FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

F 2967

Wolfram Jäger, Stephan Reichel, Sebastian Ortlepp

Energetische und mechanische Optimierung des Anschlusses der Decke an monolithische Außenwände aus Mauerwerk mit Passivhausstandard

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung

Fraunhofer IRB Verlag

F 2967

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

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.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2015

ISBN 978-3-8167-9597-1

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

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/bauforschung

ABSCHLUSSBERICHT

TITEL: Energetische und mechanische Optimierung des Anschlusses der Decke an monolithische Außenwände aus Mauerwerk mit Passivhausstandard

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert

(Aktenzeichen: SF – 10.08.18.7-11.11 / II3 – F20-10-1-052)

und

mitfinanziert durch

Verband Bauen in Weiß, Hohes Steinfeld 1,
14797 Kloster Lehnin
Bundesverband Leichtbeton e.V., Sandkauler Weg 1,
56564 Neuwied
Bundesverband Porenbetonindustrie, Kochstr. 6-7,
10969 Berlin

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

FORSCHENDE STELLE: Technische Universität Dresden
Fakultät Architektur
Lehrstuhl Tragwerksplanung
Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger
01062 Dresden

PROJEKTLEITER: Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger

BEARBEITER: Dipl.-Ing. Stephan Reichel
Dr.-Ing. habil. Sebastian Ortlepp

STAND/DATUM: 31.03.2015 / 28.06.2015

.....
Prof. Dr. Ing. W. Jäger

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis 3
1. Einführung 6
1.1. Hintergrund 6
1.2. Zielstellung 7
1.3. Begriffe 8
2. Konstruktive und baustoffliche Anforderungen 9
2.1. Passivhaus 9
2.1.1. Allgemeines 9
2.1.2. Zertifizierung von Passivhäusern 9
2.1.3. Zertifizierung von Passivhaus geeigneten Komponenten 9
2.1.4. Projektbezogene Auswirkungen 10
2.2. Wärmebrückenverlustkoeffizient 11
2.2.1. Allgemeines 11
2.2.2. Modellhafte Abbildung 12
2.2.3. Eingabedaten und Randbedingungen 13
2.3. Deckenauflagertiefe 13
2.3.1. DIN 1053 13
2.3.2. Eurocode 6 und NA 14
3. Stand der Technik 16
3.1. Bauliche Ausbildung des Wand-Decken-Knotens 16
3.2. Bemessungsmodelle 19
3.2.1. Allgemeines 19
3.2.2. K-Projekt Future Building - Vorgängerprojekt 20
3.2.3. Zusammenfassung aus anderen Quellen 21
3.3. Versuche am Wand-Decken-Knoten 23
3.3.1. Allgemeines 23
3.3.2. Stand und Schlussfolgerungen 23
3.4. Bestimmung der Deckenverdrehung 25
4. Numerische Voruntersuchungen 28
4.1. Thermische Untersuchungen 28
4.1.1. Allgemeines 28
4.1.2. Parameterstudien zum Wärmedurchgangskoeffizienten 31
4.1.3. Evaluierung verschiedener Aufbauten 33
4.1.4. Auswahl Materialkombinationen 45
4.1.5. Exkurs: Hybridsteine 46
4.2. Mechanische Vorbetrachtungen 46
4.2.1. Allgemein 46
4.2.2. Schwachpunkte und Problemstellen der Konstruktion 48
4.2.3. Lastfluss / Lastumlagerungen 51
4.2.4. Deckendurchbiegung und Auflagerverdrehung 56
4.2.5. Entwicklung eines Versuchsaufbaues 59
4.2.6. Zusammenfassung 62

5. Experimentelle Untersuchungen ... 64
5.1. Einführung ... 64
5.1.1. Zielstellung ... 64
5.1.2. Versuchsgegenstand ... 64
5.1.3. Versuchsdurchführung ... 65
5.2. Serie W400 ... 73
5.2.1. Versuchsbegleitende Materialprüfungen ... 73
5.2.2. Ergebnisse der Versuche am Wand-Decken-Knoten (Serie W400) ... 78
5.3. Serie W425 ... 87
5.3.1. Versuchsbegleitende Materialprüfungen ... 87
5.3.2. Ergebnisse der Versuche am Wand-Decken-Knoten (Serie W425) ... 89
5.4. Serie W480 ... 94
5.4.1. Versuchsbegleitende Materialprüfungen ... 94
5.4.2. Ergebnisse der Versuche am Wand-Decken-Knoten (Serie W480) ... 97
5.5. Serie W490 ... 101
5.5.1. Versuchsbegleitende Materialprüfungen ... 101
5.5.2. Ergebnisse der Versuche am Wand-Decken-Knoten (Serie W490) ... 105
5.6. Auswertung der Ergebnisse ... 110
5.6.1. Betrachtungen zum Grenzzustand der Tragfähigkeit ... 110
5.6.2. Gebrauchstauglichkeit ... 116
5.6.3. Einspannmoment der Deckenplatte ... 117
5.6.4. Mitwirkung des Deckenabmauerungssteins beim Lastabtrag ... 119
5.6.5. Knotenverdrehung ... 122
6. Numerische Untersuchungen ... 124
6.1. Einführung ... 124
6.2. Nachstellung der Versuche ... 124
6.2.1. FE-Modell ... 124
6.2.2. Materialkennwerte ... 125
6.2.3. Belastung ... 126
6.2.4. Berechnung und Ergebnisse ... 127
6.2.5. Auswertung ... 133
6.3. Analysen zum Bruchverhalten ... 133
6.3.1. Allgemeines ... 133
6.3.2. Modellierung ... 133
6.3.3. Materialmodell ... 134
6.3.4. Ergebnisse ... 135
6.3.5. Versagensprozess / Rissentwicklung ... 139
6.3.6. Zusammenfassung ... 140
6.4. Numerische Parameteruntersuchungen ... 140
6.4.1. Allgemeines ... 140
6.4.2. Ergebnisse ... 141
6.4.3. Zusammenfassung ... 144
7. Ansätze zur Nachweisführung ... 145
7.1. Einführung ... 145
7.1.1. Allgemeines ... 145
7.1.2. Grundlagen / Schnittgrößenermittlung ... 147

7.1.3. Bemessungsgrenzen ... 149
7.2. Genauere Verfahren ... 152
7.2.1. Gemeinsamer Nachweis ... 152
7.2.2. Getrennter Nachweis für Deckenauflager und Deckenabmauerungsstein ... 154
7.2.3. Individuelle FE-Berechnung ... 156
7.3. Vereinfachte Ansätze ... 156
7.3.1. Gemeinsamer Nachweis ... 156
7.3.2. Mindestabminderungsbeiwert ... 157
7.4. Nachweis in Wandmitte ... 159
7.5. Beispielhafte Anwendung ... 160
7.5.1. Einführung ... 160
7.5.2. Genauere Verfahren ... 161
7.5.3. Vereinfachter Ansatz ... 166
7.5.4. Gegenüberstellung ... 167
7.6. Zusammenfassung ... 168
7.6.1. Allgemein ... 168
7.6.2. Übersicht ... 170
7.6.3. Aufbereitung für die praktische Anwendung ... 171
7.7. Beispielhafte Anwendung ... 172
7.7.1. Ausgangslage ... 172
7.7.2. Beispiel 1 ... 173
7.7.3. Beispiel 2 ... 176
8. Weiterführende Betrachtungen ... 178
8.1. Bruchverhalten des WDK mit teilweise aufliegender Decke ... 178
8.2. Zur Ausführung des WDK mit teilweise aufliegender Decke ... 179
8.2.1. Mörtelausgleichsschicht ... 179
8.2.2. Bewehrung ... 182
8.2.3. Lastzentrierung und Auflagerstein ... 184
8.2.4. Zusammenfassung ... 185
8.3. Bewertung der derzeitigen Fachdiskussion ... 186
8.4. Zukünftiger Forschungsbedarf ... 188
9. Zusammenfassung ... 189
10. Literaturverzeichnis ... 191
Anhang 209

1. Einführung

1.1. Hintergrund

Der Mauerwerksbau und seine Produkte haben in den letzten Jahren eine rasante Entwicklung genommen [1], die auf die Notwendigkeit eines bewussten Umgangs mit unseren Ressourcen abhebt. Das monolithische Mauerwerk zieht nach und hält als klassische Bauweise mit. Die einschaligen und einschichtigen Konstruktionen haben dabei immer noch einen großen Anteil am Mauerwerksmarkt, der im Wohnungsbau über 70 % der Wandkonstruktionen ausmacht [2].
Durch die in den letzten Jahren stetig gestiegenen Anforderungen an den Wärmeschutz und die Energieeffizienz bekommen Wärmebrücken an Detailpunkten der Konstruktion eine immer größere Bedeutung. An dieser Stelle bedarf ein wesentliches Rohbaudetail – der Anschluss der Geschossdecke an die monolithische Außenwand (Wand-Decken-Knoten) – besonderer Aufmerksamkeit. Mit den bisher üblichen Konstruktionen (Auflagertiefe der Deckenplatte > $t/2$) ist es fast unmöglich, die gestiegenen (und weiter steigenden) energetischen und wärmeschutztechnischen Anforderungen zu erfüllen. Hier ist eine thermische Optimierung des Anschlusses der Decke an die Wand erforderlich, welche in erster Linie durch eine deutliche Verkürzung der Deckenauflagertiefe auf der Wand erfolgen soll (Bild 1).

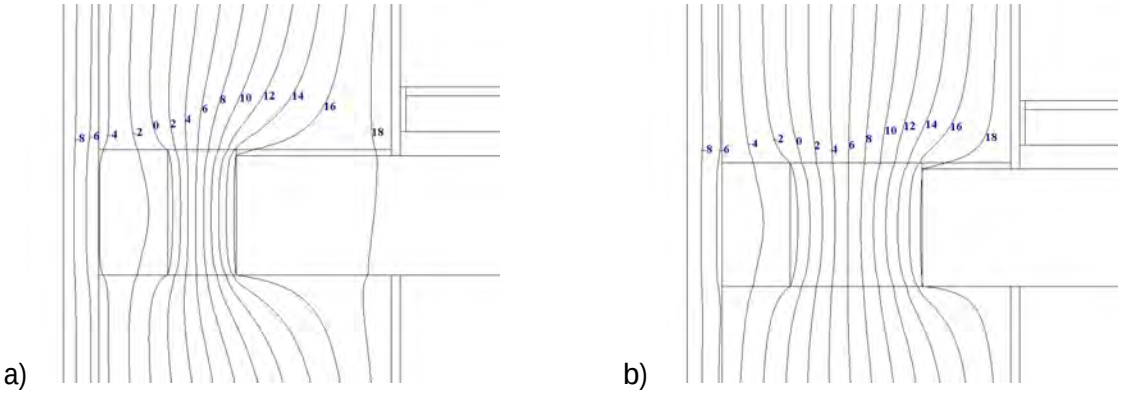


Bild 1 Änderung des Isothermenverlaufs durch Reduzierung der Auflagertiefe; a) Auflagertiefe 0,5·t; b) Auflagertiefe 0,3·t

Während die Beurteilung des Wärmebrückeneffektes wissenschaftlich abgeklärt ist [3], ist auf der Seite der Bemessung eine erstmalige intensive Durchdringung des Bruchverhaltens der teilweise aufliegenden Deckenplatte mit den reduzierten Auflagertiefen erforderlich.
Neben der Beeinflussung des Tragverhaltens werden durch eine Verkürzung der Deckenauflagertiefe auch die in Deutschland üblichen und bauaufsichtlich akzeptierten Grenzen ($e \leq t/3$ und $a = t/2$) verlassen. Es kommt zu Lastkonzentrationen im Bereich des Deckenauflagers bzw. des Deckenabmauerungssteins (s. Bild 2 b)), die ein neues Bemessungs- und Nachweismodell erfordern.
Die bisherige Betrachtungsweise ist für diese Fälle nicht geeignet, da beispielsweise der Deckenabmauerungsstein, der im Falle einer Verkürzung der Deckenauflagertiefe nicht unerheblich am Lastabtrag beteiligt ist, dabei nicht mit berücksichtigt wird. Das führt dazu, dass die prognostizierten Tragfähigkeiten derartiger Konstruktionen stark absinken und sie somit gegenwärtig kaum nachweisbar sind.

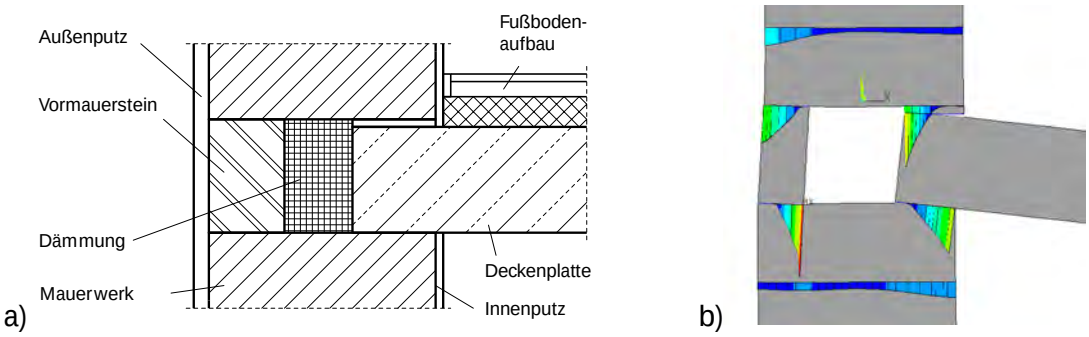


Bild 2 a) Aufbau eines Wand-Decken-Knotens (WDK); b) Ausschnitt FE-Modell des WDK mit Kontaktspannungen im Bereich Deckenauflager und Deckenabmauerungsstein

Der Eurocode 6 lässt die oben genannten Grenzen – jedoch aus anderen Gründen – bereits fallen, gibt aber keine Hilfestellung, wie an dieser Stelle zu verfahren ist. Daraus haben sich berechtigte Sicherheitsbedenken ergeben, die eine wissenschaftliche Untersuchung hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften und des Nachweises der teilweise aufliegenden Deckenplatten erforderlich machen.

1.2. Zielstellung

Die Zielstellung des Forschungsvorhabens besteht somit in der Klärung des o. a. Grundsatzproblems, welches durch die steigenden thermischen Anforderungen an einschalige und einschichtige Außenwände entsteht. Die monolithische Bauweise soll den neuen Erfordernissen der Energieeinsparung angepasst werden, um die Wettbewerbsfähigkeit dieser traditionsreichen und immer noch weit verbreiteten Bauweise zu erhalten und zukünftig zu erhöhen. Die energetische Optimierung des Deckenanschlusses durch die Minimierung des Wärmebrückeneffektes steht dabei an erster Stelle, baut jedoch auf der Lösung der mechanischen Problemstellung auf.
Innerhalb des Forschungsvorhabens sollen mit Hilfe experimenteller, numerischer und ingenieurmäßiger Untersuchungen die Auswirkungen der Verkürzung der Deckenauflagertiefe auf die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit des Systems, das Versagen der teilweise aufliegenden Deckenplatte im Grenzzustand der Tragfähigkeit sowie die Mitwirkung des Deckenabmauerungssteins beim Lastabtrag analysiert werden. Auf der Basis des tatsächlichen Material- und Tragverhaltens werden anschließend konstruktive Schlussfolgerungen abgeleitet und ein für die Praxis zumutbares Nachweismodell für die teilweise aufliegende Deckenplatte erarbeitet. Aus einer Schwachstellenanalyse sollen Ansätze zur Weiterentwicklung des Detailpunktes hergeleitet werden.
Bei der Bearbeitung galt es zunächst eindeutige Ansatzpunkte zu finden, mit dem die erforderliche Reduzierung der Auflagertiefe und die zu verwendenden Materialien genau bestimmt werden können. Ausgehend von einer Evaluierung verschiedener Geometrie- und Materialkombinationen am WDK sollen die bauphysikalischen Anforderungen an das Material spezifiziert, sowie die Randbedingungen und die Zielvorgaben (erforderliche Auflagertiefen) für die statische Analyse abgesteckt werden. Mit Versuchen an Ausschnitten des Wand-Decken-Knoten und numerischen Analysen soll anschließend der Bruchvorgang untersucht werden um mit Hilfe der Ergebnisse das Verhalten des WDK im Grenzzustand der Tragfähigkeit zutreffend beschreiben zu können.

1.3. Begriffe

Im Zuge der Bearbeitung werden u. a. die nachfolgend erläuterten Begriffe verwendet.

monolithischer Mauerstein / monolithisches Mauerwerk

Als monolithisches Mauerwerk werden einschalige und einschichtige Wandkonstruktionen bezeichnet. Der monolithische Mauerstein besteht dabei aus einem homogenen Grundmaterial mit einer wirksamen Rohdichte und einer (zum Teil richtungsabhängigen) Wärmeleitfähigkeit [4].
Im Gegensatz zu hybriden Mauer- bzw. Wärmedämmsteinen (z. B. Ytong Energy+, siehe [5]), die aus mehreren verschiedenen Materialien mit jeweils unterschiedlicher Rohdichte und Wärmeleitfähigkeit bestehen (mehrschichtig), findet im monolithischen Steinquerschnitt keine Funktionstrennung in statisch und thermisch wirksame Bereiche statt.

Deckenabmauerungsstein

Der Deckenabmauerungsstein dient zur Abmauerung der Geschossdecke (vgl. Bild 2). Es war bisher nicht üblich, ihm eine tragenden Funktion (Deckenauflagertiefe ist größer als die halbe Wanddicke) zuzuweisen ([6], NCI zu 6.1.2.2 (NA.4)), obwohl bei höheren Auflasten eine Beteiligung an der Lastweiterleitung festzustellen ist. Er diente bisher zur Abmauerung bzw. als verlorene Schalung.
Bei einer Reduzierung der Auflagertiefe der Geschossdecke wird der Deckenabmauerungsstein verstärkt am vertikalen Lastabtrag beteiligt und sollte dann mindestens die gleiche Festigkeit aufweisen wie der verwendete Mauerstein.
Alternative Bezeichnungen in der Literatur sind u. a. Deckenabmauerung bzw. Deckenabmauerungsstein.

Deckenrandelement

Ein Deckenrandelement besteht in der Regel aus einer dünnen Außenschale (Putzgrund) aus dem jeweiligen Grundmaterial und einer mehrere Zentimeter starken integrierten Wärmedämmung. Deckenrandelemente dienen vorwiegend als einheitlicher Putzgrund bzw. verlorene Schalung und erfüllen keine tragenden Funktionen (Bild 3).
Alternative Bezeichnungen in der Literatur sind u. a. Deckenabstellsteine, Deckenrandsteine, Deckenrandschalung, Deckenabmauerungselemente.

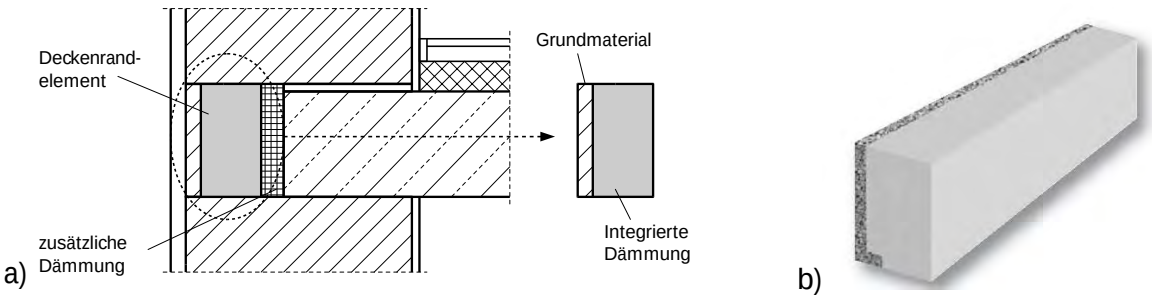


Bild 3 a) schematische Darstellung eines Deckenrandelementes; b) Deckenabmauerungselement von KLB [7]

Lastspreizung/Lastaufteilung

Als Lastspreizung wird die infolge der Mitwirkung des Deckenabmauerungssteins stattfindende Aufteilung der Normalkraft auf Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager bezeichnet.

2. Konstruktive und baustoffliche Anforderungen

2.1. Passivhaus

2.1.1. Allgemeines

Der Passivhaus-Standard ist die Bezeichnung für einen besonders energieeffizienten Gebäudestandard.
Mittels einer Zertifizierung durch das PHI soll sichergestellt werden, dass die Anforderungen, welche an Passivhäuser gestellt werden, eingehalten sind.
Dabei kann zwischen der Zertifizierung des Gesamtgebäudes („Zertifiziertes Passivhaus“) und der Zertifizierung des Bauteilanschlusses („Passivhaus geeignete Komponente“) unterschieden werden. Für die Zuerkennung der entsprechenden Zertifikate müssen verschiedene Kriterien erfüllt werden.
Die Beurteilung, ob ein Neubau ein „Zertifiziertes Passivhaus“ ist/wird, erfolgt in Bezug auf das Gesamtgebäude über die Berechnung der Energiebilanzen. Das bedeutet theoretisch, dass ein Neubau auch mit *U*-Werten > 0,15 W/(m²K) ein Passivhaus werden kann, solange am Ende die Gesamt-Energiebilanz stimmt und die Kriterien für das „zertifizierte Passivhaus“ erfüllt werden (s. 2.1.2).
Die Kriterien für die Zertifizierung des Bauteilanschlusses lassen sich hingegen durch messbare Größen angegeben bzw. durch Messungen überprüfen.

2.1.2. Zertifizierung von Passivhäusern

Die für Wohngebäude geltenden Zertifizierungskriterien wurden vom Passivhaus Institut formuliert [16] und verlangen unter anderem einen

- jährlichen Heizwärmebedarf unter 15 kWh/m²,
- einen jährlichen Primärenergiebedarf unter 120 kWh/m² und
- eine Luftwechselrate n_{50} unter 0,6 h^{-1}.

Die Einhaltung der Zertifizierungskriterien muss mittels der jeweils aktuellen Version des *Passivhaus Projektierungspaketes (PHPP)* nachgewiesen werden. Die Berechnung der entsprechenden Kennwerte erfolgt dabei in Bezug auf die Gesamtheit einer geschlossenen Gebäudehülle (Energiebilanz des Gesamtgebäudes).

2.1.3. Zertifizierung von Passivhaus geeigneten Komponenten

Um die Anforderungen des Passivhaus-Standards zu erfüllen, ist die Verwendung von besonders hochwertigen Komponenten notwendig. Bei der Qualitätsprüfung kann der Anwender die Bauteile zumeist nur schwer hinsichtlich ihrer energetischen Kennwerte beurteilen. Die entsprechenden Kennwerte muss er der Norm, unabhängigen Prüfzeugnissen oder Herstellerangaben entnehmen [14].
Das PHI prüft und zertifiziert Bauteile im Hinblick auf ihre Eignung für den Einsatz in Passivhäusern [17]. Zertifiziert werden dabei jedoch nicht die einzelnen Produkte (z. B. der einzelne Mauerstein), sondern die jeweiligen Bauteilanschlüsse (z. B. Außenkante Außenwand oder Fenstereinbau Außenwand). Dazu zählen:

- Fensterrahmen,
- Lüftungsanlagen,

- Haustüren,
- Verglasungen,
- Wand- und Bausysteme.

Komponenten, welche die Prüfkriterien erfüllen, werden mit dem Zertifikat "Passivhaus geeignete Komponente" versehen. Alle zertifizierten Bauteile wurden nach einheitlichen Kriterien geprüft und sind somit hinsichtlich ihrer Kennwerte vergleichbar.
Das für dieses Projekt maßgebende Anschlussdetail ist dabei das Auflager der Geschossdecke auf der Außenwand ([17], 6.8).
Die Kriterien für die Zuerkennung des Zertifikates „Passivhaus geeignete Komponente“ sind u. a. in [14] und [17] aufgeführt. Dabei sind für das Projekt von Interesse:

1. Regulärer Wärmedurchgangskoeffizient für die Außenbauteile ([17]):

$$f \cdot U_{opak} \leq 0{,}15 \frac{W}{m^2 K} \tag{1}$$

mit
f Temperaturreduktionsfaktor (1,0 für Außenwände),
U_{opak} Wärmedurchgangskoeffizient aller opaken (lichtundurchlässigen) Bauteile (im Folgenden kurz als U bezeichnet).

2. Wärmebrückenfreiheit im Passivhaus für reguläre Anschlussdetails ([17], 2.):

$$\psi_a \leq 0{,}01 \frac{W}{mK} \tag{2}$$

mit
ψ_a außenmaßbezogener Wärmebrückenverlustkoeffizient (im Folgenden kurz ψ).

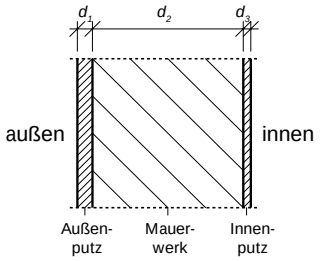
3. Innenoberflächentemperaturen über 17°C

2.1.4. Projektbezogene Auswirkungen

Der Nachweis des Passivhauses („Zertifiziertes Passivhaus“) bzw. der Eignung des Auflagerdetails als „Passivhaus taugliche Komponente“ ist nicht Bestandteil des Projektes.
Da für das Projekt nur der Anschluss der Geschossdecke auf der Außenwand und nicht das Gesamtgebäude von Interesse ist, werden für die weitere Projektbearbeitung nur die Kriterien zur Zertifizierung der „Passivhaus tauglichen Komponenten“ (vgl. Abschnitt 2.1.3) als maßgebend betrachtet.
Der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) der Außenwand soll danach kleiner oder gleich 0,15 W/(m²K) sein. Ein derart niedriger Wärmedurchgangskoeffizient kann dabei nur mit hochwertigen und gut wärmedämmenden Materialien erreicht. Der *U*-Wert ist ein bauphysikalischer Kennwert für den Wärmeverlust durch ein Bauteil und wird im Wesentlichen durch die Wärmeleitfähigkeit und die Dicke der verwendeten Materialien bestimmt. An den Wandbaustoff und den Putz ergeben sich aus dem *U*-Wert-Kriterium somit Anforderungen bezüglich

- der Wärmeleitfähigkeit λ des verwendeten Materials und
- der jeweiligen Bauteildicke (Mauerwerk, Außen- und Innenputz).

Ein monolithischer Wandaufbau besteht in der Regel aus drei Materialschichten: Außenputz, Mauerwerk und Innenputz (Bild 4), wobei die Putzschicht noch in Ober- und Unterputz (auch mehrlagig) aufgegliedert sein kann.



Kennwerte:
Schichtdicke d_n
Wärmeleitfähigkeit λ_n

Bild 4 Ausschnitt Außenwand mit Schichtaufbau und Kennwerten

Die jeweilige Dicke des Bauteils ist zunächst abhängig von den gestellten statischen Anforderungen.
Die Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit der Materialien sind zu berechnen oder entsprechenden Tabellen (z. B. [18]) bzw. den Herstellerangaben zu entnehmen. Aus der Anforderung an den *U*-Wert der Außenwand ergibt sich die Notwendigkeit, den Fokus dabei auf Materialien mit besonders geringer Wärmeleitfähigkeit zu legen.
Das Auflager der Stahlbetondecke auf der Außenwand stellt üblicherweise eine konstruktive Wärmebrücke dar. An dieser Stelle findet ein erhöhter Wärmedurchgang (zusätzlicher Wärmeverlust) statt. Der Wärmedurchgang am Anschlussdetail wird dabei durch den außenmaßbezogenen Wärmebrückenverlustkoeffizienten ψ charakterisiert (s. a. 2.2). Dieser muss für die Zuerkennung des Zertifikates „Passivhaus taugliche Komponente“ kleiner als 0,01 W/(mK) sein. Der Anschluss gilt dann als wärmebrückenfrei und die zusätzlichen Wärmeverluste brauchen bei der Aufstellung der Energiebilanz nicht berücksichtigt werden.
Der Wärmebrückenverlustkoeffizient ψ ist dabei unter anderem abhängig von der Geometrie und der Wärmeleitfähigkeit der anliegenden Materialien. Aus dem Wärmebrücken-Kriterium ergeben sich somit Anforderungen an

- die Wärmeleitfähigkeit der angrenzenden Bauteile,
- die Auflagertiefe der Deckenplatte auf der Außenwand,
- die Dicke des verwendeten Deckenabmauerungssteins und an
- die Ausbildung des Wand-Decken-Knotens.

2.2. Wärmebrückenverlustkoeffizient

2.2.1. Allgemeines

Wärmebrücken sind Bereiche in Bauteilen oder an Fügestellen von Bauteilen an denen ein erhöhter Wärmedurchgang stattfindet. Der im ungestörten Bauteil normal zur Oberfläche verlaufende Wärmestrom ändert sich im Bereich der Wärmebrücke und nimmt häufig zu, was gleichbedeutend mit einem höheren Wärmeverlust ist.
In der Umgebung der Wärmebrücke sinkt bei kalten Außentemperaturen die Oberflächentemperatur der raumseitigen Bauteile schneller ab, als in den anderen Bereichen. Dadurch kann es zu Ausfall von Kondenswasser (Unterschreitung der Taupunkttemperatur) und zur Schimmelbildung kommen.
Man unterscheidet geometrische, konstruktive und materialbedingte Wärmebrücken:

- geometrisch (Versprünge oder Ecken, Hausecken),
- konstruktiv (Konstruktionen mit unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit; Stahlbetondecke auf Außenwand),
- stofflich (bei Verwendung unterschiedlicher Materialien in Wärmestromrichtung).

Bei linienförmigen Wärmebrücken wird der zusätzliche Wärmedurchgang dabei durch den längenbezogen Wärmedurchgangskoeffizienten ψ (auch als Wärmebrückenverlustkoeffizient bezeichnet) charakterisiert [20].
Nach EnEV [8] ist der Einfluss von Wärmebrücken auf den Heizwärmebedarf so gering wie möglich zu halten und darüber hinaus bei der Ermittlung des Jahres-Primärenergiebedarfes zu berücksichtigen.
Nach [15] gilt ein Gebäude als wärmebrückenfrei, wenn für die Wärmebrückenverlustkoeffizienten aller linearen Anschlüsse gilt:

$$\psi \leq 0{,}01 \frac{W}{mK}. \tag{3}$$

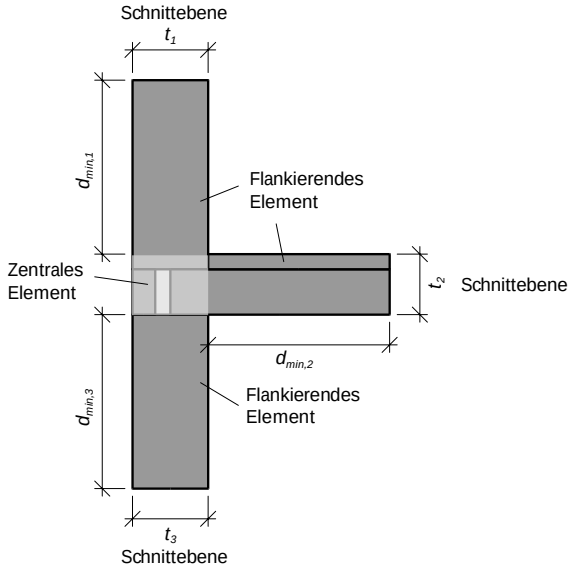
Der Wärmebrückenverlustkoeffizient kann auch negative Werte annehmen. In diesen Fällen nimmt der Wärmestrom im Bereich der Wärmebrücke ab (z. B. bei sehr dicken Dämmstärken), d. h. der Wärmeverlust in diesem Abschnitt ist geringer als in den angrenzenden Bauteilen.
In DIN EN ISO 10211 [3] werden Wärmebrücken im Hochbau behandelt. Wenn die Randbedingungen und Konstruktionsdetails bekannt sind, können die Temperaturverteilung in einer Konstruktion und der Wärmestrom durch eine Konstruktion nach den Vorgaben aus [3] berechnet werden. Die Norm enthält dabei Hinweise zur modellhaften Abbildung der Konstruktion, Anweisungen zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeitswerte und der Randbedingungen sowie die Berechnungsregeln und das Verfahren zur Ermittlung der Temperaturverteilung.

2.2.2. Modellhafte Abbildung

Nach [3] wird das Gebäude nicht als Ganzes dargestellt, sondern mithilfe von Schnittebenen in verschiedene geometrische Modelle zerlegt, die anschließend einzeln betrachtet werden. Das geometrische Modell setzt sich aus dem zentralen Element und den flankierenden Elementen (gleich bleibende Querschnitte, zentrales Element ist der verbleibende Teil) zusammen und wird durch die Schnittebenen begrenzt. Nach [3] sind die Schnittebenen dabei

- in einer Symmetrieebene anzuordnen, falls diese weniger als d_{min} vom zentralen Element entfernt ist,
- in einem Abstand von d_{min} vom zentralen Element anzuordnen falls keine nähere Symmetrieebene vorhanden ist,
- d_{min} ist dabei 1,00 m oder das Dreifache der Dicke des flankierenden Bauteils, je nachdem welches der größere Wert ist.

Bild 5 zeigt die allgemeine Anwendung der Regeln für einen Außenwanddeckenknoten. Baustoffe mit unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeitsbeiwerten können bei Einhaltung gewisser Kriterien nach [3] durch einen Baustoff mit einer einzigen Wärmeleitfähigkeit ersetzt werden. Der Fugenbereich der Mauerwerkswand muss somit nicht separat berücksichtigt werden.



Es gilt:

$$d_{min,n} = min \begin{cases} max \begin{cases} 1{,}00\,m \\ 3 \cdot t_n \end{cases} \\ \frac{h_W}{2} \end{cases}$$

Bild 5 Schnittebenen am 2D-Modell des WDK nach [3]

2.2.3. Eingabedaten und Randbedingungen

Für die Berechnung des Wärmestroms (und daraus Wärmebrückenverlustkoeffizient) sind nach [3] die Wärmeleitfähigkeiten der Baustoffe sowie die Wärmeübergangswiderstände in Abhängigkeit der Richtung des Wärmestroms erforderlich ([17], [19]). Die Temperaturrandbedingungen sind ebenfalls in [17] aufgeführt.
Unter der Annahme eines horizontalen Wärmestromes ist für die Berechnung dabei von folgenden Werten auszugehen:

- Außentemperatur: T_e = -20 °C,
- Innentemperatur: T_i = 10 °C,
- Wärmeübergangswiderstand innen (horizontal): R_{si} = 0,13 m²K/W,
- Wärmeübergangswiderstand außen (horizontal): R_{se} = 0,04 m²K/W.

2.3. Deckenauflagertiefe

Im Projekt geht es um die Verkürzung der Deckenauflagertiefe zur Minimierung des Einflusses der Wärmebrücke. Daher galt es zunächst zu überprüfen, welche Festlegungen es in den derzeit gültigen Vorschriften bezüglich der Deckenauflagertiefe gibt.

2.3.1. DIN 1053

In den deutschen Mauerwerksnormen DIN 1053-1 [21] und DIN 1053-100 [22] wird die Mindestdeckenauflagertiefe nicht explizit geregelt. Bei der Ermittlung der Knicklängen ([22], Abs. 8.7.2 und 9.7.2) sind Angaben zu erforderlichen Deckenauflagertiefen angegeben, bei deren Einhaltung die Einspannwirkung der Decken in die Wand durch eine Reduzierung der Knicklänge berücksichtigt werden darf. Nach [21], Abschnitt 8.1.4.3, sind bei einer Mindestauflagertiefe der massiven Deckenplatte von 100 mm keine besonderen Zuganker zur Übertragung von horizontalen Lasten erforderlich
Von bauaufsichtlicher Seite her muss die Deckenauflagertiefe jedoch größer als *t*/2 sein und der Deckenabmauerungsstein darf nicht zum Lastabtrag angesetzt werden. Der Wert *t*/2 lässt

sich aus der nach DIN 1053-1 [21] geforderten Begrenzung der klaffenden Fuge (bis maximal zur halben Wanddicke) ableiten.

2.3.2. Eurocode 6 und NA

In DIN EN 1996-1-1 [23] gibt es keine direkte Vorschrift für eine Mindestauflagertiefe. Die Decken sollten nach Abschnitt 8.5.1.1 soweit aufliegen, dass die notwendige Tragfähigkeit sichergestellt und der erforderliche Schubwiderstand gegeben ist. Die Mindestauflagertiefe soll entsprechend der Berechnung gewählt werden. Für eine Berücksichtigung bei der Abminderung der Knicklänge nach [23], Abschnitt 5.5.1.2 sollte die Wand mindestens zu 2/3 aufliegen.
Im Nationalen Anhang zu DIN EN 1996-1-1 [6] finden sich diverse Regelungen zu teilweise aufliegenden Deckenplatten (u. a. im Abschnitt zu Knicklängen und bei der Ermittlung des Abminderungsfaktors Φ zur Berücksichtigung der Lastausmitte).
Im Abschnitt NCl zu 8.5.1.1 in [6] wird die Anforderung aus DIN EN 1996-1-1 [23], Abschnitt 8.5.1.1 an die Auflagertiefe der Deckenplatte konkretisiert. Demnach muss die Mindestauflagertiefe *a* der Decke folgenden Anforderungen genügen

$$a \geq max \begin{cases} 100\,mm \\ \frac{t}{3} + 40\,mm \end{cases} \tag{4}$$

Abschnitt 4.2.1 in DIN EN 1996-3 [24] schreibt vor, dass für die Anwendung der vereinfachten Berechnungsmethode die Auflagertiefe der Decken auf der Wand mindestens 0,4·t der Wanddicke betragen muss, jedoch nicht weniger als 75 mm.
Die vereinfachte Berechnungsmethode nach Anhang A in DIN EN 1996-3 für Gebäude mit höchstens drei Geschossen darf nur angewendet werden, wenn die Auflagertiefen der Decken und des Daches auf der Wand mindestens 2/3·t, jedoch nicht weniger als 85 mm betragen.
Nach dem Nationalen Anhang [25], NCl zu 4.2.2.1 muss die Deckenauflagertiefe mindestens der halben Wanddicke (0,5·t) entsprechen, mindestens jedoch 100 mm betragen. Bei Wanddicken größer als 365 mm darf die Mindestauflagertiefe auf 0,45·t abgemindert werden.

für t < 365 mm: $a \geq max \begin{cases} 100\,mm \\ 0{,}5 \cdot t \end{cases}$

für t ≥ 365 mm: $a \geq max \begin{cases} 100\,mm \\ 0{,}45 \cdot t \end{cases}$ (5)

Die aus den oben genannten Vorgaben resultierenden Deckenauflagertiefen sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1 Mindestauflagertiefe a in Abhängigkeit der Wanddicke t ([6], [24] und [25])

Wand-dicke	Mindestauflagertiefe *a* der Deckenplatte in [mm]			
	DIN EN 1996-1-1	DIN EN 1996-3		
[mm]	NA [6]	4.2.1 [24]	Anhang A [24]	NA [25]
100	100	75	85	100
150	100	75	100	100
240	120	96	160	120
300	140	120	200	150
365	161,67	146	243,3	164,25
420	180	168	280	189
490	203,3	196	326, 7	220,5

3. Stand der Technik

3.1. Bauliche Ausbildung des Wand-Decken-Knotens

Ein wesentlicher Punkt für die Projektbearbeitung war die bauliche Ausbildung des Wand-Decken-Knotens bzw. des Deckenauflagers, vor allem im Hinblick auf die Verwendung von Trenn- und Ausgleichsschichten aus Bitumenbahn bzw. Mörtel. In diesem Abschnitt wird zunächst kurz auf die allgemeinen Anforderungen an die Ausführung des Konstruktionsdetails eingegangen. Anschließend werden einige baustoffspezifische Lösungen dargestellt und Schlussfolgerungen für die Projektbearbeitung gezogen. Der Vollständigkeit halber wurden dabei auch Lösungen für Ziegelmauerwerk berücksichtigt.

In den aktuellen deutschen und europäischen Mauerwerksnormen (DIN 1053-1, DIN 1053-100 sowie Eurocode 6 und zugehörige nationale Anhänge) finden sich bezüglich der baulichen Ausbildung des Wand-Decken-Knotens keine expliziten Regelungen.

DIN 18530 [26] fordert, dass bei unverschiebbarer Lagerung (kein Gleitlager) zwischen Dachdecken und unbewehrten Wänden im Allgemeinen eine Trennschicht einzulegen ist, um die Decke und die Wand voneinander zu entkoppeln und so die Rissgefahr infolge zu großer Verformungen (Schwinden, Durchbiegung unter Lasten) zu reduzieren. Diese Art der Auflagerung ist für Decken im Zwischengeschoss prinzipiell nicht vorgesehen, wird jedoch im Allgemeinen empfohlen (vgl. [27], [28] und [29]). Die Entkopplung der Deckenplatte von der Wandkonstruktion muss dabei konsequenterweise an der Ober- und Unterseite der Einbindung erfolgen (Bild 6).

Zur Verbesserung des Schallschutzes wird die Trennschicht über der Decke in den Konstruktionsdetails einiger Hersteller teilweise bis auf den Deckenabmauerungsstein geführt. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass sich durch eine bis zur Außenkante geführte Trennlage eine Sollbruchstelle im Außenputz ergibt. In solchen Fällen ist an der Außenseite eine Putzbewehrung anzubringen.

Die Verwendung einer Mörtelausgleichsschicht unter und/oder über dem Deckenauflager wird normativ nicht gefordert. Sie ist bauseits immer dann notwendig, wenn Höhendifferenzen aus dem Herstellungsprozess ausgeglichen werden müssen. Das bedeutet im Umkehrschluss, dass bei ausreichender Maßgenauigkeit – und davon kann unter Laborbedingungen ausgegangen werden – prinzipiell kein Mörtelausgleich erforderlich wird. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass eine zusätzliche Mörtelschicht zu einer Beeinflussung der thermischen Leistungsfähigkeit beiträgt (siehe dazu 4.1.3.6).

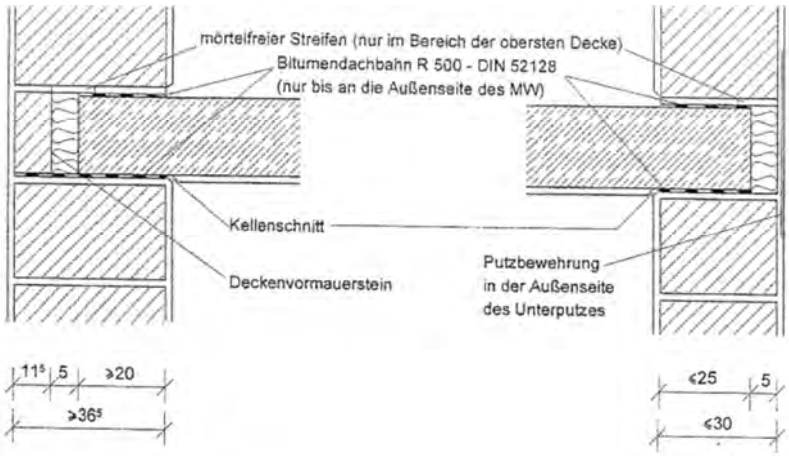
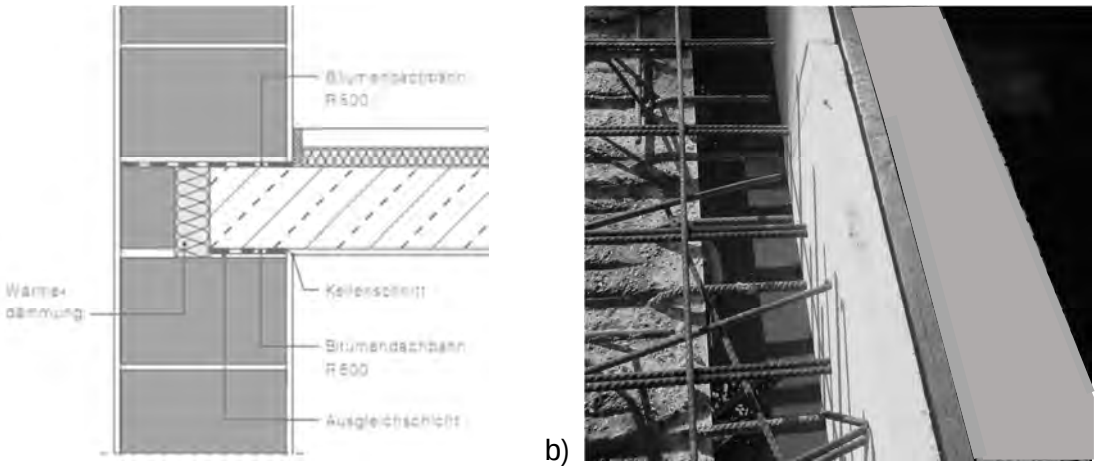


Bild 6 Ausführungsbeispiele für das Auflager Decke/Wand nach [30]

Das Konstruktionsdetail für den Anschluss der Geschossdecke an eine Außenwand aus Ziegelmauerwerk in Bild 7 a) entspricht im Wesentlichen den in [30] dargestellten Ausführungsbeispielen für das Auflager Decke/Wand (Bild 6) mit zusätzlichen Ausgleichsschichten aus Mörtel unter (Wandkopf) bzw. über (Wandfuß) der Bitumenbahn. Die Verlängerung der Bitumenbahn auf den Deckenabmauerungsstein soll hier der Verbesserung des Schallschutzes dienen.
In der Literatur finden sich für ähnliche Anschlusssituationen jedoch auch Konstruktionsdetails in denen keine zusätzlichen Ausgleichsschichten vorgesehen sind (z. B. [28], [31]).



a) b)

Bild 7 Anschluss der Decke an die Außenwand aus Einsteinmauerwerk; a) aus [27], b) Praxisbeispiel: Halbfertigteildecke auf Bitumenbahn, Wärmedämmung, Deckenabmauerungsstein (privat)

Bild 8 a) zeigt ähnliche Ausführungsdetails (mit über den Deckenabmauerungsstein geführten Trennschichten) für Zwischengeschosse und für Außenwände über dem beheizten Keller bei Mauerwerk aus Porenbeton. Daneben finden sich in der Literatur aber auch Lösungen, in denen offensichtlich keine Trennschichten im Auflagerbereich angeordnet sind (Bild 8 b) und c)).

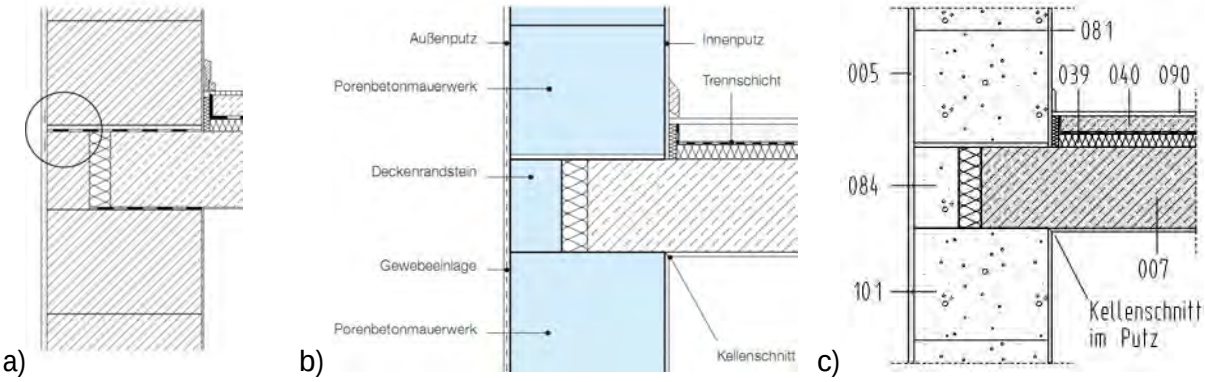


Bild 8 Anschluss Decke zu Außenwand aus Porenbeton; a) aus [29], b) aus [32]; c) Konstruktionsdetail Nr. 0060 aus [33]

Bei Verwendung einer Porenbetondecke kann dabei ggf. auch auf den Ausgleichsmörtel am Wandfuß verzichtet werden ([33], [34], siehe Bild 9). Trennschichten werden in den letztgenannten Quellen nicht thematisiert.
Von der *Xella Porenbeton Schweiz AG* wird in [35] empfohlen zwischen Geschossdecken und Außenwand jeweils eine Trennschicht einzulegen um Decke und Wand zu entkoppeln (eine der „4 goldenen Porenbetonregeln“[1]).

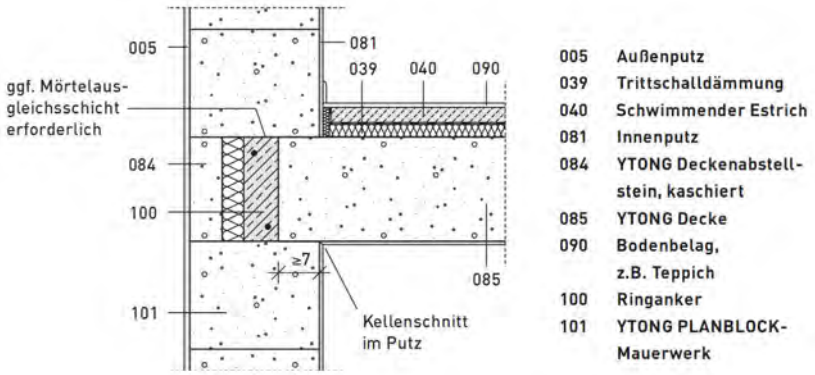


Bild 9 Ausführung der Geschossdecke auf monolithischem Mauerwerk nach [34]

Gemäß den Ausführungen in [28] sind für Mauerwerk aus Leichtbeton ähnliche Lösungen wie in Bild 6 bzw. Bild 7 a) und Bild 8 a) dargestellt in der Anwendung.
In den Ausführungsdetails im Planungsatlas für Hochbau [36] sind für eine in eine monolithische Außenwand aus Leichtbeton einbindende Decke keine Trennschichten vorgesehen. Die Decke wird scheinbar direkt aufgelegt. Im Bereich des Deckenabmauerungssteins erfolgt ein Höhenausgleich (Bild 10 a)).
Seitens der Leichtbetonindustrie wird bei mehrgeschossigen Gebäuden mit Deckenspannweiten ≤ 6,00 m die Anordnung einer Bitumenpappe unterhalb der Decke zur Vermeidung von Rissen gefordert (Bild 10 b)) (s. z.B. [37]).

[1] [34], S. 6

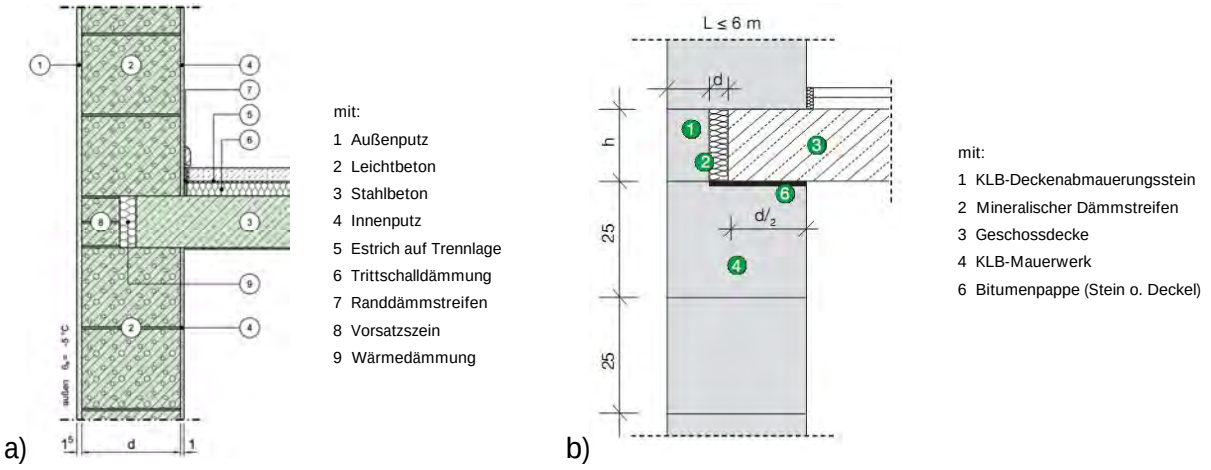


Bild 10 Anschluss Decke an Außenwand aus Leichtbeton; a) Konstruktionsdetail Nr. 04-13-01-01 [36]; b) Deckenauflager nach [37]

Zusammenfassend ist festzustellen, dass es zur Ausbildung des Wand-Decken-Knotens, vor allem im Hinblick auf die Verwendung von Trenn- und Ausgleichsschichten, keine eindeutigen Vorgaben bzw. einheitlichen Lösungen gibt.
Die Verwendung einer Bitumenbahn unter der Decke ist weit verbreitete Praxis. Es gibt Details und baukonstruktive Hinweise von Seiten der Hersteller, in denen auch oberhalb der Decke eine Bitumenbahn eingelegt wird. Dabei sind sowohl die Ausführung nur über dem Deckenauflager als auch die Verlegung über die gesamte Wandbreite gebräuchlich. Eine Mörtelschicht über der Decke (nur über Deckenauflager oder über die gesamte Wandbreite) ist immer dann erforderlich, wenn herstellungsbedingte Höhentoleranzen ausgeglichen werden müssen.
Aufgrund versuchstechnischer Rahmenbedingungen wurde festgelegt, dass bei den experimentellen Untersuchungen auf die Verwendung einer ausgleichenden Mörtelschicht über der Deckenplatte und dem Deckenabmauerungsstein verzichtet wird. Die Höhe des Deckenbauteils wurde an die Höhe des Deckenabmauerungssteins angepasst. Ein Höhenausgleich war unter Laborbedingungen somit nicht erforderlich. Unebenheiten des Deckenauflagers wurden durch die Verwendung einer Trennschicht aus Bitumenbahn R500 an der Ober- und Unterseite der Decke ausgeglichen (siehe auch Abschnitt 5.1.3).

3.2. Bemessungsmodelle

3.2.1. Allgemeines

Der WDK hat für die Bemessung von Mauerwerk eine maßgebliche Bedeutung. Aufgrund der Verdrehung der Geschossdecken entstehen im Bereich des WDK Einspannmomente, die in die Wandkonstruktionen abgeleitet werden. Für den Tragfähigkeitsnachweis der Wand ist die Bestimmung dieser Biegemomente und somit der Lastexzentrizitäten besonders wichtig, da eine große Lastausmitte die Tragfähigkeit empfindlich abmindert.
Im nachfolgenden Abschnitt wird zunächst analysiert, in welcher Art und Weise teilweise aufliegende Deckenplatten in den Bemessungsmodellen der aktuell gültigen Normen (DIN / Eurocode) berücksichtigt werden. Anschließend wird auf Berechnungsansätze aus ähnlich gelagerten Untersuchungen eingegangen, die als Grundlage für Weiterentwicklungen dienen können.

3.2.2. K-Projekt Future Building - Vorgängerprojekt

3.2.2.1. Allgemein

Der Lehrstuhl Tragwerksplanung der TU Dresden war in ein Forschungsprojekt des Landes Niederösterreich eingebunden (K-Projekt Future Building), das zukünftige Bauweisen zum Inhalt hatte ([49], [52]). Die Thematik war mit dem Passivhausstandard verbunden, befasste sich allerdings mit einem konkreten Produkt bzw. Konstruktionsdetail (Bild 11) aus Plan-Hochlochziegeln (P-HLz), für welches die Ausführbarkeit entsprechend nachzuweisen war. Aus Gründen, die nicht mit den durch den Lehrstuhl Tragwerksplanung bearbeiteten Teilaufgaben in Verbindung stehen, wurde das Projekt jedoch Anfang 2012 eingestellt.
Die Analyse für den konkreten Anwendungsfall fand innerhalb eines zuvor definierten festen Rahmens bzw. Parameterbereiches statt. Die Gültigkeit der Ergebnisse ist dementsprechend auf die untersuchten Konstellationen beschränkt. Dabei erfolgte unter anderem eine Begrenzung der möglichen Wandauflast (max. 3 zusätzliche Geschosse oberhalb des betrachteten Wand-Decken-Knoten).

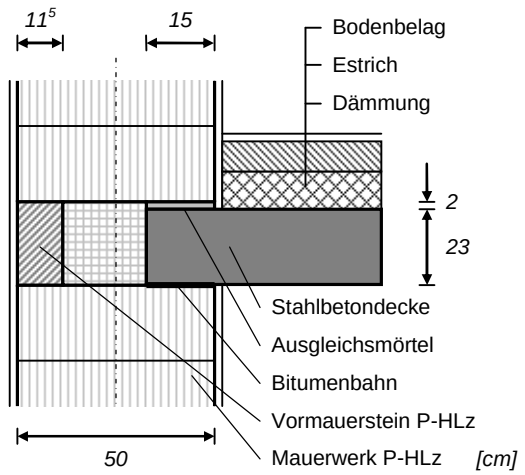


Bild 11 Untersuchtes Anschlussdetail: WDK mit gering aufliegender Deckenplatte [52]

Im Rahmen der Bearbeitung wurden analytische, numerische und experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Ein wesentliches Ziel der numerischen FE-Berechnungen war dabei die systematische Analyse des prinzipiellen Verhaltens (Lastabtrag, Lastverteilung, Mitwirkung Deckenabmauerungsstein) des konkreten Wand-Decken-Knotens. Innerhalb einer Parameterstudie wurden dazu die Schnittgrößen und Lastexzentrizitäten am System ermittelt. Unter Berücksichtigung der Lastspreizung zwischen Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager ist anschließend ein Vorschlag zur Ermittlung des vorhandenen Abminderungsfaktors für die Nachweisführung am Wandkopf erstellt worden. Die numerischen Berechnungen wurden unter Ansatz eines bilinearen Materialgesetzes an zweidimensionalen FE-Modellen durchgeführt.
Weil die in [52] entwickelte Verfahrensweise später auf die hier vorliegende Problematik übertragen wird, wird im Folgenden nicht näher auf die Methodik eingegangen (siehe dazu Abschnitt 7.2.1).

3.2.2.2. Ergebnisse

Solange die Spannungen unterhalb des Fließniveaus des Materialmodells liegen, verläuft die Berechnung im linear-elastischen Bereich ohne Plastizierung. Daher sind in diesen Fällen

Ausmitten $e > 1/3 \cdot t$ und damit Abminderungsfaktoren $\Phi' < 1/3$ möglich (Bild 12, vgl. auch die Ergebnisse von *Baier* [41]. Aufgrund der geringen resultierenden Lasten entstehen aus diesem Verhalten jedoch keine Nachweisschwierigkeiten.
Das Diagramm in Bild 12 enthält einen Ausschnitt der Ergebnisse der Parameteruntersuchungen und zeigt den ermittelten Abminderungsfaktor Φ' in Abhängigkeit des Verhältnisses von Wandauflast zu Deckenauflagerkraft.

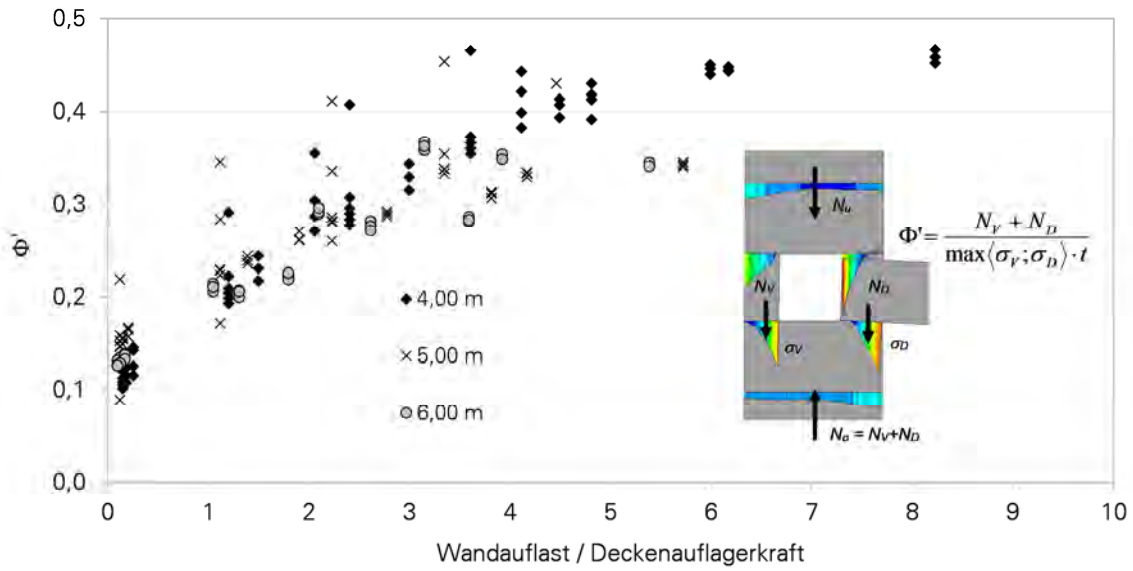


Bild 12 Abminderungsfaktor Φ' am Wandkopf für verschiedene Deckenstützweiten in Abhängigkeit von der Auflast [52]

3.2.2.3. Wertung

In Analogie zu den Untersuchungen von *Baier* [41] und *Ortlepp* [48] entspricht das Vorgehen der Bestimmung der zu einer eindeutigen Kombination aus Deckenauflast und Wandauflast gehörenden Ausmitte der resultierenden Normalkraft am Wandkopf. Die Berücksichtigung der Mitwirkung des Deckenabmauerungssteins erfolgt über den numerisch ermittelten Lastanteil den dieser überträgt.

3.2.3. Zusammenfassung aus anderen Quellen

Nach DIN 1053-1 [21] und DIN 1053-100 [22] werden teilweise aufliegende Deckenplatten bei der Bemessung nicht berücksichtigt. Die Normenlage wurde bisher vereinfacht so ausgelegt, dass die Abminderungsfaktoren mit den Formeln für die voll aufliegende Deckenplatte ermittelt wurden. Für den anschließenden Nachweis wurde nur der Querschnitt unter dem Deckenauflager herangezogen.
Nach DIN EN 1996-1-1 [23] darf bei teilweise aufliegenden Deckenplatten zusätzlich zu dem am Rahmensystem bestimmten Moment ein weiteres Biegemoment berechnet werden, dass sich aus einer vorher definierten Spannungsverteilung am Knoten ergibt. Die Lastausmitte der resultierenden Normalkraft für die Bemessung wird anschließend mit dem kleineren der beiden Biegemomente ermittelt.
Nach dem Nationalen Anhang [6] zu DIN EN 1996-1-1 dürfen die Knotenmomente für die Bemessung bei teilweise aufliegenden Deckenplatten an einem Ersatzsystem mit der ideel-

len Wanddicke *a* (Deckenauflagertiefe) bestimmt werden. Beim anschließenden Nachweis der Tragfähigkeit darf nur das Deckenauflager berücksichtigt werden.
Im vereinfachten Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-3 [24] werden teilweise aufliegende Deckenplatten nicht berücksichtigt.
Im Nationalen Anhang [25] zu DIN EN 1996-3 wurde zur Berücksichtigung der teilweise aufliegenden Deckenplatten in den Gleichungen für die Abminderungsfaktoren Φ zusätzlich die Abminderung a/t eingeführt. Der Nachweis wird anschließend mit dem vollen Querschnitt geführt.
Die Untersuchungen von *Baier* in [41] hatten ergeben, dass die tatsächliche Momentenbeanspruchung der Wände, als Folge der behinderten Verdrehung der Geschossdecken, wesentlich von den rechnerisch nach Norm ermittelten Momenten abweicht. Weiterhin wurde gezeigt, dass die Ausmitte der resultierenden Normalkraft deutlich von der Wand- und Deckenauflast beeinflusst wird. *Baier* hat das in der Norm vorhandene Berechnungsmodell zur Bestimmung der Biegemomente in [41] dahingehend modifiziert, dass anstatt der biegesteifen Verbindung an der Kopplungsstelle zwischen Decke und Wand Federgelenke benutzt werden. Für die praktische Anwendung wurden numerische Parameterstudien durchgeführt, als deren Ergebnis die Lastausmitten für verschiedene Kombinationen ermittelt wurden. Bei der Modellierung wurde der Deckenabmauerungsstein nicht mit berücksichtigt.
Die Anwendung der Ergebnistabellen in [41] beschränkt sich auf Deckenauflagertiefen $\geq t/2$. Mit dieser Deckenauflagertiefe gestaltet es sich jedoch immer schwieriger, die gestiegenen und weiter steigenden thermischen und energetischen Anforderungen an Gebäude und Baustoffe (zum Beispiel den Passivhausstandard) zu erfüllen. Um diesen Erfordernissen gerecht zu werden ist künftig eine Verkürzung der Deckenauflagertiefe ($< t/2$) zur Vermeidung der Wärmebrücke notwendig.
Mit den bisher verfügbaren Modellen können in diesen Fällen jedoch Nachweisschwierigkeiten auftreten, da für den normativen Nachweis nur die Deckenauflagertiefe angesetzt werden darf. Die Mitwirkung des Deckenabmauerungssteins beim Lastabtrag wird bisher nicht erfasst, obwohl dieser in Abhängigkeit der wirkenden Auflast einen gewissen Anteil der Normalkraft überträgt und somit zu einer Verringerung der Exzentrizität beiträgt, wie die oben beschriebenen Untersuchungen von *Ortlepp* [48] gezeigt hatten. Als Resultat der Untersuchungen wurden in [48] verschiedene Gleichungen für die vereinfachte Bestimmung der Abminderungsfaktoren in Wandmitte zur Diskussion gestellt. Darunter befanden sich auch auflastabhängige Vorschläge.
Die in [51] nur beiläufig, am Rande einer anderen Untersuchung, durchgeführten Analysen am Wandkopf dienten einem ersten Herantasten an die Problematik, nachdem *Baier* in seinen Untersuchungen den Deckenabmauerungsstein noch vernachlässigt hatte. Analog zur Wandmitte sollten auch für den Wandkopf auflastabhängige Bestimmungsgleichungen entwickelt werden, aufgrund der Komplexität wurden die Untersuchungen jedoch unterbrochen.
In [52] wurde für einen konkreten Anwendungsfall ein Vorschlag zur Bestimmung eines Abminderungsfaktors auf Grundlage der numerisch bestimmten Lastanteile, die über den Deckenabmauerungsstein und das Deckenauflager übertragen werden, entwickelt.
Alle zusätzlich zu den normativen Berechnungsmodellen dargestellten Herangehensweisen haben gemeinsam, dass damit die Lastausmitte der resultierenden Normalkraft in Abhängigkeit der vorherrschenden Lastkombination ermittelt wird. Diese wird anschließend für die Bemessung verwendet.

3.3. Versuche am Wand-Decken-Knoten

3.3.1. Allgemeines

In den experimentellen Untersuchungen ist das Verhalten des Wand-Decken-Knotens (WDK) im Grenzzustand der Tragfähigkeit bzw. der Versagensvorgang unterhalb der teilweise aufliegenden Deckenplatte experimentell an geeigneten Probekörpern zu untersuchen.
Zum Tragverhalten des WDK sind in der Vergangenheit verschiedene Untersuchungen gelaufen. Dabei wurden sowohl Versuche im Originalmaßstab (überwiegend geschosshohe Rahmensysteme) als auch Versuche an Ausschnitten des Wand-Decken-Knotens durchgeführt. Nachfolgend werden einige ausgewählte, als Basis zur Weiterentwicklung dienende Untersuchungen vorgestellt.

3.3.2. Stand und Schlussfolgerungen

Innerhalb des Forschungsvorhabens sind die Auswirkungen der Verkürzung der Deckenauflagertiefe auf die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit des Systems, das Versagen der teilweise aufliegenden Deckenplatte im Grenzzustand der Tragfähigkeit sowie die Mitwirkung des Deckenabmauerungssteins beim Lastabtrag experimentell zu analysieren. Dabei sollte der Einfluss der Deckenverdrehung und der zusätzliche Lasteintrag durch die Decke berücksichtigt werden.

Eine der primären Aufgaben bestand darin, einen geeigneten Versuchsaufbau zu finden bzw. zu entwickeln. Aufgrund des geplanten Umfanges sollte für die Versuche ein gegenüber den Untersuchungen von *Baier* ([41], [42]) reduzierter Prüfkörper zum Einsatz kommen. Da für derartige Versuche keinerlei normative Vorgaben existieren, wurden in einem ersten Arbeitsschritt Versuchsanordnungen aus ähnlich gelagerten Veröffentlichungen zusammengestellt.
In den in Abschnitt 3.3 zusammengetragenen Quellen werden Prüfanordnungen für Versuche an Ausschnitten des Wand-Decken-Knotens beschrieben. Die Prüfkörper bestanden dabei stets aus einem oberen und unteren Wandteil sowie einem Teilstück der Deckenplatte. Die Abmessungen dieser Wandabschnitte sollten nach [55] den Anforderungen aus der Mauerwerksprüfnorm DIN EN 1052-1 [56] entsprechen. Der Versuchsaufbau von *Lewicki* sah theoretisch das 1,5-fache der jeweiligen Bauteildicke vor, in den in [57] dokumentierten Versuchen entsprach die Höhe der Prüfkörperhälften der 3-fachen Steinhöhe. Zu dem von *Martens u. a.* in [60] vorgeschlagenen Aufbau waren bisher keine konkreten Maße zu finden.
Die Länge der auf die Wand aufzulegenden oder zu betonierenden Deckenplatte hängt vom vorgesehenen Lasteinleitungspunkt der Deckenauflast und der prüfkörperabseitigen Auflagerung ab. *Sahlin* und *Lewicki* schlagen die Ausführung als Kragträger vor, während das prüfkörperabseitige Auflager bei *Martens* über eine Feder gelagert werden soll.
Der Ansatz, die Höhe der beiden Wandabschnitte an der Prüfnorm für die Mauerwerksdruckfestigkeit auszurichten erscheint sinnvoll. Zusätzliche Einschränkungen ergeben sich hier noch aus der zur Verfügung stehenden Versuchstechnik, insbesondere im Hinblick auf die Abmessungen der Prüfmaschine. Unter Berücksichtigung der vorgenannten Bedingungen wurde festgelegt, dass die Höhe der Prüfkörperhälften in den durchzuführenden Versuchen drei Steinhöhen betragen soll.

Der in [55] und [60] beschriebene Versuchsaufbau sieht am Wandkopf und Wandfuß eine exzentrische Lasteinleitung vor wobei nicht geplant ist, diese festgelegten Ausmitten während der Versuchsdurchführung zu ändern. Die Prüfkörper bei *Lewicki* wurden hingegen auf beiden Seiten vollflächig gelagert bzw. belastet.

Vor dem Hintergrund der Ergebnisse von *Baier* in [41], wonach die am Knoten ermittelten Lastausmitten deutlich von der jeweils anstehenden Lastkombinationen abhängen, ist die Prüfung mit vollflächiger Auflagerung als günstiger einzustufen.

Auf dem Teilstück der auskragenden Deckenplatte wird im Abstand *x* von der Wand eine Einzellast aufgebracht. Nach *Sahlin* sollte der Lasteinleitungspunkt am Momentennulldurchgang einer äquivalent belasteten, beidseitig eingespannten Deckenplatte liegen. Damit könnte im Knoten selbst ein gleichwertiges Moment erzeugt werden. Die Herangehensweise von *Lewicki* ist prinzipiell vergleichbar, auch wenn der Abstand *x* geringer gewählt ist. In beiden Fällen ist die Deckenplatte als Kragträger konzipiert.
Beide Vorschläge haben gemeinsam, dass das Lastregime am Einspannmoment der Deckenplatte ausgerichtet wird (Laststeigerung auf der Decke bis das Einspannmoment erreicht wird). Dabei werden jedoch die aus der Deckenauflast über das Deckenauflager in den Knoten eingetragenen Lasten sowie die tatsächliche Deckendurchbiegung (Neigung am Auflager) vernachlässigt. So ist es möglich, dass zwar für den Augenblick ein gleichwertiges Einspannmoment, jedoch eine zu geringe bzw. zu hohe Deckenauflagerkraft auftritt.
Die Neigung bzw. Verdrehung der Deckenplatte ergibt sich in den vorgeschlagenen Aufbauten in Abhängigkeit der aufgebrachten Einzellast auf der Decke. Da das Lastregime jedoch, wie zuvor beschrieben, nur am eingetragenen Moment ausgerichtet wird, kann bei diesem Ansatz die resultierende Deckenneigung von der tatsächlichen Deckenneigung abweichen (im ungünstigen Falle einer als gerissen zu betrachtenden Deckenplatte ergeben sich beispielsweise deutlich größere Durchbiegungen bzw. Verdrehungen).
Zudem haben die Untersuchungen von *Martens* und *Baier* gezeigt, dass die tatsächlich in den Wandkopf eingetragenen Momente einerseits deutlich kleiner sind, als nach theoretischem Ansatz berechnet wird, und andererseits auch wesentlich von der Auflast abhängen. Die Orientierung der Versuchsdurchführung am Einspannmoment erscheint daher weniger geeignet.

In den geplanten Untersuchungen geht es um das Versagen des WDK. Es ist daher eine möglichst ungünstige, dennoch realitätsnahe Belastungssituation zu konstruieren. Unter der Grundvoraussetzung einen

- einfachen Versuchsaufbau zu generieren mit dem
- reproduzierbare Ergebnisse

gewonnen werden können, sowie aufbauend auf den aus der Literaturstudie erlangten Erkenntnisse wurde festgelegt, dass die Versuchsdurchführung an der Deckenauflagerkraft und der Deckenneigung auszurichten ist. Im Versuch sollten beide Größen unabhängig voneinander steuerbar sein.

Aufgrund der genannten Vorgaben kann in den experimentellen Untersuchungen kein System mit Kragträger genutzt werden und die Decke ist am knotenabseitigen Ende in geeigneter Weise zu lagern. Eine Möglichkeit wäre, für die Auflagerung der Deckenplatte, wie bei *Martens* in [60] beschrieben, eine Feder zu verwenden. Deren Kennwerte müssten dann so gewählt werden, dass sich unter Belastung ein möglichst realistisches Verformungsverhalten einstellt. Das bedeutet jedoch auch, dass die Durchbiegung der Decke bzw. deren Änderung in Abhängigkeit der Belastung vor Versuchsdurchführung bekannt sein muss bzw. dafür Annahmen getroffen werden.
Wenn jetzt allerdings das lastabhängige Verformungsverhalten der Decke vor der Durchführung schon bekannt ist (durch Berechnung oder sonstige Annahmen), kann auf die Feder auch verzichtet werden. Das knotenabseitige Lager kann stattdessen vertikal verschieblich (steuerbar) ausgebildet werden.

Der sich aus diesen Erkenntnissen ergebende Versuchsaufbau ist in Bild 50 dargestellt. Mittels numerischer Voruntersuchungen wird in Abschnitt 4.2.5 seine Eignung überprüft.

Hinsichtlich des Belastungsregimes sind verschiedene Ansätze möglich. Dabei ist eine gleichmäßige Steigerung von Wand- und Deckenauflast nicht sinnvoll, da hieraus unrealistisch hohe Auflagerkräfte resultieren können und die Deckenauflast durch die Vorgaben aus der Nutzung und den Anforderungen an den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (Durchbiegung) begrenzt ist.
Insofern ist es zweckdienlich, vor Versuchsbeginn entsprechende Randbedingungen (Grenzwerte für Lasten und Verdrehungen bzw. Durchbiegungen) festzulegen. Eine Steigerung über diese Werte hinaus ist dann nicht zielführend.

3.4. Bestimmung der Deckenverdrehung

Bei den Versuchen an den Knotenausschnitten soll der Einfluss der Deckenverdrehung im Auflagerbereich berücksichtigt werden (Bild 13). Da in den Versuchen nur mit einem Deckenstumpf gearbeitet werden soll, kann sich die Verdrehung im Auflagerbereich nicht „natürlich“ aufgrund der Durchbiegung einstellen. Daher ist es notwendig, den Deckenstumpf während der Versuchsdurchführung um einen bestimmten Winkel zu neigen. An dieser Stelle wird überprüft, um welchen Betrag die Decke zu neigen ist und welcher Winkel sich dabei einstellen kann. Im Zuge der numerischen Voruntersuchungen werden dazu noch Parameterstudien durchgeführt (4.2.4).

