faktor Dach** von 1,0 entspricht dabei einer Verdopplung der zugrunde gelegten angeströmten Fläche des obersten Geschosses. Ein **Faktor Dach** von 0 entspricht einer Vernachlässigung der Windlast auf die Dachkonstruktion. Der Lastangriffspunkt entspricht hierbei dem Flächenschwerpunkt.

Eine Prüfung sowie eine nachträgliche Bearbeitung der automatisch berechneten Windkräfte ist durch Schließen des Dialogfensters **Winddaten** mittels eines Klicks auf **OK** und einem anschließenden erneuten Öffnen des Dialogfensters in Verbindung mit einem Wechsel der Berechnungsmethode für die Windlasten auf **Manuell** möglich. Die berechneten Windlasten werden dann innerhalb des Reiters **Manuelle Eingabe** angezeigt und können weiterbearbeitet werden.

Mit einem Klick auf **OK** werden die Daten übernommen und in den entsprechenden Zeilen des Hauptmenüs angezeigt.

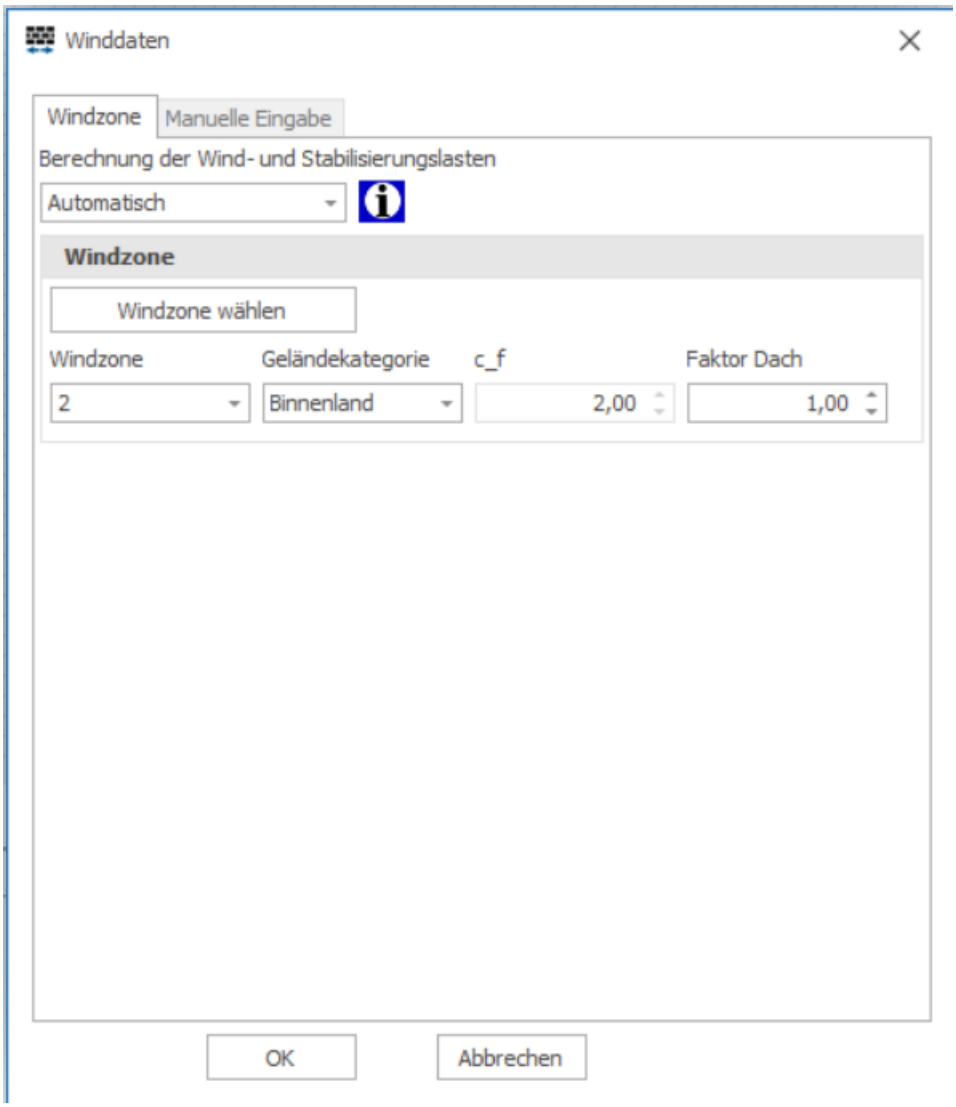


Abbildung 3.8: Automatische Ermittlung der Winddaten anhand der Windzone (2D)

3D Nachweisverfahren

Im Rahmen der dreidimensionalen Berechnung werden die **Winddaten** ebenfalls stockwerksweise und richtungsabhängig eingegeben. Die eingegebenen Lasten werden über die Deckenfläche verschmiert je Geschoss und Richtung aufgebracht. Die Resultierende je Richtung greift somit im Flächenschwerpunkt der Deckenfläche an.

Über die Definition eines Torsionsfaktors können Torsionseinflüsse für jede Richtung separat erfasst werden. Mit dem eingegebenen Faktor werden die infolge Wind auftretenden Einwirkungen erhöht.

3.2.4 Netz-Parameter (nur im 3D Nachweis aktiv)

In dem Dialogfenster **Netz-Parameter** werden die Parameter für die Netzgenerierung festgelegt. Dabei können die Elementlänge, die Wand-zu-Wand-Kopplung sowie die Wand-zu-Decke-Kopplung jeweils über Auswahllisten festgelegt werden.

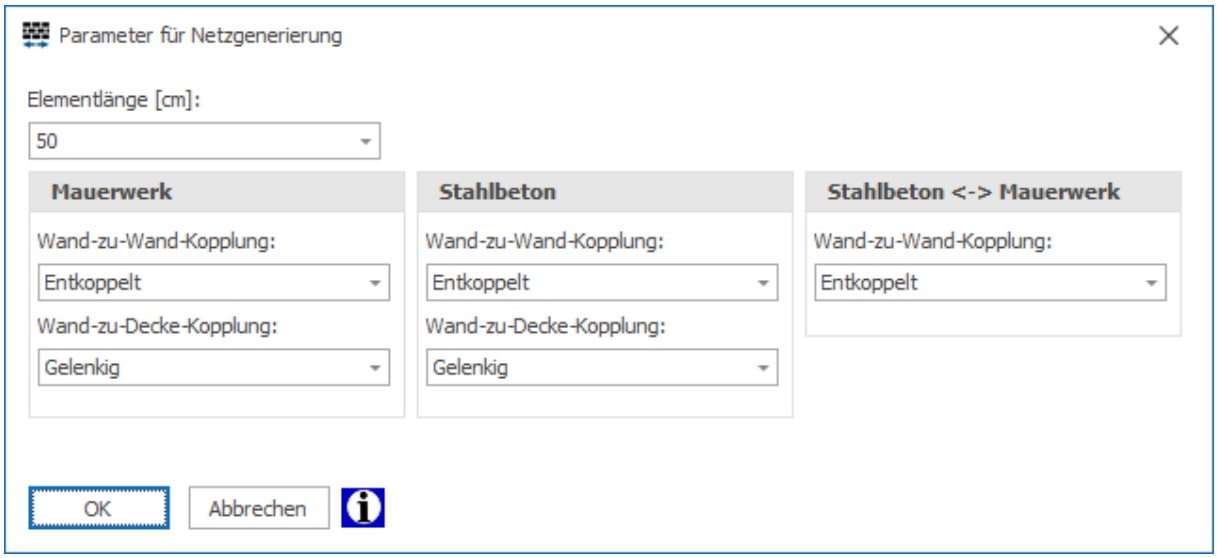


Abbildung 3.9: Netzparameter

Elementlänge

Die Elementlänge kann zwischen 10 und 200 cm eingestellt werden und steuert die Feinheit des Finite-Elemente-Netzes. Entsprechend kann damit auch die Rechengenauigkeit sowie die Rechendauer reguliert werden. Für jede Wandscheibe werden jedoch, unabhängig von der eingestellten Elementlänge, immer mindestens 4 Elemente in Wandlängsrichtung und 5 Elemente über die Wandhöhe modelliert.

Die definierte Elementlänge ist die maximale Elementlänge für die Vernetzung von Wänden und Decken. Bei der Vernetzung können sich auch abweichend kleinere Elementlängen ergeben.

Wand-zu-Wand-Kopplung

Mit der Einstellung Wand-zu-Wand-Kopplung wird die Kopplung der Elemente entlang der vertikalen Fuge zweier angrenzender Wandscheiben definiert. Diese kann als entkoppelt, gelenkig oder biegesteif gesetzt werden. Dabei ist es möglich unterschiedliche Kopplungsmechanismen für die Verbindung von Mauerwerks- und Stahlbetonwänden zu definieren. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen exemplarisch Verformungsfiguren bei einem Modell mit entkoppelten Wandscheiben, bei dem sich zwei angrenzende Wandscheiben unabhängig voneinander bewegen können, und einem mit gelenkig gekoppelten Wandscheiben.

Im Falle gelenkig (oder biegesteif) gekoppelter Wände ist zu beachten, dass die Übertragung aller in der Kopplungsfuge berechneten Schubkräfte (und Biegemomente) im Nachlauf separat nachgewiesen werden muss.

Wand-zu-Decke-Kopplung

Mit der Einstellung Wand-zu-Decke-Kopplung wird die Kopplung der Elemente entlang der horizontalen Fuge zwischen Wand- und Deckenelementen definiert. Es stehen die Einstellungen gelenkig oder biegesteif zur Verfügung. Die Kopplungsoption bezieht sich immer auf die Kopplung einzelner Knoten der Elemente, so dass bei beiden Kopplungsoptionen Biegemomente

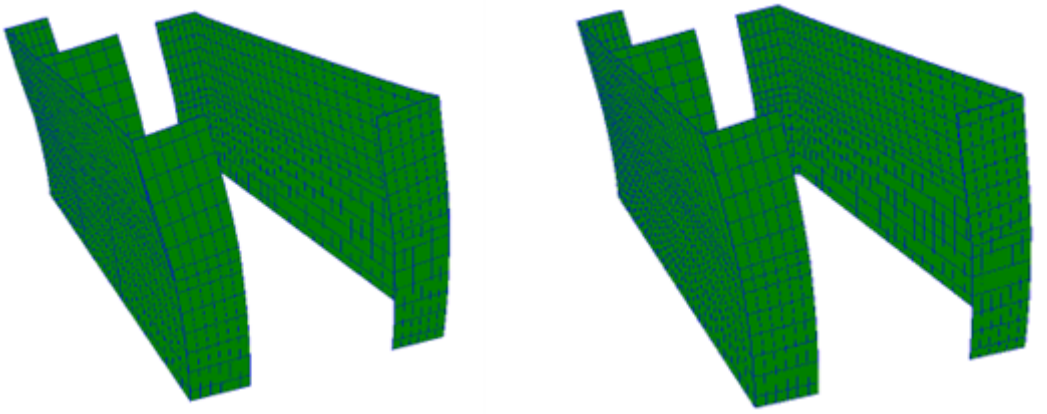


Abbildung 3.10: Verformungsfiguren Wände entkoppelt (links) und gelenkig (rechts)

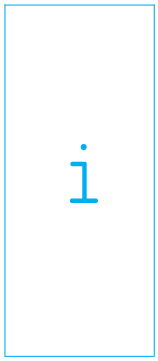
zwischen Wandscheiben und Decke übertragen werden. Es ist zu beachten, dass im Falle einer Kopplung zwischen Wand- und Deckenelementen die übertragenden Biegemomente in der Decke nachgewiesen werden müssen.

3.2.5 Berechnungs-Parameter (nur im 3D Nachweis aktiv)

In einem weiteren Dialogfenster werden die **Berechnungs-Parameter** eingestellt.

Anzahl der Eigenfrequenzen / Anzahl der Kontrollfrequenzen

Die Anzahl der Eigenfrequenzen (NEIR) sowie der Kontrollfrequenzen (NEIK) wird jeweils über ein Eingabefeld definiert.



Zur Verbesserung der Konvergenz wird mit NEIK Eigenvektoren iteriert. Hierbei gelten folgende Bedingungen:

NEIR $\geq$ 1
NEIK $\geq$ NEIR + 1

In den Berechnungsergebnissen ist zu prüfen, ob mit der gewählten Anzahl von Eigenfrequenzen die nach Norm geforderte modale Masse aktiviert wurde.

Überlagerungsregel

In MINEA erfolgt die Überlagerung der modalen Schnittgrößen nach der SRSS-Regel (square root of the sum of the squares mode combination method).

Zufällige Torsionseffekte

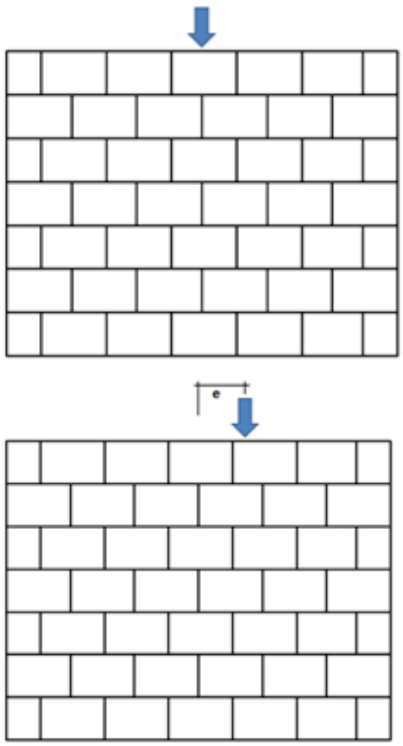
Über die Aktivierung eines Hakens kann festgelegt werden, dass zufällige Torsionseffekte bei der Berechnung berücksichtigt werden sollen. Die Berechnung der zufälligen Torsionseffekte erfolgt nach Abschnitt 4.3.2(1) der DIN EN 1998-1:

$$e_{ai} = \pm 0,05 \cdot L_i$$

Exzentrizitäten aus Vertikallasten

Im Rahmen der Berechnung eines Gebäudemodells mittels der Finite-Elemente Methode können aus den dreidimensionalen Verformungszuständen unter vertikaler Beanspruchung durch Eigengewicht und vertikale Verkehrslasten Biegemomente und Schubkräfte in den Wandscheiben entstehen. Dies ist durch die gegebenenfalls exzentrisch angreifenden Vertikalkräfte zu begründen.

Mit einem Schalter kann gesteuert werden, ob diese Exzentrizitäten aus Vertikallasten berücksichtigt werden sollen oder nicht. Wenn der Haken eingeschaltet ist, werden die aus den in Längsrichtung der Wand exzentrisch angreifenden Normalkräften resultierenden Querkräfte und Momente ausgegeben und sowohl in der LFK ständig + vorübergehend als auch in der Erdbebenkombination berücksichtigt und mit den Einwirkungen aus den Erdbebenlasten sowie den Windlasten überlagert. Sofern der Haken nicht gesetzt ist, werden ausschließlich die Normalkräfte aus den vertikalen Lasten (Eigengewicht, vertikale Verkehrslasten) berücksichtigt und überlagert.



⇒ Normalkraft

⇒ Normalkraft, Querkraft, Moment

Abbildung 3.11: Normalkrafteinwirkung auf einzelne Wände ohne und mit Lastexzentrizität aus Vertikallasten

Aus Vertikallasten ergeben sich im 3D-Modell zusätzliche Schnittgrößen aus Lastexzentrizitäten. Diese werden bei 2D-Berechnungen in der Regel vernachlässigt. Bei Aktivierung werden die zusätzlichen Schnittgrößen berücksichtigt.

3.3 Modell und Materialdaten

Die Stockwerksdaten werden im unteren Teil des Hauptfensters eingegeben. Die Eingabe umfasst sowohl die Eingabe der Geometrie als auch der Materialparameter. Dazu gehört die Eingabe der Stockwerkshöhe und der einzelnen Elemente (Wandscheibe, Unterzug, Stütze, Decke), welche auf den Registerkarten im unteren rechten Bereich eigegeben werden.

3.3.1 Stockwerk

Je nach Eingabe der Stockwerkanzahl unter **Gebäudedaten** wird im linken unteren Bereich eine entsprechende Anzahl von Stockwerkszeilen angezeigt, denen in der rechten Spalte eine Höhe zugewiesen werden kann.



Eine variable Eingabe der Stockwerksgeometrie je Geschoss ist nur in der 3D Berechnung vorgesehen. Gebäude mit mehreren Geschossen haben in der 2D Berechnung grundsätzlich die gleiche Stockwerksgeometrie und Höhe.

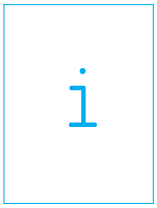
Im 3D Nachweisverfahren können, sofern der Haken unter **Alle Stockwerke** gleich (s. a. Abschnitt 3.2.1) deaktiviert ist, unterschiedliche Stockwerkshöhen eingegeben werden.

Die Eingaben der weiteren Geometriedaten der Wände, Unterzüge, Stützen und Decken können dann jeweils für das im Eingabebereich der Stockwerkshöhen markierte Geschoss (s. Abbildung 3.12) separat durchgeführt werden.

Stockwerk	Höhe [cm]
1	280
2	280

Abbildung 3.12: Eingabe Stockwerkshöhen

Für den Fall, dass der Haken **Alle Stockwerke gleich** aktiviert ist, gelten auch im 3D Nachweisverfahren für alle Stockwerke dieselbe Höhe sowie dieselben Grundrissdaten.



Grundsätzlich sind innerhalb der rechnerischen Nachweise die Stockwerkshöhen als Achsmaße (Abstand der Deckenmittellinien) einzugeben. Innerhalb des vereinfachten Nachweises erfolgt die Angabe der lichten Geschosshöhe bei der Stockwerkshöhe (Abstand Oberkante der unteren Decke zu Unterkante der oberen Decke).

3.3.2 Wandscheiben

Wird erstmals ein Stockwerk ausgewählt, so wird die Registerkarte **Wandscheiben** angezeigt. Bevor die erste Wandscheibe eingegeben wird, empfiehlt es sich die verschiedenen Wandscheibentypen für die jeweiligen Wände einzugeben.

Durch Klick auf den Button **Wandscheibentypen bearbeiten** öffnet sich das Fenster **Eigenschaften verwalten**.

Mit **Typ anlegen** bzw. **Typ löschen** wird die Liste der Wandscheibentypen verwaltet. In der Auswahlliste **Materialart** stehen verschiedene Optionen zur Verfügung, für die unterschiedliche Materialeigenschaften definiert werden können. Mit dem Button **als St.-Typ speichern** kann die aktuelle Materialkonfiguration als Standardtyp lokal auf dem Computer abgespeichert werden.

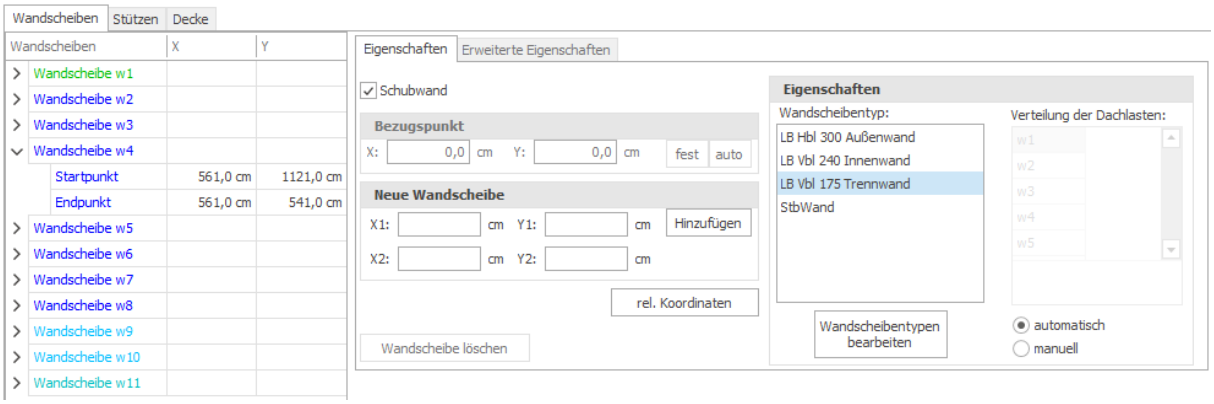


Abbildung 3.13: Registerkarte Wandscheiben - Eigenschaften

Alle vorhandenen Standardtypen werden links unten in der Box **Standardtypen** angezeigt, von wo aus diese jederzeit wieder geladen werden können. Der Button **St.-Typ löschen** entfernt den aktivierten Standardtyp.

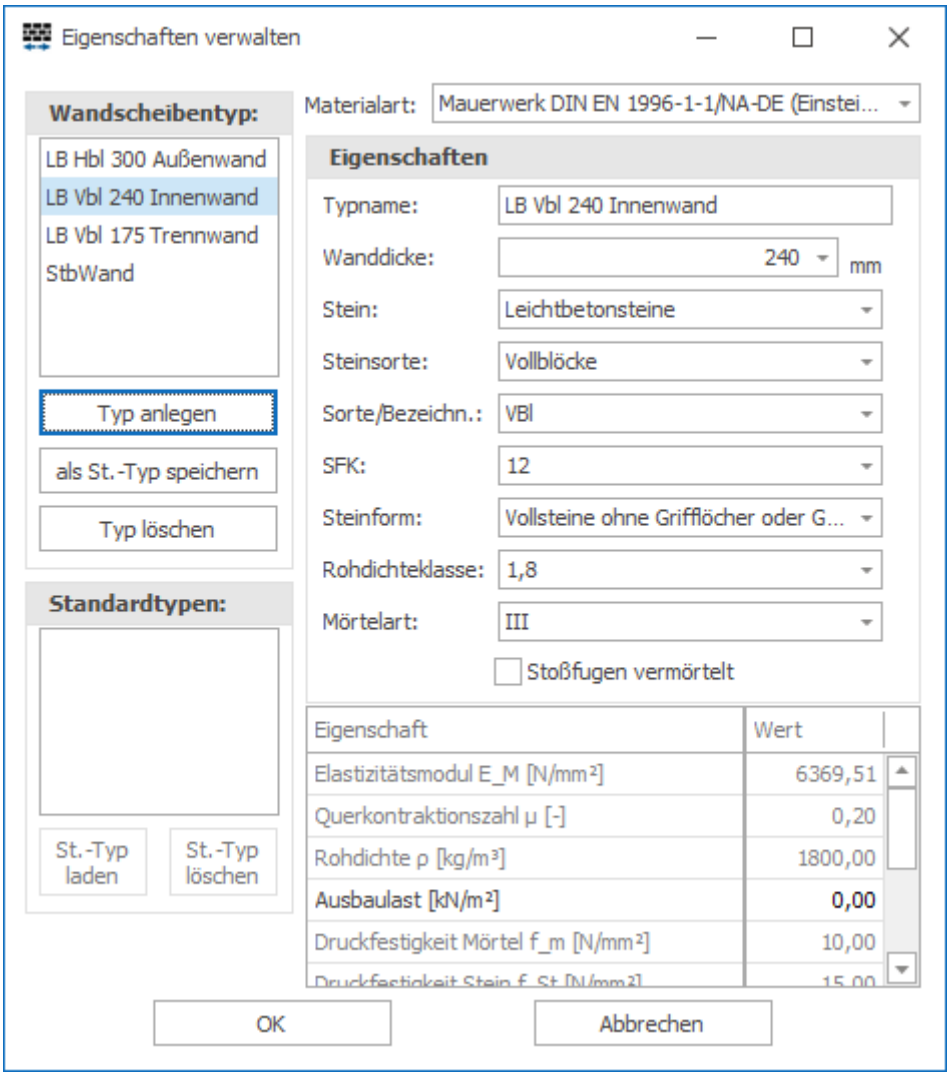


Abbildung 3.14: Wandeigenschaften

Als Materialarten stehen Mauerwerk nach DIN EN 1996-1-1/NA (Einsteinmauerwerk), beliebiges Mauerwerk, vereinfachtes Mauerwerk (nur im vereinfachten Nachweisverfahren) und Stahlbeton (nach DIN EN 1992-1-1 oder beliebig) zur Verfügung. Ersteres ergibt sich nach DIN EN 1996-1-1/NA Tabelle NA.4 bis NA.10. Handelt es sich bei dem Mauerwerk um Elementmauerwerk (ergibt sich aus der ausgewählten Steinsorte), so müssen bei den Eigenschaften zusätzlich noch Angaben zum planmäßigen Überbindemaß l_{ol}/h_u, zur Elementhöhe h_u und zur Elementlänge l_u bei den Eigenschaften eingegeben werde. Bei Wahl eines beliebigen Mauerwerks müssen alle erforderlichen Materialeigenschaften direkt eingegeben werden. Dieses ist beim Nachweisverfahren „DIN EN 1998-1/NA-DE - Vereinfachter Nachweis“ nur in reduzierter Form erforderlich (Mauerwerk vereinfacht). Zusätzlich können noch Wände aus Stahlbeton nach DIN EN 1992 bzw. Stahlbeton beliebig definiert werden.

In dem Bereich **Verteilung der Dachlasten** kann im Nachweisverfahren „DIN EN 1998-1/NA-DE - DIN EN 1996-1-1/NA-DE (2D)“ festgelegt werden, ob die in der Registerkarte eingegebenen Dachlasten automatisch oder manuell auf die vorhandenen Wände verteilt werden sollen. Die Aufteilung erfolgt prozentual.

Zu jeder Wand können auch noch die **Erweiterten Eigenschaften** definiert werden. Durch Aktivierung einer Wand (entweder im Zeichenbereich oder im linken Bereich der Registerkarte Wandscheibe) können zu dieser die Eigenschaften bezüglich der haltenden Wände, der bezogenen Deckenauflagertiefe und der planmäßigen Ausmitte am Wandkopf, in Wandmitte und am Wandfuß in Plattenrichtung eingegeben werden. Bei Verwendung des 2D Nachweisverfahrens besteht darüber hinaus die Möglichkeit der Eingabe eines Momentenverteilungsfaktors sowie der mitwirkenden Plattenbreite und der freien Wandlänge, die im Rahmen der Verwendung des Nachweisformates nach DIN EN 1996-1-1/NA Anhang K (Abschnitt 4.2.1) benötigt werden. Innerhalb des 3D Nachweisverfahrens besteht zusätzlich die Möglichkeit eine Wandscheibe als vollständig überdrückt zu kennzeichnen. Dies kann z.B. bei Bewehrungseinfassungen mit Schalungssteinen (s. auch Beispiel in Abschnitt 6.5) erfolgen. Wenn dies aktiviert ist, erfolgt bei der Berechnung des Bemessungswerts der Schubtragfähigkeit nach DIN EN 1996-1-1 (Abschnitt 5.3.4) der Ansatz der gesamten Wandlänge als überdrückte Länge.

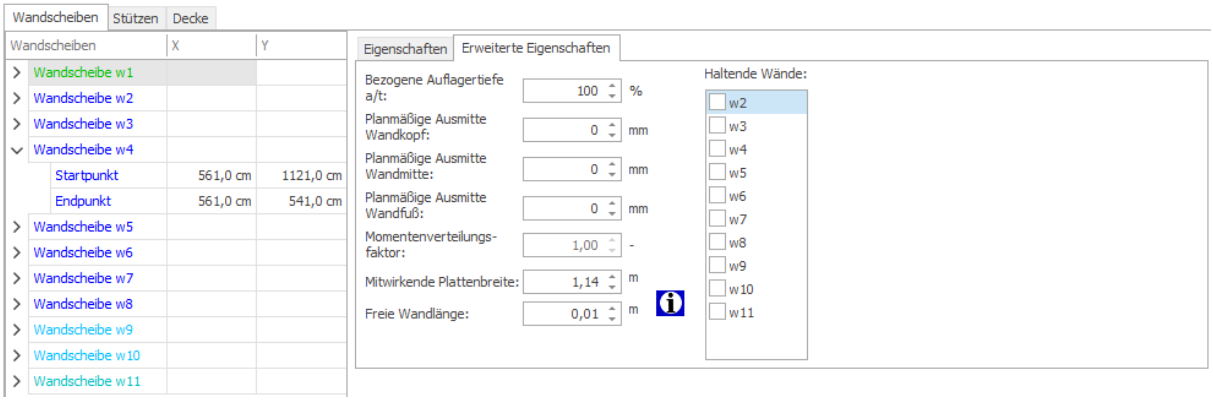


Abbildung 3.15: Registerkarte Wandscheiben - Erweiterte Eigenschaften (2D)

Die Eingabe der Wandkoordinaten sollte in der Regel (aber unter Beachtung der konstruktiven Ausführung) mit den Achsmaßen als Kombination aus Wandlänge und Wanddicke erfolgen. Der Benutzer sollte die in nachfolgender Abbildung angegebenen konstruktiven Ausführungen bei der Eingabe der Wandkoordinaten berücksichtigen.

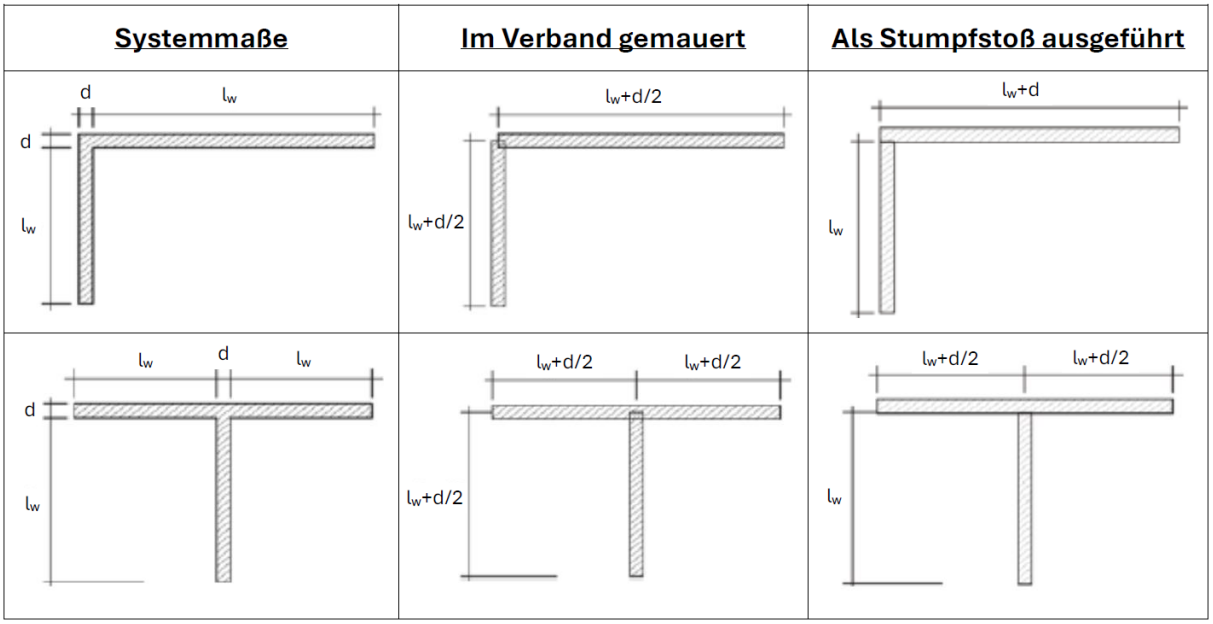


Abbildung 3.16: Konstruktive Ausführung von Mauerwerk

Die eingegebenen Wandscheiben werden im Zeichenbereich dargestellt. Die Anzeige ist maßstabsgetreu und für die verschiedenen, verwendeten Mauerwerkseigenschaften werden unterschiedliche Farben verwendet. Die Farbgebung erfolgt nicht nach einer festen farblichen Zuordnung, sondern in der Reihenfolge, in der die verwendeten Mauerwerkseigenschaften ausgewählt wurden. Die Farbgebung kann im Menü unter **Datei, Einstellungen**, Registerkarte **Farbauswahl** vorgegeben werden. Die Dicke der Wandscheibe wird über die Strichstärke dargestellt.

Für die Eingabe der Wandscheiben werden dem Benutzer verschiedene Möglichkeiten angeboten. Eine direkte Eingabe mittels globaler oder relativer Koordinaten über die Tatstatur oder grafisch interaktiv mit der Maus. Es ist jederzeit möglich, zwischen diesen Eingabemöglichkeiten zu wechseln.

Die Eingabe der Wände kann entweder über die Tastatur oder per Maus erfolgen. Dabei muss beachtet werden, dass nur positive Koordinaten zugelassen sind.

Eingabe der Wände über die Tastatur

Die Eingabe der Wände kann über die Tastatur erfolgen. Dazu muss der **Auswahlmodus** aktiviert sein. Dabei muss beachtet werden, dass nur positive Koordinaten zugelassen sind. Werden negative Koordinaten eingegeben, so erscheinen ein entsprechender Hinweis und die Möglichkeit, den gesamten Grundriss zu verschieben.

In den Eingabefeldern im Kasten **Neue Wandscheibe** werden für die Wandscheibe der Anfangs- und Endpunkt eingegeben. Alle Koordinatenwerte werden in [cm] angegeben, wobei der Anfangspunkt durch das Wertepaar **(X1, Y1)**, der Endpunkt durch das Wertepaar **(X2, Y2)** bestimmt ist. Durch **Hinzufügen** wird eine neue Wandscheibe angelegt.

Zum Ändern des Wandscheibentyps muss die jeweilige Wand in der linken Box **Wandscheiben** aktiviert werden. Durch Klick auf den gewünschten Wandscheibentyp in der rechten Box **Eigen-**

schaften wird der Wand der Wandscheibentyp zugewiesen. Zudem kann der Wandscheibentyp durch **Rechtsklick** → **Material zuweisen** auf die entsprechende Wand im Zeichenbereich angepasst werden. Hierzu muss der **Auswahlmodus** aktiviert sein.

Die Eingabe der Koordinaten kann auf zwei Arten erfolgen:

1. Die Koordinaten werden über das globale, kartesische Koordinatensystem eingegeben. Der Ursprung des Koordinatensystems befindet sich unten links im Zeichenfeld. Diese Möglichkeit ist standardmäßig eingestellt.
2. Durch Aktivieren des Buttons **rel. Koordinaten** können die Wände über ein Relativ-Koordinatensystem eingegeben werden. Es stehen zwei Varianten der Bezugspunktwahl zur Verfügung, **fest** bzw. **auto**. Durch **fest** wird das Bezugskoordinatensystem auf die eingegebene Position gesetzt, durch **auto** springt das Koordinatensystem jeweils zum Endpunkt der gerade erstellten Wandscheibe.



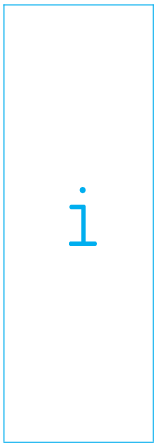
Mit der Tabulator-Taste kann zwischen den Eingabefeldern gewechselt werden (SHIFT + Tabulator um zurück zu springen). Nach Eingabe einer Wandscheibe springt der Cursor automatisch wieder in das Feld **X1**.

Die Wandkoordinaten können jederzeit in der linken Box **Wandscheiben** angepasst werden.

Eingabe der Wände per Maus

MINEA bietet die Möglichkeit einer grafischen Eingabe des Grundrisses per Maus. Dazu muss der Button **Zeichenmodus aktivieren** aktiviert sein. Während des Zeichnens erscheinen neben dem Mauszeiger die aktuellen Koordinaten im globalen Koordinatensystem. Durch Klicken der linken Maustaste wird der Startpunkt der Wand festgelegt, durch einen weiteren Klick mit der linken Maustaste wird der Endpunkt der Wand gesetzt, der gleichzeitig Startpunkt der nächsten Wand ist. Dies bietet die Möglichkeit, mehrere Wände hintereinander zu zeichnen. Mit der rechten Maustaste oder Esc wird dieser Vorgang abgebrochen.

Durch **Raster aktivieren** erscheint ein Gitter aus Hilfslinien. Der Abstand der Gitterlinien kann im benachbarten Feld in [cm] angegeben werden. Ist das Raster aktiviert, fängt der Cursor die Schnittpunkte der horizontalen und vertikalen Linien.



Zusätzlich kann noch eine weitere Fangfunktion aktiviert werden. Es kann ein **Fang-Winkel [°]** und eine **Fang-Länge [cm]** vorgegeben werden. Wird die STRG-Taste bei der Eingabe gedrückt gehalten, dann rastet der Cursor bei der Eingabe der Wände im eingegebenen Winkel ein. Ist z.B. ein Winkel von 30°vorgegeben, so rastet der Cursor bei 0°, 30°, 60°usw. ein. Falls im **Feld Fang-Länge [cm]** ein Wert eingetragen ist, rastet der Cursor bei gedrückt gehaltener STRG-Taste unabhängig von dem ausgewählten Fangwinkel jeweils bei einem Vielfachen der eingetragenen Länge ein. **Fang-Länge [cm]** und **Fang-Winkel [°]** werden durch Drücken der STRG-Taste gleichzeitig aktiviert. Soll nur eine Funktion aktiviert werden, so muss im anderen Feld der Wert Null eingetragen sein.



Während der Button **Zeichenmodus aktivieren** aktiviert ist, ist es nur möglich, Wände per Maus einzugeben. Durch Aktivierung des Buttons erfolgt der Wechsel zur Koordinateneingabe, wie in Abschnitt 3.3.2 beschrieben.

Bei aktiviertem **Auswahlmodus** kann mit der Maus ein Rechteck aufgezogen und somit mehrere Wände gleichzeitig ausgewählt werden. Durch Drücken des Buttons Wandscheibe löschen im unteren Bereich der Registerkarte Wandscheibe werden die aktuell ausgewählten Wandscheiben gelöscht. Gleiches kann mit Rechtsklick → Löschen auf die entsprechende Wandscheibe bzw. durch Auswählen der Wandscheibe und Drücken des Knopfes „Entfernen“ auf der Tastatur erreicht werden.

Dieses Kontextmenü (Rechtsklick) steht im Zeichenmodus nicht zur Verfügung.

Länge und Position der Wandscheiben können im **Auswahlmodus** auch per Drag & Drop angepasst werden. Dies wird durch die roten Quadrate an den Endpunkten der ausgewählten Wandscheibe angezeigt.

Zum Verschieben eines einzelnen Endpunktes muss der Cursor genau über dem Punkt platziert werden (Cursor wird als Kreuz dargestellt). Zum Verschieben der ganzen Wand kann der Cursor beliebig auf der Wand platziert werden (Cursor wird als Hand dargestellt).

Ausgewählte Wandscheiben können mit den bekannten Tastaturkürzeln STRG + C und STRG + V kopiert werden und mit den Pfeiltasten verschoben werden (STRG + Pfeiltasten für kleine Verschiebungen).

Alle Wandscheiben werden in dem Fenster **Wandscheiben** (Abschnitt 2.2.5) sowie in einer Liste am linken Rand der Registerkarte angezeigt. Die aktuell ausgewählte Wandscheibe wird in der Liste und im Zeichenbereich farblich hervorgehoben. Mehrere Wände der Liste im linken Rand der Registerkarte können wie gewohnt durch gedrückt Halten der Umschalttaste (Shift) bzw. der STRG-Taste ausgewählt werden.

Die Wandkoordinaten können jederzeit über die grafische Oberfläche angepasst werden, wenn die Registerkarte **Wandscheiben** aktiviert ist.

3.3.3 Unterzüge (nur 3D)

Die Registerkarte **Unterzüge** dient der Eingabe von Unterzügen im Grundriss. Auch hier empfiehlt sich, vor Eingabe des ersten Unterzugs die vorhandenen Unterzugtypen festzulegen. Durch Klick auf den Button **Unterzugtypen bearbeiten** öffnet sich das Fenster **Eigenschaften verwalten**.

Mit **Typ anlegen** bzw. **Typ löschen** wird die Liste der Unterzugtypen verwaltet. Die Handhabung des Auswahlfensters entspricht der Auswahl in der Registerkarte **Wandscheiben** (Abschnitt 3.3.2). In der Auswahlliste Materialart stehen für die Unterzüge die Materialarten Stahlbeton DIN EN 1992-1-1 (rechteckig) und Beliebig zur Verfügung.

Mit dem Button **als St.-Typ speichern** kann die aktuelle Materialkonfiguration als Standardtyp lokal auf dem Computer abgespeichert werden. Alle vorhandenen Standardtypen werden links unten in der Box **Standardtypen** angezeigt, von wo aus diese jederzeit wieder geladen werden können. Der Button **St.-Typ löschen** entfernt den aktivierten Standardtyp.

Die Eingabe der Unterzüge kann entweder über die Tastatur oder per Maus erfolgen. Dabei muss beachtet werden, dass nur positive Koordinaten zugelassen sind.

Eingabe der Unterzüge über die Tastatur

In den Eingabefeldern im Kasten **Neuer Unterzug** werden für den Unterzug der Anfangs- und Endpunkt eingegeben. Alle Koordinatenwerte werden in [cm] angegeben, wobei der Anfangspunkt durch das Wertepaar **(X1, Y1)**, der Endpunkt durch das Wertepaar **(X2, Y2)** bestimmt ist. Durch **Hinzufügen** wird ein neuer Unterzug angelegt.

Zum Ändern des Unterzugtyps muss der jeweilige Unterzug in der linken Box **Unterzüge** aktiviert werden. Durch Klick auf den gewünschten Unterzugtyp in der rechten Box **Eigenschaften** wird dem Unterzug ein neuer Unterzugtyp zugewiesen. Zudem kann der Unterzugtyp durch **Rechtsklick** → **Material zuweisen** auf den entsprechenden Unterzug in dem Zeichenfeld angepasst werden.

Dieses Kontextmenü (Rechtsklick) steht im Zeichenmodus nicht zur Verfügung.

Die Eingabe der Koordinaten kann auf zwei Arten erfolgen:

1. Die Koordinaten werden über das globale, kartesische Koordinatensystem eingegeben. Der Ursprung des Koordinatensystems liegt unten links im Zeichenfeld. Diese Möglichkeit ist standardmäßig eingestellt.

2. Durch Aktivieren des Buttons **rel. Koordinaten** können die Unterzüge über ein Relativ-Koordinatensystem eingegeben werden. Es stehen zwei Varianten der Bezugspunktwahl zur Verfügung, **fest** bzw. **auto**. Durch **fest** wird das Bezugskoordinatensystem auf die eingegebene Position gesetzt, durch **auto** springt das Koordinatensystem jeweils zum Endpunkt des gerade erstellten Unterzugs.

Mit der Tabulator-Taste kann zwischen den Eingabefeldern gewechselt werden (SHIFT + Tabulator um zurück zu springen). Nach Eingabe eines Unterzugs springt der Cursor automatisch wieder in das Feld **X1**.

Die Unterzugkoordinaten können jederzeit in der linken Box **Unterzüge** angepasst werden.

Eingabe der Unterzüge per Maus

MINEA bietet die Möglichkeit einer grafischen Eingabe der Unterzüge per Maus. Dazu muss der Button **Zeichenmodus aktivieren** aktiviert sein. Während des Zeichnens erscheinen neben dem Mauszeiger die aktuellen Koordinaten im globalen Koordinatensystem. Durch Klicken der linken Maustaste wird der Startpunkt des Unterzugs festgelegt, durch einen weiteren Klick mit der linken Maustaste wird der Endpunkt des Unterzugs gesetzt, der gleichzeitig Startpunkt des nächsten Unterzugs ist. Dies bietet die Möglichkeit, mehrere Unterzüge hintereinander zu zeichnen. Mit der rechten Maustaste oder Esc wird dieser Vorgang abgebrochen.

Durch Klick auf den Button **Raster aktivieren** erscheint ein Gitter aus Hilfslinien. Der Abstand der Gitterlinien kann im benachbarten Feld in [cm] angegeben werden. Ist das Raster aktiviert, fängt der Cursor die Schnittpunkte der horizontalen und vertikalen Linien.

Während der Button **Zeichenmodus aktivieren** aktiviert ist, ist es nur möglich, Unterzüge per Maus einzugeben. Durch Deaktivieren des Buttons erfolgt der Wechsel zur Koordinateneingabe.

Bei aktiviertem **Auswahlmodus** kann mit der Maus ein Rechteck aufgezogen und somit mehrere Unterzüge gleichzeitig ausgewählt werden. Durch Drücken des Buttons **Unterzüge löschen** im unteren Bereich der Registerkarte **Unterzüge** wird der aktuell ausgewählte Unterzug gelöscht. Gleiches kann mit **Rechtsklick** → **Löschen** auf den entsprechenden Unterzug bzw. durch Auswählen des Unterzugs und Drücken des Knopfes „Entfernen“ auf der Tastatur erreicht werden.

Dieses Kontextmenü (Rechtsklick) steht im Zeichenmodus nicht zur Verfügung.

Länge und Position der Unterzüge können im **Auswahlmodus** auch per Drag & Drop angepasst werden. Dies wird durch die roten Quadrate an den Endpunkten des ausgewählten Unterzugs angezeigt.

Zum Verschieben eines einzelnen Endpunktes muss der Cursor genau über dem Punkt platziert werden (Cursor wird als Kreuz dargestellt). Zum Verschieben des ganzen Unterzugs kann der Cursor beliebig auf dem Unterzug platziert werden (Cursor wird als Hand dargestellt).

Ausgewählte Unterzüge können mit den bekannten Tastaturkürzeln STRG + C und STRG + V kopiert werden und mit den Pfeiltasten verschoben werden (STRG + Pfeiltasten für kleine Verschiebungen).

Alle Unterzüge werden in dem Fenster **Unterzüge** (Abschnitt 2.2.6) sowie in einer Liste am linken Rand der Registerkarte angezeigt. Der aktuell ausgewählte Unterzug wird in der Liste und im Zeichenbereich farblich hervorgehoben. Mehrere Unterzüge der Liste im linken Rand der Registerkarte können wie gewohnt durch gedrückt Halten der Umschalttaste (Shift) bzw. der STRG-Taste ausgewählt werden.

Die Unterzugkoordinaten können jederzeit über die grafische Oberfläche angepasst werden, wenn die Registerkarte **Unterzüge** aktiviert ist.

3.3.4 Stützen

Die Registerkarte **Stützen** dient der Eingabe von Stützen im Grundriss. Auch hier empfiehlt sich, vor Eingabe der ersten Stütze die vorhandenen Stützentypen festzulegen. Durch Klick auf den Button **Stützentypen bearbeiten** öffnet sich das Fenster **Eigenschaften verwalten**.

Mit **Typ anlegen** bzw. **Typ löschen** wird die Liste der Stützentypen verwaltet. Die Handhabung des Auswahlfensters entspricht der Auswahl in der Registerkarte **Wandscheiben** (Abschnitt 3.3.2). In der Auswahlliste Materialart stehen für die Stützen die Materialarten Stahlbeton DIN EN 1992-1-1 und Beliebig zur Verfügung. Beide Materialarten können entweder für einen gelenkigen oder biegesteifen (nur 3D) Stützenanschluss an die Decken definiert werden.

Mit dem Button **als St.-Typ speichern** kann die aktuelle Materialkonfiguration als Standardtyp lokal auf dem Computer abgespeichert werden. Alle vorhandenen Standardtypen werden links unten in der Box **Standardtypen** angezeigt, von wo aus diese jederzeit wieder geladen werden können. Der Button **St.-Typ löschen** entfernt den aktivierten Standardtyp.

Die Eingabe der Stützen kann entweder über die Tastatur oder per Maus erfolgen. Dabei muss beachtet werden, dass nur positive Koordinaten zugelassen sind.

Eingabe der Stützen über die Tastatur

In den Eingabefeldern in der Box **Neue Stütze** werden die Koordinaten der Stützen eingeben (Schwerpunkt). Alle Koordinatenwerte werden in [cm] angegeben. Durch Klick auf den Button Hinzufügen wird eine neue Stütze mit dem ausgewählten Stützentyp hinzugefügt.

Zum Ändern des Stützentyps muss die jeweilige Stütze in der linken Box **Stützen** aktiviert werden. Durch Klick auf den gewünschten Stützentyp in der rechten Box **Eigenschaften** wird der Stütze ein neuer Stützentyp zugewiesen. Zudem kann der Stützentyp durch **Rechtsklick** → **Material zuweisen** auf die entsprechende Stütze in dem Zeichenfeld angepasst werden.



Dieses Kontextmenü (Rechtsklick) steht im Zeichenmodus nicht zur Verfügung.

Die Eingabe der Koordinaten kann auf zwei Arten erfolgen:

1. Die Koordinaten werden über das globale, kartesische Koordinatensystem eingegeben. Der Ursprung des Koordinatensystems liegt unten links im Zeichenfeld. Diese Möglichkeit ist standardmäßig eingestellt.
2. Durch Aktivieren des Buttons **rel. Koordinaten** können die Stützen über ein Relativ-Koordinatensystem eingegeben werden. Es stehen zwei Varianten der Bezugspunktwahl zur Verfügung, **fest** bzw. **auto**. Durch **fest** wird das Bezugskoordinatensystem auf die eingegebene Position gesetzt, durch **auto** springt das Koordinatensystem jeweils zum Endpunkt der gerade erstellten Stütze.



Mit der Tabulator-Taste kann zwischen den Eingabefeldern gewechselt werden (SHIFT + Tabulator um zurück zu springen). Nach Eingabe einer Stütze springt der Cursor automatisch wieder in das Feld **X1**.

Die Stützenkoordinaten können jederzeit in der linken Box **Stützen** angepasst werden.

Eingabe der Stützen per Maus

MINEA bietet die Möglichkeit einer grafischen Eingabe der Stützen per Maus. Dazu muss der Button **Zeichenmodus aktivieren** aktiviert sein. Während des Zeichnens erscheinen neben dem Mauszeiger die aktuellen Koordinaten im globalen Koordinatensystem. Durch Klicken der linken Maustaste wird der Schwerpunkt der Stütze festgelegt.

Durch Klick auf den Button **Raster aktivieren** erscheint ein Gitter aus Hilfslinien. Der Abstand der Gitterlinien kann im benachbarten Feld in [cm] angegeben werden. Ist das Raster aktiviert, fängt der Cursor die Schnittpunkte der horizontalen und vertikalen Linien.



Während der Button **Zeichenmodus aktivieren** aktiviert ist, ist es nur möglich, Stützen per Maus einzugeben. Durch Deaktivieren des Buttons erfolgt der Wechsel zur Koordinateneingabe.

Bei aktiviertem **Auswahlmodus** kann mit der Maus ein Rechteck aufgezogen und somit mehrere Stützen gleichzeitig ausgewählt werden. Durch Drücken des Buttons **Stütze löschen** im unteren Bereich der Registerkarte **Stütze** wird die aktuell ausgewählte Stütze gelöscht. Gleiches kann mit **Rechtsklick** → **Löschen** auf die entsprechende Stütze bzw. durch Auswählen der Stütze und Drücken des Knopfes „Entfernen“ auf der Tastatur erreicht werden.

Dieses Kontextmenü (Rechtsklick) steht im Zeichenmodus nicht zur Verfügung.

Die Positionen der Stützen können im **Auswahlmodus** auch per Drag & Drop angepasst werden. Zum Verschieben der Stütze muss der Cursor über der ausgewählten Stütze platziert werden (Cursor wird als Hand dargestellt).

Ausgewählte Stützen können mit den bekannten Tastaturkürzeln STRG + C und STRG + V kopiert werden und mit den Pfeiltasten verschoben werden (STRG + Pfeiltasten für kleine Verschiebungen).

Alle Stützen werden in dem Fenster **Stützen** (Abschnitt 2.2.7) sowie in einer Liste am linken Rand der Registerkarte angezeigt. Die aktuell ausgewählte Stütze wird in der Liste und im Zeichenbereich farblich hervorgehoben. Mehrere Stützen der Liste im linken Rand der Registerkarte können wie gewohnt durch gedrückt Halten der Umschalttaste (Shift) bzw. der STRG-Taste ausgewählt werden.

3.3.5 Decken

Die Registerkarte **Decke** dient der Eingabe der Deckendaten, die das ausgewählte Stockwerk nach oben abschließt. Zu diesen Daten gehören das Deckenrandpolygon sowie Polygone von eventuell vorhandenen Öffnungen. Zusätzlich werden die Deckenlasten und die Lasten aus dem Dach in dieser Registerkarte definiert.

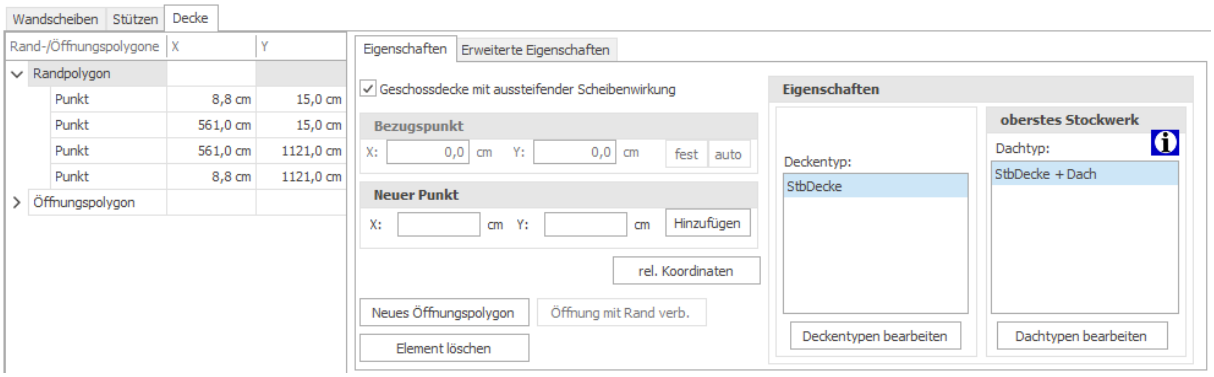


Abbildung 3.17: Registerkarte Decke - Eigenschaften

Bevor die Deckenpolygone eingegeben werden können, muss der Benutzer bestätigen, dass es sich um eine Decke mit aussteifender Scheibenwirkung handelt. Diese Bedingung ist nach DIN EN 1998-1 Grundvoraussetzung für den vereinfachten und rechnerischen Nachweis.

Vor Eingabe der Deckenplatte empfiehlt es sich die vorhandenen Deckentypen zu definieren. Durch Klick auf den Button **Deckentypen bearbeiten** öffnet sich das Fenster **Eigenschaften verwalten**.

Mit **Typ anlegen** bzw. **Typ löschen** wird die Liste der Deckentypen verwaltet. In der Auswahlliste Materialart stehen zwei verschiedene Optionen für Stahlbeton zur Verfügung: **Stahlbeton DIN EN 1992-1-1** bei der die Materialeigenschaften automatisch gemäß DIN EN 1992-1-1 definiert werden und **Stahlbeton beliebig** bei der alle Materialeigenschaften manuell eingegeben werden können.

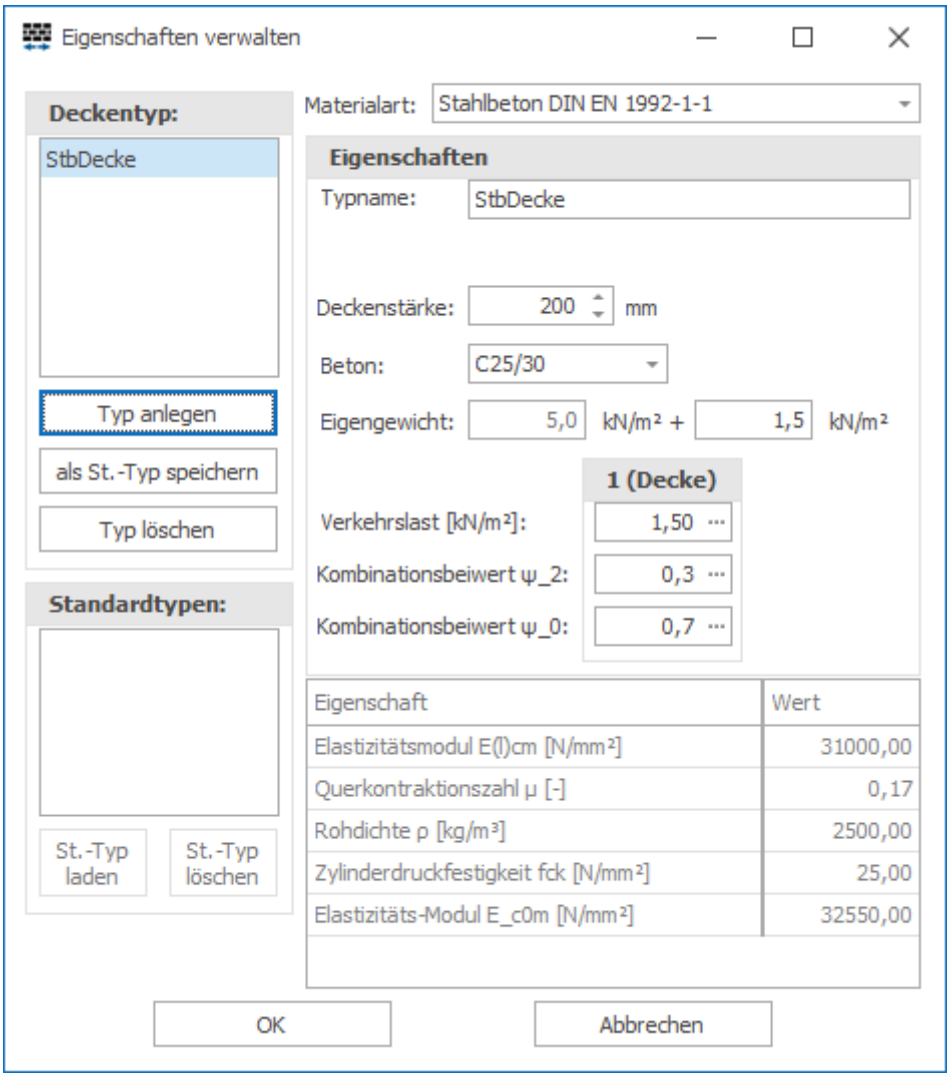


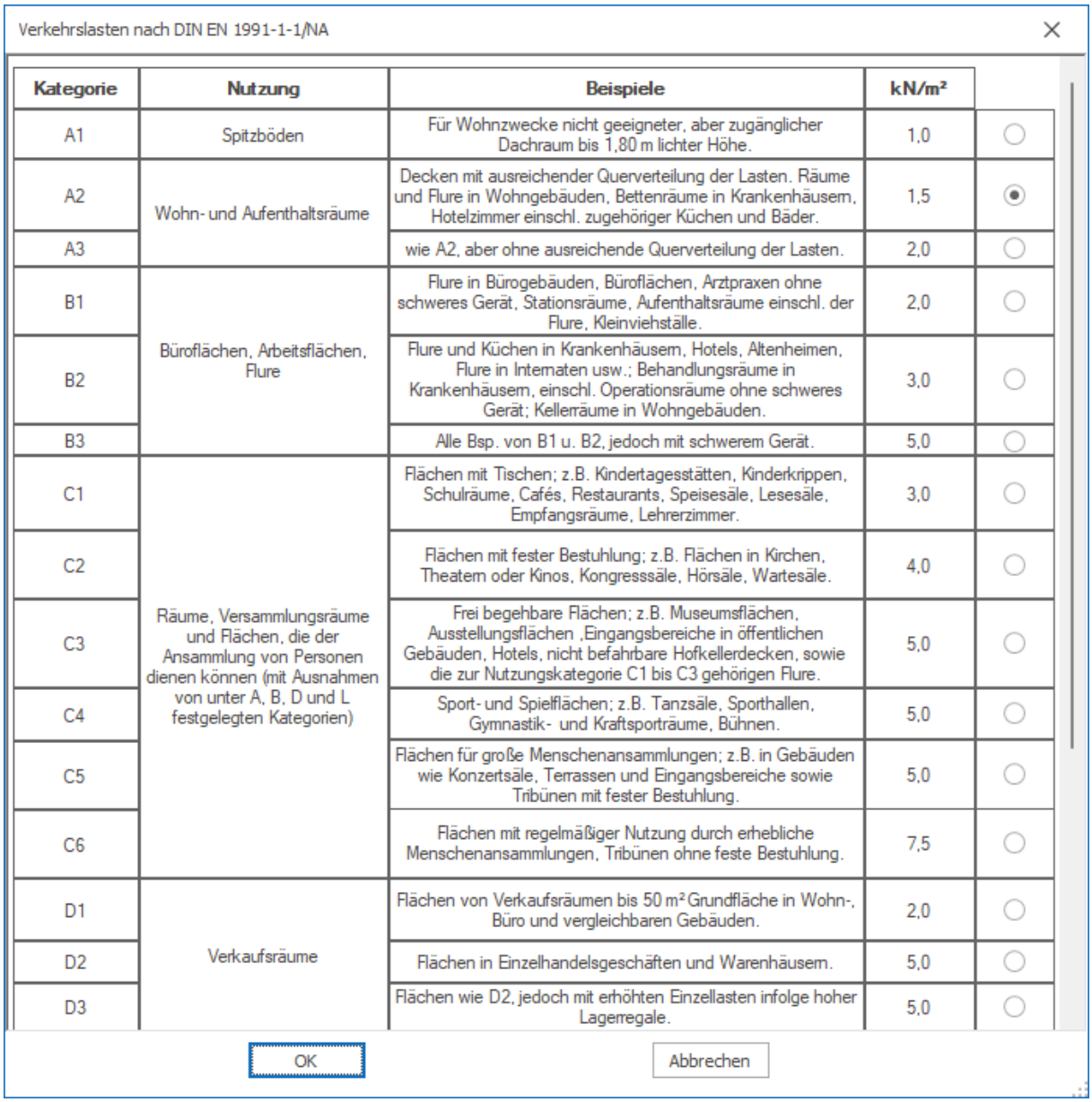
Abbildung 3.18: Eigenschaften der Decke

Weitere ständige Lasten (z.B. Ausbaulasten) können in einem separaten Feld auf das automatisch aus Deckendicke und Rohdichte ermittelte Eigengewicht aufgeschlagen werden.

Mit dem Button **als St.-Typ speichern** kann die aktuelle Materialkonfiguration als Standardtyp lokal auf dem Computer abgespeichert werden. Alle vorhandenen Standardtypen werden links unten in der Box **Standardtypen** angezeigt, von wo aus sie jederzeit wieder geladen werden können. Der Button **St.-Typ löschen** entfernt den aktivierten Standardtyp.

Durch Klick auf den Button ... im Feld Verkehrslast öffnet sich das nebenstehende Fenster mit der Tabellen 6.1DE aus DIN EN 1991-1-1/NA, in dem die vorhandenen Verkehrslasten ausgewählt werden können. Alternativ kann die Verkehrslast direkt eingegeben werden.

Analog dazu wird durch Klick auf den Button ... im Feld Kombinationsbeiwert ψ_0 bzw. Kombinationsbeiwert ψ_2 das nebenstehende Fenster mit den Kombinationsbeiwerten für Decken nach DIN EN 1990/NA, in dem der entsprechende Kombinationsbeiwert für veränderliche Einwirkungen ψ_0 und der Beiwert für quasi-ständige Werte der veränderlichen Einwirkung ψ_2 ausgewählt werden kann. Abweichend von dieser Norm wird nach DIN EN 1998-1/NA NDP zu 4.3.4(2)P ein Kombinationsbeiwert $\psi_2 = 0,5$ für Schneelasten zur Ermittlung der wirksamen Masse zur



Kategorie	Nutzung	Beispiele	kN/m²	
A1	Spitzböden	Für Wohnzwecke nicht geeigneter, aber zugänglicher Dachraum bis 1,80 m lichter Höhe.	1,0	○
A2	Wohn- und Aufenthaltsräume	Decken mit ausreichender Querverteilung der Lasten. Räume und Flure in Wohngebäuden, Bettenräume in Krankenhäusern, Hotelzimmer einschl. zugehöriger Küchen und Bäder.	1,5	◉
A3		wie A2, aber ohne ausreichende Querverteilung der Lasten.	2,0	○
B1	Büroflächen, Arbeitsflächen, Flure	Flure in Bürogebäuden, Büroflächen, Arztpraxen ohne schweres Gerät, Stationsräume, Aufenthaltsräume einschl. der Flure, Kleinviehställe.	2,0	○
B2		Flure und Küchen in Krankenhäusern, Hotels, Altenheimen, Flure in Internaten usw.; Behandlungsräume in Krankenhäusern, einschl. Operationsräume ohne schweres Gerät; Kellerräume in Wohngebäuden.	3,0	○
B3		Alle Bsp. von B1 u. B2, jedoch mit schwerem Gerät.	5,0	○
C1	Räume, Versammlungsräume und Flächen, die der Ansammlung von Personen dienen können (mit Ausnahmen von unter A, B, D und L festgelegten Kategorien)	Flächen mit Tischen; z.B. Kindertagesstätten, Kinderkrippen, Schulräume, Cafés, Restaurants, Speisesäle, Lesesäle, Empfangsräume, Lehrerzimmer.	3,0	○
C2		Flächen mit fester Bestuhlung; z.B. Flächen in Kirchen, Theatern oder Kinos, Kongresssäle, Hörsäle, Wartesäle.	4,0	○
C3		Frei begehbare Flächen; z.B. Museumsflächen, Ausstellungsflächen ,Eingangsbereiche in öffentlichen Gebäuden, Hotels, nicht befahrbare Hofkellerdecken, sowie die zur Nutzungskategorie C1 bis C3 gehörigen Flure.	5,0	○
C4		Sport- und Spielflächen; z.B. Tanzsäle, Sporthallen, Gymnastik- und Kraftsporträume, Bühnen.	5,0	○
C5		Flächen für große Menschenansammlungen; z.B. in Gebäuden wie Konzertsäle, Terrassen und Eingangsbereiche sowie Tribünen mit fester Bestuhlung.	5,0	○
C6		Flächen mit regelmäßiger Nutzung durch erhebliche Menschenansammlungen, Tribünen ohne feste Bestuhlung.	7,5	○
D1	Verkaufsräume	Flächen von Verkaufsräumen bis 50 m² Grundfläche in Wohn-, Büro und vergleichbaren Gebäuden.	2,0	○
D2		Flächen in Einzelhandelsgeschäften und Warenhäusern.	5,0	○
D3		Flächen wie D2, jedoch mit erhöhten Einzellasten infolge hoher Lagerregale.	5,0	○

Abbildung 3.19: Verkehrslasten

Berechnung der Erdbebenlasten angegeben.

Die Lasten des obersten Geschosses sind gesondert einzugeben. Durch Klick auf den Button Dachtypen bearbeiten wird das Fenster **Eigenschaften verwalten** geöffnet.

Die Definition des Dachtyps umfasst wie bei der Eingabe der Deckentypen die Eingabe des Eigengewichts und der Verkehrslasten für die oberste Decke. Zusätzlich ist es notwendig auch das Eigengewicht des Daches in dem Eingabefeld Eigengewicht Dach als auf die Deckengrundrissfläche bezogene verteilte Belastung einzugeben. Weiterhin kann in den zu Verkehrslast(en) → 2(Dach) gehörigen Eingabefeldern die Verkehrslast des Daches mit dem zugehörigen Kombinationsbeiwert eingeben werden. Auch die Verkehrslast ist wieder auf die Deckengrundrissfläche bezogen. Die eingegebenen Lasten für Eigengewicht und Verkehr des Daches werden gemäß den Angaben in der Registerkarte Wandscheiben (Kapitel 2.3.2) auf die einzelnen Schubwände verteilt.

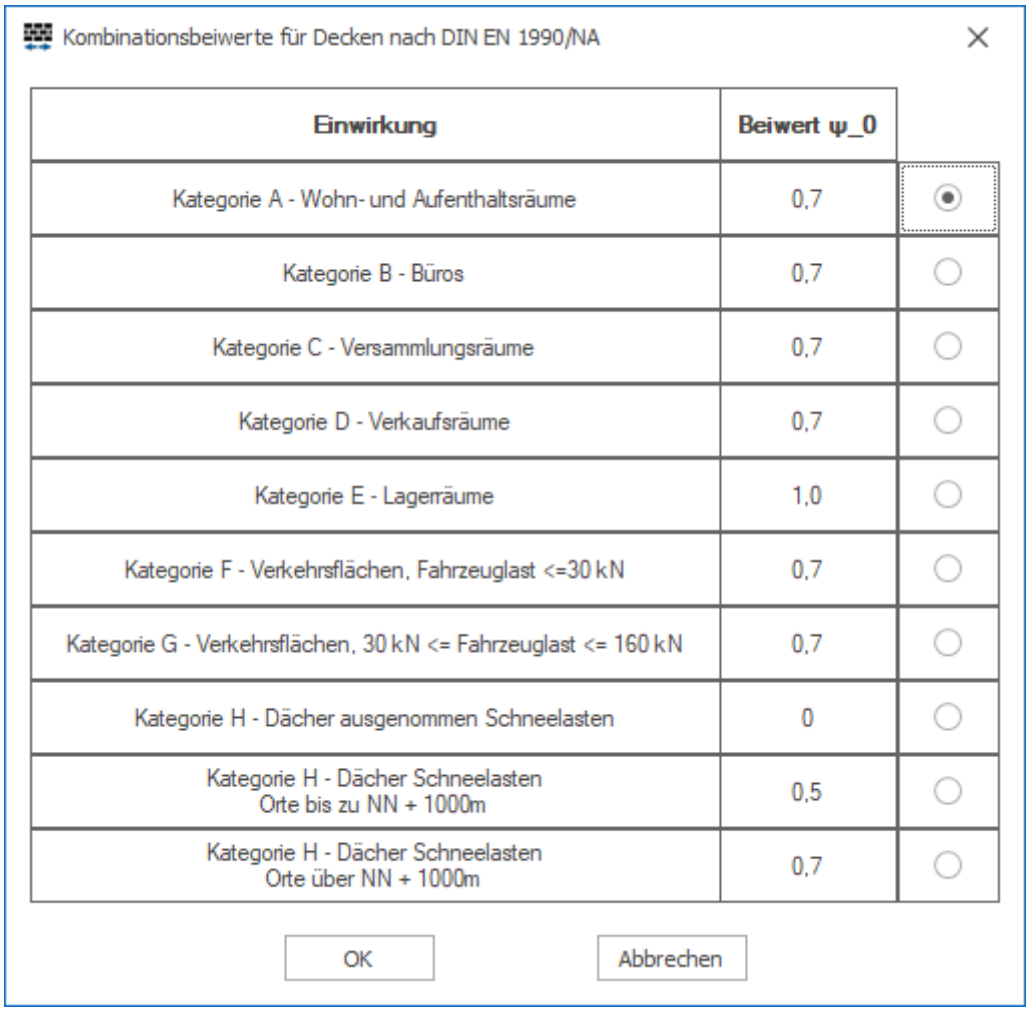


Abbildung 3.20: Kombinationsbeiwert ψ_0

Die Koordinateneingabe eines Rand- bzw. Öffnungspolygons kann über die Tastatur oder per Maus erfolgen. Jedes Polygon muss für sich als geschlossener Polygonzug eingegeben werden. Die Eingabe der Polygonkoordinaten erfolgt durch Umfahren der jeweiligen Fläche im oder gegen den Uhrzeigersinn. Das Polygon wird durch die gestrichelte Linie automatisch geschlossen, so dass eine doppelte Eingabe des Start- und Endpunktes unnötig ist.

Die Eckpunkte der Decke können im Auswahlmodus durch Eingabe der entsprechenden Koordinaten in den Spalten X und Y festgelegt und durch Drücken des Buttons **Hinzufügen** dem Polygon zugeordnet werden. Analog zur Eingabe der Wandscheiben, Unterzüge und Stützen erfolgt die Eingabe der Eckpunkte im globalen Koordinatensystem oder über einen Bezugspunkt mit Hilfe von relativen Koordinaten.

Die Eingabe des Polygons kann auch per Maus erfolgen. Dazu muss der Zeichenmodus aktiviert werden. Mit der linken Maustaste werden neue Punkte zum Polygon hinzugefügt; mit der rechten Maustaste wird das Polygon fertig gestellt. Die Eingabe kann auch mit Hilfe des Rasters, Fang-Länge oder Fang-Winkel erfolgen (siehe Abschnitt 3.3.2).

Öffnungspolygone können durch Drücken des Buttons **Neues Öffnungspolygon** erzeugt werden. Die Eingabe erfolgt analog zur Eingabe des Randpolygons.

Ist eine Kante des Öffnungspolygons deckungsgleich mit dem Randpolygon, so können beide

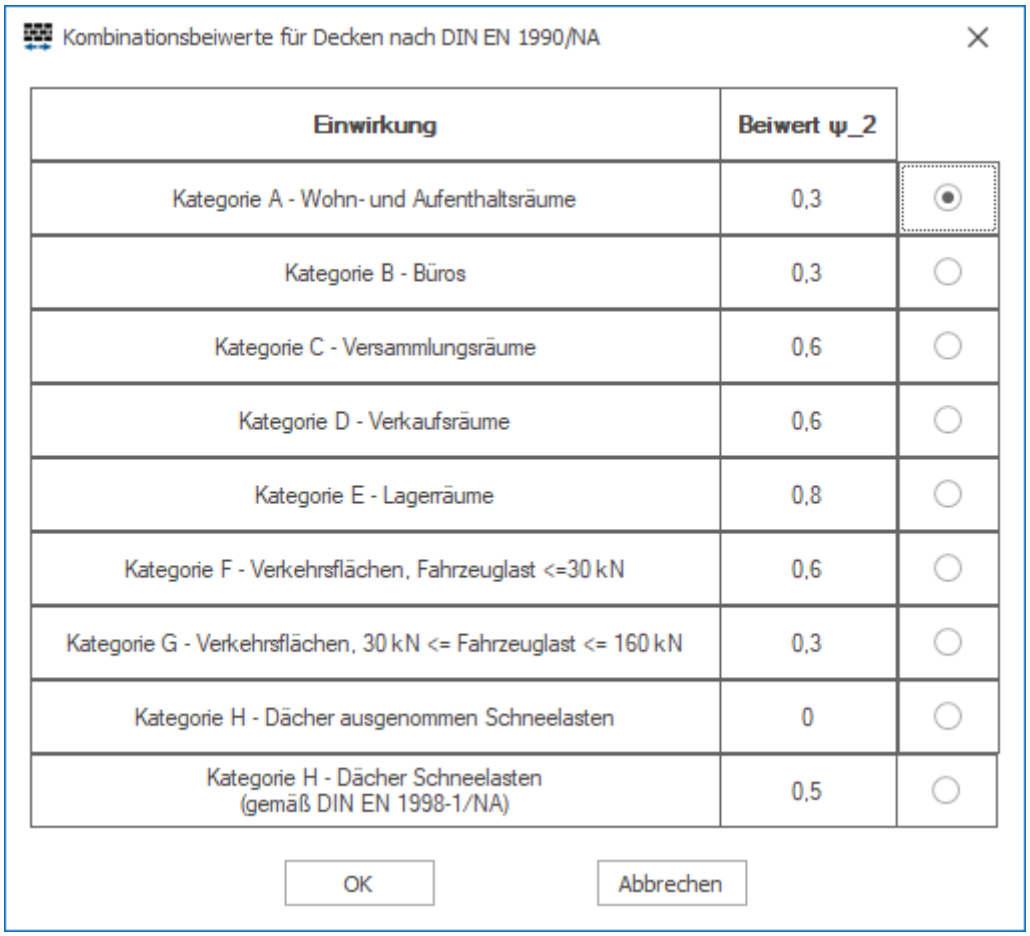


Abbildung 3.21: Kombinationsbeiwert ψ_2

Elemente über **Öffnung mit Rand verbinden** zu einem Randpolygon zusammengefasst werden.

Zu einem ausgewählten Polygon können Punkte hinzugefügt werden. Dazu ist in der Polygonliste ein Polygon auszuwählen und die neuen Koordinaten einzugeben. Die Koordinaten werden dem Polygon immer hinter dem markierten Punkt in der linken Box hinzugefügt.

Die Koordinaten der Punkte können jederzeit in der linken Box Decke angepasst werden. Bei aktiviertem Auswahlmodus können die Punkte auch per Drag & Drop angepasst werden. Dazu muss das jeweilige Polygon aktiviert werden. Die zugehörigen Polygonpunkte (dargestellt als rote Quadrate) können dann per Maus verschoben werden.

Durch Drücken des Buttons **Element löschen** wird je nach Auswahl in der linken Box Rand-/Öffnungspolygone entweder der aktuell ausgewählte Punkt eines Polygons oder das Gesamtpolygon gelöscht.

Unterhalb des Reiters Erweiterte Eigenschaften können Informationen zur Anordnung der Bewehrung innerhalb der Deckenscheiben eingegeben werden. Diese werden im 3D-Modell für die Berechnung der erforderlichen Bewehrung der Deckenscheiben verwendet. Im 2D-Modul werden die Eingaben bei Ansatz der Rahmentragwirkung für die Berechnung der Biege- und Querkraftbewehrung der Decken im Bereich der Wandenden benötigt.

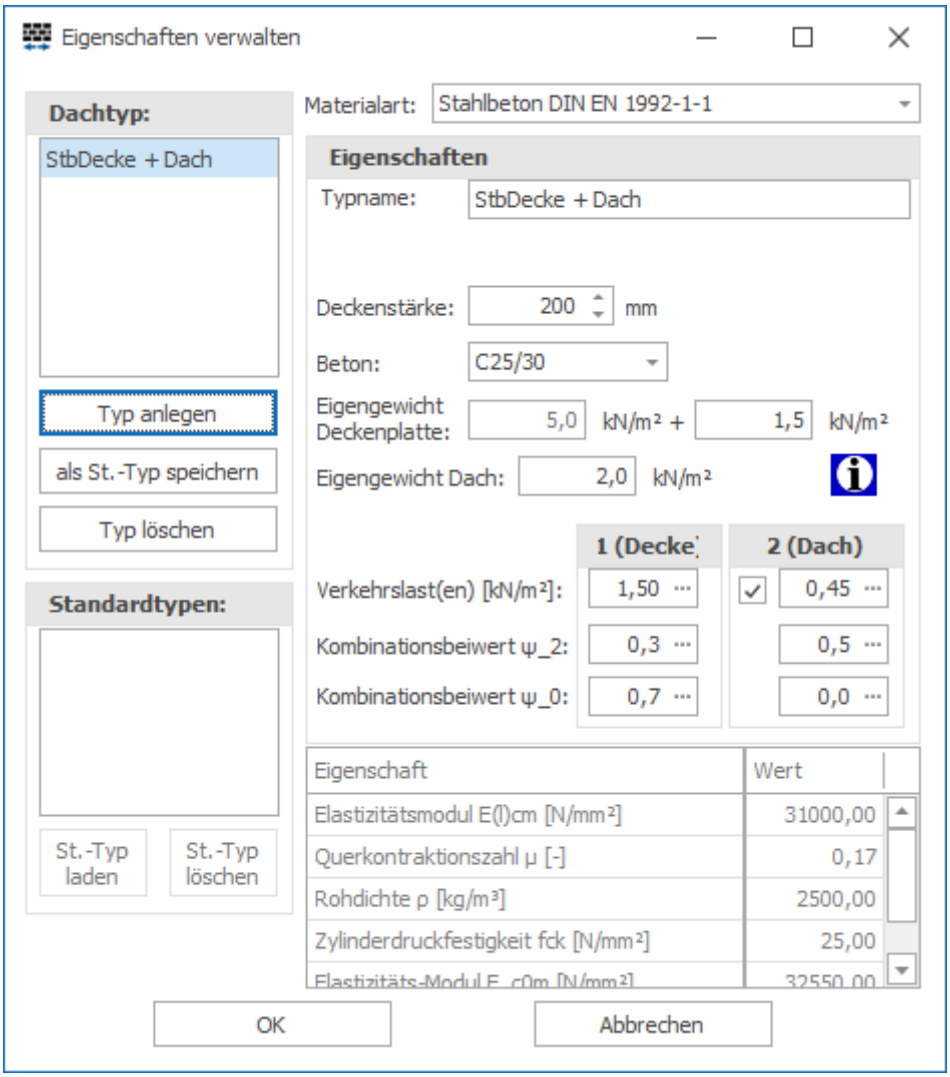


Abbildung 3.22: Eigenschaften des Daches

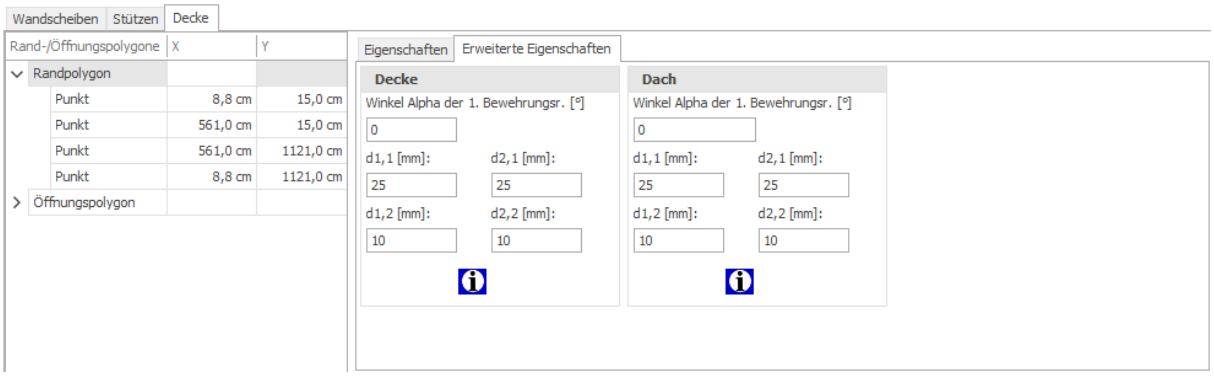


Abbildung 3.23: Registerkarte Decke - Erweiterte Eigenschaften

3.4 SAF-Schnittstelle

Als Alternative zur manuellen Eingabe des Grundrisses bietet MINEA die Möglichkeit zur Nutzung der SAF-Schnittstelle. SAF (Structural Analysis Format, www.saf.guide) ist ein offenes Format für den Datenaustausch zwischen Berechnungssoftware auf der Basis von Microsoft

Excel©. Die SAF-Schnittstelle ermöglicht den Import von Modellen aus gängiger Software für die Tragwerksplanung wie z.B. FRILO, InfoCAD oder RFEM. MINEA unterstützt den SAF-Standard in Version 1.0.5.

Nach dem Start des Imports durch Auswahl des zugehörigen Menüeintrags (siehe Abschnitt 2.1.5) sowie einer SAF-Austauschdatei wird die zugrundeliegende Gebäudegeometrie in MINEA eingelesen und die zugehörigen Materialien soweit möglich automatisch erstellt. Im Anschluss an den erfolgten Import wird das Statusfenster des SAF-Imports angezeigt. Dieses enthält Informationen zum Importvorgang und den eventuell dabei aufgetretenen Problemen und Fehlern kategorisiert nach den Tabellenblättern der SAF-Austauschdatei. Sämtliche Meldungen sollten kritisch geprüft werden. Falls erforderlich, sollte die Importdatei oder das in MINEA importierte Modell korrigiert bzw. angepasst werden.

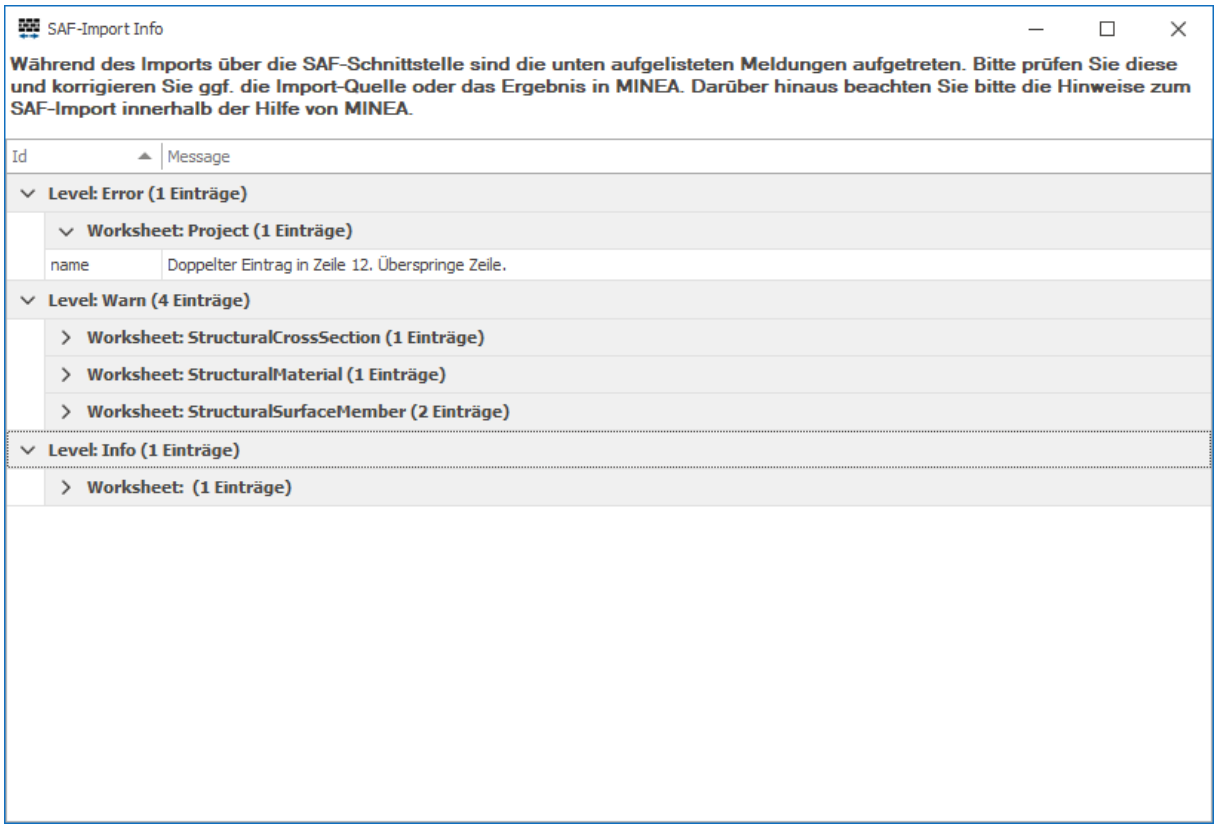


Abbildung 3.24: SAF-Import Statusfenster

Im Allgemeinen sollten die folgenden Hinweise hinsichtlich des zu importierenden Modells bzw. des Ergebnisses in MINEA beachtet werden:

- Geschossdecke: MINEA berücksichtigt je Geschoss lediglich ein Deckenpolygon. Achten Sie bei den Grundrissen auf eine entsprechende Modellierung in der Importdatei.
- Geschosshöhen: Die Ermittlung der Geschosshöhen erfolgt in MINEA basierend auf den Höhen der Wände in einem Geschoss (Abschnitt 3.3.1). Verfügt ein Geschoss über keine Wandscheiben, so ist eine automatische Ermittlung der Geschosshöhe nicht möglich. Unabhängig davon ist eine Modellierung von Geschossen ohne Wandscheiben in MINEA nicht vorgesehen.

- Wandscheiben: MINEA geht beim Import von einer mittigen Lagerung der Wandscheiben entlang der Wandlängsrichtung aus. Dies bedeutet, dass die Systemlinie der Wandscheibe entsprechend der Wandmittelachse angenommen wird. Davon abweichende Modellierungen werden als mittig (Systemlinie = Wandmittelachse) interpretiert. Achten Sie zwecks einer sauberen und problemfreien Vernetzung darauf, kleine Abstände zwischen unterschiedlichen Achsen zu vermeiden. Modellieren Sie z.B. die Außenwände mit ihrer Systemlinie entlang der Kante des Deckenpolygons, um unnötig kleine Elementgrößen bei der Finite-Elemente-Berechnung zu vermeiden.

- Materialien: Die Materialien werden soweit möglich in die entsprechenden Zielformate übersetzt. Grundsätzlich unterstützt MINEA nur Mauerwerk und Beton als Material. Hiervon abweichende Materialien werden durch Stahlbeton beliebig ersetzt. Sofern die Kennzeichnung des Betons in der Importdatei entsprechend der normativen Namen (z.B. C20/25) erfolgt, wird das korrespondierende Material vorbelegt. Bei abweichenden Namen des Stahlbetons wird der Materialtyp Stahlbeton beliebig unter Vorbelegung der angegeben Werte verwendet. Im Falle von Mauerwerk wird der Materialtyp Mauerwerk beliebig mit den angegebenen Werten vorbelegt. In jedem Fall gilt es die Materialeingaben am Ende des Imports zu prüfen.

- Lasten: Derzeit werden keine Belastungen auf die Geschossdecken und auch keine Belastungen infolge Wind oder Erdbeben beim Import berücksichtigt. Diese müssen manuell innerhalb von MINEA eingegeben werden.

Der Import einer SAF-Austauschdatei erfolgt in MINEA standardmäßig in das 3D-Nachweismodul. Eine Übernahme des Grundrisses in ein anderes Nachweismodul ist durch den Wechsel des Nachweismoduls in der Auswahlliste innerhalb des Eingabebereich für allgemeine Gebäude- und Erdbebendaten (siehe Abschnitt 3.1) möglich.

Kapitel 4

Nachweis

In diesem Kapitel werden für die drei Nachweisverfahren die Optionen bei der Nachweisführung sowie die Ergebnisse und Ergebnisdokumentation vorgestellt.

4.1 DIN EN 1998-1/NA-DE - Vereinfachter Nachweis

Für „einfache Mauerwerksbauten“, die den Bedeutungskategorien I oder II angehören ist nach DIN EN 1998-1 9.7.1 ein expliziter Sicherheitsnachweis nicht erforderlich, sofern die Anforderungen an das Material nach 9.2, Auslegungskriterien und Konstruktionsregeln nach 9.5 sowie weitere Regeln nach 9.7.2 eingehalten sind.

4.1.1 Nachweis

Der „vereinfachte“ Nachweis überprüft die Einhaltung der konstruktiven Regeln des Gebäudes gemäß DIN EN 1998-1/NA Abschnitt 9.7.1. Die überprüften Punkte werden der Reihe nach in dem Dialogfenster aufgeführt. Da manche konstruktiven Regeln aus den eingegebenen Daten nicht automatisch überprüft werden können, erfolgt die Abfrage interaktiv mithilfe von Ankreuzfeldern und Auswahllisten. Zunächst werden die mögliche Deckeneinspannung sowie die Art des Gebäudes ausgewählt. Folgend werden die eingehaltenen Bedingungen mit einem Haken in den entsprechenden Ankreuzfeld gekennzeichnet.

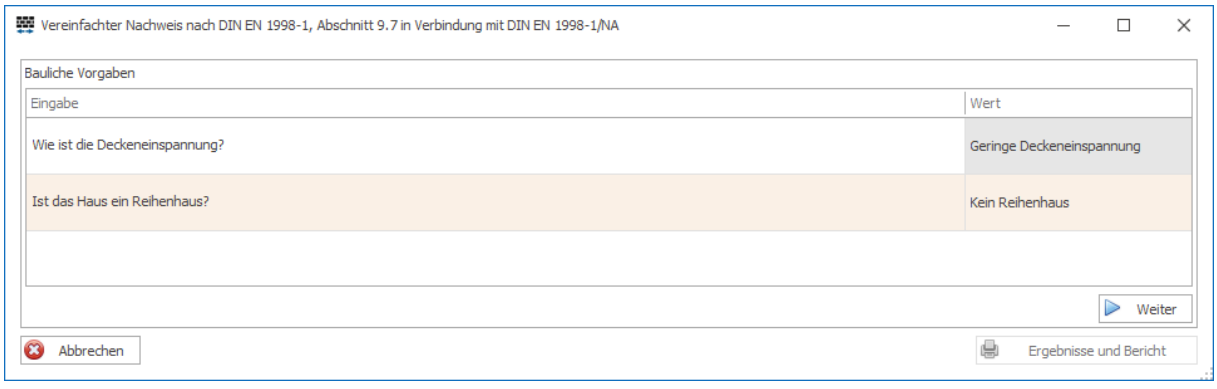


Abbildung 4.1: Bauliche Vorgaben mit Auswahllisten

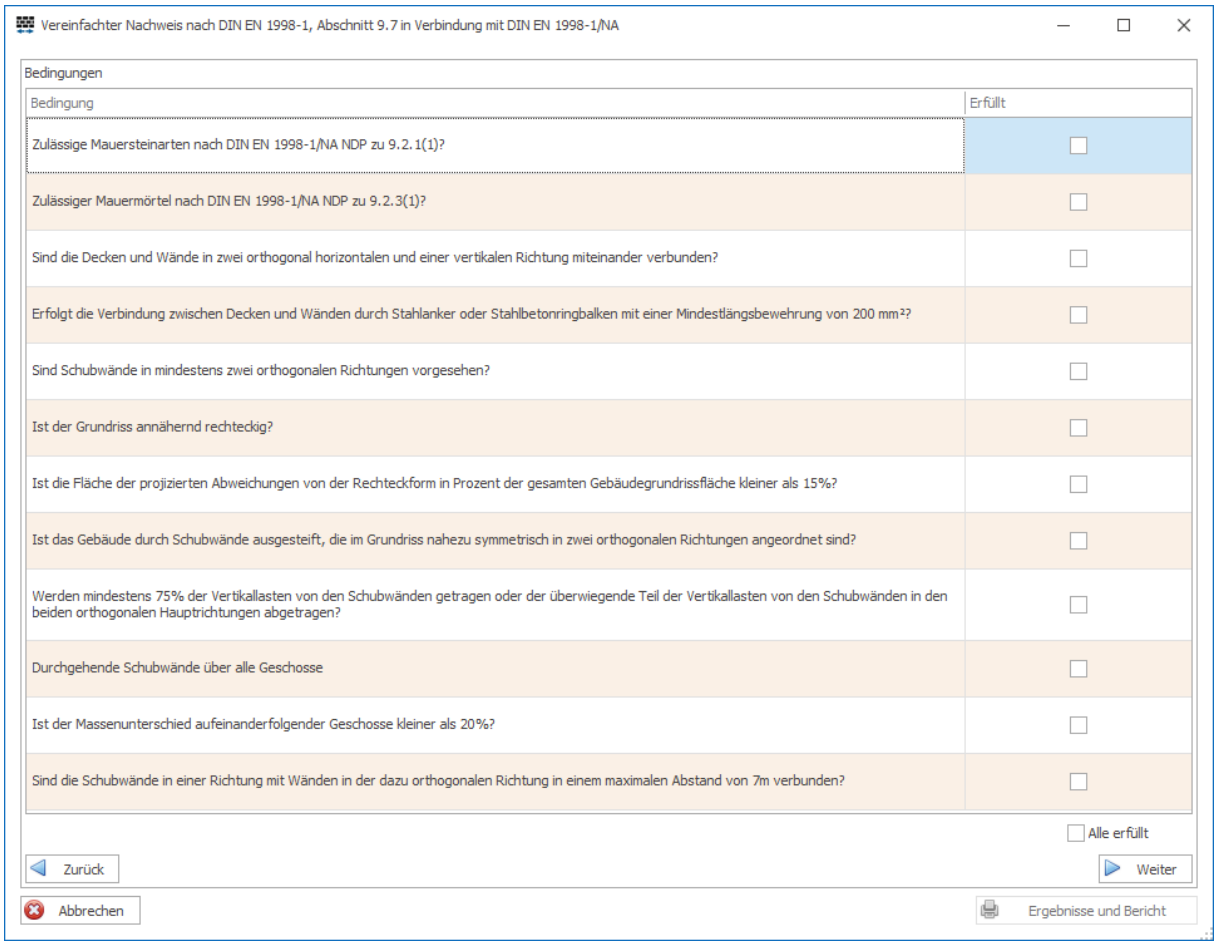


Abbildung 4.2: Interaktive Kontrolle der konstruktiven Regeln

Die konstruktiven Regeln umfassen auch Anforderungen an die effektive Dicke t_{ef} und die Schlankheit h_{ef}/t_{ef} der Mauerwerksscheiben. Die Knicklänge h_{ef} wird nach DIN EN 1996-1-1 Abschnitt 5.5.1.2 und DIN EN 1996-1-1/NA NCI zu Abschnitt 5.5.1.2 bestimmt. Die Fragen können mit Hilfe des Hinweises beantwortet werden. Über **Hinweis** öffnet sich ein Dialogfenster, das zu jeder Wand die Daten bereitstellt.

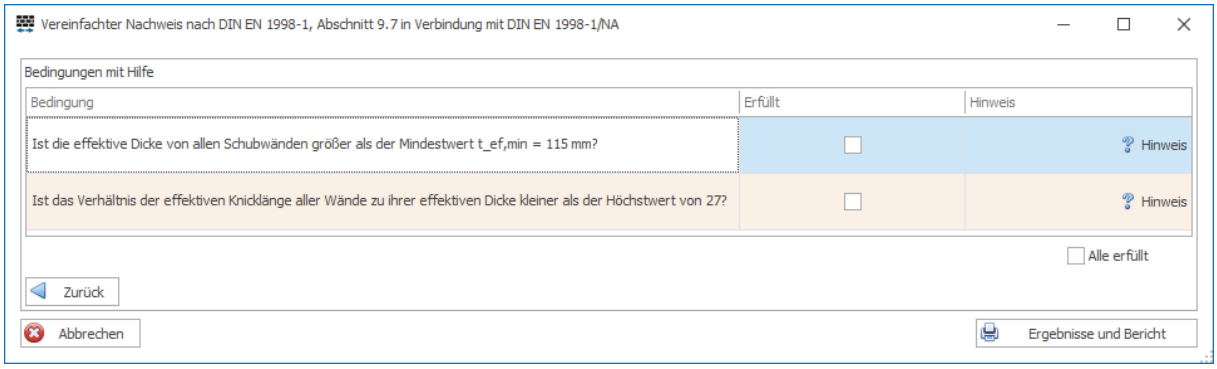


Abbildung 4.3: Anforderungen an die effektive Dicke und die Schlankheit

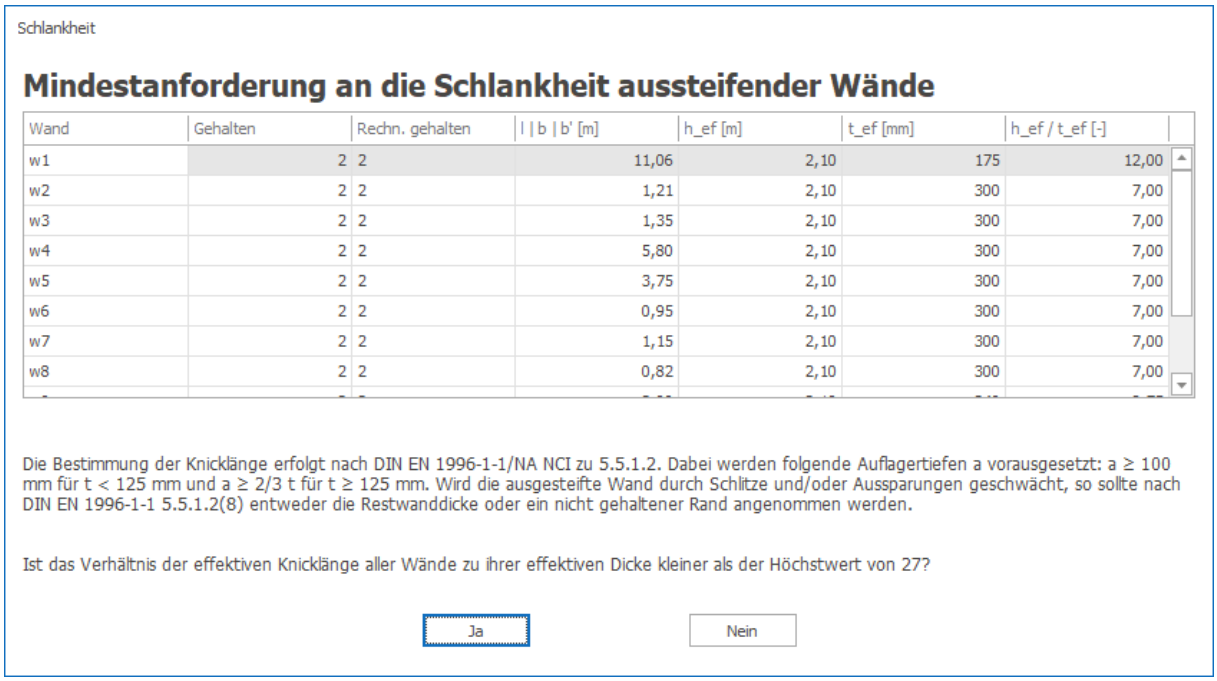


Abbildung 4.4: Hinweisfenster zur Mindestanforderung an die Schlankheit aussteifender Wände

4.1.2 Ergebnisausgabe

Das Ergebnis der Überprüfung aller Bedingungen (Notwendigkeit eines expliziten Sicherheitsnachweises) wird ebenfalls in dem Fenster **Ergebnisse und Bericht** angegeben. Anschließend kann zur Programmeingabe zurückgekehrt werden oder es kann über den Button **Bericht zusammenstellen** der Bericht für den vereinfachten Nachweis individuell zusammengestellt und geöffnet werden.

Im linken Bereich des Fensters sind alle verfügbaren Ergebnisblöcke und Layout / Kommentaroptionen aufgelistet. Diese können über -> dem Bericht hinzugefügt werden oder es können die Standarteinstellungen gewählt werden. Die aktuelle Zusammenstellung des Berichtes ist im rechten Bereich dargestellt. Durch x können einzelne Ergebnisblöcke entfernt und über ▲ und ▼ kann die Reihenfolge der Berichtsblöcke geändert werden. Der Inhalt hinzugefügter Textfelder kann durch einen Doppelklick editiert werden. Durch einen Doppelklick auf einen Berichtsblock können die Einstellungen zum Seitenumbruch editiert werden. Abschließend kann der Bericht über **Bericht erstellen** angezeigt werden.

