

**Änderungs- und Ergänzungsvorschläge  
zu den vereinfachten  
Berechnungsverfahren für Mauerwerk  
prEN 1996-3. Folgeprojekt**

**T 3082**

T 3082

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2005, ISBN 3-8167-6872-5

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69  
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.IRBbuch.de](http://www.IRBbuch.de)



## **Forschungsbericht**

**Änderungs- und Ergänzungsvorschläge zu den vereinfachten Berechnungsverfahren für Mauerwerk nach prEN 1996-3 - Folgeprojekt**

**Bearbeitung:**

**BGS Ingenieursozietät, Hannover**

**Dr.-Ing. Helmut Reeh**

**Dipl.-Ing. Andreas Schlundt**

**Hannover, März 2005**



## **Kurzfassung**

Mit diesem Forschungsbericht wurden die Untersuchungen des Forschungsberichtes vom November 2002 fortgesetzt und ergänzt. Es wurden sicherheitstechnische Belange bei Planung, Ausführung und Bemessung von Mauerwerk nach den vereinfachten Berechnungsmethoden im Eurocode 6 Teil 3 überprüft. Hierzu wurde abschließend untersucht, ob die vereinfachten Regelungen gegenüber den genaueren Berechnungsverfahren in Teil 1-1 der Norm auf der sicheren Seite liegen und in welchen Fällen gegebenenfalls Sicherheitslücken auch gegenüber den bisher gültigen Regelungen in DIN 1053-1 vorhanden sind.

Die Ergebnisse dieses Berichtes wurden begleitend bei der deutschen Mitarbeit an der laufenden europäischen Normung im zuständigen technischen "Projektteam (PT) 5" verwendet. Sie unterstützten die deutsche Einflussnahme und dienten als Grundlage für die deutschen Stellungnahmen zu den einzelnen Berechnungsverfahren.

Als Ergebnis wurde festgestellt, dass die im Rahmen des Forschungsvorhabens überprüften vereinfachten Berechnungsverfahren in der nach Beendigung der technischen Bearbeitung durch den Ausschuss PT 5 vorliegenden Fassung des Eurocode 6 Teil 3 – 10th Draft prEN 1996-3, June 2004, pre-stage 49 version – im Hinblick auf die Bemessung von in Deutschland üblichen Mauerwerksbauten mit den vorgeschlagenen Änderungen keine Sicherheitslücken aufweisen. Wenn allerdings ein größerer Teilsicherheitsbeiwert für das Material angesetzt wird, als in Deutschland vorgesehen ist, liegt die vereinfachte Berechnung gegenüber einer genaueren Berechnung nach prEN 1996-1-1 nicht immer auf der sicheren Seite.

## **Summary**

This research report continues and supplements the studies made for the research report of November 2002. Safety-relevant aspects of planning, construction and design of masonry according to the simplified calculation methods in Eurocode 6, part 3, were reviewed. Finally it was checked whether the simplified regulations are on the safe side as compared to the more precise calculation methods of part 1-1 of the standard, and in which cases there might be safety gaps, also compared to the previously valid regulations under DIN 1053-1.

The results of this report were used to support the German collaboration in the European standardization in progress in the responsible committee "Project Team (PT) 5". The results supported German influence and served as the basis for the German statements on the different calculation methods.

The result established was that the simplified calculation methods, which were reviewed in the research project, in the draft made after completion of the technological review by the committee PT 5 of Eurocode 6 part 3 – 10<sup>th</sup> Draft prEN 1996-3, June 2004, pre-stage 49 version - and including the proposed modifications, have no safety gaps with regards to design of the masonry according to German standards. If however a component safety value is applied to the material that is higher than the German standard, the simplified calculation is not always on the safe side as compared to the more precise calculation according to prEN 1996-1-1.



## Résumé

A l'occasion de ce bilan de recherches scientifiques, les études de celui du mois de novembre 2002 ont été poursuivies et complétées. Ont été vérifiés certains points en rapport avec les règlements de sécurité lors de la conception, de l'exécution et de l'évaluation des ouvrages en maçonnerie selon les méthodes de calcul simplifiées de l'Eurocode 6 Partie 3. Au final, a été examinée à cet effet la question de savoir si les règlements simplifiés respectent les règlements de sécurité calculés selon les procédés plus précis de la Partie 1-1 de la norme et, le cas échéant, dans quels cas il se trouve des lacunes en matière de sécurité, toujours par rapport aux règlements de la norme DIN 1053-1, jusque-là en vigueur.

Les résultats de ce bilan ont été utilisés à titre complémentaire par l'équipe technique responsable du projet «Projektteam (PT) 5 » lors de la contribution allemande à la standardisation européenne en cours. Ils venaient appuyer l'influence allemande et servaient de base pour les prises de position allemandes au sujet des procédés de calcul individuels.

En conclusion, il a retenu qu'au sujet de l'évaluation de bâtiments en maçonnerie usuels en Allemagne, les procédés de calcul simplifiés qui ont été vérifiés dans le cadre du projet de recherche ne présentent pas de lacunes en matière de sécurité avec les modifications proposées dans la version actuelle de l'Eurocode 6 Partie 3 – 10th Draft prEN 1996-3, June 2004, pre-stage 49 version – après le traitement technique effectué par la commission PT 5. Par contre, si un facteur de sécurité plus important que celui prévu en Allemagne est appliqué sur le matériau, le calcul simplifié ne respecte pas toujours les règlements de sécurité conformes au calcul exact selon prEN 1996-1-1.

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
<u>1. Vorwort</u>	1/1
<u>2. Grundlagen der vereinfachten Berechnung nach prEN 1996-3</u>	2/1
<u>3. Vereinfachte Berechnung vertikal belasteter Wände</u>	
3.1 Anwendungsbedingungen	
3.1.1 Allgemeine Bedingungen	3/1
3.1.2 Zusätzliche Bedingungen für Wände als Endauflager von Decken	
3.1.2.1 Begrenzung der Deckenspannweite	3/2
3.1.2.2 Erforderliche Mindestwanddicke	3/4
3.2 Nachweis von Wänden auf Druck	
3.2.1 Allgemeines	3/6
3.2.2 Bemessungswert des vertikalen Tragwiderstands	3/6
3.2.3 Abminderungsfaktor	
3.2.3.1 Ermittlung bei der vereinfachten Berechnung	3/7
3.2.3.2 Erläuterungen zum Abminderungsfaktor und Vergleich mit DIN 1053-1	3/8
3.2.4 Knicklänge der Wand	3/9
3.2.5 Schlankheit der Wand	3/11
3.3 Berechnungsbeispiele	
3.3.1 Allgemeines	3/12
3.3.2 Wand mit geringer Festigkeit	3/13
3.3.3 Wand mit hoher Festigkeit	3/16
<u>4. Erweiterung der zulässigen Wandhöhe im Erdgeschoss auf 4,0 m</u>	4/1
<u>5. Parameterstudie zur Überprüfung des Nachweises am Wand-Decken-Knoten einer Außenwand im Zwischengeschoss</u>	
5.1 Vergleich der Abminderungsfaktoren nach prEN 1996-3 und prEN 1996-1-1	5/1
5.2 Vergleich der zulässigen vertikalen Beanspruchung nach prEN 1996-3 und prEN 1996-1-1	5/7

5.3	Zusammenfassung der Ergebnisse	5/11
<u>6. Parameterstudie zur Überprüfung des Nachweises am Wand-Decken-Knoten einer Außenwand im obersten Geschoss</u>		
6.1	Vergleich der Abminderungsfaktoren nach prEN 1996-3 und prEN 1996-1-1	6/1
6.2	Vergleich der zulässigen vertikalen Beanspruchung nach prEN 1996-3 und prEN 1996-1-1	6/4
6.3	Zusammenfassung der Ergebnisse	6/6
<u>7. Aussteifung und Gebäudestabilität bei Gebäuden mit bis zu drei Geschossen</u>		
7.1	Allgemeine Anwendungsbedingungen	7/1
7.2	Wandscheiben ohne Nachweis der Windbelastung	7/2
7.3	Berechnungsbeispiel Einfamilienhaus	
7.3.1	System und Baustoffe	7/5
7.3.2	Eingangsparameter	7/6
7.3.3	Nachweis in x-Richtung	7/7
7.3.4	Nachweis in y-Richtung	7/8
7.4	Berechnungsbeispiel Reihenhaus	
7.4.1	System und Baustoffe	7/10
7.4.2	Eingangsparameter	7/11
7.4.3	Nachweis in y-Richtung	7/11
7.4.4	Nachweis in x-Richtung	7/12
7.5	Zusammenfassung der Ergebnisse	7/14
<u>8. Zusammenfassung und Ausblick</u>		
		8/1
<u>9. Literatur</u>		
		9/1
<u>Anlage 1: Diagramme und Tabellenwerte zum Nachweis am Zwischenwandknoten - Abminderungsfaktoren</u>		



Anlage 2: Diagramme und Tabellenwerte zum Nachweis am Zwischenwandknoten – zulässige vertikale Beanspruchung

Anlage 3: Diagramme und Tabellenwerte zum Nachweis am obersten Außenwandknoten - Abminderungsfaktoren

Anlage 4: Diagramme und Tabellenwerte zum Nachweis am obersten Außenwandknoten – zulässige vertikale Beanspruchung





## 1. Vorwort

Mit diesem Forschungsvorhaben wird der Forschungsbericht zum gleichen Thema vom November 2002 [1] fortgesetzt und ergänzt. In vorangegangenen Forschungsvorhaben [1], [2], [3] wurden bereits verschiedene Änderungsvorschläge zu den in Eurocode 6 Teil 3 geregelten vereinfachten Berechnungsverfahren für unbewehrtes Mauerwerk erarbeitet und wissenschaftlich abgesichert, die als deutsche Stellungnahmen in die europäische Normungsarbeit eingeflossen sind. Die Untersuchungen in [1] auf der Grundlage der Vor-norm DIN V ENV 1996-3 von Oktober 2000 [4] hatten zudem gezeigt, dass die einzelnen Berechnungsverfahren auch mit den bei Abschluss des Forschungsvorhabens im damals aktuellen Entwurf der Norm von September 2002 [5] enthalten Änderungen und Ergänzungen, in einigen Detailpunkten noch einer genauen Überprüfung und Überarbeitung bedürfen.

Auf dieser Grundlage werden die vereinfachten Berechnungsverfahren im Hinblick auf sicherheitstechnische Belange bei der Planung, Ausführung und Bemessung des Mauerwerkes abschließend überprüft. Es wird untersucht, ob die vereinfachten Regelungen gegenüber den genaueren Berechnungsverfahren in Teil 1-1 der Norm [7] auf der sicheren Seite liegen und in welchen Fällen noch Sicherheitslücken auch gegenüber den bisher gültigen Regelungen in DIN 1053-1 [8] vorhanden sind. Gleichzeitig wird aber auch geprüft, dass sich die einzelnen Regelungen in wirtschaftlicher Hinsicht nicht nachteilig auf bisher in Deutschland geltende Festlegungen auswirken.

Für einige Berechnungsverfahren wurden bereits unter Berücksichtigung der Ergebnisse des vorangegangenen Forschungsvorhabens neue oder ergänzende Regelungen formuliert, die bereits in die aktuellen Bearbeitungsstände der Norm eingearbeitet worden sind. Diese sind hier nur noch hinsichtlich bestimmter Einzelfestlegungen abschließend zu untersuchen. Bei anderen Berechnungsverfahren wurden neben den deutschen Stellungnahmen auch Vorschläge anderer Länder vorgelegt, die sich teilweise grundlegend von den in Deutschland bekannten Regelungen unterscheiden. Diese sind noch auf Sicherheitslücken und Übereinstimmung mit den genaueren Berechnungsverfahren nach prEN 1996-1-1 [7] zu überprüfen und mit den deutschen Vorschlägen abzugleichen. Darüber hinaus liegen neue Ergänzungswünsche anderer Länder vor, die beispielsweise die Erweiterung von Anwendungsgrenzen einzelner Berechnungsverfahren betreffen. Da diese teilweise ungeprüft in den Normentwurf übernommen wurden, muss untersucht werden,



ob die entsprechenden Berechnungsergebnisse bei einer Erweiterung der Anwendungsbedingungen noch auf der sicheren Seite liegen.

Des Weiteren wurde erst nach Abschluss des vorangegangenen Forschungsvorhabens die in technischer Hinsicht endgültige Fassung von Eurocode 6 Teil 1-1 [7] vorgelegt. Die Festlegungen in Teil 3 der Norm müssen daher noch auf Übereinstimmung mit den endgültigen Regelungen in Teil 1-1 überprüft werden.

In *Abschnitt 2* dieses Forschungsberichts werden zunächst die Grundlagen der vereinfachten Berechnung nach prEN 1996-3 kurz zusammengestellt. In *Abschnitt 3* wird die vereinfachte Berechnung vertikal belasteter Wände vorgestellt und kommentiert. Zudem wird die Vorgehensweise bei der Berechnung und ein Vergleich mit der Bemessung nach DIN 1053-1 anhand von zwei Berechnungsbeispielen gezeigt.

Aus den o. g. genannten Gründen werden in den Abschnitten 4 bis 6 das Berechnungsverfahren für vertikal beanspruchte Wände hinsichtlich der nachfolgend genannten Parameter im Einzelnen abschließend untersucht, um in sicherheitstechnischer Hinsicht erforderliche Änderungen formulieren sowie abschließende Regelungen für die Bemessung nach Eurocode 6 Teil 3 erarbeiten und wissenschaftlich abzusichern zu können:

- Erweiterung der zulässigen Wandhöhe im Erdgeschoss auf 4 m bei einer Gebäudehöhe von mindestens 7 m (*Abschnitt 4*)
- Endgültige Formulierung der Gleichungen zur Mindestwanddicke, zulässigen Deckenlänge und für die Abminderungsfaktoren, insbesondere unter Berücksichtigung des Nachweises am Wand-Decken-Knoten von Außenwänden, in Übereinstimmung mit anderen europäischen Vorschlägen (*Abschnitt 5*)
- Berücksichtigung des Deckendrehwinkels im obersten Geschoss (*Abschnitt 6*)

In *Abschnitt 7* wird die vereinfachte Berechnungsmethode für Wände aus unbewehrtem Mauerwerk bei Gebäuden mit bis zu drei Geschossen hinsichtlich der Berechnung von Wandscheiben ohne Nachweis der Windlast abschließend untersucht. Hierbei können im Wesentlichen die Ergebnisse des vorangegangenen Forschungsvorhabens [3] verwendet werden. Das Berechnungsverfahren wird erläutert und anhand von Beispielen abschließend überprüft.



Die Ergebnisse der Untersuchungen fließen direkt in die Mitarbeit an der laufenden Normung von Eurocode 6 Teil 3 ein. Diese direkte Einflussnahme ist möglich, da der Forschende Dr.-Ing. Helmut Reeh Mitglied im zuständigen europäischen Projektteam (PT 5) ist, das für die technische Bearbeitung und Überführung der Vornorm ENV 1996-3 in die endgültige europäische Norm (EN) zuständig ist. Die Forschungsergebnisse sind Diskussionsgrundlagen und können bei Zustimmung der Mitglieder des Projektteams direkt in die aktuellen Bearbeitungsstände der Norm übernommen werden.

## 2. Grundlagen der vereinfachten Berechnung nach prEN 1996-3

Die vereinfachte Berechnung nach Eurocode 6 Teil 3 orientiert sich im Wesentlichen an den Regelungen in DIN 1053-1 und den entsprechenden Nachweisverfahren in den niederländischen Normen. Als Grundprinzip bei der Erarbeitung der Norm galt, dass die jeweiligen Berechnungsverfahren sich durch entsprechende Vereinfachungen aus den genaueren Berechnungsverfahren von Eurocode 6 Teil 1-1 ergeben. Es wurde eine kurze, übersichtliche und anwenderfreundliche Norm angestrebt, die den Rechenaufwand gegenüber Teil 1-1 wesentlich verkürzt.

Die Grundlagen der Bemessung von Mauerwerk sind in Eurocode 6 Teil 1-1 festgelegt. Um Eurocode 6 Teil 3 als eigenständige Norm und möglichst unabhängig von Teil 1-1 benutzen zu können, enthält die Norm einige wichtige Wiederholungen von Festlegungen in Teil 1-1. Die Gleichungen für die Bemessung nach Teil 3 wurden so aufgestellt, dass die Ergebnisse gegenüber den genaueren Verfahren nach auf der sicheren Seite liegen.

Die Nachweise sind im Grenzzustand der Tragfähigkeit zu führen. Für die Lastannahmen gilt EN 1991. Die Teilsicherheitsbeiwerte sind EN 1990 zu entnehmen. Bei Wohn- und Bürogebäuden können jedoch Vereinfachungen bei den Lastfallkombinationen nach EN 1990 angewendet werden. Entsprechend Abschnitt 2.4 in Eurocode 6 Teil 1-1 dürfen die Deckenaufasten bei Durchlaufsystemen in allen Feldern als eine "ständige veränderliche Einwirkung" - d. h. gleichzeitig in allen Feldern als gleich große Belastung (Volllast) oder in allen Feldern gleich Null - angenommen werden (fixed load-Regel).

Als Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen (Lasten) gelten die Werte in Tabelle 2.1.

Auswirkung	Ständige Einwirkungen $\gamma_G$	Veränderliche Einwirkungen $\gamma_Q$
günstig	1,0	0
ungünstig	1,35	1,5

**Tabelle 2.1:** Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen auf Tragwerke im Grenzzustand der Tragfähigkeit



Die Teilsicherheitsbeiwerte für die Baustoffe gelten für verschiedene Steinkategorien und Klassen und reichen von 1,5 bis 3,0. Die für die jeweiligen Länder geltenden Werte müssen im nationalen Anhang festgelegt sein. Für Deutschland ist  $\gamma_M = 1,7$  vorgesehen.

Bezüglich der Baustoffe gelten die Festlegungen in Eurocode 6 Teil 1-1 [2]. Mit den dort angegebenen Beziehungen können die charakteristischen Festigkeiten für Mauerwerk ermittelt werden. In Annex D des Teil 3 sind die Formeln des Teil 1-1 für die in Europa am häufigsten vorkommenden Stein-/Mörtelkombinationen ausgewertet worden und auf der sicheren Seite liegend in Tabellen angegeben. Annex D enthält die charakteristischen Werte für die Druckfestigkeit, die Biegefestigkeit und die Haftscherfestigkeit. Die in den einzelnen Ländern anzusetzenden charakteristischen Festigkeiten und die Tabellen des Annex D können wie auch die Werte in Teil 1-1 im jeweiligen nationalen Anhang zu Eurocode 6 Teil 3 noch entsprechend den nationalen Gegebenheiten festgelegt und angepasst werden.

Bei der Bemessung ist nachzuweisen, dass im Grenzzustand der Tragfähigkeit der Bemessungswert der Beanspruchung  $S_d$  den Bemessungswert der Tragfähigkeit  $R_d$  nicht überschreitet. Es gilt:

$$S_d \leq R_d \quad (2.1)$$

Der Bemessungswert kann eine Normalkraft, eine Querkraft oder ein Biegemoment sein.

### **3. Vereinfachte Berechnung vertikal belasteter Wände**

#### **3.1 Anwendungsbedingungen**

##### **3.1.1 Allgemeine Bedingungen**

Die Voraussetzungen für die Anwendung der vereinfachten Berechnung von vertikal belasteten Wänden in Eurocode 6 Teil 3 entsprechen weitgehend denen für das vereinfachte Verfahren nach DIN 1053-1. Sie sind auch im EC 6 Teil 3 so gewählt, dass der größte Teil der Mauerwerksbauten in Europa hierdurch erfasst ist. Die folgenden allgemeinen Anwendungsvoraussetzungen sind einzuhalten:

- Die Gebäudehöhe über Gelände darf die Höhe  $h_m$  nicht überschreiten, wobei für  $h_m$  drei Klassen gelten: 20 m / 16 m / 12 m. Die geltende Grenzhöhe ist im nationalen Anhang anzugeben.
- Die lichte Geschosshöhe darf 3,2 m nicht überschreiten, wobei im Erdgeschoss von mindestens 7 m hohen Gebäuden bis zu 4,0 m erlaubt sind.

(Die zulässige Geschosshöhe wurde nur für das Erdgeschoss auf 4,0 m erhöht. In Abschnitt 4 dieses Forschungsberichts wird untersucht, ob diese Erweiterung unter Berücksichtigung der geforderten Auflast aus mindestens einem Obergeschoss gegenüber einer genaueren Berechnung auf der sicheren Seite liegt.)

- Die Stützweite der aufliegenden Decken darf 7,0 m nicht überschreiten.
- Die Stützweite von aufliegenden Dächern darf 7,0 m, bei Leichtgewichtskonstruktionen 14,0 m nicht überschreiten.
- Der charakteristische Wert der Verkehrslast auf den Decken darf 5 kN/m<sup>2</sup> nicht überschreiten.
- Die Wände sind in jedem Geschoss seitlich durch Dach- bzw. Deckenplatten oder ausreichend steife Ringbalken gehalten.
- Der Endkriechbeiwert des Mauerwerks beträgt höchstens  $\varphi_\infty = 2,0$ .



- Die Dicke und die Druckfestigkeit einer Wand ist in allen Geschossen gleich, sonst müssen die Wände in allen Geschossen getrennt nachgewiesen werden.

### 3.1.2 Zusätzliche Bedingungen für Wände als Endauflager von Decken

Bei der vereinfachten Berechnung vertikal belasteter Wände (Nachweis auf Druck) werden Windlasten und veränderliche Deckenaufasten nicht explizit berücksichtigt. Die Grenzen des Nachweisverfahrens hinsichtlich dieser Lasten werden durch die Einhaltung zusätzlicher Anwendungsbedingungen für Wände, die als Endauflager von Decken dienen, nachgewiesen. Bei Wänden mit aufgelegter durchlaufender Decke sind keine gesonderten Bedingungen einzuhalten, die Nachweisgleichungen liegen für diesen Fall immer auf der sicheren Seite.

#### 3.1.2.1 Begrenzung der Deckenspannweite

Bei Wänden, die als Endauflager von Decken dienen, darf das vereinfachte Berechnungsverfahren für vertikal belastete Wände nur angewendet werden, wenn bezüglich der Deckenstützweite  $l_f$  die folgenden Bedingungen eingehalten sind:

$$l_f \leq 7 \text{ m, sofern } N_{Sd} \leq k \cdot t \cdot b \cdot f_d \quad (3.1a)$$

oder der kleinere Wert von

$$l_f \leq 4,5 + 10 \cdot t \quad \text{und} \quad l_f \leq 7 \text{ m} \quad \text{für} \quad f_d > 2,5 \text{ N/mm}^2 \quad (3.1b)$$

$$l_f \leq 4,5 + 10 \cdot t \quad \text{und} \quad l_f \leq 6 \text{ m} \quad \text{für} \quad f_d \leq 2,5 \text{ N/mm}^2 \quad (3.1c)$$

mit

$N_{Sd}$  Bemessungswert der Normalkraft im Erdgeschoss, der die ungünstigste Wirkung hervorruft (hier: Maximalwert)

t Wanddicke

b Länge, über welche die Normalkraft wirkt

$f_d$  Bemessungswert der Mauerwerksdruckfestigkeit

k 0,2 für Steine der Gruppe 1

0,1 für Steine der Gruppen 2, 3 oder 4  
Steingruppen 1 bis 4 gemäß EC 6 Teil 1-1 [2]

Die Auswertung der Gl. (3.1b) und (3.1c) liefert für Wände, die als Endauflager von Decken dienen, die in Tabelle 3.1 dargestellten zulässigen Deckenspannweiten.

t [mm]	115	175	240	300	365
$l_f$ [m]	5,65	6,25	6,90	7,00	7,00

Anmerkung: Bei Wänden mit  $f_d \leq 2,5$  N/mm darf  $l_f$  höchstens 6,00 m betragen

**Tabelle 3.1:** Zulässige Deckenspannweiten bei Wänden als Endauflager von Decken

Mit der Unterteilung in Gl. (3.1b) und (3.1c) in Abhängigkeit der Mauerwerksdruckfestigkeit wird berücksichtigt, dass auch nach dem genaueren Berechnungsverfahren in Eurocode 6 Teil 1-1 Wände erst bei höheren Festigkeiten als Endauflager von Decken mit Spannweiten von bis zu 7 m nachweisbar sind. Wände mit geringeren Festigkeiten können nur mit kürzeren Deckenspannweiten von bis zu 6 m entsprechend nachgewiesen werden. Die Nachweisgrenzen des genaueren und des vereinfachten Verfahrens nach Teil 1-1 bzw. Teil 3 werden in Abschnitt 5 und 6 dieses Forschungsberichts bei der Parameterstudien zum Nachweis auf Druck anhand von Diagrammen gezeigt und verglichen.

Die zulässige Deckenstützweite im vereinfachten Berechnungsverfahren nach Eurocode 6 Teil 3 ist bei Wänden, die als Endauflager von Decken dienen, gegenüber den Festlegungen in DIN 1053-1 für höhere Mauerwerksfestigkeiten etwas erweitert und besser an eine genauere Berechnung angepasst worden. Für Wände als Zwischenaflager von Decken beträgt die größte zulässige Deckenstützweite gemäß den allgemeinen Anwendungsbedingungen generell 7,0 m und ist damit zur besseren Annäherung an die genauere Berechnung nach Eurocode 6 Teil 1-1 um einen Meter größer als nach DIN 1053-1.

Bei Wänden mit nur geringen Auflasten darf die Deckenspannweite auch bei Endauflagern gemäß Gl. (3.1a) unabhängig von der Wanddicke bis zu 7 m betragen. Hiermit soll der Regelung in Eurocode 6 Teil 1-1 Rechnung getragen werden, dass bei geringen Auflasten und großen Exzentrizitäten ein vereinfachter Nachweis mit Hilfe des Spannungsblocks nach Annex C in Teil 1-1 ohne Berücksichtigung der Deckenstützweite möglich ist. Die derzeit noch in prEN 1996-3 enthaltene Regelung mit einem Faktor  $k = 0,2$  für Steine der Gruppe 1 liegt hierbei allerdings nicht auf der sicheren Seite gegenüber prEN 1996-1-1, da im Teil 1-1 die Breite des Spannungsblocks generell auf  $0,1 \cdot t$  begrenzt ist. Es



müsste daher entsprechend den Regelungen in prEN 1996-1-1, Anhang C, zum Nachweis mit dem Spannungsblock bei großen Ausmitten für alle Steingruppen der Faktor  $k = 0,1$  gelten. Dies würde der dort anzusetzenden Breite des Spannungsblocks von  $0,1 \cdot t$  entsprechen.

### 3.1.2.2 Erforderliche Mindestwanddicke

Wenn zusätzlich Windlasten rechtwinklig zur Wand (Außenwand) wirken, ist für die Wanddicke  $t$  von Wänden, die als Endauflager von Decken dienen, auch die folgende Bedingung einzuhalten:

$$t \geq \frac{c_1 \cdot q_{Swd} \cdot b \cdot h^2}{N_{Sd}} + c_2 \cdot h \quad (3.2)$$

mit

$N_{Sd}$  Bemessungswert der Normalkraft am Wandkopf des betrachteten Geschosses, der die ungünstigste Wirkung hervorruft (hier: Minimalwert)

$t$  Wanddicke

$b$  Länge, über welche die Normalkraft wirkt

$h$  lichte Geschosshöhe

$q_{Swd}$  Bemessungswert der Windlast pro Flächeneinheit

$c_1, c_2$  Beiwerte, in Abhängigkeit von der gleichmäßig verteilten lotrechten Belastung

$$\alpha = \frac{N_{Sd}}{t \cdot b \cdot f_d} \quad (\text{siehe Tabelle 3.2})$$

$f_d$  Bemessungswert der Mauerwerksdruckfestigkeit

$\alpha$	$c_1$	$c_2$
0,05	0,12	0,017
0,10	0,13	0,019
0,20	0,14	0,022
0,30	0,15	0,025
0,50	0,23	0,031

**Tabelle 3.2:** Beiwerte  $c_1$  und  $c_2$



Die Einhaltung der Bedingung Gl. (3.2) stellt sicher, dass bei horizontaler Windbelastung senkrecht zur Wand eine Mindestauflast auf den Wänden vorhanden ist, um die Horizontallast aufnehmen zu können. Gl. (3.2) mit den Beiwerten  $c_1$ ,  $c_2$  wurde abgeleitet aus dem Knicksicherheitsnachweis nach Teil 1-1, da auch beim genaueren Nachweis eine Mindestauflast erforderlich ist, um die Wände nachweisen zu können. Ist die erforderliche Mindestwanddicke nach Gl. (3.2) bei zu geringen Auflasten nicht eingehalten, darf die Wand aber auch wie in Eurocode 6 Teil 1-1 vereinfacht mit dem Spannungsblock nach Annex C in Teil 1-1 nachgewiesen werden, sofern der Bemessungswert der Normalkraft die Bedingung nach Gl. (3.1a) erfüllt.

Die Auswertung von Gl. (3.2) liefert bei einer 2,75 m hohen Wand für vorgegebene Wanddicken die in Tabelle 3.3 dargestellten erforderlichen Mindestauflasten  $N_{sd}$  am Wandkopf. Der Bemessungswert der Windlast wurde hierbei mit  $0,96 \text{ kN/m}^2$  (Höhe über Gelände 8 bis 20 m) angesetzt.

$\alpha$	t [mm]				
	115	175	240	300	365
0,05	12,8	6,8	4,5	3,4	2,7
0,10	15,0	7,7	5,0	3,8	3,0
0,20	18,6	8,9	5,7	4,2	3,3
0,30	23,5	10,2	6,4	4,7	3,7
0,50	56,1	18,6	10,8	7,8	6,0

**Tabelle 3.3:** Erforderliche Mindestauflast  $N_{sd}$  am Wandkopf bei Außenwänden

## 3.2 Nachweis von Wänden auf Druck

### 3.2.1 Allgemeines

Entsprechend Gl. (2.1) ist nachzuweisen, dass die Einwirkung kleiner ist als der Tragwiderstand. Es gilt:

$$N_{Sd} \leq N_{Rd} \quad (3.3)$$

mit

$N_{Sd}$  Bemessungswert der vertikalen Belastung

$N_{Rd}$  Bemessungswert des vertikalen Tragwiderstands

### 3.2.2 Bemessungswert des vertikalen Tragwiderstands

Der Bemessungswert des vertikalen Tragwiderstands ist mit der nachfolgenden Beziehung zu ermitteln:

$$N_{Rd} = \Phi_s \cdot f_d \cdot A \quad (3.4)$$

mit

$\Phi_s$  Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung des Knickens (Einfluss der Schlankheit) und der exzentrisch eingeleiteten Deckenlasten (Einfluss des Deckendrehwinkels). In ihm sind die ungewollte Ausmitte mit  $h_{ef}/450$  und der Kriecheinfluss ( $\varphi_\infty = 2,0$ ) erfasst.

$f_d$  Bemessungswert der Mauerwerksdruckfestigkeit:  $f_d = f_k / \gamma_M$

$f_k$  charakteristische Druckfestigkeit des Mauerwerkes

$A$  Fläche des belasteten Wandquerschnitts

Bei Gebäuden mit bis zu drei Geschossen darf der Bemessungswert des vertikalen Tragwiderstands auch weiter vereinfacht nach Annex A bestimmt werden. Die hierbei einzuhaltenen weitergehenden Anwendungsvoraussetzungen sind in Annex A aufgeführt und werden in einem gesonderten Abschnitt dieses Forschungsberichts für Gebäude mit bis zu drei Geschossen behandelt. Der Bemessungswert des vertikalen Tragwiderstands darf für diese Gebäude wie folgt ermittelt werden:

$$N_{Rd} = c_A \cdot f_d \cdot A \quad (3.5)$$

mit

$$c_A = 0,50 \quad \text{für Schlankheiten } h_{ef}/t_{ef} \leq 18 \\ = 0,36 \quad \text{für Schlankheiten } 18 < h_{ef}/t_{ef} \leq 21$$

### 3.2.3 Abminderungsfaktor

#### 3.2.3.1 Ermittlung bei der vereinfachten Berechnung

Der Abminderungsfaktor  $\Phi_s$  ist im vereinfachten Berechnungsverfahren durch den kleinsten sich aus den Gln. (3.6a), (3.6b) und (3.6c) ergebenden Wert festgelegt. Er berücksichtigt den Knickeinfluss und die Ausmitte infolge Deckendrehwinkel. Die ungewollte Ausmitte mit  $h_{ef}/450$  und der Kriecheinfluss mit  $\varphi_\infty = 2,0$  sind in den Faktoren enthalten. Der Einfluss des Knickens wird erfasst durch:

$$\Phi_s = 0,85 - 0,0011 \cdot \left( \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \right)^2 \quad (3.6a)$$

In Gl. (3.6a) ist die Traglastminderung aus dem Deckendrehwinkel bei Wänden unter durchlaufenden Decken auf der sicheren Seite liegend erfasst. Bei Wänden, die als Endauflager von Decken dienen, ist der Einfluss des Deckendrehwinkels aber gesondert zu bestimmen. Für diese Wände gilt zusätzlich:

$$\Phi_s = 1,3 - \frac{l_{i,ef}}{8} \leq 0,85 \quad (3.6b)$$

Für Wände im obersten Geschoss, die als Endauflager einer Dachdecke dienen, gilt:

$$\Phi_s = 0,5 \quad (3.6c)$$

In den Gleichungen (3.6a), (3.6b) und (3.6c) bedeuten:

$h_{ef}$  Knicklänge der Wand

$t_{ef}$  wirksame Wanddicke; es gilt im Allgemeinen  $t_{ef} = t$  ( $t$  Wanddicke)

$l_{i,ef}$  wirksame Deckenspannweite

$l_{i,ef} = l_i$  für einachsig gespannte Einfeldsysteme

$l_{i,ef} = 0,7 \cdot l_i$  für einachsig gespannte Durchlaufsysteme

$l_{i,ef} = 0,7 \cdot l_i$  für zweiachsig gespannte Einfeldsysteme

$l_{i,ef} = 0,5 \cdot l_i$  für zweiachsig gespannte Durchlaufsysteme

Beim Ansatz zweiachsig gespannter Deckenfelder darf die Deckenspannweite parallel zur Wand höchstens das zweifache der Deckenspannweite  $l_i$  betragen

### 3.2.3.2 Erläuterungen zum Abminderungsfaktor und Vergleich mit DIN 1053-1

Die Abminderungsfaktoren  $\Phi_s$  nach den Gln. (3.6a) bis (3.6c) entsprechen prinzipiell den Faktoren  $k_2$  und  $k_3$  im vereinfachten Berechnungsverfahren nach DIN 1053-1. Insbesondere der Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Traglastminderung infolge Deckendrehwinkel kann, wie nachfolgend gezeigt wird, aus dem nach DIN 1053-1 bekannten Faktor  $k_3 = 1,7 \cdot l/6$  hergeleitet werden. Ausgehend von der Bemessungsgleichung nach DIN 1053-1 kann die Bemessungsgleichung nach Eurocode 6 Teil 3 unter Berücksichtigung der entsprechenden Parameter wie folgt abgeleitet werden:

$$\frac{N}{b \cdot d} \leq k \cdot \sigma_0 \quad \text{mit } A = b \cdot d$$

$$\Rightarrow N \leq k \cdot \sigma_0 \cdot A$$

$$\Rightarrow \gamma_{G,Q} \cdot N \leq \gamma_{G,Q} \cdot k \cdot \sigma_0 \cdot A \quad \begin{array}{l} \text{Es gilt } f_k = 3,14 \cdot \sigma_0 \text{ (siehe Abschnitt 3.3.1),} \\ \text{mit } \sigma_0 = f_k / 3,14 \text{ folgt} \end{array}$$

$$\Rightarrow N_{Sd} \leq \gamma_{G,Q} \cdot k \cdot \frac{1}{3,14} \cdot f_k \cdot A \quad \text{mit } \gamma_{G,Q} = 0,8 \cdot \gamma_G + 0,2 \cdot \gamma_Q = 1,38$$

(kombinierter Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkungen, Verkehrslastanteil 20 %)

$$\Rightarrow N_{Sd} \leq k \cdot \frac{f_k \cdot A}{2,275} \quad \begin{array}{l} \text{(Die rechte Seite der Gleichung wird nachfolgend} \\ \text{in die Form } \Phi_s \cdot \frac{f_k \cdot A}{\gamma_M} \text{ überführt)} \end{array}$$

$$\Rightarrow N_{Sd} \leq 0,75 \cdot k \cdot \frac{f_k \cdot A}{1,70} \quad \text{mit } \gamma_M = 1,70$$

$$\Rightarrow N_{Sd} \leq 0,75 \cdot k \cdot \frac{f_k \cdot A}{\gamma_M} \quad \text{mit } \Phi_S = 0,75 \cdot k$$

$$\Rightarrow N_{Sd} \leq \Phi_S \cdot f_d \cdot A$$

Um das gleiche Sicherheitsniveau wie im vereinfachten Berechnungsverfahren nach DIN 1053-1 einzuhalten, müssen die Werte für den Abminderungsfaktor  $k$  daher mit dem Faktor 0,75 multipliziert werden, um den Abminderungsfaktor  $\Phi_S$  nach Eurocode 6 Teil 3 festlegen zu können. Die Herleitung gilt für einen Verkehrslastanteil von 20 % und liegt für alle Fälle mit größerem Verkehrslastanteil auf der sicheren Seite. Er ist somit als gute Näherung anzusehen. Die Bandbreite beträgt  $\Phi_S = (0,73 \div 0,81) \cdot k$  für  $1,35 \leq \gamma_{G,Q} \leq 1,50$ .

Aus dem Abminderungsfaktor  $k_3$  für den Einfluss des Deckendrehwinkels ergibt sich damit der Faktor  $\Phi_S$  zu:

$$\Phi_S = 0,75 \cdot k_3 = 0,75 \cdot (1,7 - l/6) \approx 1,3 - l/8$$

Auch der Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Traglastminderung infolge Knicken berechnet sich für die Schlankheit 10 im Vergleich mit  $k_2 = 1,0$  nach DIN 1053-1 zu:

$$\Phi_S = 0,85 - 0,0011 \cdot 10^2 = 0,74$$

Der Abminderungsfaktor für Wände im obersten Geschoss  $\Phi_S = 0,5$  entspricht dem Wert  $k_3$  nach DIN 1053-1. Der Faktor wurde nicht abgemindert, da er gegenüber einer genaueren Berechnung nach Eurocode 6 Teil 1-1 am Teilrahmensystem für den oberen Wand-Decken-Knoten auf der sicheren Seite liegt. Zudem ist nach Eurocode 6 Teil 3 gerade bei geringen Auflasten zusätzlich die Mindestwanddicke nach Gl. (3.2) nachzuweisen.

Eine umfangreiche Parameterstudie zum Vergleich der Bemessungsergebnisse nach Eurocode 6 Teil 1-1 und Teil 3 ist in den Abschnitten 5 und 6 enthalten.

### 3.2.4 Knicklänge der Wand

Die Knicklänge  $h_{ef}$  wird unter Beachtung der Steifigkeit der angrenzenden Bauteile und der Halterung an den Rändern festgelegt. Es gilt:



$$h_{\text{ef}} = \rho_n \cdot h \quad (3.7)$$

mit

$h$  lichte Geschosshöhe

$\rho_n$  Abminderungsfaktor mit  $n = 2, 3$  oder  $4$  in Abhängigkeit der Halterung der Wandränder

Der Abminderungsfaktor  $\rho_n$  in Gl. (3.7) darf nach den folgenden Regeln angesetzt werden:

- (i) zweiseitig oben und unten durch Massivdecken auch gegen Verdrehen gehaltene Wände (Auflagertiefe der Decken mindestens  $2/3$  der Wanddicke und nicht weniger als 85 mm):

$$\rho_2 = 1,00 \quad \text{für Wände als Endauflager einer Decke}$$

$$\rho_2 = 0,75 \quad \text{für alle anderen Wände}$$

- (ii) zweiseitig oben und unten (z. B. durch Ringbalken oder Holzbalkendecken) gehaltene Wände:

$$\rho_2 = 1,00$$

- (iii) dreiseitig oben, unten und an einem vertikalen Rand gehaltene Wände:

$$\rho_3 = 1,5 \cdot \frac{l}{h} \leq 0,75 \quad \text{für Wände, die gemäß (i) oben und unten auch gegen Verdrehen gehalten sind und nicht als Endauflager einer Decke dienen}$$

$$\leq 1,00 \quad \text{für alle anderen Fälle gemäß (i) und (ii)}$$

mit

$l$  Abstand des vertikal gehaltenen Randes von freiem Rand



$h$  lichte Geschosshöhe

(iv) vierseitig gehaltene Wände:

$\rho_4 = \frac{l}{2 \cdot h} \leq 0,75$  für Wände, die gemäß (i) oben und unten auch gegen Verdrehen gehalten sind und nicht als Endauflager einer Decke dienen

$\leq 1,00$  für alle anderen Fälle gemäß (i) und (ii)

mit

$l$  Abstand der vertikal gehaltenen Ränder (Wandlänge)

$h$  lichte Geschosshöhe

Die Ermittlung der Knicklänge entspricht damit im Prinzip den bekannten Regelungen in DIN 1053-1. Die Gleichungen für drei- und vierseitig gehaltene Wände sind für Verhältnisse  $h/l > 3,5$  (dreiseitig gehalten) bzw.  $h/l > 1,15$  (vierseitig gehalten) die gleichen wie nach Eurocode 6 Teil 1-1 und liegen für kleinere Verhältnisse  $h/l$  gegenüber der genaueren Berechnung auf der sicheren Seite.

### 3.2.5 Schlankheit der Wand

Die größte zulässige Schlankheit ist wie in Eurocode 6 Teil 1-1 mit  $h_{ef}/t_{ef} = 27$  festgelegt. Nur bei der noch weiter vereinfachten Berechnung von Gebäuden mit bis zu drei Geschossen nach Annex A ist die zulässige Schlankheit auf  $h_{ef}/t_{ef} = 21$  begrenzt.



### 3.3 Berechnungsbeispiele

#### 3.3.1 Allgemeines

Zum Vergleich mit den bestehenden Regelungen in DIN 1053-1 werden nachfolgend beispielhaft zwei Wände, eine mit geringer und eine mit höherer Festigkeit, berechnet. Die Wände werden zunächst mit der größten möglichen Auflast nach dem vereinfachten Verfahren in DIN 1053-1 nachgewiesen. Anschließend wird gezeigt, dass die gleichen Wände mit gleicher Belastung auch nach Eurocode 6 Teil 3 ohne Weiteres nachgewiesen werden können. Beide Berechnungsverfahren liefern fast identische Ergebnisse. Damit kann auch anhand von Beispielberechnungen gezeigt werden, dass das bewährte Sicherheitsniveau im vereinfachten Berechnungsverfahren nach DIN 1053-1 auch im Eurocode 6 Teil 3 erhalten bleibt.