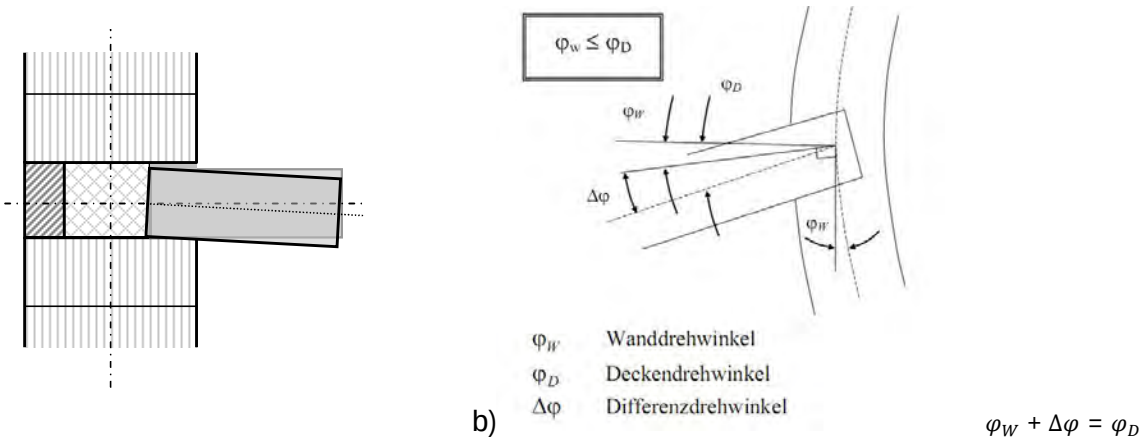
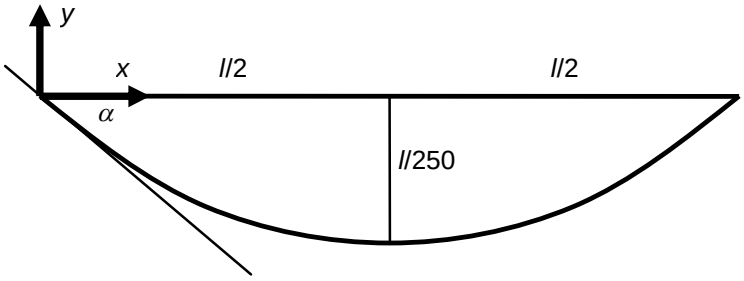


Bild 13 a) Ausschnitt WDK mit geneigter Deckenplatte; b) Drehwinkelbeziehungen [41]

Der Auflagerdrehwinkel der Decke ist u. a. durch die zulässige Durchbiegung der Deckenplatte beschränkt. Diese wird in Feldmitte auf $f \leq l/250 = 6/250 = 0{,}024$ m begrenzt (DIN 1045-1). Nimmt man, den Ausführungen von *Pieper* und *Lind* [68] folgend, für die Biegelinie der Deckenplatte vereinfacht eine Parabel 2. Ordnung an, so ergibt sich der maximale Auflagerdrehwinkel der Deckenplatte nach Bild 14 zu $\alpha \approx 0{,}9°$.
Dieser Wert kann jedoch nur erreicht werden, wenn sich die Deckenplatte am Auflager ungehindert verdrehen kann. Dieser Fall tritt allerdings nur selten auf und wenn, dann zumeist in Kombination mit geringen Lasten (z. B. als oberste Geschossdecke).



$$y = f(x) = \frac{4}{250l}x^2 - \frac{4}{250}x$$

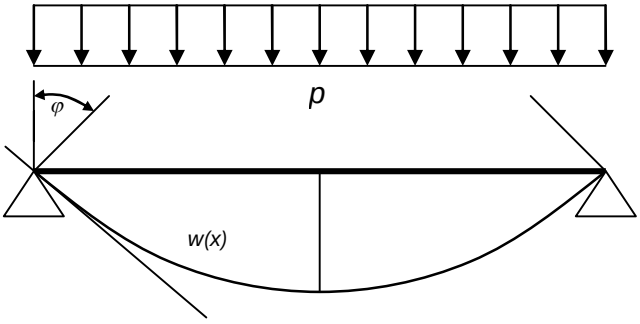
$$f'(x) = \frac{4}{125l}x - \frac{2}{125}$$

$$f'(x0) = -\frac{2}{125} = m = \tan\alpha$$

$$\alpha \sim 0{,}9°$$

Bild 14 Bestimmung des Auflagerdrehwinkels bei Beschränkung der Durchbiegung

Aus der technischen Mechanik lässt sich für einen gelenkig gelagerten Träger auf zwei Stützen unter gleichmäßiger Streckenlast die Verformung sowie der Knotendrehwinkel entsprechend Gl. (6) und (7) ermitteln.



$$w_{max} = \frac{5 \cdot p \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} \qquad (6)$$

$$\varphi = \frac{p \cdot l^3}{24 \cdot E \cdot I} \qquad (7)$$

Bild 15 Bestimmung des Knotendrehwinkels für Träger auf 2 Stützen mit gleichmäßiger Streckenlast

Mit einem reduzierten E-Modul von 15000 N/mm² (Zustand II), einer 23 cm hohen und 6,00 m langen Decke sowie der zulässigen Durchbiegung von 24 mm (*l*/250) ergibt sich daraus eine maximal zulässige (Gebrauchs)Last von

$$w = \frac{5 \cdot p \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} \rightarrow p = \frac{w \cdot 384 \cdot E \cdot I}{5 \cdot l^4} = \frac{0{,}024 \cdot 384 \cdot 15000 \cdot 0{,}001014}{5 \cdot 6^4} = 21{,}6\frac{kN}{m} \qquad (8)$$

und daraus entsprechend Gleichung (7) ein Knotendrehwinkel von

$$\varphi = \frac{p \cdot l^3}{24 \cdot E \cdot I} = \frac{0{,}0216 \cdot 6^3}{24 \cdot 15000 \cdot 0{,}001014} = 0{,}0128\,rad \sim 0{,}73° \qquad (9)$$

Baier beobachtete in [41] in seinen Versuchen am Wand-Decken-Knoten mit teilweise aufliegender Deckenplatte eine maximale Durchbiegung in Feldmitte von etwa 7 mm, die maximal gemessene Verdrehung am Auflager betrug 0,21° (Deckenlänge 5,00 m, Belastung 3 kN/m² exkl. Eigengewicht). Aus den Ergebnissen war deutlich der Einfluss der unterschiedlichen Auflasten zu erkennen. Mit abnehmender Wandbelastung nahmen die Deckenverformungen und die Verdrehung der Deckenplatte bei gleicher Deckenbelastung zu, was auf den verminderten Einspanngrad der Decke zurückgeführt wird.
Die Verdrehung der Wände nimmt ebenfalls mit steigender Wandbelastung ab. Sie ist über der Decke und darunter unterschiedlich groß. Die Wandverdrehungen fallen insgesamt wesentlich geringer aus und betragen etwa 20 bis maximal 30 % der Deckenverdrehungen. Der

größte gemessene Wert betrug dabei 0,04°. Die größten Durchbiegungen und Verdrehungen traten in der Laststufe mit der geringsten Auflast bei größter Deckenbelastung auf.

4. Numerische Voruntersuchungen

4.1. Thermische Untersuchungen

4.1.1. Allgemeines

Mit zunehmender Forderung an die Reduzierung der Transmissionswärmeverluste gewinnen Wärmebrücken stärker an Bedeutung, weshalb im Falle des Anschlusses der Geschossdecke an eine monolithische Außenwand (Wand-Decken-Knoten) eine thermische Optimierung erforderlich ist. Diese soll in erster Linie durch eine Verkürzung der Deckenauflagertiefe erfolgen.
Bei der Bearbeitung galt es zunächst eindeutige Ansatzpunkte zu finden, mit dem die erforderliche Reduzierung der Auflagertiefe und die zu verwendenden Materialien genau bestimmt werden können. Aus der Aufgabenstellung ergab sich die Notwendigkeit, dazu die Zertifizierungskriterien des Passivhaus Instituts (PHI) zu verwenden.
Für das Projekt ist nur der Anschluss der Geschossdecke an die Außenwand und nicht das Gesamtgebäude von Interesse. Aus diesem Grund sind nur die Kriterien zur Zertifizierung der „Passivhaus tauglichen Komponenten“ (vgl. Abschnitt 2.1.4) zur Erarbeitung der baustofflichen und konstruktiven Anforderungen an Wandbaustoff und Deckenauflager herangezogen worden. Zur besseren Übersicht sind die für dieses Projekt maßgebenden Anforderungen (2.1.3) nachfolgend noch einmal aufgeführt.

$$U \leq 0{,}15 \frac{W}{m^2 K} \tag{10}$$

$$\psi \leq 0{,}01 \frac{W}{mK} \tag{11}$$

Zunächst war zu überprüfen, unter welchen Bedingungen der Wärmedurchgangskoeffizient (*U*-Wert) eines monolithischen Wandaufbaues kleiner als 0,15 W/(m²K) werden kann. Die Betrachtungen wurden für derzeit auf dem Markt befindliche Mauersteine angestellt. Aufgrund der Vielzahl der aktuell verfügbaren Produkte waren auf der Materialseite weitere Eingrenzungen erforderlich.
In Vorbesprechungen wurde daher festgelegt, dass für die Analysen und die daran anknüpfenden experimentellen Untersuchungen Plansteine aus Porenbeton und Leichtbeton (Hohlblöcke sowie Vollblöcke mit Schlitzen) zu verwenden sind (Bild 16). Die Steine sollten dabei alle maximal der Steinfestigkeitsklasse 2 entsprechen, da höhere Festigkeiten in der Regel gleichbedeutend mit höheren Rohdichten sind und somit eine Verschlechterung der thermischen Eigenschaften nach sich ziehen. Die zu berücksichtigenden Wanddicken lagen zwischen 365 und 490 mm.

a)

b)

Bild 16 Steinmaterial; a) Porenbetonstein (Quelle: PORIT); b) Plan-Vollblock aus Leichtbeton mit Schlitzen senkrecht zur Oberfläche (Quelle: Bisotherm);

Die Hersteller wurden nicht genauer spezifiziert. Für die vorliegende Materialzusammenstellung der Leichtbetonsteine wurden daher zunächst nur die Hersteller KLB (Klimaleichtblock) [7] und Bisotherm [62] berücksichtigt. Die Porenbetonsteine wurden auf Grundlage der zu Beginn der Untersuchung aktuellen Produktprogramme von YTONG [63] bzw. PORIT [64] ausgewählt.
Bei Auflagertiefen < $t/2$ ist der Deckenabmauerungsstein am Lastabtrag beteiligt und sollte daher mindestens die Festigkeit des Mauerwerks aufweisen.
Da bei den thermischen Berechnungen der gesamte Wandaufbau eingeht, wurde im Vorfeld eine Recherche zu gängigen Putzmörteln durchgeführt. Die für die Berechnung erforderlichen Wärmeleitfähigkeiten können dabei der Norm E DIN 4108-4 [18] oder Herstellerangaben entnommen werden.
Die in den thermischen Berechnungen berücksichtigte Vorauswahl des Materials kann vollständig den Tabellen im Anhang entnommen werden. Die nachfolgenden Tabellen bieten einen Überblick. Die Schichtdicken beim Wärmedämmputz liegen zwischen 20 und 100 mm wobei der Putz teilweise in mehreren Lagen aufgebracht wird. Die Putzmörtel sind entsprechend ihres Anwendungsbereichs ggf. noch mit einem Oberputz bzw. anderen Ergänzungsprodukten zu versehen.

Tabelle 2 Übersicht untersuchte Steinarten mit Wertebereichen

Typ	Steinart	Wanddicken	SFK	λ_B in W/(mK)
		[mm]	[-]	[W/(mK)]
Mauersteine	Leichtbeton Hbl	365, 425, 490	1,6 – 4,0	0,06 – 0,08
	Leichtbeton Vbl	365, 425, 490	1,6 – 4,0	0,09 – 0,13
	Porenbeton	365, 400, 425, 480	1,6 – 2,0	0,07 – 0,09
Deckenabmauerungssteine	Leichtbeton	115	2,0 – 4,0	0,14 – 0,27
	Porenbeton	115	4,0	0,14 – 0,16

Tabelle 3 Übersicht Putz mit Wertebereichen

Putzart	Schichtdicken	λ_B in W/(mK)
Innenputz	ab 15 mm	0,25 – 1,00
Außenputz	20 – 80 mm	0,07 – 0,50

Anschließend wurden, basierend auf dem Kriterium für den Wärmebrückenverlustkoeffizienten ($\psi \leq$ 0,01 W/(mK)), die gangbaren Deckenauflagertiefen ermittelt. Mit bekannten Algorithmen wurden verschiedene Material- und Lösungskombinationen wärmeschutztechnisch untersucht, Zielvorgaben herausgearbeitet und die Randbedingungen für die statische Analyse abgesteckt.
Die für die Ermittlung des ψ-Wertes erforderliche Temperaturverteilung und die Wärmeströme im Modell wurden numerisch ermittelt. Für die Berechnung wurden die Programme THERM (5.2) sowie HEAT2 benutzt. Das entsprechende Bauteil wurde dabei aus Flächen modelliert, denen anschließend die erforderlichen Kennwerte zugewiesen wurden (Bild 17). Der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ der Materialien war dafür zu berechnen oder entsprechenden Tabellenwerten bzw. Herstellerangaben zu entnehmen (siehe [3], [61]). In Abhängigkeit der verwendeten Software wurde der Wärmebrückenverlustkoeffizient entweder direkt im Programm berechnet oder musste separat in einer Tabellenkalkulation ermittelt werden.

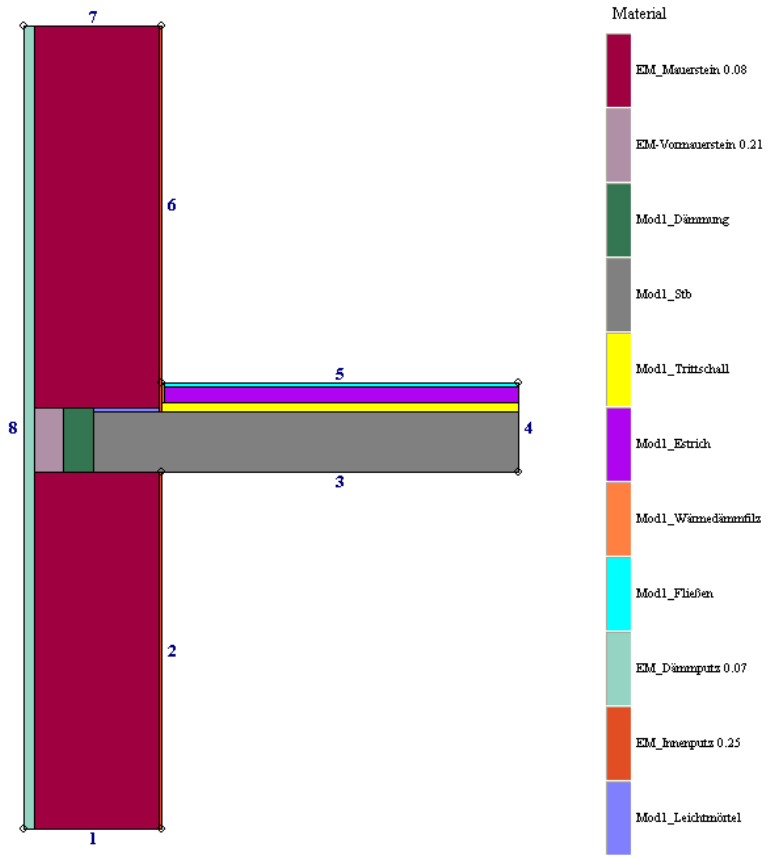


Bild 17 Beispiel eines 2D-Modells des WDK in HEAT2

4.1.2. Parameterstudien zum Wärmedurchgangskoeffizienten

Mit einer allgemeinen Parameterstudie wurde überprüft, unter welchen Bedingungen das *U*-Wert-Kriterium eingehalten werden kann. Der Wandaufbau entspricht dem in Bild 4 dargestellten, die Berechnung des *U*-Wertes erfolgte gemäß der Summierung der Einzelwiderstände der Schichten. Die Parameterstudie wurde mit dem in Tabelle 4 dargestellten Parameterbereich durchgeführt.

Die Schichtdicke für den Innenputz wurde in den Überlegungen mit 15 mm angenommen. Bei den Außenputz-Systemen wurden evtl. zusätzlich notwendige Schichten (z. B. Putzgrundvorbereitung, Ausgleichslage, Oberputz) und Einlagen (Putzträger) nicht berücksichtigt. Bei den thermischen Berechnungen ging jeweils nur eine Putzart (Leichtputz, Faserleichtputz, Dämmputz) mit der zugehörigen Schichtdicke und Wärmeleitfähigkeit ein.

In Bild 18 ist als Ergebnis der Studie der *U*-Wert in Abhängigkeit der Dicke des verwendeten Mauersteins für die verschiedenen Kombinationen aufgetragen. Die drei zusätzlich dargestellten Linien verbinden beispielhaft jeweils die Punkte einer Kombinationsreihe, bei der sich nur die Steinbreite ändert. Die Dicken und Wärmeleitfähigkeiten der Putzschichten sowie die Wärmeleitfähigkeit des Mauersteins bleiben gleich.

Tabelle 4 Parameterbereich U-Wert-Studie

Parameter	Werte
Wanddicke [m]	0,365 / 0,400 / 0,425 / 0,48 / 0,49
Wärmeleitfähigkeit Mauersteine [W/(mK)]	0,065 / 0,080 / 0,100
Dicke Außenputz [m]	0,02 / 0,04 / 0,06 / 0,08
Wärmeleitfähigkeit Außenputz [W/(mK)]	0,07 / 0,15 / 0,25 / 0,35
Dicke Innenputz [m]	0,015
Wärmeleitfähigkeit Innenputz [W/(mK)]	0,25 / 0,35 / 0,50

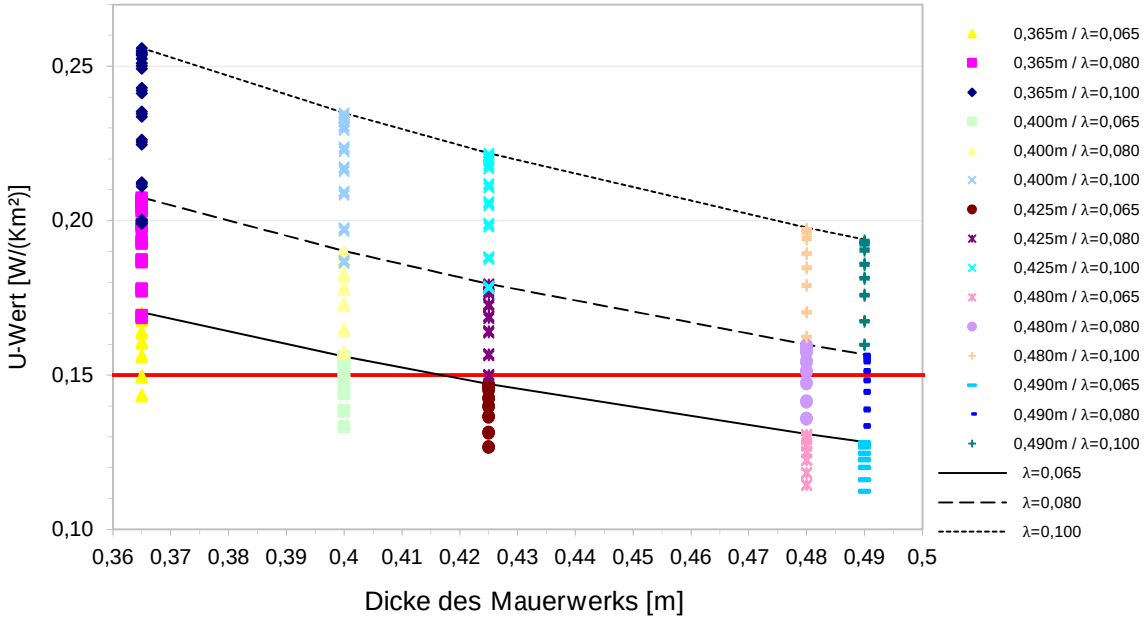


Bild 18 U-Wert in Abhängigkeit der Dicke des Mauerwerks

Aus der Parameterstudie geht hervor, dass mit einer Wandstärke von 36,5 cm nur schwer ein Wärmedurchgangskoeffizient von 0,15 W/(m²K) zu erreichen ist. Selbst bei Wanddicken von 42,5 cm gelingt dies nur, wenn der verwendete Mauerstein eine sehr geringe Wärmeleitfähigkeit hat und ein entsprechender Wärmedämmputz aufgetragen wird.
Das lässt vermuten, dass mit den ausgewählten geschlitzten Vollblöcken (Tabelle 2) aufgrund ihrer höheren Wärmeleitfähigkeit ($\lambda \geq$ 0,09 W/(mK)) kaum der erforderliche U-Wert erreicht werden kann. Um dies zu überprüfen, wurde im nächsten Schritt eine herstellerspezifische Parameterstudie durchgeführt. Dabei wurden die in der Zusammenstellung im Anhang aufgeführten Mauersteine mit verschiedenen Wandaufbauten (Putzarten und -dicken) kombiniert. Die Berechnungsergebnisse sind im Anhang aufgelistet und in Bild 19 grafisch dargestellt.

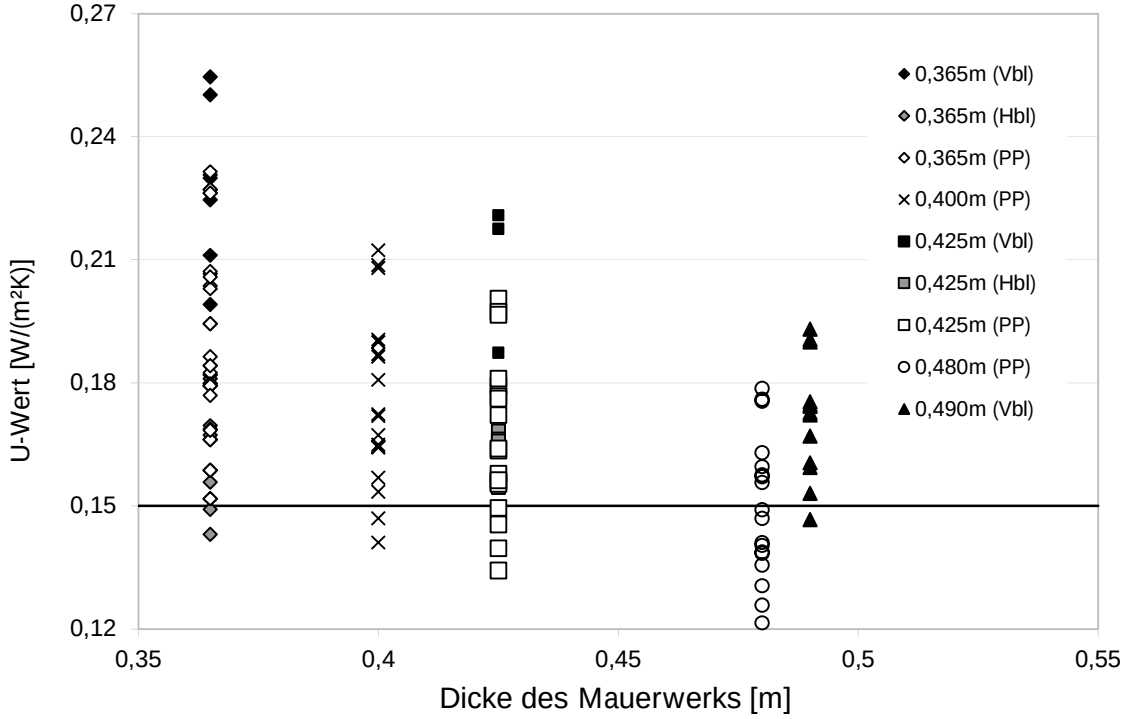


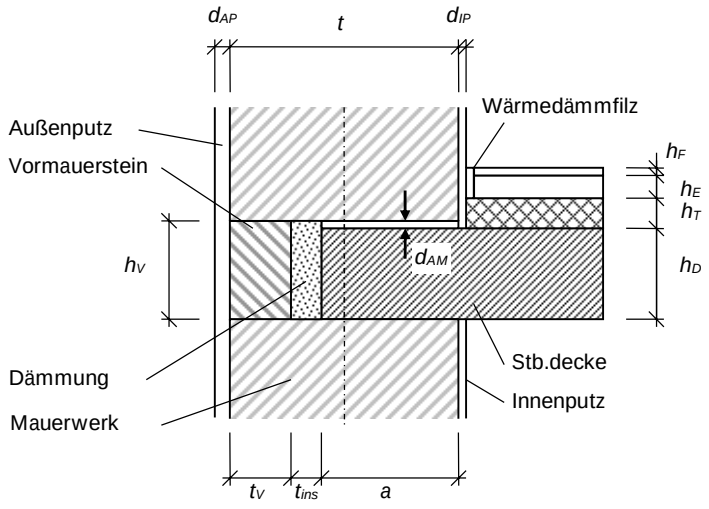
Bild 19 U-Werte in Abhängigkeit der Dicke des Mauerwerks und der Steinart (herstellerspezifisch)

Aus den durchgeführten Parameterstudien zum Wärmedurchgangkoeffizienten geht hervor, dass mit geschlitzten Plan-Vollblöcken aus Leichtbeton (Vbl) bei Wandstärken von 36,5 cm und 42,5 cm der für die Zertifizierung von Passivhaus geeigneten Komponenten (2.1.3) erforderliche U-Wert von 0,15 W/(m²K) praktisch nicht zu erreichen ist (Bild 19). Das trifft ebenfalls auf die 36,5 cm dicken Wände aus Porenbetonsteinen (PP).
Unter Verwendung eines Wärmedämmputzes auf der Wandaußenseite in entsprechender Stärke kann hingegen für gefüllte Plan-Hohlblöcke aus Leichtbeton (Hbl) und Porenbetonsteine in den übrigen untersuchten Wanddicken der geforderte Wärmedurchgangskoeffizient von 0,15 W/(m²K) erreicht werden.
An dieser Stelle wurde nicht berücksichtigt, ob diese Art der Ausführung (vor allem im Hinblick auf die Außenputzsysteme) baupraktisch relevant ist. Im Vordergrund stand die Überprüfung, ob der Grenzwert für die Zertifizierung nach Abschnitt 2.1.3 (Gl. (1)) theoretisch erreicht werden kann.

4.1.3. Evaluierung verschiedener Aufbauten

4.1.3.1. Allgemeines

Während der Projektbearbeitung wurde allgemein überprüft, wie sich verschiedene Knotengeometrien und die Verwendung unterschiedlicher Baustoffe (Berücksichtigung über Variation der Wärmeleitfähigkeiten λ) auf die Wärmebrücke auswirken.
In diesem Abschnitt wird kurz auf einen Teil der untersuchten Varianten für die Wanddicken 36,5 cm und 48 cm eingegangen. Um allgemeingültige Aussagen zum Einfluss der Deckenauflagertiefe auf die Wärmebrücke zu gewinnen, wurde abschließend eine Parameterstudie durchgeführt.
Bild 20 zeigt die prinzipielle Ausbildung des betrachteten Wand-Decken-Knotens.



Dabei sind:

t	Wanddicke
d_{AP}	Dicke Außenputz
d_{IP}	Dicke Innenputz
d_{AM}	Höhe Ausgleichsschicht
a	Deckenauflagertiefe
t_{ins}	Dicke Wärmedämmung
t_V	Dicke Deckenabmauerungsstein
h_V	Höhe Deckenabmauerungsstein
h_D	Höhe Stahlbetondecke
h_T	Höhe Trittschalldämmung
h_E	Höhe Estrich
h_F	Höhe Fußbodenbelag

Bild 20 Prinzipielle Knotenausbildung in den thermischen Untersuchungen

Der Fußbodenaufbau der Geschossdecke soll in allen Varianten identisch sein (Tabelle 5). Für die Wärmedämmung zwischen Deckenabmauerungsstein und Geschossdecke wird das gleiche Material benutzt.

Tabelle 5 Annahmen für Fußbodenaufbau und Wärmedämmung

Material	Schichtdicke [mm]	λ [W/(mK)]
Stahlbetondecke	180 - 230	2,1
Trittschalldämmung, EPS-Schüttung	40	0,04
Estrich	60	1,2
Fließen	15	1,3
Wärmedämmfilz	10	0,035
Wärmedämmung (Polystyrol EPS 20 plus)	t_{ins}	0,030

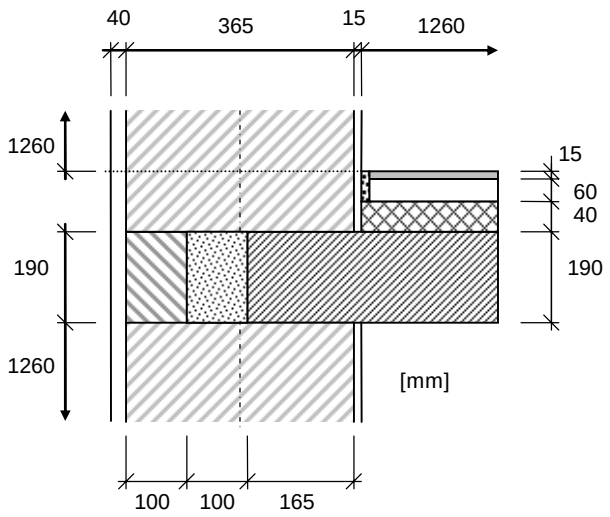
Für die Betrachtungen wird von einer Regelgeschosshöhe von 2,75 m ausgegangen. In Abhängigkeit der Dicke der flankierenden Elemente (vgl. Bild 5) ergeben sich für die modellhafte Abbildung des WDK u. a. die in Tabelle 6 aufgelisteten Mindestabstände der Schnittebenen vom zentralen Element.

Tabelle 6 Abstände d_{min} der Schnittebenen vom zentralen Element (Auswahl)

Wanddicke t [mm]	d_{AP} [mm]	d_{IP} [mm]	h_W / 2 [m]	$3\cdot(t+d_{AP}+d_{IP})$ [m]	d_{min} [m]
365	40	15	1,375	1,260	1,260
425	40	15	1,375	1,440	1,375
490	40	15	1,375	1,635	1,375

4.1.3.2. Aufbau A (t = 365 mm)

Bild 21 zeigt den Referenzaufbau für eine der Untersuchungsreihen. Die Deckenauflagertiefe betrug zunächst 165 mm (Mindestauflagertiefe nach DIN EN 1996-3/NA). Alle weiteren geometrischen und thermischen Eingangswerte können der Tabelle neben der Abbildung entnommen werden. Für die Evaluierung wurde in weiteren Berechnungen die Deckenauflagertiefe auf Werte von 150, 120 und 100 mm reduziert. Die Dicke der Dämmung wurde entsprechend angepasst. Alle weiteren Eingangswerte blieben gleich.
Zusätzlich wurde überprüft, inwieweit die Anordnung einer Ausgleichsschicht über/unter der Deckenplatte (vgl. Bild 20) einen Einfluss auf die thermische Berechnung hat. Die Auswirkungen einer über die gesamte Wandbreite gehenden Ausgleichsschicht wird in Abschnitt 4.1.3.6 behandelt.



Material	Maße	λ
Mauerstein	365	0,060
Innenputz (Gipsputz)	15	0,51
Außenputz (Dämmputz)	40	0,07
Deckenabmauerungsstein	100x190	0,14
Stahlbetondecke	190	2,1
Dämmung	100	0,03
Trittschalldämmung	40	0,04
Estrich	60	1,2
Fliesen	15	1,3
Wärmedämmfilz	10	0,035

Bild 21 Variante A1, ohne Ausgleichsschicht

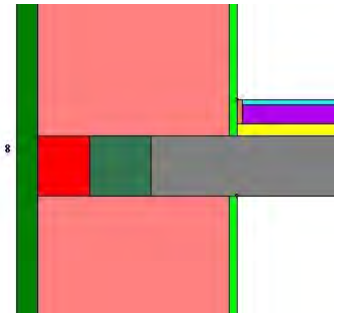
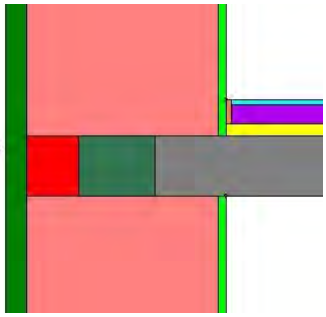
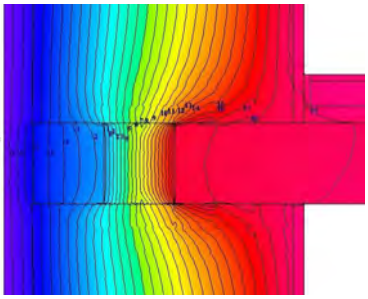
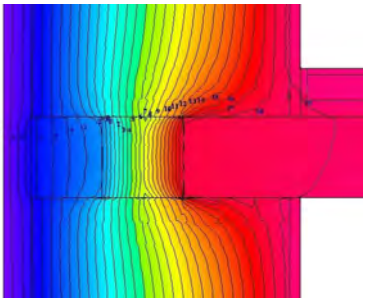
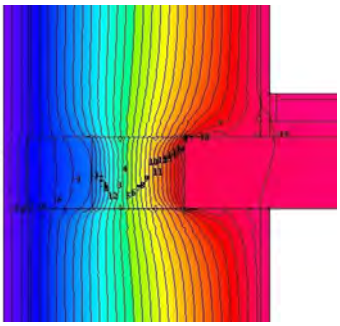
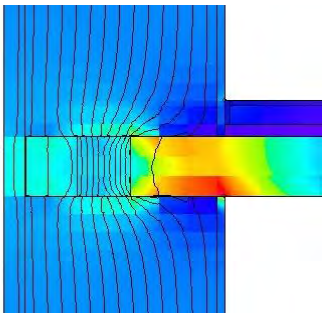
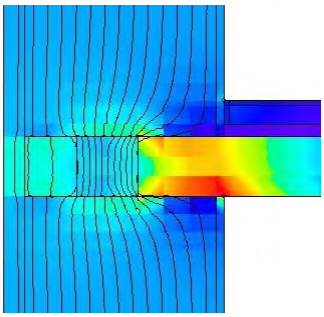
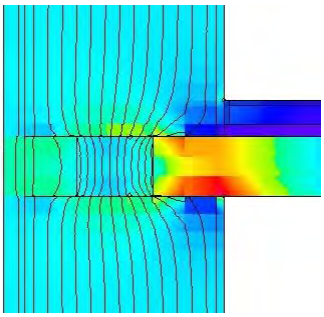
Ein Teil der Berechnungsergebnisse ist in Tabelle 7 wiedergegeben.

Tabelle 7 Berechnungsergebnisse Aufbau A

Kennwert	Einheit	165 mm	150 mm	120 mm
U an der Schnittebene	W/(m²K)	0,1459	0,1459	0,1459
Wärmestrom Φ	W/m	13,04	12,881	12,662
L^{2D}	W/(mK)	0,4347	0,4294	0,4207
Wärmebrückenverlustkoeffizient ψ	W/(mK)	0,0225	0,0172	0,0086
mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient U_{AVG}	W/(m²K)	0,1539	0,152	0,1489

Tabelle 8 zeigt eine Übersicht zum Einfluss der Auflagertiefe auf den Isothermenverlauf und den Wärmestrom.

Tabelle 8 Ergebnisplots zu Aufbau A

a = 165 mm	a = 150 mm	a = 120 mm
		
		
		
ψ = 0,0225 W/(mK)	ψ = 0,0172 W/(mK)	ψ = 0,0086 W/(mK)
U_{avg} = 0,154 W/(m²K)	U_{avg} = 0,152 W/(m²K)	U_{avg} = 0,149 W/(m²K)

Die Berechnungsergebnisse in Tabelle 8 zeigen eine deutliche Beeinflussung der Temperaturverteilung durch die Auflagertiefe der Deckenplatte. Mit einer Verkürzung auf 120 mm konnten dabei sowohl für den *U*-Wert (Mittelwert) als auch den Wärmebrückenverlustkoeffizienten die erforderlichen Grenzwerte erreicht werden.
Innerhalb einer Parameterstudie wurde für den Aufbau A die Deckenauflagertiefe in den Grenzen 0 bis 255 mm variiert (Mindestdicke der Dämmung 10 mm). In Bild 22 ist der berechnete ψ-Wert in Abhängigkeit der Auflagertiefe der Deckenplatte dargestellt.

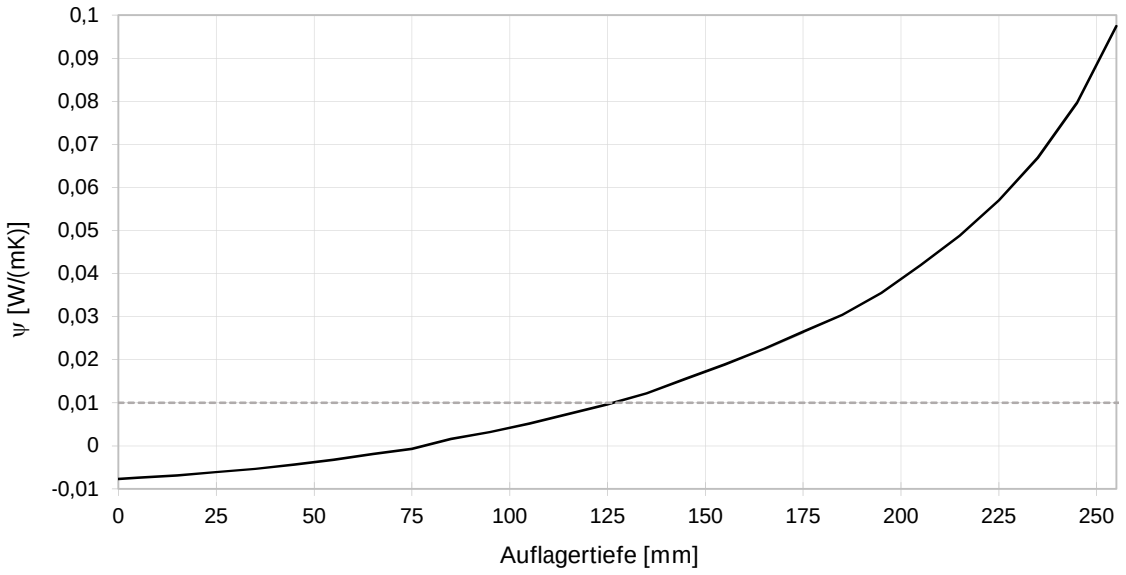
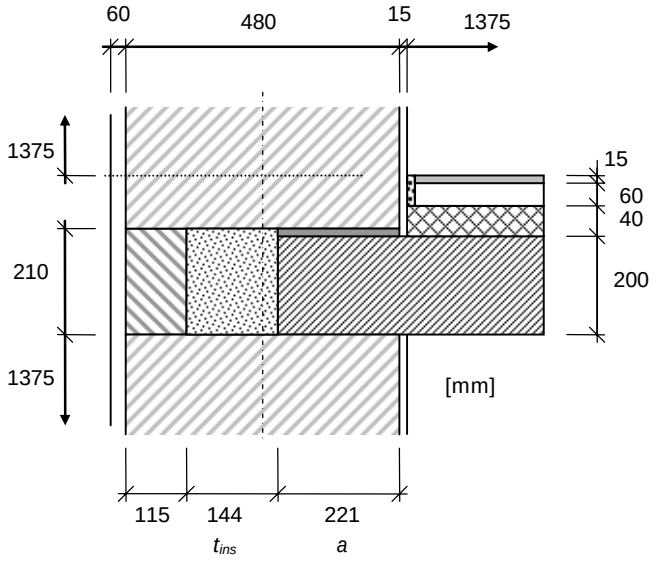


Bild 22 Parameterstudie (t=365 mm), Wärmebrückenverlustkoeffizient in Abhängigkeit der Auflagertiefe

Der erforderliche ψ-Wert von 0,01 W/(mK) kann mit diesem Aufbau etwa ab einer Auflagertiefe < 125 mm erreicht werden. Das Verhältnis Auflagertiefe zu Wanddicke beträgt für diesen Fall a/t = 0,34.
Durch die Anordnung einer Ausgleichsmörtelschicht (AM) aus Leichtmauermörtel oberhalb der Deckenplatte ergaben sich gegenüber der Ausgangsvariante ohne AM keine signifikanten Änderungen.
Bei Auflagertiefen < 75 mm nimmt der Wärmebrückenverlustkoeffizient einen negativen Wert an. Aufgrund der großen Dämmstärke nimmt der Wärmestrom im Bereich der Wärmebrücke ab, die Wärmeverluste sind geringer als die (Transmissions-)Wärmeverluste über die ungestörte Außenwand.

4.1.3.3. Aufbau B (t = 480 mm)

Die Auflagertiefe wurde zunächst mit der Mindestauflagertiefe entsprechend DIN EN 1996-3/NA angenommen (Tabelle 1).



Material	Maße	λ
Mauerstein	480	0,080 0,090
Innenputz (Gips-Leicht-Putz)	15	0,25
Außenputz (Dämmputz)	60	0,07
Deckenabmauerungsstein	115x210	0,16
Stahlbetondecke	200	2,1
Dämmung	154	0,03
Leichtmörtel	10	0,21
Trittschalldämmung	40	0,04
Estrich	60	1,2
Fliesen	15	1,3
Wärmedämmfilz	10	0,035

Bild 23 Variante B1

Tabelle 9 Berechnungsergebnisse Aufbau B (Klammerwerte für λ=0,08)

Kennwert	Einheit		a = 221 mm	a = 200 mm	a = 180 mm
U an der Schnittebene	W/(m²K)		0,163 (0,147)	0,163 (0,147)	0,163 (0,147)
Wärmestrom Φ	W/m		15,580 (14,165)	15,395 (13,983)	15,238 (13,832)
L^{2D}	W/(mK)		0,5193 (0,4722)	0,5132 (0,4661)	0,5079 (0,4611)
Wärmebrückenverlustkoeffizient ψ	W/(mK)		0,0197 (0,0215)	0,0136 (0,0155)	0,0083 (0,0104)
U_{AVG}	W/(m²K)		0,1694 (0,1541)	0,1674 (0,1521)	0,1657 (0,1504)

Mit einer Verkürzung der Deckenauflagertiefe auf 180 mm (bzw. bei λ = 0,08 auf 175 mm) könnte der Grenzwert für ψ eingehalten werden.

4.1.3.4. Alternative Aufbauten und flankierende Maßnahmen

Während der Projektbearbeitung wurde weiterhin untersucht, inwieweit sich herkömmliche bzw. alternative Aufbauten oder flankierenden Maßnahmen auf die thermischen Kennwerte des Anschlusses auswirken. In diesem Zusammenhang wurden u.a. folgende weitere Varianten analysiert:

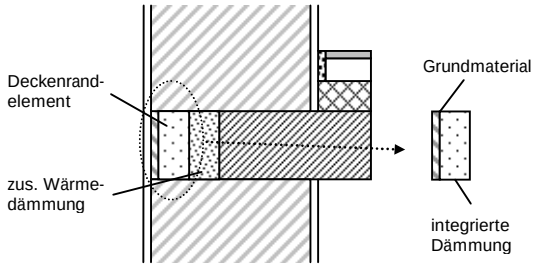
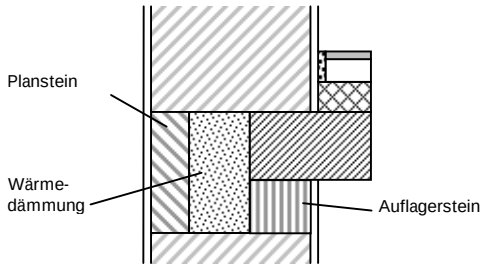
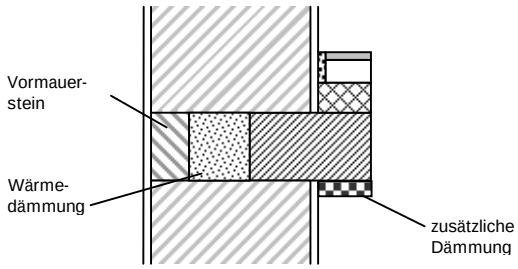
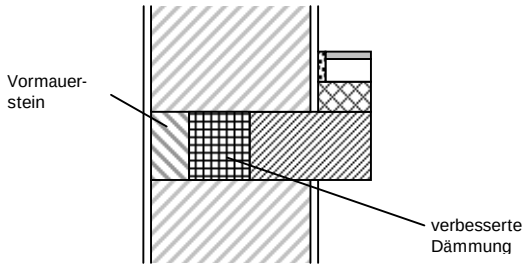
	a)	herkömmlicher Aufbau bei Deckenauflagertiefe >*t*/2, Verwendung eines Deckenrandelementes und zusätzlicher Wärmedämmung
	b)	Verwendung eines Deckenauflagersteines
	c)	zusätzliche Wärmedämmung auf der Deckenunterseite mit 20 mm EPS
	d)	Verbesserung der Wärmedämmung (λ = 0,02 statt 0,03)

Bild 24 alternative Aufbauten / flankierende Maßnahmen

Statt eines Deckenabmauerungssteins kommt bei Variante a) ein Deckenrandelement (vgl. 1.3) zum Einsatz. Dieses besteht in der Regel aus einer dünnen Außenschale (Putzgrund) aus dem jeweiligen Grundmaterial und einer mehrere Zentimeter starken integrierten Wärmedämmung.
Die beiden Varianten b) und c) resultieren aus der Überlegung, wie dem verhältnismäßig hohen Wärmeeintrag / Wärmeverlust im Bereich des Deckenauflagers bzw. an der Deckenunterseite entgegengewirkt werden kann (Bild 25). Dabei wurde außer Acht gelassen, dass die Dämmung der Deckenunterseite baupraktisch kaum relevant ist. Alternativ wurde an

dieser Stelle noch das Verputzen der Deckenunterseite in die Untersuchungen mit einbezogen.

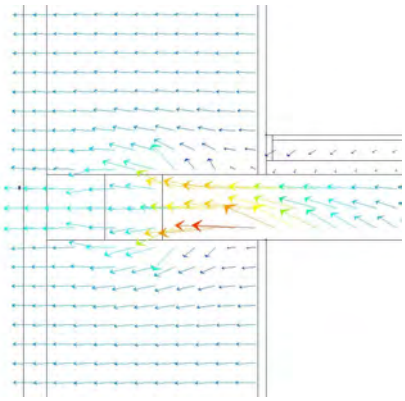


Bild 25 Richtung des Wärmestroms

Mit Variante d) wurde überprüft, welchen Einfluss eine verbesserte Wärmedämmung zwischen Decke und Deckenabmauerungsstein auf die thermischen Kennwerte des Anschlusses hat, Dafür wurde die Wärmeleitfähigkeit der Dämmung bei Variante A1 von λ = 0,03 W/(mK) auf 0,02 W/(mK) gesenkt und das Detail anschließend neu berechnet.
Die Berechnungsergebnisse der o. g. Alternativen wurden mit denen des Referenzaufbaus A verglichen. Dieser wurde stets so modifiziert, dass die Deckenauflagertiefen übereinstimmen. Tabelle 10 enthält den Vergleich der Berechnungsergebnisse der Varianten a), b), c) und d) mit denen des entsprechenden Referenzaufbaus A. Der jeweilige Knotenaufbau kann dem Anhang entnommen werden.

Tabelle 10 Vergleich Varianten a, b, c und d mit Referenzaufbau

Kennwert	Einheit	I		II		III		IV	
		A (200)*	a)	A (175)*	b)	A1	c)	A	d)
U	W/(m²K)	0,1459	0,1459	0,1459	0,1459	0,1459	0,1459	0,1459	0,1459
Φ	W/m	13,596	13,904	13,319	14,012	13,04	12,91	13,04	12,777
L^{2D}	W/(mK)	0,4532	0,4635	0,444	0,4671	0,4347	0,4305	0,4347	0,4259
ψ	W/(mK)	0,0396	0,0498	0,0318	0,0388	0,0225	0,0202	0,0225	0,0138
U_{AVG}	W/(m²K)	0,1595	0,1635	0,1572	0,1591	0,1539	0,1524	0,1539	0,1508
* prinzipieller Aufbau wie A, Klammerwert ist Deckenauflagertiefe									

Erwartungsgemäß ergeben sich dabei für Variante a) (Ausführung mit Deckenrandelement) ein deutlich höherer Wärmedurchgangskoeffizient und ein höherer Wärmebrückenverlustkoeffizient gegenüber der Ausführung mit Deckenabmauerungsstein.
Wie sich aus der Gegenüberstellung der Berechnungsergebnisse in Tabelle 10 zeigt, ergeben sich aus dem Aufbau b) mit der höheren Wärmedämmung und dem Auflagerstein keinerlei Verbesserungen der thermischen Kennwerte, jedoch auch keine nennenswerten Verschlechterungen.

Die Anbringung einer zusätzlichen 20 mm dicken Dämmschicht auf der Deckenunterseite hatte einen geringen positiven Einfluss. Die Alternative mit einer verputzten Deckenunterseite brachte hingegen keine wesentlichen Verbesserungen mit sich.
Durch die Nutzung einer optimierten Wärmedämmung kann hingegen eine deutliche Verringerung des linearen Wärmedurchgangskoeffizienten erreicht werden. Wie eine Neu-Berechnung der Parameterstudie zu A gezeigt hat (vgl. Abschnitt 4.1.3.2), lässt sich mit einer Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,02 W/(mK) bereits ab 140 mm Auflagertiefe ein ψ-Wert von 0,01 W/(mK) erreichen.

4.1.3.5. Parameterstudie

Um allgemeingültige Aussagen zum Einfluss der Deckenauflagertiefe auf die Wärmebrücke zu gewinnen, wurde eine Parameterstudie durchgeführt. Der Knotenaufbau entsprach dabei prinzipiell Bild 20 wobei die Wanddicke *t* zwischen 365 mm und 490 mm und die Auflagertiefe der Deckenplatte zwischen 50 und 300 mm variiert wurde. Die Dicke der Dämmung t_{ins} ergibt sich in Abhängigkeit der Auflagertiefe *a* und der Wanddicke *t* nach Gl. (12). Tabelle 11 enthält den untersuchten Parameterbereich.

$$t = a + t_{ins} + t_V \;\rightarrow\; t_{ins} = t - t_V - a \qquad (12)$$

Tabelle 11 Parameterstudie Deckenauflagertiefe

Parameter	Einheit	Werte
Wanddicke	mm	365 / 425 / 480 / 490
λ Stein	W/(mK)	0,06 / 0,065 / 0,07 / 0,075 / 0,08 / 0,09 / 0,10
λ Deckenabmauerungsstein	W/(mK)	0,14 / 0,16 / 0,24
Dicke Außenputz	cm	2 / 4 / 8
λ Außenputz	W/(mK)	0,07 / 0,25
Dicke Innenputz	cm	1,5
λ Innenputz	W/(mK)	0,25 / 0,5

Beispielhaft sind in Tabelle 12 die Ergebnisse für die Kombination 365 mm und λ = 0,065 W/(mK) aufgeführt.

Tabelle 12 Berechnungsergebnisse für ausgewählte Kombination (365mm / 0,065W/(mK))

t_{ins}	a	Φ	L^{2D}	ψ	U_{AVG}
mm	mm	W/m	W/(mK)	W/(mK)	W/(m²K)
10	255	18,123	0,6041	0,1273	0,2138
20	245	17,346	0,5782	0,1014	0,2047
40	225	16,401	0,5467	0,0699	0,1935
60	205	15,809	0,5270	0,0502	0,1865
80	185	15,367	0,5122	0,0355	0,1813
100	165	15,074	0,5025	0,0257	0,1779
120	145	14,821	0,4940	0,0173	0,1749
140	125	14,597	0,4866	0,0098	0,1722
165	100	14,401	0,4800	0,0033	0,1699
215	50	14,114	0,4705	-0,0063	0,1665

Bild 26 zeigt den Wärmebrückenverlustkoeffizienten für einen Teil der Materialkombinationen in Abhängigkeit des Verhältnisses Auflagertiefe zu Wanddicke.

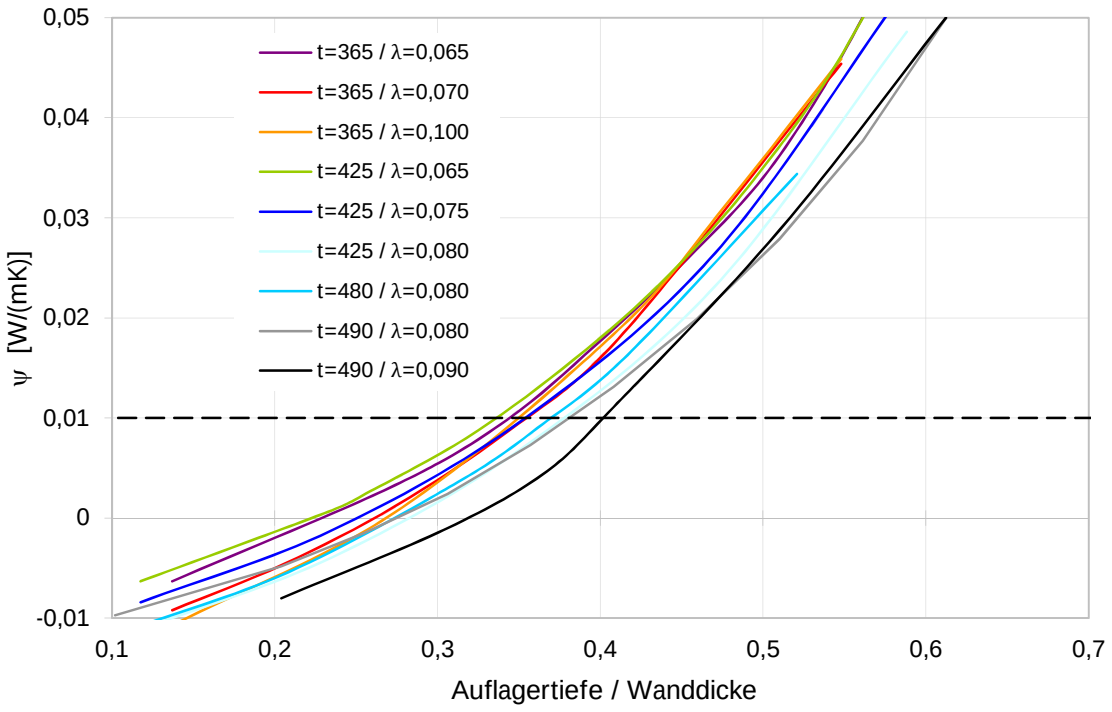


Bild 26 Wärmebrückenverlustkoeffizient in Abhängigkeit des Verhältnisses von Auflagertiefe zu Wanddicke (Auswahl)

Bei der Auswertung ist zu berücksichtigen, dass sich die Kurven in Bild 26 nur bedingt miteinander vergleichen lassen, da sich die Berechnungsgrundlagen zumeist in mehreren Punkten unterscheiden (Wanddicke, Wandaufbau, Modellhöhe, Wärmeleitfähigkeit, U-Wert, Wärmestrom).
Aus dem Diagramm in Bild 26 lässt sich dennoch ablesen, dass der Grenzwert von 0,01 W/(mK) allgemein dann erreicht wird, wenn das Verhältnis aus Auflagertiefe und Wand-

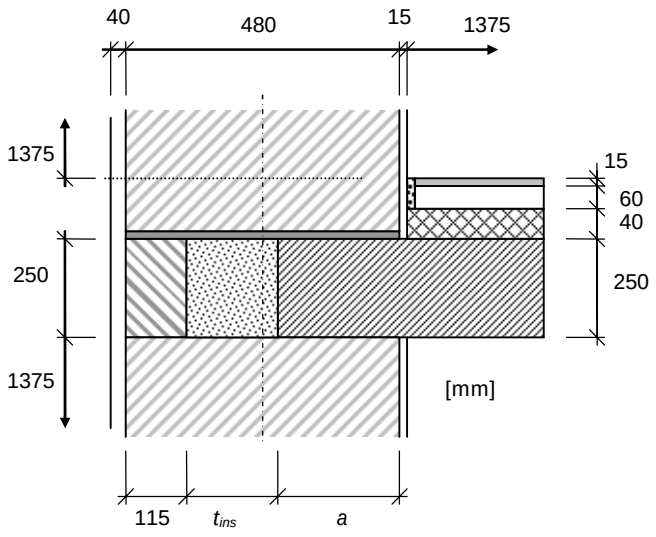
dicke in etwa zwischen 0,3 und 0,4 liegt. Dass bedeutet, dass die normativ (Tabelle 1) geforderten Mindestauflagertiefen der Decke nicht ausreichen, um den Deckenanschluss wärmebrückenfrei im Sinne der Zertifizierung nach [17] auszuführen (Tabelle 13).

Tabelle 13 Mindestauflagertiefe a in Abhängigkeit der Wanddicke t nach [6] bzw. [25]

Wanddicke *t* [mm]	DIN EN 1996-1-1 / NA [6]	DIN EN 1996-3 / NA [25]
	min *a* = *t*/3+40mm	min *a* = 0,45·*t*
365	0,443·*t*	0,45·*t*
425	0,427·*t*	0,45·*t*
480	0,416·*t*	0,45·*t*
490	0,415·*t*	0,45·*t*

4.1.3.6. Einfluss der Ausgleichsmörtelschicht am Deckenauflager

Ein wesentlicher Punkt, welcher in der Versuchsvorbereitung zu klären war, liegt in der Ausführung der Fugen unter bzw. über der Deckenplatte. Im Hinblick auf die Verwendung von Ausgleichsschichten gibt es hier keine einheitliche Lösung für die Ausbildung des Wand-Decken-Knotens (siehe Abschnitt 3.1).
Eine Mörtelschicht im Bereich des Deckenauflagers ist dabei immer dann notwendig, wenn Höhendifferenzen aus dem Herstellungsprozess ausgeglichen werden müssen. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass bei ausreichender Maßgenauigkeit prinzipiell kein Mörtelausgleich erforderlich wird.
Unabhängig davon hat eine über die gesamte Wandbreite ausgeführte Mörtelschicht in Abhängigkeit des verwendeten Materials und der Dicke einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf die thermische Leistungsfähigkeit des Knotens. Um diesen Einfluss zu erfassen, wurde eine weitere Parameterstudie ausgeführt.
Beispielhaft wurde die in Bild 27 dargestellte Grundkombination gewählt. Variiert wurden jeweils die Art der Ausbildung und die Dicke der oberhalb der Decke aufgebrachten Mörtelschicht (vgl. Tabelle 14).



Material	Maße	λ
Mauerstein	480	0,080
Innenputz	15	0,25
Außenputz (Dämmputz)	40	0,07
Deckenabmauerungsstein	115x250	0,21
Stahlbetondecke	200	2,1
Dämmung	t_{ins}	0,03
Leichtmörtel	$d_{Mö}$	$\lambda_{mö}$
Trittschalldämmung	40	0,04
Estrich	60	1,2
Fliesen	15	1,3
Wärmedämmfilz	10	0,035

Bild 27 Aufbau zur Analyse des Einflusses der durchgehenden Ausgleichsmörtelschicht

Tabelle 14 Untersuchte Varianten

Variante	a	b	c	d	e
Ausgleichsschicht	ohne	mit	mit	mit	mit
Material	-	LM 21	LM 21	LM 16	NM MG IIa
Dicke [mm]	-	10	20	20	10
λ_B [W/(mK)]	-	0,21	0,21	0,16	0,69

In Bild 28 wird der zusätzliche Wärmeverlust über die Mörtelschicht deutlich sichtbar.

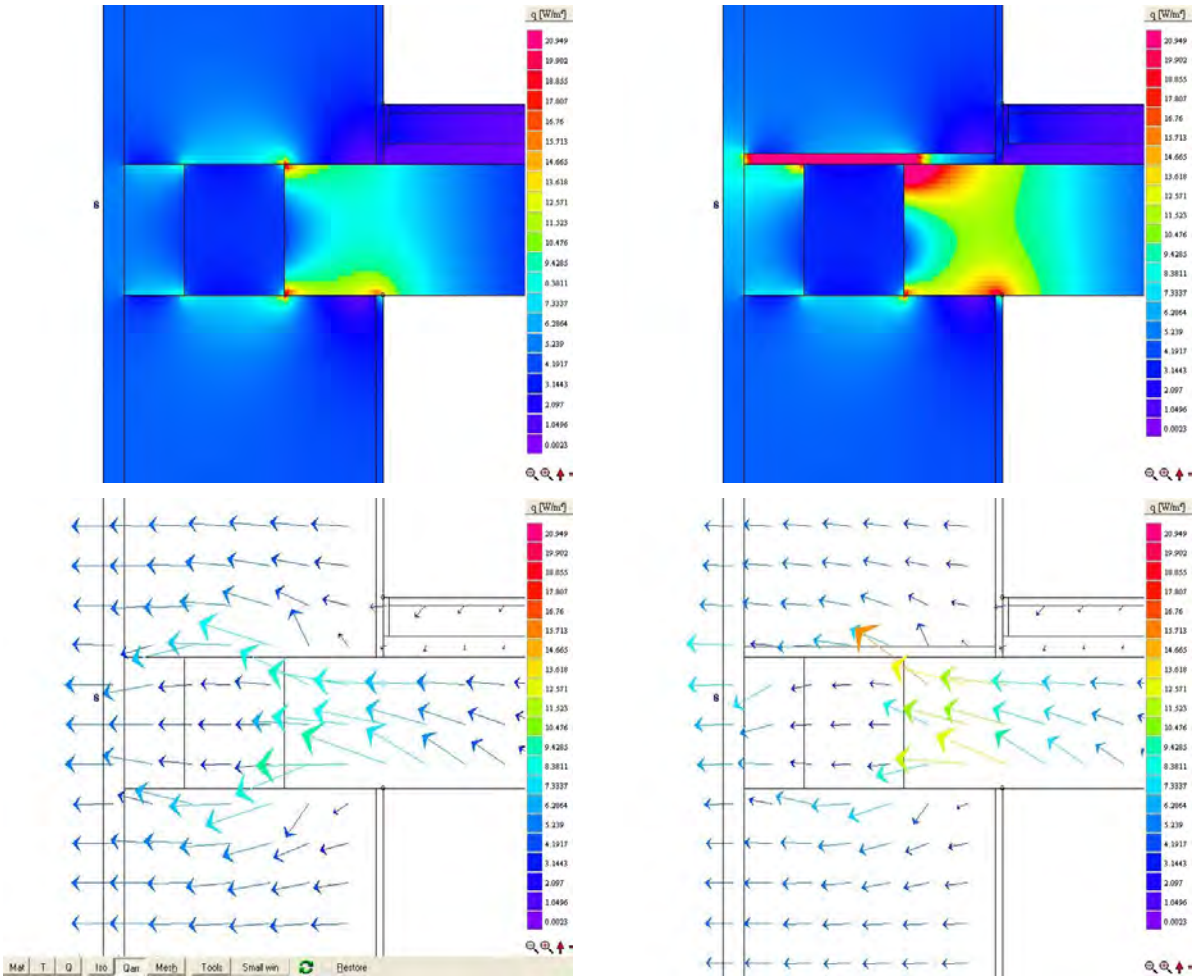


Bild 28 Ergebnisse der thermischen Berechnung für Aufbau a (links) und e (rechts) bei einer Auflagertiefe von a=175mm

In Bild 29 ist der Wärmebrückenverlustkoeffizient ψ in Abhängigkeit des Verhältnisses *a*/*t* für Ausführungen des WDK mit und ohne Ausgleichsschicht (ohne AM) dargestellt. Wie die punktuellen Untersuchungen gezeigt haben, führt eine über die gesamte Wanddicke ausgeführte Mörtelschicht (wie zum Beispiel im Aufbau nach Bild 8 vorgesehen) in Abhängigkeit des verwendeten Materials bei thermisch optimierten Anschlusspunkten zu einer teils erheblichen Beeinflussung des Wärmebrückenverlustkoeffizienten.

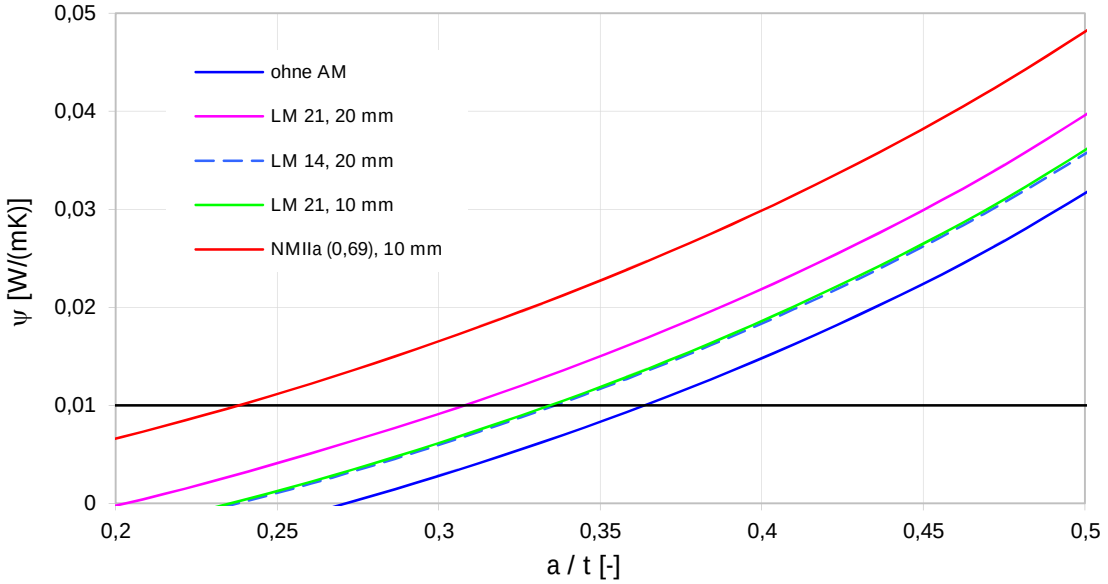


Bild 29 Wärmebrückenverlustkoeffizient in Abhängigkeit des Verhältnisses a/t

4.1.4. Auswahl Materialkombinationen

Ausgehend von den durchgeführten thermischen Analysen der unterschiedlichen Kombinationen wurden in Absprache mit den verschiedenen Steinherstellern für die nachfolgenden experimentellen Untersuchungen die in Tabelle 15 aufgeführten Steine ausgewählt. Dabei bezeichnet *RDK* die Rohdichteklasse, *SFK* die Steinfestigkeitsklasse, $\lambda_{Mauerwerk}$ die Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks und *t*, *l* und *h* die Breite, Länge sowie Höhe der Steine.

Tabelle 15 Mauersteine für die experimentellen Untersuchungen

Nr.	Bezeichnung (Zulassung/Norm)	Typ	*RDK*	*SFK*	$\lambda_{Mauerwerk}$	*t*	*l*	*h*
					W/(mK)	mm	mm	mm
1	Ytong PP 1,6 – 0,25 *Z-17.1-1064*	Porenbetonstein	0,25	1,6	0,070	400	599	249
2	Ytong PP 2,0 – 0,35 *DIN V 4165-100*	Porenbetonstein	0,35	2,0	0,080	480	499	249
3	PORIT PP 2 – 0,35 *DIN V 4165-100*	Porenbetonstein	0,35	2,0	0,080	425	499	249
4	Bisoplan 09 Super *Z-17.1-1003*	Vollblock aus Leichtbeton mit Schlitzen	0,40	1,6	0,090	490	247	249

Die Wahl der zugehörigen Deckenabmauerungssteine erfolgte anhand mehrerer Kriterien. Bei Deckenauflagertiefen < *t*/2 werden auch über den Deckenabmauerungsstein Lasten abgetragen, wobei anzunehmen ist, dass dieser Anteil mit zunehmender Reduzierung der Auflagertiefe steigt. Die Deckenabmauerungssteine müssen dementsprechend für eine tragende Funktion ausgelegt sein und sollten daher mindestens die Festigkeit der Mauersteine aufweisen. In Analogie zur nach DIN EN 1996-1-1/NA [6], NDP zu 8.1.2 (2) geforderten Mindestwanddicke tragender Wände (t_{min} = 115 mm) sind Deckenabmauerungssteine mit einer Breite (des tragenden Querschnittes) von 11,5 cm zu wählen.

Weiterhin müssen die wärmetechnischen Materialeigenschaften berücksichtigt werden. Entsprechend den thermischen Untersuchungen sind dazu Deckenabmauerungssteine mit einer Wärmeleitfähigkeit $\lambda \leq 0{,}21$ W/(mK) erforderlich.
Ein letztes, aber wesentliches Auswahlkriterium ergibt sich aus der Korrelation der Höhe der Deckenabmauerungssteine zur Dicke der einbindenden Stahlbetondecke. Aufgrund der gestiegenen Anforderungen an die Durchbiegung der Decke wurde die maximale Deckendicke mit 23-25 cm festgelegt. Die Höhe der Deckenabmauerungssteine muss dementsprechend etwa 25 cm betragen.

Tabelle 16 Vorschlag zugehöriger Deckenabmauerungssteine

Nr.	Mauerstein	Deckenabmauerungsstein	*SFK*	λ_{Stein}	*t*	*l*	*h*
				W/(mK)	mm	mm	mm
1	Ytong PP 1,6 – 0,25	PP 4 – 0,55 Z-17.1-540	4	0,14	115	624	249
2	Ytong PP 2,0 – 0,35	PP 4 – 0,55 Z-17.1-540	4	0,14	115	624	249
3	PORIT PP 2,0 – 0,35	PPW 4 – 0,60 DIN V 4165	4	0,16	115	624	249
4	Bisoplan 09 Super	Bisoplan Bauplatte	4	0,16	115	490	248

4.1.5. Exkurs: Hybridsteine

Das Potential zur Verbesserung der Wärmeleitfähigkeit der betrachteten monolithischen Mauersteine (Vollblöcke mit Schlitzen, Hohlblöcke mit integrierter Wärmedämmung, Porenbetonsteine) ist nahezu erschöpft, da die Verbesserung der thermischen Eigenschaften mit der Verringerung der Rohdichte und damit einer weiteren Reduzierung der Festigkeit einhergeht.
Ein alternativer Ansatz ist an dieser Stelle die Verwendung von hybriden Wärmedämmsteinen (auch als Sandwich-Konstruktion bezeichnet). Dabei handelt es sich um Verbundkonstruktionen aus mehreren verschiedenen Schichten mit unterschiedlichen thermischen und mechanischen Eigenschaften. Im Gegensatz zum monolithischen Stein findet bei den hybriden Wärmedämmsteinen jedoch eine Funktionstrennung in Tragschicht und Dämmschicht statt.
Der „Ytong Energy+“ der Xella Technologie- und Forschungsgesellschaft mbH ist beispielsweise eine Kombination aus einer Schicht hochwärmedämmendem Multipor zwischen zwei Schichten aus Porenbeton [65]. Mit diesem Aufbau wird bei einer Steinlänge von 415 mm gegenwärtig eine Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0{,}06$ W/(mK) erreicht [66]. Der Lastabtrag erfolgt bei diesem System nur über die tragende Innenschale (15,5 cm PP2). Ähnliche Steine gibt es beispielsweise auch von Liapor [67] („NeoStone“, $\lambda = 0{,}06$ W/(mK) bei 425 mm).
Weil es im Projekt jedoch um die Optimierung des Deckenanschlusses an monolithische Außenwände geht, werden diese Materialien in den weiteren Betrachtungen nicht berücksichtigt.

4.2. Mechanische Vorbetrachtungen

4.2.1. Allgemein

Zur Vorbereitung der experimentellen Untersuchungen (Versuchsaufbau, Lastregime) wurden numerische Voruntersuchungen durchgeführt. Dabei wurde unter anderem qualitativ überprüft, an welchen Punkten des optimierten Wand-Decken-Knoten-Systems die größten Be-

anspruchungen auftreten (Überschreitung der Materialfestigkeiten) und wie der Lastfluss durch die Knotengeometrie/-ausbildung beeinflusst wird.

Die Basis für die numerischen Berechnungen bildeten, auf Grundlage der Untersuchungen von *Ortlepp* [48] entwickelte, zweidimensionale FE-Modelle, bei denen jeweils der obere Wand-Decken-Knoten (WDK) eines Zwischengeschosses betrachtet wurde (Bild 30). Die Voruntersuchungen wurden dabei an Systemen mit voll bzw. teilweise aufliegender Deckenplatte durchgeführt. Das Modell bestand aus einer Wand und der oberen und untere Decke im Zwischengeschoss. Um die Einflüsse der angrenzenden Wände zu berücksichtigen, wurde zusätzlich ein halbes Geschoss ober- und unterhalb mit abgebildet. Die Decke wird durch Ausnutzen von Symmetriebedingungen auf die Hälfte der Spannweite begrenzt (Lagerung beidseitig gleichartig). Zur Vereinfachung diente die Annahme, dass sich die Geometrie in den Stockwerken nicht ändert.

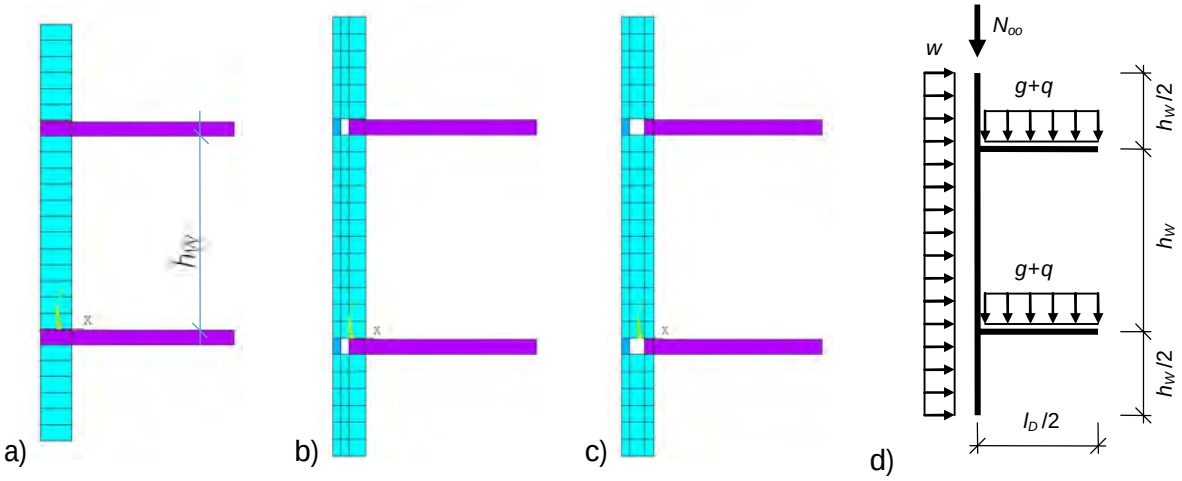


Bild 30 FE-Modelle: a) a=t; b) a=0,5t; c) a=0,3t; d) Belastungen am Modell

Die Biegesteifigkeit der Deckenplatte wurde für einen vollständig gerissenen Querschnitt angenommen, was durch eine Abminderung des E-Moduls berücksichtigt wurde. Die aufgrund der Reduzierung des E-Moduls auftretende größere Deckenverdrehung stellte für die geplanten Betrachtungen den ungünstigsten Fall dar.
Das Mauerwerk wurde prinzipiell verschmiert modelliert, im Auflagerbereich wurden zur Übertragung der Druck- und Schubspannungen Kontaktelemente verwendet.

Am Kopf des Modells wurde eine Auflast (N_{oo}) aufgebracht, mit der der Lasteintrag aus oberen Geschossen abgebildet werden kann. Auf der Decke ist zusätzlich zum Eigengewicht (*g*) eine veränderliche Last (*q*) aufgebracht worden. Die Berücksichtigung einer Windlast (*w*) war ebenfalls möglich (Bild 30 d)).

Bild 31 a) zeigt die Gestaltung des Knotens. Die Bitumenbahn ist dabei über eine, im Vergleich zum übrigen Mauerwerk, verminderte Kontaktsteifigkeit in der Fuge zwischen Deckenplatte und Mauerstein berücksichtigt worden. Für die Berechnungen wurde vereinfacht ein bilineares (linear elastisches - ideal plastisches) Materialverhalten angesetzt Bild 31 b)).

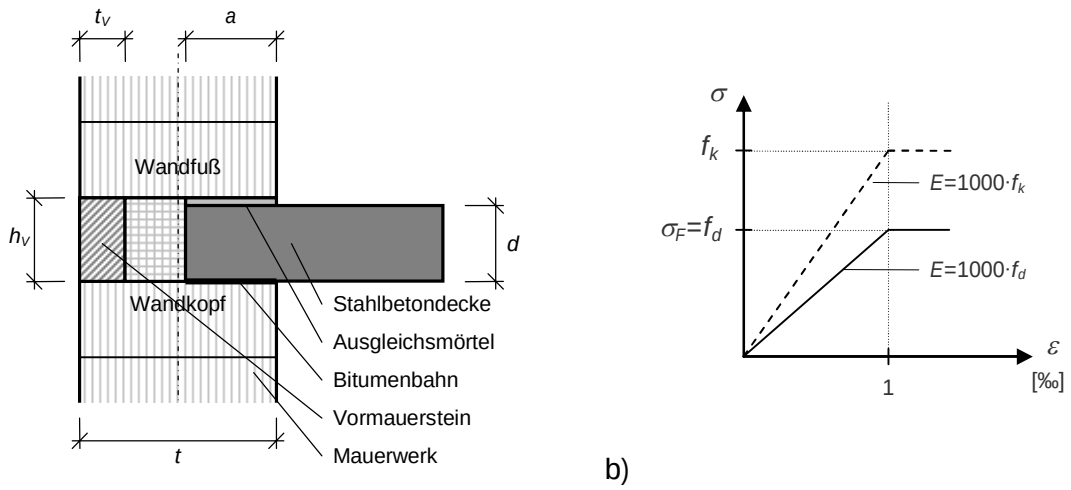


Bild 31 a) Ausbildung des WDK; b) idealisierte Spannungs-Dehnungs-Beziehung

4.2.2. Schwachpunkte und Problemstellen der Konstruktion

Die numerischen Berechnungen zur qualitativen Identifizierung von Schwachpunkten der thermisch optimierten Konstruktion wurden an den in Bild 30 dargestellten Modellen durchgeführt. Tabelle 17 enthält die verwendeten Eingangsgrößen. Die nachfolgenden Betrachtungen basieren auf einer einzelnen Belastungskombination.

Tabelle 17 Eingabeparameter

Wanddicke t:	0,48 m
Auflagertiefe a:	$0{,}3 \cdot t$ / $0{,}5 \cdot t$ / $1 \cdot t$
Breite t_V / Höhe h_V Deckenabmauerungsstein	11,5 cm / 25 cm
Windbelastung w:	0 kN/m²
veränderliche Deckenbelastung q_{Decke}:	5 kN/m²
Auflast am Modellkopf N_{oo}:	100 kN
Wandhöhe h_W:	3,00 m
Wichte Wand γ_W:	8,00 kN/m³
Deckenspannweite l_D:	5,00 m
Deckendicke d:	0,23 m
Eigengewicht Deckenplatte g_{EG} (mit γ=25 kN/m³)	5,75 kN/m²
Deckenauflagerkraft $N_{Decke} = (g_{EG} + q_{Decke}) \cdot l_D/2$	27 kN/m
E-Modul Deckenplatte (Annahme gerissen, 50% des Ausgangswertes)	15000 N/mm²
E-Modul Mauerwerk + Deckenabmauerungsstein:	4000 N/mm²
E-Modul Ausgleichschicht	2000 N/mm²

In den Voruntersuchungen ergab sich eine hohe horizontale Beanspruchung der ersten Steinreihe über bzw. unter der Deckenplatte (Bild 32).