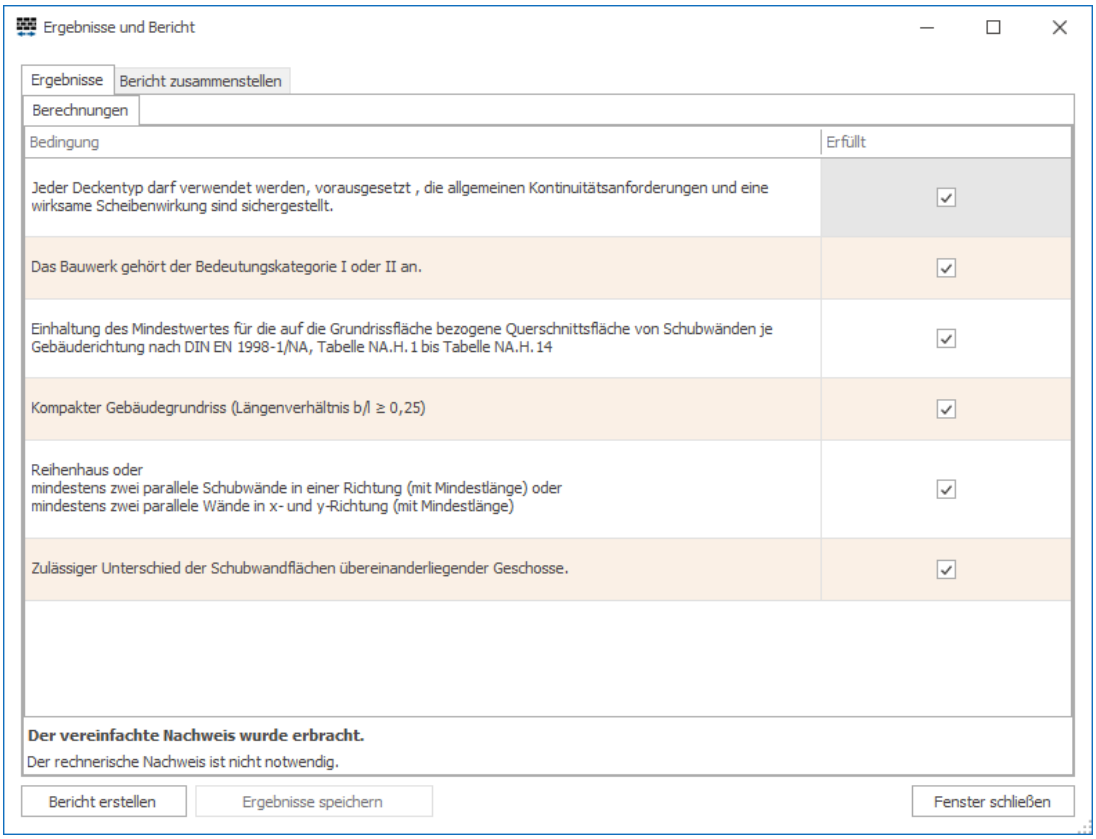


Abbildung 4.5: Ergebnisausgabe

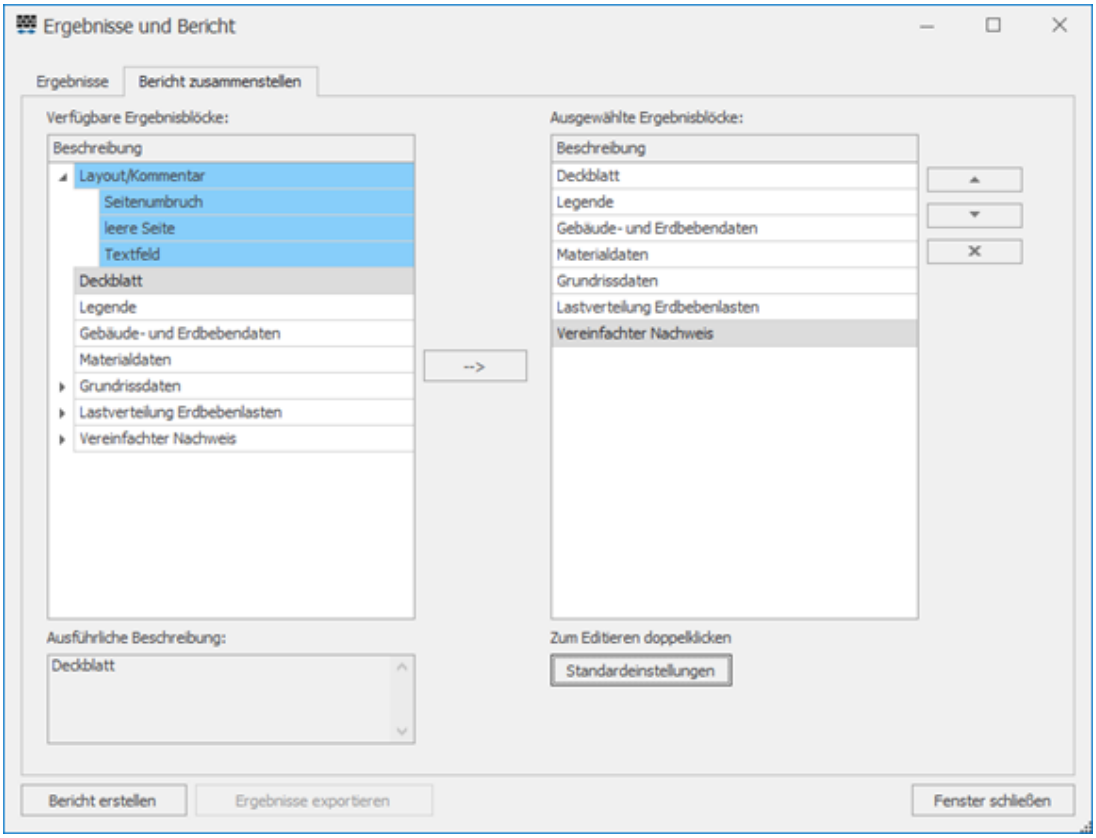


Abbildung 4.6: Zusammenstellung des Berichtes

4.2 DIN EN 1998-1/NA-DE - DIN EN 1996-1-1/NA-DE (2D)

Der Nachweis der Mauerwerkswände erfolgt nach DIN EN 1998-1 und der DIN EN 1998-1/NA in Kombination mit der DIN EN 1996-1-1 und der DIN EN 1996-1-1/NA. Nach den Normen stehen unterschiedliche Möglichkeiten zur Ermittlung der Einwirkungen und der Nachweisführung zur Verfügung, die in den Nachweiseinstellungen individuell festgelegt und in der Ergebnisausgabe evaluiert und beurteilt werden können.

4.2.1 Nachweiseinstellungen

Unter dem Menüpunkt Nachweiseinstellungen (s. Abschnitt 2.3.1) erfolgt die Wahl hinsichtlich der Vertikal- und Horizontallastermittlung sowie der Nachweisführung:

- Vertikallastermittlung
- Horizontallastermittlung
- Nachweis: Horizontalkraftnachweis
- Nachweis: Normalkraftnachweis
- Nachweis: Teilsicherheitsbeiwerte

Die Elementgröße zur Ermittlung der Wandauflasten steuert die Genauigkeit der Lastermittlung. Je kleiner der Wert gewählt wird, desto genauer ist die Berechnung. Die empfohlene Elementgröße liegt zwischen 3 und 10 cm. Die daraus resultierenden Lasteinzugsflächen können grafisch vor der Ergebnisausgabe kontrolliert werden.

Die Ermittlung der Horizontalkräfte kann über den zweiten Block gesteuert werden. Es stehen drei Ansätze zur Berücksichtigung von Torsionswirkungen (s. Abschnitt 4.3.3.1.3) zur Verfügung. Zudem ist es möglich, die Erhöhung der Erdbebeneinwirkung nach DIN EN 1998-1 4.3.3.1(9) bei regelmäßigen Grundrissen nicht zu berücksichtigen.

Die Berücksichtigung der Einspannwirkung der Mauerwerkswände in die Deckenscheiben kann durch Verwendung des Nachweis nach DIN EN 1996-1-1/NA, Anhang K (informativ) erfolgen. Bei Auswahl dieses besteht die Möglichkeit zur Definition des Momentenverteilungsfaktors ψ gemäß DIN EN 1996-1-1/NA innerhalb der erweiterten Wandeigenschaften jeder Wandscheibe (Berechnungsmethode: Manuell). Alternativ hierzu kann eine automatische Ermittlung der Momentenverteilungsfaktoren basierend auf den Tabellenwerten nach Butenweg et al. [2021] durch die Eingabe von mitwirkender Plattenbreite und freier Wandlänge innerhalb der erweiterten Wandeigenschaften erfolgen (Berechnungsmethode: Tabellarisch). In beiden Fällen wird eine vereinfachte Bemessung der Deckenscheiben für die zusätzlichen Beanspruchungen in Form der Deckeneinspannmomente infolge der Rahmentragwirkung bei Erdbeben durchgeführt (s. Abschnitt 5.3.5).

Für die Normalkraftnachweise am Wandkopf und in Wandmitte kann die Berücksichtigung der kombinierten Beanspruchung nach DIN EN 1996-1-1/NA NCI zu 6.1.2.2(NA.iii) eingestellt werden.

Die manuelle Eingabe der Teilsicherheitsbeiwerte für die einzelnen Lastfälle erfolgt ebenfalls im Menü Nachweiseinstellungen.

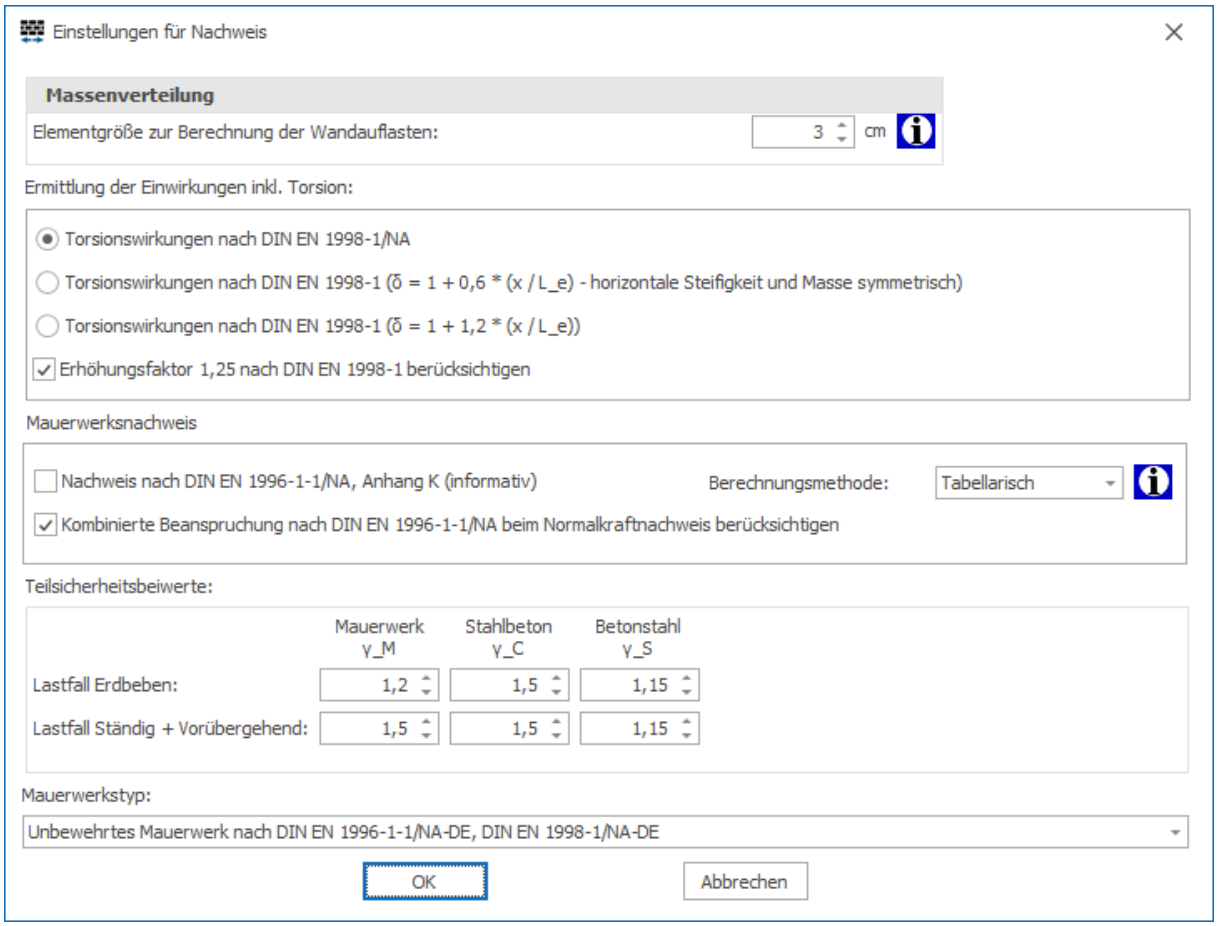


Abbildung 4.7: Nachweiseinstellungen im Nachweisverfahren „DIN EN 1998-1/NA-DE - DIN EN 1996-1-1/NA-DE (2D)“

Die Nachweiseinstellungen werden global festgelegt und werden nicht mit den einzelnen Projekten abgespeichert.

4.2.2 Nachweis

Der Nachweis wird über den Menüpunkt Nachweis starten (s. Abschnitt 2.3.3) gestartet. Anschließend öffnet sich ein Fenster mit einer Übersicht der Ergebnisse.

Der Reiter Versagende Wände gibt eine Übersicht über die versagenden Wände und die Vertikalbelastung der Wandscheiben. Über den Punkt Lasteinzugsflächen werden diese dargestellt und können grafisch beurteilt und kontrolliert werden. Der Punkt Versagende Wände liefert einen Überblick über die Nachweise der einzelnen Stockwerke. Versagende Mauerwerkswände sind in Rot dargestellt. Eine detailliertere Darstellung der Ergebnisse wird auf den Reitern LF Erdbeben und LF Ständig und Vorübergehend (maßgebende Kombination) gegeben. Auf diesen Reitern wird für jede Mauerwerkswand die Einwirkung dem Widerstand gegenübergestellt. Dies ermöglicht eine schnelle Beurteilung des Gebäudes.

4.2.3 Ergebnisausgabe

In dem Fenster Ergebnisse und Bericht können weiterhin die Ergebnisse übersichtlich zusammengestellt werden. Durch einen modularen Aufbau der Berichtausgabe kann dieser den

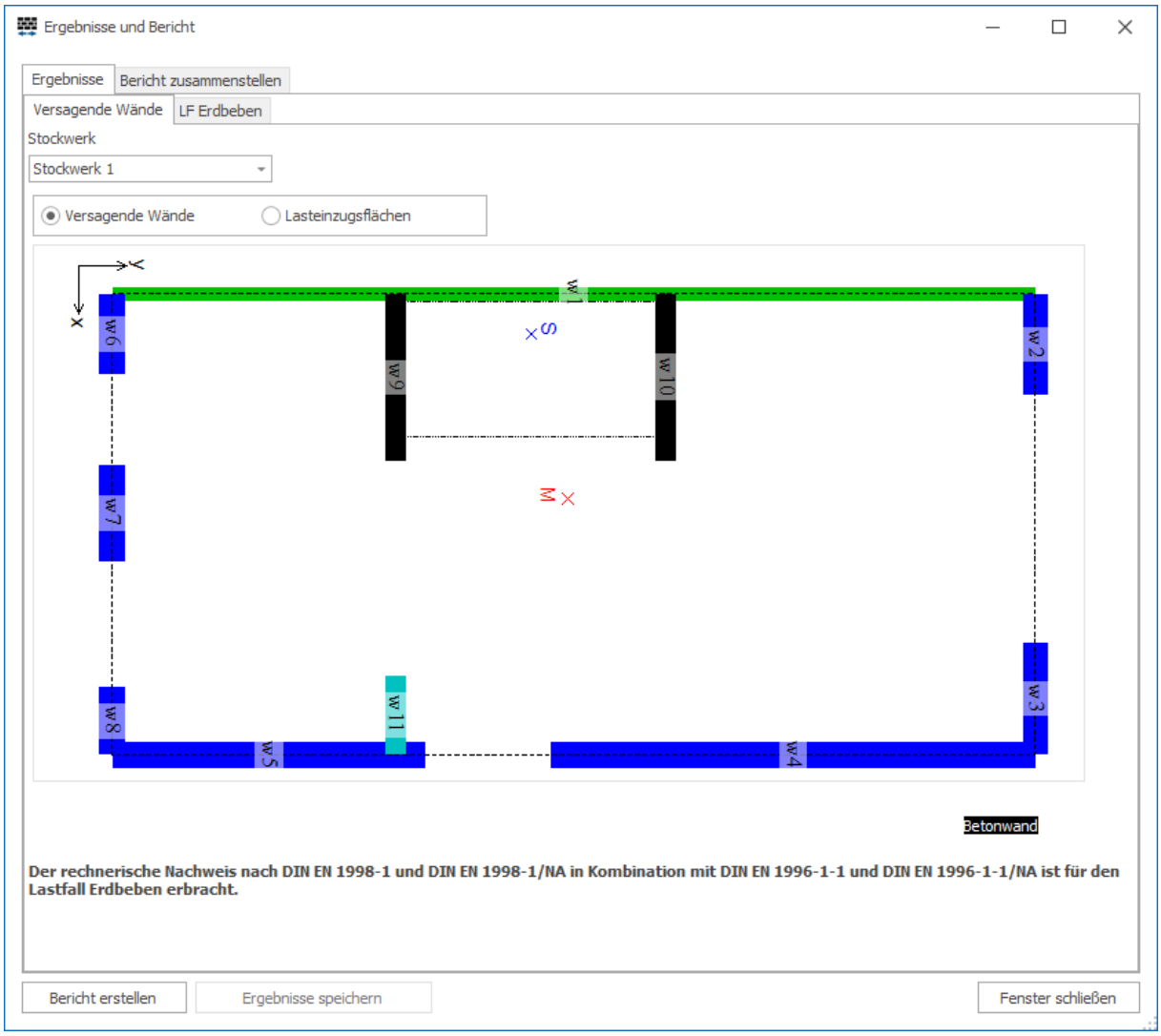


Abbildung 4.8: Ergebnisse und Bericht im Nachweisverfahren „DIN EN 1998-1/NA-DE - DIN EN 1996-1-1/NA-DE - 2D“

jeweiligen Anforderungen leicht angepasst werden (s. Abschnitt 4.1.2).

4.3 DIN EN 1998-1/NA-DE – DIN EN 1996-1-1/NA-DE (3D) [x64]

4.3.1 Nachweiseinstellungen

Unter dem Menüpunkt Nachweiseinstellungen (s. Abschnitt 2.3.1) erfolgt die Wahl des Pfades für temporäre Berechnungsdateien sowie der Nachweisführung:

- Allgemeine Einstellungen: Pfad für temporäre Berechnungsdateien
- Mauerwerksnachweis: Nachweis nach Anhang K + Normalkraftnachweis
- Teilsicherheitsbeiwerte
- Erweiterte Einstellungen: Wandbemessung

Als Ordner für die temporäre Berechnungsdatei ist unbedingt ein NEUER Ordner auf der lokalen Festplatte anzulegen. ALLE Dateien in dem Ordner, auch programmfremde, werden im Zuge der Berechnung gelöscht.

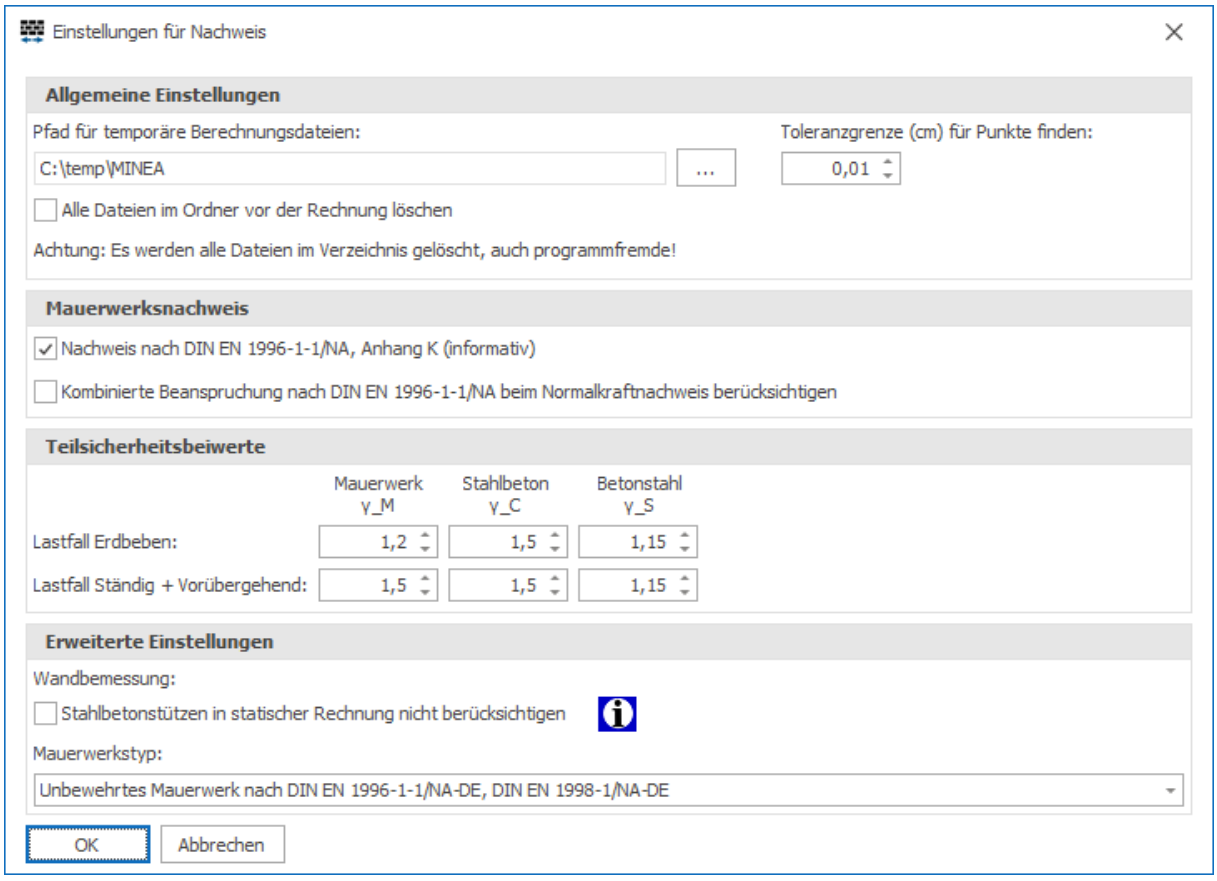


Abbildung 4.9: Nachweiseinstellungen im Nachweisverfahren „DIN EN 1998-1/NA-DE - DIN EN 1996-1-1/NA-DE (3D) [x64]“

Die Berücksichtigung der Einspannwirkung der Mauerwerkswände in die Deckenscheiben kann durch Verwendung des Nachweis nach DIN EN 1996-1-1/NA, Anhang K (informativ) erfolgen.

Unterhalb der erweiterten Einstellungen besteht die Möglichkeit Stützen aus Stahlbeton bei der Wandbemessung ausschließlich bei der Ermittlung der Schnittgrößen aus den dynamischen Lastfällen (Antwortspektrumverfahren) zu berücksichtigen. Diese Einstellung führt dazu, dass die statischen Lastfälle bzw. die daraus resultierenden Schnittgrößen am System ohne Stützen aus Stahlbeton ermittelt werden. Bei der Nachweisführung der Wände erfolgt dann die Kombination der Schnittgrößen aus den unterschiedlichen Lastfällen bzw. Systemen.

Eine Nachweisführung der Mauerwerkswände unter der ausschließlichen Berücksichtigung der Stützen aus Stahlbeton bei den dynamischen Lastfällen setzt eine entsprechende Ausführung der Stützen im Bauablauf voraus. Die Stützen sind geschossweise so auszuführen, dass die Vertikalkräfte von den Wänden aufgenommen werden (z.B. Entkopplung mit Styropor). Hinweise bzw. konstruktive Vorgaben für eine derartige Gestaltung können unterhalb des Berichtsblocks Konstruktive Durchbildung dem Ergebnisbericht hinzugefügt werden.



Beim Laden von Ergebnissen (s. Abschnitt 2.3.6) ist zur Vermeidung von Fehlern unbedingt darauf zu achten, dass die Nachweiseinstellungen bzgl. der Berücksichtigung der Stahlbetonstützen bei der Wandbessung so eingestellt sind, wie diese auch für die ursprüngliche Berechnung eingestellt waren.

4.3.2 Nachweis

Der Nachweis wird über den Menüpunkt Nachweis starten (s. Abschnitt 2.3.3) gestartet. Anschließend öffnet sich ein Fenster mit einer Übersicht der Ergebnisse.

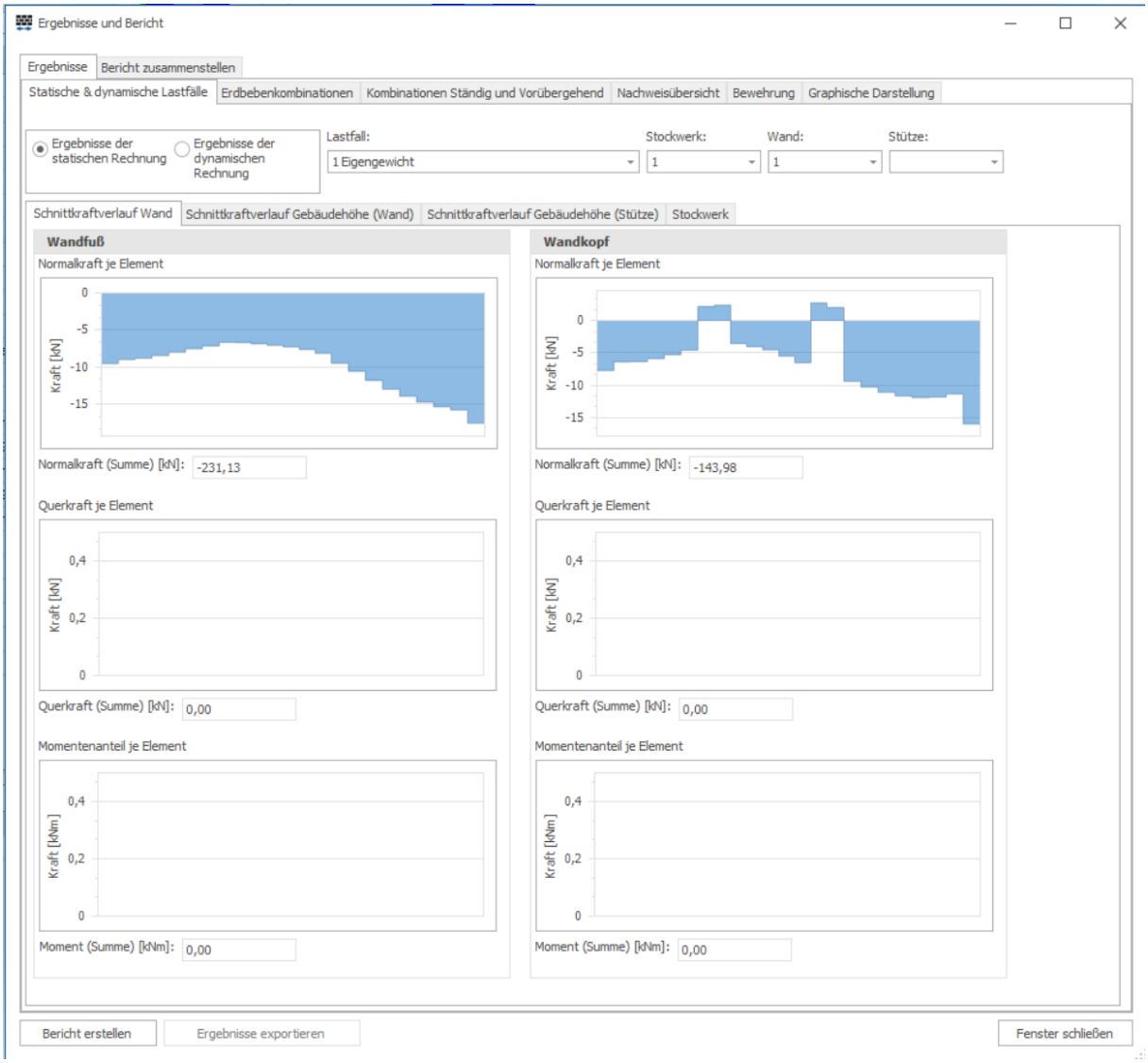


Abbildung 4.10: Ergebnisse und Bericht im Nachweisverfahren „DIN EN 1998-1/NA - DIN EN 1996-1-1/NA - 3D [x64]“

Unter dem Reiter **Statische und dynamische Ergebnisse** können die Schnittgrößen je Wandscheibe abgelesen werden, jeweils getrennt nach Ergebnissen der statischen und Ergebnissen der dynamischen Berechnung. Dabei sind unter dem Reiter **Schnittkraftverlauf Wand** sämtliche Schnittgrößen über die Wandlänge, jeweils für den Wandkopf und den Wandfuß dargestellt. Unter einem weiteren Reiter **Schnittkraftverlauf Gebäudehöhe** sind die Verläufe von Normalkraft,

Querkraft und Moment über die Gebäudehöhe aufgeführt. Informationen über die Ergebnisse für ein gesamtes Stockwerk sind unter dem Reiter **Stockwerk** aufgelistet.

Unter den Reitern **Erdbebenkombination** sowie **Kombinationen ständig und vorübergehend** sind jeweils die ausführlichen Ergebnisse dargestellt, in einer grafischen Übersicht **Versagende Wände** sowie in Tabellenform mit einer Auflistung der numerischen Nachweisergebnisse (s.a. Abschnitt 4.2.2).

Der Reiter **Nachweisübersicht** liefert eine grafische Übersicht mit den versagenden Wänden, in die die Ergebnisse aller Nachweise einfließen.

Unter dem Punkt **Bewehrung** sind die erforderlichen Biegebewehrungsmengen der Decken grafisch dargestellt.

Der letzte Reiter **Graphische Darstellung** zeigt zunächst unter dem Punkt Eigenformen die berechneten Eigenformen in einer dreidimensionalen Grafik. Durch Scrollen mit der Maus kann die Grafik herangezoomt oder kleiner dargestellt werden. Durch Halten der linken Maustaste auf der Grafik kann die Grafik beliebig rotiert werden. Unter dem Reiter Eigenfrequenzen sind die Eigenfrequenzen in tabellarischer Form aufgeführt. Über das Feld Zeige Deckennetz lässt sich eine Grafik mit dem Deckennetz öffnen. Der letzte Reiter Verformungen zeigt grafisch die Verformungsfiguren an. Auch hier kann die Grafik mittels Scrollen oder Halten der linken Maustaste bewegt werden. Über eine Farbskala können auch die numerischen Werte der Verformungen in jede Richtung abgelesen werden.

4.3.3 Ergebnisausgabe

In dem Fenster Ergebnisse und Bericht können weiterhin die Ergebnisse übersichtlich zusammengestellt werden. Durch einen modularen Aufbau der Berichtausgabe kann dieser den jeweiligen Anforderungen leicht angepasst werden (s. Abschnitt 4.1.2).

4.4 DIN EN 1998-1 – DIN EN 1996-1-1 – Pushover (2D)

4.4.1 Nachweiseinstellungen

Unter dem Menüpunkt Nachweiseinstellungen (Abschnitt 2.3.1) erfolgen folgende Nachweiseinstellungen:

- Genauigkeit der Ermittlung der vertikalen Lasten der Schubwände über Lasteinzugsflächen
- Definition der Erdbebenrichtung
- Festlegung der Einstellungen bei der Nachweisführung mit gedämpften Spektren
- Einstellungen für die Berechnung des Performance Points

Masseverteilung

Die Einstellung unter Masseverteilung definiert die Elementgröße zur Ermittlung der Wandauflasten und steuert so die Genauigkeit der Lastermittlung. Je kleiner der Wert gewählt wird, desto genauer ist die Berechnung. Die empfohlene Elementgröße liegt zwischen 3 und 10 cm. Die

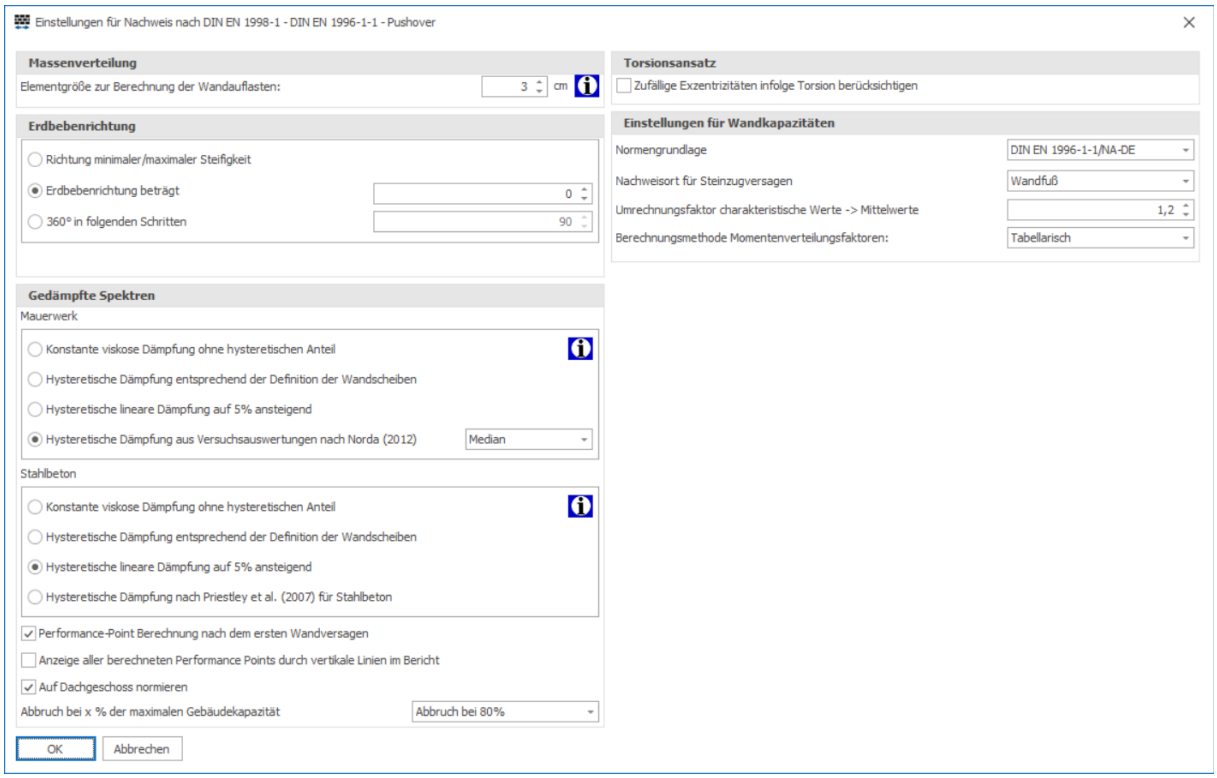


Abbildung 4.11: Nachweiseinstellungen im Nachweisverfahren „DIN EN 1998-1 - DIN EN 1996-1-1 - Pushover (2D)“

daraus resultierenden Lasteinzugsflachen können grafisch vor der Ergebnisausgabe kontrolliert werden.

Erdbebenrichtung

Unter diesem Menüpunkt kann die in der Berechnung zugrunde gelegte Erdbebenrichtung definiert werden. Dabei besteht die Möglichkeit die zu untersuchenden Richtungen entsprechend der translatorischen Steifigkeiten (**Richtung minimaler/maximaler Steifigkeit**), nutzerdefiniert (**Erdbebenrichtung beträgt**) oder umlaufend mit einem festen Inkrement als Winkel in Bezug auf die globale x-Richtung festzulegen. Letztere Möglichkeit kann zu längeren Rechenzeiten führen, da in Abhängigkeit vom gewählten Inkrement mehrere nichtlineare Berechnungen hintereinander durchgeführt werden.

Gedämpfte Spektren

Beim Nachweis mit gedämpften Spektren stehen unterschiedliche Ansätze für unbewehrte Mauerwerkswände sowie bewehrte Mauerwerkswände und Stahlbetonwände als globale Einstellungen zur Verfügung. Nachfolgend werden die Einstellungen kurz erläutert. Zudem sind in MINEA zu den einzelnen Ansätzen Info-Boxen angegeben.

Konstante viskose Dämpfung ohne hysteretischen Anteil
Wird die Einstellung einer konstanten viskosen Dämpfung ohne hysteretischen Anteil gewählt, erfolgt kein Ansatz einer hysteretischen Dämpfung. In diesem Falle liefern die Wände keinen Dämpfungsbeitrag zur Abminderung des Spektrums mit zunehmender Verformung.

Hysteretische Dämpfung entsprechend der Definition der Wandscheiben
Diese Einstellung führt zu einer Berücksichtigung der hysteretischen Dämpfung im nichtlinearen Bereich der Lastverformungskurve. Der Ansatz der Dämpfung erfolgt linear ansteigend bis zu der in den Materialeigenschaften der Wand definierten Enddämpfung.

Hysteretische lineare Dämpfung bis auf 5% ansteigend
Diese Einstellung führt zu einer Berücksichtigung der hysteretischen Dämpfung im nichtlinearen Bereich der Lastverformungskurve. Der Ansatz der Dämpfung erfolgt linear ansteigend bis zu einem Maximalwert von 5% hysteretischer Dämpfung.

Mauerwerk: Hysteretische Dämpfung aus Versuchsdaten nach Norda [2012]
Bei dieser Einstellung erfolgt der Ansatz der Dämpfung im nichtlinearen Bereich der Last-Verformungskurve entsprechend des Dämpfungsansatzes nach Norda [2012] in Abhängigkeit der Versagensarten: Biegung und Längskraft (BL), Schubversagen infolge Steinzugversagen (SZ) und Schubversagen infolge Reibungsversagen (SZ). Die Dämpfungskurven werden programmintern automatisch ermittelt. Es kann zwischen dem Ansatz von 5% Fraktilwerten und Medianwerten ausgewählt werden.

Stahlbeton: Hysteretische Dämpfung nach Priestley et al. [2007]
Bei dieser Einstellung erfolgt der Ansatz der Dämpfung im nichtlinearen Bereich der Last-Verformungskurve entsprechend des Dämpfungsansatzes nach Priestley et al. [2007] für Wandscheiben aus Stahlbeton.

Torsionsansatz

Bei Aktivierung der Einstellung **Zufällige Exzentrizitäten infolge Torsion berücksichtigen** werden Torsionseffekte nach DIN EN 1998-1 berücksichtigt, in dem der Massenschwerpunkt aus der gegenüber seiner planmäßigen Lage in jeder Richtung um eine zufällige Exzentrizität e_{li} nach DIN EN 1998-1 verschoben wird:

$$e_{li} = \pm 0{,}05 \cdot L_i$$

wobei L_i die Geschossabmessungen senkrecht zur Einwirkungsrichtung des Erdbebens sind. Die horizontale Erdbebeneinwirkung wird durch zwei zueinander orthogonale Komponenten beschrieben, die als gleichzeitig wirkend zu betrachten sind. Die Kombination der Richtungen kann nach DIN EN 1998-1 vereinfacht mit der 30%-Regel erfolgen:

$$E_{Edx} \oplus 0{,}30 \cdot E_{Edy}$$
$$0{,}30 \cdot E_{Edx} \oplus E_{Edy}$$

wobei E_{Edx} und E_{Edy} die sich infolge der Erdbebenlast ergebenden Ergebnisgrößen in Richtung der x- bzw. y-Achse sind. Der Operator $\oplus$ bedeutet „zu kombinieren mit“. Diese Kombinationsregel ist in den Ablauf zur Bestimmung der Kapazitätskurve integriert (Abschnitt 5.4.2). Da die ungünstigste Position des Massenschwerpunktes vorab nicht bestimmt werden kann, ist es zudem notwendig, die zufälligen Massenexzentrizitäten in alle Richtungen anzusetzen, so dass sich vier zu untersuchende Positionen des Massenschwerpunktes ergeben. Damit ergeben sich für eine Richtung vier zu untersuchende Einwirkungskombinationen (Abbildung 5.14). Diese vier Kombinationen werden von MINEA bei Aktivierung dieses Menüpunkts automatisch untersucht.

Einstellung für Wandkapazitäten

Dieser Menüpunkt bietet die Möglichkeit die Kapazitäten wahlweise nach dem Basisdokumenrt DIN EN 1996-1-1 und dem nationalen Anwendungsdokument DIN EN 1996-1-1/NA zu berechnen. Weiterhin ist es möglich den Nachweisort des Steinzugversagens festzulegen (Wandfuß/Wandkopf). Zudem ist ein Umrechnungsfaktor der Fraktilwerte, zur Umrechnung der Festigkeiten (charakteristische Festigkeiten) auf Mittelwerte, anzugeben, da in der nichtlinearen Berechnung Mittelwerte verwendet werden. Weiterhin ist die Berechnungsmethode zur Ermittlung der Momentenverteilungsfaktoren festzulegen. Diese können, wie in Abschnitt 3.3.2 beschrieben, händisch oder tabellarisch ermittelt werden. Bei der händischen Ermittlung (Berechnungsmethode: Manuell) sind die Momentenverteilungsfaktoren für jede Wand in den erweiterten Wandeigenschaften festzulegen. Bei Wahl des tabellarischen Ansatzes (Berechnungsmethode: Tabellarisch) werden die Momentenverteilungsfaktoren vom Programm automatisch auf Grundlage der mitwirkenden Plattenbreiten und der freien Wandlängen berechnet. Hierzu sind diese Werte in den erweiterten Wandeigenschaften zu definieren. Details zur Definition und Anwendung finden sich in Abschnitt 5.3.5 und in der Literatur [Butenweg et al. 2021; Kubalski et al. 2022].

Weitere Einstellungen

Zusätzlich lassen sich die Abbruchkriterien für die Ermittlung der Gebäudekapazität sowie einzelne Einstellungen zur Ermittlung des Performance Points konfigurieren. Die Einstellung **Performance-Point Berechnung nach dem ersten Wandversagen** bewirkt, dass die Berechnung auch nach dem ersten Wandversagen fortgeführt wird und auch im abfallenden Ast Schnittpunkte von Kapazitätskurve und Kapazitätsspektrum gesucht werden. Da es mehrere Schnittpunkte geben kann, ermöglicht die Option der Anzeige aller Perfomance Points die Darstellung derselben im Bericht als vertikale Linien. Die Berechnung kann eingeschränkt werden durch eine weitere Abbruchoption bei 50% bzw. 80% der maximalen Gebäudekapazität.

Die Einstellung **Auf Dachgeschoss normieren** bewirkt die Normierung der Eigenformen auf das Dachgeschoss. Dies hat keinen Einfluss auf die Berechnungsergebnisse, sondern nur auf die Darstellung der Eigenform im Ergebnisfenster/Bericht. Im Falle der Aktivierung dieser Einstellung ergeben sich die Modalordinaten auf Dachebene zu Eins.

4.4.2 Nachweis

Der Nachweis wird über den Menüpunkt Nachweis starten (s. Abschnitt 2.3.3) gestartet. Anschließend öffnet sich ein Fenster mit einer Übersicht der Ergebnisse.

Unter dem Reiter **Zusammenfassung** sowie **Detail** sind die wesentlichen Nachweisergebnisse der Berechnung zusammengefasst. Die untersuchten Erdbebenrichtungen und die Lasteinzugsflächen finden sich innerhalb der Reiter **Untersuchungsrichtung** und **Lasteinzugsflächen**.

Der Reiter **Pushover Kurve** bietet die Möglichkeit zur Visualisierung der Gebäude- und Wandscheibenkapazitäten sowie der zugehörigen Dämpfungen. Weitergehende Informationen zu den resultierenden Verdrehungen sowie zu den normierten Eigenformen finden sich unter **Drehung/Verschiebung** und **Eigenform**. Die detaillierten Nachweisergebnisse der Kapazitätsspektrummethode unter Verwendung gedämpter Spektren finden sich innerhalb des Reiters

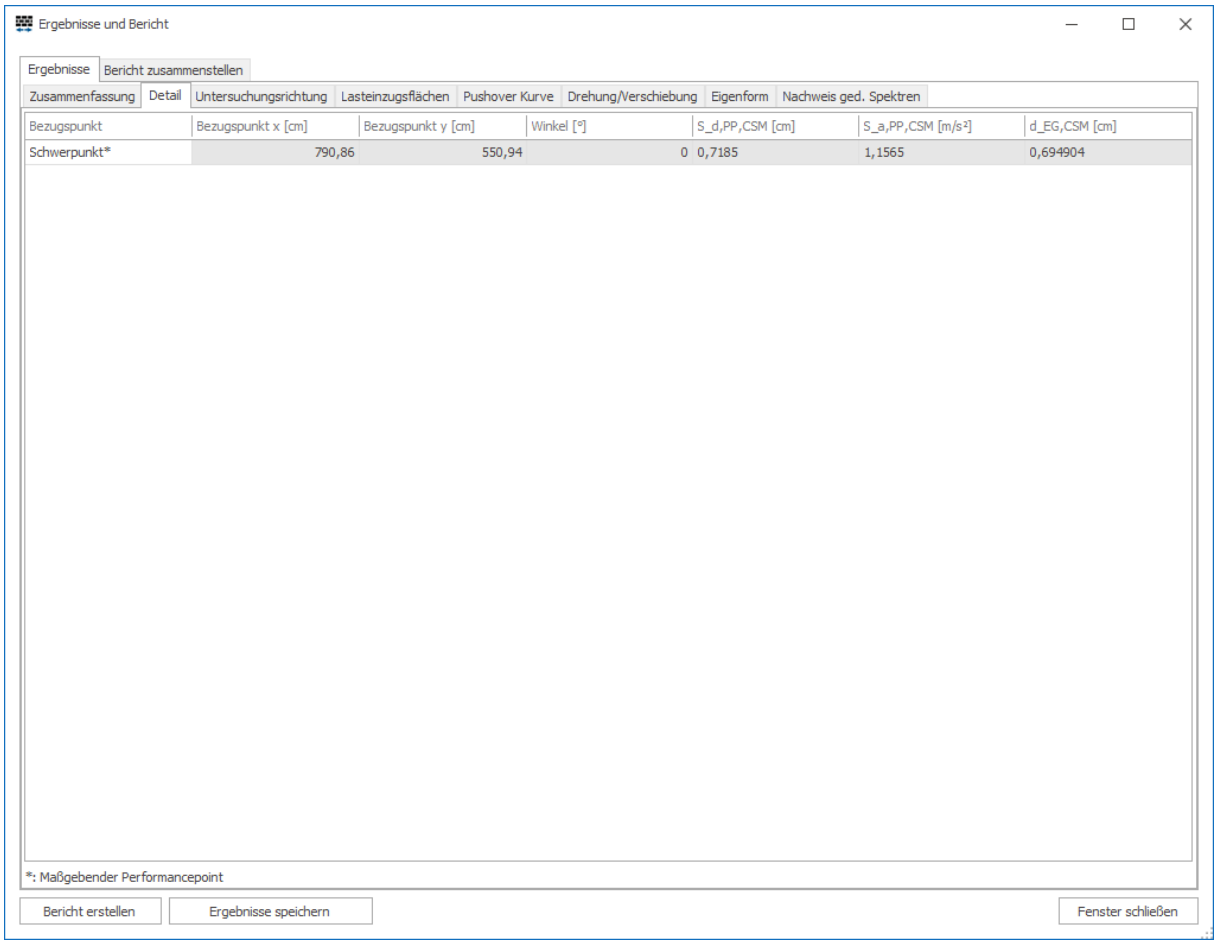


Abbildung 4.12: Ergebnisse und Bericht im Nachweisverfahren „DIN EN 1998-1 - DIN EN 1996-1-1 - Pushover (2D)“

Nachweis ged. Spektren. Eine Übersicht über die Inhalte der einzelnen Reiter des Ergebnisfensters ist in Tabelle 4.1 gegeben.

4.4.3 Ergebnisausgabe

In dem Fenster Ergebnisse und Bericht können weiterhin die Ergebnisse übersichtlich zusammengestellt werden. Durch einen modularen Aufbau der Berichtausgabe kann dieser den jeweiligen Anforderungen leicht angepasst werden (s. Abschnitt 4.1.2).

Tabelle 4.1: Ergebnisfenster: Übersicht der einzelnen Reiter

Reiter	Beschreibung
Zusammenfassung	Angabe der maximalen Stockwerksverschiebung des Erdgeschosses d_{EG} für die betrachteten Erdbebenrichtungen und Angabe ob der Nachweis erfolgreich war.
Detail	Ausgabe der Ergebnisse aller Erdbebenrichtungen mit Angabe des Bezugspunktes, der Anregungsrichtung, der spektralen Verschiebungen $S_{d,PP,CSM}$ und Beschleunigungen $S_{a,PP,CSM}$ der Performance Points (PP) und der maximalen Stockwerksverschiebung des Erdgeschosses d_{EG}.
Untersuchungsrichtung	Grafische Darstellung der Untersuchungsrichtung bezogen auf das Koordinatensystem.
Lasteinzugsflächen	Grafische Kontrolle der Lasteinzugsflächen.
Pushover-Kurve	Darstellung der Einzelwandkapazitäten, der Gebäudekapazität und der zugehörigen Dämpfungskurven.
Drehung/Verschiebung	Darstellung der Drehung/Verschiebung der Erdgeschossdecke mit zunehmender Verformung.
Eigenform	Grafische Darstellung der Eigenformen mit den Modalordinaten unter Berücksichtigung der zunehmenden Nichtlinearität in den Wandscheiben.
Nachweis gedämpfte Spektren	Darstellung der Überlagerung der Gebäudekapazität und des gedämpften Antwortspektrums im S_a-S_d-Diagramm. Zusätzlich können der Verlauf der Eigenfrequenz, des modalen Anteilsfaktors und der effektiven modalen Masse für die erste Eigenform in Abhängigkeit der Verformung dargestellt werden.

Kapitel 5

Theorie

Dieses Kapitel umfasst die theoretischen Grundlagen und normativen Verweise. Erst wird die Erdbebeneinwirkung vorgestellt und dann die Nachweise getrennt nach den einzelnen Verfahren.

5.1 Erdbebeneinwirkung

Die seismische Einwirkung wird durch ein Bemessungsspektrum nach DIN EN 1998-1/NA beschrieben. Dieses ermittelt sich auf Grundlage der ortsabhängigen spektralen Antwortbeschleunigung $S_{aP,R}$ und der der am Standort vorliegenden geologischen Untergrundklasse (Klassen R, S, T) sowie der Baugrundklasse (A, B, C).

Die spektrale Antwortbeschleunigung $S_{aP,R}$ ist für ganz Deutschland in Abhängigkeit der geografischen Koordinaten als Excel-Datei der DIN EN 1998-1/NA beigefügt. Für die spektrale Antwortbeschleunigung und die Untergrundklassen sind auch Visualisierungen in Kartenform in dem Normendokument enthalten.

Das horizontale Bemessungsspektrum ist nach DIN EN 1998-1/NA NDP zu 3.2.2.5(4)P (NA.4.3) definiert. Dem Spektrum liegt eine Referenz-Wiederkehrperiode von 475 Jahren zugrunde. Dies entspricht einer Wahrscheinlichkeit des Auftretens oder Überschreitens von 10 % innerhalb von 50 Jahren. Der Verlauf des Bemessungsspektrums wird durch vier Bereiche gegeben:

Bereich I:	$T_A \leq T \leq T_B$	$S_d(T) = a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2{,}5}{q} - \frac{2}{3}\right)\right)$
Bereich II:	$T_B \leq T \leq T_C$	$S_d(T) = a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S \cdot \frac{2{,}5}{q}$
Bereich III:	$T_C \leq T \leq T_D$	$S_d(T) = a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S \cdot \frac{2{,}5}{q} \cdot \frac{T_C}{T}$
Bereich IV:	$T_D \leq T$	$S_d(T) = a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S \cdot \frac{2{,}5}{q} \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2}$

$S_d(T)$	Ordinate des Bemessungsspektrums in Abhängigkeit der Periode T
a_{gR}	Referenz-Spitzenwert der Bodenbeschleunigung mit $a_{gR} = S_{aP,R} \cdot \frac{1}{2{,}5}$
γ_I	Bedeutungsbeiwert nach DIN EN 1998-1/NA Tabelle NA.5
T_i	Kontrollperioden des Antwortspektrums nach DIN EN 1998-1/NA Tabelle NA.3 ($i = A, B, C, D$)
S	Untergrundparameter
q	Verhaltensbeiwert

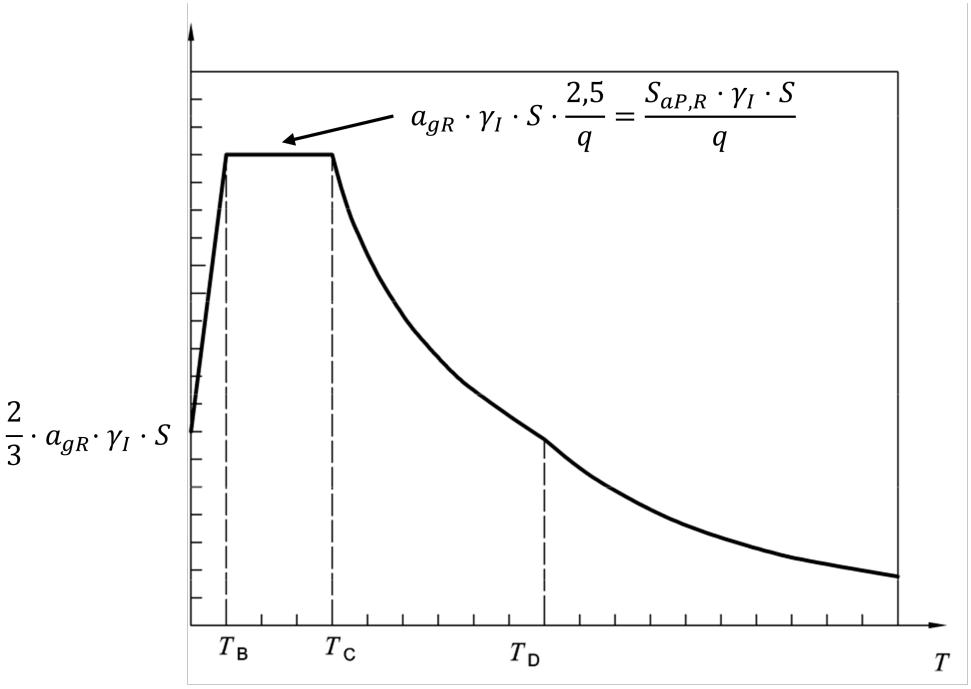


Abbildung 5.1: Bemessungsspektrum

Die Bedeutung eines Bauwerks wird durch die Zuordnung zu einer der Bedeutungskategorien I-IV berücksichtigt. Jeder Kategorie ist ein Bedeutungsbeiwert γ_I zugeordnet, mit dem das Spektrum linear skaliert wird. Damit erfolgt die seismische Bemessung für Bauwerke mit höherer Bedeutung mit erhöhten Erdbebenlasten.

Die Kontrollperioden T_A, T_B, T_C und T_D sowie der Bodenparameter S sind in der DIN EN 1998-1/NA in Abhängigkeit der geologischen Untergrund- und Baugrundklasse tabelliert. Der Bodenparameter S ist hierbei abhängig vom Untergrundverhältnis und zusätzlich von der Höhe der spektralen Antwortbeschleunigung.

Die Verhaltensbeiwerte q für Mauerwerk sind in Abhängigkeit der Mauerwerksart und des Geometrieverhältnisses h/l in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt. Bei Werten von h/l zwischen 1 und 1,6 darf linear interpoliert werden.



Standardmäßig verwendet MINEA unter Berücksichtigung von Stahlbetonbauteilen ohne erhöhte Duktilität einen q-Beiwert von 1,5. Der q-Beiwert kann in den beiden horizontalen Richtungen unter „Erdbebendaten“ variiert werden.

Das Bemessungsspektrum wird von MINEA basierend auf den Angaben automatisch generiert. Die Eingaben können direkt oder ortsbezogen erfolgen. Alternativ bietet MINEA bei allen Nachweisverfahren außer dem Verfahren „DIN EN 1998-1/NA-DE - Vereinfachter Nachweis“ die

Tabelle 5.1: Bedeutungskategorien und Bedeutungsbeiwerte nach DIN EN 1998-1/NA Tabelle NA.5

Bedeutungskategorie	Bauwerke	Bedeutungsbeiwert γ_I
I	Bauwerke mit geringer Bedeutung für den Schutz der Allgemeinheit, mit geringem Personenverkehr (z.B. Scheunen, Kulturgewächshäuser usw.)	0,8
II	Bauwerke, die nicht zu den anderen Kategorien gehören	1,0
III	Bauwerke, von deren Versagen bei Erdbeben eine große Zahl von Personen betroffen ist (z.B. große Wohnanlagen, Schulen, Versammlungsräume, Kaufhäuser usw.)	1,2
IV	Bauwerke, deren Funktionsfähigkeit nach einem Erdbeben von hoher Bedeutung für den Schutz der Allgemeinheit ist (z.B. Krankenhäuser, wichtige Einrichtungen des Katastrophenschutzes, der Feuerwehr und der Sicherheitskräfte, Kraftwerke usw.)	1,4

Tabelle 5.2: Kontrollperioden nach DIN EN 1998-1/NA Tabelle NA.1

Untergrundverhältnis	T_B [s]	T_C [s]	T_D [s]
A-R	0,1	0,20	2,0
B-R	0,1	0,25	2,0
C-R	0,1	0,30	2,0
B-T	0,1	0,25	2,0
C-T	0,1	0,40	2,0
B-S	0,1	0,40	2,0
C-S	0,1	0,50	2,0

Tabelle 5.3: Bodenparameter S nach DIN EN 1998-1/NA Tabelle NA.2

Spektralbeschleunigung $S_{aP,R}$ [m/s^2]	Bodenparameter S Untergrundverhältnis						
	A-R	B-R	C-R	B-T	C-T	C-S	B-S
$S_{aP,R} \leq 1{,}0$	1,00	1,25	1,50	1,05	1,45	1,30	1,30
$1{,}0 < S_{aP,R} \leq 2{,}0$	1,00	1,20	1,30	1,00	1,25	1,15	1,15
$S_{aP,R} > 2{,}0$	1,00	1,20	1,15	1,00	1,10	0,95	0,95

Tabelle 5.4: Verhaltensbeiwert q nach DIN EN 1998-1/NA Tabelle NA.7

Mauerwerksart	Wandgeometrie	
	h/l[a] $\leq 1{,}0$	h/l[a] $\geq 1{,}6$
Unbewehrt[b,c,d]	$1{,}7 \cdot \alpha_u/\alpha_1$	$2{,}0 \cdot \alpha_u/\alpha_1$
Eingefasst	2,0	2,5
Bewehrt	3,0	

[a] h/l bezeichnet das Verhältnis der lichten Geschosshöhe zur Länge der längsten Wand in der betrachteten Gebäuderichtung.

[b] Die Verwendung von Verhaltensbeiwerten $q > 1,7$ ist nur zulässig, wenn in der Bemessungssituation infolge Erdbeben die mittlere Normalspannung in den entsprechenden Wänden 15% der charakteristischen Mauerwerkdruckfestigkeit f_k nach DIN EN 1996-1-1 nicht überschreitet.

[c] Die Tragwerksmodellierung darf nach DIN EN 1996-1-1 erfolgen.

[d] α_1: Multiplikator der horizontalen Erdbebenbemessungseinwirkung beim erstmaligen Erreichen der Biege- oder Schubfestigkeit einer Schubwand, während alle anderen Bemessungseinwirkungen konstant gehalten werden.
α_u: Multiplikator der horizontalen Erdbebenbemessungseinwirkung bei Erreichen des maximalen Fundamentschubs des Gebäudes, wobei alle anderen Bemessungseinwirkungen konstant gehalten werden. Der Multiplikator α_u darf durch eine Pushover-Berechnung ermittelt werden.
Für im Aufriss regelmäßige Gebäude mit $\geq$ 6 durchgehenden Schubwänden in der betrachteten Gebäuderichtung und Lastumlagerungsmöglichkeiten darf $\alpha_u/\alpha_1 = 1{,}15$ angesetzt werden, wenn in der Tragwerksmodellierung Rahmentragwirkung berücksichtigt wird und die Decken für die Zusatzmomente aus den Wänden bemessen werden. Lastumlagerungsmöglichkeiten liegen vor, wenn die betrachtete Gebäuderichtung Wände mit unterschiedlichen Wandlängen aufweist. In allen anderen Fällen ist $\alpha_u/\alpha_1 = 1{,}0$ anzusetzen, wenn keine Pushover-Berechnung durchgeführt wird.
Höhere Verhaltensbeiwerte dürfen auf Grundlage von Pushover-Berechnungen angesetzt werden. Der Maximalwert beträgt in jedem Fall $q = 2,7$.

Möglichkeit ein freies Spektrum zu definieren. Das eingegebene Spektrum wird direkt bei der Bemessung berücksichtigt.

5.2 DIN EN 1998-1 - Vereinfachter Nachweis

Für „einfache Mauerwerksbauten“ ist nach DIN EN 1998-1 9.7.1 ein expliziter Sicherheitsnachweis nicht erforderlich, sofern die Anforderungen an das Material nach 9.2, Auslegungskriterien und Konstruktionsregeln nach 9.5 sowie weitere Regeln nach 9.7.2 eingehalten sind.

5.2.1 Nachweis

Die Anforderungen der Norm werden in dem Nachweisverfahren „DIN EN 1998-1/NA-DE - Vereinfachter Nachweis“ interaktiv überprüft. Sofern es möglich ist, wird die Erfüllung der Anforderungen von MINEA automatisch überprüft. Als maßgebende orthogonale Richtungen werden dabei die x- und y-Richtung der Zeichenebene verwendet.

Baustoffe und Ausführung nach DIN EN 1998-1 Abschnitt 9.2

Die Anforderung an die Baustoffe und Ausführung sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 5.5: Baustoffe und Ausführung nach DIN EN 1998-1/NA Abschnitt 9.2

Absatz	Konstruktionsregel	Erfüllt
1(1)	Mauersteine, die für die Verwendung für Mauerwerk nach DIN EN 1996-1/NA zulässig sind.	✓ / ✘
3(1)	Mauermörtel, die für die Verwendung für Mauerwerk nach DIN EN 1996-1/NA zulässig sind.	✓ / ✘
4(1)	Es dürfen alle Klassen der Stoßfugenausführung verwendet werden.	✓ / ✘

Auslegungskriterien und Konstruktionsregeln nach DIN EN 1998-1 Abschnitt 9.5

Die Anforderungen an die Auslegungskriterien und Konstruktionsregeln sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Die effektive Dicke t_{ef} entspricht bei einschaligen Wänden, zweischaligen Wänden ohne Luftschicht, Wänden mit Randstreifenvermörtelung der Lagerfugen sowie verfüllten zweischaligen Wänden der vorhandenen Wanddicke. Bei zweischaligen Wänden, deren Schalen mit Mauerankern verbunden sind, entspricht die effektive Dicke der tatsächlichen Dicke der tragenden Schale. Die effektive Wanddicke aussteifender Wände, die mit Pfeilern kraftschlüssig verbunden sind, kann nach DIN EN 1996-1-1 durch eine Erhöhung der tatsächlichen Dicke erfolgen. Dies bleibt bei MINEA unberücksichtigt.

Zur Beurteilung der Schlankheit (Verhältnis der effektiven Knicklänge zur effektiven Dicke) bietet MINEA als Entscheidungshilfe eine tabellarische Übersicht dieser Werte ohne Berücksichtigung der Wandschwächung durch Schlitze oder Aussparungen. Die dafür erforderliche Ermittlung der Knicklänge erfolgt nach DIN EN 1996-1-1 Abschnitt 5.5.1.2 in Verbindung mit DIN EN 1996-1-1/NA NCI zu Abschnitt 5.5.1.2.

Nach DIN EN 1996-1-1 Abschnitt 5.5.1.2 bestimmt sich die Knicklänge h_{ef} zu:

$$h_{ef} = \rho_n \cdot h$$

mit der lichten Geschosshöhe h (hier der eingegebenen Stockwerkshöhe) und dem Abminderungsfaktor ρ_n je nach Halterung der auszusteifenden Wand. Für die gehaltene Wand sowie die haltenden Wände gelten die Anforderungen nach DIN EN 1996-1-1 Abschnitt 5.5.1.2.

Die Berechnung der Abminderungsfaktoren ρ_n erfolgt nach DIN EN 1996-1-1 Abschnitt 5.5.1.2 in Verbindung mit DIN EN 1996-1-1/NA NCI zu 5.5.1.2.

Für flächig aufgelagerte Massivdecken beträgt der Faktor $\rho_2 = 0{,}75$ für planmäßige Ausmitten $e \leq t/6$ und 1,0 für $e \geq t/3$; Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden. Eine Abminderung mit dem Faktor ρ_2 ist jedoch nur zulässig, wenn bei einer Wanddicke < 125 mm die Auflagertiefe ≥ 100 mm ist bzw. bei einer Wanddicke ≥ 125 mm die Auflagertiefe $\geq 2/3\ t$ ist. Die Einhaltung dieser Auflagertiefen wird in MINEA vorausgesetzt.

Tabelle 5.6: Auslegungskriterien und Konstruktionsregeln nach DIN EN 1998-1/NA Abschnitt 9.5

Absatz	Konstruktionsregel	Erfüllt
1(1)	Hochbauten aus Mauerwerk müssen aus Decken und Wänden bestehen, die in zwei orthogonalen horizontalen und einer vertikalen Richtung miteinander verbunden sind.	✓ / ✘
1(2), 2(1-2)	Die Verbindung zwischen Decken und Wänden muss durch Stahlanker oder Stahlbetonringbalken mit einer Mindestlängsbewehrung von 200 mm^2 erfolgen.	✓ / ✘
1(3)	Jeder Deckentyp darf verwendet werden, vorausgesetzt, die allgemeinen Kontinuitätsanforderungen und eine wirksame Scheibenwirkung sind sichergestellt.	✓ / ✘
1(4)	Schubwände müssen in mindestens zwei orthogonalen Richtungen vorgesehen sein.	✓ / ✘
1(5) a)	Die effektive Dicke von Schubwänden t_{ef} darf nicht geringer als ein Mindestwert $t_{ef,min}$ nach Tabelle NA.8 sein: $t_{ef} \geq t_{ef,min}$ Der Mindestwert $t_{ef,min}$ wird je nach Bodenbeschleunigung folgendermaßen ermittelt: • $t_{ef,min} = 115$ mm für $a_{gR} \cdot S \cdot \gamma_I \ [m/s^2] \ \leq 0{,}6$ • $t_{ef,min} = 150$ mm bzw. 115 mm bei einem Verhältnis $h_{ef}/t_{ef} \leq 15$ für $0{,}6 < a_{gR} \cdot S \cdot \gamma_I \ [m/s^2] \ \leq 0{,}9$ • $t_{ef,min} = 175$ mm für $0{,}9 < a_{gR} \cdot S \cdot \gamma_I \ [m/s^2] \ \leq 2{,}5$	✓ / ✘
1(5) b)	Die Schlankheit der Wände, als das Verhältnis der effektiven Knicklänge der Wand zu ihrer effektiven Dicke, darf einen Höchstwert nach Tabelle NA.8 nicht überschreiten: $\frac{h_{ef}}{t_{ef}}$ Der Höchstwert der Schlankheit wird je nach Bodenbeschleunigung folgendermaßen ermittelt: • $\frac{h_{ef}}{t_{ef}} \leq 27$ für $a_{gR} \cdot S \cdot \gamma_I \ [m/s^2] \leq 0{,}6$ • $\frac{h_{ef}}{t_{ef}} \leq 18$ für $0{,}6 < a_{gR} \cdot S \cdot \gamma_I \ [m/s^2] \leq 0{,}9$ • $\frac{h_{ef}}{t_{ef}} \leq 15$ für $0{,}9 < a_{gR} \cdot S \cdot \gamma_I \ [m/s^2] \leq 2{,}5$	✓ / ✘
1(5) c)	Das Verhältnis der Wandlänge zur größten lichten Höhe h von an dieser Wand angrenzenden Öffnungen darf nicht geringer sein als ein Mindestwert (0,27 für alle Bodenbeschleunigungswerte): $\frac{l}{h} \leq 0{,}27$	✓ / ✘

Bei Wänden, die am Wandkopf und Wandfuß und an einem vertikalen Rand gehalten sind, beträgt der Abminderungsfaktor ρ_3:

$$\rho_3 = \frac{1}{1 + \left(\alpha_3 \cdot \frac{\rho_2 \cdot h}{3 \cdot l'}\right)^2} \cdot \rho_2 \geq 0{,}3$$

Bei Wänden, die am Wandkopf und Wandfuß und zwei vertikalen Rändern gehalten sind, beträgt der Abminderungsfaktor ρ_4:

$$\rho_4 = \frac{1}{1 + \left(\alpha_4 \cdot \frac{\rho_2 \cdot h}{3 \cdot l}\right)^2} \cdot \rho_2 \qquad \text{für } \alpha_4 \cdot \frac{h}{l} \leq 1{,}0$$

$$\rho_4 = \frac{0{,}5 \cdot l}{\alpha_4 \cdot h} \qquad \text{für } \alpha_4 \cdot \frac{h}{l} > 1{,}0$$

Dabei ist hier jeweils l bzw. l' die Länge der Wand zwischen den aussteifenden Wänden oder einem Ende und h die eingegebene Geschosshöhe. Ausgehend von den Eingangsdaten (haltende Wände) ermittelt MINEA den kritischen Wandabschnitt und berechnet für diesen die Knicklänge der Wand.

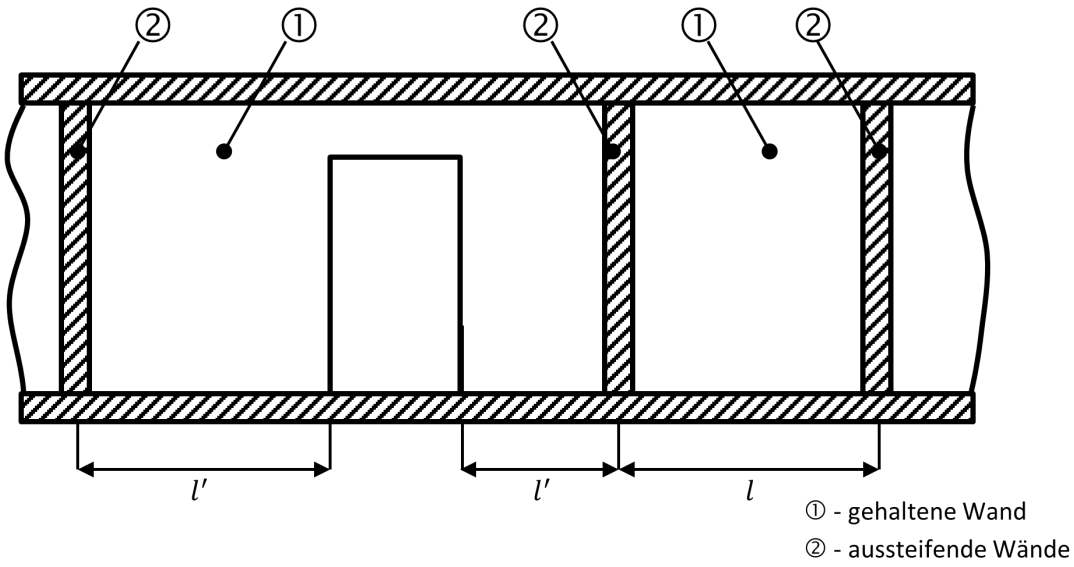


Abbildung 5.2: Wandlänge 3- und 4-seitig gehaltener Wände

Die der Berechnung zugrunde liegende Länge ergibt sich aus dem Schnittpunkt der gehaltenen Wand und den haltenden Wänden. Für die in Abbildung 5.3 dargestellte gehaltene Wand wird mit den Längen l_1 und l_2 überprüft, ob die drei- oder vierseitige Halterung maßgebend ist. Nur die maßgebende Halterung wird in MINEA angegeben. Werden bei Festlegung der haltenden Wände angegeben, die zu weit entfernt oder parallel angeordnet sind, so wird auf der sicheren Seite eine 2-seitige Halterung angenommen.

Die Faktoren α_3 und α_4 sind zu 1,0 zu setzten und für Elementmauerwerk mit einem planmäßigen Überbindemaß $0{,}2 \leq l_{ol}/h_u < 0{,}4$ der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen. Zwischenwerte werden hier linear interpoliert.

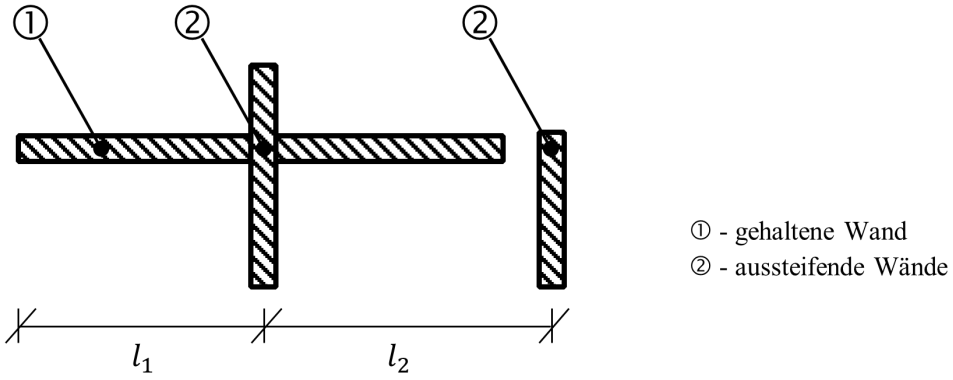


Abbildung 5.3: Definition der untersuchten Wandlängen

Tabelle 5.7: Anpassungsfaktoren α_3 und α_4 nach DIN EN 1996-1-1/NA Tabelle NA.17

Steingeometrie h_u/l_u	0,5	0,625	1	2
3-seitige Lagerung α_3	1,0	0,90	0,83	0,75
4-seitige Lagerung α_4	1,0	0,75	0,67	0,60

Regeln nach DIN EN 1998-1 Abschnitt 9.7.2

Die Anforderungen an das Bauwerk und die Schubwände nach DIN EN 1998-1 sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

Kann der Punkt (3) b) und c) nicht mit einzelnen Schubwänden erfüllt werden, so wird überprüft, ob Wände in einer Achse die Anforderungen erfüllen. Zur Ermittlung von zusammengesetzten Schubwänden wird nicht nur die Profilmittellinie herangezogen, sondern auch leicht versetzte Wände entsprechend Abbildung 5.4 zugelassen.



Abbildung 5.4: Geometrie von Wänden in einer Achse

Über diese Abschnitte hinaus überprüft MINEA, ob die Mindestwanddicke unbewehrter tragender Mauerwerkswände nach DIN EN 1998-1/NA NDP zu 9.3(2) von 115 mm eingehalten ist.

Sind alle Anforderungen an die Mauerwerkswände und an das Gebäude erfüllt, so ist nach Norm ein rechnerischer Nachweis nicht erforderlich. Es ist zu ergänzen, dass dieser vereinfachte Nachweis auf Erfahrungswerten basiert und deshalb in einigen Fällen erbracht werden kann, in denen ein linearer rechnerischer Nachweis auf Grund der konservativen Vorgaben für den Verhaltensbeiwert q nicht mehr gelingt.

5.3 DIN EN 1998-1 in Kombination mit DIN EN 1996-1-1 (2D)

Die Modellierung und Bemessung des Mauerwerksgebäudes erfolgt in Abhängigkeit der Grund- und Aufrissgestaltung. Sofern das Gebäude die Regelmäßigkeitskriterien im Grundriss erfüllt, kann es durch zwei ebene Modelle abgebildet werden. Erfüllt es auch noch die Regelmäßigkeitskriterien im Aufriss, kann die Erdbebenbeanspruchung mit dem vereinfachten Antwortspek-

Tabelle 5.8: Regeln nach DIN EN 1998-1/NA Abschnitt 9.7.2

Absatz	Konstruktionsregel	Erfüllt
(1)	Anforderungen an die Schubwandquerschnittsflächen nach DIN EN 1998-1/NA Tabelle NA.H.1 bis Tabelle NA.H.14	✓ / ✘
(2) a)	Der Grundriss ist annähernd rechteckig.	✓ / ✘
(2) b)	Das Verhältnis zwischen der Länge der kürzeren und der Länge der längeren Seite im Grundriss sollte nicht kleiner sein als 0,25.	✓ / ✘
(2) c)	Die Fläche der projizierten Abweichungen von der Rechteckform sollte nicht größer als 15% der gesamten Gebäudegrundrissfläche oberhalb der betrachteten Ebene sein.	✓ / ✘
(3) a)	Das Gebäude ist durch Schubwände ausgesteift, die im Grundriss nahezu symmetrisch in zwei orthogonalen Richtungen angeordnet sind.	✓ / ✘
(3) b)	Eine der folgenden drei Bedingungen sollte erfüllt werden: 1. Bedingung:	✓ / ✘
(3) c)	Reihenhaus mit zwei durchgehenden Gebäudetrennwänden.	
(4)	2. Bedingung: Mindestens zwei parallele Schubwände in einer Richtung, deren Länge mindestens dem doppelten Wert von $l/h \geq 0{,}27$ nach Tabelle NA.8 entspricht, wobei der Abstand zwischen deren Wandachsen mindestens 60% der größeren Gebäudelänge betragen muss. 3. Bedingung: Mindestens zwei parallele Wände sollten in zwei orthogonalen Richtungen angeordnet sein, wobei die Länge jeder Wand größer ist als 30% der Bauwerkslänge in der betrachteten Richtung. Außerdem sollte der Abstand zwischen zwei der Wände in mindestens einer Richtung größer als 75% der Bauwerkslänge in der anderen Richtung sein. Die geforderte Wandlänge kann sich auch als Summe der Längen von durch Öffnungen getrennten Schubwänden in einer Achse ergeben. In diesem Fall sollte mindestens eine Schubwand in jeder Richtung eine Länge aufweisen, die mindestens dem doppelten Mindestwert entspricht.	
(3) d)	Mindestens 75% der Vertikallasten sollten von den Schubwänden getragen sein oder der überwiegende Teil der Vertikallasten sollte von den Schubwänden in den beiden orthogonalen Hauptrichtungen in etwa gleicher Größenordnung abgetragen werden.	✓ / ✘
(3) e)	Schubwände sollten über alle Geschosse von der Gründung bis zum Dach durchgehen.	✓ / ✘
(5)	Zwischen aufeinanderfolgenden Geschossen sollte der Massenunterschied kleiner als 20% sein. Zwischen aufeinander folgenden Geschossen sollte der Unterschied der horizontalen Querschnittsflächen von Schubwänden in beiden orthogonalen horizontalen Richtungen kleiner als 30% sein.	✓ / ✘
(6)	Für unbewehrte Mauerwerksbauten sollten die Schubwände in einer Richtung mit Wänden in der dazu orthogonalen Richtung in einem maximalen Abstand von 7 m verbunden werden.	✓ / ✘

trumverfahren berechnet werden. Haben höhere Schwingformen einen wesentlichen Einfluss auf das Schwin-gungsverhalten, müssen diese bei der Einwirkung berücksichtigt werden. Das multimodale Antwortspektrumverfahren ist bei MINEA nur bei dem Nachweisverfahren „DIN EN 1998-1/NA-DE - DIN EN 1996-1-1/NA-DE (3D) [x64]“ verfügbar.



MINEA verwendet in dem Nachweisverfahren „DIN EN 1998-1/NA-DE - DIN EN 1996-1-1/NA-DE (2D)“ ausschließlich das vereinfachte Antwortspektrum-verfahren. Untersucht werden die Hauptrichtungen, d.h. die x- und y-Richtung wie im Zeichenbereich von MINEA abgebildet.

5.3.1 Regelmäßigkeitskriterien

Voraussetzung für die Anwendbarkeit dieses Nachweisverfahrens ist die Erfüllung der Regelmäßigkeitskriterien im Grund- und Aufriss.

Regelmäßigkeit im Aufriss

Für schubwandausgesteifte Gebäude ergeben sich die in der nachfolgenden Tabelle dargestellten Anforderung an die Regelmäßigkeit im Aufriss nach DIN EN 1998-1 Abschnitt 4.2.3.3.

Tabelle 5.9: Regelmäßigkeit im Aufriss nach DIN EN 1998-1 Abschnitt 4.2.3.3

Absatz	Konstruktionsregel	Erfüllt
(2)	Alle horizontalen Aussteifungssysteme wie Kerne oder tragende Wände müssen ohne Unterbrechung von ihren Gründungen bis zur Oberkante des Gebäudes verlaufen.	✓ / ✘
(3)	Die Horizontalsteifigkeit als auch die Masse der einzelnen Geschosse müssen konstant sein oder allmählich ohne sprunghafte Änderungen vom Fundament bis zur Spitze eines Gebäudes abnehmen.	✓ / ✘
(5)	Rücksprünge müssen die Bedingungen nach DIN EN 1998-1 Abschnitt 4.2.3.3(5) erfüllen.	✓ / ✘

Erfüllt das Gebäude alle Regelmäßigkeitskriterien im Aufriss und ist die Grundschwingzeit darüber hinaus kleiner gleich 2 s und kleiner gleich $4 \cdot T_C$, wobei T_C die Kontrollperiode des Antwortspektrums ist, so ist das vereinfachte Antwortspektrumverfahren nach DIN EN 1998-1 Abschnitt 4.3.3.2 anwendbar.

Regelmäßigkeit im Grundriss

Erfüllt das Gebäude weiterhin die Regelmäßigkeitskriterien im Grundriss, kann das Gebäude durch zwei ebene Modelle in den beiden horizontalen Hauptrichtungen abgebildet werden. Die Kriterien sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Auch wenn nicht alle Regelmäßigkeitskriterien im Grundriss erfüllt sind, dürfen linear-elastische Berechnungen an zwei ebenen Modellen durchgeführt werden, wenn die besonderen Regelmäßigkeitskriterien erfüllt sind. Diese sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Sind alle Punkte bis auf Punkt d) der Tabelle 5.11 erfüllt, so kann das Gebäude trotzdem durch zwei ebene Modelle abgebildet werden, wenn die Erdbebeneinwirkung um 25% erhöht wird.

MINEA überprüft automatisch, ob die Kriterien der Regelmäßigkeit erfüllt sind und das vereinfachte Antwortspektrumverfahren anhand von zwei ebenen Modellen zulässig ist.

Tabelle 5.10: Regelmäßigkeit im Grundriss nach DIN EN 1998-1 Abschnitt 4.2.3.2

Absatz	Konstruktionsregel	Erfüllt
(2)	Hinsichtlich der Verteilung der horizontalen Steifigkeit und der Masse ist das Bauwerk im Grundriss ungefähr symmetrisch bezüglich zweier rechtwinklig zueinander stehender Achsen.	✓ / ✘
(3)	Die Grundrissform ist kompakt, d.h. jedes Stockwerk kann durch ein konvexes Polygon umrissen werden. Vorhandene Rücksprünge beeinträchtigen die Steifigkeit der Decke in ihrer Ebene nicht und die Fläche zwischen dem Umriss es Stockwerks und einem konvexen Polygon als Umhüllende des Stockwerks überschreitet die Stockwerksfläche um weniger als 5%.	✓ / ✘
(4)	Die Steifigkeit der Decke in ihrer Ebene ist im Vergleich zur Horizontalsteifigkeit der vertikalen tragenden Bauteile ausreichend groß, so dass die Verformung der Decke sich nur unwesentlich auf die Verteilung der Kräfte an die vertikalen tragenden Bauteile auswirkt.	✓ / ✘
(5)	Die Schlankheit des Gebäudes L_{max}/L_{min} des Gebäudes im Grundriss darf nicht größer als 4 sein, wobei L_{max} und L_{min} jeweils die senkrecht zueinander gemessene größte und kleinste Gebäudeabmessung im Grundriss darstellt: $\lambda = \frac{L_{max}}{L_{min}} \leq 4$	✓ / ✘
(6)	Für jede Berechnungsrichtung müssen die tatsächliche Ausmitte e_0 und der Torsionsradius r die beiden folgenden Bedingungen erfüllen: $e_{0x} \leq 0{,}3 \cdot r_x$ und $r_x \geq l_s$ $e_{0y} \leq 0{,}3 \cdot r_y$ und $r_y \geq l_s$	✓ / ✘

Tabelle 5.11: Besondere Regelmäßigkeitsbedingungen nach DIN EN 1998-1 Abschnitt 4.3.3.1(8)

Absatz	Konstruktionsregel	Erfüllt
a)	Das Bauwerk besitzt gut verteilte und relativ starre Fassadenteile und Trennwände.	✓ / ✘
b)	Die Höhe des Bauwerks überschreitet 10 m nicht.	✓ / ✘
c)	Die Steifigkeit der Decken in ihrer Ebene ist im Vergleich zur horizontalen Steifigkeit der vertikalen tragenden Bauteile ausreichend groß, so dass eine starre Deckenwirkung angenommen werden kann.	✓ / ✘
d)	Die Mittelpunkte der horizontalen Steifigkeit und Masse liegen näherungsweise auf einer Graden und für beide horizontalen Berechnungsrichtungen gilt: $r_x^2 > l_s^2 + e_{0x}^2$ $r_y^2 > l_s^2 + e_{0y}^2$	✓ / ✘

5.3.2 Tragwerksmodell

Das Nachweisverfahren „DIN EN 1998-1/NA-DE - DIN EN 1996-1-1/NA-DE (2D)“ verwendet ebene Berechnungsmodelle. Die dazu erforderlichen Materialeigenschaften ergeben sich für Mauerwerk nach DIN EN 1996-1-1 Abschnitt 3.6.1 und 3.7.2 in Kombination mit DIN EN 1996-1-1/NA NDP zu Abschnitt 3.6.1 und 3.7.2. Für alle anderen Materialien können die Daten direkt der Eingabe entnommen werden.

Bei der Generierung des Tragwerksmodells zur Aufnahme der horizontalen Lasten werden alle Wände berücksichtigt, die als Schubwände deklariert sind und die den Mindestanforderungen nach DIN EN 1998-1/NA Tabelle NA.8 genügen.

Tabelle 5.12: Mindestanforderungen an aussteifende Wände (Schubwände) nach DIN EN 1998-1/NA Tabelle NA.8

Bodenbeschleunigung [m/s^2]	h_{ef}/t_{ef}	t_{ef} [mm]	l/h[a]
$a_{gR} \cdot S \cdot \gamma_I \leq 0{,}6$	nach DIN EN 1996-1-1		$\geq$ 0,27
$0{,}6 < a_{gR} \cdot S \cdot \gamma_I \leq 0{,}9$	$\leq$ 18	$\geq$ 150[b]	$\geq$ 0,27
$0{,}9 < a_{gR} \cdot S \cdot \gamma_I \leq 2{,}5$	$\leq$ 15	$\geq$ 175	$\geq$ 0,27

h_{ef} Knicklänge nach DIN EN 1996-1-1
h lichte Geschosshöhe[b]
t_{ef} Wanddicke
l Wandlänge

[a] Sofern an die Wand Öffnungen angrenzen, darf anstatt der lichten Geschosshöhe die größere lichte Höhe der angrenzenden Öffnungen nach Bild NA.3 angesetzt werden.
[b] Wände der Wanddicke $\geq$ 115 mm dürfen zusätzlich berücksichtigt werden, wenn $h_{ef}/t_{ef} \leq 15$ ist.

Sind ausschließlich Wände in x- und y-Richtung vorhanden, ergeben sich die Systemsteifigkeiten durch Summation der Wandsteifigkeiten in diesen Richtungen.

$$k_x = \sum k_{x,i} = \sum E \cdot I_{E,x}$$
$$k_y = \sum k_{y,i} = \sum E \cdot I_{E,y}$$

Die Berücksichtigung der Schubverformungen kann nach Müller und Keintzel [1978] für dreiecksförmige Belastungen vereinfachend über die Reduzierung der Wandträgheitsmomente I_E erfolgen:

$$I_E = \frac{I}{1 + \frac{3{,}64 \cdot E \cdot I}{h^2 \cdot G \cdot A}}$$

Dabei sind I das Wandträgheitsmoment, h die Wandhöhe, E der Elastizitätsmodul, G der Schubmodul und A die Wandfläche. Nach DIN EN 1996-1-1 Abschnitt 3.7.3(1) ergibt sich der Schubmodul von Mauerwerk zu 40% des Elastizitätsmoduls. Für Stahlbeton ergibt sich unter Annahme linear-elastischen, isotropen Materials und mit $\nu = 0{,}2$ für ungerissenen Beton nach DIN EN 1992-1-1 das Verhältnis $E/G = 2{,}4$.

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{1}{2{,}4} \cdot E$$

Liegen Aussteifungselemente in beliebiger Richtung vor, so ist die Aufteilung unter Berücksichtigung der Ausrichtung der schrägen Wände vorzunehmen. Hier bietet sich eine matrizielle Formulierung an. Basierend auf einem „Pseudo 3D Modell“ wird die Quersteifigkeitsmatrix jedes aussteifenden Elements auf den horizontalen Freiheitsgrad entlang der Wandebene kondensiert. Nachfolgend wird die Aufstellung der Gesamtsteifigkeitsmatrix gezeigt.

Es wird davon ausgegangen, dass alle aussteifenden Wandelemente gebäudehoch ausgeführt sind. Da Stockwerksdecken mit aussteifender Scheibenwirkung vorliegen, müssen nur die horizontalen Verschiebungen u_x, u_y des Massenschwerpunktes M sowie die Rotation ϑ der Stockwerksdecke um die z-Achse als aktive Freiheitsgrade berücksichtigt werden.

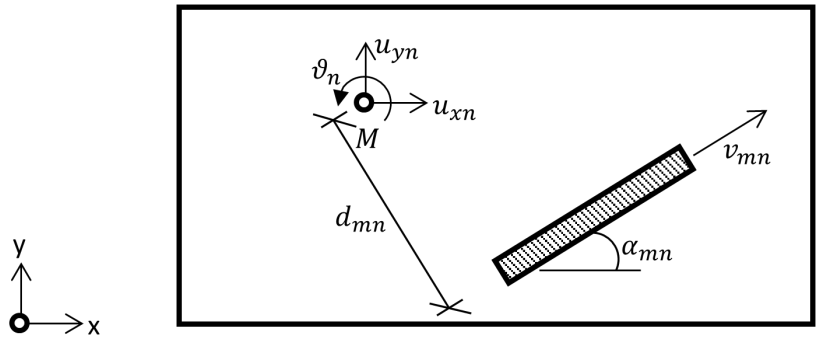


Abbildung 5.5: Freiheitsgrade der Wand m des Stockwerks n

Die in der Abbildung dargestellte Einzelwand besitzt den Hebelarm d_{mn} (bezogen auf den Massenschwerpunkt) und den Winkel α_{mn} (positiv gegen den Uhrzeigersinn, bezogen auf die x-Achse). Die Wandverschiebung v_{mn} kann als Funktion der Stockwerksverschiebungen u_{xn}, u_{yn} und der Rotation ϑ_n des Stockwerks n ausgedrückt werden:

$$v_{mn} = \begin{pmatrix} \cos\alpha_{mn} & \sin\alpha_{mn} & d_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_{xn} \\ u_{yn} \\ \vartheta_n \end{pmatrix}$$

Die Transformationsmatrix $\underline{A}_m$ errechnet sich mit der quadratischen Einheitsmatrix $\underline{I}$ der Dimension n und der Diagonalmatrix der Abstände bezogen auf die Massenmittelpunkte $\mathrm{diag}\,[d_{mn}]$ zu:

$$\underline{A}_m = \begin{bmatrix} \cos\alpha_{mn}\,\underline{I} & \sin\alpha_{mn}\,\underline{I} & \mathrm{diag}\,[d_{mn}] \end{bmatrix}$$

Mit der Transformationsmatrix $\underline{A}_m$ und dem Vektor der Verformungen der Massenschwerpunkte $\underline{U}$ mit

$$\underline{A}_m^T = \begin{pmatrix} u_{x1} & u_{x2} & \cdots & u_{xn} & u_{y1} & u_{y2} & \cdots & u_{yn} & \vartheta_1 & \vartheta_2 & \cdots & \vartheta_n \end{pmatrix}$$

ergibt sich über

$$\underline{V}_m = \underline{A}_m\,\underline{U}$$

der Vektor $\underline{V}_m$ der Horizontalverschiebungen der Scheiben mit

$$\underline{V}_m^T = \begin{pmatrix} v_{m1} & v_{m2} & \cdots & v_{mn} \end{pmatrix}$$

Im globalen x-y-Koordinatensystem ergibt sich die (3n, 3m)-Steifigkeitsmatrix $\underline{\tilde{K}}_m$ für die Wand m aus der kondensierten Steifigkeitsmatrix $\underline{K}_m$ zu

$$\underline{\tilde{K}}_m = \underline{A}_m^T \, \underline{K}_m \, \underline{A}_m$$

Die Steifigkeitsmatrix des Aussteifungssystems kann als Summe der Einzelwandsteifigkeiten formuliert werden:

$$\underline{\tilde{K}}_{ges} = \sum \underline{\tilde{K}}_m$$

Über die bekannte Beziehung

$$\underline{P} = \underline{\tilde{K}}_{ges} \, \underline{U}$$

können die Verformungen $\underline{U}$ aus dem Kraftvektor $\underline{P}$ berechnet und letztlich auf die Einzelwände transformiert werden.

Die matrizielle Formulierung liefert für orthogonal angeordnete Wände dieselbe Belastung, wie die zuerst vorgestellte Methode.

5.3.3 Beanspruchung

Die Beanspruchungen der Einzelwände werden im Grenzzustand der Tragfähigkeit für die Bemessungssituation Erdbeben ermittelt. Zusätzlich werden noch im Grenzzustand der Tragfähigkeit für die ständige oder vorübergehende Bemessungssituation und im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit für die charakteristische Bemessungssituation die Einwirkungen ermittelt, wenn Windbeanspruchungen in MINEA eingegeben wurden.

Erdbeben

Zur Ermittlung der horizontalen Beanspruchung infolge Erdbeben werden die Eigenfrequenzen des Tragwerks und mit dem Bemessungsspektrum die Gesamterdbebenkräfte in den beiden Hauptrichtungen bestimmt.

Modalanalyse

Die Modalanalyse erfolgt für beide horizontalen Hauptrichtungen an einem Mehrmassenschwinger. Die Berechnung erfolgt nach DIN EN 1998-1 Abschnitt 3.2.4 (2)P unter Berücksichtigung der Massen entsprechend aller Gewichtskräfte, die in der folgenden Kombination von Einwirkungen auftreten:

$$\sum G_{k,j} \oplus \sum \psi_{E,i} \cdot Q_{k,j}$$

Der Kombinationsbeiwert $\psi_{E,i}$ berücksichtigt die Wahrscheinlichkeit, dass die Lasten $\psi_{2,i} \cdot Q_{k,j}$ während des Erdbebens nicht überall im Bauwerk vorhanden sind. Der Beiwert ergibt sich nach DIN EN 1998-1 Abschnitt 4.2.4(2)P zu

$$\psi_{E,i} = \varphi \cdot \psi_{2,i}$$

Die Werte von $\psi_{2,i}$ sind in der DIN EN 1990/NA gegeben. Abweichend von dieser Norm wird nach DIN EN 1998-1/NA Abschnitt NDP zu 4.2.4(2)P bei der Ermittlung der wirksamen Massen Schneelasten mit dem Kombinationsbeiwert $\psi_2 = 0{,}5$ angesetzt. Werte für den Beiwert φ sind in der DIN EN 1998-1/NA Tabelle NA.4 zu finden und in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 5.13: Beiwerte für φ nach DIN EN 1998-1/NA Tabelle NA.4

Art der veränderlichen Einwirkung nach DIN EN 1991-1-1/NA	Lage im Gebäude	φ
Nutzlasten in den Nutzungskategorien A bis C[a]	Oberstes Vollgeschoss einschließlich Dach[b]	1,0
	andere Geschosse	0,7
Nutzlasten in den Nutzungskategorien D bis F[a]	alle Geschosse	1,0
Schneelasten	Dach	1,0

[a] Für die Nutzungskategorien T und Z gelten die Beiwerte der Nutzungskategorie des jeweiligen Gebäudes oder Gebäudeteils.

[b] Das oberste Geschoss eines Gebäudes gilt dann nicht als Vollgeschoss, wenn die für die Erdbebeneinwirkungen zu berücksichtigende Masse aus ständiger Einwirkung und Nutzlast des obersten Geschosses bzw. der Dachkonstruktion maximal 50% des darunter liegenden Vollgeschosses beträgt.

Gesamterdbebenkraft

Die Bestimmung der Gesamterdbebenkraft F_b erfolgt nach DIN EN 1998-1 Abschnitt 4.3.3.2.2(1)P:

$$F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda$$

Dabei ist $S_d(T_1)$ die Ordinate des Bemessungsspektrums bei der Periode T_1, m die Gesamtmasse, die auch der Berechnung der Eigenfrequenzen zugrunde liegt, und λ ein Korrekturbeiwert, der die effektive modale Masse berücksichtigt. Der Korrekturbeiwert ist 0,85, wenn die Periode $T_1 \leq 2 \cdot T_C$ ist und das Bauwerk mehr als zwei Stockwerke hat; in allen anderen Fällen ist der Korrekturbeiwert 1,0.

Der Gesamtfundamentschub wird nach DIN EN 1998-1 Abschnitt 4.3.3.2.3(3) massen- und höhenproportional verteilt, indem an den beiden ebenen Modellen horizontale Kräfte F_i an allen Stockwerken angebracht werden:

$$F_i = F_b \cdot \frac{z_i \cdot m_i}{\sum z_j \cdot m_j}$$

Dabei sind m_i bzw. m_j die Stockwerksmassen und z_i bzw. z_j die Höhe der Massen über der Ebene, in der die Erdbebeneinwirkung angreift. Dies entspricht in MINEA der Unterkante des Erdgeschosses.

Torsionswirkungen

Die DIN EN 1998-1 bietet mehrere Möglichkeiten zur Berücksichtigung von Torsionswirkungen. MINEA unterstützt drei Möglichkeiten, die in den Nachweiseinstellungen festgelegt werden:

- Torsionswirkungen nach DIN EN 1998-1 4.3.3.2.4(1)
- Torsionswirkungen nach DIN EN 1998-1 4.3.3.2.4(2)
- Torsionswirkungen nach DIN EN 1998-1/NA NA.D.4(2)

Die erste Möglichkeit kann dann angewendet werden, wenn die horizontale Steifigkeit und die Masse im Grundriss symmetrisch verteilt sind. Die zufälligen Torsionswirkungen können vereinfacht durch eine Erhöhung der Beanspruchungen in den lastabtragenden Bauteilen mit dem Faktor δ berücksichtigt werden:

$$\delta = 1 + 0{,}6 \cdot \frac{x}{L_e}$$

wobei x der Abstand des betrachteten Bauteils vom Massenmittelpunkt des Gebäudes im Grundriss, gemessen senkrecht zur Richtung der betrachteten Erdbebenwirkung, und L_e der Abstand zwischen den beiden äußersten Bauteilen, die horizontale Lasten abtragen, gemessen senkrecht zur Richtung der betrachteten Erdbebenwirkung ist.

Die zweite Möglichkeit gilt für Grundrisse, die unter Verwendung von zwei ebenen Modellen berechnet werden. Zufällige Torsionswirkungen können hier ebenfalls durch den Faktor δ erfasst werden, wenn der Faktor 0,6 auf 1,2 erhöht wird.

In beiden Fällen kann das Verfahren in MINEA nur angewendet werden, wenn Wände ausschließlich in x- und y-Richtung vorhanden sind. Die prozentuale Belastung des Aussteifungselementes i ergibt sich zu:

$$s_i = \frac{k_i}{k} \cdot \delta$$

Die dritte Möglichkeit ist die genaueste und aufwändigste nach dem Anhang D der DIN EN 1998 1/NA. Hierbei werden die tatsächliche Exzentrizität e_0, die zufällige Exzentrizität e_1 und die zusätzliche Exzentrizität e_2 berücksichtigt und getrennt für beide Richtungen die anzusetzenden Exzentrizitäten ermittelt:

$$e_{min} = 0{,}5 \cdot e_0 - e_1$$
$$e_{max} = e_0 + e_1 + e_2$$

Die tatsächliche Exzentrizität ergibt sich aus dem Abstand zwischen Massenschwerpunkt und Steifigkeitsmittelpunkt.

Die zufällige Exzentrizität ermittelt sich in beiden Richtungen zu

$$e_1 = 0{,}05 \cdot L_i$$

Die zusätzliche Exzentrizität berücksichtigt die dynamische Wirkung von gleichzeitigen Translations- und Torsionsschwingungen:

$$e_2 = 0{,}1 \cdot (L + B) \cdot \sqrt{\frac{10 \cdot e_0}{L}} \leq 0{,}1 \cdot (L + B)$$

Weist das Gebäude eine gute Torsionsaussteifung auf, so kann die zusätzliche Exzentrizität auch folgendermaßen bestimmt werden

$$e_2 = \frac{1}{2 \cdot e_0} \cdot \left(l_s^2 - e_0^2 - r^2 + \sqrt{(l_s^2 + e_0^2 - r^2)^2 + 4 \cdot e_0^2 \cdot r^2} \right)$$

Dabei ist l_s der Trägheitsradius und r das Trägheitsmoment in x- bzw. y-Richtung. Das Quadrat des Trägheitsradius ergibt sich für rechteckige Grundrisse zu:

$$l_s^2 = \frac{L^2 + B^2}{12}$$

Dabei ergibt sich das Quadrat des Torsionsradius zu

$$r^2 = \frac{\sum_j I_j \cdot r_j^2 + \sum_k I_k \cdot r_k^2}{\sum_j I_j} \quad \text{bzw.} \quad r_{y|x}^2 = \frac{k_T}{k_{x|y}}$$

I_j sind die Trägheitsmomente der in der betrachteten Richtung liegenden Aussteifungselemente und I_k die der senkrecht dazu liegenden Aussteifungselemente; r_j bzw. r_k sind die Abstände zwischen Steifigkeitsmittelpunkt und den jeweiligen Aussteifungselementen.

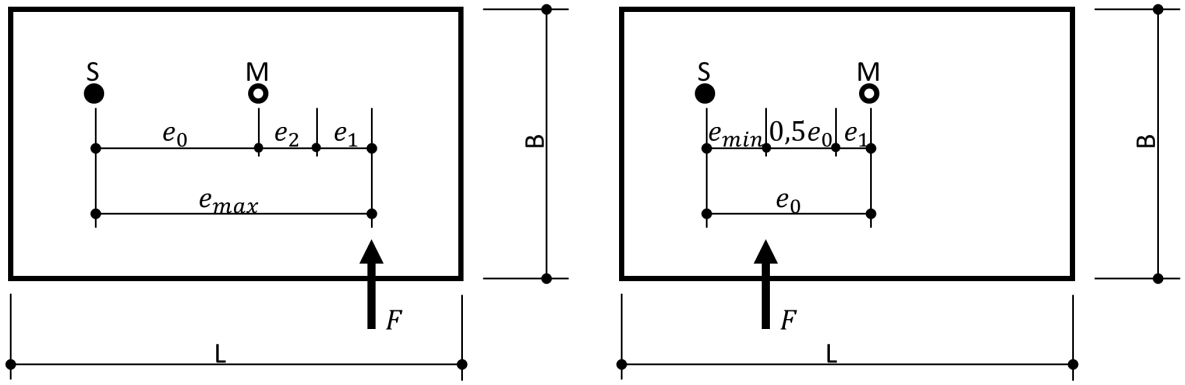


Abbildung 5.6: Ansatz der Exzentrizitäten

Damit lassen sich die Exzentrizitäten e_{min} und e_{max} ermitteln. Zur Bestimmung der Beanspruchung der einzelnen Schubwände, werden Verteilungszahlen bestimmt, die einen prozentualen Anteil der insgesamt vom Geschoss aufzunehmenden horizontalen Erdbebenersatzlast F darstellt. Die Verteilungszahlen für die Aussteifungselemente in den Richtungen parallel (Index i) und senkrecht (Index j) zur Belastungsrichtung ergeben sich zu:

$$s_i = \frac{k_i}{k} \cdot \left(1 \pm \frac{k \cdot r_i \cdot e}{k_T}\right)$$
$$s_j = \frac{k_j \cdot r_j \cdot e}{k_T}$$

Das Vorzeichen in dem Klammerausdruck wird positiv angesetzt, wenn Wandposition und Lastangriffspunkt auf der gleichen Seite des Steifigkeitsmittelpunktes liegen. Im anderen Fall ist das negative Vorzeichen zu wählen. Für die Variable e werden e_{min} oder e_{max} so eingesetzt, dass sich für jedes Aussteifungselement die maßgebenden Verteilungszahlen ergeben.