Die Beziehung des Grundwertes der zulässigen Druckspannung beim Nachweis mit zulässigen Spannungen nach DIN 1053-1 zur charakteristischen Druckfestigkeit beim Nachweis nach dem neuen semiprobabilistischen Sicherheitskonzept auf der Grundlage von Teilsicherheitsbeiwerten und charakteristischen Festigkeiten in Eurocode 6 lautet allgemein:

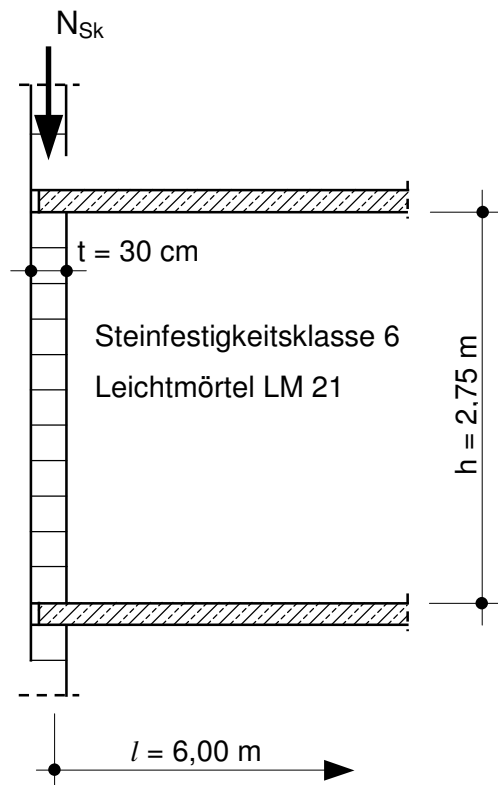
$$f_k = 3,14 \cdot \sigma_0$$

Diese Beziehung wird auch der neuen Norm DIN 1053-100 und bei der Neubearbeitung von DIN 1053-1 zu Grunde gelegt. Beide Normen sind an das neue Bemessungskonzept angepasst, berücksichtigen aber die in Deutschland gewohnten Baustoffe (Steinfestigkeitsklassen, Mörtelarten und -gruppen).

Da die Druckfestigkeit in Eurocode 6 auch von der Steinart und der Steingruppe wesentlich beeinflusst wird, diese Parameter aber in die Festigkeiten gemäß DIN 1053-1 nicht eingehen, ist ein direkter Vergleich der Ergebnisse beider Nachweisverfahren nur möglich, wenn die o. g. Beziehung verwendet wird.

### 3.3.2 Wand mit geringer Festigkeit

#### System und Belastung



- Außenwand im Zwischengeschoss
- Steinfestigkeitsklasse 6, Leichtmörtel LM 21
- Wanddicke:  $d = t = 0,30 \text{ m}$
- Wandhöhe:  $h = 2,75 \text{ m}$
- Stützweite der aufliegenden Decke:  $l = l_f = 6,00 \text{ m}$   
(einachsig gespanntes Einfeldsystem)
- Belastung am Wandkopf: ständige Last:  $N_{G,k} = 100 \text{ kN/m}$   
Verkehrslast:  $N_{Q,k} = 47 \text{ kN/m}$   
Gesamtlast:  $N_{Sk} = 147 \text{ kN/m}$

Berechnung nach DIN 1053-1, vereinfachtes Berechnungsverfahren

vorhandene Druckspannung:



$$\text{vorh } \sigma = N_{Sk}/d = 147 \cdot 10^{-3}/0,3 = 0,49 \text{ N/mm}^2$$

Grundwert der zulässigen Druckspannung:

$$\sigma_0 = 0,7 \text{ N/mm}^2$$

Knicklänge:

$$h_k = 1,00 \cdot h = 2,75 \text{ m}$$

Schlankheit:

$$h_k/d = 2,75/0,30 = 9,2 < 25$$

Abminderungsfaktor infolge Knicken

$$k_2 = 1,0$$

Abminderungsfaktor infolge Deckendrehwinkel:

$$k_3 = 1,7 - l/6 = 1,7 - 6,00/6 = 0,70 \text{ (maßgebend)}$$

zulässige Druckspannung:

$$\text{zul } \sigma_D = k_3 \cdot \sigma_0 = 0,70 \cdot 0,7 = 0,49 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis:

$$\text{vorh } \sigma = 0,49 \text{ N/mm}^2 = \text{zul } \sigma_D$$

Der Nachweis mit dem vereinfachten Berechnungsverfahren in DIN 1053-1 ist erfüllt, der Wandquerschnitt ist voll ausgenutzt. Eine höhere Belastung ist mit diesem Berechnungsverfahren nicht nachweisbar.

### *Berechnung nach Eurocode 6 Teil 3*

Bemessungswert der Normalkraft:

$$N_{Sd} = 1,35 \cdot 100 + 1,5 \cdot 47 = 205,5 \text{ kN/m}$$

Teilsicherheitsbeiwert für das Material:

$$\gamma_M = 1,7$$

charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit:

$$f_k = 3,14 \cdot 0,7 = 2,2 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit:

$$f_d = f_k / \gamma_M = 2,2 / 1,7 = 1,294 \text{ N/mm}^2$$

Knicklänge:

$$h_{ef} = 1,0 \cdot h = 2,75 \text{ m} \quad (\text{Wand als Endauflager einer Decke})$$

Abminderungsfaktor infolge Knicken:

$$\Phi_s = 0,85 - 0,0011 \cdot (h_{ef}/t)^2 = 0,85 - 0,0011 \cdot (2,75/0,30)^2 = 0,758$$

wirksame Deckenspannweite:

$$l_{f,ef} = l_f = 6,00 \text{ m} \quad (\text{einachsig gespanntes Einfeldsystem})$$

Abminderungsfaktor infolge Deckendrehwinkel:

$$\Phi_s = 1,3 - l_{f,ef} / 8 = 1,3 - 6,00 / 8 = 0,550 \quad (\text{maßgebend})$$

Bemessungswert der Traglast:

$$N_{Rd} = \Phi_s \cdot f_d \cdot A = 0,550 \cdot 1,294 \cdot 10^3 \cdot 0,30 = 213,5 \text{ kN/m}$$

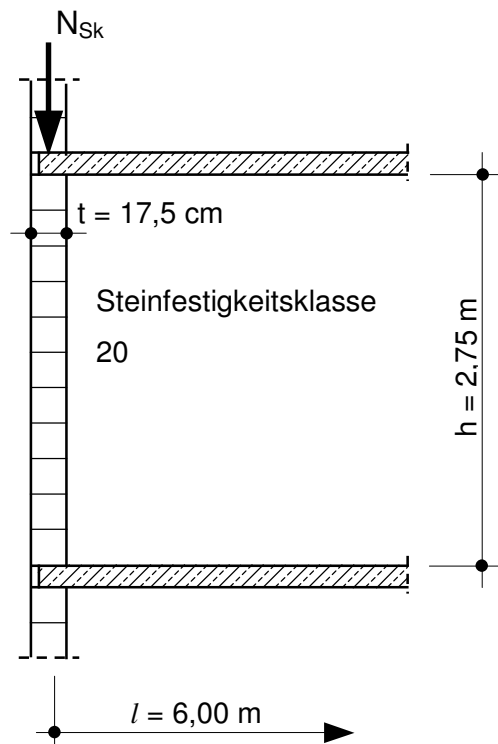
Nachweis:

$$N_{Sd} = 205,5 \text{ kN/m} < 213,5 \text{ kN/m} = N_{Rd}$$

Der Nachweis der Wand ist auch nach dem vereinfachten Berechnungsverfahren in Eurocode 6 Teil 3 eingehalten. Die Ausnutzung der nach dem vereinfachten Berechnungsverfahren in DIN 1053-1 voll ausgenutzten Wand beträgt nach Eurocode 6 Teil 3 etwa 96 %. Das Sicherheitsniveau der beiden vereinfachten Berechnungsverfahren ist somit etwa gleich.

### 3.3.3 Wand mit hoher Festigkeit

#### System und Belastung



- Außenwand im Zwischengeschoss
- Steinfestigkeitsklasse 20, Dünnbettmörtel
- Wanddicke:  $d = t = 0,175 \text{ m}$
- Wandhöhe:  $h = 2,75 \text{ m}$
- Stützweite der aufliegenden Decke:  $l = l_f = 6,00 \text{ m}$   
(einachsig gespanntes Einfeldsystem)
- Belastung am Wandkopf: ständige Last:  $N_{G,k} = 200 \text{ kN/m}$   
Verkehrslast:  $N_{Q,k} = 192 \text{ kN/m}$   
Gesamtlast:  $N_{Sk} = 392 \text{ kN/m}$

*Berechnung nach DIN 1053-1, vereinfachtes Berechnungsverfahren*

vorhandene Druckspannung:

$$\text{vorh } \sigma = N_{Sk}/d = 392 \cdot 10^{-3}/0,175 = 2,24 \text{ N/mm}^2$$



Grundwert der zulässigen Druckspannung:

$$\sigma_0 = 3,2 \text{ N/mm}^2$$

Knicklänge:

$$h_k = 0,75 \cdot h = 0,75 \cdot 2,75 \text{ m} = 2,06 \text{ m}$$

Schlankheit:

$$h_k/d = 2,06/0,175 = 11,8 < 25$$

Abminderungsfaktor infolge Knicken:

$$k_2 = (25 - h_k/d)/15 = (25 - 11,8)/15 = 0,88$$

Abminderungsfaktor infolge Deckendrehwinkel:

$$k_3 = 1,7 - l/6 = 1,7 - 6,00/6 = 0,70 \text{ (maßgebend)}$$

zulässige Druckspannung:

$$\text{zul } \sigma_D = k_3 \cdot \sigma_0 = 0,7 \cdot 3,2 = 2,24 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis:

$$\text{vorh } \sigma = 2,24 \text{ N/mm}^2 = \text{zul } \sigma_D$$

Der Nachweis mit dem vereinfachten Berechnungsverfahren in DIN 1053-1 ist erfüllt, der Wandquerschnitt ist voll ausgenutzt. Eine höhere Belastung ist mit diesem Berechnungsverfahren nicht nachweisbar.

### *Berechnung nach Eurocode 6 Teil 3*

Bemessungswert der Normalkraft:

$$N_{Sd} = 1,35 \cdot 200 + 1,5 \cdot 192 = 558,0 \text{ kN/m}$$

Teilsicherheitsbeiwert für das Material:

$$\gamma_M = 1,7$$

charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit:

$$f_k = 3,14 \cdot 3,2 = 10,0 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit:

$$f_d = f_k / \gamma_M = 10,0 / 1,7 = 5,882 \text{ N/mm}^2$$

Knicklänge:

$$h_{ef} = 1,0 \cdot h = 2,75 \text{ m} \quad (\text{Wand als Endauflager einer Decke})$$

Abminderungsfaktor infolge Knicken:

$$\Phi_s = 0,85 - 0,0011 \cdot (h_{ef}/t)^2 = 0,85 - 0,0011 \cdot (2,75/0,175)^2 = 0,578$$

wirksame Deckenspannweite:

$$l_{f,ef} = l_f = 6,00 \text{ m} \quad (\text{einachsig gespanntes Einfeldsystem})$$

Abminderungsfaktor infolge Deckendrehwinkel:

$$\Phi_s = 1,3 - l_{f,ef} / 8 = 1,3 - 6,00 / 8 = 0,550 \quad (\text{maßgebend})$$

Bemessungswert der Traglast:

$$N_{Rd} = \Phi_s \cdot f_d \cdot A = 0,550 \cdot 5,882 \cdot 10^3 \cdot 0,175 = 566,1 \text{ kN/m}$$

Nachweis:

$$N_{Sd} = 558,0 \text{ kN/m} < 566,1 \text{ kN/m} = N_{Rd}$$

Der Nachweis der Wand ist auch nach dem vereinfachten Berechnungsverfahren in Eurocode 6 Teil 3 eingehalten. Die Ausnutzung der nach dem vereinfachten Berechnungsverfahren in DIN 1053-1 voll ausgenutzten Wand beträgt nach Eurocode 6 Teil 3 etwa 99 %. Auch bei hohen Festigkeiten ist das Sicherheitsniveau somit gleich.

Werden die charakteristischen Druckfestigkeiten nicht über  $f_k = 3,14 \cdot \sigma_0$  bestimmt, sondern aus Eurocode 6 Teil 3, Annex D, entnommen, können sich je nach Steinart und Steingruppe auch deutlich niedrigere Werte für die charakteristische Druckfestigkeit  $f_k$  ergeben. Für die beiden Beispiele ist der Nachweis nach dem vereinfachten Verfahren in Eurocode 6 Teil 3 dann nicht mehr möglich.

#### **4. Erweiterung der zulässigen Wandhöhe im Erdgeschoss auf 4,0 m**

Nach einem italienischen Vorschlag zu prEN 1996-3 wurde die lichte Geschosshöhe im Erdgeschoss auf bis zu 4,0 m erhöht. Als Bedingung wurde eingeführt, dass dies nur bei Gebäuden mit einer Höhe von mindestens 7,0 erlaubt ist. Nachfolgend wird überprüft, ob diese Regelung ausreichend ist, damit das vereinfachte Berechnungsverfahren gegenüber der genaueren Berechnung nach prEN 1996-1-1 auf der sicheren Seite liegt.

Für die Bemessung mit der genaueren Berechnung einer Wand nach prEN 1996-1-1 kann der Auswirkung der Wandhöhe auf die einzelnen Einflussgrößen (Größe der Ausmitten zur Ermittlung der Abminderungsfaktoren) wie folgt abgeschätzt werden:

- a) Ausmitte aus dem Moment infolge Deckenverdrehung am Auflager  $\Rightarrow$  Die Ausmitte wird mit zunehmender Wandhöhe kleiner, da die Steifigkeit der Wand und damit das aufzunehmende Moment am Wandkopf und -fuß aus der Rahmenberechnung kleiner wird.
- b) Ausmitte aus dem Moment infolge Windbeanspruchung  $\Rightarrow$  Das Moment wird mit zunehmender Wandhöhe größer.
- c) Ungewollte Ausmitte  $\Rightarrow$  Die ungewollte Ausmitte wird in Abhängigkeit der Wandhöhe größer.
- d) Ausmitte infolge Kriechen  $\Rightarrow$  Die Ausmitte wird mit zunehmender Wandhöhe entsprechend der in prEN 1996-1-1 angegebenen Berechnungsformel größer. Da für die hier untersuchten Wände mit Höhen von 4,0 m aber im Allgemeinen von einer großen Schlankheit ausgegangen werden kann, wird die Kriechausmitte entsprechend den Angaben in prEN 1996-1-1 hier vernachlässigt.

Im Folgenden wird eine Vergleichsberechnung nach prEN 1996-1-1 hinsichtlich der anzusetzenden Ausmitte bei einer Außenwand eines eingeschossigen Gebäudes (Geschosshöhe 3,20 m) und eines zweigeschossigen Gebäudes (Erdgeschosshöhe 4,00 m, Obergeschosshöhe 2,75 m) vorgenommen. Ist die anzusetzende Ausmitte beim zweigeschossigen Gebäude kleiner oder höchstens gleich der beim eingeschossigen Gebäude, liegt die Bemessung nach dem vereinfachten Berechnungsverfahren für die 4,0 m hohe Wand ebenfalls auf der sicheren Seite. Die bei der vereinfachten Berechnung nicht explizit an-



zusetzenden Parameter Wind, ungewollte Ausmitte und Kriechverformung werden dann durch die geforderte höhere Auflast aus einem Obergeschoss bei der 4,0 m hohen Wand kompensiert. Bei der folgenden Berechnung werden die Ausmitte infolge Deckenverdrehung wegen der günstigen Auswirkung auf der sicheren Seite liegend und die Krieचाusmitte wegen der vorhandenen großen Schlankheit vernachlässigt.

Die Windbelastung im Erdgeschoss berechnet sich zu:

$$w_d = \gamma_Q \cdot c_p \cdot q = 1,5 \cdot 0,5 \cdot 0,8 = 0,60 \text{ kN/m}^2$$

a) *Eingeschossiges Gebäude* ( $h_{EG} = 3,20 \text{ m}$ )

$$\text{Moment aus Wind: } M_{he} = w_d \cdot h^2 / 8 = 0,60 \cdot 3,20^2 / 8 = 0,768 \text{ kNm/m}$$

Wandauflast in halber Geschosshöhe:

Betondachdecke:	$0,18 \cdot (6,00 / 2) \cdot 25 =$	13,50 kN/m
Dachaufbau:	$1,0 \cdot (6,00 / 2) =$	3,00 kN/m
Mauerwerk:	$10,0 \cdot 0,175 \cdot 3,20 / 2 =$	2,80 kN/m
$N_{mk} = N_{md}$ (wg. $\gamma_G = 1,0$ ) =		19,30 kN/m

$$e_m = e_{hm} + e_i = M_{he}/N_{md} + h_{ef}/450 = 0,768/19,3 + 3,20/450 = \underline{0,046 \text{ m}}$$

b) *Zweigeschossiges Gebäude* ( $h_{EG} = 4,00 \text{ m}$ ,  $h_{OG} = 2,75 \text{ m}$ )

$$\text{Moment aus Wind: } M_{he} = w_d \cdot h^2 / 8 = 0,60 \cdot 4,00^2 / 8 = 1,200 \text{ kNm/m}$$

Wandauflast in halber Erdgeschosshöhe:

Betondachdecke:	$0,18 \cdot 25 \cdot (6,00 / 2) =$	13,50 kN/m
Dachaufbau:	$1,0 \cdot (6,00 / 2) =$	3,00 kN/m
Zwischendecke:	$(0,18 \cdot 25 + 1,5) \cdot (6,0 / 2) =$	18,00 kN/m
Mauerwerk:	$10,0 \cdot 0,175 \cdot (2,75 + 4,00 / 2) =$	8,31 kN/m
$N_{mk} = N_{md}$ (wg. $\gamma_G = 1,0$ ) =		42,81 kN/m

$$e_m = e_{hm} + e_i = M_{he}/N_{md} + h_{ef}/450 = 1,200/42,81 + 4,00/450 = \underline{0,037 \text{ m}}$$



Die bei der genaueren Berechnung nach prEN 1996-1-1 anzusetzende Ausmitte der 4,0 m hohen Erdgeschosswand ist mit der Auflast aus einem Geschoss ( $e_m = 0,037$  m) kleiner als die Ausmitte der 3,20 m hohen Wand eines eingeschossigen Gebäudes ( $e_m = 0,046$  m). Es konnte somit gezeigt werden, dass die Eingangparameter zur Ermittlung der Abminderungsfaktoren bei der genaueren Berechnung der 4,0 m hohen Erdgeschosswand mit mindestens einem Obergeschoss gegenüber einer 3,20 m hohen Erdgeschosswand eines eingeschossigen Gebäudes günstiger sind. Damit liegt auch die vereinfachte Berechnung – ohne gesonderte Berücksichtigung der Windbeanspruchung und der ungewollten Ausmitte – einer 4,0 m hohen Erdgeschosswand mit mindestens einem Obergeschoss gegenüber einer genaueren Berechnung auf der sicheren Seite. Der Sicherheitsabstand zur genaueren Berechnung ist sogar größer als bei einer 3,2 m hohen Wand eines eingeschossigen Gebäudes.

## 5. Parameterstudie zur Überprüfung des Nachweises am Wand-Decken-Knoten einer Außenwand im Zwischengeschoss

### 5.1 Vergleich der Abminderungsfaktoren nach prEN 1996-3 und prEN 1996-1-1

Es wurde eine umfangreiche Parameterstudie zum Nachweis am Wand-Decken-Knoten im Zwischengeschoss durchgeführt, um festzustellen, ob der sich aus der vereinfachten Berechnung nach prEN 1996-3 ergebende Abminderungsfaktor für Wände, die als Endauflager von Decken wirken, gegenüber dem genaueren Abminderungsfaktor am Wandkopf nach prEN 1996-1-1 auf der sicheren Seite liegt. Hierbei wurde der sich nach prEN 1996-1-1 am Wandkopf ergebende Abminderungsfaktor  $\Phi_i$  in Abhängigkeit der Deckenstützweite ermittelt und in Diagrammen dem Abminderungsfaktor  $\Phi_s$  nach prEN 1996-3 gegenübergestellt. Die Werte nach der genaueren Berechnung wurden in Abhängigkeit der charakteristischen Mauerwerksdruckfestigkeit bestimmt. Sie wurden für die maßgebende Grenzlast, d. h. die größte zulässige Auflast bei  $N_{Sd} = N_{Rd}$  ermittelt. Eine geschlossene Lösung für diesen Fall ergibt sich aus den Gleichungen in prEN 1996-1-1 wie folgt:

$$\begin{aligned}
 N_{Sd} &= N_{Rd} \\
 \Rightarrow N_{Sd} &= \Phi_i \cdot t \cdot f_d & (5.1) \\
 \Rightarrow N_{Sd} &= \left(1 - 2 \cdot \frac{e_e}{t}\right) \cdot t \cdot f_d \\
 \Rightarrow N_{Sd} &= t \cdot f_d - 2 \cdot e_e \cdot f_d \\
 \Rightarrow N_{Sd} &= t \cdot f_d - 2 \cdot f_d \cdot \left(\frac{M_{id}}{N_{id}} + e_{he} + e_i\right) \\
 \Rightarrow N_{Sd} &= t \cdot f_d - 2 \cdot f_d \cdot \left(\frac{M_{id}}{N_{Sd}} + \frac{M_{he}}{N_{Sd}} + \frac{h_{ef}}{450}\right) \\
 \Rightarrow N_{Sd} + 2 \cdot f_d \cdot \frac{M_{id}}{N_{Sd}} + 2 \cdot f_d \cdot \frac{M_{he}}{N_{Sd}} + 2 \cdot f_d \cdot \frac{h_{ef}}{450} - t \cdot f_d &= 0 \\
 \Rightarrow N_{Sd}^2 + 2 \cdot f_d \cdot M_{id} + 2 \cdot f_d \cdot M_{he} + 2 \cdot f_d \cdot \frac{h_{ef}}{450} \cdot N_{Sd} - t \cdot f_d \cdot N_{Sd} &= 0
 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow N_{Sd}^2 + \left( \frac{h_{ef}}{225} - t \right) \cdot f_d \cdot N_{Sd} + 2 \cdot (M_{id} + M_{he}) \cdot f_d = 0$$

$$\Rightarrow N_{Sd, \max/\min} = -0,5 \cdot \left( \frac{h_{ef}}{225} - t \right) \cdot f_d \pm \sqrt{\left( -0,5 \cdot \left( \frac{h_{ef}}{225} - t \right) \cdot f_d \right)^2 - 2 \cdot (M_{id} + M_{he}) \cdot f_d} \quad (5.2)$$

mit

$h_{ef}$  effektive Wandhöhe (Knicklänge)

$t$  Wanddicke

$f_d$  Bemessungswert der Druckfestigkeit mit

$$f_d = f_k / \gamma_M$$

$f_k$  charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit

$\gamma_M$  Teilsicherheitsbeiwert für das Material

$M_{id}$  Bemessungswert des Moments aus der Exzentrizität der Deckenauflegerkraft nach prEN 1996-1-1, Anhang C

$M_{he}$  Moment aus Windbelastung am Wandkopf

Der obere Grenzwert für den Abminderungsfaktor ergibt sich damit aus Gl. (5.1) zu

$$\Phi_i = \frac{N_{Sd, \max}}{t \cdot f_d} \quad (5.3)$$

Der Abminderungsbeiwert bei der vereinfachten Berechnung am Wand-Decken-Knoten von Außenwänden ist nach prEN 1996-3 direkt nur in Abhängigkeit der Deckenstützweite anzusetzen mit:

$$\Phi_S = 1,3 - l_{f,ef}/8 \quad (5.4)$$

mit

$l_{f,ef}$  effektive Deckenstützweite

Die Untersuchung wurde für die charakteristischen Mauerwerksdruckfestigkeiten  $f_k = 1,20 / 1,80 / 4,25 / 10,00$  N/mm<sup>2</sup> vorgenommen und deckt damit die in Deutschland üblichen Stein-Mörtel-Kombinationen ab. Der Elastizitätsmodul der Wand wurde mit  $1000 \cdot f_k$  ange-

setzt. Die genauere Berechnung des Moments am Wandkopf nach prEN 1996-1-1 erfolgte am Teilrahmensystem für einen Zwischenwandknoten der Außenwand nach Anhang C der Norm. Das Moment aus der Windbelastung ( $w_d = 0,60 \text{ N/mm}^2$ ) wurde für den ungünstigsten Fall der vollen Einspannung am Wandkopf berücksichtigt und die ungewollte Ausmitte mit  $h_{ef} / 450$  angesetzt.

Bei der Berechnung der Abminderungsfaktoren wurde eine 18 cm dicke Stahlbetondecke aus Beton C 20/25 ( $E = 28800 \text{ N/mm}^2$ ) zu Grunde gelegt. Das Eigengewicht der Decke einschließlich Fußbodenaufbau wurde zu  $g_k = 6,0 \text{ kN/m}^2$  angenommen. Als Deckenaufast wurde der ungünstigste Fall mit der nach prEN 1996-3 größten zulässigen charakteristischen Verkehrslast von  $p_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$  angesetzt. Die Deckenlänge wurde für jede untersuchte Mauerwerksfestigkeit zwischen 3,0 m und 7,0 m variiert, so dass der entsprechende Abminderungsfaktor in jedem Diagramm für jede Deckenlänge abgelesen werden kann.

Für jede der untersuchten charakteristischen Mauerwerksfestigkeiten wurde zunächst die Wanddicke ( $t = 17,5 / 24,0 / 30,0 / 36,5 \text{ cm}$ ) bei konstanter Wandhöhe  $h_{ef} = 2,75 \text{ m}$  und einem Sicherheitsbeiwert von  $\gamma_M = 1,7$  variiert, um die maßgebende, d. h. zu den niedrigsten Abminderungsfaktoren bei der genaueren Berechnung nach prEN 1996-3 führende Wanddicke zu ermitteln. Diese Untersuchung ist jeweils in einem Diagramm dargestellt. Für die ungünstigste Wanddicke wurde in einem zweiten Schritt die Wandhöhe ( $h_{ef} = 2,75 / 3,00 / 3,2 \text{ m}$ ) als Variable eingeführt und die sich ergebenden Abminderungsfaktoren in einem weiteren Diagramm dargestellt. Abschließend wurden für die ungünstigste Wandhöhen-Wanddicken-Kombination noch der Einfluss verschiedener Sicherheitsbeiwerte ( $\gamma_M = 1,7 / 2,2 / 2,7$ ), die bei einer genaueren Berechnung nach prEN 1996-1-1 in die Berechnung der Abminderungsfaktoren eingehen, untersucht.

Nachfolgend sind in Tabelle 5.1 die verschiedenen Untersuchungen, die entsprechenden Parameter sowie die als Ergebnis in Anlage 1 enthaltenen Diagramme und die zugehörigen tabellarisch zusammengefassten Einzelwerte zusammengestellt.

**Tabelle 5.1:** Zusammenstellung der untersuchten Parameter zum Abminderungsfaktor beim Nachweis am Wand-Decken-Knoten im Zwischengeschoss

Nr.	$f_k$ [N/mm]	$\rho_k$ (Decke) [kN/m <sup>2</sup> ]	t [cm]	h [m]	$\gamma_M$ [---]	Seite	
						Diagramm	Tabelle
1.1	1,20	5,00	17,5 / 24,0 / 30,0 / 36,5	2,75	1,7	A1/2	A1/14
1.2			36,5	2,75 / 3,00 / 3,20	1,7	A1/3	A1/15
1.3			36,5	2,75	1,7 / 2,2 / 2,7	A1/4	A1/16
1.4	1,80	5,00	17,5 / 24,0 / 30,0 / 36,5	2,75	1,7	A1/5	A1/17
1.5			30,0	2,75 / 3,00 / 3,20	1,7	A1/6	A1/18
1.6			30,0	2,75	1,7 / 2,2 / 2,7	A1/7	A1/19
1.7	4,25	5,00	17,5 / 24,0 / 30,0 / 36,5	2,75	1,7	A1/8	A1/20
1.8			24,0	2,75 / 3,00 / 3,20	1,7	A1/9	A1/21
1.9			24,0	2,75	1,7 / 2,2 / 2,7	A1/10	A1/22
1.10	10,00	5,00	17,5 / 24,0 / 30,0 / 36,5	2,75	1,7	A1/11	A1/23
1.11			17,5	2,75 / 3,00 / 3,20	1,7	A1/12	A1/24
1.12			17,5	2,75	1,7 / 2,2 / 2,7	A1/13	A1/25

Anhand der Diagramme 1.1 bis 1.3 für die geringste charakteristische Druckfestigkeit  $f_k = 1,2 \text{ N/mm}^2$  (z. B. Mauerziegel der Steifestigkeitsklasse 2 mit Leichtmörtel) wird deutlich, dass der vereinfachte Abminderungsfaktor nach prEN 1996-3 die genaueren Faktoren nach prEN 1996-1-1 gut annähert. Der kleinste Abminderungsfaktor bei einer genaueren Berechnung ergibt sich für große Deckenstützweiten bei einer Wanddicke von 36,5 cm (Diagramm 1.1). Nach prEN 1996-3 sind wie in DIN 1053-1 Deckenstützweiten bis zu 6 m erlaubt. Bei einer genaueren Berechnung nach prEN 1996-1-1 für diese geringe Festigkeit ergeben sich bei dicken Wänden mit einer Verkehrslast auf der Decke von 5,0 kN/m<sup>2</sup> geringfügig niedrigere zulässige Deckenstützweiten (5,76 m). Diese im Extremfall auftretende Abweichung ist jedoch gering und unter Berücksichtigung der bisher in Deutschland erlaubten Deckenstützweiten im vereinfachten Berechnungsverfahren nicht als Sicherheitsrisiko einzustufen. Diagramm 1.2 zeigt, dass sich die bei höheren Wänden nach prEN 1996-1-1 auch größere Abminderungsfaktoren ergeben, maßgebend wird die kleinste Wandhöhe (hier:  $h = 2,75 \text{ m}$ ). Der Vergleich zur Ermittlung der Abminderungsfaktoren mit unterschiedlichen Sicherheitsbeiwerten bei der genaueren Berechnung nach prEN 1996-1-1 (Diagramm 1.3) ergibt für größere als den in Deutschland vorgesehenen Teilsicherheitsbeiwert für das Material ( $\gamma_M = 1,7$ ) deutlich kleinere Abminderungsfaktoren, da der Sicherheitsbeiwert für das Material in die Berechnung des maximalen Abminderungsfaktors nach prEN 1996-1-1 bei  $N_{Sd} = N_{Rd}$  mit eingeht, s. Gln. (5.2), (5.3). Ausgehend vom deutschen Sicherheitsniveau ergeben sich hierdurch zwar keine Sicherheitslücken, wenn in anderen Ländern aber höhere Teilsicherheitsbeiwerte angesetzt werden müssen, sind

nach der vereinfachten Berechnung in prEN 1996-3 bis zu etwa 1 m größere Deckenspannweiten nachweisbar, als mit der genaueren Berechnung nach prEN 1996-1-1. Dieser Zusammenhang könnte durch die Einführung des Teilsicherheitsbeiwertes für das Material in die entsprechenden Gleichungen zum Nachweis der zulässigen Deckenstützweite in prEN 1996-3 berücksichtigt werden. Auf diesen Tatbestand wird später noch eingegangen (Abschnitte 5.3, 6.3 und 8).

In den Diagrammen 1.4 bis 1.6 mit einer charakteristischen Druckfestigkeit von  $1,8 \text{ N/mm}^2$  ist die gleiche Tendenz erkennbar. Hier liefert die Berechnung nach prEN 1996-1-1 allerdings die kleinsten Abminderungsfaktoren bei einer 30 cm dicken Wand (Diagramm 1.4). Die vereinfachte Berechnung nach prEN 1996-3 liegt bei Ansatz des für Deutschland geltenden Teilsicherheitsbeiwertes hier auch in allen Ausnahmefällen gegenüber der Berechnung nach prEN 1996-1-1 auf der sicheren Seite. Gleichzeitig wird die genauere Berechnung hinsichtlich der größten zulässigen Abminderungsfaktoren und auch in Bezug auf die zulässige Deckenspannweite sehr gut angenähert. Bei größeren Teilsicherheitsbeiwerten als 1,7 ergeben sich aber auch wieder die gegenüber einer genaueren Berechnung größeren möglichen Deckenspannweiten nach dem vereinfachten Berechnungsverfahren (Diagramm 1.6).

Den Diagrammen 1.7 bis 1.9 für eine charakteristische Druckfestigkeit von  $f_k = 4,25 \text{ N/mm}^2$  kommt insofern eine besondere Bedeutung zu, dass bei Ansatz des Teilsicherheitsbeiwertes  $\gamma_M = 1,7$  der Bemessungswert der Druckfestigkeit  $f_d = 2,5 \text{ N/mm}^2$  beträgt. Für diese und höhere Festigkeiten darf nach prEN 1996-3 der Höchstwert der Deckenstützweite nicht mehr 6,0 m sondern 7,0 m betragen, sofern die entsprechende Bedingung für die Deckenstützweite in Abhängigkeit der Wanddicke eingehalten ist. In den Diagrammen ist erkennbar, dass die Erhöhung der zulässigen Deckenstützweite ab dieser Festigkeit gerechtfertigt ist. Die Abminderungsfaktoren nach prEN 1996-3 liegen gegenüber den maßgebenden Abminderungsfaktoren nach prEN 1996-1-1 für eine 24 cm dicke Wand auf der sicheren Seite (Diagramm 1.7). Eine Besonderheit ergibt sich bei dieser Festigkeit im Hinblick auf größere Teilsicherheitsbeiwerte als 1,7. Da der Bemessungswert der Druckfestigkeit infolge des größeren Sicherheitsbeiwertes kleiner als  $2,5 \text{ N/mm}^2$  ist, bleibt die Deckenstützweite bei Teilsicherheitsbeiwerten  $> 1,7$  auf 6,0 m beschränkt. Die Abminderungsfaktoren nach prEN 1996-3 nähern daher die genauere Berechnung nach prEN 1996-1-1 in diesem Fall auch bei größeren Teilsicherheitsbeiwerten gut an (Diagramm 1.9).



Die Diagramme 1.10 bis 1.12 für hohe charakteristische Druckfestigkeiten  $f_k = 10,0 \text{ N/mm}^2$  machen deutlich, dass die vereinfachte Berechnung nach prEN 1996-3 gegenüber einer genaueren Berechnung nach prEN 1996-1-1 in jedem Fall auf der sicheren Seite liegt. Die Sicherheitsreserven sind deutlich größer als bei kleineren Mauerwerksfestigkeiten. Durch die Beschränkung der zulässigen Deckenstützweite in Abhängigkeit der Wanddicke ist bei Wänden mit hohen Festigkeiten auch die Einhaltung der mit einer genaueren Berechnung nachweisbaren Deckenstützweite gegeben (Diagramm 1.12).



## 5.2 Vergleich der zulässigen vertikalen Beanspruchung nach prEN 1996-3 und prEN 1996-1-1

Ergänzend zum Vergleich der Abminderungsfaktoren wurde eine zweite Parameterstudie zum Nachweis am Wand-Decken-Knoten im Zwischengeschoss durchgeführt, um neben dem Vergleich der größten zulässigen Abminderungsfaktoren auch explizit die sich ergebende zulässige vertikale Beanspruchung nach prEN 1996-3 und prEN 1996-1-1 vergleichen zu können. Hierbei wurde auch die beim Nachweis nach prEN 1996-1-1 mindestens erforderliche Auflast -  $N_{Sd,min}$  nach Gl. (5.2) - und zusätzlich der für große Ausmitten erlaubte Nachweis mit dem Spannungsblock berücksichtigt.

In den Diagrammen der Anlage 2 ist der Bemessungswert der vertikalen Beanspruchung über der Deckenlänge aufgetragen. Die Bereiche in denen der Nachweis nach der jeweiligen Norm gelingt, sind farbig hinterlegt:

grün  $\Rightarrow$  genauerer Nachweis nach prEN 1996-1-1

Grenzwerte:  $N_{Sd,max/min}$  nach Gl. (5.2)

blau  $\Rightarrow$  Nachweis mit dem Spannungsblock nach prEN 1996-1-1

Grenzwerte:  $N_{Sd,max} = 0,1 \cdot t \cdot f_d$

$N_{Sd,min} = 0$

rot  $\Rightarrow$  vereinfachter Nachweis nach prEN 1996-3

Grenzwerte:  $N_{Sd,max} = (1,3 - l_{f,ef}/8) \cdot t \cdot f_d$

$N_{Sd,min}$  nach Gl. (3.2) ist nicht dargestellt

Damit der vereinfachte Nachweis nach prEN 1996-3 gegenüber einer genaueren Berechnung immer auf der sichereren Seite liegt, dürfen sich in den Diagrammen der Anlage 2 keine Bereiche ergeben, die ausschließlich rot hinterlegt sind.

Die Untersuchung wurde ebenfalls für die charakteristischen Mauerwerksdruckfestigkeiten  $f_k = 1,20 / 1,80 / 4,25 / 10,00$  N/mm<sup>2</sup> vorgenommen. Die konstanten Parameter wurden entsprechend der Untersuchung zum Abminderungsfaktor (Abschnitt 5.1) gewählt und sind dort erläutert. Als Wanddicke wurde jeweils der entsprechend ungünstigste Fall aus der Untersuchung zum Abminderungsfaktor zu Grunde gelegt:

$f_k = 1,20$  N/mm<sup>2</sup>  $\Rightarrow$   $t = 36,5$  cm

$f_k = 1,80$  N/mm<sup>2</sup>  $\Rightarrow$   $t = 30,0$  cm

$$f_k = 4,25 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow t = 24,0 \text{ cm}$$

$$f_k = 10,0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow t = 17,5 \text{ cm}$$

Als Deckenauflast wurde neben der nach prEN 1996-3 größten erlaubten charakteristischen Belastung von  $p_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$  auch die sich für übliche Fälle des Wohnungsbaus unter Berücksichtigung leichter Trennwände ergebende Belastung von  $2,75 \text{ kN/m}^2$  angesetzt. Neben dem für Deutschland vorgesehenen Teilsicherheitsbeiwert für das Material von  $\gamma_M = 1,7$  wurden wie beim Vergleich der Abminderungsfaktoren auch die Ergebnisse für Teilsicherheitsbeiwerte von  $\gamma_M = 2,2$  und  $2,7$  überprüft.

Nachfolgend sind in Tabelle 5.2 die einzelnen Untersuchungen mit den zugehörigen Parametern und die als Ergebnis in Anlage 2 enthaltenen Diagramme mit den zugehörigen Tabellenwerten zusammengestellt.

**Tabelle 5.2:** Zusammenstellung der untersuchten Parameter zum Nachweis am Wand-Decken-Knoten im Zwischengeschoss

Nr.	$f_k$ [N/mm]	$p_k$ (Decke) [kN/m <sup>2</sup> ]	t [cm]	h [m]	$\gamma_M$ [---]	Seite	
						Diagramm	Tabelle
2.1	1,20	2,75	36,5	2,75	1,7	A2/2	A2/20
2.2		5,00				A2/3	A2/21
2.3					2,2	A2/4	A2/22
2.4		2,7				A2/5	A2/23
2.5	1,80	2,75	30,0	2,75	1,7	A2/6	A2/24
2.6		5,00				A2/7	A2/25
2.7		2,75			2,2	A2/8	A2/26
2.8		5,00				A2/9	A2/27
2.9		2,75			2,7	A2/10	A2/28
2.10		5,00				A2/11	A2/29
2.11	4,25	2,75	24,0	2,75	1,7	A2/12	A2/30
2.12		5,00				A2/13	A2/31
2.13					2,2	A2/14	A2/32
2.14		2,7				A2/15	A2/33
2.15	10,00	2,75	17,5	2,75	1,7	A2/16	A2/34
2.16		5,00				A2/17	A2/35
2.17					2,2	A2/18	A2/36
2.18		2,7				A2/19	A2/37

Die Diagramme 2.1 und 2.2 für die geringste charakteristische Druckfestigkeit  $f_k = 1,2 \text{ N/mm}^2$  zeigen, dass die vereinfachte Berechnung nach prEN 1996-3 die genauere Ermitt-

lung der zulässigen vertikalen Beanspruchung nach prEN 1996-1-1 unter Berücksichtigung des in Deutschland vorgesehen Teilsicherheitsbeiwertes für das Material ( $\gamma_M = 1,7$ ) gut annähert. Die bei der genaueren Berechnung zulässige maximale Wandauflast wird bei der vereinfachten Berechnung nicht überschritten. Die im ungünstigsten Fall mit einer charakteristischen Verkehrslast auf der Decke von  $5,0 \text{ kN/m}^2$  nach prEN 1996-3 erlaubte Deckenlänge von  $6,0 \text{ m}$  ist nur geringfügig größer als die nach prEN 1996-1-1 mit  $5,77 \text{ m}$  (Tabelle 2.2) nachweisbare. Diese im Extremfall vorhandene Abweichung von etwa  $4 \%$  ist aber nicht als Sicherheitsrisiko einzustufen, insbesondere unter Berücksichtigung der Festlegungen in DIN 1053-1, die ebenfalls eine Deckenlänge im vereinfachten Berechnungsverfahren von  $6,0 \text{ m}$  generell zulässt.

Die Diagramme zeigen zudem, dass bei der genaueren Berechnung nach prEN 1996-1-1 immer eine Mindestauflast erforderlich ist, die mit zunehmender Deckenlänge größer wird. Der mit dem Spannungsblock nach prEN 1996-1-1 vereinfacht nachweisbare Bereich geringer Auflasten deckt die untere Grenze der erforderlichen Mindestauflast nach der genaueren Berechnung bei größeren Deckenstützweiten nicht ab. In diesen Bereichen - zwischen der größten zulässigen Belastung beim Nachweis mit dem Spannungsblock und der erforderlichen Mindestauflast bei der genaueren Berechnung - ist daher eine Nachweislücke in prEN 1996-1-1 vorhanden. Die bisher nach DIN 1053-1 beim genaueren Berechnungsverfahren zulässige konstruktive Regelung, dass bei Ausmitten  $e > d/3$  die Ausmitte zu  $d/3$  gesetzt werden darf, ist in prEN 1996-1-1 nicht mehr enthalten. Die nach prEN 1996-1-1 auftretende Nachweislücke im Bereich großer Deckenstützweiten bzw. Ausmitten ist daher in Deutschland erstmals vorhanden. Da bei der vereinfachten Berechnung nach prEN 1996-3 wie auch im vereinfachten Berechnungsverfahren nach DIN 1053-1 nur die größte zulässige Belastung ermittelt wird, ist die bei einer genaueren Berechnung nach prEN 1996-1-1 vorhandene Nachweislücke mit dem vereinfachten Berechnungsverfahren nachweisbar. Dieser Zusammenhang ist auf der Grundlage der bisherigen Festlegungen und Erfahrungen in Deutschland jedoch nicht als Sicherheitslücke anzusehen, es ist aus Sicht der Forschenden eher erforderlich, zu überprüfen, ob die gegenüber den bisherigen Regelungen in Deutschland neu eingeführte Beschränkung beim genaueren Nachweis nach prEN 1996-1-1 - bei Ausmitten  $e > d/3$  ist der Ansatz von  $e = d/3$  nicht mehr erlaubt - tatsächlich notwendig ist oder ob konstruktive Festlegungen wie in DIN 1053-1 ausreichend sind.