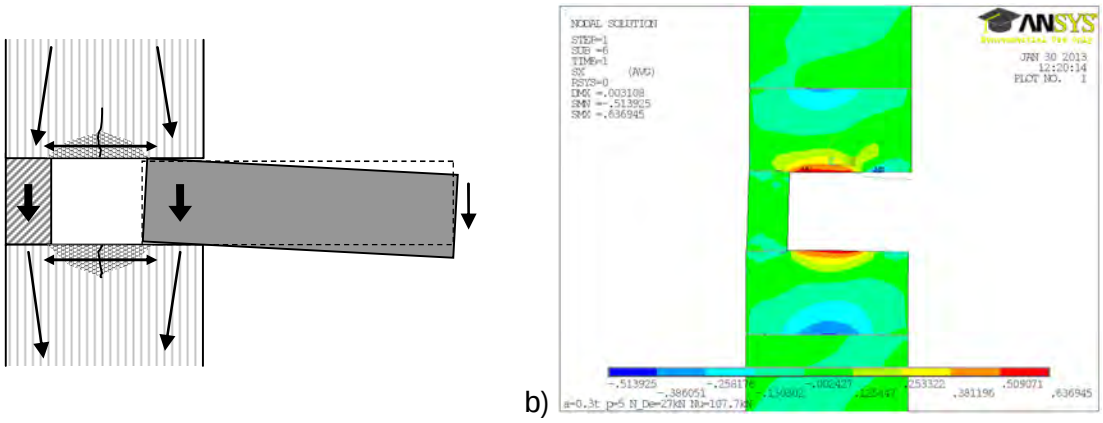


Bild 32 *a) Schema Querzugbeanspruchung (ohne Darstellung Ausgleichsmörtelschicht); b) Querzugspannungen (ohne Darstellung Deckenplatte u. Ausgleichsschicht))*

Dieser Effekt verstärkt sich mit abnehmender Deckenauflagertiefe, wie die Betrachtung der in Bild 33 dargestellten Spannungsverteilungen am Wandfuß zeigt. Dabei verdoppeln sich die Maximalwerte der Querzugspannung infolge der Verkürzung von a = 0,5·t auf a = 0,3·t annähernd.

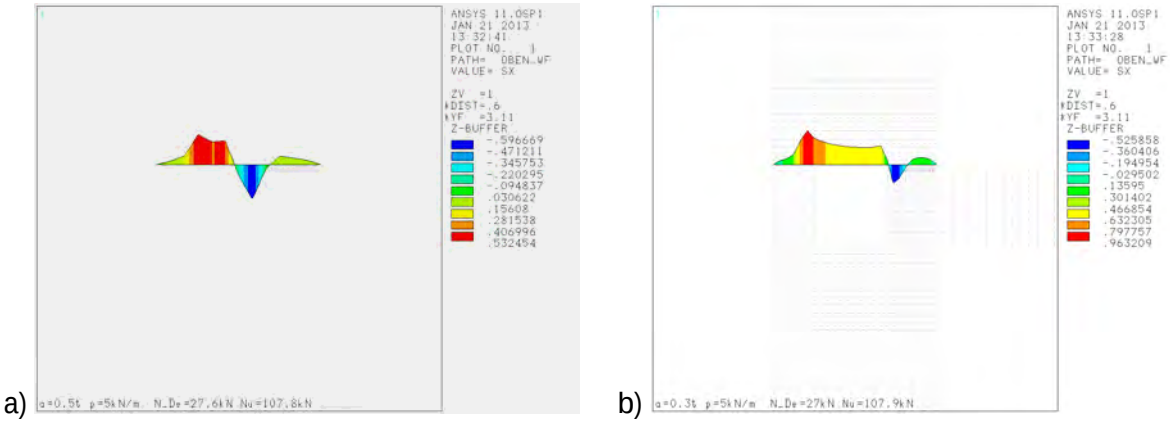


Bild 33 *Horizontale Spannungsverteilung am Wandfuß der oberen Wand; Normalkraft in der oberen Wand N_u=108 kN; a) Auflagertiefe 0,5·t; b) Auflagertiefe 0,3·t*

Als ursächlich für die Querzugbeanspruchung wird die große „Stützweite“ zwischen Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager (Biegebeanspruchung), vor allem bei großen Wanddicken in Verbindung mit geringer Auflagertiefe, angesehen. Es ist weiterhin anzunehmen, dass am Übergang von der Oberseite der Decke zum aufgehenden Mauerwerk infolge der Verdrehung der Deckenplatte eine zusätzliche horizontale Komponente am Wandfuß eingetragen wird (Bild 32 a)).
Die auftretenden Querzugspannungen könnten gegebenenfalls die Zugfestigkeit des Steinmaterials überschreiten. In diesem Bereich ist mit vertikaler Rissbildung zu rechnen. Die Rissbildung an den Steinschichten über/unter der Deckenplatte sowie die vertikale Ausbreitung sind in den experimentellen Untersuchungen qualitativ zu analysieren.

Infolge der Belastung und der Verdrehung der Deckenplatte bzw. des gesamten Knotens treten an den Lasteinleitungspunkten im Bereich des Deckenauflagers und des Deckenab-

mauerungssteins Spannungskonzentrationen bzw. Spannungsspitzen auf (Bild 34), welche u. U. die Materialfestigkeit überschreiten können oder Abplatzungen (zum Beispiel an der Auflagerkante) zur Folge haben. An der unteren Innenkante des Deckenabmauerungssteins (Übergang Wandkopf) sowie an der Stelle, wo sich die Oberseite der Deckenplatte in das aufgehende Mauerwerk drückt, treten weitere Spannungskonzentrationen auf.

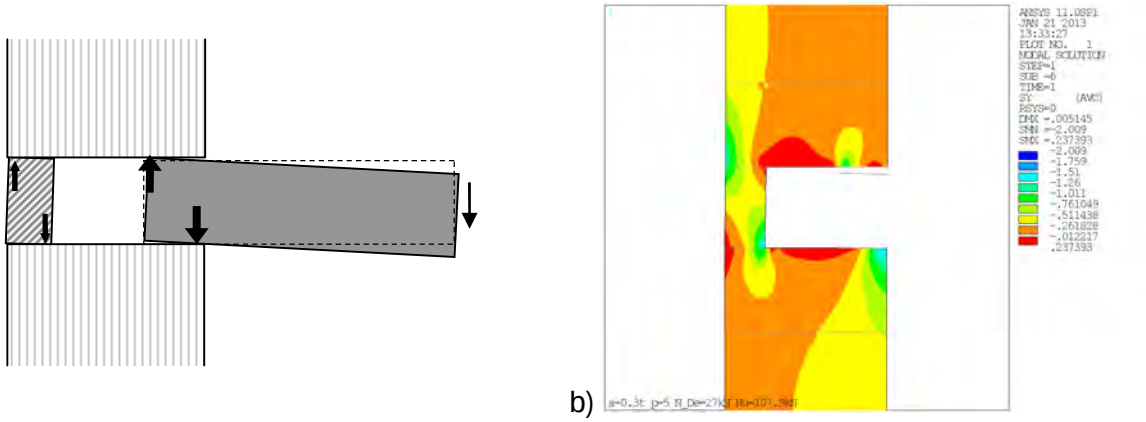


Bild 34 *a) Schematische Darstellung der infolge der Decken- bzw. Knotenverdrehung beanspruchten Bereiche (ohne Darstellung Ausgleichsmörtelschicht); b) Vertikalspannungen (y), ohne Darstellung Deckenplatte/Ausgleichsmörtel*

Auch hier nimmt die Beanspruchung mit zunehmender Reduzierung der Auflagertiefe zu.

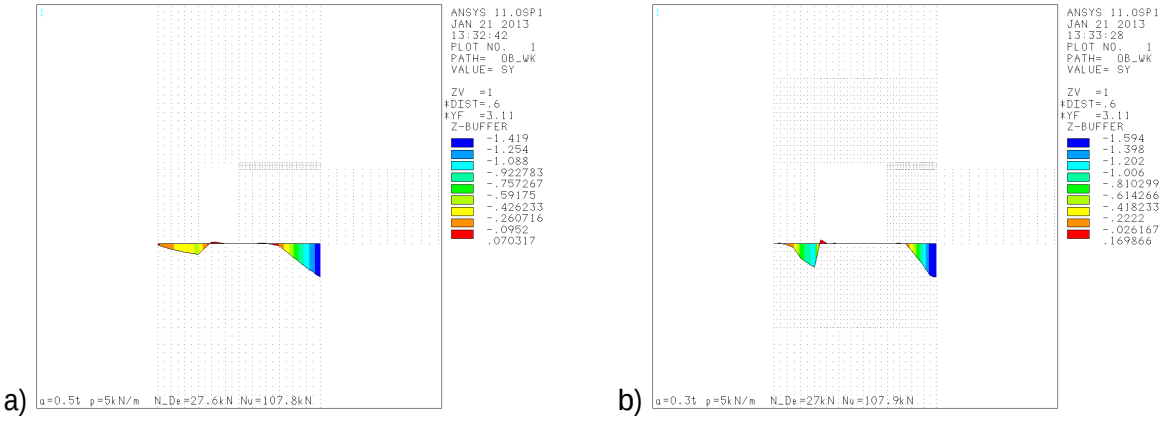


Bild 35 *Vertikalspannungen am Wandkopf; Normalkraft in der oberen Wand N_u=108 kN; a) Auflagertiefe 0,5·t; b) Auflagertiefe 0,3·t*

Aus Bild 35 ist ebenfalls ersichtlich, dass der vom Deckenabmauerungsstein übertragene Lastanteil mit Verkürzung der Auflagertiefe deutlich zunimmt. Infolgedessen steigen auch die Druckspannungen in diesem Bereich an.
Bei den experimentellen Untersuchungen ist in diesem Zusammenhang damit zu rechnen, dass infolge der Deckendurchbiegung an der Auflagerkante Abplatzungen auftreten. Es ist weiterhin anzunehmen, dass beim Bruchversagen des Wand-Decken-Knoten mit kurzer Auflagertiefe auch auf der Seite mit Deckenabmauerungsstein eine erhebliche Schädigung auftritt. Gegebenenfalls kann die Wandaußenseite auch versagensbestimmend werden. An

den Übergangspunkten zwischen belastetem und unbelastetem Bereich (Hohlraum) könnten aufgrund der punktuellen (bzw. linienhaften) Beanspruchung Risse auftreten.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass in den Voruntersuchungen mit geringer werdender Deckenauflagertiefe ein deutlicher Spannungszuwachs zu verzeichnen war. In Bild 36 sind jeweils die Maximalwerte der im Knotenbereich auftretenden Spannungen in Abhängigkeit der Auflagertiefe dargestellt (vgl. dazu exemplarisch Bild 33 und Bild 35).

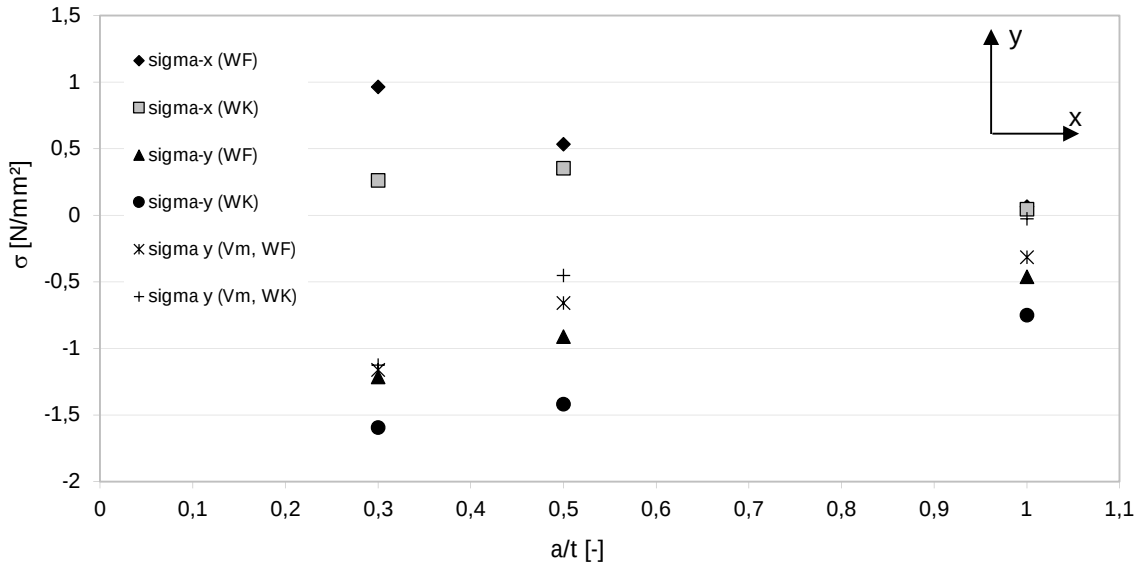


Bild 36 Maximalwerte der horizontalen (σ_x) bzw. vertikalen (σ_y) Spannungen im Knotenbereich in Abhängigkeit der Auflagertiefe (WF – Wandfuß, WK – Wandkopf, Vm – Deckenabmauerungsstein)

4.2.3. Lastfluss / Lastumlagerungen

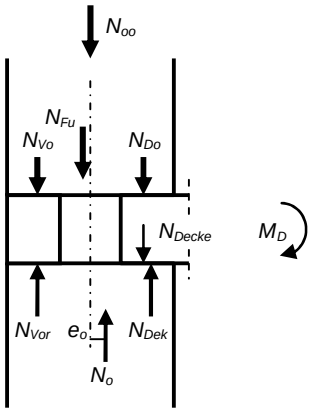
In den oben beschriebenen Voruntersuchungen wurde bereits erwähnt, dass der Deckenabmauerungsstein mit abnehmender Deckenauflagertiefe stärker am Lastabtrag beteiligt ist. Mittels einer numerischen Parameterstudie wurde daher überprüft, in welchem Ausmaß die Schnittgrößen am Wand-Decken-Knoten durch die Knotengestaltung beeinflusst werden.
Über eine Integration der Spannungsverläufe entlang von definierten Pfaden (z. B. am Wandkopf, Wandfuß, unter/über Deckenauflager/Deckenabmauerungsstein, etc.) wurden die Schnittgrößen und Lastausmitten bestimmt (siehe Bild 37).

Die Untersuchungen wurden analog dem Vorgehen in Abschnitt 4.2.2 an den in Bild 30 b) bzw. c) dargestellten Modellen durchgeführt. Tabelle 18 enthält die abweichend zu Tabelle 17 verwendeten Eingangsparameter.

Tabelle 18 Eingangsparameter

Deckenauflagertiefe:	0,2·*t*; 0,3·*t*; 0,4·*t*; 0,5·*t*; 0,6·*t*
Auflast N_{oo} am Modellkopf:	*n*·50 kN mit *n* = 0,5…6

Bild 37 zeigt die Definition der nachfolgend verwendeten Schnittgrößen und Lasten am Wand-Decken-Knoten (WDK).



Dabei sind:

N_{oo}	Auflast am Kopf des FE-Modells,
N_{Fu}	Normalkraft in der oberen Wand (Wandfuß); Wandauflast,
N_{Vo}	Anteil Last Deckenabmauerungsstein (Wandfuß),
N_{Do}	Anteil Last Deckenauflager (Wandfuß),
N_{Decke}	Deckenauflagerkraft aus Deckenbelastung,
N_o	resultierende Kraft am Wandkopf,
e_o	Ausmitte von N_o,
N_{Vor}	über Deckenabmauerungsstein übertragene Last ($N_{Vo} \approx N_{Vor}$),
N_{Dek}	über Auflager übertr. Last ($N_{Dek} = N_{Do} + N_{Decke}$),
M_D	Deckeneinspannmoment.

Bild 37 Schnittgrößen und Lasten am WDK

In Bild 38 sind die über das Deckenauflager und den Deckenabmauerungsstein übertragenen Lastanteile als Verhältnis zur resultierenden Normalkraft N_o am Wandkopf für die Auflagertiefen 0,3/0,4/0,5·t dargestellt. Während bei Auflagertiefen von 0,4·t bzw. 0,5·t das Deckenauflager den größeren Anteil an der Gesamtlast überträgt, wird bei einer Deckenauflagertiefe von 0,3·t ab einer gewissen Auflast der größere Anteil vom Deckenabmauerungsstein übernommen.

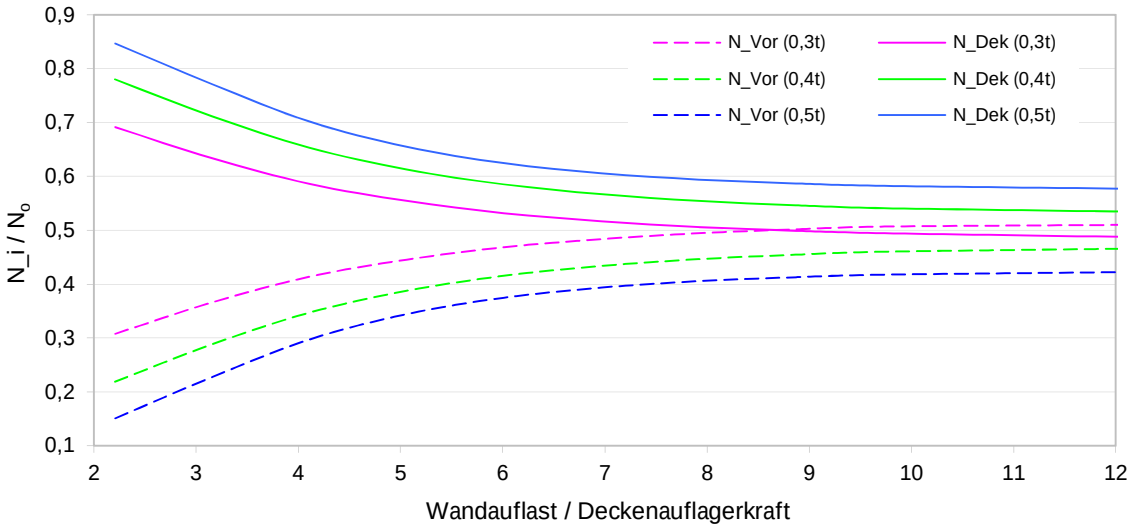


Bild 38 Verhältnis der über Deckenabmauerungsstein (N_Vor) bzw. Deckenauflager (N_Dek) übertragenen Last zur Normalkraft am Wandkopf in Abhängigkeit des Verhältnisses aus Wandauflast zu Deckenauflagerkraft

Bereits in früheren Untersuchungen (*Baier* [41], *Ortlepp* [48]) wurde festgestellt, dass die tatsächlichen Schnittgrößen am WDK deutlich von den vorhandenen Auflasten abhängig sind.

Mit dem Verhältnis aus Wandauflast und Deckenauflagerkraft können dabei sämtliche Kombinationen aus vertikaler Belastung in einem Wert erfasst werden.

Bei dem Diagramm in Bild 38 ist zu berücksichtigen, dass der vom Deckenauflager übertragene Lastanteil zusätzlich die Deckenauflagerkraft N_{Decke} aus der Deckenbelastung enthält. Betrachtet man die Verteilung am Wandfuß der oberen Wand ergibt sich die in Bild 39 dargestellte Lastspreizung. Dabei zeigt sich, dass bei einer Auflagertiefe von 0,3·*t* bereits unter geringer Auflast eine annähernd gleichmäßige Lastspreizung zwischen Decke und Deckenabmauerungsstein besteht (je 45-55 %) während bei einer Auflagertiefe von 0,5·*t* anfänglich nur 20 % der Last auf den Deckenabmauerungsstein entfallen.

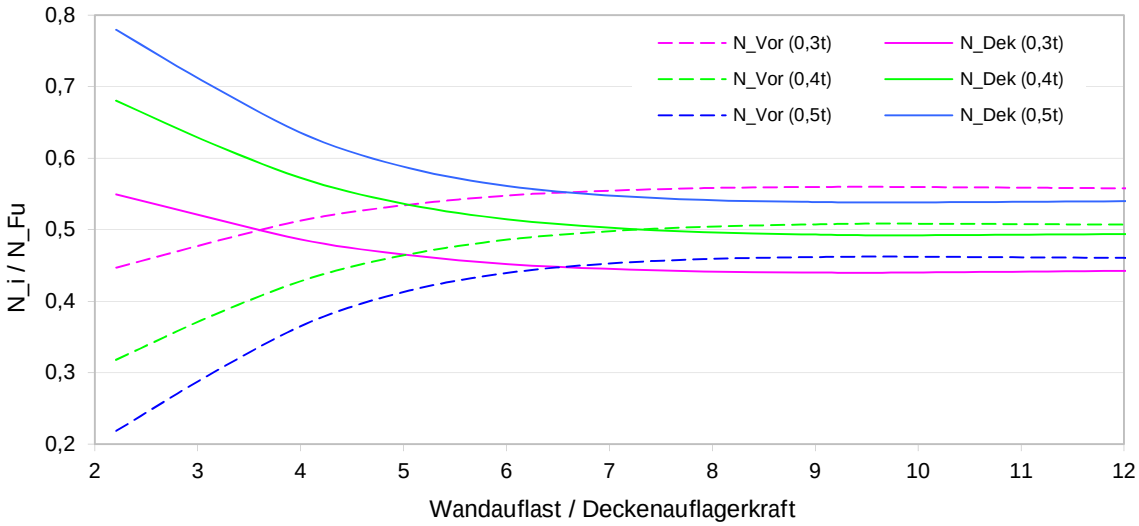


Bild 39 Verhältnis der über Deckenabmauerungsstein bzw. Deckenauflager übertragenen Last zur Normalkraft am Wandfuß

Eine Reduzierung der Deckenauflagertiefe von der halben auf die 0,3-fache Wanddicke hatte in dieser Berechnung zur Folge, dass auf das Deckenauflager ab einer gewissen Auflast etwa 20 % weniger Last entfallen, während über den Deckenabmauerungsstein 20 % mehr Last übertragen werden (Bild 40).

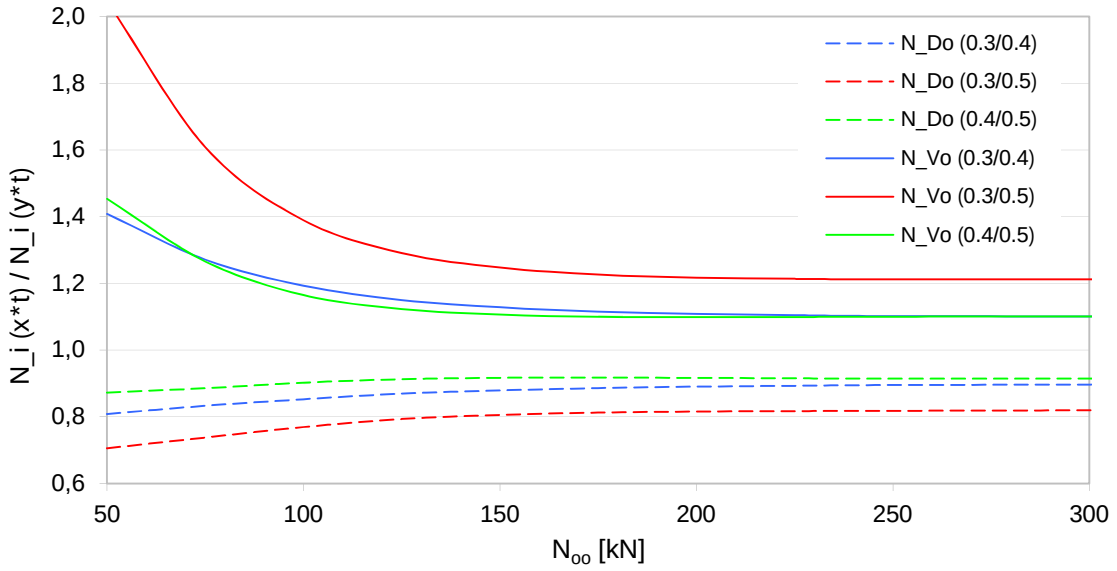


Bild 40 Verhältnis zwischen Lastanteil bei verkürztem Auflager zu Lastanteil bei Auflagertiefe a=0,5·t in Abhängigkeit der Auflast am Modellkopf; mit N_i (x/y)

Eine Verringerung der Auflagertiefe hat eine Reduzierung der Lastausmitte e_o der resultierenden Normalkraft N_o am Wandkopf zur Folge (Bild 41). Ursächlich dafür sind die mit der Verkürzung der Auflagertiefe einhergehenden Lastumlagerungen im System und die damit verbundene Erhöhung des über den Deckenabmauerungsstein übertragenen Lastanteils. Bei Auflagertiefen, die größer als die halbe Wanddicke sind, wird der Großteil der Last über das Deckenauflager übertragen. Aus diesem Grunde sind die Unterschiede zwischen den Deckenauflagertiefen 0,5·*t* und 0,6·*t* in Bild 41 nur marginal.

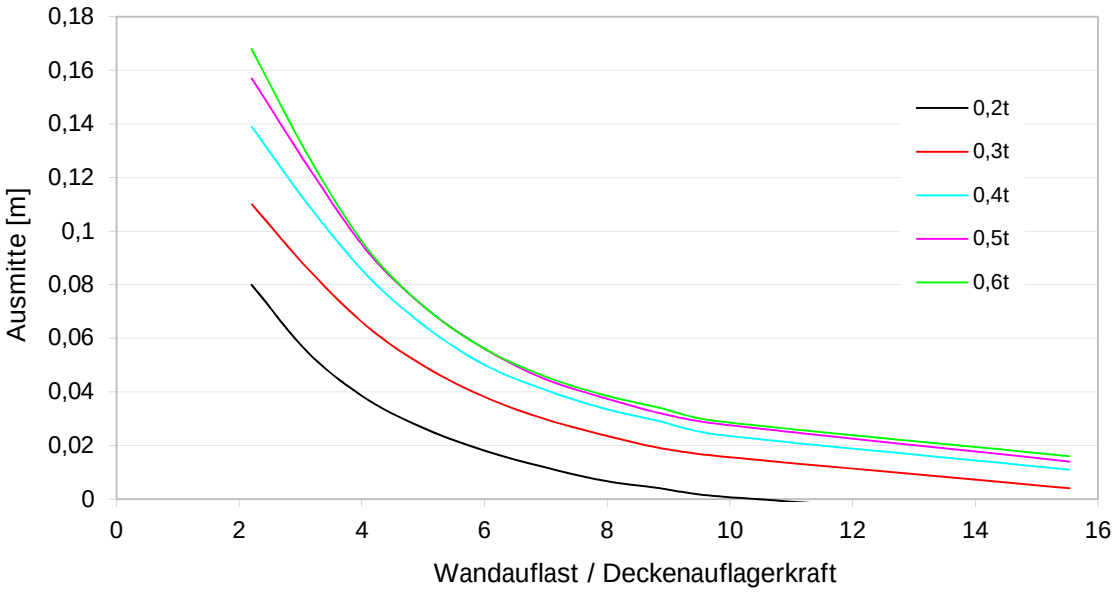


Bild 41 Ausmitte der Lastresultierenden am Wandkopf in Abhängigkeit des Verhältnisses aus Wandauflast N_{Fu} zu Deckenauflagerkraft N_{Decke} für verschiedene Auflagertiefen

Für den Wandfuß ergab sich durch die Reduzierung der Auflagertiefe ebenfalls eine Verringerung der Ausmitte der resultierenden Normalkraft. Die Differenzen fielen jedoch deutlich geringer aus. Aufgrund der schon in Bild 39 dargestellten Lastspreizung am Wandfuß liegt die resultierende Lastausmitte unter hohen Auflasten und geringer Auflagertiefe näher an der Wandaußenseite während sie am Wandkopf zur Wandmitte strebt (Lastspreizung siehe Bild 38).

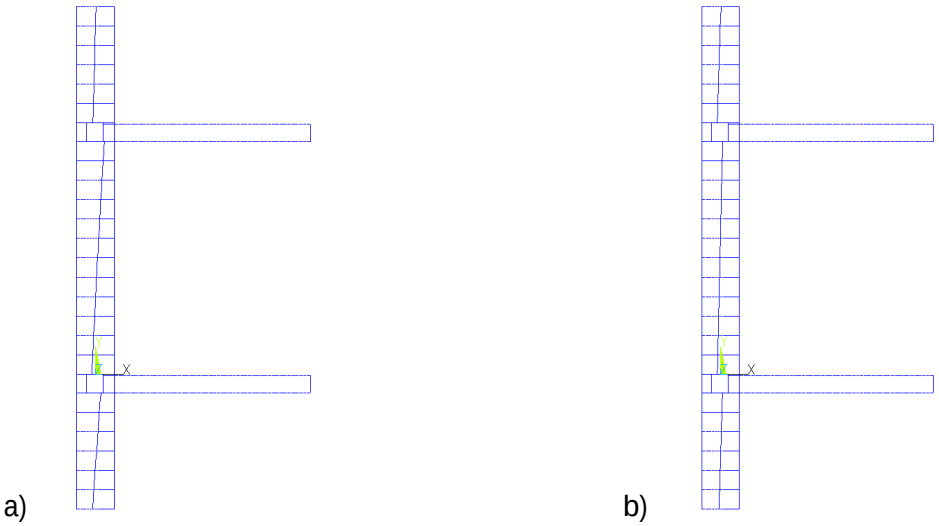


Bild 42 Verlauf der Lastausmitte für beispielhafte Parameterkombination mit a=0,3·t; a) Wandauflast 50 kN; b) Wandauflast 200 kN

Die geringere Auflagertiefe hat eine geringere Einspannwirkung am Deckenauflager und damit auch ein geringeres Einspannmoment zur Folge. Das größte Deckeneinspannmoment ergibt sich dabei erwartungsgemäß für ein System mit vollständig aufliegender Deckenplatte.

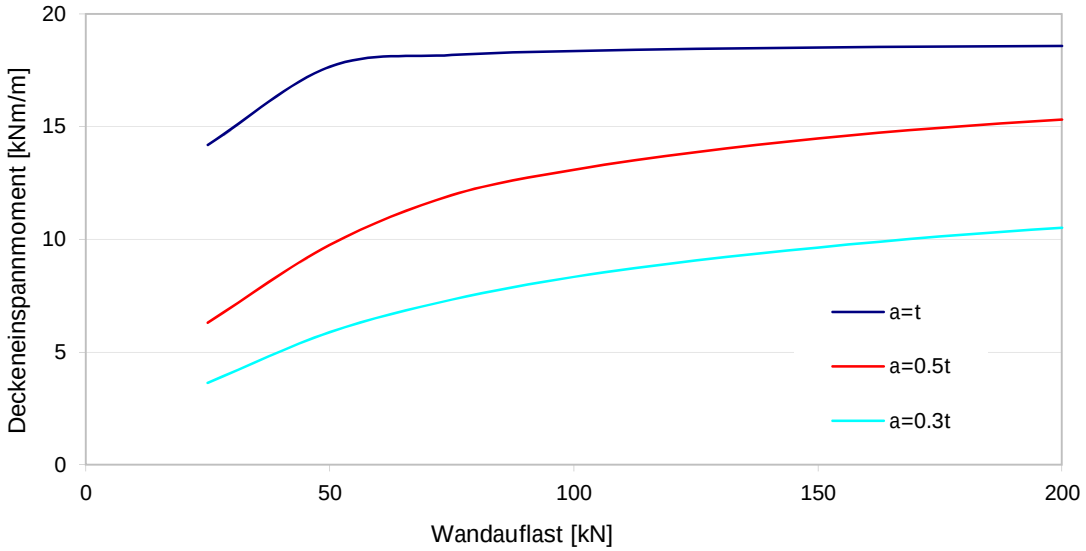


Bild 43 Deckeneinspannmoment bei verschiedenen Auflagertiefen in Abhängigkeit der Auflast aus der oberen Wand (bei a < t mit Deckenabmauerungsstein)

4.2.4. Deckendurchbiegung und Auflagerverdrehung

Um den für die Versuche wichtigen Zusammenhang zwischen Auflast, Deckenbelastung und Deckenverdrehung zu analysieren, um später daraus ein geeignetes Belastungsszenario zu entwickeln, wurden in weiteren numerischen Parameterstudien auch die Verformungen bzw. Verdrehungen der Decke und der Wände bestimmt (Bild 44).

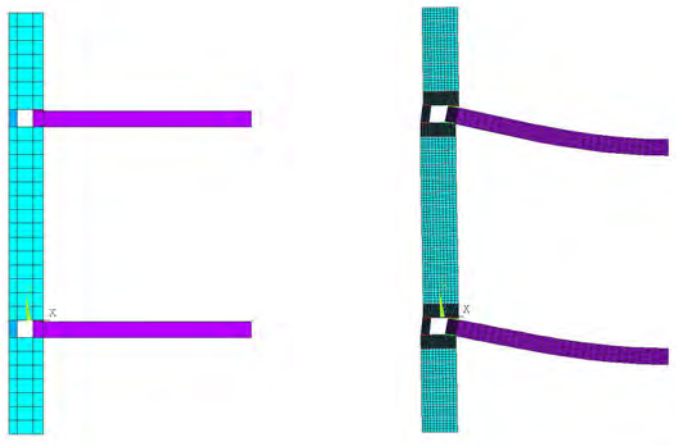


Bild 44 Unverformtes und verformtes 2D-Modell (stark überhöht)

Für die experimentellen Untersuchungen sollen jeweils die größten auftretenden Deckendrehwinkel und Durchbiegungen maßgebend sein. Abweichend von den vorgenannten Analysen wurden die Betrachtungen daher an einem System mit einer 6,00 m langen Deckenplatte durchgeführt. Variiert wurden die Belastung N_{oo} am Wandkopf und die zusätzlich zum Deckeneigengewicht wirkende gleichmäßig verteilte Deckenlast q. Tabelle 19 enthält die abweichend zu den Abschnitten 4.2.2 und 4.2.3 verwendeten Eingangswerte der Parameterstudie.

Tabelle 19 Eingabeparameter

Wanddicke t:	0,365 / 0,40 / 0,48 / 0,49 m
Deckenlänge l_D:	6,00 m
Auflagertiefe a:	$0{,}3 \cdot t$ / $0{,}5 \cdot t$
E-Modul ($1000 \cdot f_k$)	800 / 900 / 1800 N/mm²
Deckenbelastung q (hier exkl. EG)	0 / 5 / 10 / 15 kN/m²
Auflast am Modellkopf N_{oo}:	$n \cdot 25$ (mit n = 1 … i)

In der Berechnung wurden anschließend die vertikalen Verformungen entlang der Schwerelinie der Deckenplatte sowie in der Steinschicht über und unterhalb der Deckenplatte ermittelt. Die Ableitung der Verformung UY an der Stelle x liefert den Anstieg m und daraus den gesuchten Dreh- bzw. Neigungswinkel α in Abhängigkeit der jeweiligen Lastkombination.

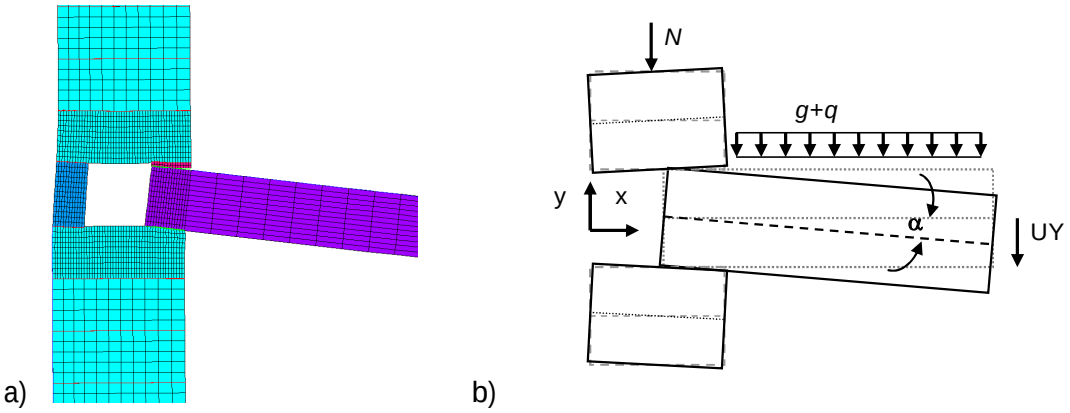


Bild 45 Deckenverdrehung im Auflagerbereich aufgrund Durchbiegung; a) Ausschnitt FE-Simulation; b) schematische Darstellung am Ausschnitt des WDK

Bild 46 zeigt als Ergebnis der numerischen Berechnung die Biegelinie der Deckenplatte (bis zur halben Deckenspannweite) in Abhängigkeit verschiedener Wand- und Deckenauflasten für ausgewählte Parameterkombinationen. Die Deckenbelastung *q* ist dabei die zusätzlich zum Eigengewicht der Decke berücksichtigte Deckenauflast (siehe Bild 30). Die maximale Durchbiegung ergab sich für q = 15 kN/m² mit etwa 23 mm in Feldmitte (zzgl. Eigengewicht g_{EG} = 5,75 kN/m² → e = 20,75 kN/m²). Damit ergibt sich in etwa der gleiche Wert wie nach der Berechnung in Abschnitt 3.4.
Aus Bild 46 wird weiterhin ersichtlich, dass bei gleich bleibender Deckenbelastung mit größer werdender Auflast die Durchbiegung geringfügig abnimmt, was auf die steigende Einspannung am Auflager zurückgeführt werden kann. Bild 47 zeigt für einige Material- und Lastkombinationen beispielhaft den berechneten Deckendrehwinkel im Auflagerbereich.

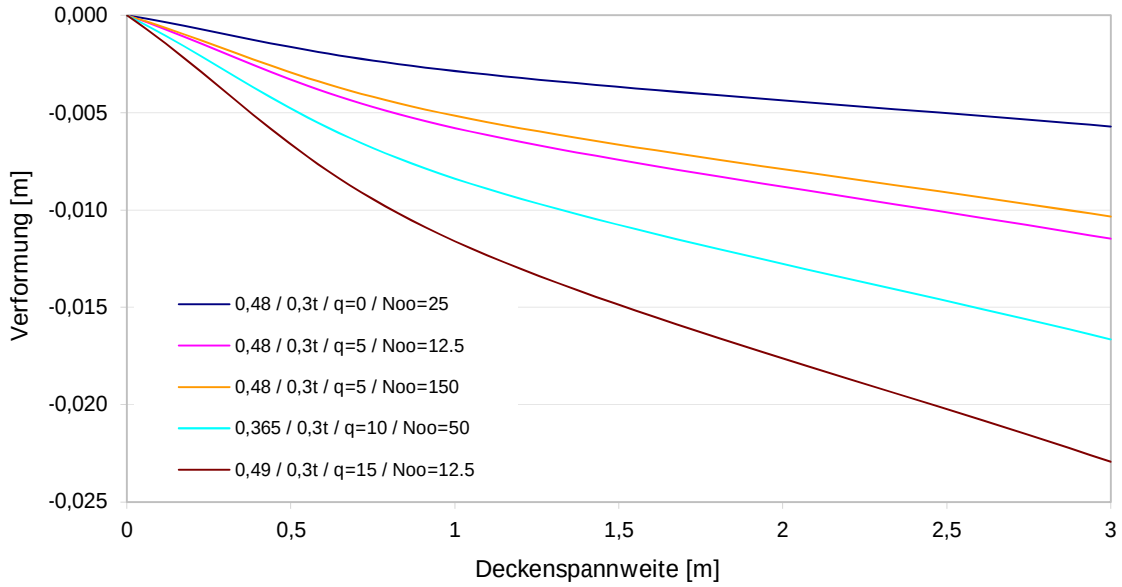


Bild 46 Verformung UY(x) in Abhängigkeit von Deckenbelastung q (zzgl. Eigengewicht) und Auflast N_{oo} für ausgewählte Parameterkombinationen (E_{MW} = 900 N/mm²)

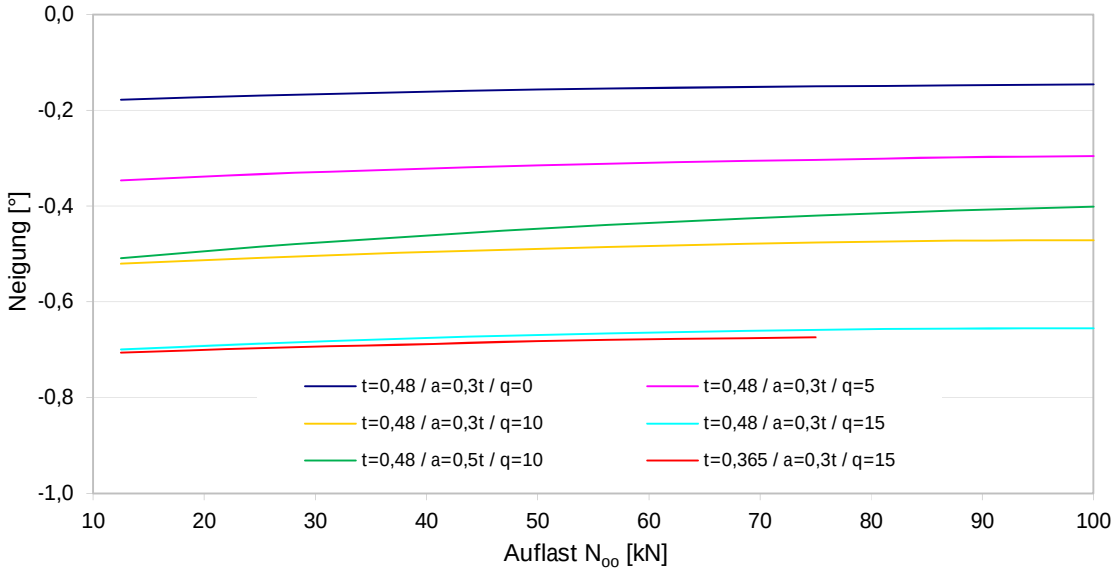


Bild 47 Deckenneigung für ausgewählte Lastfälle und Parameterkombinationen (E_{MW} = 900 N/mm²); mit t/a/q = Wanddicke, Auflagertiefe, Deckenbelastung (exkl. Deckeneigengewicht)

Die größte Verdrehung entstand hier jeweils unter der geringsten Auflast für eine maximale Deckenbelastung von *q* = 15 kN/m². Die maximale Verdrehung beträgt etwa 0,7°. Erwartungsgemäß nimmt die Deckenneigung mit größer werdender Auflagertiefe ab (Bild 48).

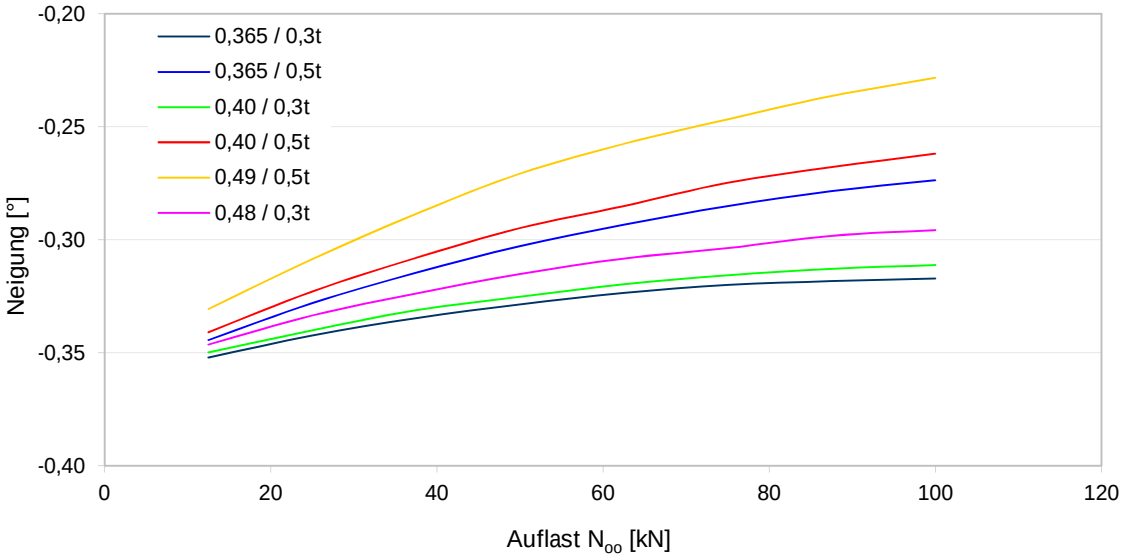


Bild 48 Deckenneigung in Abhängigkeit der Auflast für ausgewählte Lastfälle und Parameterkombinationen (E_{MW} = 900 N/mm², q = 5 kN/m²)

Im Vergleich zum Deckendrehwinkel fallen die Wanddrehwinkel in der FE-Simulation verhältnismäßig gering aus, was u. a. auf die kurze Auflagertiefe zurückzuführen ist. Die Winkel

bewegten sich dabei wertemäßig im Bereich bis 10 % der Deckenverdrehung. Bild 49 zeigt für ausgewählte Parameterkombinationen beispielhaft die Neigungsänderung der Wand. Dargestellt ist die Wandverdrehung in der Mitte der ersten Steinschicht über/unter der Decke.

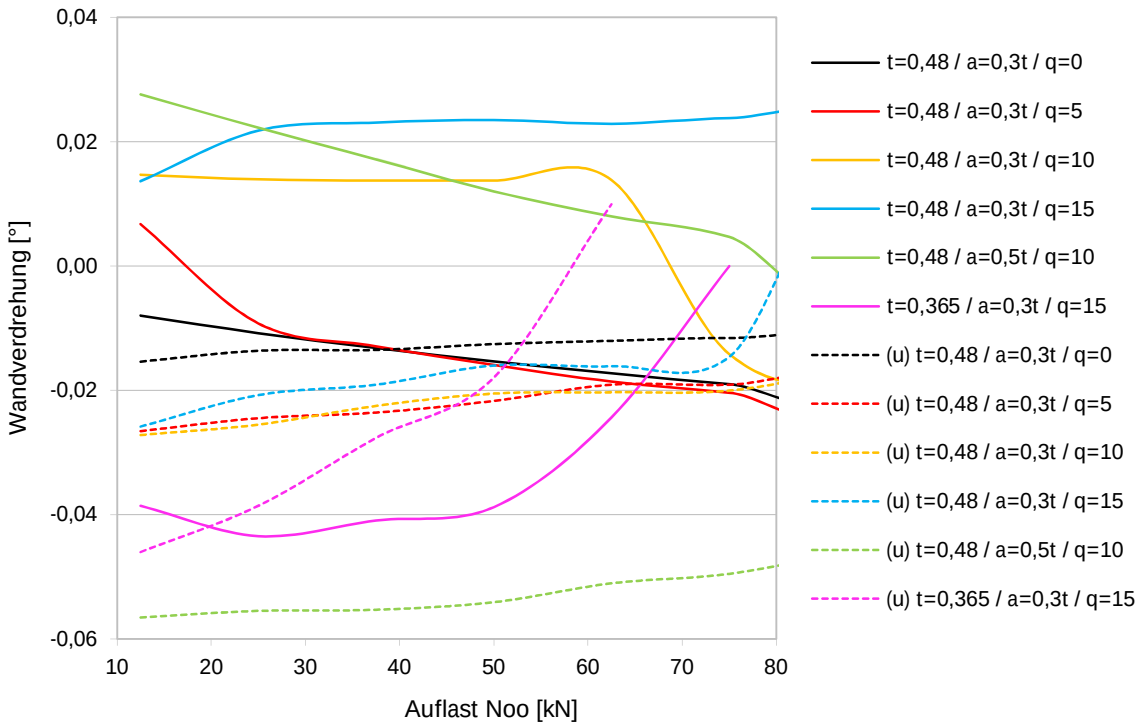


Bild 49 Neigungsänderung der oberen und unteren (u) Wand in Abhängigkeit der Auflast N_{oo} und der Deckenbelastung q (exkl. Deckeneigengewicht)

4.2.5. Entwicklung eines Versuchsaufbaues

In den experimentellen Untersuchungen ist das Verhalten des WDK im Grenzzustand der Tragfähigkeit bzw. der Versagensvorgang unterhalb der teilweise aufliegenden Deckenplatte an geeigneten Probekörpern zu untersuchen. Bild 50 zeigt den geplanten Versuchsaufbau (siehe dazu Abschnitt 3.3).

Der Versuchskörper besteht aus einem Teilstück der Deckenplatte (Deckenstumpf) mit Deckenabmauerungsstein sowie aus mehreren (2 bis 3) zusätzlichen Steinschichten darüber und darunter. Die Länge des Versuchskörpers soll dabei maximal 0,75 m und die Länge l_D (Deckenspannweite) des Deckenstumpfs etwa 1,20 m betragen.

Da nur mit einem Teilstück der Deckenplatte gearbeitet wird, kann sich die Deckenverdrehung nicht auf natürlichem Wege (aus Belastung) einstellen. Daher wird das knotenabseitige Deckenauflager vertikal verschieblich ausgebildet. Der zusätzliche Lasteintrag über die Decke wird durch eine etwa im Drittelspunkt der verkürzten Deckenplatte angreifende Einzel- bzw. Linienlast abgebildet. Die Lasten aus oberen Geschossen werden am Wandkopf eingeleitet.

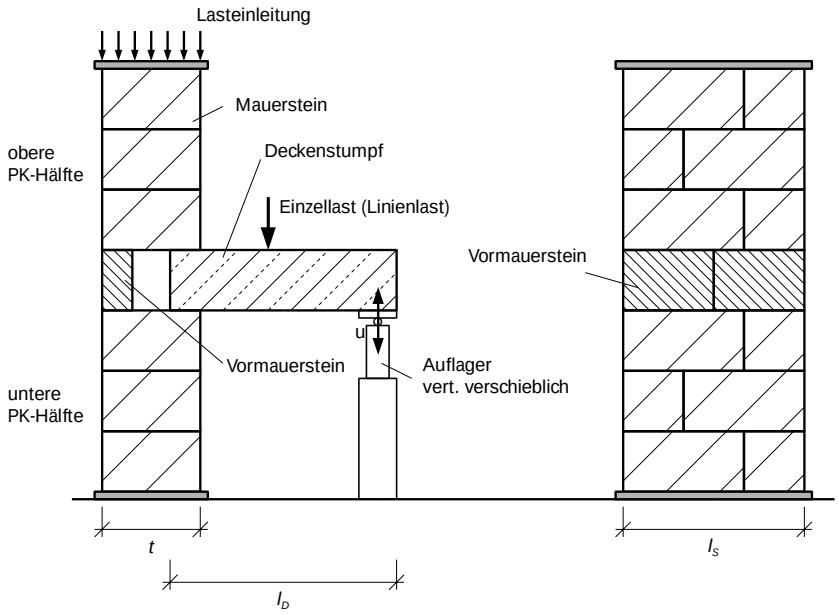


Bild 50 Beispielhafte Darstellung des Versuchsaufbaus

Mit Hilfe von stichprobenartigen numerischen Untersuchungen wurde der gewählte Versuchsaufbau bezüglich seiner Eignung hinsichtlich der Nachstellung des Verhaltens des Wand-Decken-Knotens verifiziert. Zunächst sind dazu Berechnungen an dem für die Voruntersuchungen erstellten Gesamtmodell (vgl. Bild 30) durchgeführt worden. Danach erfolgte die Modellierung des Versuchsaufbaus (Bild 51). Anschließend sind Schnittgrößen, Lastausmitten und Spannungsverteilungen, die sich für vergleichbare Lastkonstellationen und Deckenneigungen am Knoten eingestellt haben, miteinander verglichen worden.

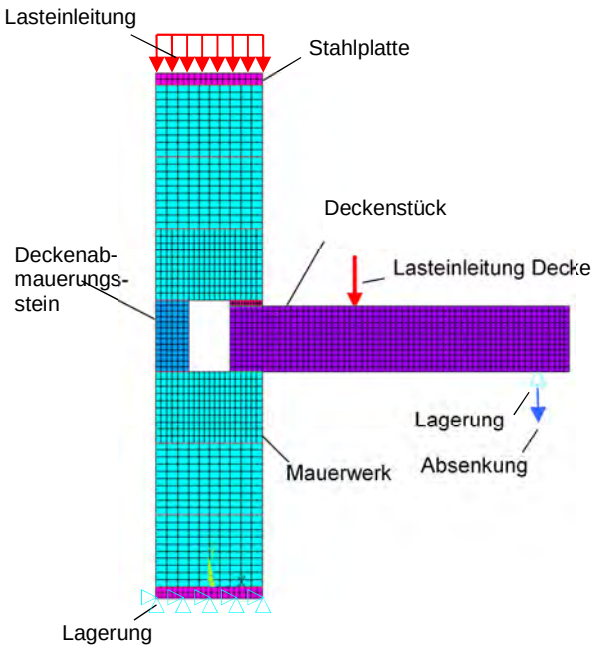


Bild 51 FE-Modell Prüfkörper (t=0,48m; a/t=0,3)

In die numerischen Betrachtungen sind unterschiedliche Geometrien (Anzahl der Steine ober- und unterhalb der Decke, Wanddicken, Auflagertiefen) und Auflagerbedingungen am Wandkopf und -fuß des Prüfkörpermodells (PK) mit einbezogen worden.

Alle untersuchten Auflagerungsvarianten des Prüfkörpermodells haben Vor- und Nachteile. Die Schnittgrößen im unmittelbaren Knotenbereich waren jedoch, unabhängig von der Auflagerung, qualitativ stets mit den am Gesamtmodell berechneten vergleichbar.
Die in Bild 51 dargestellte Halterung am Wandfuß (entspricht im Experiment der vollflächigen Lagerung) stellt prinzipiell den ungünstigsten Fall dar, da sich durch die behinderte Wandverdrehung die ungünstigste Belastungssituation für den Wandkopf der unteren Wand ergibt.

Die Belastung des Prüfkörper-Modells erfolgte am Wandkopf als Flächenlast. Auf der Deckenplatte wurde eine Einzellast (Linienlast) aufgebracht, die am Auflager die gleiche Auflagerkraft wie die gleichmäßig verteilte Deckenlast beim Modell des Gebäudeausschnittes hervorrufen würde (N_{Decke}; vgl. Bild 30 und Bild 37). Die Deckenverdrehung (hier als Neigung) wurde über das knotenabseitige Auflager gesteuert. Die aufzubringende Verformung wurde dabei aus dem Gesamtmodell ermittelt (Bild 52) und entspricht dort etwa der Verformung im Abstand von 1,00 m zur Deckenauflagerkante (Wandinnenseite).

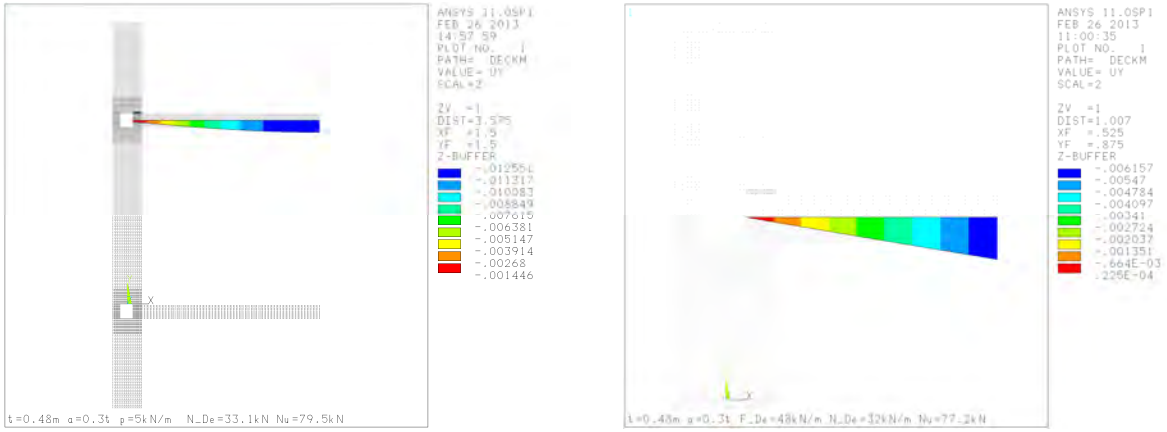


Bild 52 Deckendurchbiegung an Wandausschnitt und Prüfkörper-Modell unter vergleichbaren Lastsituationen (Deckenauflagerkraft N_De, Wandauflast Nu)

Den Erkenntnissen aus Abschnitt 4.2.2 folgend, sind in Bild 53 exemplarisch für eine untersuchte Variante die Spannungsverteilungen am Wandfuß und Wandkopf gegenübergestellt. Es zeigte sich, dass sich an den beiden Modellen (Gebäudeausschnitt und Prüfkörper, Bild 51) im Bereich des Deckenauflagers und des Deckenabmauerungssteins qualitativ vergleichbare Spannungsverteilungen (und damit Schnittgrößen) einstellen.
Ergänzend soll noch erwähnt werden, dass sich für die stichprobenartige Berechnung ohne Mörtelausgleichsschicht über der Decke qualitativ vergleichbare Verhältnisse eingestellt haben.

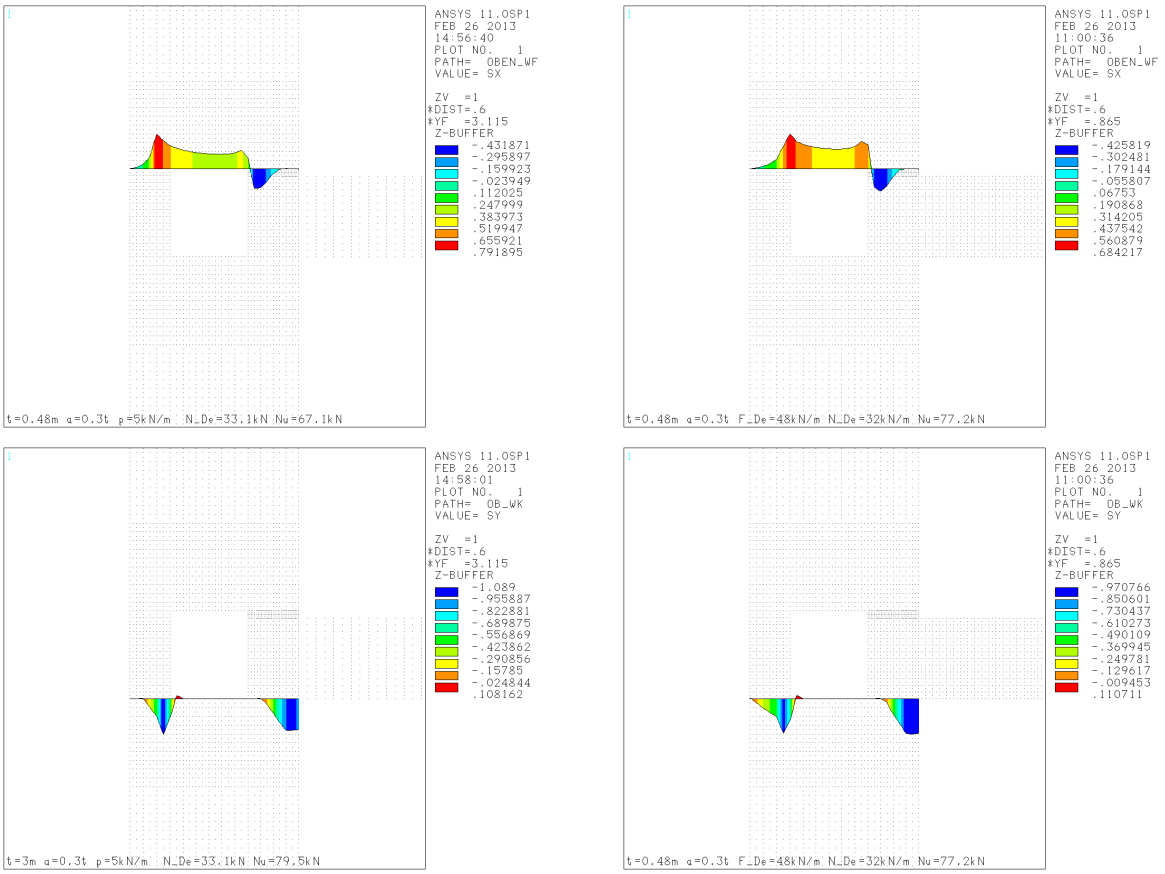


Bild 53 Vergleich Spannungsverteilungen (oben: horiz. Spannungen; unten: vert. Spannungen) am WDK für Gebäudeausschnitt (links) und Prüfkörper (rechts) unter vergleichbarer Belastung

4.2.6. Zusammenfassung

Mit den durchgeführten Parameterstudien konnte bestätigt werden, dass der über den Deckenabmauerungsstein abgetragene Lastanteil mit zunehmender Reduzierung der Deckenauflagertiefe größer wird. Dieser an der Außenseite der Wand übertragene Lastanteil wirkt dem über das Deckenauflager eingetragenen Lastanteil entgegen und führt so zu einer Reduzierung der rechnerischen Lastausmitte (geringeres Moment). Vor allem in unteren Lastbereichen kann sich dadurch ein günstigerer Beanspruchungszustand ergeben.
Die Erhöhung des Lastanteils der vom Deckenabmauerungsstein übertragen wird, geht mit einer Zunahme der Druckspannungen in diesem Bereich einher. Es ist dementsprechend nicht ausgeschlossen, dass das Versagen im GZT nicht auf der Wandinnenseite unter der teilweise aufliegenden Deckenplatte, sondern auf der Wandaußenseite unter/über dem Deckenabmauerungsstein stattfindet bzw. ausgelöst wird.
Der Lastanteil der vom Deckenauflager übertragen wird, nimmt in Folge dessen zwar ab. Aufgrund der Verringerung der lastübertragenden Fläche ergibt sich jedoch auch hier im Allgemeinen eine höhere Druckbeanspruchung.
Die Reduzierung der Auflagertiefe führt auch zu einer Abnahme der Einspannwirkung wodurch sich für kürzere Deckenauflagertiefen eine Reduzierung der Lastausmitte der resultierenden Normalkraft am Wandkopf und Wandfuß einstellt.
Die bereits von *Baier* [41] und *Ortlepp* [48] beobachtete Auflastabhängigkeit der Ergebnisse ist ebenfalls deutlich zu erkennen (Reduzierung der Lastausmitte unter steigender Last). Dieser

Einfluss soll, neben der allgemeinen Lastübernahme durch den Deckenabmauerungsstein, bei der Erarbeitung eines Bemessungsmodells berücksichtigt werden.

Wie die numerischen Betrachtungen weiterhin zeigten, können die Beanspruchungen am WDK, die sich aus gleichmäßiger Deckenbelastung (Deckenauflagerkraft, Durchbiegung) und Wandauflast am Gesamtmodell ergeben hatten, mit dem vorgesehenen Versuchsaufbau (Neigung der Decke und Einzellast auf der Decke) in guter Näherung nachgestellt werden. Der Versuchsaufbau kann demnach für die ihm zugedachte Aufgabe als geeignet angesehen werden.
Dabei ist jedoch immer zu berücksichtigen, dass auch dieser Aufbau nur ein Modell ist bei dem aufgrund diverser Vereinfachungen (einfacher Versuchsaufbau, Reproduzierbarkeit der Ergebnisse, hoher Durchsatz, Aufwandsminimierung, Kosten) Abstriche gegenüber der Realität in Kauf genommen werden müssen.

Wie aus den Versuchen von *Baier* und der FE-Parameterstudie hervorging, ist die Größe der Neigung der Deckenplatte im Auflagerbereich u. a. abhängig von: der Länge der Deckenplatte, der Deckenbelastung, der Wandbelastung (Auflast), vom Material, von der Auflagertiefe und der Wandverdrehung.
Die größte Deckenneigung ergab sich bei Spannweiten von 6,00 m unter maximaler Deckenbelastung und geringer Auflast. Mit steigender Auflast wird die Verdrehung geringer, weil der Grad der Einspannung zunimmt.
Die größtmögliche theoretische Verdrehung (basierend auf den Annahmen von *Pieper* und *Lind*, siehe 3.4) beträgt 0,9°. Dieser Wert kann jedoch nur erreicht werden, wenn sich die Deckenplatte ungehindert verdrehen kann. Dieser Fall tritt in den zu untersuchenden Systemen jedoch nur selten auf (und wenn dann nur in Kombination mit geringen Wandlasten, z. B. als oberste Geschossdecke). Die aus der Technischen Mechanik ermittelten Werte (max. Durchbiegung 23 mm, max. Verdrehung 0,73°) konnten mittels der numerischen Berechnungen in etwa bestätigt werden.

Der Versuchskörper soll vollflächig aufgestellt werden. Damit wird die Verdrehung des unteren Querschnitts mehr oder weniger unterbunden. Bei den Versuchen wird demzufolge mit dem Differenzdrehwinkel (also der Knotenverdrehung) geprüft (vgl. Bild 13 b)).

$$\varphi_{Decke} = \varphi_{Wand} + \Delta\varphi \;\rightarrow \varphi_{Wand} = 0 \rightarrow \Delta\varphi = 0 \qquad (13)$$

Der Wanddrehwinkel müsste in den Versuchen folglich abgezogen werden, um die gleichen Lastübertragungsflächen zu erhalten. Es wird jedoch festgelegt, dass auf eine derartige Anpassung verzichtet wird. Dementsprechend ergibt sich für das System gegenüber der FE-Simulation eine ungünstigere Belastungssituation (Ansatz liegt damit auf der sicheren Seite).
Der einzustellende Neigungswinkel beträgt nach den vorläufigen Berechnungen maximal etwa 0,7° (Bild 47). Das entspricht bei einem einen Meter langen Deckenstumpf einer Höhendifferenz von ca. 11 mm.

5. Experimentelle Untersuchungen

5.1. Einführung

5.1.1. Zielstellung

Innerhalb des Forschungsvorhabens sollten die Auswirkungen der Verkürzung der Deckenauflagertiefe auf die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit des Systems, das Versagen der teilweise aufliegenden Deckenplatte im Grenzzustand der Tragfähigkeit sowie die Mitwirkung des Deckenabmauerungssteins beim Lastabtrag experimentell an geeigneten Probekörpern untersucht werden. Der Forschungsansatz lag dabei in der Analyse des tatsächlichen, bisher nicht näher untersuchten Bruchverhaltens des Wand-Decken-Knotens (WDK) mit teilweise aufliegender Deckenplatte aus Stahlbeton unter Berücksichtigung der Verdrehung der Decke. Auf der Basis des tatsächlichen Material- und Tragverhaltens sind anschließend konstruktive Ansätze zur Weiterentwicklung des Detailpunktes abzuleiten.
Aufbauend auf den Ergebnissen der experimentellen Untersuchungen, der Erkenntnisse aus den theoretischen Betrachtungen und der sich anschließenden numerischen Analysen wird abschließend ein für die Praxis zumutbares Bemessungs- und Nachweismodell für die teilweise aufliegende Deckenplatte erarbeitet, dass eine auslegungssichere Bemessung für verschiedene Deckenauflagertiefen ermöglichen soll.
Die Aufgabenstellung für die experimentellen Untersuchungen lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Bestimmung aller notwendigen Materialparameter der Einzelbaustoffe und der Verbundeigenschaften des Mauerwerks in versuchsbegleitenden Materialprüfungen als Eingangswerte für numerische Parameterstudien und zur Nachstellung der Versuche,
- Versuche an Ausschnitten des Wand-Decken-Knoten-Systems zur punktuellen Analyse des Versagensvorgangs unter Berücksichtigung verschiedener Deckenauflagertiefen, der Verdrehung der Decke sowie des zusätzlichen Lasteintrages aus der Deckenbelastung.

5.1.2. Versuchsgegenstand

Für die Versuche wurden Plansteine aus Leichtbeton (Vollblöcke mit Schlitzen) und Porenbeton in verschiedenen Wandstärken verwendet. In Bild 54 sind beispielhaft ein Porenbetonstein und ein Leichtbetonstein dargestellt.

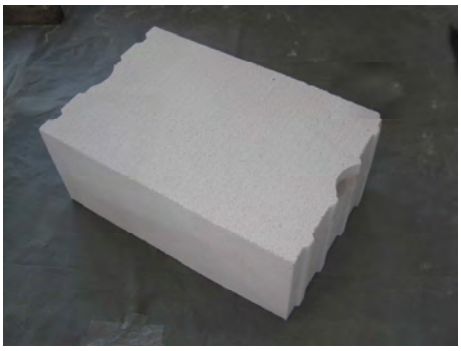
a)  b)

Bild 54 Versuchsgegenstand; a) Ytong PP 1,6-0,25 (400); b) Bisoplan 09 (16DF)

Ausgehend von den in 4.1 durchgeführten thermischen Analysen der unterschiedlichsten Materialkombinationen wurden in Absprache mit den projektbeteiligten Unternehmen für die nachfolgenden experimentellen Untersuchungen die vier in Tabelle 20 zusammengestellten Materialkombinationen ausgewählt. Dabei bezeichnet *RDK* die Rohdichteklasse, *SFK* die Steinfestigkeitsklasse, γ_W den Rechenwert der Eigenlast, λ_{Stein} die Wärmeleitfähigkeit und *t*, *l* und *h* die Breite, Länge sowie Höhe der Steine. Die Reihenfolge der Aufzählung ist willkürlich gewählt. In den folgenden Abschnitten wird auch die eingeführte Bezeichnung der Prüfserie/Kurzzeichen verwendet.

Tabelle 20 Zusammenstellung des Steinmaterials für die experimentellen Untersuchungen

Nr.	Serie/ Kurz-zeichen[1]	Bezeichnung *geregelt durch*	Typ	*RDK*	*SFK*	γ_W	$\lambda_{Mauer-werk}$	*t*	*l*	*h*
						[kN/m³]	[W/(mK)]	[mm]	[mm]	[mm]
1	W400 YA	Ytong PP 1,6 – 0,25 *Z-17.1-1064 [69]*	Porenbetonstein	0,25	1,6	3,5	0,070	400	599	249
		PPW 4 – 0,55 *Z-17.1-540 [70]*	Porenbetonstein	0,55	4,0	-	0,140	115	624	249
2	W425 P	PORIT PP 2,0 – 0,35 *DIN EN 771-4 [71]*	Porenbetonstein	0,35	2,0	4,5	0,090	425	499	249
		PPpl 4 – 0,50 *DIN EN 771-4 [71]*	Porenbetonstein	0,50	4,0	-	0,160	115	624	249
3	W480 YB	Ytong PP 2,0 – 0,35 *DIN EN 771-4 [71]*	Porenbetonstein	0,35	2,0	4,5	0,080	480	499	249
		PPW 4 – 0,55 *Z-17.1-540 [70]*	Porenbetonstein	0,55	4,0	-	0,140	115	624	249
4	W490 P	Bisoplan 09 – 1,6 – 0,40 *Z-17.1-1003 [72]*	Vollblock aus Leichtbeton mit Schlitzen	0,40	1,6	5,0	0,090	490	247	249
		Bisoplan Bauplatte V-P *DIN EN 771-3 [73]*	Vollblock aus Leichtbeton	0,65	4,0	-	0,160	115	490	248

[1] *Kurzzeichen z. B. in Verbindung mit den Materialversuchen*

5.1.3. Versuchsdurchführung

Da die Versuche hinsichtlich des Aufbaus und der Durchführung in ihren Grundzügen prinzipiell vergleichbar sind, werden nachfolgend einige allgemeingültige Punkte erläutert (Aufbau, Belastung, Messtechnik). Versuchsspezifische Informationen sind dann im Anhang zu finden

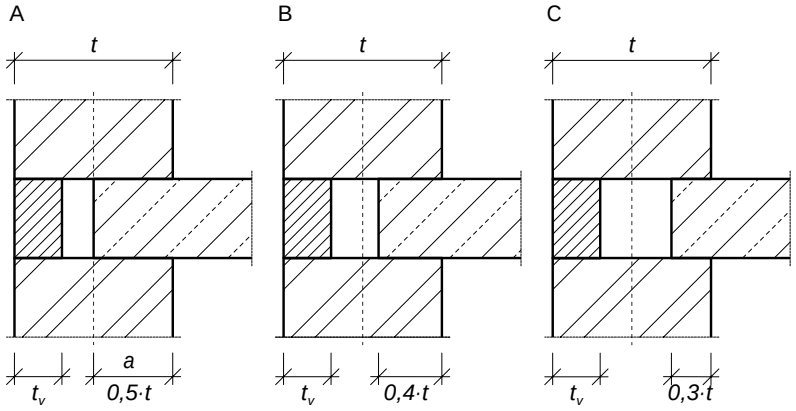
5.1.3.1. Versuchsprogramm

Die Ergebnisse einer numerischen Parameterstudie und einer Evaluierung verschiedener Wandaufbauten hatten gezeigt, dass die zur Erfüllung des Wärmebrückenkriteriums ($\psi \leq 0{,}01$ W/(mK)) erforderlichen Auflagertiefen im Bereich $a = 0{,}3 \cdot t - 0{,}4 \cdot t$ liegen (vgl. 4.1). Die kleinste zu untersuchende Deckenauflagertiefe (= untere Grenze) ist somit durch $a = 0{,}3 \cdot t$ festgelegt.

Um die Ergebnisse der Versuche mit verkürzter Deckenplatte bewerten und einordnen zu können, sind Referenzversuche (sog. Nullversuche) erforderlich. Dazu werden die Versuchsergebnisse des Wand-Decken-Knotens mit der verkürzten Auflagertiefe den an einem herkömmlichen Aufbau gewonnenen Ergebnissen gegenübergestellt. Der (Haupt)-Referenzversuch hatte dementsprechend eine Deckenauflagertiefe von $a = 0{,}5 \cdot t$. Er

entspricht somit den Festlegungen in DIN 1053-1 [21] bzw. in etwa der allgemeinen Regelung in DIN EN 1996-3/NA [25] (für $t \geq 365$ mm → $a/t = 0{,}45$).
Aufgrund äußerer Rahmenbedingung (Zeit, Kosten, Auslastung Prüflabor) waren je Materialkombination maximal bis zu drei Versuche möglich. Da die untere und die obere Anwendungsgrenze mit $0{,}3 \cdot t$ bzw. $0{,}5 \cdot t$ definiert waren, wurde der dritte mögliche Versuch einer Versuchsreihe mit einer Auflagertiefe von $a = 0{,}4 \cdot t$ durchgeführt.
Somit ergaben sich folgende Versuchsanordnungen:

- A: Auflagertiefe $a = 0{,}5 \cdot t$
- B: Auflagertiefe $a = 0{,}4 \cdot t$
- C: Auflagertiefe $a = 0{,}3 \cdot t$



VA	A	B	C
t	$0{,}5 \cdot t$	$0{,}4 \cdot t$	$0{,}3 \cdot t$
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
365	182,5	146	110
400	200	160	120
425	212,5	170	128
480	240	192	144
490	245	196	147

Bild 55 Ausbildung des WDK beim Versuchsaufbau und im Experiment zu verwendende Auflagertiefen in Abhängigkeit der Wanddicke t

Tabelle 21 enthält eine Übersicht über die durchgeführten Versuche zu jeder Serie. In den Serien W400 und W480 wurden ein bzw. zwei Prüfkörper beim Aufbau bzw. Transport vorgeschädigt und daher durch neue ersetzt. Die Bezeichnung erfolgte fortlaufend.

Tabelle 21 Übersicht Versuchsprogramm

Serie	Deckenauflagertiefe		
	$a = 0{,}5 \cdot t$	$a = 0{,}4 \cdot t$	$a = 0{,}3 \cdot t$
W400	W400-A	W400-B	W400-E
W425	W425-A	W425-B	W425-C
W480	W480-D	W480-B	W480-C
W490	W490-A	W490-B	W490-C

5.1.3.2. Versuchsaufbau

Für die Versuche kam ein gegenüber den Untersuchungen von *Baier* [41] reduzierter Prüfkörper zum Einsatz. Bild 56 zeigt eine schematische Darstellung des Versuchsaufbaus (siehe dazu auch Abschnitt 3.3). Der Versuchskörper bestand aus einem Teilstück der Deckenplatte (Deckenstumpf) mit Deckenabmauerungsstein sowie aus drei zusätzlichen Steinschichten

darüber und darunter. Die Länge des Versuchskörpers betrug 0,625 m und die Länge (Deckenspannweite) l_D des Deckenstumpfes 1,20 m.