Kombination der Einwirkungen

Die Kombination der Erdbebeneinwirkungen erfolgt anhand DIN EN 1998-1 Abschnitt 4.3.3.5.1. Bei wandausgesteiften Systemen, die die Regelmäßigkeitskriterien im Grundriss erfüllen, kann davon ausgegangen werden, dass die Erdbebeneinwirkung getrennt und ohne Kombination der beiden senkrecht zueinanderstehenden horizontalen Hauptachsen eines Bauwerks angreift. In allen anderen Fällen erfolgt die Kombination in dem Nachweisverfahren „DIN EN 1998-1/NA-DE - DIN EN 1996-1-1/NA-DE (2D)“ nach DIN EN 1998-1 Abschnitt 4.3.3.5.1(3):

$$E_{Edx} \oplus 0{,}3 \cdot E_{Edy}$$
$$0{,}3 \cdot E_{Edx} \oplus E_{Edy}$$

Daraus ergibt sich der Bemessungswert der Erdbebeneinwirkung A_{Ed}. Der Nachweis erfolgt mit der Kombination der Einwirkungen für die Bemessungssituation bei Erdbeben nach DIN EN 1990 Abschnitt 6.4.3.4(2):

$$E_{dAE} = \sum G_{k,j} \oplus P_k \oplus A_{Ed} \oplus \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

$G_{k,j}$	charakteristischer Wert der ständigen Einwirkung j
P_k	charakteristischer Wert der Vorspannung
A_{Ed}	Bemessungswert der Einwirkung infolge Erdbeben ($A_{Ed} = \gamma_1 \cdot A_{Ek} = 1{,}0 \cdot A_{Ek}$)
γ_1	Wichtungsfaktor für Erdbeben ($\gamma_1 = 1{,}0$ nach DIN EN 1998-1/NA NCI NA.D.8(1)a))
$\psi_{2,i}$	Kombinationsbeiwert für die veränderliche Einwirkung i nach DIN EN 1990/NA
$Q_{k,i}$	charakteristischer Wert der veränderlichen Einwirkung i

Die Ermittlung der Normalkräfte erfolgt über Lasteinzugsflächen. Dabei werden alle Elemente berücksichtigt, die vertikale Lasten abtragen. Dazu gehören Schubwände sowie Wände und Stützen, die nur vertikale Lasten abtragen.

Wind

Die Ermittlung der Belastung infolge Wind erfolgt mit der eingegebenen resultierenden Beanspruchung. Für die ständige und vorübergehende Bemessungssituation ergibt sich die Kombination der Einwirkungen nach DIN EN 1990 Abschnitt 6.4.3.2

$$E_d = \sum \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_P \cdot P_k \oplus \gamma_{Q11} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

$\gamma_{G,j}$	Teilsicherheitsbeiwert der ständigen Einwirkung $G_{k,j}$
$G_{k,j}$	charakteristischer Wert der ständigen Einwirkung j
γ_P	Teilsicherheitsbeiwert für Einwirkungen aus Vorspannen
P_k	charakteristischer Wert der Vorspannung
$\gamma_{Q,1}$	Teilsicherheitsbeiwert der veränderlichen Leiteinwirkung $Q_{k,1}$
$Q_{k,1}$	charakteristischer Wert der veränderlichen Leiteinwirkung
$\gamma_{Q,i}$	Teilsicherheitsbeiwert für eine veränderliche Einwirkung $Q_{k,i}$
$\psi_{0,i}$	Kombinationsbeiwert der veränderlichen Einwirkung $Q_{k,i}$
$Q_{k,i}$	charakteristischer Wert der veränderlichen Einwirkung i

MINEA untersucht multiple Kombinationen zur Ermittlung der maßgebenden Beanspruchung jeder Wand. Dabei wird die ständige Belastung, die veränderliche Belastung der Zwischendecken, die veränderliche Belastung des Daches und die Windbelastung sowohl als günstig als auch als ungünstig wirkend angesetzt. Außerdem werden unterschiedliche veränderliche Lasten als Leiteinwirkung gesetzt.

Für die charakteristische Bemessungssituation ergibt sich die Kombination der Einwirkungen nach DIN EN 1990 Abschnitt 6.5.3(2)a):

$$E_d = \sum G_{k,j} \oplus P_k \oplus Q_{k,1} \oplus \sum \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

$G_{k,j}$	charakteristischer Wert der ständigen Einwirkung j
P_k	charakteristischer Wert der Vorspannung
$Q_{k,1}$	charakteristischer Wert der veränderlichen Leiteinwirkung
$\psi_{0,i}$	Kombinationsbeiwert für die veränderliche Einwirkung i nach DIN EN 1990/NA
$Q_{k,i}$	charakteristischer Wert der veränderlichen Einwirkung i

Für diese Bemessungssituation ergeben sich unter Berücksichtigung unterschiedlicher Leiteinwirkungen 2 bzw. 3 Kombinationen.

5.3.4 Nachweis

MINEA überprüft sowohl die Schlankheit als auch die Normal- und Querkrafttragfähigkeit im Grenzzustand der Tragfähigkeit und die Randdehnung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit. Die Kontrolle der Schlankheit erfolgt mit der Knicklänge. Die Standsicherheitsnachweise werden nach DIN EN 1996-1-1 Abschnitt 6.1 und 6.2 in Verbindung mit DIN EN 1996-1-1/NA NCI zu 6.1 und 6.2 geführt.

Bei den Normalkraftnachweisen bietet MINEA darüber hinaus noch die Möglichkeit, die kombinierte Beanspruchung aus Biegung um die starke und schwache Achse nach DIN EN 1996-1-1/NA NCI zu 6.1.2.2(NA.iii) sowohl am Wandfuß als auch in Wandmitte zu berücksichtigen.

Im Folgenden werden die Nachweiskonzepte für die Ermittlung der Schlankheit, den Normalkraftnachweis am Wandfuß und in Wandmitte, den Querkraftnachweis und den Randdehnungsnachweis vorgestellt.

Schlankheit

Die Ermittlung der Schlankheit und Vergleich mit der zulässigen Schlankheit erfolgt analog zu dem in Abschnitt 5.2.1 vorgestellten Vorgehen.

Normalkraftnachweis (Wandfuß)

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit muss der Bemessungswert der angreifenden Last N_{Ed} einer vertikal belasteten Wand kleiner oder gleich dem Bemessungswert des Tragwiderstandes N_{Rd} sein:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

Der Tragwiderstand N_{Rd} bestimmt sich zu:

$$N_{Rd} = \phi \cdot t \cdot l \cdot f_d = \phi \cdot t \cdot l \cdot \frac{\zeta \cdot f_k}{\gamma_M}$$

ϕ	Abminderungsfaktor am Wandfuß zur Berücksichtigung der Schlankheit und Lastausmitte
t	Wanddicke
l	Wandlänge
f_d	Bemessungsdruckfestigkeit des Mauerwerks
f_k	charakteristische Druckfestigkeit des Mauerwerks nach DIN EN 1996-1-1/NA NDP zu 3.6.1.2
ζ	Faktor zu Berücksichtigung von Langzeiteinflüssen; 0,85 für dauernde Beanspruchungen, 1,0 für kurzzeitige Beanspruchung
γ_M	Teilsicherheitsbeiwert

Der Teilsicherheitsbeiwert γ_M beträgt nach DIN EN 1998-1/NA NDP zu 9.6(3) im Lastfall Erdbeben 1,2; nach DIN EN 1996-1-1/NA Tabelle NA.1 für die ständige und vorübergehende Bemessungssituation beträgt der Faktor 1,5. Diese Werte sind in MINEA voreingestellt und können

über die Nachweiseinstellungen angepasst und variiert werden. Die Bemessungsdruckfestigkeit des Mauerwerks wird bei Wandquerschnitten kleiner als 0,1 m^2 mit dem Faktor $(0{,}7 + 3 \cdot A)$ reduziert, wobei A die belastete Bruttoquerschnittsfläche ist. Eine Reduktion für Wandquerschnitte aus getrennten Steinen mit einem Lochanteil > 35% nach DIN EN 1996-1-1/NA NCI zu 6.1.2.1 Absatz (3) wird in MINEA nicht berücksichtigt.

Der Widerstand ermittelt sich mit dem Abminderungsfaktor in Scheibenrichtung nach DIN EN 1996-1-1/NA NCI zu 6.1.2.2(NA.3):

$$\phi = 1 - 2 \cdot \frac{e_W}{l} = 1 - 2 \cdot \frac{M_{Ed}}{N_{Ed} \cdot l}$$

M_{Ed}	Bemessungswert des in Wandlängsrichtung einwirkenden Momentes
N_{Ed}	Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft
l	Wandlänge

Bei kombinierter Beanspruchung nach DIN EN 1996-1-1/NA NCI zu 6.1.2.2 (NA.iii) berechnet sich der Abminderungsfaktor durch Multiplikation des Abminderungsfaktors in Scheibenrichtung und senkrecht dazu. Letzterer bestimmt sich zu:

$$\phi = 1 - 2 \cdot \frac{e_i}{t}$$

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

M_{id}	Bemessungswert des Biegemomentes, resultierend aus der Exzentrizität der Deckenauflagerkraft am Wandfuß
N_{id}	Bemessungswert der am Fuß der Wand wirkenden Vertikalkraft
e_{he}	die Ausmitte am Fuß der Wand infolge horizontalen Lasten (z.B. Wind), sofern vorhanden
e_{init}	ungewollte Ausmitte; nach DIN EN 1996-1-1/NA NCI zu 6.1.2.2 darf die Ausmitte zu 0 gesetzt werden
t	Dicke der Wand

Die Summe aus $M_{id}/N_{id} + e_{he}$ wird in MINEA direkt für jede Wandscheibe bei den „Erweiterten Eigenschaften“ jeder Wand eingegeben.

Bei teilweise aufgelagerten Deckenplatten kann gemäß DIN EN 1996-1-1/NA, NCI zu 6.1.2.2(NA.4) die Berücksichtigung der zusätzlichen Ausmitte bei der Nachweisführung am Wandfuß durch eine ideelle Wanddicke entsprechend der Deckenauflagertiefe a erfolgen. Alternativ kann die zusätzliche Ausmitte e_a innerhalb der Ausmitte e_i berücksichtigt werden. In MINEA erfolgt die Berücksichtigung der reduzierten Deckenauflagertiefe innerhalb der Ausmitte e_i. Die zusätzliche Ausmitte e_a berechnet sich in Abhängigkeit der bezogenen Deckenauflagertiefe (a/t) zu:

$$e_a = \frac{(t-a)}{2} = \big(1 - (a/t)\big) \cdot \frac{t}{2}$$

Normalkraftnachweis (Wandmitte)

Der Normalkraftnachweis in Wandmitte erfolgt analog zu dem Nachweis am Wandfuß mit:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

Der Widerstand N_{Rd} ergibt sich in Wandmitte zu

$$N_{Rd} = \phi_m \cdot t \cdot l \cdot f_d = \phi_m \cdot t \cdot l \cdot \frac{\zeta \cdot f_k}{\gamma_M}$$

Der Nachweis des Normalkraftwiderstandes in Wandmitte erfolgt mit dem Abminderungsfaktor ϕ_m nach DIN EN 1996-1-1/NA NCI Anhang NA.G:

$$\phi_m = 1{,}14 \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{e_{mk}}{/} t_{ef}\right) - 0{,}024 \cdot \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \leq 1 - 2 \cdot \frac{e_{mk}}{t_{ef}}$$

$$e_{mk} = e_m + e_k = \frac{M_{md}}{N_{md}} + e_{hm} + e_{init} + e_k \geq 0{,}05 \cdot t$$

M_{md} Bemessungswert des größten Momentes in halber Wandhöhe, resultierend aus den Momenten am Kopf und Fuß einer Wand, einschließlich der Biegemomente aus allen andern ausmittig angreifenden Lasten (z.B. Wandschränke)

N_{md} Bemessungswert der Vertikallast in halber Wandhöhe einschließlich aller anderen ausmittigen Lasten (z.B. Wandschränke)

e_{hm} die Ausmitte in halber Wandhöhe infolge horizontaler Lasten (z.B. Wind)

e_{init} ungewollte Ausmitte mit $h_{ef}/450$

e_k Ausmitte infolge Kriechen

$$e_k = 0{,}002 \cdot \phi_\infty \cdot \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \sqrt{t \cdot e_m}$$

ϕ_∞ Endkriechwert

h_{ef} Knicklänge

t_{ef} effektive Wanddicke

t Wanddicke

DIN EN 1996-1-1/NA, NCI zu 6.1.2.2(NA.4) schreibt für teilweise aufgelagerte Deckenplatten die Berücksichtigung einer zusätzlichen Ausmitte bei Nachweisführung in Wandmitte vor. Die Ausmitte e_{mk} wird dabei um die zusätzliche Ausmitte e_{ma} vergrößert. Diese berechnet sich in Abhängigkeit der bezogenen Deckenauflagertiefe (a/t) zu:

$$e_{ma} = \frac{(t-a)}{2} = \big(1 - (a/t)\big) \cdot \frac{t}{2}$$

Die Wanddicke t und die effektive Wanddicke t_{ef} werden in MINEA gleich der eingegebenen Wanddicke gesetzt. Die effektive Dicke t_{ef} entspricht bei einschaligen Wänden, zweischaligen Wänden ohne Luftschicht, Wänden mit Randstreifenvermörtelung der Lagerfugen sowie verfüllten zweischaligen Wänden der vorhandenen Wanddicke. Bei zweischaligen Wänden, deren Schalen mit Mauerankern verbunden sind, entspricht die effektive Dicke der tatsächlichen Dicke der tragenden Schale. Die effektive Wanddicke aussteifender Wände, die mit Pfeilern kraftschlüssig verbunden sind, kann nach DIN EN 1996-1-1 durch eine Erhöhung der tatsächlichen Dicke erfolgen. Dies bleibt bei MINEA unberücksichtigt.

Die Endkriechwerte können DIN EN 1996-1-1/NA Tabelle NA.14 entnommen werden. Für Wände mit einer maximalen Schlankheit λ_c darf die Ausmitte infolge Kriechens e_k zu Null gesetzt werden. Bei normativ nicht geregelten Kombinationen erfolgt in MINEA die Zuordnung zur nächsten, ungünstigeren Kombination gemäß DIN EN 1996-1-1/NA Tabelle NA.18. Für

Tabelle 5.14: Endkriechzahl und Grenzschlankheit nach DIN EN 1996-1-1/NA Tabelle NA.14 und Tabelle NA.18

Mauersteinart	Mörtelart	Endkriechwert ϕ_∞	Grenzschlankheit λ_c
Mauerziegel	Normalmörtel / Dünnbettmörtel	1,0	15
	Leichtmörtel	2,0	10
Kalksandsteine	Normalmörtel / Dünnbettmörtel Leichtmörtel	1,5	12
Betonsteine	Normalmörtel	1,0	15
Leichtbetonsteine	Normalmörtel Leichtmörtel	2,0	10
Porenbetonsteine	Dünnbettmörtel	0,5	20

Endkriechwerte außerhalb des Definitionsbereichs von DIN EN 1996-1-1/NA Tabelle NA.18 erfolgt keine Vernachlässigung der Ausmitte infolge Kriechens.

Bei kombinierter Beanspruchung nach DIN EN 1996-1-1/NA NCI zu 6.1.2.2(NA.iii) berechnet sich der Abminderungsfaktor durch Multiplikation des Abminderungsfaktors in Scheibenrichtung und senkrecht dazu. Ersterer bestimmt sich zu:

$$\phi_m = 1 - 2 \cdot \frac{e_W}{l} = 1 - 2 \cdot \frac{M_{Ed}}{N_{Ed} \cdot l}$$

M_{Ed} Bemessungswert des in Wandlängsrichtung einwirkenden Momentes in Wandmitte
N_{Ed} Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft in Wandmitte
l Wandlänge

Querkraftnachweis (Wandfuß)

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit muss der Bemessungswert der aufgebrachten Schubkraft V_{Ed} kleiner oder gleich dem Bemessungswert der Schubtragfähigkeit V_{Rd} sein:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

Der Bemessungswert der Schubtragfähigkeit ergibt sich nach DIN EN 1996-1-1/NA NCI zu Abschnitt 6.2(12)

$$V_{Rd} = f_{vd} \cdot l_{cal} \cdot \frac{t}{c} = \frac{f_{vk}}{\gamma_M} \cdot l_{cal} \cdot \frac{t}{c}$$

f_{vd} Bemessungswert der Schubfestigkeit
f_{vk} charakteristische Schubfestigkeit
γ_M Teilsicherheitsbeiwert
l_{cal} rechnerische Wandlänge. Für den Nachweis von Wandscheiben unter Windbeanspruchung gilt: $l_{cal} = 1{,}125 \cdot l$ bzw. $l_{cal} = 1{,}333 \cdot l_{c,lin}$. Der kleinere Wert ist maßgebend. In allen anderen Fällen ist $l_{cal} = l$ bzw. $l_{c,lin}$.
c Schubspannungsverteilungsfaktor (Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden)
$c = 1{,}0$ für $h/l \leq 1$
$c = 1{,}5$ für $h/l \geq 2$
h lichte Höhe der Wand
l Länge der Wandscheibe
t Dicke der Wandscheibe

Der Teilsicherheitsbeiwert γ_M beträgt nach DIN EN 1998-1/NA NDP zu 9.6(3) im Lastfall Erdbeben 1,2; nach DIN EN 1996-1-1/NA Tabelle NA.1 für die ständige und vorübergehende Bemessungssituation beträgt der Faktor 1,5. Diese Werte sind in MINEA voreingestellt und können über die Nachweiseinstellungen angepasst und variiert werden.

Die anzusetzende, überdrückte Länge der Wandscheibe $l_{c,lin}$ berechnet sich zu:

$$l_{c,lin} = \frac{3}{2} \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{e_W}{l}\right) \cdot l \leq l$$

e_W Ausmitte am Wandfuß mit $e_W = M_{Ed}/N_{Ed}$
M_{Ed} Bemessungswert des in Scheibenrichtung wirkenden Momentes
N_{Ed} Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft
l Wandlänge

Die charakteristische Schubfestigkeit f_{vk} des Mauerwerks ergibt sich nach DIN EN 1996-1-1/NA NDP zu 3.6.2(3) als Minimum folgender Ausdrücke:

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0{,}4 \cdot \sigma_D \leq f_{vlt} = \begin{cases} f_{vlt1} = f_{vk0} + 0{,}4 \cdot \sigma_{Dd} \\ f_{vlt2} = 0{,}45 \cdot f_{bt,cal} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_{Dd}}{f_{bt,cal}}} \end{cases}$$

f_{vk0} charakteristische Haftscherfestigkeit ohne Auflast nach DIN EN 1996-1-1/NA Tabelle NA.11; bei unvermörtelten Stoßfugen sind die Werte nach DIN EN 1996-1-1/NA NDP zu 3.6.2(4) zu halbieren
σ_D Bemessungsdruckspannung rechtwinklig zur Schubkraft in der betrachteten Querschnittsebene des Bauteils unter der entsprechenden Lastkombination als Mittelwert der Vertikalspannungen im überdrückten Bereich, der den Schubwiderstand sicherstellt
f_{vlt} Grenzwert der charakteristischen Schubfestigkeit
σ_{Dd} Bemessungswert der zugehörigen Druckspannung an der Stelle der maximalen Schubspannungen (für Rechteckquerschnitte gilt $\sigma_{Dd} = N_{Ed}/A$, wobei A der überdrückte Querschnitt ist; σ_{Dd} entspricht σ_D)
$f_{bt,cal}$ rechnerische Steinzugfestigkeit

Die rechnerische Steinzugfestigkeit kann in Abhängigkeit der Steindruckfestigkeit f_{st} angenom-

men werden zu:

$f_{bt,cal} = 0{,}020 \cdot f_{st}$ für Hohlblocksteine

$f_{bt,cal} = 0{,}026 \cdot f_{st}$ für Hochlochsteine und Steine mit Grifflöchern oder Grifftaschen

$f_{bt,cal} = 0{,}032 \cdot f_{st}$ für Vollsteine ohne Grifflöcher oder Grifftaschen

$f_{bt,cal} = \frac{0{,}082}{1{,}25} \cdot \frac{f_{st}}{0{,}7 + \left(\frac{f_{st}}{25}\right)^2}$ für Porenbetonplansteine (Länge $\geq$ 498 mm, Höhe $\geq$ 248 mm)

Bei Elementmauerwerk mit Dünnbettmörtel und planmäßigen Überbindemaßen $l_{ol}/h_u < 0{,}4$ sowie hoher Normalkraftbeanspruchung ist die Querkrafttragfähigkeit am Wandfuß infolge Schubdruckversagens ebenfalls begrenzt durch:

$$V_{Rdlt} = \frac{1}{\gamma_M \cdot c} \cdot (f_k \cdot t \cdot l_c - \gamma_M \cdot N_{Ed}) \cdot \frac{l_{ol}}{h_u}$$

γ_M Teilsicherheitsbeiwert
c Schubspannungsverteilungsfaktor (Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden)
$c = 1{,}0$ für $h/l \leq 1$
$c = 1{,}5$ für $h/l \geq 2$
f_k charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit
t Wanddicke
l_c anzusetzende, überdrückte Länge der Wandscheibe
N_{Ed} Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft
l_{ol} Überbindemaß
h_u Höhe des Elementes

Die anzusetzende überdrückte Wandlänge l_c bestimmt sich hier zu:

$$l_c = \left(1 - 2 \cdot \frac{e_W}{l}\right) \cdot l$$

e_w Ausmitte am Wandfuß
M_{Ed} Bemessungswert des in Scheibenrichtung wirkenden Momentes
N_{Ed} Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft
l Wandlänge

Querkraftnachweis (Wandmitte)

Bei den Querkraftnachweisen wird bei Elementmauerwerk mit unvermörtelten Stoßfugen und Verwendung von Steinen mit einem Seitenverhältnis von $h_u > l_u$ in Wandmitte zusätzlich der Nachweis des Fugenversagens durch Klaffen der Lagerfuge in halber Wandhöhe geführt.

Der Widerstand gegenüber Fugenversagen durch Klaffen der Lagerfugen in halber Wandhöhe ergibt sich nach DIN EN 1996-1-1/NA NCI zu 6.2 (NA.14) zu:

$$V_{Rdlt} = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{\gamma_M} \cdot \left(\frac{l_u}{h_u} + \frac{l_u}{h}\right) \cdot N_{Ed}$$

γ_M Teilsicherheitsbeiwert
h_u Höhe des Elementes
l_u Länge des Elementes
h lichte Höhe der Wand
N_{Ed} Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft

Randdehnungsnachweis

Wenn die Ausmitte $e > l/6$ ist, muss nach DIN EN 1996-1-1/NA NCI zu 7.2 (10) im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit unter der charakteristischen Bemessungssituation die Randdehnung überprüft werden. Dabei muss für die rechnerische Randdehnung ε_R gelten:

$$\varepsilon_R \leq 10^{-4}$$

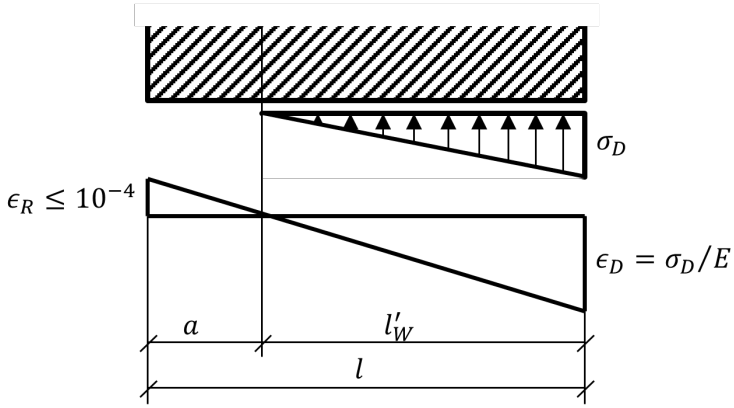


Abbildung 5.7: Begrenzung der Randdehnung

Die rechnerische Randdehnung ergibt sich zu:

$$\varepsilon_R = \varepsilon_D \cdot \frac{(l - l'_W)}{l'_W} = \frac{\sigma_D}{E} \cdot \frac{(l - l'_W)}{l'_W} = \frac{2 \cdot N_{Ed}}{l'_W \cdot t \cdot E} \cdot \frac{(l - l'_W)}{l'_W}$$

ε_D	rechnerische Randstauchung
l	Wandlänge
l'_W	überdrückte Wandlänge
σ_D	Kantenpressung auf Basis eines linear-elastischen Stoffgesetzes
N_{Ed}	Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft
t	Wanddicke
E	Elastizitätsmodul

Die überdrückte Wandlänge wird angenommen zu:

$$l'_W = \frac{3}{2} \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{e_W}{l}\right) \cdot l \leq l$$

e_W	Ausmitte am Wandfuß mit $e_W = M_{Ed}/N_{Ed}$
M_{Ed}	Bemessungswert des in Scheibenrichtung wirkenden Momentes
N_{Ed}	Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft
l	Wandlänge

Nach Norm darf hierbei ein Elastizitätsmodul für Mauerwerk von $E = 1000 \cdot f_k$ angenommen. MINEA greift auf diese Möglichkeit nur zurück, falls der Nachweis anderweitig nicht erbracht werden kann.

Normalkraftnachweis unter Berücksichtigung der Rahmentragwirkung (Wandfuß)

Der Normalkraftnachweis am Wandfuß unter Berücksichtigung der Rahmentragwirkung erfolgt analog zum Nachweis ohne Berücksichtigung der Rahmentragwirkung durch

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

Der Widerstand N_{Rd} ergibt sich unter Berücksichtigung der Rahmentragwirkung ebenfalls zu

$$N_{Rd} = \phi \cdot t \cdot l \cdot f_d = \phi \cdot t \cdot l \cdot \frac{\zeta \cdot f_k}{\gamma_M}$$

Sofern beim Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit die Einspannung der Wände in die Deckenscheiben nach DIN EN 1996-1-1/NA Anhang K berücksichtigt werden soll (Rahmentragwirkung), ermittelt sich der Widerstand mit dem Abminderungsfaktor in Scheibenrichtung nach DIN EN 1996-1-1/NA NA.K.2:

$$\phi = 1 - 2 \cdot \frac{V_{Ed}}{N_{Ed}} \cdot \lambda_v$$

V_{Ed}	Bemessungswert der in Scheibenrichtung wirkenden Querkraft
N_{Ed}	Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft
λ_v	Schubschlankheit

Bei Verwendung des Nachweises nach DIN EN 1996-1-1/NA, Anhang K innerhalb der dreidimensionalen linearen Modellierung erfolgt anstelle der Berechnung von ϕ nach DIN EN 1996-1-1/NA Glg. (NA.K.1) (s.o.) die Anwendung von DIN EN 1996-1-1/NA Glg. (NA.14) (s. Abschnitt 5.3.4). Innerhalb des multimodalen Antwortspektrumverfahrens kommt es infolge der Überlagerung der unterschiedlichen Eigenformen zum Verlust des mechanischen Zusammenhangs zwischen Biegemoment und Querkraft. Da die Biegemomente für die einzelnen Lastfälle berechnet wurden, verwendet das 3D-Nachweismodul direkt das Biegemoment zur Berechnung des Abminderungsfaktors ϕ anstelle der Querkraft in Kombination mit der Schubschlankheit λ_v.

Die Schubschlankheit λ_v berechnet sich zu

$$\lambda_v = \psi \cdot h/l$$

ψ	Momentenverteilungsfaktor
h	Wandhöhe
l	Wandlänge

Der Momentenverteilungsfaktor ψ (auch Kennwert zur Beschreibung der Momentenverteiltung) beschreibt das Verhältnis der Ausmitten der einwirkenden Normalkräfte an Wandkopf und -fuß. In Abhängigkeit der Beträge der Ausmitten ergibt sich der Momentenverteilungsfaktor zu

$$\psi = \frac{1}{\left(1 - \frac{e_o}{e_u}\right)} > 0 \quad \text{für} \quad |e_u| > |e_o|$$

$$\psi = \frac{1}{\left(1 - \frac{e_u}{e_o}\right)} > 0 \quad \text{für} \quad |e_u| \leq |e_o|$$

e_o Ausmitte der Normalkraft am Wandkopf
e_u Ausmitte der Normalkraft am Wandfuß

Der sonstige Normalkraftnachweis sowie die Ermittlung der Beiwerte erfolgen analog zu Abschnitt 5.3.4.

Querkraftnachweis unter Berücksichtigung der Rahmentragwirkung (Wandfuß)

Sofern beim Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit die Einspannung der Wände in die Deckenscheiben nach DIN EN 1996-1-1/NA Anhang K berücksichtigt werden soll (Rahmentragwirkung), muss der Bemessungswert der aufgebrachten Schubkraft V_{Ed} kleiner oder gleich dem Bemessungswert der Schubtragfähigkeit V_{Rdlt} sein:

$$V_{Ed} \leq V_{Rdlt}$$

Der Bemessungswert der Schubtragfähigkeit ergibt sich nach DIN EN 1996-1-1/NA Abschnitt NA.K.3 zu

$$V_{Rd} = l_{cal} \cdot f_{vd} \cdot \frac{t}{c} = l_{cal} \cdot \frac{f_{vk}}{\gamma_M} \cdot \frac{t}{c}$$

f_{vd} Bemessungswert der Schubfestigkeit
f_{vk} charakteristische Schubfestigkeit
γ_M Teilsicherheitsbeiwert
l_{cal} rechnerische Wandlänge. Für den Nachweis von Wandscheiben unter Windbeanspruchung gilt abweichend: $l_{cal} = 1{,}125 \cdot l$ bzw. $l_{cal} = 1{,}333 \cdot l_{c,lin}$ sofern für die Ermittlung der Windbeanspruchung die Einspannwirkung in die Decken vernachlässigt wird. Der kleinere Wert ist maßgebend.
c Schubspannungsverteilungsfaktor (Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden)
$c = 1{,}0$ für $\lambda_v \leq 1$
$c = 1{,}5$ für $\lambda_v \geq 2$
h lichte Höhe der Wand
l Länge der Wandscheibe
t Dicke der Wandscheibe
λ_v Schubschlankheit

Der Teilsicherheitsbeiwert γ_M sowie die charakteristische Schubfestigkeit f_{vk} des Mauerwerks ergeben sich entsprechend der Ausführungen in Abschnitt 5.3.4.

Die anzusetzende, überdrückte Länge der Wandscheibe l_{cal} berechnet sich zu:

$$l_{cal} = \frac{3}{2} \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{V_{Ed}}{N_{Ed}} \cdot \lambda_v\right) \cdot l \leq l$$

V_{Ed} Bemessungswert der in Scheibenrichtung wirkenden Querkraft
N_{Ed} Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft
λ_v Schubschlankheit
l Wandlänge

Bei Elementmauerwerk mit Dünnbettmörtel und planmäßigen Überbindemaßen $l_{ol}/h_u < 0{,}4$ sowie hoher Normalkraftbeanspruchung ist die Querkrafttragfähigkeit am Wandfuß infolge Schubdruckversagens ebenfalls begrenzt durch:

$$V_{Rdlt} = \frac{1}{\gamma_M \cdot c} \cdot (f_k \cdot t \cdot l_c - \gamma_M \cdot N_{Ed}) \cdot \frac{l_{ol}}{h_u}$$

γ_M	Teilsicherheitsbeiwert
c	Schubspannungsverteilungsfaktor (Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden) $c = 1{,}0$ für $\lambda_v \leq 1$ $c = 1{,}5$ für $\lambda_v \geq 2$
λ_v	Schubschlankheit
f_k	charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit
t	Wanddicke
l_c	anzusetzende, überdrückte Länge der Wandscheibe
N_{Ed}	Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft
l_{ol}	Überbindemaß
h_u	Höhe des Elementes

Die anzusetzende überdrückte Wandlänge l_c bestimmt sich hier zu:

$$l_c = \left(1 - 2 \cdot \frac{V_{Ed}}{N_{Ed}} \cdot \lambda_v\right) \cdot l$$

V_{Ed}	Bemessungswert der in Scheibenrichtung wirkenden Querkraft
N_{Ed}	Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft
λ_v	Schubschlankheit
l	Wandlänge



Bei Verwendung des Nachweises nach DIN EN 1996-1-1/NA, Anhang K innerhalb der dreidimensionalen linearen Modellierung erfolgt für die Berechnung der überdrückten Wandlänge l_{cal} bzw. l_c der Ansatz des Biegemomentes anstelle der Querkraft in Kombination mit der Schubschlankheit λ_v.

Die Schubschlankheit λ_v ergibt sich entsprechend der Angaben in Abschnitt 5.3.4. Für den Nachweis unter Windbeanspruchung werden die Momentenverteilungsfaktoren abweichend zu den Eingaben innerhalb der erweiterten Wandeigenschaften (s. Abschnitt 3.3.2) entsprechend eines Kragarmmodells angesetzt.

5.3.5 Ansatz der Rahmentragwirkung (2D-Modelle)

Unter größeren Horizontalbeanspruchungen infolge von Erdbebeneinwirkungen kommt es in Gebäuden mit Mauerwerkswänden aufgrund der fehlenden Zugübertragung zwischen Wand und Decke zu geschossweisen Wandrotationen. Infolge des Aufstellens der Wände kommt es zur Bildung einer Druckdiagonalen zwischen den Wandecken und einer Einspannung in die Decken (Rahmentragwirkung). Dieses Verhalten führt zu einer Momentenumverteilung in der Wand und damit zu einer günstigeren Ausgangslage für den Nachweis der Schubwände aufgrund der geringeren Momentenbeanspruchung am maßgebenden Wandfuß.

Das in MINEA umgesetzte Nachweisformat DIN EN 1998-1/NA in Kombination mit DIN EN 1996-1-1 und DIN EN 1996-1-1/NA ermöglicht die Berücksichtigung der Rahmentragwirkung innerhalb des 2D Nachweises durch den Kennwert zu Beschreibung der Momentenverteilung ψ (s. Abschnitte 4.3.4.7 und 4.3.4.8) und eröffnet so die Möglichkeit eine vom Kragarmmodell abweichende Berechnung der Schnittkräfte der Wandscheiben durchzuführen. Der Momentenverteilungsfaktor ψ beschreibt dabei das Verhältnis der Momente bzw. Normalkraftausmitten an Wandkopf und -fuß.

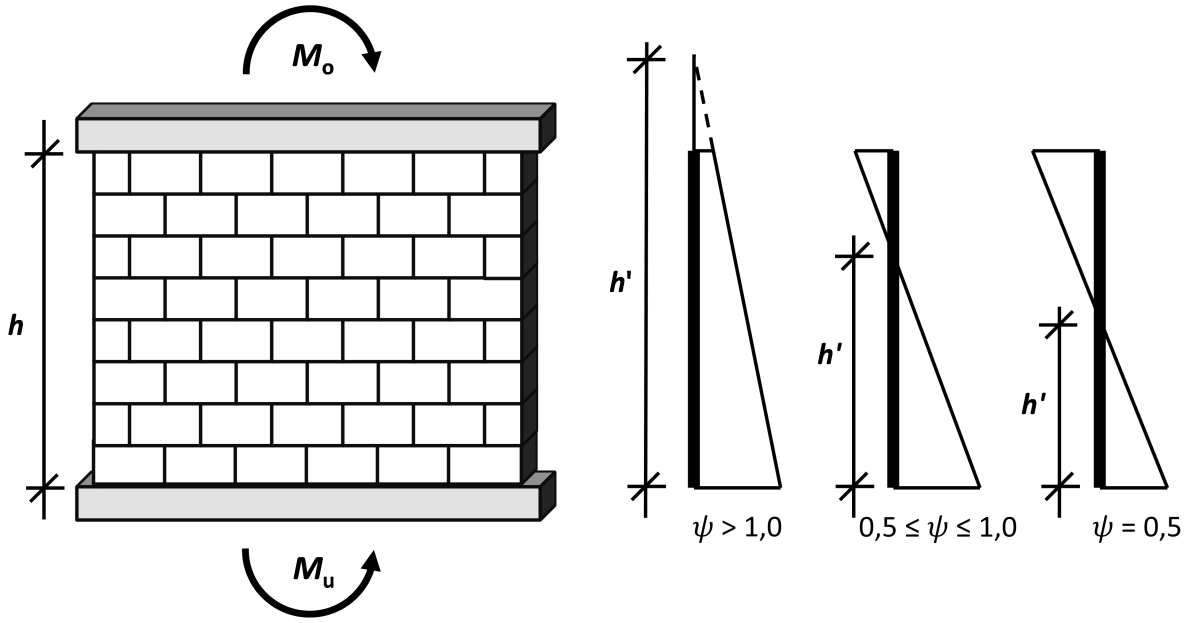


Abbildung 5.8: Beispiele für den Momentenverteilungsfaktor

Im Rahmen einer Parameterstudie wurden Werte für die Momentenverteilungsfaktoren für unterschiedliche Wand- und Deckenkonstellationen mit variierenden Materialeigenschaften hergeleitet und in tabellarischer Form aufbereitet [Kubalski et al. 2022]. Diese Tabellen sind innerhalb von MINEA implementiert und werden bei entsprechender Auswahl der Nachweiseinstellungen (s. Abschnitt 4.2.1) automatisch verwendet. Die Verwendung der Tabellen erfordert die Definition der sogenannten freien Wandlänge und der mitwirkende Plattenbreite.

Freie Wandlänge

Die freie Wandlänge l_{Fl} entspricht bei zwei durch eine Öffnung getrennten Wandscheiben dem Abstand des Wandendes bis zum Wendepunkt der Biegelinie der Deckenscheibe (Momentennullpunkt) unter kombinierter Vertikal- und Horizontalbeanspruchung. Eine Ermittlung dieses Wertes kann entweder durch aufwändige Rechenmodelle oder durch Ansatz von Näherungslösungen erfolgen. Eine vereinfachte Abschätzung für unterschiedliche Wandanordnungen kann entsprechend der Empfehlungen in Abbildung 5.9 durchgeführt werden.

Mitwirkende Plattenbreite

Die Ermittlung der mitwirkenden Plattenbreite b_m basiert auf der Idee der Abbildung eines zweiachsig abtragenden Rahmen- bzw. Deckensystems durch ein ebenes Rahmensystem. Üblicherweise erfolgt die Verwendung derartiger Rahmensysteme im Stahlbetonbau für Tragwerke mit Flachdecken. Darin beschreibt die mitwirkende Plattenbreite b_m den Abklingbereich des Biegemomentes m_{xx} in der Decke senkrecht zur Wandachse. Aus der Gleichheit der konstanten Steifigkeit eines prismatischen Balkens mit der mitwirkenden Plattenbreite b_m und der Steifigkeit der Platte mit der Breite l_y kann b_m berechnet werden. Die Gleichheit ist erfüllt, wenn die

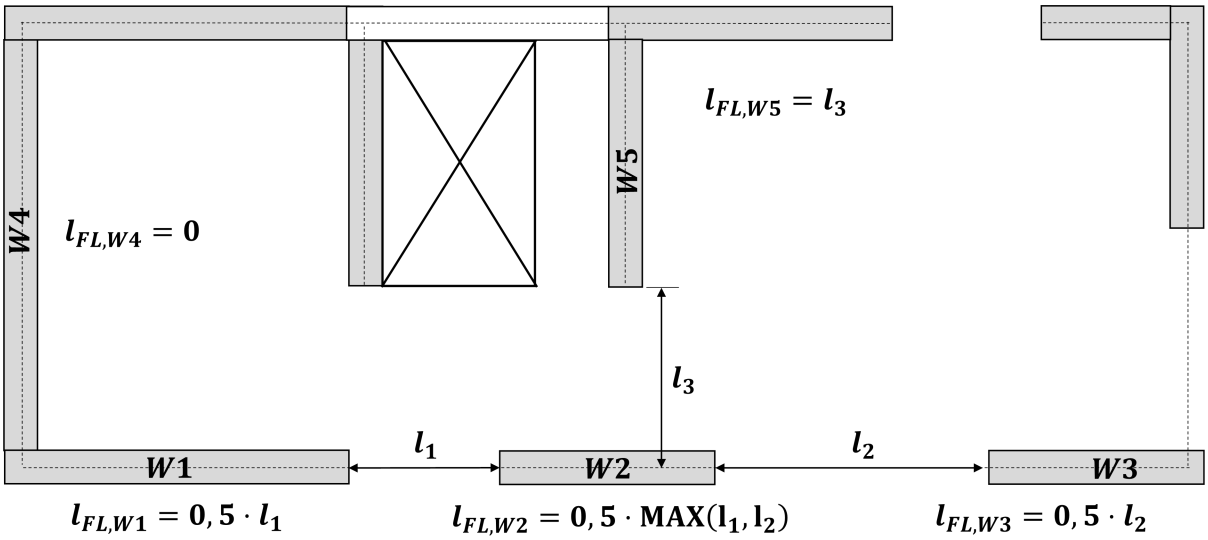


Abbildung 5.9: Empfehlungen für die Ermittlung der freien Wandlänge l_{FL}

Flächeninhalte der Momentenverteilungen und damit die Rotationen übereinstimmen:

$$\int_{-\frac{l_y}{2}}^{\frac{l_y}{2}} \frac{m_{xx}}{EI}\, dy = b_m \cdot \frac{m_{max}}{EI} \;\Rightarrow\; b_m = \frac{\int_{-\frac{l_y}{2}}^{\frac{l_y}{2}} m_{xx}\, dy}{m_{max}}$$

Eine Ermittlung des Momentverlaufs wie in Abbildung 5.10 ist jedoch mit aufwändigen Modellierungen verbunden, weshalb sich hier ebenfalls Näherungslösungen zur Abschätzung der mitwirkenden Plattenbreite anbieten. Näherungen für unterschiedliche Wandanordnungen sind in Tabelle 5.15 entsprechend den Empfehlungen in Kubalski et al. [2022] angegeben.

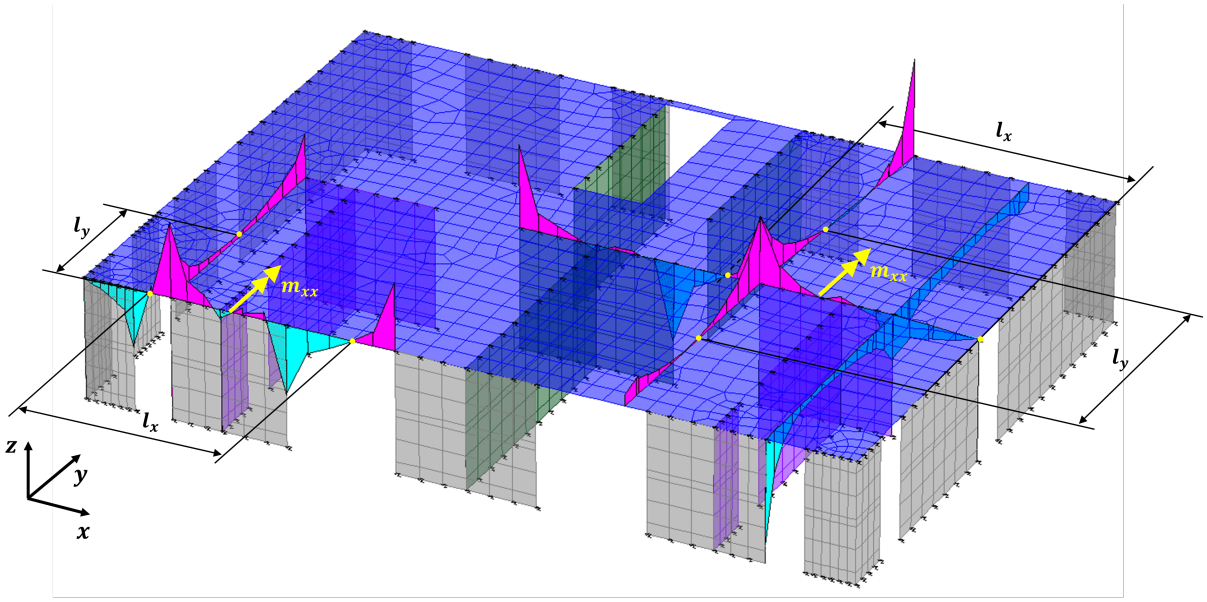
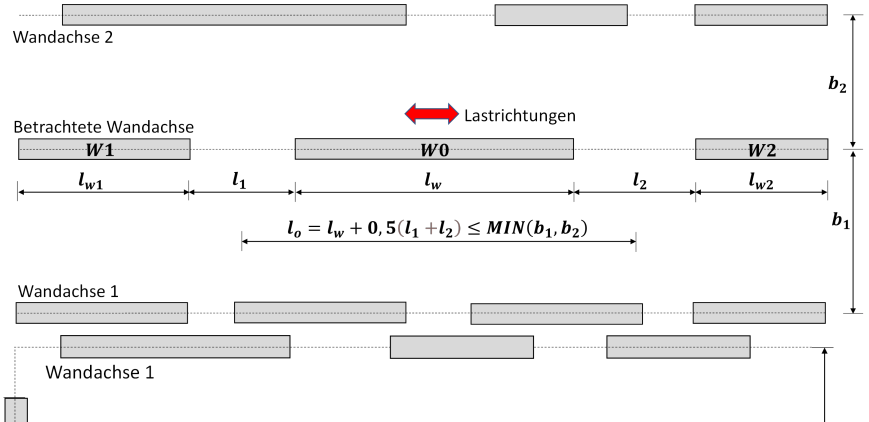
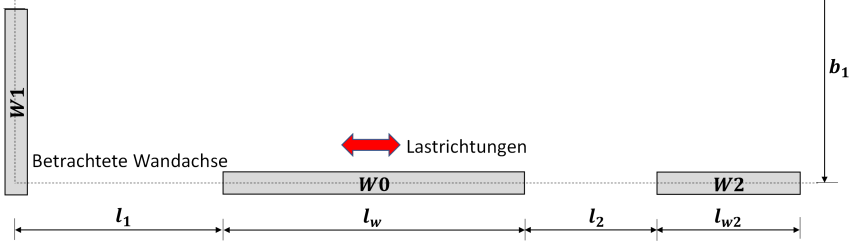
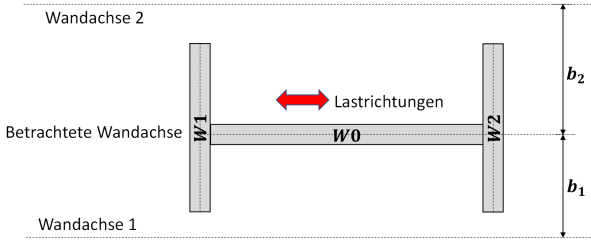
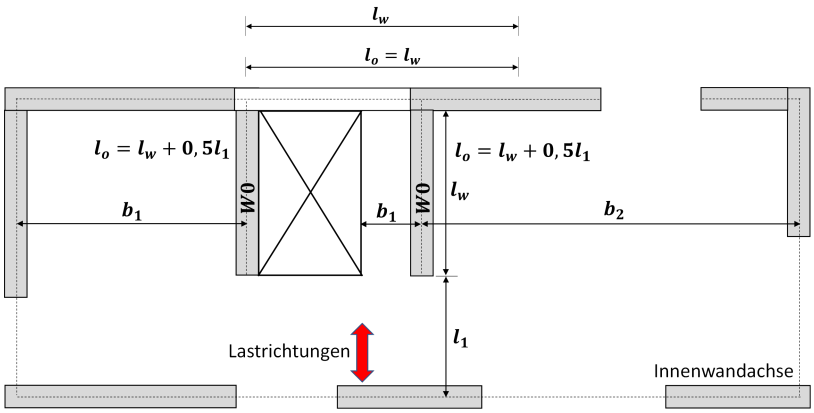


Abbildung 5.10: Beispielhafte Darstellung des Verlaufs des Deckenbiegemoments m_{xx} bei Beanspruchung in x-Richtung

Tabelle 5.15: Ermittlung des Abstands der Momentennullpunkte l_0 und der mitwirkenden Plattenbreite b_m für die Wand W0

b_m	Wandsituation
Innenwandachsen: $b_m = t + \frac{l_0}{3} \leq \min(b_1, b_2)$	
Außenwandachsen mit Querwand W1: $b_m = t + \frac{l_0}{6} \leq b_1$	
Wand mit Querwänden (Innen): $b_m = t + \frac{l_0}{3} \leq \min(b_1, b_2)$	
Wände mit angrenzender Öffnung: $b_m = t + \frac{l_0}{6} \leq b_1 \leq \min(b_1, b_2)$	

* Bei teilaufgelagerten Decken ist die Wanddicke t durch die Auflagertiefe zu ersetzen.

Bemessung der Deckenscheiben

Bei Ansatz einer Momentenumverteilung in der Wand ist die Decke für die Zusatzbeanspruchungen aus der Einspannwirkung zu bemessen. Die Bemessung der Decke erfolgt bei Ansatz der Rahmentragwirkung mit dem Momentenverteilungsfaktor ψ für die Erdbebenkombination im Bereich der Wandscheibenenden für die zusätzliche Biege- und Querkraftbeanspruchung. Ausgehend von dem auf die Decke einwirkenden Moment ΔM (Differenzmoment der Momente aus den Schubwänden ober- und unterhalb der Decke infolge Erdbebeneinwirkung) wird eine Bemessung für Biegung und Durchstanzen durchgeführt. Die beanspruchten Deckenbereiche werden basierend auf einer Idealisierung als Deckenstreifen im Bereich der Wandscheiben in Form eines Ersatzbalkens als Mehrfeldträger entsprechend der eingegebenen mitwirkenden Plattenbreite b_m und freien Wandlänge l_{FL} idealisiert (Abbildung 5.11 (links)).

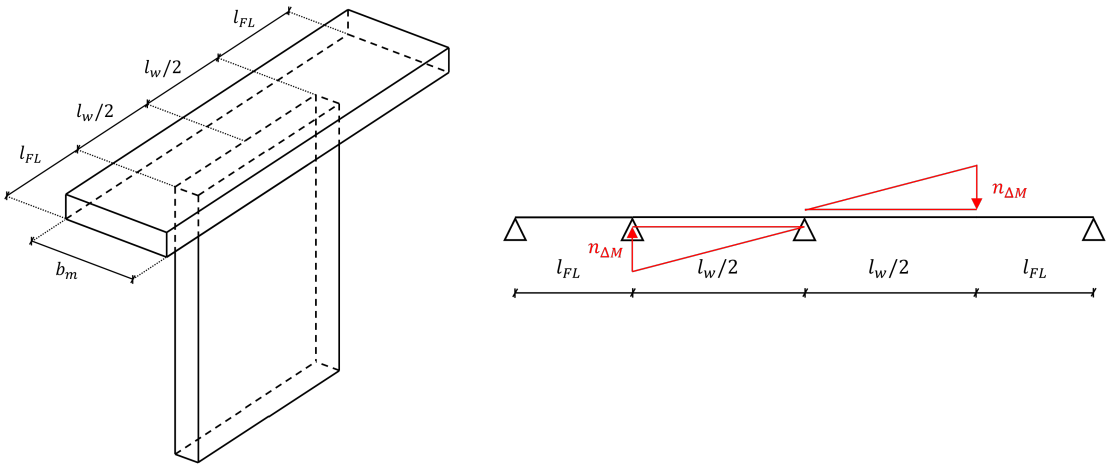


Abbildung 5.11: Darstellung des idealisierten Deckenstreifens (links) und des statischen Ersatzsystems für Ermittlung der erforderlichen Biegebewehrung (rechts)

Die Ermittlung der erforderlichen Biegebewehrung wird für die Ober- und Unterseite der Decke durchgeführt. Hierfür erfolgt die Berechnung der maßgebenden Momente infolge Erdbebeneinwirkung in Kombination mit den ständigen Lasten (Eigengewicht, Ausbaulasten etc.) sowie den anteiligen Verkehrslasten an dem in Abbildung 5.11 (rechts) dargestellten Ersatzsystems. Die Beanspruchung der Decke durch die sich bei Erdbebeneinwirkungen einstellenden Wandrotationen wird durch eine dreiecksförmige Last $n_{\Delta M}$ in dem statischen Ersatzsystem berücksichtigt. Die Ordinate der Dreieckslast errechnet sich zu

$$n_{\Delta M} = \frac{6 \cdot \Delta M}{l_w^2}$$

Die Ermittlung der erforderlichen Biegebewehrung erfolgt mittels des Omega-Verfahrens (dimensionslose Beiwerte). Für die aus den Deckenmomenten resultierenden Querkräfte $V = \frac{\Delta M}{l_w}$ wird der Durchstanznachweis gemäß DIN EN 1992-1-1, 6.4 an allen Wandenden durchgeführt. Dabei erfolgt die Überprüfung der Durchstanztragfähigkeit der Decke ohne Ansatz der Längsbewehrung, so dass ausschließlich der Mindestwert der Durchstanztragfähigkeit nach DIN EN 1992-1-1, 6.4.4 berücksichtigt wird.

5.3.6 Effekte aus Theorie II. Ordnung (nur 2D Nachweis)

Eine Berücksichtigung der Effekte aus der Tragwerksverformung (Theorie II. Ordnung) ist nach DIN EN 1996-1-1 5.4(2) nicht erforderlich, sofern die folgende Bedingung in der betrachteten Gebäuderichtung eingehalten ist:

$$h_{tot}\sqrt{\frac{N_{Ed}}{\sum EI}} \leq \begin{cases} 0{,}6 & \text{für } n \geq 4 \\ 0{,}2 + 0{,}1 \cdot n & \text{für } 1 \leq n \leq 4 \end{cases}$$

h_{tot} Höhe des Gebäudes
N_{Ed} Bemessungswert der vertikalen Einwirkung (am Fußpunkt des Gebäudes)
$\sum EI$ Summe der Biegesteifigkeit aller vertikal aussteifenden Bauteile in der maßgebenden Richtung
n Anzahl der Geschosse

Innerhalb von MINEA erfolgt die Überprüfung des obigen Kriteriums für den Lastfall Wind. Wenn die Bedingung nicht erfüllt ist, ist ein gesonderter Nachweis unter Berücksichtigung der Verformungen erforderlich.

Für den Nachweis des Lastfalls Erdbeben erlaubt DIN EN 1998-1 eine Vernachlässigung der Effekte aus Theorie II. Ordnung, sofern die folgende Bedingung gemäß DIN EN 1998-1 4.4.2.2(2) in allen Geschossen erfüllt ist:

$$\theta = \frac{P_{tot} \cdot d_r}{V_{tot} \cdot h} \leq 0{,}10$$

θ Empfindlichkeitsbeiwert der gegenseitigen Stockwerksverschiebung
P_{tot} Gesamtgewichtskraft am und oberhalb des in der Erdbeben-Bemessungssituation betrachteten Geschosses)
d_r Bemessungswert der gegenseitigen Stockwerksverschiebung
V_{tot} Gesamterdbebenschub des Stockwerks
h Geschosshöhe

Eine Abschätzung des Empfindlichkeitsbeiwerts θ unter der Annahme möglichst ungünstiger Faktoren (sehr geringe Seismizität gemäß DIN EN 1998-1/NA NDP zu 3.2.1(5)P: $a_g \cdot S = 0{,}5\ m/s^2$; max. zulässige Stockwerksverschiebung gemäß DIN EN 1998-1/NA NCI zu 9.4(6) für Schubversagen: $0{,}004 \cdot h$) bei näherungsweise konstanter Stockwerksmasse m und Geschosshöhe h liefert:

$$\theta = \frac{(9{,}81 \cdot m) \cdot (0{,}004 \cdot h)}{(0{,}5 \cdot m) \cdot h} = 0{,}08 \leq 0{,}10$$

Dies zeigt, dass eine Berücksichtigung der Effekte aus Theorie II. Ordnung für den Lastfall Erdbeben üblicherweise nicht erforderlich ist. Somit erfolgt vereinfacht in MINEA keine explizite Überprüfung, ob die Berücksichtigung der Einflüsse aus Theorie II. Ordnung erforderlich ist, und diese werden bei der Berechnung vernachlässigt. Sollen dennoch Effekte nach Theorie II. Ordnung in der Berechnung berücksichtigt werden, so kann dies über eine Erhöhung des Bedeutungsbeiwerts erfolgen.

5.3.7 Imperfektionen (nur 2D Nachweis)

Imperfektionen sind nach DIN EN 1996-1-1 grundsätzlich zu berücksichtigen. Gemäß DIN EN 1996-1-1 5.3(2) kann die Berücksichtigung der Imperfektionen durch eine Schiefstellung auf

Tragwerksebene erfolgen. Diese kann durch den Winkel ν wie folgt beschrieben werden:

$$\nu = \frac{1}{(100 \cdot \sqrt{h_{tot}})}$$

h_{tot} Gebäudehöhe in m

Unter der Annahme kleiner Winkel resultiert die zusätzliche Horizontalbeanspruchung in Abhängigkeit der Schiefstellung und der Geschossmasse oberhalb des betrachteten Geschosses zu:

$$H_i = \nu \cdot N_i$$

H_i zusätzliche horizontale Geschosskraft infolge Schiefstellung
N_i vertikale gerichtete Normalkraft aus der Masse des Geschosses oberhalb

Innerhalb von DIN EN 1998-1 ist ein Ansatz von Imperfektionen auf Tragwerksebene für den Nachweis der Erdbebeneinwirkung nicht vorgeschrieben. Somit erfolgt die Berücksichtigung von Imperfektionen innerhalb von MINEA ausschließlich beim Nachweis unter Windbeanspruchung, sofern eine automatische Ermittlung der Wind- und Lasten infolge Imperfektionen erfolgt (s. Abschnitt 3.2.3). Bei der manuellen Ermittlung der Windlasten sind Imperfektionen nach DIN EN 1996-1-1 5.3 durch den Nutzer zu berücksichtigen.

5.4 Nichtlinear statischer Nachweis (2D Pushover-Berechnung)

Nichtlineare statische Berechnungen, auch Pushover-Analysen genannt, werden genutzt, um die inelastische Last-Verformungskurve (Kapazitätskurve) eines Bauwerks zu bestimmen. Diese Kurve zeigt, wie sich das Bauwerk unter konstanten Gewichtslasten bei zunehmenden Horizontalkräften verhält. Dabei wird die Verschiebung eines bestimmten Bezugspunkts, z.B. der obersten Geschossdecke, relativ zur Fundamentsoberkante oder zu einem starren Kellergeschoss in Relation zur Gesamterdbebenkraft dargestellt. Grundlage für die Berechnungen und Festigkeitsansätze sind die Vorgaben nach DIN EN 1998-1, Abschnitt 4.3.3.4.1(1) bis (4).

Der Schnittpunkt der Kapazitätskurve mit dem Antwortspektrum im S_a-S_d-Diagramm (Spektralbeschleunigung-Spektralverschiebungsdiagramm) liefert die sogenannte Zielverschiebung. Diese Zielverschiebung ist die Basis für den Nachweis. Der Nachweis ist erfüllt, wenn die 1,5-fache Zielverschiebung kleiner oder gleich der Verformungskapazität ist. Die Verformungskapazität ist definiert als die Verformung, bei der das Bauwerk nach Überschreiten der maximalen Tragfähigkeit noch mindestens 80% seiner maximalen Tragkraft behält.

Im Weiteren erfolgt eine kurze Beschreibung des Berechnungsablaufs. Eine detaillierte Beschreibung der allgemeinen Vorgehensweise sowie die theoretischen Hintergründe können der Literatur, beispielsweise Meskouris et al. [2011] oder Butenweg et al. [2023], entnommen werden.

5.4.1 Berechnungsablauf

Für die Berechnung gelten folgende Anforderungen:

- Das Modell muss sowohl das Schwingungsverhalten als auch die nichtlineare Lastumverteilung im Bauwerk berücksichtigen.

- Die Decken müssen als starre Scheiben wirken, um die Horizontallasten auf die Aussteifungselemente zu verteilen.
- Das dynamische Verhalten wird vorwiegend durch die erste Eigenform dominiert. Es werden keine Einflüsse aus höheren Eigenformen berücksichtigt.
- Das Bauwerk muss die Anforderung an die Regelmäßigkeit erfüllen und durchgehende Schubwände aufweisen.
- Das Erdgeschoss wird als das maßgebende Geschoss für den Nachweis betrachtet. Die Berechnung basiert auf einem Schubbalkenmodell.
- Der nichtlineare Nachweis ist in die maßgebende Gebäuderichtung zu führen. Üblicherweise erfolgt eine Untersuchung in die Gebäudehauptrichtungen, so dass zwei Berechnungen und Nachweise zu führen sind.



Eine explizite Berücksichtigung von Effekten aus Theorie II. Ordnung (Abschnitt 5.3.6) und Imperfektionen (Abschnitt 5.3.7) erfolgt innerhalb von MINEA im Rahmen der 2D Pushover-Berechnung nicht.

Zur Ermittlung der Zielverschiebung wird im informativen Anhang von DIN EN 1998-1 die N2-Methode auf Basis inelastischer Spektren empfohlen [Fajfar und Vidic 1994; Fajfar und Gašperšič 1996; Fajfar 1999]. Dieses Verfahren ist jedoch nur für Stahlbetonrahmentragwerke geeignet und kann nicht auf andere Tragwerkstypen angewendet werden [DIN EN 1998-1/NA 2023]. Alternativ kann die Zielverschiebung mit gedämpften Spektren über die Kapazitätsspektrum-Methode ermittelt werden [Freeman 1998]. Hierbei muss die benötigte Dämpfung rechnerisch oder experimentell bestimmt werden. In MINEA stehen vier verschiedene Ansätze zur Berücksichtigung der Dämpfung zur Verfügung.

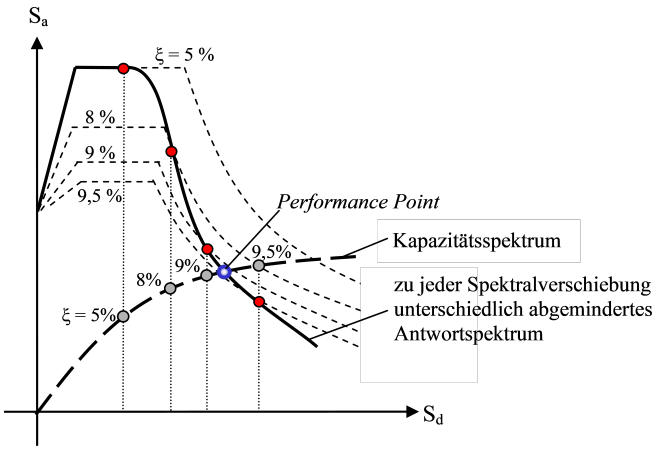


Abbildung 5.12: Ermittlung der Zielverschiebung mittels gedämpfter Spektren [Meskouris et al. 2011]

Ein Beispiel für die Ermittlung der Zielverschiebung zeigt Abbildung 5.12. Der Schnittpunkt (Performance Point) der Kapazitätskurve mit dem gedämpften Spektrum im S_a-S_d-Diagramm liefert die Zielverschiebung.

Die ansteigende Dämpfung mit zunehmender Verformung kann in Abhängigkeit des Wandmaterials ausgewählt werden. Es stehen Ansätze für unbewehrtes Mauerwerk sowie Stahlbeton und bewehrtes Mauerwerk zur Verfügung. Als grundlegender Ansatz wird für alle Wandmaterialien

eine äquivalente Dämpfung angesetzt, die sich aus einem elastischen Anteil ξ_{el} und einem hysteretischen Anteil ξ_{hyst} zusammensetzt:

$$\xi_{eq} = \xi_{el} + \xi_{hyst}$$

Die Dämpfungsanteile werden auf Grundlage von Priestley et al. [2007] und Priestley und Grant [2005] ermittelt:

$$\xi_{eq} = \xi_0 + c \left(\frac{\mu - 1}{\pi \cdot \mu} \right)$$

Hierbei sind ξ_0 die lineare viskose Dämpfung von 5%, c ein materialspezifischer Vorfaktor und μ die Verschiebeduktilität. Der materialspezifische Vorfaktor wird für unbewehrtes Mauerwerk nach Norda [2012] angesetzt, wobei die Vorfaktoren in Abhängigkeit der Versagensart definiert werden. Für Stahlbeton wird der Vorfaktor nach Priestley et al. [2007] angesetzt. Für unbewehrtes Mauerwerk werden die Vorfaktoren des unbewehrten Mauerwerks angesetzt, da nur wenige experimentelle Erkenntnisse vorliegen. Insgesamt kann zwischen vier Ansätzen ausgewählt werden:

- Konstante viskose Dämpfung ohne hysteretischen Dämpfungsanteil:
  Ansatz der viskosen Dämpfung von 5% ohne hysteretische Dämpfung
- Hysteretische Dämpfung entsprechend der Definition der Wandscheiben:
  Die hysteretische Dämpfung steigt linear bis zur Enddämpfung der Wand an, die in der Wandscheibendefinition vorgegeben wird.
- Hysteretische lineare Dämpfung auf 5% ansteigend:
  Die hysteretische Dämpfung steigt linear bis maximal auf 5% an.
- Hysteretische Dämpfung aus den Versuchsauswertungen:
  Die hysteretische Dämpfung der Materialien wird für unbewehrtes und bewehrtes Mauerwerk nach Norda [2012] und für Stahlbeton nach Priestley et al. [2007] angesetzt. Der hysteretische Dämpfungsansatz nach Norda [2012] wird für das Biegeversagen noch durch einen zusätzlichen Dämpfungsanteil ergänzt. Hierbei handelt es sich um eine Dämpfung von 5%, die linear von d_1 (Anfang des Plateaubereichs der Last-Verformungskurve) nach d_2 (Ende des Plateaubereichs der Last-Verformungskurve) ansteigt. Die Gesamtdämpfung resultiert für das Biegeversagen somit in Abhängigkeit der aktuellen Verschiebung d_i ($d_1 \leq d_i \leq d_2$) zu:

$$\xi_{eq} = 0{,}05 + 0{,}2 \left(\frac{\mu - 1}{\pi \cdot \mu} \right) + 0{,}05 \left(\frac{d_i - d_1}{d_2 - d_1} \right)$$

Des Weiteren wird für den Abminderungsfaktor η anstelle des Dämpfungs-Korrekturbeiwerts nach DIN EN 1998-1, der sich zu

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0{,}55$$

ergibt, ein abweichender Ansatz verwendet:

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2 + \xi}}$$

Diese Änderung kann grundsätzlich für alle Dämpfungsansätze der CSM verwendet werden. Der Ansatz wird von Priestley et al. [2007] empfohlen.

Eine Begrenzung der Dämpfung nach oben muss nicht berücksichtigt werden. Dies ist nicht auf die linearen Nachweismodule übertragbar.

Bei Verwendung eines freien Spektrums muss bei der 2D Pushover-Berechnung unbedingt das elastische Spektrum eingebeben werden.

5.4.2 Ermittlung der Kapazitätskurven für Mauerwerksgebäude

Die nichtlineare statische Berechnung von Mauerwerksbauten basiert auf den Last-Verformungskurven der einzelnen Wände. Diese Kurven müssen in Abhängigkeit der jeweiligen Versagensformen berechnet werden. Für unbewehrte Mauerwerkswände können die in Tabelle 5.16 angegebenen Verformungskapazitäten gemäß DIN EN 1998-1/NA, NCI zu 9.4(6), sowie die Biege- und Schubkapazitäten nach DIN EN 1996-1-1/NA verwendet werden. Die Berechnung der Kapazitäten erfolgt unter Berücksichtigung einer geschossweisen Momentenumverteilung in der Wand, wobei der Momentenverteilungsfaktor ψ aus Anhang K der DIN EN 1996-1-1/NA genutzt wird.

- Für $\psi = 0{,}5$ liegt der Momentennullpunkt in der Wandmitte.
- Für $\psi = 1{,}0$ befindet sich der Momentennullpunkt am Wandkopf (Abbildung 5.8).

Die Last-Verformungskurven der Einzelwände werden durch eine iterative, verformungsgesteuerte Berechnung ermittelt, deren Ablauf in Abbildung 5.13 dargestellt ist. Dabei wird ein Timoschenko-Balkenmodell verwendet, das Biege- und Schubverformungen getrennt berücksichtigt. Die Querschnittssteifigkeiten werden während der Berechnung fortlaufend aktualisiert, indem die gerissenen Querschnittsbereiche berücksichtigt werden.

Die Berücksichtigung einer teilweisen Deckenauflagerung kann nach dem Entwurf von prEN 1998-1-2 [2023], Anhang J.3 vereinfacht durch eine lineare Abminderung der maximalen Verformungskapazität bezogen auf die Auflagertiefe erfolgen. Dies kann in MINEA bei den Wandeigenschaften über den **Red.-Faktor Verformung** berücksichtigt werden.

Im Rahmen der iterativen Berechnung wird die maximale Traglast der Wand unter Berücksichtigung folgender Aspekte verformungsgesteuert berechnet:

- Momentenverteilung in der Wand,
- Wandgeometrie und Wandsteifigkeiten,
- Konstante Vertikallasten in den Wänden ermittelt mit Lasteinzugsflächen.

Die Punkte auf der Last-Verformungskurve ergeben sich als Minimum aus Biege- und Schubtragfähigkeit, bis die maximale Verformung d_u erreicht ist.

Bei der Ermittlung der Kapazitätskurve können Torsionseffekte nach DIN EN 1998-1 berücksichtigt werden, in dem der Massenschwerpunkt aus der gegenüber seiner planmäßigen Lage in jeder Richtung um eine zufällige Exzentrizität e_{li} nach DIN EN 1998-1 mit $e_{li} = \pm 0{,}05 \cdot L_i$

Tabelle 5.16: Biege- und Schubkapazitäten V_{Rd} nach DIN EN 1996-1-1 und zugehörige Verformungskapazitäten d_u nach DIN EN 1998-1/NA [Butenweg et al. 2023]

Versagensart	Tragfähigkeit V_{Rd}		Verformungskapazität d_u
Biegung und Normalkraft	$\frac{\sigma_0 \cdot l^2 \cdot t}{2 \cdot \psi \cdot h}\left(1 - \frac{\sigma_0}{\frac{f_k}{\gamma_M} \cdot \phi_{OOP}}\right)$		$0{,}006 \cdot \frac{h^2}{l} \cdot \psi$
Schub: Reibung	$\frac{f_{vk}}{\gamma_M} \cdot l_{cal} \cdot \frac{t}{c}$ mit $f_{vk} = \min(f_{vlt1}; f_{vlt2})$		$\sigma_0 \leq 0{,}15 \cdot f_k \Rightarrow 0{,}004 \cdot h$ $\sigma_0 > 0{,}15 \cdot f_k \Rightarrow 0{,}003 \cdot h$
	Vermörtelte Stoßfugen: $f_{vlt1} = f_{vk0} + 0{,}4 \cdot \sigma_{Dd}$	Unvermörtelte Stoßfugen: $f_{vlt1} = 0{,}5 \cdot f_{vk0} + 0{,}4 \cdot \sigma_{Dd}$	
Schub: Steinzug	$f_{vlt2} = 0{,}45 \cdot f_{bt,cal} \quad \sqrt{1 + \frac{\sigma_{Dd}}{f_{bt,cal}}}$		

h, l, t	Wandhöhe, Wandlänge, Wanddicke
h_0	Abstand zwischen dem Querschnitt mit Erreichen der Biegekapazität und dem Wendepunkt nach DIN EN 1998-1/NA [2023]
ψ	Kennwert zur Beschreibung der Momentenverteilung über die Wandscheibenhöhe
σ_0	mittlere Vertikalspannung inf. Normalkraft am Wandkopf
f_k	charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit
γ_M	Sicherheitsbeiwert (Erdbeben: $\gamma_M = 1{,}2$)
ϕ_{OOP}	Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung von Schlankheit und Lastausmitte (hier: $\phi_{OOP} = 0{,}9$)
c	Schubspannungsverteilungsfaktor
f_{vk}	charakteristische Haftscherfestigkeit
l_{cal}	Länge des überdrückten Wandquerschnitts
f_{vlt1}, f_{vlt2}	Grenzwerte der charakteristischen Schubtragfähigkeit
f_{vk0}	char. Haftscherfestigkeit
σ_{Dd}	Bemessungswert der zugehörigen Druckspannung an der Stelle der maximalen Schubspannung
$f_{bt,cal}$	rechn. Steinzugfestigkeit

verschoben wird, wobei L_i die Geschossabmessungen senkrecht zur Einwirkungsrichtung des Erdbebens sind. Die horizontale Erdbebeneinwirkung wird durch zwei zueinander orthogonale Komponenten beschrieben, die gleichzeitig einwirken. Die Kombination der Richtungen erfolgt nach DIN EN 1998-1 mit der 30%-Regel

$$E_{Edx} \oplus 0{,}30 \cdot E_{Edy}$$
$$0{,}30 \cdot E_{Edx} \oplus E_{Edy}$$

wobei E_{Edx} und E_{Edy} die sich infolge der Erdbebenlast ergebenden Ergebnisgrößen in Richtung der x- bzw. y-Achse sind. Der Operator $\oplus$ bedeutet „zu kombinieren mit“. Diese Kombinationsregel ist in den Ablauf zur Bestimmung der Kapazitätskurve integriert. Da die ungünstigste Position des Massenschwerpunktes vorab nicht bestimmt werden kann, werden die zufälligen Massenexzentrizitäten in alle Richtungen angesetzt, so dass sich vier zu untersuchende Positionen des Massenschwerpunktes ergeben. Damit ergeben sich für eine Richtung vier Einwirkungskombinationen.

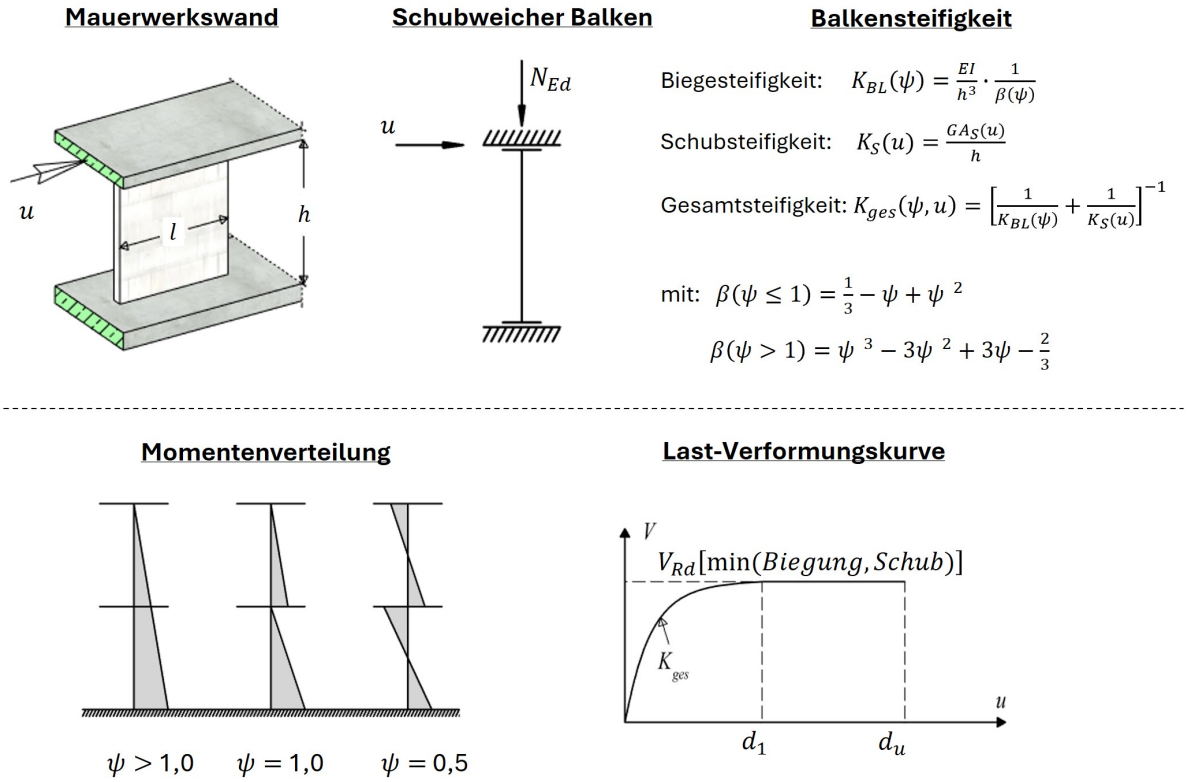


Abbildung 5.13: Iterative Berechnung der nichtlinearen Kapazitätskurven von Mauerwerkswänden [Butenweg et al. 2023]

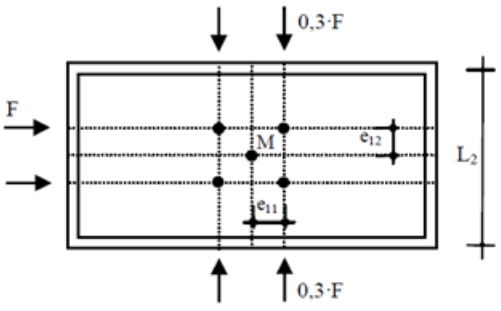


Abbildung 5.14: Zufällige Massenexzentrizität und resultierende Lastangriffspunkte

Kapitel 6

Beispiele

6.1 DIN EN 1998-1 - Vereinfachter Nachweis

6.1.1 Systembeschreibung

Der Ablauf des vereinfachten Nachweises gemäß DIN EN 1998 mit allen nötigen Eingaben wird im Folgenden anhand eines einfachen Beispiels demonstriert. Gewählt wurde das in nebenstehender Abbildung im Grundriss dargestellte Reihenhaus. Das Gebäude wird mit insgesamt 2 Vollgeschossen mit einer lichten Geschosshöhe von $h = 2{,}80$ m errichtet.

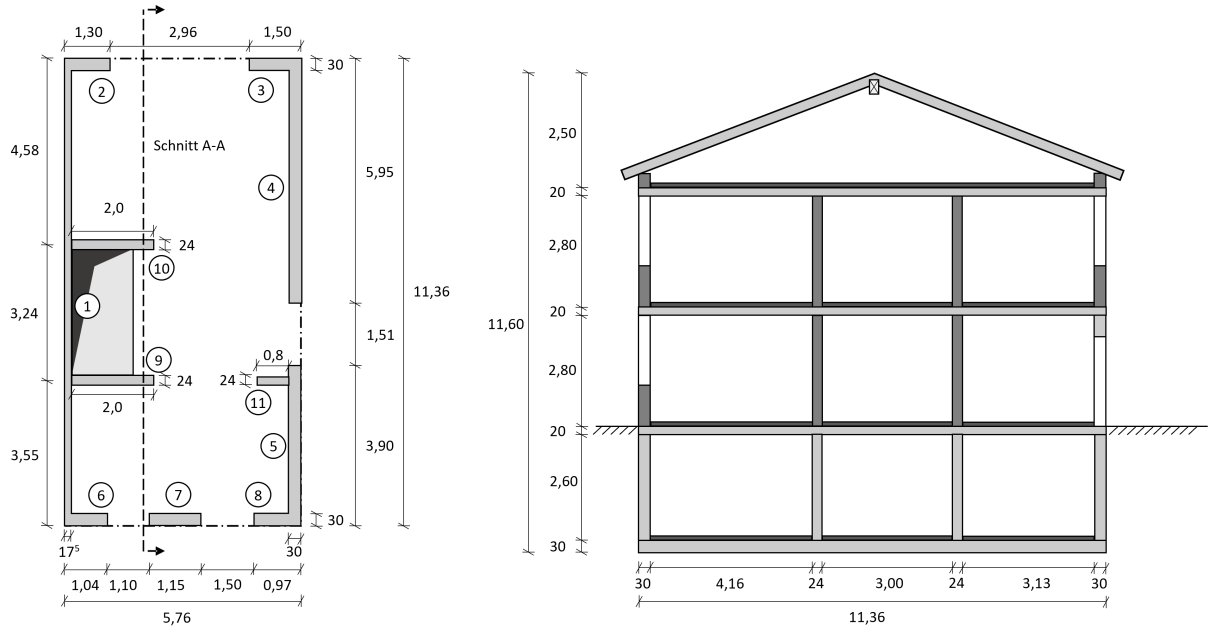


Abbildung 6.1: Grundriss und Ansicht des betrachteten Reihenhauses

Seine Außenwände bestehen aus wärmedämmenden Leichtbetonsteinen (Wanddicke 300 mm, Steinfestigkeitsklasse (SFK) 2, Rohdichteklasse 0,4, Hohlblocksteine). Die Trennwand zum Nachbarhaus ist aus Schallschutzgründen aus schalldämmenden Leichtbetonsteinen (Wanddicke 175 mm, SFK 12, Rohdichteklasse 1,8, Vollblocksteine) und die Innenwände sind

aus Leichtbetonsteinen (Wanddicke 240 mm, SFK 12, Rohdichteklasse 1,8, Vollblocksteine) hergestellt. Alle drei Mauersteine werden entsprechend ihrer bauaufsichtlichen Zulassungen mit Dünnbettmörtel ausgeführt. Die Stoßfugen bleiben unvermörtelt.

6.1.2 Eingabedaten

Die Eingabe gliedert sich in drei Arbeitsschritte. Im ersten Schritt werden die Gebäudedaten, im zweiten Schritt die Erdbebendaten und zuletzt die Geometriedaten definiert. Im Folgenden werden die Eingabedaten in einer sinnvollen Eingabereihenfolge aufgelistet.



Für den Vereinfachten Nachweis sind nur die Angaben zur Wanddicke und Steinfestigkeitsklasse erforderlich. Alle weiteren Angaben sind optional und erleichtern nur einen Wechsel der Nachweisverfahren.

Eingabe der Norm und Gebäudedaten

- Norm: DIN EN 1998-1/NA-DE
- Bedeutungskategorie: Gewöhnliche Bauten (Kategorie II)
- Stockwerke: 2 Stockwerke mit $h = 280$ cm

Eingabe der Erdbebendaten

Definition des elastischen Antwortspektrums durch Benutzung der Datenbank für die Spektrale Antwortbeschleunigung auf Fels in Deutschland. Für dieses Beispiel wird die Option **Adresse suchen** verwendet:

- Ort: Stuttgart
- Untergrundverhältnis: C-R

Alternativ kann der Ort durch die interaktive Karte oder durch die Eingabe der Koordinaten definiert werden. Darüber hinaus kann das Antwortspektrum durch die Vorgabe eines ortunabhängigen Wertes der Antwortbeschleunigung $S_{aP,R}$ definiert werden.

Eingabe der Geometriedaten

Im ersten Schritt, der Eingabe der Geometriedaten, werden die Koordinaten, die Wanddicken und die Steindruckfestigkeitsklasse der Wandscheiben definiert. Für den vereinfachten Nachweis wird hier als Material Mauerwerk beliebig ausgewählt.

Bei der Eingabe der Geometriedaten ist insbesondere auf die konstruktive Ausführung der Mauerwerksstöße zu achten. In diesem Fall wird davon ausgegangen, dass die Wände im Verband gemauert sind. Es ergeben sich folgende tabellarisch zusammengefasste Eingabewerte:

Die Geschossdecke erfüllt die Kriterien einer „Geschossdecke mit aussteifender Scheibenwirkung“ und wird über ein Randpolygon definiert. Für dieses Beispiel im vereinfachten Nachweismodul wird die Öffnung im Bereich des Treppenhauses auf der sicheren Seite nicht berücksichtigt. Die Koordinaten des rechteckigen Deckenrandpolygons werden über vier Eckpunkte wie folgt definiert:

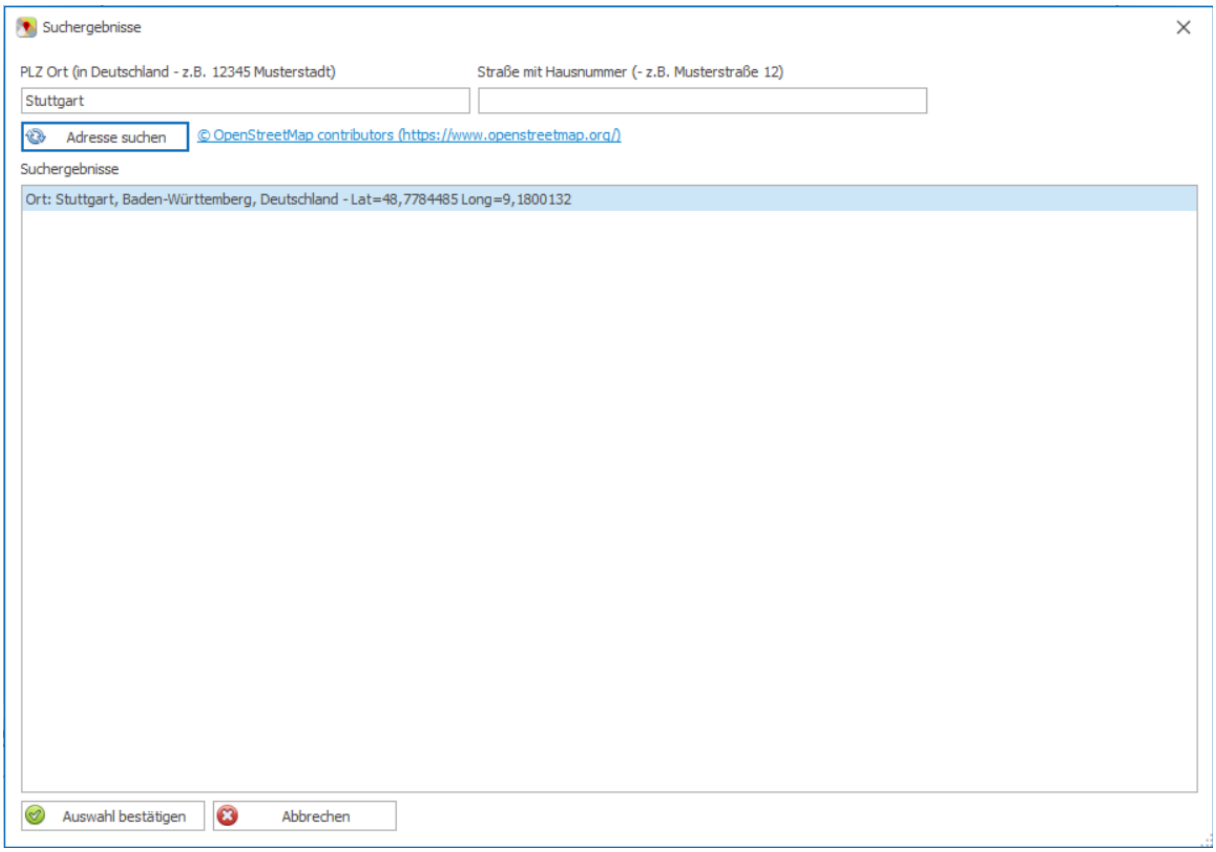


Abbildung 6.2: Auswahl der Erdbebendaten über die Option **Adresse suchen**

Eingabe der Wandeigenschaften

Wie in Abschnitt 3.3.2 beschrieben, öffnet sich durch Klick auf den Button **Wandscheibentypen bearbeiten** das dargestellte Eingabefenster. Die Eingaben wurden wie folgt definiert:

Eingabe der Deckeneigenschaften

6.1.3 Durchführung des vereinfachten Nachweises

Im Rahmen des vereinfachten Nachweises sind einige grundlegende Bedingungen zu überprüfen und interaktiv nach dem Start des Nachweises einzugeben. Für dieses Beispiel werden folgende Annahmen getroffen:

- Das Reihenhaus weist eine große Deckeneinspannungsmöglichkeit auf.
- Es werden zulässige Mauersteinarten sowie zulässige Mauermörtel nach DIN EN 1996-1-1/NA verwendet.
- Die Decken und Wände sind in zwei orthogonal horizontalen und einer vertikalen Richtung miteinander verbunden.
- Die Verbindung zwischen Decken und Wänden erfolgt durch Stahlanker oder Stahlbetonringbalken.
- Es sind Schubwände in mindestens zwei orthogonalen Richtungen vorgesehen.

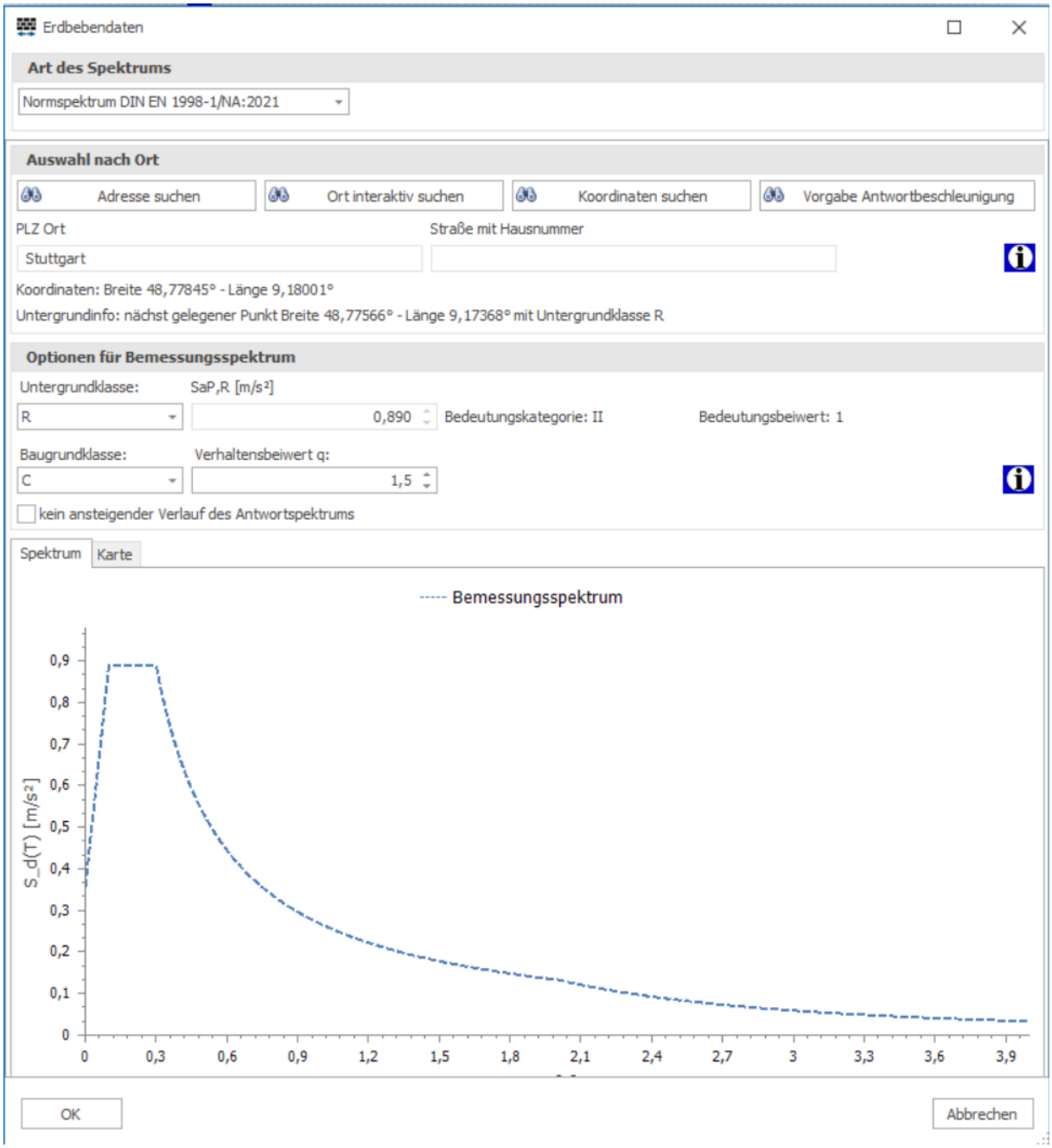


Abbildung 6.3: Übersicht der ausgewählten Erdbebendaten

- Die effektive Dicke von allen Schubwänden ist größer als der von der Spektralbeschleunigung abhängigen Mindestwert $t_{ef,min}$.
- Das Verhältnis der effektiven Knicklänge h_{ef} aller Wände zu ihrer effektiven Dicke t_{ef} ist kleiner als der von der Spektralbeschleunigung abhängigen Höchstwert.
- Der Grundriss ist annähernd rechteckig.
- Die Fläche der projizierten Abweichungen von der Rechteckform in Prozent der gesamten Gebäudegrundrissfläche ist kleiner als 15%.

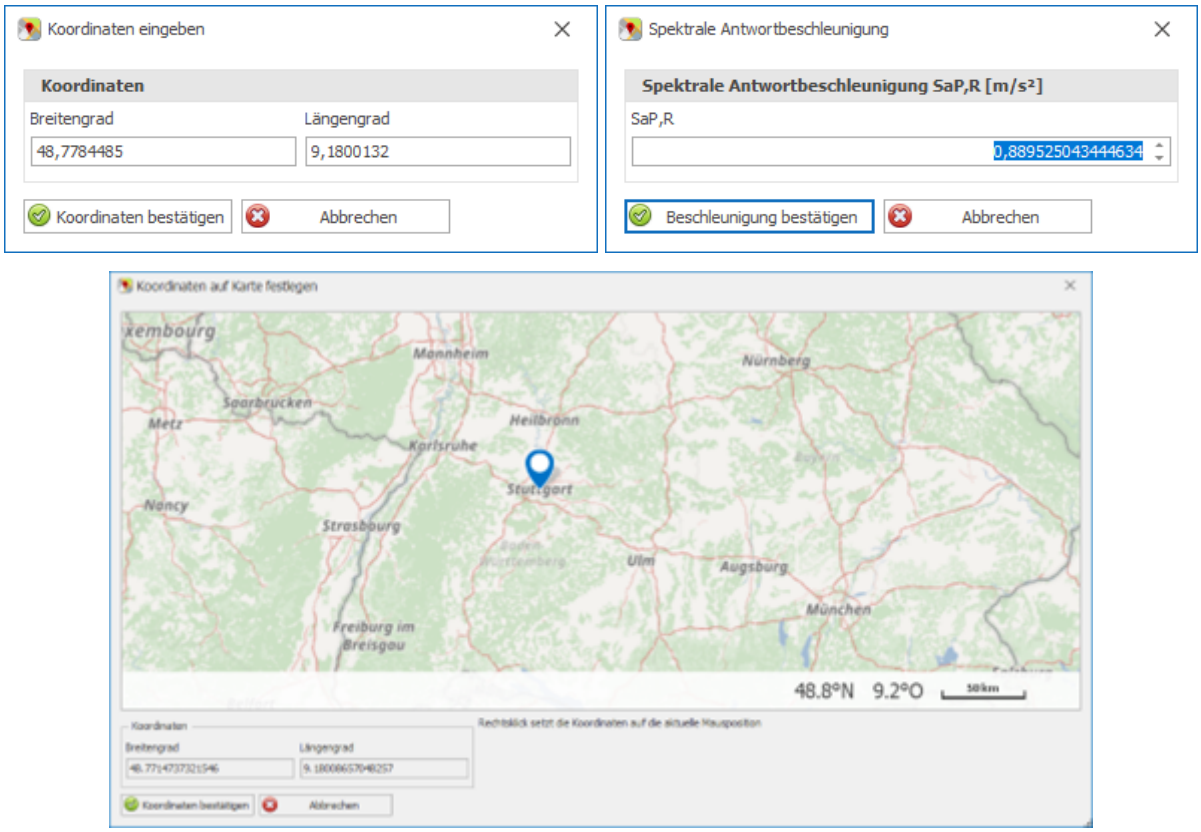


Abbildung 6.4: Erdbebendaten: Eingabe geografischer Koordinaten (links) und Eingabe der spektralen Antwortbeschleunigung auf Fels (rechts) sowie interaktive Suche des Standorts (unten)

Wandscheiben

Nr.	X1	Y1	X2	Y2	Länge	Typ
w1	8,8	15,0	8,8	1121,0	1106,0	
w2	8,8	1121,0	130,0	1121,0	121,2	
w3	426,0	1121,0	561,0	1121,0	135,0	
w4	561,0	1121,0	561,0	541,0	580,0	
w5	561,0	390,0	561,0	15,0	375,0	
w6	8,8	15,0	104,0	15,0	95,2	
w7	214,0	15,0	329,0	15,0	115,0	
w8	479,0	15,0	561,0	15,0	82,0	
w9	8,8	354,5	208,8	354,5	200,0	
w10	8,8	678,5	208,8	678,5	200,0	
w11	466,0	354,5	561,0	354,5	95,0	

Abbildung 6.5: Wandkoordinaten des Reihenhauses

Wandscheiben | Stützen | Decke

Rand-/Öffnungspolygone	X	Y
Randpolygon		
Punkt	8,8 cm	15,0 cm
Punkt	561,0 cm	15,0 cm
Punkt	561,0 cm	1121,0 cm
Punkt	8,8 cm	1121,0 cm

Abbildung 6.6: Koordinaten des Deckenpolygons

- Das Gebäude ist durch Schubwände ausgesteift, die im Grundriss nahezu symmetrisch in

zwei orthogonalen Richtungen angeordnet sind.

- Es werden mindestens 75% der Vertikallasten von den Schubwänden getragen oder der überwiegende Teil der Vertikallasten von den Schubwänden in den beiden orthogonalen Hauptrichtungen abgetragen.
- Der Massenunterschied aufeinanderfolgender Geschosse ist kleiner als 20%.
- Die Schubwände in einer Richtung sind in einem maximalen Abstand von 7m in der dazu orthogonalen Richtung verbunden.

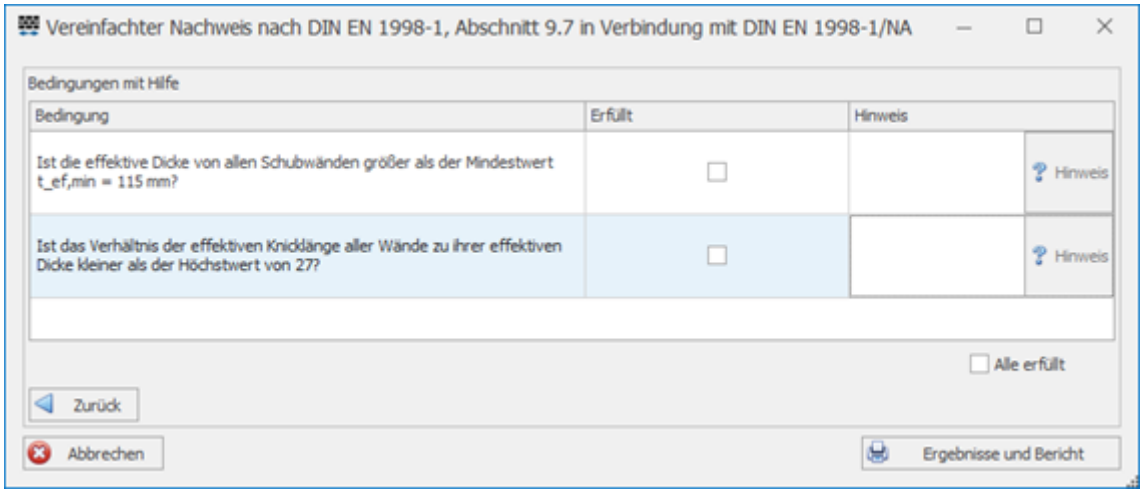


Abbildung 6.7: Abfrage der Bedingungen zu vereinfachtem Nachweis

Über den Menüpunkt **Ergebnisse und Bericht** werden weitere Bedingungen automatisch überprüft und der vereinfachte Nachweis durchgeführt. Anschließend wird das dargestellte Fenster angezeigt:

In diesem Fenster werden die Ergebnisse zusammengefasst. Ist der Nachweis nicht fehlgeschlagen, so kann der Benutzer entscheiden, ob er den Bericht unter **Bericht zusammenstellen** erzeugt oder das System nochmals modifiziert. In diesem Fall ist der Button **Fenster schließen** zu wählen.

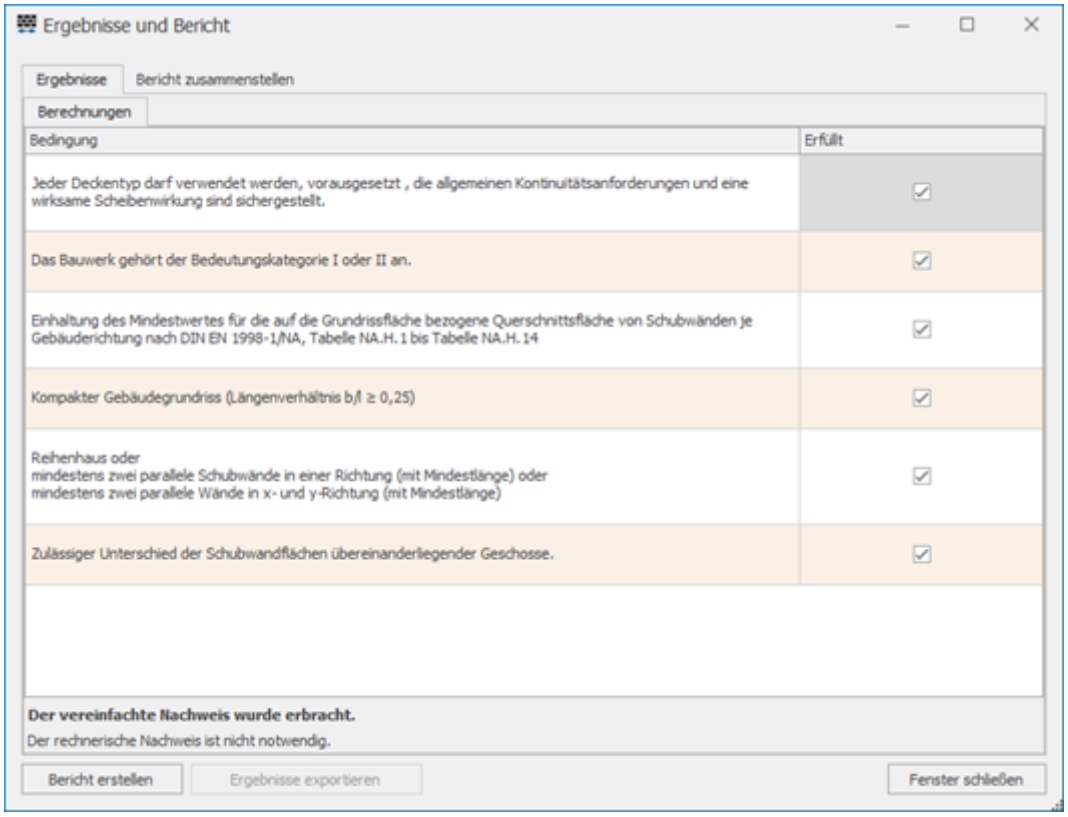


Abbildung 6.8: Ergebnisfenster des vereinfachten Nachweises

6.1.4 Ausgabe des Berichts

Nach Abschluss der interaktiven Eingabe erfolgt die Ausgabe des Berichts. Wesentliche Auszüge des Berichts sind für das gewählte Beispiel in einer verkleinerten Form auf den folgenden Seiten dargestellt. Der vereinfachte Nachweis kann für den vorliegenden Grundriss geführt werden.