Die Diagramme 2.3 und 2.4 mit größeren Sicherheitsbeiwerten als  $\gamma_M = 1,7$  verdeutlichen nochmals, den bereits in Abschnitt 5.1 erläuterten Zusammenhang, dass bei Ansatz größerer Teilsicherheitsbeiwerte die vereinfachte Berechnung im Hinblick auf die zulässigen Deckenstützweiten deutlich günstiger ist, d. h. gegenüber der genaueren Berechnung nicht mehr auf der sicheren Seite liegt.

Durch die Diagramme 2.5 bis 2.10 mit einer charakteristischen Druckfestigkeit von  $1,8 \text{ N/mm}^2$  werden die vorgenannten Tendenzen bestätigt. Die vereinfachte Berechnung nach prEN 1996-3 liegt mit dem in Deutschland vorgesehenen Teilsicherheitsbeiwert in jedem Fall gegenüber der genaueren Berechnung nach prEN 1996-1-1 auf der sicheren Seite (Diagramme 2.5 und 2.6). Die angesprochene Nachweislücke im Bereich größerer Deckenstützweiten bei der genaueren Berechnung ist auch hier erkennbar. Unter Ansatz größerer Teilsicherheitsbeiwerte liegt die vereinfachte Berechnung bei größeren Deckenstützweiten nicht mehr in allen Fällen gegenüber der genaueren Berechnung auf der sicheren Seite (Diagramme 2.7 bis 2.10).

Die Diagramme 2.11 bis 2.14 für eine charakteristische Druckfestigkeit von  $f_k = 4,25 \text{ N/mm}^2$  bestätigen ebenfalls die genannten Zusammenhänge. Die Sicherheitslücke für größere Teilsicherheitsbeiwerte ist allerdings deutlich geringer. Ab einer Festigkeit von  $f_k = 10,0 \text{ N/mm}^2$  (Diagramme 2.15 bis 2.18) liegt die vereinfachte Berechnung nach prEN 1996-3 sind auch für größere Teilsicherheitsbeiwerte gegenüber der genaueren Berechnung auf der sicheren Seite. Es sind bis auf die erläuterten Nachweislücken bei der genaueren Berechnung nach prEN 1996-1-1 - in DIN 1053-1 bisher durch konstruktive Regelungen ausgeschlossen – keine Bereiche vorhanden, in denen die Wände ausschließlich nach dem vereinfachten Berechnungsverfahren nachweisbar sind.

### 5.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Hinsichtlich der Feststellungen bei den Parameterstudien können die Ergebnisse zum Nachweis am Wand-Decken-Knoten einer Außenwand im Zwischengeschoss wie folgt zusammengefasst werden:

- Mit dem in Deutschland vorgesehenen Teilsicherheitsbeiwert für den Baustoff  $\gamma_M = 1,7$  liegt die vereinfachte Berechnung am Wand-Decken-Knoten einer Außenwand im Zwischengeschoss gegenüber einer genaueren Berechnung nach prEN 1996-1-1 fast immer auf der sicheren Seite. Nur in Ausnahmefällen sind bei sehr kleinen charakteristischen Druckfestigkeiten geringfügig günstigere Ergebnisse - Abweichung gegenüber der genaueren Berechnung  $\leq 4 \%$  - im Hinblick auf die zulässige Deckenstützweite möglich. Da die Deckenstützweite für diese kleinen Festigkeiten aber nach prEN 1996-3 auf 6 m begrenzt ist und bisher nach DIN 1053-1 bei vergleichbaren Bemessungsergebnissen ebenfalls bis zu 6 m große Deckenstützweiten im vereinfachten Berechnungsverfahren erlaubt waren, ist die in Ausnahmefällen gegenüber prEN 1996-1-1 geringfügig günstigere Bemessung nach prEN 1996-3 nicht als Sicherheitslücke anzusehen.
- Zwischen der beim genaueren Nachweis nach prEN 1996-1-1 mindestens erforderlichen Auflast und der größten nach prEN 1996-1-1, Anhang C, mit dem Spannungsblock nachweisbaren Auflast ist bei größeren Deckenstützweiten eine Nachweislücke vorhanden. Diese Nachweislücke war bisher in DIN 1053-1 nicht vorhanden, da die Ausmitte bei  $e > d/3$  in der Berechnung zu  $d/3$  gesetzt werden durfte. Diese Regelung ist in prEN 1996-1-1 nicht mehr enthalten. Hier darf lediglich bei Ausmitten  $e > 0,45 \cdot d$  der Nachweis mit dem Spannungsblock angewendet werden. In den Bereichen mit einer Nachweislücke nach prEN 1996-1-1 können Wände vereinfacht nach prEN 1996-3 nachgewiesen werden, da bei diesem Nachweis wie bisher im vereinfachten Berechnungsverfahren nach DIN 1053-1 nur die maximal zulässige Auflast nachzuweisen ist. Eine Sicherheitslücke bei der vereinfachten Berechnung ist hierdurch aber aus deutscher Sicht im Hinblick auf die bisherige Regelung in DIN 1053-1 in statischer Hinsicht nicht erkennbar. Es sollte daher zu prEN 1996-1-1 überprüft werden, ob die gegenüber den bisherigen Regelungen in Deutschland neu eingeführte Beschränkung beim genaueren Nachweis tatsächlich notwendig ist oder ob konstruktive Festlegungen wie in DIN 1053-1 ausreichend sind. Unabhängig hiervon müsste im Rahmen der Erstellung



des nationalen Anhangs zu prEN 1996-3 überprüft werden, ob ggf. ein Hinweis auf das Auftreten von Rissen (Gebrauchstauglichkeit) bei Ausmitten  $e > d/3$  erforderlich ist.

- In anderen Ländern, in denen ein größerer Teilsicherheitsbeiwert für den Baustoff als in Deutschland mit  $\gamma_M = 1,7$  vorgesehen ist, liegt die vereinfachte Berechnung nach prEN 1996-3 erst ab einer charakteristischen Mauerwerksdruckfestigkeit von  $f_k = 10,0$  N/mm<sup>2</sup> in jedem Fall gegenüber prEN 1996-1-1 auf der sicheren Seite. Bei kleineren Festigkeiten und in beiden Normteilen gleichen Teilsicherheitsbeiwerten ( $\gamma_M > 1,7$ ) sind teilweise erheblich größere Deckenstützweiten vereinfacht nach prEN 1996-3 nachweisbar, als mit der genaueren Berechnung nach prEN 1996-1-1 nachgewiesen werden können. Daher müsste im nationalen Anhang des entsprechenden Mitgliedslandes ein größerer Teilsicherheitsbeiwert für prEN 1996-3 eingeführt werden als für prEN 1996-1-1. Anderenfalls müssten die Gleichungen (4.1a) bis (4.1c) in prEN 1996-3 zur Bestimmung der zulässigen Deckenstützweite noch dahingehend geändert werden, dass der Teilsicherheitsbeiwert für das Material entsprechend berücksichtigt wird. Ein Vorschlag hierzu wäre, bei Teilsicherheitsbeiwerten  $\gamma_M > 1,7$  gegenüber den jetzigen Grenzwerten für die Deckenstützweite von 7 m bei  $f_d > 2,5$  N/mm<sup>2</sup> (Gl. 4.1b) und 6 m bei  $f_d \leq 2,5$  N/mm<sup>2</sup> (Gl. 4.1c) Begrenzungen auf 6 m bzw. 5 m einzuführen. Aus deutscher Sicht ist eine Änderung von prEN 1996-3 diesbezüglich aber nicht erforderlich. Die vereinfachte Berechnung wurde für den Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_M = 1,7$  optimiert und muss auch nach einer ggf. noch vorzunehmenden Änderung der Gln. (4.1a) bis (4.1c) mit  $\gamma_M = 1,7$  die gleichen Ergebnisse liefern.
- Gemäß Gl. (4.1a) in prEN 1996-3 darf bei Wänden mit nur geringen Auflasten die Deckenstützweite auch bei Endauflagern unabhängig von der Wanddicke bis zu 7 m betragen. Hiermit soll der Regelung in prEN 1996-1-1 Rechnung getragen werden, dass bei geringen Auflasten und großen Exzentrizitäten der vereinfachte Nachweis mit Hilfe des Spannungsblocks nach Annex C in Teil 1-1 ohne Berücksichtigung der Deckenstützweite möglich ist. Die derzeit noch in prEN 1996-3 enthaltene Gleichung mit einem Faktor  $k = 0,2$  für Steine der Gruppe 1 liegt hierbei allerdings nicht auf der sicheren Seite gegenüber prEN 1996-1-1. Entsprechend den Regelungen in prEN 1996-1-1, Anhang C, zum Ansatz des Spannungsblocks auf einer Länge von  $0,1 \cdot t$  für alle Steingruppen, muss auch in prEN 1996-3 für alle Steingruppen der Faktor  $k = 0,1$  gelten. Um die genannte Sicherheitslücke auszuschließen, muss Gl. (4.1a) in prEN 1996-3



diesbezüglich noch geändert werden. Es ist von deutscher Seite beantragt worden, diese Änderung noch in die Norm aufzunehmen.

## 6. Parameterstudie zur Überprüfung des Nachweises am Wand-Decken-Knoten einer Außenwand im obersten Geschoss

### 6.1 Vergleich der Abminderungsfaktoren nach prEN 1996-3 und prEN 1996-1-1

Auch zum Nachweis am Wand-Decken-Knoten im obersten Geschoss wurde ergänzend eine Parameterstudie durchgeführt. Es wurde der sich nach prEN 1996-1-1 am Wandkopf ergebende Abminderungsfaktor  $\Phi_i$  in Abhängigkeit der Deckenstützweite ermittelt und in Diagrammen dem Abminderungsfaktor  $\Phi_s$  nach prEN 1996-3 gegenübergestellt. Die Werte nach der genaueren Berechnung wurden auch hier in Abhängigkeit der charakteristischen Mauerwerksdruckfestigkeit bestimmt und für die Grenzlast, d. h. die größte zulässige Auflast bei  $N_{Sd} = N_{Rd}$  ermittelt. Die Grenzwerte der Auflast und des Abminderungsfaktors nach prEN 1996-1-1 wurden wie in Abschnitt 5.1 hergeleitet wie folgt ermittelt Gln. (5.2), (5.3):

$$N_{Sd, \max/\min} = -0,5 \cdot \left( \frac{h_{ef}}{225} - t \right) \cdot f_d \pm \sqrt{\left( -0,5 \cdot \left( \frac{h_{ef}}{225} - t \right) \cdot f_d \right)^2 - 2 \cdot (M_{id} + M_{he}) \cdot f_d} \quad (5.2)$$

$$\Phi_i = \frac{N_{Sd, \max}}{t \cdot f_d} \quad (5.3)$$

Der Abminderungsbeiwert bei der vereinfachten Berechnung am Wand-Decken-Knoten von Außenwänden darf nach prEN 1996-3 ohne Berechnung konstant angesetzt werden mit:

$$\Phi_s = 0,5 \quad (6.1)$$

Die Untersuchung wurde für die charakteristischen Mauerwerksdruckfestigkeiten  $f_k = 1,20 / 1,80 / 4,25 / 10,00 \text{ N/mm}^2$  vorgenommen. Der Elastizitätsmodul der Wand wurde mit  $1000 \cdot f_k$  angesetzt. Die genauere Berechnung des Moments am Wandkopf nach prEN 1996-1-1 erfolgte am Teilrahmensystem für den obersten Wandknoten der Außenwand nach Anhang C der Norm. Das Moment aus der Windbelastung ( $w_d = 0,60 \text{ N/mm}^2$ ) wurde für den ungünstigsten Fall der vollen Einspannung am Wandkopf berücksichtigt und die ungewollte Ausmitte mit  $h_{ef} / 450$  angesetzt.



Auch hier wurde bei der Berechnung der Abminderungsfaktoren eine 18 cm dicke Stahlbetondecke aus Beton C 20/25 ( $E = 28800 \text{ N/mm}^2$ ) zu Grunde gelegt. Das Eigengewicht der Decke einschließlich Fußbodenaufbau wurde zu  $g_k = 6,0 \text{ kN/m}^2$  angenommen. Als Deckenaufast wurde der ungünstigste Fall mit der nach prEN 1996-3 größten zulässigen charakteristischen Verkehrslast von  $p_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$  angesetzt. Die Deckenlänge wurde für jede untersuchte Mauerwerksfestigkeit zwischen 3,0 m und 7,0 m variiert, so dass der entsprechende Abminderungsfaktor in jedem Diagramm für jede Deckenlänge abgelesen werden kann.

Für jede der untersuchten charakteristischen Mauerwerksfestigkeiten wurde die Wanddicke ( $t = 17,5 / 24,0 / 30,0 / 36,5 \text{ cm}$ ) bei konstanter Wandhöhe  $h_{ef} = 2,75 \text{ m}$  und einem Sicherheitsbeiwert von  $\gamma_M = 1,7$  variiert, um die maßgebende, d. h. zu den niedrigsten Abminderungsfaktoren bei der genaueren Berechnung nach prEN 1996-3 führende Wanddicke zu ermitteln. Auf eine Variation der Wandhöhe und des Sicherheitsbeiwertes wurde verzichtet, da die prinzipiellen, in Abschnitt 5 festgestellten Einflüsse auf die genauere Berechnung nach prEN 1996-1-1 analog auch für den Nachweis am obersten Wand-Decken-Knoten gelten.

Nachfolgend sind in Tabelle 6.1 die verschiedenen Untersuchungen, entsprechenden Parameter und die als Ergebnis in Anlage 3 enthaltenen Diagramme mit den zugehörigen tabellarisch zusammengefassten Einzelwerten zusammengestellt.

**Tabelle 6.1:** Zusammenstellung der untersuchten Parameter zum Abminderungsfaktor beim Nachweis am Wand-Decken-Knoten im obersten Geschoss

Nr.	$f_k$ [N/mm]	$p_k$ (Decke) [kN/m <sup>2</sup> ]	t [cm]	h [m]	$\gamma_M$ [---]	Seite	
						Diagramm	Tabelle
3.1	1,20	5,00	17,5 / 24,0 / 30,0 / 36,5	2,75	1,7	A3/2	A3/6
3.2	1,80					A3/3	A3/7
3.3	4,25					A3/4	A3/8
3.4	10,00					A3/5	A3/9

Anhand der Diagramme 3.1 bis 3.4 wird deutlich, dass der vereinfachte Abminderungsfaktor nach prEN 1996-3 gegenüber den die genaueren Faktoren nach prEN 1996-1-1 im Allgemeinen auf der sicheren Seite liegt. Bei großen Deckenstützweiten ist dies bei Ansatz der untersuchten ungünstigsten Parameter-Kombination aber nicht immer der Fall, da in einigen wenigen Extremfällen mit der vereinfachten Berechnung Deckenstützweiten

nachweisbar sind, die mit der genaueren Berechnung nach prEN 1996-1-1 nicht mehr nachgewiesen werden können. Der maßgebende kleinste Abminderungsfaktor für große Deckenstützweiten ergibt sich nach der genaueren Berechnung bei kleinen charakteristischen Druckfestigkeiten für dicke Wände und bei großen charakteristischen Druckfestigkeiten für dünne Wände.

Im Bereich kleiner charakteristischer Druckfestigkeiten (Diagramme 3.1 und 3.2) beträgt bei der vereinfachten Berechnung nach prEN 1996-3, wie bisher nach DIN 1053-1, die zulässige Deckenstützweite 6,0 m. Dies ist zwar im Extremfall geringfügig - bis zu etwa 7,5 % - mehr als mit der genaueren Berechnung nach prEN 1996-1-1 nachweisbar ist, ist aber unter Berücksichtigung der bisher in Deutschland bei gleichem Sicherheitsniveau erlaubten Deckenstützweite im vereinfachten Berechnungsverfahren nicht als Sicherheitslücke einzustufen.

Bei mittleren charakteristischen Druckfestigkeiten ab  $f_k = 4,25 \text{ N/mm}^2$  (Diagramm 3.3), für die bei der vereinfachten Berechnung eine Deckenstützweite von bis zu 7,0 m zulässig ist, liegt die nachweisbare Deckenstützweite nicht immer gegenüber der genaueren Berechnung auf der sicheren Seite. Allerdings ist hier zu beachten, dass nach prEN 1996-1-1 auch der vereinfachte Nachweis mit dem Spannungsblock ohne Begrenzung der Deckenstützweite erlaubt ist. Eine abschließende Bewertung ist daher erst unter Berücksichtigung der Parameterstudie zur zulässigen Auflast (Abschnitt 6.2) möglich. Bei hohen charakteristischen Druckfestigkeiten (Diagramm 3.4) liegt die Berechnung nach prEN 1996-3 in jedem Fall gegenüber der genaueren Berechnung nach prEN 1996-1-1 auf der sicheren Seite.

## 6.2 Vergleich der zulässigen vertikalen Beanspruchung nach prEN 1996-3 und prEN 1996-1-1

Insbesondere beim Nachweis am obersten Wand-Decken-Knoten mit allgemein geringer Auflast ist ergänzend zum Vergleich der größten zulässigen Abminderungsfaktoren eine weitere Parameterstudie erforderlich, um die zulässige vertikale Beanspruchung nach prEN 1996-3 und prEN 1996-1-1 im Bereich geringer Auflasten vergleichen zu können. Diese wurde ebenfalls durchgeführt, wobei auch die beim Nachweis nach prEN 1996-1-1 mindestens erforderliche Auflast -  $N_{Sd,min}$  nach Gl. (5.2) - und zusätzlich der für große Ausmitten erlaubte Nachweis mit dem Spannungsblock berücksichtigt wurde.

In den Diagrammen der Anlage 4 ist der Bemessungswert der vertikalen Beanspruchung bis zu einer Auflast von 100 kN/m über der Deckenlänge aufgetragen. Die Bereiche in denen der Nachweis nach der jeweiligen Norm gelingt, sind farbig hinterlegt:

grün  $\Rightarrow$  genauerer Nachweis nach prEN 1996-1-1

Grenzwerte:  $N_{Sd,min}$  nach Gl. (5.2)

$N_{Sd,max}$  nach Gl. (5.2), hier  $> 100$  kN/m

blau  $\Rightarrow$  Nachweis mit dem Spannungsblock nach prEN 1996-1-1

Grenzwerte:  $N_{Sd,max} = 0,1 \cdot t \cdot f_d$

$N_{Sd,min} = 0$

rot  $\Rightarrow$  vereinfachter Nachweis nach prEN 1996-3

Grenzwerte:  $N_{Sd,max} = (1,3 - l_{f,ef}/8) \cdot t \cdot f_d$ , hier  $> 100$  kN/m

$N_{Sd,min}$  nach Gl. (3.2) ist nicht dargestellt

Damit der vereinfachte Nachweis nach prEN 1996-3 gegenüber einer genaueren Berechnung immer auf der sichereren Seite liegt, dürfen sich in den Diagrammen der Anlage 2 keine Bereiche ergeben, die ausschließlich rot hinterlegt sind.

Die Untersuchung wurde für die charakteristischen Mauerwerksdruckfestigkeiten  $f_k = 1,80 / 4,25 / 10,00$  N/mm<sup>2</sup> vorgenommen Die konstanten Parameter wurden entsprechend der Untersuchung zum Abminderungsfaktor (Abschnitt 6.1) gewählt und sind dort erläutert. Als Wanddicke wurden die folgenden Werte zu Grunde gelegt:

$f_k = 1,80$  N/mm<sup>2</sup>  $\Rightarrow t = 30,0$  cm

$f_k = 4,25$  N/mm<sup>2</sup>  $\Rightarrow t = 30,0$  cm

$$f_k = 10,0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow t = 17,5 \text{ cm}$$

Nachfolgend sind in Tabelle 6.2 die einzelnen Untersuchungen mit den zugehörigen Parameter und die als Ergebnis in Anlage 4 enthaltenen Diagramme mit den zugehörigen Tabellenwerten zusammengestellt.

**Tabelle 6.2:** Zusammenstellung der untersuchten Parameter zum Nachweis am Wand-Decken-Knoten im obersten Geschoss

Nr.	$f_k$ [N/mm]	$p_k$ (Decke) [kN/m <sup>2</sup> ]	t [cm]	h [m]	$\gamma_M$ [---]	Seite	
						Diagramm	Tabelle
4.1	1,80	5,00	30,0	2,75	1,7	A4/2	A4/5
4.2	4,25		30,0			A4/3	A4/6
4.3	10,00		17,5			A4/4	A4/7

Diagramm 4.1 für die charakteristische Druckfestigkeit  $f_k = 1,8 \text{ N/mm}^2$  zeigt, dass die beim Nachweis am Zwischenwandknoten nach prEN 1996-1-1 bereits festgestellte Nachweislücke zwischen dem genaueren Nachweisverfahren und dem Nachweis mit dem Spannungsblock auch am obersten Wand-Decken-Knoten vorhanden ist. In diesem Bereich gelingt der vereinfachte Nachweis nur nach prEN 1996-3.

Diagramm 4.2 für die bei Betrachtung allein des Abminderungsfaktors im Hinblick auf die zulässige Deckenstützweite problematischen mittleren Druckfestigkeiten  $f_k \geq 4,25 \text{ N/mm}^2$  macht deutlich, dass der nach prEN 1996-1-1 erlaubte Nachweis mit dem Spannungsblock bis zu einer Bemessungslast von  $N_{sd} = 75 \text{ kN/m}$  immer gelingt. Dieser Bereich deckt die am obersten Wand-Decken-Knoten zu erwartende Belastung vollständig ab, so dass bei Ansatz der tatsächlich auftretenden Lasten keine Sicherheitslücke bei den vereinfacht nach prEN 1996-3 ebenfalls nachweisbaren Deckenstützweiten zwischen 6,0 und 7,0 m mehr erkennbar ist.

Bei hohen charakteristischen Druckfestigkeiten (Diagramm 4.3) ist der gesamte durch die vereinfachte Berechnung nach prEN 1996-3 nachweisbare Bereich auch mit der genaueren Berechnung nach prEN 1996-1-1 nachweisbar. Hier liegt die vereinfachte Berechnung in jedem Fall auf der sicheren Seite.

### 6.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Hinsichtlich der Feststellungen bei den Parameterstudien können die Ergebnisse zum Nachweis am Wand-Decken-Knoten einer Außenwand im obersten Geschoss wie folgt zusammengefasst werden:

- Mit dem in Deutschland vorgesehenen Teilsicherheitsbeiwert für den Baustoff  $\gamma_M = 1,7$  liegt die vereinfachte Berechnung am Wand-Decken-Knoten einer Außenwand auch im obersten Geschoss gegenüber einer genaueren Berechnung nach prEN 1996-1-1 fast immer auf der sicheren Seite. Nur in Ausnahmefällen sind bei sehr kleinen charakteristischen Druckfestigkeiten im Hinblick auf die zulässige Deckenstützweite geringfügig günstigere Ergebnisse (Abweichung gegenüber der genaueren Berechnung im ungünstigsten Fall  $\leq 7,5$  %) möglich. Diese nur in Ausnahmefällen vorhandene Abweichung ist am obersten Wand-Decken-Knoten aber nicht als Sicherheitslücke anzusehen, da bei den geringen Lasten im obersten Geschoss auch nach prEN 1996-1-1 der vereinfachte Nachweis mit dem Spannungsblock nach Anhang C unabhängig von der Deckenstützweite immer möglich ist und zudem nach DIN 1053-1 bei vergleichbaren Bemessungsergebnissen bisher ebenfalls generell bis zu 6 m große Deckenstützweiten im vereinfachten Berechnungsverfahren erlaubt waren.
- Der in prEN 1996-3 mit  $\phi_s = 0,5$  – dies würde  $k_3 = 0,67$  nach DIN 1053-1 entsprechen – festgelegte konstante Abminderungsfaktor im obersten Geschoss liegt im Hinblick auf die größte zulässige vertikale Belastung gegenüber einer genaueren Berechnung nach prEN 1996-1-1 auf der sicheren Seite. Zudem wird die größte zulässige Belastung aufgrund der geringen tatsächlichen Belastung im obersten Geschoss im Rahmen der Anwendungsbedingungen der vereinfachten Berechnung nicht maßgebend.
- Bei den Untersuchungen zum Nachweis am Wand-Decken-Knoten im obersten Geschoss wurde der Teilsicherheitsbeiwert nicht variiert. Die bei den Untersuchungen zum Nachweis am Zwischenwandknoten festgestellten Zusammenhänge für Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_M > 1,7$  gelten sinngemäß aber auch für den Nachweis am obersten Wand-Decken-Knoten.

## **7. Aussteifung und Gebäudestabilität bei Gebäuden mit bis zu drei Geschossen**

Die Herleitung der vereinfachten Aussteifungsberechnung nach prEN 1996-3, Annex A, aus einer genaueren Aussteifungsberechnung wurde bereits im vorangegangenen Forschungsvorhaben [3] ausführlich beschrieben. Auf eine nochmalige Wiedergabe wird hier verzichtet, da insofern keine Sicherheitslücken zu erwarten sind. Im Folgenden wird daher nach einer kurzen Beschreibung der Anwendungsbedingungen und des vereinfachten Aussteifungsnachweises eine Beispielberechnung vorgenommen um die Anwendung des Verfahrens auf übliche Grundrisse überprüfen und Anwendungsgrenzen erkennen zu können.

### **7.1 Allgemeine Anwendungsbedingungen**

Für Gebäude mit bis zu drei Geschossen enthält Eurocode 6 Teil 3 in Annex A neben einer noch weiter vereinfachten Ermittlung des Bemessungswertes der vertikalen Traglast einen vereinfachten Nachweis der Aussteifung und Gebäudestabilität. Die wichtigsten zusätzlichen Anwendungsbedingungen für die vereinfachte Berechnung dieser Gebäude sind:

- Das Gebäude hat nicht mehr als drei Geschosse über Geländehöhe.
- Die Wände sind rechtwinklig zur Wandebene z. B. durch Decken oder ausreichend steife Ringbalken horizontal gehalten.
- Die Auflagertiefe der Decken beträgt mindestens  $\frac{2}{3}$  der Wanddicke und nicht weniger als 85 mm.
- Die lichte Geschosshöhe beträgt höchstens 3,0 m.
- Die kleinste Gebäudeabmessung im Grundriss ist größer als  $\frac{1}{3}$  der Gebäudehöhe.
- Der charakteristische Wert der Verkehrslast auf den Decken und dem Dach ist nicht größer als  $5,0 \text{ kN/m}^2$ .
- Die größte Stützweite der Decken beträgt 6 m.



- Die größte Stützweite des Daches beträgt 6 m, bei Leichtgewichtskonstruktionen höchstens 12 m.
- Das Verhältnis  $h_{ef}/t_{ef}$  bei Innen- und Außenwänden ist nicht größer als 21.

## 7.2 Wandscheiben ohne Nachweis der Windbelastung

Wandscheiben dürfen vereinfacht ohne Nachweis der Windlast bemessen werden, wenn die Anordnung der Wandscheiben ausreicht, um das Gebäude gegen horizontale Kräfte in zwei senkrecht zueinander stehenden Richtungen auszusteiern. Die Anordnung der Wandscheiben darf als ausreichend angenommen werden, wenn die folgenden Bedingungen eingehalten sind:

- Die charakteristische Windlast ist nicht größer als 1,3 kN/m<sup>2</sup>.
- In beiden im Grundriss senkrecht zueinander stehenden Richtungen sind mindestens zwei Wände vorhanden.
- Die Wandscheiben sind vertikal belastet und der Bemessungswert der vertikalen Tragfähigkeit der Wandscheiben wurde beim Nachweis der vertikalen Beanspruchung mit einer verringerten charakteristischen Druckfestigkeit von  $0,8 \cdot f_k$  nachgewiesen.
- Die Wandscheiben sind im Grundriss in beiden Richtungen etwa symmetrisch angeordnet oder bei symmetrischer Anordnung in nur einer Richtung ist das Verhältnis  $l_{bx}/l_{by}$  nicht größer als 3.
- Die Systemlinien der Aussteifungswände im Grundriss treffen sich nicht in einem Punkt.
- Die Summe der Querschnittsflächen der aussteifenden Wandscheiben in beiden senkrecht zueinander stehenden Richtungen, wobei nur Wandquerschnitte mit einer Länge von mehr als  $0,2 \cdot h_{tot}$  und ohne Berücksichtigung von Flanschen bei I-Querschnitten angesetzt werden dürfen, muss der folgenden Beziehung genügen:

$$\sum t \cdot l_{sx}^2 \geq c_s \cdot l_{by} \cdot h_{tot}^2 \quad \text{und} \quad \sum t \cdot l_{sy}^2 \geq c_s \cdot l_{bx} \cdot h_{tot}^2 \quad (7.1)$$

Mit:

$t$  Wanddicke

$l_{sx}, l_{sy}$  Länge der Wandscheiben (siehe Bild 7.1 und 7.2)

$l_{bx}, l_{by}$  Gebäudeabmessungen im Grundriss mit  $l_{bx} \geq l_{by}$

$h_{tot}$  Gebäudehöhe

$c_s = c_t \cdot c_i \cdot w_{Sk}$

$c_t$  nach Tabelle 7.1

$c_i = 1,0$  für Wandscheiben mit Rechteckquerschnitt  
 $= 0,67$  für Wandscheiben mit I-Querschnitt und Flanschflächen von mehr als  $0,4 \cdot t \cdot l$  (siehe Bild 7.1)

$\alpha$  Mittel des Verhältnisses  $\frac{N_{Sd}}{A \cdot f_d}$  der berücksichtigten Wandscheiben (Ausnutzungsfaktor)

$N_{Sd}$  Bemessungswert der vertikalen Belastung einer Wandscheibe

$A$  Querschnittsfläche einer Wandscheibe

$f_d$  Bemessungswert der Mauerwerksdruckfestigkeit

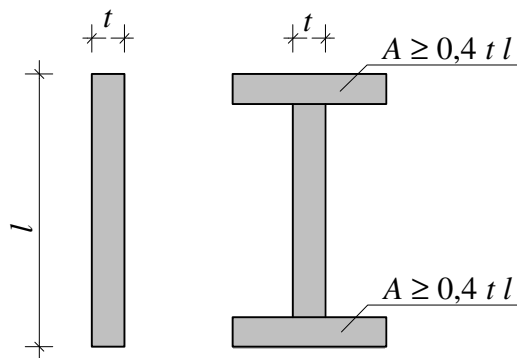
$w_{Sk}$  charakteristische Windlast [ $\text{kN/m}^2$ ]



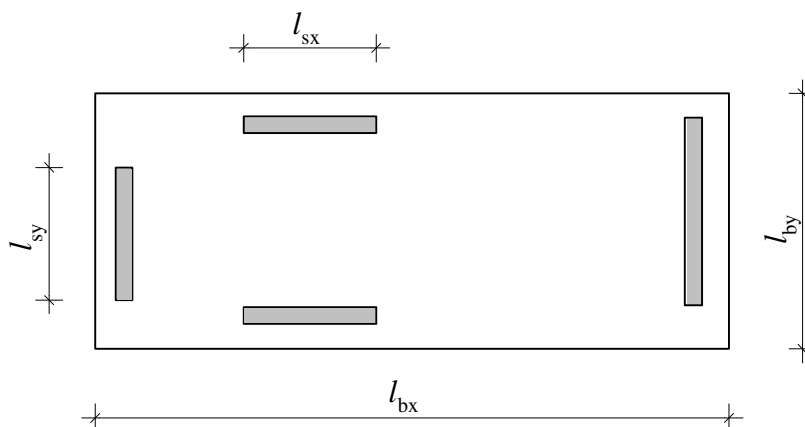
**Tabelle 7.1:** Werte für  $c_t$

$\alpha$	$f_k$ [N/mm <sup>2</sup> ]			
	2	4	6	$\geq 8$
0,2	0,0192	0,0095	0,0064	0,0048
0,3	0,0128	0,0064	0,0043	0,0032
0,4	0,0095	0,0048	0,0032	0,0024
0,5	0,0075	0,0038	0,0025	0,0019
0,6	0,0095	0,0048	0,0032	0,0024
0,7	0,0128	0,0064	0,0043	0,0032

Anmerkung: Interpolation ist zulässig



**Bild 7.1** Darstellung der Wandscheiben und Anforderungen an I-Querschnitte

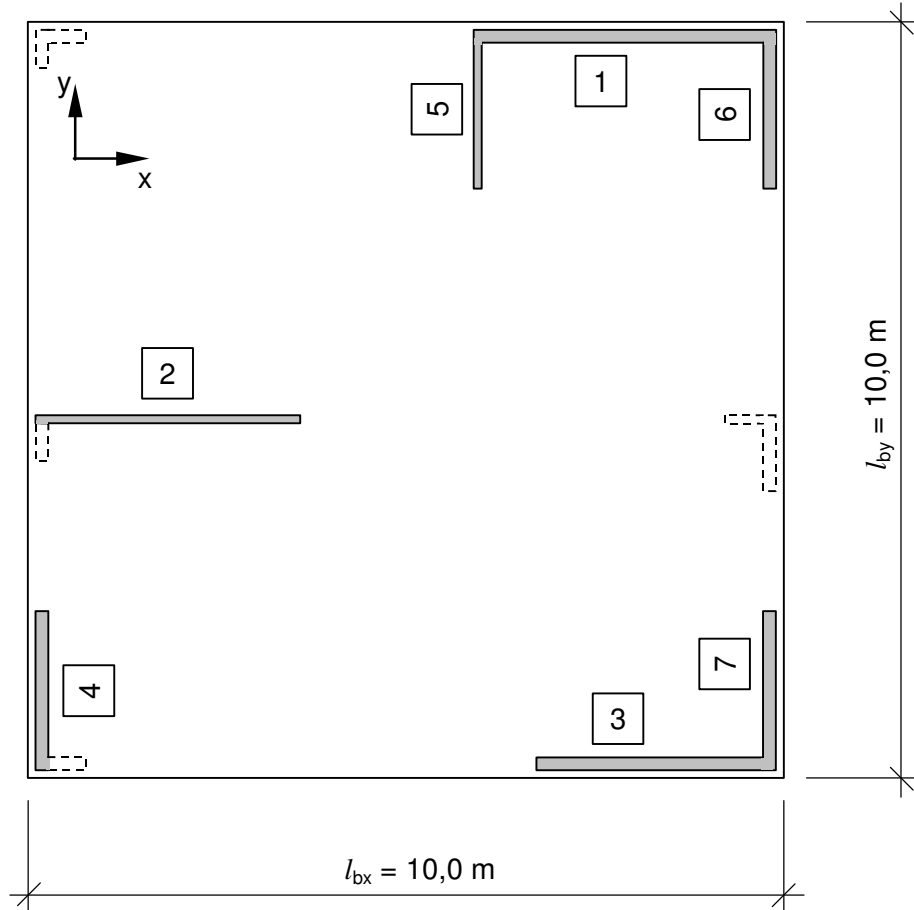


**Bild 7.2** Anordnung der Wandscheiben

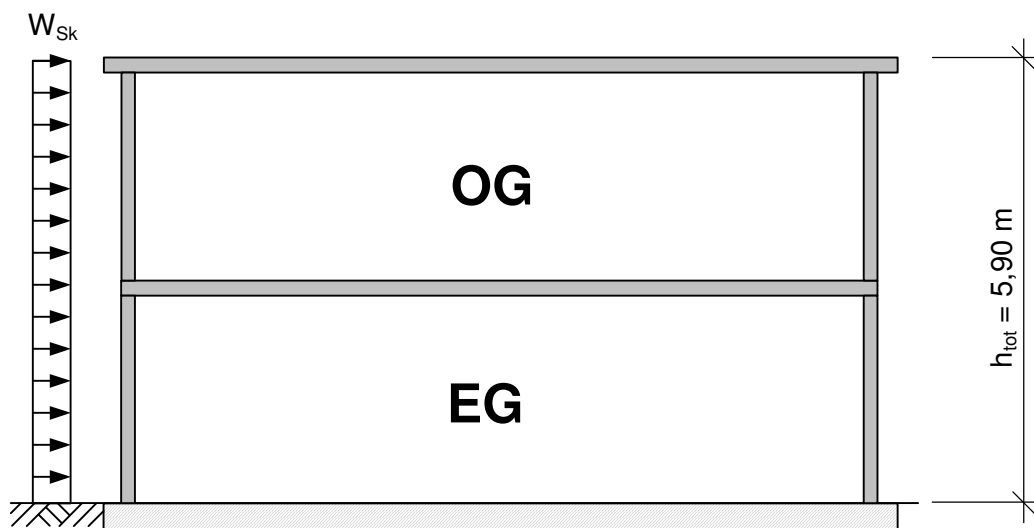
### 7.3 Berechnungsbeispiel Einfamilienhaus

#### 7.3.1 System und Baustoffe

Grundriss:



Schnitt:



- Zweigeschossiges Gebäude mit Stahlbeton-Dachdecke (Flachdecke)
- Kalksandsteine oder Ziegel: Steingruppe 2 mit  $f_b = 12 \text{ N/mm}^2$
- Normalmörtel:  $f_m = 2,5 \text{ N/mm}^2$  (Mörtelgruppe II)
- Lichte Geschosshöhe:  $h = 2,75 \text{ m}$
- Gebäudehöhe:  $h_{\text{tot}} = 2 \cdot (2,75 + 0,20) = 5,90 \text{ m}$  (incl. Decke und Dach)
- Grundriss und aussteifende Wandscheiben gemäß Grundriss und Tabelle 7.2

**Tabelle 7.2:** Berechnungsbeispiel, Aussteifende Wände

Nr.	$l_{sx,i} \text{ [m]}$	$l_{sy,i} \text{ [m]}$	$t \text{ [m]}$		$A \text{ [m}^2\text{]}$
1	4,00	---	0,175	---	0,70
2	3,50	---	0,115	---	0,40
3	3,00	---	0,175	---	0,53
4	---	2,10	---	0,175	0,37
5	---	2,10	---	0,115	0,24
6	---	2,10	---	0,175	0,37
7	---	2,10	---	0,175	0,37
$\Sigma$	10,50	8,40	0,465	0,640	2,98

### 7.3.2 Eingangsparmeter

- Charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit nach prEN 1996-3, Annex D:

$$f_k = 3,4 \text{ N/mm}^2$$

- Gesamtlast in Höhe Erdgeschossfußboden (maßgebender kleinster Bemessungswert der Gesamtnormalkraft mit  $\gamma_G = 1,0$ ), näherungsweise:

Decken:	$2 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 0,18 \cdot 25 =$	900 kN
Estrich bzw. Dachaufbau:	$2 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 1,5 =$	300 kN
Wände:	$2,98 \cdot 2,75 \cdot 15 \approx$	<u>120 kN</u>
		1320 kN

$$\Rightarrow \min N_{Sd} = 1,32 \text{ MN} \quad (\text{mit } \gamma_Q = 1,0)$$

- Ausnutzungsfaktor:

$$\alpha \approx \frac{N_{Sd}}{A \cdot f_d} = \frac{1,32 \cdot 1,7}{2,98 \cdot 3,4} = 0,22$$

- Charakteristische Windlast:

$$w_{Sk} = 1,3 \cdot 0,5 = 0,65 \text{ kN/m}^2$$

### 7.3.3 Nachweis in x-Richtung

- Wandlänge:

$$l_{sx} = \min l_{sx,i} = 3,00 \text{ m} \geq 0,2 \cdot h_{tot} = 0,2 \cdot 5,90 = 1,18 \text{ m}$$

- Summe der Wanddicken (Tabelle 7.2):

$$\Sigma t = 0,465 \text{ m}$$

- Gebäudelänge in y-Richtung:

$$l_{by} = 10,0 \text{ m}$$

- Gebäudehöhe:

$$h_{tot} = 5,90 \text{ m}$$

- Beiwerte:

$$c_i = 1,0 \text{ (Wände mit Rechteckquerschnitt)}$$

$$c_t = 0,0116 \text{ (aus Tabelle 7.1 interpoliert, } \alpha = 0,22 \text{ und } f_k = 3,4 \text{ N/mm}^2\text{)}$$

$$w_{Sk} = 0,65 \text{ kN/m}^2$$

$$c_s = c_i \cdot c_t \cdot w_{Sk} = 0,0075$$

- Nachweis:

$$\Sigma t \cdot l_{sx}^2 \geq c_s \cdot l_{by} \cdot h_{tot}^2$$

$$\Rightarrow 0,465 \cdot 3,00^2 \geq 0,0075 \cdot 10,0 \cdot 5,90^2$$

$$\Rightarrow 4,19 > 2,61$$

Die Nachweisbedingung ist eingehalten, die Aussteifung in x-Richtung somit nachgewiesen.

### 7.3.4 Nachweis in y-Richtung

- Wandlänge:

$$l_{sy} = \min l_{sy,i} = 2,10 \text{ m} \geq 0,2 \cdot h_{tot} = 0,2 \cdot 5,90 = 1,18 \text{ m}$$

- Summe der Wanddicken (Tabelle 7.2):

$$\Sigma t = 0,64 \text{ m}$$

- Gebäudelänge in x-Richtung:

$$l_{bx} = 10,0 \text{ m}$$

- Gebäudehöhe:

$$h_{tot} = 5,90 \text{ m}$$

- Beiwerte:

$$c_i = 1,0 \text{ (Wände mit Rechteckquerschnitt)}$$

$$c_t = 0,0116 \text{ (aus Tabelle 7.1 interpoliert, } \alpha = 0,22 \text{ und } f_k = 3,4 \text{ N/mm}^2\text{)}$$



$$w_{Sk} = 0,65 \text{ kN/m}^2$$

$$c_s = c_i \cdot c_t \cdot w_{Sk} = 0,0075$$

• Nachweis:

$$\Sigma t \cdot I_{sy}^2 \geq c_s \cdot I_{bx} \cdot h_{tot}^2$$

$$\Rightarrow 0,60 \cdot 2,10^2 \geq 0,0075 \cdot 10,0 \cdot 5,90^2$$

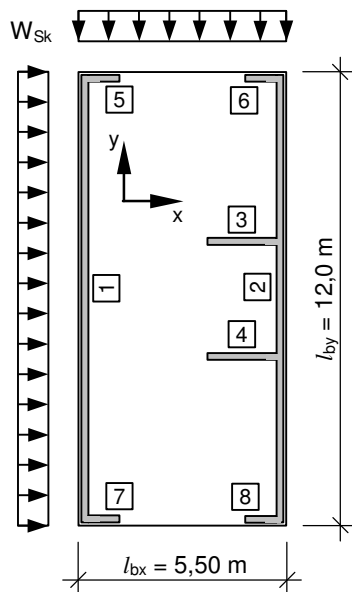
$$\Rightarrow 2,65 > 2,61$$

Die Nachweisbedingung ist eingehalten, die Aussteifung somit auch in y-Richtung nachgewiesen.