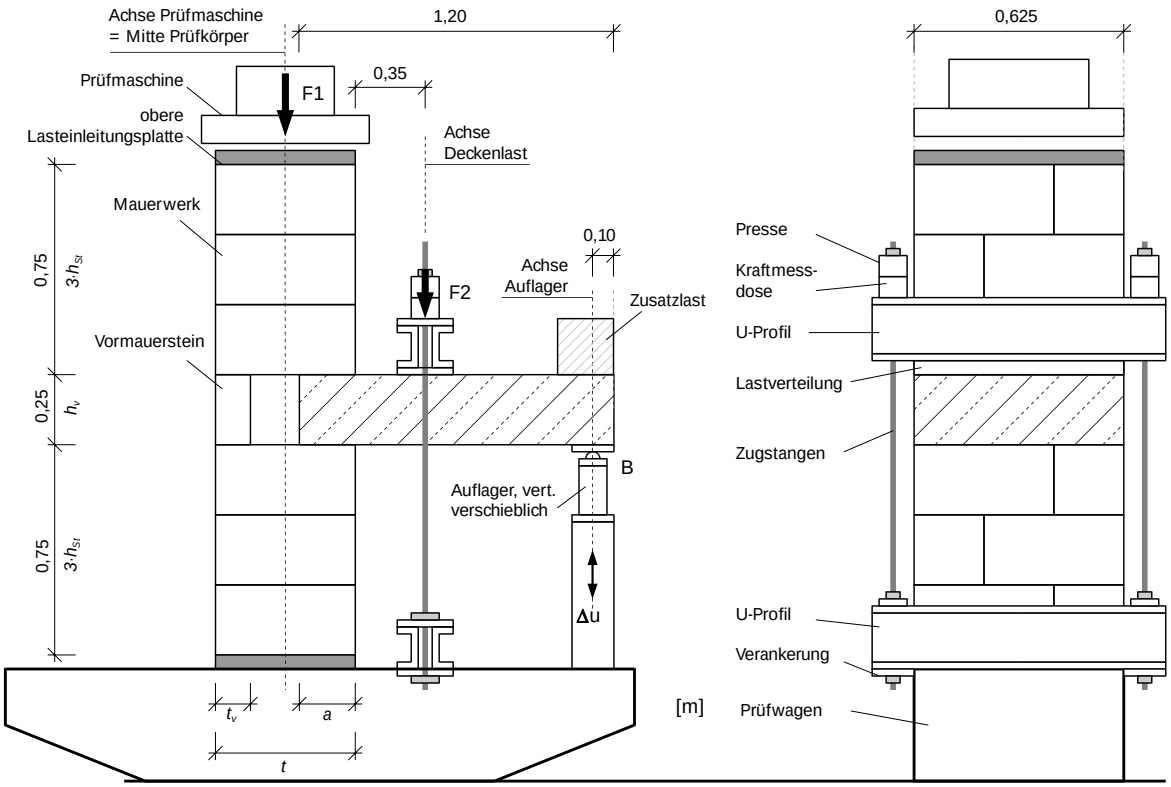


Bild 56 Schematische Darstellung des Versuchsstandes

Die Versuche wurden in einer Standard-Prüfmaschine für statische Druckversuche durchgeführt. Der Prüfkörper wurde am Wandfuß vollflächig auf dem Prüfwagen aufgestellt. Die Verdrehung der unteren Prüfkörperhälfte wurde damit prinzipiell unterbunden.
Da nur mit einem Teilstück der Deckenplatte gearbeitet wurde, konnte sich die Deckenverdrehung nicht auf natürlichem Wege (aus Belastung) einstellen. Daher wurde das knotenabseitige Deckenauflager vertikal verschieblich ausgebildet. Der zusätzliche Lasteintrag über die Decke wurde durch eine etwa im Drittelspunkt der verkürzten Deckenplatte angreifende Einzel- bzw. Linienlast abgebildet. Die Lasteinleitung am Kopf des Prüfkörpers erfolgte über die obere Lasteinleitungsplatte der Prüfmaschine. Die Kalotte war dabei prinzipiell frei drehbar gelagert.
Da sich der Aufbau der Prüfkörper aufgrund versuchstechnischer Randbedingungen nicht am üblichen Herstellungsprozess eines Wand-Decken-Knotens orientieren konnte (untere Wand aufmauern – Decke auflegen – ggf. Ausgleichsmörtel aufbringen – nach Aushärten der Ausgleichsschicht obere Wand aufmauern – Aushärten – Versuch), erfolgte der Aufbau der Prüfkörper modular außerhalb der Prüfmaschine. Erst kurz vor dem Versuch wurden die einzelnen Teile (I: Unterteil, II: Decke, III: Oberteil, s. Bild 57) in der Prüfmaschine zusammengesetzt.
Auf die Verwendung einer wandbreiten ausgleichenden Mörtelschicht über der Deckenplatte und dem Deckenabmauerungsstein konnte dabei verzichtet werden, da die Höhe der verkürzten Deckenplatte an die Höhe des Deckenabmauerungssteins angepasst wurde. Ein Höhenausgleich war unter Laborbedingungen somit nicht erforderlich. Unebenheiten des Deckenauflagers wurden durch die Verwendung einer Trennschicht aus Bitumenbahn R500

ausgeglichen (an Ober- und Unterseite). Auf dem Deckenabmauerungsstein wurde Dünnbettmörtel aufgetragen.
Die Prüfung erfolgte ca. 1-3 Tage nach dem Zusammenbau. Der auf den Deckenabmauerungsstein aufgebrachte Dünnbettmörtel hatte bei einem Vorversuch eine Festigkeit größer oder gleich der erforderlichen. Es ist anzumerken, dass die Festigkeit des Dünnbettmörtels auf die Mauerwerksfestigkeit unter Druckbeanspruchung keinen Einfluss hat.

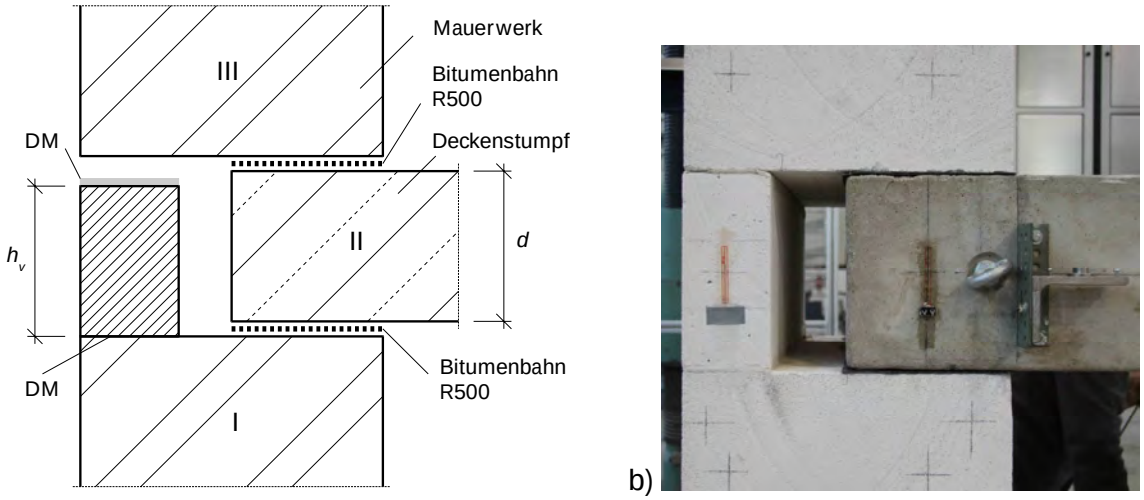


Bild 57 Modulare Ausbildung des WDK beim Versuchsaufbau; a) schematische Darstellung; b) WDK mit Trennlage über und unter der Deckenplatte

Bild 58 zeigt den vollständigen Prüfkörper mit allen zusätzlichen Aufbauten (Lasteinleitung, Sicherung) in der Prüfmaschine. Über dem knotenabseitigen Auflager wurde hier eine zusätzliche Last in Form eines Stahlträgers aufgebracht.

Bild 58 Prüfkörper W480A in der Prüfmaschine

Die Steine wurden bis zum Prüfkörperaufbau ca. 14 Tage im Laborklima gelagert. Die Prüfkörper selbst sind nach ca. 2 – 3 Wochen Lagerung im Laborklima geprüft worden.

5.1.3.3. Belastungsregime

Die am Wandkopf in den Prüfkörper eingeleitete Last F_1 in Bild 56 entspricht den Lasten, welche aus den oberen Geschossen in die Wand eingetragen werden. Die Lasteinleitung F_2 auf der Deckenplatte (Abbildung der Deckenauflagerkraft) erfolgt nahe dem Deckenauflager über ein geeignetes Lastgeschirr. Die Deckenauflast F_2 wurde so eingestellt, dass die im Wand-Decken-Knoten (WDK) hervorgerufene Auflagerkraft N_{Decke} äquivalent zu der Auflagerkraft ist, die sich für eine 6 m lange Deckenplatte bei gleichmäßig verteilter Flächenlast q_{Decke} ergeben würde. Die Berücksichtigung der Deckenverdrehung im Auflagerbereich erfolgte über die, in Abhängigkeit der jeweiligen Laststufe manuell angepasste, Neigung des Deckenstumpfes. Die Laststufen und die entsprechenden Deckendrehwinkel (Neigungswinkel) wurden aus einer FE-Simulation übernommen.
Die Versuchsdurchführung erfolgte kraftgesteuert. Die Lasten wurden dabei abschnittsweise (Wand- und Deckenauflast im Wechsel; Belastungs- und Haltephasen) aufgebracht und gesteigert. Die Abfolge orientierte sich grob an der Gebäudeerstellung und -nutzung (Rohbau, Ausbau, Nutzung). Die Haltephasen dienten zur Dokumentation von Rissen/Schäden und sollten erste Kriechprozesse im Mauerwerk ermöglich.

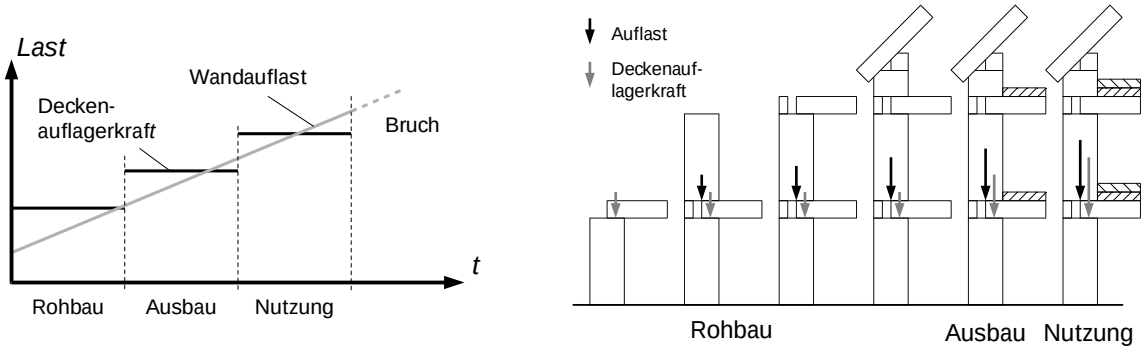


Bild 59 Idealisierte Darstellung der Entwicklung des Lastniveaus im Gebäude bei der Erstellung

Wie von *Sahlin* bereits in [55] festgestellt wurde, ist es in den experimentellen Untersuchungen nicht zweckdienlich, wenn die Deckenbelastung und die Deckenverdrehung über bestimmte Grenzwerte hinaus gesteigert werden. Zur Entwicklung eines Lastregimes waren daher zunächst die Anwendungs- bzw. Bemessungsgrenzen in Abhängigkeit der Materialkennwerte, der Geometrie sowie der vorgesehenen Nutzung festzulegen. Tabelle 22 enthält die getroffenen Annahmen für geometrische und nutzungsabhängige Parameter.
Es wird davon ausgegangen, dass die verwendeten Materialkombinationen aufgrund der verhältnismäßig geringen Festigkeiten überwiegend in Einfamilienhäusern mit wenigen Geschossen verwendet werden (Nutzlastkategorie A3 mit 2 kN/m² zzgl. Lastanteil zur Berücksichtigung leichter Trennwände bis 3 kN je m Wandlänge in Höhe von 0,8 kN/m²).
Die Dicke der Deckenplatte wurde für die experimentellen Untersuchungen ausgehend von versuchstechnischen Rahmenbedingungen mit d = 0,25 m festgelegt. Da die Deckendicke jedoch einen direkten Einfluss auf die Steifigkeit und somit auf die Durchbiegung der Deckenplatte hat, und eine größere Durchbiegung ungünstigere Belastungssituationen am Auflagerrand zur Folge hat, wird festgelegt, dass die Belastung (Eigengewicht) und die Verdrehung der Decke basierend auf einer Deckendicke von 0,23 m bestimmt werden.
Das Eigengewicht des Fußbodenaufbaues liegt in der Regel zwischen 1,5 und 2 kN/m². Für die Untersuchung wurde die maximale Ausbaulast mit 2 kN/m² bei einer Aufbauhöhe von 18,5 cm angenommen.

Tabelle 22 Geometrische und nutzungsabhängige Parameter

Parameter	Festlegung	Bemerkungen
Rohbauhöhe Wand h_W (lichte Höhe der Wand)	≤ 3,00 m	
Wanddicke *t*.	0,365 - 0,49 m	
Wandeigengewicht	3,5/4/4,5/5 kN/m³	Wandeigengewicht entspr. Material
Deckenspannweiten l_D	≤ 6,00 m	
Deckendicke *d*	≤ 0,23 m	für Belastungsregime
Deckeneigengewicht $g_{De,k}$	5,75 kN/m²	für *d* = 0,23 m mit γ = 25 kN/m³
beispielhafter Fußbodenaufbau		
70 mm Ausgleichsschüttung	0,021 kN/m²	0,003 kN/m² je cm Dicke
30 mm Trittschalldämmung	0,012 kN/m²	0,004 kN/m² je cm Dicke
70 mm Zementestrich	1,54 kN/m²	0,22 kN/m² je cm
Bodenbelag 15 mm (Fliesen + Verlegemörtel)	0,33 kN/m²	0,22 kN/m² je cm
Ausbaulasten auf der Decke $g_{Ab,k}$	2 kN/m²	Σ Lasten Fußbodenaufbau (gerundet)
Σ ständige Lasten	7,75 kN/m²	Eigengewicht + Ausbaulast
Nutzlast $p_{De,A3,k}$	≤ 2,0 kN/m²	Nutzlast Kategorie A3
Trennwandzuschlag $p_{De,tz}$	0,8 kN/m²	Wände mit Last ≤ 3kN/m je m Länge
Σ veränderliche Lasten $p_{De,max,k}$	2,80 kN/m²	
TSB	γ_g = 1,35; γ_p = 1,5	

Entgegen den Vorschlägen bzw. dem Vorgehen von *Sahlin* [55] und *Lewicki* [57], deren Versuchsdurchführung am Einspannmoment der Deckenplatte (Volleinspannmoment am Kragarm, vgl. Abschnitt 3.3) und der Wandauflast ausgerichtet war, orientierte sich das Lastregime der durchgeführten Versuche an der im Knoten hervorgerufenen Deckenauflagerkraft N_{Decke} sowie dem Dreh- bzw. Neigungswinkel der Deckenplatte. Das zugehörige Belastungsszenario berücksichtigte die nachfolgend genannten Deckenlastfälle.

Lastfall (LF) a: min (Deckenlast nur aus dem Eigengewicht der Deckenplatte)

$$q_{De,min} = g_{De,k} = 5{,}75\frac{kN}{m^2} \tag{14}$$

LF b: GZG (Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit, Volllast ohne TSB)

$$q_{De,GZG} = g_{De,k} + g_{Ab,k} + q_{De,max,k} = 5{,}75 + 2 + 2{,}8 = 10{,}55\frac{kN}{m^2}$$
$$gewählt\text{:}\ q_{De,GZG} = 10\frac{kN}{m^2} \tag{15}$$

LF c: GZT (Grenzzustand der Tragfähigkeit, Volllast mit TSB)

$$q_{De,GZT} = 1{,}35 \cdot g_{De,k} + 1{,}35 \cdot g_{Ab,k} + 1{,}5 \cdot p_{De_{max,k}}$$

$$q_{De,GZT} = 1{,}35 \cdot 5{,}75 + 1{,}35 \cdot 2 + 1{,}5 \cdot 2{,}8 = 14{,}6 \frac{kN}{m^2} \qquad (16)$$

$$gewählt: q_{De,GZT} = 15 \frac{kN}{m^2}$$

Eine Auslastung der Decke über den Lastfall c hinaus ist aufgrund der angenommenen Nutzungsart nicht möglich und darüber hinaus nicht zielführend. Hinzu kommt, dass der Lastanteil aus Eigengewicht durch Verwendung kürzerer Decken, bei Durchlaufwirkung oder anderen Deckentypen (Spannbeton-Hohldielen, Porenbetondecken) erheblich reduziert werden kann.
Die Lagerungsart der Deckenplatte im Wand-Decken-Knoten liegt in Abhängigkeit verschiedener Faktoren (z. B. Belastung und Geometrie) zwischen den Grenzfällen „Volleinspannung“ und „gelenkige Lagerung“. Für die Bearbeitung wurde als maßgebende Deckenauflagerkraft der Wert aus der „gelenkigen Lagerung“ angesetzt. Tabelle 23 enthält die zu den Deckenlasten (LF a bis c) gehörenden Deckenauflagerkräfte für eine 6,00 m lange, gelenkig gelagerte Deckenplatte (1m-Streifen und Umrechnung auf Prüfkörperlänge von 62,5 cm).

Tabelle 23 Auflagerkräfte für eine 6 m lange Deckenplatte bei Annahme beidseitig gelenkiger Lagerung ($N_{Decke,gel} = q_{De} \cdot 6$ m / 2) unter einer gleichmäßigen Flächenlast

LF	q_{De}	$N_{Decke,gel}$	$N_{Decke,625}$
	[kN/m²]	[kN/m]	[kN]
a (min)	5,75	17,3	10,8
b (GZG)	10,0	30,0	18,7
c (GZT)	15,0	45,0	28,2

Wie oben dargelegt wurde, ist die Deckenlast bzw. die Deckenauflagerkraft als bindender Grenzwert anzusehen, dessen Überschreitung für die Untersuchung nicht zielführend ist. Die Deckenbelastung braucht folglich nicht über den Wert, für den sich im Knoten eine Auflagerkraft von 45 kN/m bzw. 28,2 kN (siehe Tabelle 23) einstellt, gesteigert werden. Nachdem diese festgelegte Obergrenze erreicht wurde, wird die Deckenauflast nicht weiter erhöht. Falls noch kein Versagen eingetreten ist, wird anschließend nur noch die Wandauflast gesteigert.
Aus der Decke selbst können keine größeren Lasten in den Knoten eingetragen werden. Zusätzlich werden jedoch infolge der Lastspreizung über Decke und Deckenabmauerungsstein Anteile der Wandauflast über den Auflagerbereich abgetragen.

Die anhand der o. a. Nutzungsparameter festgelegte maximale Deckenauflast (15 kN/m²) verursachte in den numerischen Studien eine maximale Verdrehung in Höhe von ca. 0,5° (vgl. Bild 47). Nach ingenieurtheoretischer Berechnung analog zu Gleichung (9) ergibt sich ebenfalls eine Verdrehung dieser Größenordnung:

$$\varphi = \frac{q_{De} \cdot l^3}{24 \cdot E \cdot I} = \frac{0{,}015 \cdot 6^3}{24 \cdot 15000 \cdot 0{,}001014} = 0{,}0088\, rad \sim 0{,}51°. \qquad (17)$$

Wie in 5.1.3.1 dargestellt, sollen die Versuchsanordnungen *A* (Auflagertiefe $a = 0{,}5 \cdot t$), *B* ($a=0{,}4 \cdot t$) und *C* ($a=0{,}3 \cdot t$) untersucht werden. Aus der unterschiedlichen Auflagertiefe ergeben

sich in Abhängigkeit der Auflast auch unterschiedlich starke Neigungen der Deckenplatte (siehe dazu Abschnitt 4.2.6).
Bild 60 zeigt beispielhaft ein auf der Deckenneigung basierendes, auf die unterschiedlichen Auflagertiefen abgestimmtes, Belastungsszenario mit den Lastpfaden für Anordnung *A* und *C*. Dabei ist q_{De} die gleichmäßig verteilte Flächenbelastung auf der Decke (inkl. Eigengewicht) und N_{De} die in den WDK eingetragene Deckenauflagerkraft.

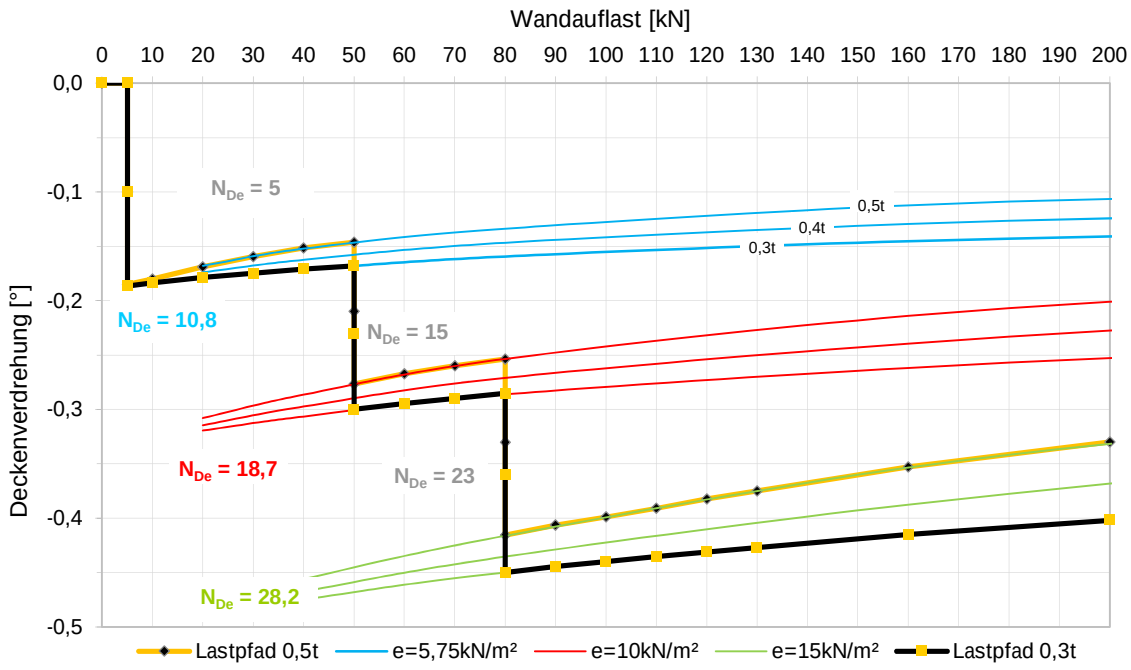


Bild 60 Belastungsregime vs. Deckenverdrehung (hier e=q_{De}).

5.1.3.4. Messtechnik

Die Neigung der Deckenplatte wurde über zwei beidseitig in Auflagernähe angebrachte elektronische Neigungsmesser aufgezeichnet. Die aufgebrachten Lasten am Wandkopf bzw. auf der Decke sowie die knotenabseitige Auflagerkraft wurden mittels Kraftmessdosen erfasst. Mit Hilfe von am Deckenabmauerungsstein bzw. auf der Deckenplatte applizierter Dehnmessstreifen (DMS), und der zuvor bestimmten Spannungs-Dehnungs-Beziehung der Einzelkomponenten, erfolgte später die Abschätzung der jeweils übertragenen Lastanteile.
Horizontal am Stein über und unter der Deckenplatte angeordnete induktive Wegaufnehmer (IWA) dienten der Erfassung der Verformungen in Wanddickenrichtung. Unter Verwendung von vertikal angeordneten Wegaufnehmern wurden des Weiteren die Verformungen auf den Außenseiten des Prüfkörpers gemessen. Die Messstellenanordnung war in ihren Grundzügen in allen Versuchen identisch (siehe auch die Darstellung im Anhang). Die Messdaten wurden über die gesamte Versuchsdauer digital erfasst.

a) b)

Bild 61 a) Neigungsmesser auf der Deckenplatte; b) Wegaufnehmer an der Außenseite des Prüfkörpers (Nord)

5.2. Serie W400

Es ist das Steinmaterial nach Tabelle 20 zusammen mit Dünnbettmörtel zum Einsatz gekommen.

5.2.1. Versuchsbegleitende Materialprüfungen

Zur Bestimmung der Materialparameter der Baustoffe und des Verbundverhaltens sind Versuche an Probekörpern der Einzelkomponenten (Mauersteine, Mauermörtel) sowie an Kleinprüfkörpern (Mauerwerk) durchgeführt worden. Das wesentliche Ziel war dabei die Ermittlung der erforderlichen Eingangsparameter für die numerische Untersuchung der Thematik.

5.2.1.1. Versuche am ganzen Stein

Die Ermittlung der Steindruckfestigkeit f_b, der Spannungs-Dehnungs-Beziehung σ-ε und des Elastizitätsmoduls E_b erfolgte in Anlehnung an DIN EN 772-1 [76] am ganzen Stein. Die Dehnungen wurden dabei mittels Wegaufnehmern und/oder Dehnmessstreifen bestimmt. Die Oberflächen der Steine wurden zuvor, sofern erforderlich, entsprechend der Norm behandelt. Vor der Prüfung wurden die Steine für mindestens 14 Tage im Labor gelagert.

a) b)

Bild 62 Bestimmung der Druckfestigkeit an Einzelsteinen; a) Stein während der Versuchsdurchführung in der Prüfmaschine; b) Stein nach Versuchsdurchführung

Tabelle 24 zeigt die Mittelwerte der an den Einzelsteinen ermittelten Materialparameter (ohne Berücksichtigung von Umrechnungs- oder Formfaktoren). Die vollständigen Versuchsergebnisse können dem Anhang entnommen werden.

Tabelle 24 Materialparameter der Mauersteine aus Einzelsteinprüfungen (Mittelwerte)

	Mauerstein	Deckenabmauerungsstein
Bezeichnung	PP 1,6 – 0,25 (400)	PPW 4 – 0,55
Länge *l* / Breite *t* / Höhe *h*	599 / 400 / 249 mm	624 / 115 / 249 mm
Druckfestigkeit f_b	2,19 N/mm²	3,42 N/mm²
E-Modul $E_{b,33}$	567 N/mm²	1083 N/mm²
Steinrohdichte	0,403 kg/dm³	0,657 kg/dm³

Zur Konditionierung der Steine ist anzumerken, dass die Steine 14 Tage unter Laborbedingungen gelagert und dann vermauert worden sind.

Neben Versuchen an ganzen Deckenabmauerungssteinen wurden weiterhin Versuche an gekürzten Deckenabmauerungssteinen durchgeführt (Bild 63, b)). Deren Länge entsprach der später bei den Versuchen am Wand-Decken-Knoten vorgesehenen Länge. Der mittels der an den Stirnseiten angebrachten Dehnmessstreifen (DMS) bestimmte E-Modul lag erwartungsgemäß höher als bei Ermittlung mittels Wegaufnehmern und betrug im Mittel 1827 N/mm². Die Druckfestigkeit der zugeschnittenen Steine lag bei 4,1 N/mm².

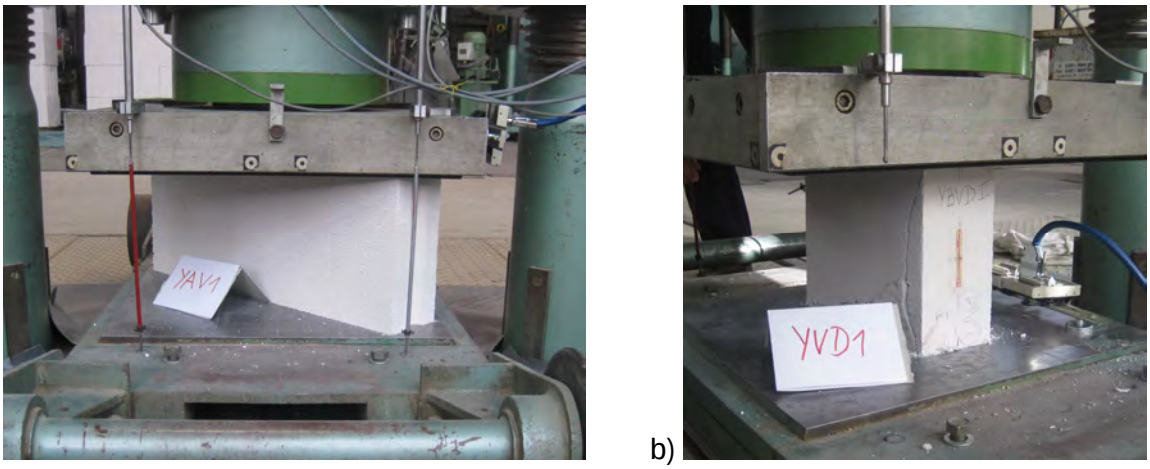


Bild 63 a) Vollständiger Deckenabmauerungsstein in der Prüfmaschine vor Versuchsdurchführung; b) Gekürzter Deckenabmauerungsstein in der Prüfmaschine nach Versuchsdurchführung

5.2.1.2. Steinprismen

Zur Bestimmung der Materialparameter wurden aus den vorliegenden Steinen Prismen nach der unten stehenden Abbildung entnommen. Die Bezeichnung der Probekörper ergab sich u. a. aus dem Prismentyp (W = Würfel, P = Prisma), der Orientierung im Stein (X = Steinbreite, Y = Steinlänge, Z = Steinhöhe) und der Steinnummer. Für die einzelnen Versuche sind die Prismen anschließend auf die jeweils erforderliche Länge geschnittenen worden.

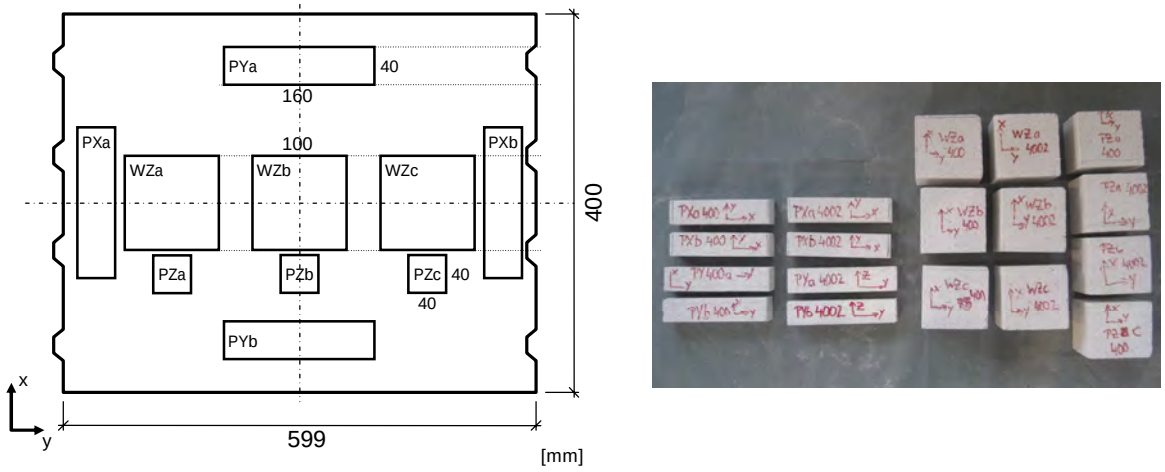


Bild 64 Prismenentnahme aus dem Mauerstein

Neben der Spannungs-Dehnungs-Beziehung des Steinmaterials (Prüfung in Anlehnung an DIN 18555-4 [77]), war auch die Zugfestigkeit der Mauersteinprismen zu bestimmen. Dafür wurden zunächst Biegezugversuche (in Anlehnung an DIN EN 1015-11 [78]) durchgeführt. An den halbierten Prismen aus der Biegeprüfung sind anschließend noch die Spaltzugfestigkeit (in Anlehnung an DIN 1048-5 [79]) sowie die Druckfestigkeit ermittelt worden.
Dabei waren vorrangig die Zugfestigkeiten in Richtung Steinbreite/Steinlänge sowie die Druckfestigkeiten in Richtung Steinhöhe von Interesse. Die ermittelten Werte sind vollständig

im Anhang enthalten. Tabelle 25 enthält eine Zusammenfassung mit den Mittelwerten der Versuchsergebnisse.

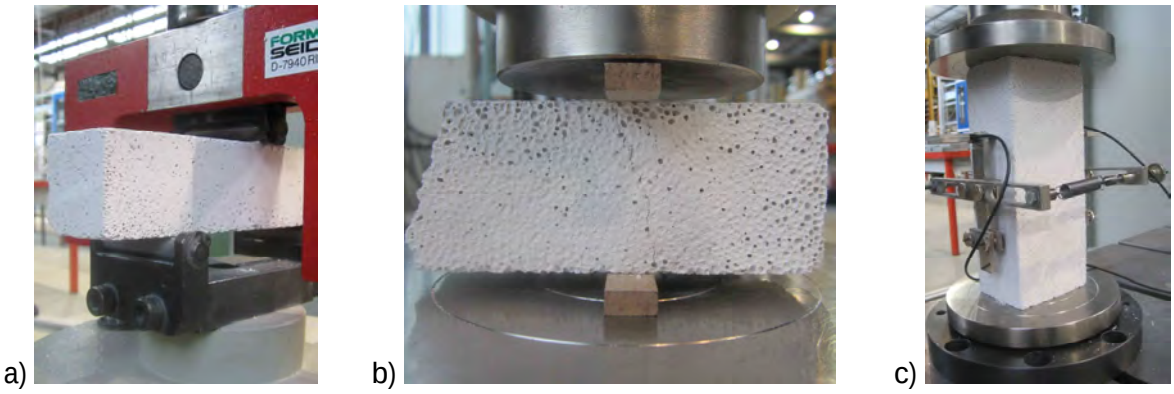


Bild 65 Bestimmung der Materialkennwerte am Steinprisma (40/40/160); a) Biegezugfestigkeit b) Spaltzugfestigkeit; c) Spannungs-Dehnungs-Beziehung

Tabelle 25 Zusammenfassung der Ergebnisse an den Steinprismen aus PP 1,6-0,25 (Mittelwerte)

Materialkennwert	Einheit	Steinbreite	Steinlänge	Steinhöhe
		x	y	z
Druckfestigkeit am Würfel	[N/mm²]	1,44	1,58	1,76
Biegezugfestigkeit	[N/mm²]	0,68	0,53	-
Druckfestigkeit nach Biegezug	[N/mm²]	1,73	1,54	1,68
Spaltzugfestigkeit nach Biegezug	[N/mm²]	0,37	0,31	-
E-Modul am Prisma (σ-ε)	[N/mm²]	-	-	928
Druckfestigkeit am Prisma (σ-ε)	[N/mm²]	-	-	2,20
Steinrohdichte	[kg/dm³]	0,270		

Zur Konditionierung der Steine ist anzumerken, dass die Steine 14 Tage unter Laborbedingungen gelagert und dann vermauert worden sind.

5.2.1.3. Mörtel

Bei der Herstellung der kleinen Mauerwerksprüfkörper wurden vom verwendeten Dünnbettmörtel Prismen (40/40/160 mm) zur Bestimmung der Mörteleigenschaften angefertigt. Neben der Mörteldruckfestigkeit f_m wurden auch die Biegezugfestigkeit $f_{BZ,m}$, die Spaltzugfestigkeit $f_{SZ,m}$ sowie die Spannungs-Dehnungs-Beziehung ermittelt.
Die Biegezugfestigkeit und die Druckfestigkeit wurden dabei nach DIN EN 1015-11 [78], die σ-ε-Beziehung nach DIN 18555-4 [77] und die Spaltzugfestigkeit in Anlehnung an DIN 1048-5 [79] bestimmt. Die Ergebnisse sind im Einzelnen im Anhang enthalten.
Bei der Herstellung der Wand-Decken-Knoten-Prüfkörper wurden ebenfalls Mörtelprismen hergestellt und geprüft. Die Ergebnisse sind in den jeweiligen Kapiteln enthalten.

Tabelle 26 Materialeigenschaften Dünnbettmörtel (Mittelwerte)

Bezeichnung	Ytong Dünnbettmörtel
Rohdichte ρ_m	1,53 kg/dm³
Biegezugfestigkeit $f_{BZ,m}$	4,15 N/mm²
Druckfestigkeit aus Biegezugprismen f_m	13,75 N/mm²
Spaltzugfestigkeit an Biegezugprismen $f_{SZ,m}$	1,75 N/mm²
E-Modul (Prisma hochkant) E_m	8561 N/mm²
Druckfestigkeit (Prisma hochkant) $f_{m,E}$	12,17 N/mm²

5.2.1.4. Mauerwerk

Zur Bestimmung der Druckfestigkeit f, der Spannungs-Dehnungs-Beziehung und des E-Moduls E_{MW} wurden Versuche an kleinen Mauerwerks-Prüfkörpern (PK) nach DIN EN 1052-1 [56] durchgeführt. Die Prüfkörper hatten gemäß Norm und Zulassung die in Bild 66 a) dargestellte Geometrie. Bei der Wahl des Überbindemaßes (sofern nicht durch die Zulassung vorgeschrieben) galt es zu berücksichtigen, dass die erforderliche Anzahl der Schnitte je Steinreihe minimiert wird. Des Weiteren waren auch die Abmessungen der späteren Wand-Decken-Knoten-Prüfkörper in die Überlegungen einzubeziehen. Als geeignetes Maß hatte sich dabei eine Überbindung von jeweils einer halben Steinlänge ergeben.

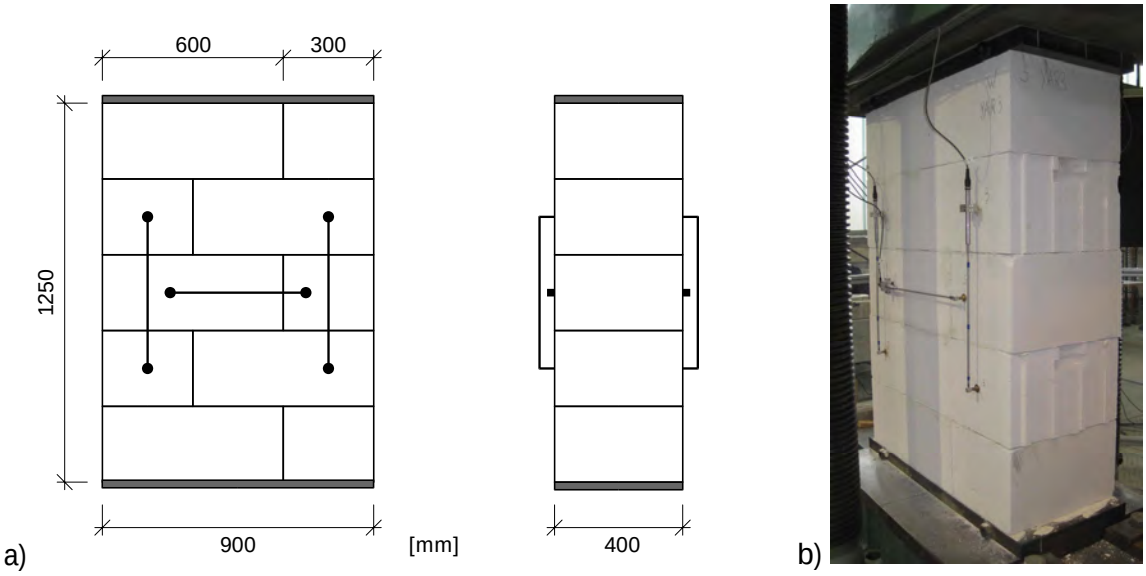


Bild 66 a) Mauerwerksprüfkörper in Anlehnung an DIN EN 1052-1; b) Prüfkörper YAR3 in der Prüfmaschine

Die Ergebnisse der Einzelprüfungen sind im Anhang zusammengestellt. Tabelle 27 enthält die Mittelwerte der Versuchsreihe.

Tabelle 27 Materialeigenschaften Mauerwerk aus PP1,6-0,25/400 und DM (Mittelwerte)

Serien-Bezeichnung (Kurzz.-Rilemkörper)	YAR
Mittlere Mauerwerksdruckfestigkeit f	1,54 N/mm²
E-Modul E_{MW}	883 N/mm²
Querdehnzahl	0,21

5.2.1.5. Beton

Die Materialparameter des für die Herstellung der in den Wand-Decken-Knoten benutzten Deckenplatte benutzten Betons wurden ebenfalls untersucht. Beim Betonieren wurden 4 Würfel-Prismen (Kantenlänge 150 mm) und 4 Zylinder (Ø 150 mm, Höhe 300 mm) hergestellt. Die Prüfung erfolgte nach 28 Tagen und 126 Tagen.

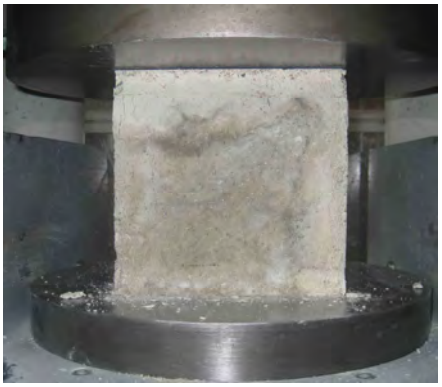
a)  b) c)

Bild 67 Betonprüfkörper zur Ermittlung der Druckfestigkeit bzw. der Spannungs-Dehnungs-Beziehung; a) Würfel in der Prüfmaschine; b) Zylinder während Versuch; c) Zylinder nach Versuch

Es wurden die in Tabelle 28 enthaltenen Parameter bestimmt.

Tabelle 28 Materialeigenschaften Beton (Mittelwerte aller Proben)

Rohdichte	2,19 kg/dm³
Mittlere Druckfestigkeit f_c	23,6 N/mm²
E-Modul E_c	25057 N/mm²

5.2.2. Ergebnisse der Versuche am Wand-Decken-Knoten (Serie W400)

5.2.2.1. Allgemein

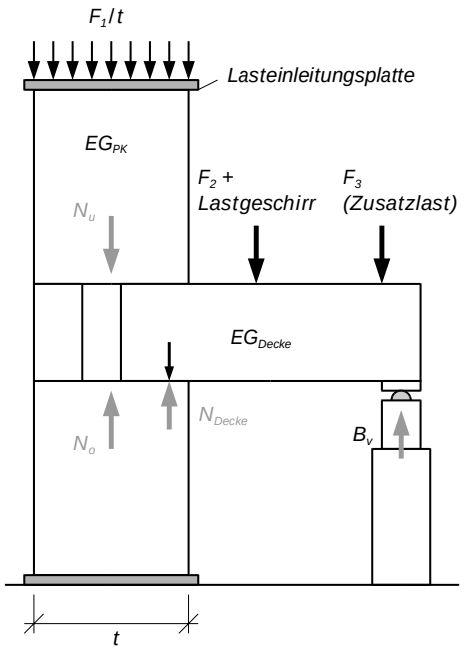
Die Auswertung der Versuche erfolgte hinsichtlich der erreichten Bruchlasten (Tragfähigkeit), der Rissentstehung (Gebrauchstauglichkeit) sowie im Hinblick auf die Lastspreizung zwischen Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager.
Der Bruch wurde in den Versuchen einheitlich als der Zeitpunkt definiert, an dem die größte Wandauflast F_1 erreicht wurde. Die Bruchlast F_{Bruch} ergibt sich dann aus der Summe dieser

maximalen Auflast, der zu diesem Zeitpunkt in den Knoten eingetragenen Deckenauflagerkraft N_{Decke} sowie der Eigenlast der oberen Prüfkörperhälfte inklusive der Lasteinleitungsplatte (siehe Bild 68). Die Bruchlast wird für die weiteren Betrachtungen mit der resultierenden Normalkraft am Wandkopf N_o gleichgesetzt. Es gilt:

$$F_{Bruch} = N_o \approx N_u + N_{Decke} = F_1 + EG_{PK} + EG_{LE} + N_{Decke}. \quad (18)$$

Die in den Knoten eingetragene Auflagerkraft der Decke ergibt sich zu:

$$N_{Decke} = F_2 + F_3 + EG_{Decke} + EG_{LE} - B_v. \quad (19)$$



Dabei sind:

F_1	Auflast am Wandkopf (Flächenlast),
F_2	Deckenauflast (Streckenlast); Eigengewicht Lastgeschirr zur Lasteinleitung,
F_3	Zusatzlast (Sicherstellung Kontakt Decke – Auflager; kein Kragarm),
B_v	knotenabseitige Auflagerkraft,
N_{Decke}	Deckenauflagerkraft aus Deckenlast,
EG_{Decke}	Eigengewicht der Deckenplatte,
EG_{PK}	Eigengewicht Prüfkörper,
EG_{LE}	Eigengewicht Lasteinleitungsplatten bzw. Lastgeschirr,
N_u	Normalkraft am Wandfuß,
N_o	resultierende Last am Wandkopf (Bruchlast),

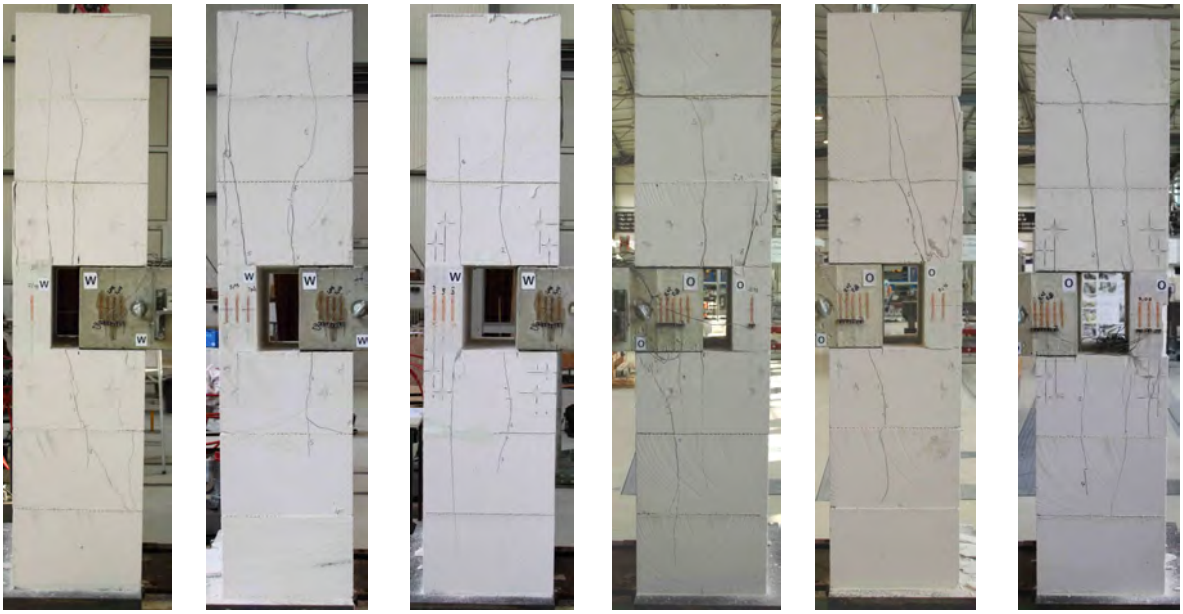
Bild 68 Schematische Darstellung des Versuchsaufbaues mit Lasten, Auflager- und Schnittkräften

Tabelle 29 enthält die Versuchsergebnisse der Serie W400. Die zu den Versuchen gehörenden Festmörtelkennwerte können dem Anhang entnommen werden.

Tabelle 29 (Eigen-)Lasten, Reaktionskräfte, resultierende Bruchlasten (W400)

Prüfkörperbezeichnung	W400-A	W400-B	W400-E
Auflagertiefe / Wanddicke	0,5	0,4	0,3
Auflagertiefe *a* [m]	0,20	0,16	0,12
effektiver Querschnitt $a + t_V$ [m]	0,315	0,275	0,235
maximale Auflast Wandkopf F_1 [kN]	137,22	96,08	120,00
Auflast Decke F_2 [kN]	39,71	38,12	40,46
Auflagerkraft Gegenlager B_v [kN]	19,36	17,82	20,19
Lastgeschirr Decke + Eigengewicht Decke + F_3 [kN]	7,95	7,95	7,95
Deckenauflagerkraft N_{Decke} [kN]	28,30	28,25	28,22
Eigenlast obere Lasteinleitungsplatte [kN]	1,44	1,44	1,44
Eigenlast obere PK-Hälfte EG_{PK} [kN]	0,66	0,66	0,66
Bruchlast F_{Bruch} / resultierende Normalkraft Wandkopf N_o [kN]	167,61	126,43	150,32

Bild 69 zeigt Seitenansichten der Prüfkörper nach dem Versuch.

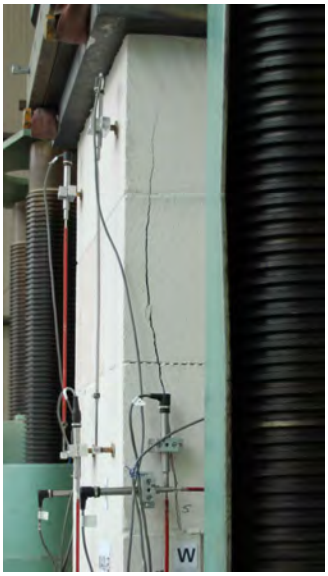


W400-A (West) W400-B (West) W400-E (West) W400-A (Ost) W400-B (Ost) W400-E (Ost)

Bild 69 Bruchbilder Serie W400

Der Bruch lief bei allen Versuchen prinzipiell ähnlich ab. Zunächst entstanden vertikale Risse im Bereich des Deckenauflagers bzw. in Steinmitte. Bei Versuch W400-A trat der Erstriss dabei in der Nähe der Auflagerkante auf während die Risse bei den beiden anderen Anordnungen weiter in Wandmitte (Richtung Wandaußenseite) lagen. Mit steigender Belastung kam es im Allgemeinen zu einer Erweiterung bestehender Risse. Bei Aufbau A nahm zudem die Schädigung des Auflagerbereiches zu (weitere vertikale Risse).

Zum Versuchsende hin entstanden am Deckenabmauerungsstein zunächst vertikale Risse, bevor zum Zeitpunkt des Versagens Schalenmaterial an der Wandaußenseite ausplatzte bzw. abgespalten wurde, ein weiteres Eindrücken des Deckenabmauerungssteins stattfand und die Auflast schließlich abfiel (Versuchsende).

a) 

b)
c)

Bild 70 a) W400-B: Riss über Deckenabmauerungsstein West unmittelbar vor Versagen; b) Abplatzungen an der Außenschale nach Versuchsdurchführung W400-B und W400-E

Die Schädigung unter dem Deckenauflager des Prüfkörpers fiel in den Versuchen unterschiedlich stark aus. Die größten Schäden traten hier bei der größten Auflagertiefe auf während der Prüfkörper mit der kleinsten Auflagertiefe kaum Schäden unter dem Auflager verzeichnete (Bild 71).

a)
b)

Bild 71 Schädigung unter der Deckenplatte; a) W400-A (Süd); b) W400-E (Süd-West)

Die Ergebnisse der Verformungsmessungen und die Messstellenanordnung sind im Einzelnen im Anhang dargestellt. Bild 72 zeigt beispielhaft das Verformungs-Zeit-Diagramm auf Basis der horizontal angeordneten Wegaufnehmer für den Versuch W400-A. Wie aus der Abbildung hervorgeht, traten hier bereits unter einem geringen Lastniveau ($0{,}25 \cdot F_{1,max}$) erste Risse auf.

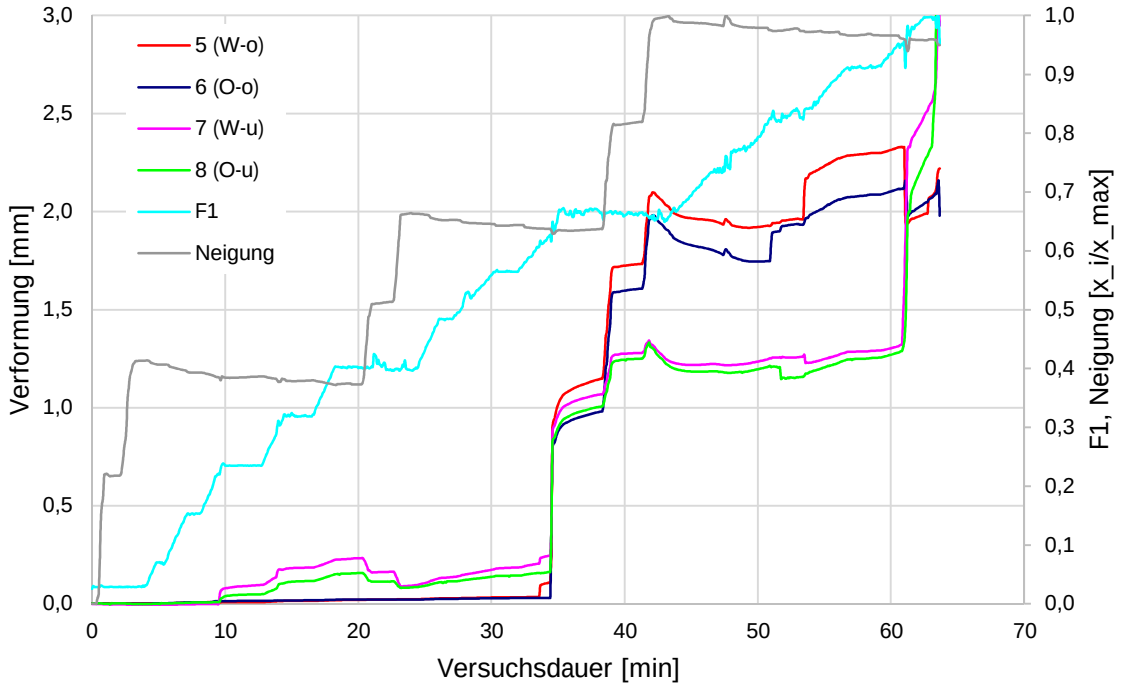


Bild 72 W400-E: Horizontale Verformungsmessung und Belastung in Abhängigkeit der Versuchsdauer

5.2.2.2. Lastspreizung

Neben dem Bruchverhalten lag das wesentliche Augenmerk bei der Versuchsdurchführung auf der Beteiligung des Deckenabmauerungssteins am Lastabtrag. Mittels auf dem Deckenabmauerungsstein applizierter Dehnmessstreifen und des zuvor am Einzelbaustoff bestimmten E-Modul wurde dazu die Lastspreizung zwischen Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager bestimmt. Der auf das Deckenauflager entfallende Anteil der Wandauflast wurde dabei aus der Differenz der am Wandkopf aufgebrachten Last und des berechneten Lastanteils des Deckenabmauerungssteins ermittelt.

Bild 73 zeigt die so berechnete Aufteilung (Aufspreizung) der Wandauflast auf Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager. Dabei zeigt sich, dass der auf den Deckenabmauerungsstein entfallende Anteil der Wandauflast mit abnehmender Deckenauflagertiefe deutlich zunimmt. Während sich die Wandauflast bei Versuchsanordnung A mit einer Deckenauflagertiefe in Höhe der halben Wanddicke annähernd gleichmäßig auf Deckenauflager und Deckenabmauerungsstein aufteilt, liegt der auf den Deckenabmauerungsstein entfallende Lastanteil bei einer Auflagertiefe von $a = 0{,}3 \cdot t$ deutlich über dem Anteil des Deckenauflagers. Die Berechnungsergebnisse können im Einzelnen den Darstellungen im Anhang entnommen werden.

Die Änderungen in den Kurven in Bild 73 bei 50 kN und 80 kN Auflast resultieren aus dem Belastungsregime (vgl. Abschnitt 0, Bild 60). Die Änderung des Anstiegs der Kurven (A, E) resultiert aus Lastumlagerungen infolge einer zunehmenden Schädigung des Deckenauflagers (W400-A) bzw. des Deckenabmauerungssteins (W400-E).

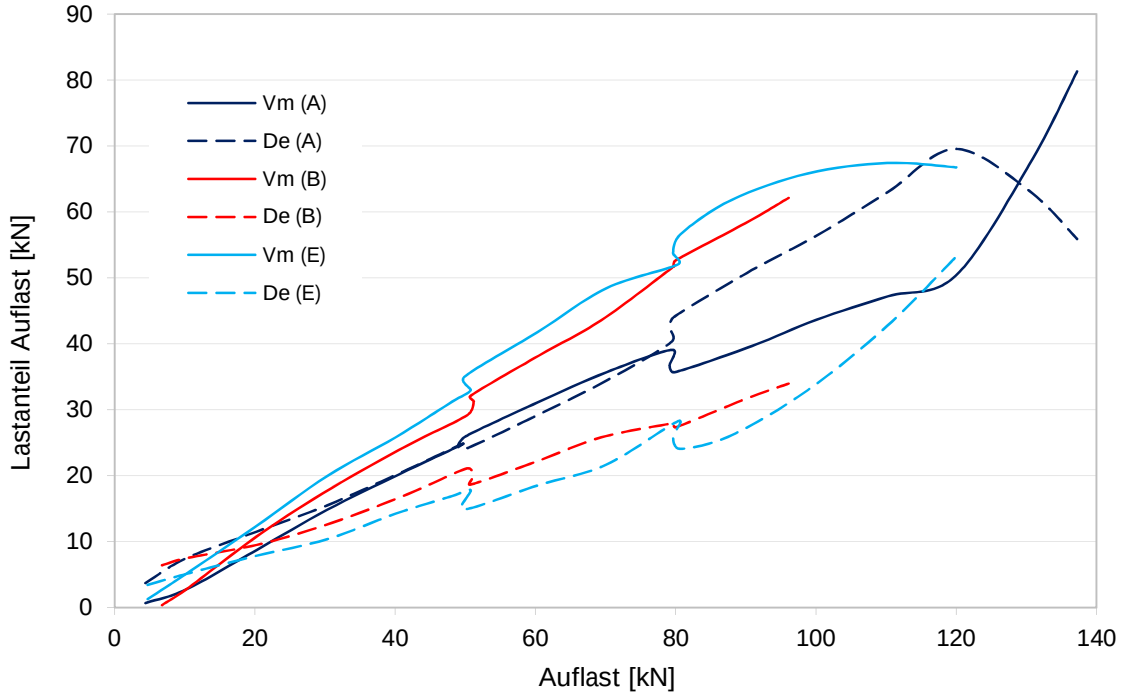


Bild 73 Über Deckenabmauerungsstein (Vm) bzw. Deckenauflager (De) übertragener Lastanteil in Abhängigkeit der Wandauflast (Serie W400)

Betrachtet man die Aufteilung am Wandkopf der unteren Wand muss zusätzlich die in den Knoten eingebrachte Deckenauflagerkraft berücksichtigt werden und es ergibt sich die in Bild 74 bzw. Bild 75 dargestellte Verteilung.
Wie bereits zuvor erwähnt resultiert der abgetreppte Verlauf aus dem Belastungsregime. Bei einer Auflast von 50 und 80 kN wurde dabei die Deckenbelastung erhöht. Dadurch nimmt der Wert für das Deckenauflager an diesen Stellen zu, während der Wert des Deckenabmauerungssteins zurückgeht.
Um sämtliche Lastkombinationen zu erfassen wurde in Bild 76 als Bezugsgrundlage das Verhältnis aus Wandauflast zu Deckenauflagerkraft gewählt. Wie aus der Darstellung hervorgeht, entfällt bei einer Deckenauflagertiefe von 0,5·*t* der größere Anteil der Normalkraft am Wandkopf auf das Deckenauflager während bei 0,3·*t* (bzw. hier auch bei 0,4·*t*) ab einer gewissen Auflast der größere Anteil auf den Deckenabmauerungsstein entfällt.

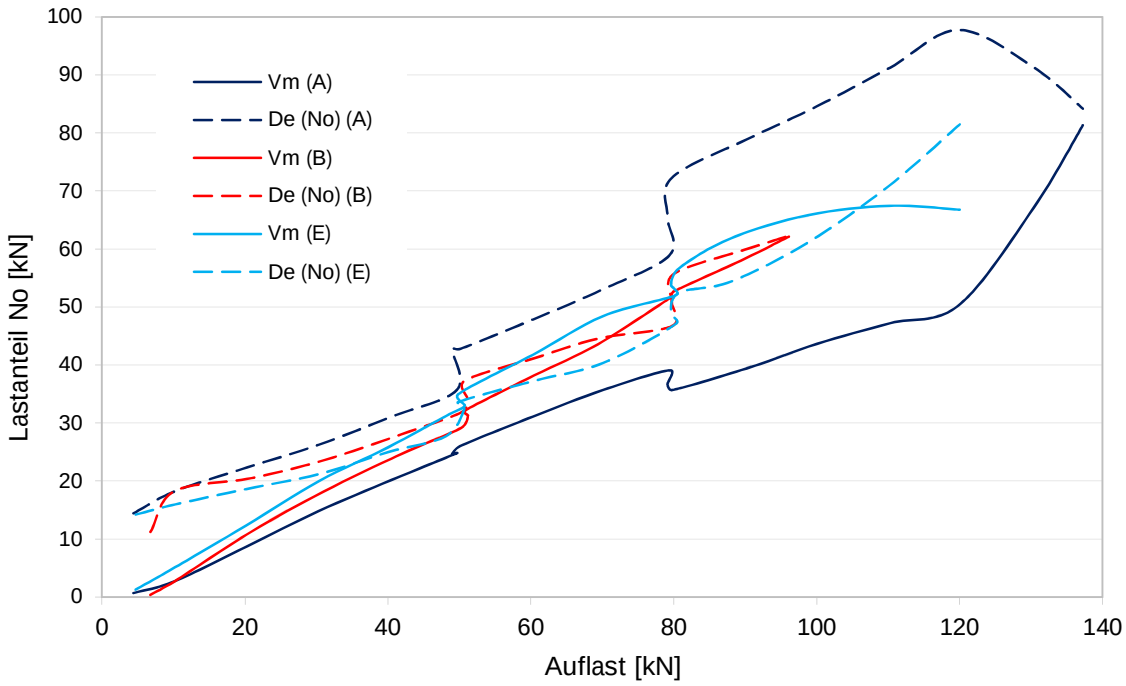


Bild 74 *Über Deckenabmauerungsstein (Vm) bzw. Deckenauflager (De) übertragener Anteil der Normalkraft am Wandkopf in Abhängigkeit der Wandauflast (Serie W400)*

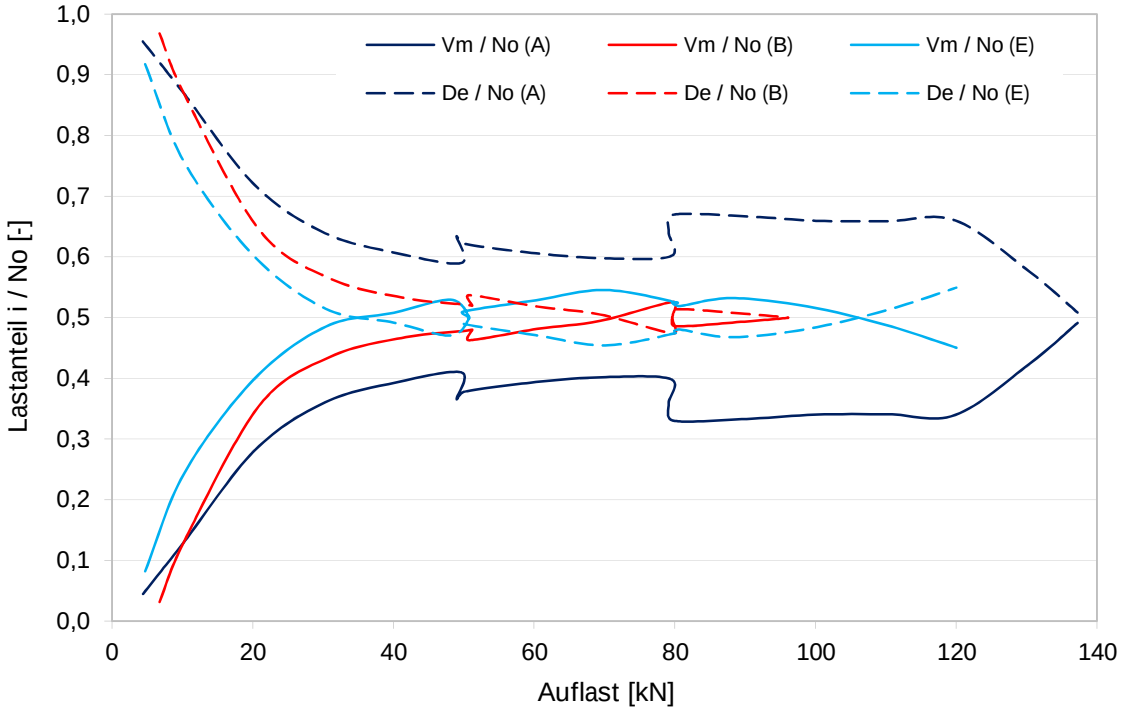


Bild 75 *Verhältnis des übertragenen Lastanteils i (Vm, De) zur Normalkraft am Wandkopf in Abhängigkeit der Wandauflast (Serie W400)*

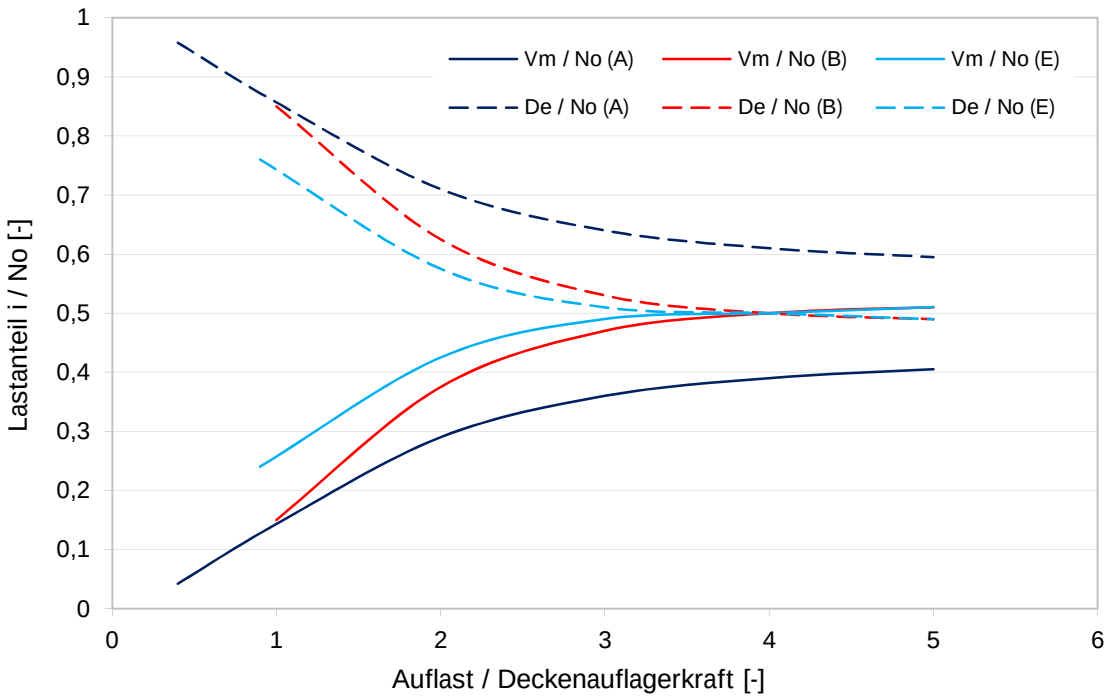


Bild 76 Verhältnis der über Deckenabmauerungsstein bzw. Deckenauflager übertragenen zur Normalkraft am Wandkopf in Abhängigkeit des Verhältnisses aus Wandauflast zu Deckenauflagerkraft, gemittelte Werte (Serie W400)

Die Ergebnisse entsprechen somit tendenziell den Resultaten aus der numerischen Vorsimulation (siehe 4.2.3) und zeigen, dass die Mitwirkung des Deckenabmauerungssteins von den vorherrschenden Lastverhältnissen und der Einbindetiefe der Decke abhängt.

5.2.2.3. Gebrauchstauglichkeit

Für die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit wurden die jeweiligen Laststufen, zu denen am Prüfkörper Risse auftraten zusammengestellt und mit den beiden Lastniveaus aus

- maximaler Wandauflast $F_{1,max}$ und
- charakteristischer Geschosslast $N_{Ge,k}$ (durch ein zusätzliches Geschoss in den WDK eingetragene Last; Berechnung siehe Anhang 5.2)

verglichen. Die Risse wurden dabei in folgende drei Kategorien unterteilt:

- Erstriss allgemein,
- Erstriss West/Ost in der oberen Prüfkörperhälfte,
- Erstriss in den Außenseiten Nord/Süd (sichtbar).

a) b) c)

Bild 77 Kategorisierung Erstrisse Versuch W400-E; a) Erstriss West/Mitte/unten; b) Erstriss West/Mitte/oben; c) Erstrisse Süd unter der Decke

Tabelle 30 zeigt die Gegenüberstellung der Risslasten mit den jeweiligen Lastniveaus der Serie W400.

Tabelle 30 Erstrisse: Risslasten, Lastniveau

Typ	Aufbau	W400-A	W400-B	W400-E
	$N_{Ge,k}$ [kN]	22,6	22,6	22,6
	$F_{1,max}$ [kN]	167,6	126,4	150,3
Erstriss allgemein	Position	Decke/Ost/unten	Decke/Ost/unten Vm/Ost/oben	West/Mitte/unten
	$F_{1,Riss,I}$ [kN]	40	40	40
	$F_{1,Riss,I}$ / $F_{1,max}$ [-]	0,24	0,32	0,27
	$F_{1,Riss,I}$ / $N_{Ge,k}$ [-]	1,77	1,77	1,77
Erstriss West/Ost obere PK-Hälfte	Position	West/Mitte/oben	West/Mitte/oben	West/Ost/Mitte/oben
	$F_{1,Riss,II}$ [kN]	50	70	75
	$F_{1,Riss,II}$ / $F_{1,max}$ [-]	0,30	0,55	0,50
	$F_{1,Riss,II}$ / $N_{Ge,k}$ [-]	2,21	3,10	3,32
Erstriss Außenseite Nord/Süd	Position	Süd/unten	Süd/unten	Süd/unten
	$F_{1,Riss,III}$ [kN]	80	60	110
	$F_{1,Riss,III}$ / $F_{1,max}$ [-]	0,48	0,47	0,73
	$F_{1,Riss,III}$ / $N_{Ge,k}$ [-]	3,54	2,65	4,87

Das bedeutet, dass die Erstrisslast von 40 kN der Auflast aus etwa 1,8 (40/22,6) zusätzlichen, voll ausgelasteten Geschossen entspricht. Unter Berücksichtigung der für diesen Stein üblichen Anwendungsgrenzen (2-geschossige EFH bzw. MFH) bleibt der Knoten demnach rissfrei.
In den vorliegenden Versuchen dieser Prüfserie hatte die Deckenauflagertiefe keinen Einfluss auf das Auftreten des ersten Risses.

5.3. Serie W425

Es ist das Steinmaterial nach Tabelle 20 zusammen mit Dünnbettmörtel zum Einsatz gekommen.

5.3.1. Versuchsbegleitende Materialprüfungen

Die Entnahme der Prismen und die Durchführung der einzelnen Prüfungen erfolgten im Wesentlichen analog den Beschreibungen in Abschnitt 5.2.1.

5.3.1.1. Versuche am ganzen Stein

Tabelle 31 zeigt die Mittelwerte der an den Einzelsteinen ermittelten Materialparameter (ohne Berücksichtigung von Umrechnungs- oder Formfaktoren). Die vollständigen Versuchsergebnisse können dem Anhang entnommen werden.

Tabelle 31 Materialparameter der Mauersteine aus Einzelsteinprüfungen (Mittelwerte)

	Mauerstein	Deckenabmauerungsstein
Bezeichnung	PP 2 – 0,35 (425)	PPpl 4 – 0,50
Länge *l* / Breite *t* / Höhe *h*	499 / 425 / 249 mm	624 / 115 / 249 mm
Druckfestigkeit f_b	2,37 N/mm²	4,02 N/mm²
E-Modul $E_{b,33}$	534 N/mm²	961 N/mm²
Steinrohdichte	s. Tabelle 32	

Der Mittelwert der Druckfestigkeit entspricht nicht dem Normwert von 2,5 N/mm² für Steinfestigkeitsklasse 2. Jedoch liegt bei der betrachteten Menge und unter Auswertung der Daten gem. Anhang Tab. A 29 der 5%-Quantilwert mit 2,29 N/mm² über dem für die Steinfestigkeitsklasse 2 anzusetzenden Wert von 2 N/mm^2.

Neben Versuchen an ganzen Deckenabmauerungssteinen wurden weiterhin Versuche an gekürzten Deckenabmauerungssteinen durchgeführt. Deren Länge entsprach der später bei den Versuchen am Wand-Decken-Knoten vorgesehenen Länge. Der mittels der an den Stirnseiten angebrachten Dehnmessstreifen (DMS) bestimmte E-Modul lag erwartungsgemäß höher als bei Ermittlung mittels Wegaufnehmern und betrug im Mittel 1864 N/mm². Die Druckfestigkeit der zugeschnittenen Steine lag bei 4,21 N/mm².

5.3.1.2. Steinprismen

Tabelle 32 enthält die Mittelwerte der Versuche an Steinprismen.

Tabelle 32 Zusammenfassung der Ergebnisse an den Steinprismen aus Mauersteinen PP2-0,35 (Mittelwerte)

Materialkennwert	Einheit	Steinbreite	Steinlänge	Steinhöhe
		x	y	z
Druckfestigkeit am Würfel	[N/mm²]	-	-	2,60
Biegezugfestigkeit	[N/mm²]	0,96	0,79	-
Druckfestigkeit nach Biegezug	[N/mm²]	2,44	2,17	2,29
Spaltzugfestigkeit nach Biegezug	[N/mm²]	0,41	0,47	2,29
E-Modul am Prisma (σ-ε)	[N/mm²]	-	-	1260
Druckfestigkeit am Prisma (σ-ε)	[N/mm²]	-	-	3,04
Steinrohdichte	[kg/dm³]	0,385		

Zur Konditionierung der Steine ist anzumerken, dass die Steine 14 Tage unter Laborbedingungen gelagert und dann vermauert worden sind.

Zusätzlich wurden zu dieser Serie Prismen aus den Deckenabmauerungssteinen geschnitten und geprüft. Die an Würfelprismen der Kantenlänge 115 mm bestimmte Druckfestigkeit betrug im Mittel 4,5 N/mm². Der an Prismen mit den Maßen 115/115/249 mm bestimmte E-Modul lag bei 1980 N/mm², die Druckfestigkeit bei 5,2 N/mm².

5.3.1.3. Mörtel

Bei der Herstellung der kleinen Mauerwerksprüfkörper wurden vom verwendeten Dünnbettmörtel Prismen (40/40/160 mm) zur Bestimmung der Mörteleigenschaften angefertigt. Tabelle 33 zeigt die Mittelwerte. Die vollständigen Versuchsergebnisse sind im Anhang enthalten.

Tabelle 33 Materialeigenschaften Dünnbettmörtel (Mittelwerte)

Bezeichnung	Porit Dünnbettmörtel
Rohdichte ρ_m	1,519 kg/dm³
Biegezugfestigkeit $f_{BZ,m}$	3,70 N/mm²
Druckfestigkeit aus Biegezugprismen f_m	10,84 N/mm²
Spaltzugfestigkeit an Biegezugprismen $f_{SZ,m}$	1,96 N/mm²
E-Modul (Prisma hochkant) E_m	7066 N/mm²
Druckfestigkeit (Prisma hochkant) $f_{m,E}$	8,59 N/mm²

5.3.1.4. Mauerwerk

Zur Bestimmung der Druckfestigkeit f, der Spannungs-Dehnungs-Beziehung und des E-Moduls E_{MW} wurden Versuche an kleinen Mauerwerks-Prüfkörpern (PK) nach DIN EN 1052-1 [56] durchgeführt. Die Prüfkörper hatten die in Bild 78 a) dargestellte Geometrie.

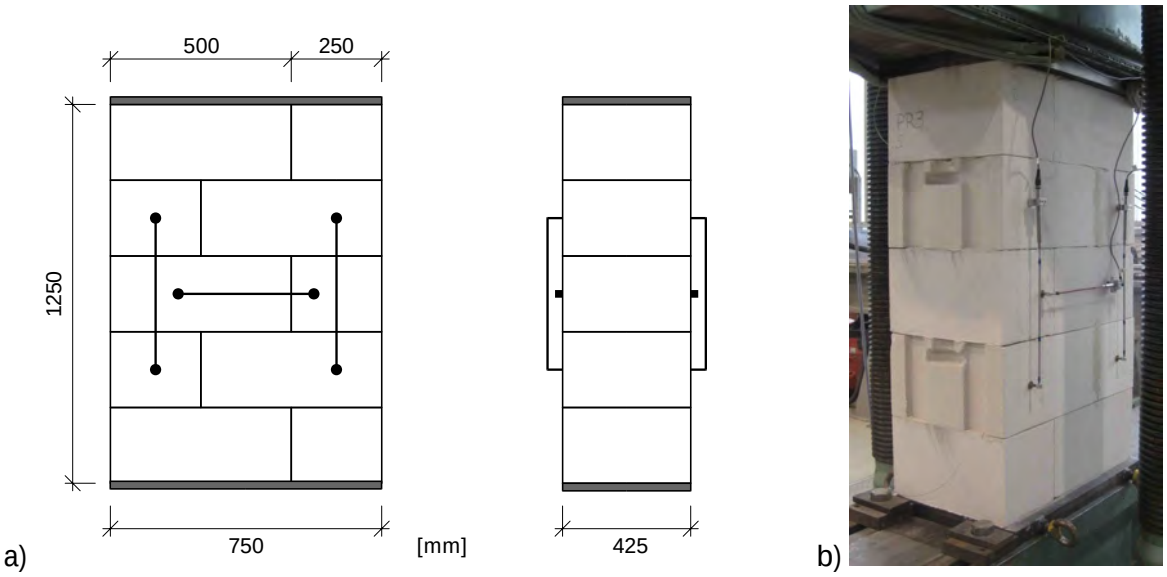


Bild 78 a) Mauerwerksprüfkörper in Anlehnung an DIN EN 1052-1; b) Prüfkörper PR-3 in der Prüfmaschine

Die Ergebnisse der Einzelprüfungen sind im Anhang zusammengestellt. Tabelle 34 enthält die Mittelwerte der Versuchsreihe.

Tabelle 34 Materialeigenschaften Mauerwerk aus PP2-0,35/425 und DM (Mittelwerte)

Serien-Bezeichnung	PR
Mittlere Mauerwerksdruckfestigkeit *f*	1,83 N/mm²
E-Modul E_{MW}	1137 N/mm²
Querdehnzahl	0,27

Der 5%-Quantilwert der Mauerwerksdruckfestigkeit in Auswertung der drei Versuche gem. Tab. A 44 im Anhang liegt bei 1,77 und weicht damit lediglich ca. 2 % von dem geforderten Normwert ab, was u.U. wegen der großen Dicke der Prüfkörper mit dem Feuchtegehalt zum Zeitpunkt der Prüfung zusammen hängen kann.

5.3.2. Ergebnisse der Versuche am Wand-Decken-Knoten (Serie W425)

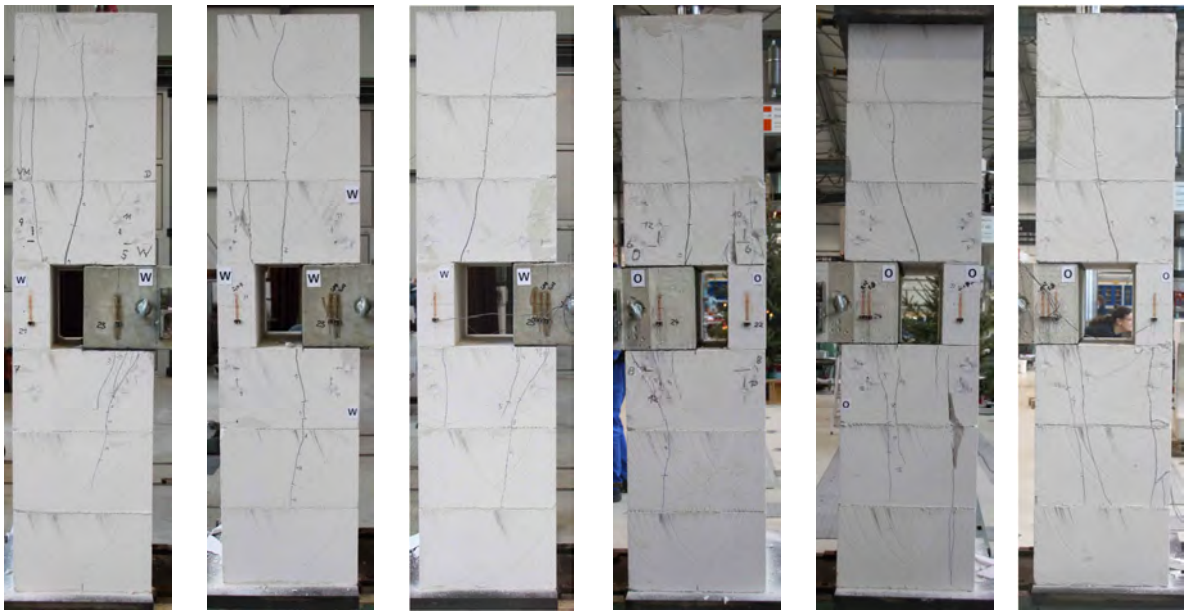
5.3.2.1. Allgemein

Tabelle 35 enthält die Versuchsergebnisse der Serie W425. Die zu den Versuchen gehörenden Festmörtelkennwerte können dem Anhang entnommen werden.