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Gebäudedaten

Eigenschaft	Wert
Anzahl Stockwerke:	2
Höhe der Stockwerke h:	280,0 cm

Erdbebendaten

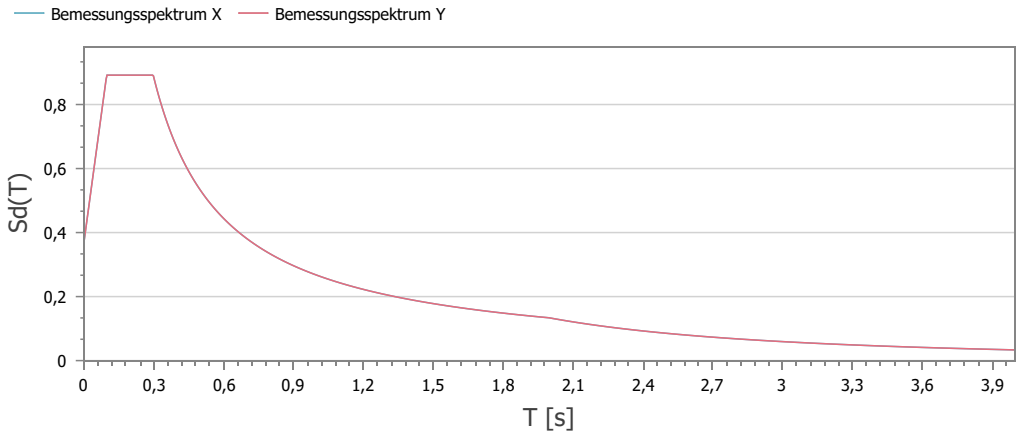
Eigenschaft	Wert
$S_{ap,R}$ [m/s²]	0,890
Untergrundverhältnisse:	C-R
Bedeutungskategorie:	II
Bedeutungsbeiwert:	1
Verhaltensbeiwert q_x:	1,5
Verhaltensbeiwert q_y:	1,5

Adressdaten

Breitengrad	48.7784485
Längengrad	9.1800132
Ort	Stuttgart
Straße	

© OpenStreetMap contributors (https://www.openstreetmap.org/)

Bemessungsspektrum



Parameter des horizontalen Antwortspektrums

Untergrundtyp	S	T_B	T_C	T_D
		[s]	[s]	[s]
C-R	1,50	0,10	0,30	2,00

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Materialdaten

Wandscheibentypen:

Wandscheibentyp	Material	t	E_M|E_{cm}	μ	ρ	Ausbaul.
		[mm]	[N/mm²]	[-]	[kg/m³]	[kN/m²]
LB Vbl 175 Trennwand	Leichtbetonsteine DM	175	6.555,00	0,20	1.800,00	0,00
LB Hbl 300 Außenwand	Leichtbetonsteine DM	300	855,00	0,20	500,00	0,00
LB Vbl 240 Innenwand	Leichtbetonsteine DM	240	6.555,00	0,20	1.800,00	0,00

Wandscheibentyp	SFK	Stoßfugen vermörtelt	f_k	f_{vk0}	l_{ol}/h_u	h_u	l_u	$f_{bt,cal}$	φ_∞
			[N/mm²]	[N/mm²]	[-]	[mm]	[mm]	[N/mm²]	[-]
LB Vbl 175 Trennwand	12	Nein	6,90	0,11	-	-	-	0,30	0,50
LB Hbl 300 Außenwand	2	Nein	0,90	0,11	-	-	-	0,05	0,50
LB Vbl 240 Innenwand	12	Nein	6,90	0,11	-	-	-	0,30	0,50

Deckentypen:

Deckentyp	Material	t	E_{cm}	μ	ρ	α_T
		[mm]	[N/mm²]	[-]	[kg/m³]	[-]
StbDecke	C25/30	200	31.000,00	0,17	2.500,00	1E-05

Deckentyp	f_{ck}
	[N/mm²]
StbDecke	25

Dachtyp:

Deckentyp	Material	t	E_{cm}	μ	ρ	α_T
		[mm]	[N/mm²]	[-]	[kg/m³]	[-]
StbDecke + Dach	C25/30	200	31.000,00	0,17	2.500,00	1E-05

Dachtyp	f_{ck}
	[N/mm²]
StbDecke + Dach	25

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Grundrissdaten

Grundrissdaten für Stockwerk 1

Wandscheiben

Nr.	Wandscheibentyp	t	l_W	X_1	Y_1	X_2	Y_2
[-]	[-]	[mm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
w1	LB Vbl 175 Trennwand	175	1.106,0	8,8	15,0	8,8	1.121,0
w2	LB Hbl 300 Außenwand	300	121,2	8,8	1.121,0	130,0	1.121,0
w3	LB Hbl 300 Außenwand	300	135,0	426,0	1.121,0	561,0	1.121,0
w4	LB Hbl 300 Außenwand	300	580,0	561,0	1.121,0	561,0	541,0
w5	LB Hbl 300 Außenwand	300	375,0	561,0	390,0	561,0	15,0
w6	LB Hbl 300 Außenwand	300	95,2	8,8	15,0	104,0	15,0
w7	LB Hbl 300 Außenwand	300	115,0	214,0	15,0	329,0	15,0
w8	LB Hbl 300 Außenwand	300	82,0	479,0	15,0	561,0	15,0
w9	LB Vbl 240 Innenwand	240	200,0	8,8	354,5	208,8	354,5
w10	LB Vbl 240 Innenwand	240	200,0	8,8	678,5	208,8	678,5
w11	LB Vbl 240 Innenwand	240	95,0	466,0	354,5	561,0	354,5

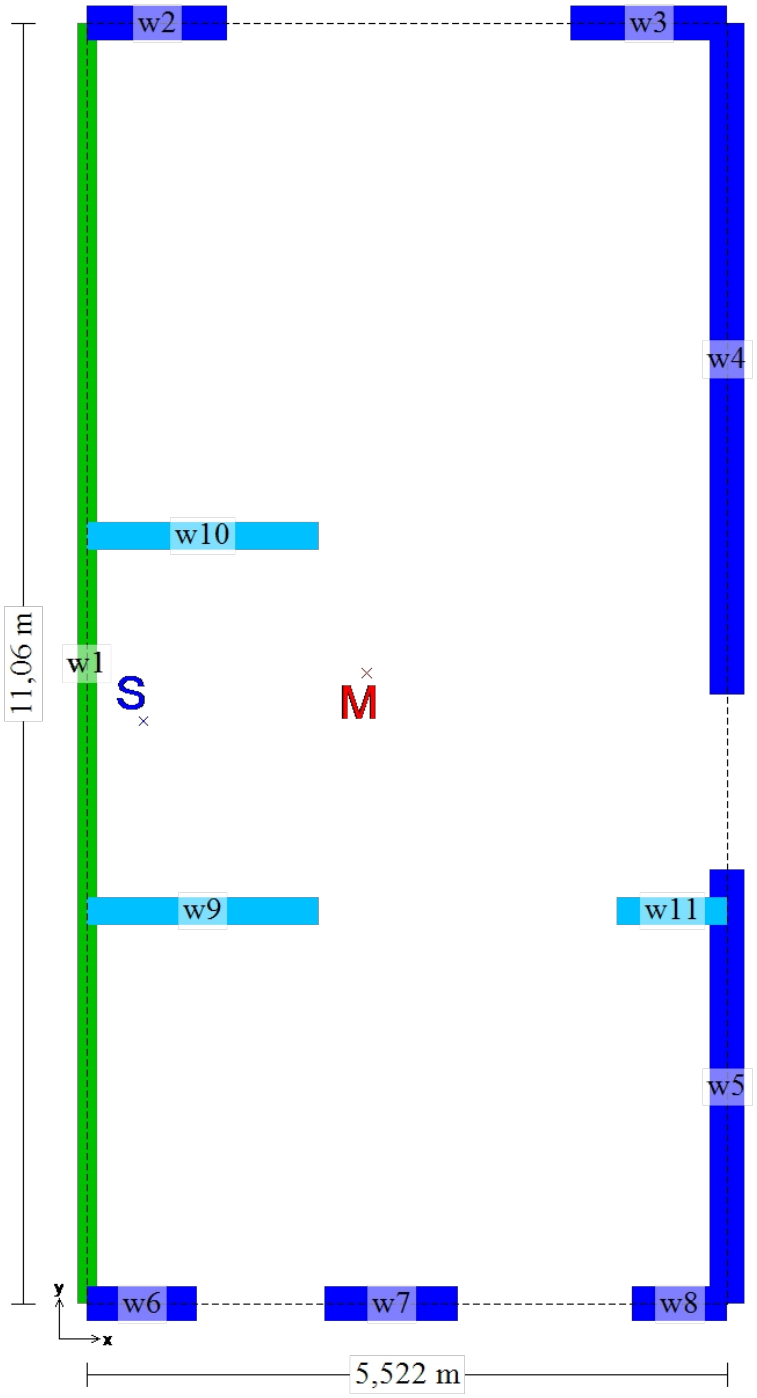
Decke

	Punktlisten (Werte in cm)
Randpolygon	{X=8,8, Y=15}; {X=561, Y=15}; {X=561, Y=1121}; {X=8,8, Y=1121}
Stockwerksfläche	61,07 m²

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Grundriss Stockwerk 1



SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Vereinfachter Nachweis nach DIN EN 1998-1, Abschnitt 9.7 in Verbindung mit DIN EN 1998-1/NA

Bauliche Vorgaben

Deckeneinspannung des Hauses:	Große Deckeneinspannung
Art des Hauses:	Reihenhaus

Mindestanforderungen an die auf die Geschossgrundrissfläche bezogene Querschnittsfläche von Schubwänden nach DIN EN 1998-1/NA, NDP und NCI zu 9.7.2(1) sowie Tabelle NA.H.1 bis NA.H.14

X-Richtung		Y-Richtung	
Beschreibung	**Wert**	**Beschreibung**	**Wert**
Vorhandene Wandmassenverhältnis $\alpha_{m,W}$ [−]:	1,66	Vorhandene Wandmassenverhältnis $\alpha_{m,W}$ [−]:	0,60
Erhöhungsbeiwert α_m [−]:	1,06	Erhöhungsbeiwert α_m [−]:	1,00
Referenzbeschleunigung $S_{aP,R} * S * \gamma_I * \alpha_m$ [m/s²]:	1,41	Referenzbeschleunigung $S_{aP,R} * S * \gamma_I * \alpha_m$ [m/s²]:	1,33
Erf. mittlere Wandlänge l_{av} [m]:	1,30	Erf. mittlere Wandlänge l_{av} [m]:	1,30
Erf. Mindestlänge (l* bzw. 40 % $l_{w,max}$) [m]:	0,80	Erf. Mindestlänge (l* bzw. 40 % $l_{w,max}$) [m]:	1,40
Faktor für Einspannmoment $\beta_{M,F}$ [m]:	0,90	Faktor für Einspannmoment $\beta_{M,F}$ [m]:	0,90
Faktor für Einspannmoment $\beta_{M,D1}$ [m]:	0,95	Faktor für Einspannmoment $\beta_{M,D1}$ [m]:	0,95

Ermittlung der Schubwandflächen

Wände in x-Richtung

Wand	SFK	f_k	Länge	Fläche	$\rho_{A,vorh}$	Porenbeton
	[-]	[N/mm²]	[m]	[m²]	[%]	[-]
2	2	0,90	1,21	0,36	0,60 %	Nein
3	2	0,90	1,35	0,41	0,66 %	Nein
6	2	0,90	0,95	0,29	0,47 %	Nein
7	2	0,90	1,15	0,35	0,56 %	Nein
8	2	0,90	0,82	0,25	0,40 %	Nein
9	12	6,90	2,00	0,48	0,79 %	Nein
10	12	6,90	2,00	0,48	0,79 %	Nein
11	12	6,90	0,95	0,23	0,37 %	Nein

Wände in y-Richtung

Wand	SFK	f_k	Länge	Fläche	$\rho_{A,vorh}$	Porenbeton
	[-]	[N/mm²]	[m]	[m²]	[%]	[-]
1	12	6,90	11,06	1,94	3,17 %	Nein
4	2	0,90	5,80	1,74	2,85 %	Nein
5	2	0,90	3,75	1,13	1,84 %	Nein

Nicht angezeigte Wände werden nach DIN EN 1998-1/NA Abschnitt 9.5.1(5) und 9.7.2(1) beim vereinfachten Nachweis nicht berücksichtigt.

Wände in x-Richtung

SFK	f_k	$\rho_{A,min}$	$\sum \rho_{A,vorh}$	$v_{x,i}$
[-]	[N/mm²]	[%]	[%]	[-]
2	0,90	4,42 %	2,69 %	0,61
12	6,90	1,50 %	1,95 %	1,30

Wände in y-Richtung

SFK	f_k	$\rho_{A,min}$	$\sum \rho_{A,vorh}$	$v_{y,i}$
[-]	[N/mm²]	[%]	[%]	[-]
12	6,90	1,50 %	3,17 %	2,11
2	0,90	3,92 %	4,69 %	1,20

Für den vereinfachten Nachweis wird vorausgesetzt, dass die maßgebenden Gebäuderichtungen der x- und y-Richtung des Zeichenfeldes entsprechen.
Gehört das Gebäude der Bedeutungskategorie I oder II an und sind die Konstruktionsregeln nach DIN EN 1998-1/NA Abschnitt 9.2, 9.5 und 9.7.2 eingehalten, so kann das Gebäude als „einfacher Mauerwerksbau“ eingestuft werden und auf einen rechnerischen Nachweis verzichtet werden. Im Einzelnen sind dies folgende Kriterien:

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Baustoffe und Ausführung nach DIN EN 1998-1/NA Abschnitt 9.2

NDP zu 1 (1)	Mauersteine, die für die Verwendung für Mauerwerk nach DIN EN 1996-1-1/NA zulässig sind.	✓
NDP zu 3 (1)	Mauermörtel, die für die Verwendung für Mauerwerk nach DIN EN 1996-1-1/NA zulässig sind.	✓

Auslegungskriterien und Konstruktionsregeln nach DIN EN 1998-1/NA Abschnitt 9.5

1 (1)	Hochbauten aus Mauerwerk müssen aus Decken und Wänden bestehen, die in zwei orthogonalen horizontalen und einer vertikalen Richtung miteinander verbunden sind	✓
1 (2), 2 (2)	Die Verbindung zwischen Decken und Wänden muss durch Stahlanker oder Stahlbetonringbalken mit einer Mindestlängsbewehrung von 200 mm² erfolgen.	✓
1 (3)	Jeder Deckentyp darf verwendet werden, vorausgesetzt , die allgemeinen Kontinuitätsanforderungen und eine wirksame Scheibenwirkung sind sichergestellt.	✓
1 (4)	Schubwände müssen in mindestens zwei orthogonalen Richtungen vorgesehen sein.	✓
NDP zu 1 (5)	Die effektive Dicke von Schubwänden t_{ef} darf nicht geringer als ein Mindestwert $t_{ef,min}$ = 115 mm nach DIN EN 1998-1/NA Tabelle NA.8 sein: Für alle Wände erfüllt.	✓
NDP zu 1 (5)	Das Verhältnis der effektiven Knicklänge aller Wände zu ihrer effektiven Dicke darf einen Höchstwert von 27 nach DIN EN 1998-1/NA Tabelle NA.8 nicht überschreiten: Für alle Wände erfüllt.	✓

Regeln für „einfache Mauerwerksbauten“ nach DIN EN 1998-1/NA Abschnitt 9.7

1 (1)	Das Bauwerk gehört der Bedeutungskategorie I oder II an.	✓
NDP zu 2 (1)	Das Gebäude ist in beiden Gebäuderichtungen durch genügend lange Schubwände ausreichend auszusteifen. Hierfür sind jeweils die in Tabelle NA.H.1 bis Tabelle NA.H.14 angegebenen Mindestwerte für die auf die Geschossgrundrissfläche bezogene Schubwandquerschnittsfläche der aussteifenden Wände einzuhalten. $\sum v_x,i = 1,91 \geq 1,00$ $\sum v_y,i = 3,31 \geq 1,00$	✓
2 (2) a)	Der Gebäudegrundriss ist annähernd rechteckig.	✓
NDP zu 2 (2) b)	Das Verhältnis zwischen kürzerer Seite b und längerer Seite l des Bauwerks muss größer sein als 0,25. Vorhanden: b/l = 0,499 ≥ 0,25	✓
NDP zu 2 (2) c)	Die Fläche der projizierten Abweichungen von der Rechteckform in Prozent der gesamten Gebäudegrundrissfläche oberhalb der betrachteten Ebene ist kleiner als 15%.	✓
2 (3) a)	Das Gebäude ist durch Schubwände ausgesteift, die im Grundriss nahezu symmetrisch in zwei orthogonalen Richtungen angeordnet sind.	✓

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

NCI zu 2 (3) b), c)	Eine der folgenden drei Bedingungen sollte erfüllt werden: 1. Alternative: Reihenhaus mit zwei durchgehenden Gebäudetrennwänden. Bedingung erfüllt. 2. Alternative: Mindestens zwei parallele Schubwände in einer Richtung, deren Länge mindestens dem doppelten Wert von l/h ≥ 0,27 nach Tabelle NA.8 entspricht, wobei der Abstand zwischen deren Wandachsen mindestens 60 % der größeren Gebäudelänge betragen muss Bedingung erfüllt. 3. Alternative: Mindestens zwei parallele Wände müssen jeweils in x- und y-Richtung angeordnet sein. Die Länge dieser Wände muss größer sein als 30% der Bauwerkslänge in der betrachteten Richtung. Außerdem muss der Abstand zwischen zwei der Wände in mindestens einer Richtung größer als 75% der Bauwerkslänge in der anderen Richtung sein. Bedingung erfüllt.	
NCI zu 2 (3) d)	Es werden mindesten 75% der Vertikallasten von den Schubwänden getragen oder der überwiegende Teil der Vertikallasten wird von den Schubwänden in den beiden orthogonalen Hauptrichtungen in etwa gleicher Größenordnung abgetragen.	
2 (3) e)	Schubwände sind über alle Geschosse durchgehend.	
NDP zu 2 (5)	Der Massenunterschied aufeinanderfolgender Geschosse muss kleiner als 20% sein.	
NDP zu 2 (5)	Zulässiger Unterschied der Schubwandflächen übereinanderliegender Geschosse. 0% ≤ 30%	
2 (6)	Die Schubwände in einer Richtung sind mit Wänden in der dazu orthogonalen Richtung in einem maximalen Abstand von 7m verbunden.	

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Ermittlung der Einspannmomente

X-Richtung				Y-Richtung			
β-Faktoren	[m]	Gesamteinspann-momente	[kNm]	β-Faktoren	[m]	Gesamteinspann-momente	[kNm]
$\beta_{M,F}$	0,90	$M_{F,D}$	159,27	$\beta_{M,F}$	0,90	$M_{F,D}$	159,27
$\beta_{M,D1}$	0,95	$M_{M1,d}$	168,12	$\beta_{M,D1}$	0,95	$M_{M1,d}$	168,12
$\beta_{M,D2}$	0,38	$M_{M2,d}$	67,25	$\beta_{M,D2}$	0,38	$M_{M2,d}$	67,25
$\beta_{M,D3}$	-	$M_{M3,d}$	-	$\beta_{M,D3}$	-	$M_{M3,d}$	-
$\beta_{M,D4}$	-	$M_{M4,d}$	-	$\beta_{M,D4}$	-	$M_{M4,d}$	-
$\beta_{M,D5}$	-	$M_{M5,d}$	-	$\beta_{M,D5}$	-	$M_{M5,d}$	-

Wände in x-Richtung

Wand	EI_{ew}	S_v	$M_{F,d,Wi}$	$M_{D1,d,Wi}$	$M_{D2,d,Wi}$	$M_{D3,d,Wi}$	$M_{D4,d,Wi}$	$M_{D5,d,Wi}$
	[kNm²]	[-]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
2	36750	0,017	2,70	2,85	1,14	-	-	-
3	50371	0,023	3,70	3,90	1,56	-	-	-
6	18047	0,008	1,32	1,40	0,56	-	-	-
7	31501	0,015	2,31	2,44	0,98	-	-	-
8	11597	0,005	0,85	0,90	0,36	-	-	-
9	956301	0,441	70,16	74,06	29,62	-	-	-
10	956301	0,441	70,16	74,06	29,62	-	-	-
11	110001	0,051	8,07	8,52	3,41	-	-	-

Wände in y-Richtung

Wand	EI_{ew}	S_v	$M_{F,d,Wi}$	$M_{D1,d,Wi}$	$M_{D2,d,Wi}$	$M_{D3,d,Wi}$	$M_{D4,d,Wi}$	$M_{D5,d,Wi}$
	[kNm²]	[-]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
1	32675478	0,912	145,31	153,38	61,35	-	-	-
4	2299749	0,064	10,23	10,80	4,32	-	-	-
5	841159	0,023	3,74	3,95	1,58	-	-	-

Ein rechnerischer Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit für den Lastfall Erdbeben ist nicht erforderlich. Voraussetzung hierfür ist zusätzlich, dass eine ausreichende Tragfähigkeit der Fundamente und der Deckenplatten für die aus Erdbeben resultierenden Momente M_{Fd} bzw. M_{Did} nachgewiesen wird. Hierfür sind die Einspannmomente M_{Fd} bzw. M_{Did} tabellarisch angegeben.

6.2 DIN EN 1998-1 in Kombination mit DIN EN 1996-1-1 (2D)

6.2.1 Systembeschreibung

Der Programmablauf mit allen nötigen Eingaben wird im Folgenden anhand eines einfachen Beispiels in Mischbauweise demonstriert. Gewählt wurde das in nachfolgender Abbildung im Grundriss dargestellte Reihenhaus (vgl. mit dem vorherigen Beispiel aus Abschnitt 6.1). Das Gebäude weist 2 Vollgeschosse mit einer Geschosshöhe von $h = 2{,}80$ m auf.

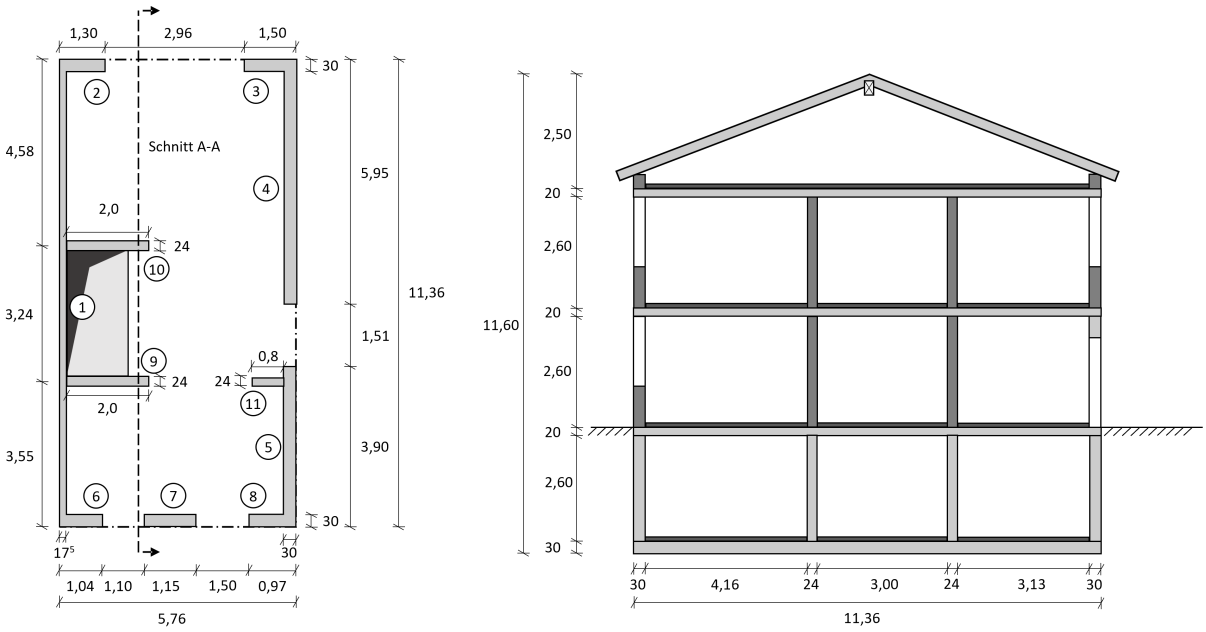


Abbildung 6.9: Grundriss und Ansicht des betrachteten Reihenhauses

Die verwendete Mauerwerksart ist Leichtbetonstein. Wandscheiben Nr. 9 und 10 sind in Stahlbeton (C25/30) ausgeführt. Der Nachweis wird nach DIN EN 1998-1/NA-DE in Verbindung mit DIN EN1996-1-1/NA-DE durchgeführt.

6.2.2 Eingabedaten

Die Eingabe gliedert sich in drei Arbeitsschritte. Im ersten Schritt werden die Gebäudedaten, im zweiten Schritt die Erdbebendaten und zuletzt die Geometriedaten definiert.

Eingabe der Norm und Gebäudedaten

- Normen: DIN EN 1998-1/NA-DE und DIN EN 1996-1-1/NA-DE
- Stockwerke: 2 Stockwerke mit $h = 280$ cm
- Bedeutungskategorie: Gewöhnliche Bauten (Kategorie II)
- Art der Verkehrslast: Nutzlasten und Verkehrslasten in Wohn- und Aufenthaltsräume
- Verhaltensbeiwerte: Verhaltensbeiwert q für x-Richtung und y-Richtung jeweils 1,5

Eingabe der Erdbebendaten

Definition des elastischen Antwortspektrums durch Benutzung der Datenbank für die Spektrale Antwortbeschleunigung auf Fels in Deutschland. Für dieses Beispiel wird die Option **Adresse suchen** verwendet:

- Ort: Stuttgart
- Untergrundverhältnis: C-R

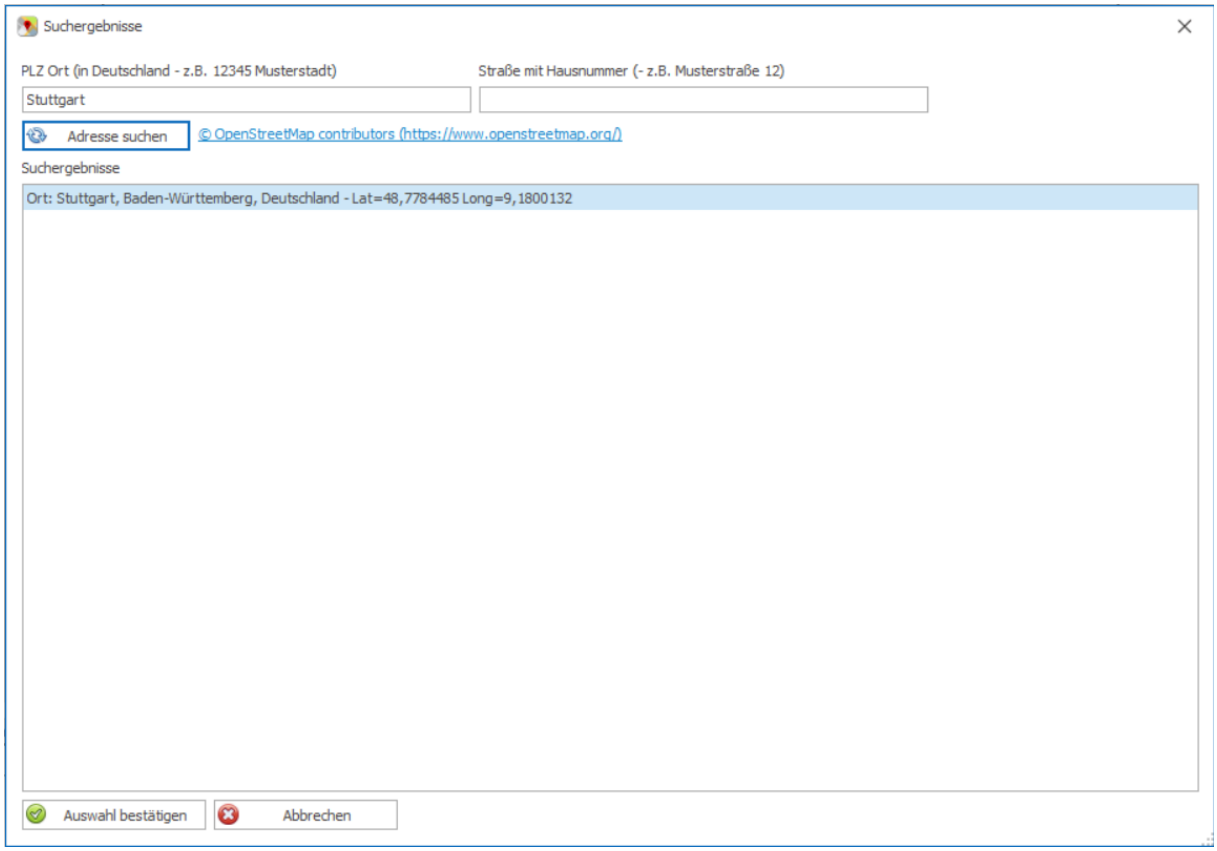


Abbildung 6.10: Auswahl der Erdbebendaten über die Option **Adresse suchen**

Alternativ kann der Ort durch die interaktive Karte oder durch die Eingabe der Koordinaten definiert werden. Darüber hinaus kann das Antwortspektrum durch die Vorgabe eines ortunabhängigen Wertes der Antwortbeschleunigung $S_{aP,R}$ definiert werden.

Eingabe der Geometriedaten

Im ersten Schritt, der Eingabe der Geometriedaten, werden die Koordinaten, die Wanddicken und die Steindruckfestigkeitsklasse der Wandscheiben definiert. Als Material wird Mauerwerk beliebig ausgewählt. Die Wandeigenschaften sind in Abschnitt 6.2.2 zusammengestellt. Bei der Eingabe der Geometriedaten ist insbesondere auf die konstruktive Ausführung der Mauerwerksstöße zu achten. In diesem Fall wird davon ausgegangen, dass die Wände im Verband gemauert sind. Es ergeben sich folgende tabellarisch zusammengefasste Eingabewerte:

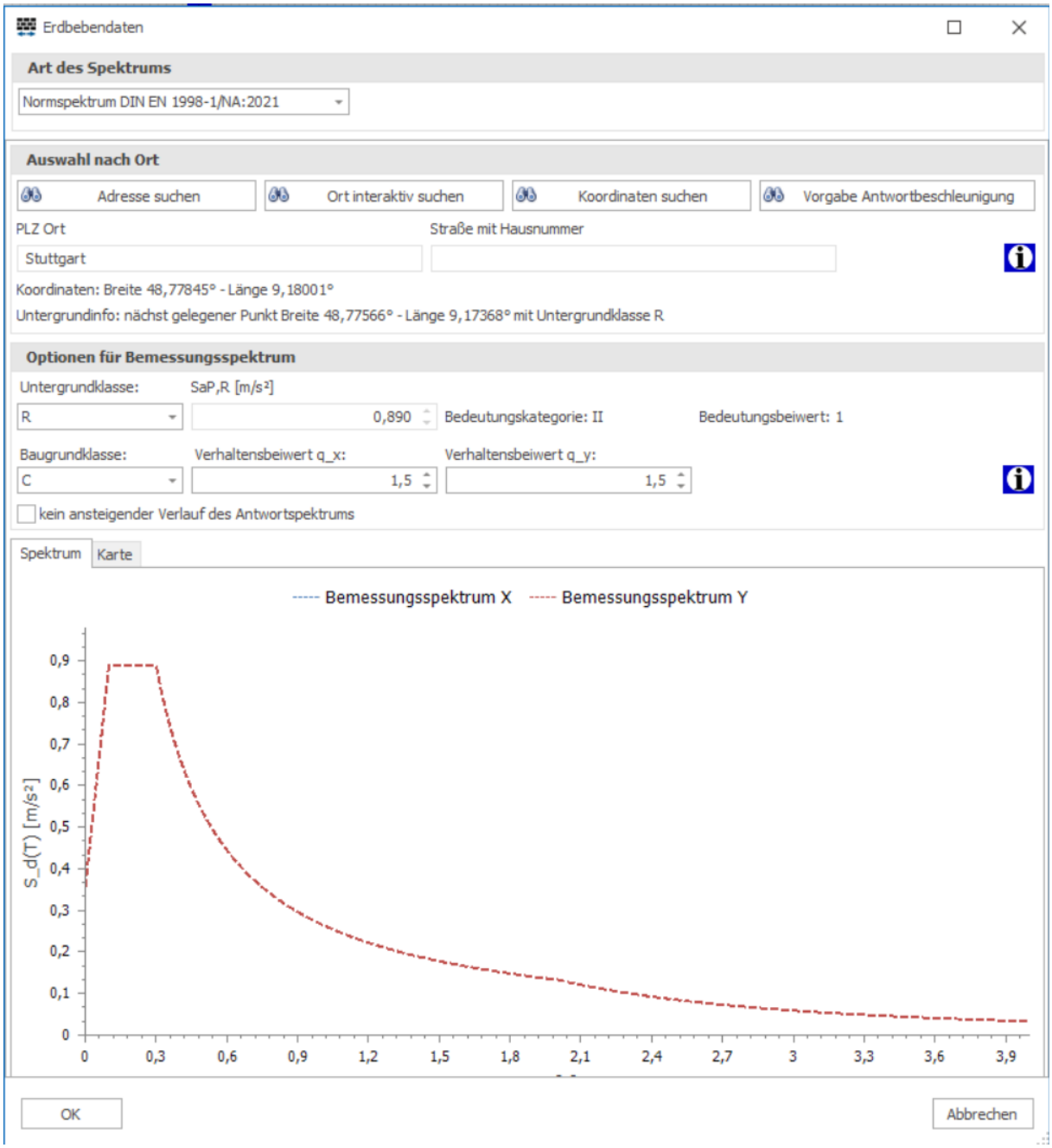


Abbildung 6.11: Übersicht der ausgewählten Erdbebendaten

Die Geschossdecke erfüllt die Kriterien einer „Geschossdecke mit aussteifender Scheibenwirkung“. Die aussteifende Deckenscheibe wird über ein Randpolygon und ein Öffnungspolygon im Bereich des Treppenhauses definiert. Die Koordinaten der beiden rechteckigen Polygonzüge werden über jeweils vier Eckpunkte wie folgt definiert:

Eingabe der Wandeigenschaften

Wie in Abschnitt 3.3.2 beschrieben, öffnet sich durch Klick auf den Button **Wandscheibentypen bearbeiten** das in nebenstehender Abbildung dargestellte Eingabefenster. Die Eingaben wurden wie folgt definiert:

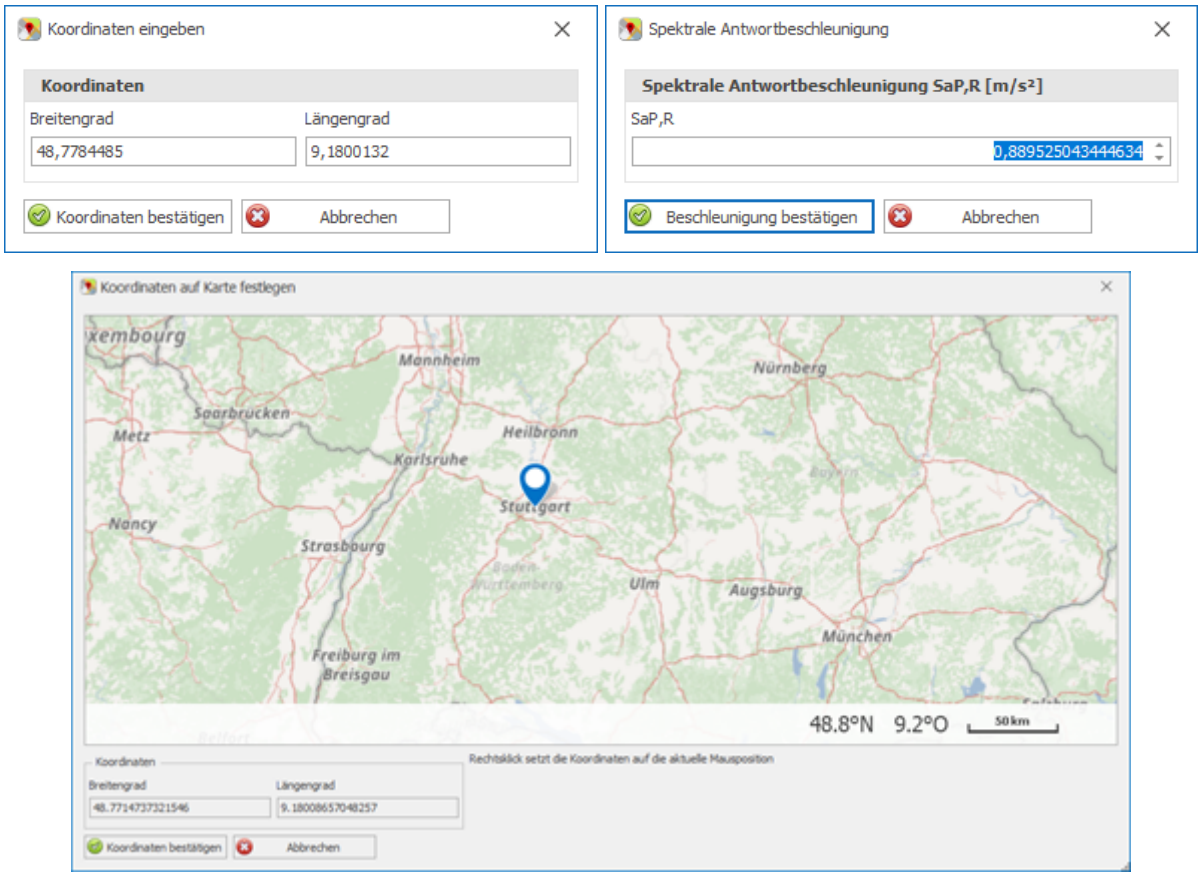


Abbildung 6.12: Erdbebendaten: Eingabe geografischer Koordinaten (links) und Eingabe der spektralen Antwortbeschleunigung auf Fels (rechts) sowie interaktive Suche des Standorts (unten)

Wandscheiben

Nr.	X1	Y1	X2	Y2	Länge	Typ
w1	8,8	15,0	8,8	1121,0	1106,0	LB Vbl 175 Trennwand
w2	8,8	1121,0	130,0	1121,0	121,2	LB Hbl 300 Außenwand
w3	426,0	1121,0	561,0	1121,0	135,0	LB Hbl 300 Außenwand
w4	561,0	1121,0	561,0	541,0	580,0	LB Hbl 300 Außenwand
w5	561,0	390,0	561,0	15,0	375,0	LB Hbl 300 Außenwand
w6	8,8	15,0	104,0	15,0	95,2	LB Hbl 300 Außenwand
w7	214,0	15,0	329,0	15,0	115,0	LB Hbl 300 Außenwand
w8	479,0	15,0	561,0	15,0	82,0	LB Hbl 300 Außenwand
w9	8,8	354,5	208,8	354,5	200,0	StbWand
w10	8,8	678,5	208,8	678,5	200,0	StbWand
w11	466,0	354,5	561,0	354,5	95,0	LB Vbl 240 Innenwand

Abbildung 6.13: Wandkoordinaten des Reihenhauses

Die Eingabe der Stahlbetonwände erfolgt analog dazu unter Auswahl von Stahlbeton nach DIN EN 1992-1-1 als Materialart (vgl. untenstehende Abbildung).

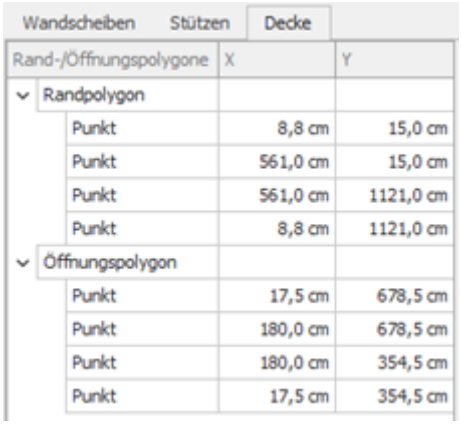


Abbildung 6.14: Koordinaten des Deckenpolygons

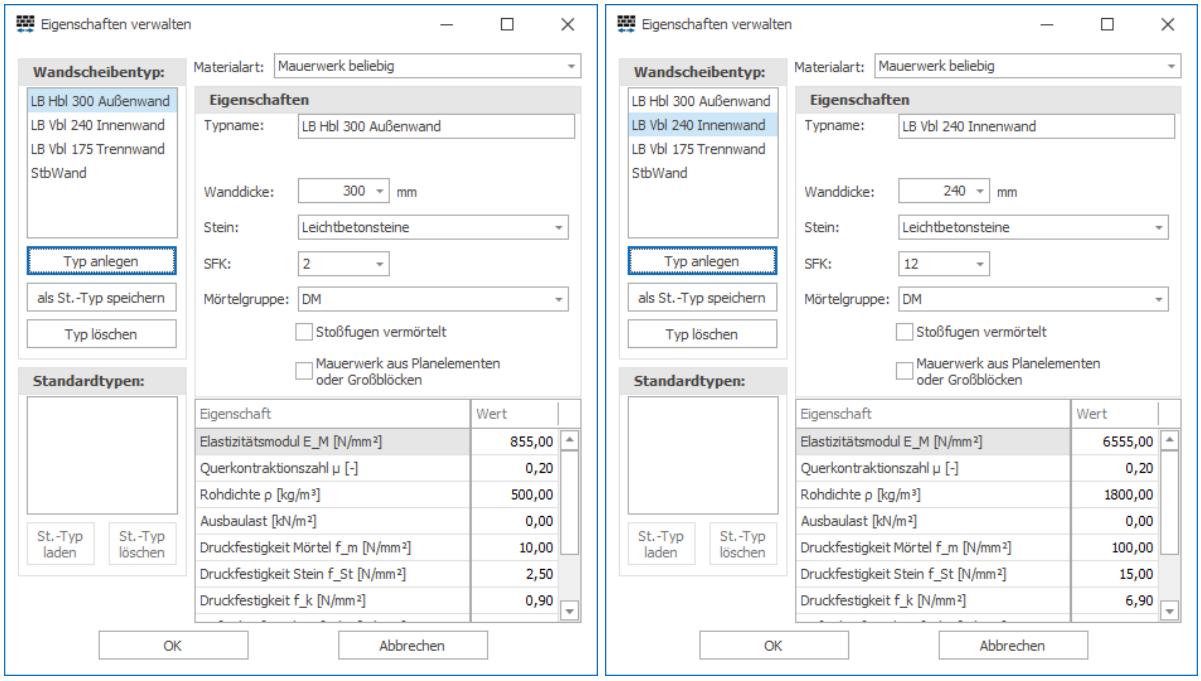


Abbildung 6.15: Wandeigenschaften der Außenwände (links) sowie der Innenwände (rechts)

Eingabe der Decken-/Dacheigenschaften

Wie in Abschnitt 3.3.5 beschrieben, öffnen sich durch Klick auf den Button **Deckentypen bearbeiten** bzw. **Dachtypen bearbeiten** die in den nachfolgenden Abbildungen dargestellten Eingabefenster.

6.2.3 Durchführung des rechnerischen Nachweises

Nachweiseinstellungen

Bevor der Nachweis gestartet wird, erfolgt im Fenster Nachweiseinstellungen die Festlegung der Berechnungsparameter analog der Darstellung in der folgenden Abbildung.

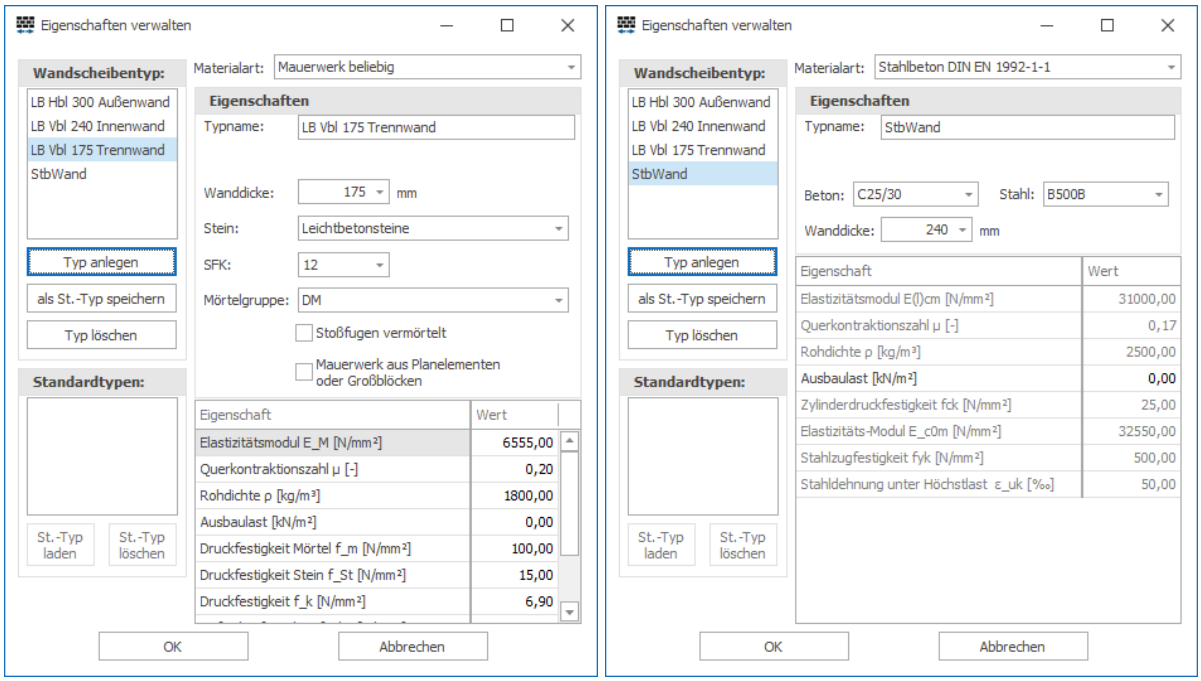


Abbildung 6.16: Wandeigenschaften der Trennwände (links) sowie der Stahlbetonwände (rechts)

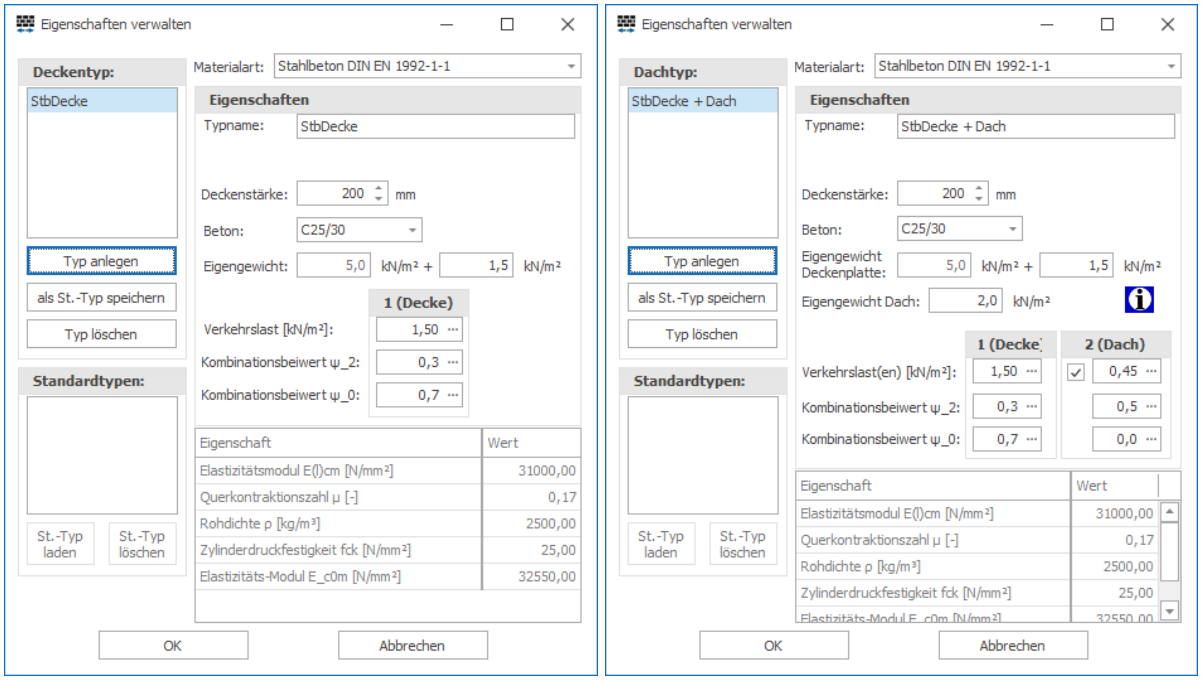


Abbildung 6.17: Decken- (links) und Dacheigenschaften (rechts)

Nachweisführung

Über den Menüpunkt **Nachweis starten** wird im Menü **Nachweis** direkt der rechnerische Nachweis gestartet. Nach Abschluss der Berechnung wird das dargestellte Fenster angezeigt.

In diesem Fenster werden die Ergebnisse der Berechnung unter den Reitern **Versagende Wände** und **LF Erdbeben** dargestellt. Unter dem Reiter Versagende Wände besteht die Möglichkeit zwischen den Ansichten **Versagende Wände** und **Lasteinzugsflächen** zu wechseln.

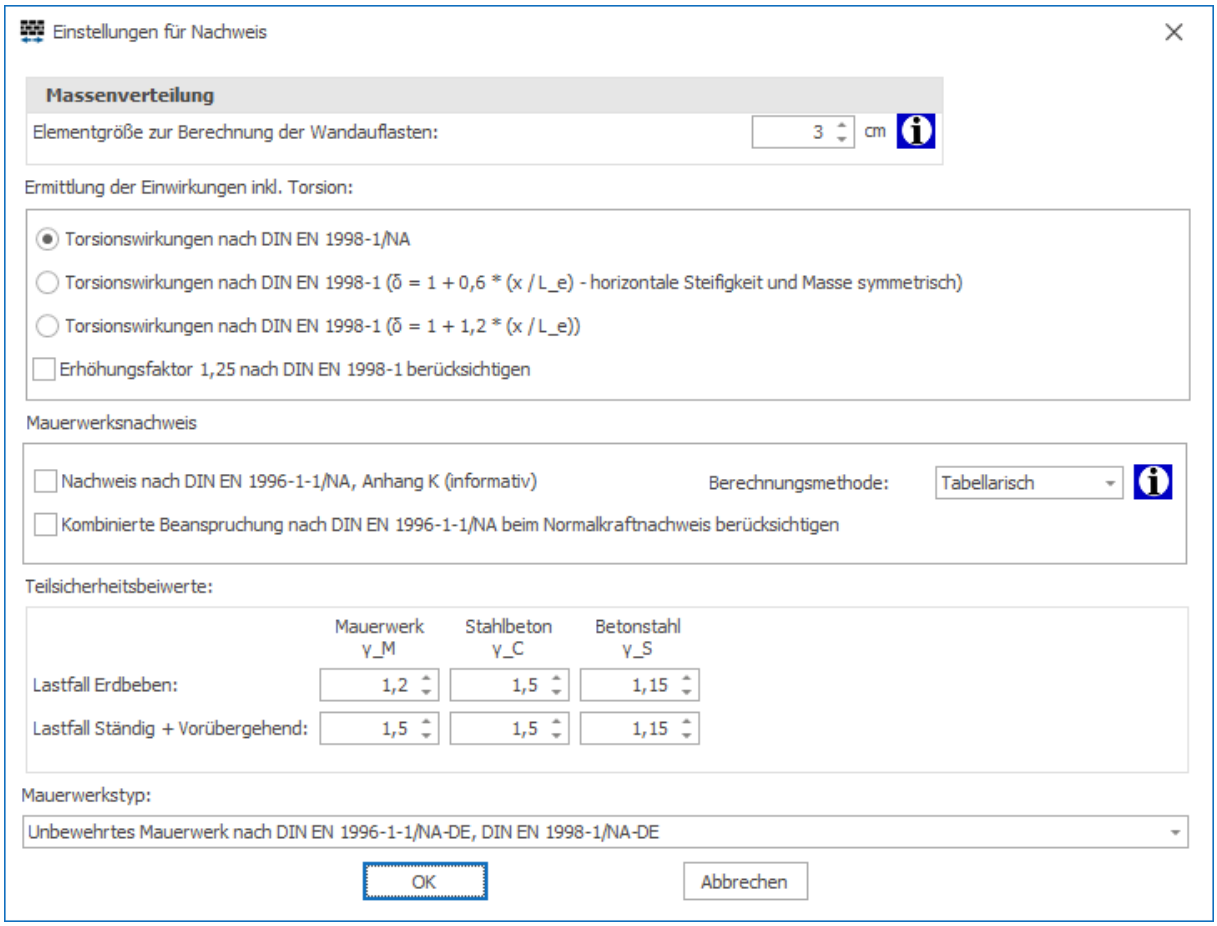


Abbildung 6.18: Nachweiseinstellungen für den rechnerischen Nachweis (2D)

In der Ansicht **Versagende Wände** sind die versagenden Mauerwerkswände in Rot dargestellt. Liegen versagende Wände vor, so kann der Benutzer entscheiden, ob er den Bericht erzeugt oder das System nochmals modifiziert. In diesem Fall ist der Button **Fenster schließen** zu wählen.

In der Ansicht **Lasteinzugsflächen** können die von MINEA zur Auflastermittlung erzeugten Lasteinzugsflächen grafisch kontrolliert werden. Ist das Ergebnis nicht zufriedenstellend, kann die Elementgröße in den **Nachweiseinstellungen** (Menü **Nachweis**) angepasst werden.

Unter dem Reiter **LF Erdbeben** werden die numerischen Nachweisergebnisse je Stockwerk für jede Wandscheibe und jeden Nachweis für die Erdbebeneinwirkung angezeigt.

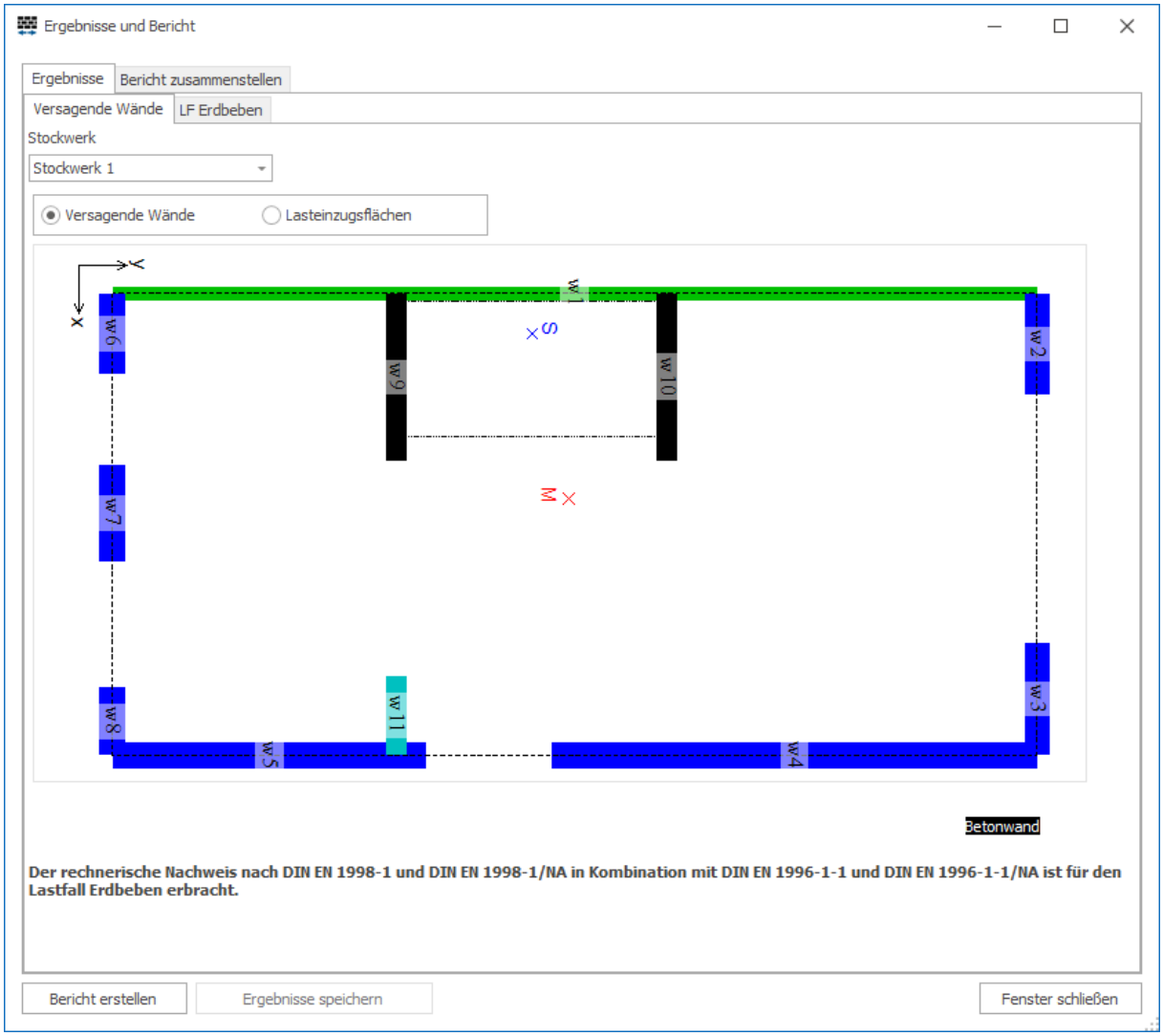


Abbildung 6.19: Ergebnisfenster für den rechnerischen Nachweis (2D)

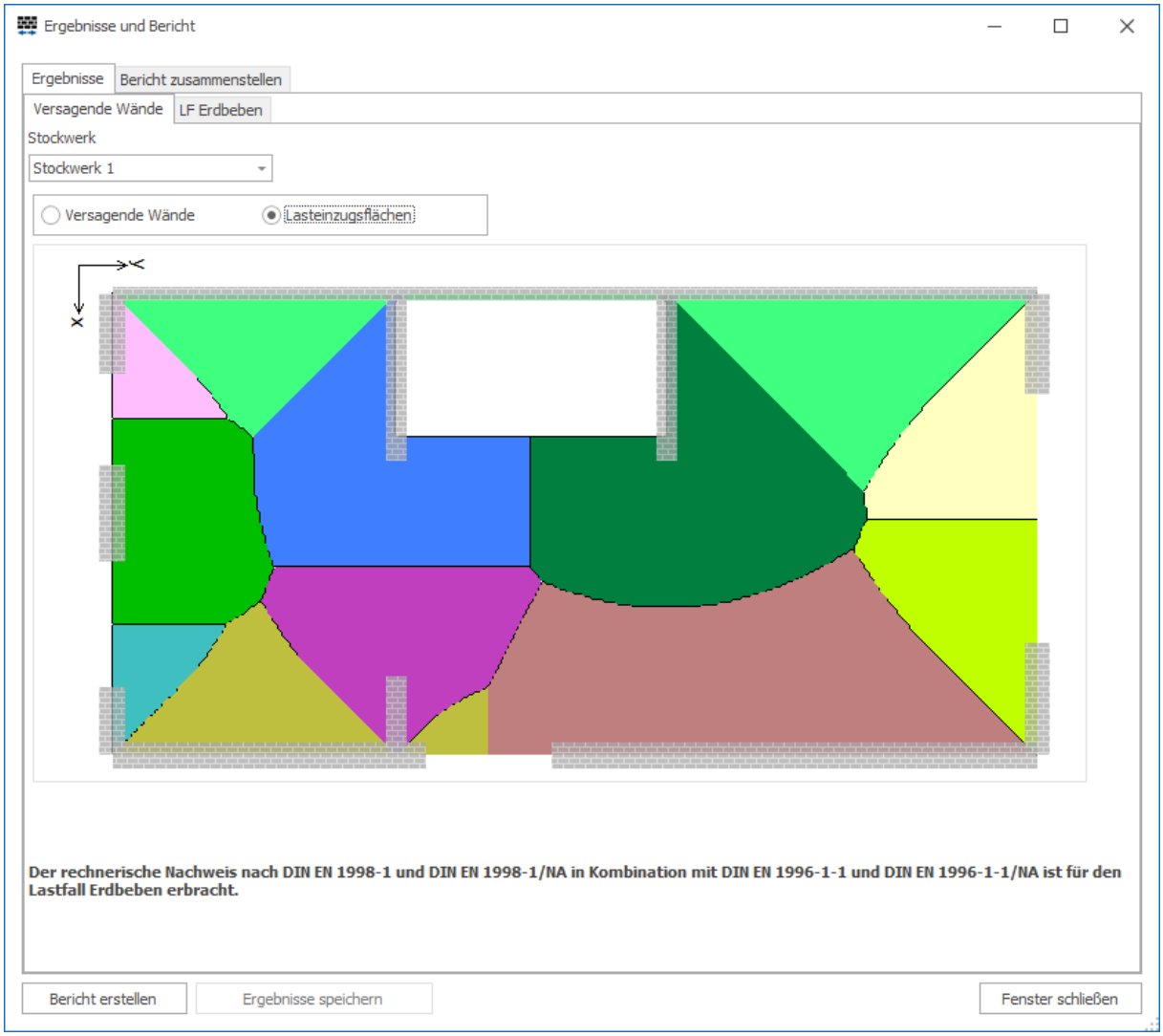


Abbildung 6.20: Lasteinzugsflächen der Decken des Reihenhauses

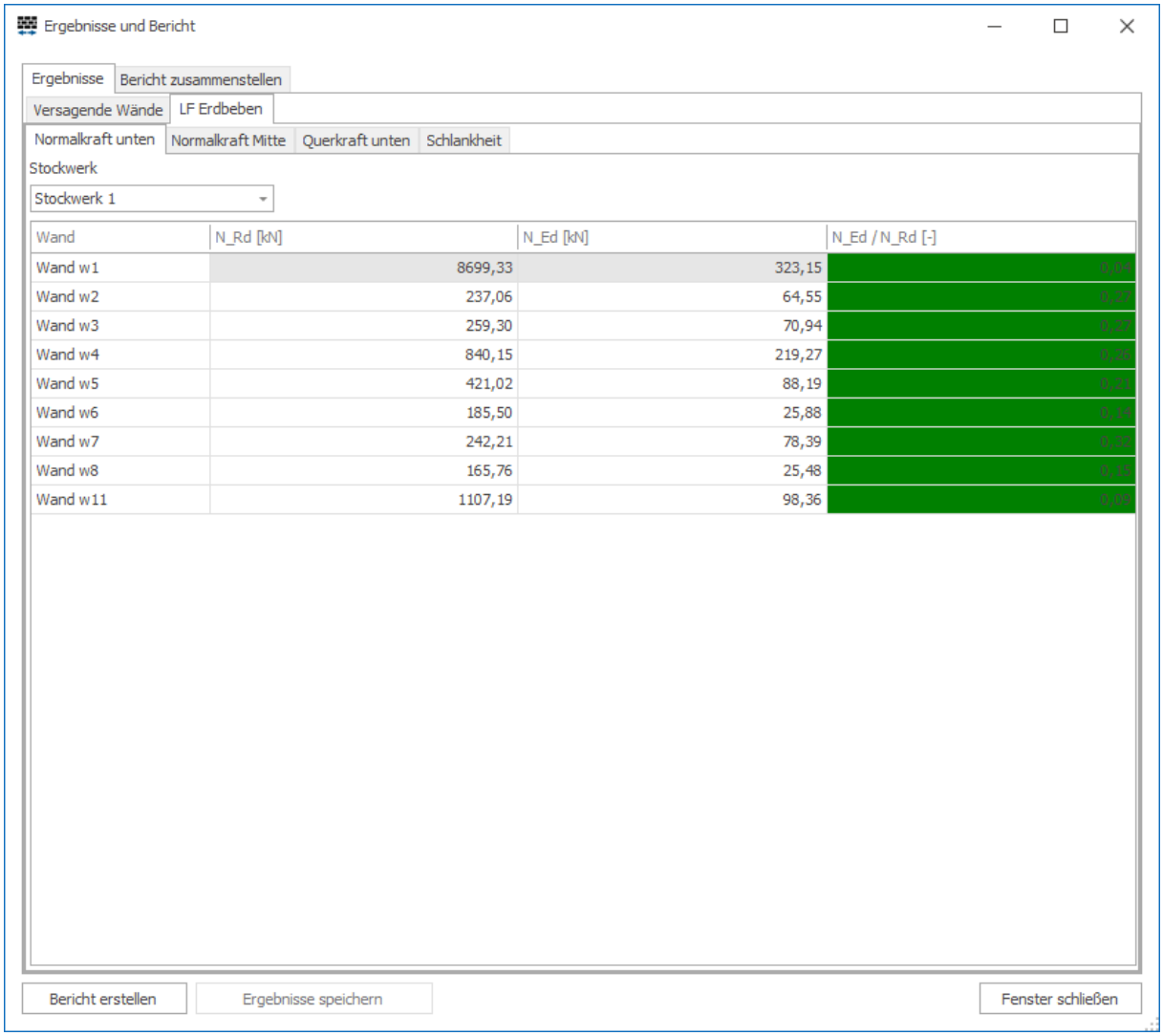


Abbildung 6.21: Ergebnisfenster: LF Erdbeben

6.2.4 Ausgabe des Berichts

Der Bericht ist für das gewählte Beispiel in einer verkleinerten Form auf den folgenden Seiten dargestellt. Der rechnerische Nachweis kann für den vorliegenden Grundriss geführt werden.

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Gebäudedaten

Eigenschaft	Wert
Anzahl Stockwerke:	2
Höhe der Stockwerke h:	280,0 cm

Erdbebendaten

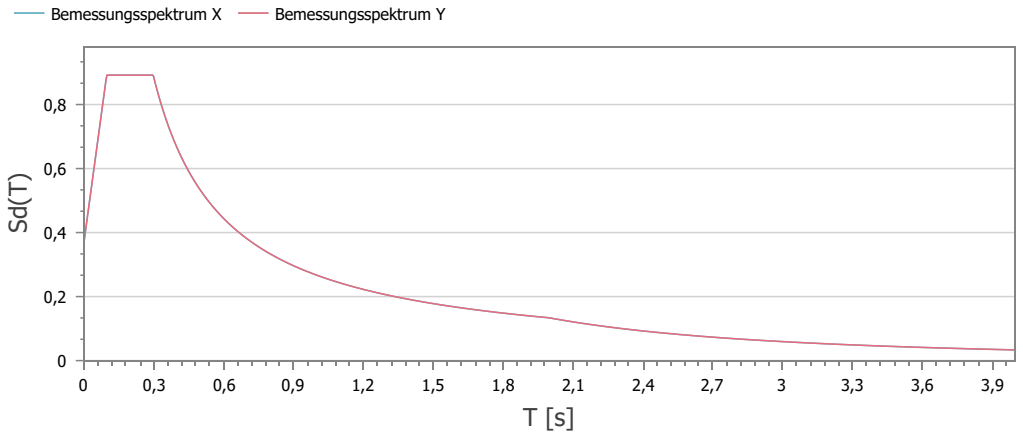
Eigenschaft	Wert
$S_{ap,R}$ [m/s²]	0,890
Untergrundverhältnisse:	C-R
Bedeutungskategorie:	II
Bedeutungsbeiwert:	1
Verhaltensbeiwert q_x:	1,5
Verhaltensbeiwert q_y:	1,5

Adressdaten

Breitengrad	48.7784485
Längengrad	9.1800132
Ort	Stuttgart
Straße	

© OpenStreetMap contributors (https://www.openstreetmap.org/)

Bemessungsspektrum



Parameter des horizontalen Antwortspektrums

Untergrundtyp	S	T_B	T_C	T_D
		[s]	[s]	[s]
C-R	1,50	0,10	0,30	2,00

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Materialdaten

Wandscheibentypen:

Wandscheibentyp	Material	t	E_M|E_{cm}	μ	ρ	Ausbaul.
		[mm]	[N/mm²]	[-]	[kg/m³]	[kN/m²]
LB Vbl 175 Trennwand	Leichtbetonsteine DM	175	6.555,00	0,20	1.800,00	0,00
LB Hbl 300 Außenwand	Leichtbetonsteine DM	300	855,00	0,20	500,00	0,00
StbWand	C25/30	240	31.000,00	0,17	2.500,00	0,00
LB Vbl 240 Innenwand	Leichtbetonsteine DM	240	6.555,00	0,20	1.800,00	0,00

Wandscheibentyp	SFK	Stoßfugen vermörtelt	f_k	f_{vk0}	l_{ol}/h_u	h_u	l_u	$f_{bt,cal}$	φ_∞
			[N/mm²]	[N/mm²]	[-]	[mm]	[mm]	[N/mm²]	[-]
LB Vbl 175 Trennwand	12	Nein	6,90	0,11	-	-	-	0,30	0,50
LB Hbl 300 Außenwand	2	Nein	0,90	0,11	-	-	-	0,05	0,50
LB Vbl 240 Innenwand	12	Nein	6,90	0,11	-	-	-	0,30	0,50

Wandscheibentyp	f_{ck}
	[N/mm²]
StbWand	25

Deckentypen:

Deckentyp	Material	t	E_{cm}	μ	ρ	α_T
		[mm]	[N/mm²]	[-]	[kg/m³]	[-]
StbDecke	C25/30	200	31.000,00	0,17	2.500,00	1E-05

Deckentyp	f_{ck}
	[N/mm²]
StbDecke	25

Dachtyp:

Deckentyp	Material	t	E_{cm}	μ	ρ	α_T
		[mm]	[N/mm²]	[-]	[kg/m³]	[-]
StbDecke + Dach	C25/30	200	31.000,00	0,17	2.500,00	1E-05

Dachtyp	f_{ck}
	[N/mm²]
StbDecke + Dach	25

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Grundrissdaten

Grundrissdaten für Stockwerk 1

Wandscheiben

Nr.	Wandscheibentyp	Lastabtrag*	t	l_W	X_1	Y_1	X_2	Y_2
[-]	[-]	[-]	[mm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
w1	LB Vbl 175 Trennwand	v+h	175	1.106,0	8,8	15,0	8,8	1.121,0
w2	LB Hbl 300 Außenwand	v+h	300	121,2	8,8	1.121,0	130,0	1.121,0
w3	LB Hbl 300 Außenwand	v+h	300	135,0	426,0	1.121,0	561,0	1.121,0
w4	LB Hbl 300 Außenwand	v+h	300	580,0	561,0	1.121,0	561,0	541,0
w5	LB Hbl 300 Außenwand	v+h	300	375,0	561,0	390,0	561,0	15,0
w6	LB Hbl 300 Außenwand	v+h	300	95,2	8,8	15,0	104,0	15,0
w7	LB Hbl 300 Außenwand	v+h	300	115,0	214,0	15,0	329,0	15,0
w8	LB Hbl 300 Außenwand	v+h	300	82,0	479,0	15,0	561,0	15,0
w9	StbWand	v+h	240	200,0	8,8	354,5	208,8	354,5
w10	StbWand	v+h	240	200,0	8,8	678,5	208,8	678,5
w11	LB Vbl 240 Innenwand	v+h	240	95,0	466,0	354,5	561,0	354,5

**: v = Vertikaler Lastabtrag, h = Horizontaler Lastabtrag, v+h = Vertikaler und Horizontaler Lastabtrag*

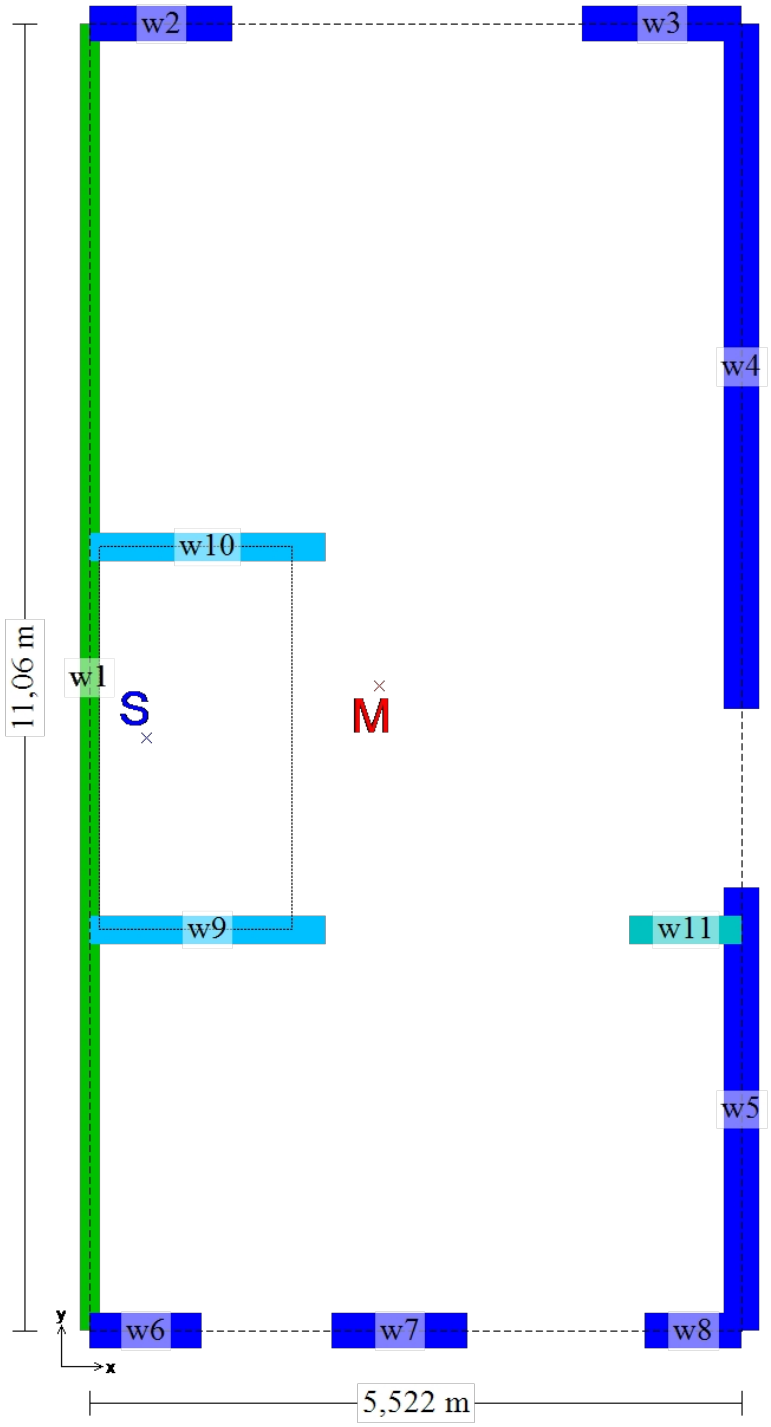
Decke

	Punktlisten (Werte in cm)
Randpolygon	{X=8,8, Y=15}; {X=561, Y=15}; {X=561, Y=1121}; {X=8,8, Y=1121}
Öffnungspolygon	{X=17,5, Y=678,5}; {X=180, Y=678,5}; {X=180, Y=354,5}; {X=17,5, Y=354,5}
Stockwerksfläche	55,81 m²

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Grundriss Stockwerk 1



SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Regelmäßigkeit

Regelmäßigkeit im Aufriss nach DIN EN 1998-1 4.2.3.3

(2)	Alle horizontalen Aussteifungssysteme wie Kerne oder tragende Wände müssen ohne Unterbrechung von ihren Gründungen bis zur Oberkante des Gebäudes verlaufen.	✓
(3)	Die Horizontalsteifigkeit als auch die Masse der einzelnen Geschosse müssen konstant sein oder allmählich ohne sprunghafte Änderungen vom Fundament bis zur Spitze eines Gebäudes abnehmen.	✓
(5)	Rücksprünge müssen die Bedingungen nach DIN EN 1998-1 4.2.3.3(5) erfüllen.	✓

Das vereinfachte Antwortspektrumverfahren nach DIN EN 1998-1 4.3.3.2 ist anwendbar, da alle Regelmäßigkeitskriterien im Aufriss nach DIN EN 1998-1 4.2.3.3 eingehalten sind und $T_{1,x}$ = 0,13 s ≤ MIN(4*T_C = 1,20 s, 2 s) und $T_{1,y}$ = 0,07 s ≤ MIN(4*T_C = 1,20 s, 2 s) ist.

Regelmäßigkeit im Grundriss nach DIN EN 1998-1 4.2.3.2

(2)	Hinsichtlich der Verteilung der horizontalen Steifigkeit und der Masse ist das Bauwerk im Grundriss ungefähr symmetrisch bezüglich zweier rechtwinklig zueinander stehender Achsen.	✓
(3)	Die Grundrissform ist kompakt, d.h. jedes Stockwerk kann durch ein konvexes Polygon umrissen werden. Vorhandene Rücksprünge beeinträchtigen die Steifigkeit der Decke in ihrer Ebene nicht und die Fläche zwischen dem Umriss es Stockwerks und einem konvexen Polygon als Umhüllende des Stockwerks überschreitet die Stockwerksfläche um weniger als 5%.	✓
(4)	Die Steifigkeit der Decke in ihrer Ebene ist im Vergleich zur Horizontalsteifigkeit der vertikalen tragenden Bauteile ausreichend groß, so dass die Verformung der Decke sich nur unwesentlich auf die Verteilung der Kräfte an die vertikalen tragenden Bauteile auswirkt.	✓
(5)	Die Schlankheit des Gebäudes L_{max} / L_{min} des Gebäudes im Grundriss darf nicht größer als 4 sein, wobei L_{max} und L_{min} jeweils die senkrecht zueinander gemessene größte und kleinste Gebäudeabmessung im Grundriss darstellt: $\lambda = L_{max} / L_{min} = 2,00 \leq 4$	✓
(6)	Für jede Berechnungsrichtung müssen die tatsächliche Ausmitte e_0 und der Torsionsradius r die beiden folgenden Bedingungen erfüllen: Beben in x-Richtung: $e_{0y} = 0,44 \leq 0,3 * r_y = 0,3 * 3,53 = 1,06$ und $r_y = 3,53 \geq l_s = 3,67$ Beben in y-Richtung: $e_{0x} = 1,97 \leq 0,3 * r_x = 0,3 * 1,80 = 0,54$ und $r_x = 1,80 \geq l_s = 3,67$	✗

Besondere Regelmäßigkeitsbedingungen nach DIN EN 1998-1 4.3.3.1(8)

a)	Das Bauwerk besitzt gut verteilte und relativ starre Fassadenteile und Trennwände.	✓
b)	Die Höhe des Bauwerks überschreitet 10 m nicht.	✓
c)	Die Steifigkeit der Decken in ihrer Ebene ist im Vergleich zur horizontalen Steifigkeit der vertikalen trangenden Bauteile ausreichend groß, so dass eine starre Deckenwirkung angenommen werden kann.	✓
d)	Die Mittelpunkte der horizontalen Steifigkeit und Masse liegen näherungsweise auf einer vertikalen Geraden und für beide horizontalen Berechnungsrichtungen gilt: Beben in x-Richtung: $r_{y^2} = 3,53^2 = 12,45 > l_{s^2} + e_{0y^2} = 3,67^2 + 0,44^2 = 13,67$ Beben in y-Richtung: $r_{x^2} = 1,80^2 = 3,24 > l_{s^2} + e_{0x^2} = 3,67^2 + 1,97^2 = 17,36$	✗

Das Gebäude erfüllt die Regelmäßigkeitskriterien im Grundriss nach DIN EN 1998-1 4.2.3.2. nicht, aber die besonderen Regelmäßigkeitsbedingungen nach DIN EN 1998-1 4.3.3.1(8) mit Ausnahme von d). Somit können die Berechnungen an zwei ebenen Modellen erfolgen unter Berücksichtigung einer Erhöhung der Einwirkungen um 25% und die Kombination der Hauptrichtungen erfolgt mit der 30%-Regeln nach DIN EN 1998-1 4.3.3.5(3).

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Lastverteilung Erdbebenlasten

Zusammenstellung der Stockwerksmassen

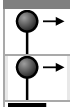
Stockwerk	A_G	g_k	q_{k1}	$\psi_{2,1}$	q_{k2}	$\psi_{2,2}$	M_W	φ	M_{St}
	[m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[-]	[kN/m²]	[-]	[t]	[-]	[t]
1	55,81	6,50	1,50	0,30	0,00	0,00	23,94	0,70	62,71
2	55,81	8,50	1,50	0,30	0,45	0,50	11,97	1,00	64,17

Ergebnisse der Modalanalyse

Richtung	T_1	S_d	λ	Masse	F_b*
	[s]	[m/s²]	[-]	[t]	[kN]
x	0,13	0,89	1,00	126,87	**112,86**
y	0,07	0,72	1,00	126,87	**90,79**

** Das Gebäude erfüllt nicht Bedingung d) aus DIN EN 1998-1 4.3.3.1(8). Trotzdem wurden für den Nachweis nach DIN EN 1998-1 4.3.3.1(9) alle Beanspruchungsgrößen infolge Erdbebeneinwirkung nicht mit 1,25 multipliziert.*

Stockwerkskräfte aus massen- und höhenproportionaler Verteilung der Erdbebenlast

	Stockwerk	Stockwerkskräfte [kN] x-Richtung	Stockwerkskräfte [kN] y-Richtung
	2	75,81	60,99
	1	37,05	29,80
	Σ	112,86	90,79

Massenschwerpunkt / Steifigkeitsmittelpunkt

Richtung	Massenschwerpunkt	Steifigkeitsmittelpunkt
	[m]	[m]
x	2,54	0,57
y	5,61	5,17

Ausmitten

	Tatsächliche (e_0)	Zufällige (e_1)	Zusätzliche (e_2)	e_{min}	e_{max}
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
x	1,971	0,276	1,658	0,709	3,905
y	0,440	0,553	1,046	-0,333	2,039

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Wandkennwerte und Festigkeiten

Wandkennwerte und Festigkeiten

Wand		l_W	t	x_S	y_S	α	I_{ew}	EI_{ew}
		[m]	[m]	[m]	[m]	[°]	[m^4]	[kNm^2]
w1		11,06	0,18	0,09	5,68	90,00	4,98	32.675.478
w2		1,21	0,30	0,69	11,21	0,00	0,04	36.750
w3		1,35	0,30	4,94	11,21	0,00	0,06	50.371
w4		5,80	0,30	5,61	8,31	90,00	2,69	2.299.749
w5		3,75	0,30	5,61	2,03	90,00	0,98	841.159
w6		0,95	0,30	0,56	0,15	0,00	0,02	18.047
w7		1,15	0,30	2,72	0,15	0,00	0,04	31.501
w8		0,82	0,30	5,20	0,15	0,00	0,01	11.597
w9		2,00	0,24	1,09	3,55	0,00	0,15	4.538.562
w10		2,00	0,24	1,09	6,79	0,00	0,15	4.538.562
w11		0,95	0,24	5,14	3,55	0,00	0,02	110.001

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Nachweise

Erdbebenkombination

Stockwerk 1

Nachweis Normalkraft am Wandfuß

Wand	$e_{u,\|\|}$	$\Phi_{u,\|\|}$	f_d	N_{Rd}	N_{Ed}	N_{Ed}/N_{Rd}
	[m]	[-]	[kN/m²]	[kN]	[kN]	[-]
w1	1,207	0,782	5.750,000	8.699,33	323,15	0,04
w2	0,079	0,869	750,000	237,06	64,55	0,27
w3	0,099	0,854	750,000	259,30	70,94	0,27
w4	1,033	0,644	750,000	840,15	219,27	0,26
w5	0,939	0,499	750,000	421,02	88,19	0,21
w6	0,064	0,866	750,000	185,50	25,88	0,14
w7	0,037	0,936	750,000	242,21	78,39	0,32
w8	0,042	0,898	750,000	165,76	25,48	0,15
w11	0,074	0,845	5.750,000	1.107,19	98,36	0,09

Nachweis Querkraft am Wandfuß

Wand	f_{vlt1}	f_{vlt2}	f_{vk}	f_{vd}	$e_{u,\|\|}$	c	l_{cal} | l_c	V_{Rdlt}	V_{Ed}	V_{Ed}/V_{Rdlt}
	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[m]	[-]	[m]	[kN]	[kN]	[-]
w1	121,78	168,43	121,78	101,49	1,207	1,000	11,060	196,43	83,46	0,42
w2	126,01	48,00	48,00	40,00	0,079	1,500	1,212	9,70	1,09	0,11
w3	125,06	47,75	47,75	39,79	0,099	1,500	1,350	10,74	1,49	0,14
w4	107,20	42,75	42,75	35,62	1,033	1,000	5,601	59,86	48,06	0,80
w5	96,89	39,58	39,58	32,98	0,939	1,000	2,807	27,77	17,58	0,63
w6	91,25	37,73	37,73	31,44	0,064	1,500	0,952	5,99	0,35	0,06
w7	145,89	52,98	52,98	44,15	0,037	1,500	1,150	10,15	0,61	0,06
w8	96,42	39,43	39,43	32,86	0,042	1,500	0,820	5,39	0,23	0,04
w11	227,57	210,79	210,79	175,66	0,074	1,500	0,950	26,70	1,55	0,06

Nachweis Normalkraft in Wandmitte

Wand	h_{ef}	$e_{m,init,senk}$	$e_{m,k,senk}$	$e_{m,senk}$	$e_{mk,senk}$	$\Phi_{m,senk}$	f_d	N_{Rd}	N_{Ed}	N_{Ed} / N_{Rd}
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]	[kN/m²]	[kN]	[kN]	[-]
w1	2,100	0,005	0,000	0,000	0,009	0,738	5.750,00	8.213,29	275,30	0,03
w2	2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	233,98	62,05	0,27
w3	2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	260,62	68,15	0,26
w4	2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	1.119,69	207,32	0,19
w5	2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	723,94	80,46	0,11
w6	2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	183,78	23,92	0,13
w7	2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	222,01	76,02	0,34
w8	2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	158,30	23,79	0,15
w11	2,100	0,005	0,000	0,000	0,012	0,816	5.750,00	1.069,78	92,73	0,09

Nachweise nach DIN EN 1996-1-1/NA NCI zu Abschnitt 6.1 und 6.2 mit: ζ=1,0 und γ_m=1,2

Stockwerk 2

Nachweis Normalkraft am Wandfuß

Wand	$e_{u,\|\|}$	$\Phi_{u,\|\|}$	f_d	N_{Rd}	N_{Ed}	N_{Ed}/N_{Rd}
	[m]	[-]	[kN/m²]	[kN]	[kN]	[-]
w1	0,917	0,834	5.750,000	9.284,16	170,67	0,02
w2	0,057	0,905	750,000	246,87	36,04	0,15
w3	0,072	0,894	750,000	271,53	39,59	0,15
w4	0,757	0,739	750,000	964,38	121,46	0,13
w5	0,700	0,627	750,000	528,79	48,05	0,09
w6	0,047	0,901	750,000	192,98	14,19	0,07
w7	0,027	0,954	750,000	246,79	43,95	0,18
w8	0,031	0,925	750,000	170,71	14,03	0,08
w11	0,054	0,887	5.750,000	1.162,86	54,41	0,05

Nachweis Querkraft am Wandfuß

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Wand		f_{vlt1}	f_{vlt2}	f_{vk}	f_{vd}	$e_{u,||}$	c	l_{cal} | l_c	V_{Rdlt}	V_{Ed}	V_{Ed}/V_{Rdlt}
		[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[m]	[-]	[m]	[kN]	[kN]	[-]
w1		90,27	153,56	90,27	75,23	0,917	1,000	11,060	145,60	55,88	0,38
w2		94,65	38,86	38,86	32,38	0,057	1,500	1,212	7,85	0,74	0,09
w3		94,11	38,68	38,68	32,23	0,072	1,500	1,350	8,70	1,01	0,12
w4		82,92	34,83	34,83	29,02	0,757	1,000	5,800	50,50	32,84	0,65
w5		73,17	31,08	31,08	25,90	0,700	1,000	3,525	27,40	12,01	0,44
w6		74,87	31,77	31,77	26,47	0,047	1,500	0,952	5,04	0,24	0,05
w7		105,96	42,38	42,38	35,32	0,027	1,500	1,150	8,12	0,42	0,05
w8		77,81	32,92	32,92	27,43	0,031	1,500	0,820	4,50	0,15	0,03
w11		150,46	180,90	150,46	125,38	0,054	1,500	0,950	19,06	1,04	0,05

Nachweis Normalkraft in Wandmitte

Wand		h_{ef}	$e_{m,init,senk}$	$e_{m,k,senk}$	$e_{m,senk}$	$e_{mk,senk}$	$\Phi_{m,senk}$	f_d	N_{Rd}	N_{Ed}	N_{Ed} / N_{Rd}
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]	[kN/m²]	[kN]	[kN]	[-]
w1		2,100	0,005	0,000	0,000	0,009	0,738	5.750,00	8.213,29	122,82	0,01
w2		2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	233,98	33,54	0,14
w3		2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	260,62	36,81	0,14
w4		2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	1.119,69	109,52	0,10
w5		2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	723,94	40,32	0,06
w6		2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	183,78	12,22	0,07
w7		2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	222,01	41,58	0,19
w8		2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	158,30	12,34	0,08
w11		2,100	0,005	0,000	0,000	0,012	0,816	5.750,00	1.069,78	48,78	0,05

Nachweise nach DIN EN 1996-1-1/NA NCI zu Abschnitt 6.1 und 6.2 mit: ζ=1,0 und γ_m=1,2

Schlankheit (Erdbeben)

Wand		Haltende Wände	Gehalten	Rechn. gehalten	l_w | b | b'	h_{ef}	t_{ef}	$\lambda_{vorh.} = h_{ef} / t_{ef}$	λ_{max}
					[m]	[m]	[mm]	[-]	[-]
w1		-	2	2	11,06	2,10	175,00	12,00	27,00
w2		-	2	2	1,21	2,10	300,00	7,00	27,00
w3		-	2	2	1,35	2,10	300,00	7,00	27,00
w4		-	2	2	5,80	2,10	300,00	7,00	27,00
w5		-	2	2	3,75	2,10	300,00	7,00	27,00
w6		-	2	2	0,95	2,10	300,00	7,00	27,00
w7		-	2	2	1,15	2,10	300,00	7,00	27,00
w8		-	2	2	0,82	2,10	300,00	7,00	27,00
w11		-	2	2	0,95	2,10	240,00	8,75	27,00

Ermittlung der Knicklänge nach DIN EN 1996-1-1/NA NCI zu 5.5.1.2

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Zusammenfassung LF Erdbeben

Stockwerk 1

Wand	Fehlgeschlagene Nachweise
w1	keine
w2	keine
w3	keine
w4	keine
w5	keine
w6	keine
w7	keine
w8	keine
w11	keine

Stockwerk 2

Wand	Fehlgeschlagene Nachweise
w1	keine
w2	keine
w3	keine
w4	keine
w5	keine
w6	keine
w7	keine
w8	keine
w11	keine

Der rechnerische Nachweis nach DIN EN 1998-1 und DIN EN 1998-1/NA in Kombination mit DIN EN 1996-1-1 und DIN EN 1996-1-1/NA ist für den Lastfall Erdbeben erbracht.

6.3 DIN EN 1998-1 in Kombination mit DIN EN 1996-1-1 (2D) unter Berücksichtigung der Rahmentragwirkung und Ansatz von automatisch ermittelten Windlasten

6.3.1 Systembeschreibung

Der Programmablauf mit allen nötigen Eingaben wird im Folgenden anhand eines einfachen Beispiels in monolithischer Ziegelbauweise demonstriert. Gewählt wurde das in nachfolgender Abbildung im Grundriss dargestellte Einfamilienhaus. Das Gebäude weist zwei Vollgeschosse mit einer Geschosshöhe von $h = 2{,}70$ m auf.

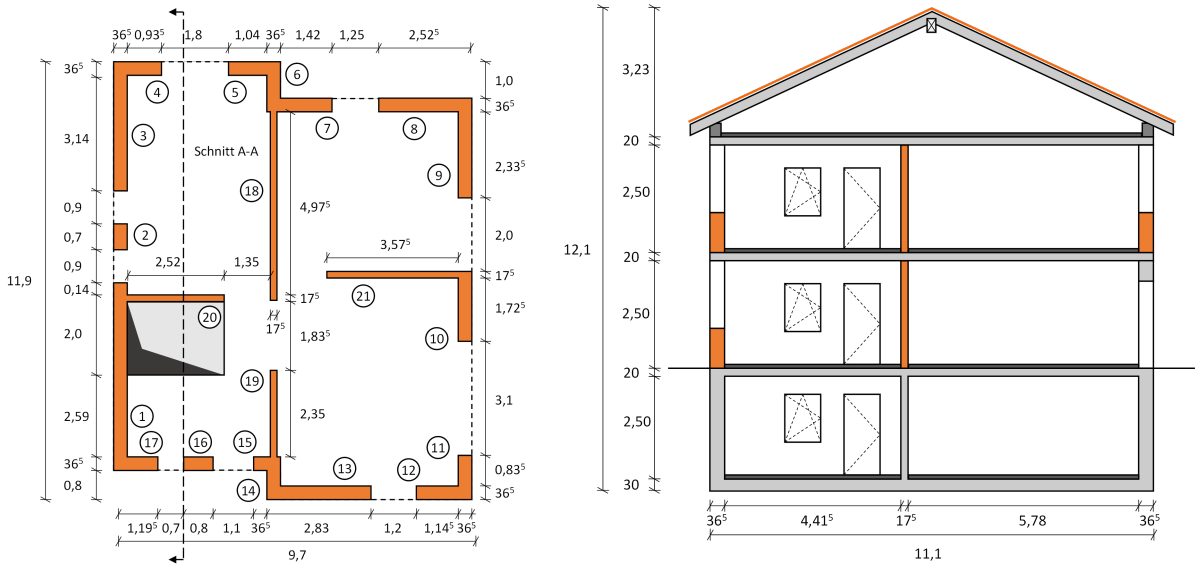


Abbildung 6.22: Grundriss (links) und Ansicht (rechts) des betrachteten Einfamilienhauses

Die Wände sind mit Ziegelmauerwerk ausgeführt. Der Nachweis wird nach DIN EN 1998-1/NA-DE in Verbindung mit DIN EN 1996-1-1/NA-DE unter Berücksichtigung der Einspannwirkung der Decken (Rahmentragwirkung) gemäß DIN EN 1996-1-1/NA Anhang K durchgeführt.

6.3.2 Eingabedaten

Die Eingabe gliedert sich in drei Arbeitsschritte. Im ersten Schritt werden die Gebäudedaten, im zweiten Schritt die Erdbebendaten und zuletzt die Geometriedaten definiert.

Eingabe der Norm und Gebäudedaten

- Normen: DIN EN 1998-1/NA-DE und DIN EN 1996-1-1/NA-DE
- Stockwerke: 2 Stockwerke mit $h = 270$ cm
- Bedeutungskategorie: Gewöhnliche Bauten (Kategorie II)
- Art der Verkehrslast: Nutzlasten und Verkehrslasten in Wohn- und Aufenthaltsräume
- Verhaltensbeiwerte: Verhaltensbeiwert q für x-Richtung und y-Richtung jeweils 1,96

Aufgrund des Vorhandenseins von mindestens sechs durchgehenden Schubwänden unterschiedlicher Länge in den beiden Gebäudehauptrichtungen darf gemäß DIN EN 1998-1/NA bei Ansatz einer Rahmentragwirkung der Verhaltensbeiwert q in die beiden Hauptrichtungen mit 1,96 angesetzt werden.

Eingabe der Erdbebendaten

Definition des elastischen Antwortspektrums durch Benutzung der Datenbank für die Spektrale Antwortbeschleunigung auf Fels in Deutschland. Für dieses Beispiel wird die Option **Adresse suchen** verwendet:

- Ort: Stuttgart
- Untergrundverhältnis: C-R

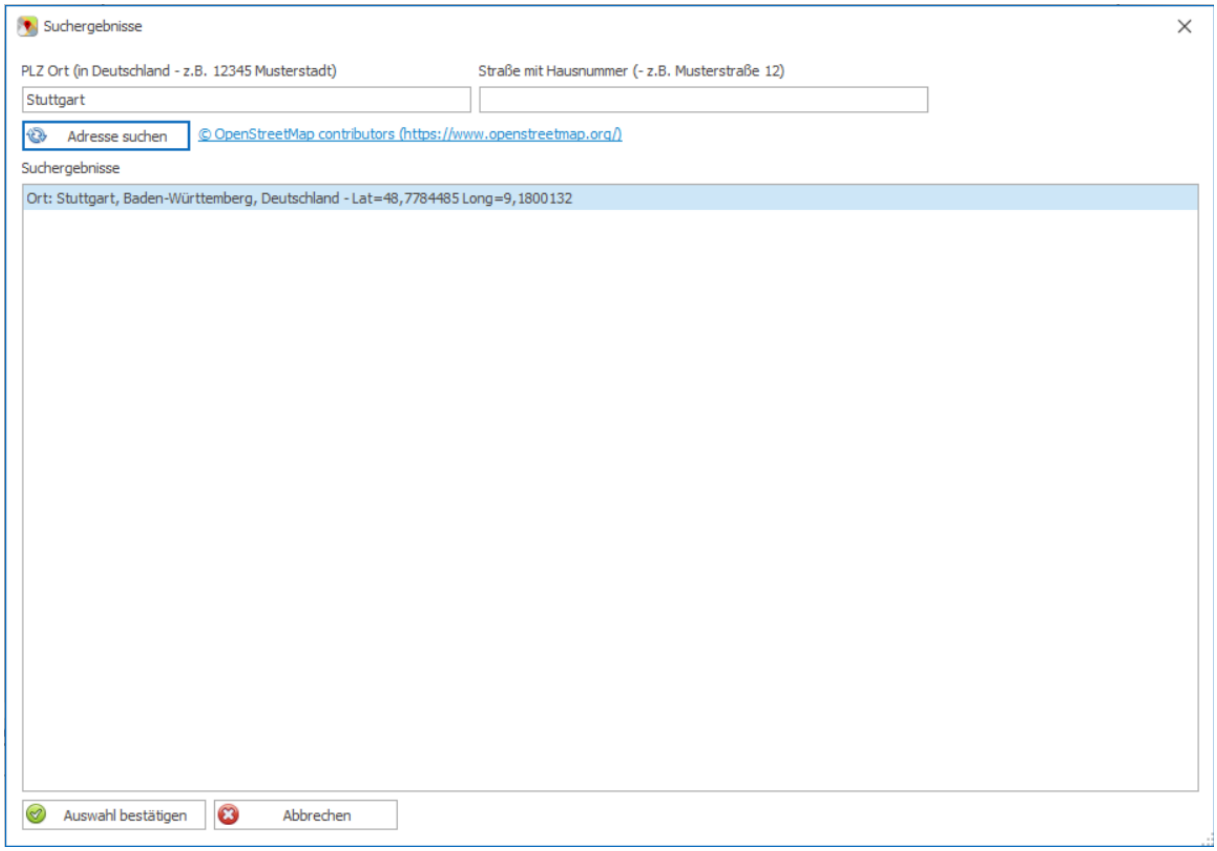


Abbildung 6.23: Auswahl der Erdbebendaten über die Option **Adresse suchen**

Alternativ kann der Ort durch die interaktive Karte oder durch die Eingabe der Koordinaten definiert werden. Darüber hinaus kann das Antwortspektrum durch die Vorgabe eines ortunabhängigen Wertes der Antwortbeschleunigung $S_{aP,R}$ definiert werden.