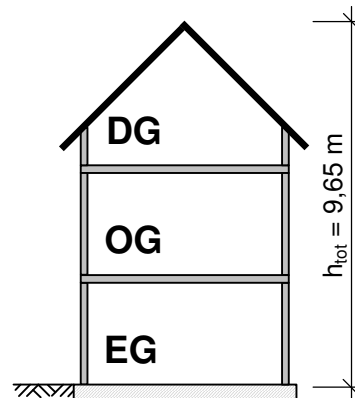
## 7.4 Berechnungsbeispiel Reihenhauses

### 7.4.1 System und Baustoffe

Grundriss:



Schnitt:



- Zweigeschossiges Gebäude mit Dachgeschoss
- Kalksandsteine oder Ziegel: Steingruppe 2 mit  $f_b = 10 \text{ N/mm}^2$
- Normalmörtel:  $f_m = 2,5 \text{ N/mm}^2$  (Mörtelgruppe II)
- Lichte Geschosshöhe:  $h = 2,75 \text{ m}$
- Gebäudehöhe:  $h_{\text{tot}} = 9,65 \text{ m}$  (incl. Dach)
- Grundriss und aussteifende Wandscheiben

gemäß Grundriss und Tabelle 7.3, wobei die Wände 5 bis 8 nicht angesetzt werden dürfen, da die Wandlänge  $l_s = 1,00 \text{ m}$  kleiner ist als die mindestens erforderliche Wandlänge von  $0,2 \cdot h_{\text{tot}} = 0,2 \cdot 9,65 = 1,93 \text{ m}$ .

**Tabelle 7.3:** Berechnungsbeispiel, Aussteifende Wände

Nr.	$l_{s,x,i} \text{ [m]}$	$l_{s,y,i} \text{ [m]}$	$t \text{ [m]}$		$A \text{ [m}^2\text{]}$
1	---	12,00	---	0,175	2,10
2	---	12,00	---	0,175	2,10
3	2,00	---	0,175	---	0,35
4	2,00	---	0,175	---	0,35
$\Sigma$	4,00	24,00	0,350	0,350	4,90

### 7.4.2 Eingangparameter

- Charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit nach prEN 1996-3, Annex D:

$$f_k = 3,0 \text{ N/mm}^2$$

- Gesamtlast in Höhe Erdgeschossfußboden (maßgebender kleinster Bemessungswert der Gesamtnormalkraft mit  $\gamma_G = 1,0$ ), näherungsweise:

Decken:	$2 \cdot 5,50 \cdot 12,00 \cdot 0,18 \cdot 25 =$	594 kN
Estrich bzw. Dachaufbau:	$3 \cdot 5,50 \cdot 12,00 \cdot 1,5 =$	297 kN
Wände:	$4,90 \cdot 6,50 \cdot 15 \approx$	478 kN
leichte Trennwände:	$2 \cdot 5,50 \cdot 12,00 \cdot 1,25 =$	<u>165 kN</u>
		1534 kN

$$\Rightarrow \min N_{Sd} = 1,534 \text{ MN} \quad (\text{mit } \gamma_Q = 1,0)$$

- Ausnutzungsfaktor:

$$\alpha \approx \frac{N_{Sd}}{A \cdot f_d} = \frac{1,534 \cdot 1,7}{4,90 \cdot 3,0} = 0,18 \approx 0,2$$

- Charakteristische Windlast (im Mittel):

$$w_{Sk} = 1,3 \cdot (8,00 \cdot 0,5 + 1,65 \cdot 0,8) / 9,65 = 0,72 \text{ kN/m}^2$$

### 7.4.3 Nachweis in y-Richtung

- Wandlänge:

$$l_{sy} = \min l_{sy,i} = 12,00 \text{ m} \geq 0,2 \cdot h_{tot} = 0,2 \cdot 9,65 = 1,93 \text{ m}$$

- Summe der Wanddicken (Tabelle 7.3):



$$\Sigma t = 0,35 \text{ m}$$

- Gebäudelänge in x-Richtung:

$$l_{bx} = 5,50 \text{ m}$$

- Gebäudehöhe:

$$h_{tot} = 9,65 \text{ m}$$

- Beiwerte:

$$c_i = 1,0 \text{ (Wände mit Rechteckquerschnitt)}$$

$$c_t = 0,0144 \text{ (aus Tabelle 7.1 interpoliert, } \alpha = 0,2 \text{ und } f_k = 3,0 \text{ N/mm}^2\text{)}$$

$$w_{Sk} = 0,72 \text{ kN/m}^2$$

$$c_s = c_i \cdot c_t \cdot w_{Sk} = 0,0104$$

- Nachweis:

$$\Sigma t \cdot l_{sy}^2 \geq c_s \cdot l_{bx} \cdot h_{tot}^2$$

$$\Rightarrow 0,35 \cdot 12,00^2 \geq 0,0104 \cdot 5,50 \cdot 9,65^2$$

$$\Rightarrow 50,40 > 5,33$$

Die Nachweisbedingung ist eingehalten, die Aussteifung in y-Richtung ist damit nachgewiesen.

#### 7.4.4 Nachweis in x-Richtung

- Wandlänge:

$$l_{sx} = \min l_{sx,i} = 2,00 \text{ m} \geq 0,2 \cdot h_{tot} = 0,2 \cdot 9,65 = 1,93 \text{ m}$$



- Summe der Wanddicken (Tabelle 7.3):

$$\Sigma t = 0,35 \text{ m}$$

- Gebäudelänge in y-Richtung:

$$l_{by} = 12,0 \text{ m}$$

- Gebäudehöhe:

$$h_{tot} = 9,65 \text{ m}$$

- Beiwerte:

$$c_i = 1,0 \text{ (Wände mit Rechteckquerschnitt)}$$

$$c_t = 0,0144 \text{ (aus Tabelle 7.1 interpoliert, } \alpha = 0,2 \text{ und } f_k = 3,0 \text{ N/mm}^2\text{)}$$

$$w_{Sk} = 0,72 \text{ kN/m}^2$$

$$c_s = c_i \cdot c_t \cdot w_{Sk} = 0,0104$$

- Nachweis:

$$\Sigma t \cdot l_{sx}^2 \geq c_s \cdot l_{by} \cdot h_{tot}^2$$

$$\Rightarrow 0,35 \cdot 2,00^2 \geq 0,0104 \cdot 12,0 \cdot 9,65^2$$

$$\Rightarrow 1,40 < 11,66$$

Die Nachweisbedingung ist nicht eingehalten, mit dem vereinfachten Berechnungsverfahren nach prEN1996-3 Anhang A kann die Aussteifung des Gebäudes nicht nachgewiesen werden.

## 7.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die berechneten Beispiele zeigen, dass die Gebäudestabilität mit dem vereinfachten Berechnungsverfahren nach prEN 1996-3 bei bis zu zweigeschossigen Einfamilienhäusern mit üblichen Grundrissen und mittlerer Mauerwerksdruckfestigkeit nachgewiesen werden kann (Beispiel 1). Da der Nachweis (in y-Richtung) aber nur gerade noch gelingt, können höhere dreigeschossige Gebäude oder Gebäude mit Mauerwerk geringer charakteristischer Druckfestigkeit mit diesem Verfahren nicht oder nur bei deutlich mehr vorhandenen Wänden nachgewiesen werden. Reihenhäuser sind in üblicher Ausführung mit geringer Steifigkeit bzw. wenigen kurzen Wänden in Querrichtung mit dem Berechnungsverfahren keinesfalls nachweisbar (Beispiel 2).

Zusammenfassend ist daher festzustellen, dass die Berechnungsergebnisse des vereinfachten Aussteifungsnachweises in prEN 1996-3 für Gebäude mit bis zu drei Geschossen weit auf der sicheren Seite liegen. Der Aussteifungsnachweis vieler üblicherweise mit einer genauen Berechnung nachweisbarer Gebäude ist mit dem in prEN 1996-3 enthaltenen Berechnungsverfahren nicht möglich. Eine Sicherheitslücke bei dem Berechnungsverfahren ist daher nicht erkennbar. Die Berechnung des Reihenhauses hat zudem gezeigt, dass - im Hinblick auf die Aussteifung - problematische Grundrisse mit diesem Verfahren bei weitem nicht nachweisbar sind.

Der in prEN 1996-3 enthaltene vereinfachte Nachweis der Gebäudeaussteifung ist daher nur als erster, wenn auch wichtiger Schritt im Hinblick auf einen insgesamt befriedigenden vereinfachten Aussteifungsnachweis zu sehen. Mit diesem Nachweis können nur Grundrisse mit verhältnismäßig vielen längeren Wänden oder Grundrisse mit weniger Wänden dafür aber höherer Druckfestigkeit problemlos nachgewiesen werden. Viele übliche Gebäude, bei denen ein genauer Aussteifungsnachweis problemlos möglich ist, werden durch den in Teil 3 enthaltenen Nachweis nicht erfasst. Der vereinfachte Nachweis nach prEN 1996-3 ist damit kein befriedigender Ersatz für die ebenfalls unbefriedigende nach DIN 1053-1, Abschnitt 6.4, noch geltende, in der Normenreihe EN 1996 aber nicht mehr enthaltene "Schätz-Regelung", nach der unter sehr allgemein gehaltenen Bedingungen auf einen rechnerischen Nachweis der räumlichen Aussteifung generell verzichtet werden kann. Während mit der geltenden Regelung gemäß DIN 1053-1, 6.4, zwar fast alle Gebäude theoretisch als ausreichend ausgesteift eingestuft werden können, ist mit der neuen europäischen Regelung in vielen Fällen ein aufwändiger genauer Aussteifungsnachweis erforderlich.



In prEN 1996-3 wurde kurz vor Fertigstellung dieses Forschungsberichts, u. a. auf Initiative der Forschenden eine Regelung aufgenommen, nach der ein vereinfachter Nachweis der Gebäudeaussteifung im nationalen Anhang zu EN 1996-3 angegeben werden darf. Für die zukünftige Herleitung eines - im Hinblick auf eine bessere Annäherung an eine genaue Berechnung - überarbeiteten Nachweises kann der in prEN 1996-3 enthaltene und in einem früheren Forschungsvorhaben [3] hergeleitete Nachweis aber gut als Grundlage herangezogen werden. Es müssten aber deutlich mehr Parameter und auch das tatsächliche Tragsystem genauer berücksichtigt werden. Hierdurch wird der vereinfachte Nachweis aber auch aufwändiger als er in der vorliegenden Form bisher ist. Da gleichzeitig alle im Rahmen der Anwendungsbedingungen möglichen Fälle auf der sicheren Seite liegend zu berücksichtigen sind, muss für einen verbesserten vereinfachten Aussteifungsnachweis ein guter Mittelweg zwischen einer möglichst kurzen, einfachen Berechnung und einer in wirtschaftlicher Hinsicht erforderlichen Annäherung an eine aufwändige genaue Berechnung gefunden werden.

## **8. Zusammenfassung und Ausblick**

Mit der vorliegenden Forschungsarbeit wurde der Forschungsbericht zum gleichen Thema vom November 2002 fortgesetzt und ergänzt. Damals wurden bereits verschiedene Änderungsvorschläge zu den in Eurocode 6 Teil 3 (prEN 1996-3) geregelten vereinfachten Berechnungsverfahren für unbewehrtes Mauerwerk erarbeitet und wissenschaftlich abgesichert, die als deutsche Stellungnahmen in die europäische Normungsarbeit eingeflossen sind. Die Untersuchungen auf der Grundlage der Vornorm DIN V ENV 1996-3 von Oktober 2000 hatten zudem gezeigt, dass die einzelnen Berechnungsverfahren auch mit den bei Abschluss des Forschungsvorhabens im damals aktuellen Entwurf der Norm von September 2002 enthalten Änderungen und Ergänzungen, hinsichtlich in einiger Detailpunkten noch genauer zu überprüfen waren.

Auf dieser Grundlage wurden in diesem Folgeprojekt einzelne Aspekte der vereinfachten Berechnungsverfahren im Hinblick auf sicherheitstechnische Belange bei der Planung, Ausführung und Bemessung des Mauerwerks nach Eurocode 6 Teil 3 (10th Draft prEN 1996-3:2004-06) abschließend überprüft. Es wurde untersucht, ob die vereinfachten Regelungen gegenüber den genaueren Berechnungsverfahren im zwischenzeitlich ebenfalls überarbeiteten Teil 1-1 der Norm (prEN 1996-1-1:2003-03, stage "formal vote" - CEN/TC 250/SC 6, N 0271) auf der sicheren Seite liegen und in welchen Fällen noch Sicherheitslücken auch gegenüber den bisher gültigen Regelungen in DIN 1053-1 vorhanden sind. Gleichzeitig wurde aber auch geprüft, dass sich die einzelnen Regelungen in wirtschaftlicher Hinsicht nicht nachteilig auf bisher in Deutschland geltende Festlegungen auswirken.

Nach einer kurzen Zusammenstellung der Bemessungsgrundlagen wurde zunächst die vereinfachte Berechnung vertikal belasteter Wände aufgezeigt, erläutert und anhand von Bemessungsbeispielen die Übereinstimmung mit einer vereinfachten Bemessung nach DIN 1053-1 gezeigt. Anschließend wurden die nachfolgend genannten Teilaspekte der vereinfachten Berechnung nach Eurocode 6 Teil 3 detailliert im Hinblick auf sicherheitstechnische Belange untersucht.

1. Erweiterung der zulässigen Wandhöhe im Erdgeschoss auf 4 m bei einer Gebäudehöhe von mindestens 7 m.

2. Nachweis am Wand-Decken-Knoten einer Außenwand im Zwischengeschoss im Hinblick auf die zulässige Deckenstützweite und die zulässige Auflast in Abhängigkeit des Abminderungsfaktors und des Teilsicherheitsbeiwertes für Mauerwerk.
3. Nachweis am Wand-Decken-Knoten einer Außenwand im obersten Geschoss im Hinblick auf die zulässige Deckenstützweite und die zulässige Auflast in Abhängigkeit des Abminderungsfaktors und des Teilsicherheitsbeiwertes für Mauerwerk.
4. Aussteifung und Gebäudestabilität bei Gebäuden mit bis zu drei Geschossen - Wandscheiben ohne Nachweis der Windbelastung.

Im Folgenden sind die durchgeführten Untersuchungen und die daraus resultierenden Ergebnisse zusammengefasst.

1. *Erweiterung der zulässigen Wandhöhe im Erdgeschoss auf 4,0 m*

Es wurde rechnerisch gezeigt, dass die bei der genaueren Berechnung nach prEN 1996-1-1 anzusetzende Ausmitte einer 4,0 m hohen Erdgeschosswand – innerhalb der Anwendungsbedingungen der vereinfachten Berechnung nach prEN 1996-3 und mit der für diese Wandhöhe geforderten Mindestauflast aus einem Geschoss – kleiner ist, als die bei einer 3,20 m hohen Wand eines eingeschossigen Gebäudes. Damit liegt die Berechnung einer 4,0 m hohen Erdgeschosswand mit mindestens einem Obergeschoss gegenüber dem Nachweis einer 3,20 m hohen Wand ohne Obergeschoss hinsichtlich der bei der vereinfachten Berechnung nicht explizit berücksichtigten Parameter (Wind, ungewollte Ausmitte) auf der sicheren Seite. Die vereinfachte Berechnung nach prEN 1996-3 liegt somit auch für 4,0 m hohe Erdgeschosswände mit der Auflast aus mindestens einem Obergeschoss gegenüber der genaueren Berechnung nach prEN 1996-1-1 auf der sicheren Seite.

2. *Nachweis am Wand-Decken-Knoten einer Außenwand im Zwischengeschoss*

Anhand einer umfangreichen Parameterstudie unter Berücksichtigung aller maßgebenden Einflussgrößen wurde die vereinfachte Berechnung am Wand-Decken-Knoten nach prEN 1996-3 mit der genaueren Berechnung nach prEN 1996-1-1 verglichen. Es wurde auf der Grundlage von umfassenden Grenzbetrachtungen für alle denkbaren Fälle ein Vergleich der zulässigen vertikalen Belastung in Abhängigkeit der zulässigen Deckenstützweite angestellt, um zu überprüfen, ob die vereinfachte

Berechnung gegenüber der genaueren Berechnung im Rahmen der zulässigen Anwendungsbedingungen in jedem Fall auf der sicheren Seite liegt. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Mit dem in Deutschland vorgesehenen Teilsicherheitsbeiwert für den Baustoff  $\gamma_M = 1,7$  liegt die vereinfachte Berechnung am Wand-Decken-Knoten einer Außenwand im Zwischengeschoss gegenüber einer genaueren Berechnung nach prEN 1996-1-1 fast immer auf der sicheren Seite. Nur in Ausnahmefällen sind bei sehr kleinen charakteristischen Druckfestigkeiten geringfügig günstigere Ergebnisse - Abweichung gegenüber der genaueren Berechnung  $\leq 4\%$  - im Hinblick auf die zulässige Deckenstützweite möglich. Da die Deckenstützweite für diese kleinen Festigkeiten aber nach prEN 1996-3 auf 6 m begrenzt ist und bisher nach DIN 1053-1 bei vergleichbaren Bemessungsergebnissen ebenfalls bis zu 6 m große Deckenstützweiten im vereinfachten Berechnungsverfahren erlaubt waren, ist die in Ausnahmefällen gegenüber prEN 1996-1-1 geringfügig günstigere Bemessung nach prEN 1996-3 nicht als Sicherheitslücke anzusehen.
- Zwischen der beim genaueren Nachweis nach prEN 1996-1-1 mindestens erforderlichen Auflast und der größten nach prEN 1996-1-1, Anhang C, mit dem Spannungsblock nachweisbaren Auflast ist bei größeren Deckenstützweiten eine Nachweislücke vorhanden. Diese Nachweislücke war bisher in DIN 1053-1 nicht vorhanden, da die Ausmitte bei  $e > d/3$  in der Berechnung zu  $d/3$  gesetzt werden durfte. Diese Regelung ist in prEN 1996-1-1 nicht mehr enthalten. Hier darf lediglich bei Ausmitten  $e > 0,45 \cdot d$  der Nachweis mit dem Spannungsblock angewendet werden. In den Bereichen mit einer Nachweislücke nach prEN 1996-1-1 können Wände jedoch vereinfacht nach prEN 1996-3 nachgewiesen werden, da bei diesem Nachweis wie bisher im vereinfachten Berechnungsverfahren nach DIN 1053-1 nur die maximal zulässige Auflast nachzuweisen ist. Eine Sicherheitslücke bei der vereinfachten Berechnung ist hierdurch aber aus deutscher Sicht im Hinblick auf die bisherige Regelung in DIN 1053-1 in statischer Hinsicht nicht erkennbar. Es sollte daher zu prEN 1996-1-1 überprüft werden, ob die gegenüber den bisherigen Regelungen in Deutschland neu eingeführte Beschränkung beim genaueren Nachweis tatsächlich notwendig ist oder ob konstruktive Festlegungen wie in DIN 1053-1 ausreichend sind. Unabhängig hiervon müsste im Rahmen der Erstellung des



nationalen Anhangs zu prEN 1996-3 überprüft werden, ob ggf. ein Hinweis auf das Auftreten von Rissen (Gebrauchstauglichkeit) bei Ausmitten  $e > d/3$  erforderlich ist.

- In anderen Ländern, in denen ein größerer Teilsicherheitsbeiwert für den Baustoff als in Deutschland mit  $\gamma_M = 1,7$  vorgesehen ist, liegt die vereinfachte Berechnung nach prEN 1996-3 erst ab einer charakteristischen Mauerwerksdruckfestigkeit von  $f_k = 10,0 \text{ N/mm}^2$  in jedem Fall gegenüber prEN 1996-1-1 auf der sicheren Seite. Bei kleineren Festigkeiten und in beiden Normteilen gleichen Teilsicherheitsbeiwerten ( $\gamma_M > 1,7$ ) sind teilweise erheblich größere Deckenstützweiten vereinfacht nach prEN 1996-3 nachweisbar, als mit der genaueren Berechnung nach prEN 1996-1-1 nachgewiesen werden können. Daher müsste bei Wahl eines größeren Teilsicherheitsbeiwertes als  $\gamma_M = 1,7$  im nationalen Anhang des entsprechenden Mitgliedslandes ein größerer Teilsicherheitsbeiwert für prEN 1996-3 eingeführt werden als für prEN 1996-1-1. Anderenfalls müssten die Gleichungen (4.1a) bis (4.1c) in prEN 1996-3 zur Bestimmung der zulässigen Deckenstützweite noch dahingehend geändert werden, dass der Teilsicherheitsbeiwert für des Material entsprechend berücksichtigt wird. Aus deutscher Sicht ist eine Änderung von prEN 1996-3 diesbezüglich aber nicht erforderlich. Die vereinfachte Berechnung wurde für den Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_M = 1,7$  optimiert und muss auch nach einer ggf. noch vorzunehmenden Änderung der Gln. (4.1a) bis (4.1c) mit  $\gamma_M = 1,7$  die gleichen Ergebnisse liefern.
- Gemäß Gl. (4.1a) in prEN 1996-3 darf bei Wänden mit nur geringen Auflasten die Deckenstützweite auch bei Endauflagern unabhängig von der Wanddicke bis zu 7 m betragen. Hiermit soll der Regelung in prEN 1996-1-1 Rechnung getragen werden, dass bei geringen Auflasten und großen Exzentrizitäten der vereinfachte Nachweis mit Hilfe des Spannungsblocks nach Annex C in Teil 1-1 ohne Berücksichtigung der Deckenstützweite möglich ist. Die derzeit noch in prEN 1996-3 enthaltene Gleichung mit einem Faktor  $k = 0,2$  für Steine der Gruppe 1 liegt hierbei allerdings nicht auf der sicheren Seite gegenüber prEN 1996-1-1. Entsprechend den Regelungen in prEN 1996-1-1, Anhang C, zum Ansatz des Spannungsblocks auf einer Länge von  $0,1 \cdot t$  für alle Steingruppen, muss auch in prEN 1996-3 für alle Steingruppen der Faktor  $k = 0,1$  gelten. Um die genannte Sicherheitslücke auszuschließen, muss Gl. (4.1a) in prEN 1996-3 diesbezüglich noch geändert werden.



Es ist auch von deutscher Seite beantragt, diese Änderung noch in die Norm aufzunehmen.

### 3. *Nachweis am Wand-Decken-Knoten einer Außenwand im obersten Geschoss*

Anhand einer ergänzenden Parameterstudie unter Berücksichtigung der gleichen maßgebenden Einflussgrößen wie im Zwischengeschoss wurde auch die vereinfachte Berechnung am Wand-Decken-Knoten im obersten Geschoss nach prEN 1996-3 mit der genaueren Berechnung nach prEN 1996-1-1 verglichen. Auch für diesen Nachweis wurde überprüft, ob die vereinfachte Berechnung gegenüber der genaueren Berechnung im Rahmen der zulässigen Anwendungsbedingungen in jedem Fall auf der sicheren Seite liegt. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Mit dem in Deutschland vorgesehenen Teilsicherheitsbeiwert für den Baustoff  $\gamma_M = 1,7$  liegt die vereinfachte Berechnung am Wand-Decken-Knoten einer Außenwand auch im obersten Geschoss gegenüber einer genaueren Berechnung nach prEN 1996-1-1 fast immer auf der sicheren Seite. Nur in Ausnahmefällen sind bei sehr kleinen charakteristischen Druckfestigkeiten im Hinblick auf die zulässige Deckenstützweite geringfügig günstigere Ergebnisse (Abweichung gegenüber der genaueren Berechnung im ungünstigsten Fall  $\leq 7,5\%$ ) möglich. Diese nur in Ausnahmefällen vorhandene Abweichung ist am obersten Wand-Decken-Knoten aber nicht als Sicherheitslücke anzusehen, da bei den geringen Lasten im obersten Geschoss auch nach prEN 1996-1-1 der vereinfachte Nachweis mit dem Spannungsblock nach Anhang C unabhängig von der Deckenstützweite immer möglich ist und zudem nach DIN 1053-1 bei vergleichbaren Bemessungsergebnissen bisher ebenfalls generell bis zu 6 m große Deckenstützweiten im vereinfachten Berechnungsverfahren erlaubt waren.
- Der in prEN 1996-3 mit  $\phi_s = 0,5$  – dies würde  $k_3 = 0,67$  nach DIN 1053-1 entsprechen – festgelegte konstante Abminderungsfaktor im obersten Geschoss liegt im Hinblick auf die größte zulässige vertikale Belastung gegenüber einer genaueren Berechnung nach prEN 1996-1-1 auf der sicheren Seite. Zudem wird die größte zulässige Belastung aufgrund der geringen tatsächlichen Belastung im obersten Geschoss im Rahmen der Anwendungsbedingungen der vereinfachten Berechnung nicht maßgebend.

- Analog zum Nachweis am Zwischenwandknoten ist auch beim Nachweis am obersten Wand-Decken-Knoten erkennbar, dass im nationalen Anhang der Mitgliedsländer, in denen ein größerer Teilsicherheitsbeiwert für den Baustoff als in Deutschland mit  $\gamma_M = 1,7$  vorgesehen ist, ein noch größerer Teilsicherheitsbeiwert für prEN 1996-3 eingeführt werden muss als für prEN 1996-1-1, wenn die Gleichungen (4.1a) bis (4.1c) in prEN 1996-3 nicht noch in Abhängigkeit des Teilsicherheitsbeiwertes korrigiert werden. Anderenfalls liegt die vereinfachte Berechnung nach prEN 1996-3 hinsichtlich der nachweisbaren Deckenstützweite nicht in jedem Fall auf der sicheren Seite gegenüber der genaueren Berechnung nach prEN 1996-1-1. Aus deutscher Sicht – mit  $\gamma_M = 1,7$  für die gesamte Normenreihe – ist eine Änderung von prEN 1996-3 diesbezüglich aber nicht erforderlich, da auch nach einer Änderung der Gleichungen die Berechnungsergebnisse mit  $\gamma_M = 1,7$  die gleichen wie vorher sein müssen.

#### 4. *Aussteifung und Gebädestabilität bei Gebäuden mit bis zu drei Geschossen*

Anhand von Beispielberechnungen mit üblichen Grundrissen und Mauerwerk mittlerer Festigkeit wurden die Anwendungsgrenzen des vereinfachten Berechnungsverfahrens in prEN 1996-3, Anhang A, überprüft. Die berechneten Beispiele zeigen, dass die Berechnungsergebnisse des vereinfachten Aussteifungsnachweises in prEN 1996-3 für Gebäude mit bis zu drei Geschossen weit auf der sicheren Seite liegen. Die Aussteifung vieler Gebäude, die mit einer genauen Berechnung problemlos nachgewiesen werden können, ist mit dem in prEN 1996-3 enthaltenen Berechnungsverfahren nicht nachweisbar. Eine Sicherheitslücke ist bei diesem Berechnungsverfahren daher nicht erkennbar.

Der in prEN 1996-3 enthaltene vereinfachte Nachweis der Gebäudeaussteifung ist aber nur als erster, wenn auch wichtiger Schritt im Hinblick auf einen insgesamt befriedigenden vereinfachten Aussteifungsnachweis anzusehen, da viele übliche Gebäude mit dieser Berechnung nicht nachgewiesen werden können und daher aufwändig mit einer genauen Aussteifungsberechnung nachzuweisen wären. Die nach DIN 1053-1 noch geltende Regelung, dass bei Einhaltung sehr allgemein gehaltener Bedingungen auf einen rechnerischen Nachweis der räumlichen Aussteifung generell verzichtet werden kann, ist in der Normenreihe EN 1996 nicht mehr enthalten. Die neueste Fassung von prEN 1996-3 enthält aber eine Anmerkung, dass ein verein-



fachtes Berechnungsverfahren zum Nachweis der Aussteifung und Gebäudestabilität im nationalen Anhang angegeben werden darf. Hierdurch erhält jedes Land die Möglichkeit, den vereinfachten Nachweis der Gebäudestabilität unter Berücksichtigung der jeweils typischen Gepflogenheiten durch Angabe eines Rechenverfahrens national zu regeln. Ein rein verbaler Nachweis wie in DIN 1053-1, 6.4, erscheint jedoch nicht mehr möglich.

Die genannten Ergebnisse der einzelnen Untersuchungen sind direkt in die Mitarbeit an der laufenden Normung von Eurocode 6 Teil 3 eingeflossen. Einige Ergebnisse sind durch ergänzende Regelungen im aktuellen Stand der Norm bereits berücksichtigt worden, andere sind noch Gegenstand der Diskussion im Rahmen der laufenden Schlussbearbeitung von EN 1996-3.

Hannover, März 2005

## 9. Literatur

- [1] Reeh, H., Schlundt, A.: Veränderungsvorschläge für das vereinfachte Berechnungsverfahren für Mauerwerk nach ENV 1996-3. Forschungsbericht November 2002.
- [2] Reeh, H., Jäger, W., Schlundt, A., Mathias, B., Baier, G., Schöps, P.: Vergleich des Eurocode 6 Teil 1-1 (ENV 1996-1-1) mit deutschen Mauerwerksnormen DIN 1053-1 und DIN 1053-2, Nov. 1996. Forschungsbericht Teil 1 - 4, September 2000, November 2001 und Februar 2003.
- [3] Reeh, H., Schlundt, A., Mathias, B.: Vereinfachter Nachweis der Gebäudeaussteifung nach EC 6 Teil 3 (Draft prEN 1996-3, stage 32, July 2002). Forschungsbericht März 2004.
- [4] DIN V ENV 1996-3:2000-10 - Eurocode 6: Berechnung und Ausführung von Mauerwerksbauten; Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden und einfache Regeln für Mauerwerk; Deutsche Fassung ENV 1996-3:1999.
- [5] 4th Draft prEN 1996-3:2002-09 - Eurocode 6: Design of Masonry Structures; Part 3: Simplified calculation methods, Unveröffentlichter Entwurf (PT5 Dokument, englische Fassung).
- [6] 10th Draft prEN 1996-3:2004-06 - Eurocode 6: Design of Masonry Structures; Part 3: Simplified calculation methods for unreinforced masonry structures. Unveröffentlichter Entwurf (CEN/TC 250/SC 6, Chairman pre-stage 49 version, englische Fassung).
- [7] prEN 1996-1-1:2003-03, stage "formal vote" - Eurocode 6: Design of Masonry Structures; Part 1-1: Common rules for reinforced and unreinforced masonry structures. Unveröffentlichter Entwurf (CEN/TC 250/SC 6, N 0271, englische Fassung).
- [8] DIN 1053-1, Ausgabe 1996-11 - Mauerwerk; Teil 1: Berechnung und Ausführung.



## **Forschungsbericht (Anlagen)**

### **Änderungs- und Ergänzungsvorschläge zu den vereinfachten Berechnungsverfahren für Mauerwerk nach prEN 1996-3 - Folgeprojekt**

- Anlage 1:** Diagramme und Tabellenwerte zum Nachweis am Zwischenwandknoten - Abminderungsfaktoren
  
- Anlage 2:** Diagramme und Tabellenwerte zum Nachweis am Zwischenwandknoten – zulässige vertikale Beanspruchung
  
- Anlage 3:** Diagramme und Tabellenwerte zum Nachweis am obersten Außenwandknoten - Abminderungsfaktoren
  
- Anlage 4:** Diagramme und Tabellenwerte zum Nachweis am obersten Außenwandknoten – zulässige vertikale Beanspruchung

#### **Bearbeitung:**

**BGS Ingenieursozietät, Hannover**

**Dr.-Ing. Helmut Reeh**

**Dipl.-Ing. Andreas Schlundt**

**Hannover, März 2005**



# Anlage 1

Diagramme und Tabellenwerte  
zum Nachweis am Zwischenwandknoten

Zulässige Abminderungsfaktoren in Abhängigkeit der Deckenlänge  
nach prEN 1996-1-1 und prEN 1996-3 im Vergleich

## Übersicht

Nr.	$f_k$ [N/mm]	$p_k$ (Decke) [kN/m <sup>2</sup> ]	t [cm]	h [m]	$\gamma$ [---]	Seite	
						Diagramm	Tabelle
1.1	1,20	5,00	17,5 / 24,0 / 30,0 / 36,5	2,75	1,7	A1/2	A1/14
1.2			36,5	2,75 / 3,00 / 3,20	1,7	A1/3	A1/15
1.3			36,5	2,75	1,7 / 2,2 / 2,7	A1/4	A1/16
1.4	1,80	5,00	17,5 / 24,0 / 30,0 / 36,5	2,75	1,7	A1/5	A1/17
1.5			30,0	2,75 / 3,00 / 3,20	1,7	A1/6	A1/18
1.6			30,0	2,75	1,7 / 2,2 / 2,7	A1/7	A1/19
1.7	4,25	5,00	17,5 / 24,0 / 30,0 / 36,5	2,75	1,7	A1/8	A1/20
1.8			24,0	2,75 / 3,00 / 3,20	1,7	A1/9	A1/21
1.9			24,0	2,75	1,7 / 2,2 / 2,7	A1/10	A1/22
1.10	10,00	5,00	17,5 / 24,0 / 30,0 / 36,5	2,75	1,7	A1/11	A1/23
1.11			17,5	2,75 / 3,00 / 3,20	1,7	A1/12	A1/24
1.12			17,5	2,75	1,7 / 2,2 / 2,7	A1/13	A1/25

mit:

- $f_k$  charakteristische Druckfestigkeit der Wand
- $p_k$  (Decke) charakteristischer Wert der Verkehrslast auf der Decke
- t Wanddicke
- h Wandhöhe
- $\gamma$  Sicherheitsbeiwert für den Baustoff (Mauerwerk)

weitere Parameter:

- $d_B = 18$  cm Deckendicke
- $E_B = 28800$  Elastizitätsmodul der Decke (C 20/25)
- $E_M = 1000 \cdot f_k$  Elastizitätsmodul der Wand
- $g_k$  (Decke) = 6,00 kN/m<sup>2</sup> charakteristischer Wert der ständigen Deckenlast (incl. Fußbodenaufbau)

Berechnung am Teilrahmensystem für einen Zwischenwandknoten der Außenwand nach prEN 1996-1-1, Anhang C:

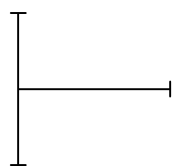


Diagramm 1.1

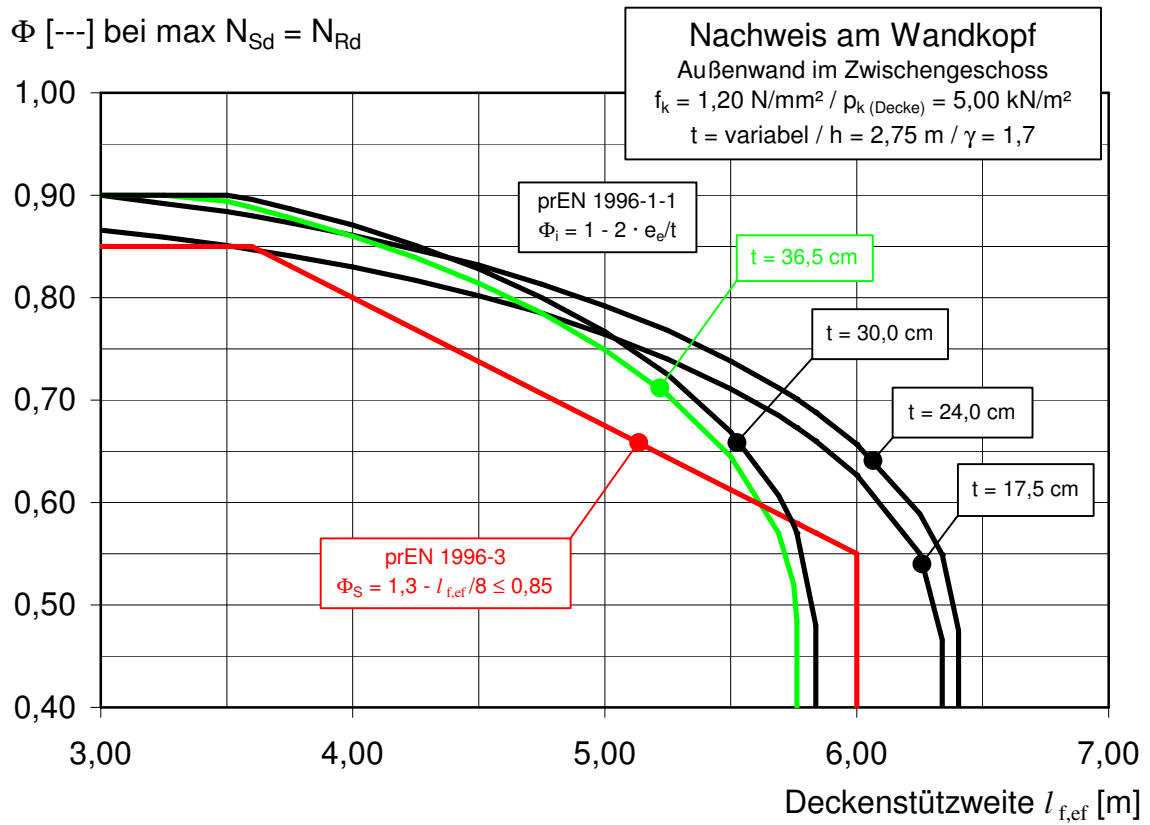




Diagramm 1.2

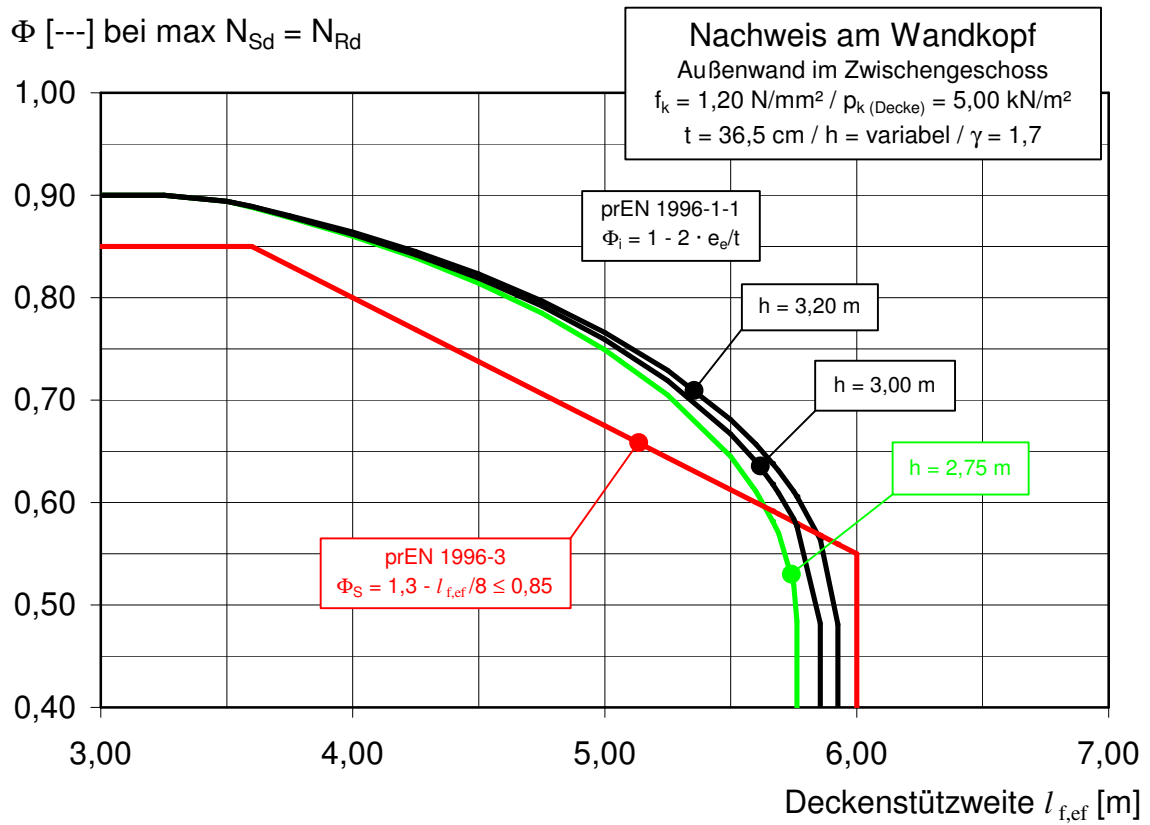


Diagramm 1.3

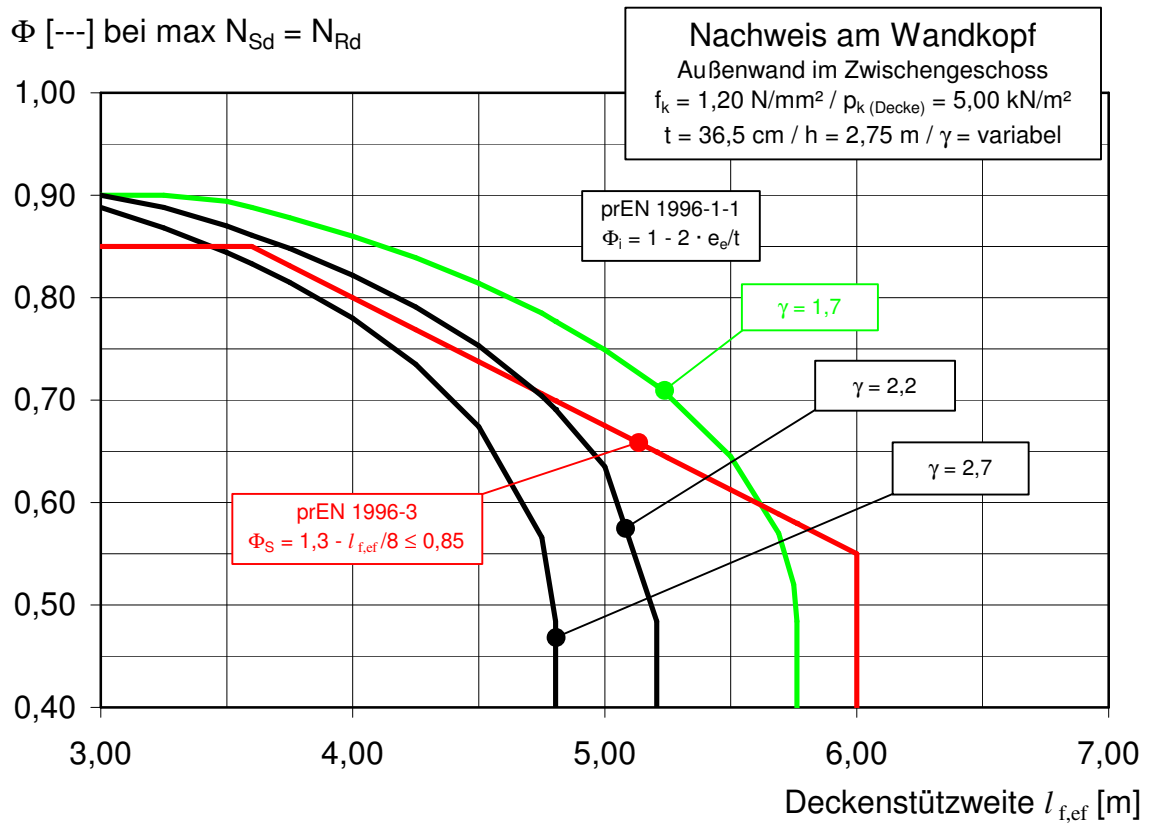


Diagramm 1.4

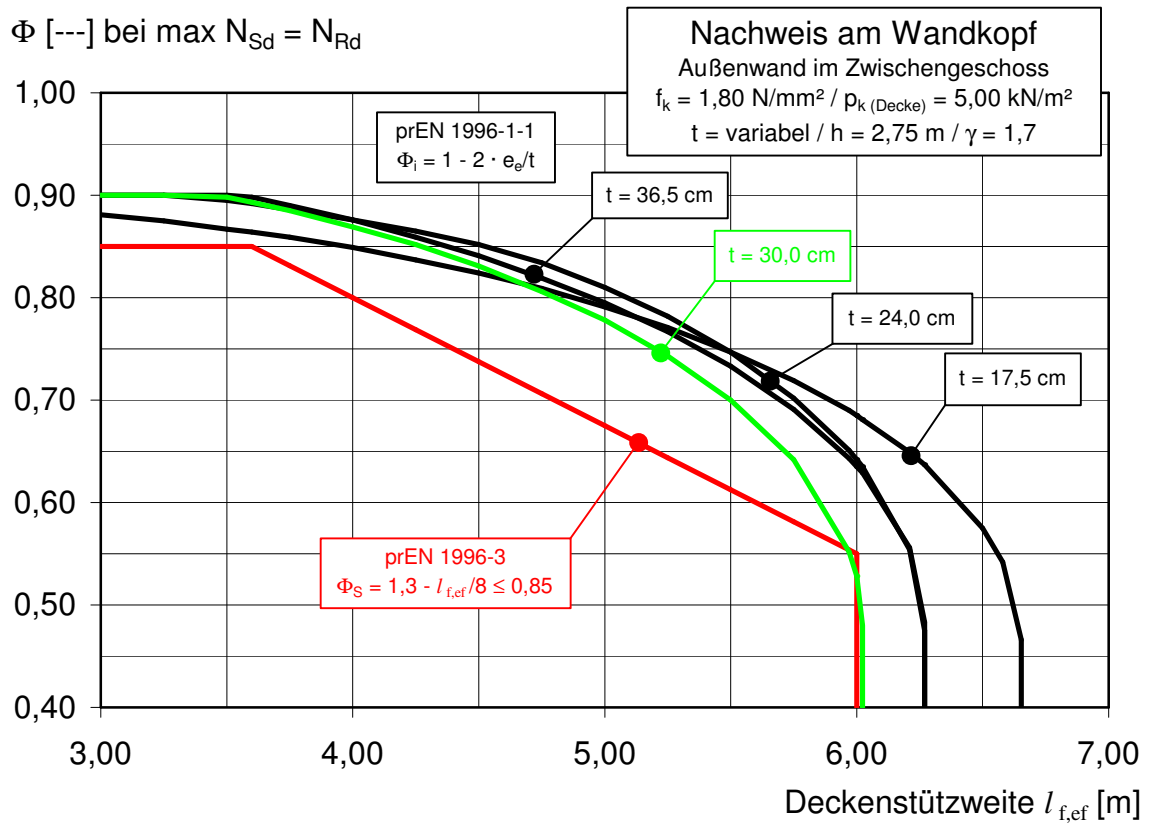


Diagramm 1.5

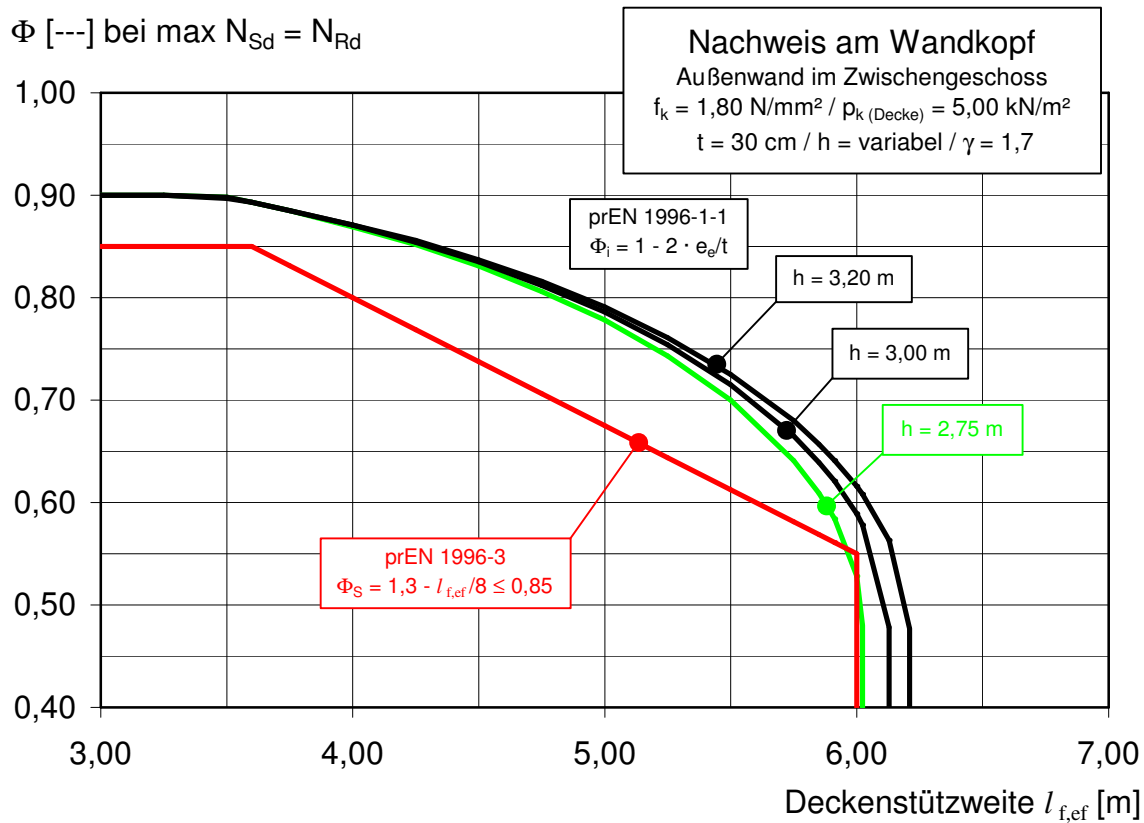


Diagramm 1.6

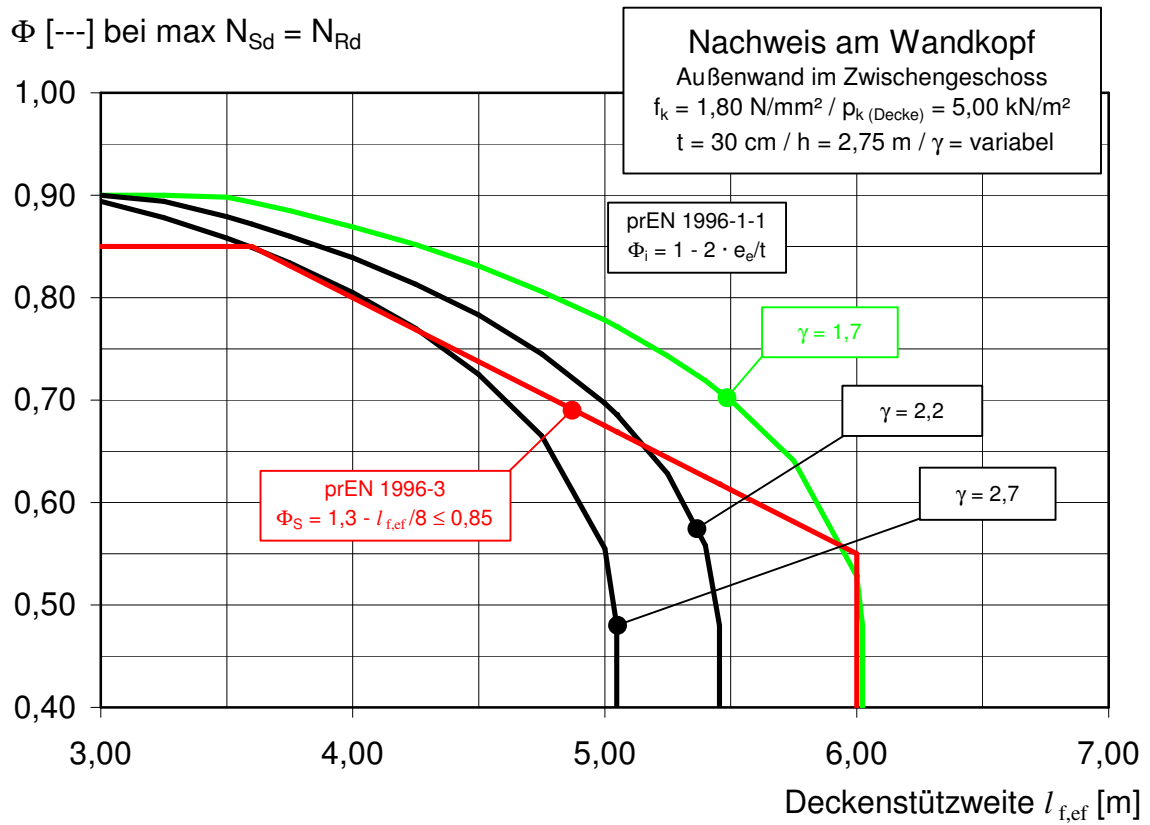


Diagramm 1.7

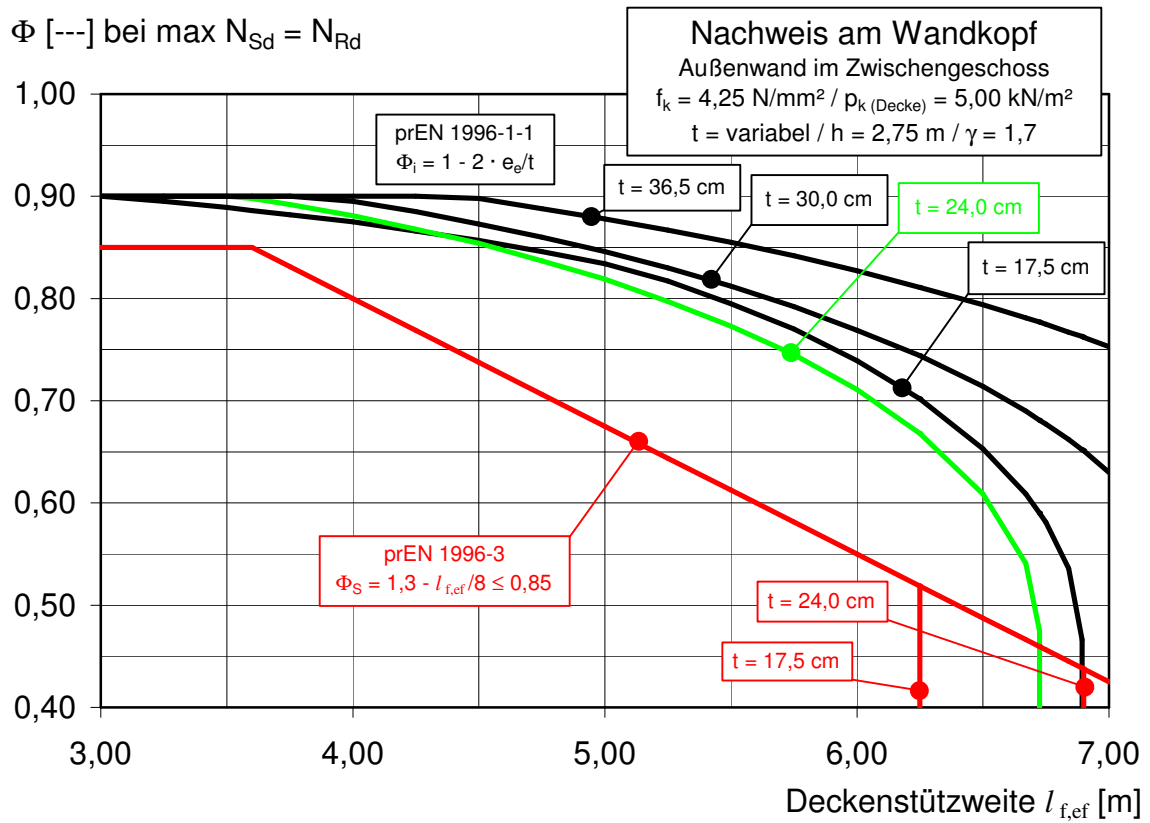


Diagramm 1.8

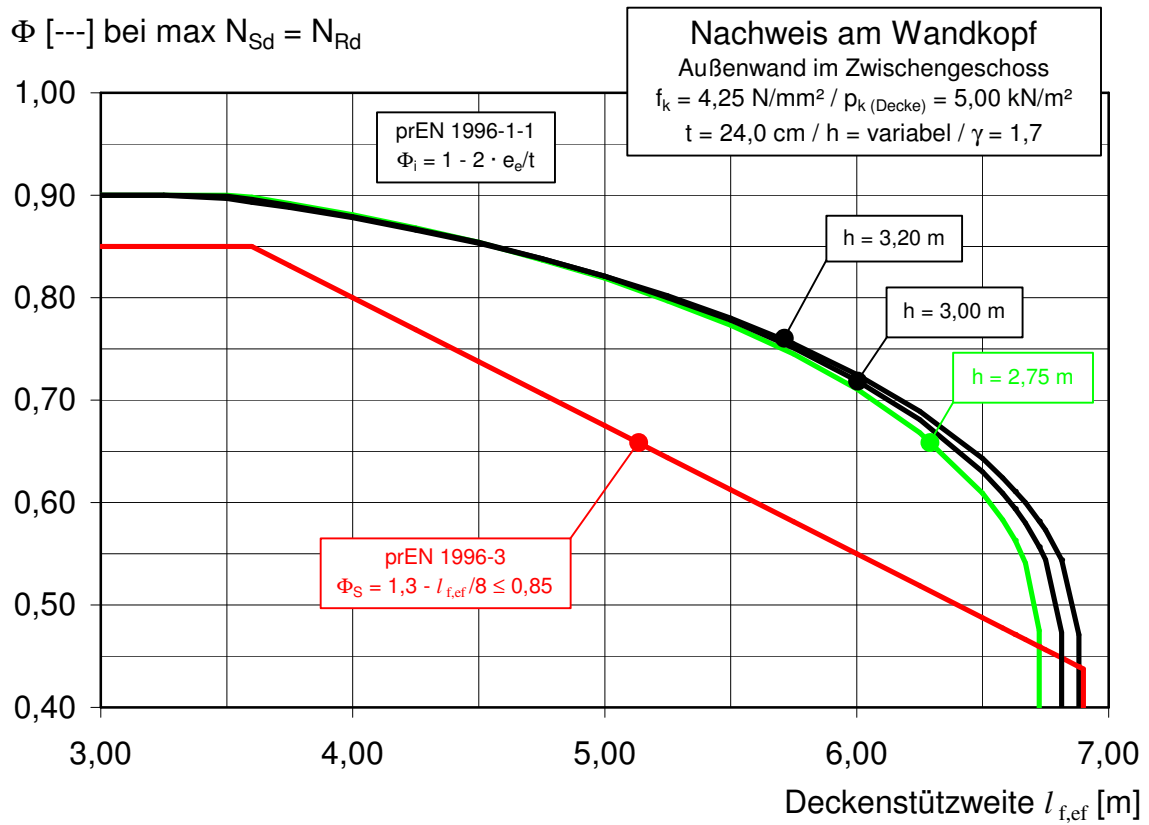


Diagramm 1.9

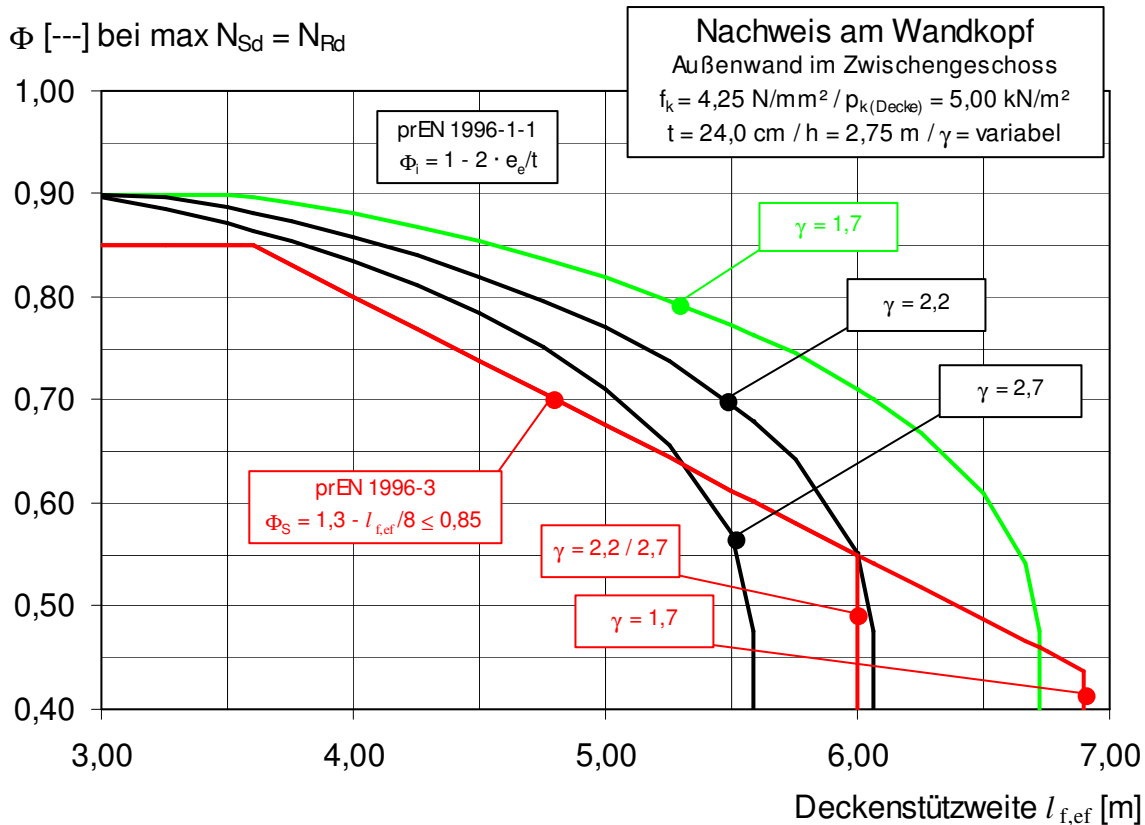




Diagramm 1.10

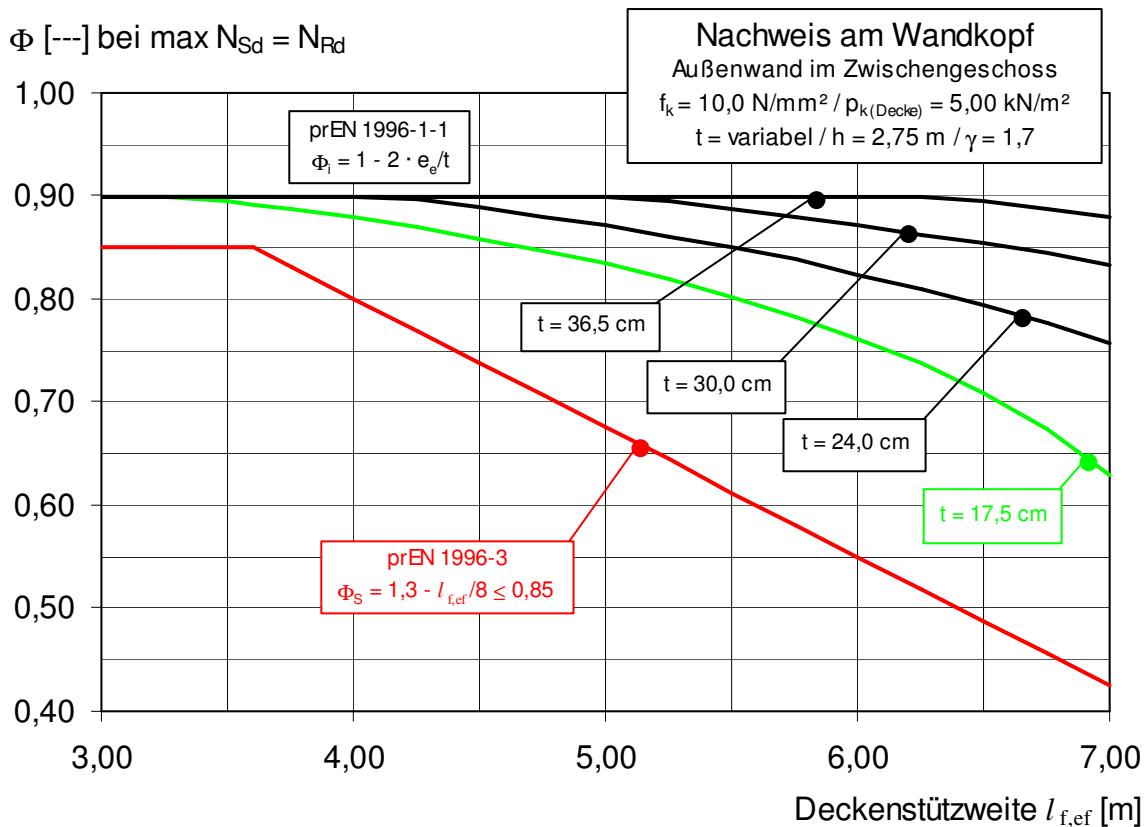


Diagramm 1.11

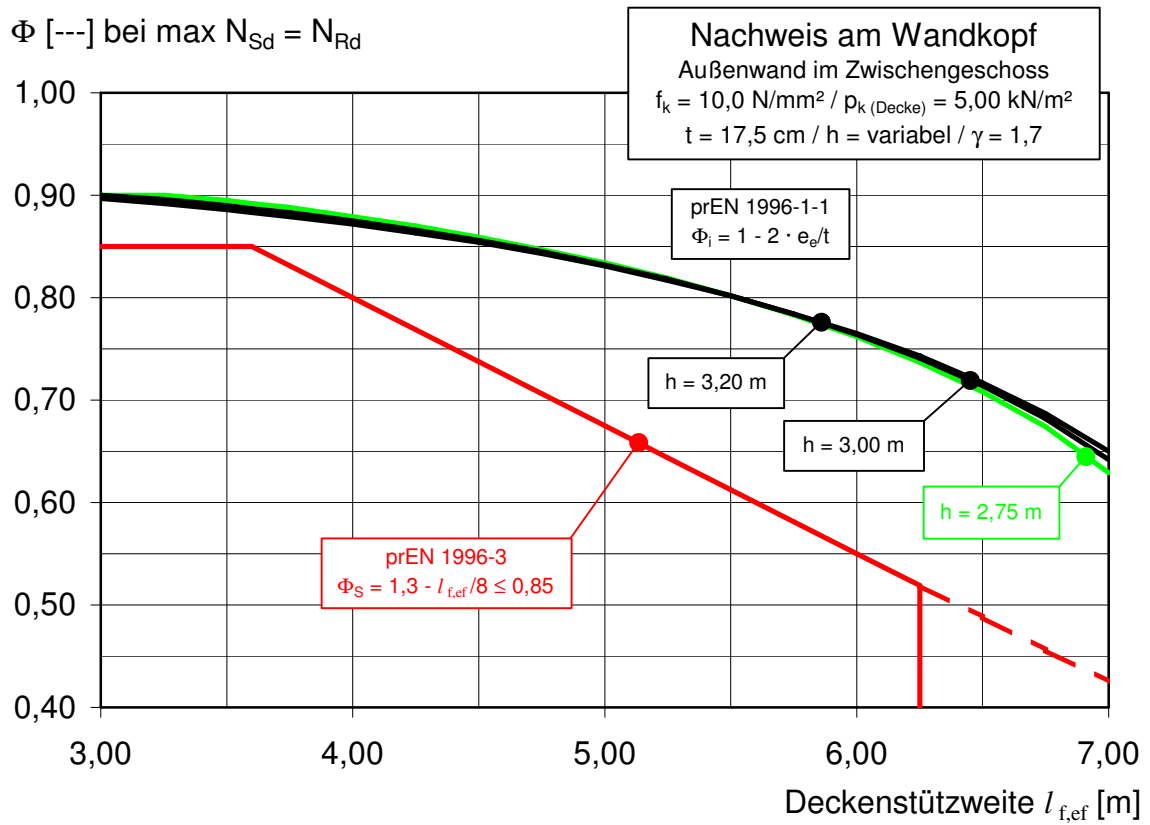
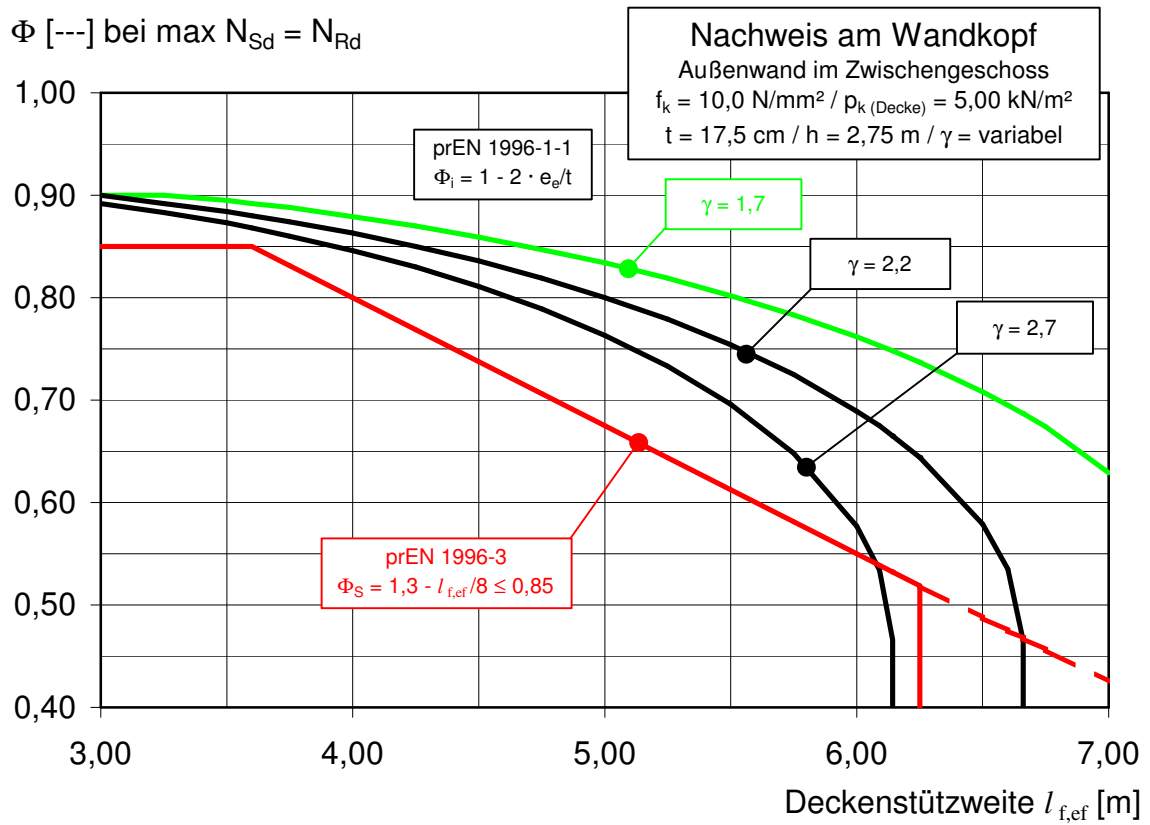


Diagramm 1.12



**Tabelle 1.1**

f <sub>k</sub> = 1,20 N/mm <sup>2</sup> / t = variabel / h = 2,75 m / p = 5,00 kN/m <sup>2</sup> / γ = 1,7					
l [m]	prEN 1996-1-1				prEN 1996-3
	Φ <sub>i</sub> [---] bei t [cm] =				Φ <sub>s</sub> [---] für alle t
	17,5	24,0	30,0	36,5	
3,00	0,866	0,900	0,900	0,900	0,850
3,25	0,859	0,892	0,900	0,900	0,850
3,50	0,851	0,884	0,900	0,894	0,850
3,60	0,847	0,880	0,896	0,888	0,850
3,75	0,841	0,873	0,887	0,878	0,831
4,00	0,830	0,861	0,871	0,860	0,800
4,25	0,817	0,847	0,851	0,839	0,769
4,50	0,802	0,832	0,828	0,814	0,738
4,75	0,785	0,813	0,800	0,785	0,706
5,00	0,764	0,792	0,767	0,749	0,675
5,25	0,740	0,768	0,725	0,705	0,644
5,50	0,711	0,738	0,669	0,645	0,613
5,75	0,675	0,703	0,578	0,520	0,581
5,76	0,673	0,701	0,570	0,484	0,580
5,84	0,660	0,688	0,480		0,570
6,00	0,627	0,657			0,550
6,25	0,550	0,589			
6,34	0,466	0,549			
6,40		0,475			
6,50					
6,75					
7,00					

**Tabelle 1.2**

$f_k = 1,20 \text{ N/mm}^2 / t = 36,5 \text{ cm} / h = \text{variabel} / p = 5,00 \text{ kN/m}^2 / \gamma = 1,7$				
$l$ [m]	prEN 1996-1-1			prEN 1996-3
	$\Phi_i$ [---] bei $h$ [m] =			$\Phi_s$ [---] für alle $h$
	2,75	3,00	3,20	
3,00	0,900	0,900	0,900	0,850
3,25	0,900	0,900	0,900	0,850
3,50	0,894	0,894	0,894	0,850
3,60	0,888	0,889	0,889	0,850
3,75	0,878	0,879	0,880	0,831
4,00	0,860	0,862	0,864	0,800
4,25	0,839	0,842	0,845	0,769
4,50	0,814	0,819	0,823	0,738
4,75	0,785	0,792	0,797	0,706
5,00	0,749	0,759	0,766	0,675
5,25	0,705	0,719	0,729	0,644
5,50	0,645	0,667	0,681	0,613
5,75	0,520	0,584	0,611	0,581
5,76	0,484	0,577	0,606	0,580
5,86		0,482	0,564	0,568
5,93			0,481	0,559
6,00				0,550
6,25				
6,50				
6,75				
7,00				

**Tabelle 1.3**

f <sub>k</sub> = 1,20 N/mm <sup>2</sup> / t = 36,5 cm / h = 2,75 m / p = 5,00 kN/m <sup>2</sup> / γ = variabel				
l [m]	Φ <sub>i</sub> [---] bei γ =			prEN 1996-3 Φ <sub>s</sub> [---] für alle γ
	1,70	2,20	2,70	
3,00	0,900	0,900	0,888	0,850
3,25	0,900	0,888	0,868	0,850
3,50	0,894	0,870	0,844	0,850
3,60	0,888	0,861	0,833	0,850
3,75	0,878	0,848	0,815	0,831
4,00	0,860	0,822	0,780	0,800
4,25	0,839	0,791	0,735	0,769
4,50	0,814	0,753	0,674	0,738
4,75	0,785	0,704	0,566	0,706
4,81	0,777	0,691	0,484	0,699
5,00	0,749	0,635		0,675
5,21	0,714	0,484		0,649
5,25	0,705			0,644
5,50	0,645			0,613
5,75	0,520			0,581
5,76	0,484			0,580
6,00				0,550
6,25				
6,50				
6,75				
7,00				

**Tabelle 1.4**

f <sub>k</sub> = 1,80 N/mm <sup>2</sup> / t = variabel / h = 2,75 m / p = 5,00 kN/m <sup>2</sup> / γ = 1,7					
l [m]	prEN 1996-1-1				prEN 1996-3
	Φ <sub>i</sub> [---] bei t [cm] =				Φ <sub>s</sub> [---] für alle t
	17,5	24,0	30,0	36,5	
3,00	0,881	0,900	0,900	0,900	0,850
3,25	0,875	0,900	0,900	0,900	0,850
3,50	0,867	0,895	0,898	0,900	0,850
3,60	0,864	0,892	0,893	0,898	0,850
3,75	0,859	0,886	0,885	0,890	0,831
4,00	0,849	0,876	0,869	0,876	0,800
4,25	0,837	0,865	0,852	0,859	0,769
4,50	0,824	0,852	0,831	0,841	0,738
4,75	0,809	0,834	0,806	0,819	0,706
5,00	0,791	0,810	0,778	0,795	0,675
5,25	0,771	0,782	0,743	0,767	0,644
5,50	0,747	0,747	0,700	0,733	0,613
5,75	0,719	0,702	0,642	0,691	0,581
6,00	0,685	0,642	0,528	0,635	0,550
6,02	0,681	0,635	0,480	0,629	
6,27	0,637	0,475		0,483	
6,50	0,575				
6,65	0,466				
6,75					
7,00					



**Tabelle 1.5**

$f_k = 1,80 \text{ N/mm}^2 / t = 30 \text{ cm} / h = \text{variabel} / p = 5,00 \text{ kN/m}^2 / \gamma = 1,7$				
$l$ [m]	prEN 1996-1-1			prEN 1996-3
	$\Phi_i$ [---] bei $h$ [m] =			$\Phi_s$ [---] für alle $h$
	2,75	3,00	3,20	
3,00	0,900	0,900	0,900	0,850
3,25	0,900	0,900	0,900	0,850
3,50	0,898	0,898	0,897	0,850
3,60	0,893	0,893	0,893	0,850
3,75	0,885	0,885	0,885	0,831
4,00	0,869	0,871	0,871	0,800
4,25	0,852	0,854	0,856	0,769
4,50	0,831	0,835	0,837	0,738
4,75	0,806	0,812	0,816	0,706
5,00	0,778	0,786	0,791	0,675
5,25	0,743	0,754	0,761	0,644
5,50	0,700	0,715	0,725	0,613
5,75	0,641	0,665	0,680	0,581
5,91	0,584	0,621	0,641	0,561
6,00	0,528	0,589	0,616	0,550
6,02	0,480	0,578	0,608	
6,13		0,478	0,563	
6,21			0,477	
6,25				
6,50				
6,75				
7,00				



**Tabelle 1.6**

f <sub>k</sub> = 1,80 N/mm <sup>2</sup> / t = 30 cm / h = 2,75 m / p = 5,00 kN/m <sup>2</sup> / γ = variabel				
l [m]	prEN 1996-1-1			prEN 1996-3
	Φ <sub>i</sub> [---] bei γ =			Φ <sub>s</sub> [---] für alle
	1,7	2,2	2,7	γ
3,00	0,900	0,900	0,894	0,850
3,25	0,900	0,894	0,878	0,850
3,50	0,898	0,879	0,858	0,850
3,60	0,893	0,872	0,849	0,850
3,75	0,885	0,860	0,834	0,831
4,00	0,869	0,839	0,805	0,800
4,25	0,852	0,813	0,770	0,769
4,50	0,831	0,783	0,725	0,738
4,75	0,806	0,745	0,665	0,706
5,00	0,778	0,697	0,555	0,675
5,05	0,772	0,686	0,480	0,669
5,25	0,743	0,628		0,644
5,46	0,708	0,480		0,618
5,50	0,700			0,613
5,75	0,641			0,581
6,00	0,528			0,550
6,02	0,480			
6,25				
6,50				
6,75				
7,00				

**Tabelle 1.7**

f <sub>k</sub> = 4,25 N/mm <sup>2</sup> / t = variabel / h = 2,75 m / p = 5,00 kN/m <sup>2</sup> / γ = 1,7					
l [m]	prEN 1996-1-1				prEN 1996-3
	Φ <sub>i</sub> [---] bei t [cm] =				Φ <sub>s</sub> [---] für alle t
	17,5	24,0	30,0	36,5	
3,00	0,900	0,900	0,900	0,900	0,850
3,25	0,895	0,900	0,900	0,900	0,850
3,50	0,889	0,900	0,900	0,900	0,850
3,60	0,886	0,898	0,900	0,900	0,850
3,75	0,882	0,892	0,900	0,900	0,831
4,00	0,875	0,881	0,895	0,900	0,800
4,25	0,866	0,868	0,885	0,900	0,769
4,50	0,857	0,854	0,873	0,898	0,738
4,75	0,846	0,837	0,860	0,888	0,706
5,00	0,834	0,819	0,846	0,878	0,675
5,25	0,817	0,797	0,830	0,867	0,644
5,50	0,795	0,773	0,812	0,855	0,613
5,75	0,770	0,745	0,792	0,842	0,581
6,00	0,739	0,711	0,769	0,827	0,550
6,25	0,702	0,668	0,744	0,811	0,519
6,50	0,653	0,609	0,714	0,794	0,488
6,72	0,590	0,475	0,681	0,777	0,460
6,75	0,581		0,677	0,775	0,456
6,89	0,466		0,652	0,763	0,438
6,90			0,651	0,762	0,438
7,00			0,630	0,753	0,425



**Tabelle 1.8**

f <sub>k</sub> = 4,25 N/mm <sup>2</sup> / t = 24,0 cm / h = variabel / p = 5,00 kN/m <sup>2</sup> / γ = 1,7				
l [m]	prEN 1996-1-1			prEN 1996-3
	Φ <sub>i</sub> [---] bei h [m] =			Φ <sub>s</sub> [---] für alle h
	2,75	3,00	3,20	
3,00	0,900	0,900	0,900	0,850
3,25	0,900	0,900	0,900	0,850
3,50	0,900	0,899	0,897	0,850
3,60	0,898	0,896	0,893	0,850
3,75	0,892	0,890	0,888	0,831
4,00	0,881	0,879	0,878	0,800
4,25	0,868	0,867	0,866	0,769
4,50	0,854	0,854	0,853	0,738
4,75	0,837	0,838	0,838	0,706
5,00	0,819	0,821	0,821	0,675
5,25	0,797	0,800	0,802	0,644
5,50	0,773	0,778	0,780	0,613
5,75	0,745	0,751	0,755	0,581
6,00	0,711	0,719	0,725	0,550
6,25	0,668	0,681	0,689	0,519
6,50	0,609	0,630	0,643	0,488
6,63	0,563	0,594	0,611	0,471
6,72	0,475	0,557	0,582	0,460
6,75		0,544	0,573	0,456
6,81		0,473	0,544	0,448
6,88			0,471	0,440
6,90				0,438
7,00				



**Tabelle 1.9**

$f_k = 4,25 \text{ N/mm}^2 / t = 24,0 \text{ cm} / h = 2,75 \text{ m} / p = 5,00 \text{ kN/m}^2 / \gamma = \text{variabel}$					
$l$ [m]	prEN 1996-1-1			prEN 1996-3	
	$\Phi_i$ [---] bei $\gamma =$			$\Phi_s$ [---] bei $\gamma =$	
	1,7	2,2	2,7	1,7	2,2 / 2,7
3,00	0,900	0,900	0,898	0,850	0,850
3,25	0,900	0,898	0,886	0,850	0,850
3,50	0,900	0,887	0,871	0,850	0,850
3,60	0,898	0,882	0,865	0,850	0,850
3,75	0,892	0,874	0,854	0,831	0,831
4,00	0,881	0,858	0,834	0,800	0,800
4,25	0,868	0,841	0,811	0,769	0,769
4,50	0,854	0,820	0,784	0,738	0,738
4,75	0,837	0,797	0,751	0,706	0,706
5,00	0,819	0,770	0,710	0,675	0,675
5,25	0,797	0,737	0,657	0,644	0,644
5,50	0,773	0,696	0,570	0,613	0,613
5,59	0,763	0,679	0,475	0,601	0,601
5,75	0,745	0,642		0,581	0,581
6,00	0,711	0,551		0,550	0,550
6,06	0,701	0,475		0,542	
6,25	0,668			0,519	
6,50	0,609			0,488	
6,72	0,475			0,460	
6,75				0,456	
6,90				0,438	
7,00					



**Tabelle 1.10**

f <sub>k</sub> = 10,0 N/mm <sup>2</sup> / t = variabel / h = 2,75 m / p = 5,00 kN/m <sup>2</sup> / γ = 1,7					
l [m]	prEN 1996-1-1				prEN 1996-3
	Φ <sub>i</sub> [---] bei t [cm] =				Φ <sub>s</sub> [---] für alle t
	17,5	24,0	30,0	36,5	
3,00	0,900	0,900	0,900	0,900	0,850
3,25	0,900	0,900	0,900	0,900	0,850
3,50	0,895	0,900	0,900	0,900	0,850
3,60	0,892	0,900	0,900	0,900	0,850
3,75	0,888	0,900	0,900	0,900	0,831
4,00	0,879	0,900	0,900	0,900	0,800
4,25	0,870	0,897	0,900	0,900	0,769
4,50	0,859	0,889	0,900	0,900	0,738
4,75	0,847	0,880	0,900	0,900	0,706
5,00	0,834	0,871	0,900	0,900	0,675
5,25	0,819	0,861	0,895	0,900	0,644
5,50	0,802	0,850	0,888	0,900	0,613
5,75	0,783	0,838	0,880	0,900	0,581
6,00	0,762	0,824	0,872	0,900	0,550
6,25	0,737	0,810	0,863	0,900	0,519
6,50	0,708	0,794	0,854	0,894	0,488
6,75	0,674	0,777	0,844	0,887	0,456
7,00	0,629	0,758	0,833	0,880	0,425



**Tabelle 1.11**

f <sub>k</sub> = 10,0 N/mm <sup>2</sup> / t = 17,5 cm / h = variabel / p = 5,00 kN/m <sup>2</sup> / γ = 1,7				
l [m]	prEN 1996-1-1			prEN 1996-3
	Φ <sub>i</sub> [---] bei h [m] =			Φ <sub>s</sub> [---] für alle h
	2,75	3,00	3,20	
3,00	0,900	0,900	0,897	0,850
3,25	0,900	0,896	0,892	0,850
3,50	0,895	0,890	0,886	0,850
3,60	0,892	0,887	0,883	0,850
3,75	0,888	0,883	0,879	0,831
4,00	0,879	0,875	0,872	0,800
4,25	0,870	0,866	0,863	0,769
4,50	0,859	0,856	0,854	0,738
4,75	0,847	0,845	0,843	0,706
5,00	0,834	0,832	0,831	0,675
5,25	0,819	0,818	0,817	0,644
5,50	0,802	0,802	0,802	0,613
5,75	0,783	0,784	0,784	0,581
6,00	0,762	0,764	0,765	0,550
6,25	0,737	0,741	0,743	0,519
6,50	0,708	0,714	0,717	0,488
6,75	0,674	0,682	0,687	0,456
7,00	0,629	0,642	0,650	0,425