Tabelle 35 (Eigen-)Lasten, Reaktionskräfte, resultierende Bruchlasten (W425)

Prüfkörperbezeichnung	W425-A	W425-B	W425-C
Auflagertiefe / Wanddicke	0,5	0,4	0,3
Auflagertiefe *a* [m]	0,2125	0,17	0,1275
effektiver Querschnitt $a + t_V$ [m]	0,3275	0,285	0,2425
Auflast Wandkopf F_1 [kN]	171,11	185,93	194,20
Auflast Decke F_2 [kN]	34,65	40,59	36,65
Auflagerkraft Gegenlager B_v [kN]	13,93	20,37	16,32
Lastgeschirr Decke + Eigengewicht Decke + F_3 [kN]	7,95	7,95	7,95
Deckenauflagerkraft N_{Decke} [kN]	28,67	28,17	28,28
Eigenlast obere Lasteinleitungsplatte [kN]	1,44	1,44	1,44
Eigenlast obere PK-Hälfte EG_{PK} [kN]	0,90	0,90	0,90
Bruchlast F_{Bruch} / resultierende Normalkraft Wandkopf N_o [kN]	202,12	216,44	224,82

Bild 69 zeigt Seitenansichten der Prüfkörper nach dem Versuch.



W425-A (West) W425-B (West) W425-C (West) W425-A (Ost) W425-B (Ost) W425-C (Ost)

Bild 79 Bruchbilder Serie W425

Die Rissbildung verlief bei allen drei Prüfkörpern im Wesentlichen ähnlich. Der erste Riss (vertikal) trat dabei im Stein über bzw. unter der Deckenplatte in Steinmitte bzw. unter dem Deckenauflager auf. Unter zunehmender Belastung erweiterten sich die bestehenden Risse und es entstanden neue Risse im Bereich des Deckenauflagers. Unmittelbar vor dem Bruch kam es zur Rissbildung im Bereich des Deckenabmauerungssteins in Verbindung mit dem Abplatzen einiger Außenschalen (Bild 80).

Unterhalb der Deckenplatte traten erst in einem höheren Lastbereich Schäden in Form von vertikalen Rissen und vereinzeltem Abspalten von Steinmaterial auf. Die größten Schäden waren hier bei der größten Auflagertiefe zu verzeichnen während der Prüfkörper bei der kleinsten Auflagertiefe überhaupt keine Schäden unter der Deckenplatte aufwies. Es konnten lediglich geringe Abplatzungen direkt an der Kante festgestellt werden (Bild 80, d)).

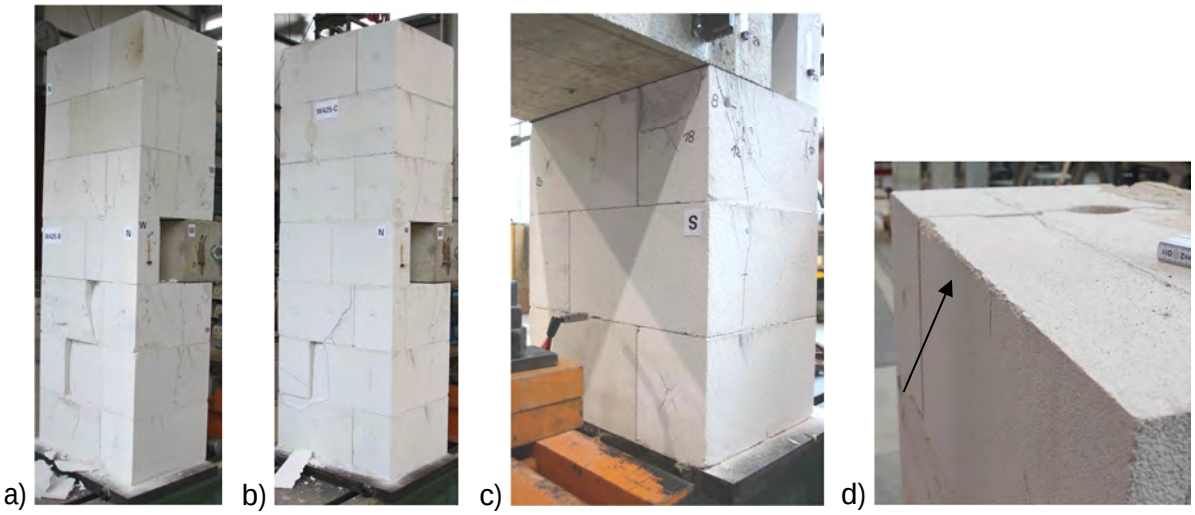


Bild 80 Bruchbilder; a) W425-B; b) W425-C; c) W425-A unter Deckenauflager; d) W425-C Abplatzungen Auflagerkante

5.3.2.2. Lastspreizung

Bild 81 zeigt die berechnete Aufteilung der Wandauflast F_1 auf Deckenabmauerungsstein (Vm) und Deckenauflager (De). Wie aus dem Diagramm hervorgeht, entfällt der größere Teil dabei auf den Deckenabmauerungsstein.

Wie bereits in Serie W400 beobachtet, zeigte sich auch bei den Versuchen an Wand-Decken-Knoten aus Porenbeton-Plansteinen PP2-0,35 (425), dass der auf den Deckenabmauerungsstein entfallende Anteil der Wandauflast mit abnehmender Deckenauflagertiefe zunimmt. Die Tendenz fällt dabei im Vergleich zur vorigen Serie etwas weniger deutlich aus. Die Änderungen in den Kurven bei 50 kN und 80 kN Auflast resultieren auch hier aus dem Belastungsregime.

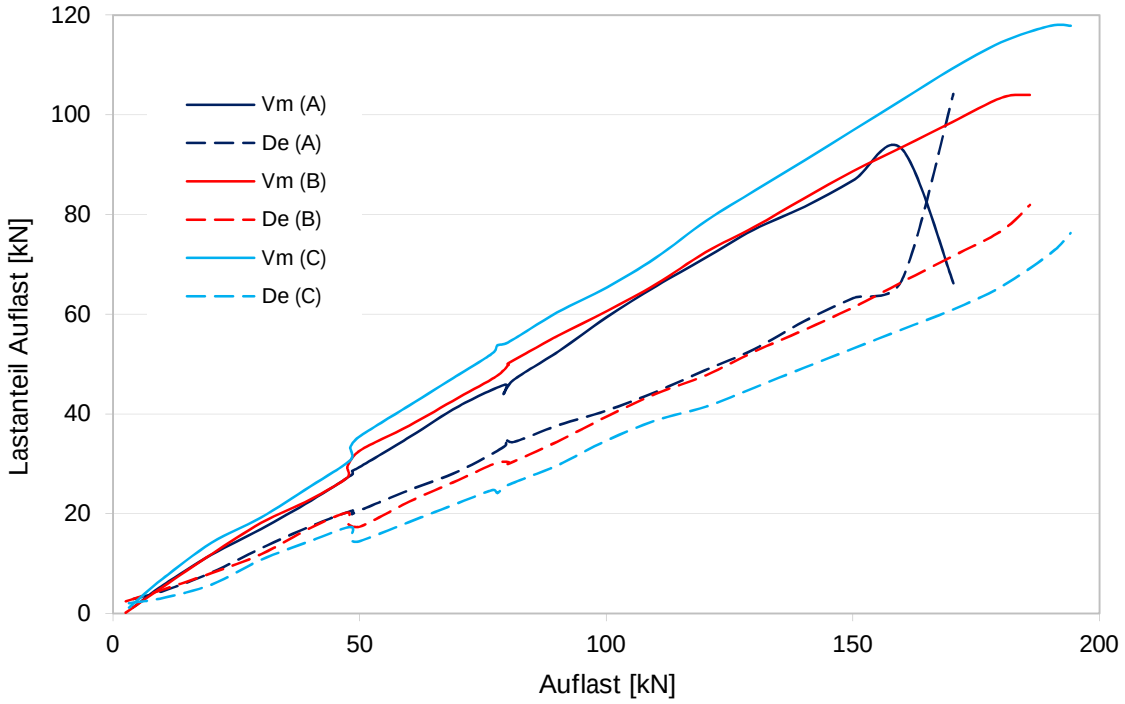


Bild 81 Über Deckenabmauerungsstein (Vm) bzw. Deckenauflager (De) übertragener Lastanteil in Abhängigkeit der Wandauflast (Serie W425)

Durch die Auflast auf der Decke wird eine zusätzliche vertikale Komponente in den Wand-Decken-Knoten eingetragen. Betrachtet man die Aufteilung am Wandkopf der unteren Wand ergibt sich die in Bild 82 bzw. Bild 83 dargestellte Verteilung.

Mit den Versuchen der Serie W425 können somit ebenfalls die Tendenzen aus den numerischen Voruntersuchungen und den Versuchen aus der Serie W400 bestätigt werden.

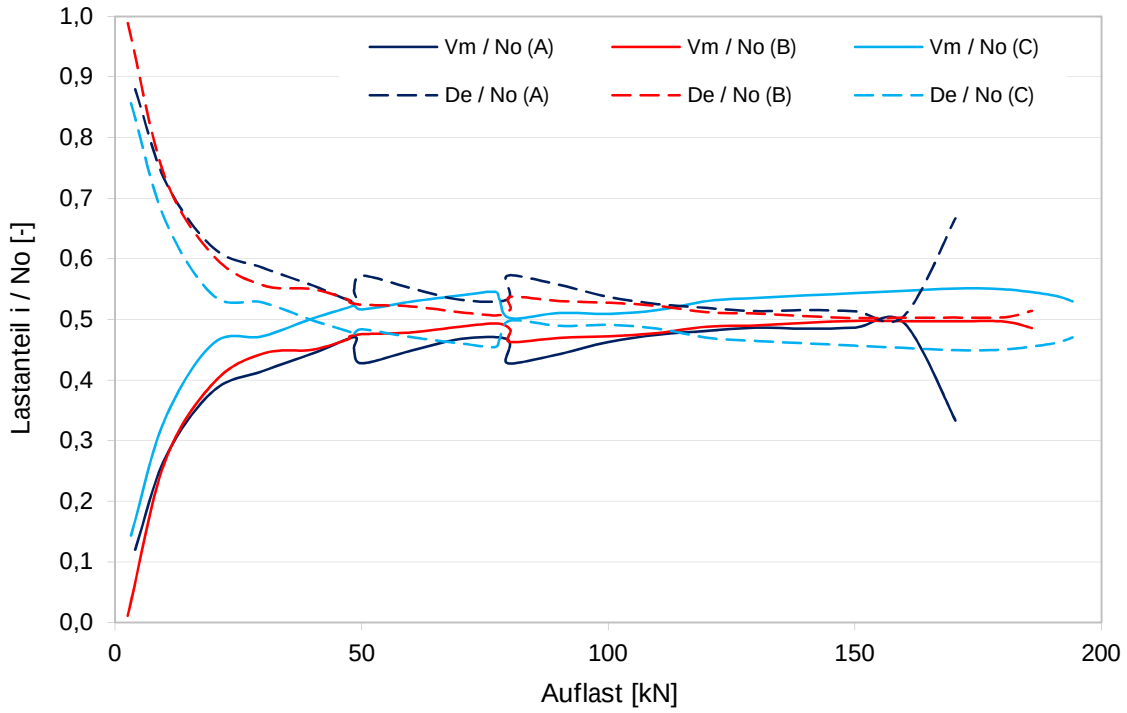


Bild 82 Verhältnis des übertragenen Lastanteils i (Vm, De) zur Normalkraft am Wandkopf in Abhängigkeit der Wandauflast (Serie W425)

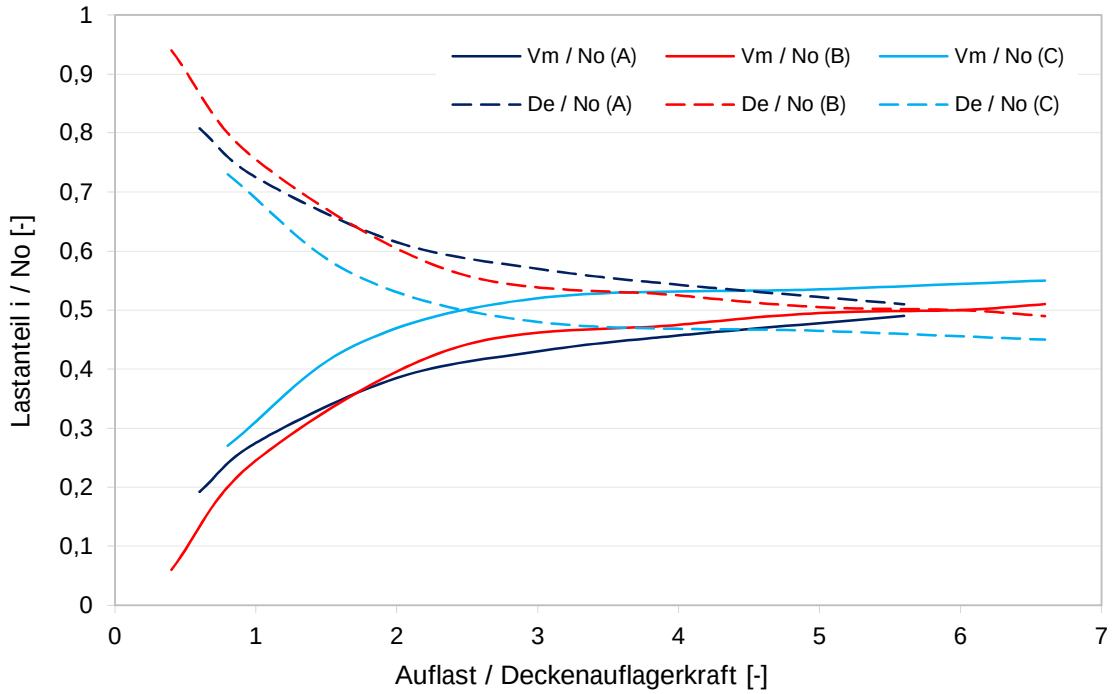


Bild 83 Verhältnis der über Deckenabmauerungsstein bzw. Deckenauflager übertragenen zur Normalkraft am Wandkopf in Abhängigkeit des Verhältnisses aus Wandauflast zu Deckenauflagerkraft, gemittelte Werte (Serie W425)

5.3.2.3. Gebrauchstauglichkeit

Im Vergleich zur Serie W400 ändert sich bei den auftretenden Lasten lediglich das Wandeigengewicht. Die für die Beurteilung der Risslasten herangezogene charakteristische Geschosslast beträgt hier $N_{Ge,k}$ = 23,6 kN. Tabelle 36 zeigt die Gegenüberstellung der Risslasten mit dem jeweiligen Lastniveau der Serie W425.

Tabelle 36 Erstrisse: Risslasten, Lastniveau Serie W425

	Aufbau	W425-A	W425-B	W425-C
Typ	$N_{Ge,k}$ [kN]	23,6	23,6	23,6
	$F_{1,max}$ [kN]	171,1	185,9	194,2
Erstriss allgemein	Position	West/Mitte/oben	West/Mitte/unten	Decke/unten Mitte/oben
	$F_{1,Riss,I}$ [kN]	50	40	80
	$F_{1,Riss,I}$ / $F_{1,max}$ [-]	0,29	0,22	0,41
	$F_{1,Riss,I}$ / $N_{Ge,k}$ [-]	2,12	1,70	3,39
Erstriss West/Ost obere PK-Hälfte	Position	West/Mitte/oben	West/Mitte/oben	O,W/Mitte/oben
	$F_{1,Riss,II}$ [kN]	50	80	80
	$F_{1,Riss,II}$ / $F_{1,max}$ [-]	0,29	0,43	0,41
	$F_{1,Riss,II}$ / $N_{Ge,k}$ [-]	2,12	3,39	3,39
Erstriss Außenseite Nord/Süd	Position	Süd/unten	Süd/unten	k. R.
	$F_{1,Riss,III}$ [kN]	80	140	
	$F_{1,Riss,III}$ / $F_{1,max}$ [-]	0,47	0,75	
	$F_{1,Riss,III}$ / $N_{Ge,k}$ [-]	3,39	5,94	

Das bedeutet, dass die Erstrisslast von 40 kN der Auflast aus etwa 1,7 (40/23,6) zusätzlichen, voll ausgelasteten Geschossen entspricht. Unter Berücksichtigung der für diesen Stein üblichen Anwendungsgrenzen (2-geschossige EFH bzw. MFH) bleibt der Knoten demnach rissfrei.
Im Versuch mit der kürzesten Auflagertiefe trat der erste Riss erst bei einer Auflast von 80 kN auf.

5.4. Serie W480

Es ist das Steinmaterial nach Tabelle 20 zusammen mit Dünnbettmörtel zum Einsatz gekommen.

5.4.1. Versuchsbegleitende Materialprüfungen

Die Entnahme der Prismen und die Durchführung der einzelnen Prüfungen erfolgten im Wesentlichen analog den Beschreibungen in Abschnitt 5.2.1.

5.4.1.1. Versuche am ganzen Stein

Tabelle 37 zeigt die Mittelwerte der an den Einzelsteinen ermittelten Materialparameter (ohne Berücksichtigung von Umrechnungs- oder Formfaktoren). Die vollständigen Versuchsergebnisse können dem Anhang entnommen werden.

Tabelle 37 Materialparameter der Mauersteine aus Einzelsteinprüfungen (Mittelwerte)

	Mauerstein	Deckenabmauerungsstein
Bezeichnung	PP 2 – 0,35 (480)	PPW 4 – 0,55
Länge *l* / Breite *t* / Höhe *h*	499 / 480 / 249 mm	624 / 115 / 249 mm
Druckfestigkeit f_b	2,24 N/mm²	3,83 N/mm²
E-Modul $E_{b,33}$	614 N/mm²	932 N/mm²
Steinrohdichte	s. Tabelle 38	

Der Mittelwert der Druckfestigkeit entspricht nicht dem Normwert von 2,5 N/mm² für Steinfestigkeitsklasse 2. Jedoch liegt bei der betrachteten Menge und unter Auswertung der Daten gem. Anhang Tab. A29 der 5%-Quantilwert mit 2,12 N/mm² über dem für die Steinfestigkeitsklasse 2 anzusetzenden Wert von 2 N/mm^2. Die Tatsache ist für die Versuche und deren Auswertung damit nicht von Bedeutung. Bei einem Schluss auf eine Charge oder eine Produktion sind die Proben aus einer größeren Menge und zufällig zu entnehmen.

Neben Versuchen an ganzen Deckenabmauerungssteinen wurden weiterhin Versuche an gekürzten Deckenabmauerungssteinen durchgeführt (Bild 63, b)). Deren Länge entsprach der später bei den Versuchen am Wand-Decken-Knoten vorgesehenen Länge. Der mittels der an den Stirnseiten angebrachten Dehnmessstreifen (DMS) bestimmte E-Modul lag erwartungsgemäß höher als bei Ermittlung mittels Wegaufnehmern und betrug im Mittel 1832 N/mm². Die Druckfestigkeit der zugeschnittenen Steine lag bei 4,1 N/mm² (Mittelwert).

5.4.1.2. Steinprismen

Tabelle 38 enthält die Mittelwerte der Versuche an Steinprismen.

Tabelle 38 Zusammenfassung der Ergebnisse an den Steinprismen aus Mauersteinen PP2-0,35/480 (Mittelwerte)

Materialkennwert	Einheit	Steinbreite	Steinlänge	Steinhöhe
		x	y	z
Druckfestigkeit am Würfel	[N/mm²]	-	-	2,51
Biegezugfestigkeit	[N/mm²]	0,81	0,71	-
Druckfestigkeit nach Biegezug	[N/mm²]	2,61	1,72	2,60-
Spaltzugfestigkeit nach Biegezug	[N/mm²]	0,40	0,48	-
E-Modul am Prisma (σ-ε)	[N/mm²]	-	-	1190
Druckfestigkeit am Prisma (σ-ε)	[N/mm²]	-	-	2,97
Steinrohdichte	[kg/dm³]	0,364		

Zur Konditionierung der Steine ist anzumerken, dass die Steine 14 Tage unter Laborbedingungen gelagert und dann vermauert worden sind.

Zusätzlich wurden zu dieser Serie Prismen aus den Deckenabmauerungssteinen geschnitten und geprüft. Die an Würfelprismen der Kantenlänge 115 mm bestimmte Druckfestigkeit betrug im Mittel 5,0 N/mm².

5.4.1.3. Mörtel

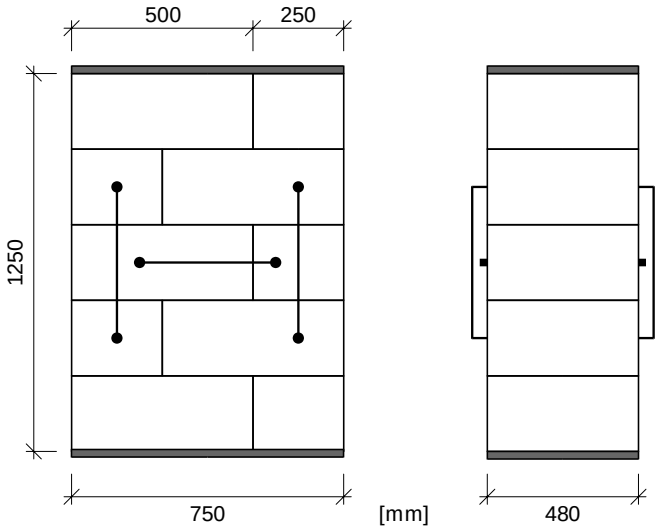
Bei der Herstellung der kleinen Mauerwerksprüfkörper wurden vom verwendeten Dünnbettmörtel Prismen (40/40/160 mm) zur Bestimmung der Mörteleigenschaften angefertigt. Tabelle 39 zeigt die Mittelwerte. Die vollständigen Versuchsergebnisse sind im Anhang enthalten.

Tabelle 39 Materialeigenschaften Dünnbettmörtel (Mittelwerte)

Bezeichnung	Ytong Dünnbettmörtel
Rohdichte ρ_m	1,518 kg/dm³
Biegezugfestigkeit $f_{BZ,m}$	4,20 N/mm²
Druckfestigkeit aus Biegezugprismen f_m	14,98 N/mm²
Spaltzugfestigkeit an Biegezugprismen $f_{SZ,m}$	3,05 N/mm²
E-Modul (Prisma hochkant) E_m	9384 N/mm²
Druckfestigkeit (Prisma hochkant) $f_{m,E}$	14,35 N/mm²

5.4.1.4. Mauerwerk

Zur Bestimmung der Druckfestigkeit f, der Spannungs-Dehnungs-Beziehung und des E-Moduls E_{MW} wurden Versuche an kleinen Mauerwerks-Prüfkörpern (PK) nach DIN EN 1052-1 [56] durchgeführt. Die Prüfkörper hatten die in Bild 84 a) dargestellte Geometrie.



a)

b)

Bild 84 a) Mauerwerksprüfkörper in Anlehnung an DIN EN 1052-1; b) Prüfkörper YBR-3 in der Prüfmaschine

Die Ergebnisse der Einzelprüfungen sind im Anhang zusammengestellt. Tabelle 34 enthält die Mittelwerte der Versuchsreihe.

Tabelle 40 Materialeigenschaften Mauerwerk aus PP2-0,35/480 und DM (Mittelwerte)

Serien-Bezeichnung	YBR
Mittlere Mauerwerksdruckfestigkeit f	1,78 N/mm²
E-Modul E_{MW}	1082 N/mm²
Querdehnzahl	0,27

Der 5%-Quantilwert der Mauerwerksdruckfestigkeit in Auswertung der drei Versuche gem. Tab. A 60 im Anhang liegt bei 1,76 und weicht damit lediglich ca. 2 % von dem geforderten Normwert ab, was u.U. wegen der großen Dicke der Prüfkörper mit dem Feuchtegehalt zum Zeitpunkt der Prüfung zusammen hängen kann.

5.4.2. Ergebnisse der Versuche am Wand-Decken-Knoten (Serie W480)

5.4.2.1. Allgemein

Tabelle 41 enthält die Versuchsergebnisse der Serie W480. Die zu den Versuchen gehörenden Festmörtelkennwerte können dem Anhang entnommen werden.

Tabelle 41 (Eigen-)Lasten, Reaktionskräfte, resultierende Bruchlasten (W480)

Prüfkörperbezeichnung	W480-D	W480-B	W480-C
Auflagertiefe / Wanddicke	0,5	0,4	0,3
Auflagertiefe a [m]	0,24	0,192	0,144
effektiver Querschnitt $a + t_V$ [m]	0,355	0,307	0,259
Auflast Wandkopf F_1 [kN]	206,06	227,00	179,24
Auflast Decke F_2 [kN]	30,98	41,63	39,00
Auflagerkraft Gegenlager B_v [kN]	10,76	21,31	18,69
Lastgeschirr Decke + Eigengewicht Decke + F_3 [kN]	7,95	7,95	7,95
Deckenauflagerkraft N_{Decke} [kN]	28,17	28,27	28,26
Eigenlast obere Lasteinleitungsplatte [kN]	1,44	1,44	1,44
Eigenlast obere PK-Hälfte EG_{PK} [kN]	1,01	1,01	1,01
Bruchlast F_{Bruch} / resultierende Normalkraft Wandkopf N_o [kN]	236,69	257,72	209,95

Bild 85 zeigt Seitenansichten der Prüfkörper nach dem Versuch.

W480-D (West) W480-B (West) W480-C- (West) W480-D (Ost) W480-B (Ost) W480-C (Ost)

Bild 85 Bruchbilder Serie W480

Der Versagensvorgang in den Versuchen der Serie W480 war im Allgemeinen mit den bereits in den vorgehenden Serien zu beobachtenden Versagensvorgängen vergleichbar.
Im Unterschied zu den Versuchen an WDK mit einer Wanddicke von 40 bzw. 42,5 cm traten in Serie W480 die größten Schäden auf der Süd-Seite unterhalb der Deckenplatte beim Versuch mit der kürzesten Auflagertiefe (W480-C) auf (siehe Bild 86).

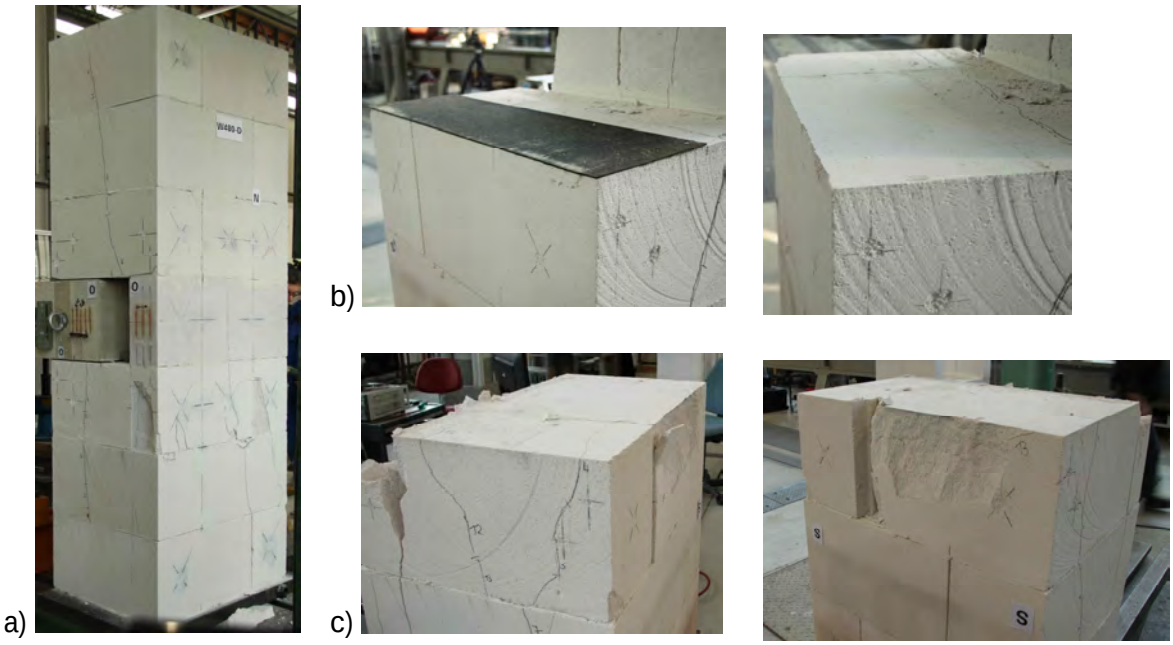


Bild 86 Bruchbilder; a) W480-D; b) W480-B; c) W480-C unter Deckenauflager

5.4.2.2. Lastspreizung

Bild 87 zeigt die berechnete Aufteilung der Wandauflast F_1 auf Deckenabmauerungsstein (Vm) und Deckenauflager (De). Im Unterschied zu den beiden vorangegangenen Prüfserien überträgt hier das Deckenauflager bei Deckenauflagertiefe $a = 0{,}5 \cdot t$ und $0{,}4 \cdot t$ den größeren Lastanteil. Bei dem Versuch mit Auflagertiefe $a = 0{,}3 \cdot t$ teilt sich die Wandauflast nahezu gleichmäßig auf Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager auf.
Dennoch zeigte sich auch hier die Tendenz, dass der auf den Deckenabmauerungsstein entfallende Anteil der Wandauflast mit abnehmender Deckenauflagertiefe zunimmt. Die Änderungen in den Kurven bei 50 kN und 80 kN Auflast resultieren auch hier aus dem Belastungsregime.

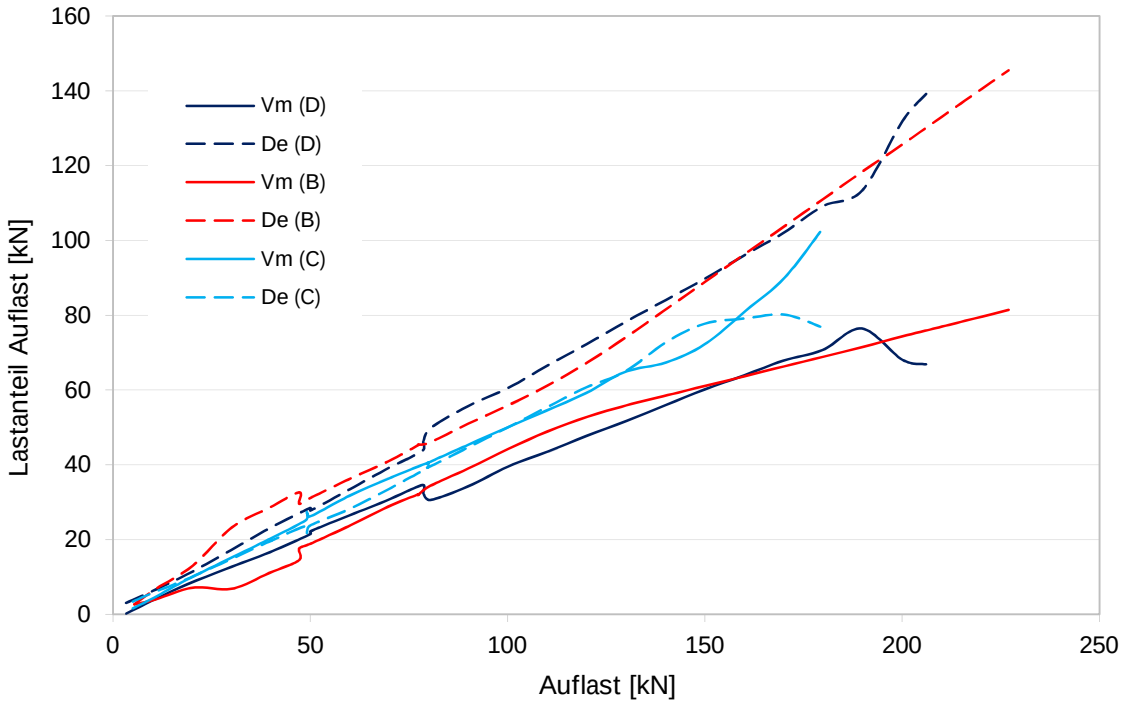


Bild 87 Über Deckenabmauerungsstein (Vm) bzw. Deckenauflager (De) übertragener Lastanteil in Abhängigkeit der Wandauflast (Serie W480)

Betrachtet man die Aufteilung am Wandkopf der unteren Wand muss zusätzlich die in den Knoten eingebrachte Deckenauflagerkraft berücksichtigt werden und es ergibt sich die in Bild 88 bzw. Bild 89 dargestellte Verteilung. Im Gegensatz zu den in den Serien W400 und W425 ermittelten Lastspreizungen (vgl. Bild 76, Bild 83) ergab sich hier eine Aufteilung der resultierenden Normalkraft von Deckenabmauerungsstein/Deckenauflager von 0,35/0,65 für die Anordnungen A und B. Im Versuch mit der geringsten Auflagertiefe $0{,}3 \cdot t$ stellte sich eine Lastspreizung von 0,4/0,6 ein.
Die Unterschiede zu den anderen Serien resultieren dabei möglicherweise aus der größeren Wanddicke und der damit verbundenen größeren Deckenauflagertiefe.

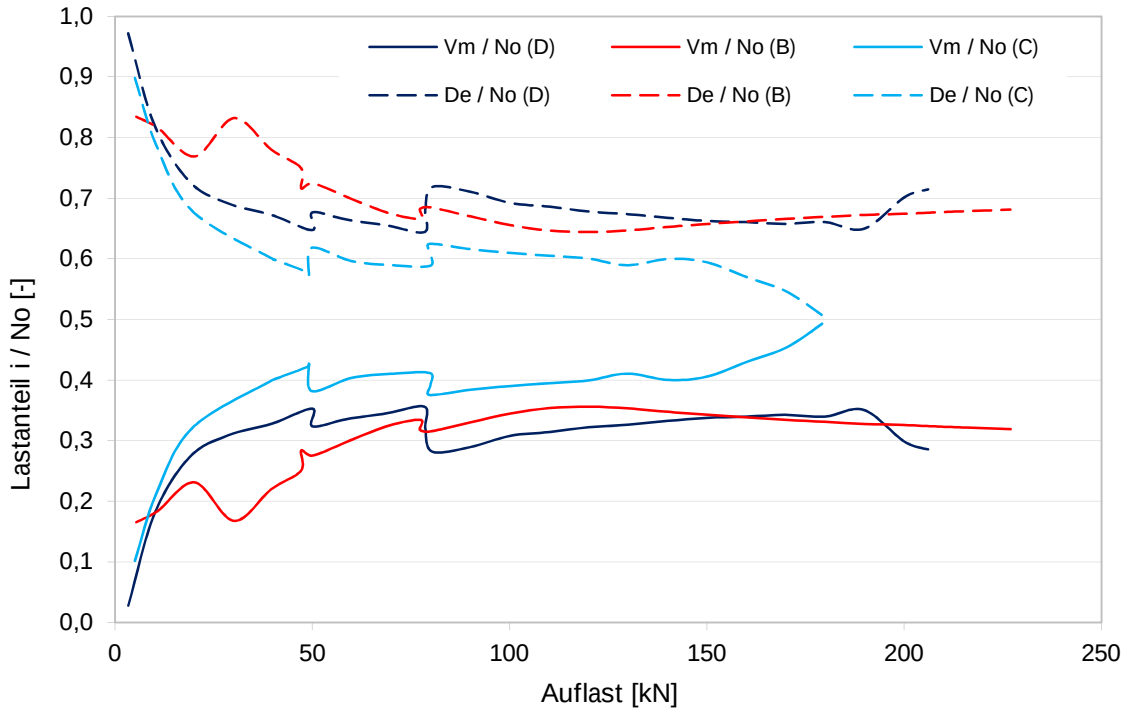


Bild 88 *Verhältnis des übertragenen Lastanteils i (Vm, De) zur Normalkraft am Wandkopf in Abhängigkeit der Wandauflast (Serie W480)*

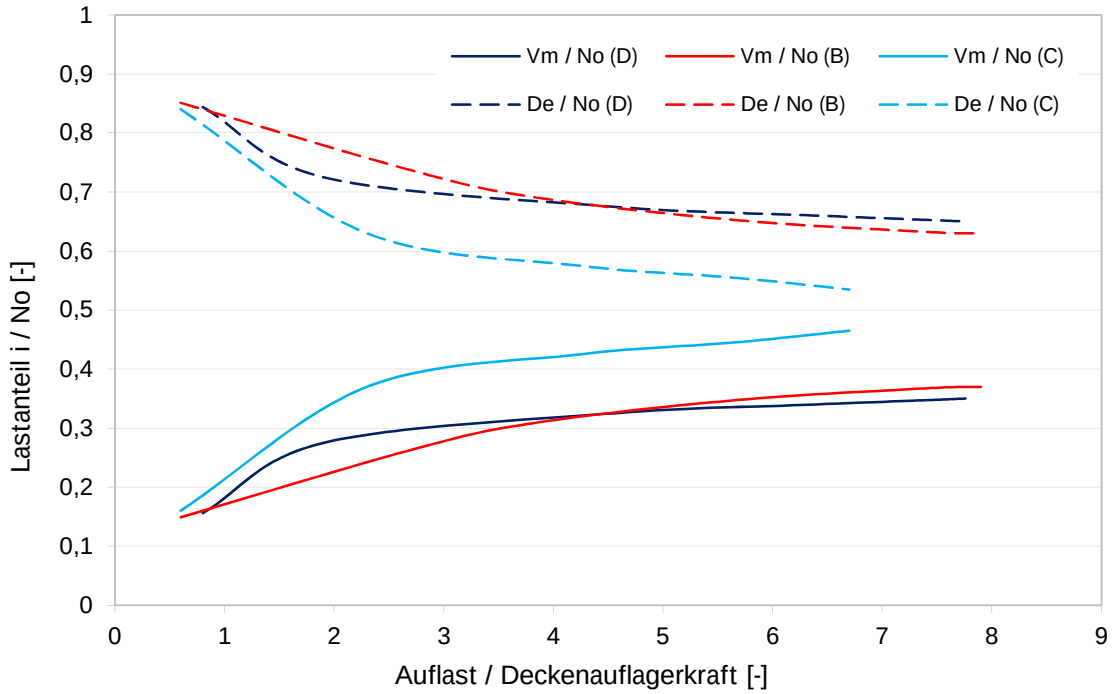


Bild 89 *Verhältnis der über Deckenabmauerungsstein bzw. Deckenauflager übertragenen zur Normalkraft am Wandkopf in Abhängigkeit des Verhältnisses aus Wandauflast zu Deckenauflagerkraft, gemittelte Werte (Serie W480)*

5.4.2.3. Gebrauchstauglichkeit

Die für die Beurteilung der Risslasten herangezogene charakteristische Geschosslast beträgt hier $N_{Ge,k}$ = 24,1 kN. Tabelle 42 zeigt die Gegenüberstellung der Risslasten mit dem jeweiligen Lastniveau der Serie W480.

Tabelle 42 Erstrisse: Risslasten, Lastniveau Serie W480

	Aufbau	W480-D	W480-B	W480-C
Typ	$N_{Ge,k}$ [kN]	24,1	24,1	24,1
	$F_{1,max}$ [kN]	206,1	227,0	179,2
Erstriss allgemein	Position	West/Mitte/unten Ost/Decke/unten	West/Mitte/unten	Ost/Decke/unten
	$F_{1,Riss,I}$ [kN]	40	30	25
	$F_{1,Riss,I}$ / $F_{1,max}$ [-]	0,19	0,13	0,14
	$F_{1,Riss,I}$ / $N_{Ge,k}$ [-]	1,66	1,25	1,04
Erstriss West/Ost obere PK-Hälfte	Position	West/Vm/oben	West/Mitte/oben	Ost/Vm/oben West/Decke/oben
	$F_{1,Riss,II}$ [kN]	50	50	50
	$F_{1,Riss,II}$ / $F_{1,max}$ [-]	0,24	0,22	0,28
	$F_{1,Riss,II}$ / $N_{Ge,k}$ [-]	2,08	2,08	2,08
Erstriss Außenseite Nord/Süd	Position	Süd/unten	k. R.	Süd/unten
	$F_{1,Riss,III}$ [kN]	160		80
	$F_{1,Riss,III}$ / $F_{1,max}$ [-]	0,78		0,45
	$F_{1,Riss,III}$ / $N_{Ge,k}$ [-]	6,65		0,33

Im Gegensatz zu den vorangegangen Versuchen hat hier die Auflagertiefe scheinbar einen Einfluss auf die Risslast. Bereits unter geringer Auflast treten die ersten Risse auf. Möglicherweise beeinflusst die Wandbreite diesen Effekt.

5.5. Serie W490

Es ist das Steinmaterial nach Tabelle 20 zusammen mit Dünnbettmörtel zum Einsatz gekommen.

5.5.1. Versuchsbegleitende Materialprüfungen

Die Durchführung der einzelnen Prüfungen erfolgte im Wesentlichen analog den Beschreibungen in Abschnitt 5.2.1. Die Entnahme der Prismen aus den Einzelsteinen musste aufgrund der Steingeometrie angepasst werden (siehe 5.5.1.2).

5.5.1.1. Versuche am ganzen Stein

Da an den Leichtbeton-Steinen aufgrund der Steingeometrie nicht in alle Richtungen geeignete Steinprismen gewonnen werden konnten wurden neben der Bestimmung der Druckfestigkeit und der Spannungs-Dehnungs-Beziehung zusätzlich die Biegezugfestigkeit (in Anlehnung an DIN EN 1015-11 [78]) und die Spaltzugfestigkeit (in Anlehnung an DIN 1048-5 [79]) am ganzen Stein (in Richtung Steinbreite) ermittelt.

a) b)

Bild 90 a) 3-Punkt-Biegezugversuch am Einzelstein; b) Einzelstein nach Spaltzugversuch

Tabelle 43 enthält die Mittelwerte der an den Einzelsteinen ermittelten Materialparameter (ohne Berücksichtigung von Umrechnungs- oder Formfaktoren). Die vollständigen Versuchsergebnisse können dem Anhang entnommen werden. Die Steine wurden vor der Versuchsdurchführung mehr als 14 d im Labor gelagert.

Tabelle 43 Materialparameter der Mauersteine aus Einzelsteinprüfungen (Mittelwerte)

	Mauerstein	Deckenabmauerungsstein
Bezeichnung	Bisoplan 09 – 1,6 – 0,4 (16DF)	Bauplatte 4,0 – 0,65 (8DF)
Länge *l* / Breite *t* / Höhe *h*	247 / 490 / 249 mm	490 / 115 / 249 mm
Druckfestigkeit f_b	2,50 N/mm²	5,70 N/mm²
E-Modul $E_{b,33}$	522 N/mm²	1149 N/mm²
Biegezugfestigkeit $f_{BZ,u}$	0,230 (0,632)[1] N/mm²	-
Spaltzugfestigkeit $f_{SZ,u}$	0,109 (0,299)[1] N/mm²	-
Steinrohdichte	0,74 kg/dm³	-

[1] Der Klammerwert ist die Netto-Festigkeit bei Bezug auf die reine wirksame Stegfläche (vgl. Rissbild in Bild 90 b))

Zur Konditionierung der Steine ist anzumerken, dass die Steine 14 Tage unter Laborbedingungen gelagert und dann vermauert worden sind.

Neben Versuchen an ganzen Deckenabmauerungssteinen wurden weiterhin Versuche an gekürzten Deckenabmauerungssteinen durchgeführt (Bild 91, b)). Deren Länge entsprach der später bei den Versuchen am Wand-Decken-Knoten vorgesehenen Länge. Der mittels der an den Stirnseiten angebrachten Dehnmessstreifen (DMS) bestimmte E-Modul lag erwartungsgemäß höher als bei Ermittlung mittels Wegaufnehmern und betrug im Mittel 2771 N/mm². Die Druckfestigkeit der zugeschnittenen Steine lag bei 4,82 N/mm² (Mittelwert).

a) b)

Bild 91 a) Vollständiger Deckenabmauerungsstein in der Prüfmaschine; b) Gekürzter Deckenabmauerungsstein in der Prüfmaschine

5.5.1.2. Steinprismen

Aufgrund der Steingeometrie konnten aus den Leichtbetonsteinen Bisoplan 09 nur Prismen in Richtung Steinhöhe (A) und Steinlänge (B) gewonnen werden. Die Prismenbreite war dabei durch die Stegdicke begrenzt wobei lediglich zwei Stege eine Breite von annähernd 40 mm aufweisen. In Bild 92 ist das Schema der Entnahme dargestellt.

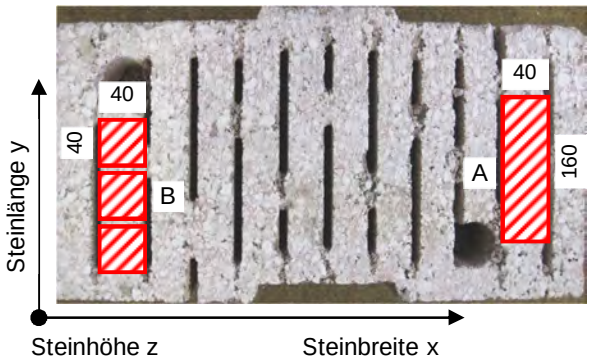


Bild 92 Prismenentnahme aus dem Mauerstein (40/40/160 mm)

Tabelle 44 enthält die Mittelwerte der Versuchsergebnisse an den Steinprismen. Die Einzelwerte sind im Anhang dargestellt.

Tabelle 44 Zusammenfassung der Ergebnisse an den Steinprismen aus Mauersteinen Bisoplan 09 (Mittelwerte)

Materialkennwert	Einheit	Steinbreite	Steinlänge	Steinhöhe
		x	y	z
Biegezugfestigkeit	[N/mm²]	-	1,20	1,12
Druckfestigkeit nach Biegezug	[N/mm²]	3,46	2,77	2,84
Spaltzugfestigkeit nach Biegezug	[N/mm²]	0,84	-	0,70
Spaltzugfestigkeit an geschnittenen und gedrehten Prismen [1]	[N/mm²]	-	0,62	-
E-Modul am Prisma (σ-ε)	[N/mm²]	-	2712	2087
Druckfestigkeit am Prisma (σ-ε)	[N/mm²]	-	2,86	2,92
Steinrohdichte	[kg/dm³]	0,71		

[1] ursprünglich in y-Richtung geschnittene Prismen (Typ B in Bild 92) wurden in Würfel geschnitten und anschließend in Richtung der Steinbreite geprüft (siehe auch Darstellung im Anhang)

Zur Konditionierung der Steine ist anzumerken, dass die Steine 14 Tage unter Laborbedingungen gelagert und dann vermauert worden sind.

5.5.1.3. Mörtel

Bei der Herstellung der kleinen Mauerwerksprüfkörper wurden vom verwendeten Dünnbettmörtel Prismen (40/40/160 mm) zur Bestimmung der Mörteleigenschaften angefertigt. Tabelle 45 zeigt die Mittelwerte. Die vollständigen Versuchsergebnisse sind im Anhang enthalten.

Tabelle 45 Materialeigenschaften Bisotherm Dünnbettmörtel (Mittelwerte)

Bezeichnung	Bisotherm Dünnbettmörtel
Rohdichte ρ_m	0,939 kg/dm³
Biegezugfestigkeit $f_{BZ,m}$	2,74 N/mm²
Druckfestigkeit aus Biegezugprismen f_m	13,40 N/mm²
Spaltzugfestigkeit an Biegezugprismen $f_{SZ,m}$	2,18 N/mm²
E-Modul (Prisma hochkant) E_m	5352 N/mm²
Druckfestigkeit (Prisma hochkant) $f_{m,E}$	16,08 N/mm²

5.5.1.4. Mauerwerk

Zur Bestimmung der Druckfestigkeit f, der Spannungs-Dehnungs-Beziehung und des E-Moduls E_{MW} wurden Versuche an kleinen Mauerwerks-Prüfkörpern (PK) nach DIN EN 1052-1 [56] durchgeführt. Die Prüfkörper hatten die in Bild 93 a) dargestellte Geometrie.

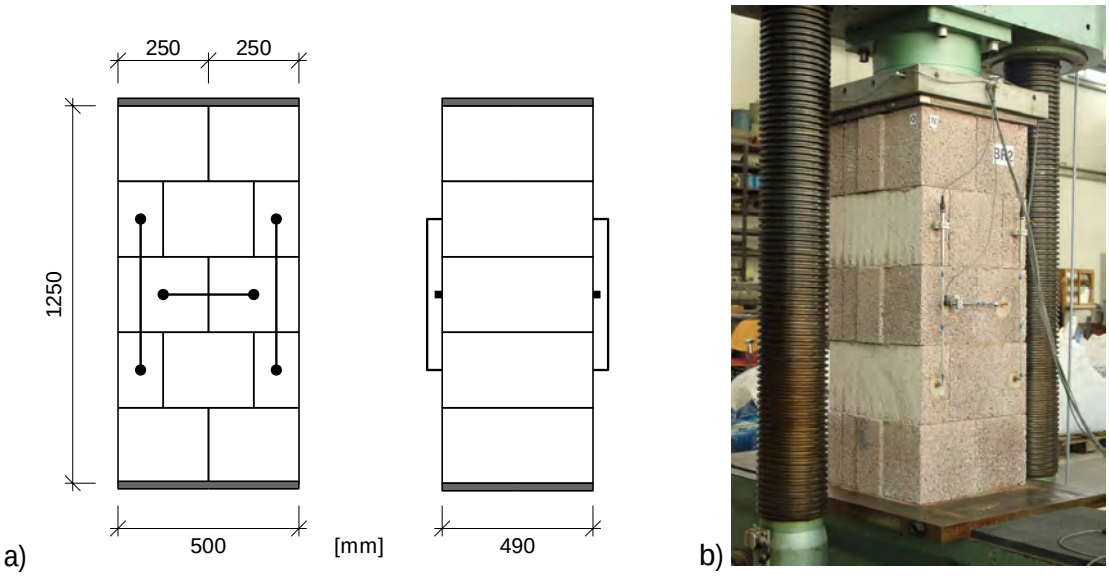


Bild 93 a) Mauerwerksprüfkörper in Anlehnung an DIN EN 1052-1; b) Prüfkörper BR-2 in der Prüfmaschine

Die Ergebnisse der Einzelprüfungen sind im Anhang zusammengestellt. Tabelle 46 enthält die Mittelwerte der Versuchsreihe.

Tabelle 46 Materialeigenschaften Mauerwerk aus Bisoplan Super und DM (Mittelwerte)

Serien-Bezeichnung	BR
Mittlere Mauerwerksdruckfestigkeit *f*	1,98 N/mm²
E-Modul E_{MW}	2239 N/mm²
Querdehnzahl	0,30

5.5.2. Ergebnisse der Versuche am Wand-Decken-Knoten (Serie W490)

5.5.2.1. Allgemein

Tabelle 47 enthält die Versuchsergebnisse der Serie W490. Die zu den Versuchen gehörenden Festmörtelkennwerte können dem Anhang entnommen werden.

Tabelle 47 (Eigen-)Lasten, Reaktionskräfte, resultierende Bruchlasten (W490)

Prüfkörperbezeichnung	W490-A	W490-B	W490-C
Auflagertiefe / Wanddicke	0,5	0,4	0,3
Auflagertiefe *a* [m]	0,245	0,196	0,147
effektiver Querschnitt $a + t_V$ [m]	0,36	0,311	0,262
Auflast Wandkopf F_1 [kN]	243,07	237,55	203,58
Auflast Decke F_2 [kN]	35,57	45,14	37,26
Auflagerkraft Gegenlager B_v [kN]	15,52	25,15	16,87
Lastgeschirr Decke + Eigengewicht Decke + F_3 [kN]	7,95	7,95	7,95
Deckenauflagerkraft N_{Decke} [kN]	28,00	27,94	28,34
Eigenlast obere Lasteinleitungsplatte [kN]	1,44	1,44	1,44
Eigenlast obere PK-Hälfte EG_{PK} [kN]	1,15	1,15	1,15
Bruchlast F_{Bruch} / resultierende Normalkraft Wandkopf N_o [kN]	273,7	268,1	234,5

Bild 94 zeigt Seitenansichten der Prüfkörper nach dem Versuch. Um die Risse besser erkennen zu können, wurden zwei bzw. drei Steine über und unter der Decke mit weißer Wandfarbe angestrichen.

W490-A (West) W490-B (West) W490-C (West) W490-A (Ost) W490-B (Ost) W490-C (Ost)

Bild 94 Bruchbilder Serie W490

Das Versagen lief nach dem bereits in den vorangegangenen Versuchen beobachteten und zuvor beschriebenen Schema ab. Die Rissbildung begann unterhalb der Deckenplatte bzw. in Steinmitte oberhalb der Decke. Mit steigender Last fand eine Erweiterung der bestehenden Risse statt. Teilweise kam es auch zur Bildung neuer vertikaler Risse unter der Deckenplatte

(weiter in Richtung Wandaußenseite; vorwiegend bei großer Auflagertiefe) und in der Nähe der Mitte des Steins über bzw. unter der Decke.
Nachdem etwa 70 % der maximalen Wandauflast erreicht waren, begann die Rissbildung im Bereich des Deckenabmauerungssteins (hier unter dem Deckenabmauerungsstein) sowie an den Außenseiten des Prüfkörpers (Nord, Süd). Unter weiterer Lastzunahme erweiterten sich die Risse (Auseinanderklaffen). Zum Zeitpunkt des Versagens kam es schließlich zum Abscheren bzw. Ausknicken und Ausbrechen von Steinmaterial an der Außenseite und einem weiteren Eindrücken des Deckenabmauerungssteins in die untere Prüfkörperhälfte.

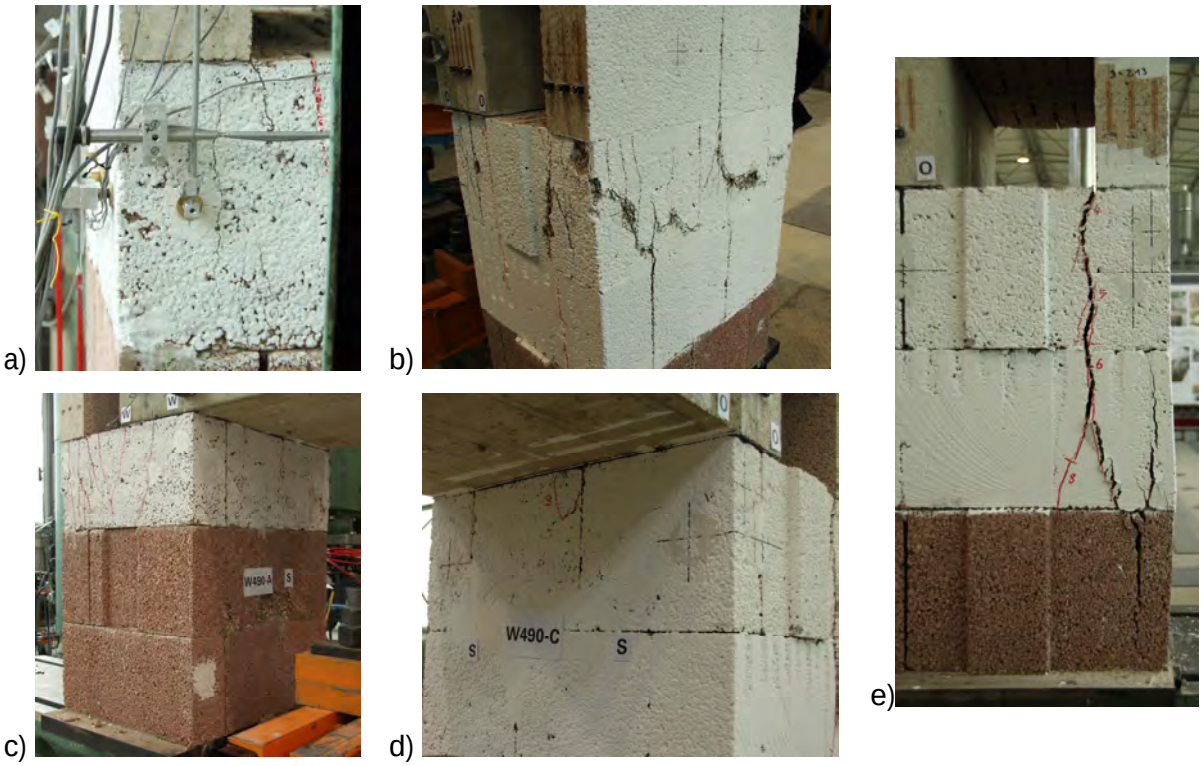


Bild 95 *a) W490-A, Rissbildung am Deckenabmauerungsstein; b) W490-B, Schäden an der Außenseite nach Versuch; c) W490-A, Schäden unter Deckenauflager und in 2. Steinreihe; d) W490-C geringe Schädigung Deckenauflager ; e) W490-C, Abscheren/Ausknicken der unteren Außenschalen*

5.5.2.2. Lastspreizung

Bild 96 zeigt die berechnete Aufteilung der Wandauflast F_1 auf Deckenabmauerungsstein (Vm) und Deckenauflager (De). In Analogie zu den anderen Versuchsreihen zeigten sich auch bei den Versuchen an Wand-Decken-Knoten aus Bisotherm Plansteinen, dass der auf den Deckenabmauerungsstein entfallende Anteil der Wandauflast mit geringer werdender Deckenauflagertiefe zunimmt.
Während bei W490-A ($a = 0{,}5 \cdot t$) der größere Lastanteil noch auf das Deckenauflager entfällt, teilt sich die Wandauflast bei W490-B ($a = 0{,}4 \cdot t$) schon nahezu gleichmäßig auf Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager auf. Beim Versuch mit der geringsten Auflagertiefe (W490-C mit $a = 0{,}3 \cdot t$) nimmt der Deckenabmauerungsstein von Anfang an den Großteil der Wandauflast auf sich.
Bild 97 und Bild 98 zeigen die Lastspreizung unter Berücksichtigung der Deckenauflagerkraft.

Auch mit den Ergebnissen der Serie W490 konnten somit die Resultate aus der numerischen Vorsimulation (siehe 4.2.3) bestätigt werden. Die Mitwirkung des Deckenabmauerungssteins hängt von den vorherrschenden Lastverhältnissen und der Einbindetiefe der Decke ab.

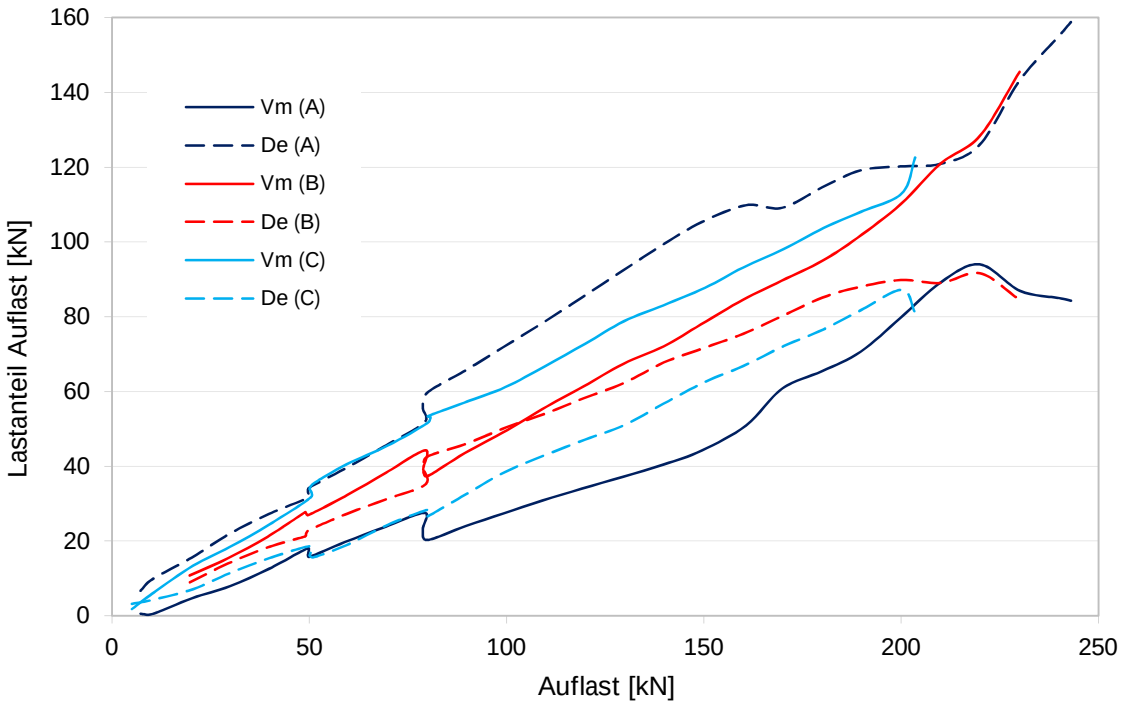


Bild 96 Über Deckenabmauerungsstein (Vm) bzw. Deckenauflager (De) übertragener Lastanteil in Abhängigkeit der Wandauflast (Serie W490)

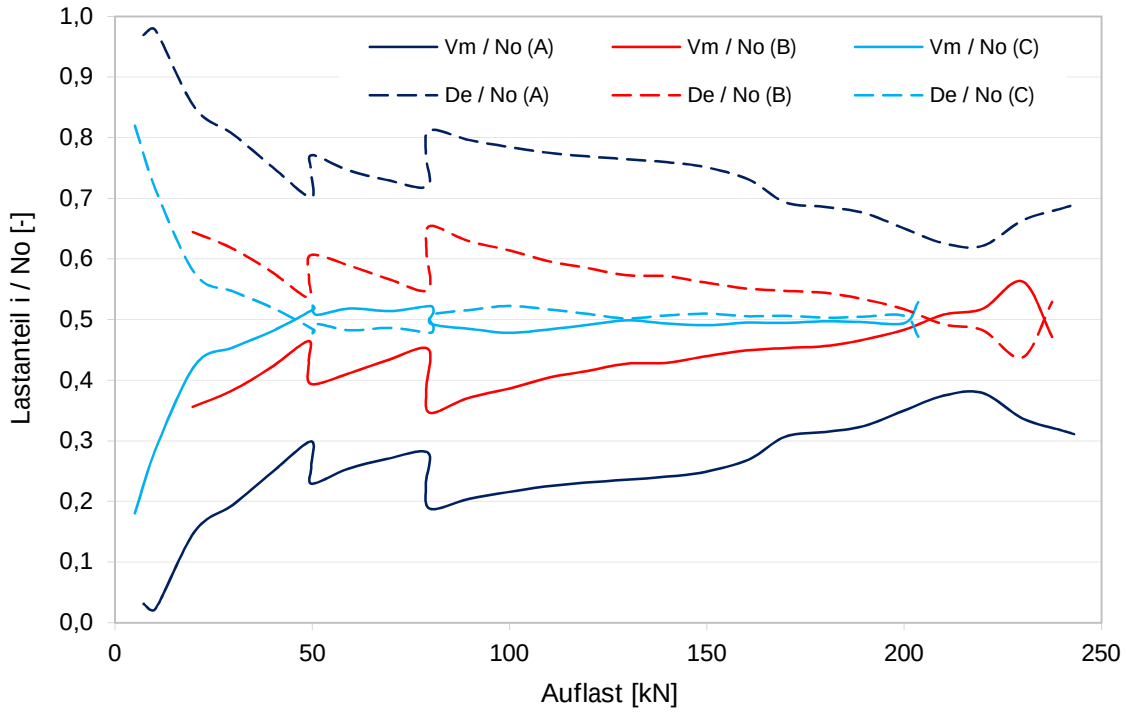


Bild 97 Verhältnis des übertragenen Lastanteils i (Vm, De) zur Normalkraft am Wandkopf in Abhängigkeit der Wandauflast (Serie W490)

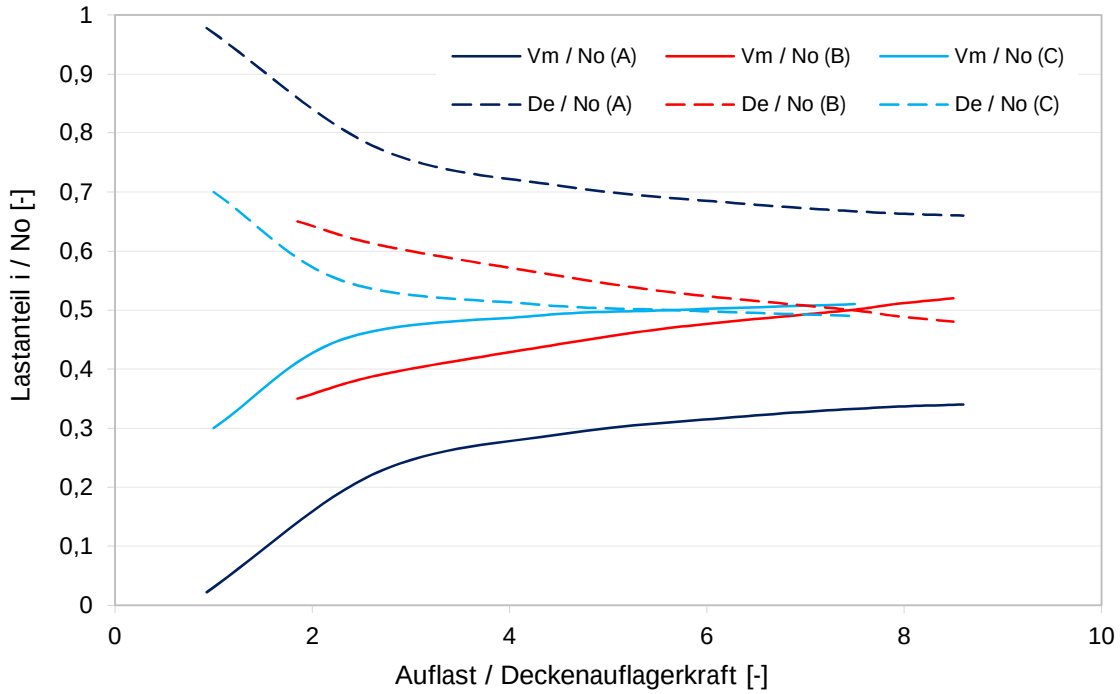


Bild 98 Verhältnis der über Deckenabmauerungsstein bzw. Deckenauflager übertragenen zur Normalkraft am Wandkopf in Abhängigkeit des Verhältnisses aus Wandauflast zu Deckenauflagerkraft, gemittelte Werte (Serie W490)

5.5.2.3. Gebrauchstauglichkeit

Die Kartierung von Rissen gestaltete sich in dieser Serie aufgrund der Oberflächenstruktur der Mauersteine etwas schwieriger. Die zur Beurteilung der Risslasten herangezogene charakteristische Geschosslast beträgt hier $N_{Ge,k}$ = 24,6 kN.
Tabelle 48 zeigt die Gegenüberstellung der Risslasten mit dem jeweiligen Lastniveau der Serie W490.

Tabelle 48 Erstrisse: Risslasten, Lastniveau Serie W490

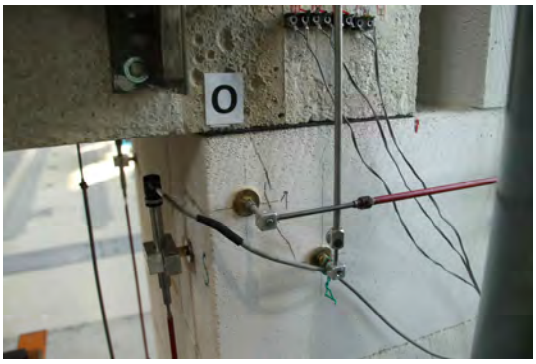
	Aufbau	W490-A	W490-B	W490-C
Typ	$N_{Ge,k}$ [kN]	24,6	24,6	24,6
	$F_{1,max}$ [kN]	243,1	237,6	203,6
Erstriss allgemein	Position	West/Decke/unten	Ost/Mitte/oben	West/Mitte/o,u
	$F_{1,Riss,I}$ [kN]	50	50	80
	$F_{1,Riss,I}$ / $F_{1,max}$ [-]	0,21	0,21	0,39
	$F_{1,Riss,I}$ / $N_{Ge,k}$ [-]	2,03	2,03	3,25
Erstriss West/Ost obere PK-Hälfte	Position	W,O/Mitte/oben	Ost/Mitte/oben	West/Mitte/o,u
	$F_{1,Riss,II}$ [kN]	50	50	80
	$F_{1,Riss,II}$ / $F_{1,max}$ [-]	0,21	0,21	0,39
	$F_{1,Riss,II}$ / $N_{Ge,k}$ [-]	2,03	2,03	3,25
Erstriss Außenseite Nord/Süd	Position	Nord/unten	Süd/unten	Süd/unten
	$F_{1,Riss,III}$ [kN]	215	180	90
	$F_{1,Riss,III}$ / $F_{1,max}$ [-]	0,88	0,76	0,44
	$F_{1,Riss,III}$ / $N_{Ge,k}$ [-]	8,74	7,32	3,66

5.6. Auswertung der Ergebnisse

5.6.1. Betrachtungen zum Grenzzustand der Tragfähigkeit

5.6.1.1. Bruchverhalten bei teilweise aufliegender Deckenplatte

Die durchgeführten Versuche dienten der Analyse des tatsächlichen, bisher nicht näher untersuchten Bruchverhaltens des Wand-Decken-Knotens (WDK) mit teilweise aufliegender Deckenplatte aus Stahlbeton unter Berücksichtigung der Verdrehung der Decke.
Die einzelnen Versuchsreihen bzw. -anordnungen zeigten dabei hinsichtlich des beobachteten Bruchverhaltens kaum Unterschiede. Der Bruch bzw. das Versagen trat schlussendlich nicht unterhalb der Deckenplatte sondern im Bereich des Deckenabmauerungssteins auf.
Die Auflagertiefe der Decke beeinflusste dabei im Allgemeinen den Rissursprung. Während bei großer Auflagertiefe (für $a = 0{,}5 \cdot t$) die ersten Risse meist im Auflagerbereich der Decke (in der Nähe der Auflagerkante) auftraten entstanden die ersten Riss bei geringer Auflagertiefe ($a < 0{,}5 \cdot t$) näher in Richtung Wandmitte (Bild 99).

a) 

b)

Bild 99 a) Erstriss W400-A nahe Auflagerkante; b) Erstriss W490-C Nähe Steinmitte

Unter zunehmender Belastung kam es neben dem Wachstum der bestehenden Risse zur Entstehung von neuen Rissen zumeist in Steinmitte über der Decke bzw. leicht versetzt davon.

a)

b)

Bild 100 Riss Nähe Steinmitte über Deckenplatte; a) W425-B; b) W490-B

Bei den Versuchen mit Auflagertiefe $a = 0{,}5 \cdot t$ konnte darüber hinaus beobachtet werden, dass sich bei Laststeigerung neue Risse unterhalb des Deckenauflagers bilden. Diese traten in der Regel weiter in Richtung Wandmitte auf, was ein deutliches Anzeichen für eine zunehmende Schädigung dieses Bereiches und eine stattfindende Lastumlagerung ist.

a)

b)

Bild 101 Rissbildung unter dem Deckenauflager; a) W400-A; b) W425-A

Mit weiter steigender Auflast stellten sich dann zunächst Risse im Bereich des Deckenabmauerungssteins ein (ausgehend von der innen liegenden Kante) bevor es dann in Verbindung mit dem Eindrücken des Deckenabmauerungssteins in die untere bzw. obere Prüfkörperhälfte zum Ausknicken/Abplatzen bzw. Abscheren von Steinmaterial an der Außenseite kam. Der Bruch trat dabei sowohl auf der oberen als auch auf der unteren Hälfte auf.

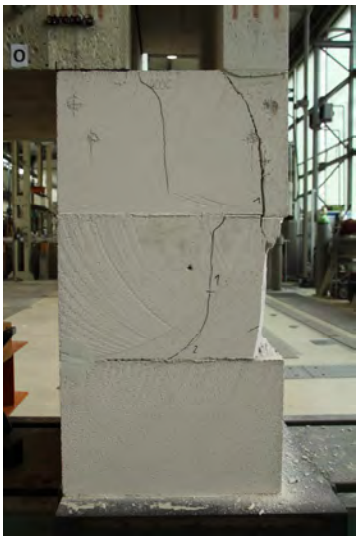
a) 
b)

Bild 102 Eindrücken des Deckenabmauerungssteins Abscheren/Ausknicken: a) W400-C; b) W490-B

Sowohl die Reihenfolge bei der Rissentstehung als auch die Ergebnisse der Verformungsmessungen zeigen, dass es innerhalb des Knotensystems zu Lastumlagerungen kommt. Diese Umlagerungen treten dann auf wenn entweder der Deckenabmauerungsstein oder das Deckenauflager bzw. der unmittelbar anschließende Wandbereich so stark geschädigt sind, dass keine bzw. nur noch ein geringer Lastanteil übertragen werden kann. Hierbei sind drei Szenarien möglich:

- Umlagerung von der Decke zum Deckenabmauerungsstein,
- Umlagerung vom Deckenabmauerungsstein zur Decke,
- keine Umlagerungen.

Eine Lastumlagerung von der Decke zum Deckenabmauerungsstein kündigte sich dabei meist durch eine Verlagerung der vertikalen Risse unter dem Deckenauflager in Richtung der Wandaußenseite an (siehe Bild 101).
Der umgekehrte Fall trat in den Versuchen meist unmittelbar vor dem Versagen auf, wenn der Bereich des Deckenabmauerungssteins so stark geschädigt war, dass nur noch eine geringe bzw. gar keine Lastaufnahme mehr möglich war.
Diese Vorgänge lassen sich auch aus den Diagrammen zur Lastspreizung ableiten (siehe z. B. Bild 73).

5.6.1.2. Allgemeiner Einfluss der Reduzierung der Auflagertiefe auf die Traglast

Bei der Bewertung der Bruchlasten muss berücksichtigt werden, dass es im Projekt explizit um das Versagen der teilweise aufliegenden Deckenplatte ging. Daher sollte eine möglichst

ungünstige Belastungssituation (maximale Deckenauflagerkraft, maximale Verdrehung) geschaffen werden, die sich im Gebäude so aller Voraussicht nach nicht einstellen würde.

Um zu überprüfen inwieweit die Verkürzung der Deckenauflagertiefe die Traglast beeinflusst wurde in Tabelle 49 mit Φ_A die Reduzierung des lastübertragenden Querschnittes A_{eff}, der sich aus der Deckenauflagertiefe a und der Breite des Deckenabmauerungssteins t_V ergibt, der Traglastminderung Φ_B gegenübergestellt (jeweils als Verhältnis zum Versuch a/t = 0,5). Das Ergebnis ist in Bild 103 grafisch dargestellt.
Wie aus den Darstellungen hervorgeht, ist die Reduzierung des lastübertragenden Querschnittes für den Großteil der Versuche höher als die Traglastminderung. Für die hier durchgeführten Versuche ist es demnach möglich den Einfluss der Auflagerverkürzung auf die Tragfähigkeit vereinfacht über die Querschnittsreduzierung zu erfassen.

Tabelle 49 Einfluss der Querschnittsreduzierung auf die Tragfähigkeit

Serie	Name	t	a	A_{eff} $(a+t_V)$	Φ_A	F_{Bruch}	Φ_B
		[m]	[m]	[m]	[-]	[kN]	[-]
W400	W400-A	0,40	0,20	0,315	1,00	167,6	1,00
	W400-B	0,40	0,16	0,275	0,87	126,4	0,75
	W400-E	0,40	0,12	0,235	0,75	150,3	0,90
W425	W425-A	0,425	0,213	0,328	1,00	201,1	1,00
	W425-B	0,425	0,17	0,285	0,87	216,4	1,07
	W425-C	0,425	0,128	0,243	0,74	224,8	1,11
W480	W480-D	0,48	0,24	0,355	1,00	236,7	1,00
	W480-B	0,48	0,192	0,307	0,86	257,7	1,09
	W480-C	0,48	0,144	0,259	0,73	210,0	0,89
W490	W490-A	0,49	0,245	0,360	1,00	273,7	1,00
	W490-B	0,49	0,196	0,311	0,86	268,1	0,98
	W490-C	0,49	0,147	0,262	0,73	234,5	0,86

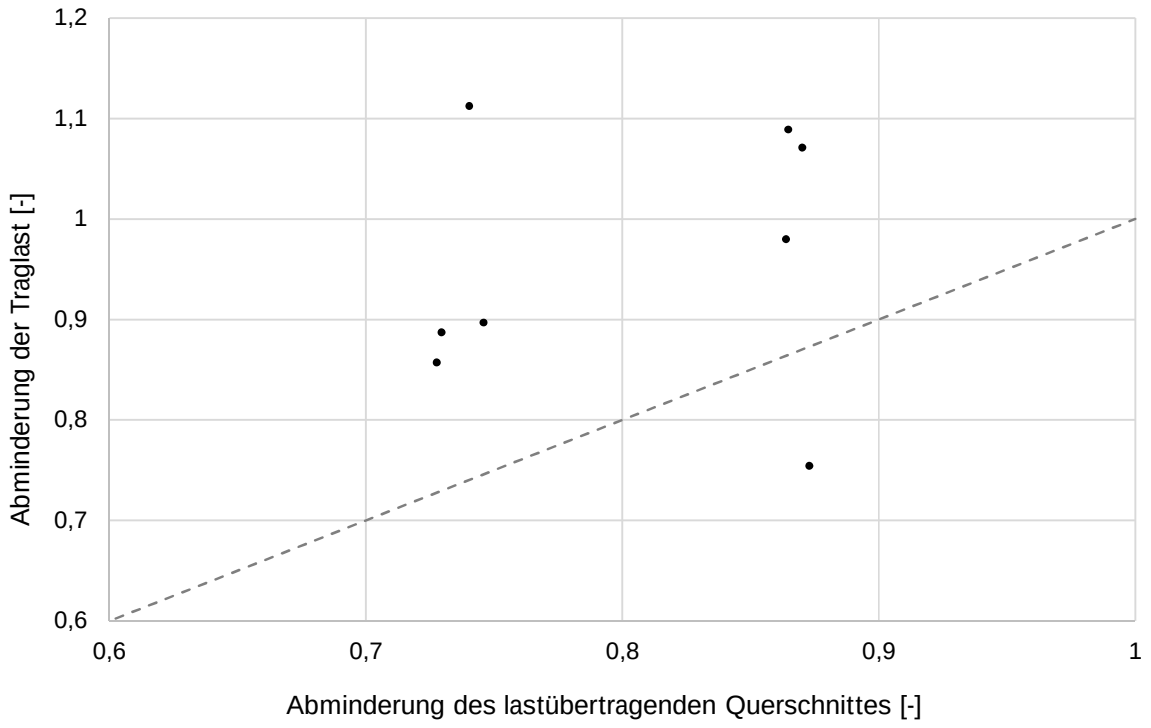


Bild 103 Gegenüberstellung der Abminderung des lastübertragenden Querschnittes infolge der Reduzierung der Auflagertiefe und der Traglastminderung

5.6.1.3. Bruchfestigkeiten

In Tabelle 50 sind die aus der Bruchlast bzw. den Lastanteilen von Deckenabmauerungsstein (Vm) und Deckenauflager (De, inklusive Deckenauflagerkraft) bestimmten Bruchfestigkeiten (Berechnung in Bezug zum jeweiligen Querschnitt, Blockspannung) aufgeführt.