Eingabe der Winddaten

Definition der Windbeanspruchung durch Benutzung der Datenbank für die Windzonen in Deutschland. Für dieses Beispiel wird die automatische Ermittlung der Windlasten durch die

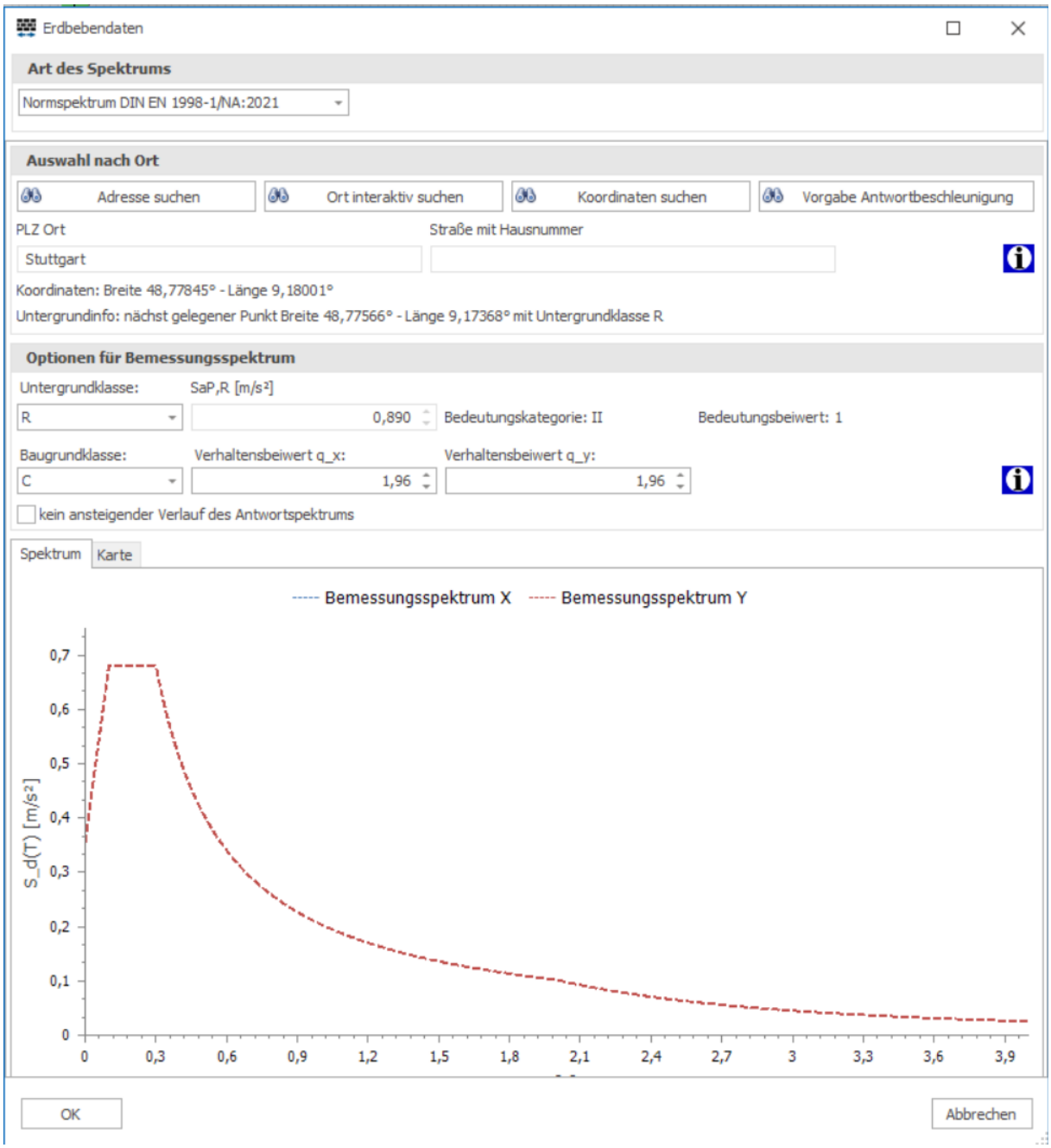


Abbildung 6.24: Übersicht der ausgewählten Erdbebendaten

Auswahl der Windzone mit der Option **Windzone wählen** innerhalb des Dialogs zur Eingabe der **Winddaten** verwendet:

- Gemeinde: Stuttgart

Eingabe der Geometriedaten

Im ersten Schritt, der Eingabe der Geometriedaten, werden die Koordinaten, die Wanddicken und die Steindruckfestigkeitsklassen der Wandscheiben definiert. Als Material wird Mauerwerk beliebig ausgewählt. Die Wandeigenschaften sind in Abschnitt 6.3.2 zusammengestellt. Bei

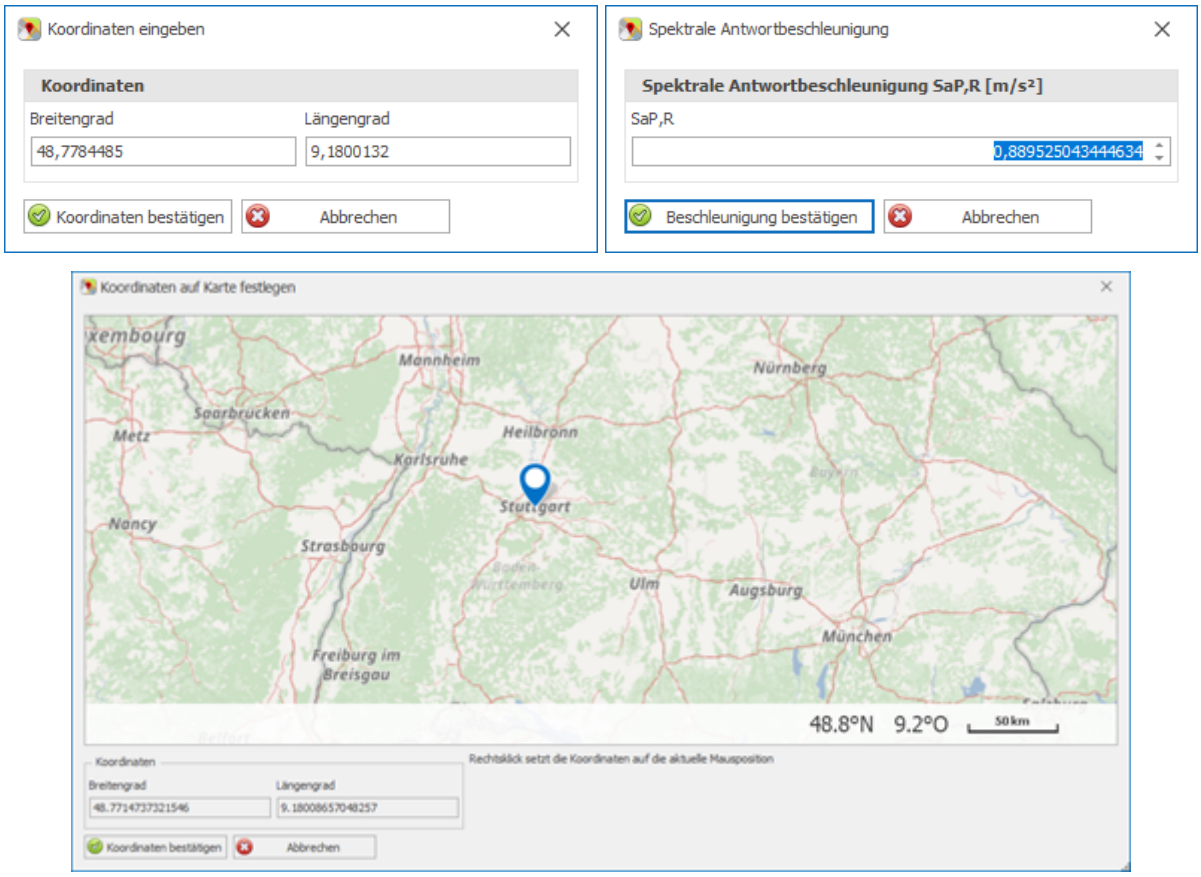
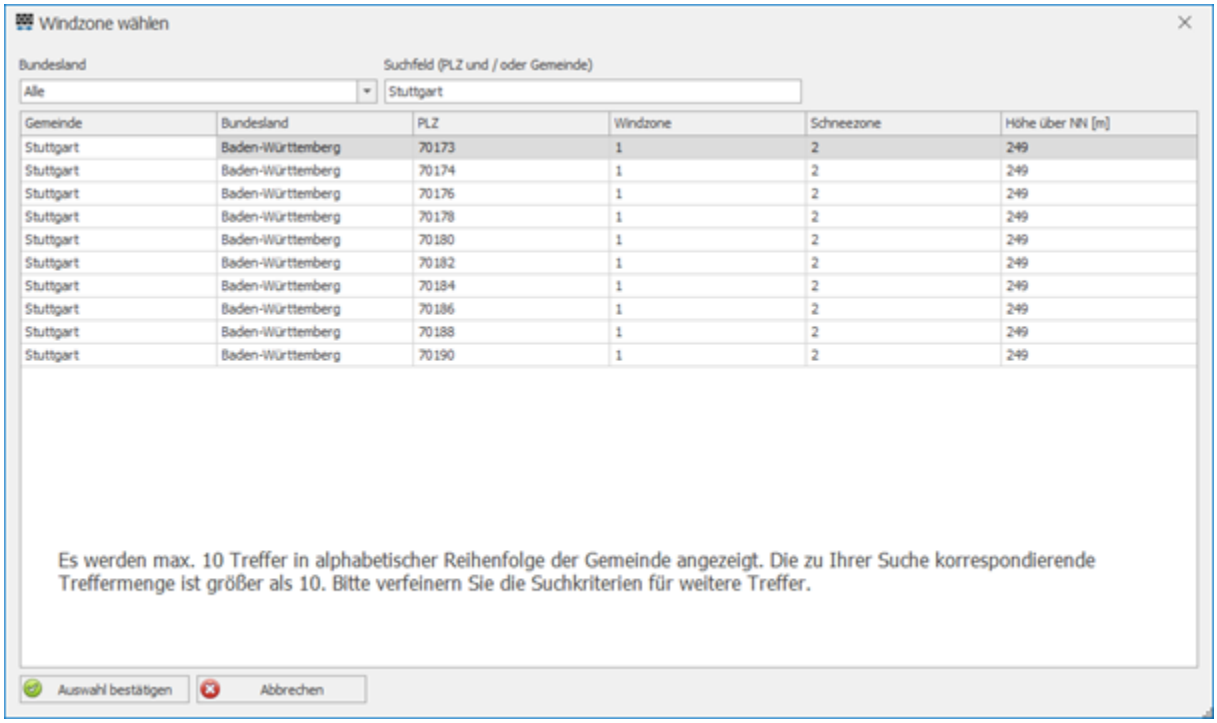


Abbildung 6.25: Erdbebendaten: Eingabe geografischer Koordinaten (links) und Eingabe der spektralen Antwortbeschleunigung auf Fels (rechts) sowie interaktive Suche des Standorts (unten)



Gemeinde	Bundesland	PLZ	Windzone	Schneezone	Höhe über NN [m]
Stuttgart	Baden-Württemberg	70173	1	2	249
Stuttgart	Baden-Württemberg	70174	1	2	249
Stuttgart	Baden-Württemberg	70176	1	2	249
Stuttgart	Baden-Württemberg	70178	1	2	249
Stuttgart	Baden-Württemberg	70180	1	2	249
Stuttgart	Baden-Württemberg	70182	1	2	249
Stuttgart	Baden-Württemberg	70184	1	2	249
Stuttgart	Baden-Württemberg	70186	1	2	249
Stuttgart	Baden-Württemberg	70188	1	2	249
Stuttgart	Baden-Württemberg	70190	1	2	249

Abbildung 6.26: Auswahl der Windzone anhand von Bundesland und PLZ / Gemeinde

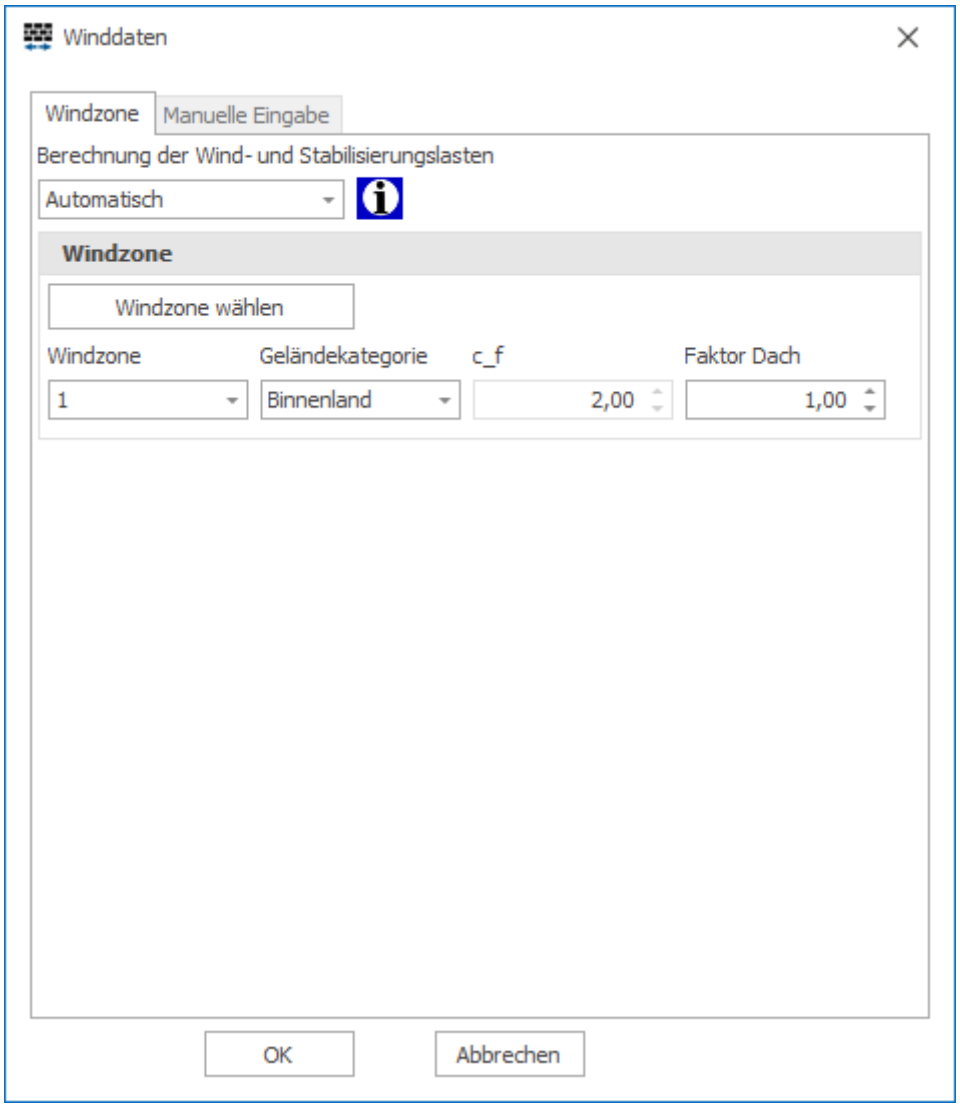


Abbildung 6.27: Übersicht über die ausgewählten Winddaten

der Eingabe der Geometriedaten ist insbesondere auf die konstruktive Ausführung der Mauerwerksstöße zu achten. In diesem Fall wird davon ausgegangen, dass die Wände im Verband gemauert sind. Es ergeben sich folgende tabellarisch zusammengefasste Eingabewerte:

Die Geschossdecke erfüllt die Kriterien einer „Geschossdecke mit aussteifender Scheibenwirkung“. Die aussteifende Deckenscheibe wird über ein Randpolygon und ein Öffnungspolygon im Bereich des Treppenhauses definiert. Die Koordinaten der beiden rechteckigen Polygonzüge werden über mehrere Eckpunkte wie folgt definiert:

Eingabe der Wandeigenschaften

Wie in Abschnitt 3.3.2 beschrieben, öffnet sich durch Klick auf den Button **Wandscheibentypen bearbeiten** das in nebenstehender Abbildung dargestellte Eingabefenster. Die Eingaben wurden wie folgt definiert:

Wandscheiben

Nr.	X1	Y1	X2	Y2	Länge	Typ
w1	18,3	98,3	18,3	589,3	491,0	Mz 365 Außenwand
w2	18,3	679,5	18,3	749,5	70,0	Mz 365 Außenwand
w3	18,3	839,8	18,3	1171,8	332,0	Mz 365 Außenwand
w4	18,3	1171,8	130,3	1171,8	112,0	Mz 365 Außenwand
w5	310,4	1171,8	432,4	1171,8	122,0	Mz 365 Außenwand
w6	432,4	1171,8	432,4	1071,8	100,0	Mz 365 Außenwand
w7	432,4	1071,8	592,4	1071,8	160,0	Mz 365 Außenwand
w8	718,0	1071,8	952,0	1071,8	234,0	Mz 365 Außenwand
w9	952,0	1071,8	952,0	824,8	247,0	Mz 365 Außenwand
w10	952,0	620,0	952,0	430,0	190,0	Mz 365 Außenwand
w11	952,0	120,3	952,0	18,3	102,0	Mz 365 Außenwand
w12	952,0	18,3	720,0	18,3	232,0	Mz 365 Außenwand
w13	592,4	18,3	432,4	18,3	160,0	Mz 365 Außenwand
w14	432,4	18,3	432,4	98,3	80,0	Mz 365 Außenwand
w15	432,4	98,3	379,4	98,3	53,0	Mz 365 Außenwand
w16	269,6	98,3	189,6	98,3	80,0	Mz 365 Außenwand
w17	119,3	98,3	18,3	98,3	101,0	Mz 365 Außenwand
w18	432,4	1071,8	432,4	556,8	515,0	Mz 175 Innenwand
w19	432,4	98,3	432,4	333,3	235,0	Mz 175 Innenwand
w20	288,5	565,3	36,5	565,3	252,0	Mz 175 Innenwand
w21	933,7	611,2	576,7	611,2	357,0	Mz 175 Innenwand

Abbildung 6.28: Wandkoordinaten des Einfamilienhauses

Wandscheiben | Stützen | Decke

Rand-/Öffnungspolygone	X	Y
Randpolygon		
Punkt	0,0 cm	80,0 cm
Punkt	0,0 cm	1190,0 cm
Punkt	450,7 cm	1190,0 cm
Punkt	450,7 cm	1090,1 cm
Punkt	970,3 cm	1090,1 cm
Punkt	970,3 cm	0,0 cm
Punkt	414,1 cm	0,0 cm
Punkt	414,1 cm	80,0 cm
Öffnungspolygon		
Punkt	36,6 cm	556,0 cm
Punkt	288,5 cm	556,0 cm
Punkt	288,5 cm	356,0 cm
Punkt	36,6 cm	356,0 cm

Abbildung 6.29: Koordinaten des Deckenpolygons

Eingabe der erweiterten Wandeigenschaften

Für die Verwendung des Nachweisverfahrens nach DIN EN 1996-1-1/NA Anhang K wird bei Verwendung der Berechnungsmethode **Tabellarisch** für jede Wandscheibe die Eingabe der freien Wandlänge und der mitwirkenden Plattenbreite innerhalb der erweiterten Wandeigenschaften benötigt.

Exemplarisch wird für die Wandscheibe w1 die freie Wandlänge zu $0{,}90/2 = 0{,}45$ m und die mitwirkende Plattenbreite zu $(4{,}91 + 0{,}45)/6 + 2/3 \cdot 0{,}365 = 1{,}14$ m gemäß der in Abschnitt 5.3.5 angegebenen Empfehlungen angesetzt. Die Auflagertiefe wird dabei zu $2/3$ der Wanddicke angenommen. Eine vollständige Liste der eingegebenen Werte für die freie Wandlänge und die

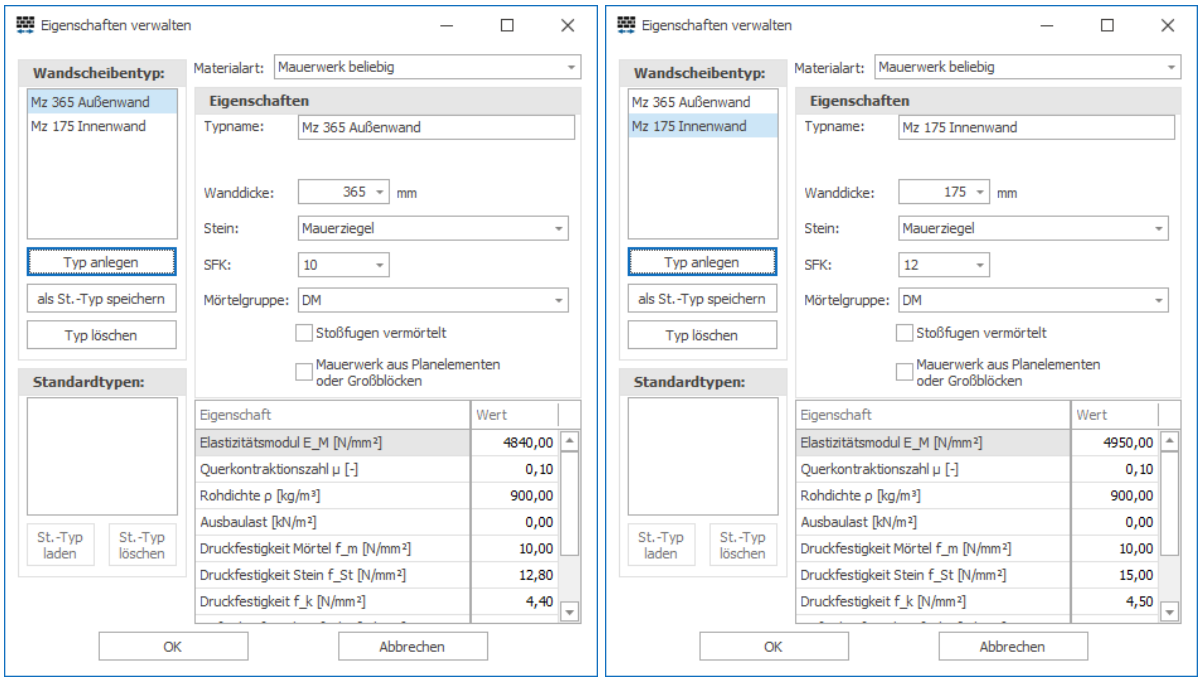


Abbildung 6.30: Wandeigenschaften der Außenwände (links) sowie der Innenwände (rechts)

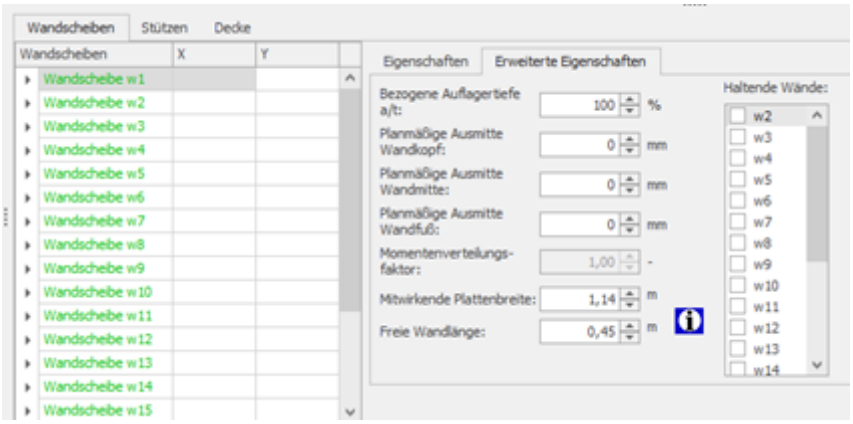


Abbildung 6.31: Eingabe der freien Wandlänge und mitwirkenden Plattenbreite in den erweiterten Wandeigenschaften

mitwirkende Plattenbreite sowie der daraus ermittelten Momentenverteilungsfaktoren ψ für die einzelnen Stockwerke kann der Berichtausgabe in Abschnitt 6.3.4 entnommen werden.

Eingabe der Decken-/Dacheigenschaften

Wie in Abschnitt 3.3.5 beschrieben, öffnen sich durch Klick auf den Button **Deckentypen bearbeiten** bzw. **Dachtypen bearbeiten** die in den nachfolgenden Abbildungen dargestellten Eingabefenster.

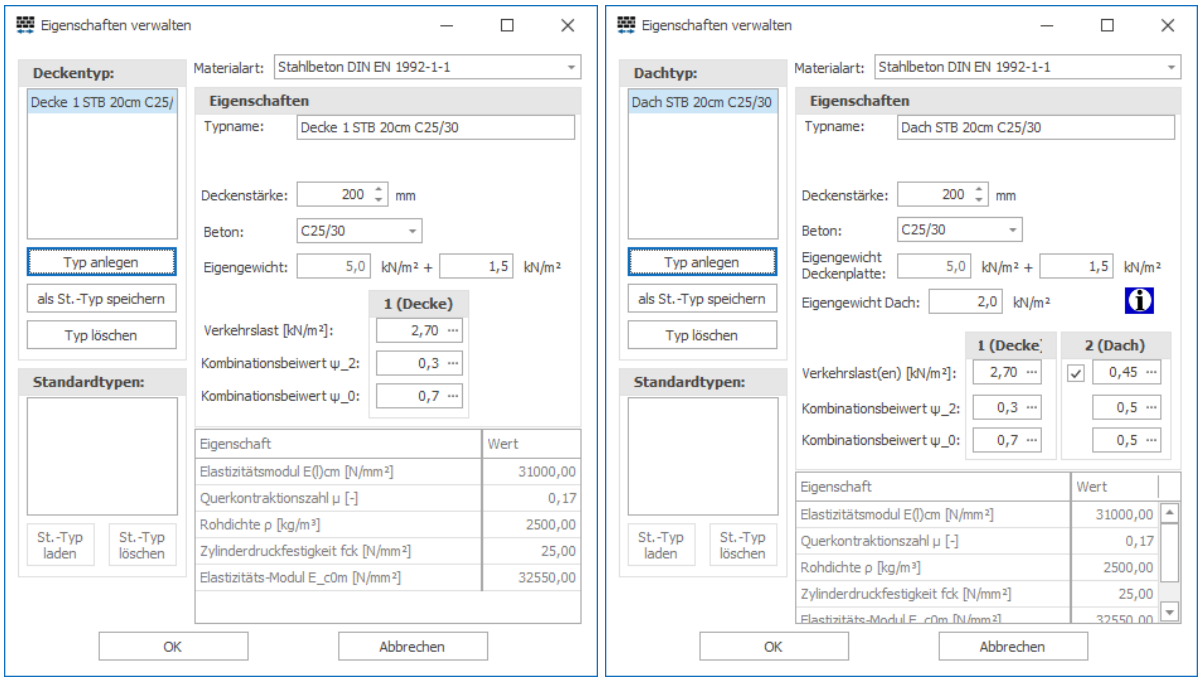


Abbildung 6.32: Decken- (links) und Dacheigenschaften (rechts)

6.3.3 Durchführung des rechnerischen Nachweises

Nachweiseinstellungen

Bevor der Nachweis gestartet wird, erfolgt im Fenster Nachweiseinstellungen die Festlegung der Berechnungsparameter analog der Darstellung in der folgenden Abbildung.

Nachweisführung

Über den Menüpunkt **Nachweis starten** wird im Menü **Nachweis** direkt der rechnerische Nachweis gestartet. Nach Abschluss der Berechnung wird das dargestellte Fenster angezeigt.

In diesem Fenster werden die Ergebnisse der Berechnung unter den Reitern **Versagende Wände**, **LF Erdbeben** und **LF Ständig und Vorübergehend (maßgebende Lastfallkombination)** dargestellt. Unter dem Reiter Versagende Wände besteht die Möglichkeit zwischen den Ansichten **Versagende Wände** und **Lasteinzugsflächen** zu wechseln.

In der Ansicht **Versagende Wände** sind die versagenden Mauerwerkswände in Rot dargestellt. Liegen versagende Wände vor, so kann der Benutzer entscheiden, ob er den Bericht erzeugt oder das System nochmals modifiziert. In diesem Fall ist der Button **Fenster schließen** zu wählen.

In der Ansicht **Lasteinzugsflächen** können die von MINEA zur Auflastermittlung erzeugten Lasteinzugsflächen grafisch kontrolliert werden. Ist das Ergebnis nicht zufriedenstellend, kann die Elementgröße in den **Nachweiseinstellungen** (Menü **Nachweis**) angepasst werden.

Unter dem Reiter **LF Erdbeben** werden die numerischen Nachweisergebnisse je Stockwerk für jede Wandscheibe und jeden Nachweis für die Erdbebeneinwirkung angezeigt.

Unter dem Reiter **LF Ständig und Vorübergehend (maßgebende Lastfallkombination)** werden die numerischen Nachweisergebnisse je Stockwerk für jede Wandscheibe und jeden

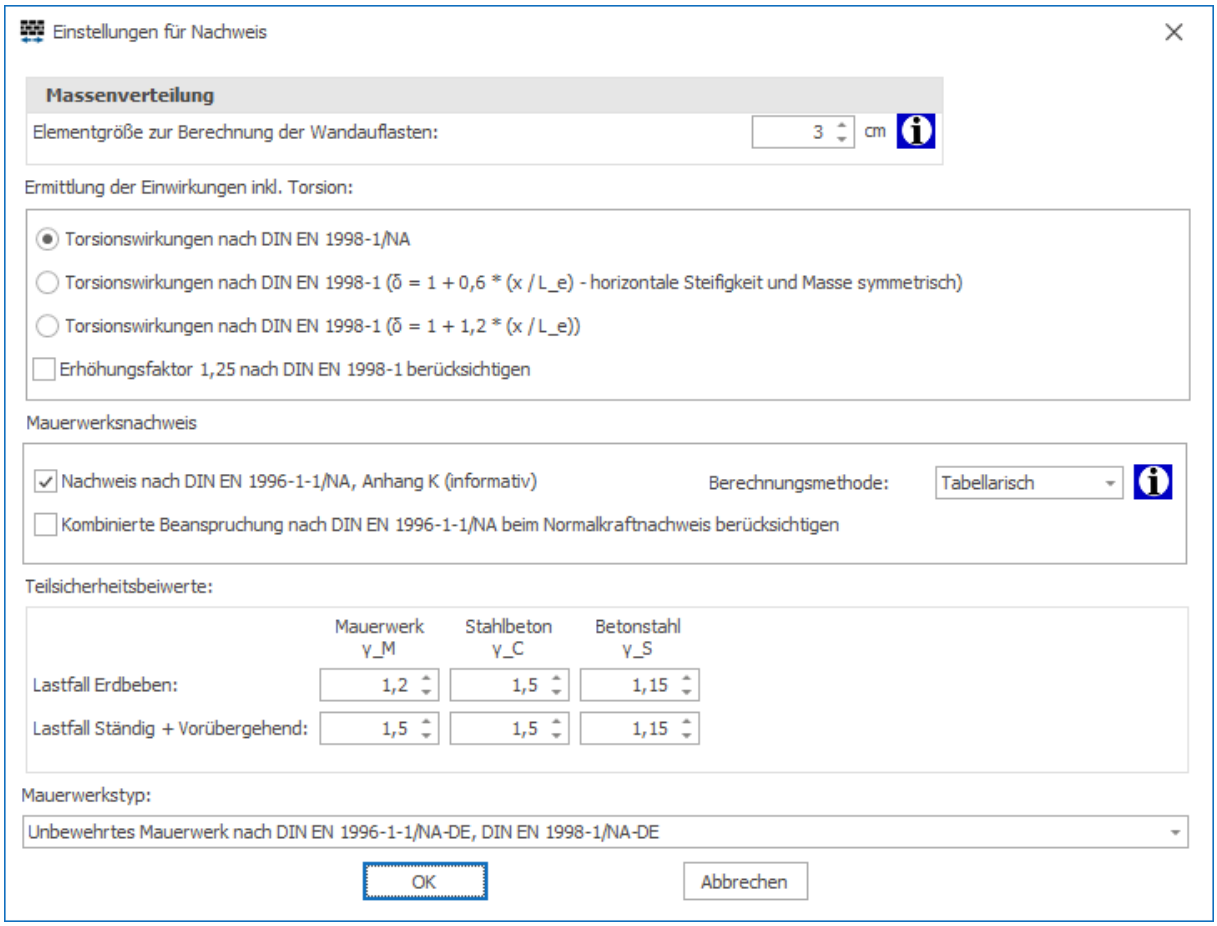


Abbildung 6.33: Nachweiseinstellungen für den rechnerischen Nachweis (2D) unter Berücksichtigung der Rahmentragwirkung

Nachweis für die Windbeanspruchung angezeigt.

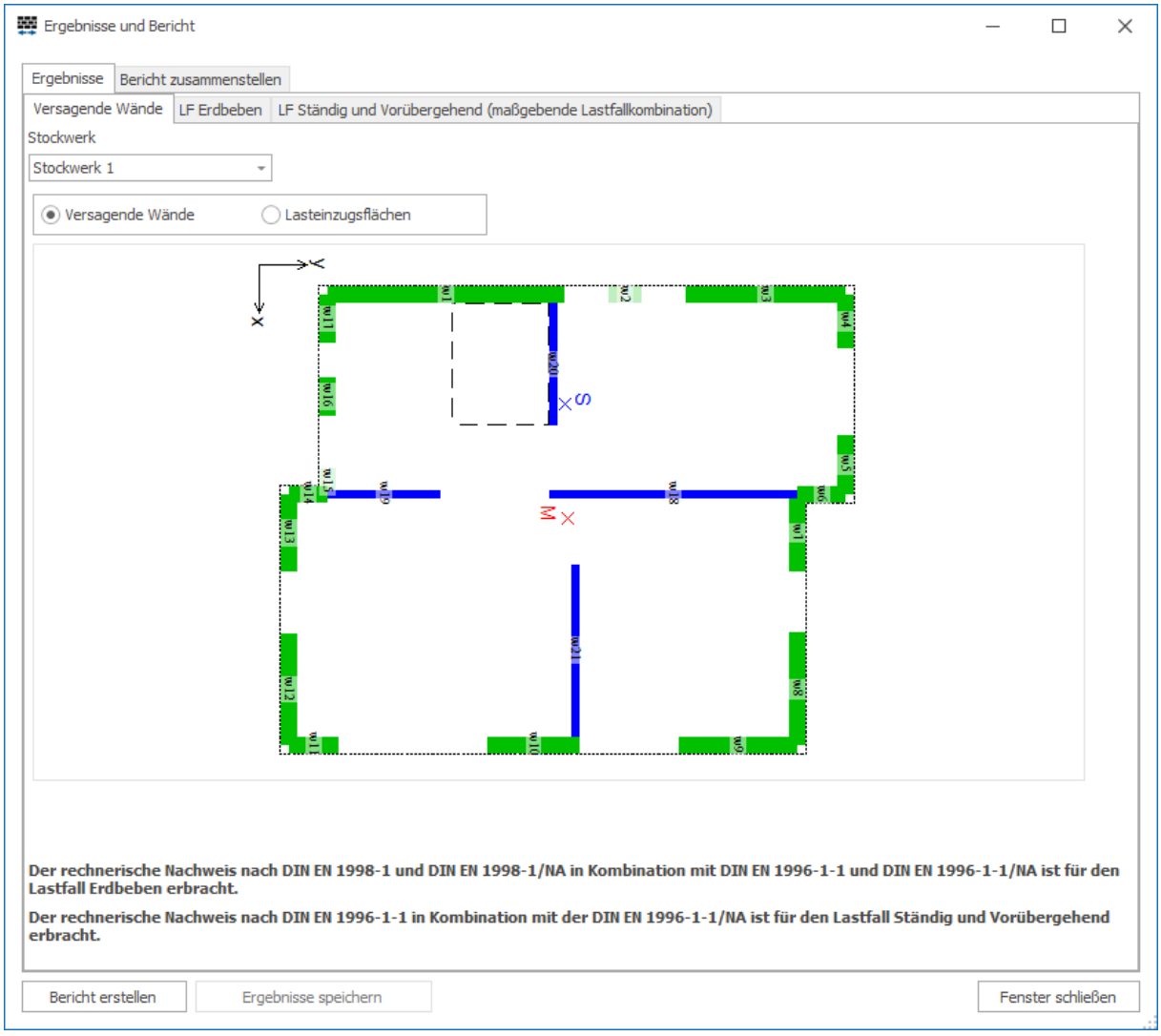


Abbildung 6.34: Ergebnisfenster für den rechnerischen Nachweis (2D) unter Berücksichtigung der Rahmentragwirkung

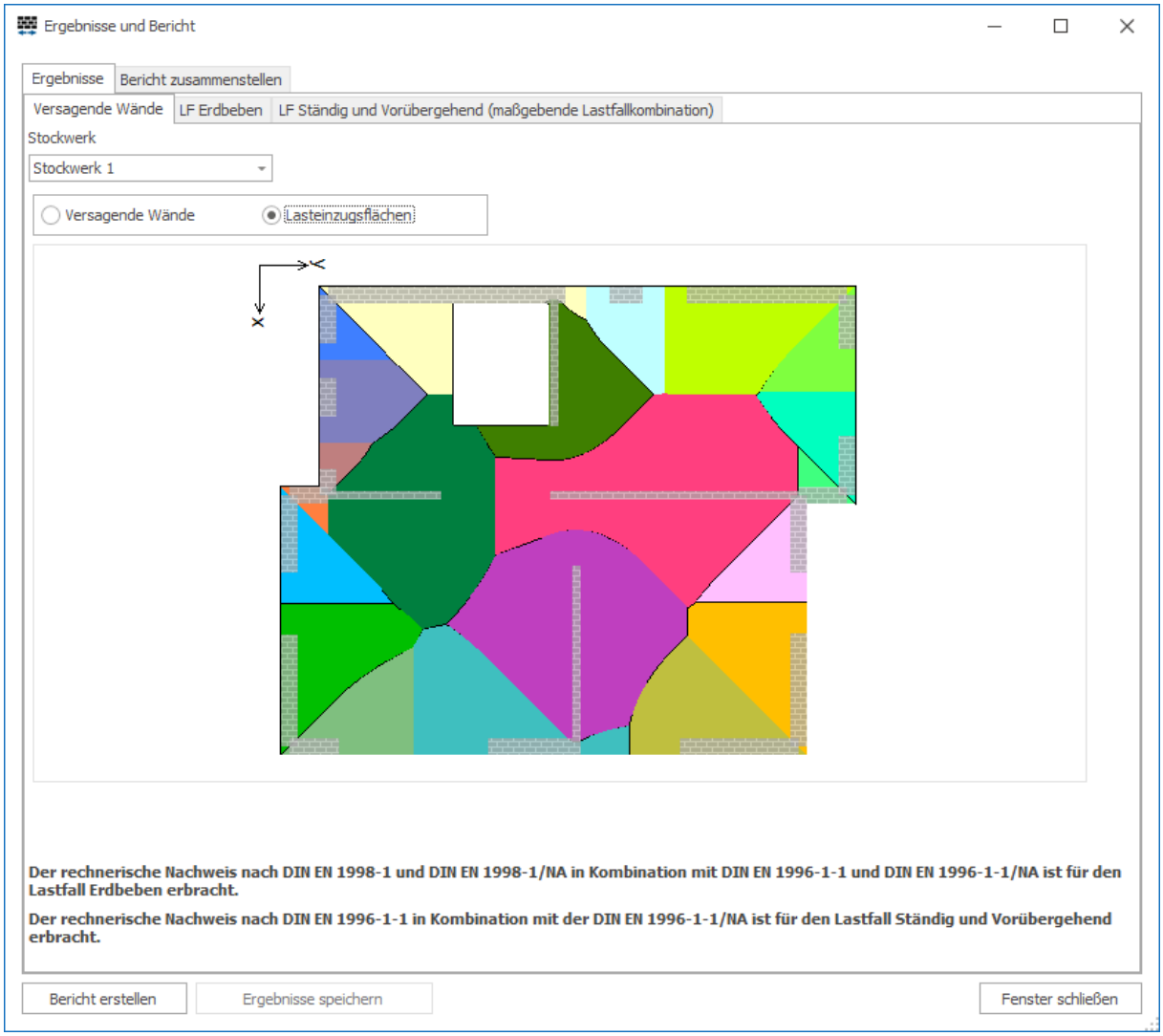


Abbildung 6.35: Lasteinzugsflächen der Decken des Einfamilienhauses

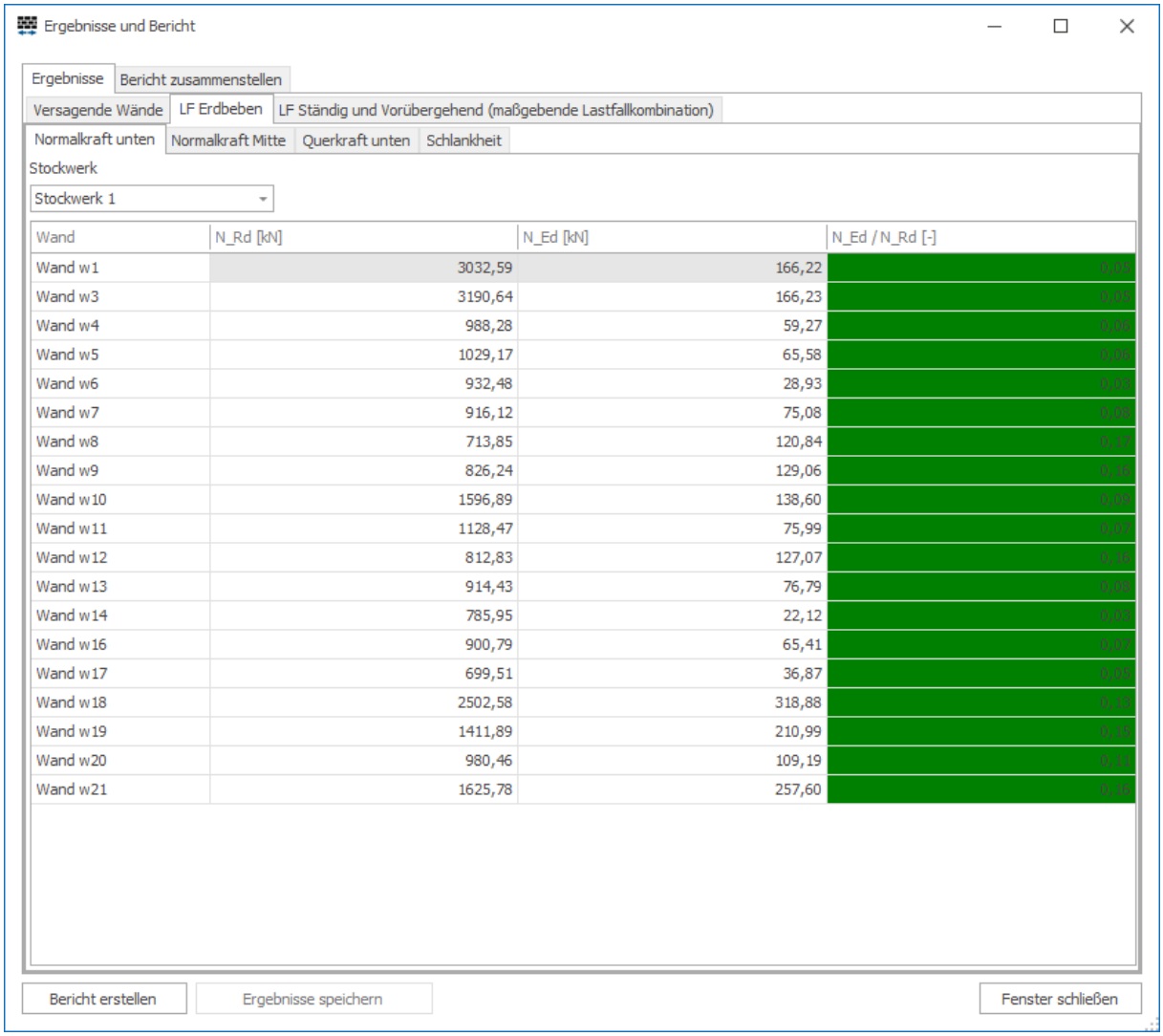
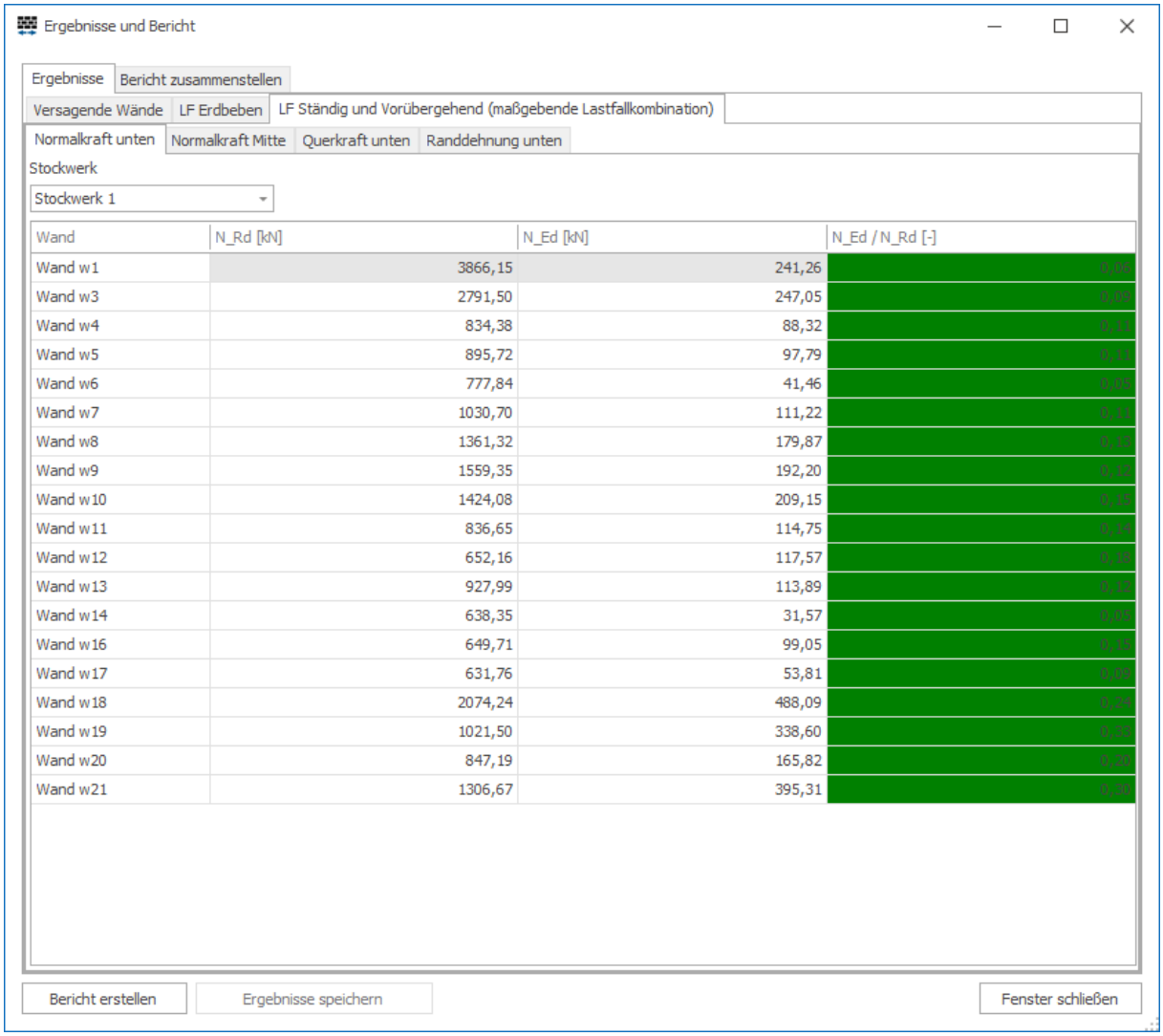


Abbildung 6.36: Ergebnisfenster: LF Erdbeben



Wand	N_Rd [kN]	N_Ed [kN]	N_Ed / N_Rd [-]
Wand w1	3866,15	241,26	0,06
Wand w3	2791,50	247,05	0,09
Wand w4	834,38	88,32	0,11
Wand w5	895,72	97,79	0,11
Wand w6	777,84	41,46	0,05
Wand w7	1030,70	111,22	0,11
Wand w8	1361,32	179,87	0,13
Wand w9	1559,35	192,20	0,12
Wand w10	1424,08	209,15	0,15
Wand w11	836,65	114,75	0,14
Wand w12	652,16	117,57	0,18
Wand w13	927,99	113,89	0,12
Wand w14	638,35	31,57	0,05
Wand w16	649,71	99,05	0,15
Wand w17	631,76	53,81	0,09
Wand w18	2074,24	488,09	0,24
Wand w19	1021,50	338,60	0,33
Wand w20	847,19	165,82	0,20
Wand w21	1306,67	395,31	0,30

Abbildung 6.37: Ergebnisfenster: LF Ständig und Vorübergehend (maßgebende Lastfallkombination)

6.3.4 Ausgabe des Berichts

Der Bericht ist für das gewählte Beispiel in einer verkleinerten Form auf den folgenden Seiten dargestellt. Der rechnerische Nachweis kann für den vorliegenden Grundriss geführt werden.

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

MINEA
www.minea-design.com

Nachweis

- Standsicherheitsnachweis Erdbeben: Rechnerischer Nachweis nach DIN EN 1998-1/NA in Kombination mit DIN EN 1996-1-1/NA
- Standsicherheitsnachweis nach DIN EN 1996-1-1/NA für die ständige und vorübergehende Bemessungssituation inklusive Windbeanspruchung

Verwendete Normen

DIN EN 1998-1	DIN EN 1998-1:2010-12
DIN EN 1998-1/NA	DIN EN 1998-1/NA:2023-11
DIN EN 1996-1-1	DIN EN 1996-1-1:2013-02
DIN EN 1996-1-1/NA	DIN EN 1996-1-1/NA:2019-12
DIN EN 1992-1-1	DIN EN 1992-1-1:2011-01
DIN EN 1992-1-1/NA	DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04

Projektdaten

Kunde:	MINEA Dokumentation
Auftragsnummer:	DIN EN 1998-1 in Kombination mit der DIN EN 1996-1-1 (2D) unter Berücksichtigung der Rahmentragwirkung
Bemerkungen:	Hilfe für DIN EN Nachweisverfahren

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Gebäudedaten

Eigenschaft	Wert
Anzahl Stockwerke:	2
Höhe der Stockwerke h:	270,0 cm

Erdbebendaten

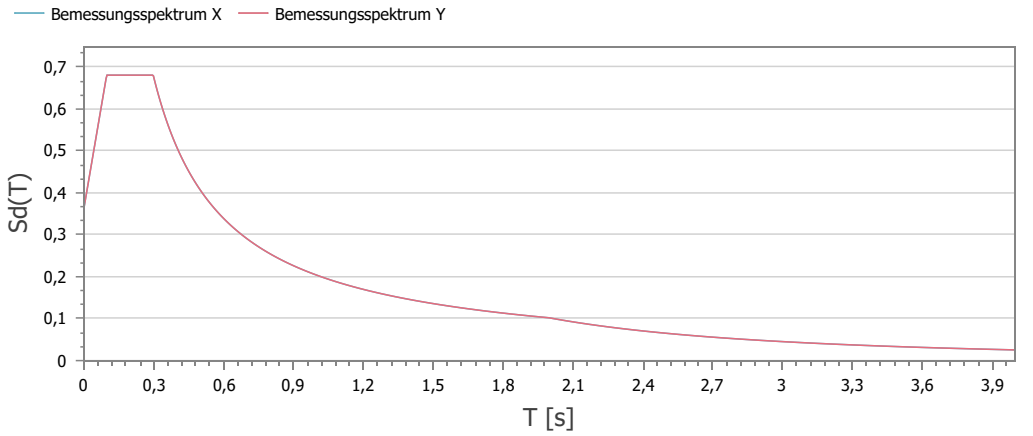
Eigenschaft	Wert
$S_{ap,R}$ [m/s²]	0,890
Untergrundverhältnisse:	C-R
Bedeutungskategorie:	II
Bedeutungsbeiwert:	1
Verhaltensbeiwert q_x:	1,96
Verhaltensbeiwert q_y:	1,96

Adressdaten

Breitengrad	48.7784485
Längengrad	9.1800132
Ort	Stuttgart
Straße	

© OpenStreetMap contributors (https://www.openstreetmap.org/)

Bemessungsspektrum



Parameter des horizontalen Antwortspektrums

Untergrundtyp	S	T_B	T_C	T_D
		[s]	[s]	[s]
C-R	1,50	0,10	0,30	2,00

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Materialdaten

Wandscheibentypen:

Wandscheibentyp	Material	t	E_M|E_{cm}	μ	ρ	Ausbaul.
		[mm]	[N/mm²]	[-]	[kg/m³]	[kN/m²]
Mz 365 Außenwand	Mauerziegel DM	365	4.840,00	0,10	900,00	0,00
Mz 175 Innenwand	Mauerziegel DM	175	4.950,00	0,10	900,00	0,00

Wandscheibentyp	SFK	Stoßfugen vermörtelt	f_k	f_{vk0}	l_{ol}/h_u	h_u	l_u	$f_{bt,cal}$	φ_∞
			[N/mm²]	[N/mm²]	[-]	[mm]	[mm]	[N/mm²]	[-]
Mz 365 Außenwand	10	Nein	4,40	0,22	-	-	-	0,33	1,00
Mz 175 Innenwand	12	Nein	4,50	0,22	-	-	-	0,39	1,00

Deckentypen:

Deckentyp	Material	t	E_{cm}	μ	ρ	α_T
		[mm]	[N/mm²]	[-]	[kg/m³]	[-]
Decke 1 STB 20cm C25/30	C25/30	200	31.000,00	0,17	2.500,00	1E-05

Deckentyp	f_{ck}
	[N/mm²]
Decke 1 STB 20cm C25/30	25

Dachtyp:

Deckentyp	Material	t	E_{cm}	μ	ρ	α_T
		[mm]	[N/mm²]	[-]	[kg/m³]	[-]
Dach STB 20cm C25/30	C25/30	200	31.000,00	0,17	2.500,00	1E-05

Dachtyp	f_{ck}
	[N/mm²]
Dach STB 20cm C25/30	25

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Grundrissdaten

Grundrissdaten für Stockwerk 1

Wandscheiben

Nr.	Wandscheibentyp	Lastabtrag*	t	l_W	X_1	Y_1	X_2	Y_2
[-]	[-]	[-]	[mm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
w1	Mz 365 Außenwand	v+h	365	491,0	18,3	98,3	18,3	589,3
w2	Mz 365 Außenwand	v	365	70,0	18,3	679,5	18,3	749,5
w3	Mz 365 Außenwand	v+h	365	332,0	18,3	839,8	18,3	1.171,8
w4	Mz 365 Außenwand	v+h	365	112,0	18,3	1.171,8	130,3	1.171,8
w5	Mz 365 Außenwand	v+h	365	122,0	310,4	1.171,8	432,4	1.171,8
w6	Mz 365 Außenwand	v+h	365	100,0	432,4	1.171,8	432,4	1.071,8
w7	Mz 365 Außenwand	v+h	365	160,0	432,4	1.071,8	592,4	1.071,8
w8	Mz 365 Außenwand	v+h	365	234,0	718,0	1.071,8	952,0	1.071,8
w9	Mz 365 Außenwand	v+h	365	247,0	952,0	1.071,8	952,0	824,8
w10	Mz 365 Außenwand	v+h	365	190,0	952,0	620,0	952,0	430,0
w11	Mz 365 Außenwand	v+h	365	102,0	952,0	120,3	952,0	18,3
w12	Mz 365 Außenwand	v+h	365	232,0	952,0	18,3	720,0	18,3
w13	Mz 365 Außenwand	v+h	365	160,0	592,4	18,3	432,4	18,3
w14	Mz 365 Außenwand	v+h	365	80,0	432,4	18,3	432,4	98,3
w15	Mz 365 Außenwand	v	365	53,0	432,4	98,3	379,4	98,3
w16	Mz 365 Außenwand	v+h	365	80,0	269,6	98,3	189,6	98,3
w17	Mz 365 Außenwand	v+h	365	101,0	119,3	98,3	18,3	98,3
w18	Mz 175 Innenwand	v+h	175	515,0	432,4	1.071,8	432,4	556,8
w19	Mz 175 Innenwand	v+h	175	235,0	432,4	98,3	432,4	333,3
w20	Mz 175 Innenwand	v+h	175	252,0	288,5	565,3	36,5	565,3
w21	Mz 175 Innenwand	v+h	175	357,0	933,7	611,2	576,7	611,2

**: v = Vertikaler Lastabtrag, h = Horizontaler Lastabtrag, v+h = Vertikaler und Horizontaler Lastabtrag*

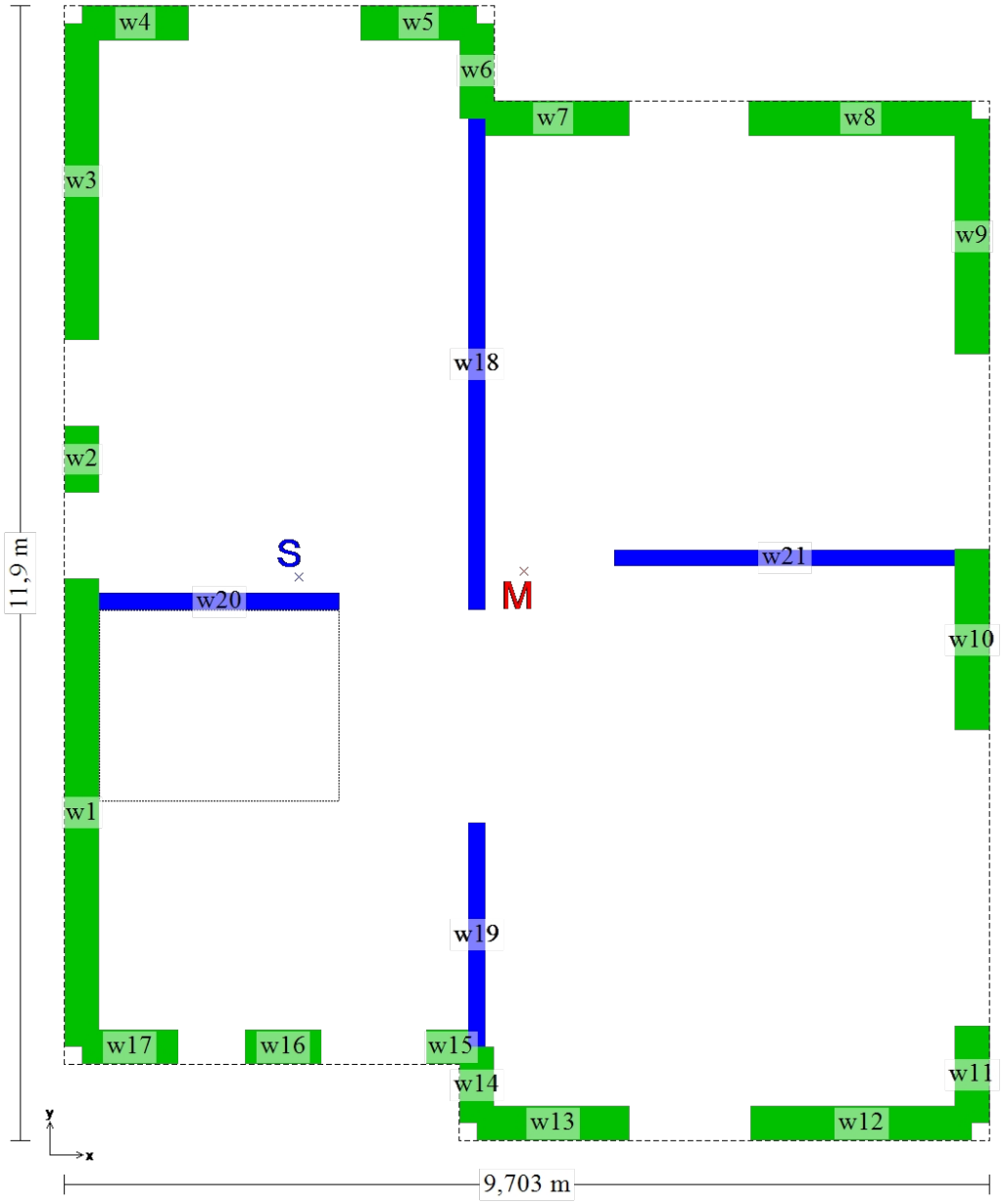
Decke

	Punktlisten (Werte in cm)
Randpolygon	{X=0, Y=80}; {X=0, Y=1190}; {X=450,7, Y=1190}; {X=450,7, Y=1090,1}; {X=970,3, Y=1090,1}; {X=970,3, Y=0}; {X=414,1, Y=0}; {X=414,1, Y=80}
Öffnungspolygon	{X=36,6, Y=556}; {X=288,5, Y=556}; {X=288,5, Y=356}; {X=36,6, Y=356}
Stockwerksfläche	101,92 m²

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Grundriss Stockwerk 1



SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Regelmäßigkeit

Regelmäßigkeit im Aufriss nach DIN EN 1998-1 4.2.3.3

(2)	Alle horizontalen Aussteifungssysteme wie Kerne oder tragende Wände müssen ohne Unterbrechung von ihren Gründungen bis zur Oberkante des Gebäudes verlaufen.	✓
(3)	Die Horizontalsteifigkeit als auch die Masse der einzelnen Geschosse müssen konstant sein oder allmählich ohne sprunghafte Änderungen vom Fundament bis zur Spitze eines Gebäudes abnehmen.	✓
(5)	Rücksprünge müssen die Bedingungen nach DIN EN 1998-1 4.2.3.3(5) erfüllen.	✓

Das vereinfachte Antwortspektrumverfahren nach DIN EN 1998-1 4.3.3.2 ist anwendbar, da alle Regelmäßigkeitskriterien im Aufriss nach DIN EN 1998-1 4.2.3.3 eingehalten sind und $T_{1,x}$ = 0,17 s ≤ MIN(4*T_C = 1,20 s, 2 s) und $T_{1,y}$ = 0,10 s ≤ MIN(4*T_C = 1,20 s, 2 s) ist.

Regelmäßigkeit im Grundriss nach DIN EN 1998-1 4.2.3.2

(2)	Hinsichtlich der Verteilung der horizontalen Steifigkeit und der Masse ist das Bauwerk im Grundriss ungefähr symmetrisch bezüglich zweier rechtwinklig zueinander stehender Achsen.	✓
(3)	Die Grundrissform ist kompakt, d.h. jedes Stockwerk kann durch ein konvexes Polygon umrissen werden. Vorhandene Rücksprünge beeinträchtigen die Steifigkeit der Decke in ihrer Ebene nicht und die Fläche zwischen dem Umriss es Stockwerks und einem konvexen Polygon als Umhüllende des Stockwerks überschreitet die Stockwerksfläche um weniger als 5%.	✓
(4)	Die Steifigkeit der Decke in ihrer Ebene ist im Vergleich zur Horizontalsteifigkeit der vertikalen tragenden Bauteile ausreichend groß, so dass die Verformung der Decke sich nur unwesentlich auf die Verteilung der Kräfte an die vertikalen tragenden Bauteile auswirkt.	✓
(5)	Die Schlankheit des Gebäudes L_{max} / L_{min} des Gebäudes im Grundriss darf nicht größer als 4 sein, wobei L_{max} und L_{min} jeweils die senkrecht zueinander gemessene größte und kleinste Gebäudeabmessung im Grundriss darstellt: $\lambda = L_{max} / L_{min}$ = 1,23 ≤ 4	✓
(6)	Für jede Berechnungsrichtung müssen die tatsächliche Ausmitte e_0 und der Torsionsradius r die beiden folgenden Bedingungen erfüllen: Beben in x-Richtung: e_{0y} = 0,06 ≤ 0,3 * r_y = 0,3 * 6,79 = 2,04 und r_y = 6,79 ≥ l_s = 4,28 Beben in y-Richtung: e_{0x} = 2,36 ≤ 0,3 * r_x = 0,3 * 3,99 = 1,20 und r_x = 3,99 ≥ l_s = 4,28	✗

Besondere Regelmäßigkeitsbedingungen nach DIN EN 1998-1 4.3.3.1(8)

a)	Das Bauwerk besitzt gut verteilte und relativ starre Fassadenteile und Trennwände.	✓
b)	Die Höhe des Bauwerks überschreitet 10 m nicht.	✓
c)	Die Steifigkeit der Decken in ihrer Ebene ist im Vergleich zur horizontalen Steifigkeit der vertikalen trangenden Bauteile ausreichend groß, so dass eine starre Deckenwirkung angenommen werden kann.	✓
d)	Die Mittelpunkte der horizontalen Steifigkeit und Masse liegen näherungsweise auf einer vertikalen Geraden und für beide horizontalen Berechnungsrichtungen gilt: Beben in x-Richtung: r_{y^2} = 6,79² = 46,15 > l_{s^2} + e_{0y^2} = 4,28² + 0,06² = 18,34 Beben in y-Richtung: r_{x^2} = 3,99² = 15,91 > l_{s^2} + e_{0x^2} = 4,28² + 2,36² = 23,90	✗

Das Gebäude erfüllt die Regelmäßigkeitskriterien im Grundriss nach DIN EN 1998-1 4.2.3.2. nicht, aber die besonderen Regelmäßigkeitsbedingungen nach DIN EN 1998-1 4.3.3.1(8) mit Ausnahme von d). Somit können die Berechnungen an zwei ebenen Modellen erfolgen unter Berücksichtigung einer Erhöhung der Einwirkungen um 25% und die Kombination der Hauptrichtungen erfolgt mit der 30%-Regeln nach DIN EN 1998-1 4.3.3.5(3).

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Lasten

Vertikale Lasten

Stockwerk	Eigengew.	zus. st. Last	Verkehrsl. 1	$\psi_{2,1}$	$\psi_{0,1}$	Verkehrsl. 2	$\psi_{2,2}$	$\psi_{0,2}$
	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[-]	[-]	[kN/m²]	[-]	[-]
1	5,00	1,50	2,70	0,30	0,70	0,00	0,00	0,00
2	5,00	3,50	2,70	0,30	0,70	0,45	0,50	0,50

Windlasten

	Positve x-Richtung		Positive y-Richtung	
Stockwerk	Windkräfte x-Richtung	Lastangriffspunkte y	Windkräfte y-Richtung	Lastangriffspunkte x
	[kN]	[cm]	[kN]	[cm]
1	36,55	485,1	30,61	595,0
2	36,16	485,1	30,22	595,0
Σ	72,70		60,84	

	Negative x-Richtung		Negative y-Richtung	
Stockwerk	Windkräfte x-Richtung	Lastangriffspunkte y	Windkräfte y-Richtung	Lastangriffspunkte x
	[kN]	[cm]	[kN]	[cm]
1	36,55	485,1	30,61	595,0
2	36,16	485,1	30,22	595,0
Σ	72,70		60,84	

Für die Ermittlung der Windlasten wurden ein Standort des Gebäudes innerhalb von Windzone 1 und ein Kraftbeiwert cr=2,00 zugrunde gelegt. Zusätzlich wurde eine Schiefstellung gemäß DIN EN 1996-1-1 5.3(2) berücksichtigt.

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Lastverteilung Erdbebenlasten

Zusammenstellung der Stockwerksmassen

Stockwerk	A_G	g_k	q_{k1}	$\psi_{2,1}$	q_{k2}	$\psi_{2,2}$	M_W	φ	M_{St}
	[m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[-]	[kN/m²]	[-]	[t]	[-]	[t]
1	101,92	6,50	2,70	0,30	0,00	0,00	31,20	0,70	104,62
2	101,92	8,50	2,70	0,30	0,45	0,50	15,60	1,00	114,67

Ergebnisse der Modalanalyse

Richtung	T_1	S_d	λ	Masse	F_b*
	[s]	[m/s²]	[-]	[t]	[kN]
x	0,17	0,68	1,00	219,29	**149,28**
y	0,10	0,68	1,00	219,29	**149,28**

** Das Gebäude erfüllt nicht Bedingung d) aus DIN EN 1998-1 4.3.3.1(8). Trotzdem wurden für den Nachweis nach DIN EN 1998-1 4.3.3.1(9) alle Beanspruchungsgrößen infolge Erdbebeneinwirkung nicht mit 1,25 multipliziert.*

Stockwerkskräfte aus massen- und höhenproportionaler Verteilung der Erdbebenlast

	Stockwerk	Stockwerkskräfte [kN] x-Richtung	Stockwerkskräfte [kN] y-Richtung
	2	102,52	102,52
	1	46,77	46,77
	Σ	149,28	149,28

Massenschwerpunkt / Steifigkeitsmittelpunkt

Richtung	Massenschwerpunkt	Steifigkeitsmittelpunkt
	[m]	[m]
x	4,82	2,46
y	5,97	5,91

Ausmitten

	Tatsächliche (e_0)	Zufällige (e_1)	Zusätzliche (e_2)	e_{min}	e_{max}
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
x	2,357	0,485	2,160	0,694	5,003
y	0,060	0,595	0,044	-0,565	0,699

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Wandkennwerte und Festigkeiten

Wandkennwerte und Festigkeiten

Wand		l_W	t	x_S	y_S	α	I_{ew}	EI_{ew}
		[m]	[m]	[m]	[m]	[°]	[m⁴]	[kNm²]
w1		4,91	0,37	0,18	3,44	90,00	2,21	10.710.906
w3		3,32	0,37	0,18	10,06	90,00	0,87	4.187.082
w4		1,12	0,37	0,74	11,72	0,00	0,04	200.295
w5		1,22	0,37	3,71	11,72	0,00	0,05	257.361
w6		1,00	0,37	4,32	11,22	90,00	0,03	143.485
w7		1,60	0,37	5,12	10,72	0,00	0,12	565.360
w8		2,34	0,37	8,35	10,72	0,00	0,34	1.651.152
w9		2,47	0,37	9,52	9,48	90,00	0,40	1.914.661
w10		1,90	0,37	9,52	5,25	90,00	0,19	923.097
w11		1,02	0,37	9,52	0,69	90,00	0,03	152.112
w12		2,32	0,37	8,36	0,18	0,00	0,33	1.612.597
w13		1,60	0,37	5,12	0,18	0,00	0,12	565.360
w14		0,80	0,37	4,32	0,58	90,00	0,02	74.141
w16		0,80	0,37	2,30	0,98	0,00	0,02	74.141
w17		1,01	0,37	0,69	0,98	0,00	0,03	147.758
w18		5,15	0,18	4,32	8,14	90,00	1,18	5.835.299
w19		2,35	0,18	4,32	2,16	90,00	0,17	819.190
w20		2,52	0,18	1,63	5,65	0,00	0,20	991.477
w21		3,57	0,18	7,55	6,11	0,00	0,50	2.466.857

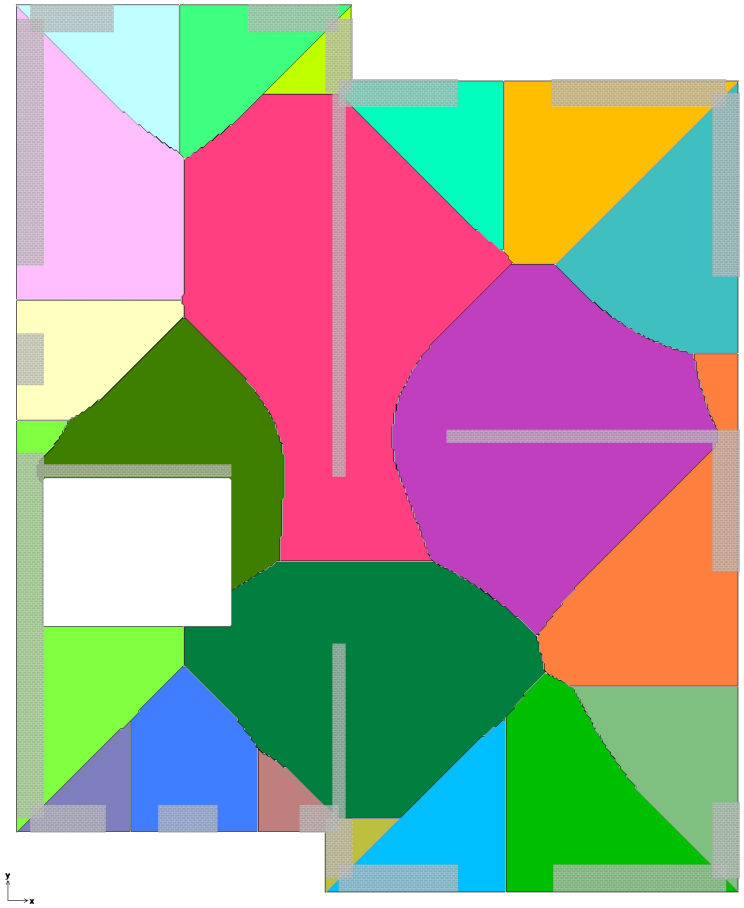
Kennwerte zur Beschreibung der Momentenverteilung

Wand		Mitw. Plattenbr.	Freie Wandl.	ψ Stockwerk 1	ψ Stockwerk 2
		[m]	[m]	[-]	[-]
w1		1,14	0,45	1,35	0,78
w3		0,87	0,45	1,23	0,74
w4		0,58	0,90	0,94	0,63
w5		0,60	0,90	0,95	0,63
w6		0,41	0,01	1,17	0,79
w7		0,61	0,63	1,05	0,68
w8		0,74	0,63	1,14	0,71
w9		0,82	1,00	1,16	0,71
w10		0,99	1,55	0,98	0,61
w11		0,67	1,55	0,82	0,54
w12		0,73	0,60	1,14	0,71
w13		0,61	0,60	1,05	0,68
w14		0,38	0,01	1,21	0,82
w16		0,53	0,55	0,97	0,67
w17		0,47	0,35	1,05	0,72
w18		2,20	0,92	1,39	0,78
w19		1,26	0,92	0,98	0,60
w20		0,71	0,68	1,18	0,73
w21		1,61	0,72	1,20	0,67

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Lasteinzugsflächen



SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Schnittgrößen

Vertikale Lastfälle

Stockwerk 1

vertikale Lastverteilung (Wandfuß)							
Wand	Eigengewicht oberste Deckenplatte	Verkehrslast oberste Deckenplatte	Eigengewicht Dach	Verkehrslast Dach	Eigengewicht Zwischen-decken	Verkehrsl. Zwischen-decken	Eigengewicht Wandscheiben
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
w1	31,17	12,95	9,59	2,16	31,17	12,95	85,44
w2	17,25	7,17	5,31	1,19	17,25	7,17	12,18
w3	41,85	17,38	12,88	2,90	41,85	17,38	57,77
w4	15,35	6,38	4,72	1,06	15,35	6,38	19,49
w5	17,11	7,11	5,27	1,18	17,11	7,11	21,23
w6	4,45	1,85	1,37	0,31	4,45	1,85	17,40
w7	18,23	7,57	5,61	1,26	18,23	7,57	27,84
w8	30,92	12,84	9,51	2,14	30,92	12,84	40,72
w9	33,21	13,80	10,22	2,30	33,21	13,80	42,98
w10	40,72	16,92	12,53	2,82	40,72	16,92	33,06
w11	22,47	9,34	6,92	1,56	22,47	9,34	17,75
w12	33,45	13,90	10,29	2,32	33,45	13,90	40,37
w13	18,89	7,85	5,81	1,31	18,89	7,85	27,84
w14	3,16	1,31	0,97	0,22	3,16	1,31	13,92
w15	4,70	1,95	1,45	0,33	4,70	1,95	9,22
w16	19,87	8,25	6,11	1,38	19,87	8,25	13,92
w17	7,45	3,09	2,29	0,52	7,45	3,09	17,58
w18	106,47	44,22	32,76	7,37	106,47	44,22	42,97
w19	73,85	30,68	22,72	5,11	73,85	30,68	19,61
w20	34,02	14,13	10,47	2,36	34,02	14,13	21,03
w21	87,91	36,51	27,05	6,09	87,91	36,51	29,79

Stockwerk 2

vertikale Lastverteilung (Wandfuß)					
Wand	Eigengewicht oberste Deckenplatte	Verkehrslast oberste Deckenplatte	Eigengewicht Dach	Verkehrslast Dach	Eigengewicht Wandscheiben
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
w1	31,17	12,95	9,59	2,16	42,72
w2	17,25	7,17	5,31	1,19	6,09
w3	41,85	17,38	12,88	2,90	28,89
w4	15,35	6,38	4,72	1,06	9,75
w5	17,11	7,11	5,27	1,18	10,62
w6	4,45	1,85	1,37	0,31	8,70
w7	18,23	7,57	5,61	1,26	13,92
w8	30,92	12,84	9,51	2,14	20,36
w9	33,21	13,80	10,22	2,30	21,49
w10	40,72	16,92	12,53	2,82	16,53
w11	22,47	9,34	6,92	1,56	8,87
w12	33,45	13,90	10,29	2,32	20,19
w13	18,89	7,85	5,81	1,31	13,92
w14	3,16	1,31	0,97	0,22	6,96
w15	4,70	1,95	1,45	0,33	4,61
w16	19,87	8,25	6,11	1,38	6,96
w17	7,45	3,09	2,29	0,52	8,79
w18	106,47	44,22	32,76	7,37	21,48
w19	73,85	30,68	22,72	5,11	9,80
w20	34,02	14,13	10,47	2,36	10,51
w21	87,91	36,51	27,05	6,09	14,89

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Lastfall Erdbeben

Stockwerk 1

	Wandfuß			Wandmitte			Wandkopf		
Wand	N_{Ed}	V_{Ed}	M_{Ed}	N_{Ed}	V_{Ed}	M_{Ed}	N_{Ed}	V_{Ed}	M_{Ed}
	[kN]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]
w1	166,22	60,11	219,75	144,86	60,11	138,60	123,50	60,11	57,46
w3	166,23	23,50	77,79	151,79	23,50	46,07	137,34	23,50	14,35
w4	59,27	4,47	11,31	54,40	4,47	5,27	49,53	4,47	-0,77
w5	65,58	5,75	14,79	60,27	5,75	7,03	54,97	5,75	-0,74
w6	28,93	1,39	4,39	24,58	1,39	2,50	20,23	1,39	0,62
w7	75,08	12,16	34,37	68,12	12,16	17,95	61,16	12,16	1,54
w8	120,84	35,51	109,16	110,66	35,51	61,22	100,48	35,51	13,28
w9	129,06	38,25	119,55	118,31	38,25	67,90	107,57	38,25	16,26
w10	138,60	18,44	48,98	130,34	18,44	24,08	122,07	18,44	-0,81
w11	75,99	3,04	6,72	71,56	3,04	2,62	67,12	3,04	-1,49
w12	127,07	35,45	108,81	116,98	35,45	60,96	106,88	35,45	13,11
w13	76,79	12,43	35,20	69,83	12,43	18,42	62,87	12,43	1,65
w14	22,12	0,72	2,35	18,64	0,72	1,38	15,16	0,72	0,41
w16	65,41	1,58	4,15	61,93	1,58	2,01	58,45	1,58	-0,12
w17	36,87	3,16	8,98	32,48	3,16	4,73	28,09	3,16	0,47
w18	318,88	56,68	213,10	308,14	56,68	136,59	297,40	56,68	60,07
w19	210,99	7,96	20,95	206,09	7,96	10,20	201,19	7,96	-0,54
w20	109,19	17,55	56,02	103,94	17,55	32,33	98,68	17,55	8,64
w21	257,60	43,58	140,73	250,15	43,58	81,90	242,70	43,58	23,07

Horizontalkraftermittlung unter Berücksichtigung der Torsionswirkungen nach DIN EN 1998-1/NA NCI NA.D.4(2)

Ermittlung der Biegemomente unter Berücksichtigung der Kennwerte zur Beschreibung der Momentenverteilung DIN EN 1996-1-1/NA NCI Anhang NA.K (informativ)

Stockwerk 2

	Wandfuß			Wandmitte			Wandkopf		
Wand	N_{Ed}	V_{Ed}	M_{Ed}	N_{Ed}	V_{Ed}	M_{Ed}	N_{Ed}	V_{Ed}	M_{Ed}
	[kN]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]
w1	88,44	41,15	86,68	67,08	41,15	31,12	45,72	41,15	-24,44
w3	90,28	16,09	32,00	75,83	16,09	10,28	61,39	16,09	-11,43
w4	32,26	3,07	5,22	27,39	3,07	1,08	22,52	3,07	-3,07
w5	35,72	3,95	6,75	30,41	3,95	1,42	25,10	3,95	-3,90
w6	15,22	0,96	2,05	10,87	0,96	0,76	6,52	0,96	-0,54
w7	40,66	8,35	15,25	33,70	8,35	3,98	26,74	8,35	-7,28
w8	65,71	24,37	46,79	55,53	24,37	13,88	45,35	24,37	-19,02
w9	70,21	26,36	50,70	59,47	26,36	15,11	48,72	26,36	-20,47
w10	76,27	12,71	20,90	68,01	12,71	3,74	59,74	12,71	-13,41
w11	41,84	2,09	3,05	37,41	2,09	0,23	32,97	2,09	-2,60
w12	69,26	24,37	46,77	59,17	24,37	13,87	49,07	24,37	-19,03
w13	41,63	8,54	15,66	34,67	8,54	4,12	27,71	8,54	-7,41
w14	11,60	0,50	1,09	8,12	0,50	0,42	4,64	0,50	-0,24
w16	36,10	1,09	1,96	32,62	1,09	0,49	29,14	1,09	-0,98
w17	19,71	2,17	4,22	15,32	2,17	1,29	10,92	2,17	-1,63
w18	177,66	38,99	81,69	166,92	38,99	29,05	156,18	38,99	-23,59
w19	118,14	5,47	8,88	113,23	5,47	1,49	108,33	5,47	-5,90
w20	60,42	12,05	23,73	55,16	12,05	7,47	49,91	12,05	-8,80
w21	143,84	29,92	54,21	136,40	29,92	13,81	128,95	29,92	-26,59

Horizontalkraftermittlung unter Berücksichtigung der Torsionswirkungen nach DIN EN 1998-1/NA NCI NA.D.4(2)

Ermittlung der Biegemomente unter Berücksichtigung der Kennwerte zur Beschreibung der Momentenverteilung DIN EN 1996-1-1/NA NCI Anhang NA.K (informativ)

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Windlastfall

Stockwerk 1

	Wandfuß (+)		Wandmitte (+)		Wandfuß (-)		Wandmitte (-)	
Wand	V_{Wk}	M_{Wk}	V_{Wk}	M_{Wk}	V_{Wk}	M_{Wk}	V_{Wk}	M_{Wk}
	[kN]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kNm]
w1	13,17	53,22	13,17	35,44	13,17	53,22	13,17	35,44
w3	5,15	20,81	5,15	13,86	5,15	20,81	5,15	13,86
w4	1,48	5,98	1,48	3,98	1,48	5,98	1,48	3,98
w5	1,90	7,69	1,90	5,12	1,90	7,69	1,90	5,12
w6	0,50	2,01	0,50	1,34	0,50	2,01	0,50	1,34
w7	4,29	17,33	4,29	11,54	4,29	17,33	4,29	11,54
w8	12,52	50,61	12,52	33,71	12,52	50,61	12,52	33,71
w9	11,99	48,47	11,99	32,28	11,99	48,47	11,99	32,28
w10	5,78	23,37	5,78	15,56	5,78	23,37	5,78	15,56
w11	0,95	3,85	0,95	2,56	0,95	3,85	0,95	2,56
w12	15,54	62,84	15,54	41,85	15,54	62,84	15,54	41,85
w13	5,45	22,03	5,45	14,67	5,45	22,03	5,45	14,67
w14	0,26	1,04	0,26	0,69	0,26	1,04	0,26	0,69
w16	0,70	2,84	0,70	1,89	0,70	2,84	0,70	1,89
w17	1,40	5,66	1,40	3,77	1,40	5,66	1,40	3,77
w18	20,20	81,65	20,20	54,37	20,20	81,65	20,20	54,37
w19	2,84	11,46	2,84	7,63	2,84	11,46	2,84	7,63
w20	8,50	34,35	8,50	22,88	8,50	34,35	8,50	22,88
w21	20,92	84,58	20,92	56,34	20,92	84,58	20,92	56,34

Ermittlung der Biegemomente unter Berücksichtigung der Kennwerte zur Beschreibung der Momentenverteilung DIN EN 1996-1-1/NA NCI Anhang NA.K (informativ)

Stockwerk 2

	Wandfuß (+)		Wandmitte (+)		Wandfuß (-)		Wandmitte (-)	
Wand	V_{Wk}	M_{Wk}	V_{Wk}	M_{Wk}	V_{Wk}	M_{Wk}	V_{Wk}	M_{Wk}
	[kN]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kNm]
w1	6,54	17,66	6,54	8,83	6,54	17,66	6,54	8,83
w3	2,56	6,91	2,56	3,45	2,56	6,91	2,56	3,45
w4	0,74	1,99	0,74	0,99	0,74	1,99	0,74	0,99
w5	0,95	2,55	0,95	1,28	0,95	2,55	0,95	1,28
w6	0,25	0,67	0,25	0,33	0,25	0,67	0,25	0,33
w7	2,13	5,76	2,13	2,88	2,13	5,76	2,13	2,88
w8	6,23	16,81	6,23	8,40	6,23	16,81	6,23	8,40
w9	5,96	16,09	5,96	8,04	5,96	16,09	5,96	8,04
w10	2,87	7,76	2,87	3,88	2,87	7,76	2,87	3,88
w11	0,47	1,28	0,47	0,64	0,47	1,28	0,47	0,64
w12	7,73	20,87	7,73	10,44	7,73	20,87	7,73	10,44
w13	2,71	7,32	2,71	3,66	2,71	7,32	2,71	3,66
w14	0,13	0,34	0,13	0,17	0,13	0,34	0,13	0,17
w16	0,35	0,94	0,35	0,47	0,35	0,94	0,35	0,47
w17	0,70	1,88	0,70	0,94	0,70	1,88	0,70	0,94
w18	10,04	27,10	10,04	13,55	10,04	27,10	10,04	13,55
w19	1,41	3,80	1,41	1,90	1,41	3,80	1,41	1,90
w20	4,23	11,41	4,23	5,71	4,23	11,41	4,23	5,71
w21	10,40	28,09	10,40	14,05	10,40	28,09	10,40	14,05

Ermittlung der Biegemomente unter Berücksichtigung der Kennwerte zur Beschreibung der Momentenverteilung DIN EN 1996-1-1/NA NCI Anhang NA.K (informativ)

Effekte aus Theorie II. Ordnung nach DIN EN 1996-1-1 5.4(2) bei Windlasten

Bei Windbeanspruchungen müssen die Effekte der Tragwerksverformung nicht berücksichtigt werden, sofern die lotrechten aussteifenden Bauteile in den Hauptrichtungen des Tragwerks die folgenden Bedingungen erfüllen:

x	$h_{tot} * (N_{Ed} / \sum EI_x)^{0,5} = 0,1086 \leq 0,2 + 0,1 * 2 = 0,40$	

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

y	$h_{tot} * (N_{Ed} / \sum EI_y)^{0,5} = 0,0637 \leq 0,2 + 0,1 * 2 = 0,40$	

Eine Berücksichtigung der Effekte aus Theorie II. Ordnung ist gemäß DIN EN 1996-1-1 5.4(2) für den Windlastfall nicht erforderlich.

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Nachweise

Erdbebenkombination

Stockwerk 1

Nachweis Normalkraft am Wandfuß

Wand	$e_{u,\|\|}$	λ_v	$\Phi_{u,\|\|}$	f_d	N_{Rd}	N_{Ed}	N_{Ed}/N_{Rd}
	[m]	[-]	[-]	[kN/m²]	[kN]	[kN]	[-]
w1	1,322	0,745	0,461	3.666,667	3.032,59	166,22	0,05
w3	0,468	0,997	0,718	3.666,667	3.190,64	166,23	0,05
w4	0,191	2,256	0,659	3.666,667	988,28	59,27	0,06
w5	0,226	2,108	0,630	3.666,667	1.029,17	65,58	0,06
w6	0,152	3,147	0,697	3.666,667	932,48	28,93	0,03
w7	0,458	1,767	0,428	3.666,667	916,12	75,08	0,08
w8	0,903	1,314	0,228	3.666,667	713,85	120,84	0,17
w9	0,926	1,265	0,250	3.666,667	826,24	129,06	0,16
w10	0,353	1,398	0,628	3.666,667	1.596,89	138,60	0,09
w11	0,088	2,167	0,827	3.666,667	1.128,47	75,99	0,07
w12	0,856	1,323	0,262	3.666,667	812,83	127,07	0,16
w13	0,458	1,770	0,427	3.666,667	914,43	76,79	0,08
w14	0,106	4,084	0,734	3.666,667	785,95	22,12	0,03
w16	0,063	3,278	0,841	3.666,667	900,79	65,41	0,07
w17	0,244	2,819	0,517	3.666,667	699,51	36,87	0,05
w18	0,668	0,730	0,740	3.750,000	2.502,58	318,88	0,13
w19	0,099	1,120	0,916	3.750,000	1.411,89	210,99	0,15
w20	0,513	1,267	0,593	3.750,000	980,46	109,19	0,11
w21	0,546	0,905	0,694	3.750,000	1.625,78	257,60	0,16

Nachweis Querkraft am Wandfuß

Wand	f_{vlt1}	f_{vlt2}	f_{vk}	f_{vd}	c	λ_v	l_{cal} | l_c	V_{RdIt}	V_{Ed}	V_{Ed}/V_{RdIt}
	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[-]	[-]	[m]	[kN]	[kN]	[-]
w1	163,593	176,084	163,593	136,327	1,000	0,745	3,399	169,13	60,11	0,36
w3	164,870	176,689	164,870	137,392	1,000	0,997	3,320	166,49	23,50	0,14
w4	168,640	178,462	168,640	140,534	1,500	2,256	1,108	37,88	4,47	0,12
w5	172,306	180,170	172,306	143,588	1,500	2,108	1,153	40,30	5,75	0,14
w6	141,700	165,373	141,700	118,083	1,500	3,147	1,000	28,73	1,39	0,05
w7	190,131	188,253	188,253	156,877	1,383	1,767	1,027	42,50	12,16	0,29
w8	275,520	222,945	222,945	185,788	1,157	1,314	0,800	46,90	35,51	0,76
w9	262,727	218,099	218,099	181,749	1,133	1,265	0,926	54,24	38,25	0,71
w10	194,867	190,343	190,343	158,619	1,199	1,398	1,790	86,43	18,44	0,21
w11	191,647	188,924	188,924	157,437	1,500	2,167	1,020	39,08	3,04	0,08
w12	262,856	218,148	218,148	181,790	1,162	1,323	0,911	52,04	35,45	0,68
w13	192,114	189,131	189,131	157,609	1,385	1,770	1,025	42,56	12,43	0,29
w14	140,302	164,665	140,302	116,918	1,500	4,084	0,800	22,76	0,72	0,03
w16	199,600	192,409	192,409	160,341	1,500	3,278	0,800	31,21	1,58	0,05
w17	161,543	175,109	161,543	134,619	1,500	2,819	0,784	25,68	3,16	0,12
w18	251,528	242,370	242,370	201,975	1,000	0,730	5,150	182,03	56,68	0,31
w19	315,221	267,055	267,055	222,546	1,060	1,120	2,350	86,33	7,96	0,09
w20	221,371	229,759	221,371	184,476	1,133	1,267	2,241	63,83	17,55	0,27
w21	274,927	251,720	251,720	209,767	1,000	0,905	3,570	131,05	43,58	0,33

Nachweis Normalkraft in Wandmitte

Wand	h_{ef}	$e_{m,init,senk}$	$e_{m,k,senk}$	$e_{m,senk}$	$e_{mk,senk}$	$\Phi_{m,senk}$	f_d	N_{Rd}	N_{Ed}	N_{Ed} / N_{Rd}
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]	[kN/m²]	[kN]	[kN]	[-]
w1	2,025	0,005	0,000	0,000	0,018	0,893	3.666,67	5.867,11	144,86	0,02
w3	2,025	0,005	0,000	0,000	0,018	0,893	3.666,67	3.967,17	151,79	0,04
w4	2,025	0,005	0,000	0,000	0,018	0,893	3.666,67	1.338,32	54,40	0,04
w5	2,025	0,005	0,000	0,000	0,018	0,893	3.666,67	1.457,81	60,27	0,04
w6	2,025	0,005	0,000	0,000	0,018	0,893	3.666,67	1.194,93	24,58	0,02
w7	2,025	0,005	0,000	0,000	0,018	0,893	3.666,67	1.911,89	68,12	0,04

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Wand		h_{ef}	$e_{m,init,senk}$	$e_{m,k,senk}$	$e_{m,senk}$	$e_{mk,senk}$	$\Phi_{m,senk}$	f_d	N_{Rd}	N_{Ed}	N_{Ed} / N_{Rd}
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]	[kN/m²]	[kN]	[kN]	[-]
w8		2,025	0,005	0,000	0,000	0,018	0,893	3.666,67	2.796,14	110,66	0,04
w9		2,025	0,005	0,000	0,000	0,018	0,893	3.666,67	2.951,48	118,31	0,04
w10		2,025	0,005	0,000	0,000	0,018	0,893	3.666,67	2.270,37	130,34	0,06
w11		2,025	0,005	0,000	0,000	0,018	0,893	3.666,67	1.218,83	71,56	0,06
w12		2,025	0,005	0,000	0,000	0,018	0,893	3.666,67	2.772,24	116,98	0,04
w13		2,025	0,005	0,000	0,000	0,018	0,893	3.666,67	1.911,89	69,83	0,04
w14		2,025	0,005	0,000	0,000	0,018	0,893	3.666,67	955,94	18,64	0,02
w16		2,025	0,005	0,000	0,000	0,018	0,893	3.666,67	955,94	61,93	0,06
w17		2,025	0,005	0,000	0,000	0,018	0,893	3.666,67	1.206,88	32,48	0,03
w18		2,025	0,005	0,000	0,000	0,009	0,748	3.750,00	2.528,97	308,14	0,12
w19		2,025	0,005	0,000	0,000	0,009	0,748	3.750,00	1.154,00	206,09	0,18
w20		2,025	0,005	0,000	0,000	0,009	0,748	3.750,00	1.237,48	103,94	0,08
w21		2,025	0,005	0,000	0,000	0,009	0,748	3.750,00	1.753,09	250,15	0,14

Nachweise nach DIN EN 1996-1-1/NA NCI Anhang NA.K (informativ) mit: ζ=1,0 und γ_m=1,2

Stockwerk 2

Nachweis Normalkraft am Wandfuß

Wand		$e_{u,\|\|}$	λ_v	$\Phi_{u,\|\|}$	f_d	N_{Rd}	N_{Ed}	N_{Ed}/N_{Rd}
		[m]	[-]	[-]	[kN/m²]	[kN]	[kN]	[-]
w1		0,980	0,429	0,601	3.666,667	3.948,00	88,44	0,02
w3		0,355	0,599	0,786	3.666,667	3.494,38	90,28	0,03
w4		0,162	1,518	0,711	3.666,667	1.065,74	32,26	0,03
w5		0,189	1,402	0,690	3.666,667	1.126,91	35,72	0,03
w6		0,135	2,138	0,731	3.666,667	977,99	15,22	0,02
w7		0,375	1,142	0,531	3.666,667	1.137,28	40,66	0,04
w8		0,712	0,820	0,391	3.666,667	1.225,95	65,71	0,05
w9		0,722	0,779	0,415	3.666,667	1.372,98	70,21	0,05
w10		0,274	0,866	0,712	3.666,667	1.809,45	76,27	0,04
w11		0,073	1,430	0,857	3.666,667	1.169,73	41,84	0,04
w12		0,675	0,827	0,418	3.666,667	1.297,28	69,26	0,05
w13		0,376	1,145	0,530	3.666,667	1.134,63	41,63	0,04
w14		0,094	2,760	0,764	3.666,667	818,32	11,60	0,01
w16		0,054	2,252	0,864	3.666,667	925,29	36,10	0,04
w17		0,214	1,927	0,576	3.666,667	778,42	19,71	0,03
w18		0,460	0,407	0,821	3.750,000	2.776,18	177,66	0,06
w19		0,075	0,690	0,936	3.750,000	1.443,58	118,14	0,08
w20		0,393	0,782	0,688	3.750,000	1.138,17	60,42	0,05
w21		0,377	0,507	0,789	3.750,000	1.848,17	143,84	0,08

Nachweis Querkraft am Wandfuß

Wand		f_{vlt1}	f_{vlt2}	f_{vk}	f_{vd}	c	λ_v	l_{cal} | l_c	V_{Rdlt}	V_{Ed}	V_{Ed}/V_{Rdlt}
		[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[-]	[-]	[m]	[kN]	[kN]	[-]
w1		131,904	160,349	131,904	109,920	1,000	0,429	4,425	177,53	41,15	0,23
w3		139,799	164,410	139,799	116,499	1,000	0,599	3,320	141,17	16,09	0,11
w4		141,568	165,306	141,568	117,973	1,259	1,518	1,120	38,31	3,07	0,08
w5		142,086	165,567	142,086	118,405	1,201	1,402	1,220	43,90	3,95	0,09
w6		126,684	157,606	126,684	105,570	1,500	2,138	1,000	25,69	0,96	0,04
w7		144,956	167,009	144,956	120,797	1,071	1,142	1,275	52,47	8,35	0,16
w8		162,410	175,522	162,410	135,342	1,000	0,820	1,374	67,88	24,37	0,36
w9		160,003	174,373	160,003	133,336	1,000	0,779	1,539	74,89	26,36	0,35
w10		153,992	171,469	153,992	128,327	1,000	0,866	1,900	88,99	12,71	0,14
w11		154,956	171,938	154,956	129,130	1,215	1,430	1,020	39,57	2,09	0,05
w12		162,203	175,423	162,203	135,169	1,000	0,827	1,454	71,73	24,37	0,34
w13		145,875	167,468	145,875	121,562	1,073	1,145	1,272	52,61	8,54	0,16
w14		125,893	157,186	125,893	104,911	1,500	2,760	0,800	20,42	0,50	0,02
w16		159,458	174,112	159,458	132,882	1,500	2,252	0,800	25,87	1,09	0,04
w17		134,760	161,829	134,760	112,300	1,464	1,927	0,872	24,44	2,17	0,09
w18		188,851	215,333	188,851	157,376	1,000	0,407	5,150	141,84	38,99	0,27

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Wand	f_{vlt1}	f_{vlt2}	f_{vk}	f_{vd}	c	λ_v	l_{cal} | l_c	V_{Rdlt}	V_{Ed}	V_{Ed}/V_{Rdlt}
	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[-]	[-]	[m]	[kN]	[kN]	[-]
w19	224,904	231,272	224,904	187,420	1,000	0,690	2,350	77,08	5,47	0,07
w20	164,803	204,011	164,803	137,336	1,000	0,782	2,520	60,57	12,05	0,20
w21	202,097	221,322	202,097	168,414	1,000	0,507	3,570	105,22	29,92	0,28

Nachweis Normalkraft in Wandmitte

Wand	h_{ef}	$e_{m,init,senk}$	$e_{m,k,senk}$	$e_{m,senk}$	$e_{mk,senk}$	$\Phi_{m,senk}$	f_d	N_{Rd}	N_{Ed}	N_{Ed} / N_{Rd}
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]	[kN/m²]	[kN]	[kN]	[-]
w1	2,025	0,005	0,000	0,000	0,018	0,893	3.666,67	5.867,11	67,08	0,01
w3	2,025	0,005	0,000	0,000	0,018	0,893	3.666,67	3.967,17	75,83	0,02
w4	2,025	0,005	0,000	0,000	0,018	0,893	3.666,67	1.338,32	27,39	0,02
w5	2,025	0,005	0,000	0,000	0,018	0,893	3.666,67	1.457,81	30,41	0,02
w6	2,025	0,005	0,000	0,000	0,018	0,893	3.666,67	1.194,93	10,87	0,01
w7	2,025	0,005	0,000	0,000	0,018	0,893	3.666,67	1.911,89	33,70	0,02
w8	2,025	0,005	0,000	0,000	0,018	0,893	3.666,67	2.796,14	55,53	0,02
w9	2,025	0,005	0,000	0,000	0,018	0,893	3.666,67	2.951,48	59,47	0,02
w10	2,025	0,005	0,000	0,000	0,018	0,893	3.666,67	2.270,37	68,01	0,03
w11	2,025	0,005	0,000	0,000	0,018	0,893	3.666,67	1.218,83	37,41	0,03
w12	2,025	0,005	0,000	0,000	0,018	0,893	3.666,67	2.772,24	59,17	0,02
w13	2,025	0,005	0,000	0,000	0,018	0,893	3.666,67	1.911,89	34,67	0,02
w14	2,025	0,005	0,000	0,000	0,018	0,893	3.666,67	955,94	8,12	0,01
w16	2,025	0,005	0,000	0,000	0,018	0,893	3.666,67	955,94	32,62	0,03
w17	2,025	0,005	0,000	0,000	0,018	0,893	3.666,67	1.206,88	15,32	0,01
w18	2,025	0,005	0,000	0,000	0,009	0,748	3.750,00	2.528,97	166,92	0,07
w19	2,025	0,005	0,000	0,000	0,009	0,748	3.750,00	1.154,00	113,23	0,10
w20	2,025	0,005	0,000	0,000	0,009	0,748	3.750,00	1.237,48	55,16	0,04
w21	2,025	0,005	0,000	0,000	0,009	0,748	3.750,00	1.753,09	136,40	0,08

Nachweise nach DIN EN 1996-1-1/NA NCI Anhang NA.K (informativ) mit: ζ=1,0 und γ_m=1,2

Schlankheit (Erdbeben)

Wand	Haltende Wände	Gehalten	Rechn. gehalten	l_w | b | b'	h_{ef}	t_{ef}	$\lambda_{vorh.} = h_{ef} / t_{ef}$	λ_{max}
				[m]	[m]	[mm]	[-]	[-]
w1	-	2	2	4,91	2,03	365,00	5,55	27,00
w3	-	2	2	3,32	2,03	365,00	5,55	27,00
w4	-	2	2	1,12	2,03	365,00	5,55	27,00
w5	-	2	2	1,22	2,03	365,00	5,55	27,00
w6	-	2	2	1,00	2,03	365,00	5,55	27,00
w7	-	2	2	1,60	2,03	365,00	5,55	27,00
w8	-	2	2	2,34	2,03	365,00	5,55	27,00
w9	-	2	2	2,47	2,03	365,00	5,55	27,00
w10	-	2	2	1,90	2,03	365,00	5,55	27,00
w11	-	2	2	1,02	2,03	365,00	5,55	27,00
w12	-	2	2	2,32	2,03	365,00	5,55	27,00
w13	-	2	2	1,60	2,03	365,00	5,55	27,00
w14	-	2	2	0,80	2,03	365,00	5,55	27,00
w16	-	2	2	0,80	2,03	365,00	5,55	27,00
w17	-	2	2	1,01	2,03	365,00	5,55	27,00
w18	-	2	2	5,15	2,03	175,00	11,57	27,00
w19	-	2	2	2,35	2,03	175,00	11,57	27,00
w20	-	2	2	2,52	2,03	175,00	11,57	27,00
w21	-	2	2	3,57	2,03	175,00	11,57	27,00

Ermittlung der Knicklänge nach DIN EN 1996-1-1/NA NCI zu 5.5.1.2

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Ständige und Vorübergehende Kombination

Stockwerk 1

Nachweis Normalkraft am Wandfuß (maßgebende Lastfallkombination)

Wand		LFK	N_{Ed}	V_{Ed}	M_{Ed}	$e_{u,\|\|}$	λ_v	Φ_i	f_d	N_{Rd}	N_{Ed}/N_{Rd}
		[-]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[-]	[-]	[kN/m²]	[kN]	[-]
w1		49	241,26	19,75	79,83	0,331	0,823	0,865	2.493,33	3.866,15	0,06
w3		49	247,05	7,72	31,21	0,126	1,217	0,924	2.493,33	2.791,50	0,09
w4		49	88,32	2,22	8,97	0,102	3,610	0,819	2.493,33	834,38	0,11
w5		49	97,79	2,85	11,53	0,118	3,314	0,807	2.493,33	895,72	0,11
w6		49	41,46	0,75	3,01	0,073	4,041	0,855	2.493,33	777,84	0,05
w7		49	111,22	6,43	25,99	0,234	2,527	0,708	2.493,33	1.030,70	0,11
w8		49	179,87	18,78	75,92	0,422	1,728	0,639	2.493,33	1.361,32	0,13
w9		49	192,20	17,99	72,70	0,378	1,636	0,694	2.493,33	1.559,35	0,12
w10		49	209,15	8,67	35,05	0,168	2,127	0,824	2.493,33	1.424,08	0,15
w11		49	114,75	1,43	5,78	0,050	3,962	0,901	2.493,33	836,65	0,14
w12		120	117,57	23,32	94,26	0,802	1,743	0,309	2.493,33	652,16	0,18
w13		49	113,89	8,17	33,05	0,290	2,527	0,637	2.493,33	927,99	0,12
w14		49	31,57	0,39	1,56	0,049	5,052	0,877	2.493,33	638,35	0,05
w16		49	99,05	1,05	4,26	0,043	5,053	0,892	2.493,33	649,71	0,15
w17		49	53,81	2,10	8,50	0,158	4,003	0,687	2.493,33	631,76	0,09
w18		49	488,09	30,31	122,47	0,251	0,785	0,903	2.550,00	2.074,24	0,24
w19		1	338,60	2,55	10,32	0,030	1,720	0,974	2.550,00	1.021,50	0,33
w20		49	165,82	12,75	51,53	0,311	1,604	0,753	2.550,00	847,19	0,20
w21		49	395,31	31,38	126,87	0,321	1,132	0,820	2.550,00	1.306,67	0,30

Nachweis Querkraft am Wandfuß (maßgebende Lastfallkombination)