**Tabelle 1.12**

f <sub>k</sub> = 10,0 N/mm <sup>2</sup> / t = 17,5 cm / h = 2,75 m / p = 5,00 kN/m <sup>2</sup> / γ = variabel				
l [m]	prEN 1996-1-1			prEN 1996-3
	Φ <sub>i</sub> [---] bei γ =			Φ <sub>s</sub> [---] für alle
	1,7	2,2	2,7	γ
3,00	0,900	0,900	0,892	0,850
3,25	0,900	0,892	0,883	0,850
3,50	0,895	0,884	0,873	0,850
3,60	0,892	0,880	0,868	0,850
3,75	0,888	0,874	0,860	0,831
4,00	0,879	0,863	0,846	0,800
4,25	0,870	0,850	0,830	0,769
4,50	0,859	0,836	0,811	0,738
4,75	0,847	0,819	0,789	0,706
5,00	0,834	0,800	0,763	0,675
5,25	0,819	0,779	0,733	0,644
5,50	0,802	0,754	0,696	0,613
5,75	0,783	0,725	0,648	0,581
6,00	0,762	0,689	0,577	0,550
6,14	0,748	0,665	0,466	0,532
6,25	0,737	0,644		0,519
6,50	0,708	0,579		0,488
6,66	0,687	0,465		0,467
6,75	0,674			0,456
7,00	0,629			0,425

# Anlage 2

Diagramme und Tabellenwerte  
zum Nachweis am Zwischenwandknoten

Zulässige vertikale Beanspruchung in Abhängigkeit der Deckenlänge  
nach prEN 1996-1-1 und prEN 1996-3 im Vergleich



## Übersicht

Nr.	$f_k$ [N/mm]	$p_k$ (Decke) [kN/m <sup>2</sup> ]	t [cm]	h [m]	$\gamma$ [---]	Seite		
						Diagramm	Tabelle	
2.1	1,20	2,75	36,5	2,75	1,7	A2/2	A2/20	
2.2		5,00				A2/3	A2/21	
2.3						A2/4	A2/22	
2.4						A2/5	A2/23	
2.5	2,75		30,0	2,75	1,7	A2/6	A2/24	
2.6	5,00	A2/7				A2/25		
2.7	2,75	2,2				A2/8	A2/26	
2.8	5,00					A2/9	A2/27	
2.9	2,75		2,7	A2/10	A2/28			
2.10	5,00			A2/11	A2/29			
2.11	4,25	2,75	24,0	2,75	1,7	A2/12	A2/30	
2.12		5,00				A2/13	A2/31	
2.13						2,2	A2/14	A2/32
2.14							A2/15	A2/33
2.15	10,00		2,75	17,5	2,75	1,7	A2/16	A2/34
2.16		5,00	A2/17				A2/35	
2.17			2,2				A2/18	A2/36
2.18							A2/19	A2/37

mit:

- $f_k$  charakteristische Druckfestigkeit der Wand
- $p_k$  (Decke) charakteristischer Wert der Verkehrslast auf der Decke
- t Wanddicke
- h Wandhöhe
- $\gamma$  Sicherheitsbeiwert für den Baustoff (Mauerwerk)

weitere Parameter:

- $d_B = 18$  cm Deckendicke
- $E_B = 28800$  Elastizitätsmodul der Decke (C 20/25)
- $E_M = 1000 \cdot f_k$  Elastizitätsmodul der Wand
- $g_k$  (Decke) = 6,00 kN/m<sup>2</sup> charakteristischer Wert der ständigen Deckenlast (incl. Fußbodenaufbau)

Berechnung am Teilrahmensystem für einen Zwischenwandknoten der Außenwand nach prEN 1996-1-1, Anhang C:

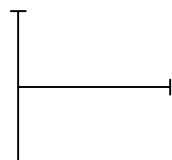


Diagramm 2.1

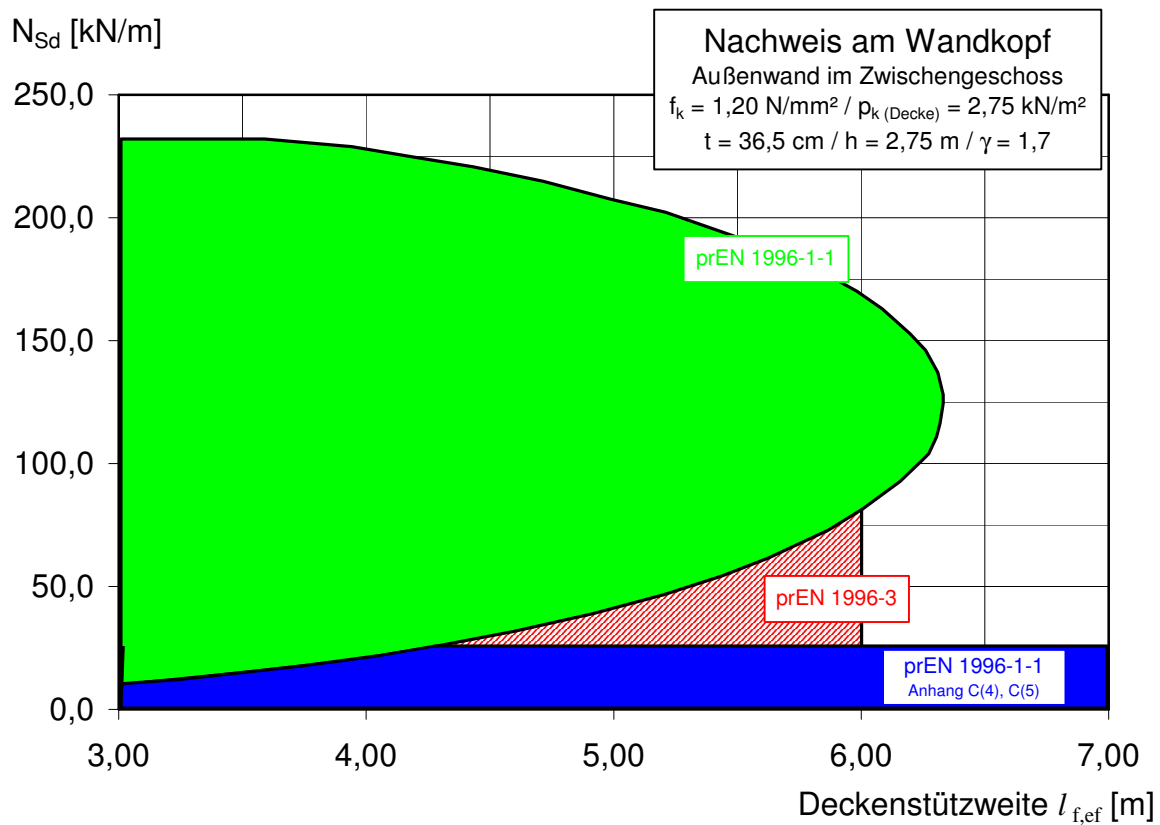


Diagramm 2.2

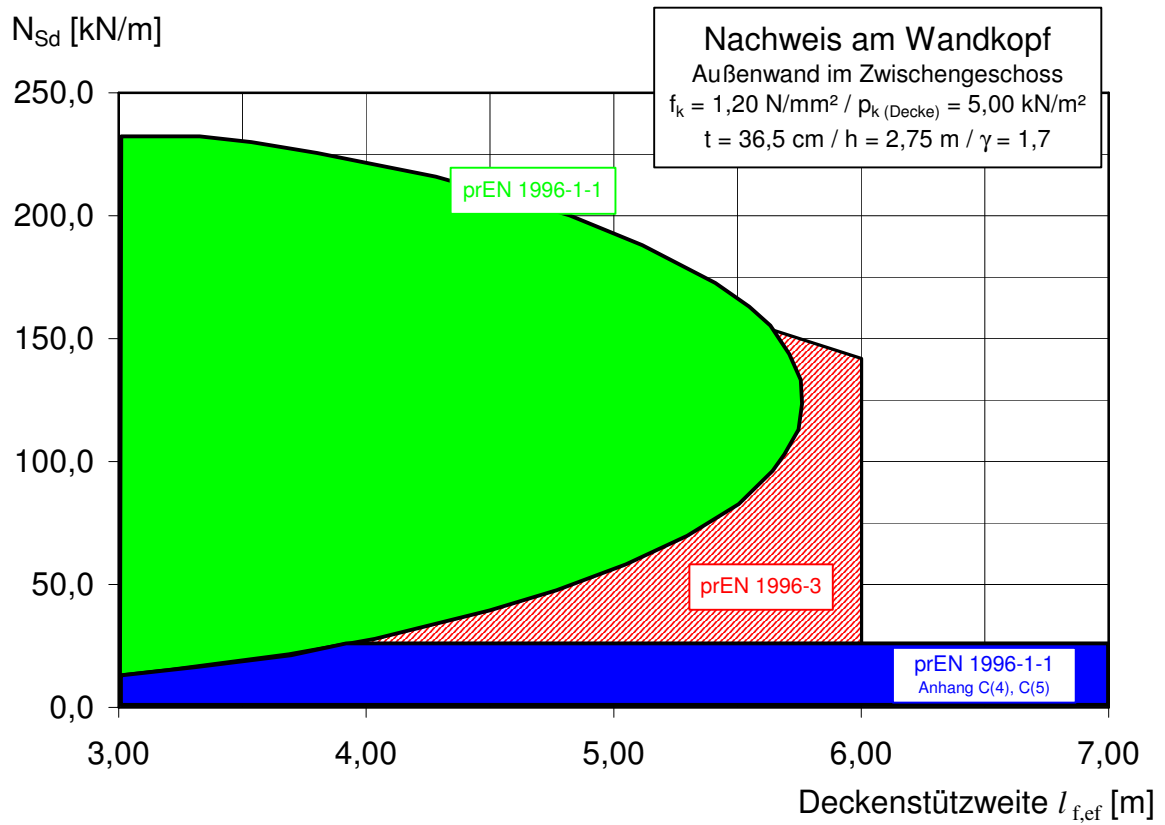


Diagramm 2.3

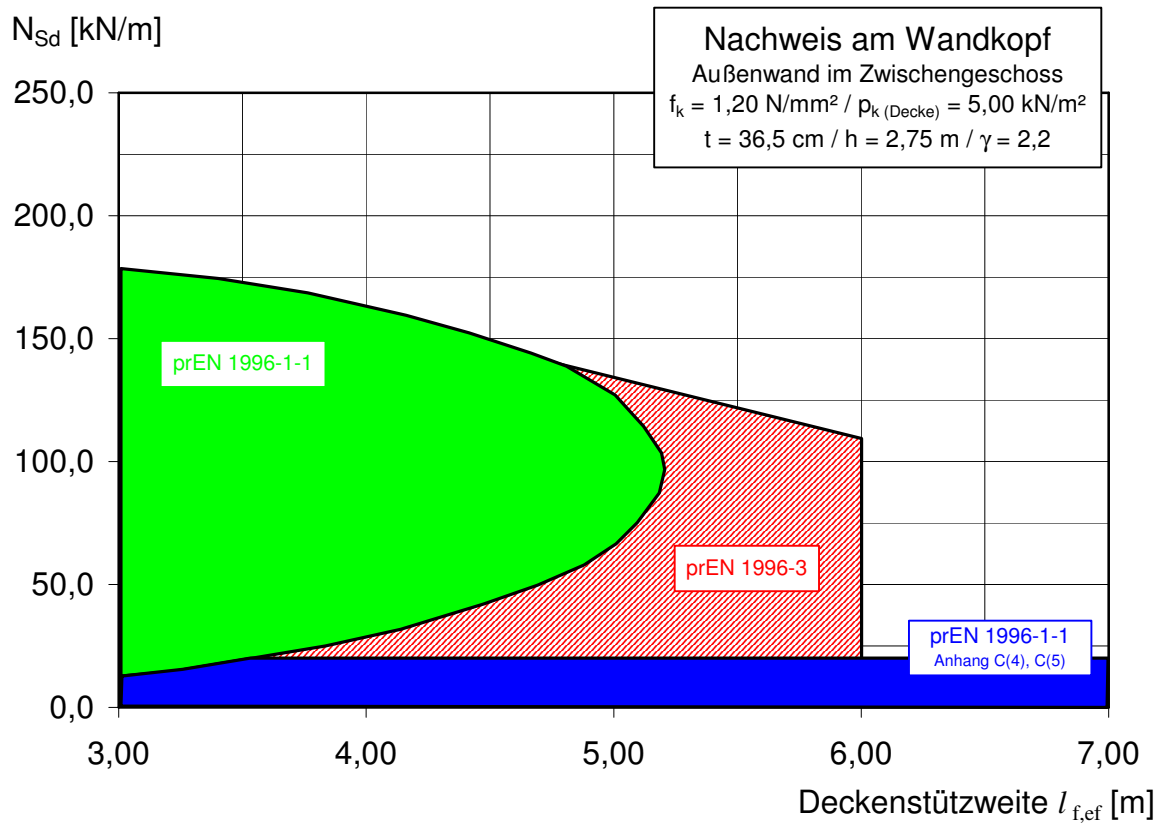


Diagramm 2.4

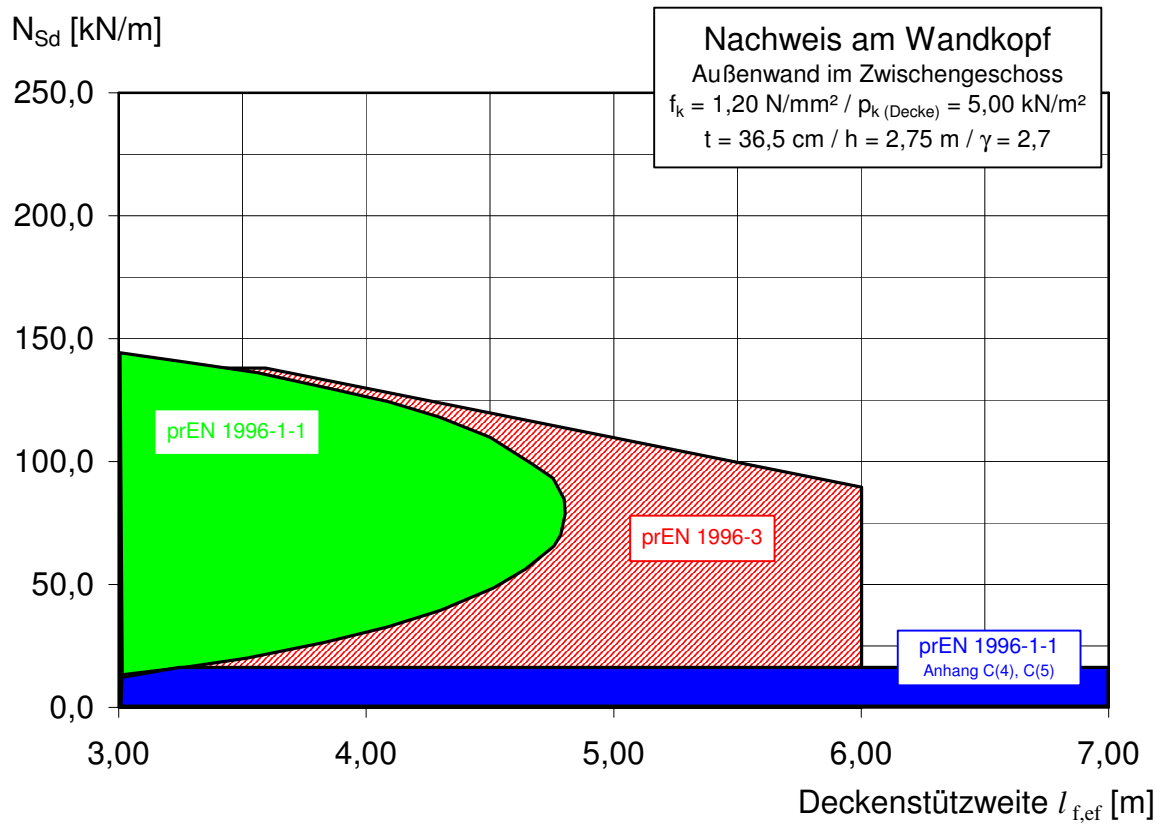


Diagramm 2.5

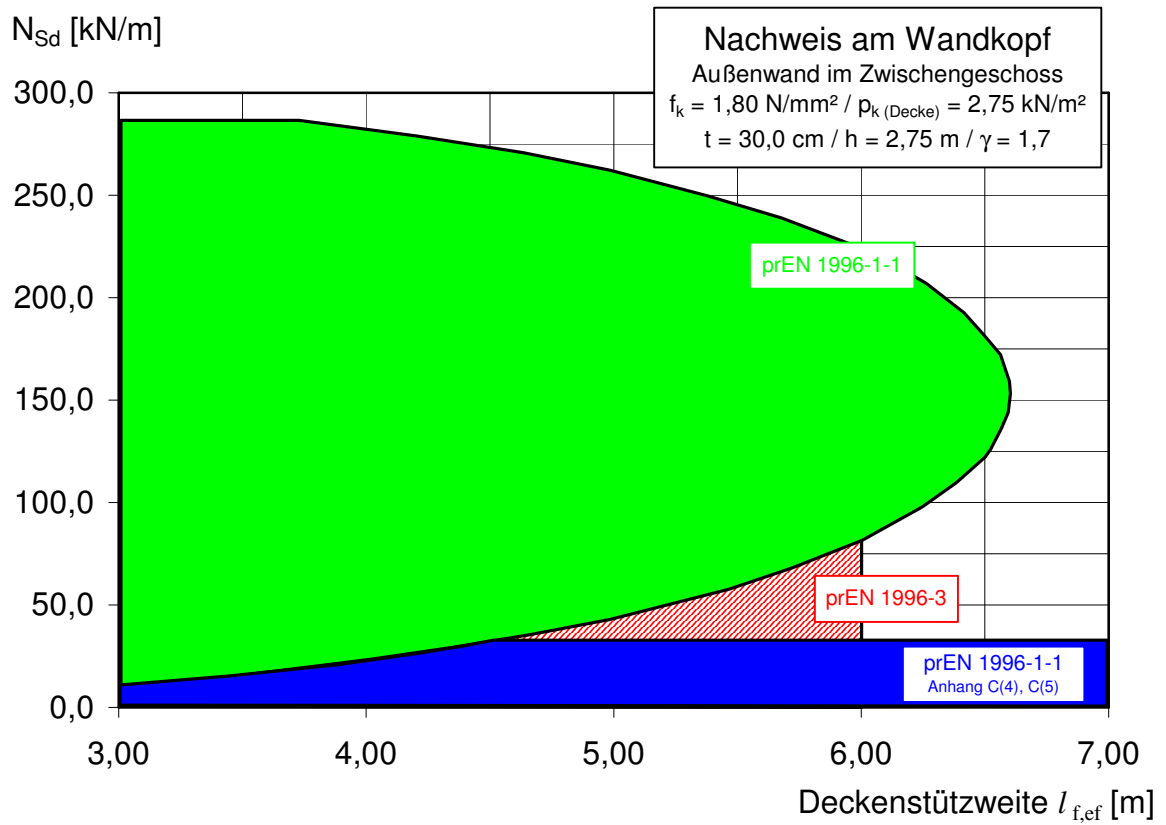


Diagramm 2.6

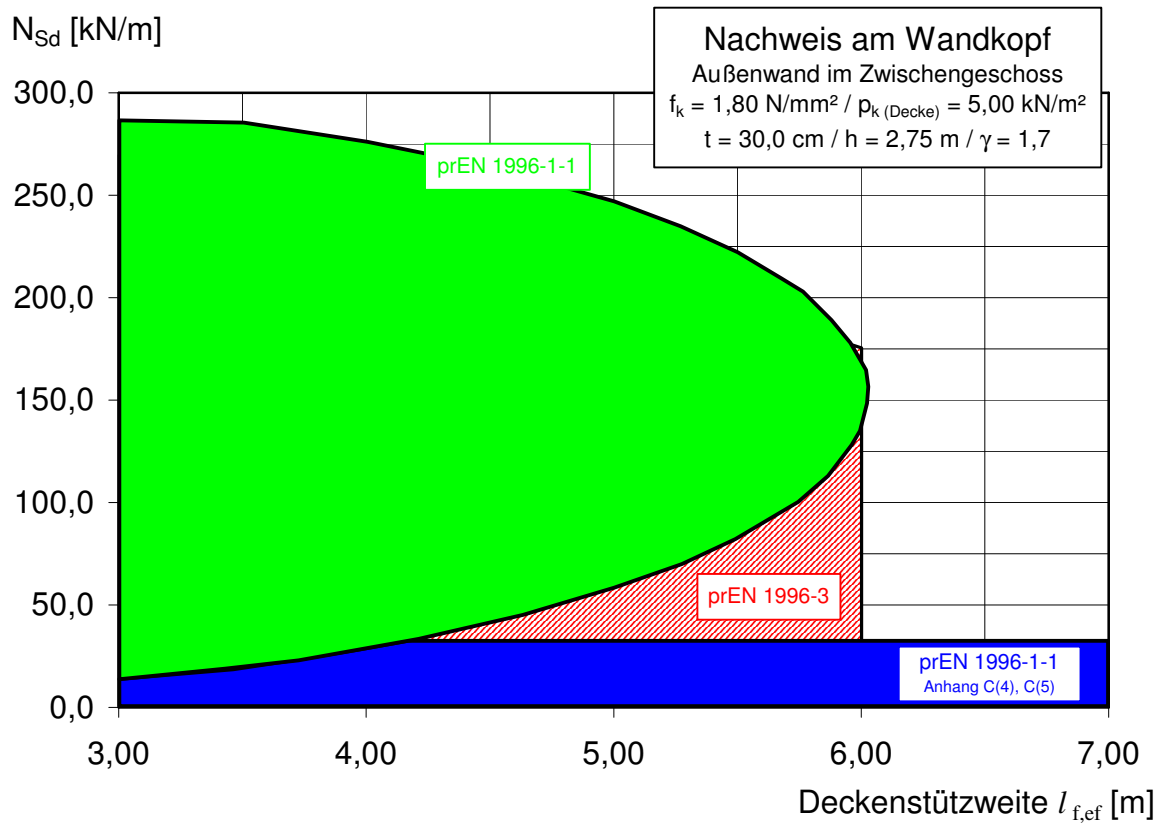


Diagramm 2.7

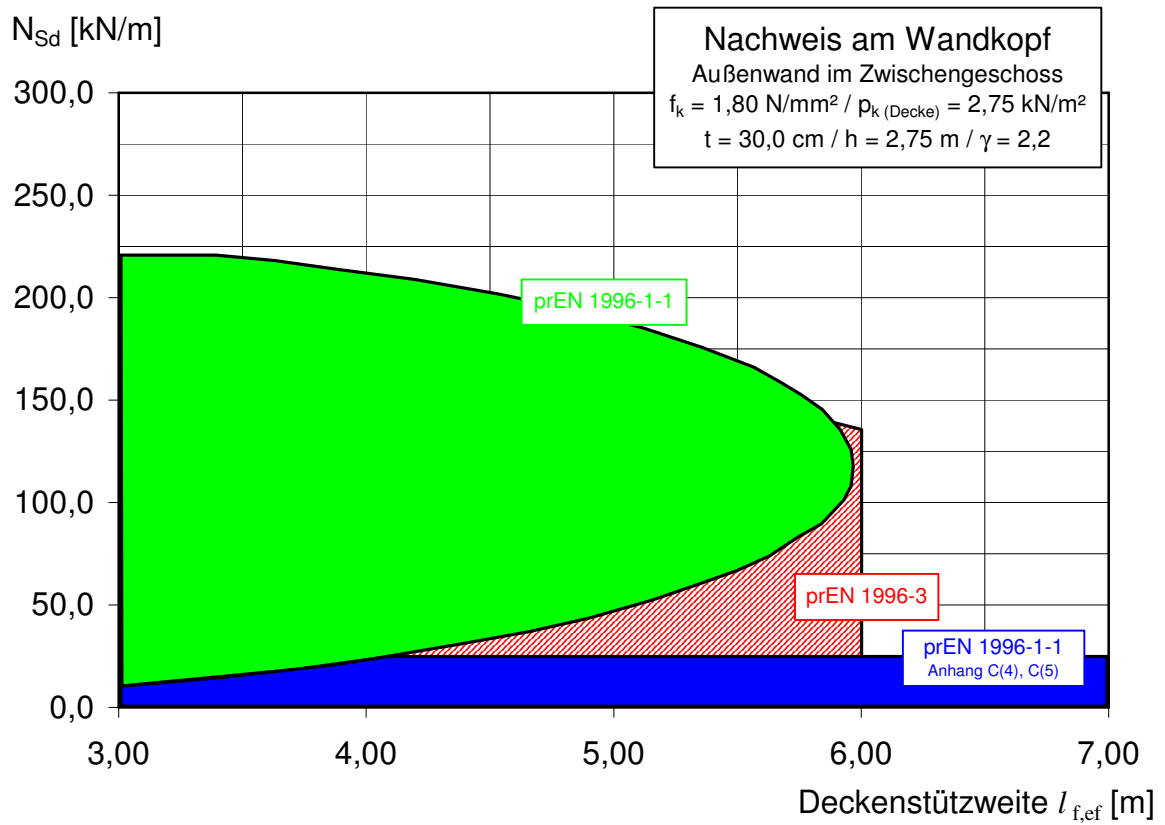




Diagramm 2.8

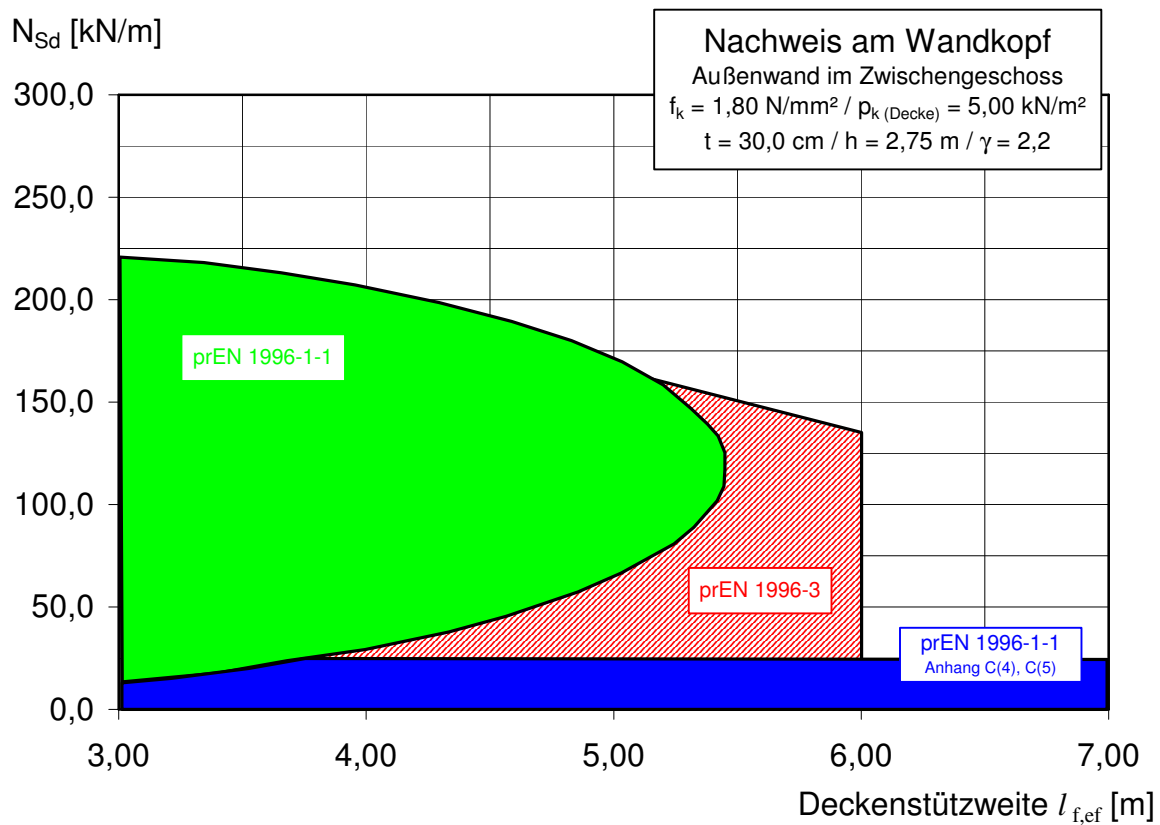


Diagramm 2.9

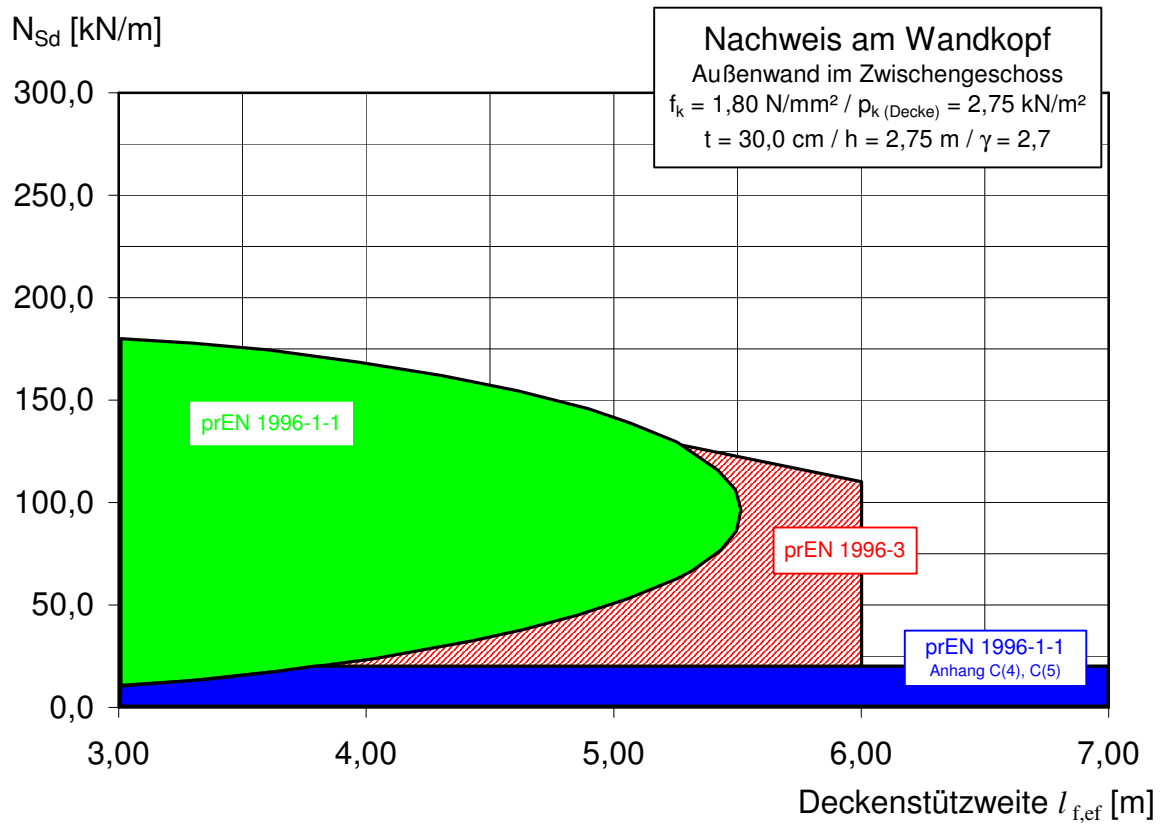


Diagramm 2.10

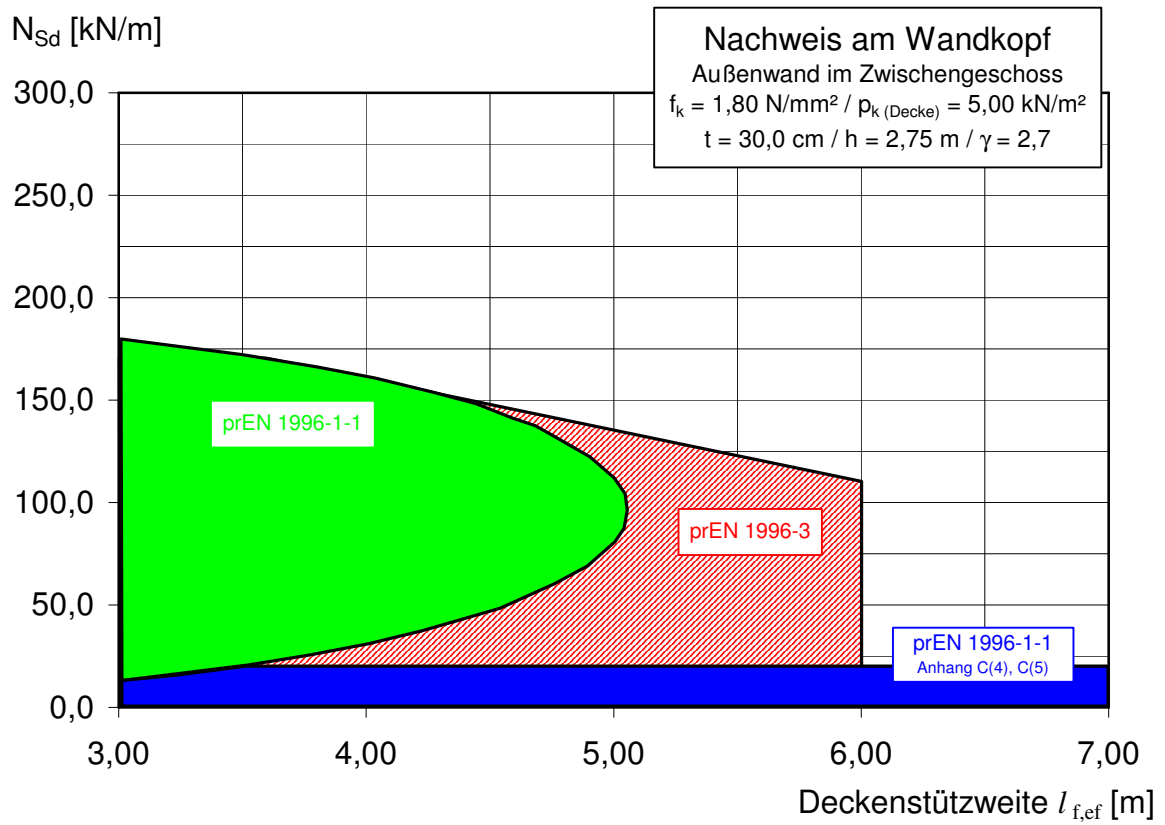


Diagramm 2.11

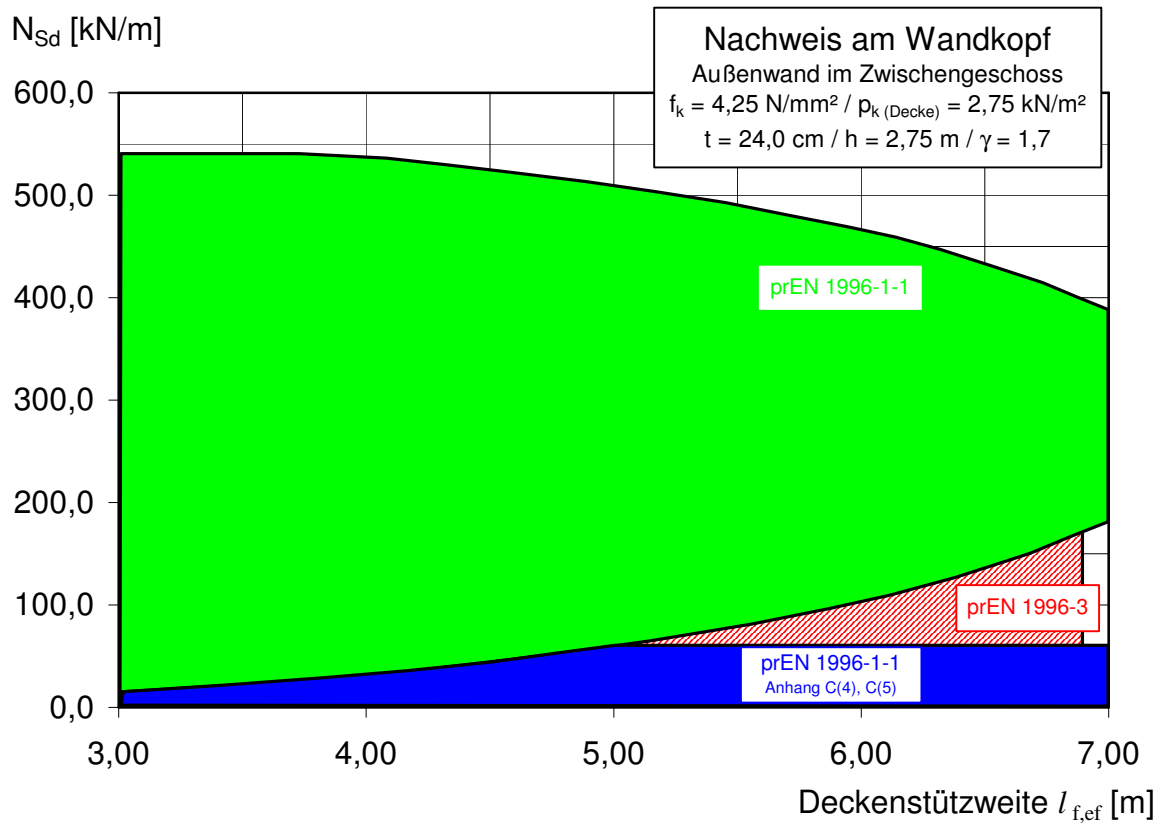


Diagramm 2.12

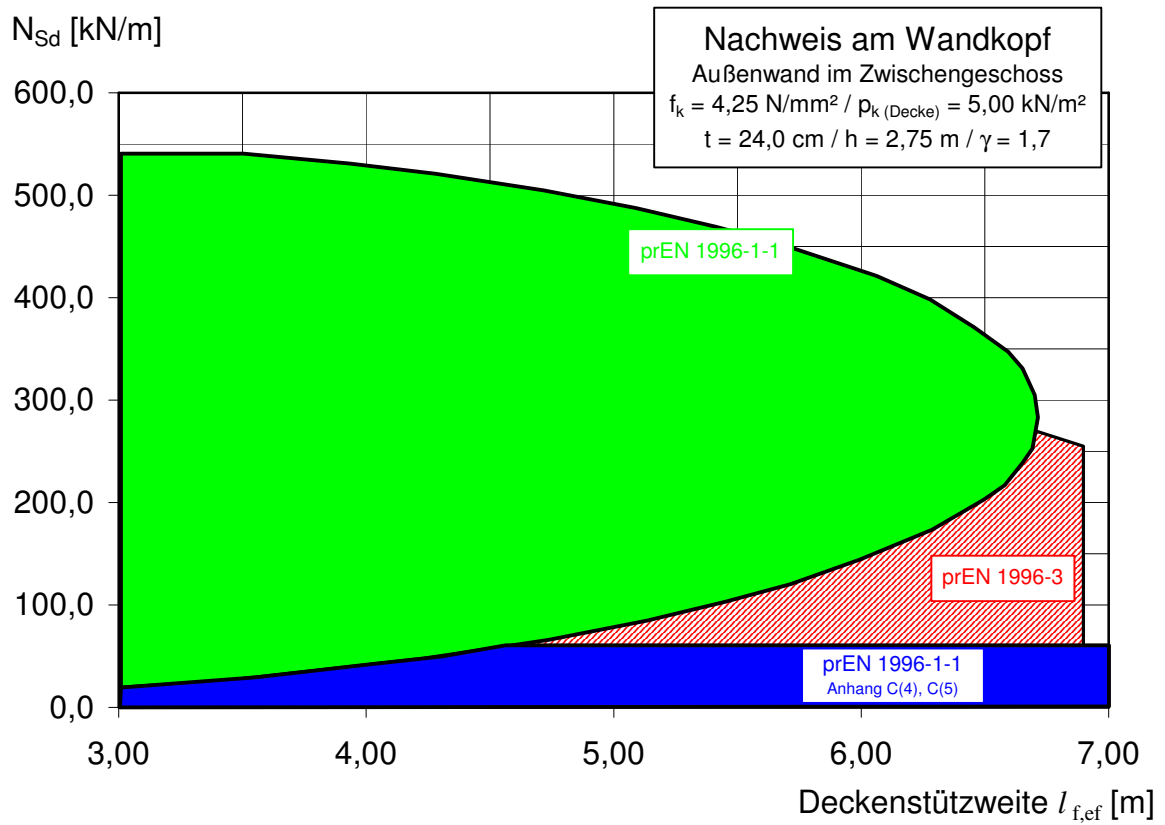


Diagramm 2.13

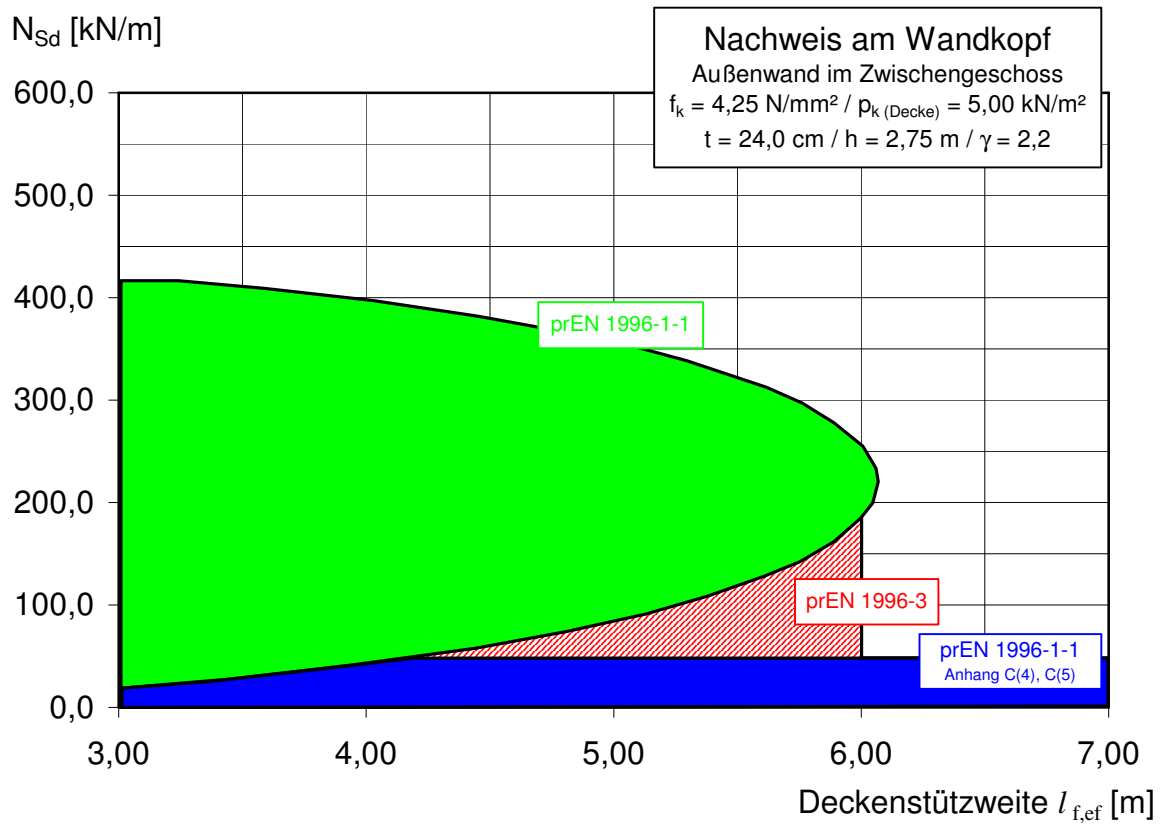


Diagramm 2.14

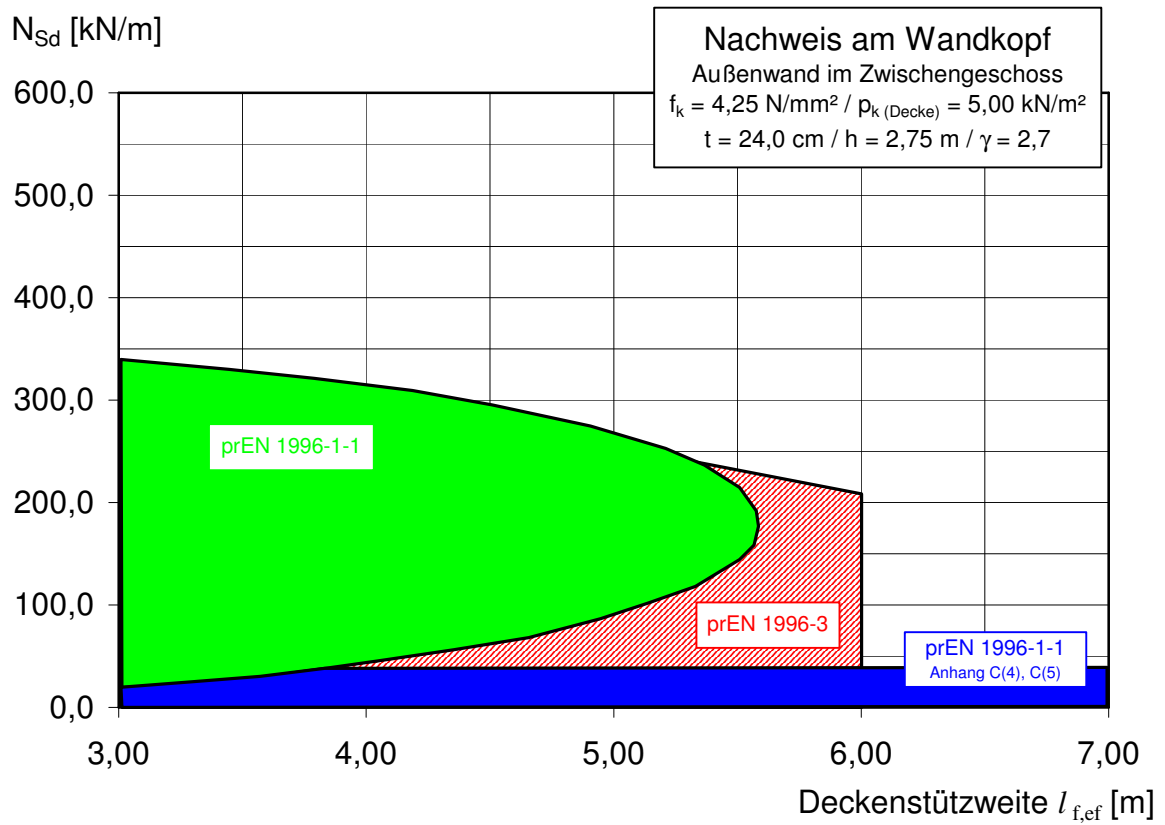


Diagramm 2.15

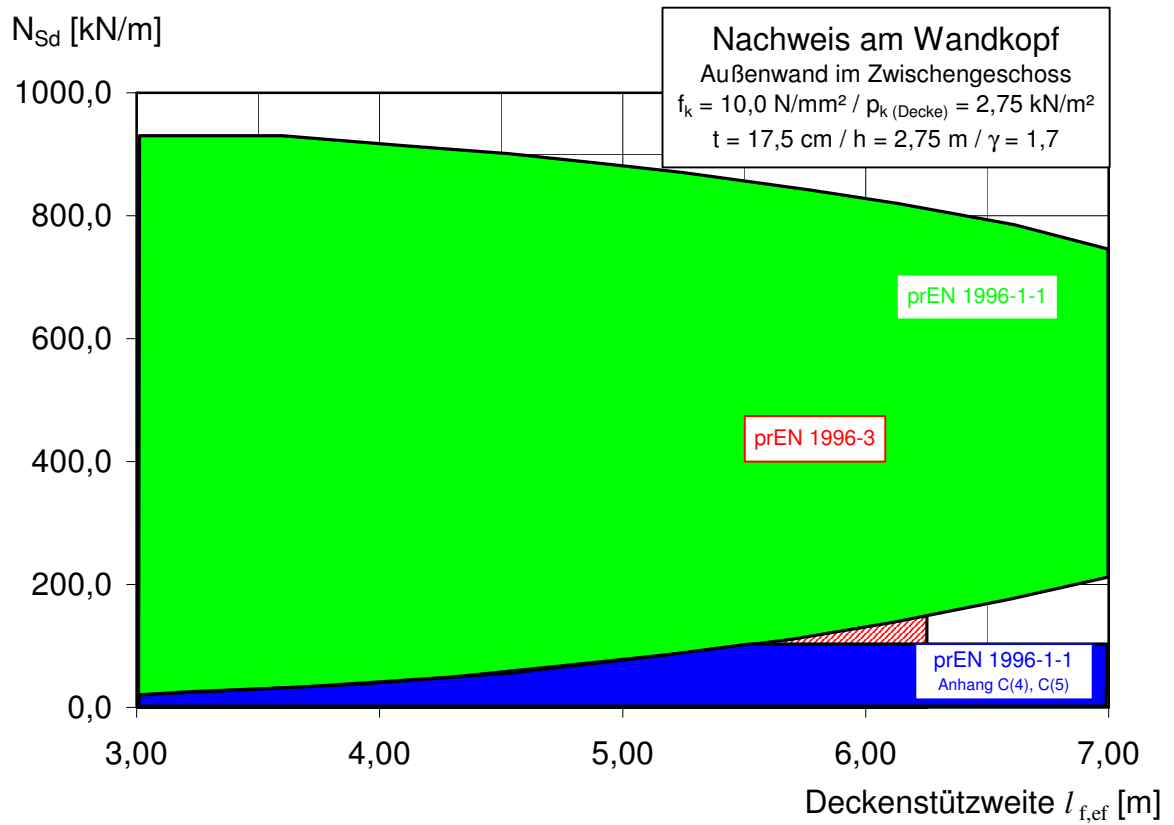




Diagramm 2.16

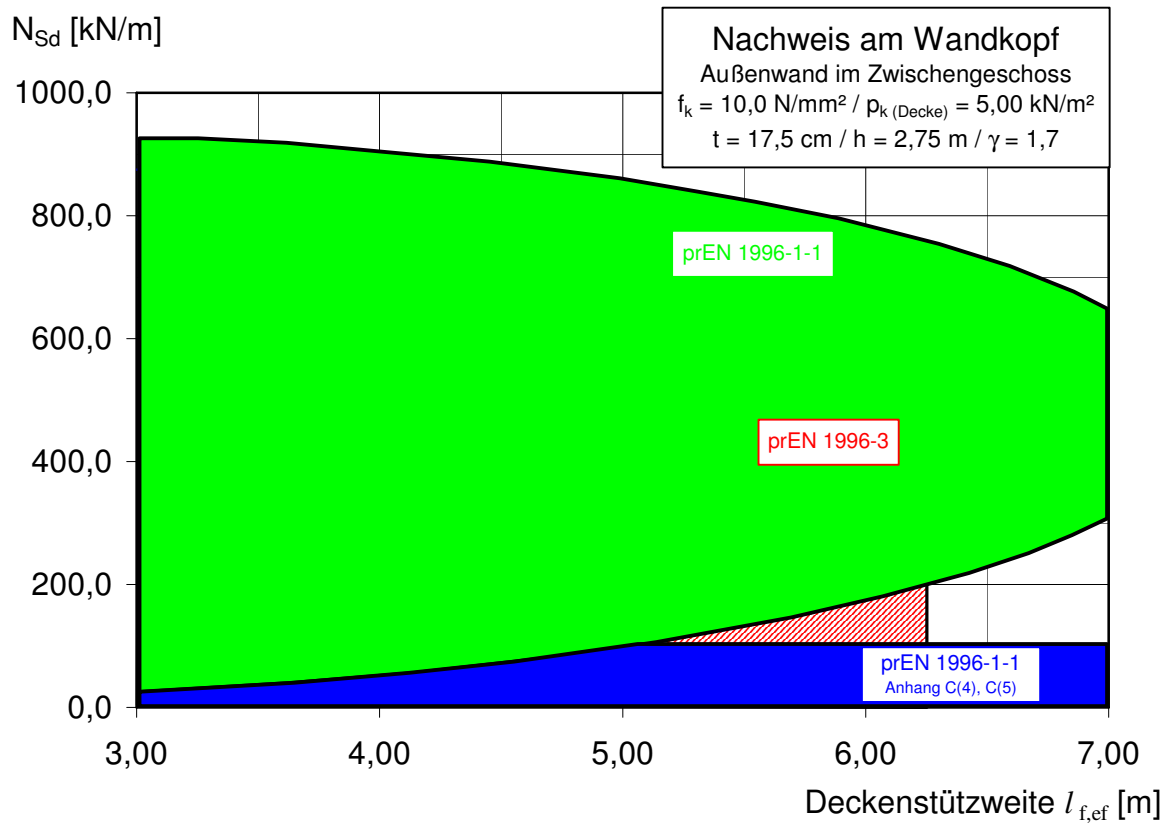


Diagramm 2.17

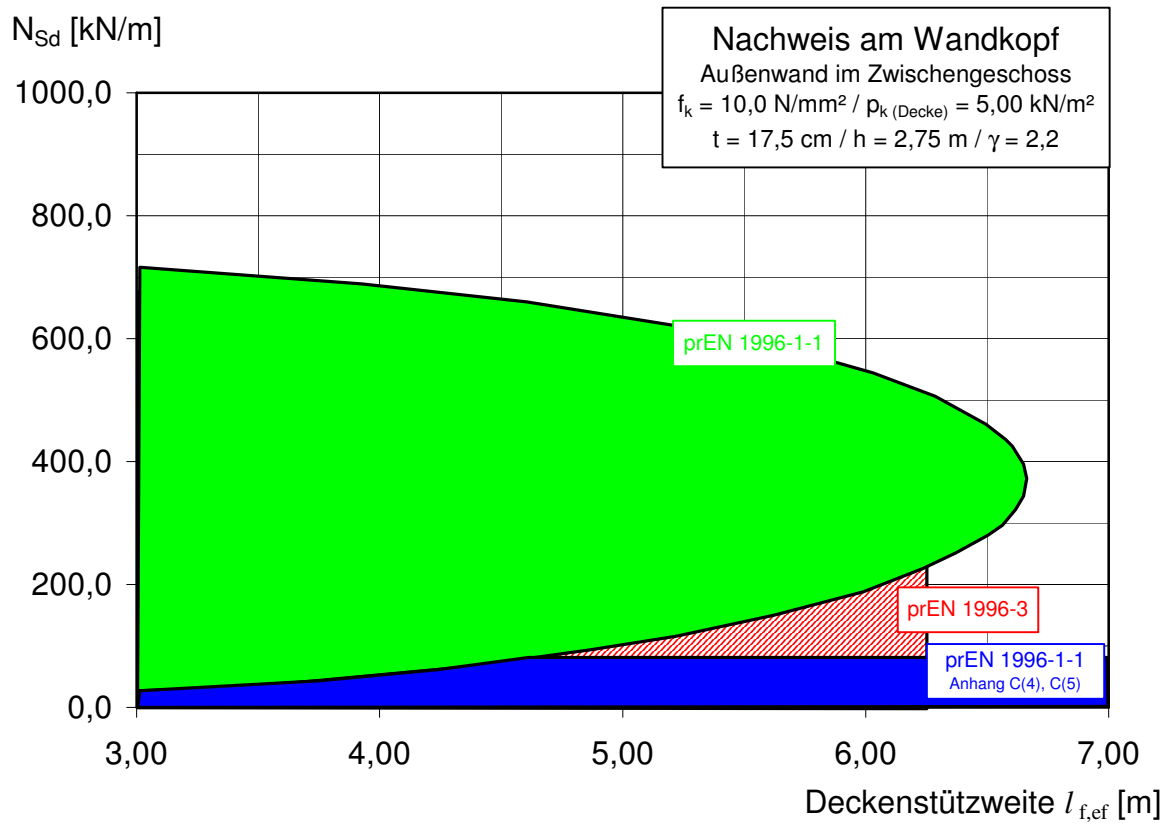
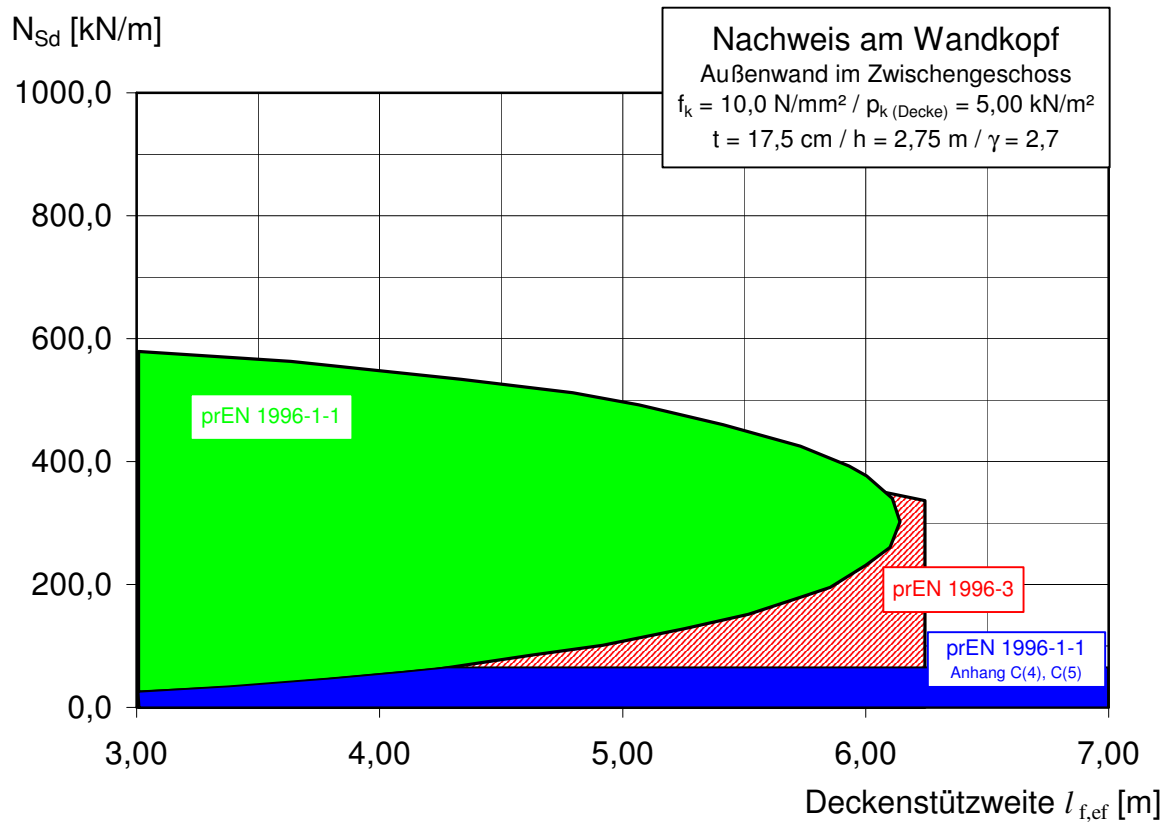


Diagramm 2.18



**Tabelle 2.1**

f <sub>k</sub> = 1,20 N/mm <sup>2</sup> / t = 36,5 cm / h = 2,75 m / p = 2,75 kN/m <sup>2</sup> / γ = 1,7							
l [m]	prEN 1996-1-1				prEN 1996-3		
	min Φ <sub>i</sub> [---]	min N <sub>Sd</sub> [kN/m]	max Φ <sub>i</sub> [---]	max N <sub>Sd</sub> [kN/m]	Block N <sub>Rd</sub> [kN/m]	Φ <sub>S</sub> [---]	N <sub>Rd</sub> [kN/m]
3,00	0,039	10,0	0,900	231,9	25,8	0,850	219,0
3,25	0,048	12,4	0,900	231,9	25,8	0,850	219,0
3,50	0,058	14,9	0,900	231,9	25,8	0,850	219,0
3,60	0,063	16,2	0,900	231,9	25,8	0,850	219,0
3,75	0,070	18,0	0,897	231,1	25,8	0,831	214,1
4,00	0,083	21,4	0,883	227,5	25,8	0,800	206,1
4,25	0,099	25,5	0,868	223,6	25,8	0,769	198,1
4,50	0,117	30,1	0,850	219,0	25,8	0,738	190,1
4,75	0,137	35,3	0,830	213,8	25,8	0,706	181,9
5,00	0,160	41,2	0,806	207,7	25,8	0,675	173,9
5,25	0,188	48,4	0,779	200,7	25,8	0,644	165,9
5,50	0,220	56,7	0,746	192,2	25,8	0,613	157,9
5,75	0,260	67,0	0,707	182,2	25,8	0,581	149,7
6,00	0,312	80,4	0,654	168,5	25,8	0,550	141,7
6,25	0,397	102,3	0,569	146,6	25,8		
6,30	0,429	110,5	0,537	138,4	25,8		
6,33	0,484	124,7	0,484	124,7	25,8		
6,50					25,8		
6,75					25,8		
6,90					25,8		
7,00					25,8		

**Tabelle 2.2**

f <sub>k</sub> = 1,20 N/mm <sup>2</sup> / t = 36,5 cm / h = 2,75 m / p = 5,00 kN/m <sup>2</sup> / γ = 1,7							
l [m]	prEN 1996-1-1				prEN 1996-3		
	min Φ <sub>i</sub> [---]	min N <sub>Sd</sub> [kN/m]	max Φ <sub>i</sub> [---]	max N <sub>Sd</sub> [kN/m]	Block N <sub>Rd</sub> [kN/m]	Φ <sub>S</sub> [---]	N <sub>Rd</sub> [kN/m]
3,00	0,048	12,4	0,900	231,9	25,8	0,850	219,0
3,25	0,059	15,2	0,900	231,9	25,8	0,850	219,0
3,50	0,073	18,8	0,894	230,3	25,8	0,850	219,0
3,60	0,079	20,4	0,888	228,8	25,8	0,850	219,0
3,75	0,088	22,7	0,878	226,2	25,8	0,831	214,2
4,00	0,107	27,6	0,860	221,6	25,8	0,800	206,1
4,25	0,128	33,0	0,839	216,2	25,8	0,769	198,1
4,50	0,153	39,4	0,814	209,7	25,8	0,738	190,0
4,75	0,182	46,9	0,785	202,3	25,8	0,706	182,0
5,00	0,218	56,2	0,749	193,0	25,8	0,675	173,9
5,25	0,262	67,5	0,705	181,6	25,8	0,644	165,9
5,50	0,322	83,0	0,645	166,2	25,8	0,613	157,8
5,75	0,445	114,7	0,521	134,2	25,8	0,581	149,8
5,77	0,484	124,7	0,484	124,7	25,8	0,579	149,3
6,00					25,8	0,550	141,7
6,25					25,8		
6,50					25,8		
6,75					25,8		
7,00					25,8		

**Tabelle 2.3**

f <sub>k</sub> = 1,20 N/mm <sup>2</sup> / t = 36,5 cm / h = 2,75 m / p = 5,00 kN/m <sup>2</sup> / γ = 2,2							
l [m]	prEN 1996-1-1				prEN 1996-3		
	min Φ <sub>i</sub> [---]	min N <sub>Sd</sub> [kN/m]	max Φ <sub>i</sub> [---]	max N <sub>Sd</sub> [kN/m]	Block N <sub>Rd</sub> [kN/m]	Φ <sub>S</sub> [---]	N <sub>Rd</sub> [kN/m]
3,00	0,063	12,5	0,900	179,2	19,9	0,850	169,2
3,25	0,078	15,5	0,888	176,8	19,9	0,850	169,2
3,50	0,097	19,3	0,870	173,2	19,9	0,850	169,2
3,60	0,105	20,9	0,861	171,4	19,9	0,850	169,2
3,75	0,119	23,7	0,848	168,8	19,9	0,831	165,5
4,00	0,144	28,7	0,822	163,7	19,9	0,800	159,3
4,25	0,175	34,8	0,791	157,5	19,9	0,769	153,1
4,50	0,214	42,6	0,753	149,9	19,9	0,738	146,8
4,75	0,262	52,2	0,704	140,2	19,9	0,706	140,6
5,00	0,332	66,1	0,635	126,4	19,9	0,675	134,4
5,21	0,484	96,4	0,484	96,4	19,9	0,649	129,3
5,25					19,9	0,644	128,2
5,50					19,9	0,613	121,9
5,75					19,9	0,581	115,7
6,00					19,9	0,550	109,5
6,25					19,9		
6,50					19,9		
6,75					19,9		
7,00					19,9		

**Tabelle 2.4**

f <sub>k</sub> = 1,20 N/mm <sup>2</sup> / t = 36,5 cm / h = 2,75 m / p = 5,00 kN/m <sup>2</sup> / γ = 2,7							
l [m]	prEN 1996-1-1				prEN 1996-3		
	min Φ <sub>i</sub> [---]	min N <sub>Sd</sub> [kN/m]	max Φ <sub>i</sub> [---]	max N <sub>Sd</sub> [kN/m]	Block N <sub>Rd</sub> [kN/m]	Φ <sub>S</sub> [---]	N <sub>Rd</sub> [kN/m]
3,00	0,079	12,8	0,888	144,1	16,2	0,850	137,9
3,25	0,099	16,1	0,868	140,8	16,2	0,850	137,9
3,50	0,122	19,8	0,844	136,9	16,2	0,850	137,9
3,60	0,133	21,6	0,833	135,1	16,2	0,850	137,9
3,75	0,151	24,5	0,815	132,2	16,2	0,831	134,8
4,00	0,187	30,3	0,780	126,5	16,2	0,800	129,8
4,25	0,232	37,6	0,735	119,2	16,2	0,769	124,7
4,50	0,293	47,5	0,674	109,3	16,2	0,738	119,6
4,75	0,401	65,1	0,566	91,8	16,2	0,706	114,6
4,81	0,484	78,5	0,484	78,5	16,2	0,699	113,5
5,00					16,2	0,675	109,5
5,25					16,2	0,644	104,4
5,50					16,2	0,613	99,4
5,75					16,2	0,581	94,3
6,00					16,2	0,550	89,2
6,25					16,2		
6,50					16,2		
6,75					16,2		
7,00					16,2		

**Tabelle 2.5**

f <sub>k</sub> = 1,80 N/mm <sup>2</sup> / t = 30 cm / h = 2,75 m / p = 2,75 kN/m <sup>2</sup> / γ = 1,7							
l [m]	prEN 1996-1-1					prEN 1996-3	
	min Φ <sub>i</sub> [---]	min N <sub>Sd</sub> [kN/m]	max Φ <sub>i</sub> [---]	max N <sub>Sd</sub> [kN/m]	Block N <sub>Rd</sub> [kN/m]	Φ <sub>S</sub> [---]	N <sub>Rd</sub> [kN/m]
3,00	0,033	10,5	0,900	285,9	31,8	0,850	270,0
3,25	0,040	12,7	0,900	285,9	31,8	0,850	270,0
3,50	0,049	15,6	0,900	285,9	31,8	0,850	270,0
3,60	0,053	16,8	0,900	285,9	31,8	0,850	270,0
3,75	0,059	18,7	0,900	285,9	31,8	0,831	264,0
4,00	0,071	22,6	0,888	282,1	31,8	0,800	254,1
4,25	0,084	26,7	0,875	277,9	31,8	0,769	244,3
4,50	0,099	31,4	0,860	273,2	31,8	0,738	234,4
4,75	0,117	37,2	0,843	267,8	31,8	0,706	224,3
5,00	0,137	43,5	0,823	261,4	31,8	0,675	214,4
5,25	0,160	50,8	0,800	254,1	31,8	0,644	204,6
5,50	0,186	59,1	0,773	245,5	31,8	0,613	194,7
5,75	0,218	69,2	0,741	235,4	31,8	0,581	184,6
6,00	0,256	81,3	0,703	223,3	31,8	0,550	174,7
6,25	0,307	97,5	0,653	207,4	31,8		
6,50	0,385	122,3	0,574	182,3	31,8		
6,60	0,480	152,5	0,480	152,5	31,8		
6,75					31,8		
7,00					31,8		



**Tabelle 2.6**

$f_k = 1,80 \text{ N/mm}^2 / t = 30 \text{ cm} / h = 2,75 \text{ m} / p = 5,00 \text{ kN/m}^2 / \gamma = 1,7$							
$l$ [m]	prEN 1996-1-1				prEN 1996-3		
	min $\Phi_i$ [---]	min $N_{Sd}$ [kN/m]	max $\Phi_i$ [---]	max $N_{Sd}$ [kN/m]	Block $N_{Rd}$ [kN/m]	$\Phi_S$ [---]	$N_{Rd}$ [kN/m]
3,00	0,043	13,7	0,900	285,9	31,8	0,850	270,0
3,25	0,053	16,8	0,900	285,9	31,8	0,850	270,0
3,50	0,063	20,0	0,898	285,2	31,8	0,850	270,0
3,60	0,067	21,3	0,893	283,7	31,8	0,850	270,0
3,75	0,074	23,5	0,885	281,1	31,8	0,831	264,0
4,00	0,092	29,2	0,869	276,0	31,8	0,800	254,1
4,25	0,110	34,9	0,852	270,6	31,8	0,769	244,2
4,50	0,130	41,3	0,831	264,0	31,8	0,738	234,3
4,75	0,153	48,6	0,806	256,0	31,8	0,706	224,3
5,00	0,182	57,8	0,778	247,1	31,8	0,675	214,4
5,25	0,217	68,9	0,743	236,0	31,8	0,644	204,5
5,50	0,260	82,6	0,700	222,4	31,8	0,613	194,6
5,75	0,318	101,0	0,642	203,9	31,8	0,581	184,6
6,00	0,431	136,9	0,528	167,7	31,8	0,550	174,7
6,02	0,480	152,5	0,480	152,5	31,8		
6,25					31,8		
6,50					31,8		
6,75					31,8		
7,00					31,8		

**Tabelle 2.7**

f <sub>k</sub> = 1,80 N/mm <sup>2</sup> / t = 30 cm / h = 2,75 m / p = 2,75 kN/m <sup>2</sup> / γ = 2,2							
l [m]	prEN 1996-1-1				prEN 1996-3		
	min Φ <sub>i</sub> [---]	min N <sub>Sd</sub> [kN/m]	max Φ <sub>i</sub> [---]	max N <sub>Sd</sub> [kN/m]	Block N <sub>Rd</sub> [kN/m]	Φ <sub>S</sub> [---]	N <sub>Rd</sub> [kN/m]
3,00	0,043	10,6	0,900	220,9	24,5	0,850	208,6
3,25	0,053	13,0	0,900	220,9	24,5	0,850	208,6
3,50	0,065	16,0	0,895	219,7	24,5	0,850	208,6
3,60	0,070	17,2	0,890	218,5	24,5	0,850	208,6
3,75	0,078	19,1	0,881	216,2	24,5	0,831	204,0
4,00	0,094	23,1	0,865	212,3	24,5	0,800	196,4
4,25	0,113	27,7	0,847	207,9	24,5	0,769	188,7
4,50	0,134	32,9	0,825	202,5	24,5	0,738	181,0
4,75	0,159	39,0	0,800	196,4	24,5	0,706	173,4
5,00	0,189	46,4	0,770	189,0	24,5	0,675	165,7
5,25	0,225	55,2	0,734	180,2	24,5	0,644	158,0
5,50	0,270	66,3	0,689	169,1	24,5	0,613	150,3
5,75	0,334	82,0	0,625	153,4	24,5	0,581	142,7
5,97	0,480	117,8	0,480	117,8	24,5	0,554	136,0
6,00					24,5	0,550	135,0
6,25					24,5		
6,50					24,5		
6,75					24,5		
7,00					24,5		

**Tabelle 2.8**

f <sub>k</sub> = 1,80 N/mm <sup>2</sup> / t = 30 cm / h = 2,75 m / p = 5,00 kN/m <sup>2</sup> / γ = 2,2							
l [m]	prEN 1996-1-1				prEN 1996-3		
	min Φ <sub>i</sub> [---]	min N <sub>Sd</sub> [kN/m]	max Φ <sub>i</sub> [---]	max N <sub>Sd</sub> [kN/m]	Block N <sub>Rd</sub> [kN/m]	Φ <sub>S</sub> [---]	N <sub>Rd</sub> [kN/m]
3,00	0,052	12,8	0,900	220,9	24,5	0,850	208,6
3,25	0,065	16,0	0,894	219,4	24,5	0,850	208,6
3,50	0,081	19,9	0,879	215,8	24,5	0,850	208,6
3,60	0,088	21,6	0,872	214,0	24,5	0,850	208,6
3,75	0,099	24,3	0,860	211,1	24,5	0,831	204,0
4,00	0,120	29,5	0,839	205,9	24,5	0,800	196,4
4,25	0,146	35,8	0,813	199,6	24,5	0,769	188,7
4,50	0,177	43,4	0,783	192,2	24,5	0,738	181,0
4,75	0,214	52,5	0,745	182,9	24,5	0,706	173,4
5,00	0,262	64,3	0,697	171,1	24,5	0,675	165,7
5,25	0,331	81,2	0,628	154,1	24,5	0,644	158,0
5,46	0,480	117,8	0,480	117,8	24,5	0,618	151,7
5,50					24,5	0,613	150,3
5,75					24,5	0,581	142,7
6,00					24,5	0,550	135,0
6,25					24,5		
6,50					24,5		
6,75					24,5		
7,00					24,5		

**Tabelle 2.9**

f <sub>k</sub> = 1,80 N/mm <sup>2</sup> / t = 30 cm / h = 2,75 m / p = 2,75 kN/m <sup>2</sup> / γ = 2,7							
l [m]	prEN 1996-1-1				prEN 1996-3		
	min Φ <sub>i</sub> [---]	min N <sub>Sd</sub> [kN/m]	max Φ <sub>i</sub> [---]	max N <sub>Sd</sub> [kN/m]	Block N <sub>Rd</sub> [kN/m]	Φ <sub>S</sub> [---]	N <sub>Rd</sub> [kN/m]
3,00	0,053	10,6	0,900	180,0	20,0	0,850	170,0
3,25	0,066	13,2	0,893	178,6	20,0	0,850	170,0
3,50	0,081	16,2	0,879	175,8	20,0	0,850	170,0
3,60	0,087	17,4	0,872	174,4	20,0	0,850	170,0
3,75	0,098	19,6	0,861	172,2	20,0	0,831	166,3
4,00	0,119	23,8	0,840	168,0	20,0	0,800	160,0
4,25	0,143	28,6	0,816	163,2	20,0	0,769	153,8
4,50	0,172	34,4	0,787	157,4	20,0	0,738	147,5
4,75	0,208	41,6	0,751	150,2	20,0	0,706	141,3
5,00	0,253	50,6	0,707	141,4	20,0	0,675	135,0
5,25	0,314	62,8	0,645	129,0	20,0	0,644	128,8
5,50	0,442	88,4	0,517	103,4	20,0	0,613	122,5
5,51	0,480	96,0	0,480	96,0	20,0	0,611	122,2
5,75					20,0	0,581	116,3
6,00					20,0	0,550	110,0
6,25					20,0		
6,50					20,0		
6,75					20,0		
7,00					20,0		

**Tabelle 2.10**

$f_k = 1,80 \text{ N/mm}^2 / t = 30 \text{ cm} / h = 2,75 \text{ m} / p = 5,00 \text{ kN/m}^2 / \gamma = 2,7$							
$l$ [m]	prEN 1996-1-1					prEN 1996-3	
	min $\Phi_i$ [---]	min $N_{Sd}$ [kN/m]	max $\Phi_i$ [---]	max $N_{Sd}$ [kN/m]	Block $N_{Rd}$ [kN/m]	$\Phi_S$ [---]	$N_{Rd}$ [kN/m]
3,00	0,065	13,0	0,894	178,8	20,0	0,850	170,0
3,25	0,082	16,4	0,878	175,6	20,0	0,850	170,0
3,50	0,101	20,2	0,858	171,6	20,0	0,850	170,0
3,60	0,110	22,0	0,849	169,8	20,0	0,850	170,0
3,75	0,125	25,0	0,834	166,8	20,0	0,831	166,3
4,00	0,154	30,8	0,805	161,0	20,0	0,800	160,0
4,25	0,189	37,8	0,770	154,0	20,0	0,769	153,8
4,50	0,234	46,8	0,725	145,0	20,0	0,738	147,5
4,75	0,295	59,0	0,665	133,0	20,0	0,706	141,3
5,00	0,404	80,8	0,555	111,0	20,0	0,675	135,0
5,05	0,480	96,0	0,480	96,0	20,0	0,669	133,8
5,25					20,0	0,644	128,8
5,50					20,0	0,613	122,5
5,75					20,0	0,581	116,3
6,00					20,0	0,550	110,0
6,25					20,0		
6,50					20,0		
6,75					20,0		
7,00					20,0		

**Tabelle 2.11**

f <sub>k</sub> = 4,25 N/mm <sup>2</sup> / t = 24 cm / h = 2,75 m / p = 2,75 kN/m <sup>2</sup> / γ = 1,7							
l [m]	prEN 1996-1-1					prEN 1996-3	
	min Φ <sub>i</sub> [---]	min N <sub>Sd</sub> [kN/m]	max Φ <sub>i</sub> [---]	max N <sub>Sd</sub> [kN/m]	Block N <sub>Rd</sub> [kN/m]	Φ <sub>S</sub> [---]	N <sub>Rd</sub> [kN/m]
3,00	0,026	15,6	0,900	540,0	60,0	0,850	510,0
3,25	0,031	18,6	0,900	540,0	60,0	0,850	510,0
3,50	0,038	22,8	0,900	540,0	60,0	0,850	510,0
3,60	0,041	24,6	0,900	540,0	60,0	0,850	510,0
3,75	0,045	27,0	0,900	540,0	60,0	0,831	498,8
4,00	0,054	32,4	0,895	537,0	60,0	0,800	480,0
4,25	0,064	38,4	0,886	531,6	60,0	0,769	461,3
4,50	0,074	44,4	0,875	525,0	60,0	0,738	442,5
4,75	0,086	51,6	0,863	517,8	60,0	0,706	423,8
5,00	0,100	60,0	0,849	509,4	60,0	0,675	405,0
5,25	0,115	69,0	0,834	500,4	60,0	0,644	386,3
5,50	0,132	79,2	0,817	490,2	60,0	0,613	367,5
5,75	0,151	90,6	0,798	478,8	60,0	0,581	348,8
6,00	0,172	103,2	0,777	466,2	60,0	0,550	330,0
6,25	0,197	118,2	0,752	451,2	60,0	0,519	311,3
6,50	0,226	135,6	0,723	433,8	60,0	0,488	292,5
6,75	0,260	156,0	0,689	413,4	60,0	0,456	273,8
6,90	0,285	171,0	0,664	398,4	60,0	0,438	262,5
7,00	0,304	182,4	0,645	387,0	60,0		

**Tabelle 2.12**

$f_k = 4,25 \text{ N/mm}^2 / t = 24 \text{ cm} / h = 2,75 \text{ m} / p = 5,00 \text{ kN/m}^2 / \gamma = 1,7$							
$l$ [m]	prEN 1996-1-1					prEN 1996-3	
	min $\Phi_i$ [---]	min $N_{Sd}$ [kN/m]	max $\Phi_i$ [---]	max $N_{Sd}$ [kN/m]	Block $N_{Rd}$ [kN/m]	$\Phi_S$ [---]	$N_{Rd}$ [kN/m]
3,00	0,032	19,2	0,900	540,0	60,0	0,850	510,0
3,25	0,039	23,4	0,900	540,0	60,0	0,850	510,0
3,50	0,047	28,2	0,900	540,0	60,0	0,850	510,0
3,60	0,051	30,6	0,898	538,8	60,0	0,850	510,0
3,75	0,057	34,2	0,892	535,2	60,0	0,831	498,8
4,00	0,068	40,8	0,881	528,6	60,0	0,800	480,0
4,25	0,081	48,6	0,868	520,8	60,0	0,769	461,3
4,50	0,095	57,0	0,854	512,4	60,0	0,738	442,5
4,75	0,112	67,2	0,837	502,2	60,0	0,706	423,8
5,00	0,131	78,6	0,819	491,4	60,0	0,675	405,0
5,25	0,152	91,2	0,797	478,2	60,0	0,644	386,3
5,50	0,176	105,6	0,773	463,8	60,0	0,613	367,5
5,75	0,205	123,0	0,745	447,0	60,0	0,581	348,8
6,00	0,239	143,4	0,711	426,6	60,0	0,550	330,0
6,25	0,281	168,6	0,668	400,8	60,0	0,519	311,3
6,50	0,340	204,0	0,609	365,4	60,0	0,488	292,5
6,72	0,475	285,0	0,475	285,0	60,0	0,460	276,0
6,75					60,0	0,456	273,8
6,90					60,0	0,438	262,5
7,00					60,0		

**Tabelle 2.13**

$f_k = 4,25 \text{ N/mm}^2 / t = 24 \text{ cm} / h = 2,75 \text{ m} / p = 5,00 \text{ kN/m}^2 / \gamma = 2,2$							
$l$ [m]	prEN 1996-1-1				prEN 1996-3		
	min $\Phi_i$ [---]	min $N_{Sd}$ [kN/m]	max $\Phi_i$ [---]	max $N_{Sd}$ [kN/m]	Block $N_{Rd}$ [kN/m]	$\Phi_S$ [---]	$N_{Rd}$ [kN/m]
3,00	0,041	19,0	0,900	417,3	46,4	0,850	394,1
3,25	0,051	23,6	0,898	416,3	46,4	0,850	394,1
3,50	0,062	28,7	0,887	411,2	46,4	0,850	394,1
3,60	0,067	31,1	0,882	408,9	46,4	0,850	394,1
3,75	0,076	35,2	0,874	405,2	46,4	0,831	385,4
4,00	0,091	42,2	0,858	397,8	46,4	0,800	370,9
4,25	0,108	50,1	0,841	389,9	46,4	0,769	356,4
4,50	0,129	59,8	0,820	380,2	46,4	0,738	341,9
4,75	0,152	70,5	0,797	369,5	46,4	0,706	327,4
5,00	0,180	83,5	0,770	357,0	46,4	0,675	313,0
5,25	0,212	98,3	0,737	341,7	46,4	0,644	298,5
5,50	0,253	117,3	0,696	322,7	46,4	0,613	284,0
5,75	0,307	142,3	0,642	297,7	46,4	0,581	269,5
6,00	0,398	184,5	0,551	255,5	46,4	0,550	255,0
6,06	0,475	220,2	0,475	220,2	46,4		
6,25					46,4		
6,50					46,4		
6,75					46,4		
7,00					46,4		



**Tabelle 2.14**

f <sub>k</sub> = 4,25 N/mm <sup>2</sup> / t = 24 cm / h = 2,75 m / p = 5,00 kN/m <sup>2</sup> / γ = 2,7							
l [m]	prEN 1996-1-1					prEN 1996-3	
	min Φ <sub>i</sub> [---]	min N <sub>Sd</sub> [kN/m]	max Φ <sub>i</sub> [---]	max N <sub>Sd</sub> [kN/m]	Block N <sub>Rd</sub> [kN/m]	Φ <sub>S</sub> [---]	N <sub>Rd</sub> [kN/m]
3,00	0,051	19,3	0,898	339,2	37,8	0,850	321,1
3,25	0,063	23,8	0,886	334,7	37,8	0,850	321,1
3,50	0,078	29,5	0,871	329,0	37,8	0,850	321,1
3,60	0,084	31,7	0,865	326,8	37,8	0,850	321,1
3,75	0,095	35,9	0,854	322,6	37,8	0,831	314,0
4,00	0,115	43,4	0,834	315,1	37,8	0,800	302,2
4,25	0,138	52,1	0,811	306,4	37,8	0,769	290,4
4,50	0,165	62,3	0,784	296,2	37,8	0,738	278,6
4,75	0,198	74,8	0,751	283,7	37,8	0,706	266,8
5,00	0,239	90,3	0,710	268,2	37,8	0,675	255,0
5,25	0,292	110,3	0,657	248,2	37,8	0,644	243,2
5,50	0,379	143,2	0,570	215,3	37,8	0,613	231,4
5,59	0,475	179,4	0,475	179,4	37,8	0,601	227,1
5,75					37,8	0,581	219,6
6,00					37,8	0,550	207,8
6,06					37,8		
6,25					37,8		
6,50					37,8		
6,75					37,8		
7,00					37,8		

**Tabelle 2.15**

f <sub>k</sub> = 10,0 N/mm <sup>2</sup> / t = 17,5 cm / h = 2,75 m / p = 2,75 kN/m <sup>2</sup> / γ = 1,7							
l [m]	prEN 1996-1-1					prEN 1996-3	
	min Φ <sub>i</sub> [---]	min N <sub>Sd</sub> [kN/m]	max Φ <sub>i</sub> [---]	max N <sub>Sd</sub> [kN/m]	Block N <sub>Rd</sub> [kN/m]	Φ <sub>S</sub> [---]	N <sub>Rd</sub> [kN/m]
3,00	0,019	19,6	0,900	926,5	102,9	0,850	875,0
3,25	0,024	24,7	0,900	926,5	102,9	0,850	875,0
3,50	0,028	28,8	0,900	926,5	102,9	0,850	875,0
3,60	0,031	31,9	0,900	926,5	102,9	0,850	875,0
3,75	0,034	35,0	0,896	922,4	102,9	0,831	855,4
4,00	0,040	41,2	0,890	916,2	102,9	0,800	823,5
4,25	0,048	49,4	0,882	907,9	102,9	0,769	791,6
4,50	0,056	57,6	0,874	899,7	102,9	0,738	759,7
4,75	0,065	66,9	0,866	891,5	102,9	0,706	726,8
5,00	0,075	77,2	0,856	881,2	102,9	0,675	694,9
5,25	0,086	88,5	0,845	869,9	102,9	0,644	662,9
5,50	0,098	100,9	0,832	856,5	102,9	0,613	631,0
5,75	0,111	114,3	0,819	843,1	102,9	0,581	598,1
6,00	0,126	129,7	0,804	827,6	102,9	0,550	566,2
6,25	0,143	147,2	0,787	810,1	102,9	0,519	534,3
6,50	0,161	165,7	0,769	791,6	102,9		
6,75	0,182	187,4	0,748	770,0	102,9		
7,00	0,206	212,1	0,724	745,3	102,9		