Tabelle 50 Bruchfestigkeiten

Serie	Name	F_{Bruch}	$f_{Bruch,t}$	$f_{Bruch,eff}$	N_{Vm}	f_{Vm}	N_{De}	f_{De}
		[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]	[kN]	[N/mm²]	[kN]	[N/mm²]
W400	W400-A	167,6	0,67	0,85	81,3	1,13	97,8	0,78
	W400-B	126,4	0,51	0,74	62,1	0,86	62,2	0,62
	W400-E	150,3	0,60	1,02	67,4	0,94	81,5	1,09
W425	W425-A	201,1	0,76	0,98	93,1	1,30	132,6	1,00
	W425-B	216,4	0,81	1,22	104,0	1,45	110,1	1,04
	W425-C	224,8	0,85	1,48	117,9	1,64	104,6	1,31
W480	W480-D	236,7	0,79	1,07	76,5	1,06	167,3	1,12
	W480-B	257,7	0,86	1,34	81,4	1,13	173,8	1,45
	W480-C	210,0	0,70	1,30	102,3	1,42	108,4	1,20
W490	W490-A	273,7	0,89	1,22	94,0	1,31	186,8	1,22
	W490-B	268,1	0,88	1,38	145,5	2,02	140,4	1,15
	W490-C	234,5	0,77	1,43	122,6	1,71	115,5	1,26

Dabei sind:

F_{Bruch} Bruchlast des Prüfkörpers,
$f_{Bruch,t}$ auf vollen Querschnitt bezogene Festigkeit,
$f_{Bruch,eff}$ auf lastübertragenden Querschnitt bezogene Festigkeit,
N_{Vm} über Deckenabmauerungsstein übertragener Lastanteil,
f_{Vm} Festigkeit aus N_{Vm} bei Bezug auf Deckenabmauerungssteinbreite t_V,
N_{De} Lastanteil Deckenauflager am Wandkopf,
f_{De} Festigkeit aus N_{De}.

Wie aus der Aufstellung in der Tabelle 50 hervorgeht, ergaben sich für die Mehrzahl der Versuche die größten Druckspannungen am Deckenabmauerungsstein. Die ermittelten Werte liegen (bis auf zwei Ausnahmen) unterhalb der experimentell bestimmten Mauerwerksdruckfestigkeit. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass bei der Berechnung vereinfacht eine rechteckige Spannungsverteilung angenommen wurde. In den Voruntersuchungen hatte sich an dieser Stelle jedoch – in Abhängigkeit der jeweiligen Lastsituation – eine dreieckige Verteilung ergeben (Bild 35).
In einigen Versuchen wurden daher drei Dehnmesstreifen (DMS) am Deckenabmauerungsstein angeordnet um aus den gemessenen Dehnungen und dem aus den Materialversuchen bekannten σ-ε-Verhalten die tatsächliche Spannungsverteilung zu berechnen. In Bild 104 ist stellvertretend die im Versuch W400-B ermittelte Spannungsverteilung dargestellt. Wie aus dem Diagramm hervorgeht, ergibt sich unter allen Auflaststufen ein dreieckiger Spannungsverlauf wobei die maximalen Spannungen jeweils an der Innenseite auftraten. Die in Tabelle 50 für den Versuch W400-B angegebene Bruchfestigkeit am Deckenabmauerungsstein f_{Vm} wurde mit 0,86 N/mm² beziffert. Der Wert kann ebenfalls dem Diagramm entnommen werden. Die für diesen Versuch berechnete maximale Spannung σ_{max} betrug etwa 1,64 N/mm². Der innere DMS lag dabei 2 cm vom Rand des Deckenabmauerungssteins entfernt. Es ist also davon auszugehen, dass die tatsächliche maximale Spannung noch höher liegt (Extrapolation: 2,1 N/mm²).
Die Spannungsverteilung mit der größten Druckspannung an der Innenseite ist dabei eine Folge der Verdrehung des Deckenabmauerungssteins (Bild 34 und Abschnitt 5.6.5).

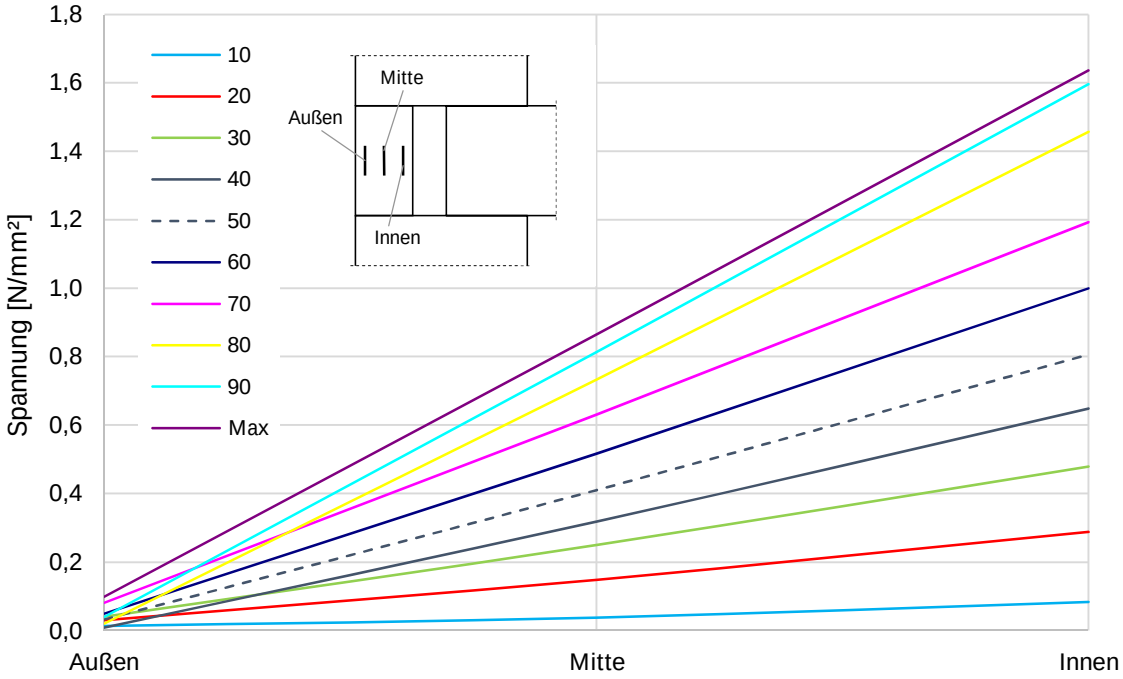


Bild 104 Spannungsverteilung am Deckenabmauerungsstein für verschiedene Wandauflasten (W400-B)

5.6.2. Gebrauchstauglichkeit

Anhand der Verformungsmessungen mit den horizontalen Wegaufnehmern an West- und Ost-Seite der Prüfkörper (vgl. Bild 72 sowie die Messstellenpläne im Anhang) kann die Rissbildung nachvollzogen werden. In Tabelle 51 sind die zu ausgewählten Rissbreiten gehörenden Lasten dargestellt. Zum Vergleich sind ebenfalls die bei der Risskartierung aufgezeichneten Auflasten beim ersten Riss mit aufgeführt. Diese liegen meist im Bereich zwischen 0,1 und 0,2 mm. Die letzte Spalte zeigt die Auflast an, unter welcher der erste Riss an den, im Bauwerk sichtbaren, Außenseiten des Prüfkörpers auftrat (Nord – Wandaußenseite; Süd – Wandinnenseite).

Tabelle 51 Rissbreiten und zugehörige Risslasten aus Verformungsmessung [kN]

Versuch	Erstriss Kartierung	Rissbreite aus Verformungsmessung				Erstriss Außenseiten
		0,1 mm	0,2 mm	0,3 mm	0,4 mm	
W400-A	40	30	40	50	70	80
W400-B	40	40	45	80	80	60
W400-E	40	35	50	80	80	110
W425-A	50	50	60	70	70	80
W425-B	40	35	50	80	80	140
W425-C	80	80	80	80	80	-
W480-D	40	35	50	50	50	160
W480-B	30	30	35	50	50	-
W480-C	25	30	35	50	50	80
W490-A	50	40	50	55	60	215
W490-B	50	30	45	70	80	180
W490-C	80	50	80	80	80	90

Aus der Aufstellung in Tabelle 51 lassen sich keine eindeutigen Tendenzen hinsichtlich einer Beeinflussung der Rissbreitenentwicklung durch die Reduzierung der Auflagertiefe erkennen. Vergleicht man die Risslasten bei 0,1 mm mit der Last, die einem voll ausgelasteten Geschoss entspricht ($N_{Ge,k} \approx 25$ kN) zeigt sich, dass der Wand-Decken-Knoten mit einem zusätzlichen Geschoss oberhalb des betrachteten Knotens praktisch rissfrei bleiben würde (zweigeschossiges Gebäude).
Die Rissbildung an den sichtbaren Außenseiten setze im Allgemeinen erst unter höheren Laststufen ein. Bei zwei Versuchen blieben die Außenseiten bis unmittelbar vor dem Versagen rissfrei.

5.6.3. Einspannmoment der Deckenplatte

Der Einspanngrad der Deckenplatte liegt zwischen den Grenzfällen der gelenkigen Auflagerung und voller Einspannung. Neben der Auflast hat die Auflagertiefe der Deckenplatte dabei einen entscheidenden Einfluss auf die Einspannwirkung des Knotens: die größte Auflagertiefe hat theoretisch die größte Einspannwirkung und somit auch das größte Knotenmoment zur Folge.
In den experimentellen Untersuchungen am Wand-Decken-Knoten kann das Deckeneinspannmoment über eine Betrachtung am Teilsystem bestimmt werden. Dazu führt man kurz vor dem theoretischen Auflager im Knoten einen Schnitt durch die Deckenplatte und bestimmt mit den aufgebrachten Lasten und der gemessenen Auflagerkraft die Schnittgrößen an dem in Bild 105 dargestellten statischen System.

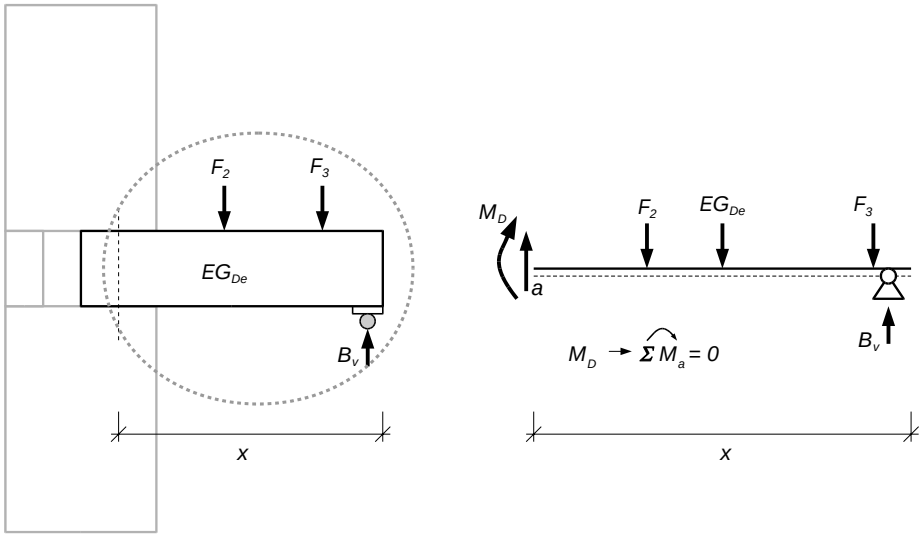


Bild 105 Experimentelle Bestimmung des Deckeneinspannmomentes

In Bild 106 ist beispielhaft der so ermittelte Momentenverlauf für Serie W490 dargestellt. Die Kurven für die anderen Versuche können dem Anhang entnommen werden. Wie aus dem Diagramm hervorgeht ergab sich in Übereinstimmung mit den theoretischen Überlegungen und den numerischen Vorbetrachtungen eine Reduzierung des Einspannmomentes mit geringer werdender Deckenauflagertiefe. Die starke Zunahme des Momentes bei einer Auflast von 50 kN bzw. 80 kN resultiert aus dem Belastungsregime (Erhöhung der Deckenauflagerkraft). Der teilweise zu beobachtende Rückgang der Momente unter steigender Belastung ist eine Folge der versuchsbedingten Anpassung der Deckenneigung, zum Versuchsende hin ist er jedoch auch der zunehmenden Schädigung des Auflagerbereiches und der damit einhergehenden Abnahme der Einspannwirkung geschuldet.

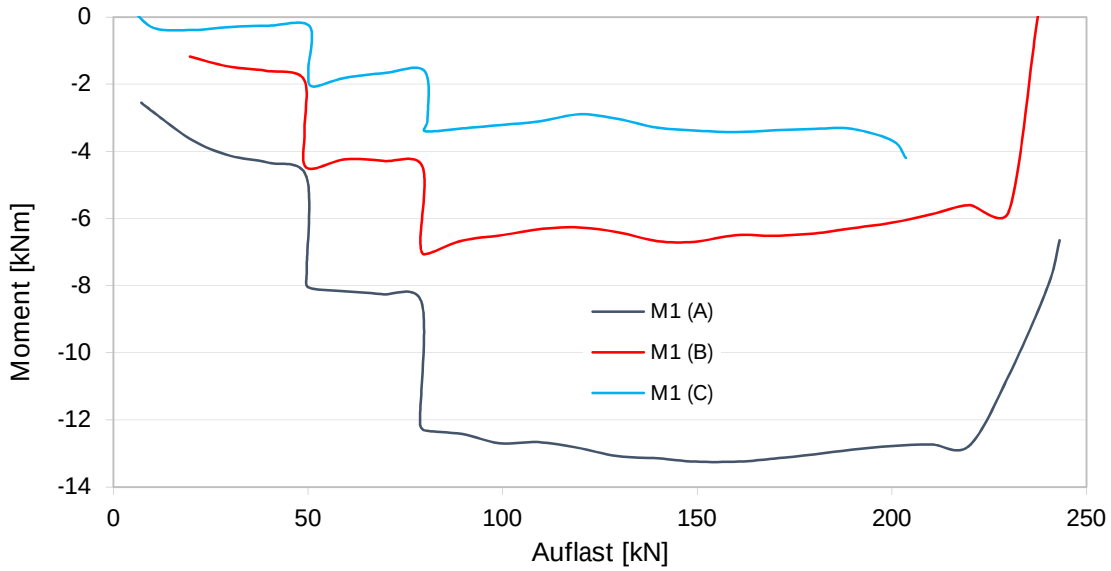


Bild 106 Deckeneinspannmoment in Abhängigkeit der Auflast (Serie W490)

5.6.4. Mitwirkung des Deckenabmauerungssteins beim Lastabtrag

Ein Ausheben der Wand, wie es in [48] und [51] bei längeren Deckenauflagern zu beobachten war, konnte in den Analysen in [49] nicht festgestellt werden. Dementsprechend wurde der Deckenabmauerungsstein in allen betrachteten Fällen zum Lastabtrag aktiviert.
In den Fällen, wo nur geringe Auflasten aus der oberen Wand (Laststeigerungsfaktor n = 0, oberstes Geschoss) und dafür aber eine vergleichsweise hohe Deckenlast vorhanden ist, erfährt der Wandkopf eine einseitige Randbelastung (kaum Lasten über den Deckenabmauerungsstein), was zu einer relativ großen Ausmitte der Resultierenden führt.
Die Ergebnisse der numerischen Voruntersuchungen in Abschnitt 4.2 hatten bereits angedeutet, dass die Mitwirkung des Deckenabmauerungssteines beim Lastabtrag entscheidend von den geometrischen Verhältnissen am Knoten und der Auflastsituation abhängt. Mit den durchgeführten experimentellen Untersuchungen konnte diese Abhängigkeiten prinzipiell bestätigt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass je Auflagertiefe und Materialkombination jeweils nur ein Versuch durchgeführt wurde.
Bild 107 zeigt die Aufteilung der Wandauflast für die Versuche mit einer bezogenen Auflagertiefe a/t = 0,5. Vernachlässigt man den Versuch W425-A, bei dem bereits im unteren Lastbereich der größere Teil der Auflast auf den Deckenabmauerungsstein entfällt, ergibt sich eine gewisse Tendenz hinsichtlich der Wanddicke. Bei den Versuchen mit einer Wanddicke größer 42,5 cm (und dementsprechend größerer Deckenauflagertiefe) entfiel der größere Lastanteil erwartungsgemäß auf das Deckenauflager während in den Versuchen mit der kleineren Wanddicke ab einer gewissen Auflaststufe der Deckenabmauerungsstein den größeren Anteil erhält.
Es fällt weiterhin auf, dass in den Versuchen W425 und W480 schnell das endgültige Aufteilungsniveau erreicht wurde während bei W490 und W400 eine gewisse Lastabhängigkeit erkennbar ist. Die Differenzen in der Aufteilung resultieren dabei aus den Unterschieden hinsichtlich der Wandgeometrien und des verwendeten Materials (E-Modul).
In Bild 107 ist die in den Versuchen ermittelte, untere (Mindestwert) und obere (Höchstwert) Grenze des über den Deckenabmauerungsstein übertragenen Lastanteils hervorgehoben. Demnach entfielen bei einem Auflastverhältnis von 3 mindestens 35 % der Auflast auf den Deckenabmauerungsstein, höchstens aber 60 %.

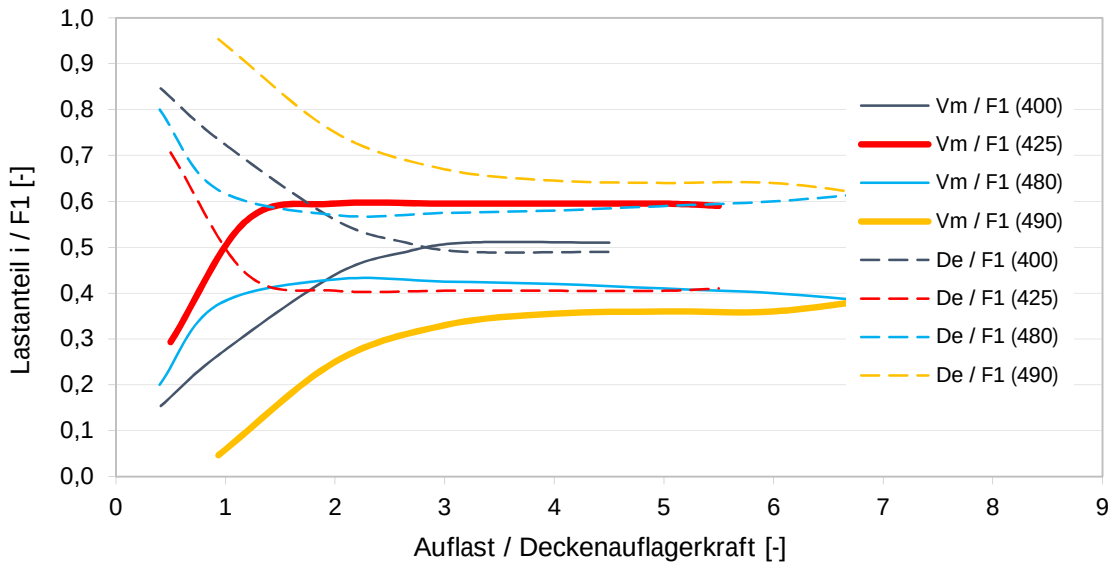


Bild 107 Aufteilung der Wandauflast für Versuche mit a/t = 0,5 mit Hervorhebung der mi-

nimalen und maximalen Aufteilung

In Bild 108 ist als Gegenstück die Aufteilung der Wandauflast für Versuche mit *a*/*t*=0,3 dargestellt. Mit Ausnahme des Versuches W480-D ergibt sich ab einem Auflastverhältnis von etwa 2,5 eine annähernd gleichmäßige Aufteilung. Im Falle einer reduzierten Auflagertiefe entfällt der größere Lastanteil auf den Deckenabmauerungsstein. Bei den kleineren Wandbreiten erfolgt der Übergang bereits im unteren Auflastbereich.
Die Auswertung der durchgeführten Versuche zeigte, dass bei einer derart reduzierten Auflagertiefe (*a*/*t*=0,3) mindestens 50 % der Auflast auf den Deckenabmauerungsstein entfallen, höchstens jedoch etwa 70 %.

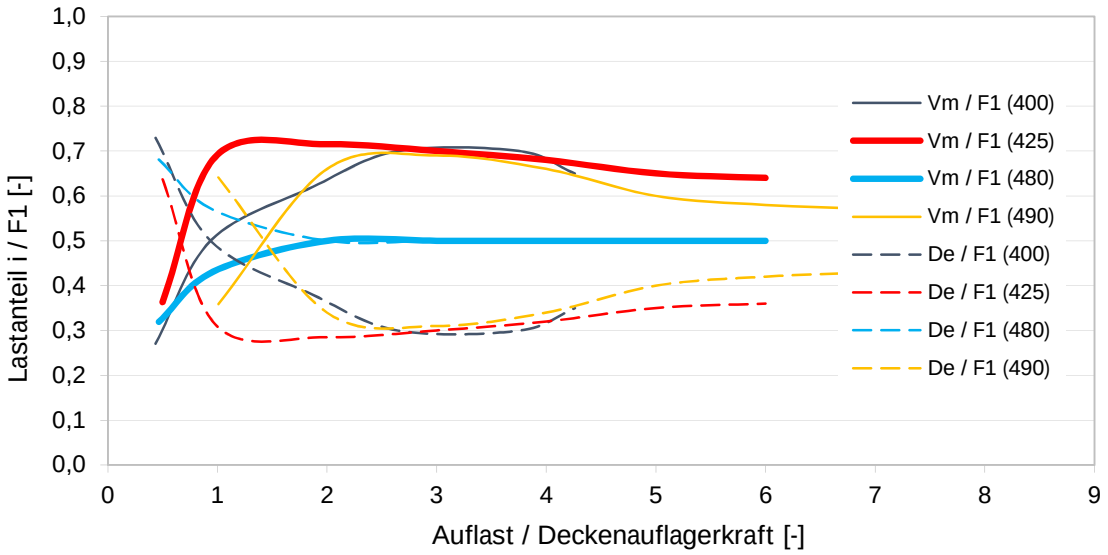


Bild 108 Aufteilung der Wandauflast für Versuche mit a/t = 0,3 mit Hervorhebung der minimalen und maximalen Aufteilung

Bei Betrachtungen am Wandkopf der unteren Wand ist zusätzlich zur Wandauflast die aus der Deckenauflast resultierende Deckenauflagerkraft mit einzubeziehen. Dadurch erhöht sich der Anteil, der auf das Deckenauflager entfällt. Die nachfolgenden Diagramme (Bild 109, Bild 110 und Bild 111) zeigen die Aufteilung der resultierenden Normalkraft am Wandkopf für die betrachteten Auflagertiefen.
Obwohl die Tendenzen, die sich aus dem Vergleich der Versuchsgruppen (hier sind alle Versuche mit der gleichen bezogenen Auflagertiefe gemeint) ergeben, nicht ganz eindeutig sind (beispielsweise bzgl. der Aufteilung bei W480 und W490), kann den Diagrammen entnommen werden, dass die Differenz zwischen den auf den Deckenabmauerungsstein entfallenden Lastanteil und dem vom Deckenauflager übertragenen Lastanteil mit abnehmender bezogener Auflagertiefe *a*/*t* geringer wird.
Weiterhin geht aus den Versuchsergebnissen hervor, dass bei kurzer Auflagertiefe der auf den Deckenabmauerungsstein entfallende Anteil größer ist. Es ist weiterhin ersichtlich, dass mit zunehmender Auflast eine Angleichung der Lastverhältnisse stattfindet (Auflastabhängigkeit).

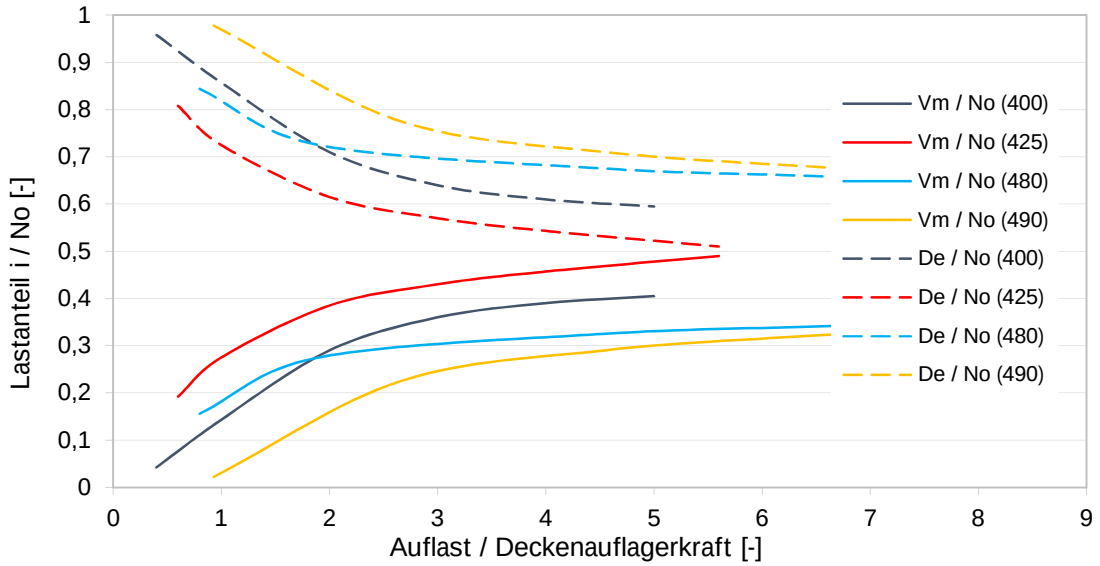


Bild 109 Aufteilung der resultierenden Normalkraft am Wandkopf für Versuche mit a/t=0,5

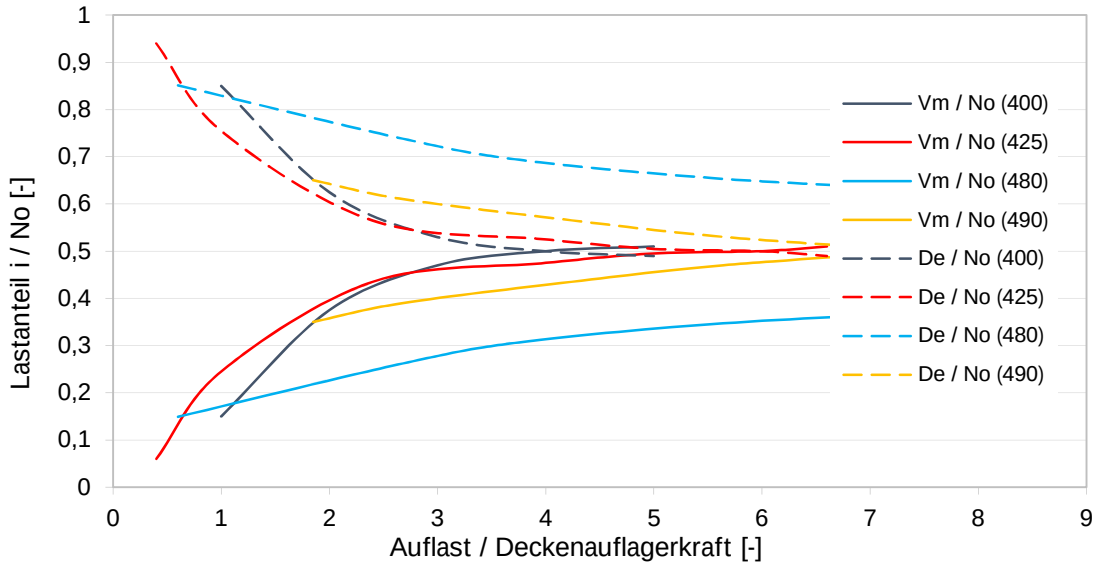


Bild 110 Aufteilung der resultierenden Normalkraft am Wandkopf für Versuche mit a/t=0,4

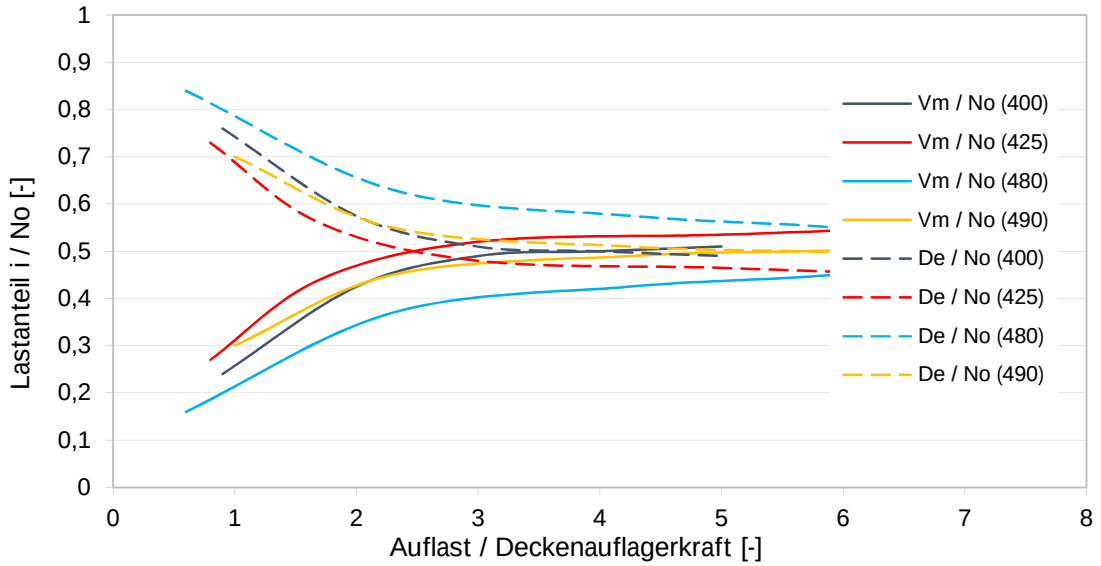


Bild 111 Aufteilung der resultierenden Normalkraft am Wandkopf für Versuche mit a/t=0,3

5.6.5. Knotenverdrehung

Während in den numerischen Parameterstudien in [48] bzw. [51] bei Deckenauflagertiefen > *t*/2 zum Teil ein Ausheben der oberen Wand (und somit eine Entlastung des Deckenabmauerungssteins) beobachtet wurde, haben die im Rahmen dieses Projektes durchgeführten numerischen Voruntersuchungen ergeben, dass es bei Systemen mit teilweise aufliegender Deckenplatte unter Belastung zu einer Verdrehung des Deckenabmauerungssteins kommt. *Baier* hatte in [41] das gleiche Verhalten beobachtet (Bild 112 b), vgl. auch Bild 34 und Bild 45).

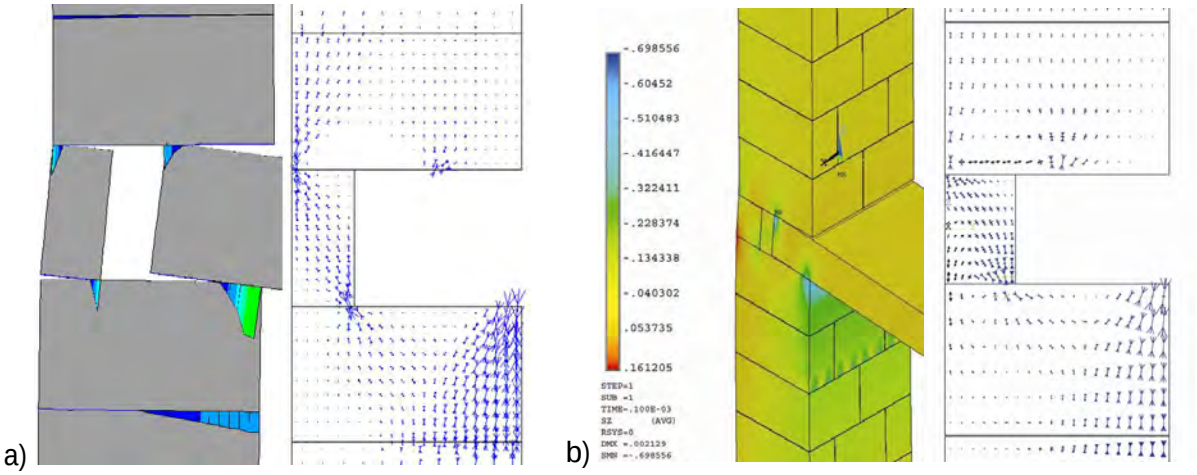


Bild 112 a) Kontaktspannungen (verformt, überhöht) und Hauptspannungsvektoren im Knotenbereich; b) Vertikalspannungen (verformtes System) und Hauptspannungsvektoren im Knotenbereich [41]

Um dieses Verhalten zu überprüfen, wurden in den experimentellen Untersuchungen auf der Wandaußenseite induktive Wegaufnehmer angebracht mit denen die Verformungen im Fugenbereich am Wandfuß der oberen Wand und am Wandkopf der unteren Wand erfasst

wurden (siehe Bild 61 b) und Messstellenplan im Anhang). In Bild 113 ist stellvertretend das Messergebnis für Versuch W400-E dargestellt. Die Messergebnisse zeigen, dass die Änderung der Deckenneigung am Wandfuß (om) eine Stauchung und am Wandkopf (mu) eine Dehnung zur Folge hatte. In Verbindung mit der Spannungsverteilung am Deckenabmauerungsstein (Bild 104) kann die in den numerischen Berechnungen auftretende Verdrehung des Deckenabmauerungssteins somit bestätigt werden.

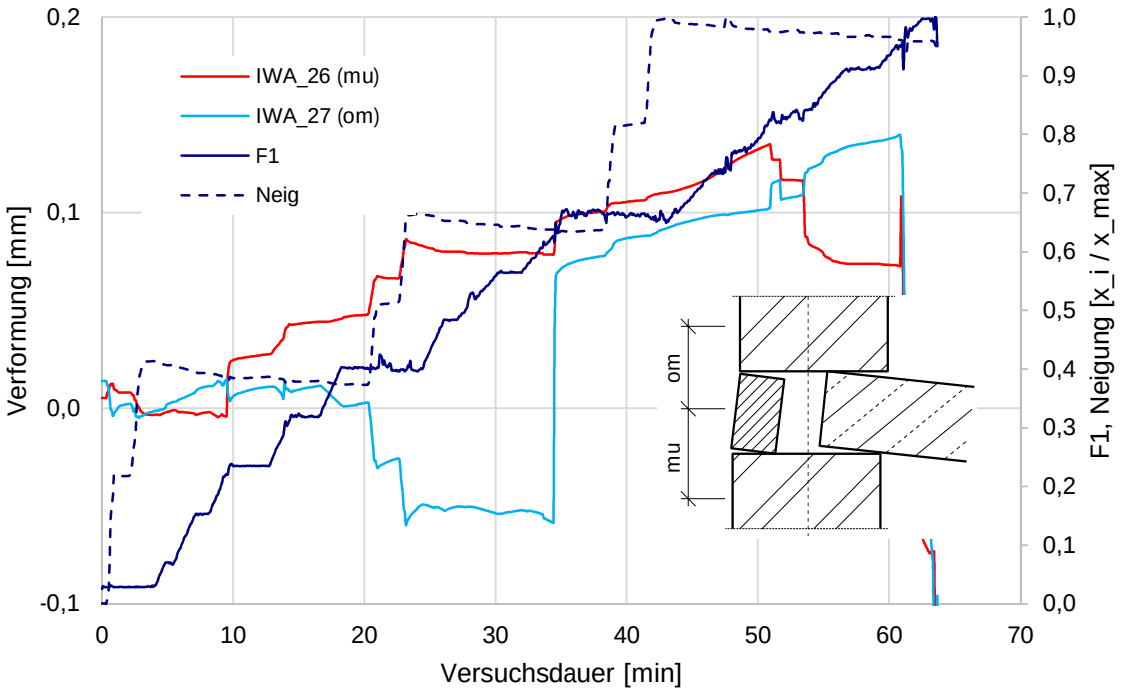


Bild 113 Vertikale Verformungen an der Wandaußenseite am Wandfuß (om) und Wandkopf (mu) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (Versuch W400-E)

6. Numerische Untersuchungen

6.1. Einführung

Zur Untermauerung und Ergänzung der experimentellen und theoretischen Untersuchungen und für weiterführende Betrachtungen wurden, basierend auf den Voruntersuchungen in Abschnitt 4.2, numerische Analysen zur Problemstellung durchgeführt.
Ein wesentliches Ziel dabei war die numerische Nachstellung der Versuche hinsichtlich der Lastspreizung sowie des Versagensvorganges an kalibrierten FE-Modellen. Des Weiteren wurden numerische Parameterstudien zur Ausweitung der Analysen auf nicht untersuchte Bereiche durchgeführt.
Die Ergebnisse der numerischen Untersuchungen bilden eine weitere wichtige Grundlage für die Entwicklung von potenziellen Ansätzen zur Nachweisführung.

6.2. Nachstellung der Versuche

6.2.1. FE-Modell

Da sich in den experimentellen Untersuchungen an den Ausschnitten des Wand-Decken-Knotens in Bezug auf die Lastverteilung zwischen Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager ähnliche Tendenzen wie in den numerischen Voruntersuchungen (4.2) ergeben hatten (und der Versuchsaufbau auf diesen Untersuchungen basiert), bildete das dafür entwickelte FE-Modell die Grundlage für die numerische Nachstellung der Versuche.
Das Ziel war zunächst die Überprüfung der experimentellen Ergebnisse mit Hauptaugenmerk auf der Lastspreizung zwischen Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager. Anschließend wurde die Analyse mittels einer Parameterstudie auf experimentell nicht untersuchte Kombinationen erweitert.
Das verwendete FE-Modell ist zweidimensional. Die Mauersteine und der Deckenabmauerungsstein wurden diskret abgebildet. Aufgrund der geringen Fugendicke bei Dünnbettmauerwerk wurde der Mörtel nicht separat modelliert sondern durch die Verwendung von Kontaktelementen in die Analysen einbezogen. Die Bitumenbahn über und unter der Deckenplatte wurde über, im Vergleich zum übrigen Mauerwerk, veränderte Kontaktoptionen (u. a. verminderte Kontaktsteifigkeit) in der Fuge zwischen Deckenplatte und Mauerstein berücksichtigt. Die Stahlbetondecke wurde gemäß den für das Lastregime getroffenen Annahmen modelliert.

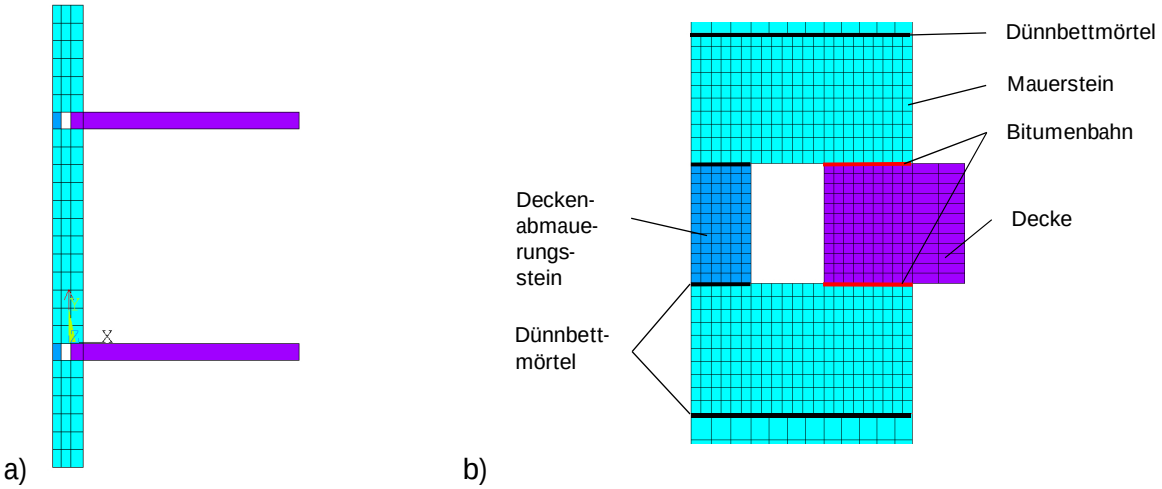


Bild 114 a) FE-Modell (a/t=0,4); b) Ausschnitt des Wand-Decken-Knotens

6.2.2. Materialkennwerte

Die Materialparameter sind entsprechend der in den versuchsbegleitenden Materialprüfungen gewonnenen Kennwerte festgelegt worden. Die Einzelsteine und die kleinen Mauerwerksprüfkörper zeigten in den experimentellen Untersuchungen dabei ein annähernd linear-elastisches Materialverhalten (siehe Ergebnisse im Anhang). Der Bruch trat dann in den meisten Fällen ohne große Vorankündigung (spröde) ein. Den Berechnungen wurde daher vereinfachend ein bilineares Materialverhalten (linear-elastisch/ideal-plastisch ohne Dehnungsbegrenzung) zugrunde gelegt (Bild 115).

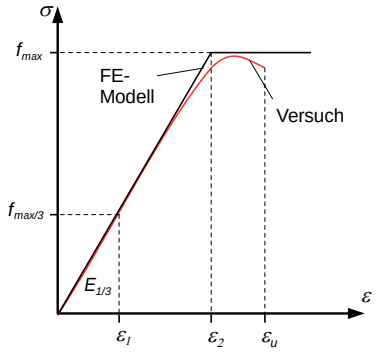


Bild 115 Idealisierte Spannungs-Dehnungs-Beziehung

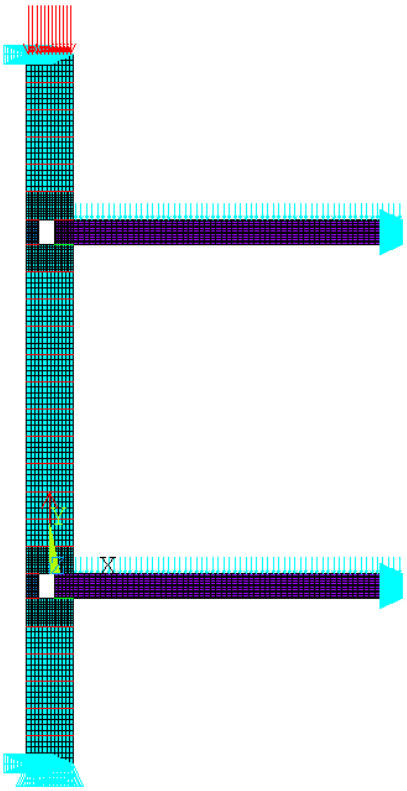
Die Deckenplatte wurde analog den Annahmen für das Belastungsregime als gerissen betrachtet. Die verminderte Steifigkeit wurde durch einen reduzierten E-Modul berücksichtigt. Tabelle 52 enthält die Zusammenstellung der Materialparameter.

Tabelle 52 Materialparameter für FE-Simulation

Komponente	Kennwert	Einheit	W400	W425	W480	W490
Stein	Druckfestigkeit	[N/mm²]	2,2	3,04	2,97	2,92
	E-Modul	[N/mm²]	930	1260	1190	2087
Deckenabmauerungsstein	Druckfestigkeit	[N/mm²]	4, 12	4,21	4,12	5,41
	E-Modul	[N/mm²]	1827	1864	1827	2826
Decke, ger.	E-Modul	[N/mm²]	15000	15000	15000	15000

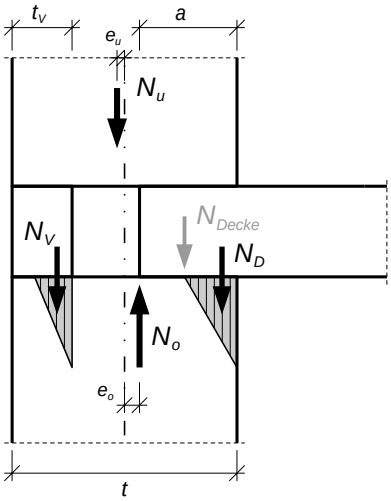
6.2.3. Belastung

Im Gegensatz zum Versuch wurde die Belastung auf der Deckenplatte nicht als Einzellast, sondern als gleichmäßig verteilte Flächenlast aufgebracht (die aus der Belastung resultierende Deckenauflagerkraft ist für beide Varianten gleich).
Die Auflast am Wandkopf des Modells wurde in den Stufen $n \cdot 25$ kN variiert während die zusätzlich zum Deckeneigengewicht wirkende Deckenbelastung jeweils zu 0 kN/m², 4,25 kN/m² und 9,25 kN/m² gewählt wurde.



a)

Wandauflast	Deckenbelastung
$n \cdot 25$ kN mit n = 0,5…15	0 kN/m² 4,25 kN/m² 9,25 kN/m²



b)

Bild 116 a) Modellierung der Belastung und der Lagerung in der numerischen Simulation; b) Schnittgrößen am WDK

6.2.4. Berechnung und Ergebnisse

Die Berechnungen wurden für alle drei Auflagertiefen in gleicher Weise durchgeführt. Dabei wurden zu jeder Laststufe die Spannungen in verschiedenen Ebenen des Systems bestimmt. Über die Integration der Spannungsverläufe entlang definierter Pfade wurden daraus die Schnittgrößen und Lastausmitten berechnet (Bild 116 b)).
Anschließend wurden die so ermittelten auf Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager entfallenden Lastanteile mit denen aus den experimentellen Untersuchungen verglichen.

6.2.4.1. Versuchsreihe W400

Exemplarisch sind in Tabelle 53 die Ergebnisse der numerischen Simulation für Serie W400-A aufgeführt.
Bild 117 (und folgende) zeigt den Vergleich der numerisch ermittelten und der experimentell bestimmten Lastspreizung. Die Berechnungsergebnisse der anderen Serien sind im Anhang zu finden.

Tabelle 53 Ergebnisse der Simulation für Versuch W400-A

n	p [kN/m²]	N_u / N_{Decke}	N_o [kN]	N_V / N_o	N_D / N_o
0,5	0	0,937	34,66	0,112	0,888
1	0	1,660	47,12	0,233	0,768
2	0	3,106	72,07	0,346	0,655
4	0	5,999	121,98	0,416	0,586
6	0	8,894	171,91	0,432	0,570
8	0	11,788	221,82	0,438	0,563
10	0	14,682	271,74	0,441	0,558
15	0	21,918	394,19	0,448	0,555
0,5	4,25	0,543	47,4	0,044	0,957
1	4,25	0,961	59,85	0,130	0,871
2	4,25	1,797	84,77	0,255	0,747
4	4,25	3,469	134,67	0,366	0,636
6	4,25	5,141	184,58	0,407	0,595
8	4,25	6,813	234,51	0,424	0,578
10	4,25	8,486	284,44	0,432	0,570
15	4,25	12,667	407,22	0,441	0,564
0,5	9,25	0,363	62,39	0,011	0,989
1	9,25	-	-	-	-
2	9,25	1,198	99,72	0,179	0,823
4	9,25	2,311	149,59	0,306	0,696
6	9,25	3,423	199,5	0,367	0,635
8	9,25	4,536	249,41	0,398	0,603
10	9,25	5,649	297,1	0,418	0,591
15	9,25	8,432	420,07	0,433	0,577

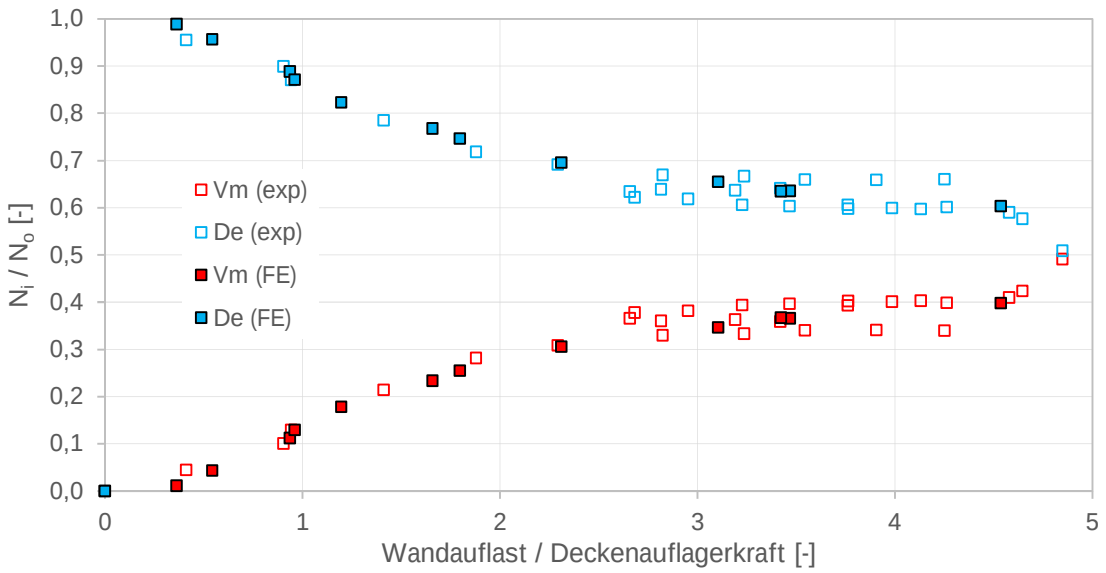


Bild 117 Vergleich der experimentell (exp) und numerisch (FE) bestimmten Lastspreizung zwischen Deckenabmauerungsstein (Vm) und Deckenauflager (De) für W400-A (a/t=0,5)

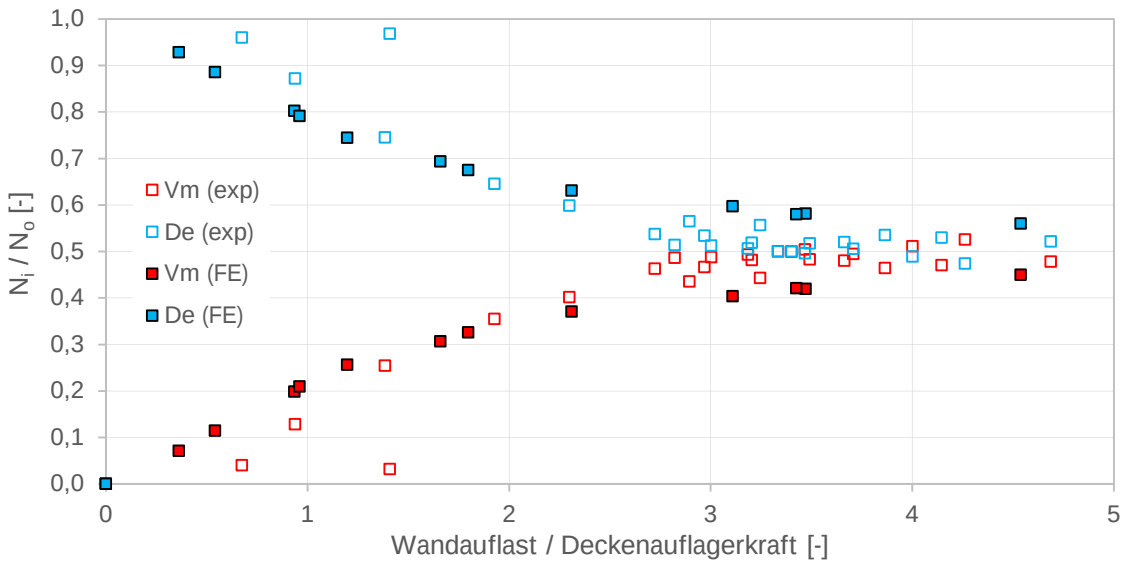


Bild 118 Vergleich der experimentell (exp) und numerisch (FE) bestimmten Lastspreizung zwischen Deckenabmauerungsstein (Vm) und Deckenauflager (De) für W400-B (a/t=0,4)

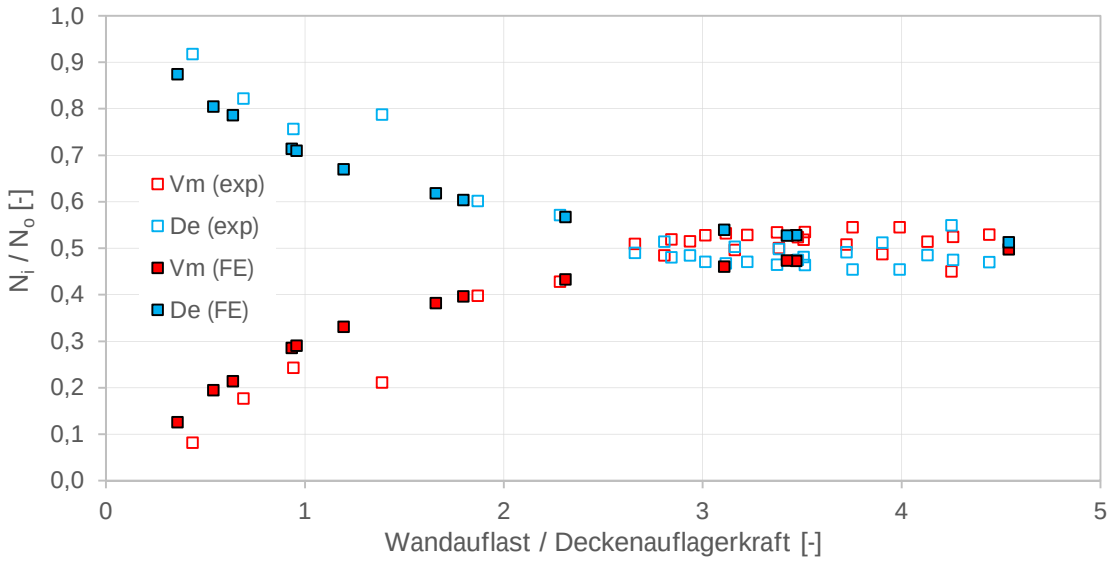


Bild 119 Vergleich der experimentell (exp) und numerisch (FE) bestimmten Lastspreizung zwischen Deckenabmauerungsstein (Vm) und Deckenauflager (De) für W400-E (a/t=0,3)

6.2.4.2. Versuchsreihe W425

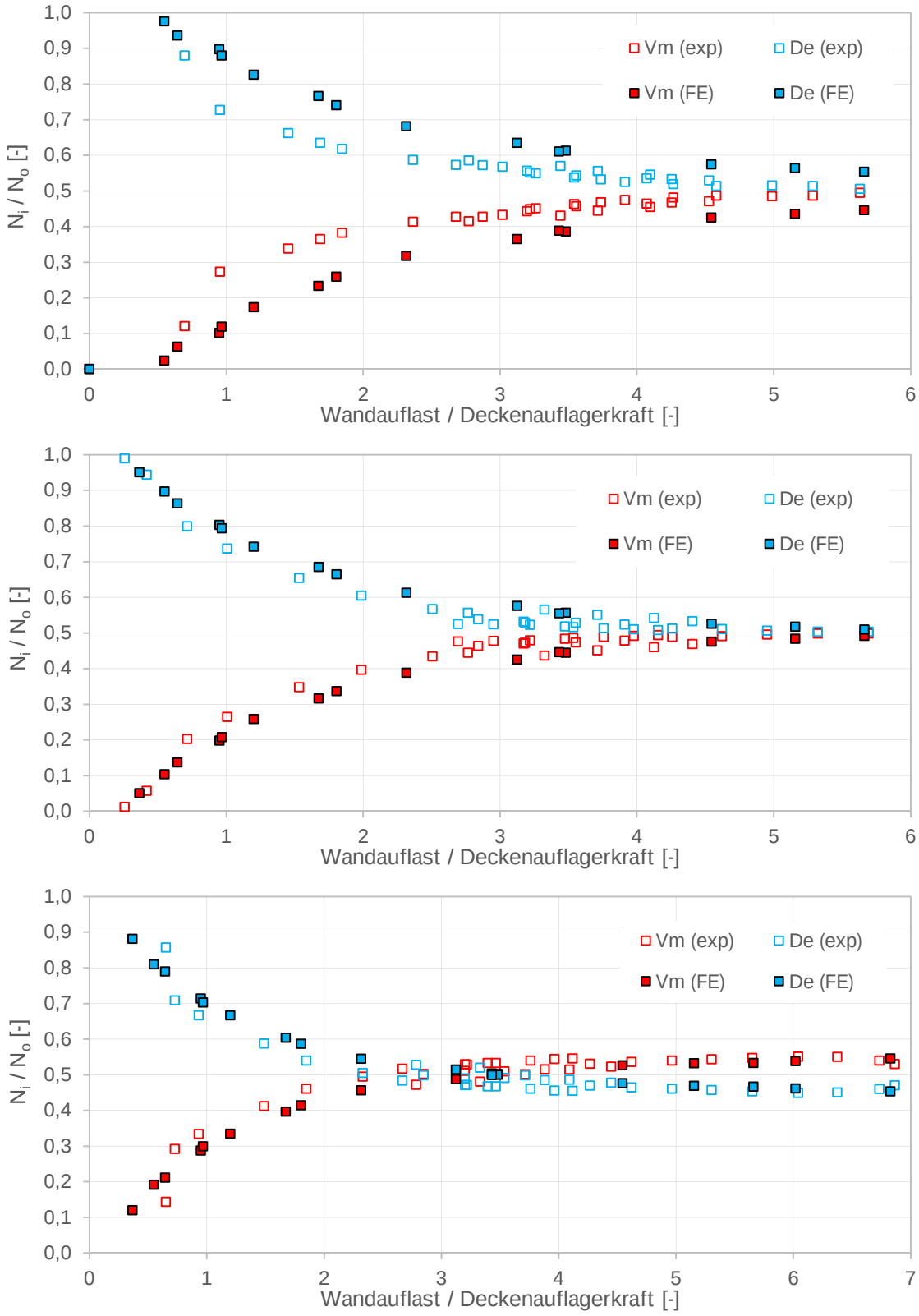


Bild 120 Vergleich der experimentell (exp) und numerisch (FE) bestimmten Lastspreizung zwischen Deckenabmauerungsstein (Vm) und Deckenauflager (De) für Serie W425; oben: a/t=0,5; Mitte: a/t=0,4; unten: a/t=0,3

6.2.4.3. Versuchsreihe W480

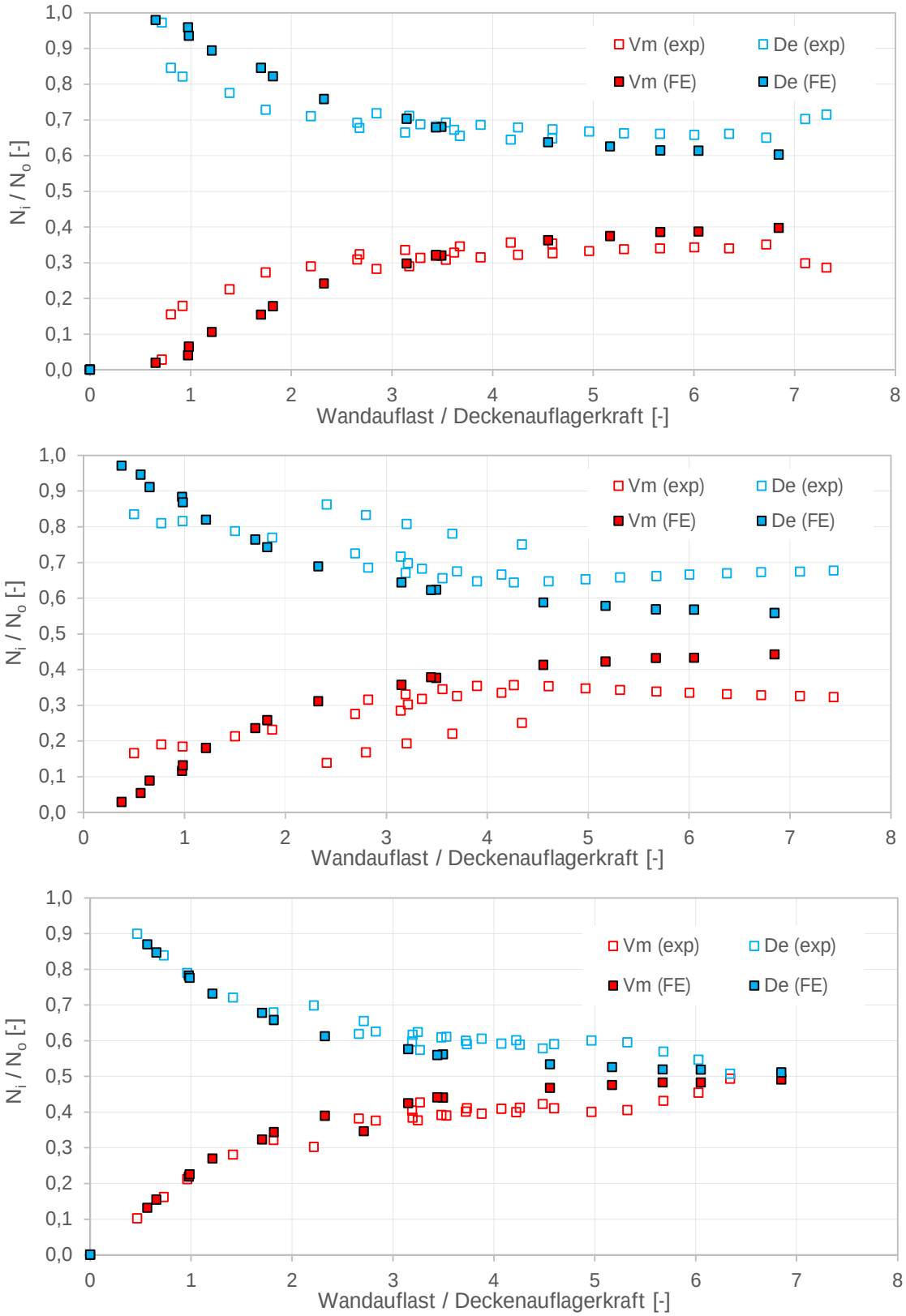


Bild 121 Vergleich der experimentell (exp) und numerisch (FE) bestimmten Lastspreizung zwischen Deckenabmauerungsstein (Vm) und Deckenauflager (De) für Serie W480; oben: a/t=0,5; Mitte: a/t=0,4; unten: a/t=0,3

6.2.4.4. Versuchsreihe W490

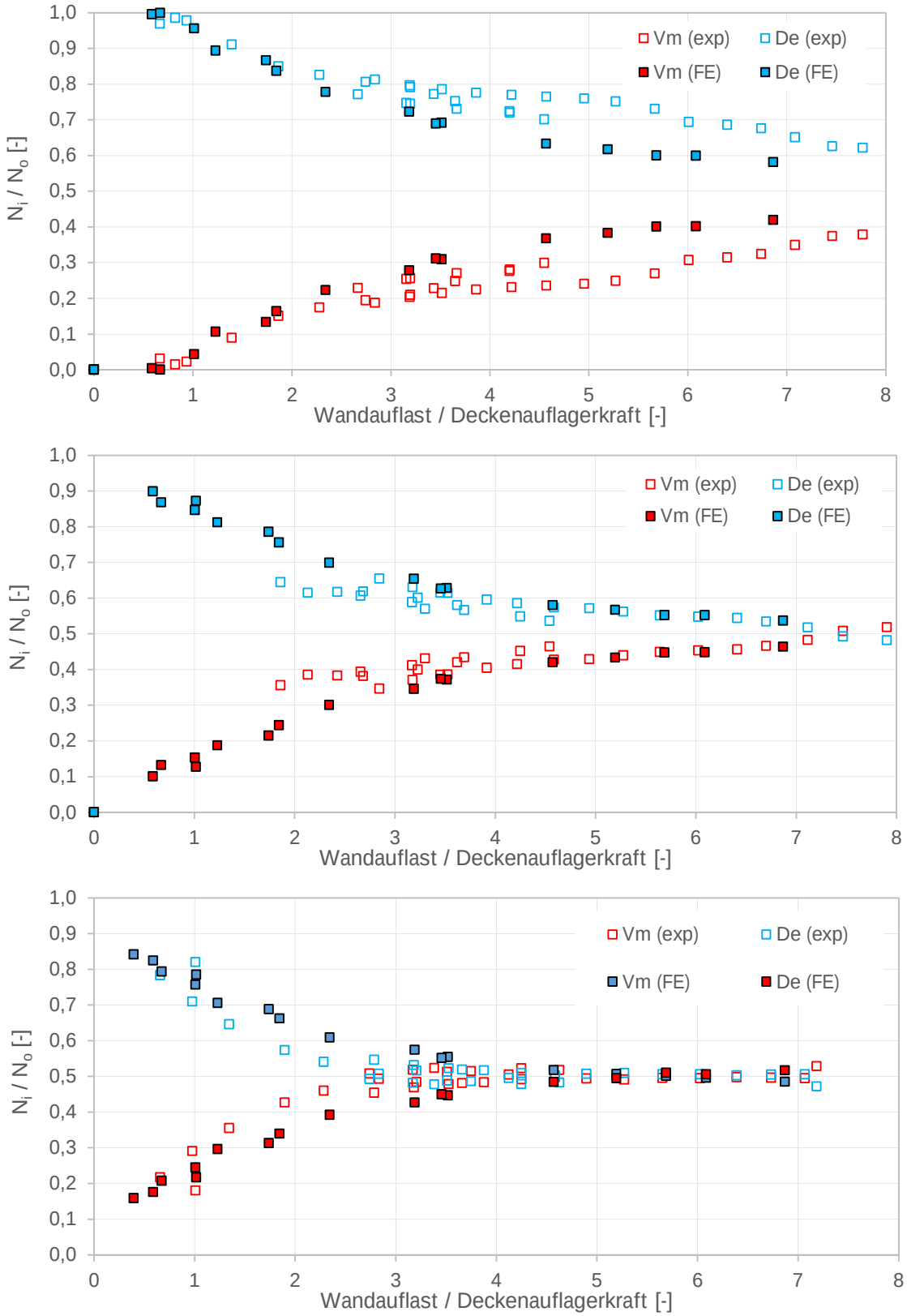


Bild 122 Vergleich der experimentell (exp) und numerisch (FE) bestimmten Lastspreizung zwischen Deckenabmauerungsstein (Vm) und Deckenauflager (De) für Serie W490; oben: a/t=0,5; Mitte: a/t=0,4; unten: a/t=0,3

6.2.5. Auswertung

Die grafischen Darstellungen der Ergebnisse zeigen insgesamt eine gute Übereinstimmung zwischen der numerisch bestimmten und der experimentell ermittelten Lastaufteilung zwischen Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager. Die Tendenzen, die auch in den Voruntersuchungen beobachtet wurden, konnten bestätigt werden.
In den numerischen Berechnungen einer Serie wurden lediglich die Auflagertiefen variiert. Alle anderen Eingangsparameter blieben unverändert. Vereinzelt auftretende Abweichungen gegenüber den experimentellen Werten resultieren aus der Versuchsdurchführung.
Aufgrund der guten Übereinstimmung hinsichtlich der Lastspreizung können die Ergebnisse der numerischen Berechnung (Lastspreizung, Schnittgrößen) als Basis für die Entwicklung eines Nachweisverfahrens benutzt werden.

6.3. Analysen zum Bruchverhalten

6.3.1. Allgemeines

Neben der in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Nachrechnung der Versuche in Bezug auf die Lastspreizung bzw. die Schnittgrößen am Wand-Decken-Knoten (WDK) wurde in ergänzenden numerischen Untersuchungen das Bruchverhalten qualitativ analysiert. Weil die Modellierung des tatsächlichen Bruchverhaltens des WDK aufgrund der zahlreichen Einflussparameter, der komplexen Materialcharakteristiken des Hybridwerkstoffs Mauerwerk und der hochgradig nichtlinearen Problemstellung unter Nutzung kommerzieller Software-Lösungen nicht möglich ist (keine zutreffenden Materialmodelle für Mauerwerk), wurden einige Vereinfachungen getroffen. Zur Abschätzung des Versagensverhaltens wurde dabei auf das in ANSYS enthaltene zweiparametrige Materialmodell (Anzahl der Parameter zur Beschreibung der Fließfläche) nach Drucker-Prager (DP) zurückgegriffen.
Von den experimentell untersuchten Materialkombinationen wurden für die numerischen Betrachtungen die Serien W400 und W490 ausgewählt. Für die anderen kann prinzipiell analog vorgegangen werden.

6.3.2. Modellierung

Für die Analysen wurde das bestehende zweidimensionale numerische Modell (siehe Bild 116) entsprechend der Darstellung in Bild 123 reduziert. Unter dem betrachteten WDK schließt sich eine geschosshohe Wand an, deren Wandfuß vertikal und horizontal unverschieblich gehalten ist. Oberhalb des WDK ist ein zusätzliches Wandstück (halbe Geschosshöhe) angeordnet. Die Einzelsteine wurden mittels Flächenelementen modelliert, während die Mörteleigenschaften sowie die Trennlage (Bitumenbahn) unter und über der Deckenplatte über Kontaktelemente abgebildet wurden.

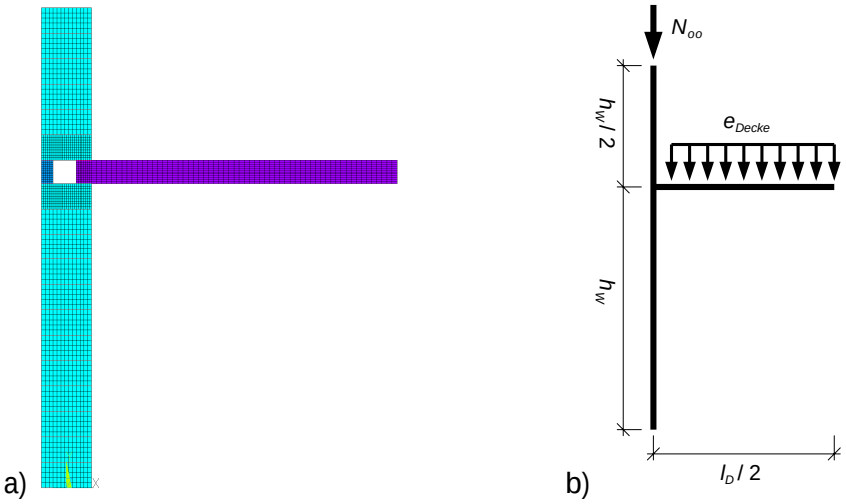


Bild 123 a) 2D-FE-Modell für die Analyse des Bruchverhaltens; b) Lasten am System

6.3.3. Materialmodell

Aufgrund des in den experimentellen Untersuchungen beobachteten Materialverhaltens (geringe Zugfestigkeit, ausgeprägtes linear-elastisches Verhalten unter Druck) und den oben angesprochenen Vereinfachungen wurde für die Modellierung der Mauersteine das in ANSYS enthaltene Materialmodell nach Drucker-Prager gewählt. Das Materialmodell beruht auf einer isotropen elasto-plastischen Fließfunktion mit nicht assoziierter Fließregel ohne Verfestigung (linear-elastisches/ideal plastisches Materialverhalten) und wurde ursprünglich für die Beschreibung der plastischen Verformungen von Böden entwickelt.
Als Eingangsparameter wurden die aus den versuchsbegleitenden Materialprüfungen der ausgewählten Materialkombinationen gewonnenen Kennwerte benutzt. Mittels der numerischen Nachrechnung der Materialversuche wurden unter Nutzung der experimentell bestimmten Versuchsergebnisse die Eingabegrößen C_1 und C_2 für das Drucker-Prager Modell kalibriert.

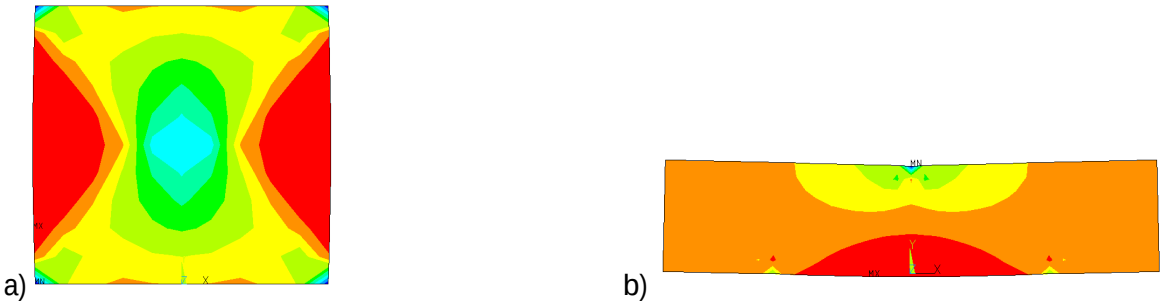


Bild 124 Ermittlung der Eingabgegrößen; a) Modell eines Druckversuchs; b) Modell eines 3-Punkt-Biegeversuchs

Die Kalibrierung erfolgte anhand der in den Materialversuchen erreichten Bruchkraft (3-Punkt-Biegeversuch am Prisma 40x40x160 mm³) bzw. -festigkeit (Druckversuch am Prisma 100x100x100 mm³). Dafür wurden unabhängig von der Prüfrichtung jeweils die kleinsten im

Versuch ermittelten Einzelwerte angenommen. Tabelle 54 enthält für die beiden gewählten Materialkombinationen die Eingangsparameter für die numerischen Berechnungen.

Tabelle 54 Eingangsparameter für numerische Berechnungen

Kennwert	Einheit	Serie W400	Serie W490
Bruchkraft Biegezugversuch $F_{Bruch,BZ}$	kN	0,206	0,391
Biegezugfestigkeit $f_{Bruch,BZ}$	N/mm²	0,48	0,89
Bruchkraft Druckversuch $F_{Bruch,DF}$	kN	12,8	21,2
Druckfestigkeit $f_{Bruch,DF}$	N/mm²	1,28	2,12
Poissonzahl ν	-	0,25	0,25
E-Modul E	N/mm²	930	1730

Tabelle 55 enthält die Beiwerte C_1 und C_2 für das Modell nach Drucker-Prager (DP) sowie die zugehörigen Materialfestigkeiten im Modell.

Tabelle 55 Eingangsparameter und Materialfestigkeiten für Drucker-Prager Modell

Parameter	Einheit	Serie W400	Serie W490
C_1	-	50,15	48,7
C_2	-	0,2	0,365
Druckfestigkeit im DP Modell $\sigma_{c,DP}$	N/mm²	1,10	1,94
einaxiale Zugfestigkeit im DP Modell $\sigma_{t,DP}$	N/mm²	0,20	0,38

6.3.4. Ergebnisse

Die Belastung erfolgte, wie in Bild 123 b) dargestellt, analog zu den vorhergehenden Berechnungen an der Modelloberkante (Wandauflast N_{oo}) und auf der Deckenplatte, wobei die Deckenbelastung e_{Decke} zunächst der im Versuch aufgebrachten Belastung (äquivalent 9,25 kN/m²) entsprach.
Um die maximale vom System aufnehmbare Auflast zu bestimmen, wurde die Wandauflast bei konstanter Deckenbelastung solange gesteigert, bis die Berechnung nicht mehr konvergierte. Die so ermittelten Werte wurden anschließend mit den experimentell bestimmten Auflasten verglichen.
Der Vergleich der numerisch ermittelten maximal aufnehmbaren Auflast mit der experimentell bestimmten Auflast zeigt unter Berücksichtigung der natürlichen Streuung der Materialeigenschaften tendenziell eine gute Übereinstimmung der Werte (Bild 125, Bild 126).
Aufgrund der Vielzahl der Einflussparameter und der getroffenen Annahmen (u. a. Modellgrenzen und Modellierungsansätze) können diese Ergebnisse jedoch nur für qualitative Betrachtungen (Tendenzen) benutzt werden. Um für eine derartige Bewertung eine größere Datenbasis zur Verfügung zu haben, wurden an den kalibrierten Modellen weitere Untersuchungen mit einem erweiterten Parameterbereich durchgeführt (Tabelle 56).