Wand		LFK	N_{Ed}	V_{Ed}	M_{Ed}	f_{vlt1}	f_{vlt2}	c	λ_v	l_{cal} | l_c	V_{Rdlt}	V_{Ed}/V_{Rdlt}
		[-]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kN/m²]	[kN/m²]	[-]	[-]	[m]	[kN]	[-]
w1		120	157,37	19,75	79,83	145,12	167,09	1,000	0,823	5,524	195,06	0,10
w3		120	154,35	7,72	31,21	160,95	174,83	1,109	1,217	3,735	131,94	0,06
w4		120	54,91	2,22	8,97	163,73	176,15	1,500	3,610	1,260	33,47	0,07
w5		120	60,72	2,85	11,53	164,55	176,54	1,500	3,314	1,373	36,64	0,08
w6		120	27,66	0,75	3,01	140,32	164,67	1,500	4,041	1,125	25,61	0,03
w7		120	69,90	6,43	25,99	169,64	178,93	1,500	2,527	1,712	47,12	0,14
w8		120	112,07	18,78	75,92	193,11	189,57	1,364	1,728	1,970	66,63	0,28
w9		120	119,63	17,99	72,70	179,67	183,55	1,318	1,636	2,508	83,20	0,22
w10		120	127,04	8,67	35,05	183,28	185,19	1,500	2,127	2,138	63,55	0,14
w11		120	69,61	1,43	5,78	184,79	185,87	1,500	3,962	1,148	34,40	0,04
w12		120	117,57	23,32	94,26	229,87	205,13	1,371	1,743	1,433	52,16	0,45
w13		120	71,43	8,17	33,05	187,34	187,01	1,500	2,527	1,349	40,93	0,20
w14		120	21,22	0,39	1,56	139,07	164,04	1,500	5,052	0,900	20,30	0,02
w16		120	59,77	1,05	4,26	191,88	189,03	1,500	5,053	0,900	27,60	0,04
w17		120	34,76	2,10	8,50	158,73	173,76	1,500	4,003	1,042	26,83	0,08
w18		120	288,66	30,31	122,47	238,12	236,84	1,000	0,785	5,794	160,09	0,19
w19		120	190,03	4,25	17,19	294,83	259,41	1,360	1,720	2,644	58,84	0,07
w20		120	99,54	12,75	51,53	212,17	225,77	1,302	1,604	2,835	53,89	0,24
w21		120	232,64	31,38	126,87	258,95	245,38	1,066	1,132	4,016	107,83	0,29

Nachweis Normalkraft in Wandmitte (maßgebende Lastfallkombination)

Wand		LFK	N_{Ed}	V_{Ed}	M_{Ed}	h_{ef}	$e_{m,init,senk}$	$e_{m,senk}$	$e_{mk,senk}$	$\Phi_{m,senk}$	f_d	N_{Rd}	N_{Ed} / N_{Rd}
		[-]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]	[kN/m²]	[kN]	[-]
w1		1	218,25	11,85	31,90	2,025	0,005	0,000	0,018	0,893	2.493,33	3.989,63	0,05
w3		1	235,37	4,63	12,47	2,025	0,005	0,000	0,018	0,893	2.493,33	2.697,67	0,09
w4		1	84,61	1,33	3,59	2,025	0,005	0,000	0,018	0,893	2.493,33	910,06	0,09
w5		1	93,83	1,71	4,61	2,025	0,005	0,000	0,018	0,893	2.493,33	991,31	0,09
w6		1	36,41	0,45	1,20	2,025	0,005	0,000	0,018	0,893	2.493,33	812,55	0,04
w7		1	105,23	3,86	10,39	2,025	0,005	0,000	0,018	0,893	2.493,33	1.300,08	0,08
w8		1	171,90	11,27	30,34	2,025	0,005	0,000	0,018	0,893	2.493,33	1.901,37	0,09

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Wand		LFK	N_{Ed}	V_{Ed}	M_{Ed}	h_{ef}	$e_{m,init,senk}$	$e_{m,senk}$	$e_{mk,senk}$	$\Phi_{m,senk}$	f_d	N_{Rd}	N_{Ed} / N_{Rd}
		[-]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]	[kN/m²]	[kN]	[-]
w9		1	183,90	10,79	29,05	2,025	0,005	0,000	0,018	0,893	2.493,33	2.007,00	0,09
w10		1	205,60	5,20	14,01	2,025	0,005	0,000	0,018	0,893	2.493,33	1.543,85	0,13
w11		1	112,96	0,86	2,31	2,025	0,005	0,000	0,018	0,893	2.493,33	828,80	0,14
w12		1	182,27	13,99	37,67	2,025	0,005	0,000	0,018	0,893	2.493,33	1.885,12	0,10
w13		1	108,03	4,90	13,21	2,025	0,005	0,000	0,018	0,893	2.493,33	1.300,08	0,08
w14		1	27,47	0,23	0,62	2,025	0,005	0,000	0,018	0,893	2.493,33	650,04	0,04
w16		1	98,06	0,63	1,70	2,025	0,005	0,000	0,018	0,893	2.493,33	650,04	0,15
w17		1	49,27	1,26	3,40	2,025	0,005	0,000	0,018	0,893	2.493,33	820,68	0,06
w18		1	493,49	18,18	48,94	2,025	0,005	0,000	0,009	0,748	2.550,00	1.719,70	0,29
w19		1	331,98	2,55	6,87	2,025	0,005	0,000	0,009	0,748	2.550,00	784,72	0,42
w20		1	165,08	7,65	20,59	2,025	0,005	0,000	0,009	0,748	2.550,00	841,48	0,20
w21		1	401,69	18,83	50,70	2,025	0,005	0,000	0,009	0,748	2.550,00	1.192,10	0,34

Randdehnungsnachweis am Wandfuß (maßgebende Lastfallkombination)

Wand		LFK	N_{Ed}	V_{Ed}	M_{Ed}	$e_{u,II}$	l_w / 6	Nachw. erf.	ε_d	ε_r	ε_{max}	ε_r / ε_{max}
		[-]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
w1		129	180,46	7,90	31,93	0,18	0,82	Nein	-	-	-	-
w3		129	185,35	3,09	12,48	0,07	0,55	Nein	-	-	-	-
w4		129	66,28	0,89	3,59	0,05	0,19	Nein	-	-	-	-
w5		129	73,40	1,14	4,61	0,06	0,20	Nein	-	-	-	-
w6		129	30,96	0,30	1,20	0,04	0,17	Nein	-	-	-	-
w7		129	83,41	2,57	10,40	0,12	0,27	Nein	-	-	-	-
w8		129	134,97	7,51	30,37	0,22	0,39	Nein	-	-	-	-
w9		129	144,23	7,20	29,08	0,20	0,41	Nein	-	-	-	-
w10		129	157,21	3,47	14,02	0,09	0,32	Nein	-	-	-	-
w11		129	86,26	0,57	2,31	0,03	0,17	Nein	-	-	-	-
w12		132	138,19	15,54	62,84	0,45	0,39	Ja	0,000074	0,000007	0,000100	0,071
w13		129	85,42	3,27	13,22	0,15	0,27	Nein	-	-	-	-
w14		129	23,57	0,15	0,62	0,03	0,13	Nein	-	-	-	-
w16		129	74,49	0,42	1,71	0,02	0,13	Nein	-	-	-	-
w17		129	40,28	0,84	3,40	0,08	0,17	Nein	-	-	-	-
w18		129	367,53	12,12	48,99	0,13	0,86	Nein	-	-	-	-
w19		129	244,74	1,70	6,88	0,03	0,39	Nein	-	-	-	-
w20		129	124,74	5,10	20,61	0,17	0,42	Nein	-	-	-	-
w21		129	297,76	12,55	50,75	0,17	0,60	Nein	-	-	-	-

Nachweise nach DIN EN 1996-1-1/NA NCI Anhang NA.K (informativ) mit: ζ=0,85 und γ_m=1,5

Stockwerk 2

Nachweis Normalkraft am Wandfuß (maßgebende Lastfallkombination)

Wand		LFK	N_{Ed}	V_{Ed}	M_{Ed}	$e_{u,II}$	λ_v	Φ_i	f_d	N_{Rd}	N_{Ed}/N_{Rd}
		[-]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[-]	[-]	[kN/m²]	[kN]	[-]
w1		1	133,74	5,89	15,90	0,119	0,550	0,952	2.493,33	4.252,06	0,03
w3		1	141,13	2,30	6,21	0,044	0,813	0,973	2.493,33	2.941,27	0,05
w4		1	50,62	0,66	1,79	0,035	2,411	0,937	2.493,33	954,98	0,05
w5		1	56,09	0,85	2,30	0,041	2,213	0,933	2.493,33	1.035,74	0,05
w6		17	21,77	0,37	1,00	0,046	2,700	0,908	2.493,33	826,49	0,03
w7		17	59,87	3,20	8,63	0,144	1,688	0,820	2.493,33	1.193,62	0,05
w8		17	97,16	9,34	25,21	0,260	1,154	0,778	2.493,33	1.657,18	0,06
w9		17	103,86	8,94	24,13	0,232	1,093	0,812	2.493,33	1.824,97	0,06
w10		1	121,70	2,59	6,98	0,057	1,421	0,940	2.493,33	1.624,73	0,07
w11		1	66,83	0,43	1,15	0,017	2,647	0,966	2.493,33	896,94	0,07
w12		17	102,64	11,60	31,31	0,305	1,164	0,737	2.493,33	1.556,18	0,07
w13		17	61,36	4,07	10,98	0,179	1,688	0,776	2.493,33	1.130,53	0,05
w14		1	17,12	0,11	0,31	0,018	3,375	0,955	2.493,33	695,10	0,02
w16		1	57,88	0,31	0,85	0,015	3,375	0,963	2.493,33	701,34	0,08
w17		17	28,64	1,05	2,82	0,099	2,673	0,805	2.493,33	739,85	0,04

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Wand	LFK	N_{Ed}	V_{Ed}	M_{Ed}	$e_{u,\|\|}$	λ_v	Φ_i	f_d	N_{Rd}	N_{Ed}/N_{Rd}
	[-]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[-]	[-]	[kN/m²]	[kN]	[-]
w18	1	288,82	9,03	24,39	0,084	0,524	0,967	2.550,00	2.222,82	0,13
w19	1	193,46	1,27	3,42	0,018	1,149	0,985	2.550,00	1.032,89	0,19
w20	17	90,86	6,34	17,12	0,188	1,071	0,850	2.550,00	956,43	0,09
w21	1	234,63	9,36	25,28	0,108	0,756	0,940	2.550,00	1.496,94	0,16

Nachweis Querkraft am Wandfuß (maßgebende Lastfallkombination)

Wand	LFK	N_{Ed}	V_{Ed}	M_{Ed}	f_{vlt1}	f_{vlt2}	c	λ_v	l_{cal} | l_c	V_{Rdlt}	V_{Ed}/V_{Rdlt}
	[-]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kN/m²]	[kN/m²]	[-]	[-]	[m]	[kN]	[-]
w1	44	83,48	9,81	26,50	128,63	158,63	1,000	0,550	5,524	172,90	0,06
w3	44	83,61	3,84	10,36	137,60	163,29	1,000	0,813	3,735	125,06	0,03
w4	44	29,82	1,10	2,98	139,18	164,09	1,500	2,411	1,260	28,45	0,04
w5	44	32,99	1,42	3,83	139,64	164,33	1,500	2,213	1,373	31,09	0,05
w6	44	14,52	0,37	1,00	125,91	157,19	1,500	2,700	1,125	22,98	0,02
w7	44	37,76	3,20	8,63	135,86	162,40	1,344	1,688	1,800	44,28	0,07
w8	44	60,79	9,34	25,21	139,40	164,21	1,077	1,154	2,633	82,92	0,11
w9	44	64,92	8,94	24,13	138,81	163,90	1,047	1,093	2,779	89,68	0,10
w10	44	69,79	4,31	11,63	150,25	169,64	1,211	1,421	2,138	64,56	0,07
w11	44	38,26	0,71	1,92	151,11	170,06	1,500	2,647	1,148	28,13	0,03
w12	44	63,93	11,60	31,31	144,84	166,95	1,082	1,164	2,610	85,03	0,14
w13	44	38,62	4,07	10,98	137,35	163,16	1,344	1,688	1,800	44,77	0,09
w14	44	11,10	0,19	0,52	125,20	156,82	1,500	3,375	0,900	18,28	0,01
w16	44	32,94	0,52	1,42	155,12	172,02	1,500	3,375	0,900	22,65	0,02
w17	44	18,53	1,05	2,82	130,10	159,41	1,500	2,673	1,136	23,98	0,04
w18	44	160,71	15,06	40,65	181,33	211,86	1,000	0,524	5,794	122,57	0,12
w19	44	106,38	2,11	5,71	213,47	226,34	1,074	1,149	2,644	61,28	0,03
w20	44	55,00	6,34	17,12	159,89	201,62	1,036	1,071	2,835	51,06	0,12
w21	44	129,85	15,61	42,14	193,13	217,29	1,000	0,756	4,016	90,50	0,17

Nachweis Normalkraft in Wandmitte (maßgebende Lastfallkombination)

Wand	LFK	N_{Ed}	V_{Ed}	M_{Ed}	h_{ef}	$e_{m,init,senk}$	$e_{m,senk}$	$e_{mk,senk}$	$\Phi_{m,senk}$	f_d	N_{Rd}	N_{Ed} / N_{Rd}
	[-]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]	[kN/m²]	[kN]	[-]
w1	1	104,90	5,89	7,95	2,025	0,005	0,000	0,018	0,893	2.493,33	3.989,63	0,03
w3	1	121,63	2,30	3,11	2,025	0,005	0,000	0,018	0,893	2.493,33	2.697,67	0,05
w4	1	44,04	0,66	0,89	2,025	0,005	0,000	0,018	0,893	2.493,33	910,06	0,05
w5	1	48,93	0,85	1,15	2,025	0,005	0,000	0,018	0,893	2.493,33	991,31	0,05
w6	1	16,73	0,22	0,30	2,025	0,005	0,000	0,018	0,893	2.493,33	812,55	0,02
w7	1	53,88	1,92	2,59	2,025	0,005	0,000	0,018	0,893	2.493,33	1.300,08	0,04
w8	1	89,19	5,60	7,56	2,025	0,005	0,000	0,018	0,893	2.493,33	1.901,37	0,05
w9	1	95,56	5,36	7,24	2,025	0,005	0,000	0,018	0,893	2.493,33	2.007,00	0,05
w10	1	110,54	2,59	3,49	2,025	0,005	0,000	0,018	0,893	2.493,33	1.543,85	0,07
w11	1	60,84	0,43	0,58	2,025	0,005	0,000	0,018	0,893	2.493,33	828,80	0,07
w12	1	95,27	6,96	9,39	2,025	0,005	0,000	0,018	0,893	2.493,33	1.885,12	0,05
w13	1	55,49	2,44	3,29	2,025	0,005	0,000	0,018	0,893	2.493,33	1.300,08	0,04
w14	1	12,42	0,11	0,15	2,025	0,005	0,000	0,018	0,893	2.493,33	650,04	0,02
w16	1	53,18	0,31	0,42	2,025	0,005	0,000	0,018	0,893	2.493,33	650,04	0,08
w17	1	24,10	0,63	0,85	2,025	0,005	0,000	0,018	0,893	2.493,33	820,68	0,03
w18	1	274,32	9,03	12,19	2,025	0,005	0,000	0,009	0,748	2.550,00	1.719,70	0,16
w19	1	186,84	1,27	1,71	2,025	0,005	0,000	0,009	0,748	2.550,00	784,72	0,24
w20	1	90,12	3,80	5,13	2,025	0,005	0,000	0,009	0,748	2.550,00	841,48	0,11
w21	1	224,58	9,36	12,64	2,025	0,005	0,000	0,009	0,748	2.550,00	1.192,10	0,19

Randdehnungsnachweis am Wandfuß (maßgebende Lastfallkombination)

Wand	LFK	N_{Ed}	V_{Ed}	M_{Ed}	$e_{u,\|\|}$	l_w / 6	Nachw. erf.	ε_d	ε_r	ε_{max}	ε_r / ε_{max}
	[-]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
w1	49	97,51	3,93	10,60	0,11	0,82	Nein	-	-	-	-
w3	49	102,45	1,53	4,14	0,04	0,55	Nein	-	-	-	-

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Wand		LFK	N_{Ed}	V_{Ed}	M_{Ed}	$e_{u,\|\|}$	l_w / 6	Nachw. erf.	ε_d	ε_r	ε_{max}	ε_r / ε_{max}
		[-]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
w4		49	36,73	0,44	1,19	0,03	0,19	Nein	-	-	-	-
w5		49	40,70	0,57	1,53	0,04	0,20	Nein	-	-	-	-
w6		49	16,52	0,15	0,40	0,02	0,17	Nein	-	-	-	-
w7		49	45,96	1,28	3,45	0,08	0,27	Nein	-	-	-	-
w8		49	74,70	3,74	10,09	0,14	0,39	Nein	-	-	-	-
w9		49	79,87	3,57	9,65	0,12	0,41	Nein	-	-	-	-
w10		49	88,11	1,72	4,65	0,05	0,32	Nein	-	-	-	-
w11		49	48,38	0,28	0,77	0,02	0,17	Nein	-	-	-	-
w12		49	78,99	4,64	12,52	0,16	0,39	Nein	-	-	-	-
w13		49	47,12	1,63	4,39	0,09	0,27	Nein	-	-	-	-
w14		49	12,52	0,08	0,21	0,02	0,13	Nein	-	-	-	-
w16		49	41,88	0,21	0,57	0,01	0,13	Nein	-	-	-	-
w17		49	21,88	0,42	1,13	0,05	0,17	Nein	-	-	-	-
w18		49	208,62	6,02	16,26	0,08	0,86	Nein	-	-	-	-
w19		49	139,61	0,85	2,28	0,02	0,39	Nein	-	-	-	-
w20		49	70,31	2,54	6,85	0,10	0,42	Nein	-	-	-	-
w21		49	169,40	6,24	16,86	0,10	0,60	Nein	-	-	-	-

Nachweise nach DIN EN 1996-1-1/NA NCI Anhang NA.K (informativ) mit: ζ=0,85 und γ_m=1,5

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Deckenbemessung für Rahmentragwirkung (Erdbebenkombination)

Nachweise nach DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA mit γ_c=1,50 und γ_s=1,15

Biegebewehrung

Stockwerk 1

Wand	b_m	ΔM	$M_{Ed,max}$	$M_{Ed,min}$	erf. A_{s1}	erf. A_{s2}	erf. a_{s1}	erf. a_{s2}
[-]	[m]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[cm²]	[cm²]	[cm²/m]	[cm²/m]
w1	1,14	29,22	9,11	-8,73	1,25	1,20	1,10	1,05
w3	0,87	17,65	4,64	-4,02	0,64	0,55	0,73	0,63
w4	0,58	6,00	1,63	-2,09	0,22	0,29	0,38	0,49
w5	0,60	7,49	2,00	-2,40	0,27	0,33	0,46	0,55
w6	0,41	1,43	0,19	-0,13	0,03	0,02	0,06	0,04
w7	0,61	13,71	3,11	-2,68	0,43	0,37	0,69	0,60
w8	0,74	33,51	6,80	-5,15	0,94	0,71	1,27	0,96
w9	0,82	34,44	8,39	-7,50	1,16	1,03	1,41	1,25
w10	0,99	21,71	6,62	-8,74	0,91	1,20	0,92	1,22
w11	0,67	4,54	1,15	-3,33	0,16	0,46	0,23	0,68
w12	0,73	33,67	6,72	-5,01	0,92	0,69	1,27	0,94
w13	0,61	14,01	3,12	-2,64	0,43	0,36	0,70	0,59
w14	0,38	0,69	0,10	-0,07	0,01	0,01	0,04	0,03
w16	0,53	2,08	0,61	-0,72	0,08	0,10	0,16	0,19
w17	0,47	3,76	0,84	-0,70	0,11	0,10	0,24	0,20
w18	2,20	21,62	19,00	-20,82	2,61	2,86	1,19	1,30
w19	1,26	9,41	4,87	-5,02	0,67	0,69	0,53	0,54
w20	0,71	15,09	4,00	-3,42	0,55	0,47	0,77	0,66
w21	1,61	31,14	10,64	-9,84	1,46	1,35	0,91	0,84

Stockwerk 2

Wand	b_m	ΔM	$M_{Ed,max}$	$M_{Ed,min}$	erf. A_{s1}	erf. A_{s2}	erf. a_{s1}	erf. a_{s2}
[-]	[m]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[cm²]	[cm²]	[cm²/m]	[cm²/m]
w1	1,14	24,44	10,23	-10,61	1,41	1,46	1,24	1,28
w3	0,87	11,43	4,51	-4,45	0,62	0,61	0,71	0,70
w4	0,58	3,07	1,27	-1,73	0,17	0,24	0,30	0,41
w5	0,60	3,90	1,55	-1,98	0,21	0,27	0,35	0,45
w6	0,41	0,54	0,13	-0,13	0,02	0,02	0,04	0,04
w7	0,61	7,28	2,21	-2,08	0,30	0,28	0,49	0,46
w8	0,74	19,02	4,90	-4,14	0,67	0,57	0,91	0,77
w9	0,82	20,47	6,66	-6,44	0,92	0,88	1,11	1,08
w10	0,99	13,41	5,95	-8,27	0,82	1,14	0,83	1,15
w11	0,67	2,60	0,96	-3,39	0,13	0,46	0,20	0,69
w12	0,73	19,03	4,78	-3,99	0,66	0,55	0,90	0,75
w13	0,61	7,41	2,19	-2,03	0,30	0,28	0,49	0,45
w14	0,38	0,24	0,07	-0,07	0,01	0,01	0,02	0,03
w16	0,53	0,98	0,49	-0,61	0,07	0,08	0,13	0,16
w17	0,47	1,63	0,54	-0,51	0,07	0,07	0,16	0,15
w18	2,20	23,59	24,12	-26,78	3,33	3,70	1,51	1,68
w19	1,26	5,90	5,30	-5,70	0,72	0,78	0,57	0,62
w20	0,71	8,80	3,47	-3,32	0,47	0,45	0,67	0,64
w21	1,61	26,59	11,79	-11,61	1,62	1,59	1,01	0,99

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Durchstanzbewehrung

Stockwerk 1

Wand	ρ_l	β^*	u_1	$v_{Rd,c}$	V_{Ed}	v_{Ed}	v_{Ed} / $v_{Rd,c}$	zus. Bewehrung
[-]	[%]	[-]	[cm]	[kN/m²]	[kN]	[kN/m²]	[-]	[j/n]
w1	0,00	1,20	104,41	494,97	5,95	40,23	0,08	Nein
w3	0,00	1,20	104,41	494,97	5,32	35,95	0,07	Nein
w4	0,00	1,20	104,41	494,97	5,35	36,19	0,07	Nein
w5	0,00	1,20	104,41	494,97	6,14	41,48	0,08	Nein
w6	0,00	1,20	104,41	494,97	1,43	9,64	0,02	Nein
w7	0,00	1,20	104,41	494,97	8,57	57,95	0,12	Nein
w8	0,00	1,20	104,41	494,97	14,32	96,81	0,20	Nein
w9	0,00	1,20	104,41	494,97	13,94	94,26	0,19	Nein
w10	0,00	1,20	104,41	494,97	11,43	77,26	0,16	Nein
w11	0,00	1,20	104,41	494,97	4,45	30,10	0,06	Nein
w12	0,00	1,20	104,41	494,97	14,51	98,11	0,20	Nein
w13	0,00	1,20	104,41	494,97	8,76	59,20	0,12	Nein
w14	0,00	1,20	104,41	494,97	0,86	5,79	0,01	Nein
w16	0,00	1,20	104,41	494,97	2,61	17,62	0,04	Nein
w17	0,00	1,20	104,41	494,97	3,72	25,14	0,05	Nein
w18	0,00	1,20	88,41	494,97	4,20	33,52	0,07	Nein
w19	0,00	1,20	88,41	494,97	4,01	31,98	0,06	Nein
w20	0,00	1,20	88,41	494,97	5,99	47,82	0,10	Nein
w21	0,00	1,20	88,41	494,97	8,72	69,65	0,14	Nein

Stockwerk 2

Wand	ρ_l	β^*	u_1	$v_{Rd,c}$	V_{Ed}	v_{Ed}	v_{Ed} / $v_{Rd,c}$	zus. Bewehrung
[-]	[%]	[-]	[cm]	[kN/m²]	[kN]	[kN/m²]	[-]	[j/n]
w1	0,00	1,20	104,41	494,97	4,98	33,65	0,07	Nein
w3	0,00	1,20	104,41	494,97	3,44	23,29	0,05	Nein
w4	0,00	1,20	104,41	494,97	2,74	18,54	0,04	Nein
w5	0,00	1,20	104,41	494,97	3,20	21,64	0,04	Nein
w6	0,00	1,20	104,41	494,97	0,54	3,65	0,01	Nein
w7	0,00	1,20	104,41	494,97	4,55	30,77	0,06	Nein
w8	0,00	1,20	104,41	494,97	8,13	54,96	0,11	Nein
w9	0,00	1,20	104,41	494,97	8,29	56,03	0,11	Nein
w10	0,00	1,20	104,41	494,97	7,06	47,73	0,10	Nein
w11	0,00	1,20	104,41	494,97	2,55	17,23	0,03	Nein
w12	0,00	1,20	104,41	494,97	8,20	55,46	0,11	Nein
w13	0,00	1,20	104,41	494,97	4,63	31,33	0,06	Nein
w14	0,00	1,20	104,41	494,97	0,30	2,06	0,00	Nein
w16	0,00	1,20	104,41	494,97	1,22	8,26	0,02	Nein
w17	0,00	1,20	104,41	494,97	1,62	10,94	0,02	Nein
w18	0,00	1,20	88,41	494,97	4,58	36,57	0,07	Nein
w19	0,00	1,20	88,41	494,97	2,51	20,06	0,04	Nein
w20	0,00	1,20	88,41	494,97	3,49	27,88	0,06	Nein
w21	0,00	1,20	88,41	494,97	7,45	59,46	0,12	Nein

**: Aufgrund der Verwendung von DIN EN 1996-1-1/NA, Anhang K (informativ) ist eine Bemessung der Decke für die Zusatzbeanspruchung erforderlich. Vereinfacht erfolgt an dieser Stelle eine Überprüfung des Durchstanzwiderstandes der Deckenplatte ohne Durchstanzbewehrung nach DIN EN 1992-1-1/NA ohne Ansatz der Längsbewehrung. Hierbei wird für jede Wand automatisch der ungünstigere Fall der Auflagerfläche (Wandecke oder -ende) in Kombination mit dem zugehörigen kritischen Rundschnitt angesetzt.*

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Zusammenfassung LF Erdbeben

Stockwerk 1

Wand	Fehlgeschlagene Nachweise
w1	keine
w3	keine
w4	keine
w5	keine
w6	keine
w7	keine
w8	keine
w9	keine
w10	keine
w11	keine
w12	keine
w13	keine
w14	keine
w16	keine
w17	keine
w18	keine
w19	keine
w20	keine
w21	keine

Stockwerk 2

Wand	Fehlgeschlagene Nachweise
w1	keine
w3	keine
w4	keine
w5	keine
w6	keine
w7	keine
w8	keine
w9	keine
w10	keine
w11	keine
w12	keine
w13	keine
w14	keine
w16	keine
w17	keine
w18	keine
w19	keine
w20	keine
w21	keine

Der rechnerische Nachweis nach DIN EN 1998-1 und DIN EN 1998-1/NA in Kombination mit DIN EN 1996-1-1 und DIN EN 1996-1-1/NA ist für den Lastfall Erdbeben erbracht.

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Zusammenfassung LF Ständig und Vorübergehend

Stockwerk 1

Wand	Fehlgeschlagene Nachweise
w1	keine
w3	keine
w4	keine
w5	keine
w6	keine
w7	keine
w8	keine
w9	keine
w10	keine
w11	keine
w12	keine
w13	keine
w14	keine
w16	keine
w17	keine
w18	keine
w19	keine
w20	keine
w21	keine

Stockwerk 2

Wand	Fehlgeschlagene Nachweise
w1	keine
w3	keine
w4	keine
w5	keine
w6	keine
w7	keine
w8	keine
w9	keine
w10	keine
w11	keine
w12	keine
w13	keine
w14	keine
w16	keine
w17	keine
w18	keine
w19	keine
w20	keine
w21	keine

Der rechnerische Nachweis nach DIN EN 1996-1-1 in Kombination mit der DIN EN 1996-1-1/NA ist für den Lastfall Ständig und Vorübergehend erbracht.

6.4 DIN EN 1998-1 in Kombination mit DIN EN 1996-1-1 (3D) [x64]

6.4.1 Systembeschreibung

Der Programmablauf mit allen nötigen Eingaben wird im Folgenden anhand eines einfachen Beispiels in Mischbauweise demonstriert. Gewählt wurde das in den beiden nachfolgenden Abbildungen im Grundriss dargestellte Reihenhaus (vgl. mit dem vorherigen Beispiel aus Abschnitt 6.1). Das Gebäude weist 2 Vollgeschosse mit einer Geschosshöhe von $h = 2{,}80$ m auf.

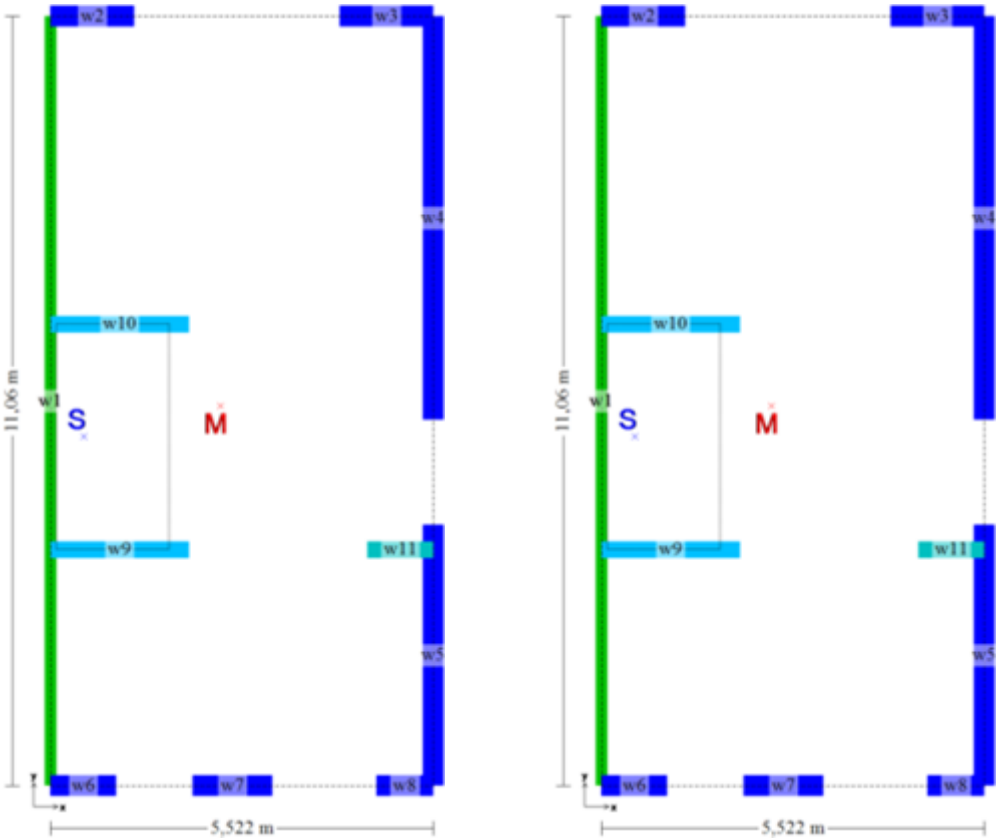


Abbildung 6.38: Grundriss des Erdgeschosses (links) sowie des Obergeschosses (rechts)

Der Nachweis wird nach DIN EN 1998-1/NA-DE in Verbindung mit DIN EN 1996-1-1/NA-DE durchgeführt.

6.4.2 Eingabedaten

Die Eingabe gliedert sich in drei Arbeitsschritte. Im ersten Schritt werden die Gebäudedaten, im zweiten Schritt die Erdbebendaten und zuletzt die Geometriedaten definiert.

Eingabe der Norm und Gebäudedaten

- Normen: DIN EN 1998-1/NA-DE und DIN EN 1996-1-1/NA-DE
- Stockwerke: 2 Stockwerke mit $h = 280$ cm
- Bedeutungskategorie: Gewöhnliche Bauten (Kategorie II)

- Verhaltensbeiwerte: Verhaltensbeiwert q für x-Richtung und y-Richtung jeweils 1,5

Eingabe der Erdbebendaten

Definition des elastischen Antwortspektrums durch Benutzung der Datenbank für die Spektrale Antwortbeschleunigung auf Fels in Deutschland. Für dieses Beispiel wird die Option **Adresse suchen** verwendet:

- Ort: Stuttgart
- Untergrundverhältnis: C-R

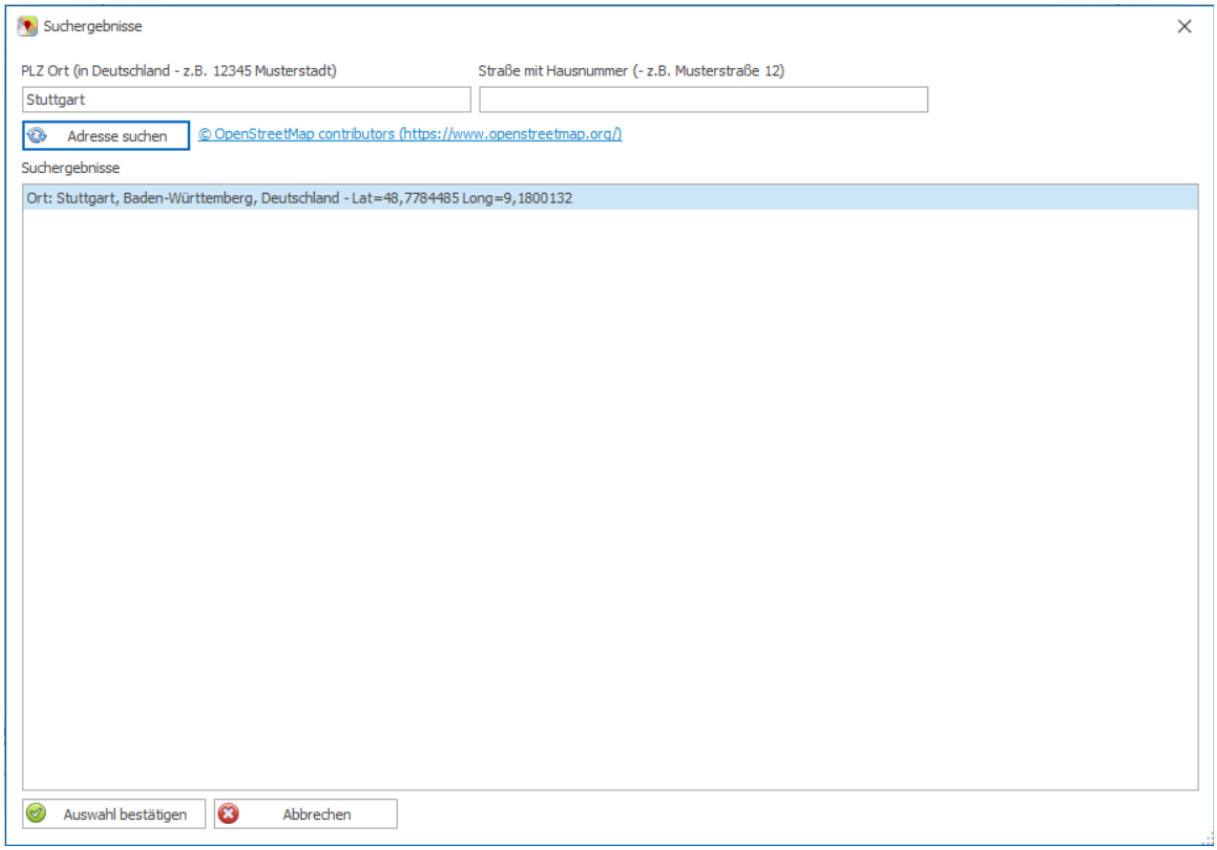


Abbildung 6.39: Auswahl der Erdbebendaten über die Option **Adresse suchen**

Alternativ kann der Ort durch die interaktive Karte oder durch die Eingabe der Koordinaten definiert werden. Darüber hinaus kann das Antwortspektrum durch die Vorgabe eines ortunabhängigen Wertes der Antwortbeschleunigung $S_{aP,R}$ definiert werden.

Eingabe der Netz- und Berechnungsparameter

Die Netz- und Berechnungsparameter werden wir folgt definiert:

Eingabe der Geometriedaten

Im ersten Schritt der Eingabe der Geometriedaten werden die Koordinaten, die Wanddicken und die Steindruckfestigkeitsklasse der Wandscheiben definiert. Die Wandkoordinaten für das Erdgeschoss und das Obergeschoss sind in den folgenden Fenstern dargestellt:

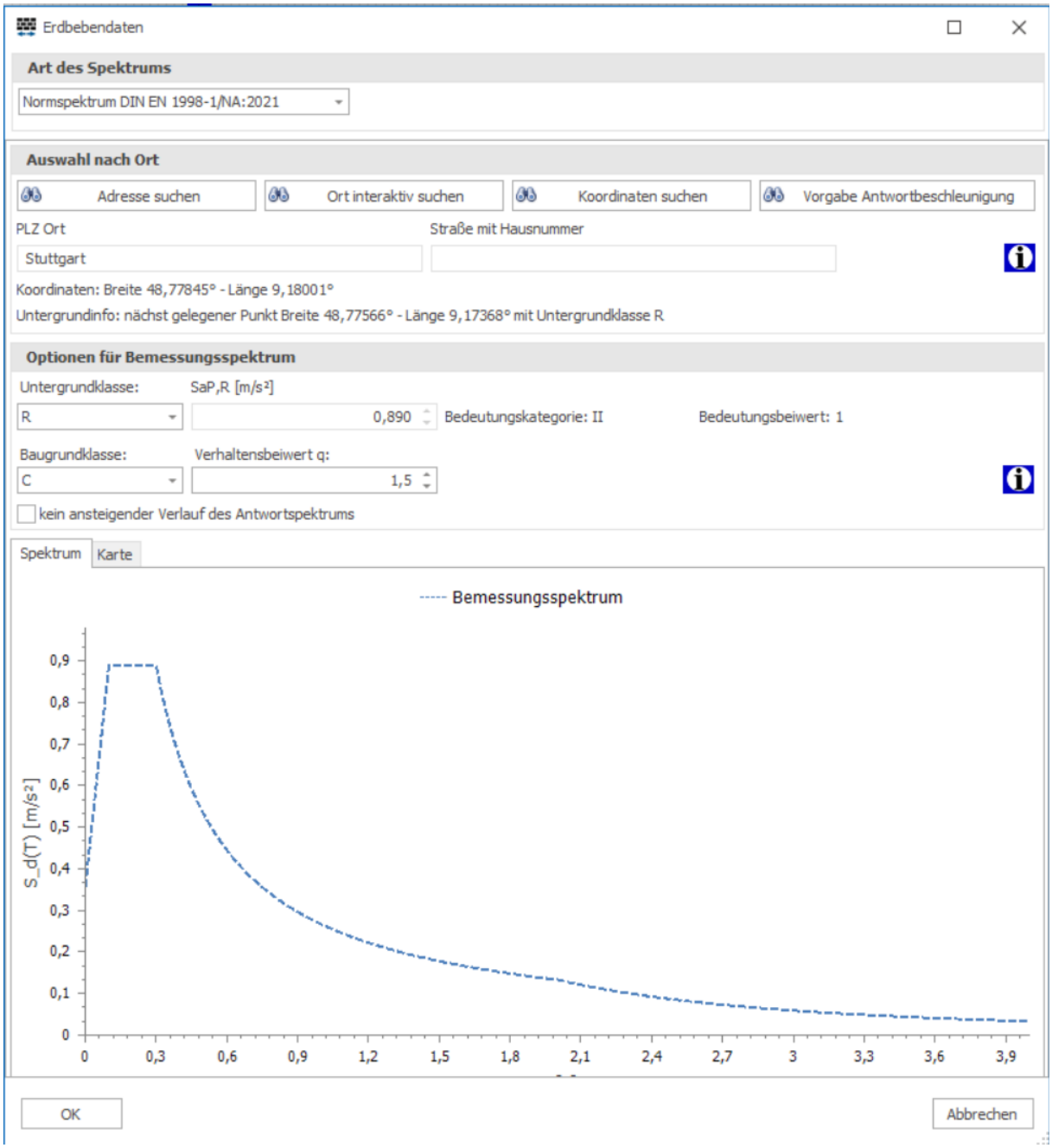


Abbildung 6.40: Übersicht der ausgewählten Erdbebendaten

Als Material wird zum einen Mauerwerk beliebig und zum anderen Stahlbeton nach DIN EN 1992-1-1 ausgewählt. Die Wandeigenschaften sind in Abschnitt 6.4.2 zusammengestellt. Bei der Eingabe der Geometriedaten ist insbesondere auf die konstruktive Ausführung der Mauerwerksstöße zu achten. In diesem Fall wird davon ausgegangen, dass die Wände im Verband gemauert sind.

Die Geschossdecke erfüllt die Kriterien einer „Geschossdecke mit aussteifender Scheibenwirkung“. Die aussteifende Deckenscheibe wird über ein Randpolygon und ein Öffnungspolygon im Bereich des Treppenhauses definiert. Die Koordinaten der beiden rechteckigen Polygonzüge werden über jeweils vier Eckpunkte wie folgt definiert:

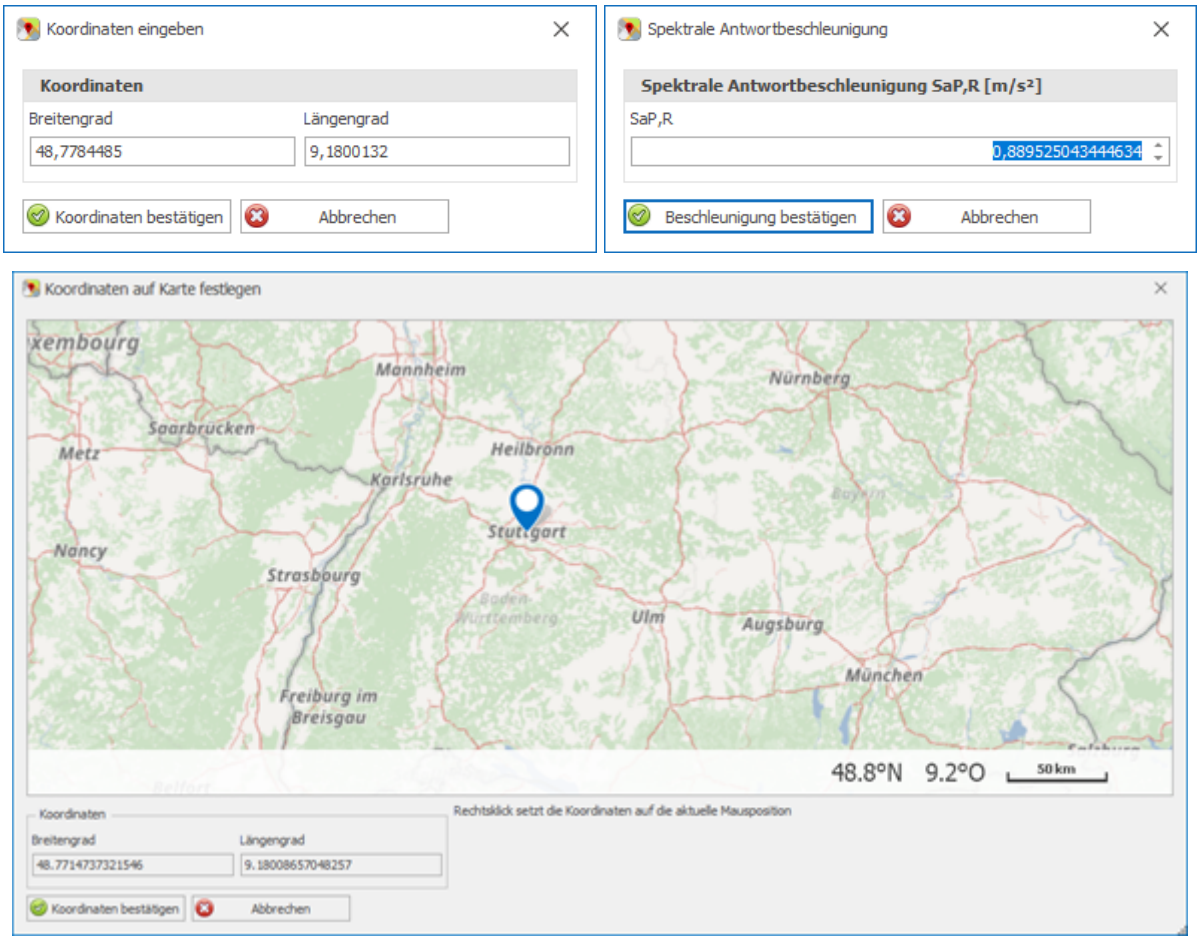


Abbildung 6.41: Erdbebendaten: Eingabe geografischer Koordinaten (links) und Eingabe der spektralen Antwortbeschleunigung auf Fels (rechts) sowie interaktive Suche des Standorts (unten)

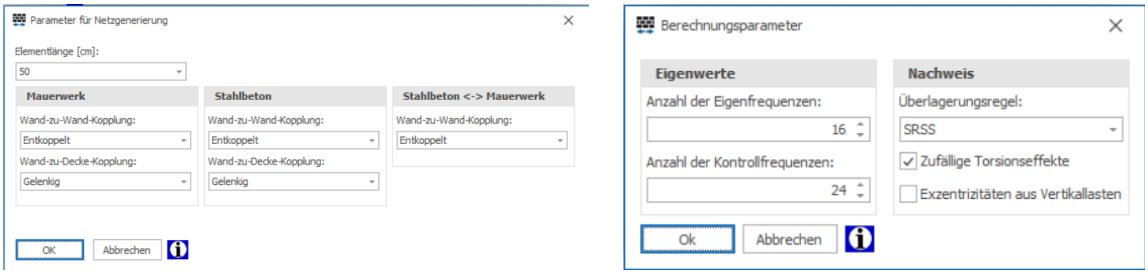


Abbildung 6.42: Einstellungen der Netz- (links) und Berechnungsparameter (rechts)

Eingabe der Wandeigenschaften

Wie in Abschnitt 3.3.2 beschrieben, öffnet sich durch Klick auf den Button **Wandscheibentypen bearbeiten** das in nebenstehender Abbildung dargestellte Eingabefenster. Die Eingaben wurden wie folgt definiert:

Die Eingabe der Wandscheiben aus Stahlbeton erfolgt analog dazu mit den in folgender Abbildung angezeigten Eigenschaften.

Wandscheiben

Nr.	X1	Y1	X2	Y2	Länge	Typ
w1	8,8	15,0	8,8	1121,0	1106,0	LB Vbl 175 Trennwand
w2	8,8	1121,0	130,0	1121,0	121,2	LB Hbl 300 Außenwand
w3	426,0	1121,0	561,0	1121,0	135,0	LB Hbl 300 Außenwand
w4	561,0	1121,0	561,0	541,0	580,0	LB Hbl 300 Außenwand
w5	561,0	390,0	561,0	15,0	375,0	LB Hbl 300 Außenwand
w6	8,8	15,0	104,0	15,0	95,2	LB Hbl 300 Außenwand
w7	214,0	15,0	329,0	15,0	115,0	LB Hbl 300 Außenwand
w8	479,0	15,0	561,0	15,0	82,0	LB Hbl 300 Außenwand
w9	8,8	354,5	208,8	354,5	200,0	StbWand
w10	8,8	678,5	208,8	678,5	200,0	StbWand
w11	466,0	354,5	561,0	354,5	95,0	LB Vbl 240 Innenwand

Wandscheiben

Nr.	X1	Y1	X2	Y2	Länge	Typ
w1	8,8	15,0	8,8	1121,0	1106,0	LB Vbl 175 Trennwand
w2	8,8	1121,0	130,0	1121,0	121,2	LB Hbl 300 Außenwand
w3	426,0	1121,0	561,0	1121,0	135,0	LB Hbl 300 Außenwand
w4	561,0	1121,0	561,0	541,0	580,0	LB Hbl 300 Außenwand
w5	561,0	390,0	561,0	15,0	375,0	LB Hbl 300 Außenwand
w6	8,8	15,0	104,0	15,0	95,2	LB Hbl 300 Außenwand
w7	214,0	15,0	329,0	15,0	115,0	LB Hbl 300 Außenwand
w8	479,0	15,0	561,0	15,0	82,0	LB Hbl 300 Außenwand
w9	8,8	354,5	208,8	354,5	200,0	StbWand

Abbildung 6.43: Wandkoordinaten der Wände im Erdgeschoss (oben) und Obergeschoss (unten)

Wandscheiben | Stützen | Decke

Rand-/Öffnungspolygone	X	Y
Randpolygon		
Punkt	8,8 cm	15,0 cm
Punkt	561,0 cm	15,0 cm
Punkt	561,0 cm	1121,0 cm
Punkt	8,8 cm	1121,0 cm
Öffnungspolygon		
Punkt	17,5 cm	678,5 cm
Punkt	180,0 cm	678,5 cm
Punkt	180,0 cm	354,5 cm
Punkt	17,5 cm	354,5 cm

Abbildung 6.44: Koordinaten des Deckenpolygons

Eingabe der Decken-/Dacheigenschaften

Wie in Abschnitt 3.3.5 beschrieben, öffnen sich durch Klick auf den Button **Deckentypen bearbeiten** bzw. **Dachtypen bearbeiten** die in den nachfolgenden Abbildungen dargestellten Eingabefenster.

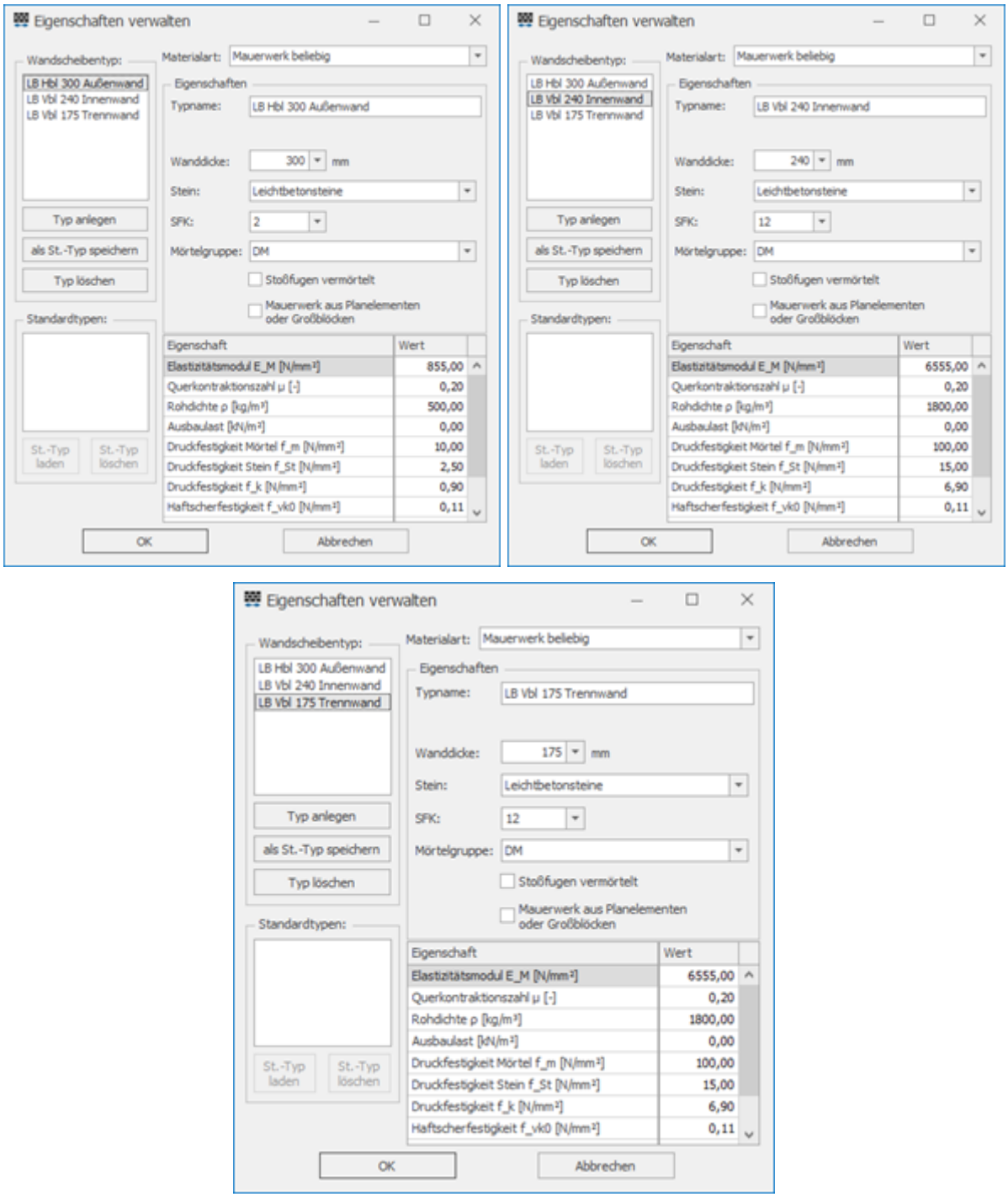


Abbildung 6.45: Wandeigenschaften der Außen- (links), der Innen- (rechts) und Trennwände (unten)

6.4.3 Durchführung des rechnerischen Nachweises

Nachweiseinstellungen

Bevor der Nachweis gestartet wird, erfolgt im Fenster Nachweiseinstellungen die Festlegung der Berechnungsparameter analog der Darstellung in der folgenden Abbildung.

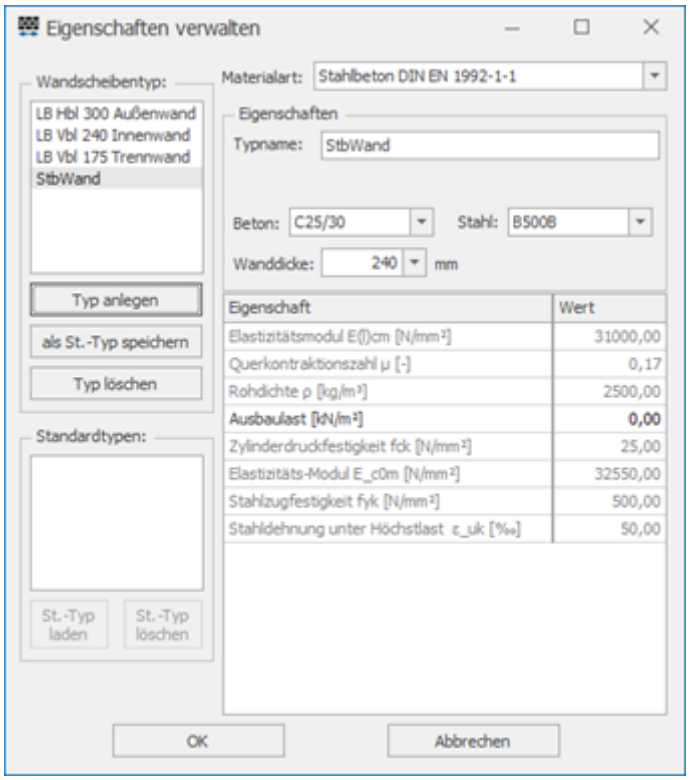


Abbildung 6.46: Eigenschaften der Stahlbetonwände

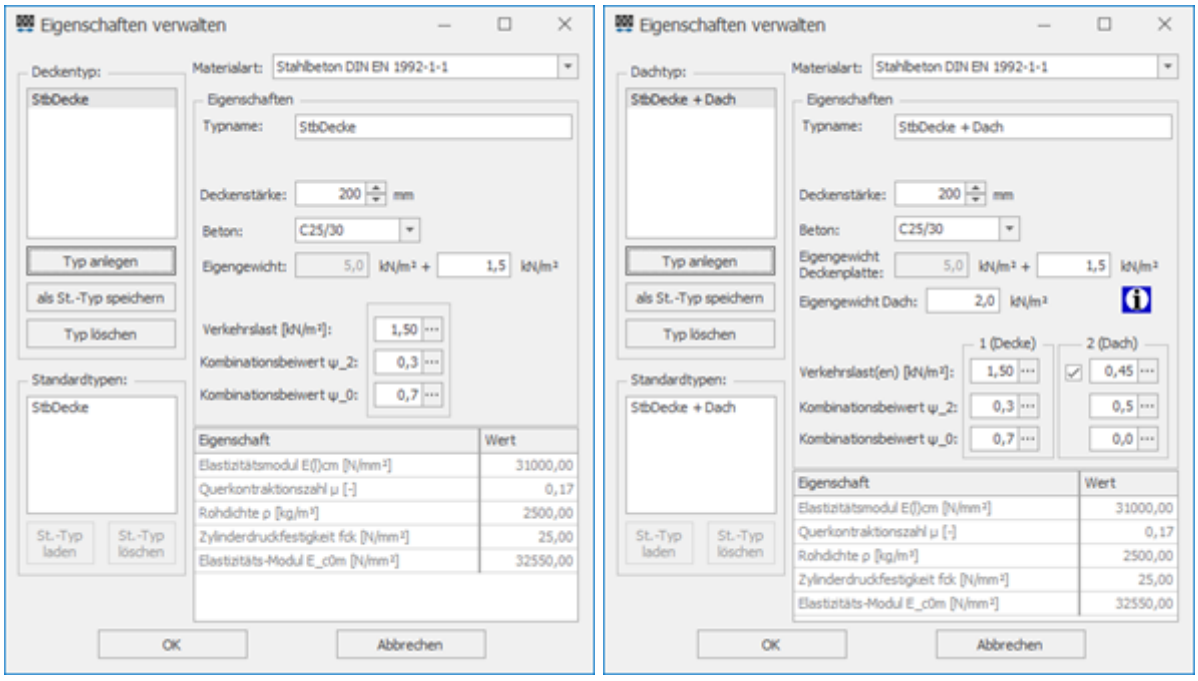


Abbildung 6.47: Decken- (links) und Dacheigenschaften (rechts)

Nachweisführung

In diesem Beispiel wird über den Menüpunkt **Nachweis starten** im Menü **Nachweis** direkt der rechnerische Nachweis gestartet, da unterschiedliche Grundrisse im EG und OG vorhanden sind. Nach Abschluss der Berechnung wird das dargestellte Fenster angezeigt.

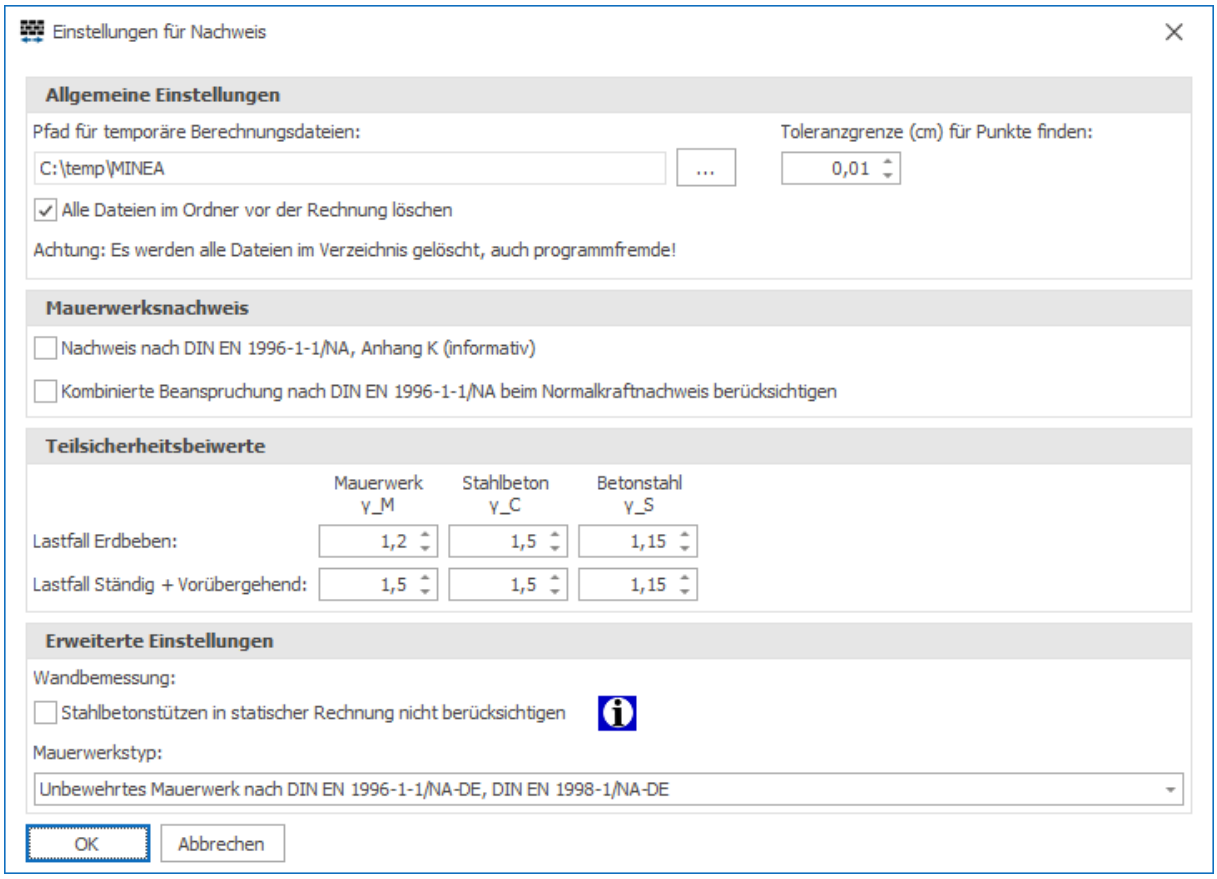


Abbildung 6.48: Nachweiseinstellungen für den rechnerischen Nachweis (3D)

In diesem Fenster besteht die Möglichkeit zwischen verschiedenen Reitern zu wechseln und die unterschiedlichen Ergebnisse in der Bildschirmoberfläche anzeigen zu lassen. Dazu stehen die Reiter **Statische & dynamische Lastfälle**, **Erdbebenkombination**, **Kombination Ständig und Vorübergehend**, **Nachweisübersicht**, **Bewehrung** sowie **Graphische Darstellung** zur Verfügung.

In der Ansicht **Statische & dynamische Lastfälle** werden die Schnittkraftverläufe der einzelnen Wände sowie über die Gebäudehöhe dargestellt. Außerdem werden Informationen zu den Stockwerksdaten und -massen angegeben.

Die Ansicht **Erdbebenkombination** stellt die Berechnungs- und Nachweisergebnisse für die einzelnen Wände in der Lastfallkombination Erdbeben dar. Die Ergebnisse können sowohl grafisch als auch tabellarisch (Ergebnisse Wandfuß und Ergebnisse Wandmitte) für jede einzelne Wand und jedes Stockwerk angezeigt werden.

Analog erfolgt die Darstellung in der Ansicht **Kombination Ständig & Vorübergehend**, in der außerdem der Nachweis der Randdehnung tabellarisch angezeigt wird.

In der Ansicht **Nachweisübersicht** werden grafisch die versagenden Wände (werden in Rot dargestellt) unter Berücksichtigung sämtlicher geführter Nachweise angezeigt. Liegen versagende Wände vor, so kann der Benutzer entscheiden, ob er den Bericht erzeugt oder das System nochmals modifiziert. In diesem Fall ist der Button **Fenster schließen** zu wählen.

Unter dem Reiter **Bewehrung** können die erforderlichen Bewehrungsmengen je Richtung und Lage lastfallweise bzw. für jede Lastfallkombination aufgerufen werden.

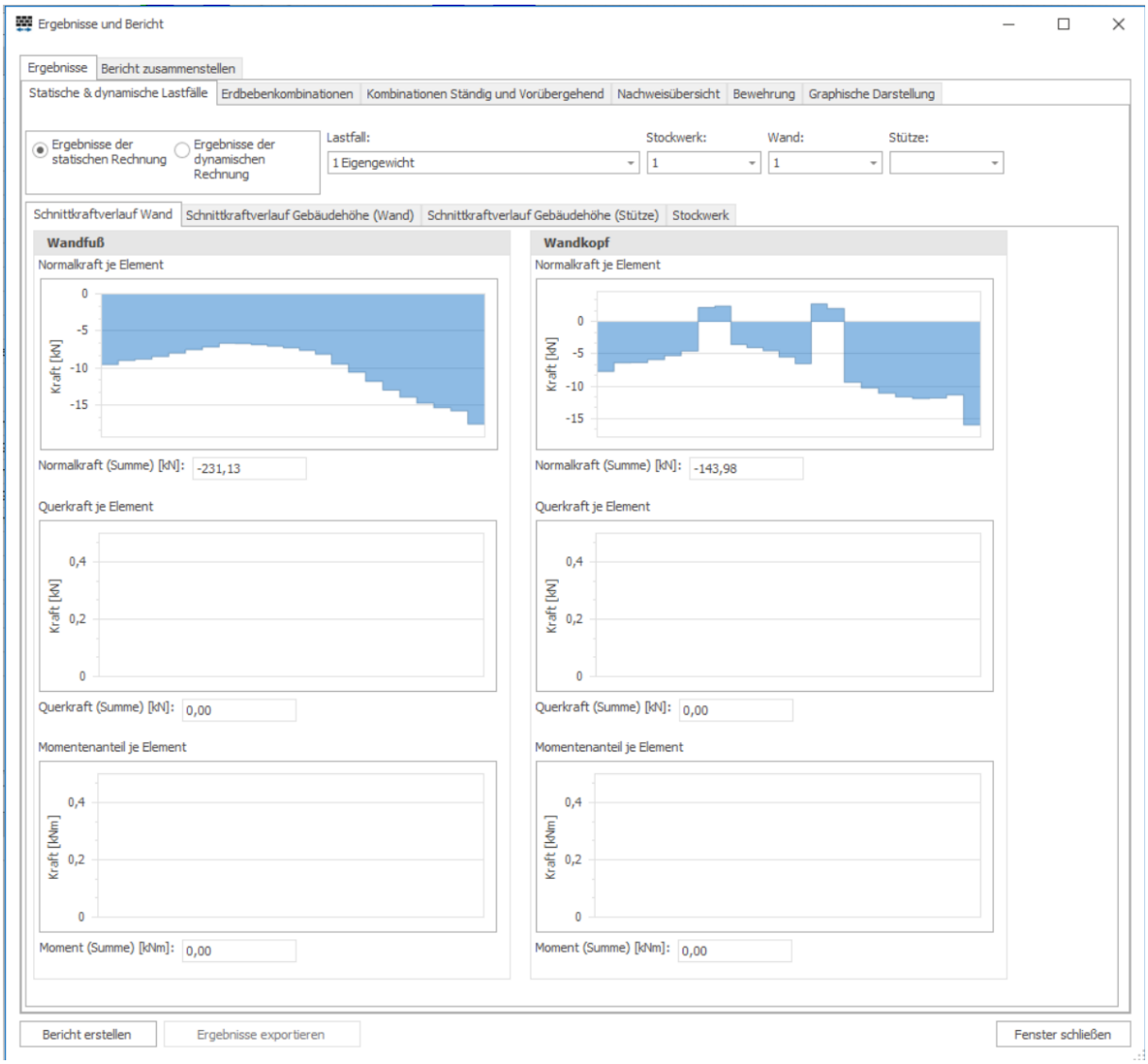


Abbildung 6.49: Ergebnisfenster für den rechnerischen Nachweis (3D)

In der Ansicht **Graphische Darstellung** werden die Eigenformen, Informationen zu den Eigenfrequenzen sowie die Verformungen dargestellt.

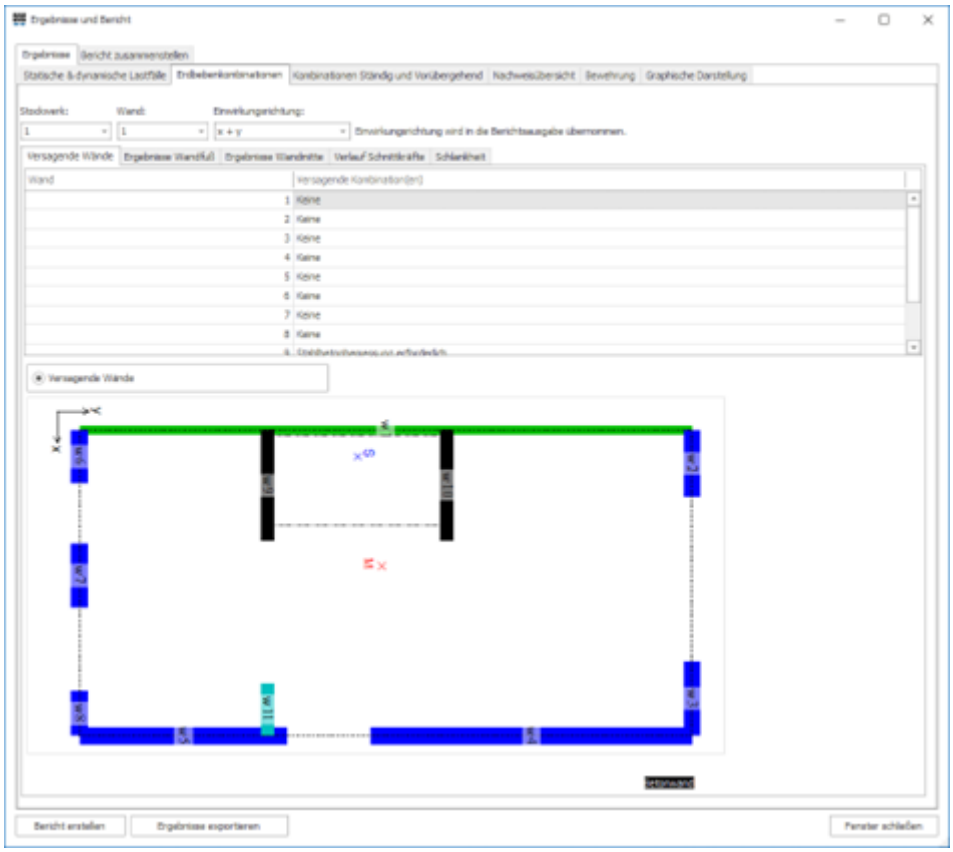


Abbildung 6.50: Ergebnisse für die Erdbebenkombination

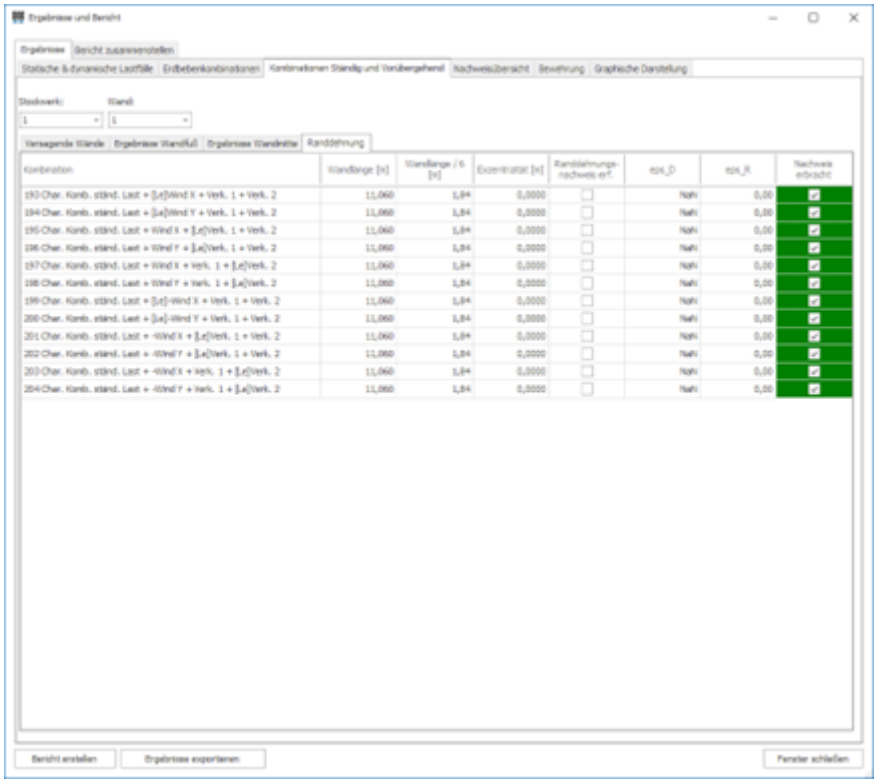


Abbildung 6.51: Ergebnisse für die Kombination Ständig & Vorübergehend

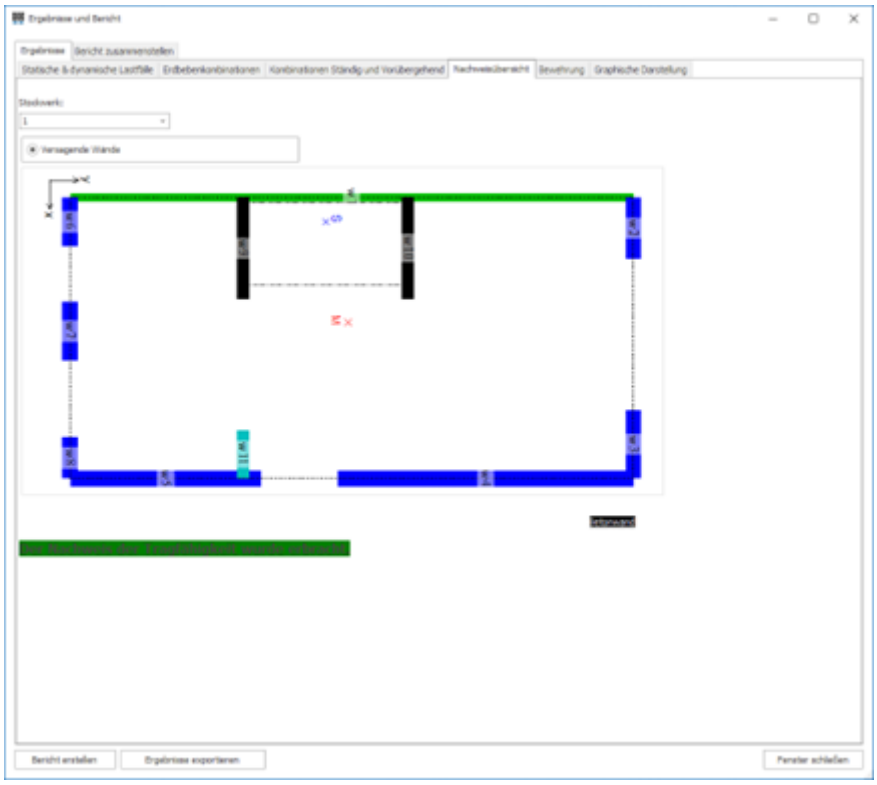


Abbildung 6.52: Nachweisübersicht

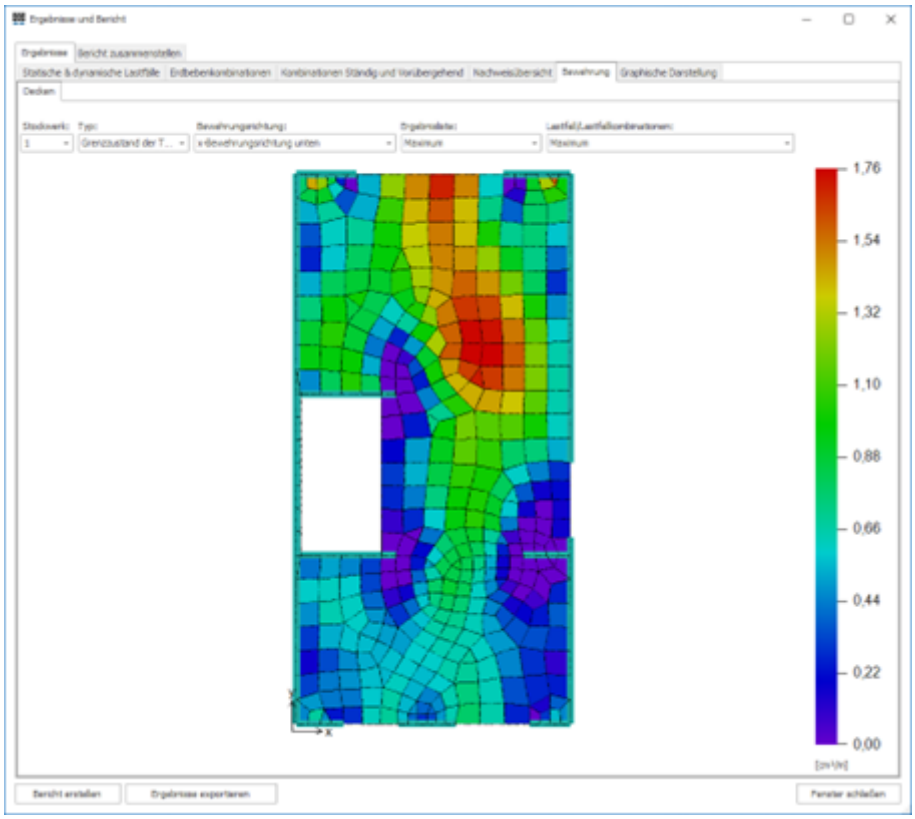


Abbildung 6.53: Erforderliche Bewehrung der Decken

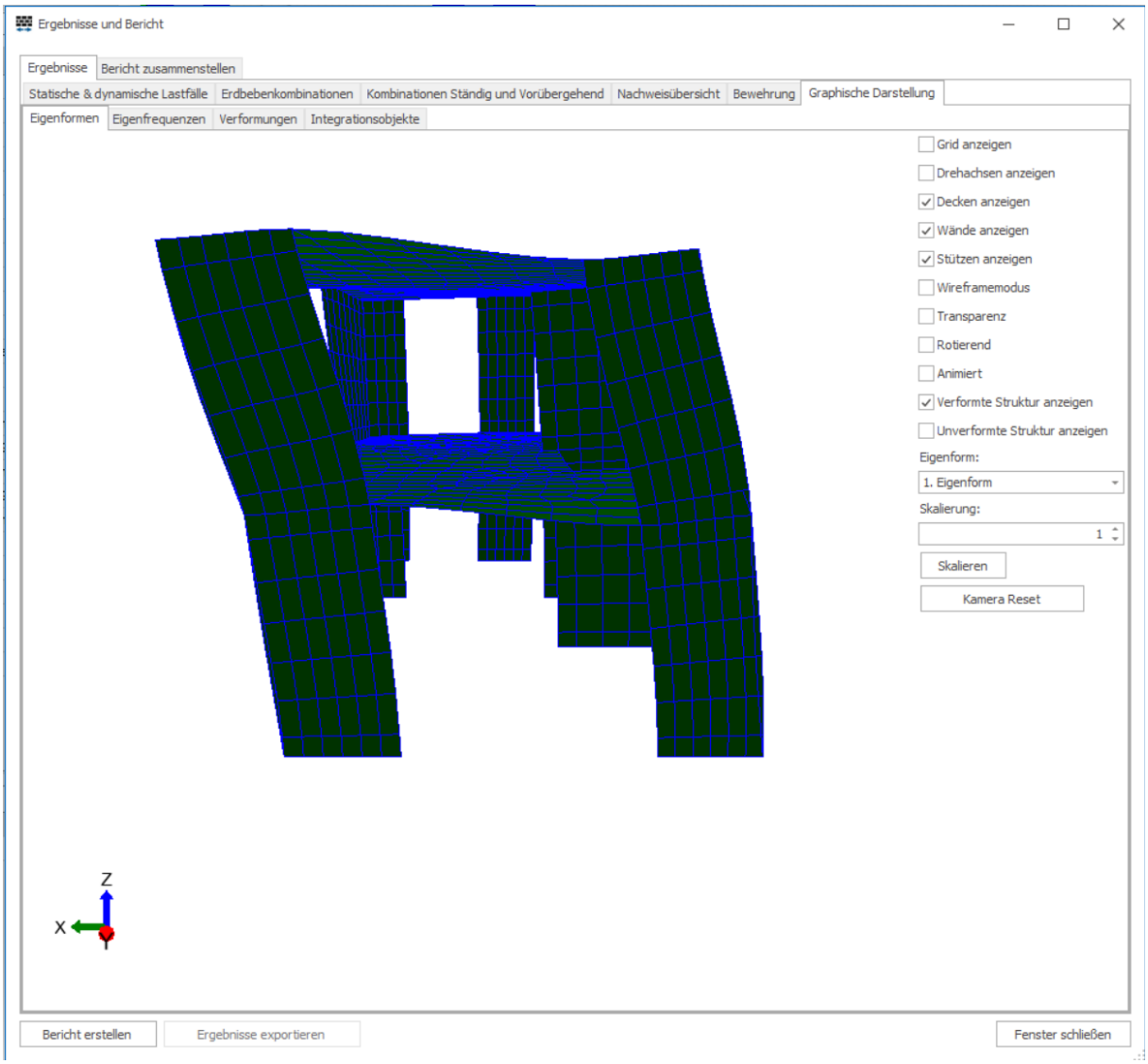


Abbildung 6.54: Graphische Darstellung der Eigenformen

6.4.4 Ausgabe des Berichts

Der Bericht ist für das gewählte Beispiel in Ausschnitten auf den folgenden Seiten dargestellt. Der rechnerische Nachweis kann für das vorliegende System geführt werden. Die Stahlbetonwände müssen mit einem separaten Programm bemessen und nachgewiesen werden. In MINEA werden hierfür die Bemessungsschnittgrößen ausgegeben. Von den tabellarischen Ausgaben werden jeweils lediglich die ersten Seiten exemplarisch dargestellt.

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Gebäudedaten

Eigenschaft	Wert
Anzahl Stockwerke:	2
Höhe h des Stockwerks 1:	280,0 cm
Höhe h des Stockwerks 2:	280,0 cm

Erdbebendaten

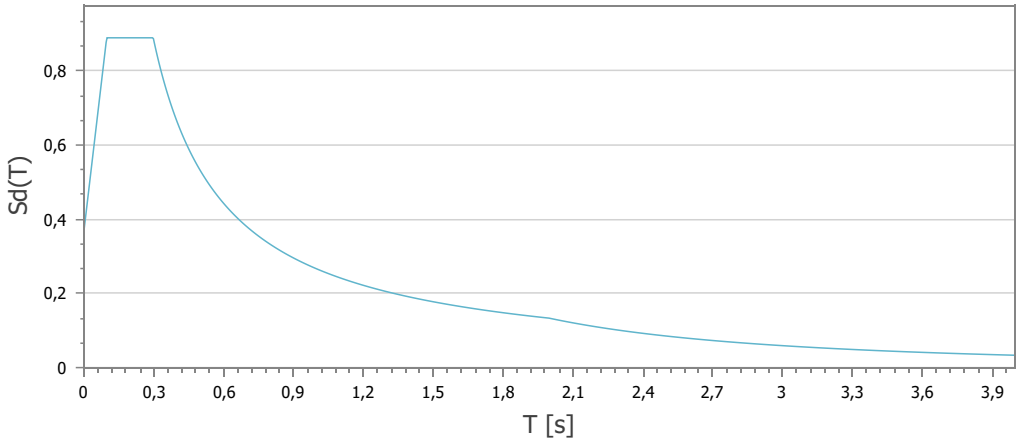
Eigenschaft	Wert
$S_{ap,R}$ [m/s²]	0,890
Untergrundverhältnisse:	C-R
Bedeutungskategorie:	II
Bedeutungsbeiwert:	1
Verhaltensbeiwert q:	1,5

Adressdaten

Breitengrad	48.7784485
Längengrad	9.1800132
Ort	Stuttgart
Straße	

© OpenStreetMap contributors (https://www.openstreetmap.org/)

Bemessungsspektrum



Parameter des horizontalen Antwortspektrums

Untergrundtyp	S	T_B	T_C	T_D
		[s]	[s]	[s]
C-R	1,50	0,10	0,30	2,00

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Materialdaten

Wandscheibentypen:

Wandscheibentyp	Material	t	E_M|E_{cm}	μ	ρ	Ausbaul.
		[mm]	[N/mm²]	[-]	[kg/m³]	[kN/m²]
LB Vbl 175 Trennwand	Leichtbetonsteine DM	175	6.555,00	0,20	1.800,00	0,00
LB Hbl 300 Außenwand	Leichtbetonsteine DM	300	855,00	0,20	500,00	0,00
StbWand	C25/30	240	31.000,00	0,17	2.500,00	0,00
LB Vbl 240 Innenwand	Leichtbetonsteine DM	240	6.555,00	0,20	1.800,00	0,00

Wandscheibentyp	SFK	Stoßfugen vermörtelt	f_k	f_{vk0}	l_{ol}/h_u	h_u	l_u	$f_{bt,cal}$	φ_∞
			[N/mm²]	[N/mm²]	[-]	[mm]	[mm]	[N/mm²]	[-]
LB Vbl 175 Trennwand	12	Nein	6,90	0,11	-	-	-	0,30	0,50
LB Hbl 300 Außenwand	2	Nein	0,90	0,11	-	-	-	0,05	0,50
LB Vbl 240 Innenwand	12	Nein	6,90	0,11	-	-	-	0,30	0,50

Wandscheibentyp	f_{ck}
	[N/mm²]
StbWand	25

Deckentypen:

Deckentyp	Material	t	E_{cm}	μ	ρ	α_T
		[mm]	[N/mm²]	[-]	[kg/m³]	[-]
StbDecke	C25/30	200	31.000,00	0,17	2.500,00	1E-05

Deckentyp	f_{ck}
	[N/mm²]
StbDecke	25

Dachtyp:

Deckentyp	Material	t	E_{cm}	μ	ρ	α_T
		[mm]	[N/mm²]	[-]	[kg/m³]	[-]
StbDecke + Dach	C25/30	200	31.000,00	0,17	2.500,00	1E-05

Dachtyp	f_{ck}
	[N/mm²]
StbDecke + Dach	25

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Grundrissdaten

Grundrissdaten für Stockwerk 1

Wandscheiben

Nr.	Wandscheibentyp	Lastabtrag*	t	l_W	X_1	Y_1	X_2	Y_2
[-]	[-]	[-]	[mm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
w1	LB Vbl 175 Trennwand	v+h	175	1.106,0	8,8	15,0	8,8	1.121,0
w2	LB Hbl 300 Außenwand	v+h	300	121,2	8,8	1.121,0	130,0	1.121,0
w3	LB Hbl 300 Außenwand	v+h	300	135,0	426,0	1.121,0	561,0	1.121,0
w4	LB Hbl 300 Außenwand	v+h	300	580,0	561,0	1.121,0	561,0	541,0
w5	LB Hbl 300 Außenwand	v+h	300	375,0	561,0	390,0	561,0	15,0
w6	LB Hbl 300 Außenwand	v+h	300	95,2	8,8	15,0	104,0	15,0
w7	LB Hbl 300 Außenwand	v+h	300	115,0	214,0	15,0	329,0	15,0
w8	LB Hbl 300 Außenwand	v+h	300	82,0	479,0	15,0	561,0	15,0
w9	StbWand	v+h	240	200,0	8,8	354,5	208,8	354,5
w10	StbWand	v+h	240	200,0	8,8	678,5	208,8	678,5
w11	LB Vbl 240 Innenwand	v+h	240	95,0	466,0	354,5	561,0	354,5

**: v = Vertikaler Lastabtrag, h = Horizontaler Lastabtrag, v+h = Vertikaler und Horizontaler Lastabtrag*

Decke

	Punktlisten (Werte in cm)
Randpolygon	{X=8,8, Y=15}; {X=561, Y=15}; {X=561, Y=1121}; {X=8,8, Y=1121}
Öffnungspolygon	{X=17,5, Y=678,5}; {X=180, Y=678,5}; {X=180, Y=354,5}; {X=17,5, Y=354,5}
Stockwerksfläche	55,81 m²

Grundrissdaten für Stockwerk 2

Wandscheiben

Nr.	Wandscheibentyp	Lastabtrag*	t	l_W	X_1	Y_1	X_2	Y_2
[-]	[-]	[-]	[mm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
w1	LB Vbl 175 Trennwand	v+h	175	1.106,0	8,8	15,0	8,8	1.121,0
w2	LB Hbl 300 Außenwand	v+h	300	121,2	8,8	1.121,0	130,0	1.121,0
w3	LB Hbl 300 Außenwand	v+h	300	135,0	426,0	1.121,0	561,0	1.121,0
w4	LB Hbl 300 Außenwand	v+h	300	580,0	561,0	1.121,0	561,0	541,0
w5	LB Hbl 300 Außenwand	v+h	300	375,0	561,0	390,0	561,0	15,0
w6	LB Hbl 300 Außenwand	v+h	300	95,2	8,8	15,0	104,0	15,0
w7	LB Hbl 300 Außenwand	v+h	300	115,0	214,0	15,0	329,0	15,0
w8	LB Hbl 300 Außenwand	v+h	300	82,0	479,0	15,0	561,0	15,0
w9	StbWand	v+h	240	200,0	8,8	354,5	208,8	354,5

**: v = Vertikaler Lastabtrag, h = Horizontaler Lastabtrag, v+h = Vertikaler und Horizontaler Lastabtrag*

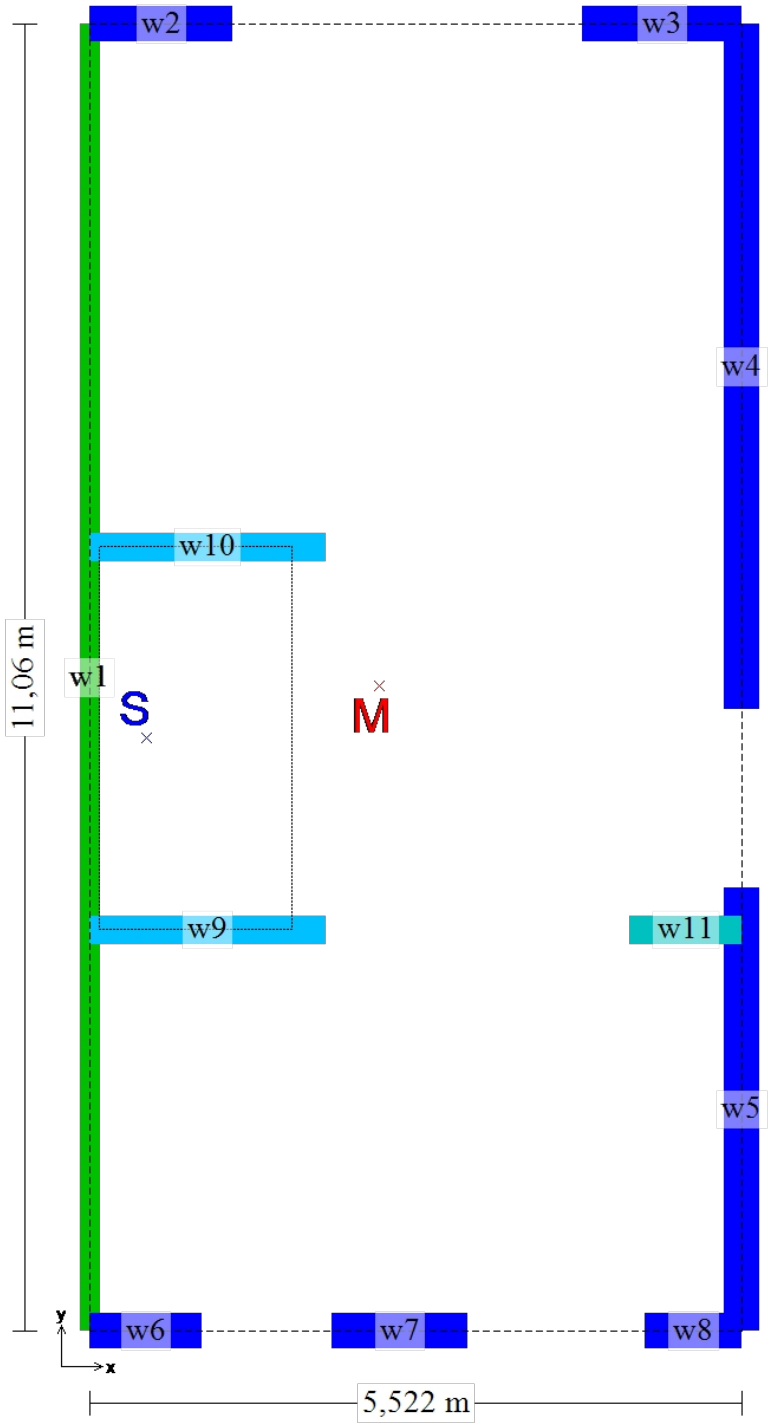
Decke

	Punktlisten (Werte in cm)
Randpolygon	{X=8,8, Y=15}; {X=561, Y=15}; {X=561, Y=1121}; {X=8,8, Y=1121}
Stockwerksfläche	61,07 m²

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

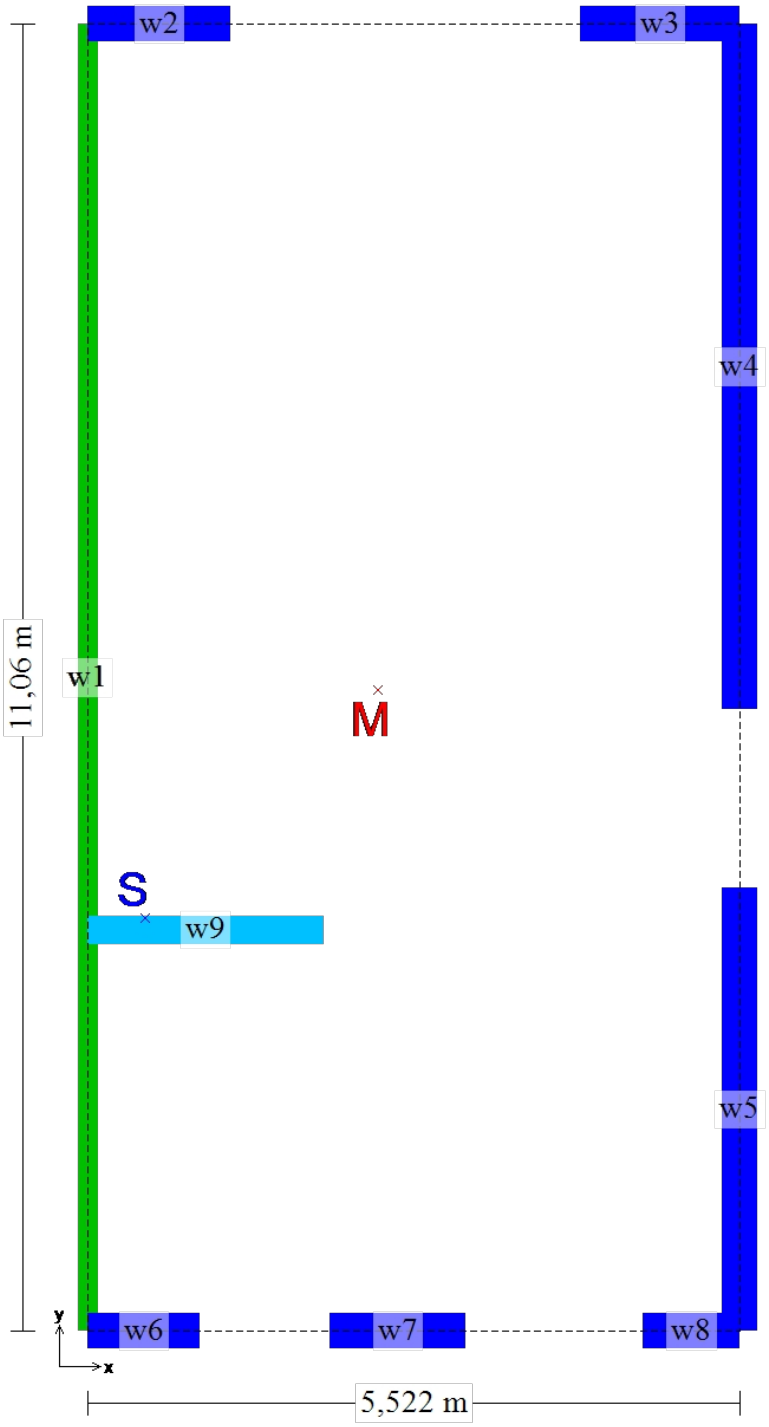
Grundriss Stockwerk 1



SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Grundriss Stockwerk 2



SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Lasten

Vertikale Lasten

Stockwerk	Eigengew.	zus. st. Last	Verkehrsl. 1	$\Psi_{2,1}$	$\Psi_{0,1}$	Verkehrsl. 2	$\Psi_{2,2}$	$\Psi_{0,2}$
	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[-]	[-]	[kN/m²]	[-]	[-]
1	5,00	1,50	1,50	0,30	0,70	0,00	0,00	0,00
2	5,00	3,50	1,50	0,30	0,70	0,45	0,50	0,00

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Lastfallkombinationen

Erdbebenkombination

Kombination	Beschreibung
1	1: STAT. + 1,0 SRSSx + 0,3 SRSSy
2	2: STAT. - 1,0 SRSSx - 0,3 SRSSy
3	3: STAT. - 1,0 SRSSx + 0,3 SRSSy
4	4: STAT. + 1,0 SRSSx - 0,3 SRSSy
5	5: STAT. + 0,3 SRSSx + 1,0 SRSSy
6	6: STAT. - 0,3 SRSSx - 1,0 SRSSy
7	7: STAT. - 0,3 SRSSx + 1,0 SRSSy
8	8: STAT. + 0,3 SRSSx - 1,0 SRSSy

Legende:
*STAT. aus: 1.0 * (Eigengew. + zus.st.Lasten) + Ψ_2 Decke * Verk. 1 + Ψ_2 Dach * Verk. 2*

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Eigenfrequenzen

Eigenform	Frequenz	Periode	Akt. Masse X	Akt. Masse Y
	[Hz]	[s]	[%]	[%]
1	7,36	0,14	42,26	9,03
2	8,91	0,11	24,74	20,65
3	10,72	0,09	1,18	0,09
4	16,98	0,06	0,07	38,86
5	18,31	0,05	2,97	9,64
6	18,94	0,05	5,55	0,07
7	19,01	0,05	0,07	0,22
8	19,58	0,05	0,35	0,02
9	19,79	0,05	0,18	0,05
10	20,27	0,05	0,21	0,86
11	20,96	0,05	0,44	3,35
12	22,03	0,05	1,59	0,40
13	22,34	0,04	0,02	0,00
14	22,35	0,04	0,01	0,01
15	22,36	0,04	0,08	0,04
16	22,37	0,04	0,06	0,06

Gesamtmasse [t]: 138,13

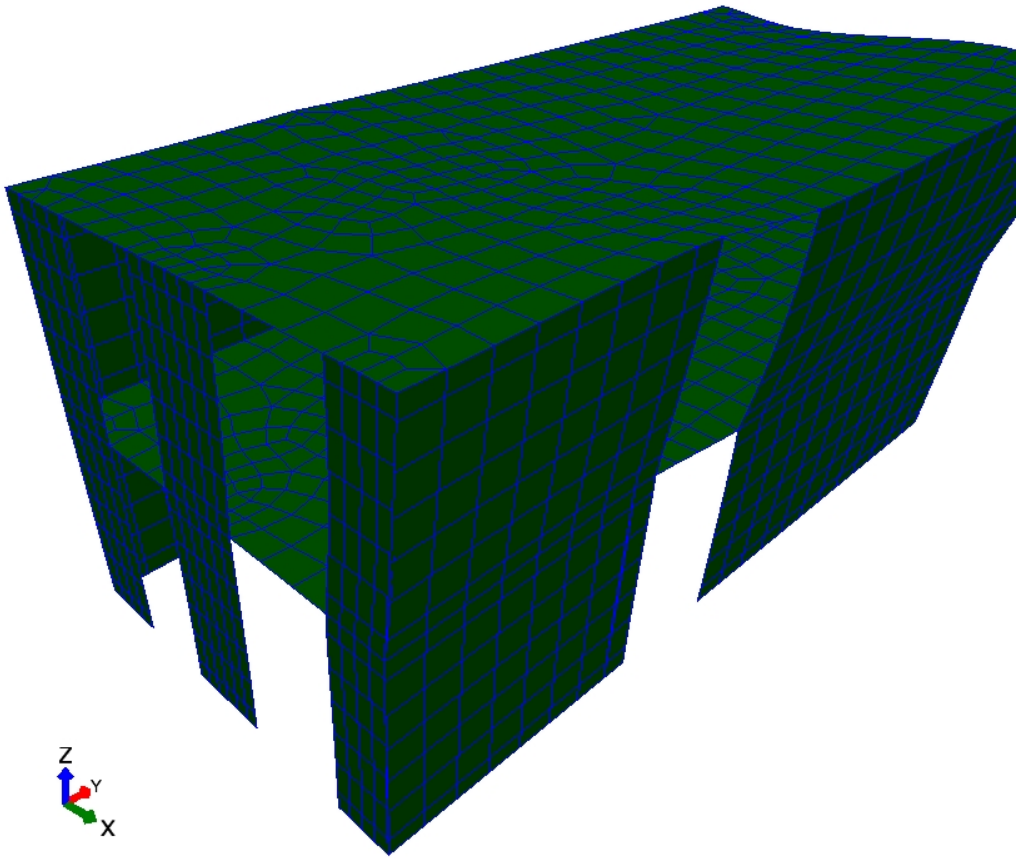
Summe aktivierte Masse x [%]: 79,78

Summe aktivierte Masse y [%]: 83,34

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

1. Eigenform



SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Nachweise

Erdbebennachweise (numerisch)

Kombination 1: STAT. + 1,0 SRSSx + 0,3 SRSSy

Stockwerk 1

Nachweis Normalkraft am Wandfuß

Wand	$e_{u,\|\|}$	$\Phi_{u,\|\|}$	f_d	N_{Rd}	N_{Ed}	N_{Ed}/N_{Rd}
	[m]	[-]	[kN/m²]	[kN]	[kN]	[-]
w1	0,826	0,851	5.750,00	9.466,22	207,43	0,02
w2	0,097	0,839	750,00	228,89	31,62	0,14
w3	0,086	0,872	750,00	264,96	47,55	0,18
w4	0,341	0,883	750,00	1.151,77	217,85	0,19
w5	0,425	0,773	750,00	652,32	70,44	0,11
w6	0,099	0,791	750,00	169,43	13,09	0,08
w7	0,045	0,921	750,00	238,36	47,35	0,20
w8	0,060	0,854	750,00	157,58	17,65	0,11
w11	0,059	0,875	5.750,00	1.147,53	80,70	0,07

Nachweis Querkraft am Wandfuß

Wand	f_{vlt1}	f_{vlt2}	f_{vk}	f_{vd}	$e_{u,\|\|}$	c	l_{cal} | l_c	V_{Rdlt}	V_{Ed}	V_{Ed}/V_{Rdlt}
	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[m]	[-]	[m]	[kN]	[kN]	[-]
w1	97,87	157,28	97,87	81,56	0,826	1,000	11,060	157,86	30,50	0,19
w2	89,78	37,24	37,24	31,03	0,097	1,500	1,212	7,52	2,07	0,28
w3	101,96	41,17	41,17	34,31	0,086	1,500	1,350	9,26	2,94	0,32
w4	105,08	42,12	42,12	35,10	0,341	1,000	5,800	61,07	34,83	0,57
w5	80,04	33,77	33,77	28,14	0,425	1,000	3,750	31,66	17,46	0,55
w6	73,33	31,15	31,15	25,96	0,099	1,500	0,952	4,94	1,08	0,22
w7	109,90	43,54	43,54	36,28	0,045	1,500	1,150	8,35	1,68	0,20
w8	83,69	35,11	35,11	29,26	0,060	1,500	0,820	4,80	1,02	0,21
w11	196,59	199,32	196,59	163,82	0,059	1,500	0,950	24,90	4,06	0,16

Nachweis Normalkraft in Wandmitte

Wand	h_{ef}	$e_{m,init,senk}$	$e_{m,k,senk}$	$e_{m,senk}$	$e_{mk,senk}$	$\Phi_{m,senk}$	f_d	N_{Rd}	N_{Ed}	N_{Ed} / N_{Rd}
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]	[kN/m²]	[kN]	[kN]	[-]
w1	2,100	0,005	0,000	0,000	0,009	0,738	5.750,00	8.213,29	163,94	0,02
w2	2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	233,98	29,36	0,13
w3	2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	260,62	45,04	0,17
w4	2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	1.119,69	206,99	0,18
w5	2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	723,94	63,42	0,09
w6	2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	183,78	11,31	0,06
w7	2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	222,01	45,20	0,20
w8	2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	158,30	16,12	0,10
w11	2,100	0,005	0,000	0,000	0,012	0,816	5.750,00	1.069,78	75,58	0,07

Nachweise nach DIN EN 1996-1-1/NA mit: ζ=1,0 und γ_m=1,2

Stockwerk 2

Nachweis Normalkraft am Wandfuß

Wand	$e_{u,\|\|}$	$\Phi_{u,\|\|}$	f_d	N_{Rd}	N_{Ed}	N_{Ed}/N_{Rd}
	[m]	[-]	[kN/m²]	[kN]	[kN]	[-]
w1	0,589	0,894	5.750,00	9.944,71	158,34	0,02
w2	0,183	0,698	750,00	190,28	27,83	0,15
w3	0,200	0,703	750,00	213,67	34,35	0,16
w4	0,305	0,895	750,00	1.167,76	133,28	0,11
w5	0,297	0,841	750,00	709,98	65,70	0,09
w6	0,168	0,648	750,00	138,71	7,30	0,05
w7	0,087	0,849	750,00	219,78	24,83	0,11
w8	0,137	0,667	750,00	123,05	10,77	0,09

Nachweis Querkraft am Wandfuß

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Wand		f_{vlt1}	f_{vlt2}	f_{vk}	f_{vd}	$e_{u,\|\|}$	c	l_{cal} | l_c	V_{Rdlt}	V_{Ed}	V_{Ed}/V_{Rdlt}
		[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[m]	[-]	[m]	[kN]	[kN]	[-]
w1		87,72	152,30	87,72	73,10	0,589	1,000	11,060	141,49	32,68	0,23
w2		85,62	35,79	35,79	29,83	0,183	1,500	1,212	7,23	4,51	0,62
w3		88,93	36,95	36,95	30,79	0,200	1,500	1,350	8,31	6,07	0,73
w4		85,64	35,80	35,80	29,84	0,305	1,000	5,800	51,91	32,82	0,63
w5		78,36	33,13	33,13	27,61	0,297	1,000	3,750	31,06	16,06	0,52
w6		65,53	27,80	27,80	23,17	0,168	1,500	0,925	4,28	1,20	0,28
w7		83,79	35,14	35,14	29,28	0,087	1,500	1,150	6,74	2,06	0,31
w8		72,51	30,81	30,81	25,68	0,137	1,500	0,820	4,21	1,44	0,34

Nachweis Normalkraft in Wandmitte

Wand		h_{ef}	$e_{m,init,senk}$	$e_{m,k,senk}$	$e_{m,senk}$	$e_{mk,senk}$	$\Phi_{m,senk}$	f_d	N_{Rd}	N_{Ed}	N_{Ed} / N_{Rd}
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]	[kN/m²]	[kN]	[kN]	[-]
w1		2,100	0,005	0,000	0,000	0,009	0,738	5.750,00	8.213,29	114,96	0,01
w2		2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	233,98	25,59	0,11
w3		2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	260,62	31,89	0,12
w4		2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	1.119,69	122,45	0,11
w5		2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	723,94	58,72	0,08
w6		2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	183,78	5,53	0,03
w7		2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	222,01	22,70	0,10
w8		2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	158,30	9,26	0,06

Nachweise nach DIN EN 1996-1-1/NA mit: ζ=1,0 und γ_m=1,2

Kombination 2: STAT. - 1,0 SRSSx - 0,3 SRSSy

Stockwerk 1

Nachweis Normalkraft am Wandfuß

Wand		$e_{u,\|\|}$	$\Phi_{u,\|\|}$	f_d	N_{Rd}	N_{Ed}	N_{Ed}/N_{Rd}
		[m]	[-]	[kN/m²]	[kN]	[kN]	[-]
w1		0,492	0,911	5.750,00	10.139,23	348,47	0,03
w2		0,079	0,870	750,00	237,25	39,07	0,16
w3		0,061	0,910	750,00	276,39	67,41	0,24
w4		0,314	0,892	750,00	1.163,59	236,06	0,20
w5		0,347	0,815	750,00	687,80	86,47	0,13
w6		0,086	0,819	750,00	175,51	15,14	0,09
w7		0,042	0,927	750,00	239,98	51,45	0,21
w8		0,037	0,909	750,00	167,68	28,25	0,17
w11		0,051	0,893	5.750,00	1.171,15	94,34	0,08

Nachweis Querkraft am Wandfuß

Wand		f_{vlt1}	f_{vlt2}	f_{vk}	f_{vd}	$e_{u,\|\|}$	c	l_{cal} | l_c	V_{Rdlt}	V_{Ed}	V_{Ed}/V_{Rdlt}
		[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[m]	[-]	[m]	[kN]	[kN]	[-]
w1		127,02	170,77	127,02	105,85	0,492	1,000	11,060	204,87	30,50	0,15
w2		97,98	39,93	39,93	33,27	0,079	1,500	1,212	8,07	2,07	0,26
w3		121,57	46,81	46,81	39,01	0,061	1,500	1,350	10,53	2,94	0,28
w4		109,27	43,36	43,36	36,13	0,314	1,000	5,800	62,87	34,83	0,55
w5		85,74	35,84	35,84	29,87	0,347	1,000	3,750	33,60	17,46	0,52
w6		76,20	32,30	32,30	26,91	0,086	1,500	0,952	5,12	1,08	0,21
w7		114,65	44,90	44,90	37,42	0,042	1,500	1,150	8,61	1,68	0,20
w8		100,93	40,85	40,85	34,04	0,037	1,500	0,820	5,58	1,02	0,18
w11		220,50	208,23	208,23	173,53	0,051	1,500	0,950	26,38	4,06	0,15

Nachweis Normalkraft in Wandmitte

Wand		h_{ef}	$e_{m,init,senk}$	$e_{m,k,senk}$	$e_{m,senk}$	$e_{mk,senk}$	$\Phi_{m,senk}$	f_d	N_{Rd}	N_{Ed}	N_{Ed} / N_{Rd}
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]	[kN/m²]	[kN]	[kN]	[-]
w1		2,100	0,005	0,000	0,000	0,009	0,738	5.750,00	8.213,29	304,81	0,04
w2		2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	233,98	36,78	0,16
w3		2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	260,62	64,85	0,25
w4		2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	1.119,69	225,15	0,20
w5		2,100	0,005	0,000	0,000	0,015	0,858	750,00	723,94	79,41	0,11

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Zusammenfassung Erdbebenkombination

Stockwerk 1

Wand	Fehlgeschlagene Nachweise
w1	keine
w2	keine
w3	keine
w4	keine
w5	keine
w6	keine
w7	keine
w8	keine
w11	keine

Stockwerk 2

Wand	Fehlgeschlagene Nachweise
w1	keine
w2	keine
w3	keine
w4	keine
w5	keine
w6	keine
w7	keine
w8	keine

Der rechnerische Nachweis nach DIN EN 1998-1 und DIN EN 1998-1/NA in Kombination mit DIN EN 1996-1-1 und DIN EN 1996-1-1/NA ist für den Lastfall Erdbeben erbracht.