**Tabelle 2.16**

f <sub>k</sub> = 10,0 N/mm <sup>2</sup> / t = 17,5 cm / h = 2,75 m / p = 5,00 kN/m <sup>2</sup> / γ = 1,7							
l [m]	prEN 1996-1-1					prEN 1996-3	
	min Φ <sub>i</sub> [---]	min N <sub>Sd</sub> [kN/m]	max Φ <sub>i</sub> [---]	max N <sub>Sd</sub> [kN/m]	Block N <sub>Rd</sub> [kN/m]	Φ <sub>S</sub> [---]	N <sub>Rd</sub> [kN/m]
3,00	0,024	24,7	0,900	926,5	102,9	0,850	875,0
3,25	0,029	29,9	0,900	926,5	102,9	0,850	875,0
3,50	0,035	36,0	0,895	921,3	102,9	0,850	875,0
3,60	0,038	39,1	0,892	918,2	102,9	0,850	875,0
3,75	0,043	44,3	0,888	914,1	102,9	0,831	855,7
4,00	0,051	52,5	0,879	904,9	102,9	0,800	823,5
4,25	0,060	61,8	0,870	895,6	102,9	0,769	791,4
4,50	0,071	73,1	0,859	884,3	102,9	0,738	759,2
4,75	0,083	85,4	0,847	871,9	102,9	0,706	727,0
5,00	0,096	98,8	0,834	858,5	102,9	0,675	694,9
5,25	0,111	114,3	0,819	843,1	102,9	0,644	662,7
5,50	0,128	131,8	0,802	825,6	102,9	0,613	630,5
5,75	0,147	151,3	0,783	806,0	102,9	0,581	598,3
6,00	0,168	172,9	0,762	784,4	102,9	0,550	566,2
6,25	0,193	198,7	0,737	758,7	102,9	0,519	534,0
6,50	0,222	228,5	0,708	728,8	102,9		
6,75	0,257	264,6	0,674	693,8	102,9		
7,00	0,301	309,9	0,629	647,5	102,9		

**Tabelle 2.17**

f <sub>k</sub> = 10,0 N/mm <sup>2</sup> / t = 17,5 cm / h = 2,75 m / p = 5,00 kN/m <sup>2</sup> / γ = 2,2							
l [m]	prEN 1996-1-1				prEN 1996-3		
	min Φ <sub>i</sub> [---]	min N <sub>Sd</sub> [kN/m]	max Φ <sub>i</sub> [---]	max N <sub>Sd</sub> [kN/m]	Block N <sub>Rd</sub> [kN/m]	Φ <sub>S</sub> [---]	N <sub>Rd</sub> [kN/m]
3,00	0,031	24,7	0,900	715,9	79,5	0,850	676,1
3,25	0,038	30,2	0,892	709,5	79,5	0,850	676,1
3,50	0,046	36,6	0,884	703,2	79,5	0,850	676,1
3,60	0,050	39,8	0,880	700,0	79,5	0,850	676,1
3,75	0,056	44,5	0,874	695,2	79,5	0,831	661,2
4,00	0,067	53,3	0,863	686,5	79,5	0,800	636,4
4,25	0,080	63,6	0,850	676,1	79,5	0,769	611,5
4,50	0,094	74,8	0,836	665,0	79,5	0,738	586,6
4,75	0,111	88,3	0,819	651,5	79,5	0,706	561,8
5,00	0,130	103,4	0,800	636,4	79,5	0,675	536,9
5,25	0,151	120,1	0,779	619,7	79,5	0,644	512,1
5,50	0,176	140,0	0,754	599,8	79,5	0,613	487,2
5,75	0,205	163,1	0,725	576,7	79,5	0,581	462,4
6,00	0,241	191,7	0,689	548,1	79,5	0,550	437,5
6,25	0,286	227,5	0,644	512,3	79,5	0,519	412,6
6,50	0,351	279,2	0,579	460,6	79,5		
6,66	0,465	369,9	0,465	369,9	79,5		
6,75					79,5		
7,00					79,5		

**Tabelle 2.18**

f <sub>k</sub> = 10,0 N/mm <sup>2</sup> / t = 17,5 cm / h = 2,75 m / p = 5,00 kN/m <sup>2</sup> / γ = 2,7							
l [m]	prEN 1996-1-1				prEN 1996-3		
	min Φ <sub>i</sub> [---]	min N <sub>Sd</sub> [kN/m]	max Φ <sub>i</sub> [---]	max N <sub>Sd</sub> [kN/m]	Block N <sub>Rd</sub> [kN/m]	Φ <sub>S</sub> [---]	N <sub>Rd</sub> [kN/m]
3,00	0,038	24,6	0,892	578,1	64,8	0,850	550,9
3,25	0,047	30,5	0,883	572,3	64,8	0,850	550,9
3,50	0,058	37,6	0,873	565,8	64,8	0,850	550,9
3,60	0,062	40,2	0,868	562,6	64,8	0,850	550,9
3,75	0,070	45,4	0,860	557,4	64,8	0,831	538,8
4,00	0,084	54,4	0,846	548,3	64,8	0,800	518,5
4,25	0,101	65,5	0,830	538,0	64,8	0,769	498,3
4,50	0,119	77,1	0,811	525,6	64,8	0,738	478,0
4,75	0,141	91,4	0,789	511,4	64,8	0,706	457,8
5,00	0,167	108,2	0,763	494,5	64,8	0,675	437,5
5,25	0,197	127,7	0,733	475,1	64,8	0,644	417,2
5,50	0,234	151,7	0,696	451,1	64,8	0,613	397,0
5,75	0,282	182,8	0,648	420,0	64,8	0,581	376,7
6,00	0,353	228,8	0,577	374,0	64,8	0,550	356,5
6,14	0,466	302,0	0,466	302,0	64,8	0,533	345,1
6,25					64,8	0,519	336,2
6,50					64,8		
6,75					64,8		
7,00					64,8		

# Anlage 3

Diagramme und Tabellenwerte  
zum Nachweis am obersten Außenwandknoten

Zulässige Abminderungsfaktoren in Abhängigkeit der Deckenlänge  
nach prEN 1996-1-1 und prEN 1996-3 im Vergleich

## Übersicht

Nr.	$f_k$ [N/mm]	$p_k$ (Decke) [kN/m <sup>2</sup> ]	t [cm]	h [m]	$\gamma$ [---]	Seite	
						Diagramm	Tabelle
3.1	1,20	5,00	17,5 / 24,0 / 30,0 / 36,5	2,75	1,7	A3/2	A3/6
3.2	1,80					A3/3	A3/7
3.3	4,25					A3/4	A3/8
3.4	10,00					A3/5	A3/9

mit:

- $f_k$  charakteristische Druckfestigkeit der Wand
- $p_k$  (Decke) charakteristischer Wert der Verkehrslast auf der Decke
- t Wandsdicke
- h Wandhöhe
- $\gamma$  Sicherheitsbeiwert für den Baustoff (Mauerwerk)

weitere Parameter:

- $d_B = 18$  cm Deckendicke
- $E_B = 28800$  Elastizitätsmodul der Decke (C 20/25)
- $E_M = 1000 \cdot f_k$  Elastizitätsmodul der Wand
- $g_k$  (Decke) = 6,00 kN/m<sup>2</sup> charakteristischer Wert der ständigen Deckenlast (incl. Fußbodenaufbau)

Berechnung am Teilrahmensystem für den obersten Wandknoten der Außenwand nach prEN 1996-1-1, Anhang C:

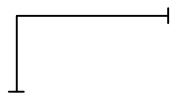


Diagramm 3.1

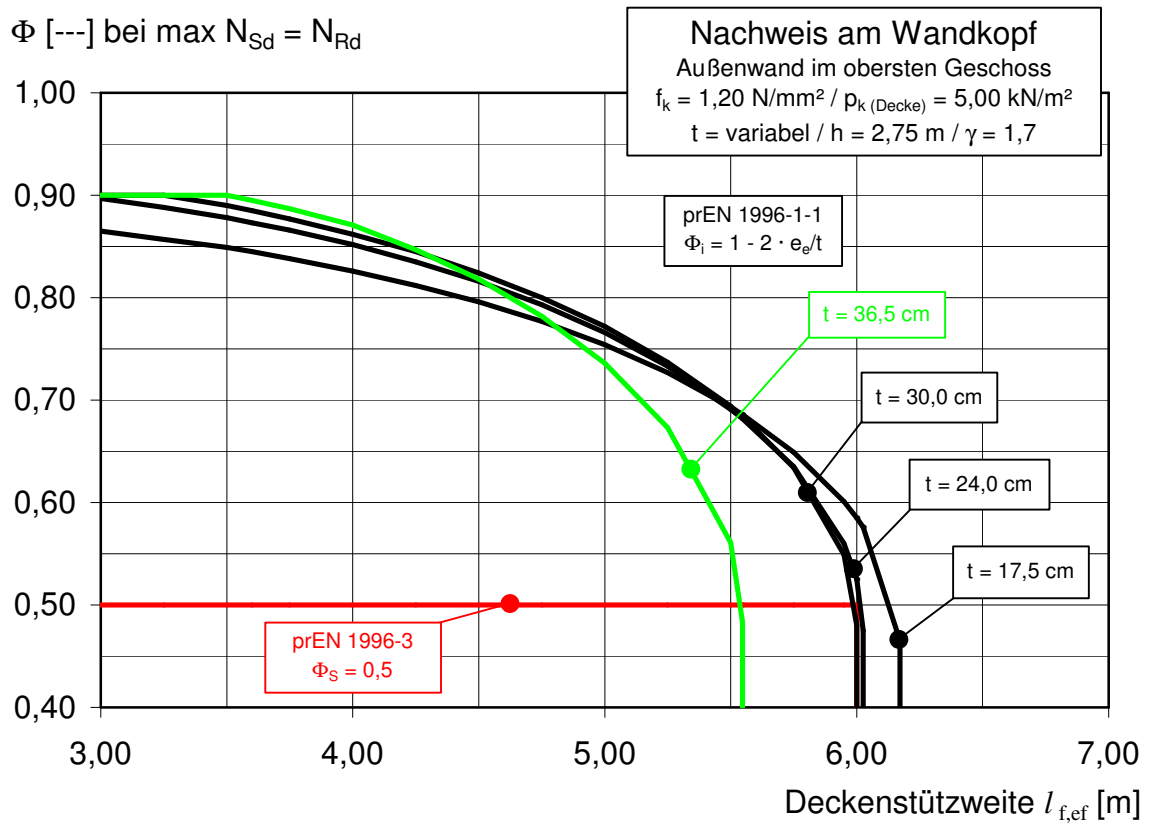




Diagramm 3.2

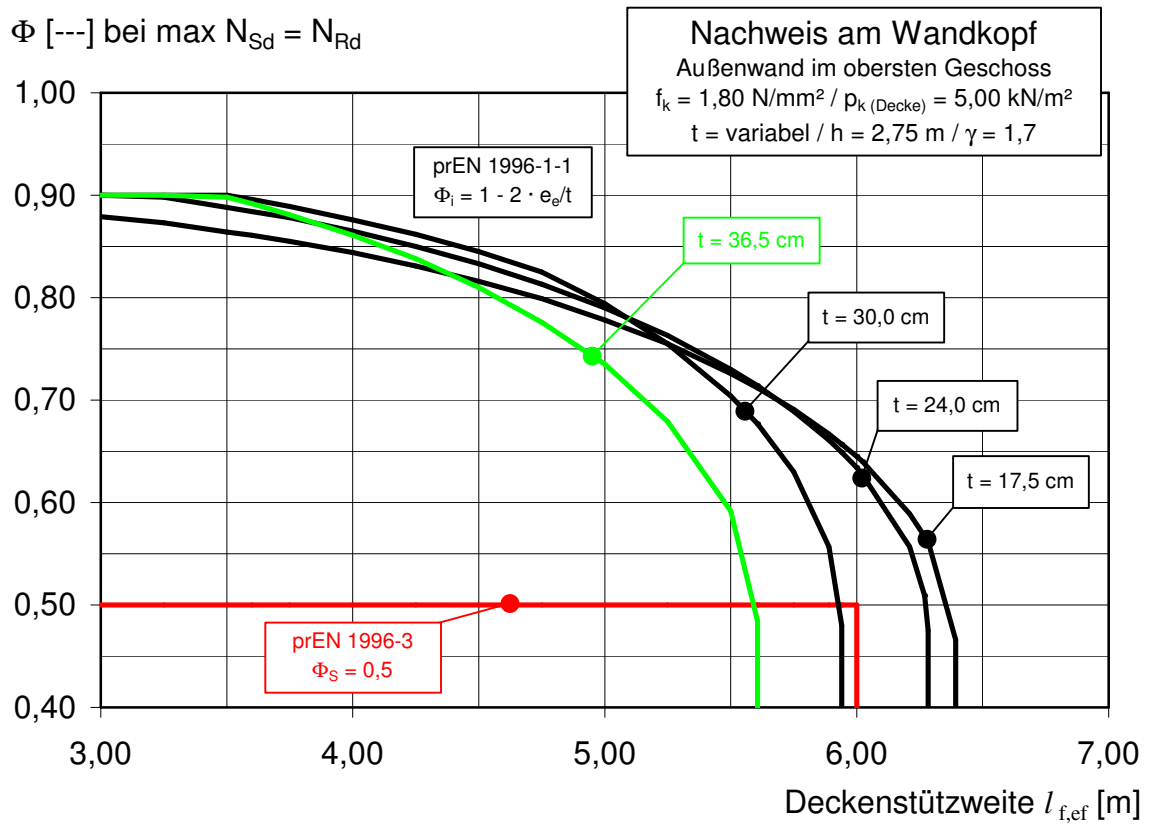


Diagramm 3.3

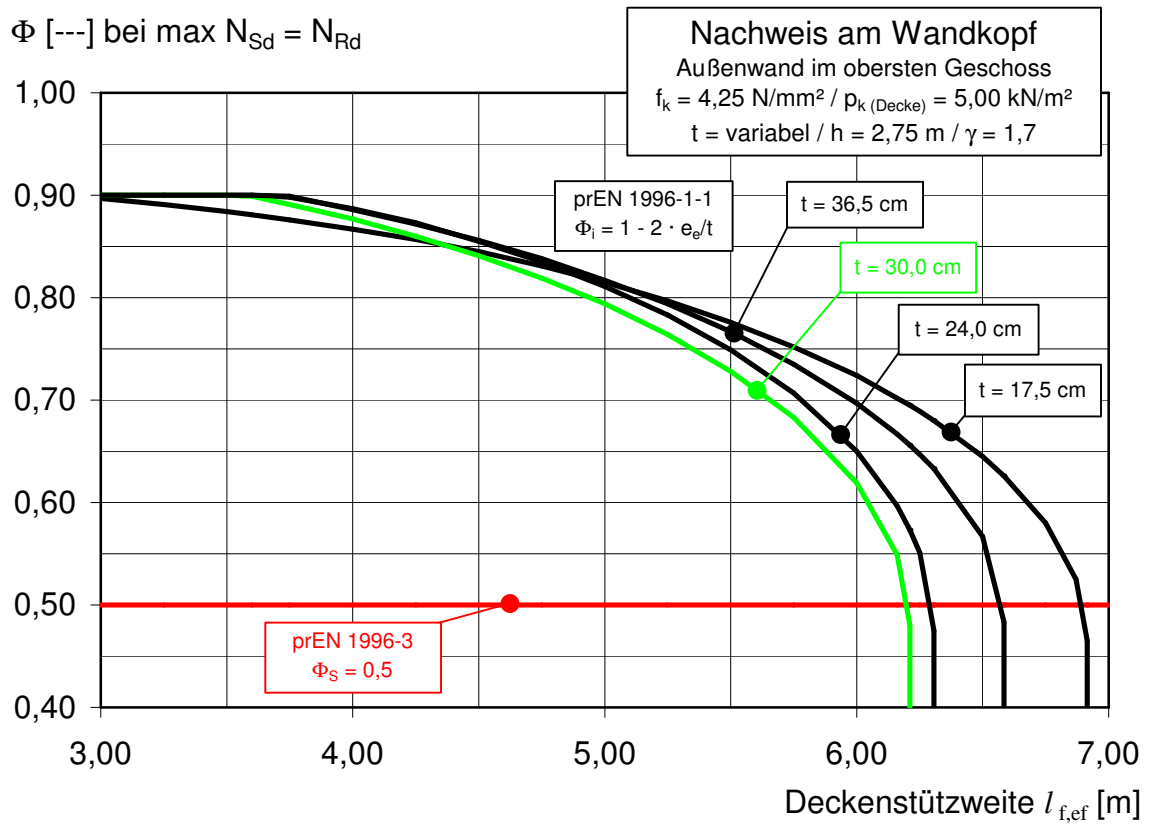
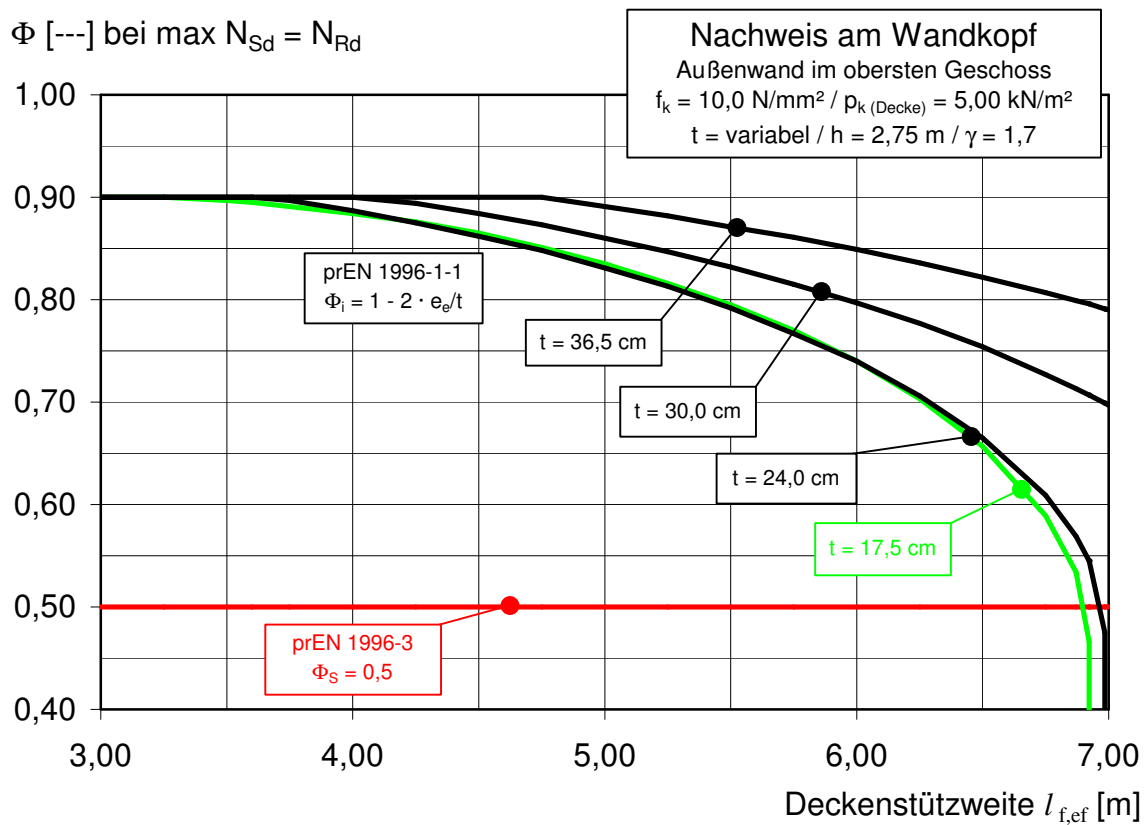


Diagramm 3.4



**Tabelle 3.1**

f <sub>k</sub> = 1,20 N/mm <sup>2</sup> / t = variabel / h = 2,75 m / p = 5,00 kN/m <sup>2</sup> / γ = 1,7					
l [m]	prEN 1996-1-1				prEN 1996-3
	Φ <sub>i</sub> [---] bei t [cm] =				Φ <sub>s</sub> [---] für alle t
	17,5	24,0	30,0	36,5	
3,00	0,865	0,897	0,900	0,900	0,500
3,25	0,857	0,888	0,900	0,900	0,500
3,50	0,849	0,878	0,890	0,900	0,500
3,60	0,845	0,873	0,885	0,895	0,500
3,75	0,838	0,866	0,877	0,887	0,500
4,00	0,826	0,852	0,862	0,871	0,500
4,25	0,812	0,835	0,845	0,847	0,500
4,50	0,796	0,816	0,824	0,818	0,500
4,75	0,777	0,793	0,800	0,782	0,500
5,00	0,754	0,766	0,772	0,736	0,500
5,25	0,727	0,733	0,737	0,673	0,500
5,50	0,693	0,691	0,694	0,561	0,500
5,55	0,686	0,682	0,684	0,483	0,500
5,75	0,649	0,635	0,634		0,500
6,00	0,585	0,525	0,480		0,500
6,03	0,576	0,475			
6,17	0,465				
6,25					
6,50					
6,75					
7,00					

**Tabelle 3.2**

f <sub>k</sub> = 1,80 N/mm <sup>2</sup> / t = variabel / h = 2,75 m / p = 5,00 kN/m <sup>2</sup> / γ = 1,7					
l [m]	prEN 1996-1-1				prEN 1996-3
	Φ <sub>i</sub> [---] bei t [cm] =				Φ <sub>s</sub> [---] für alle t
	17,5	24,0	30,0	36,5	
3,00	0,879	0,900	0,900	0,900	0,500
3,25	0,873	0,898	0,900	0,900	0,500
3,50	0,864	0,888	0,900	0,898	0,500
3,60	0,861	0,884	0,896	0,892	0,500
3,75	0,855	0,878	0,889	0,881	0,500
4,00	0,844	0,865	0,876	0,861	0,500
4,25	0,831	0,850	0,862	0,838	0,500
4,50	0,816	0,833	0,845	0,810	0,500
4,75	0,799	0,813	0,825	0,776	0,500
5,00	0,778	0,790	0,794	0,735	0,500
5,25	0,755	0,763	0,755	0,679	0,500
5,50	0,726	0,730	0,704	0,592	0,500
5,61	0,712	0,714	0,677	0,484	0,500
5,75	0,691	0,689	0,630		0,500
5,94	0,657	0,649	0,480		0,500
6,00	0,645	0,634			0,500
6,28	0,562	0,475			
6,39	0,466				
6,50					
6,75					
7,00					

**Tabelle 3.3**

f <sub>k</sub> = 4,25 N/mm <sup>2</sup> / t = variabel / h = 2,75 m / p = 5,00 kN/m <sup>2</sup> / γ = 1,7					
l [m]	prEN 1996-1-1				prEN 1996-3
	Φ <sub>i</sub> [---] bei t [cm] =				Φ <sub>s</sub> [---] für alle t
	17,5	24,0	30,0	36,5	
3,00	0,897	0,900	0,900	0,900	0,500
3,25	0,891	0,900	0,900	0,900	0,500
3,50	0,884	0,900	0,900	0,900	0,500
3,60	0,881	0,900	0,899	0,900	0,500
3,75	0,876	0,898	0,891	0,899	0,500
4,00	0,867	0,887	0,877	0,886	0,500
4,25	0,857	0,873	0,860	0,872	0,500
4,50	0,845	0,855	0,841	0,856	0,500
4,75	0,831	0,835	0,819	0,838	0,500
5,00	0,815	0,811	0,794	0,817	0,500
5,25	0,797	0,783	0,764	0,794	0,500
5,50	0,776	0,749	0,728	0,767	0,500
5,75	0,752	0,707	0,683	0,735	0,500
6,00	0,724	0,650	0,619	0,697	0,500
6,21	0,695	0,573	0,480	0,656	0,500
6,25	0,689	0,551		0,647	0,500
6,31	0,680	0,475		0,633	0,500
6,50	0,645			0,567	0,500
6,59	0,626			0,483	0,500
6,75	0,580				0,500
6,92	0,465				0,500
7,00					0,500

**Tabelle 3.4**

f <sub>k</sub> = 10,0 N/mm <sup>2</sup> / t = variabel / h = 2,75 m / p = 5,00 kN/m <sup>2</sup> / γ = 1,7					
l [m]	prEN 1996-1-1				prEN 1996-3
	Φ <sub>i</sub> [---] bei t [cm] =				Φ <sub>s</sub> [---] für alle t
	17,5	24,0	30,0	36,5	
3,00	0,900	0,900	0,900	0,900	0,500
3,25	0,900	0,900	0,900	0,900	0,500
3,50	0,897	0,900	0,900	0,900	0,500
3,60	0,895	0,900	0,900	0,900	0,500
3,75	0,891	0,897	0,900	0,900	0,500
4,00	0,884	0,887	0,900	0,900	0,500
4,25	0,876	0,875	0,894	0,900	0,500
4,50	0,865	0,862	0,884	0,900	0,500
4,75	0,851	0,848	0,873	0,900	0,500
5,00	0,835	0,831	0,860	0,891	0,500
5,25	0,816	0,813	0,847	0,882	0,500
5,50	0,795	0,792	0,832	0,871	0,500
5,75	0,770	0,767	0,815	0,861	0,500
6,00	0,740	0,740	0,797	0,849	0,500
6,25	0,703	0,706	0,777	0,836	0,500
6,50	0,657	0,665	0,754	0,822	0,500
6,75	0,589	0,609	0,727	0,807	0,500
6,92	0,466	0,545	0,707	0,796	0,500
6,99		0,475	0,699	0,791	0,500
7,00			0,697	0,790	0,500

# Anlage 4

Diagramme und Tabellenwerte  
zum Nachweis am obersten Außenwandknoten

Zulässige vertikale Beanspruchung in Abhängigkeit der Deckenlänge  
nach prEN 1996-1-1 und prEN 1996-3 im Vergleich



## Übersicht

Nr.	$f_k$ [N/mm]	$p_k$ (Decke) [kN/m <sup>2</sup> ]	t [cm]	h [m]	$\gamma$ [---]	Seite	
						Diagramm	Tabelle
4.1	1,80	5,00	30,0	2,75	1,7	A4/2	A4/5
4.2	4,25		30,0			A4/3	A4/6
4.3	10,00		17,5			A4/4	A4/7

mit:

- $f_k$  charakteristische Druckfestigkeit der Wand
- $p_k$  (Decke) charakteristischer Wert der Verkehrslast auf der Decke
- t Wanddicke
- h Wandhöhe
- $\gamma$  Sicherheitsbeiwert für den Baustoff (Mauerwerk)

weitere Parameter:

- $d_B = 18$  cm Deckendicke
- $E_B = 28800$  Elastizitätsmodul der Decke (C 20/25)
- $E_M = 1000 \cdot f_k$  Elastizitätsmodul der Wand
- $g_k$  (Decke) = 6,00 kN/m<sup>2</sup> charakteristischer Wert der ständigen Deckenlast (incl. Fußbodenaufbau)

Berechnung am Teilrahmensystem für den obersten Wandknoten der Außenwand nach prEN 1996-1-1, Anhang C:

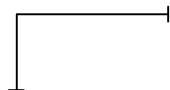


Diagramm 4.1

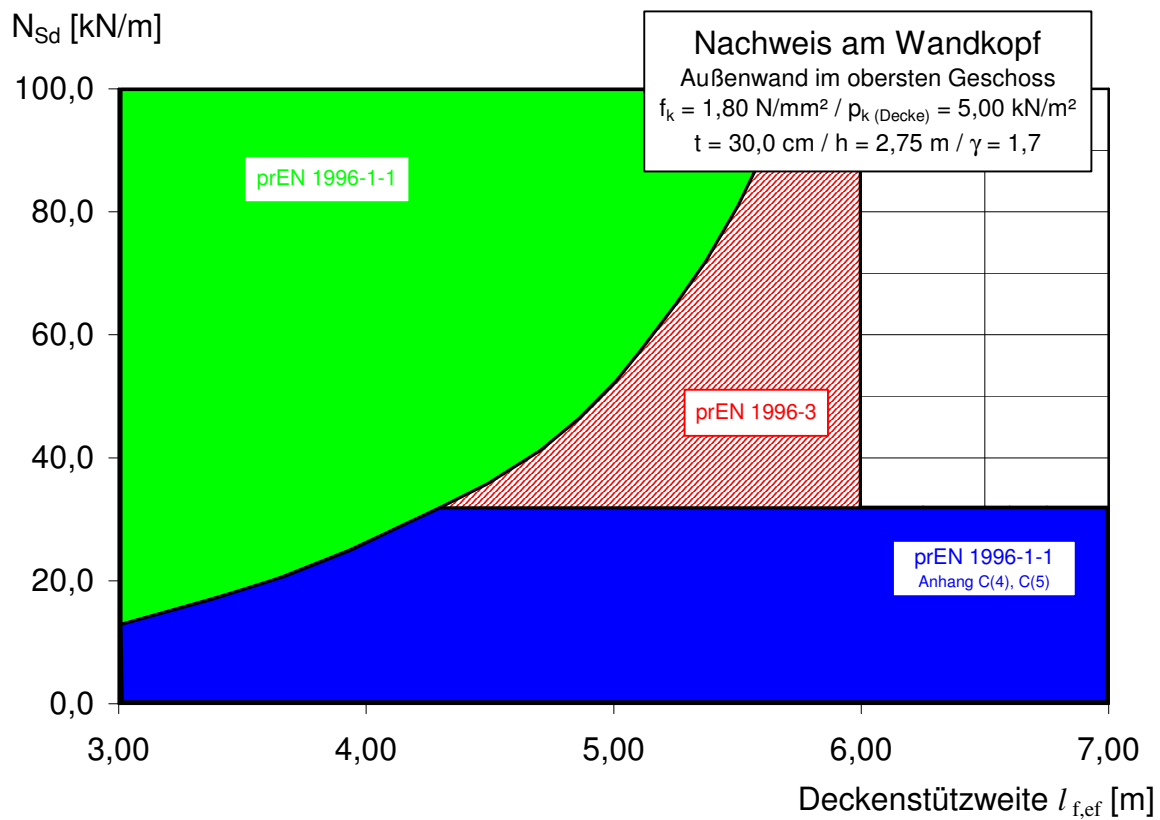


Diagramm 4.2

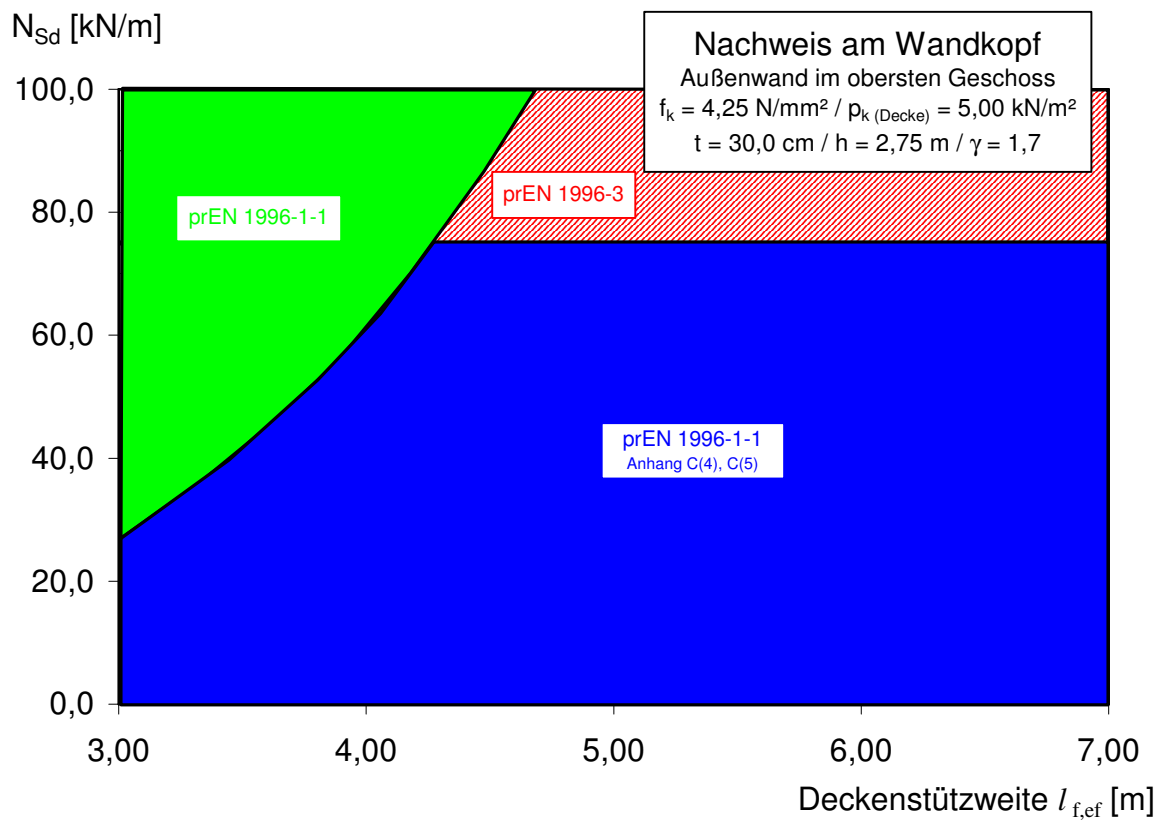
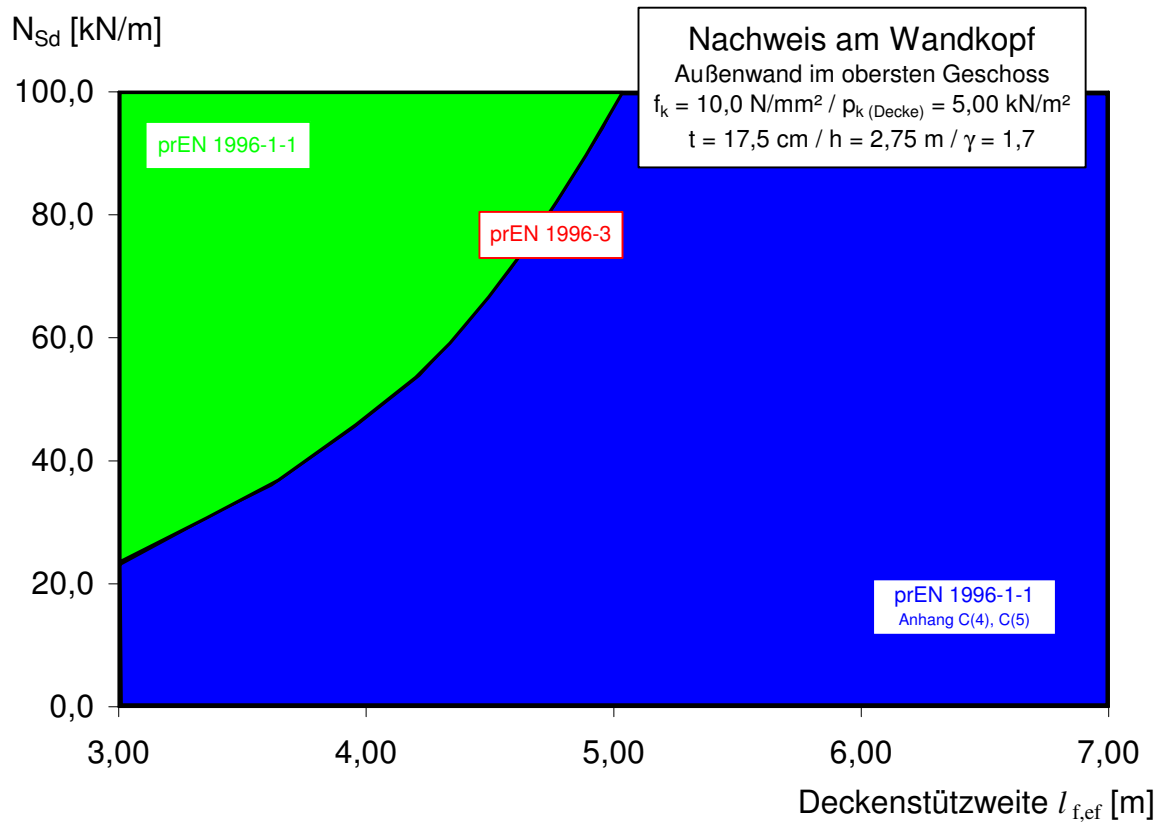


Diagramm 4.3



**Tabelle 4.1**

f <sub>k</sub> = 1,80 N/mm <sup>2</sup> / t = 30 cm / h = 2,75 m / p = 5,00 kN/m <sup>2</sup> / γ = 1,7							
l [m]	prEN 1996-1-1				prEN 1996-3		
	min Φ <sub>i</sub> [---]	min N <sub>Sd</sub> [kN/m]	max Φ <sub>i</sub> [---]	max N <sub>Sd</sub> [kN/m]	Block N <sub>Rd</sub> [kN/m]	Φ <sub>S</sub> [---]	N <sub>Rd</sub> [kN/m]
3,00	0,041	13,0	0,900	285,9	31,8	0,500	158,8
3,25	0,049	15,6	0,900	285,9	31,8	0,500	158,8
3,50	0,059	18,7	0,900	285,9	31,8	0,500	158,8
3,60	0,063	20,0	0,896	284,6	31,8	0,500	158,8
3,75	0,070	22,2	0,889	282,4	31,8	0,500	158,8
4,00	0,083	26,4	0,876	278,3	31,8	0,500	158,8
4,25	0,098	31,1	0,862	273,8	31,8	0,500	158,8
4,50	0,114	36,2	0,845	268,4	31,8	0,500	158,8
4,75	0,134	42,6	0,825	262,1	31,8	0,500	158,8
5,00	0,165	52,4	0,794	252,2	31,8	0,500	158,8
5,25	0,205	65,1	0,755	239,8	31,8	0,500	158,8
5,50	0,255	81,0	0,704	223,6	31,8	0,500	158,8
5,71	0,315	100,0	0,644	204,6	31,8	0,500	158,8
5,75	0,329	104,5	0,630	200,1	31,8	0,500	158,8
5,94	0,480	152,5	0,480	152,5	31,8	0,500	158,8
6,00					31,8	0,500	158,8
6,25					31,8		
6,50					31,8		
6,60					31,8		
6,75					31,8		
7,00					31,8		

**Tabelle 4.2**

f <sub>k</sub> = 4,25 N/mm <sup>2</sup> / t = 30 cm / h = 2,75 m / p = 5,00 kN/m <sup>2</sup> / γ = 1,7							
l [m]	prEN 1996-1-1				prEN 1996-3		
	min Φ <sub>i</sub> [---]	min N <sub>Sd</sub> [kN/m]	max Φ <sub>i</sub> [---]	max N <sub>Sd</sub> [kN/m]	Block N <sub>Rd</sub> [kN/m]	Φ <sub>S</sub> [---]	N <sub>Rd</sub> [kN/m]
3,00	0,036	27,0	0,900	675,0	75,0	0,500	375,0
3,25	0,045	33,8	0,900	675,0	75,0	0,500	375,0
3,50	0,056	42,0	0,900	675,0	75,0	0,500	375,0
3,60	0,060	45,0	0,899	674,3	75,0	0,500	375,0
3,75	0,068	51,0	0,891	668,3	75,0	0,500	375,0
4,00	0,082	61,5	0,877	657,8	75,0	0,500	375,0
4,25	0,099	74,3	0,860	645,0	75,0	0,500	375,0
4,50	0,118	88,5	0,841	630,8	75,0	0,500	375,0
4,68	0,133	100,0	0,826	619,5	75,0	0,500	375,0
4,75	0,140	105,0	0,819	614,3	75,0	0,500	375,0
5,00	0,165	123,8	0,794	595,5	75,0	0,500	375,0
5,25	0,195	146,3	0,764	573,0	75,0	0,500	375,0
5,50	0,231	173,3	0,728	546,0	75,0	0,500	375,0
5,75	0,276	207,0	0,683	512,3	75,0	0,500	375,0
6,00	0,340	255,0	0,619	464,3	75,0	0,500	375,0
6,21	0,480	360,0	0,480	360,0	75,0	0,500	375,0
6,25					75,0	0,500	375,0
6,50					75,0	0,500	375,0
6,60					75,0	0,500	375,0
6,75					75,0	0,500	375,0
7,00					75,0	0,500	375,0

**Tabelle 4.3**

f <sub>k</sub> = 10,0 N/mm <sup>2</sup> / t = 17,5 cm / h = 2,75 m / p = 5,00 kN/m <sup>2</sup> / γ = 1,7							
l [m]	prEN 1996-1-1					prEN 1996-3	
	min Φ <sub>i</sub> [---]	min N <sub>Sd</sub> [kN/m]	max Φ <sub>i</sub> [---]	max N <sub>Sd</sub> [kN/m]	Block N <sub>Rd</sub> [kN/m]	Φ <sub>S</sub> [---]	N <sub>Rd</sub> [kN/m]
3,00	0,023	23,7	0,900	926,5	102,9	0,500	158,8
3,25	0,028	28,8	0,900	926,5	102,9	0,500	158,8
3,50	0,033	34,0	0,897	923,4	102,9	0,500	158,8
3,60	0,035	36,0	0,895	921,3	102,9	0,500	158,8
3,75	0,039	40,1	0,891	917,2	102,9	0,500	158,8
4,00	0,046	47,4	0,884	910,0	102,9	0,500	158,8
4,25	0,054	55,6	0,876	901,8	102,9	0,500	158,8
4,50	0,065	66,9	0,865	890,4	102,9	0,500	158,8
4,75	0,079	81,3	0,851	876,0	102,9	0,500	158,8
5,00	0,095	97,8	0,835	859,6	102,9	0,500	158,8
5,03	0,097	100,0	0,833	857,5	102,9	0,500	158,8
5,25	0,114	117,4	0,816	840,0	102,9	0,500	158,8
5,50	0,135	139,0	0,795	818,4	102,9	0,500	158,8
5,75	0,161	165,7	0,770	792,6	102,9	0,500	158,8
6,00	0,190	195,6	0,740	761,8	102,9	0,500	158,8
6,25	0,227	233,7	0,703	723,7	102,9	0,500	158,8
6,50	0,273	281,0	0,657	676,3	102,9	0,500	158,8
6,75	0,341	351,0	0,589	606,3	102,9	0,500	158,8
6,92	0,466	479,7	0,466	479,7	102,9	0,500	158,8
7,00					102,9	0,500	158,8