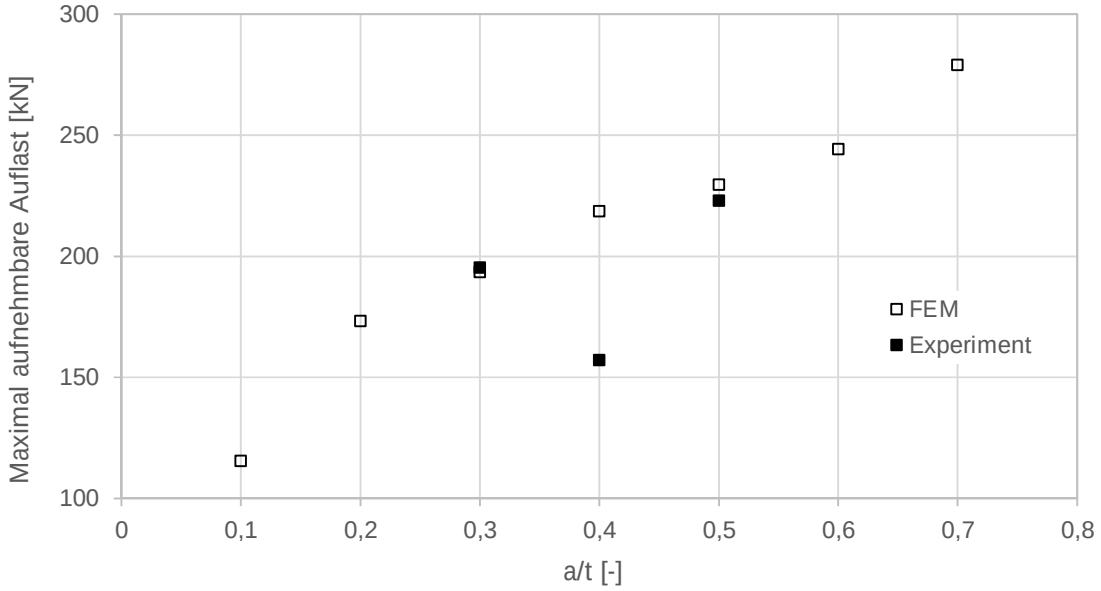


Bild 125 Vergleich der maximal aufnehmbaren Auflast aus FE-Berechnung mit experimentell bestimmten Werten (Serie W400)

Der Versuch mit a/t=0,4 fällt in Bild 125 aus der allgemeinen Tendenz heraus. Die Ursachen dafür waren wegen der geringen Versuchsanzahl nicht zu klären. Die Werte für a/t = 0,3 und a/t = 0,5 stimmen gut überein.

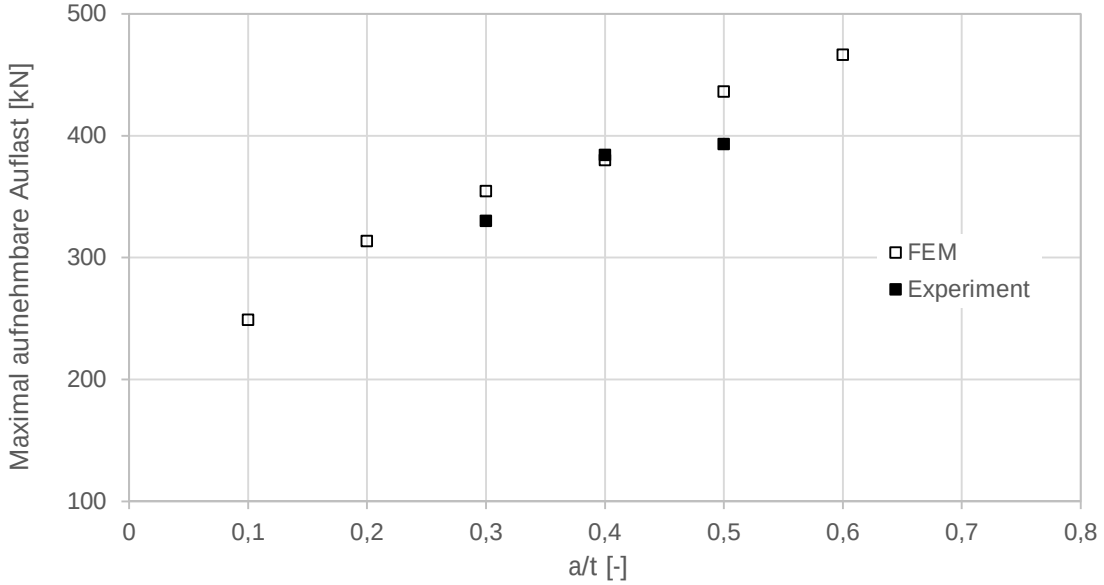


Bild 126 Vergleich der maximal aufnehmbaren Auflast aus FE-Berechnung mit experimentell bestimmten Werten (Serie W490)

Numerische und experimentelle Werte stimmen Bild 126 sehr gut überein.

Tabelle 56 Parameterbereich

Wanddicke *t*:	0,40 m / 0,49 m
Auflagertiefe *a*:	0,2·t / 0,3·*t* / 0,4·*t* / 0,5·*t* / 0,6·*t*
Breite t_V / Höhe h_V Deckenabmauerungsstein	11,5 cm / 25 cm
veränderliche Deckenbelastung:	0 / 2,5 / 5 / 7,5 / 10 kN/m²
Wandhöhe h_W:	3,00 m
Deckenspannweite l_D:	4,00 / 5,00 / 6,00 m
Deckendicke *d*:	0,20 / 0,22 / 0,23 m
E-Modul Deckenplatte (gerissen)	15000 N/mm²

Bild 127 zeigt die numerisch ermittelte maximal aufnehmbare Auflast in Abhängigkeit des Verhältnisses aus Auflagertiefe zu Wanddicke für verschiedene Deckenlastfälle und die experimentell bestimmten Werte. Erwartungsgemäß ergeben sich bei größerer Deckenbelastung geringere aufnehmbare Auflasten am Wandkopf. Der Einfluss der Belastung nimmt dabei mit größer werdender Auflagertiefe zu. Es ist weiterhin ersichtlich, dass die vom System aufnehmbare Auflast mit steigender Deckenauflagertiefe zunimmt. Der Versuch mit a/t = 0,4 weicht erheblich von den Simulationsergebnissen ab.

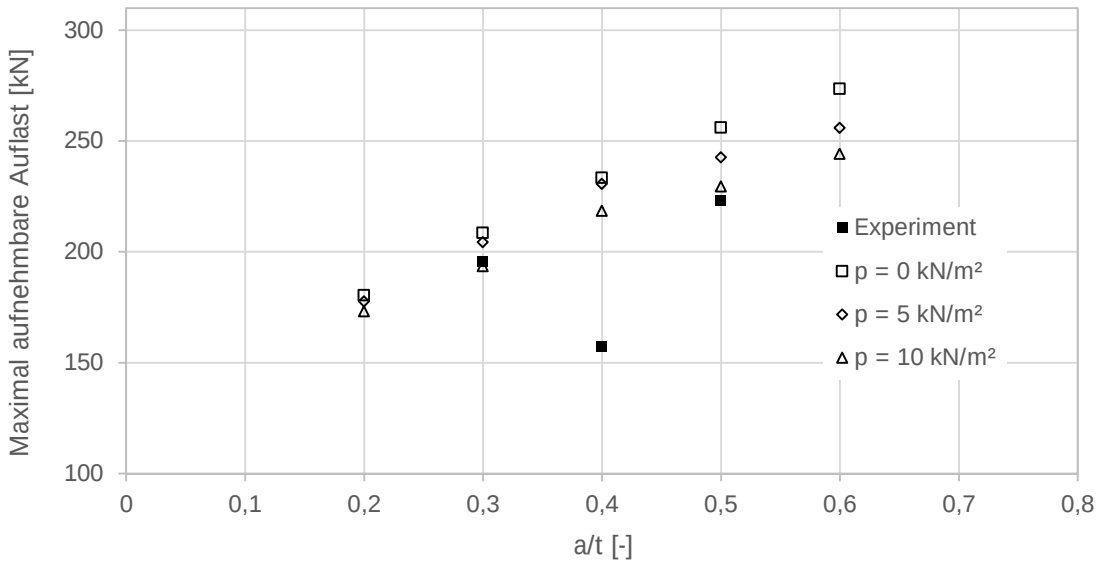


Bild 127 Vergleich der maximal aufnehmbaren Auflast aus FE-Berechnung mit experimentell bestimmten Werten (Serie W400) für Deckenlänge 6,00 m

In Bild 128 wird bei gleichbleibender Deckenbelastung die Länge der Decke variiert. Wie zu erwarten, nehmen die aufnehmbaren Auflasten mit zunehmender Auflagertiefe zu. Aufgrund des Versagensprozesses (Bruch am Deckenabmauerungsstein, siehe auch Abschnitt 6.3.5) besitzt die Länge der Deckenplatte nur einen geringen Einfluss auf die aufnehmbare Auflast. Für die nicht dargestellten Materialkombinationen ergaben sich prinzipiell vergleichbare Tendenzen. Der Versuch mit a/t = 0,4 weicht erheblich vom Simulationsergebnis ab.

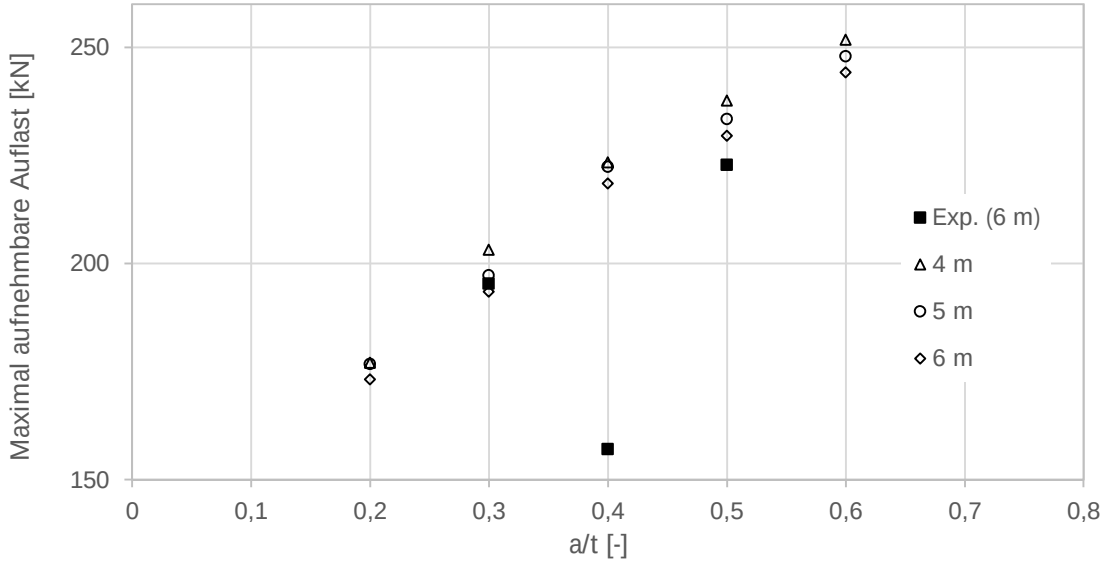


Bild 128 Vergleich der maximal aufnehmbaren Auflast aus FE-Berechnung mit experimentell bestimmten Werten (Serie W400) für Deckenbelastung 10 kN/m²

In Bezug auf die Schnittgrößen und die Lastspreizung zwischen Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager ergaben sich im Vergleich zur in Abschnitt 6.2 beschriebenen Modellierung nur marginale Unterschiede (Bild 129).

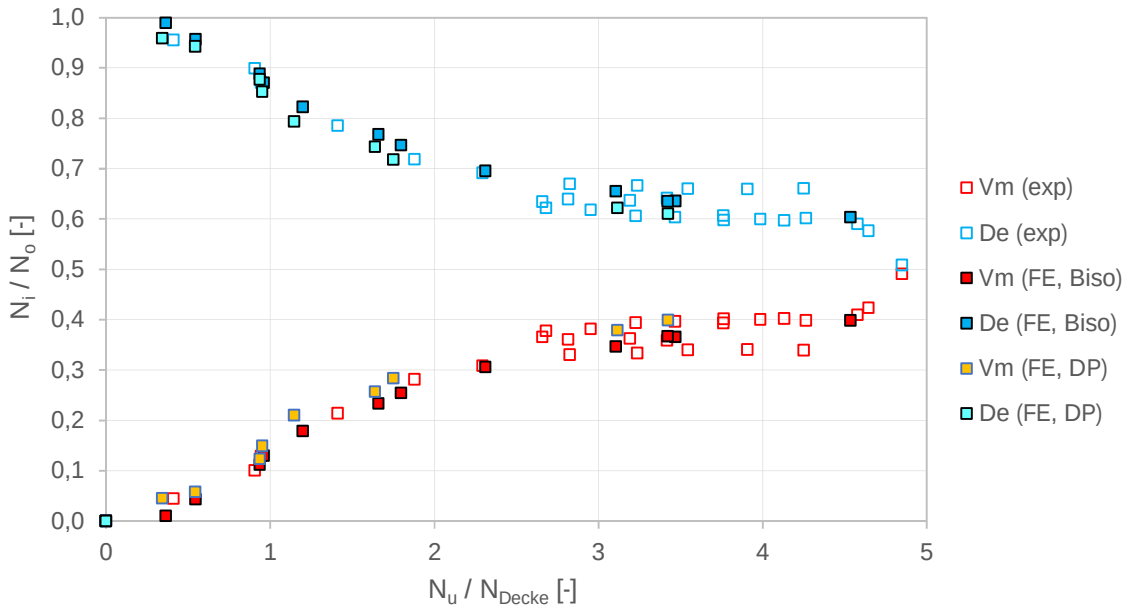


Bild 129 Anteil des Deckenabmauerungssteins (Vm) und Deckenauflagers (De) an der resultierenden Normalkraft (No) am Wandkopf in Abhängigkeit des Verhältnisses aus Wandauflast und Deckenauflagerkraft; Vergleich FEM und Experiment für Versuch W400-A (a/t=0,5)

6.3.5. Versagensprozess / Rissentwicklung

In Bild 130 ist das Bruchbild des Versuchskörpers W400-E zwei Ergebnisplots aus der zugehörigen numerischen Berechnung gegenübergestellt. Wie aus der Darstellung hervorgeht, entspricht das abgeschlossene Rissbild im Experiment in etwa den dargestellten plastischen Dehnungen in der numerischen Simulation.

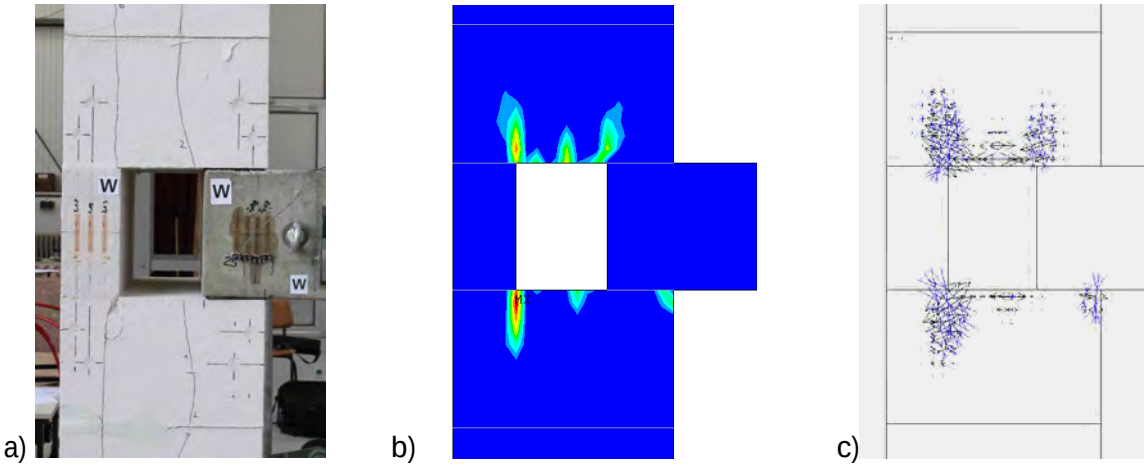


Bild 130 a) Ausschnitt W400-E (a/t=0,3) nach Bruch; b) Plastische Dehnungen im FE-Modell im letzten berechneten Lastschritt; c) Vektorplot von Darstellung b)

Bild 131 zeigt den Vergleich für Versuch W490-C (*a*/*t* = 0,3). Auch hier zeigt sich eine gute Übereinstimmung.

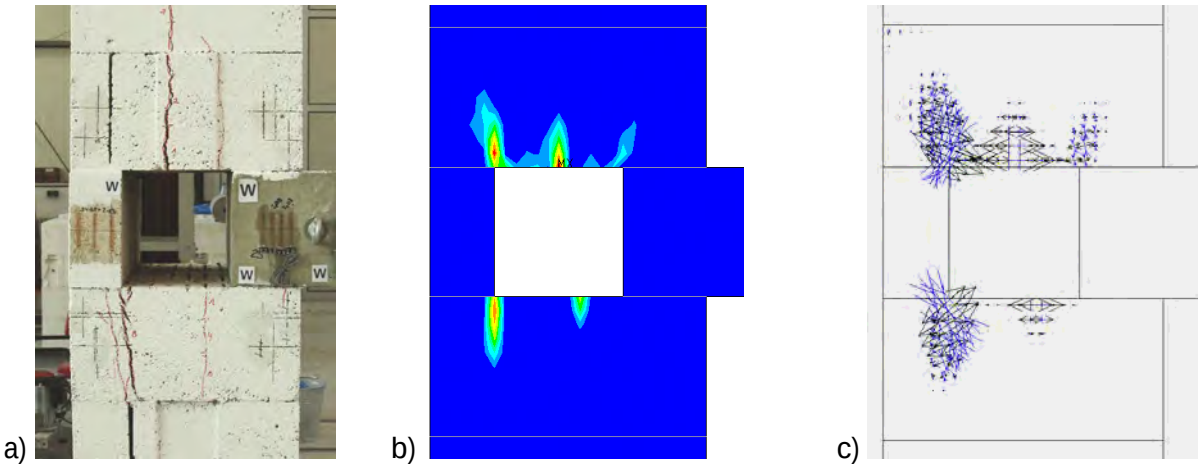


Bild 131 a) Ausschnitt W490-C (a/t=0,3) nach Bruch; b) Plastische Dehnungen im FE-Modell im letzten berechneten Lastschritt; c) Vektorplot von Darstellung b)

In Bild 132 sind für den Versuch W400-A (*a*/*t* = 0,5) die plastischen Dehnungen in Abhängigkeit der Auflast und das Bild des Prüfkörpers nach dem Versuch dargestellt. Das Auftreten der plastischen Dehnungen kann dabei in Bezug auf die lokale Ausbildung mit der Rissentstehung im Versuch verglichen werden. Unterschiede resultieren aus der Art der Lastaufbringung (stufenweise Erhöhung der Deckenauflast). Wie im Versuch trat auch in der numerischen Simulation das Versagen im Bereich des Deckenabmauerungssteins auf.

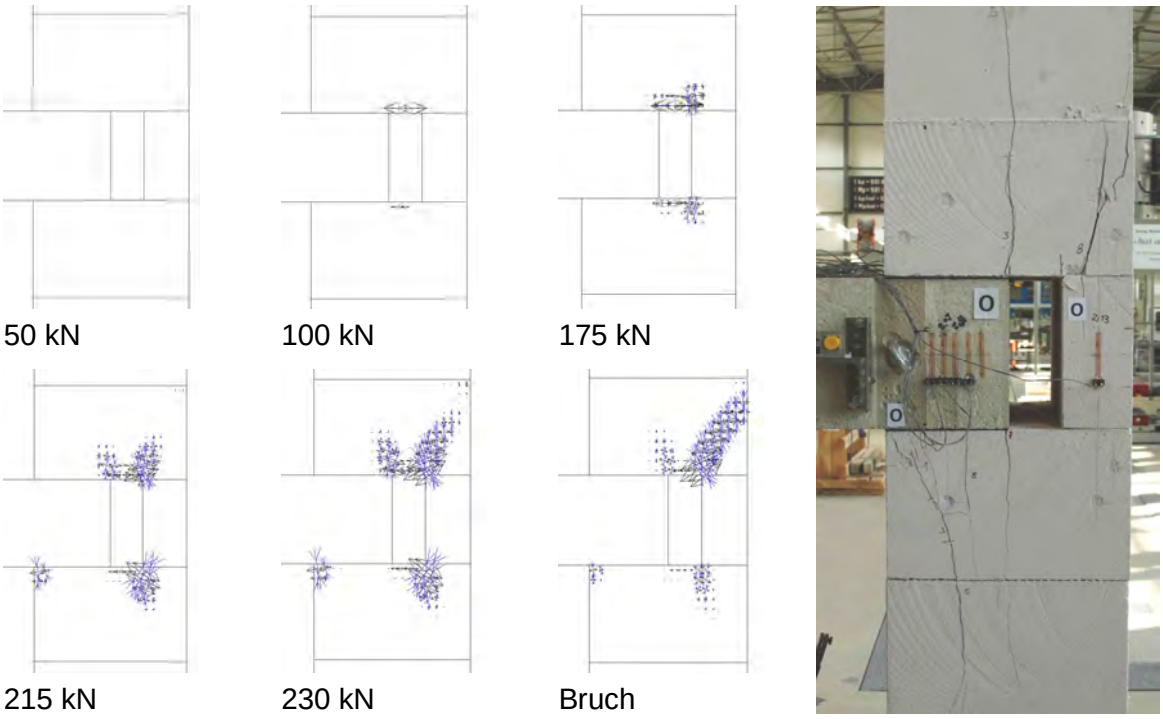


Bild 132 W400-A; Plastische Dehnungen unter steigender Auflast; Prüfkörper nach Versuchsdurchführung

6.3.6. Zusammenfassung

Das Hauptaugenmerk der hier durchgeführten Simulationen lag auf der qualitativen Analyse des Bruchverhaltens des Wand-Decken-Knotens zweier ausgewählter Materialkombinationen an zweidimensionalen, an den Ergebnissen der versuchsbegleitenden Materialprüfungen kalibrierten, FE-Modellen.
Unter Berücksichtigung der getroffenen Annahmen und Vereinfachungen konnten mit den numerischen Untersuchungen dabei im Hinblick auf die erreichten Bruchlasten, den Versagensprozess sowie die Schnittgrößen- bzw. Lastverteilung am Knoten im Wesentlichen die experimentellen Ergebnisse bestätigt werden.
Für die anderen Materialien kann prinzipiell analog verfahren werden. Es ist zu erwarten, dass sich dabei vergleichbare Ergebnisse einstellen werden.

6.4. Numerische Parameteruntersuchungen

6.4.1. Allgemeines

Aufgrund der guten Übereinstimmung können an den Modellen weitere Untersuchungen durchgeführt werden. Mit einer numerischen Parameterstudie wurde die Analyse auf nicht durch die experimentellen Untersuchungen abgedeckte Bereiche erweitert. Neben einer Änderung der Wandhöhe wurde dabei auch der Einfluss einer kürzeren Deckenspannweite, eine höhere Biegesteifigkeit der Decke sowie die Auswirkungen von zusätzlichen horizontalen Beanspruchungen aus Windbelastung berücksichtigt.

Analysiert wurde der Einfluss der jeweiligen Parameter auf die Lastspreizung bzw. die Schnittgrößen am Wand-Decken-Knoten. Abschnitt 6.4.2 enthält einen Auszug der Berechnungsergebnisse.
Die Untersuchungen wurden für eine Wandstärke durchgeführt (t = 0,4 m). Für alle anderen Kombinationen kann analog verfahren werden. Es ist davon auszugehen, dass sich vergleichbare Tendenzen ergeben werden. Tabelle 57 enthält die Eingangsparameter und den jeweiligen Variationsbereich. Alle weiteren Eingangswerte und Informationen zum Berechnungsablauf können Abschnitt 6.2 entnommen werden. Die Ergebnisse der Berechnung sind im Anhang aufgeführt.

Tabelle 57 Eingangsparameter und Variation

Kennwert	Einheit	Bereich
Wanddicke	m	0,4
Auflagertiefe / Wanddicke	-	0,3 / 0,4 / 0,5
E-Modul Deckenplatte	N/mm²	15000 / 30000
Deckenlänge	m	4,00 / 6,00
Wandhöhe	m	2,75 / 3,25
Windbelastung (Sog, kein Wind, Druck)	kN/m²	-1,35 / 0 / +1,35

6.4.2. Ergebnisse

6.4.2.1. Einfluss der Wandhöhe

Eine Änderung der Wandhöhe hat eine veränderte Schlankheit der Wand und damit eine Änderung der Wandverformung zur Folge. Des Weiteren bietet eine höhere Wand horizontalen Belastungen infolge Wind eine größere Angriffsfläche. In den numerischen Parameteruntersuchungen ergaben sich für die Berechnungen mit unterschiedlicher Wandhöhe nur geringe Differenzen. Im Allgemeinen konnte dabei beobachtet werden, dass der vom Deckenabmauerungsstein übertragene Lastanteil bei größerer Wandhöhe minimal zunahm.

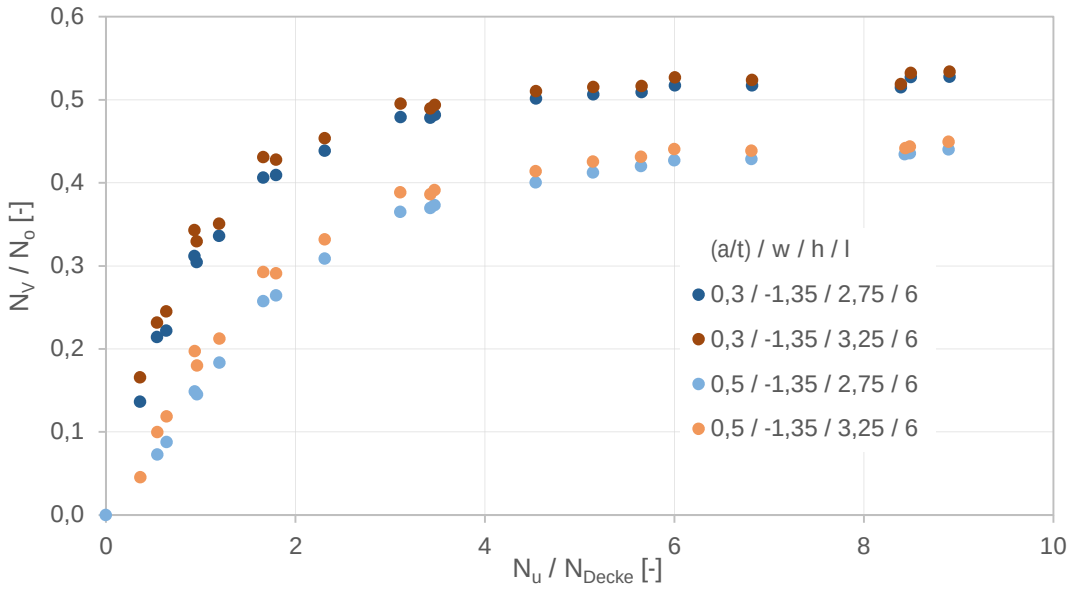


Bild 133 Ergebnisse numerische Parameterstudie: Lastanteil Deckenabmauerungsstein in Abhängigkeit von N_u/N_{Decke} für verschiedene Parameterkombinationen (Wandhöhe)

6.4.2.2. Horizontale Belastungen

Der Einfluss der horizontalen Belastung ist abhängig von der Windrichtung. Durch eine zusätzliche Belastung in Form von Windsog nimmt der vom Deckenabmauerungsstein übertragene Lastanteil N_V zu. Bei Winddruck erfolgt eine geringe Entlastung.

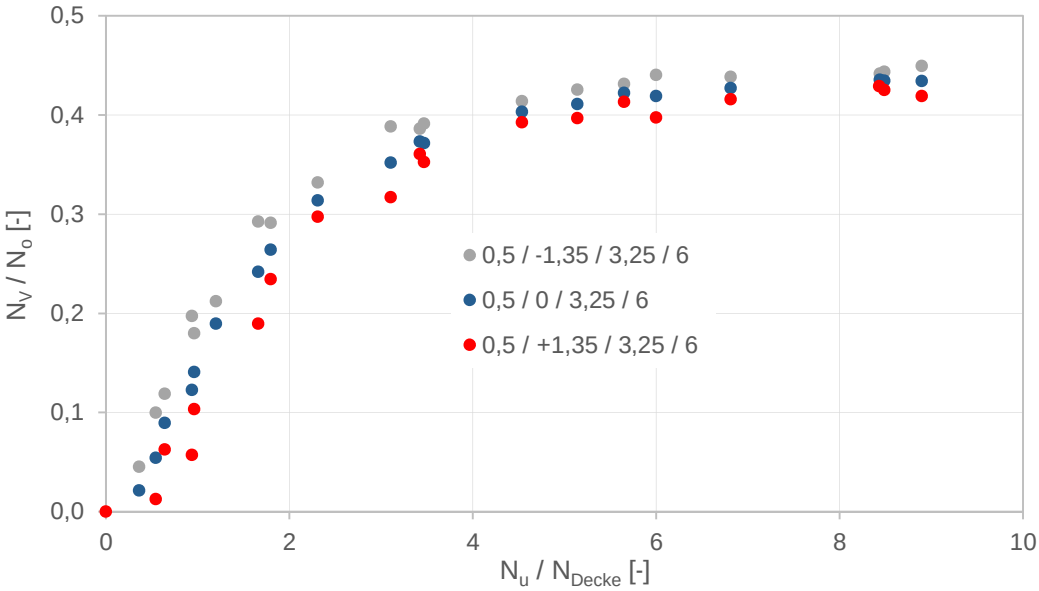


Bild 134 Ergebnisse numerische Parameterstudie: Lastanteil Deckenabmauerungsstein in Abhängigkeit von N_u/N_{Decke} für verschiedene Parameterkombinationen (Wind)

6.4.2.3. Deckenlänge

Die Deckenlänge war in den bisherigen Betrachtungen stets mit 6 m berücksichtigt. Für eine kürzere Decke ergibt sich bei gleicher Belastung eine geringere Deckenauflagerkraft und eine geringere Durchbiegung wodurch sich für den Wandkopf eine günstigere Belastungssituation einstellt. Infolge der geänderten Durchbiegung und Länge nimmt der vom Deckenauflager übertragene Lastanteil ab während der vom Deckenabmauerungsstein übertragene Lastanteil zunimmt. Im höheren Auflastbereich findet dann wieder ein Angleichen der Werte statt.
Eine Erhöhung des auf den Deckenabmauerungsstein entfallenden Lastanteils bedeutet dabei nicht zwangsläufig, dass der Bruch dann auch früher eintritt (Versagen im Experiment stets im Bereich des Deckenabmauerungssteines, siehe Abschnitt 5). Dafür sind die Schnittgrößen (insbesondere die Lastausmitten) zu berücksichtigen. Durch die geringere Beanspruchung des Auflagers bei kürzerer Deckenlänge ergibt sich auch am Deckenabmauerungsstein eine günstigere Belastungssituation (geringere Lastausmitte, siehe dazu Abschnitt 7.6).

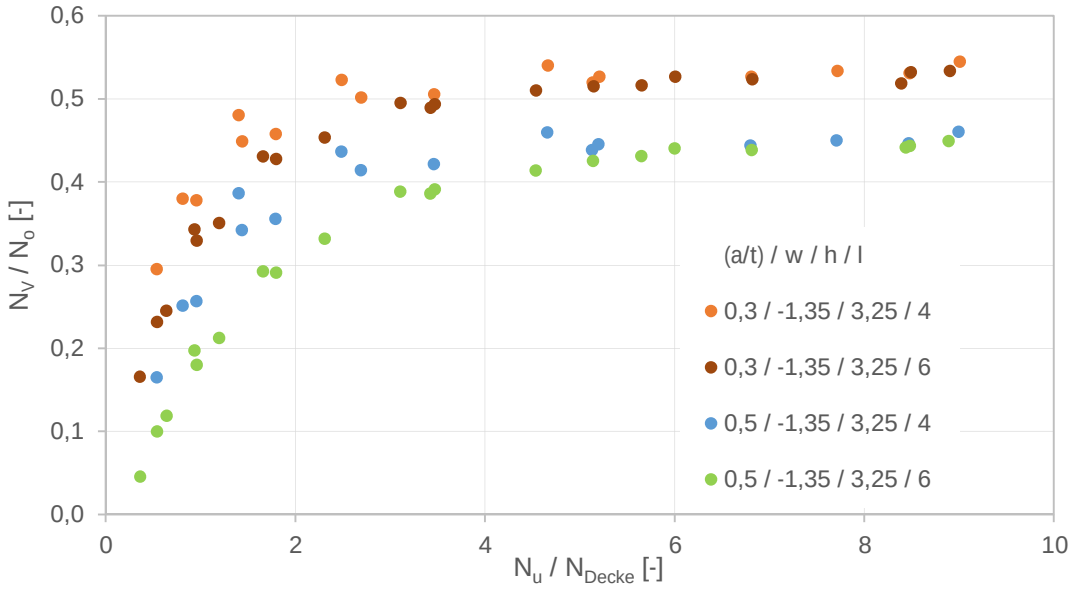


Bild 135 Ergebnisse numerische Parameterstudie: Lastanteil Deckenabmauerungsstein in Abhängigkeit von N_u/N_{Decke} für verschiedene Parameterkombinationen (Länge)

6.4.2.4. Biegesteifigkeit der Deckenplatte

In den bisherigen numerischen Analysen und den experimentellen Untersuchungen wurde angenommen, dass sich die aufliegende Deckenplatte im Zustand II befindet (gerissen). Dieser Umstand wurde durch eine verminderte Biegesteifigkeit (E-Modul 15000 N/mm²) berücksichtigt. Damit ergibt sich für den Wandkopf eine äußerst ungünstige Beanspruchung (größere Durchbiegung). Ein höherer E-Modul hat eine höhere Biegesteifigkeit und damit eine geringere Durchbiegung zur Folge. Daraus ergibt sich eine günstigere Beanspruchung für das Deckenauflager (und somit auch für den Deckenabmauerungsstein).

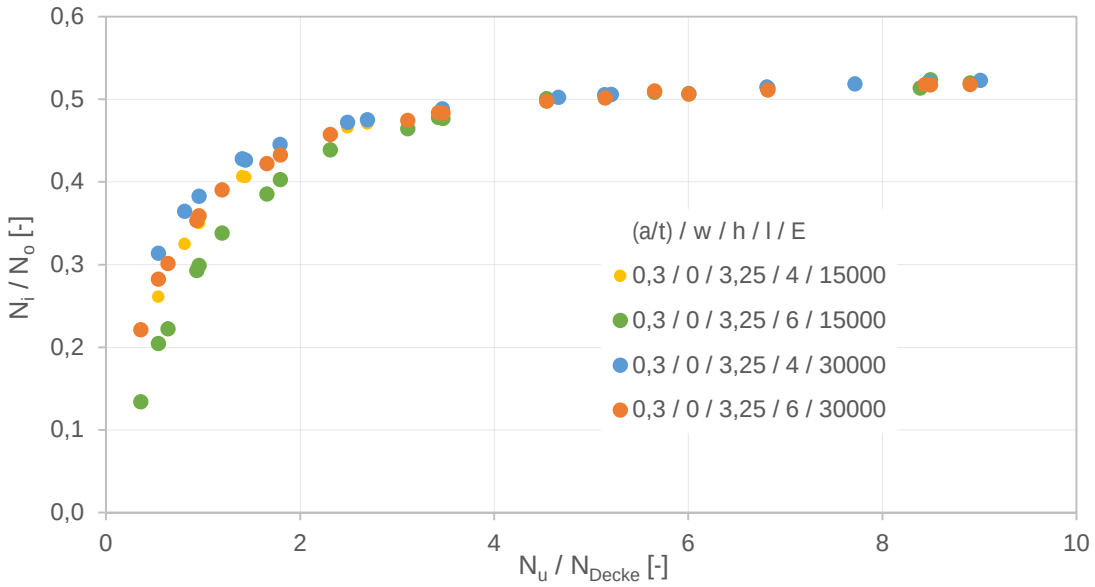


Bild 136 Ergebnisse numerische Parameterstudie: Lastanteil Deckenabmauerungsstein in Abhängigkeit von N_u/N_{Decke} für verschiedene Parameterkombinationen (E-Modul Decke)

6.4.3. Zusammenfassung

Mit Hilfe der numerischen Parameteruntersuchung können auch die Bereiche abgedeckt werden, die experimentell nicht untersucht wurden. Da für die Versuche (und somit auch für die numerische Nachstellung) eine möglichst ungünstige Belastungssituation geschaffen wurde, ergaben sich für die zusätzlich berücksichtigten Parameter im Allgemeinen günstigere Belastungssituationen.

7. Ansätze zur Nachweisführung

7.1. Einführung

7.1.1. Allgemeines

Beim Nachweis von überwiegend druckbeanspruchten Mauerwerksbauteilen werden alle tragfähigkeitsmindernden Einflüsse (zum Beispiel aus exzentrischen Laststellungen oder aus Theorie 2. Ordnung) über einen Abminderungsfaktor Φ berücksichtigt.

$$N_E \leq \Phi \cdot N_R \tag{20}$$

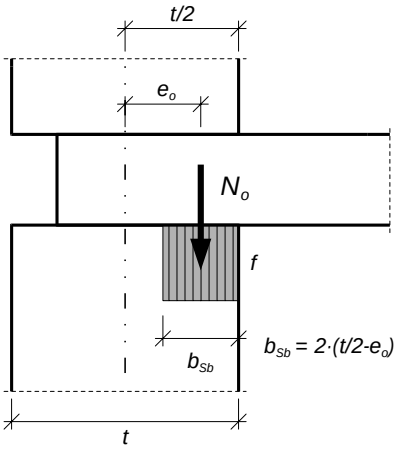
Dieser beschreibt das Verhältnis zwischen der abgeminderten, aufnehmbaren Normalkraft N_R zur Traglast eines ideal und zentrisch belasteten, sowie gegen Stabilitätsverlust gesicherten Querschnitts N_T.

$$\Phi = \frac{N_R}{N_T} \tag{21}$$

Der Abminderungsfaktor Φ für den Wandkopf (*o*) bzw. -fuß (*u*) ergibt sich nach dem genaueren Berechnungsverfahren in DIN 1053-100 [22] bzw. nach Eurocode 6 [23] nach Gleichung (22).

$$\Phi_{o,u} = 1 - 2 \cdot \frac{e_{o,u}}{t} \tag{22}$$

Dabei ist e_i die Exzentrizität der Lastausmitte infolge des Biegemomentes, welches sich insbesondere aus der Deckeneinspannung ergibt und der resultierenden Normalkraft am Wandkopf (zzgl. der Ausmitte aus horizontalen Lasten und einer ungewollten Ausmitte).
Anders ausgedrückt ist der Abminderungsfaktor Φ das Verhältnis der Breite b_{Sb} des Spannungsblockes, der sich aus der berechneten Ausmitte der resultierenden Last ergibt, und der Breite *t* des Wandquerschnittes (Bild 137).



$$N_R = \Phi \cdot N_T = \Phi \cdot f \cdot t = b_{Sb} \cdot f$$

$$\Phi = \frac{b_{Sb}}{t} = \frac{t - 2e}{t} = 1 - 2\frac{e}{t} \leq \frac{t}{t}$$

Dabei sind

e	Lastausmitte der resultierenden Normalkraft,
t	Wanddicke,
N_o	resultierende Normalkraft,
f	Druckfestigkeit,
b_{Sb}	Breite Spannungsblock.

Bild 137 Modell zur Bestimmung des Abminderungsbeiwertes nach DIN 1053-100 bei teilweise aufliegender Deckenplatte ohne Deckenabmauerungsstein

Der Bemessungswert des Tragwiderstands ergibt sich anschließend nach Gleichung (23) mit dem Bemessungswert der Druckfestigkeit.

$$N_{Rd} = \Phi \cdot f_d \cdot t \qquad (23)$$

Aufgrund der thermisch optimierten Ausbildung mit einer deutlich reduzierten Deckenauflagertiefe, gestaltet sich die Nachweisführung für die zu untersuchenden WDK am Wandkopf bzw. Wandfuß, insbesondere die Bestimmung eines Abminderungsfaktors in Analogie zum bisherigen Bemessungsmodell, deutlich aufwendiger.
Unterhalb des Deckenauflagers ist nur noch ein Bruchteil der Wandfläche vorhanden. Des Weiteren ist bei den betrachteten Systemen der Deckenabmauerungsstein in den Lastabtrag involviert (Bild 138 b)), so dass am Wandkopf neben der über das Deckenauflager in der Nähe der Innenseite der Wand eingetragenen Last eine zweite Last in der Nähe der Außenseite der Wand eingeleitet wird.
Für die hier vorliegende Problematik ist daher die bisher verwendete Herangehensweise zur Bestimmung des Abminderungsfaktors am Wandkopf über die Lastausmitte e_o der resultierenden Normalkraft N_o nach Gl. (22) nicht zielführend. Bei hohen vertikalen Lasten ergibt sich als Folge der Lastspreizung zwischen Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager für die resultierende Normalkraft N_o am Wandkopf nur eine geringe Lastausmitte und damit ein Spannungsblock, welcher fast über die gesamte Wandbreite geht (Bild 138 a)). Dieser ist unter Umständen breiter ($b_{Sb,eo}$ = Breite Spannungsblock aus e_o), als der zur Lastübertragung tatsächlich zur Verfügung stehende Bereich aus der Deckenauflagertiefe a und der Breite des Deckenabmauerungssteins t_V, wodurch sich rechnerisch zu hohe Tragwiderstände ergeben.
Das Verfahren nach DIN EN 1996-1-1/NA mit Nachweisführung am Ersatzquerschnitt mit der ideellen Wanddicke a, ist für Auflagertiefen $a < 0{,}5 \cdot t$ ebenfalls nicht geeignet, da der Anteil des Deckenabmauerungssteins hier gänzlich ignoriert wird und sich dadurch, insbesondere für kurze Auflagertiefen, zu ungünstige Werte ergeben würden (auch für den Nachweis der Knicksicherheit in Wandmitte).

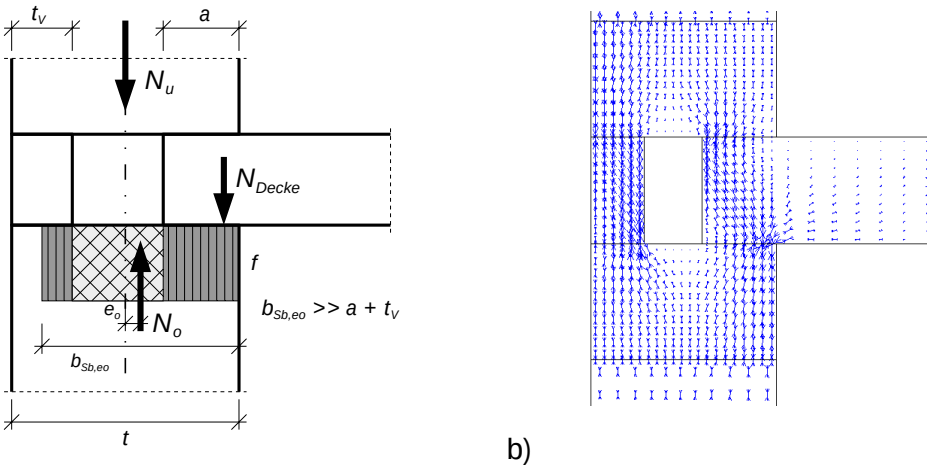
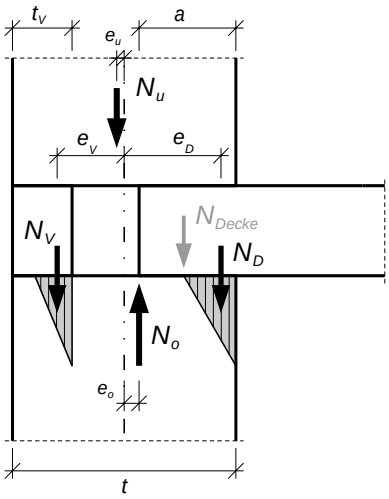


Bild 138 a) Schnittkräfte/Auflagerkraft und Exzentrizität der Normalkraft am Wandkopf (mit resultierendem Spannungsblock) bei hoher Auflast (Ingenieurmodell); b) Lastübertragung am Deckenabmauerungsstein unter hoher Auflast (FE-Simulation, Hauptdruckspannungen)

Aus den oben genannten Gründen ergibt sich die Notwendigkeit, für WDK mit kurzer Deckenauflagertiefe und Deckenabmauerungsstein alternative Methoden für den Nachweis zu entwickeln. Auf Basis der Ergebnisse der theoretischen, experimentellen und numerischen Analysen werden daher in den folgenden Abschnitten Ansätze bzw. Modelle für die Nachweisführung am WDK mit teilweise aufliegender Deckenplatte erarbeitet. In den Untersuchungen finden sowohl genauere als auch vereinfachte Herangehensweisen Berücksichtigung. Anschließend wird die Anwendbarkeit der Methoden demonstriert. Auch in den entwickelten Verfahren soll der Nachweis auf Basis eines Abminderungsfaktors geführt werden. Zur Abgrenzung gegenüber dem bisherigen Verfahren wird dieser zusätzlich mit verschiedenen Indizes gekennzeichnet.

7.1.2. Grundlagen / Schnittgrößenermittlung

Der genaue Nachweis eines Bauteils ist immer mit den an selbigem wirkenden Schnittgrößen verknüpft. Die Schnittgrößenermittlung an WDK mit teilweise aufliegenden Deckenplatten ist daher ein entscheidendes Element bei der Entwicklung eines Nachweisverfahrens. Aus diesem Grund bilden die an den numerischen Modellen gewonnenen Schnittgrößen (siehe Abschnitt 6) in Verbindung mit den Ergebnissen und Erkenntnissen aus den experimentellen Untersuchungen (siehe Abschnitt 5) die Basis für die angestellten Betrachtungen.
In Bild 139 sind die nachfolgend verwendeten Bezeichnungen und die Lage der Schnitt- und Auflagerkräfte und Exzentrizitäten dargestellt. Die übertragenen Lastanteile (N_V, N_D) und die zugehörigen Lastausmitten (e_V, e_D) ergaben sich aus der numerischen Berechnung und sind u. a. abhängig von der Wandauflast N_u über der Deckenebene und den Lasten auf der Decke p_{Decke}.



Dabei sind:

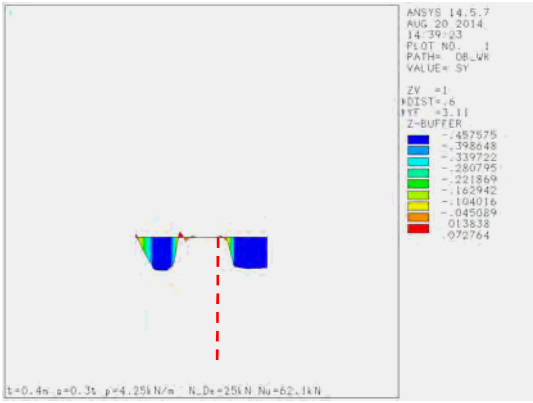
N_u	Normalkraft unterhalb der oberen Wand
e_u	Ausmitte von N_u
N_D	Lastanteil der über das Deckenauflager übertragen wird,
N_{Decke}	Deckenauflagerkraft ($N_D \neq N_{Decke}$),
e_D	Ausmitte von N_D,
N_V	Lastanteil der vom Deckenabmauerungsstein übertragen wird,
e_V	Ausmitte von N_V,
N_o	resultierende Normalkraft am Wandkopf der die Decke tragenden Wand mit $N_o = N_V + N_D$,
e_o	Ausmitte von N_o,
t_V	Breite Deckenabmauerungsstein,
a	Auflagertiefe der Deckenplatte,
t	Wanddicke.

Bild 139 Schnitt- und Auflagerkräfte sowie Exzentrizitäten im Knotenbereich (allgemeiner Spannungszustand mit linearer Spannungsverteilung)

Ein weiterer wesentlicher Punkt für die Untersuchungen ist der Zusammenhang zwischen der in der numerischen Berechnung für die Ermittlung der Schnittgrößen angesetzten Materialfestigkeit und der Festigkeit welche beim späteren Nachweis zu verwenden ist.

Der Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit wird im Mauerwerksbau i.A: mit dem Bemessungswert der Mauerwerksdruckfestigkeit f_d geführt, der unterhalb der tatsächlichen Materialfestigkeit für das Mauerwerk liegt. Allerdings hat die Materialfestigkeit einen ent-

scheidenden Einfluss auf die Spannungsverteilung am Wand-Decken-Knoten und damit auf die Schnittgrößen und die Lastausmitten. Bild 140 zeigt dazu beispielhaft die Druckspannungsverteilung unter Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager bei Ansatz verschiedener Festigkeiten unter sonst gleichen Lastverhältnissen. Während in Bild 140 a) der lastübertragende Querschnitt nahezu vollständig ausgeschöpft wird (plastiziert), wird in Beispiel b) nur ein geringer Teil des Querschnittes beansprucht (lineare Spannungsverteilung). Die Lastausmitten der resultierenden Normalkraft unterscheiden sich in diesem Beispiel um etwa 5 cm. Die Abweichung der Lastausmitten am Kopf bzw. Fuß der Wand wirkt sich auch auf den Nachweis der Knicksicherheit in Wandmitte aus.
Werden dann die mit der tatsächlichen Materialfestigkeit ermittelten Lastausmitten für den Nachweis mit dem Bemessungswert benutzt, ergeben sich u. U. zu ungünstige Werte.

a) 

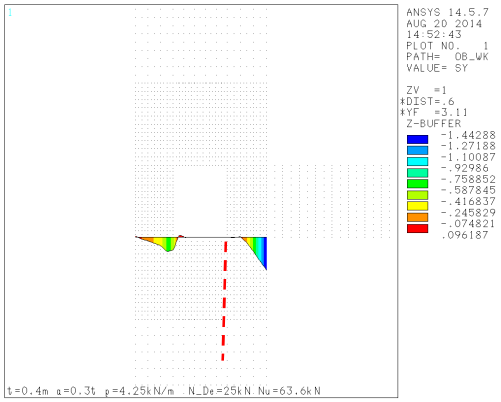
b) 

Bild 140 Druckspannungen im Auflagerbereich und Lage der resultierenden Normalkraft bei unterschiedlichen Materialfestigkeiten; a) 0,45 N/mm²; b) 2,0 N/mm²

Im Vergleich zur höheren Festigkeit ergeben sich bei geringerer Festigkeit kleinere Lastausmitten. Die Plastizierung des Materials, sofern zugelassen, setzt deutlich eher ein. So kommt es bei Ansatz geringerer Materialfestigkeiten eher zu Umlagerungserscheinungen am Deckenauflager. Das wiederum beeinflusst die Lastspreizung zwischen Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager die dann nicht mehr dem realen, experimentell beobachteten, Verlauf entspricht. In Bild 141 ist die experimentell beobachtete und die numerisch bestimmte Lastspreizung für Versuch W400-E (a/t = 0,3) aufgetragen. Zusätzlich dazu sind die Werte aus einer weiteren Simulation dargestellt (FE,f_d), bei der auf der Materialseite statt der angesetzten Mittelwerte Bemessungswerte verwendet wurden.

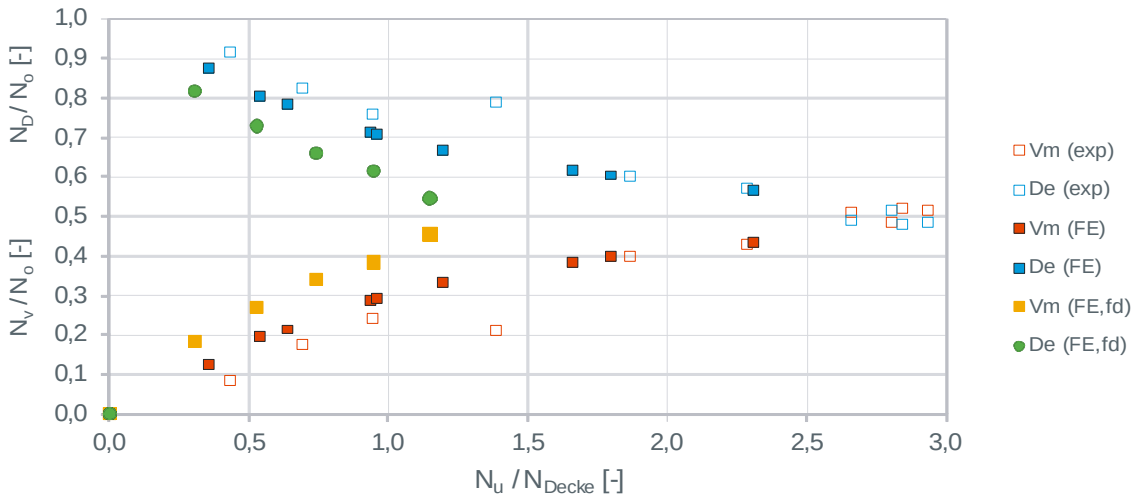


Bild 141 Vergleich der experimentell (exp) und numerisch (FE) bestimmten Lastspreizung zwischen Deckenabmauerungsstein (Vm) und Deckenauflager (De) für W400-E (a/t=0,3) bei Ansatz unterschiedlicher Materialfestigkeiten

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der Nachweis auf Basis numerisch ermittelter Schnittgrößen nur möglich ist, wenn die zur Schnittgrößenermittlung angesetzte Materialfestigkeit bei der anschließenden Nachweisführung berücksichtigt wird. Die Bestimmung der Schnittgrößen und der Nachweis auf Basis des Bemessungswertes f_d sind dabei zwar prinzipiell möglich. Aus der geänderten Festigkeit ergeben sich jedoch Einflüsse auf die Lastverteilung am Knoten. Diese stimmt dann nicht mehr mit dem realen, im Experiment beobachteten, Verhalten überein.
Aufgrund dieser Zusammenhänge, der direkten Auflagerung der Decke auf der Wand und der in den Tastversuchen an zusammengesetzten Prüfkörpern (siehe Anhang 4.1) ermittelten Festigkeiten wird stattdessen vorgeschlagen, die Nachweise auf Basis der Steinfestigkeit zu führen.

7.1.3. Bemessungsgrenzen

Aus den bisher gewonnen Erkenntnissen zeigt sich, dass es für die Erarbeitung einer Nachweiskonzeption erforderlich ist, analog dem bisherigen Vorgehen mit

$$\Phi_{min} = 0{,}333 \leq \Phi \leq \Phi_{max} = 0{,}9 \qquad (24)$$

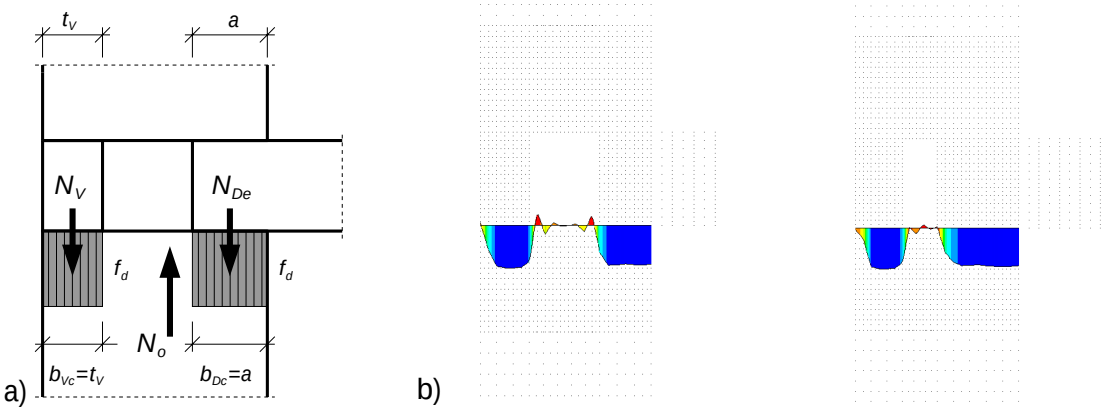
auch für den Wand-Decken-Knoten mit teilweise aufliegender Deckenplatte Bemessungsgrenzen zu definieren.

Die maximale Tragfähigkeit eines Systems mit teilweise aufliegender Deckenplatte ist bei Zugrundelegung einer rechteckigen Spannungsverteilung theoretisch dann erreicht, wenn die Last am Wandkopf über einen Spannungsblock abgetragen wird, der die Breite von Deckenabmauerungsstein t_V und Deckenauflagertiefe a hat (Bild 142 a)). Der Abminderungsfaktor Φ am Wandkopf kann für teilweise aufliegende Deckenplatten somit maximal den Wert

$$\Phi^*_{max} = \frac{N_{Rd,max}}{N_{Ref}} = \frac{f_d \cdot (a + t_V)}{f_d \cdot t} = \frac{a + t_V}{t} \qquad (25)$$

erreichen.

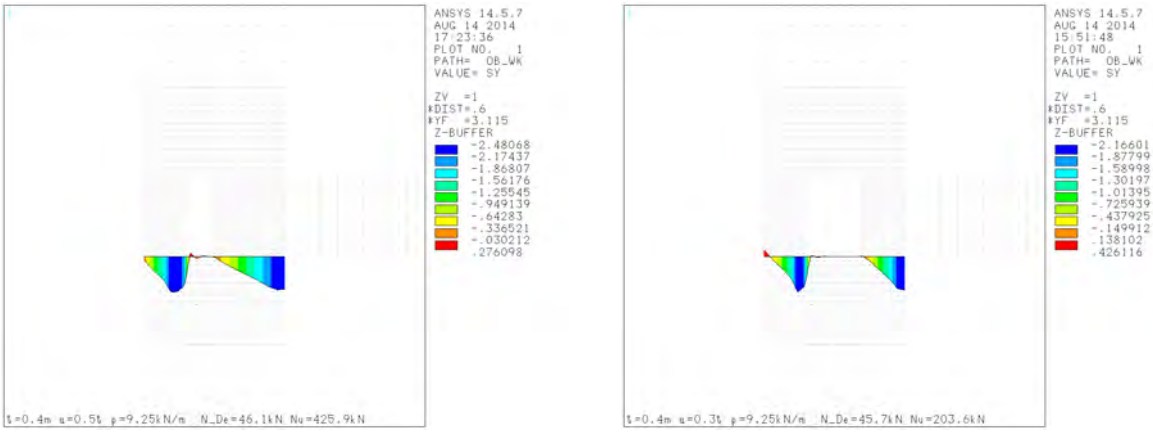
Wie sich jedoch in den numerischen Untersuchungen zeigte, ist die volle Ausnutzung des lastübertragenden Querschnittes (Bereiche unter Deckenauflager und Deckenabmauerungsstein vollständig plastiziert) auch bei Ansatz geringer Festigkeiten (hier Bemessungswert der Mauerwerksdruckfestigkeit f_d = 0,45 N/mm² für PP1,6-0,25) praktisch nicht möglich (Bild 142 b)). In Verbindung mit dem Lasteintrag über die Decke und deren Verdrehung wird der lastübertragende Querschnitt demnach nie voll ausgenutzt. Die FE-Untersuchungen haben diese These bekräftigt. Nachdem das Deckenauflager vollständig plastiziert ist, werden irgendwann die in der numerischen Simulation maximal zulässigen Verformungen überschritten, ohne dass der Deckenabmauerungsstein vollständig ausgelastet wird.
Der Auslastungsgrad für Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager ist b_V/t_V und b_D/a wobei sich die Breite der Spannungsblöcke aus der Lastausmitte ergibt.



$$\Phi^*_{max} = \frac{a + t_V}{t} \qquad \Phi^*_{max,FE} \approx \frac{0{,}9a + 0{,}8t_V}{t}$$

Bild 142 a) Spannungsblock am Wandkopf unter hoher Auflast bei Annahme vollständiger Plastizierung der lastübertragenden Bereiche (theoretische Kapazitätsgrenze des WDK); b) Maximaler Spannungszustand (Druckspannungen) im Auflagerbereich bei geringer Materialfestigkeit für a/t=0,3 und a/t=0,5

Berücksichtigt man in der Berechnung die tatsächlichen Materialfestigkeiten, ergeben sich deutlich geringere Werte für die Auslastung.



$$\Phi^*_{max,FE}\left(\frac{a}{t} = 0{,}5\right) \approx \frac{0{,}6a + 0{,}7t_V}{t} \qquad \Phi^*_{max,FE}\left(\frac{a}{t} = 0{,}3\right) \approx \frac{0{,}5a + 0{,}4t_V}{t}$$

Bild 143 Maximaler Spannungszustand (Druckspannungen) für letzte berechnete Laststufe im Auflagerbereich (aus FE Berechnung für t=0,4m und a/t=0,5 bzw. 0,3)

Für eine Berücksichtigung im Hinblick auf vereinfachte Verfahren ist es also erforderlich, dass der maximale Abminderungsfaktor zusätzlich begrenzt wird. Ein geeigneter Wert für die zusätzliche Abminderung scheint an dieser Stelle 0,6 zu sein. Die tatsächlich erforderliche Begrenzung ist aus der numerischen Simulation zu bestimmen.

$$\Phi^*_{max} = 0{,}6 \cdot \frac{a + t_V}{t} \tag{26}$$

Die Modellierung des WDK (und auch der Vergleich mit den experimentellen Untersuchungen) erfordert es, dass in den Fugen am Deckenabmauerungsstein Zugspannungen übertragen werden können. Anderenfalls kann es im unteren Auflastbereich zu einem „Herausfallen“ des Deckenabmauerungssteins kommen, wie schon *Ortlepp* in [48] beobachtet hatte. Dadurch ist es möglich, dass die rechnerisch ermittelten Lastausmitten am Deckenabmauerungsstein außerhalb des Querschnittes liegen. Analog zum bisher üblichen Vorgehen soll in diesen Fällen die Rücksetzregel greifen. Das heißt, es wird für Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager eine Mindestausmitte definiert. Da diese Korrektur nur im unteren Auflastbereich erforderlich ist, ergeben sich keine maßgebenden Auswirkungen auf das Nachweisverfahren.

Der untere Grenzwert ergibt sich in Anlehnung zur Festlegung des Abminderungsfaktors für die oberste Geschossdecke nach DIN 1053-100 aus

$$\Phi^*_{min} = \frac{1}{3} \cdot \frac{a + \kappa \cdot t_V}{t} \qquad \text{mit} \qquad \kappa\left(\frac{a}{t}; \frac{N_u}{N_{Decke}}\right). \tag{27}$$

Der zusätzliche Faktor κ dient hier der Abminderung der Mitwirkung des Deckenabmauerungssteins (siehe 5.6.4.

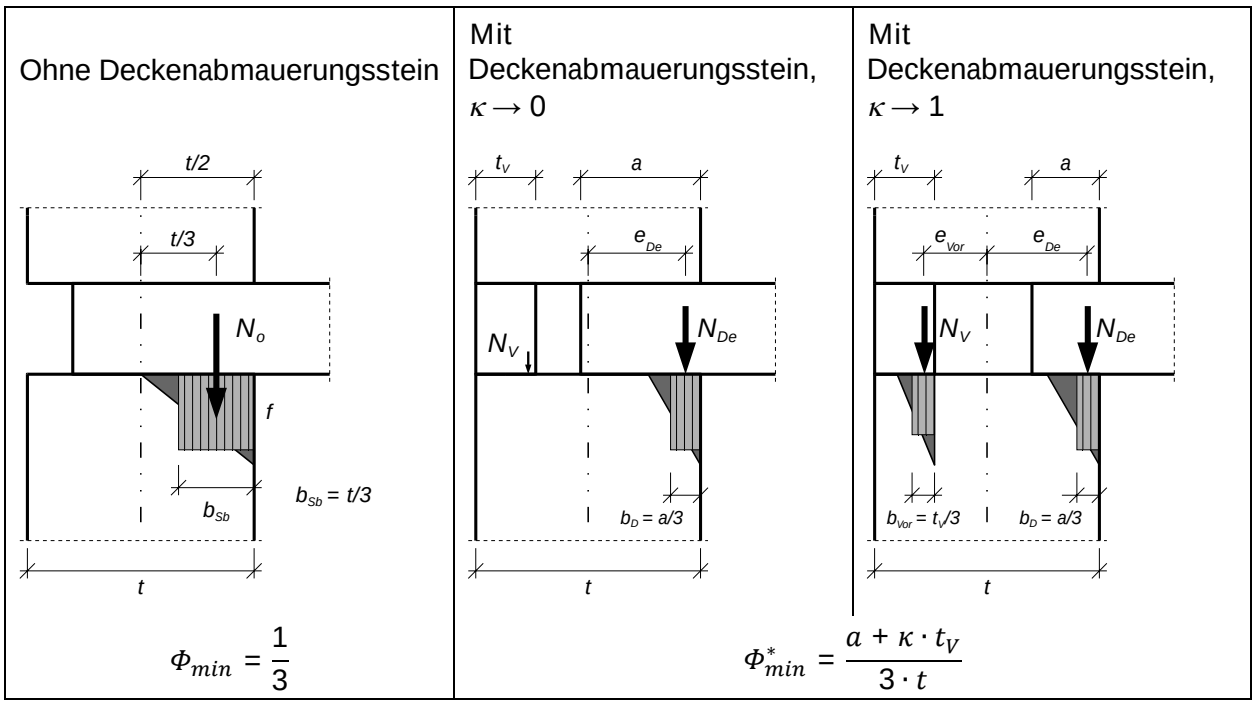
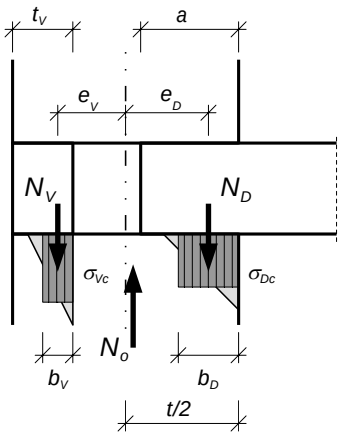


Bild 144 Bestimmung des Abminderungsfaktors nach bisherigem Ansatz und Übertragung auf System mit tragendem Deckenabmauerungsstein

7.2. Genauere Verfahren

7.2.1. Gemeinsamer Nachweis

Die Grundidee des nachstehend beschriebenen Verfahrens wurde in [49] entwickelt und für die vorliegende Problematik entsprechend modifiziert. Das bestehende Ingenieurmodell für den Nachweis überwiegend druckbeanspruchter Mauerwerksbauteile auf Grundlage eines Spannungsblocks mit der Breite b_{Sb} und der Ordinate f (siehe Bild 137) wurde dahingehend erweitert, dass eine Berücksichtigung der über Deckenauflager und Deckenabmauerungsstein übertragenen Lastanteile ermöglicht wurde. Die erforderlichen Schnittgrößen sind an FE-Modellen zu ermitteln.
Die Spannungsverläufe unterhalb des Deckenabmauerungssteins und des Deckenauflagers – in Abhängigkeit von der vorherrschenden Lastsituation ergibt sich hier ein dreieckiger (geringe Lasten) bis rechteckiger (hohe Lasten) Verlauf – werden mit Hilfe der Lastausmitten e_V und e_D und der über Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager übertragenen Lastanteile zunächst in einen äquivalenten Spannungsblock mit der Breite b_D bzw. b_V und der Ordinate σ_{Dc} bzw. σ_{Vc} umgerechnet (Bild 145).



aus $\Phi = \frac{b_{Sb}}{t}$ und $b_{Sb} = b_V + b_D$

ergibt sich $\Phi^* = \frac{b_{Sb}}{t} = \frac{b_D + b_V}{t}$

$$b_V = 2 \cdot \left(e_V - \left(\frac{t}{2} - t_V\right)\right) = \frac{N_V}{\sigma_{Vc}}$$

$$b_D = 2 \cdot \left(\frac{t}{2} - e_D\right) = \frac{N_D}{\sigma_{Dc}}$$

Dabei sind:

b_V, b_D Breite eines äquivalenten Spannungsblocks,

σ_{Vc}, σ_{Dc} umgerechnete äquivalente Blockspannung.

Bild 145 Übertragung des Modells zur Bestimmung des Abminderungsbeiwertes nach DIN 1053-100 auf Systeme mit teilweise aufliegender Deckenplatte

Der Abminderungsfaktor Φ_{St} für die teilweise aufliegende Deckenplatte (a/t ≤ 0,5) wird anschließend aus dem Verhältnis der einwirkenden Gesamtlast N_o (Summe aus Lastanteil Deckenabmauerungsstein N_V und Deckenauflager N_D) zur Referenztragfähigkeit N_{Ref} des vollen Querschnittes bestimmt. Diese ergibt sich aus dem Produkt der maximalen Druckspannung unter Decke/Deckenabmauerungsstein (max σ_{Vc} bzw. max σ_{Dc} aus den Einwirkungen N_V bzw. N_D) und der Wanddicke t.
Aufgrund der Abweichung zur ursprünglichen allgemeinen Definition des Abminderungsfaktors (siehe Gl. (21)) wird der hier eingeführte Faktor mit Φ_{St} bezeichnet. Angesichts der dabei berücksichtigten zwei Lastanteile, kann man an dieser Stelle auch von einem „verschmierten“ Abminderungsfaktor sprechen. Die notwendige Begrenzung ergibt sich aus der Geometrie und der Auslastung des Knotens (siehe 7.1.3).

$$\Phi_{St} = \frac{N_o}{N_{Ref}} = \frac{N_V + N_D}{max(\sigma_{Vc}, \sigma_{Dc}) \cdot t} = \frac{N_V + N_D}{max\ \sigma \cdot t} \leq \Phi^*_{max} = 0{,}6 \cdot \frac{a + t_V}{t}. \quad (28)$$

Da sich der spätere Nachweis und die ursprüngliche Definition von Φ auf den Gesamtquerschnitt bezieht, muss auch die Maximalspannung für die Referenztragfähigkeit auf die gesamte Dicke der Wand bezogen werden.
Gegenüber dem Ansatz der tatsächlichen Blockspannung unter Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager (σ_{Vc}, σ_{Dc}) ergibt sich durch die Verwendung des Maximalwertes *max* σ eine zusätzliche Abminderung zur sicheren Seite (Tabelle 58).

Tabelle 58 Vergleich für den Abminderungsfaktor Φ_{St}

$\Phi_{St} = \frac{b_V + b_D}{t}$		$\Phi_{St} = \frac{N_V + N_D}{max\ \sigma \cdot t}$
$\Phi_{St} \cdot t = b_V + b_D = \frac{N_D}{\sigma_{Dc}} + \frac{N_V}{\sigma_{Vc}}$	$\geq$	$\Phi_{St} \cdot t = \frac{N_V + N_D}{max\ \sigma} = \frac{N_V}{max\ \sigma} + \frac{N_D}{max\ \sigma}$

Für diese Art der Nachweisführung ist die maßgebende Druckspannung bzw. –festigkeit von entscheidender Bedeutung. Für die Bestimmung des Tragwiderstandes nach Gleichung (22) bzw. die Ermittlung des Abminderungsfaktors Φ_{St} nach (28) ergibt sich folgender Zusammenhang

$$max\ \sigma \leq f \quad \rightarrow \quad N_{Ref} \leq N_T. \tag{29}$$

Das heißt, solange die maximale Blockspannung am Deckenabmauerungsstein oder Deckenauflager kleiner als die jeweilige zum Nachweis nach Gleichung (20) herangezogene Spannung ist, geht der Nachweis auf. Wird diese überschritten, sind die Einwirkungen größer als der Tragwiderstand. Die Begrenzung kann direkt eingefügt werden indem die maximale Druckspannung unter Deckenauflager und Deckenabmauerungsstein auf den Wert der im Nachweis anzusetzende Festigkeit *f* begrenzt wird.

$$\Phi_{St} = \frac{N_V + N_D}{\sigma^* \cdot t} \qquad \text{mit} \qquad \sigma^* = min\begin{cases} \max \sigma = max(\sigma_{Vc}, \sigma_{Dc}) \\ f \end{cases} \tag{30}$$

Der für den Nachweis erforderliche Abminderungsfaktor kann dann in Abhängigkeit der Auflast in einem Diagramm dargestellt werden. Alternativ können die Ergebnisse auch tabellarisch bereitgestellt werden.

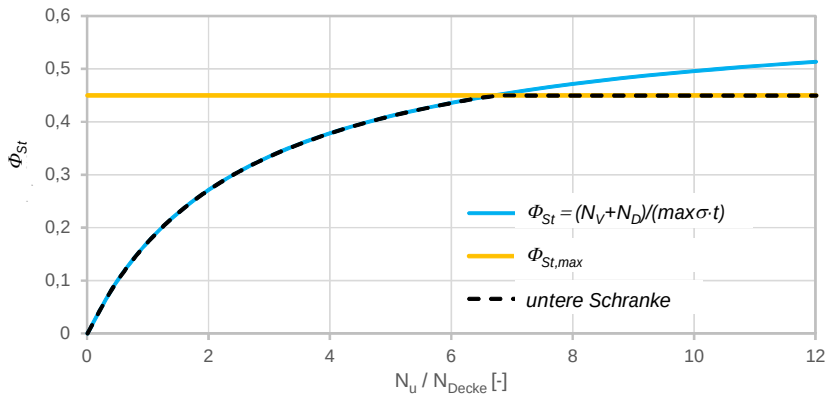


Bild 146 Beispielhafte Darstellung des Abminderungsbeiwertes Φ_{St} in Abhängigkeit des Verhältnisses Wandauflast zu Deckenauflagerkraft

In Bild 146 ist für ein fiktives Beispiel der nach dem oben beschriebenen Verfahren ermittelte Abminderungsbeiwert in Abhängigkeit des Auflastverhältnisses dargestellt.

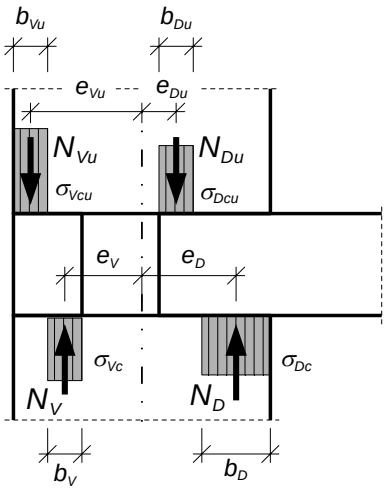
7.2.2. Getrennter Nachweis für Deckenauflager und Deckenabmauerungsstein

Eine weitere Möglichkeit für die Nachweisführung am Wand-Decken-Knoten mit teilweise aufliegender Deckenplatte ist, zukünftig einen getrennten Nachweis für das Deckenauflager und den Deckenabmauerungsstein zu führen. Dabei bilden wiederum die numerisch ermittelten Schnittgrößen die Basis.
Bei den bisherigen Analysen wurde nur der Wandkopf in die Überlegungen einbezogen. Da auf der Decke gewöhnlich eine Schicht Ausgleichsmörtel auf die Deckenplatte aufgebracht wird, ist oberhalb der Decke keine größere Beanspruchung zu erwarten. Anderenfalls ist es jedoch möglich, dass sich für den Wandfuß der darüber liegenden Wand ungünstigere Werte einstellen. In diesem Falle sind die entsprechenden Schnittgrößen/Lastausmitten mit zu berücksichtigen.

Aufgrund der Tatsache, dass die in der numerischen Berechnung angesetzte Festigkeit einen direkten Einfluss auf die Schnittgrößen am System hat, kann die Simulation nicht auf Basis des Bemessungswertes der Mauerwerksdruckfestigkeit und mit dem zugehörigen E-Modul geführt werden (siehe 7.1.2). Hier sind Mittelwerte zu verwenden.

Für die Nachweisführung ist wegen des i.d.R. direkten Auflagers der Decken auf dem Mauerwerk die Steinfestigkeit maßgebend. Das kann auch für den Deckenabmauerungsstein angenommen werden, da dieser i.A. fester oder mindestens genauso fest wie das Mauerwerk ist und es hier ebenfalls zu Spannungskonzentrationen kommt, die erst bei Erreichen der Steindruckfestigkeit zum Versagen führen (s. experimenteller Teil des Berichtes). Es wird daher durchgängig die Festigkeit des im Mauerwerk eingesetzten Steines verwendet. Sofern der Deckenabmauerungsstein fester ist als der Mauerstein trifft das ebenso zu, da über bzw. unter diesem sich wiederum die verwendeten Mauersteine befinden.

Analog dem bisherigen Vorgehen werden zunächst die Schnittgrößen am System ermittelt. Aus den Lastausmitten für das Deckenauflager e_D und den Deckenabmauerungsstein e_V werden dann die äquivalenten Spannungsblöcke berechnet.



$$b_D = 2 \cdot \left(\frac{t}{2} - e_D\right) = (t - 2 \cdot e_D)$$

$$b_V = 2 \cdot \left(e_V - \left(\frac{t}{2} - t_V\right)\right)$$

$$b_{Du} = 2 \cdot \left(e_{Du} - \left(\frac{t}{2} - a\right)\right)$$

$$b_{Vu} = 2 \cdot \left(\frac{t}{2} - e_{Vu}\right) = (t - 2 \cdot e_{Vu})$$

Bild 147 Schnittgrößen und Lastausmitten am WDK für getrennten Nachweis am Deckenauflager und am Deckenabmauerungsstein

Überträgt man anschließend den Zusammenhang

$$\Phi = \frac{b_{Sb}}{t} \tag{31}$$

auf das Deckenauflager ergibt sich für den Wandkopf:

$$\Phi_{St,D} = \frac{b_D}{a} = \frac{(t - 2 \cdot e_D)}{a} \tag{32}$$

und für den Wandfuß der darüber liegenden Wand:

$$\Phi_{St,D,u} = \frac{b_{Du}}{a} = \frac{2 \cdot \left(e_{Du} - \left(\frac{t}{2} - a\right)\right)}{a}. \tag{33}$$

Analog dazu ergibt sich der Abminderungsfaktor für den Nachweis unter dem Deckenabmauerungsstein am Wandkopf zu

$$\Phi_{St,V} = \frac{b_V}{t_V} = \frac{2 \cdot \left(e_V - \left(\frac{t}{2} - t_V\right)\right)}{t_V} = \left(2 \cdot \frac{e_V}{t_V} - \frac{t}{t_V} + 2\right). \tag{34}$$

Für den Wandfuß ergibt sich entsprechend

$$\Phi_{St,V,u} = \frac{b_{Vu}}{t_V} = \frac{(t - 2 \cdot e_{Vu})}{t_V}. \tag{35}$$

Die mit diesen Abminderungsbeiwerten und der Deckenauflagertiefe *a* bzw. mit der Breite des Deckenabmauerungssteins t_V ermittelten Tragwiderstände sind anschließend dem jeweils übertragenen Lastanteil gegenüberzustellen. Der kleinste Wert ist maßgebend.