6.5 DIN EN 1998-1 in Kombination mit DIN EN 1996-1-1 (3D) [x64] unter Berücksichtigung von entkoppelten Stahlbetonstützen in Schalungssteinen

6.5.1 Systembeschreibung

Der Programmablauf mit allen nötigen Eingaben wird im Folgenden anhand eines einfachen Beispiels in Mischbauweise demonstriert. Gewählt wurde das in Abbildung 6.55 im Grundriss und der 3D-Ansicht dargestellte Einfamilienhaus mit Porenbeton-Außenwänden und Innenwänden aus Kalksandstein. Das Gebäude weist einen regelmäßigen Grundriss und zwei Vollgeschosse mit einer Geschosshöhe von $h = 2{,}83$ m auf. Zur Verbesserung der Tragfähigkeit bei Erdbebenbeanspruchung werden in mehreren Außenwänden Stahlbetonstützen in Schalungssteinen angeordnet. Die Anordnung der Schalungssteine entspricht der Stützenanordnung (s1-s10) in Abbildung 6.55.

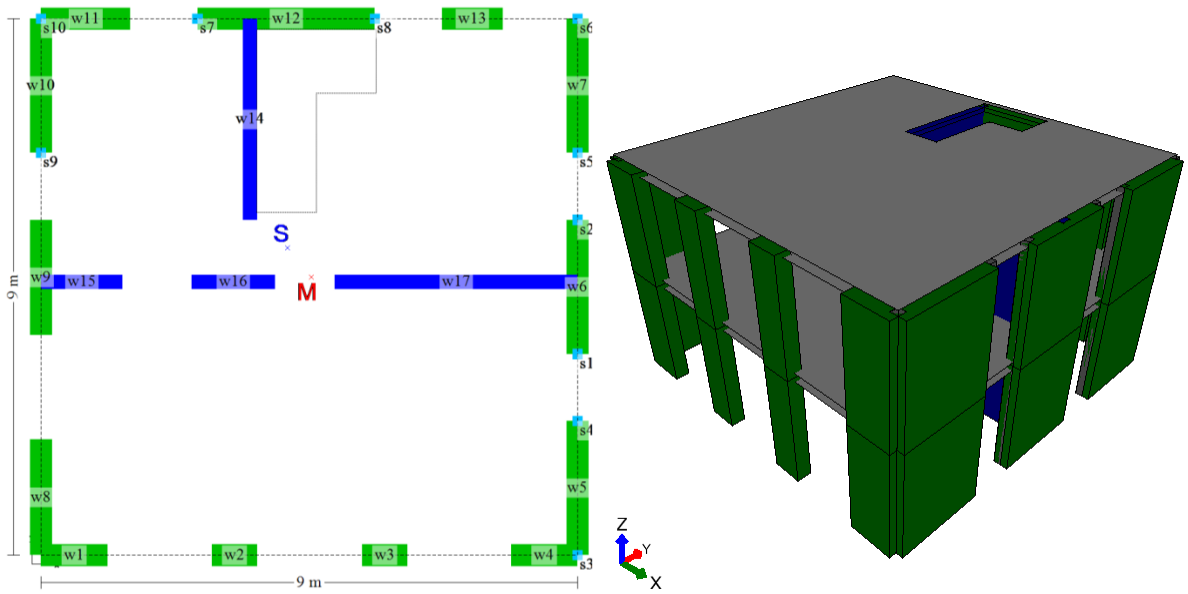


Abbildung 6.55: Grundriss des Erdgeschosses (links) sowie 3D-Ansicht des Gebäudes (rechts)

Der Nachweis wird nach DIN EN 1998-1/NA-DE in Verbindung mit DIN EN 1996-1-1/NA-DE durchgeführt.

6.5.2 Eingabedaten

Die Vorgehensweise bei der Systemeingabe erfolgt analog zu den vorherigen Beispielen in drei Arbeitsschritten und wird daher an dieser Stelle lediglich in gekürzter Form beschrieben. Im ersten Schritt werden die Gebäudedaten, im zweiten Schritt die Erdbebendaten und zuletzt die Geometriedaten definiert.

Eingabe der Norm und Gebäudedaten

- Normen: DIN EN 1998-1/NA-DE und DIN EN 1996-1-1/NA-DE
- Stockwerke: 2 Stockwerke mit $h = 283$ cm

- Bedeutungskategorie: Gewöhnliche Bauten (Kategorie II)
- Verhaltensbeiwerte: Verhaltensbeiwert q für x-Richtung und y-Richtung jeweils 1,96

Eingabe der Erdbebendaten

Die Definition des elastischen Antwortspektrums erfolgt durch Vorgabe der spektralen Antwortbeschleunigung auf Fels $S_{aP,R}$ in Kombination mit der Auswahl der Untergrundkombination. Für dieses Beispiel werden die folgenden Werte angesetzt:

- $S_{aP,R}$: 1,94 m/s^2
- Untergrundverhältnis: C-R

Bei der Auswahl der Erdbebendaten erfolgt auf der sicheren Seite eine Verlängerung des Plateaubereichs bis zur Periode $T = 0$ s (Abbildung 6.56).

Eingabe der Netz- und Berechnungsparameter

Die Netz- und Berechnungsparameter werden entsprechend Abbildung 6.57 definiert.

Eingabe der Geometriedaten

Im ersten Schritt der Eingabe der Geometriedaten werden die Koordinaten der Wandscheiben eingegeben. Anschließend erfolgt die Eingabe der Koordinaten der Stahlbetonstützen. Die Koordinaten von Wänden und Stützen sind in Abbildung 6.58 dargestellt.

Die Anordnung der Stahlbetonstützen in den Schalungssteinen erfolgt an den Wandenden der Wandscheiben 5, 6, 7, 10 und 12. Als Material für die Wandscheiben wird Mauerwerk DIN EN 1996-1-1/NA-DE (Einsteinmauerwerk) ausgewählt. Die Stützen werden als Pendelstütze mit dem Material Stahlbeton DIN EN 1992-1-1 (gelenkig) modelliert. Die Wand- und Stützeneigenschaften sind in der Berichtausgabe (Abschnitt 6.5.4) zusammengestellt.

Die Geschossdecke erfüllt die Kriterien einer „Geschossdecke mit aussteifender Scheibenwirkung“. Die aussteifende Deckenscheibe wird über ein Randpolygon und ein Öffnungspolygon im Bereich des Treppenhauses definiert. Die Koordinaten der beiden Polygonzüge sowie die gewählten Materialeigenschaften der Stahlbetondecke können der Berichtausgabe (Abschnitt 6.5.4) entnommen werden.

Eingabe der erweiterten Wandeigenschaften

Die Eingabe der Wandmaterialien erfolgt analog zu den vorherigen Beispielen. Zusätzlich wird für die Außenwände angenommen, dass die Deckenscheibe lediglich auf 2/3 der Wanddicke aufliegt. Dies erfolgt durch den Ansatz einer bezogenen Auflagertiefe a/t von 67%. Zusätzlich erfolgt für die durch die Stützen eingefassten Wandscheiben 5, 6, 7, 10 und 12 die Angabe der Berechnung als vollständig überdrückte Wandscheibe. Abbildung 6.59 zeigt die gewählten erweiterten Wandeigenschaften exemplarisch für Wandscheibe 5.

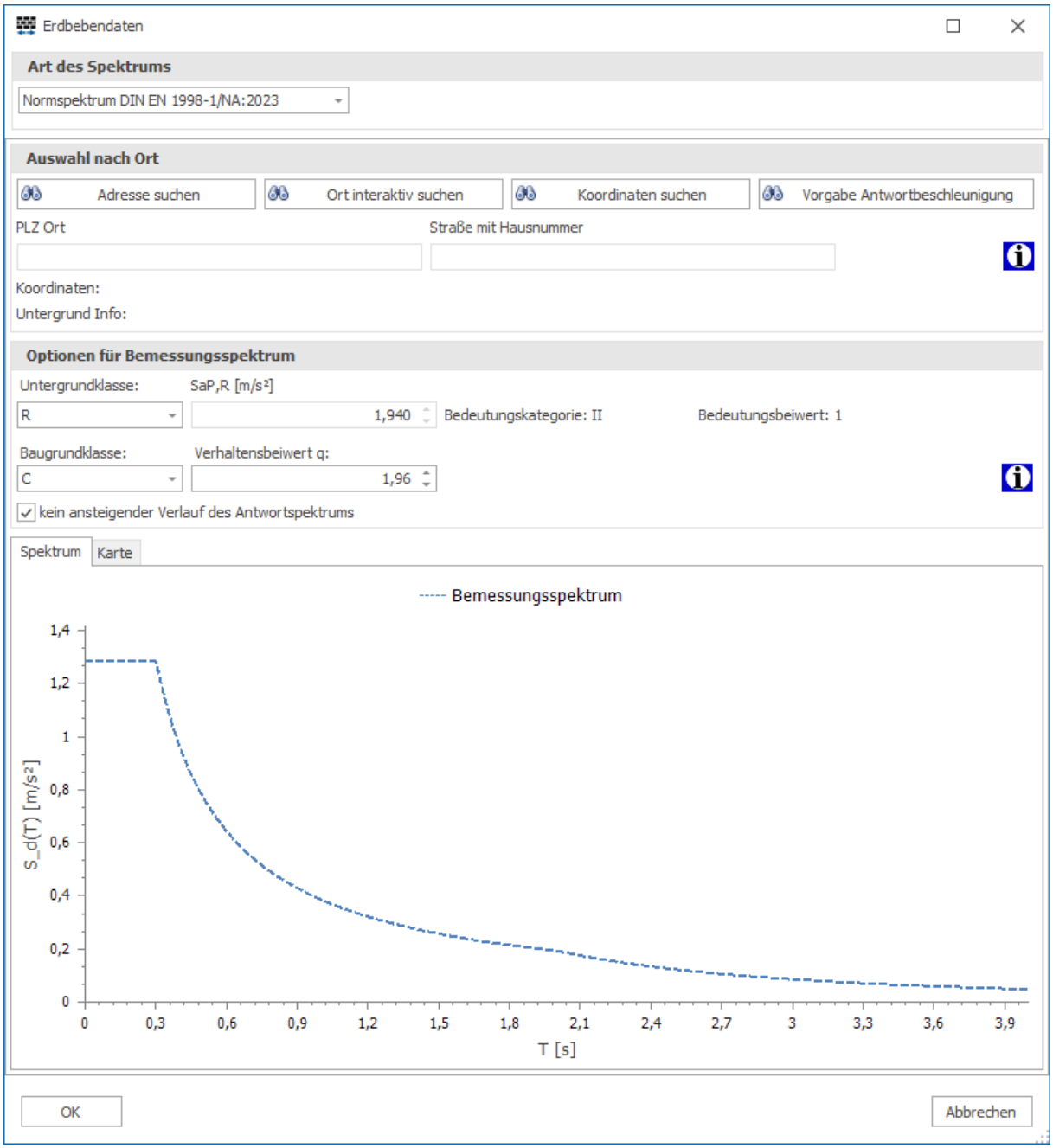


Abbildung 6.56: Übersicht der ausgewählten Erdbebendaten

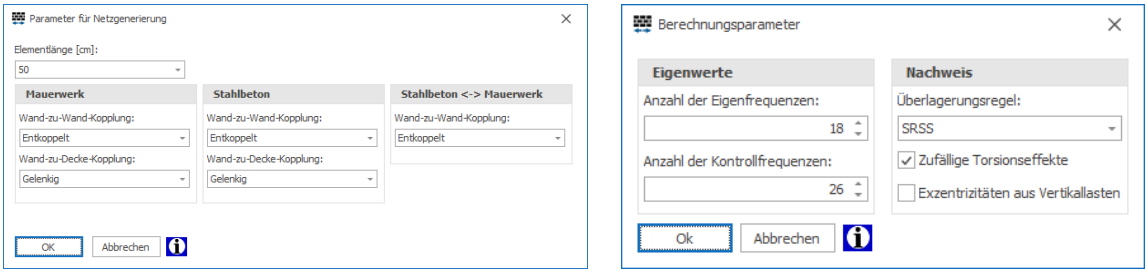


Abbildung 6.57: Einstellungen der Netz- (links) und Berechnungsparameter (rechts)

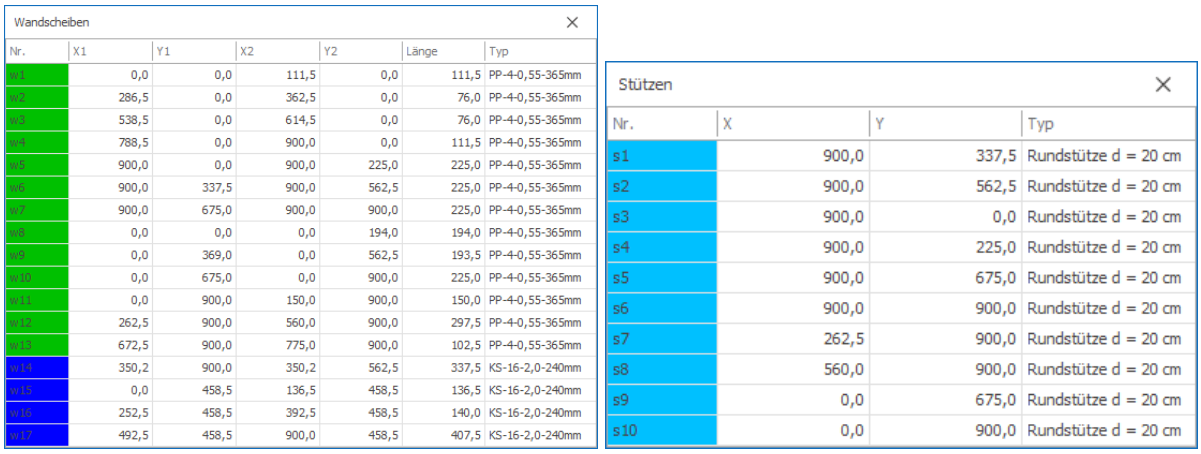


Abbildung 6.58: Wand- (links) und Stützenkoordinaten (rechts)

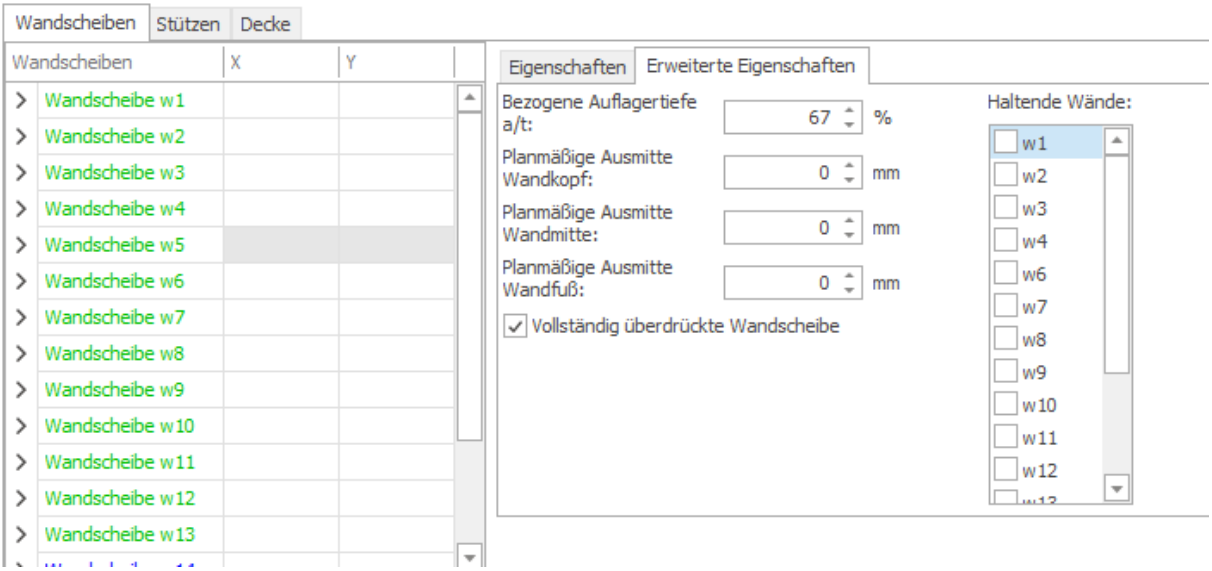


Abbildung 6.59: Erweiterte Wandeigenschaften

6.5.3 Durchführung des rechnerischen Nachweises

Nachweiseinstellungen

Bevor der Nachweis gestartet wird, erfolgt im Fenster Nachweiseinstellungen die Festlegung der Berechnungsparameter analog der Darstellung in Abbildung 6.60. Dabei wird durch die Auswahl des Kenners **Stahlbetonstützen in statischer Rechnung nicht berücksichtigen** gewährleistet, dass die Schnittgrößen der statischen Lastfälle ohne Berücksichtigung der Stahlbetonstützen (Entkopplung vom vertikalen Lastabtrag) erfolgt.

Nachweisführung

In diesem Beispiel wird über den Menüpunkt **Nachweis starten** im Menü **Nachweis** direkt der rechnerische Nachweis gestartet. Aufgrund der gewählten Nachweiseinstellungen erfolgt die Berücksichtigung der in den Schalungssteinen angeordneten Stahlbetonstützen ausschließlich innerhalb der dynamischen Lastfälle. Nach Abschluss der Berechnung wird das in Abbildung 6.61 dargestellte Fenster angezeigt.

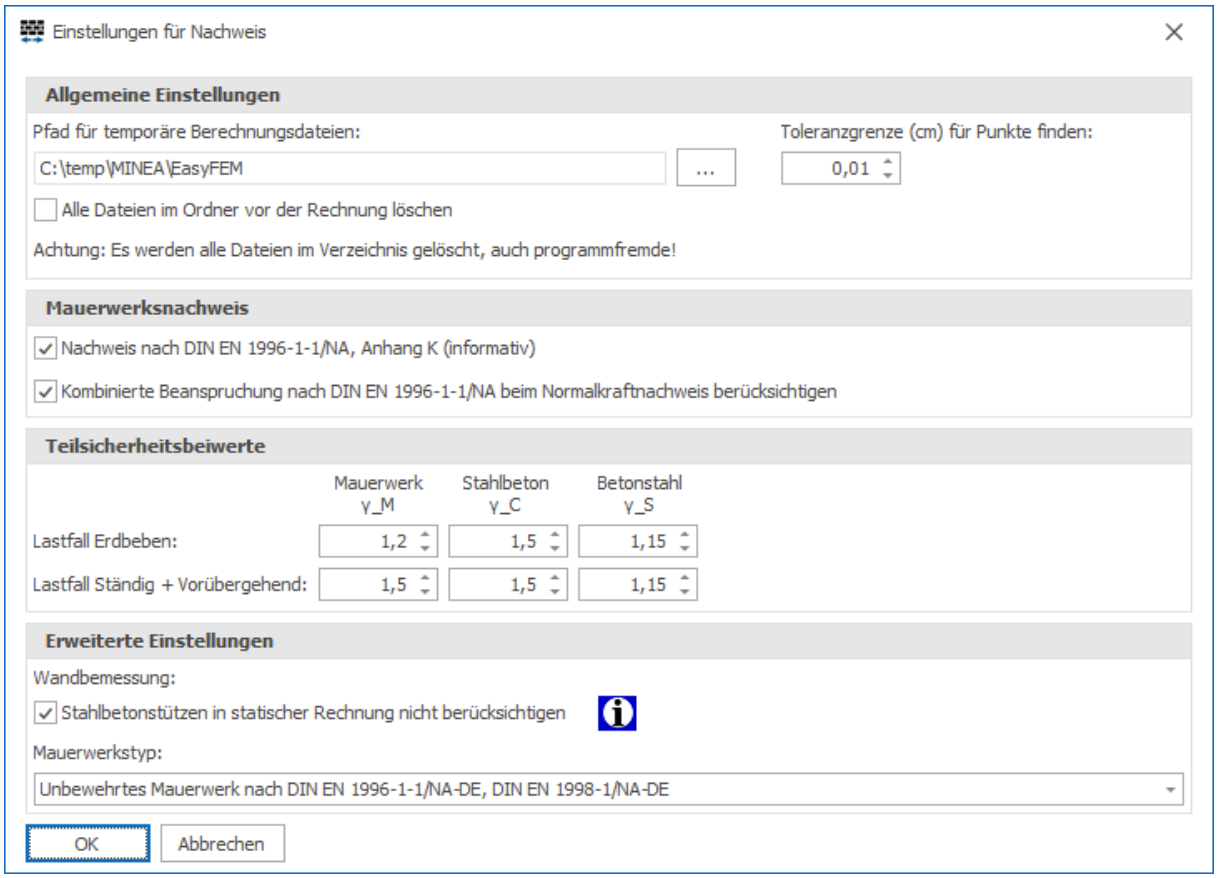


Abbildung 6.60: Nachweiseinstellungen für den rechnerischen Nachweis (3D mit Stützen in Schalungssteinen)

In diesem Fenster besteht die Möglichkeit zwischen verschiedenen Reitern zu wechseln und die unterschiedlichen Ergebnisse in der Bildschirmoberfläche anzeigen zu lassen. Dazu stehen die Reiter **Statische & dynamische Lastfälle**, **Erdbebenkombination**, **Kombination Ständig und Vorübergehend**, **Nachweisübersicht**, **Bewehrung** sowie **Graphische Darstellung** zur Verfügung. Die Inhalte der einzelnen Reiter entsprechen prinzipiell denen des vorherigen Beispiels (s. Abschnitt 6.4.3) und werden im Weiteren nicht detailliert beschrieben.

In der Ansicht **Graphische Darstellung** werden die Eigenformen, Informationen zu den Eigenfrequenzen sowie die Verformungen und Schnittgrößenverläufe der Wandscheiben (Abbildung 6.62) dargestellt.

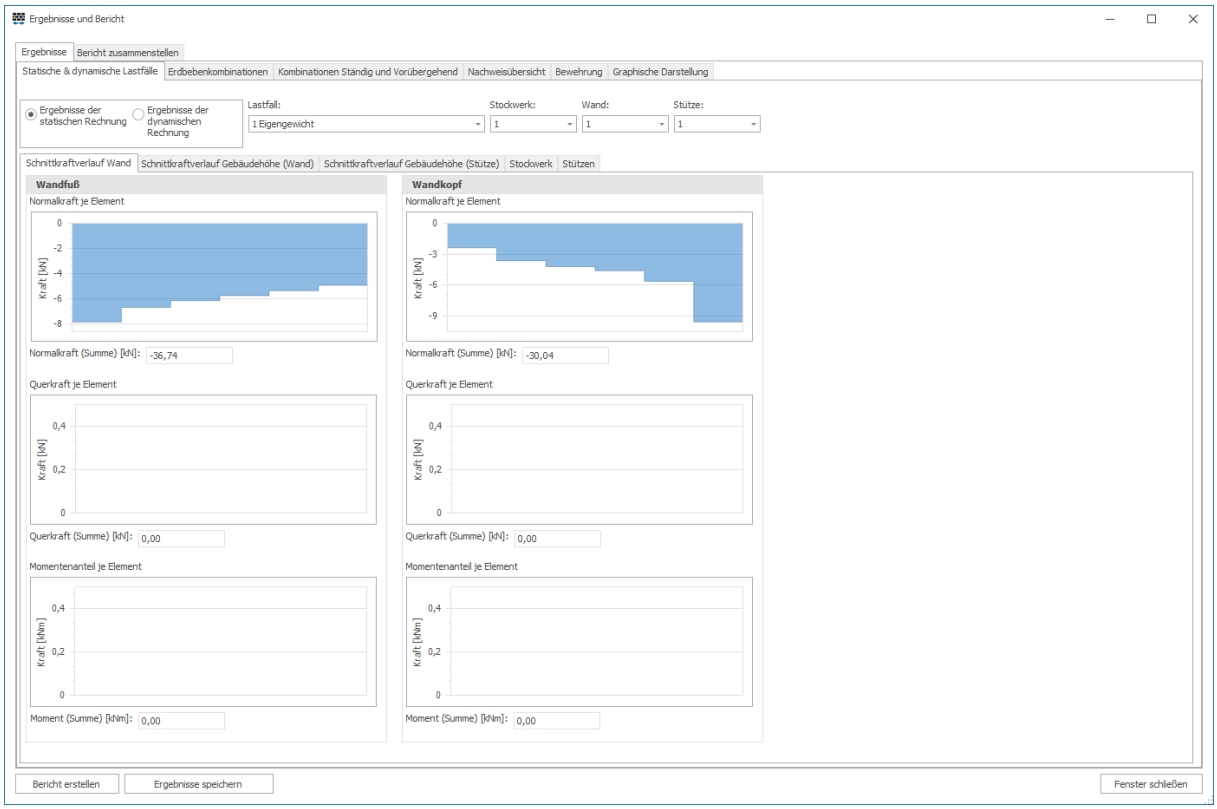


Abbildung 6.61: Ergebnisfenster für den rechnerischen Nachweis (3D)

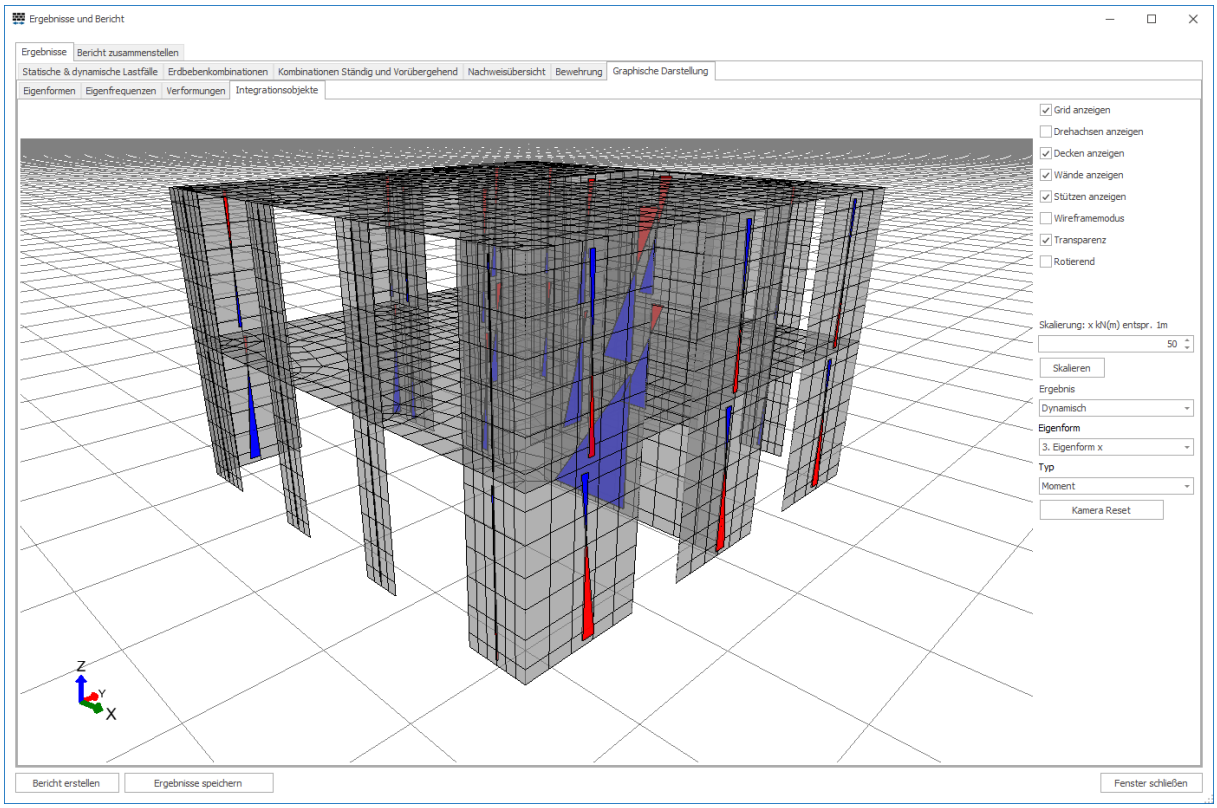


Abbildung 6.62: Graphische Darstellung der Schnittkraftverläufe der Wandscheiben (hier: Biegemoment)

6.5.4 Ausgabe des Berichts

Der Bericht ist für das gewählte Beispiel in Ausschnitten auf den folgenden Seiten dargestellt. Der rechnerische Nachweis kann für das vorliegende System geführt werden. Die Stahlbetonstützen müssen in einer Nachlaufberechnung mit einem separaten Programm bemessen und nachgewiesen werden. In MINEA werden hierfür die Bemessungsschnittgrößen ausgegeben. Von den tabellarischen Ausgaben werden jeweils lediglich die ersten Seiten exemplarisch dargestellt.

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

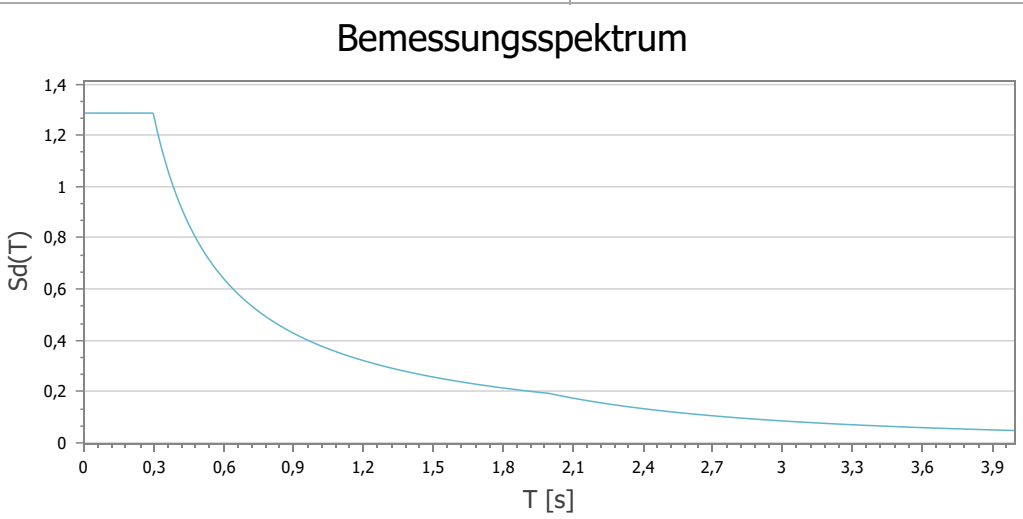
Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Gebäudedaten

Eigenschaft	Wert
Anzahl Stockwerke:	2
Höhe der Stockwerke h:	283,0 cm

Erdbebendaten

Eigenschaft	Wert
$S_{ap,R}$ [m/s²]	1,940
Untergrundverhältnisse:	C-R
Bedeutungskategorie:	II
Bedeutungsbeiwert:	1
Verhaltensbeiwert q:	1,96



Parameter des horizontalen Antwortspektrums

Untergrundtyp	S	T_B	T_C	T_D
		[s]	[s]	[s]
C-R	1,30	0,10	0,30	2,00

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Materialdaten

Wandscheibentypen:

Wandscheibentyp	Material	t	E_M|E_{cm}	μ	ρ	Ausbaul.
		[mm]	[N/mm²]	[-]	[kg/m³]	[kN/m²]
PP-4-0,55-365mm	Porenbetonsteine DM	365	1.655,13	0,25	650,00	0,00
KS-16-2,0-240mm	Kalksandsteine IIa	240	6.757,45	0,10	2.000,00	0,00

Wandscheibentyp	SFK	Stoßfugen vermörtelt	f_k	f_{vk0}	l_{ol}/h_u	h_u	l_u	$f_{bt,cal}$	φ_∞
			[N/mm²]	[N/mm²]	[-]	[mm]	[mm]	[N/mm²]	[-]
PP-4-0,55-365mm	4	Nein	3,01	0,22	-	-	-	0,29	0,50
KS-16-2,0-240mm	16	Ja	7,11	0,18	-	-	-	0,64	1,50

Stützentypen:

Stützentyp	Material	A	E_M|E_{cm}	μ	ρ	α_T
		[mm²]	[N/mm²]	[-]	[kg/m³]	[-]
Rundstütze d = 20 cm	C25/30 (gelenkig)	31.416	31.000,00	0,17	2.500,00	1E-05

Stützentyp	f_{ck}
	[N/mm²]
Rundstütze d = 20 cm	25

Deckentypen:

Deckentyp	Material	t	E_{cm}	μ	ρ	α_T
		[mm]	[N/mm²]	[-]	[kg/m³]	[-]
Deckentyp 1	C20/25	220	30.000,00	0,17	2.500,00	1E-05

Deckentyp	f_{ck}
	[N/mm²]
Deckentyp 1	20

Dachtyp:

Deckentyp	Material	t	E_{cm}	μ	ρ	α_T
		[mm]	[N/mm²]	[-]	[kg/m³]	[-]
Dachtyp 1	C20/25	220	30.000,00	0,17	2.500,00	1E-05

Dachtyp	f_{ck}
	[N/mm²]
Dachtyp 1	20

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Grundrissdaten

Grundrissdaten für Stockwerk 1

Wandscheiben

Nr.	Wandscheibentyp	Lastabtrag*	t	l_W	X_1	Y_1	X_2	Y_2
[-]	[-]	[-]	[mm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
w1	PP-4-0,55-365mm	v+h	365	111,5	0,0	0,0	111,5	0,0
w2	PP-4-0,55-365mm	v+h	365	76,0	286,5	0,0	362,5	0,0
w3	PP-4-0,55-365mm	v+h	365	76,0	538,5	0,0	614,5	0,0
w4	PP-4-0,55-365mm	v+h	365	111,5	788,5	0,0	900,0	0,0
w5	PP-4-0,55-365mm	v+h	365	225,0	900,0	0,0	900,0	225,0
w6	PP-4-0,55-365mm	v+h	365	225,0	900,0	337,5	900,0	562,5
w7	PP-4-0,55-365mm	v+h	365	225,0	900,0	675,0	900,0	900,0
w8	PP-4-0,55-365mm	v+h	365	194,0	0,0	0,0	0,0	194,0
w9	PP-4-0,55-365mm	v+h	365	193,5	0,0	369,0	0,0	562,5
w10	PP-4-0,55-365mm	v+h	365	225,0	0,0	675,0	0,0	900,0
w11	PP-4-0,55-365mm	v+h	365	150,0	0,0	900,0	150,0	900,0
w12	PP-4-0,55-365mm	v+h	365	297,5	262,5	900,0	560,0	900,0
w13	PP-4-0,55-365mm	v+h	365	102,5	672,5	900,0	775,0	900,0
w14	KS-16-2,0-240mm	v+h	240	337,5	350,2	900,0	350,2	562,5
w15	KS-16-2,0-240mm	v+h	240	136,5	0,0	458,5	136,5	458,5
w16	KS-16-2,0-240mm	v+h	240	140,0	252,5	458,5	392,5	458,5
w17	KS-16-2,0-240mm	v+h	240	407,5	492,5	458,5	900,0	458,5

**: v = Vertikaler Lastabtrag, h = Horizontaler Lastabtrag, v+h = Vertikaler und Horizontaler Lastabtrag*

Stützen

Nr.	Stützentyp	A	X	Y
[-]	[-]	[mm²]	[cm]	[cm]
s1	Rundstütze d = 20 cm	31.416	900,0	337,5
s2	Rundstütze d = 20 cm	31.416	900,0	562,5
s3	Rundstütze d = 20 cm	31.416	900,0	0,0
s4	Rundstütze d = 20 cm	31.416	900,0	225,0
s5	Rundstütze d = 20 cm	31.416	900,0	675,0
s6	Rundstütze d = 20 cm	31.416	900,0	900,0
s7	Rundstütze d = 20 cm	31.416	262,5	900,0
s8	Rundstütze d = 20 cm	31.416	560,0	900,0
s9	Rundstütze d = 20 cm	31.416	0,0	675,0
s10	Rundstütze d = 20 cm	31.416	0,0	900,0

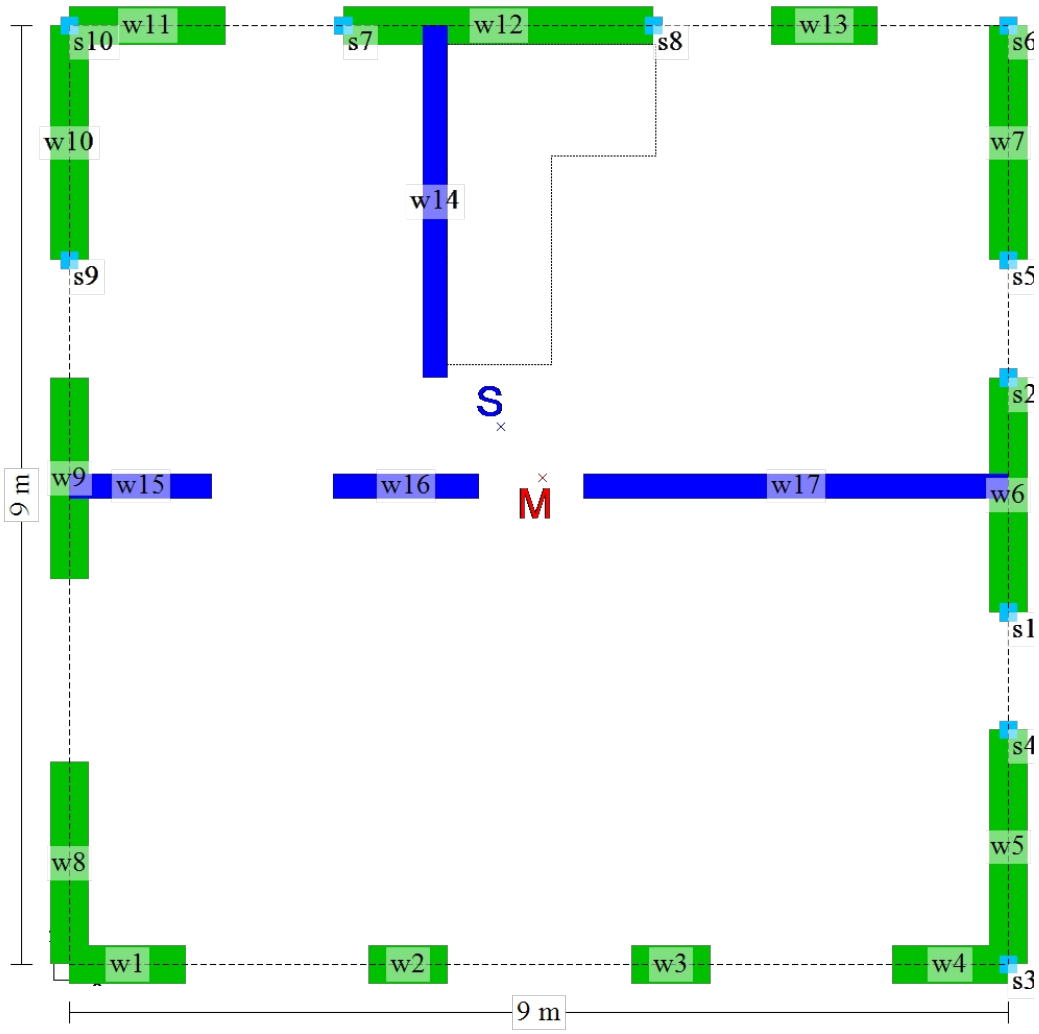
Decke

	Punktlisten (Werte in cm)
Randpolygon	{X=0, Y=0}; {X=900, Y=0}; {X=900, Y=900}; {X=0, Y=900}
Öffnungspolygon	{X=362,5, Y=575}; {X=462,5, Y=575}; {X=462,5, Y=775}; {X=562,5, Y=775}; {X=562,5, Y=881,8}; {X=362,5, Y=881,8}
Stockwerksfläche	76,86 m²

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Grundriss Stockwerk 1



SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Lasten

Vertikale Lasten

Stockwerk	Eigengew.	zus. st. Last	Verkehrsl. 1	$\Psi_{2,1}$	$\Psi_{0,1}$	Verkehrsl. 2	$\Psi_{2,2}$	$\Psi_{0,2}$
	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[-]	[-]	[kN/m²]	[-]	[-]
1	5,50	1,50	2,70	0,30	0,70	0,00	0,00	0,00
2	5,50	3,00	2,70	0,30	0,70	0,50	0,50	0,50

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Lastfallkombinationen

Erdbebenkombination

Kombination	Beschreibung
1	1: STAT. + 1,0 SRSSx + 0,3 SRSSy
2	2: STAT. - 1,0 SRSSx - 0,3 SRSSy
3	3: STAT. - 1,0 SRSSx + 0,3 SRSSy
4	4: STAT. + 1,0 SRSSx - 0,3 SRSSy
5	5: STAT. + 0,3 SRSSx + 1,0 SRSSy
6	6: STAT. - 0,3 SRSSx - 1,0 SRSSy
7	7: STAT. - 0,3 SRSSx + 1,0 SRSSy
8	8: STAT. + 0,3 SRSSx - 1,0 SRSSy

Legende:
*STAT. aus: 1.0 * (Eigengew. + zus.st.Lasten) + Ψ_2 Decke * Verk. 1 + Ψ_2 Dach * Verk. 2*

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Eigenfrequenzen

Eigenform	Frequenz	Periode	Akt. Masse X	Akt. Masse Y
	[Hz]	[s]	[%]	[%]
1	8,50	0,12	4,28	70,55
2	8,81	0,11	48,72	10,83
3	10,54	0,09	30,10	1,12
4	15,06	0,07	0,26	0,15
5	18,95	0,05	0,02	0,00
6	20,10	0,05	0,02	0,10
7	22,46	0,04	0,22	0,13
8	23,70	0,04	0,02	6,39
9	24,11	0,04	0,00	0,02
10	24,34	0,04	2,22	0,03
11	24,37	0,04	0,04	0,21
12	24,55	0,04	0,02	0,00
13	24,58	0,04	0,00	0,00
14	24,63	0,04	0,03	0,00
15	24,92	0,04	0,00	0,00
16	25,04	0,04	0,00	0,00
17	27,12	0,04	4,57	0,19
18	28,13	0,04	0,81	4,78

Gesamtmasse [t]: 194,46

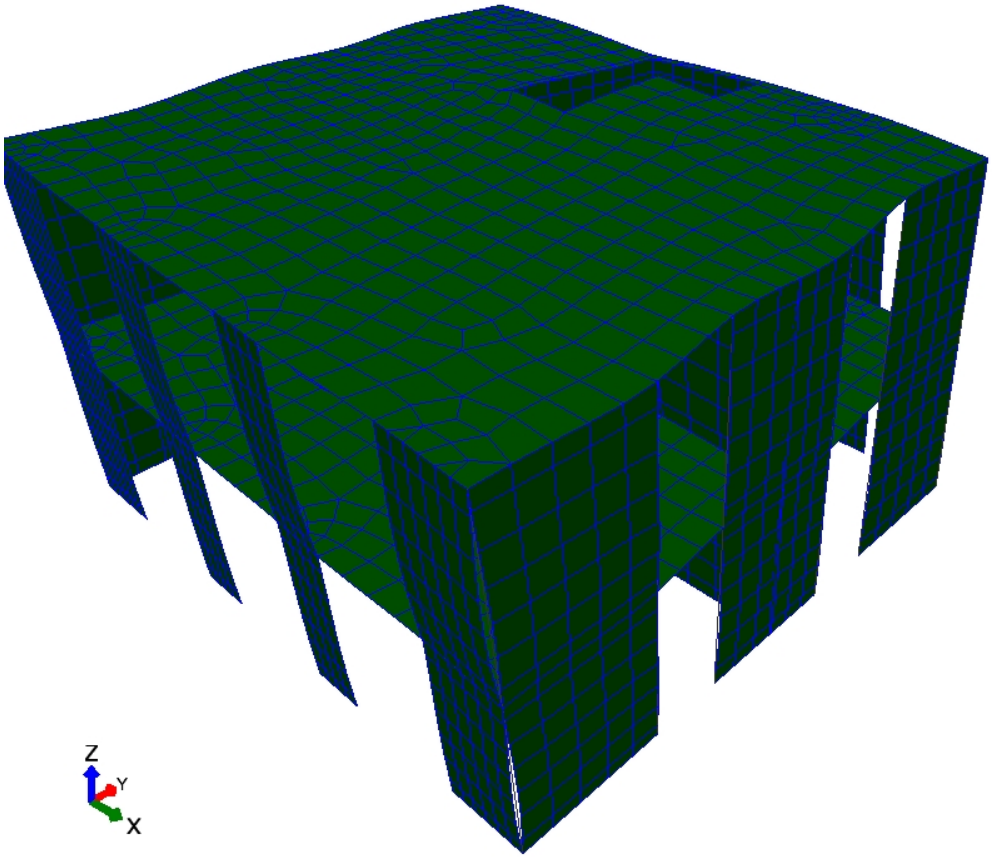
Summe aktivierte Masse x [%]: 91,34

Summe aktivierte Masse y [%]: 94,51

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

1. Eigenform



SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Stat. Komb.

Kombination 1: STAT. + 1,0 SRSSx + 0,3 SRSSy

Stockwerk 1		Wandfuß			Wandkopf		
Wand		N_{Ed}	Q_{Ed}	M_{Ed}	N_{Ed}	Q_{Ed}	M_{Ed}
		[kN]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]
w1		-37,20	7,29	9,56	-30,57	6,96	6,14
w2		-82,01	3,22	3,74	-77,46	2,99	2,89
w3		-79,32	3,18	3,71	-74,78	2,95	2,83
w4		-38,50	7,21	9,52	-31,85	6,88	5,95
w5		-81,74	25,27	31,11	-68,25	24,77	16,44
w6		-40,16	24,86	31,53	-26,77	24,35	15,73
w7		-76,89	24,24	30,86	-63,39	23,75	14,21
w8		-74,05	17,98	26,02	-62,45	17,51	8,91
w9		-52,14	17,76	26,51	-40,58	17,28	8,65
w10		-71,69	27,63	36,96	-58,21	27,05	18,11
w11		-38,32	8,32	10,51	-29,37	8,00	6,54
w12		-50,75	33,27	44,08	-33,00	32,62	18,76
w13		-51,53	3,43	4,28	-45,40	3,21	2,79
w14		-175,01	69,73	160,56	-134,09	68,77	10,58
w15		-129,40	14,91	22,46	-112,85	14,44	11,16
w16		-182,26	17,81	24,86	-165,32	17,32	15,20
w17		-424,56	108,67	253,79	-375,11	107,29	14,16

Stockwerk 1		Stützenfuß					Stützenkopf				
Stütze		$N_{Ed,u}$	$Q_{y,Ed,u}$	$Q_{z,Ed,u}$	$M_{y,Ed,u}$	$M_{z,Ed,u}$	$N_{Ed,o}$	$Q_{y,Ed,o}$	$Q_{z,Ed,o}$	$M_{y,Ed,o}$	$M_{z,Ed,o}$
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
1		14,25	0,00	0,00	0,00	0,00	14,25	0,00	0,00	0,00	0,00
2		17,58	0,00	0,00	0,00	0,00	17,58	0,00	0,00	0,00	0,00
3		11,61	0,00	0,00	0,00	0,00	11,61	0,00	0,00	0,00	0,00
4		12,33	0,00	0,00	0,00	0,00	12,33	0,00	0,00	0,00	0,00
5		10,83	0,00	0,00	0,00	0,00	10,83	0,00	0,00	0,00	0,00
6		15,86	0,00	0,00	0,00	0,00	15,86	0,00	0,00	0,00	0,00
7		13,84	0,00	0,00	0,00	0,00	13,84	0,00	0,00	0,00	0,00
8		15,01	0,00	0,00	0,00	0,00	15,01	0,00	0,00	0,00	0,00
9		13,58	0,00	0,00	0,00	0,00	13,58	0,00	0,00	0,00	0,00
10		15,94	0,00	0,00	0,00	0,00	15,94	0,00	0,00	0,00	0,00

Stockwerk 2		Wandfuß			Wandkopf		
Wand		N_{Ed}	Q_{Ed}	M_{Ed}	N_{Ed}	Q_{Ed}	M_{Ed}
		[kN]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]
w1		-25,46	5,55	5,51	-18,90	4,56	5,64
w2		-44,87	3,29	3,03	-40,36	2,57	3,36
w3		-43,38	3,17	2,92	-38,88	2,46	3,21
w4		-24,86	5,19	5,09	-18,27	4,19	5,19
w5		-43,51	17,28	16,46	-30,04	15,84	14,44
w6		-25,46	17,35	16,26	-12,21	15,91	15,33
w7		-40,80	15,68	14,60	-27,32	14,25	12,52
w8		-41,81	11,06	9,72	-30,25	9,51	9,49
w9		-29,45	13,21	9,97	-17,98	11,64	14,88
w10		-38,25	20,17	20,65	-24,79	18,33	17,94
w11		-22,41	6,23	5,52	-13,49	5,21	6,31
w12		-33,69	22,75	21,20	-16,10	20,78	17,71
w13		-27,50	3,16	2,65	-21,40	2,43	3,46
w14		-97,19	43,60	56,67	-56,38	40,28	37,36
w15		-69,71	10,02	9,79	-53,20	8,50	11,19
w16		-100,30	16,91	15,91	-83,45	15,33	20,65
w17		-233,41	69,05	93,70	-184,06	64,62	60,65

Stockwerk 2		Stützenfuß					Stützenkopf				
Stütze		$N_{Ed,u}$	$Q_{y,Ed,u}$	$Q_{z,Ed,u}$	$M_{y,Ed,u}$	$M_{z,Ed,u}$	$N_{Ed,o}$	$Q_{y,Ed,o}$	$Q_{z,Ed,o}$	$M_{y,Ed,o}$	$M_{z,Ed,o}$
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
1		3,97	0,00	0,00	0,00	0,00	3,97	0,00	0,00	0,00	0,00
2		4,52	0,00	0,00	0,00	0,00	4,52	0,00	0,00	0,00	0,00

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Stockwerk 2		Stützenfuß					Stützenkopf				
Stütze		$N_{Ed,u}$	$Q_{y,Ed,u}$	$Q_{z,Ed,u}$	$M_{y,Ed,u}$	$M_{z,Ed,u}$	$N_{Ed,o}$	$Q_{y,Ed,o}$	$Q_{z,Ed,o}$	$M_{y,Ed,o}$	$M_{z,Ed,o}$
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
3		3,11	0,00	0,00	0,00	0,00	3,11	0,00	0,00	0,00	0,00
4		1,83	0,00	0,00	0,00	0,00	1,83	0,00	0,00	0,00	0,00
5		1,39	0,00	0,00	0,00	0,00	1,39	0,00	0,00	0,00	0,00
6		3,75	0,00	0,00	0,00	0,00	3,75	0,00	0,00	0,00	0,00
7		4,37	0,00	0,00	0,00	0,00	4,37	0,00	0,00	0,00	0,00
8		4,14	0,00	0,00	0,00	0,00	4,14	0,00	0,00	0,00	0,00
9		2,33	0,00	0,00	0,00	0,00	2,33	0,00	0,00	0,00	0,00
10		4,01	0,00	0,00	0,00	0,00	4,01	0,00	0,00	0,00	0,00

Kombination 2: STAT. - 1,0 SRSSx - 0,3 SRSSy

Stockwerk 1		Wandfuß			Wandkopf		
Wand		N_{Ed}	Q_{Ed}	M_{Ed}	N_{Ed}	Q_{Ed}	M_{Ed}
		[kN]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]
w1		-63,04	-7,29	-9,56	-56,28	-6,96	-6,14
w2		-85,91	-3,22	-3,74	-81,33	-2,99	-2,89
w3		-86,61	-3,18	-3,71	-82,03	-2,95	-2,83
w4		-61,45	-7,21	-9,52	-54,70	-6,88	-5,95
w5		-89,59	-25,27	-31,11	-76,06	-24,77	-16,44
w6		-88,74	-24,86	-31,53	-75,11	-24,35	-15,73
w7		-81,66	-24,24	-30,86	-68,14	-23,75	-14,21
w8		-94,77	-17,98	-26,02	-83,07	-17,51	-8,91
w9		-79,95	-17,76	-26,51	-68,27	-17,28	-8,65
w10		-79,79	-27,63	-36,96	-66,25	-27,05	-18,11
w11		-60,79	-8,32	-10,51	-51,72	-8,00	-6,54
w12		-100,52	-33,27	-44,08	-82,54	-32,62	-18,76
w13		-57,25	-3,43	-4,28	-51,07	-3,21	-2,79
w14		-217,43	-69,73	-160,56	-176,35	-68,77	-10,58
w15		-142,28	-14,91	-22,46	-125,66	-14,44	-11,16
w16		-212,26	-17,81	-24,86	-195,19	-17,32	-15,20
w17		-453,06	-108,67	-253,79	-403,50	-107,29	-14,16

Stockwerk 1		Stützenfuß					Stützenkopf				
Stütze		$N_{Ed,u}$	$Q_{y,Ed,u}$	$Q_{z,Ed,u}$	$M_{y,Ed,u}$	$M_{z,Ed,u}$	$N_{Ed,o}$	$Q_{y,Ed,o}$	$Q_{z,Ed,o}$	$M_{y,Ed,o}$	$M_{z,Ed,o}$
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
1		-14,25	0,00	0,00	0,00	0,00	-14,25	0,00	0,00	0,00	0,00
2		-17,58	0,00	0,00	0,00	0,00	-17,58	0,00	0,00	0,00	0,00
3		-11,61	0,00	0,00	0,00	0,00	-11,61	0,00	0,00	0,00	0,00
4		-12,33	0,00	0,00	0,00	0,00	-12,33	0,00	0,00	0,00	0,00
5		-10,83	0,00	0,00	0,00	0,00	-10,83	0,00	0,00	0,00	0,00
6		-15,86	0,00	0,00	0,00	0,00	-15,86	0,00	0,00	0,00	0,00
7		-13,84	0,00	0,00	0,00	0,00	-13,84	0,00	0,00	0,00	0,00
8		-15,01	0,00	0,00	0,00	0,00	-15,01	0,00	0,00	0,00	0,00
9		-13,58	0,00	0,00	0,00	0,00	-13,58	0,00	0,00	0,00	0,00
10		-15,94	0,00	0,00	0,00	0,00	-15,94	0,00	0,00	0,00	0,00

Stockwerk 2		Wandfuß			Wandkopf		
Wand		N_{Ed}	Q_{Ed}	M_{Ed}	N_{Ed}	Q_{Ed}	M_{Ed}
		[kN]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]
w1		-29,48	-5,55	-5,51	-22,65	-4,56	-5,64
w2		-47,39	-3,29	-3,03	-42,77	-2,57	-3,36
w3		-47,61	-3,17	-2,92	-42,98	-2,46	-3,21
w4		-28,98	-5,19	-5,09	-22,18	-4,19	-5,19
w5		-45,15	-17,28	-16,46	-31,59	-15,84	-14,44
w6		-38,75	-17,35	-16,26	-24,98	-15,91	-15,33
w7		-43,11	-15,68	-14,60	-29,56	-14,25	-12,52
w8		-44,98	-11,06	-9,72	-33,24	-9,51	-9,49
w9		-33,74	-13,21	-9,97	-21,97	-11,64	-14,88
w10		-40,53	-20,17	-20,65	-26,96	-18,33	-17,94
w11		-29,56	-6,23	-5,52	-20,47	-5,21	-6,31
w12		-47,45	-22,75	-21,20	-29,31	-20,78	-17,71
w13		-30,46	-3,16	-2,65	-24,25	-2,43	-3,46

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Nachweise

Erdbebennachweise (numerisch)

Kombination 1: STAT. + 1,0 SRSSx + 0,3 SRSSy

Stockwerk 1

Nachweis Normalkraft am Wandfuß

Wand		$e_{o,\|\|}$	$e_{u,\|\|}$	λ_v	$\Phi_{u,\|\|}$	$e_{u,senk}$	$\Phi_{u,senk}$	$\Phi_{u,komb}$	f_d	N_{Rd}	N_{Ed}	N_{Ed}/N_{Rd}
		[m]	[m]	[-]	[-]	[m]	[-]	[-]	[kN/m²]	[kN]	[kN]	[-]
w1		0,201	0,257	11,634	0,539	0,060	0,670	0,361	2.507,78	368,51	37,20	0,10
w2		0,037	0,046	20,602	0,880	0,060	0,670	0,590	2.507,78	410,18	82,01	0,20
w3		0,038	0,047	19,376	0,877	0,060	0,670	0,587	2.507,78	408,67	79,32	0,19
w4		0,187	0,247	10,339	0,556	0,060	0,670	0,373	2.507,78	380,40	38,50	0,10
w5		0,241	0,381	3,428	0,662	0,060	0,670	0,443	2.507,78	913,05	81,74	0,09
w6		0,588	0,785	5,003	0,302	0,060	0,670	0,202	2.507,78	416,98	40,16	0,10
w7		0,224	0,401	2,848	0,643	0,060	0,670	0,431	2.507,78	887,52	76,89	0,09
w8		0,143	0,351	2,456	0,638	0,060	0,670	0,427	2.507,78	758,75	74,05	0,10
w9		0,213	0,508	2,519	0,474	0,060	0,670	0,318	2.507,78	563,08	52,14	0,09
w10		0,311	0,516	3,171	0,542	0,060	0,670	0,363	2.507,78	747,55	71,69	0,10
w11		0,223	0,274	10,001	0,634	0,060	0,670	0,425	2.507,78	583,37	38,32	0,07
w12		0,569	0,869	2,754	0,416	0,060	0,670	0,279	2.507,78	758,99	50,75	0,07
w13		0,062	0,083	10,703	0,838	0,060	0,670	0,562	2.507,78	526,85	51,53	0,10
w14		0,079	0,917	0,917	0,456	0,012	0,900	0,411	5.927,59	1.971,88	175,01	0,09
w15		0,099	0,174	4,817	0,746	0,012	0,900	0,671	5.927,59	1.303,26	129,40	0,10
w16		0,092	0,136	6,202	0,805	0,012	0,900	0,725	5.927,59	1.443,16	182,26	0,13
w17		0,038	0,598	0,741	0,707	0,012	0,900	0,636	5.927,59	3.686,74	424,56	0,12

Nachweis Querkraft am Wandfuß

Wand		f_{vlt1}	f_{vlt2}	f_{vk}	f_{vd}	c	λ_v	l_{cal} | l_c	V_{Rdlt}	V_{Ed}	V_{Ed}/V_{Rdlt}
		[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[-]	[-]	[m]	[kN]	[kN]	[-]
w1		155,23	151,99	151,99	126,66	1,500	11,634	0,901	27,78	7,29	0,26
w2		228,25	183,49	183,49	152,91	1,500	20,602	0,760	28,28	3,22	0,11
w3		224,38	181,96	181,96	151,63	1,500	19,376	0,760	28,04	3,18	0,11
w4		155,35	152,04	152,04	126,70	1,500	10,339	0,930	28,68	7,21	0,25
w5		150,11	149,53	149,53	124,61	1,500	3,428	2,250	68,22	25,27	0,37
w6		153,16	151,00	151,00	125,83	1,500	5,003	2,250	68,89	24,86	0,36
w7		148,82	148,90	148,82	124,01	1,500	2,848	2,250	67,90	24,24	0,36
w8		153,73	151,27	151,27	126,06	1,500	2,456	1,856	56,93	17,98	0,32
w9		151,49	150,19	150,19	125,16	1,500	2,519	1,377	41,94	17,76	0,42
w10		152,97	150,91	150,91	125,76	1,500	3,171	2,250	68,85	27,63	0,40
w11		139,43	144,27	139,43	116,19	1,500	10,001	1,427	40,34	8,32	0,21
w12		139,96	144,53	139,96	116,63	1,500	2,754	2,975	84,43	33,27	0,39
w13		165,10	156,62	156,62	130,51	1,500	10,703	1,025	32,55	3,43	0,11
w14		306,26	351,93	306,26	255,22	1,000	0,917	2,310	141,50	69,73	0,49
w15		338,00	366,24	338,00	281,66	1,500	4,817	1,365	61,52	14,91	0,24
w16		396,98	391,47	391,47	326,22	1,500	6,202	1,400	73,07	17,81	0,24
w17		353,65	373,10	353,65	294,70	1,000	0,741	4,075	288,22	108,67	0,38

Nachweis Normalkraft in Wandmitte

Wand		$e_{m,\|\|}$	$\Phi_{m,\|\|}$	$e_{m,init,senk}$	$e_{m,k,senk}$	$e_{m,senk}$	$e_{mk,senk}$	$\Phi_{m,senk}$	$\Phi_{m,komb}$	f_d	N_{Rd}	N_{Ed}	N_{Ed} / N_{Rd}
		[m]	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[kN/m²]	[kN]	[kN]	[-]
w1		0,232	0,584	0,005	0,000	0,000	0,065	0,595	0,348	2.507,78	354,68	33,89	0,10
w2		0,042	0,891	0,005	0,000	0,000	0,065	0,595	0,530	2.507,78	368,49	79,74	0,22
w3		0,042	0,888	0,005	0,000	0,000	0,065	0,595	0,528	2.507,78	367,54	77,05	0,21
w4		0,220	0,606	0,005	0,000	0,000	0,065	0,595	0,360	2.507,78	367,62	35,18	0,10
w5		0,317	0,718	0,005	0,000	0,000	0,065	0,595	0,427	2.507,78	879,73	75,00	0,09
w6		0,706	0,372	0,005	0,000	0,000	0,065	0,595	0,221	2.507,78	456,09	33,47	0,07
w7		0,321	0,714	0,005	0,000	0,000	0,065	0,595	0,425	2.507,78	875,09	70,14	0,08
w8		0,256	0,736	0,005	0,000	0,000	0,065	0,595	0,438	2.507,78	777,55	68,25	0,09

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Wand	$e_{m,\|\|}$	$\Phi_{m,\|\|}$	$e_{m,init,senk}$	$e_{m,k,senk}$	$e_{m,senk}$	$e_{mk,senk}$	$\Phi_{m,senk}$	$\Phi_{m,komb}$	f_d	N_{Rd}	N_{Ed}	N_{Ed} / N_{Rd}
	[m]	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[kN/m²]	[kN]	[kN]	[-]
w9	0,379	0,608	0,005	0,000	0,000	0,065	0,595	0,362	2.507,78	640,56	46,36	0,07
w10	0,424	0,623	0,005	0,000	0,000	0,065	0,595	0,371	2.507,78	763,38	64,95	0,09
w11	0,252	0,664	0,005	0,000	0,000	0,065	0,595	0,395	2.507,78	542,33	33,84	0,06
w12	0,750	0,495	0,005	0,000	0,000	0,065	0,595	0,295	2.507,78	802,53	41,87	0,05
w13	0,073	0,858	0,005	0,000	0,000	0,065	0,595	0,510	2.507,78	478,61	48,47	0,10
w14	0,554	0,672	0,005	0,001	0,000	0,012	0,814	0,547	5.927,59	2.625,17	154,55	0,06
w15	0,139	0,797	0,005	0,001	0,000	0,012	0,814	0,648	5.927,59	1.258,93	121,12	0,10
w16	0,115	0,835	0,005	0,001	0,000	0,012	0,814	0,680	5.927,59	1.353,82	173,79	0,13
w17	0,335	0,836	0,005	0,001	0,000	0,012	0,814	0,680	5.927,59	3.941,65	399,84	0,10

Nachweise nach DIN EN 1996-1-1/NA NCI Anhang NA.K (informativ) mit: ζ=1,0 und γ_m=1,2

Tragwiderstände N_{Rd} unter kombinierter Beanspruchung nach DIN EN 1996-1-1/NA NCI zu 6.1.2.2

Stockwerk 2

Nachweis Normalkraft am Wandfuß

Wand	$e_{o,\|\|}$	$e_{u,\|\|}$	λ_v	$\Phi_{u,\|\|}$	$e_{u,senk}$	$\Phi_{u,senk}$	$\Phi_{u,komb}$	f_d	N_{Rd}	N_{Ed}	N_{Ed}/N_{Rd}
	[m]	[m]	[-]	[-]	[m]	[-]	[-]	[kN/m²]	[kN]	[kN]	[-]
w1	0,299	0,217	9,232	0,612	0,060	0,670	0,410	2.507,78	418,24	25,46	0,06
w2	0,083	0,068	19,792	0,822	0,060	0,670	0,551	2.507,78	383,13	44,87	0,12
w3	0,083	0,067	20,077	0,823	0,060	0,670	0,551	2.507,78	383,52	43,38	0,11
w4	0,284	0,205	9,083	0,633	0,060	0,670	0,424	2.507,78	432,86	24,86	0,06
w5	0,481	0,378	5,905	0,664	0,060	0,670	0,445	2.507,78	915,86	43,51	0,05
w6	1,256	0,639	2,560	0,432	0,060	0,670	0,290	2.507,78	596,45	25,46	0,04
w7	0,458	0,358	5,745	0,682	0,060	0,670	0,457	2.507,78	940,87	40,80	0,04
w8	0,314	0,233	5,633	0,760	0,060	0,670	0,509	2.507,78	904,51	41,81	0,05
w9	0,828	0,339	2,475	0,650	0,060	0,670	0,436	2.507,78	771,42	29,45	0,04
w10	0,723	0,540	4,954	0,520	0,060	0,670	0,349	2.507,78	717,84	38,25	0,05
w11	0,467	0,246	3,987	0,672	0,060	0,670	0,450	2.507,78	617,94	22,41	0,04
w12	1,100	0,629	2,223	0,577	0,060	0,670	0,387	2.507,78	1.052,51	33,69	0,03
w13	0,162	0,096	6,831	0,812	0,060	0,670	0,544	2.507,78	510,35	27,50	0,05
w14	0,663	0,583	6,984	0,654	0,012	0,900	0,589	5.927,59	2.828,22	97,19	0,03
w15	0,210	0,140	6,242	0,794	0,012	0,900	0,715	5.927,59	1.388,12	69,71	0,05
w16	0,247	0,159	5,632	0,773	0,012	0,900	0,696	5.927,59	1.386,19	100,30	0,07
w17	0,330	0,401	3,877	0,803	0,012	0,900	0,723	5.927,59	4.189,49	233,41	0,06

Nachweis Querkraft am Wandfuß

Wand	f_{vlt1}	f_{vlt2}	f_{vk}	f_{vd}	c	λ_v	l_{cal} | l_c	V_{Rdlt}	V_{Ed}	V_{Ed}/V_{Rdlt}
	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[-]	[-]	[m]	[kN]	[kN]	[-]
w1	137,27	143,18	137,27	114,39	1,500	9,232	1,023	28,47	5,55	0,19
w2	174,70	160,99	160,99	134,16	1,500	19,792	0,760	24,81	3,29	0,13
w3	172,56	160,03	160,03	133,35	1,500	20,077	0,760	24,66	3,17	0,13
w4	135,73	142,40	135,73	113,11	1,500	9,083	1,059	29,14	5,19	0,18
w5	131,28	140,12	131,28	109,40	1,500	5,905	2,250	59,90	17,28	0,29
w6	129,12	139,00	129,12	107,60	1,500	2,560	2,250	58,91	17,35	0,29
w7	129,87	139,39	129,87	108,23	1,500	5,745	2,250	59,25	15,68	0,26
w8	133,62	141,32	133,62	111,35	1,500	5,633	1,940	52,56	11,06	0,21
w9	127,10	137,95	127,10	105,92	1,500	2,475	1,887	48,63	13,21	0,27
w10	133,87	141,45	133,87	111,56	1,500	4,954	2,250	61,08	20,17	0,33
w11	126,37	137,56	126,37	105,31	1,500	3,987	1,500	38,44	6,23	0,16
w12	124,34	136,49	124,34	103,62	1,500	2,223	2,975	75,01	22,75	0,30
w13	139,40	144,25	139,40	116,17	1,500	6,831	1,025	28,97	3,16	0,11
w14	228,89	314,30	228,89	190,74	1,500	6,984	3,313	101,12	43,60	0,43
w15	265,11	332,45	265,11	220,93	1,500	6,242	1,365	48,25	10,02	0,21
w16	299,40	348,76	299,40	249,50	1,500	5,632	1,400	55,89	16,91	0,30
w17	275,47	337,45	275,47	229,55	1,500	3,877	4,075	149,67	69,05	0,46

Nachweis Normalkraft in Wandmitte

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Wand		$e_{m,\|\|}$	$\Phi_{m,\|\|}$	$e_{m,init,senk}$	$e_{m,k,senk}$	$e_{m,senk}$	$e_{mk,senk}$	$\Phi_{m,senk}$	$\Phi_{m,komb}$	f_d	N_{Rd}	N_{Ed}	N_{Ed} / N_{Rd}
		[m]	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[kN/m²]	[kN]	[kN]	[-]
w1		0,251	0,549	0,005	0,000	0,000	0,065	0,595	0,326	2.507,78	333,20	22,18	0,07
w2		0,075	0,802	0,005	0,000	0,000	0,065	0,595	0,477	2.507,78	332,03	42,61	0,13
w3		0,075	0,804	0,005	0,000	0,000	0,065	0,595	0,478	2.507,78	332,57	41,13	0,12
w4		0,238	0,573	0,005	0,000	0,000	0,065	0,595	0,341	2.507,78	347,67	21,56	0,06
w5		0,420	0,627	0,005	0,000	0,000	0,065	0,595	0,373	2.507,78	767,50	36,78	0,05
w6		0,839	0,255	0,005	0,000	0,000	0,065	0,595	0,151	2.507,78	311,76	18,83	0,06
w7		0,398	0,646	0,005	0,000	0,000	0,065	0,595	0,384	2.507,78	791,42	34,06	0,04
w8		0,267	0,725	0,005	0,000	0,000	0,065	0,595	0,431	2.507,78	765,81	36,03	0,05
w9		0,524	0,458	0,005	0,000	0,000	0,065	0,595	0,273	2.507,78	482,87	23,71	0,05
w10		0,612	0,456	0,005	0,000	0,000	0,065	0,595	0,271	2.507,78	558,60	31,52	0,06
w11		0,329	0,561	0,005	0,000	0,000	0,065	0,595	0,334	2.507,78	458,06	17,95	0,04
w12		0,782	0,475	0,005	0,000	0,000	0,065	0,595	0,282	2.507,78	768,66	24,89	0,03
w13		0,125	0,756	0,005	0,000	0,000	0,065	0,595	0,450	2.507,78	421,89	24,45	0,06
w14		0,612	0,637	0,005	0,001	0,000	0,012	0,814	0,519	5.927,59	2.489,56	76,79	0,03
w15		0,171	0,750	0,005	0,001	0,000	0,012	0,814	0,610	5.927,59	1.185,10	61,45	0,05
w16		0,199	0,716	0,005	0,001	0,000	0,012	0,814	0,582	5.927,59	1.159,95	91,87	0,08
w17		0,370	0,819	0,005	0,001	0,000	0,012	0,814	0,666	5.927,59	3.861,41	208,73	0,05

Nachweise nach DIN EN 1996-1-1/NA NCI Anhang NA.K (informativ) mit: ζ=1,0 und γ_m=1,2

Tragwiderstände N_{Rd} unter kombinierter Beanspruchung nach DIN EN 1996-1-1/NA NCI zu 6.1.2.2

Kombination 2: STAT. - 1,0 SRSSx - 0,3 SRSSy

Stockwerk 1

Nachweis Normalkraft am Wandfuß

Wand		$e_{o,\|\|}$	$e_{u,\|\|}$	λ_v	$\Phi_{u,\|\|}$	$e_{u,senk}$	$\Phi_{u,senk}$	$\Phi_{u,komb}$	f_d	N_{Rd}	N_{Ed}	N_{Ed}/N_{Rd}
		[m]	[m]	[-]	[-]	[m]	[-]	[-]	[kN/m²]	[kN]	[kN]	[-]
w1		0,109	0,152	9,050	0,728	0,060	0,670	0,488	2.507,78	497,73	63,04	0,13
w2		0,036	0,044	20,399	0,886	0,060	0,670	0,593	2.507,78	412,72	85,91	0,21
w3		0,034	0,043	19,013	0,887	0,060	0,670	0,594	2.507,78	413,50	86,61	0,21
w4		0,109	0,155	8,498	0,722	0,060	0,670	0,484	2.507,78	493,72	61,45	0,12
w5		0,216	0,347	3,333	0,691	0,060	0,670	0,463	2.507,78	953,92	89,59	0,09
w6		0,209	0,355	3,063	0,684	0,060	0,670	0,458	2.507,78	944,04	88,74	0,09
w7		0,209	0,378	2,806	0,664	0,060	0,670	0,445	2.507,78	916,30	81,66	0,09
w8		0,107	0,275	2,393	0,717	0,060	0,670	0,480	2.507,78	852,97	94,77	0,11
w9		0,127	0,332	2,368	0,657	0,060	0,670	0,440	2.507,78	780,04	79,95	0,10
w10		0,273	0,463	3,068	0,588	0,060	0,670	0,394	2.507,78	811,70	79,79	0,10
w11		0,126	0,173	7,009	0,769	0,060	0,670	0,515	2.507,78	707,78	60,79	0,09
w12		0,227	0,439	1,975	0,705	0,060	0,670	0,472	2.507,78	1.286,57	100,52	0,08
w13		0,055	0,075	10,329	0,854	0,060	0,670	0,572	2.507,78	537,00	57,25	0,11
w14		0,060	0,738	0,913	0,562	0,012	0,900	0,506	5.927,59	2.430,27	217,43	0,09
w15		0,089	0,158	4,738	0,769	0,012	0,900	0,692	5.927,59	1.343,48	142,28	0,11
w16		0,078	0,117	6,032	0,833	0,012	0,900	0,749	5.927,59	1.492,53	212,26	0,14
w17		0,035	0,560	0,741	0,725	0,012	0,900	0,653	5.927,59	3.783,03	453,06	0,12

Nachweis Querkraft am Wandfuß

Wand		f_{vlt1}	f_{vlt2}	f_{vk}	f_{vd}	c	λ_v	l_{cal} | l_c	V_{Rdlt}	V_{Ed}	V_{Ed}/V_{Rdlt}
		[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[-]	[-]	[m]	[kN]	[kN]	[-]
w1		171,96	159,75	159,75	133,13	1,500	9,050	1,115	36,12	7,29	0,20
w2		233,88	185,70	185,70	154,75	1,500	20,399	0,760	28,62	3,22	0,11
w3		234,89	186,09	186,09	155,08	1,500	19,013	0,760	28,68	3,18	0,11
w4		170,40	159,04	159,04	132,54	1,500	8,498	1,115	35,96	7,21	0,20
w5		153,64	151,23	151,23	126,02	1,500	3,333	2,250	69,00	25,27	0,37
w6		153,22	151,03	151,03	125,86	1,500	3,063	2,250	68,91	24,86	0,36
w7		149,93	149,44	149,44	124,53	1,500	2,806	2,250	68,18	24,24	0,36
w8		163,54	155,89	155,89	129,91	1,500	2,393	1,940	61,33	17,98	0,29
w9		155,92	152,32	152,32	126,93	1,500	2,368	1,908	58,93	17,76	0,30
w10		154,04	151,42	151,42	126,18	1,500	3,068	2,250	69,09	27,63	0,40
w11		154,41	151,60	151,60	126,33	1,500	7,009	1,500	46,11	8,32	0,18

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Zusammenfassung Erdbebenkombination

Stockwerk 1

Wand	Fehlgeschlagene Nachweise
w1	keine
w2	keine
w3	keine
w4	keine
w5	keine
w6	keine
w7	keine
w8	keine
w9	keine
w10	keine
w11	keine
w12	keine
w13	keine
w14	Querkraft unten (LFK: 5)
w15	keine
w16	keine
w17	keine

Stockwerk 2

Wand	Fehlgeschlagene Nachweise
w1	keine
w2	keine
w3	keine
w4	keine
w5	keine
w6	Normalkraft Mitte (LFK: 5)
w7	keine
w8	keine
w9	keine
w10	keine
w11	keine
w12	keine
w13	keine
w14	keine
w15	keine
w16	keine
w17	keine

Der rechnerische Nachweis nach DIN EN 1998-1 und DIN EN 1998-1/NA in Kombination mit DIN EN 1996-1-1 und DIN EN 1996-1-1/NA ist für den Lastfall Erdbeben nicht erbracht.

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

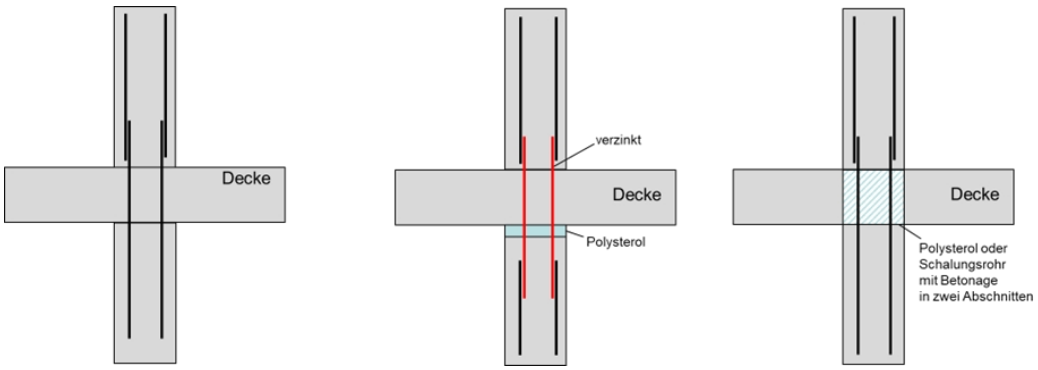
Bemessung und konstruktive Ausführung von zusätzlichen Stahlbetonstützen in tragenden Mauerwerkswänden

Der horizontale und vertikale Lastabtrag von tragenden Mauerwerkswänden kann durch die Anordnung zusätzlicher Stützen verbessert werden. Diese werden in der Regel an Wandecken oder Wandenden mit Lochsteinen/Schalungssteinen hergestellt, die als verlorene Schalung dienen. In Abhängigkeit des Anschlusses der Stützen an Decken und Unterzüge ergeben sich folgende Stützentypen:

- Typ A: Gelenkige Stütze: Vertikaler Lastabtrag und Zug- und Druckglied
- Typ B: Gelenkige Stütze: Kein vertikaler Lastabtrag und Zug- und Druckglied
- Typ C: Biegesteife Stütze: Vertikaler Lastabtrag und Rahmentragwirkung

Nachfolgend sind für die Typen A und B Konstruktionsausführungen exemplarisch für eine Wandecke mit einem Lochstein dargestellt. Die Ausführung kann auf Wandenden übertragen werden.

Prinzipskizze



Auf den nachfolgenden Seiten ist die konstruktive Durchbildung für die drei Konstruktionsprinzipien mittels Lochsteinen exemplarisch dargestellt.

In Abhängigkeit des Stützentyps sind die Stahlbetonstützen und die Anschlussbereiche an Decken und Unterzüge mit den in MINEA ermittelten Bemessungsschnittgrößen nach EN 1992-1-1 (2011) zu bemessen. Zusätzlich sind in Erdbebengebieten die Anforderungen nach EN 1998-1 (2010) bzw. DIN 4149 (2005) zu beachten.

Grundlegende konstruktive Anforderungen an Ortbetonstützen nach EN 1992-1-1 (2011)

Geometrie
Breite/Durchmesser: ≥ 20 mm

Bewehrungsanforderungen
Längsbewehrung:
- Durchmesser: $d_{sl} \geq 12$ mm
- Abstand Längsstäbe: $s_l \leq 300$ mm
- Anordnung der Längsbewehrung nach EN 1992-1-1, 9.5.2

Bügelbewehrung:
- Durchmesser: $d_{s,bü} \geq$ MAX (d_{sl}/4; 6 mm)
- Abstand Bügelbewehrung: $s_{bü} \leq$ MIN (12 d_{sl}; MIN (b; h); 300 mm)
- Verankerung der Bügel mit Winkelhaken nach EN 1992-1-1, 9.5.3

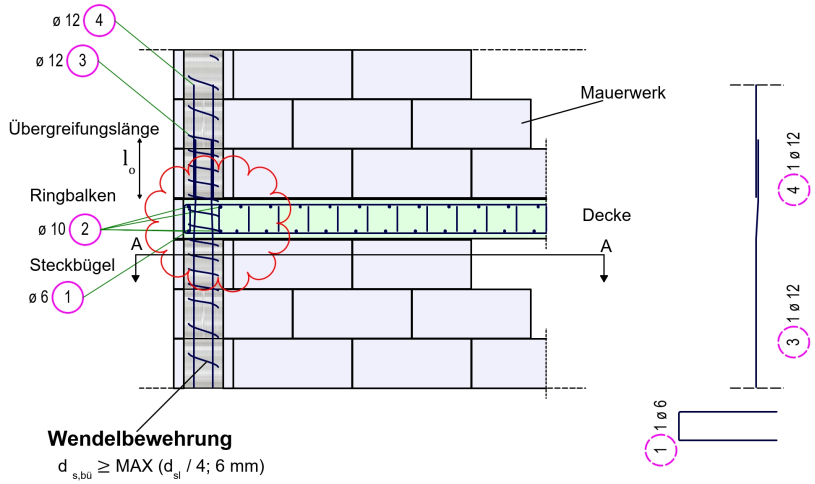
Zusätzliche konstruktive Anforderungen nach EN 1998-1 (2010)
In nachweispflichtigen Erdbebengebieten nach DIN EN 1998-1/NA (2023) sind die zusätzlichen Bemessungs- und Konstruktionsregeln für Stützen und deren Anschlüsse an Decken und Unterzüge nach EN 1998-1 (2010) in Kombination mit DIN EN 1998-1/NA (2023) zu beachten.

Zusätzliche konstruktive Anforderungen nach DIN 4149 (2005)
In nachweispflichtigen Erdbebengebieten nach DIN 4149 (2005) sind die zusätzlichen Bemessungs- und Konstruktionsregeln nach DIN 4149 (2005) zu beachten.

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Konstruktionsprinzip: Gelenkige Stütze mit vertikalem Lastabtrag mit Zug- und Druckglied

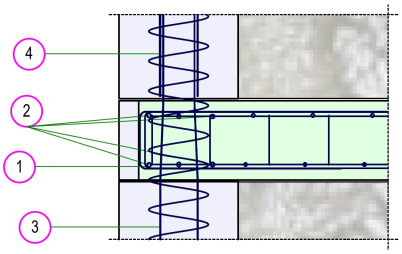


Wendelbewehrung

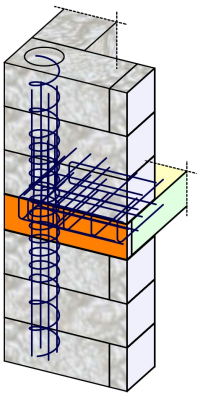
$d_{s,bü} \geq MAX (d_{sl} / 4; 6 mm)$

$s_{bü} \leq MIN (12\, d_{sl}; min (b ; h) ; 300 mm)$

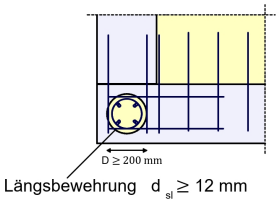
Detail



3D-Ansicht



Schnitt A-A

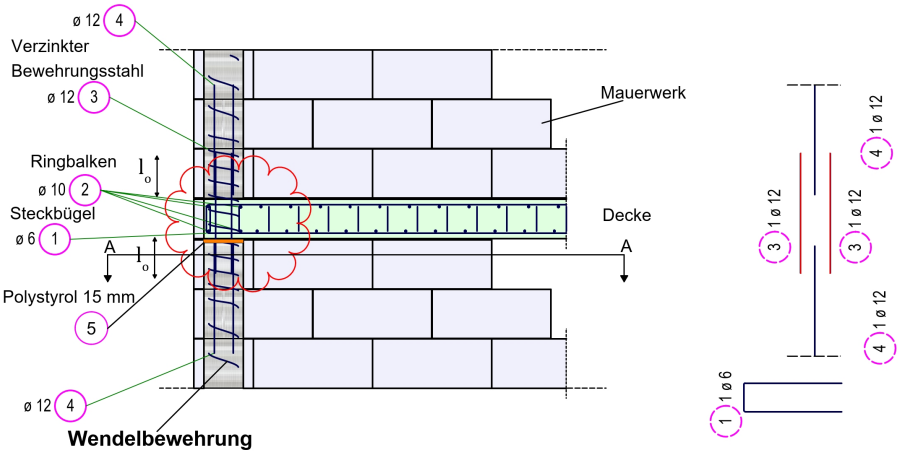


Längsbewehrung $d_{sl} \geq 12$ mm

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Konstruktionsprinzip: Gelenkige Stütze ohne vertikalen Lastabtrag mit Zug- und Druckglied

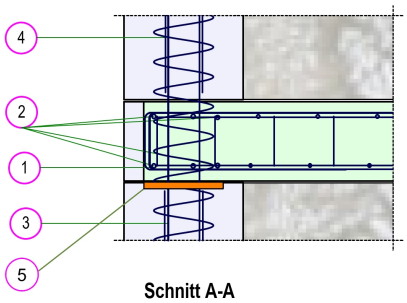


Wendelbewehrung

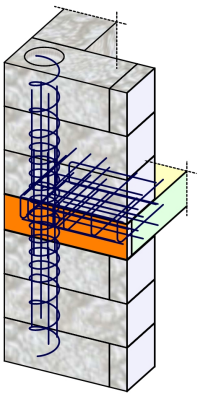
$d_{s,bü} \geq MAX (d_{sl} / 4; 6 mm)$

$s_{bü} \leq MIN (12\, d_{sl}; min (b ; h) ; 300 mm)$

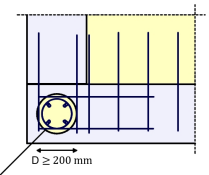
Detail



3D-Ansicht



Schnitt A-A

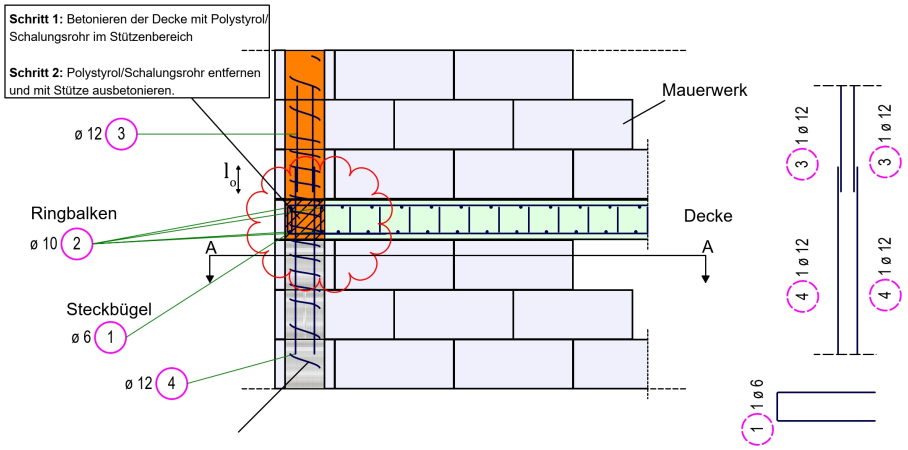


Längsbewehrung $d_{sl} \geq 12$ mm

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Konstruktionsprinzip: Gelenkige Stütze ohne vertikalen Lastabtrag mit Zug- und Druckglied

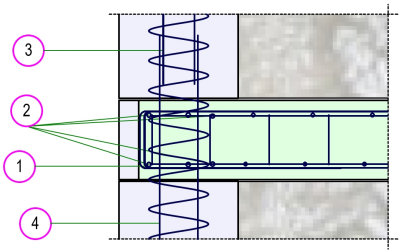


Wendelbewehrung

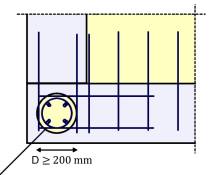
$d_{s,bü} \geq MAX (d_{sl} / 4; 6 mm)$

$s_{bü} \leq MIN (12\, d_{sl}; min (b ; h) ; 300 mm)$

Detail

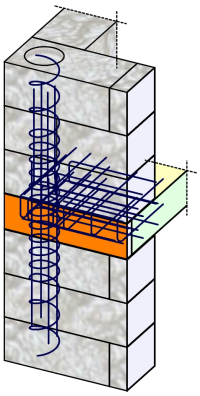


Schnitt A-A



Längsbewehrung $d_{sl} \geq 12$ mm

3D-Ansicht



6.6 DIN EN 1998-1 in Kombination mit DIN EN 1996-1-1 (2D Pushover)

6.6.1 Systembeschreibung

Der Programmablauf mit allen Eingaben wird im Folgenden anhand eines Mehrfamilienhauses aus Kalksandstein demonstriert. Gewählt wurde das in Abbildung 6.63 im Grundriss dargestellte Mehrfamilienhaus. Das Gebäude weist drei Vollgeschosse mit einer Geschosshöhe von $h = 2{,}75$ m auf.

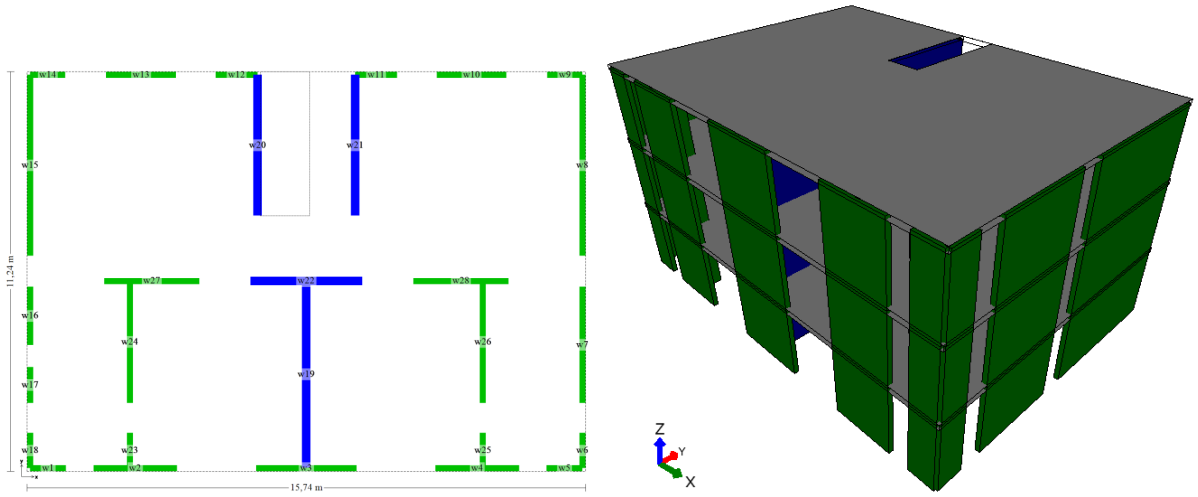


Abbildung 6.63: Grundriss (links) und 3D-Ansicht (rechts) des betrachteten Mehrfamilienhauses

Die Mauerwerkswände sind mit Plansteinen aus Kalksandstein ausgeführt. Der Nachweis wird nach DIN EN 1998-1/NA-DE in Verbindung mit DIN EN 1996-1-1/NA-DE basierend auf der Kapazitätsspektrummethode durchgeführt.

6.6.2 Eingabedaten

Die Eingabe gliedert sich in drei Arbeitsschritte. Im ersten Schritt werden die Gebäudedaten, im zweiten Schritt die Erdbebendaten und zuletzt die Geometriedaten definiert.

Eingabe der Norm und Gebäudedaten

- Normen: DIN EN 1998-1/NA-DE und DIN EN 1996-1-1/NA-DE
- Stockwerke: 3 Stockwerke mit $h = 275$ cm
- Bedeutungskategorie: Gewöhnliche Bauten (Kategorie II)
- Art der Verkehrslast: Nutzlasten und Verkehrslasten in Wohn- und Aufenthaltsräumen

Eingabe der Erdbebendaten

Die Definition des elastischen Antwortspektrums erfolgt durch Vorgabe der spektralen Antwortbeschleunigung auf Fels $S_{aP,R}$ in Kombination mit der Auswahl der Untergrundkombination. Für dieses Beispiel werden die folgenden Werte angesetzt:

- $S_{aP,R}$: 2,3 m/s^2
- Untergrundverhältnis: C-R
- Viskose Dämpfung: 5,0%

Eingabe der Geometriedaten

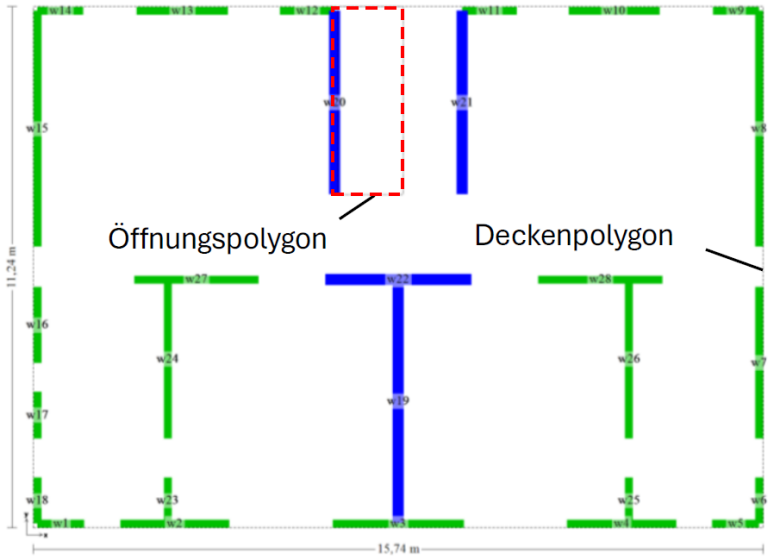
Im ersten Schritt werden die Koordinaten, die Wanddicken und die Steindruckfestigkeitsklassen der Wandscheiben definiert. Als Material wird Mauerwerk DIN EN 1996-1-1/NA-DE (Einsteinmauerwerk) - nichtlinear ausgewählt. Die Wandeigenschaften sind in Abschnitt 6.6.2 zusammengestellt. Bei der Eingabe der Geometriedaten ist insbesondere auf die konstruktive Ausführung der Mauerwerksstöße zu achten. Im vorliegenden Grundriss werden die Verzahnungen mit Querwänden nicht berücksichtigt. Es ergeben sich folgende tabellarisch zusammengefasste Eingabewerte:

Wandscheiben

Nr.	X1	Y1	X2	Y2	Länge	Typ
w1	9,0	9,0	110,0	9,0	101,0	KS-20-2,0-175mm
w2	187,5	9,0	423,0	9,0	235,5	KS-20-2,0-175mm
w3	645,5	9,0	928,5	9,0	283,0	KS-20-2,0-175mm
w4	1151,0	9,0	1386,5	9,0	235,5	KS-20-2,0-175mm
w5	1464,0	9,0	1565,0	9,0	101,0	KS-20-2,0-175mm
w6	1565,0	9,0	1565,0	108,0	99,0	KS-20-2,0-175mm
w7	1565,0	192,5	1565,0	519,0	326,5	KS-20-2,0-175mm
w8	1565,0	606,0	1565,0	1115,0	509,0	KS-20-2,0-175mm
w9	1565,0	1115,0	1466,0	1115,0	99,0	KS-20-2,0-175mm
w10	1351,0	1115,0	1154,5	1115,0	196,5	KS-20-2,0-175mm
w11	1042,5	1115,0	924,5	1115,0	118,0	KS-20-2,0-175mm
w12	649,5	1115,0	531,5	1115,0	118,0	KS-20-2,0-175mm
w13	419,5	1115,0	223,0	1115,0	196,5	KS-20-2,0-175mm
w14	108,0	1115,0	9,0	1115,0	99,0	KS-20-2,0-175mm
w15	9,0	1115,0	9,0	606,0	509,0	KS-20-2,0-175mm
w16	9,0	519,0	9,0	355,5	163,5	KS-20-2,0-175mm
w17	9,0	293,0	9,0	192,5	100,5	KS-20-2,0-175mm
w18	9,0	108,0	9,0	9,0	99,0	KS-20-2,0-175mm
w19	787,0	10,0	787,0	535,2	525,2	KS-20-2,0-240mm
w20	649,5	719,0	649,5	1115,0	396,0	KS-20-2,0-240mm
w21	924,5	719,0	924,5	1115,0	396,0	KS-20-2,0-240mm
w22	629,5	535,2	944,5	535,2	315,0	KS-20-2,0-240mm
w23	289,8	9,0	289,8	108,0	99,0	KS-20-2,0-175mm
w24	289,8	192,5	289,8	535,2	342,7	KS-20-2,0-175mm
w25	1284,2	9,0	1284,2	108,0	99,0	KS-20-2,0-175mm
w26	1284,2	192,5	1284,2	535,2	342,7	KS-20-2,0-175mm
w27	217,5	535,2	485,5	535,2	268,0	KS-20-2,0-175mm
w28	1088,5	535,2	1356,5	535,2	268,0	KS-20-2,0-175mm

Abbildung 6.64: Wandkoordinaten des Mehrfamilienhauses

Die Geschossdecke erfüllt die Kriterien einer „Geschossdecke mit aussteifender Scheibenwirkung“. Die aussteifende Deckenscheibe wird über ein Randpolygon und ein Öffnungspolygon im Bereich des Treppenhauses definiert. Die Koordinaten der beiden rechteckigen Polygonzüge werden über mehrere Eckpunkte definiert. Abbildung 6.65 zeigt die Decken- und Öffnungspolygone sowie die zugehörigen Koordinaten.



Wandscheiben	Stützen	Decke	
Rand-/Öffnungspolygone	X	Y	
Randpolygon			
	Punkt	0,0 cm	0,0 cm
	Punkt	1574,0 cm	0,0 cm
	Punkt	1574,0 cm	1124,0 cm
	Punkt	0,0 cm	1124,0 cm
Öffnungspolygon			
	Punkt	657,5 cm	1123,5 cm
	Punkt	797,5 cm	1123,5 cm
	Punkt	797,5 cm	719,0 cm
	Punkt	657,5 cm	719,0 cm

Abbildung 6.65: Grundriss mit Decken und Öffnungspolygon sowie Koordinaten des Deckenpolygons des Mehrfamilienhauses

Eingabe der Wandeigenschaften

Wie in Abschnitt 3.3.2 beschrieben, öffnet sich durch Klick auf den Button **Wandscheibentypen bearbeiten** das in Abbildung 6.66 dargestellte Eingabefenster. Die Eingaben wurden entsprechend der Angaben in Abbildung 6.66 definiert.

Die Materialeigenschaften werden weitestgehend automatisch belegt und für die nichtlineare Berechnung intern in Mittelwerte umgerechnet. Durch den Nutzer editierbar sind die nachfolgenden Eingabeparameter (Abbildung 6.67): Die **Ausbaulast** kann optional eingegeben werden, um beispielsweise das Gewicht des Wandputzes zu berücksichtigen. Die **Enddämpfung** ist die maximale äquivalente Dämpfung der Wandscheibe (Abschnitt 5.4.1). Mit den Reduktionsfaktoren für die Kraft und die Verformung kann die Last-Verformungskurve durch den Nutzer optional manuell skaliert werden. Die Faktoren für die hysteretischen Dämpfungsanteile werden automatisch vom Programm auf Grundlage des Dämpfungsansatzes nach Norda [2012] belegt. In dem Beispiel wird der Ansatz von Norda [2012] mit Medianwerten gewählt.

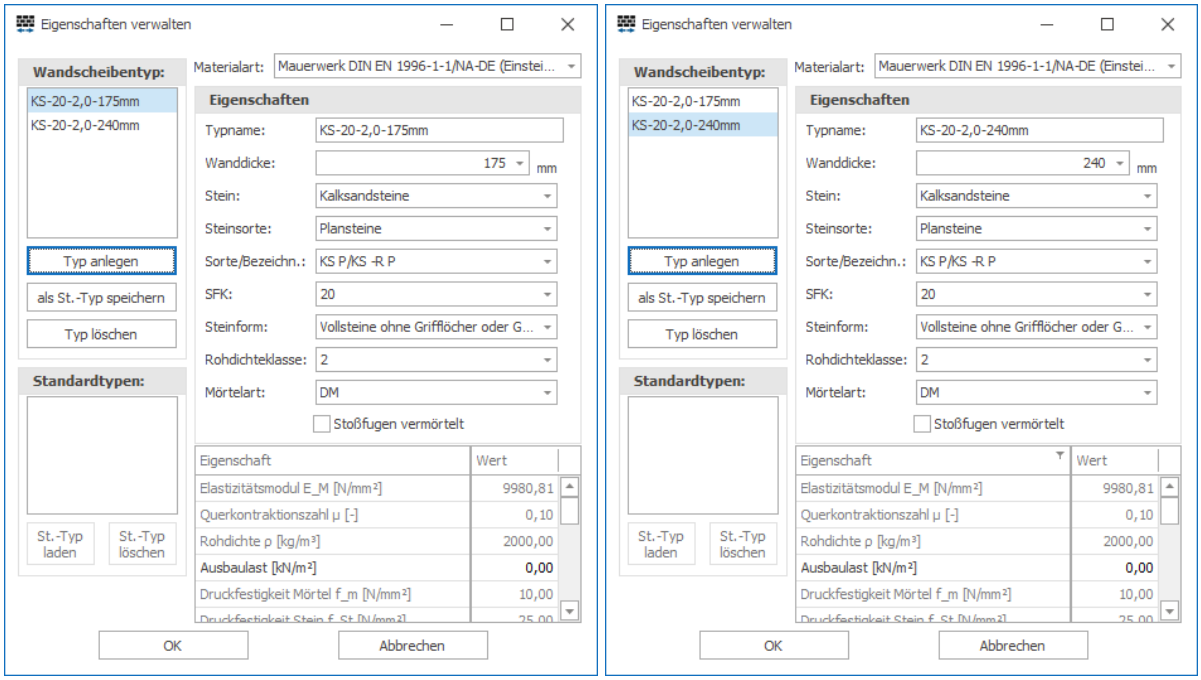


Abbildung 6.66: Wandeigenschaften der Außenwände (links) und Innenwände (rechts)

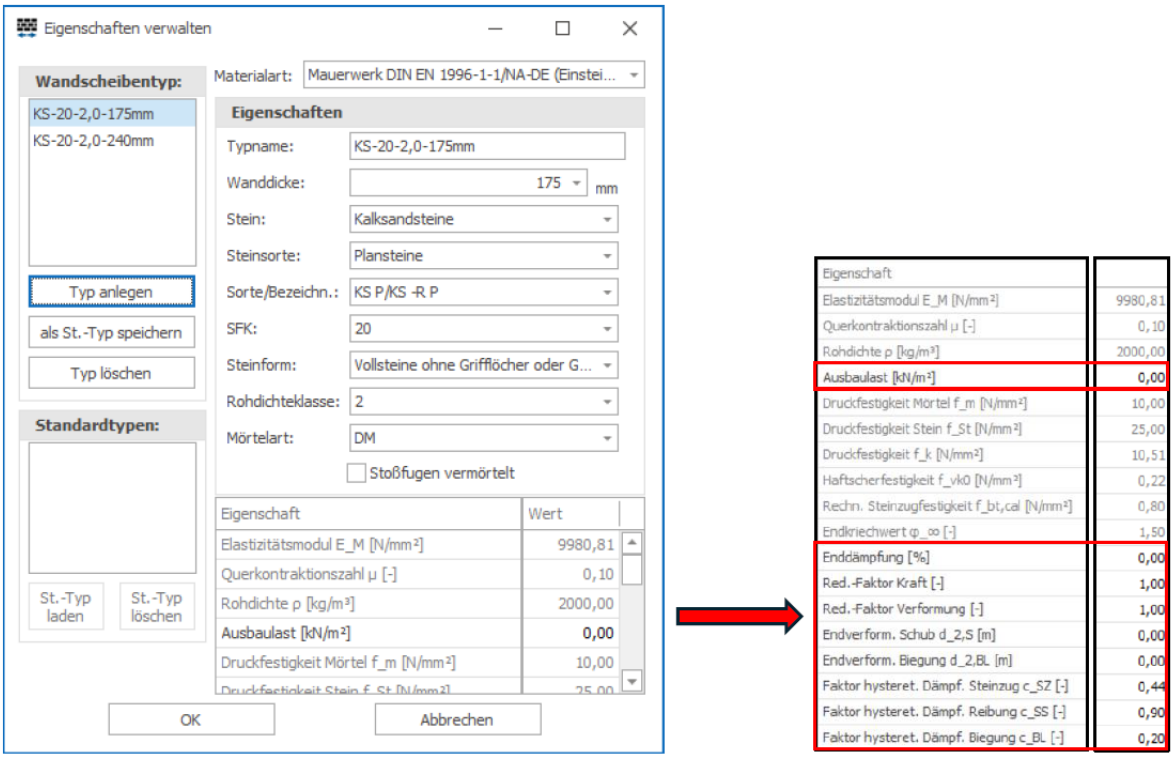


Abbildung 6.67: Nichtlineare Wandeigenschaften der Wandscheiben

Eingabe der erweiterten Wandeigenschaften

Für die Berechnung der Momentenverteilungsfaktoren wird bei Verwendung der Berechnungsmethode **Tabellarisch** für jede Wandscheibe die Eingabe der freien Wandlänge und der mitwirkenden Plattenbreite innerhalb der erweiterten Wandeigenschaften benötigt.

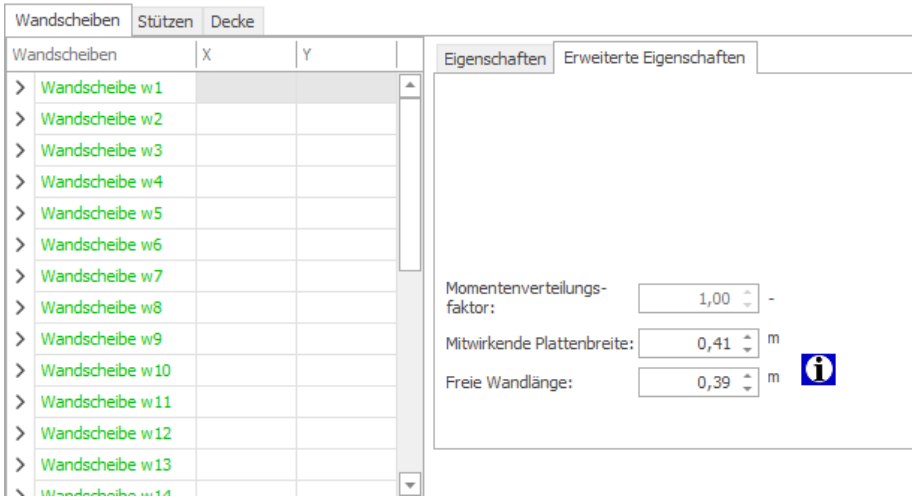


Abbildung 6.68: Eingabe der freien Wandlänge und mitwirkenden Plattenbreite in den erweiterten Wandeigenschaften

Exemplarisch wird für die Wandscheibe w1 die freie Wandlänge zu $0{,}78/2 = 0{,}39$ m und die mitwirkende Plattenbreite zu $(1{,}01 + 0{,}39)/6 + 0{,}175 = 0{,}41$ m gemäß der in Abschnitt 5.3.5 angegebenen Empfehlungen angesetzt. Die Auflagertiefe wird dabei entsprechend der Wanddicke angenommen. Eine vollständige Liste der eingegebenen Werte der freien Wandlänge und der mitwirkenden Plattenbreite sowie der daraus ermittelten Momentenverteilungsfaktoren ψ für die einzelnen Stockwerke kann der Beispiel-Eingabedatei entnommen werden.

Eingabe der Decken-/Dacheigenschaften

Wie in Abschnitt 3.3.5 beschrieben, öffnen sich durch Klick auf den Button **Deckentypen bearbeiten** bzw. **Dachtypen bearbeiten** die in den nachfolgenden Abbildungen dargestellten Eingabefenster.

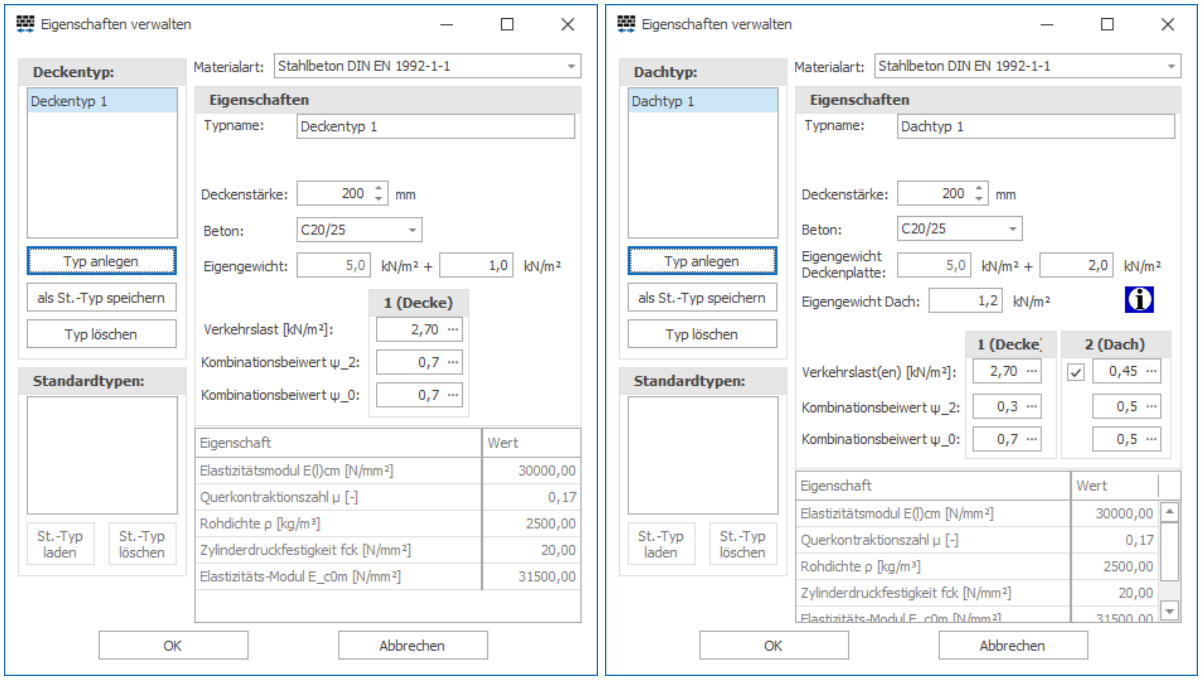


Abbildung 6.69: Decken- (links) und Dacheigenschaften (rechts)

6.6.3 Durchführung des Nachweises

Nachweiseinstellungen

Bevor der Nachweis gestartet wird, erfolgt im Fenster Nachweiseinstellungen die Festlegung der Berechnungsparameter analog der Darstellung in der folgenden Abbildung.

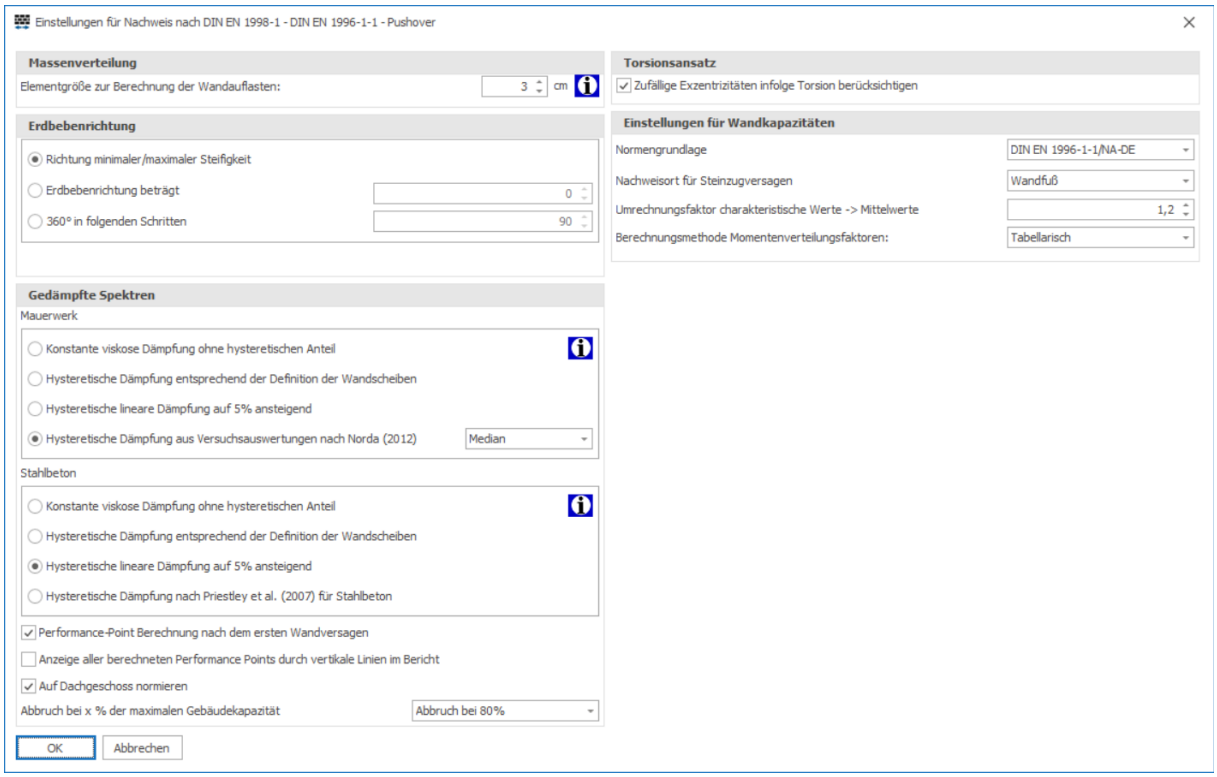


Abbildung 6.70: Nachweiseinstellungen für den Nachweis mit der Kapazitätsspektrummethode unter Verwendung gedämpfter Spektren

Die Nachweiseinstellungen steuern die nichtlineare Berechnung. Durch die Auswahl **Performance-Point Berechnung nach dem ersten Wandversagen** wird die nichtlineare Berechnung auch nach dem ersten Wandversagen fortgeführt. Die Option **Abbruch bei x % der maximalen Gebäudekapazität** führt zum Abbruch der nichtlinearen Berechnung bei einem Abfall der Last-Verformungskurve auf x% der maximalen Kapazität. Die Aktivierung **Auf Dachgeschoss normieren** führt dazu, dass die Zielverschiebung auf das Dachgeschoss normiert wird. Standardmäßig erfolgt eine Normierung auf das Erdgeschoss.

Nachweisführung

Über den Menüpunkt **Nachweis starten** wird im Menü **Nachweis** direkt der Nachweis gestartet. Nach Abschluss der Berechnung wird das dargestellte Fenster angezeigt.

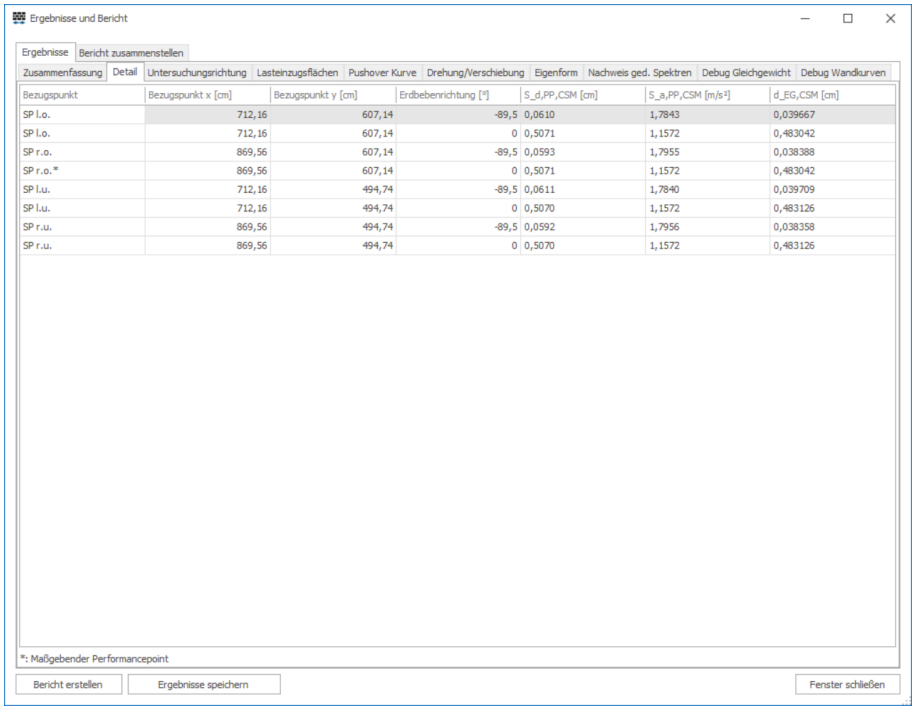


Abbildung 6.71: Ergebnisfenster für den Nachweis mit der Kapazitätsspektrummethode unter Verwendung gedämpfter Spektren

In diesem Fenster werden die wesentlichen Ergebnisse der Berechnung unter den Reitern **Zusammenfassung**, **Detail**, **Pushover Kurve** und **Nachweis ged. Spektren** dargestellt. In der Ansicht **Lasteinzugsflächen** können die von MINEA zur Auflastermittlung erzeugten Lasteinzugsflächen grafisch kontrolliert werden. Ist das Ergebnis nicht zufriedenstellend, kann die Elementgröße in den **Nachweiseinstellungen** (Menü **Nachweis**) angepasst werden. In dem Reiter **Eigenform** erfolgt die grafische Darstellung der Eigenformen mit den Modalordinaten unter Berücksichtigung der zunehmenden Nichtlinearität in den Wandscheiben. In dem Reiter **Drehung/Verschiebung** kann die Verschiebung und Verdrehung der Erdgeschossdecke mit zunehmender Verformung kontrolliert werden. Unter dem Reiter **Pushover Kurve** können die berechneten Einzelwandkapazitäten sowie die Gebäudekapazität und die zugehörigen Dämpfungskurven dargestellt werden. In der Ansicht **Nachweis ged. Spektren** werden die Nachweisergebnisse getrennt für die untersuchten Gebäuderichtungen graphisch in Form der Überlagerung der transformierten Gebäudekapazität und des gedämpften Antwortspektrums angezeigt. Im konkreten Fall existiert ein Schnittpunkt der beiden Kurven (Performance Point), der mit ausreichendem Abstand zum ersten Wandversagen liegt. Nach DIN EN 1998-1/NA [2023] muss ein Sicherheitsbeiwert von 1,5 eingehalten werden. Abbildung 6.72 zeigt die Pushover-Kurven der Wände und des Gebäudes, Abbildung 6.73 den Nachweis über den Performance Point und den Verlauf der Eigenfrequenzen über die Verformung. In Abbildung 6.74 sind die unterschiedlichen Eigenformen normiert auf die Verschiebung des Dachgeschosses abgebildet.

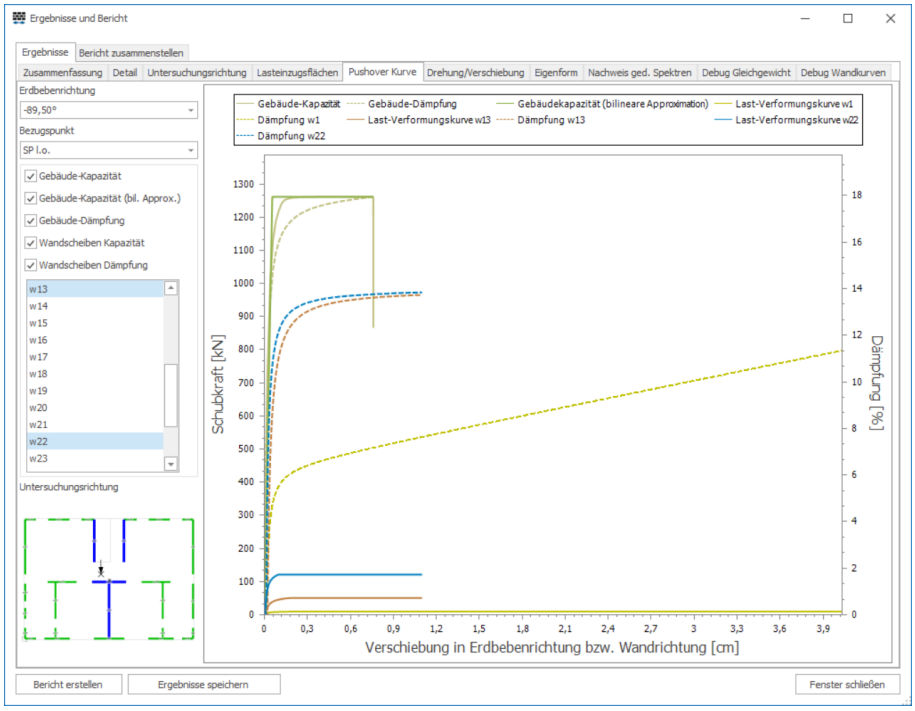


Abbildung 6.72: Ergebnisfenster: Pushover Kurve

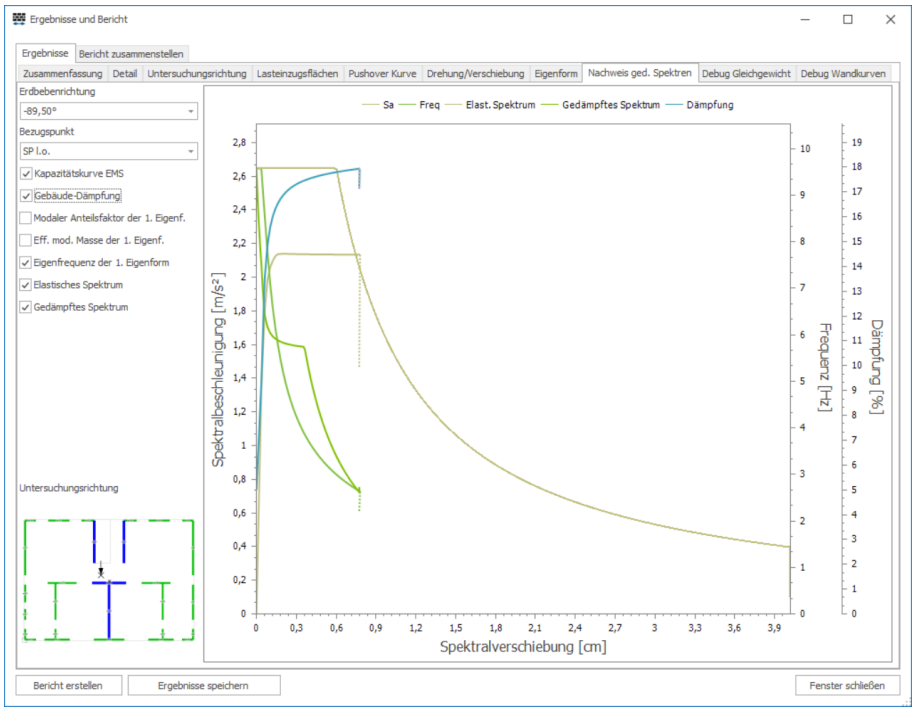


Abbildung 6.73: Ergebnisfenster: Nachweis ged. Spektren

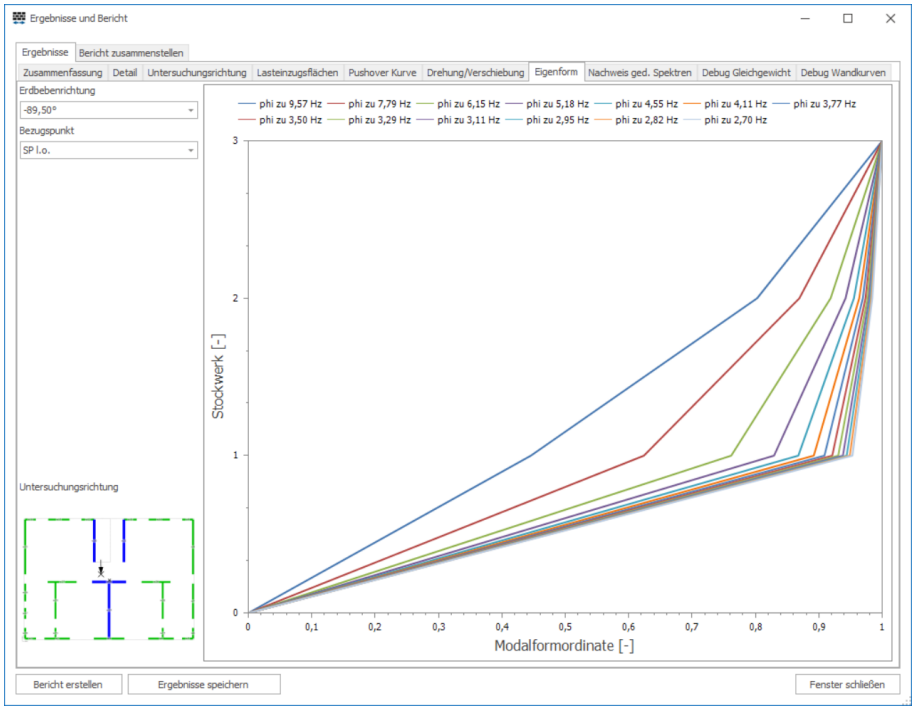


Abbildung 6.74: Ergebnisfenster: Eigenform

6.6.4 Ausgabe des Berichts

Der Bericht ist für das gewählte Beispiel in einer verkleinerten Form auf den folgenden Seiten dargestellt. Der rechnerische Nachweis kann für den vorliegenden Grundriss geführt werden.

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

MINEA
www.minea-design.com

Nachweis

Nachweis nach DIN EN 1998-1 - DIN EN 1996-1-1 CSM

Verwendete Normen

DIN EN 1998-1	DIN EN 1998-1:2010-12
DIN EN 1998-1/NA	DIN EN 1998-1/NA:2023-11
DIN EN 1996-1-1	DIN EN 1996-1-1:2013-02
DIN EN 1996-1-1/NA	DIN EN 1996-1-1/NA:2019-12

Projektdaten

Kunde:	MINEA Dokumentation
Auftragsnummer:	DIN EN 1998-1 in Kombination mit der DIN EN 1996-1-1 (CSM-2D)
Bemerkungen:	Hilfe für DIN EN Nachweisverfahren

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

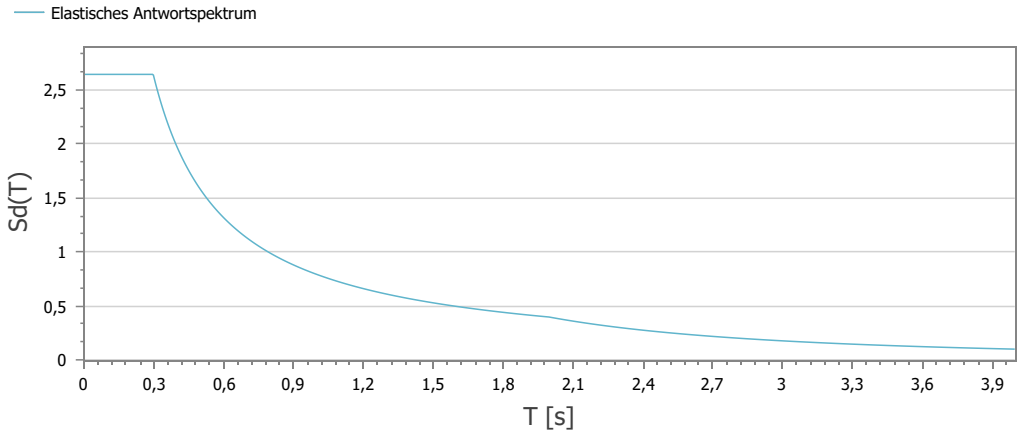
Gebäudedaten

Eigenschaft	Wert
Anzahl Stockwerke:	3
Höhe der Stockwerke h:	275,0 cm

Erdbebendaten

Eigenschaft	Wert
$S_{ap,R}$ [m/s²]	2,300
Untergrundverhältnisse:	C-R
Bedeutungskategorie:	II
Bedeutungsbeiwert:	1

Elastisches Antwortspektrum



Parameter des horizontalen Antwortspektrums

Untergrundtyp	S	T_B	T_C	T_D
		[s]	[s]	[s]
C-R	1,15	0,10	0,30	2,00

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Materialdaten

Wandscheibentypen:

Wandscheibentyp	Material	t	E_M|E_{cm}	μ	ρ	Ausbaul.
		[mm]	[N/mm²]	[-]	[kg/m³]	[kN/m²]
KS-20-2,0-175mm	Kalksandsteine DM	175	9.980,81	0,10	2.000,00	0,00
KS-20-2,0-240mm	Kalksandsteine DM	240	9.980,81	0,10	2.000,00	0,00

Wandscheibentyp	SFK	Stoßfugen vermörtelt	f_k	f_{vk0}	l_{ol}/h_u	h_u	l_u	$f_{bt,cal}$	φ_∞
			[N/mm²]	[N/mm²]	[-]	[mm]	[mm]	[N/mm²]	[-]
KS-20-2,0-175mm	20	Nein	10,51	0,22	-	-	-	0,80	1,50
KS-20-2,0-240mm	20	Nein	10,51	0,22	-	-	-	0,80	1,50

Deckentypen:

Deckentyp	Material	t	E_{cm}	μ	ρ	α_T
		[mm]	[N/mm²]	[-]	[kg/m³]	[-]
Deckentyp 1	C20/25	200	30.000,00	0,17	2.500,00	1E-05

Deckentyp	f_{ck}
	[N/mm²]
Deckentyp 1	20

Dachtyp:

Deckentyp	Material	t	E_{cm}	μ	ρ	α_T
		[mm]	[N/mm²]	[-]	[kg/m³]	[-]
Dachtyp 1	C20/25	200	30.000,00	0,17	2.500,00	1E-05

Dachtyp	f_{ck}
	[N/mm²]
Dachtyp 1	20

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Grundrissdaten

Grundrissdaten für Stockwerk 1

Wandscheiben

Nr.	Wandscheibentyp	Lastabtrag*	t	l_W	X_1	Y_1	X_2	Y_2
[-]	[-]	[-]	[mm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
w1	KS-20-2,0-175mm	v+h	175	101,0	9,0	9,0	110,0	9,0
w2	KS-20-2,0-175mm	v+h	175	235,5	187,5	9,0	423,0	9,0
w3	KS-20-2,0-175mm	v+h	175	283,0	645,5	9,0	928,5	9,0
w4	KS-20-2,0-175mm	v+h	175	235,5	1.151,0	9,0	1.386,5	9,0
w5	KS-20-2,0-175mm	v+h	175	101,0	1.464,0	9,0	1.565,0	9,0
w6	KS-20-2,0-175mm	v+h	175	99,0	1.565,0	9,0	1.565,0	108,0
w7	KS-20-2,0-175mm	v+h	175	326,5	1.565,0	192,5	1.565,0	519,0
w8	KS-20-2,0-175mm	v+h	175	509,0	1.565,0	606,0	1.565,0	1.115,0
w9	KS-20-2,0-175mm	v+h	175	99,0	1.565,0	1.115,0	1.466,0	1.115,0
w10	KS-20-2,0-175mm	v+h	175	196,5	1.351,0	1.115,0	1.154,5	1.115,0
w11	KS-20-2,0-175mm	v+h	175	118,0	1.042,5	1.115,0	924,5	1.115,0
w12	KS-20-2,0-175mm	v+h	175	118,0	649,5	1.115,0	531,5	1.115,0
w13	KS-20-2,0-175mm	v+h	175	196,5	419,5	1.115,0	223,0	1.115,0
w14	KS-20-2,0-175mm	v+h	175	99,0	108,0	1.115,0	9,0	1.115,0
w15	KS-20-2,0-175mm	v+h	175	509,0	9,0	1.115,0	9,0	606,0
w16	KS-20-2,0-175mm	v+h	175	163,5	9,0	519,0	9,0	355,5
w17	KS-20-2,0-175mm	v+h	175	100,5	9,0	293,0	9,0	192,5
w18	KS-20-2,0-175mm	v+h	175	99,0	9,0	108,0	9,0	9,0
w19	KS-20-2,0-240mm	v+h	240	525,2	787,0	10,0	787,0	535,2
w20	KS-20-2,0-240mm	v+h	240	396,0	649,5	719,0	649,5	1.115,0
w21	KS-20-2,0-240mm	v+h	240	396,0	924,5	719,0	924,5	1.115,0
w22	KS-20-2,0-240mm	v+h	240	315,0	629,5	535,2	944,5	535,2
w23	KS-20-2,0-175mm	v+h	175	99,0	289,8	9,0	289,8	108,0
w24	KS-20-2,0-175mm	v+h	175	342,7	289,8	192,5	289,8	535,2
w25	KS-20-2,0-175mm	v+h	175	99,0	1.284,2	9,0	1.284,2	108,0
w26	KS-20-2,0-175mm	v+h	175	342,7	1.284,2	192,5	1.284,2	535,2
w27	KS-20-2,0-175mm	v+h	175	268,0	217,5	535,2	485,5	535,2
w28	KS-20-2,0-175mm	v+h	175	268,0	1.088,5	535,2	1.356,5	535,2

**: v = Vertikaler Lastabtrag, h = Horizontaler Lastabtrag, v+h = Vertikaler und Horizontaler Lastabtrag*

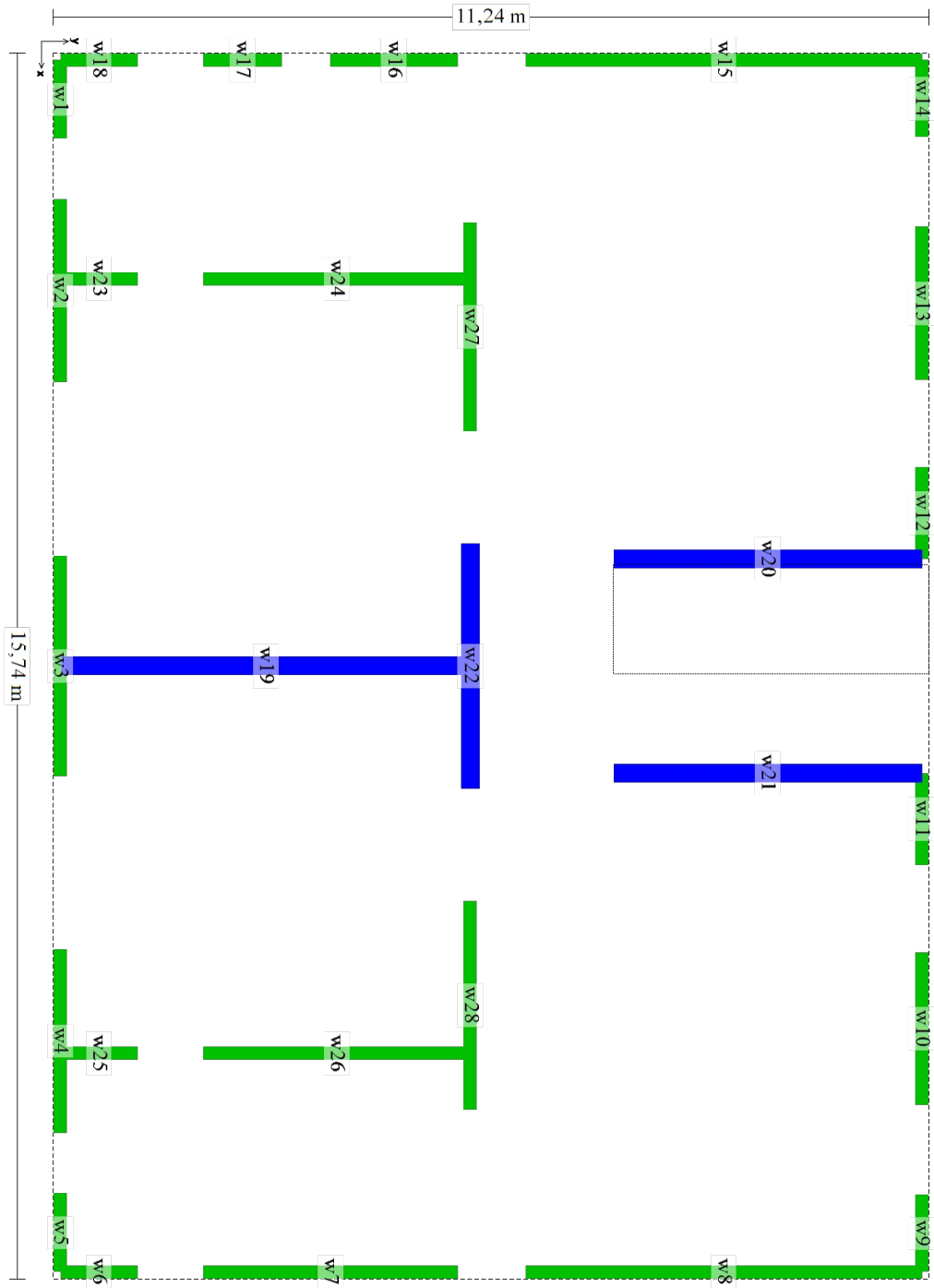
Decke

	Punktlisten (Werte in cm)
Randpolygon	{X=0, Y=0}; {X=1574, Y=0}; {X=1574, Y=1124}; {X=0, Y=1124}
Öffnungspolygon	{X=657,5, Y=1123,5}; {X=797,5, Y=1123,5}; {X=797,5, Y=719}; {X=657,5, Y=719}
Stockwerksfläche	171,25 m²

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Grundriss Stockwerk 1



SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Vorklärung

Der Nachweis erfolgt unter Berücksichtigung der nachfolgend genannten Randbedingungen.

Erdbebenrichtung

Für die Erdbebenrichtung wird die weichste Gebäuderichtung angesetzt.	

Torsionsansatz

Zufällige Exzentrizitäten infolge Torsion werden berücksichtigt.	

Wandkapazitäten

Die Wandkapazitäten werden auf folgender Normengrundlage berechnet:	DIN EN 1996-1-1/NA
Als Nachweisort für Steinzugversagen wird folgende Position gewählt:")	Wandfuß

Nachweiseinstellungen

Der Nachweis mit gedämpften Spektren wird für Mauerwerk mit folgendem Dämpfungsansatz geführt:	Hysteretische Dämpfung aus Versuchsauswertungen nach Norda (2012)
Der Nachweis mit gedämpften Spektren wird für Stahlbeton mit folgendem Dämpfungsansatz geführt:	Hysteretische lineare Dämpfung auf 5% ansteigend

Berechnungsoptionen

Die Gebäudekapazitätskurve wird normiert auf:	Dachgeschoss
Umrechnungsfaktor der charakteristischen Festigkeitswerte auf Mittelwerte:	1,20
Abbruch der Berechnung der Pushover-Kurve bei x% der maximalen Kapazität:	80%

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Lasten

Vertikale Lasten

Stockwerk	Eigengew.	zus. st. Last	Verkehrsl. 1	$\psi_{2,1}$	$\psi_{0,1}$	Verkehrsl. 2	$\psi_{2,2}$	$\psi_{0,2}$
	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[-]	[-]	[kN/m²]	[-]	[-]
1	5,00	1,00	2,70	0,70	0,70	0,00	0,00	0,00
2	5,00	1,00	2,70	0,70	0,70	0,00	0,00	0,00
3	5,00	3,20	2,70	0,30	0,70	0,45	0,50	0,50

Zusammenstellung der Stockwerksmassen

Stockwerk	A_G	g_k	q_{k1}	$\psi_{2,1}$	q_{k2}	$\psi_{2,2}$	M_W	φ	M_{St}
	[m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[-]	[kN/m²]	[-]	[t]	[-]	[t]
1	171,25	6,00	2,70	0,70	0,00	0,00	69,76	0,70	197,59
2	171,25	6,00	2,70	0,70	0,00	0,00	69,76	0,70	197,59
3	171,25	8,20	2,70	0,30	0,45	0,50	34,88	1,00	196,09

Ermittlung der Stockwerksmassen nach DIN EN 1998-1, 3.2.4(P)

Massenschwerpunkt / Steifigkeitsmittelpunkt

Richtung	Massenschwerpunkt	Steifigkeitsmittelpunkt
	[m]	[m]
x	7,91	8,20
y	5,51	4,39

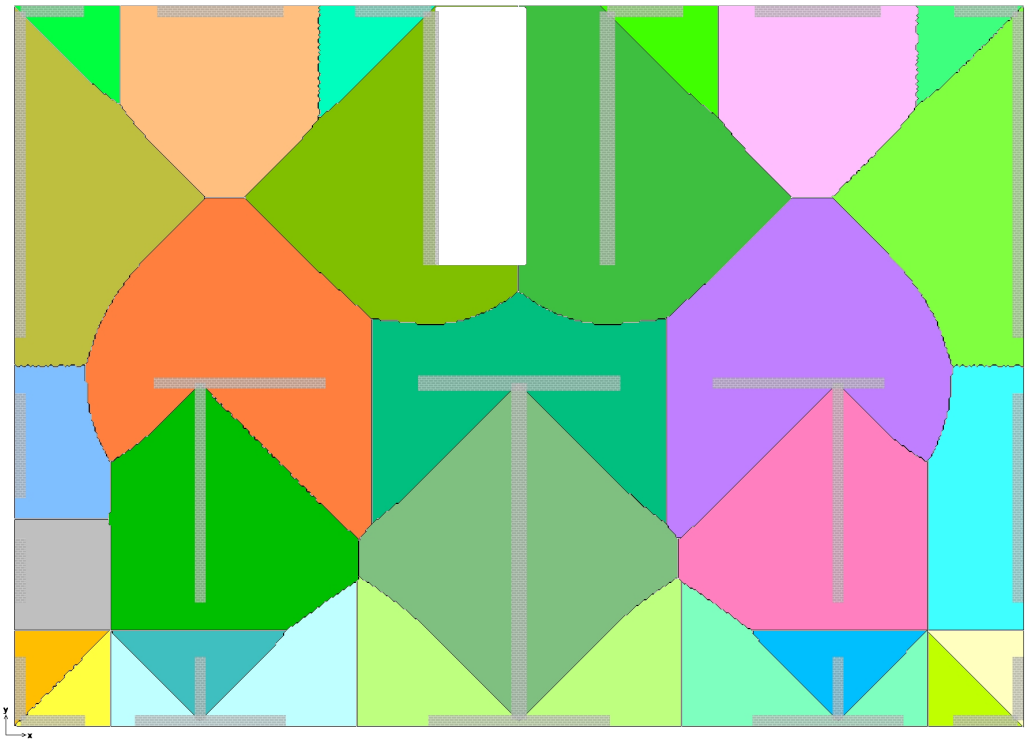
Ausmitten

	Tatsächliche (e_0)	Zufällige (e_1)	Zusätzliche (e_2)	e_{min}	e_{max}
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
x	0,290	0,787	0,000	-0,642	1,077
y	1,115	0,562	0,000	-0,004	1,677

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Lasteinzugsflächen



Wandauflasten

Wand	Auflast	Lastabtrag
	kN/m	
Wand 1	46,86	v+h
Wand 2	63,56	v+h
Wand 3	77,66	v+h
Wand 4	63,55	v+h
Wand 5	46,15	v+h
Wand 6	47,83	v+h
Wand 7	63,21	v+h
Wand 8	65,18	v+h
Wand 9	53,26	v+h
Wand 10	116,86	v+h
Wand 11	54,41	v+h
Wand 12	54,16	v+h
Wand 13	116,77	v+h
Wand 14	53,24	v+h
Wand 15	64,85	v+h
Wand 16	67,28	v+h
Wand 17	83,68	v+h
Wand 18	47,11	v+h
Wand 19	92,95	v+h

SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Wand	Auflast	Lastabtrag
	kN/m	
Wand 20	84,89	v+h
Wand 21	114,72	v+h
Wand 22	104,87	v+h
Wand 23	68,81	v+h
Wand 24	95,27	v+h
Wand 25	68,66	v+h
Wand 26	95,57	v+h
Wand 27	147,69	v+h
Wand 28	147,63	v+h

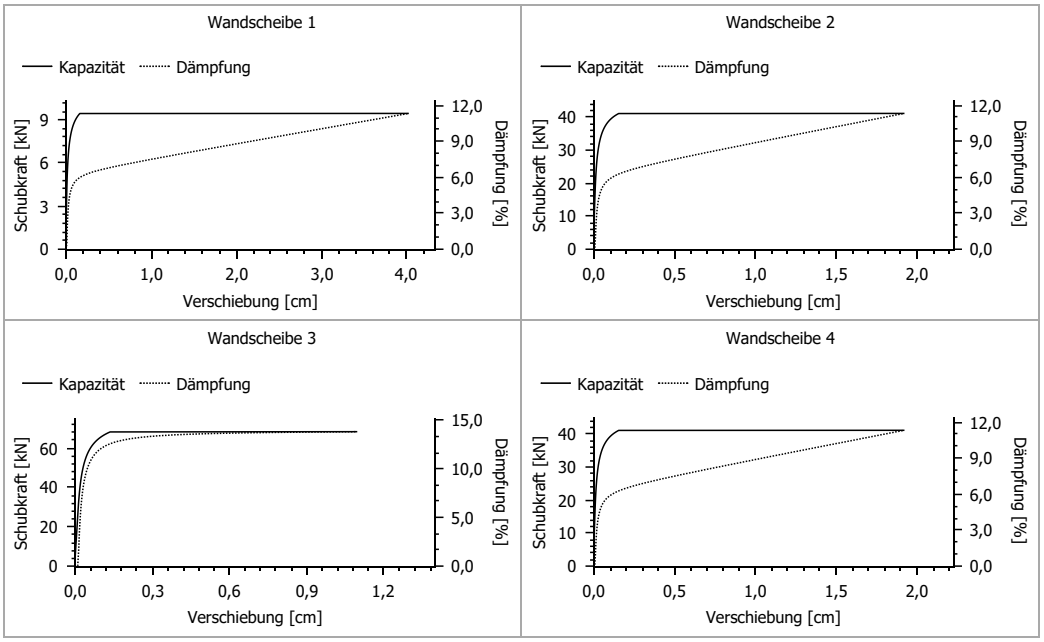
SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Last-Verformungskurven/Dämpfungskurven der Einzelwände in Stockwerk 1

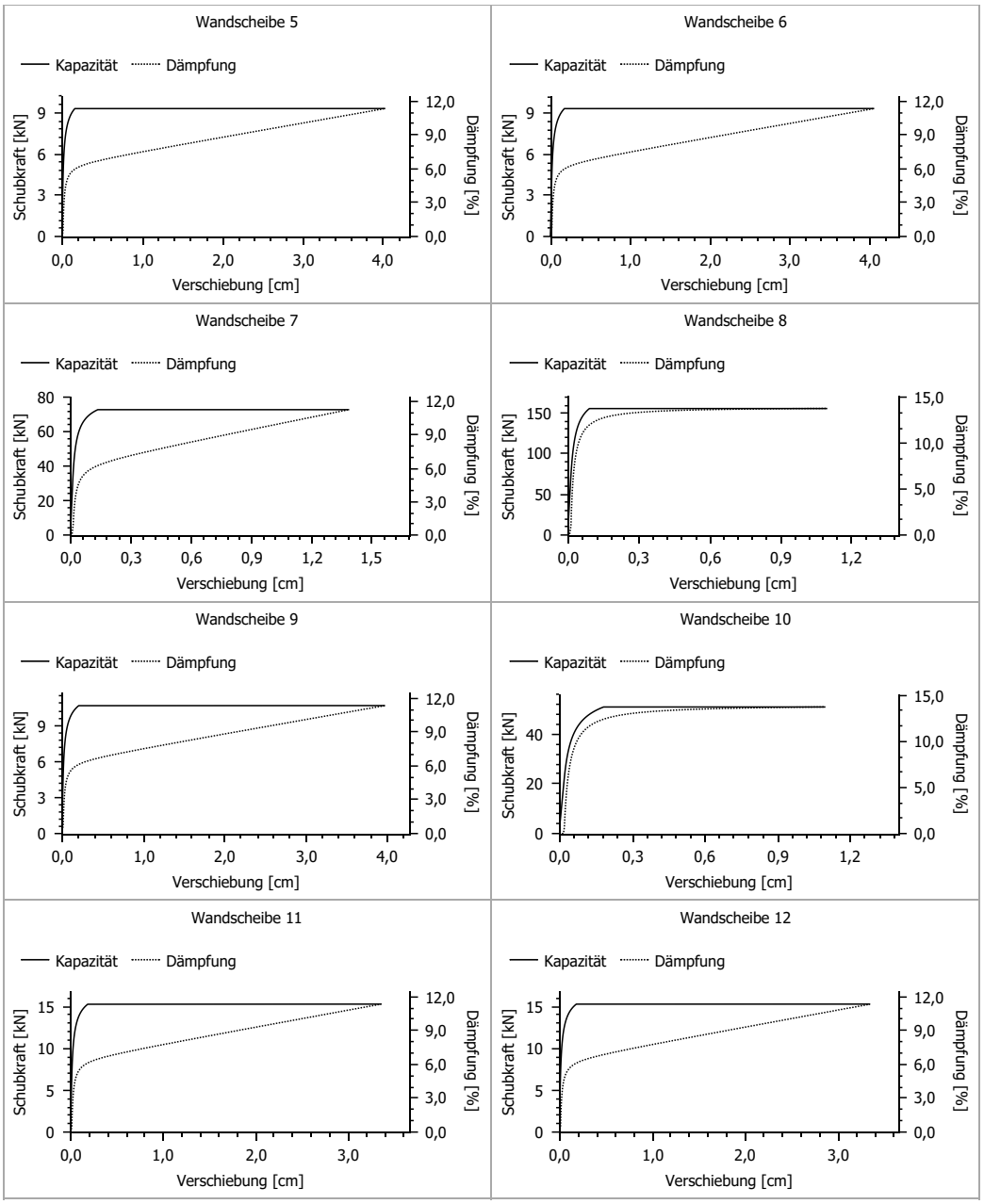
Wand	K_e	V_{SS}	V_{SZ}	V_{BL}	V_{max}	d_1	d_2	ψ	Versagensart*
	[kN/m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[mm]	[mm]	[-]	[-]
w1	655,43	19,54	18,59	9,45	9,45	0,15	40,33	0,90	BL
w2	2.533,35	59,10	45,44	41,12	41,12	0,12	19,27	1,51	BL
w3	5.535,81	92,84	68,56	70,86	68,39	0,14	11,00	1,53	SZ
w4	2.532,82	59,10	45,44	41,12	41,12	0,12	19,27	1,51	BL
w5	679,07	19,40	18,67	9,31	9,31	0,15	40,33	0,90	BL
w6	619,20	19,36	18,18	9,37	9,37	0,16	40,68	0,89	BL
w7	5.439,11	95,19	73,55	72,95	72,95	0,12	13,90	1,63	BL
w8	23.344,87	185,92	156,36	163,17	155,69	0,13	11,00	1,82	SZ
w9	540,41	20,52	17,85	10,63	10,63	0,16	39,83	0,87	BL
w10	3.721,39	76,95	51,05	55,71	50,96	0,21	11,00	1,39	SZ
w11	858,24	24,77	21,24	15,28	15,28	0,15	33,72	0,88	BL
w12	874,81	24,70	21,23	15,29	15,29	0,15	33,55	0,87	BL
w13	3.717,14	76,89	51,02	55,67	50,93	0,21	11,00	1,39	SZ
w14	540,11	20,52	17,85	10,63	10,63	0,16	39,83	0,87	BL
w15	23.170,21	185,15	155,82	162,42	155,16	0,13	11,00	1,82	SZ
w16	1.048,19	39,23	29,01	25,38	25,38	0,15	27,75	1,24	BL
w17	300,88	28,19	18,05	17,08	17,08	0,24	38,91	0,86	BL
w18	634,56	19,21	18,22	9,23	9,23	0,15	40,68	0,89	BL
w19	80.669,97	279,65	251,65	275,11	249,76	0,12	11,00	1,64	SZ
w20	10.495,10	166,23	131,65	131,93	131,30	0,12	11,00	1,78	SZ
w21	21.122,52	217,71	167,79	180,35	167,24	0,15	11,00	1,74	SZ
w22	15.536,77	158,01	122,25	128,65	121,81	0,13	11,00	1,41	SZ
w23	518,10	24,12	17,56	15,55	15,55	0,17	34,89	0,76	BL
w24	21.672,64	156,05	118,89	132,04	118,40	0,15	11,00	1,47	SZ
w25	519,38	24,08	17,56	15,51	15,51	0,17	34,89	0,76	BL
w26	21.776,45	156,47	119,14	132,42	118,64	0,15	11,00	1,47	SZ
w27	25.706,56	171,22	119,69	144,07	119,27	0,24	11,00	1,24	SZ
w28	25.688,36	171,15	119,65	144,01	119,23	0,24	11,00	1,24	SZ

**: Versagensmechanismen "Biegung und Längskraft" (BL), "Schub infolge Reibungsversagen" (SS), "Schub infolge Steinzugversagen" (SZ)*



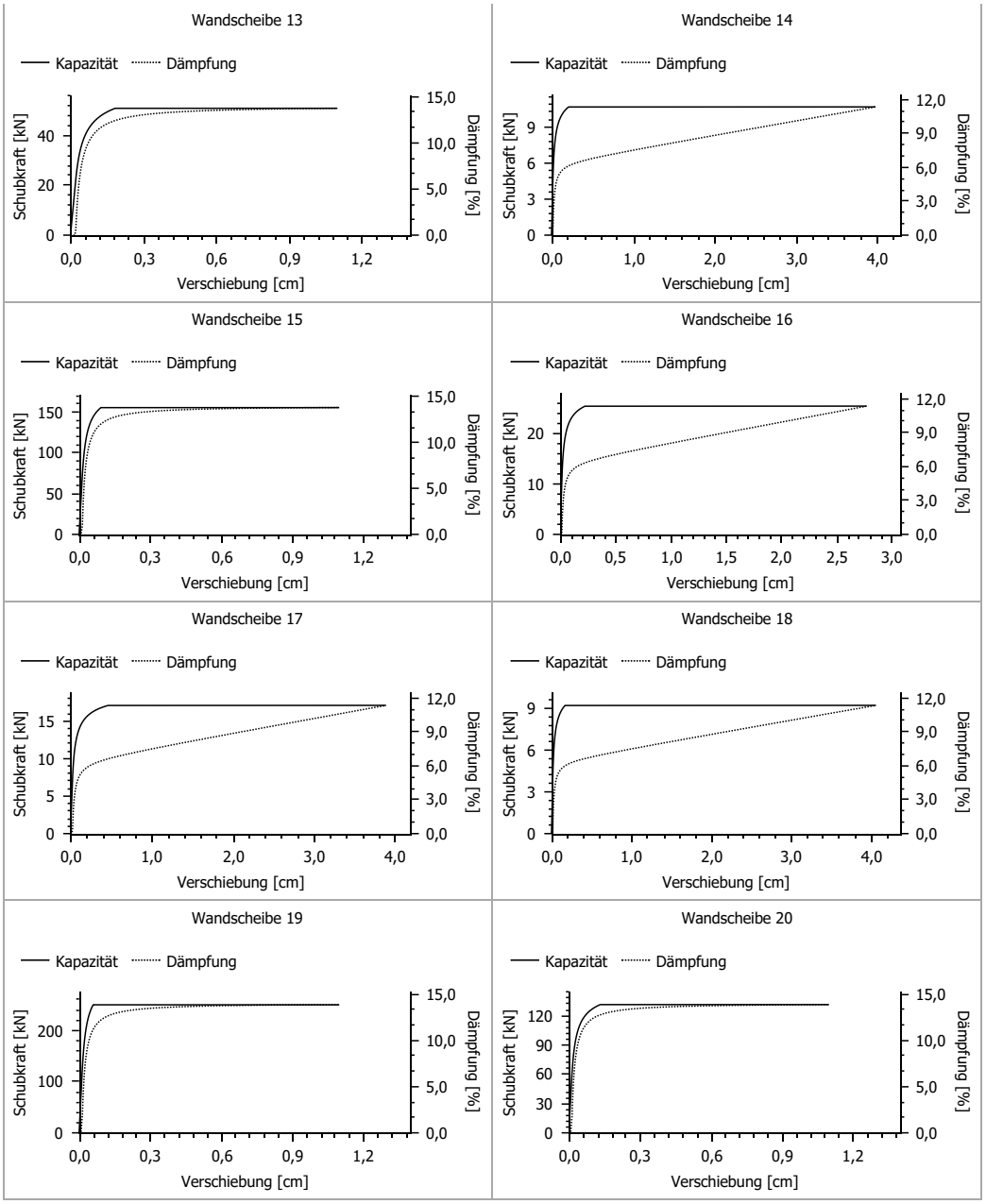
SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de



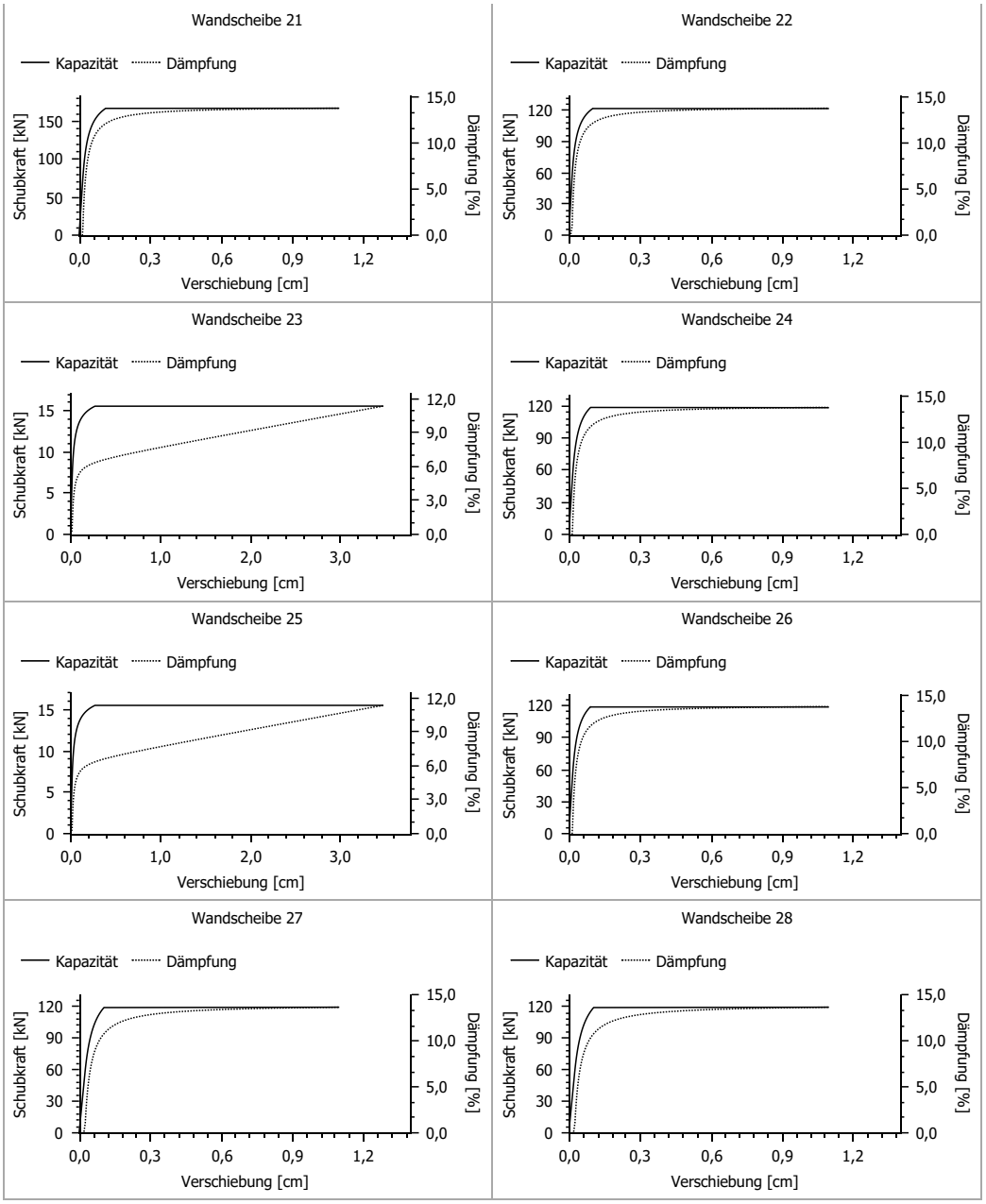
SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de



SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

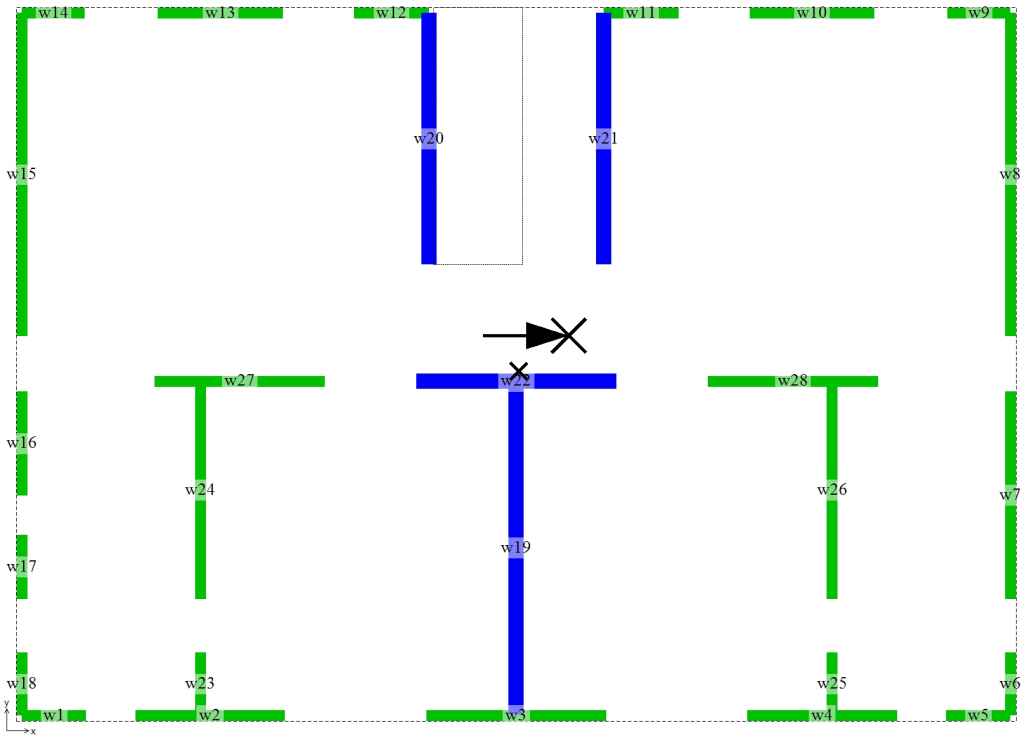


SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Maßgebende Belastungssituation

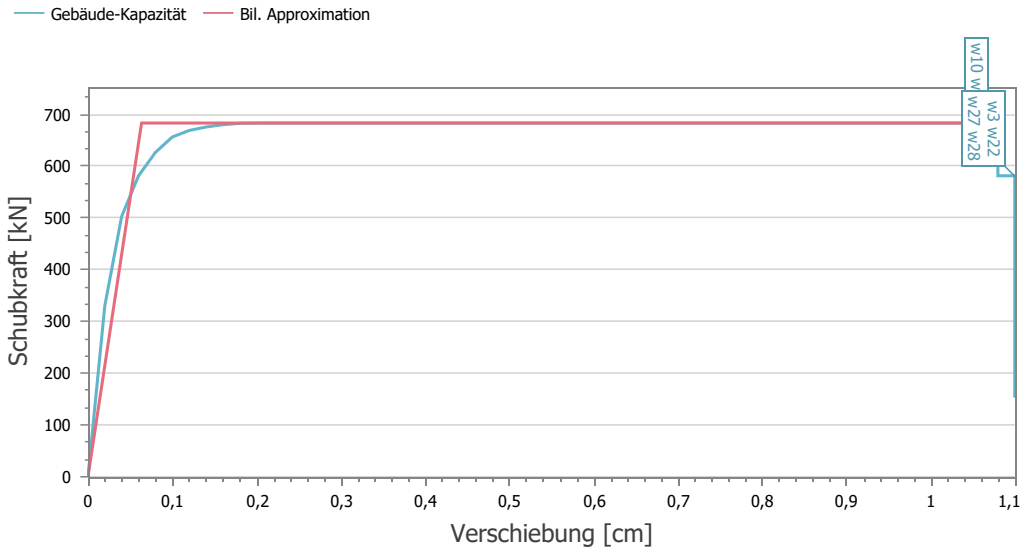
Haupt - Lastangriffsrichtung[°]:	0,00
Orthogonale Lastangriffsrichtung [°]:	90,00
Koordinaten des Massenschwerpunkts (incl. Ausmitten) [cm]:	x = 869,56 y = 607,14



SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

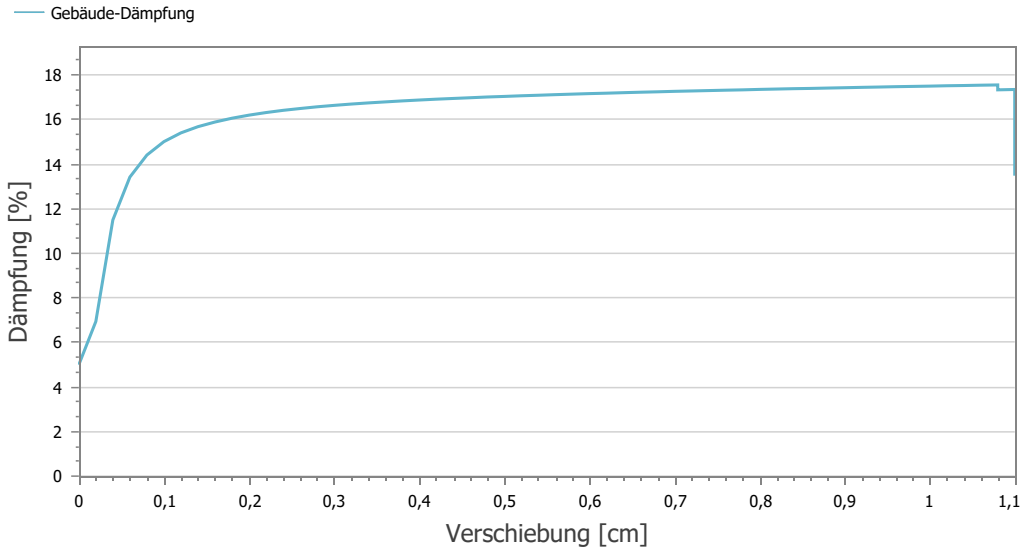
Gebäudekapazität



Maximale Gebäudekapazität [kN]	683,42
Verformungskapazität bei erstem Wandversagen [cm]	1,08
Verformungskapazität bei Erreichen von 80% der maximalen Gebäudekapazität [cm]	1,10

Nachweis mit gedämpften Spektren

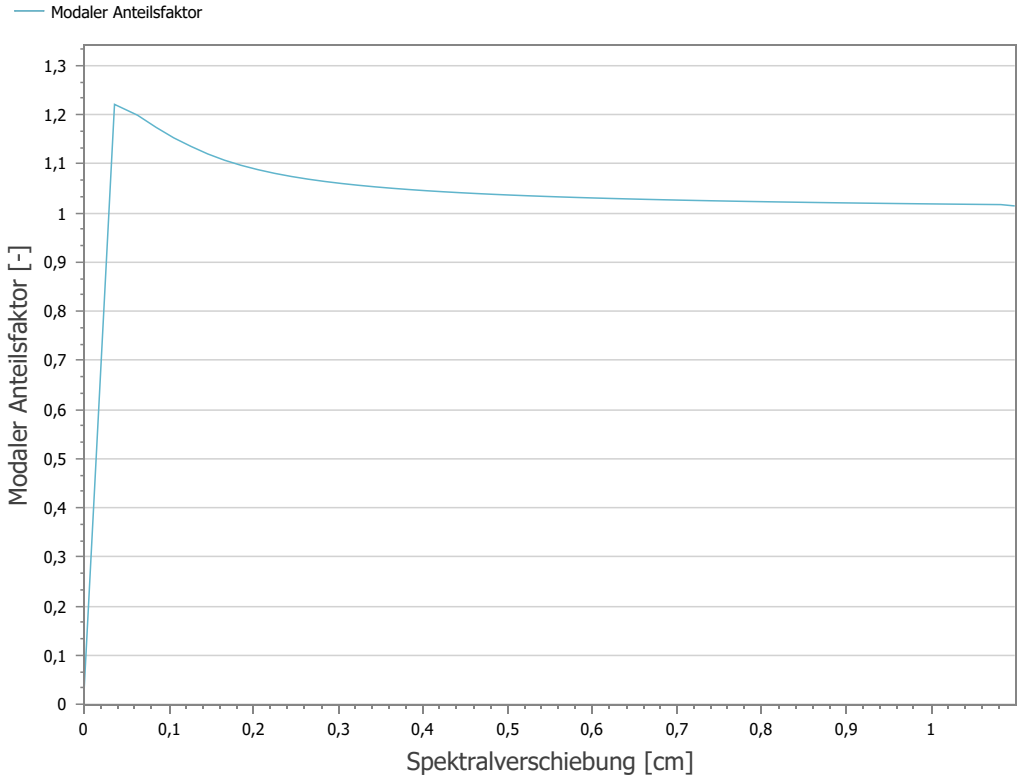
Gebäudedämpfung



SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

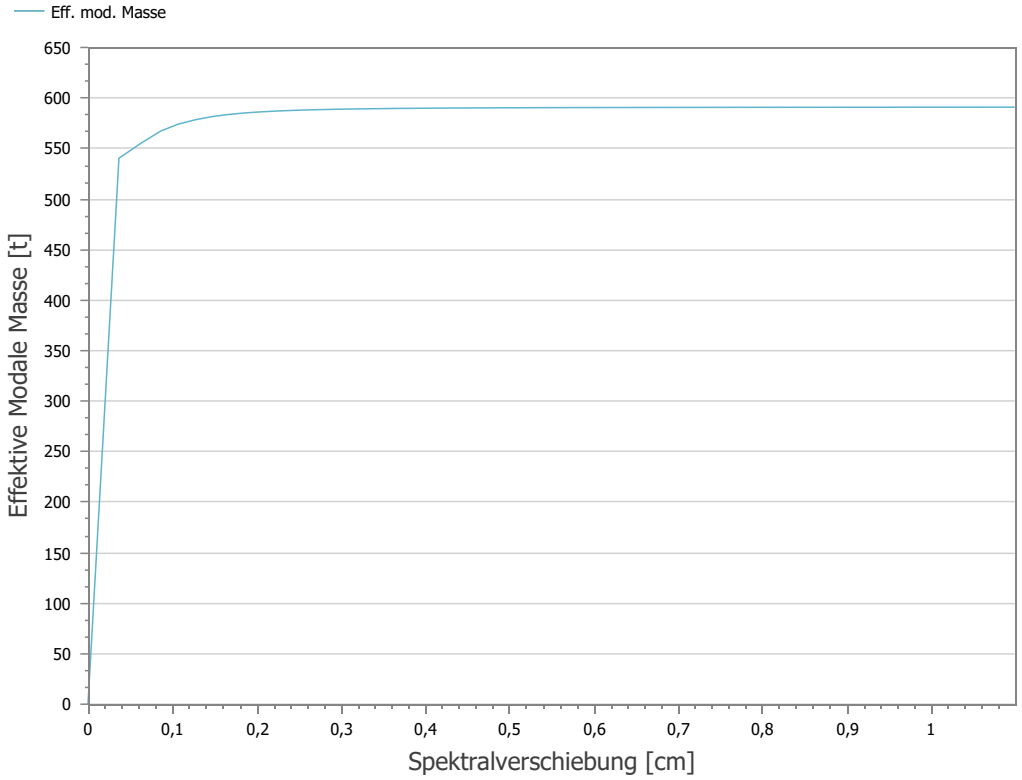
Modaler Anteilsfaktor der 1. Eigenform



SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

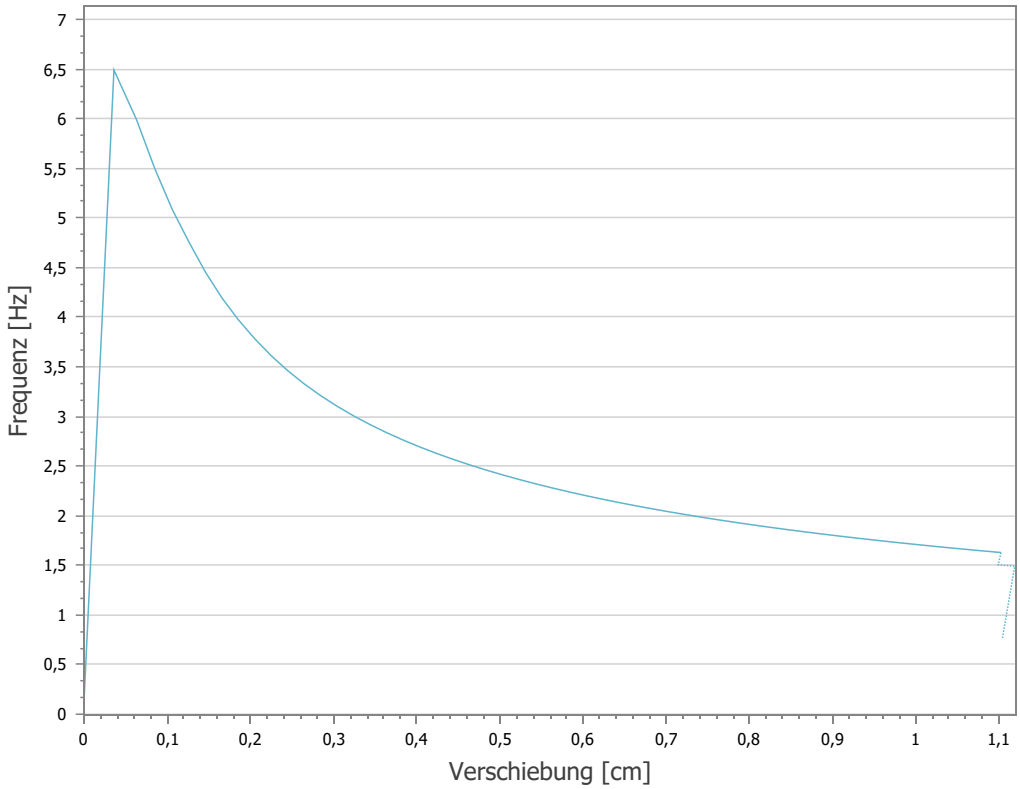
Effektive modale Masse der 1. Eigenform



SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Verlauf der Eigenfrequenz des Gebäudes mit zunehmender Verschiebung

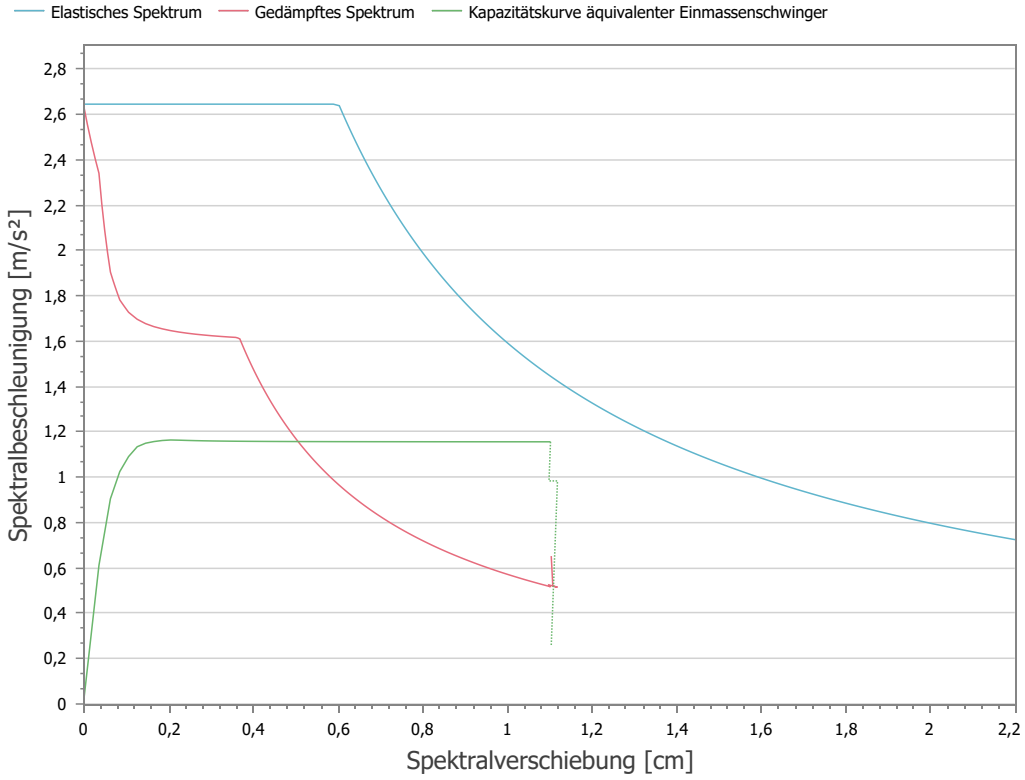


SDA-solutions GmbH
Kaiserstr. 100
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 56848 100
Fax: +49 2407 56848 29
E-Mail: info@sda-solutions.de

Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit (Gedämpfte Spektren)

Performance Point



Es existiert folgender Performance Point:

Eigenschaft	Wert
Spektralverschiebung [cm]	0,5071
Spektralbeschleunigung [m/s²]	1,1572
Schwingperiode [s]	0,416

Der Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit ist erbracht.

Die maximale Verschiebung des Bezugspunktes im Erdgeschoss beträgt 0,4830 cm. Die 1,5-fache Zielverschiebung beträgt 0,7246 cm und ist kleiner als die Verformungskapazität des Gebäudes.

Ergebnisse der untersuchten Erdbebenrichtungen

Bezugspunkt	Bezugspunkt x	Bezugspunkt y	Winkel	$S_{d,PP,CSM}$	$S_{a,PP,CSM}$	d_{EG}
	[cm]	[cm]	[°]	[cm]	[m/s²]	[cm]
SP l.o.	712,1631	607,1375	-89,50	0,0610	1,7843	0,0397
SP l.o.	712,1631	607,1375	0,00	0,5071	1,1572	0,4830
SP r.o.	869,5631	607,1375	-89,50	0,0593	1,7955	0,0384
SP r.o.*	869,5631	607,1375	0,00	0,5071	1,1572	0,4830
SP l.u.	712,1631	494,7375	-89,50	0,0611	1,7840	0,0397
SP l.u.	712,1631	494,7375	0,00	0,5070	1,1572	0,4831
SP r.u.	869,5631	494,7375	-89,50	0,0592	1,7956	0,0384
SP r.u.	869,5631	494,7375	0,00	0,5070	1,1572	0,4831

Literaturverzeichnis

Alfes et al. 2013 ALFES, C. ; BRAMESHUBER, W. ; GRAUBNER, C.-A. ; JÄGER, W. ; SEIM, W.: *Der Eurocode 6 für Deutschland: DIN EN 1996: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten mit Nationalen Anhängen*. Wiley-VCH Verlag GmbH, 2013

Butenweg et al. 2021 BUTENWEG, C. ; KUBALSKI, T. ; EL-DEIB, K. ; GELLERT, C.: Erdbebennachweis von Mauerwerksbauten nach DIN EN 1998-1/NA-2021. In: *Bautechnik* 98 (2021), Nr. 11, S. 852–863

Butenweg et al. 2023 *Kapitel* C1 - Erdbebennachweis von Mauerwerksbauten nach DIN EN 1998-1. In: BUTENWEG, C. ; KUBALSKI, T. ; GELLERT, C. ; EL-DEIB, K.: *Mauerwerk-Kalender 2023*. Ernst & Sohn, 2023, S. 153–190

DIN EN 1990 2021 DIN EN 1990: *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010*. Oktober 2021

DIN EN 1990/NA 2010 DIN EN 1990/NA: *Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*. Dezember 2010

DIN EN 1991-1-1 2010 DIN EN 1991-1-1: *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau; Deutsche Fassung EN 1991-1-1:2002 + AC:2009*. Dezember 2010

DIN EN 1991-1-1/NA 2010 DIN EN 1991-1-1/NA: *Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau*. Dezember 2010

DIN EN 1991-1-4 2010 DIN EN 1991-1-4: *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten; Deutsche Fassung EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010*. Dezember 2010

DIN EN 1991-1-4/NA 2010 DIN EN 1991-1-4/NA: *Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten*. Dezember 2010

DIN EN 1992-1-1 2011 DIN EN 1992-1-1: *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*. Januar 2011

DIN EN 1992-1-1/NA 2013 DIN EN 1992-1-1/NA: *Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*. April 2013

DIN EN 1996-1-1 2013 DIN EN 1996-1-1: *Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk*. Februar 2013

DIN EN 1996-1-1/NA 2019 DIN EN 1996-1-1/NA: *Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk*. Dezember 2019

DIN EN 1998-1 2010 DIN EN 1998-1: *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten; Deutsche Fassung EN 1998-1:2004 + AC:2009*. Dezember 2010

DIN EN 1998-1/NA 2023 DIN EN 1998-1/NA: *Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbau*. November 2023

Fajfar 1999 FAJFAR, P.: Capacity spectrum method based on inelastic demand spectra. In: *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* 28 (1999), Nr. 9, S. 979–993

Fajfar und Gašperšič 1996 FAJFAR, P. ; GAŠPERŠIČ, P.: The N2 Method for the Seismic Damage Analysis of RC Buildings. In: *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* 25 (1996), Nr. 1, S. 31–46

Fajfar und Vidic 1994 FAJFAR, P. ; VIDIC, T.: Consistent inelastic design spectra: Hysteretic and input energy. In: *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* 23 (1994), Nr. 5, S. 523–537

Freeman 1998 FREEMAN, S. A.: Development and use of capacity spectrum method. In: *Proceedings of 6th US National Conference on Earthquake Engineering*, 1998

Gellert 2010 GELLERT, C.: *Nichtlinearer Nachweis von unbewehrten Mauerwerksbauten unter Erdbebeneinwirkung*, Lehrstuhl für Baustatik und Baudynamik, RWTH Aachen University, Dissertation, 2010

Kubalski et al. 2022 KUBALSKI, T. ; BUTENWEG, C. ; EL-DEIB, K.: Vereinfachte Berücksichtigung der Rahmentragwirkung in Mauerwerksgebäuden. In: *Bautechnik* 99 (2022), Nr. 12, S. 902–911

Meskouris et al. 2011 MESKOURIS, K. ; HINZEN, K. G. ; BUTENWEG, C. ; MISTLER, M.: *Bauwerke und Erdbeben*. Vieweg+Teubner Verlag | Springer Fachmedien Wiesbaden, 2011

Mistler 2006 MISTLER, M.: *Verformungsbasiertes seismisches Bemessungskonzept für Mauerwerksbauten*, Lehrstuhl für Baustatik und Baudynamik, RWTH Aachen University, Dissertation, 2006

Müller und Keintzel 1978 MÜLLER, F. P. ; KEINTZEL, E.: *Erdbebensicherung von Hochbauten*. Wilhelm Ernst & Sohn, 1978

Norda 2012 NORDA, H.: *Beitrag zum statischen nichtlinearen Erdbebennachweis von unbewehrten Mauerwerksbauten unter Berücksichtigung einer und höherer Modalformen*, Lehrstuhl für Baustatik und Baudynamik, RWTH Aachen University, Dissertation, 2012

prEN 1998-1-2 2023 prEN 1998-1-2: *Eurocode 8 – Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1-2: Hochbauten; Deutsche und Englische Fassung prEN 1998-1-2:2023 (ENTWURF)*. Oktober 2023

Priestley et al. 2007 PRIESTLEY, M. J. N. ; CALVI, G. M. ; KOWALSKY, M. J.: *Displacement-Based Seismic Design of Structures*. IUSS Press, 2007

Priestley und Grant 2005 PRIESTLEY, M. J. N. ; GRANT, D. N.: Viscous Damping in Seismic Design and Analysis. In: *Journal of Earthquake Engineering* 9 (2005), Nr. sup2, S. 229–255

Abbildungsverzeichnis

1.1 Übersicht über die in MINEA verfügbaren Rechenverfahren / Programmteile . 3

2.1 Menü Datei . . . 6
2.2 Dialogfenster Einstellungen - Bericht . . . 8
2.3 Dialogfenster Einstellungen - Farbauswahl . . . 9
2.4 Dialogfenster Einstellungen - Allg. Farbeinstellungen . . . 10
2.5 Menüoptionen Zoom . . . 10
2.6 Zoom Toolbar . . . 10
2.7 Maus Toolbar . . . 11
2.8 Darstellungsparameter . . . 11
2.9 Wandkoordinatenfenster . . . 12
2.10 Unterzugkoordinatenfenster . . . 12
2.11 Stützenkoordinatenfenster . . . 13
2.12 Zeichenhintergrund - Bild . . . 13
2.13 Zeichenhintergrund - Position & Größe . . . 14
2.14 3D-Ansicht . . . 14
2.15 Menü Nachweis . . . 15
2.16 Systemoptimierung . . . 16
2.17 Ziehe Punkte auf Raster-Optimierung . . . 16
2.18 Optimierung der Eingabegenauigkeit . . . 17
2.19 Optionen Optimierung der Eingabegenauigkeit . . . 17
2.20 Optionen Ziehe Wandendpunkte auf Außenpolygonstücke . . . 17
2.21 Ziehe Wandendpunkte auf Außenpolygonstücke . . . 18
2.22 Wände verbinden . . . 18
2.23 Optionen Wände verbinden . . . 19
2.24 Manuelle Netzoptimierung . . . 19
2.25 Darstellung des Deckennetzes mit markierten „kleinen“ Elementen . . . 20
2.26 Manuelle Netzoptimierung inkl. Wandzwischenpunkte Wand W2 in Stockwerk 1 21
2.27 Menü ? . . . 21

3.1 Eingabeoberfläche . . . 24
3.2 Projektdaten . . . 25
3.3 Stockwerkanzahl . . . 25
3.4 Eingabemöglichkeiten für die Erdbebendaten . . . 26



3.5 Eingabefenster für die Erdbebendaten . . . 27
3.6 Eingabefenster Freies Spektrum . . . 28
3.7 Manuelle Eingabe der Winddaten (2D) . . . 29
3.8 Automatische Ermittlung der Winddaten anhand der Windzone (2D) . . . 30
3.9 Netzparameter . . . 31
3.10 Verformungsfiguren Wände entkoppelt (links) und gelenkig (rechts) . . . 32
3.11 Normalkrafteinwirkung auf einzelne Wände ohne und mit Lastexzentrizität aus Vertikallasten . . . 33
3.12 Eingabe Stockwerkshöhen . . . 34
3.13 Registerkarte Wandscheiben - Eigenschaften . . . 35
3.14 Wandeigenschaften . . . 35
3.15 Registerkarte Wandscheiben - Erweiterte Eigenschaften (2D) . . . 36
3.16 Konstruktive Ausführung von Mauerwerk . . . 37
3.17 Registerkarte Decke - Eigenschaften . . . 43
3.18 Eigenschaften der Decke . . . 44
3.19 Verkehrslasten . . . 45
3.20 Kombinationsbeiwert ψ_0 . . . 46
3.21 Kombinationsbeiwert ψ_2 . . . 47
3.22 Eigenschaften des Daches . . . 48
3.23 Registerkarte Decke - Erweiterte Eigenschaften . . . 48
3.24 SAF-Import Statusfenster . . . 49

4.1 Bauliche Vorgaben mit Auswahllisten . . . 51
4.2 Interaktive Kontrolle der konstruktiven Regeln . . . 52
4.3 Anforderungen an die effektive Dicke und die Schlankheit . . . 52
4.4 Hinweisfenster zur Mindestanforderung an die Schlankheit aussteifender Wände 53
4.5 Ergebnisausgabe . . . 54
4.6 Zusammenstellung des Berichtes . . . 54
4.7 Nachweiseinstellungen im Nachweisverfahren „DIN EN 1998-1/NA-DE - DIN EN 1996-1-1/NA-DE (2D)“ . . . 56
4.8 Ergebnisse und Bericht im Nachweisverfahren „DIN EN 1998-1/NA-DE - DIN EN 1996-1-1/NA-DE - 2D“ . . . 57
4.9 Nachweiseinstellungen im Nachweisverfahren „DIN EN 1998-1/NA-DE - DIN EN 1996-1-1/NA-DE (3D) [x64]“ . . . 58
4.10 Ergebnisse und Bericht im Nachweisverfahren „DIN EN 1998-1/NA - DIN EN 1996-1-1/NA - 3D [x64]“ . . . 59
4.11 Nachweiseinstellungen im Nachweisverfahren „DIN EN 1998-1 - DIN EN 1996-1-1 - Pushover (2D)“ . . . 61
4.12 Ergebnisse und Bericht im Nachweisverfahren „DIN EN 1998-1 - DIN EN 1996-1-1 - Pushover (2D)“ . . . 64

5.1 Bemessungsspektrum . . . 67
5.2 Wandlänge 3- und 4-seitig gehaltener Wände . . . 72
5.3 Definition der untersuchten Wandlängen . . . 73
5.4 Geometrie von Wänden in einer Achse . . . 73
5.5 Freiheitsgrade der Wand m des Stockwerks n . . . 78

5.6 Ansatz der Exzentrizitäten . . . 82
5.7 Begrenzung der Randdehnung . . . 90
5.8 Beispiele für den Momentenverteilungsfaktor . . . 94
5.9 Empfehlungen für die Ermittlung der freien Wandlänge l_{FL} . . . 95
5.10 Beispielhafte Darstellung des Verlaufs des Deckenbiegemoments m_{xx} bei Beanspruchung in x-Richtung . . . 95
5.11 Darstellung des idealisierten Deckenstreifens (links) und des statischen Ersatzsystems für Ermittlung der erforderlichen Biegebewehrung (rechts) . . . 97
5.12 Ermittlung der Zielverschiebung mittels gedämpfter Spektren [Meskouris et al. 2011] . . . 100
5.13 Iterative Berechnung der nichtlinearen Kapazitätskurven von Mauerwerkswänden [Butenweg et al. 2023] . . . 104
5.14 Zufällige Massenexzentrizität und resultierende Lastangriffspunkte . . . 104

6.1 Grundriss und Ansicht des betrachteten Reihenhauses . . . 105
6.2 Auswahl der Erdbebendaten über die Option **Adresse suchen** . . . 107
6.3 Übersicht der ausgewählten Erdbebendaten . . . 108
6.4 Erdbebendaten: Eingabe geografischer Koordinaten (links) und Eingabe der spektralen Antwortbeschleunigung auf Fels (rechts) sowie interaktive Suche des Standorts (unten) . . . 109
6.5 Wandkoordinaten des Reihenhauses . . . 109
6.6 Koordinaten des Deckenpolygons . . . 109
6.7 Abfrage der Bedingungen zu vereinfachtem Nachweis . . . 110
6.8 Ergebnisfenster des vereinfachten Nachweises . . . 111
6.9 Grundriss und Ansicht des betrachteten Reihenhauses . . . 121
6.10 Auswahl der Erdbebendaten über die Option **Adresse suchen** . . . 122
6.11 Übersicht der ausgewählten Erdbebendaten . . . 123
6.12 Erdbebendaten: Eingabe geografischer Koordinaten (links) und Eingabe der spektralen Antwortbeschleunigung auf Fels (rechts) sowie interaktive Suche des Standorts (unten) . . . 124
6.13 Wandkoordinaten des Reihenhauses . . . 124
6.14 Koordinaten des Deckenpolygons . . . 125
6.15 Wandeigenschaften der Außenwände (links) sowie der Innenwände (rechts) . 125
6.16 Wandeigenschaften der Trennwände (links) sowie der Stahlbetonwände (rechts) 126
6.17 Decken- (links) und Dacheigenschaften (rechts) . . . 126
6.18 Nachweiseinstellungen für den rechnerischen Nachweis (2D) . . . 127
6.19 Ergebnisfenster für den rechnerischen Nachweis (2D) . . . 128
6.20 Lasteinzugsflächen der Decken des Reihenhauses . . . 129
6.21 Ergebnisfenster: LF Erdbeben . . . 130
6.22 Grundriss (links) und Ansicht (rechts) des betrachteten Einfamilienhauses . . 142
6.23 Auswahl der Erdbebendaten über die Option **Adresse suchen** . . . 143
6.24 Übersicht der ausgewählten Erdbebendaten . . . 144
6.25 Erdbebendaten: Eingabe geografischer Koordinaten (links) und Eingabe der spektralen Antwortbeschleunigung auf Fels (rechts) sowie interaktive Suche des Standorts (unten) . . . 145
6.26 Auswahl der Windzone anhand von Bundesland und PLZ / Gemeinde . . . 145



6.27 Übersicht über die ausgewählten Winddaten . . . 146
6.28 Wandkoordinaten des Einfamilienhauses . . . 147
6.29 Koordinaten des Deckenpolygons . . . 147
6.30 Wandeigenschaften der Außenwände (links) sowie der Innenwände (rechts) . 148
6.31 Eingabe der freien Wandlänge und mitwirkenden Plattenbreite in den erweiterten Wandeigenschaften . . . 148
6.32 Decken- (links) und Dacheigenschaften (rechts) . . . 149
6.33 Nachweiseinstellungen für den rechnerischen Nachweis (2D) unter Berücksichtigung der Rahmentragwirkung . . . 150
6.34 Ergebnisfenster für den rechnerischen Nachweis (2D) unter Berücksichtigung der Rahmentragwirkung . . . 151
6.35 Lasteinzugsflächen der Decken des Einfamilienhauses . . . 152
6.36 Ergebnisfenster: LF Erdbeben . . . 153
6.37 Ergebnisfenster: LF Ständig und Vorübergehend (maßgebende Lastfallkombination) . . . 154
6.38 Grundriss des Erdgeschosses (links) sowie des Obergeschosses (rechts) . . 181
6.39 Auswahl der Erdbebendaten über die Option **Adresse suchen** . . . 182
6.40 Übersicht der ausgewählten Erdbebendaten . . . 183
6.41 Erdbebendaten: Eingabe geografischer Koordinaten (links) und Eingabe der spektralen Antwortbeschleunigung auf Fels (rechts) sowie interaktive Suche des Standorts (unten) . . . 184
6.42 Einstellungen der Netz- (links) und Berechnungsparameter (rechts) . . . 184
6.43 Wandkoordinaten der Wände im Erdgeschoss (oben) und Obergeschoss (unten) 185
6.44 Koordinaten des Deckenpolygons . . . 185
6.45 Wandeigenschaften der Außen- (links), der Innen- (rechts) und Trennwände (unten) . . . 186
6.46 Eigenschaften der Stahlbetonwände . . . 187
6.47 Decken- (links) und Dacheigenschaften (rechts) . . . 187
6.48 Nachweiseinstellungen für den rechnerischen Nachweis (3D) . . . 188
6.49 Ergebnisfenster für den rechnerischen Nachweis (3D) . . . 189
6.50 Ergebnisse für die Erdbebenkombination . . . 190
6.51 Ergebnisse für die Kombination Ständig & Vorübergehend . . . 190
6.52 Nachweisübersicht . . . 191
6.53 Erforderliche Bewehrung der Decken . . . 191
6.54 Graphische Darstellung der Eigenformen . . . 192
6.55 Grundriss des Erdgeschosses (links) sowie 3D-Ansicht des Gebäudes (rechts) 206
6.56 Übersicht der ausgewählten Erdbebendaten . . . 208
6.57 Einstellungen der Netz- (links) und Berechnungsparameter (rechts) . . . 208
6.58 Wand- (links) und Stützenkoordinaten (rechts) . . . 209
6.59 Erweiterte Wandeigenschaften . . . 209
6.60 Nachweiseinstellungen für den rechnerischen Nachweis (3D mit Stützen in Schalungssteinen) . . . 210
6.61 Ergebnisfenster für den rechnerischen Nachweis (3D) . . . 211
6.62 Graphische Darstellung der Schnittkraftverläufe der Wandscheiben (hier: Biegemoment) . . . 211



6.63 Grundriss (links) und 3D-Ansicht (rechts) des betrachteten Mehrfamilienhauses 231
6.64 Wandkoordinaten des Mehrfamilienhauses 232
6.65 Grundriss mit Decken und Öffnungspolygon sowie Koordinaten des Deckenpolygons des Mehrfamilienhauses 233
6.66 Wandeigenschaften der Außenwände (links) und Innenwände (rechts) 234
6.67 Nichtlineare Wandeigenschaften der Wandscheiben 234
6.68 Eingabe der freien Wandlänge und mitwirkenden Plattenbreite in den erweiterten Wandeigenschaften 235
6.69 Decken- (links) und Dacheigenschaften (rechts) 236
6.70 Nachweiseinstellungen für den Nachweis mit der Kapazitätsspektrummethode unter Verwendung gedämpfter Spektren 237
6.71 Ergebnisfenster für den Nachweis mit der Kapazitätsspektrummethode unter Verwendung gedämpfter Spektren 238
6.72 Ergebnisfenster: Pushover Kurve 239
6.73 Ergebnisfenster: Nachweis ged. Spektren 239
6.74 Ergebnisfenster: Eigenform 240

Tabellenverzeichnis

4.1 Ergebnisfenster: Übersicht der einzelnen Reiter 65

5.1 Bedeutungskategorien und Bedeutungsbeiwerte nach DIN EN 1998-1/NA Tabelle NA.5 68
5.2 Kontrollperioden nach DIN EN 1998-1/NA Tabelle NA.1 68
5.3 Bodenparameter S nach DIN EN 1998-1/NA Tabelle NA.2 68
5.4 Verhaltensbeiwert q nach DIN EN 1998-1/NA Tabelle NA.7 69
5.5 Baustoffe und Ausführung nach DIN EN 1998-1/NA Abschnitt 9.2 70
5.6 Auslegungskriterien und Konstruktionsregeln nach DIN EN 1998-1/NA Abschnitt 9.5 71
5.7 Anpassungsfaktoren α_3 und α_4 nach DIN EN 1996-1-1/NA Tabelle NA.17 . . 73
5.8 Regeln nach DIN EN 1998-1/NA Abschnitt 9.7.2 74
5.9 Regelmäßigkeit im Aufriss nach DIN EN 1998-1 Abschnitt 4.2.3.3 75
5.10 Regelmäßigkeit im Grundriss nach DIN EN 1998-1 Abschnitt 4.2.3.2 76
5.11 Besondere Regelmäßigkeitsbedingungen nach DIN EN 1998-1 Abschnitt 4.3.3.1(8) 76
5.12 Mindestanforderungen an aussteifende Wände (Schubwände) nach DIN EN 1998-1/NA Tabelle NA.8 77
5.13 Beiwerte für φ nach DIN EN 1998-1/NA Tabelle NA.4 80
5.14 Endkriechzahl und Grenzschlankheit nach DIN EN 1996-1-1/NA Tabelle NA.14 und Tabelle NA.18 87
5.15 Ermittlung des Abstands der Momentennullpunkte l_0 und der mitwirkenden Plattenbreite b_m für die Wand W0 96
5.16 Biege- und Schubkapazitäten V_{Rd} nach DIN EN 1996-1-1 und zugehörige Verformungskapazitäten d_u nach DIN EN 1998-1/NA [Butenweg et al. 2023] 103