Für den Deckenabmauerungsstein ist nachzuweisen, dass gilt

$$N_V \leq N_{R,V} = \Phi_{St,V} \cdot f_{St} \cdot t_V \tag{36}$$

bzw.

$$N_{Vu} \leq N_{R,Vu} = \Phi_{St,V,u} \cdot f_{St} \cdot t_{V.} \tag{37}$$

Dabei ist f_{St}die maßgebende Steinfestigkeit unter dem Deckenauflager.
Für das Deckenauflager gilt entsprechend:

$$N_D \leq N_{R,D} = \Phi_{St,D} \cdot f_{St} \cdot a \tag{38}$$

bzw.

$$N_{Du} \leq N_{R,Du} = \Phi_{St,D,u} \cdot f_{St} \cdot a. \tag{39}$$

Aufgrund des Auftretens von Haftzugspannungen am Deckenabmauerungsstein können die berechneten Lastausmitten auch außerhalb des Querschnitts liegen. In Analogie zum bisherigen Vorgehen wird die Resultierende dann in den Querschnitt zurückgeholt.

Der Spannungsblock am Deckenabmauerungsstein beträgt somit mindestens

$$b_{V,min} = \frac{t_V}{3}. \tag{40}$$

Für die Lastausmitte gilt

$$e_V = max \begin{cases} e_V \\ \frac{t}{2} - t_V + \frac{t_V}{6} \end{cases} \quad \text{bzw.} \quad e_{Vu} = min \begin{cases} e_{Vu} \\ \frac{t}{2} - \frac{t_V}{6} \end{cases}. \tag{41}$$

Für das Deckenauflager gilt analog

$$b_{D,min} = \frac{a}{3} \tag{42}$$

und

$$e_D = max \begin{cases} e_D \\ \frac{t}{2} - \frac{a}{6} \end{cases} \quad \text{bzw.} \quad e_{Du} = max \begin{cases} e_{Du} \\ \frac{t}{2} - a + \frac{a}{6} \end{cases}. \tag{43}$$

Die Ausmitten sowie die Lastanteile werden als Ergebnis der numerischen Berechnungen in Tabellenform bereitgestellt. Auf diese Weise können sämtliche Kombinationen, die unterhalb des experimentell untersuchten Niveaus liegen, erfasst werden. Dazu zählen u. a.:

- kürzere Deckenlängen <6m,
- geringere Deckenbelastungen,
- geringere Deckenhöhen,
- geringere Wandhöhen,
- höhere E-Moduln der Decke.

Es ist ebenfalls möglich, die Abminderungsbeiwerte als Diagramme bereit zu stellen.
Die Anwendbarkeit des Verfahrens wird in Abschnitt 7.5 demonstriert.

7.2.3. Individuelle FE-Berechnung

Es steht nach wie vor jedem Ingenieur frei, im Rahmen einer genauen Berechnung die jeweilige Problemstellung mit Hilfe von FE-Modellen selbst zu lösen. Aufgrund der beschriebenen Herausforderung bei der Modellierung wird es dann höchstwahrscheinlich auch auf die eigene Ermittlung von Schnittgrößen hinauslaufen. Der anschließende Nachweis kann nach den zuvor beschriebenen Verfahren erfolgen.

7.3. Vereinfachte Ansätze

7.3.1. Gemeinsamer Nachweis

Nach NCl zu 6.1.2.2 in DIN EN 1996-1-1/NA besteht die Möglichkeit, Plastizierungen im Auflagerbereich bei der Nachweisführung zu berücksichtigen. Überträgt man diesen Ansatz auf das in Abschnitt 7.2.1 dargestellte Verfahren mit verschmiertem Abminderungsfaktor (siehe Gleichung (28)) kann

$$max\ \sigma = \sigma_{plast} = f \tag{44}$$

gesetzt werden.

In diesem Fall ergibt sich der Abminderungsfaktor dann zu

$$\Phi_{St,A} = \frac{N_V + N_D}{f \cdot t} \tag{45}$$

Für den Tragwiderstand ergibt sich dann

$$N_R = \Phi_{St,A} \cdot f \cdot t = \frac{N_V + N_D}{f \cdot t} \cdot f \cdot t = N_V + N_D = N_o. \tag{46}$$

Das bedeutet, die resultierende Normalkraft entspricht stets genau dem theoretischen Tragwiderstand. Bild 148 zeigt die grafische Darstellung der Formeln in Bezug auf das Beispiel aus Bild 146. Für Gleichung (45) erhält man eine Gerade.

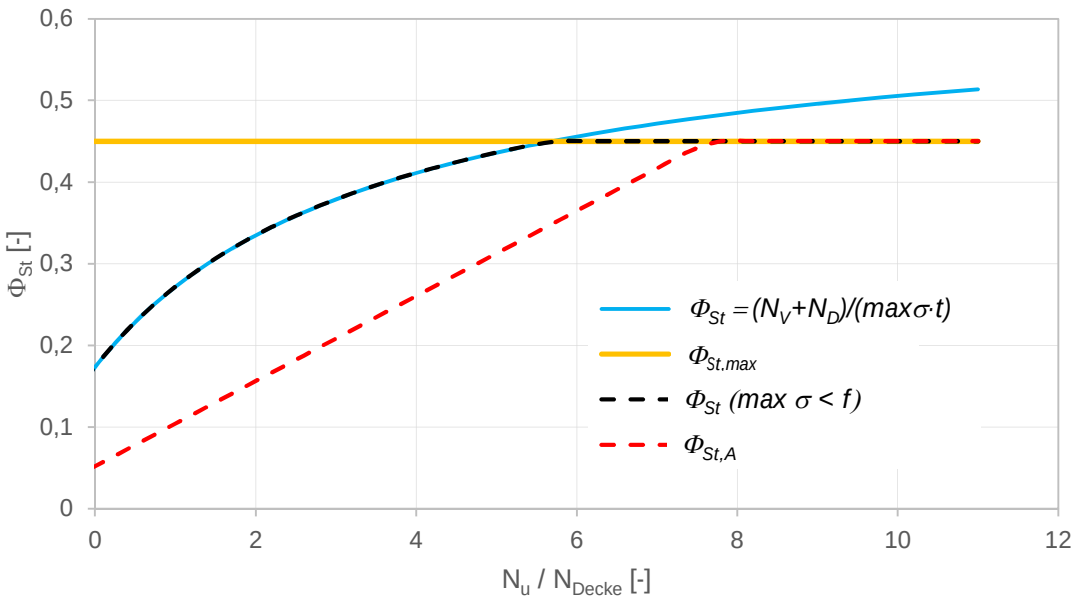


Bild 148 Beispielhafte Darstellung des Abminderungsbeiwertes Φ_{St} in Abhängigkeit des Verhältnisses Wandauflast zu Deckenauflagerkraft; genaue und vereinfachte Ermittlung

Praktisch bedeutet das, dass alle Lastverhältnisse

$$\Phi\left(\frac{N_u}{N_{Decke}}\right) < \Phi^*_{max} \tag{47}$$

nachweisbar sind. Daher wird dieser Ansatz nicht weiter verfolgt.

7.3.2. Mindestabminderungsbeiwert

Ein weiterer vereinfachter Ansatz besteht darin, im Zuge einer vereinfachten Herangehensweise den Nachweis auf Basis des Mindestabminderungsbeiwertes zu führen (siehe Abschnitt 7.1.3).
Ausgangspunkt war die Überlegung, dass zur Lastübertragung am Wandkopf mindestens Spannungsblöcke mit der Breite $t_V/3$ und $a/3$ zur Verfügung stehen. Tabelle 59 zeigt die Auslastung von Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager für die letzte nachweisbare Konstellation aus der numerischen Berechnung für das genauere Verfahren gemäß Abschnitt

0. Wie die Auflistung zeigt, sind insbesondere bei großen Auflagertiefen noch Reserven vorhanden. Diese können aber durch die genauere Berechnung erschlossen werden.

Tabelle 59 Flächenauslastung durch Spannungsblock von Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager bei letzter nachweisbarer Konstellation

Serie	400		425		480		490	
a/t	b_V / t_V	b_D / a	b_V / t_V	b_D / a	b_V / t_V	b_D / a	b_V / t_V	b_D / a
0,3	0,33	0,53	0,33	0,58	0,33	0,48	0,33	0,45
0,4	0,45	0,54	0,33	0,50	0,56	0,55	0,33	0,41
0,5	0,59	0,59	0,49	0,54	0,60	0,60	0,33	0,41

Auch die experimentellen Untersuchungen hatten gezeigt, dass der Deckenabmauerungsstein an der Innenseite wesentlich höher belastet ist (dreieckiger Spannungsverlauf). Insofern ist der Ansatz mit 1/3 gerechtfertigt (auch schon unter geringen Lasten).

Der Abminderungsfaktor $\Phi_{St,s}$ (simplified) ergibt sich nach Gleichung (48).

$$\Phi_{St,s} = \frac{1}{3} \cdot \frac{a + \kappa \cdot t_V}{t} \qquad \text{mit} \qquad \kappa\left(\frac{a}{t}; \frac{N_u}{N_{Decke}}; \frac{N_V}{N_o}; l_{Decke}\right). \tag{48}$$

Hierbei wird die Mitwirkung des Deckenabmauerungssteins über den Faktor κ berücksichtigt. Dieser soll in Abhängigkeit der Auflagertiefe der Decke und der Auflast definiert werden. Weiterhin gehen die Lastspreizung sowie die Deckenlänge in die Ermittlung ein.
Die Basis dafür ist die experimentell bestimmte Lastspreizung zwischen Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager am Wandkopf (siehe auch Abschnitt 5.6.4). Hieraus ergeben sich prinzipiell zwei Möglichkeiten, wie weiter verfahren werden kann. Zum einen kann ein

- allgemeiner Ansatz (κ_{min})

gewählt werden, bei dem unabhängig von der Wanddicke vereinfacht auf die jeweils kleinsten Verhältnisse N_i / N_o zurückgegriffen wird (Bild 149 a)). Zum anderen ist selbstverständlich die

- nach Wanddicke getrennte Betrachtung (κ_t)

möglich.

Bei einem Lastspreizungsverhältnis von N_V / N_o = 0,5 entfällt die Hälfte der resultierenden Normalkraft auf den Deckenabmauerungsstein. In diesem Fall kann der Deckenabmauerungsstein ganz angesetzt werden und es gilt κ = 1. Für alle anderen Verhältnisse ergibt sich der Faktor dann aus

$$\kappa = 2 \cdot \frac{N_V}{N_o}. \tag{49}$$

Das heißt, wenn 30 % auf den Deckenabmauerungsstein entfallen beträgt κ = 0,6. Bild 149 b) zeigt den so ermittelten Faktor κ_{min} für die verschiedenen Auflagerverhältnisse in Abhängigkeit des Lastverhältnisses und die Eingangswerte.

Im Faktor κ sind auf diese Weise neben der Auflast folgende weitere Einflüsse berücksichtigt:

- *Deckenlänge*: Die Länge der Deckenplatte geht indirekt über die Deckenauflagerkraft im Verhältnis aus Wandauflast und Deckenauflagerkraft ein. Eine kürzere Deckenlänge ergibt eine geringere Auflagerkraft und so ein größeres Lastverhältnis N_u/N_{Decke}.
- *Flächenanteil des Deckenabmauerungssteins im Vergleich zum Auflager:* Bei kürzerer Auflagertiefe entfällt ein größerer Lastanteil auf den Deckenabmauerungsstein.

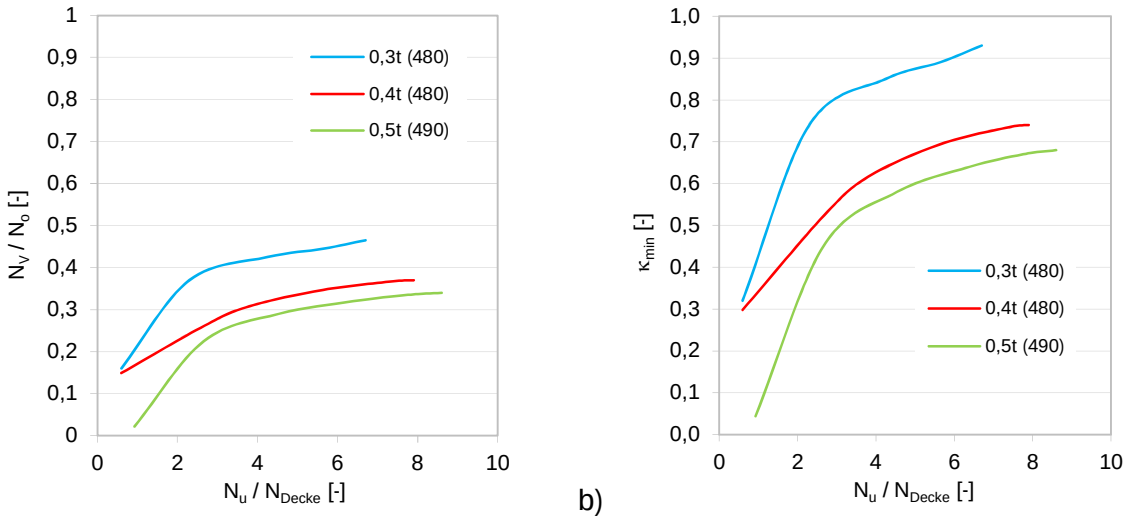


Bild 149 *a) Minimaler Anteil des Deckenabmauerungssteins an der resultierenden Normalkraft am Wandkopf; b) Faktor zur Berücksichtigung des Deckenabmauerungssteins*

Der Nachweis lautet schließlich

$$N_o \leq N_{R,s} = \Phi_{St,s} \cdot f_{St} \cdot t. \qquad (50)$$

Für den Nachweis ist wiederum die Steinfestigkeit anzusetzen.

Neben der Berechnung nach Gleichung (48) ist es weiterhin möglich, direkte Kurven für den Abminderungsfaktor anzugeben (siehe 7.5.3 und Anhang 8.3).

7.4. Nachweis in Wandmitte

Betrachtungen zur Wandmitte waren nicht Gegenstand der Untersuchung. Die Thematik soll der Vollständigkeit halber dennoch kurz angerissen werden.
Durch die zusätzliche Lasteinleitung über den Deckenabmauerungsstein an der Wandaußenseite ergibt sich in Wandmitte eine weitaus günstigere Beanspruchungssituation für den Querschnitt. Dabei ist es umso günstiger, je mehr der Deckenabmauerungsstein am Lastabtrag beteiligt ist. Da der Anteil des Deckenabmauerungssteins mit abnehmender Deckenauflagertiefe steigt, ist eine Anpassung des bisher verwendeten Abminderungsbeiwertes im vereinfachten Verfahren erforderlich. Anderenfalls ergäbe sich mit abnehmender Auflagertiefe eine weitere Verringerung des Abminderungsfaktors (Bild 150).
Für das genaue Verfahren können die tatsächlichen Ausmitten im Zuge der numerischen Berechnung tabellarisch bereitgestellt werden.

Der günstige Einfluss des Deckenabmauerungssteins könnte ebenfalls über den zusätzlichen Term $\kappa \cdot t_V$ berücksichtigt werden

$$\Phi_2 = 0{,}85 \cdot \left(\frac{a + \kappa \cdot t_V}{t}\right) - 0{,}0011 \cdot \left(\frac{h_k}{t}\right)^2 . \qquad (51)$$

Für den Nachweis muss dann jedoch gelten, dass nicht mehr der kleinste Φ-Wert maßgebend ist, sondern dass jede Stelle (Wandkopf, Wandmitte, Wandfuß) getrennt voneinander nachzuweisen ist.

In Bild 150 ist der angepasste Abminderungsfaktor für das erste Glied nach Gleichung (51) den Abminderungsfaktoren nach bisheriger Herangehensweise gegenübergestellt.

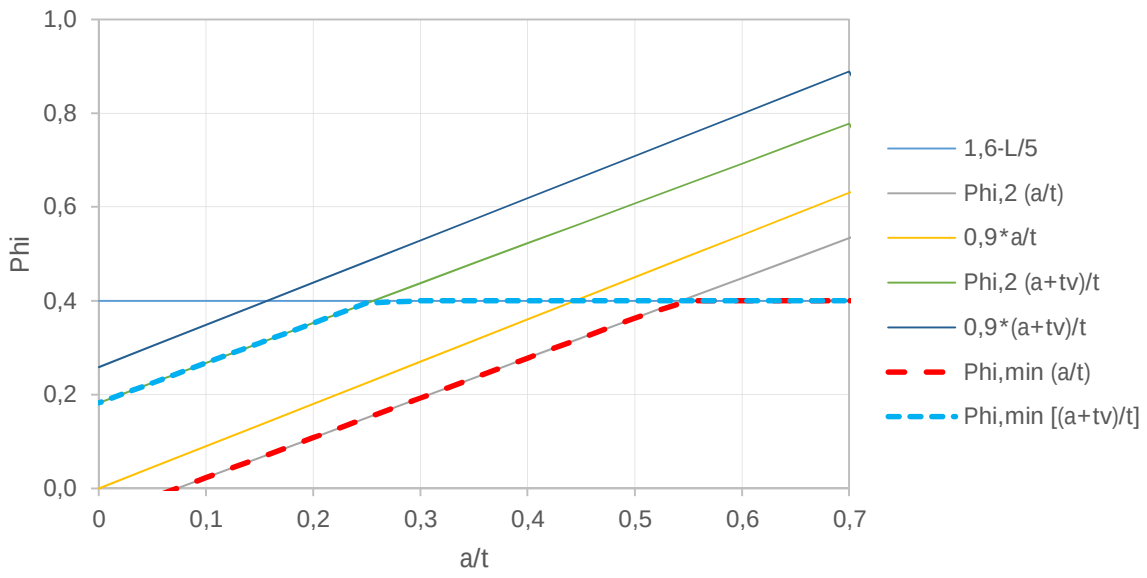


Bild 150 Abminderungsfaktoren nach EC6/NA in Abhängigkeit der Auflagertiefe für κ = 1; t=0,4m; f_k<1,8 N/mm²; L=6 m, beispielhaft dargestellt

7.5. Beispielhafte Anwendung

7.5.1. Einführung

In den folgenden Abschnitten soll die praktische Anwendung der in den vorangegangenen Abschnitten dargestellten Herangehensweisen demonstriert werden. Dazu werden nach dem oben beschriebenen Vorgehen die Schnittgrößen in Abhängigkeit von der einwirkenden Lastkombination bestimmt. Anschließend können nach den dargestellten Gleichungen bzw. unter Zuhilfenahme der Diagramme die jeweiligen Tragwiderstände errechnet und mit den einwirkenden Lasten bzw. den Lastanteilen verglichen werden.

Tabelle 60 Übersicht experimentell bestimmte Traglasten $N_{R,exp}$ [kN/m]

Serie	*a*/*t* [-]		
t [mm]	0,3	0,4	0,5
400	237	198	264
425	355	342	318
480	332	408	374
490	371	424	433

Die Nachweise beschränken sich in den folgenden Betrachtungen auf den Wandkopf des jeweils zu Grunde liegenden WDK da sich in tastweisen Berechnungen gezeigt hatte, dass in den meisten Fällen der Wandkopf maßgebend ist.
Wie zuvor bereits erwähnt wurde, ist bei Nachweisführung auf Grundlage der numerisch ermittelten Schnittgrößen auf die Konformität zwischen der in der Berechnung benutzten Festigkeit und der beim Nachweis angesetzten Festigkeit zu achten. Für den Nachweis wird der Mittelwert der Steinfestigkeit angesetzt. Maßgebend ist der kleinere der beiden Werte aus Experiment und nach Norm/Zulassung (in Tabelle 61 fett hervorgehoben).

Tabelle 61 Steinfestigkeiten nach Norm/Zulassung und experimentell bestimmte Werte

Serie	SFK	kleinster Einzelwert	Mittelwert	kleinster Einzelwert Experiment	Mittelwert Experiment
		$f_{St,min}$	$f_{St,mid}$	$f_{St,exp,min}$	$f_{St,exp,mid}$
		[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
400	1,6	2,0	2,3	2,08	2,19
425	2,0	2,0	2,5	2,32	2,37
480	2,0	2,0	2,5	2,14	2,24
490	1,6	1,6	2,0	1,78	2,5

7.5.2. Genauere Verfahren

7.5.2.1. Gemeinsamer Nachweis mit verschmiertem Abminderungsfaktor

Nachfolgend sind stellvertretend die Ergebnisse der numerischen Schnittgrößenermittlung für zwei unterschiedliche Versuchsanordnungen dargestellt (t = 0,4 m und a/t = 0,3 sowie t = 0,49 m mit a/t = 0,5). Die Ergebnisse der anderen Materialkombinationen können dem Anhang entnommen werden. Zur besseren Übersicht sind neben den Schnittgrößen auch direkt die nach den jeweiligen Formeln ermittelten Tragwiderstände mit aufgeführt. Der Tragwiderstand wird auf Grundlage der Steinfestigkeit (Tabelle 61) ermittelt.

Bild 151 zeigt den nach Gleichung (28) berechneten Abminderungsfaktor für Serie W400. Es besteht jetzt die Möglichkeit, für den Nachweis den Wert aus der dem Diagramm zugrundeliegenden Tabelle herzunehmen. Alternativ könnten die Minimalwerte im Diagramm durch eine Linie verbunden und der Abminderungsfaktor direkt abgelesen werden.

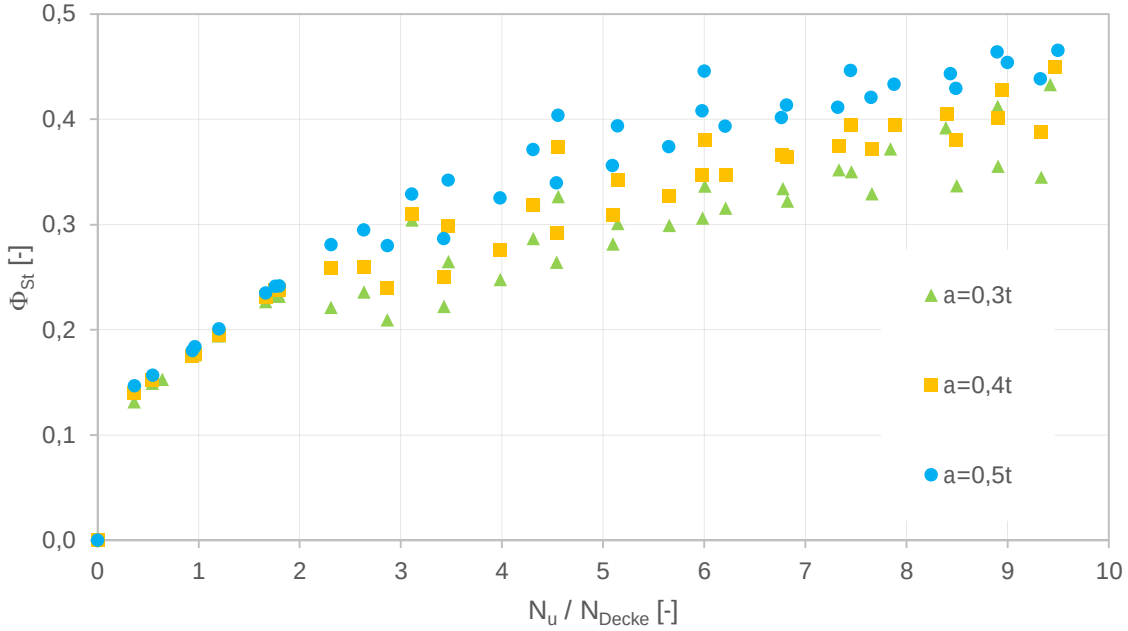


Bild 151 Abminderungsfaktoren in Abhängigkeit der Auflagertiefe für W400

In Tabelle 62 sind die Ergebnisse der numerischen Berechnung und die Nachweisführung für eine Materialkombination dargestellt. Wie aus der Aufstellung hervorgeht, sind unter diesen Voraussetzungen resultierende Normalkräfte am Wandkopf bis zu einem Wert von etwa 175 kN/m nachweisbar. Danach liegen die Blockspannungen über der Steinfestigkeit (siehe (29)).

Tabelle 62 Ergebnisse der numerischen Berechnung und Nachweisführung (W400; a/t=0,3; p=9,25 kN/m²; f_{St}=2,19 N/mm²)

N_u	N_{Decke}	N_o	N_V	N_D	b_{Vc}	b_{Dc}	σ_V	σ_D	Φ_{St} (28)	N_R	N_o / N_R
kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	N/mm²	N/mm²	-	kN/m	-
16,1	44,9	62,0	7,8	54,2	0,038	0,046	0,20	1,18	0,132	115,2	0,54
28,6	44,9	74,5	16,0	58,6	0,038	0,048	0,42	1,22	0,153	133,7	0,56
53,6	44,9	99,5	32,9	66,6	0,038	0,052	0,86	1,28	0,194	170,2	0,58
78,6	44,9	124,4	49,3	75,3	0,038	0,056	1,29	1,34	0,232	203,0	0,61
103,6	44,9	149,4	64,8	84,9	0,038	0,060	1,69	1,41	0,221	193,7	0,77
128,6	44,9	174,4	79,9	94,8	0,038	0,064	2,09	1,48	0,209	183,4	0,95
153,6	44,9	199,4	94,5	105,3	0,042	0,068	2,25	1,55	0,222	194,4	1,03
178,6	44,9	222,4	109,0	115,9	0,048	0,072	2,27	1,61	0,248	216,8	1,03
203,6	44,9	247,3	123,1	126,9	0,052	0,076	2,37	1,67	0,264	231,2	1,07

Der Rechengang ist nachfolgend nochmals für zwei verschiedene Auflasten separat dargestellt.

Tabelle 63 Nachweisführung für W400, a/t=0,3; p=9,25 kN/m)

Wanddicke t	m	0,4	0,4
a/t	-	0,3	0,3
t_V	m	0,115	0,115
Wandauflast N_u	kN/m	78,6	153,6
N_{Decke}	kN/m	44,9	44,9
$N_V+N_D \approx N_o$	kN/m	124,4	199,4
f_{St}	N/mm²	2,19	2,19
σ_D / σ_V < f_{St}	-	1,29 / 1,34 < 2,19	1,55 / 2,25 > 2,19
Φ_{St}		0,1244/(1,34·0,4) = 0,232	0,1994/(2,19·0,4) = 0,222
N_R	N/mm²	0,232·2,19·0,4 = 203 kN/m	0,222·2,19·0,4 = 194,4
N_o / N_R	-	124,4 / 203 = 0,61	199,4 / 194,4 = 1,03

Tabelle 64 zeigt die Ergebnisse für eine weitere Kombination.

Tabelle 64 Ergebnisse der numerischen Berechnung und Nachweisführung (W490; a/t=0,5; p=9,25 kN/m²; f_{St}=2,0 N/mm²)

N_u	N_{Decke}	N_o	N_V	N_D	b_{Vc}	b_{Dc}	σ_V	σ_D	Φ_{St} (28)	N_R	N_o / N_R
kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	N/mm²	N/mm²	-	kN/m	-
55,0	44,9	101,4	5,0	96,4	0,038	0,072	0,13	1,34	0,155	151,5	0,67
80,0	44,9	126,4	17,1	109,3	0,038	0,078	0,45	1,40	0,184	180,4	0,70
105,0	44,9	151,4	31,1	120,4	0,038	0,084	0,81	1,43	0,216	211,3	0,72
130,0	44,9	176,4	46,8	129,6	0,038	0,088	1,22	1,47	0,244	239,5	0,74
154,9	44,9	201,4	62,2	139,3	0,038	0,094	1,62	1,48	0,253	248,1	0,81
179,9	44,9	226,4	77,5	148,9	0,038	0,100	2,02	1,49	0,228	223,7	1,01
204,9	44,9	251,4	92,4	159,0	0,044	0,104	2,10	1,53	0,244	239,4	1,05

Für alle anderen Material- und Lastkombinationen kann analog vorgegangen werden.

7.5.2.2. Getrennter Nachweis für Deckenauflager und Deckenabmauerungsstein

Tabelle 65 enthält die Ergebnisse der numerischen Berechnung und Nachweisführung bei getrenntem Nachweis für Deckenauflager und Deckenabmauerungsstein für den WDK mit einer Wanddicke von t = 0,40 m und einer Auflagertiefe von a = 0,3·t. In Tabelle 66 sind die Ergebnisse für den WDK mit t = 0,49 m und einer Auflagertiefe von a = 0,5·t zusammengefasst.

Der Nachweis am Deckenabmauerungsstein erfolgte gemäß Gleichung (36) am Deckenauflager nach Gleichung (38). Es zeigte sich, dass für eine Auflagertiefe von a = 0,3·t ein Nachweis bis zu einer resultierenden Normalkraft von etwa 175 kN/m und bei a = 0,5·t bis zu etwa 225 kN/m möglich ist. Im Vergleich zu den Versuchsergebnissen sind also Reserven vorhanden. Die Auflast entspricht mindestens 3 zusätzlichen Geschossen. Die weiteren Ergebnisse können dem Anhang entnommen werden.

Tabelle 65 Ergebnisse der numerischen Berechnung und Nachweisführung (W400; a/t=0,3; p=9,25 kN/m²; f_{St}=2,19 N/mm²)

N_u	N_{Decke}	N_o	e_o	N_V	e_V	N_D	e_D	$N_{R,V}$ (36)	$N_{R,D}$ (38)	$N_V/N_{R,V}$	$N_D/N_{R,D}$
kN/m	kN/m	kN/m	m	kN/m	m	kN/m	m	kN/m	kN/m	-	-
16,1	44,9	62,0	0,147	7,8	0,104	54,2	0,177	84,0	100,7	0,09	0,54
28,6	44,9	74,5	0,124	16,0	0,104	58,6	0,176	84,0	105,1	0,19	0,56
53,6	44,9	99,5	0,09	32,9	0,104	66,6	0,174	84,0	113,9	0,39	0,59
78,6	44,9	124,4	0,068	49,3	0,104	75,3	0,172	84,0	122,6	0,59	0,61
103,6	44,9	149,4	0,054	64,8	0,104	84,9	0,170	84,0	131,4	0,77	0,65
128,6	44,9	174,4	0,045	79,9	0,104	94,8	0,168	84,0	140,2	0,95	0,68
153,6	44,9	199,4	0,038	94,5	0,106	105,3	0,166	92,0	148,9	1,03	0,71
178,6	44,9	222,4	0,033	109,0	0,109	115,9	0,164	105,1	157,7	1,04	0,73
203,6	44,9	247,3	0,029	123,1	0,111	126,9	0,162	113,9	166,4	1,08	0,76

Bild 152 zeigt die grafische Darstellung der Ergebnisse. Abgebildet ist jeweils das Verhältnis aus Lastanteil (N_V, N_D) und Teilwiderstand ($N_{R,V}$, $N_{R,D}$) in Abhängigkeit von N_u/N_{Decke}. Für a/t = 0,3 geht der Nachweis am Deckenabmauerungsstein etwa ab N_u/N_{Decke} = 3,3 nicht mehr auf.

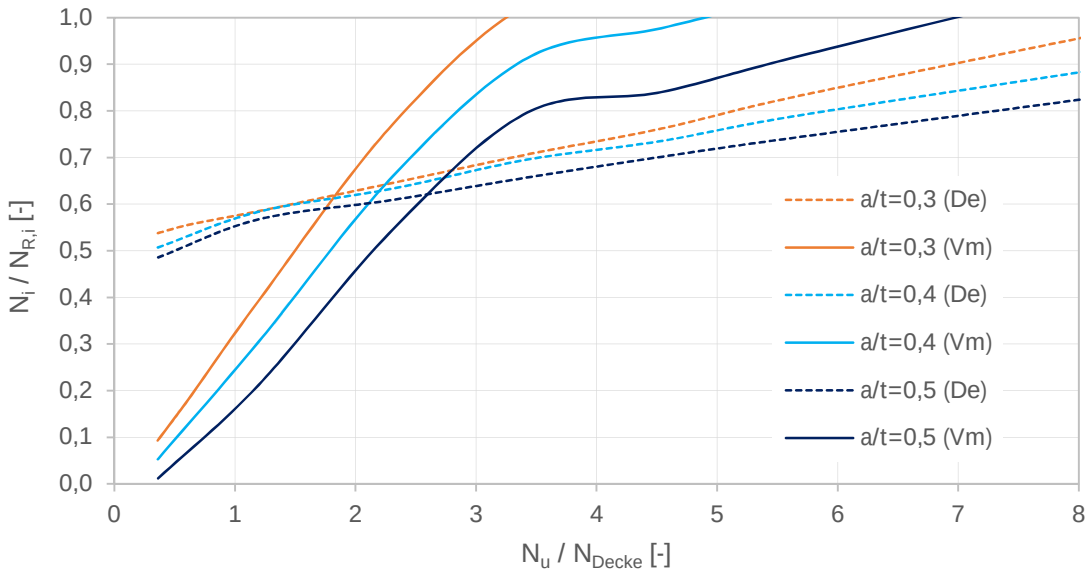


Bild 152 Grafische Darstellung des getrennten Nachweises für Deckenauflager und Deckenabmauerungsstein für W400; p=9,25 kN/m²

Tabelle 66 Ergebnisse der numerischen Berechnung und Nachweisführung (W490, a/t=0,5; p=9,25 kN/m²; f_{St}=2,0 N/mm²)

N_u	N_{Decke}	N_o	e_o	N_V	e_V	N_D	e_D	$N_{R,V}$ (36)	$N_{R,D}$ (38)	$N_V/N_{R,V}$	$N_D/N_{R,D}$
kN/m	kN/m	kN/m	m	kN/m	m	kN/m	m	kN/m	kN/m	-	-
55,0	44,9	101,4	0,205	5,0	0,149	96,4	0,204	76,7	144,0	0,07	0,67
80,0	44,9	126,4	0,170	17,1	0,149	109,3	0,204	76,7	156,0	0,22	0,70
105,0	44,9	151,4	0,140	31,1	0,149	120,4	0,203	76,7	168,0	0,41	0,72
130,0	44,9	176,4	0,114	46,8	0,149	129,6	0,201	76,7	176,0	0,61	0,74
154,9	44,9	201,4	0,094	62,2	0,149	139,3	0,198	76,7	188,0	0,81	0,74
179,9	44,9	226,4	0,079	77,5	0,149	148,9	0,195	76,7	200,0	1,00	0,74
204,9	44,9	251,4	0,066	92,4	0,152	159,0	0,193	88,0	208,0	1,05	0,76

Als nächstes soll die Nutzung der in Diagrammform bereitgestellten Abminderungsfaktoren für Deckenauflager und Deckenabmauerungsstein am Beispiel der Serie W425 demonstriert werden. Die Abminderungsfaktoren ergeben sich nach Gleichung (32) bzw. (34) aus den numerisch ermittelten Lastausmitten.
Mit der ebenfalls als Diagramm dargestellten Lastspreizung in Bild 153 b) können auch Zwischenwerte, die nicht in der Tabelle erfasst sind, nachgewiesen werden wie in Tabelle 67 beispielhaft demonstriert wurde.

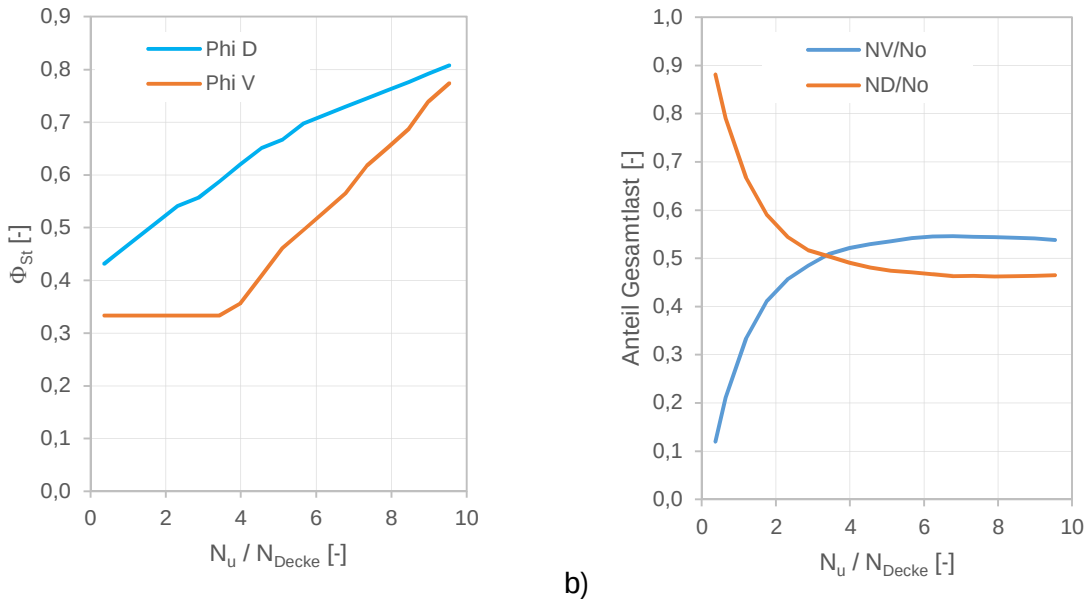


Bild 153 a) Abminderungsbeiwert für Nachweis am Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager für W425 für p=9,25 kN/m²; a=0,3t; b) Zugehörige Lastspreizung

Tabelle 67 Nachweisführung für W425, a/t=0,3; p=9,25 kN/m)

Wanddicke t	m	0,425
a/t	-	0,3
t_V	m	0,115
Wandauflast N_u	kN/m	100
N_{Decke}	kN/m	45
N_o	kN/m	145
N_u / N_{Decke}	-	2,22
N_V abgelesen	kN/m	65 (0,45·145)
N_D abgelesen	kN/m	80 (0,55·145)
Φ_V	-	0,33
Φ_D	-	0,5
f_{st}	N/mm²	2,37
N_V / $N_{R,V}$	-	65 / 89,9 = 0,72
N_D / $N_{R,D}$	-	80 / 150 = 0,53

7.5.3. Vereinfachter Ansatz

In Abschnitt 7.5.3 soll die Anwendung der entwickelten vereinfachten Herangehensweise demonstriert werden. Grundlage bilden die schon im vorigen Abschnitt genutzten Material- bzw. Lastkombinationen.
Im Zuge einer vereinfachten Herangehensweise wurde vorgeschlagen, den Nachweis auf Basis des Mindestabminderungsbeiwertes zu führen. Die Mitwirkung des Deckenabmauerungssteins wird dabei über einen zusätzlichen Faktor κ geregelt, welcher sich aus den experimentellen Untersuchungen ergibt (Bild 149 b); vgl. auch 7.3.2).

$$\Phi_{St,s} = \frac{1}{3} \cdot \frac{a + \kappa \cdot t_V}{t} \qquad \text{mit} \qquad \kappa\left(\frac{a}{t}; \frac{N_u}{N_{Decke}}; \frac{N_V}{N_D}; l_{Decke}\right). \tag{52}$$

Tabelle 68 enthält die Ergebnisse für W400 mit a/t = 0,3 bei vereinfachter Nachweisführung gemäß Gleichung (50). Wie aus der Aufstellung hervorgeht, kann nach dieser Herangehensweise eine resultierende Normalkraft in Höhe von etwa 150 kN/m nachgewiesen werden. Im Vergleich zur genaueren Variante also ein geringerer Wert.

Tabelle 68 Ergebnisse der vereinfachten Nachweisführung für W400; a/t=0,3; p=9,25 kN/m²; f_{St}=2,19 N/mm²

N_u	N_{Decke}	N_o	N_u / N_{Decke}	κ Bild 149 b)	Φ (52)	N_R (50)	N_o/N_R
kN/m	kN/m	kN/m	-	-	-	kN/m	-
16,1	44,9	62,0	0,36	0,3	0,129	112,8	0,55
28,6	44,9	74,5	0,64	0,3	0,129	112,8	0,66
53,6	44,9	99,5	1,20	0,48	0,146	127,9	0,78
78,6	44,9	124,4	1,75	0,63	0,160	140,5	0,89
103,6	44,9	149,4	2,31	0,74	0,171	149,7	1,00
128,6	44,9	174,4	2,87	0,8	0,177	154,8	1,13
153,6	44,9	199,4	3,42	0,82	0,179	156,4	1,27
178,6	44,9	222,4	3,98	0,84	0,181	158,1	1,41
203,6	44,9	247,3	4,54	0,86	0,182	159,8	1,55

In Bild 157 ist u. a. der nach Gleichung (52) bestimmte, und auf dem vereinfachten Ansatz der Berechnung in Bild 149 b) basierende, Abminderungsfaktor für t = 0,4 m und a/t = 0,3 dargestellt. Damit ist es dann auch möglich, die Berechnung für Zwischenwerte durchzuführen. Für die anderen Varianten ist analog zu verfahren. Das zweite Beispiel ist in der Gegenüberstellung im nächsten Abschnitt mit aufgeführt.

7.5.4. Gegenüberstellung

In Tabelle 69 sind die Ergebnisse, die sich nach den verschiedenen Herangehensweisen ergeben, für das Beispiel t=0,4m mit a/t=0,3 gegenübergestellt. Nach dem vereinfachten Verfahren ergeben sich dabei geringere Tragwiderstände, als nach der genauen Methode. Die beiden genaueren Verfahren liefern bezogen auf N_o ähnliche maximale Traglasten.

Tabelle 69 Gegenüberstellung für W400; a/t=0,3; p=9,25 kN/m²; f_{St}=2,19 N/mm²

N_u	N_{Decke}	N_o	N_V	genaue Variante		vereinfacht
				N_R (7.2.1)	$N_{R,V}$ (0)	N_R (7.3.2)
kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m
16,1	44,9	62,0	7,8	115,2	84,0	112,8
28,6	44,9	74,5	16,0	133,7	84,0	112,8
53,6	44,9	99,5	32,9	170,2	84,0	127,9
78,6	44,9	124,4	49,3	203,0	84,0	140,5
103,6	44,9	149,4	64,8	193,7	84,0	149,7
128,6	44,9	174,4	79,9	183,4	84,0	154,8
153,6	44,9	199,4	94,5	194,4	92,0	156,4
178,6	44,9	222,4	109,0	216,8	105,1	158,1
203,6	44,9	247,3	123,1	231,2	113,9	159,8

Tabelle 70 enthält die entsprechenden Ergebnisse für das zweite Beispiel. Auch hier ergeben sich nach dem vereinfachten Verfahren geringere Traglasten.

Tabelle 70 Gegenüberstellung für W490; a/t=0,5; p=9,25 kN/m²; f_{St}=2,0 N/mm²

N_u	N_{Decke}	N_o	N_V	genaue Variante		vereinfacht
				N_R (7.2.1)	$N_{R,V}$ (0)	N_R (7.3.2)
kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m
55,0	44,9	101,4	5,0	151,5	76,7	172,9
80,0	44,9	126,4	17,1	180,4	76,7	183,3
105,0	44,9	151,4	31,1	211,3	76,7	194,0
130,0	44,9	176,4	46,8	239,5	76,7	200,9
154,9	44,9	201,4	62,2	248,1	76,7	204,0
179,9	44,9	226,4	77,5	223,7	76,7	206,3
204,9	44,9	251,4	92,4	239,4	88,0	207,8

7.6. Zusammenfassung

7.6.1. Allgemein

Die nach den oben beschriebenen Verfahren ermittelten Tragwiderstände liegen für den Großteil der Versuche unterhalb des experimentellen Tragwiderstands. Die gewählte Herangehensweise beinhaltet demnach noch einige Reserven. Gegebenenfalls ist für die Überführung in ein allgemeines Schema noch die Umrechnung vom Mittelwert-Niveau auf das Bemessungswert-Niveau erforderlich.
Die Nachweisführung mit genauen Verfahren ist eng an die jeweils wirkenden Schnittgrößen gebunden. Insofern ist deren Ermittlung ein wesentlicher Grundbaustein für die Entwicklung entsprechender Methoden. Dabei ist darauf zu achten, dass die für die Schnittgrößenermittlung angesetzte Festigkeit und die Festigkeit bei der Bestimmung des Tragwiderstandes das gleiche Niveau haben sollten.
Die Nachweise sind jeweils mit der Steinfestigkeit zu führen. Die Deckenplatte wurde direkt auf dem Wandkopf aufgelagert. Die darunter angeordnete Trennschicht aus Bitumenbahn dient dabei nur dem Abdämpfen von Spannungsspitzen an der Kante und dem Höhenausgleich. Auswirkungen auf die anzusetzende Festigkeit ergeben sich daraus nicht. Die tastweise Anordnung von Trennlagen aus Bitumenbahn über und unter dem Stein bei Einzelsteinversuchen zeigte keine nennenswerten traglastmindernden Einflüsse.
Auf der anderen Seite ergibt sich am Deckenabmauerungsstein eine Situation mit Teilflächenpressung. In diesem Zusammenhang durchgeführte Tastversuche an zusammengesetzten 2-Stein-Körpern hatten ergeben, dass die Bruchfestigkeit unter dem Deckenabmauerungsstein im Bereich der Steinfestigkeit liegt (Bild 154, siehe auch Anhang).
Demzufolge erscheint der Ansatz der Steinfestigkeit beim Nachweis bei dieser Problematik gerechtfertigt.

a)

b)

Bild 154 Tastversuche an 2-Stein-Prüfkörper; a) Vor und b) nach Durchführung

Die in Abschnitt 7 vorgestellten Methoden scheinen geeignet für die Nachweisführung zu sein.
Die vereinfachte Herangehensweise nach Abschnitt 7.3.2 kann als Ausgangspunkt für einen allgemeinen Ansatz dienen. Die Mitwirkung des Deckenabmauerungssteins wurde experimentell und numerisch nachgewiesen.
Bei der Berechnung sind Maßnahmen zur Lastzentrierung entsprechend zu berücksichtigen (siehe auch Abschnitt 8.2.3).

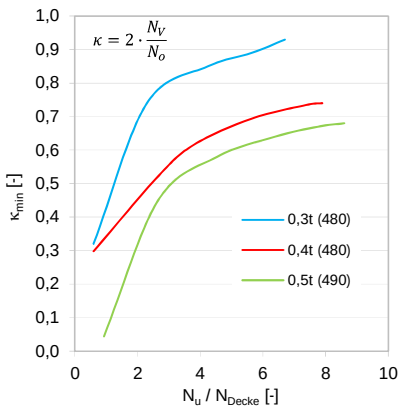
7.6.2. Übersicht

Nachweisverfahren für teilweise aufliegende Deckenplatten

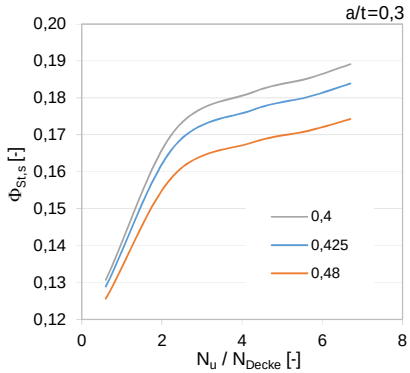
Vereinfachter Ansatz

- Basis: Mindestabminderungsbeiwert
- Mitwirkung Deckenabmauerungsstein exp. bestimmt
  - o κ_{min}: allgemein (minimale Werte)
  - o κ_t: auf Wanddicke bezogen

$$\kappa\left(\frac{a}{t};\frac{N_u}{N_{Decke}};\frac{N_V}{N_o};l_{Decke}\right)$$



$$\Phi_{St,s} = \frac{a}{3t} + \kappa \cdot \frac{t_V}{3t}$$

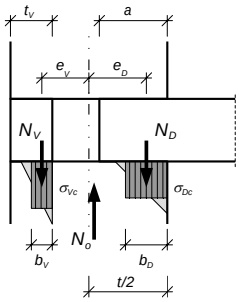


$$N_o \leq N_{R,s} = \Phi_{St,s} \cdot f_{St} \cdot t$$

Genauere Verfahren

- Numerische Schnittgrößenermittlung
- Ergebnisse als Tabelle oder Diagramm

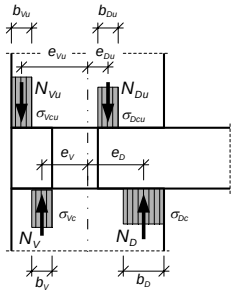
Gemeinsamer Nachweis Φ_{St}



$$\Phi_{St} = \frac{N_V + N_D}{max(\sigma_{Vc};\sigma_{Dc}) \cdot t} \leq \Phi^*_{max}$$

$$N_o \leq N_R = \Phi_{St} \cdot f_{St} \cdot t$$

Getrennter Nachweis $\Phi_{St,V}$, $\Phi_{St,D}$



$$\Phi_{St,V} = \left(2\frac{e_V}{t_V} - \frac{t}{t_V} + 2\right) \qquad \Phi_{St,D} = \frac{(t - 2e_D)}{a}$$

$$N_D \leq N_{R,D} = \Phi_{St,D} \cdot f_{St} \cdot a$$

$$N_V \leq N_{R,V} = \Phi_{St,V} \cdot f_{St} \cdot t_V$$

Individuelle FE Berechnung

Bild 155 Übersicht Nachweisverfahren bei teilweise aufliegenden Deckenplatte

7.6.3. Aufbereitung für die praktische Anwendung

7.6.3.1. Vereinfachte Herangehensweise

Für den allgemeinen Anwendungsfall wird der Abminderungsfaktor (basierend auf den κ_{min}-Werten, Bild 149) für verschiedene Wanddicken ($t \geq 0{,}4$ m) und Auflagertiefen (a/t) als Diagramm bereitgestellt (Bild 156 und Bild 157) und kann in Abhängigkeit des Verhältnisses N_u/N_{Decke} direkt daraus abgegriffen werden.

Der anschließende Nachweis ist gemäß der o. g. Ausführungen mit der Steinfestigkeit zu führen. Es gilt

$$N_o \leq N_{R,S} = \Phi_{St,s} \cdot f_{St} \cdot t. \tag{53}$$

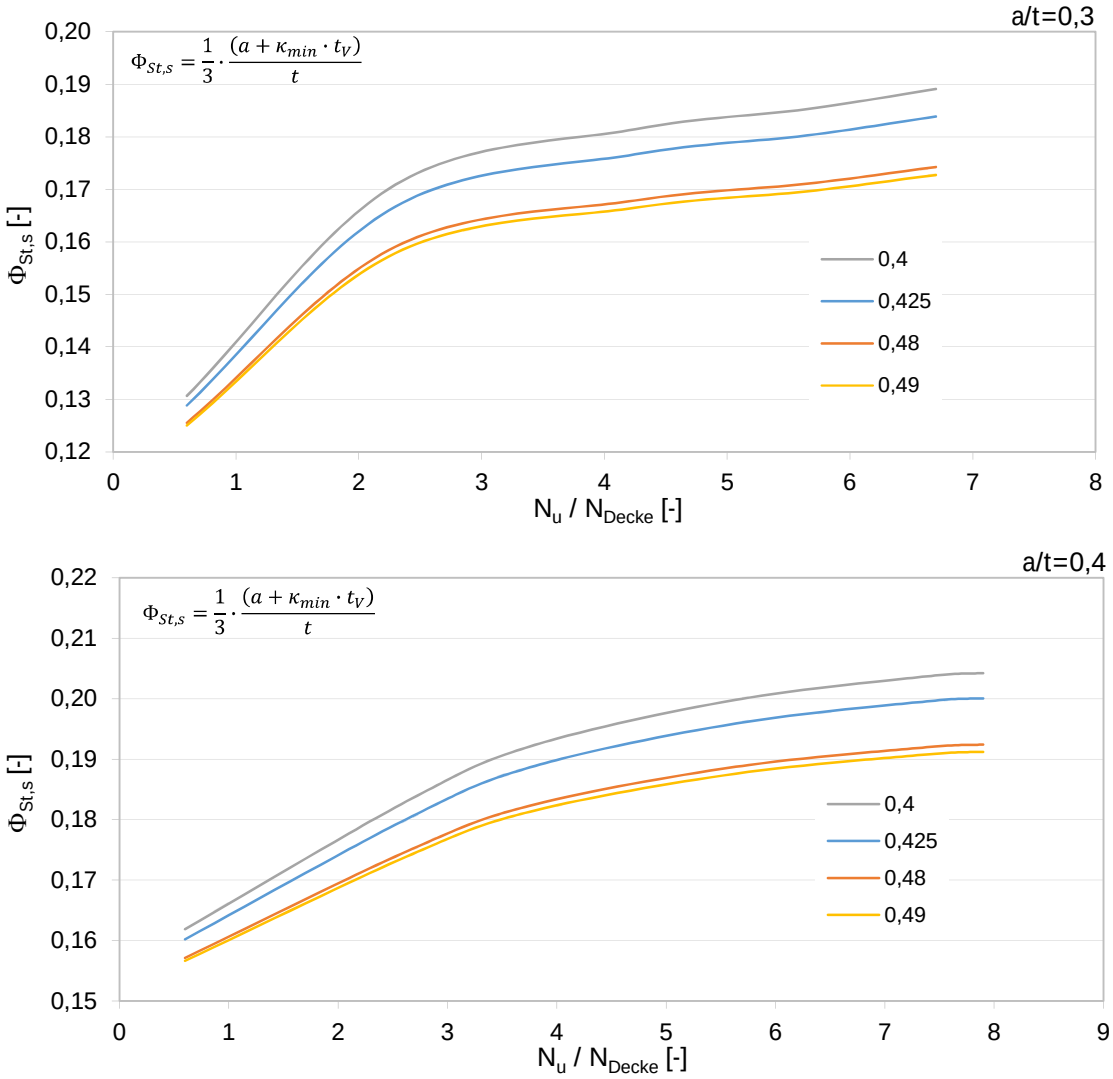


Bild 156 Abminderungsfaktor für vereinfachte Nachweisführung für verschiedene Wanddicken bei a/t=0,3 und 0,4

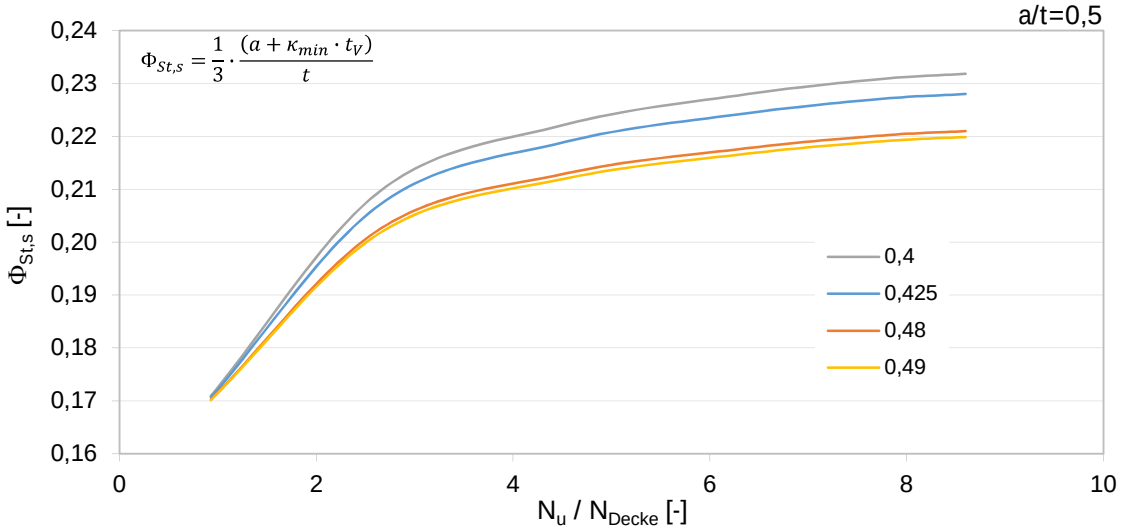


Bild 157 Abminderungsfaktor für vereinfachte Nachweisführung für verschiedene Wanddicken und a/t=0,5

7.6.3.2. Genauere Verfahren

Wie bereits zuvor erwähnt wurde, ist eine genaue Nachweisführung untrennbar mit der Schnittgrößenermittlung am jeweiligen Bauteil verbunden. Aufgrund der komplexen Struktur des WDK und der zahlreichen Einflussparameter ist diese bei der vorliegenden Problemstellung jedoch mit einem hohen Aufwand verbunden. Die bisher genutzten Modelle (Momentenermittlung und –verteilung an Ersatzsystemen) sind dafür nicht geeignet. Insofern verbleibt zunächst nur die Möglichkeit, die Schnittgrößen auf numerischem Weg mittels der FEM zu bestimmen.

Neben der Nachstellung der Versuche wurden in den hier durchgeführten numerischen Berechnungen auch nicht experimentell untersuchte Bereiche berücksichtigt (numerische Parameterstudien, siehe 6.4). Die Ergebnisse liegen in Tabellenform vor (in Auszügen im Anhang gelistet) und können mit den entsprechenden Formeln direkt für die Nachweisführung verwendet werden. Alternativ können auch Diagramme bereitgestellt werden.

Die Gültigkeit der Verfahrensweise ist auf die den Analysen zu Grunde liegenden Materialien beschränkt. Für diese ist theoretisch die Nachweisführung für alle Kombinationen aus dem berücksichtigten Parameterbereich möglich.
Bei der Anwendung ist zu berücksichtigen, dass jeweils nur eine bestimmte Kombination (Deckenlast, Geometrie) experimentell untersucht wurde. Die Ergebnisse der Parameterstudien für die entsprechenden nicht untersuchten Bereiche sind dementsprechend nicht experimentell abgesichert. Innerhalb der üblichen Anwendungsgrenzen der Materialien ergeben sich dadurch jedoch keine Nachteile.

7.7. Beispielhafte Anwendung

7.7.1. Ausgangslage

Gegeben: WDK mit Wanddicke t, Wandhöhe h_W

Auflagertiefe a, E-Modul Decke E_{De}, Länge der Decke l_{Decke}

Belastung: Normalkraft in der oberen Wand N_u
Auflagerkraft Decke $N_{De,d}$ aus Deckenbelastung $q_{De,d}$
zusätzliche horizontale Belastungen z.B. aus Wind

gesucht: Lastaufteilung zwischen Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager (N_V, N_D)
Lastausmitten für den Nachweis

Lösung: Mit $N_{u,d}$ und $p_{De,d}$ können die erforderlichen Werte direkt aus den Tabellen abgelesen werden. Zwischenwerte sind zu interpolieren. Alternativ lassen sich die Abminderungsfaktoren auch in Form von Diagrammen darstellen.

7.7.2. Beispiel 1

Tabelle 71 Eingangsdaten für Beispiel 1

Wanddicke t	0,4 m
Auflagertiefe bei a/t=0,3	0,12 m
Dicke Deckenabmauerungsstein t_V	0,115 m
Lichte Wandhöhe	3 m
Deckenlänge l	6 m
Elastizitätsmodul der Decke E_{De}	15000 N/mm² (gerissen)
Deckendicke h_D	0,23 m
Ausbaulast Decke $g_{Ab,k}$	2 kN/m²
Verkehrslast $p_{De,p,k}$	3 kN/m²
$g_{Ab,d}$ + $p_{De,p,d}$	2·1,35+3·1,5=7,2 kN/m²
$q_{De,d}$ (Bemessungswert)	0,23·25·1,35+2·1,35+3·1,5=14,96=15 kN/m²
Auflagerkraft N_{De}	45 kN/m
Wind w_k	0 kN/m²
Normalkraft $N_{u,d}$ in der oberen Wand	103,6 kN/m
$N_{u,d}$ / $N_{De,d}$	2,3
resultierende Normalkraft am Wandkopf $N_{o,d}$	103,6 + 45 + EG Deckenabmauerungsstein ≈ 149 kN/m
Steindruckfestigkeit f_b	2,19 N/mm²
experimentell best. Traglast $N_{R,exp}$	148,22 kN/m (Bild A 74 im Anhang)

a) Gemeinsamer Nachweis
Aus Anhang 7.1, Tabelle A 109 wird abgelesen:

$p_{De,d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	b_V	b_D	σ_V	σ_D
9,2	103,6	44,85	149,43	64,77	84,9	0,038	0,060	1,69	1,41

Maßgebend für die Ablesung sind $N_{u,d}$ und $N_{De,d}$. Der Unterschied bei $p_{De,d}$ hat keinen beachtenswerten Einfluss auf das Ergebnis.

$$\Phi_{St} = \frac{N_{V,d} + N_{D,d}}{max\ \sigma \cdot t} = \frac{(64{,}77 + 84{,}9) \cdot 10^{-3}}{1{,}69 \cdot 0{,}4} = 0{,}221 \tag{54}$$

Gemäß vorheriger Erläuterungen (s. Abschnitt 7.2.2) wird der Nachweis mit f_b geführt.

$$N_R = \Phi_{St} \cdot f_b \cdot t = 0{,}221 \cdot 2{,}19 \cdot 0{,}4 = 193{,}5 \frac{kN}{m} > N_{o,d} = 149\ \text{kN/m} \tag{55}$$

b) Getrennter Nachweis von Deckenauflager und Deckenabmauerungsstein

Aus Tabelle A 133 ergeben sich für den getrennten Nachweis folgende Werte:

l	$p_{De,d}$	$N_{u,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	$e_{V,d}$	$e_{D,d}$
6	9,2	103,6	64,77	84,9	0,104	0,170

Mit den Gln. (34) und (36) erhält man

$$N_{V,d} = 64{,}7\ kN/m \leq N_{R,V} = 83{,}2\ kN/m \tag{56}$$

bzw. nach den Gln. (32) und (38)

$$N_{D,d} = 84{,}9\ kN/m \leq N_{R,D} = 131{,}4\ kN/m. \tag{57}$$

Es ergibt sich folgendes $\Phi_{St,V}$, $\Phi_{St,D}$ Diagramm (vgl. Bild 158).

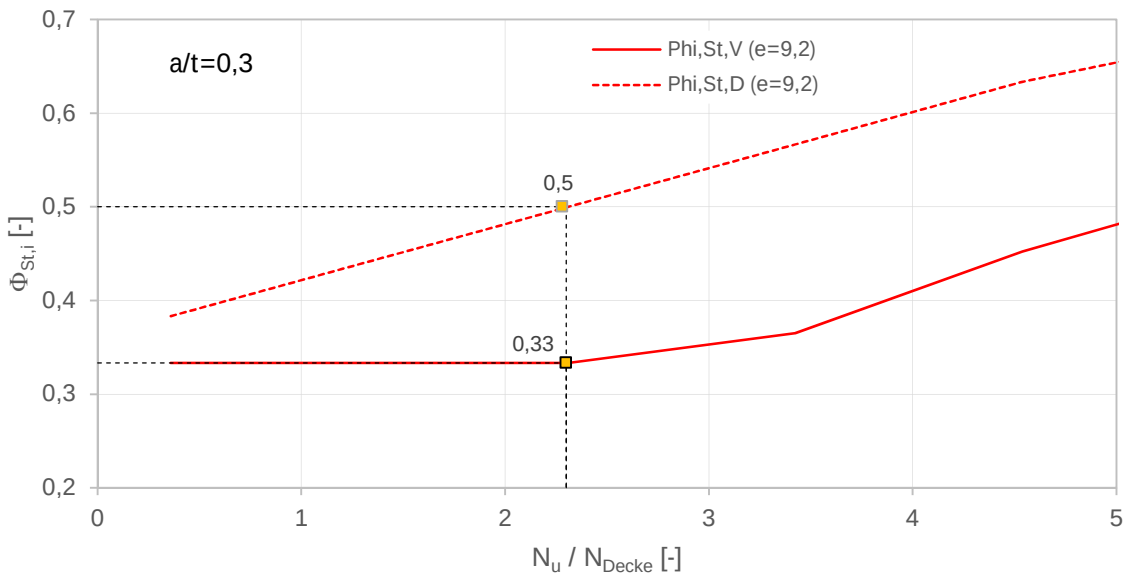


Bild 158 Abminderungsfaktoren für den Nachweis am Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager (a=0,3t)

Der Nachweis lautet anschließend:

$$N_{R,V} = \Phi_{St,V} \cdot f_b \cdot t_V = 0{,}33 \cdot 2{,}19 \cdot 0{,}115 = 83\ kN/m > N_{V,d} = 64{,}7\ kN/m \quad (58)$$

bzw.

$$N_{R,D} = \Phi_{St,D} \cdot f_b \cdot a = 0{,}5 \cdot 2{,}19 \cdot 0{,}12 = 131{,}4\ kN/m > N_{D,d} = 84{,}9\ kN/m \quad (59)$$

c) Vereinfachtes allgemeines Verfahren

Nach dem vereinfachten allgemeinen Verfahren (κ_{min}) ergibt sich das Diagramm:

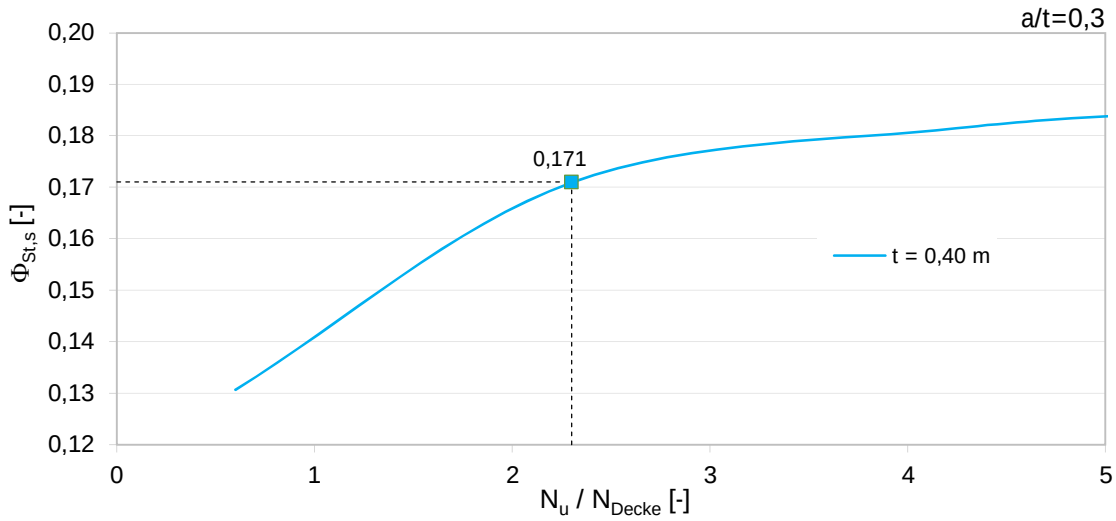


Bild 159 Abminderungsbeiwert nach vereinfachtem allgemeinen Verfahren (t=0,40m), siehe auch Bild 156

Nach der vereinfachten Herangehensweise gilt

$$N_o \leq N_{R,s} = \Phi_{St,s} \cdot f_b \cdot t. \quad (60)$$

mit dem Abminderungsfaktor $\Phi_{St,s}$ nach Bild 159.

$$N_{R,s} = 0{,}171 \cdot 2{,}19 \cdot 0{,}4 = 149{,}7\ kN/m > N_{o,d} = 149\ kN/m. \quad (61)$$

Mit dem wanddickenbezogenen Diagramm in Bild 156 ergibt sich ein geringfügig höherer Wert.

Die Laststufe lässt sich mit allen Verfahren nachweisen. Für eine praktische Anwendung ist der Teilsicherheitsbeiwert auf der Materialseite mit zu berücksichtigen.

7.7.3. Beispiel 2

Bis auf die Normalkraft am Wandfuß der oberen Wand N_u bleiben die Eingangsdaten gleich.

Tabelle 72 Eingangsdaten für Beispiel 1

Normalkraft $N_{u,d}$ in der oberen Wand	153,6 kN/m
$N_{u,d}$ / $N_{De,d}$	3,41
resultierende Normalkraft am Wandkopf $N_{o,d}$	153,6 + 45 + EG Deckenabmauerungsstein ≈ 199 kN/m
Steindruckfestigkeit	2,19 N/mm²
experimentell best. Traglast $N_{R,exp}$	240 kN/m
$N_{V,d}$	94,5 kN/m
$N_{D,d}$	105,25 kN/m
Φ_{St} nach Gl. (54)	0,222

a) Gemeinsamer Nachweis

$$N_R = \Phi_{St} \cdot f_{St} \cdot t = 0{,}222 \cdot 2{,}19 \cdot 0{,}4 = 194\ kN/m < 199\ kN/m < N_{R,exp} \quad (62)$$

b) Getrennter Nachweis

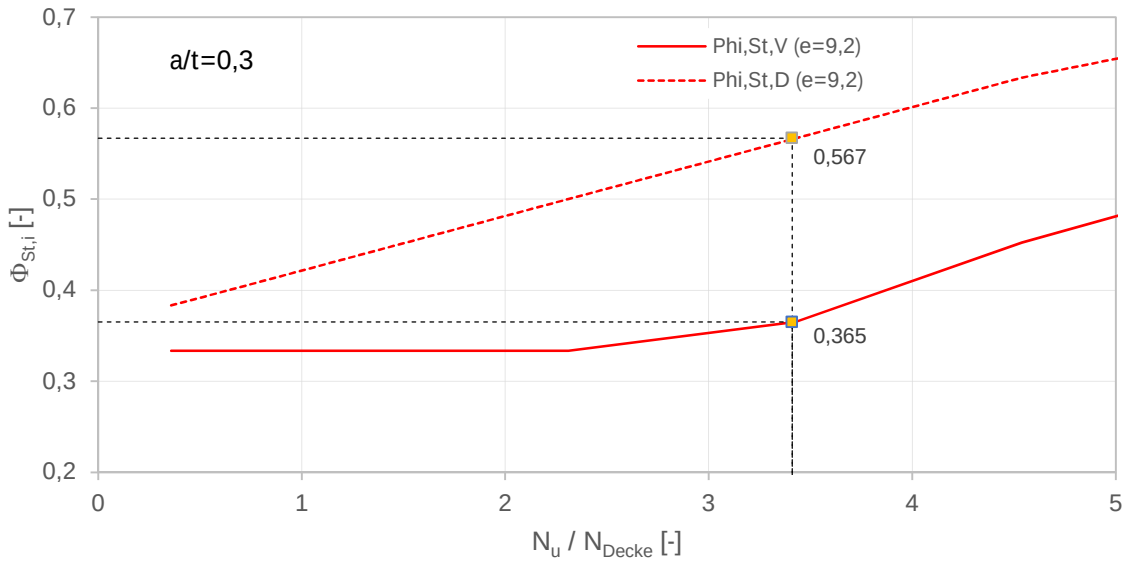


Bild 160 Abminderungsfaktoren für den Nachweis am Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager (a=0,3t)

$$N_{R,V} = \Phi_{St,V} \cdot f_{St} \cdot t_V = 0{,}365 \cdot 2{,}19 \cdot 0{,}115 = 92\ kN/m \approx N_V = 94{,}5\ kN/m \quad (63)$$

$$N_{R,D} = \Phi_{St,D} \cdot f_{St} \cdot a = 0{,}567 \cdot 2{,}19 \cdot 0{,}12 = 149\ kN/m > N_D = 105{,}25\ kN/m \quad (64)$$

c) Vereinfachtes allgemeines Verfahren

In Bild 161 ist zusätzlich zum Abminderungsfaktor nach allgemeinem Ansatz (κ_{min}) der wanddickenbezogene Wert mit aufgeführt.

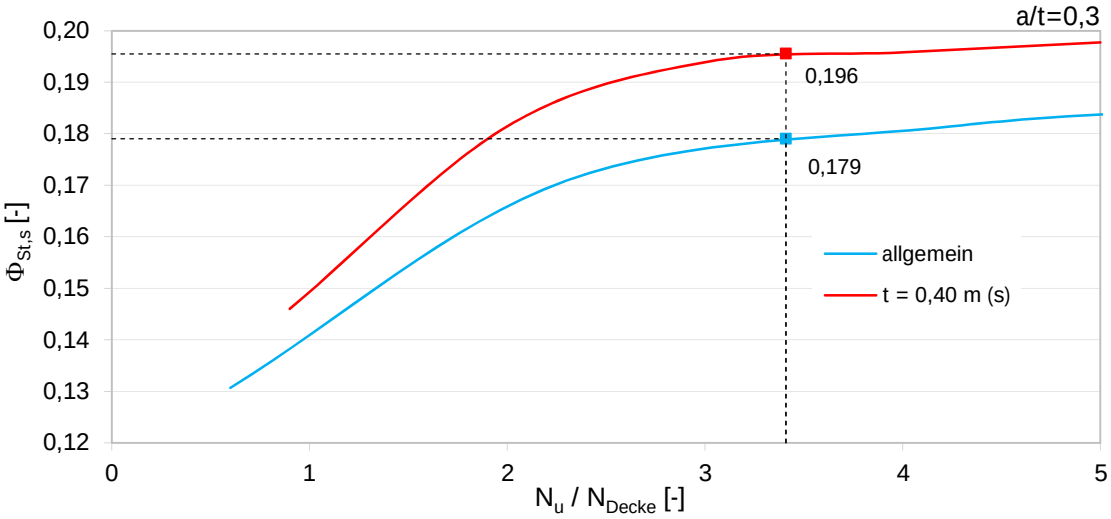


Bild 161 Abminderungsbeiwert nach allgemeinem vereinfachten Verfahren (t=0,40 m)

$$N_{R,s} = 0{,}179 \cdot 2{,}19 \cdot 0{,}4 = 157\ kN/m\ < N_o = 199\ kN/m < N_{R,exp}. \quad (65)$$

$$N_{R,s} = 0{,}196 \cdot 2{,}19 \cdot 0{,}4 = 171\ kN/m\ < N_o = 199\ kN/m < N_{R,exp}. \quad (66)$$

Die Laststufe lässt sich mit allen Verfahren nachweisen. Für eine praktische Anwendung ist der Teilsicherheitsbeiwert auf der Materialseite mit zu berücksichtigen.

8. Weiterführende Betrachtungen

8.1. Bruchverhalten des WDK mit teilweise aufliegender Decke

Baier hat in [41] mögliche Versagensarten des Knotensystems mit voll aufliegender Decke dargestellt und dabei im Wesentlichen in drei Fälle unterschieden (Bild 162).
Das Gleichgewichtsversagen des gesamten Systems (Bild 162 a)) wird dabei durch ein Ausheben der oberen Wand charakterisiert (z. B. für den Fall einer nicht verankerten Attika).
Ortlepp hatte in seinen numerischen Untersuchungen in [48] beobachtet, dass es bei Kombinationen aus großer Deckenspannweite und großer Deckenauflagertiefe – in Abhängigkeit der Lasten auf der Wand und der Decke (Deckenverdrehung) – zu einem Ausheben der oberen Wand kommen kann. Wenn die obere Wand gehalten wird, führt dieses Verhalten jedoch nicht zwangsläufig zum Versagen des Systems. Für den Augenblick wird dadurch lediglich der Punkt der Lasteinleitung (Lastausmitte) beeinflusst.
Das Versagen der Stahlbetondecke bzw. der Nachweis für den GZT wird über die entsprechenden Betonnormen geregelt und soll hier nicht näher berücksichtigt werden.
Das Versagen der Wand (Bild 162 c)) kann nach [41] infolge Überschreitung der Materialfestigkeit (Abscheren am Wandkopf) bzw. durch Verlust der Stabilität (Knicken in Wandmitte) eintreten.

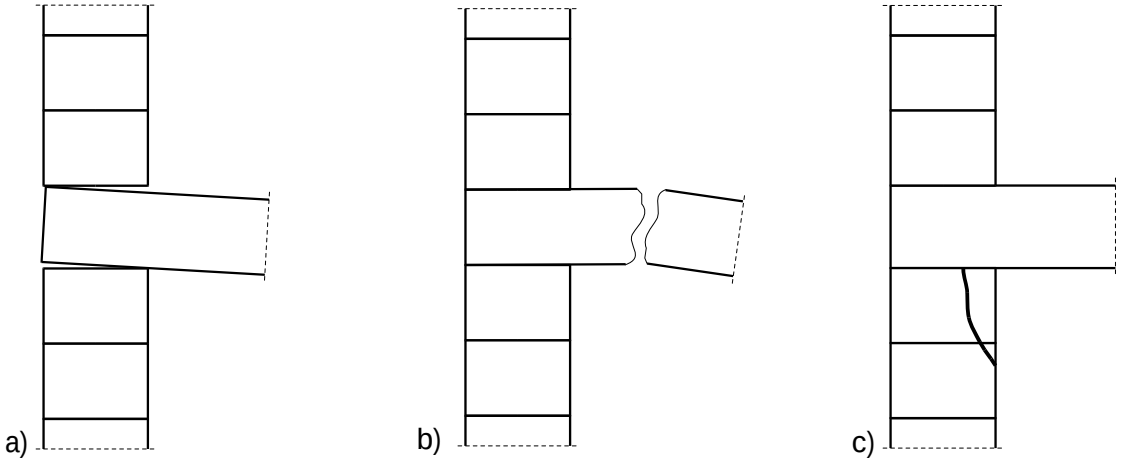


Bild 162 Mögliche Versagensarten des Wand-Decken-Knotens mit voll aufliegender Decke nach [41]; a) Stabilitätsversagen; b) Deckenversagen; c) Wandversagen

Bei den in diesem Projekt betrachteten Systemen mit teilweise aufliegender Deckenplatte und vollständig am Lastabtrag beteiligtem Deckenabmauerungsstein ist ein reines Stabilitätsversagen, wie es bei vollständig aufliegenden Deckenplatten infolge stark exzentrischer oder hoher zentrischer Lasteinleitung auftreten kann, nicht möglich. In Situationen mit geringer Wandauflast bei gleichzeitig hoher Deckenauflagerkraft wirken der Deckenabmauerungsstein und die größeren Wandbreiten (t > 0,365 m) einem „Durchschlagen“ entgegen (Bild 163 a)).
Bei steigender Auflast wird aufgrund der Lastspreizung zwischen Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager eine zweite Last an der Wandaußenseite in den Knoten eingetragen. Unter hohen Lasten kommt es daher, auch aufgrund der Wanddicke, zum Versagen der Wand infolge Überschreitung der Materialfestigkeit. Das Wandversagen, zumindest in den hier betrachteten Fällen, trat unabhängig von der Auflagertiefe der Deckenplatte ausschließlich auf der Wandaußenseite im Bereich des Deckenabmauerungssteins auf (Bild 163 b)).

Bild 163 b) zeigt das experimentell beobachtete und numerisch bestätigte (vgl. Abschnitte 5 und 6.3.5) übliche Versagen des WDK. Die Rissbildung fand dabei über und/oder unter dem Deckenabmauerungsstein statt. Die Neigung variierte ebenfalls.

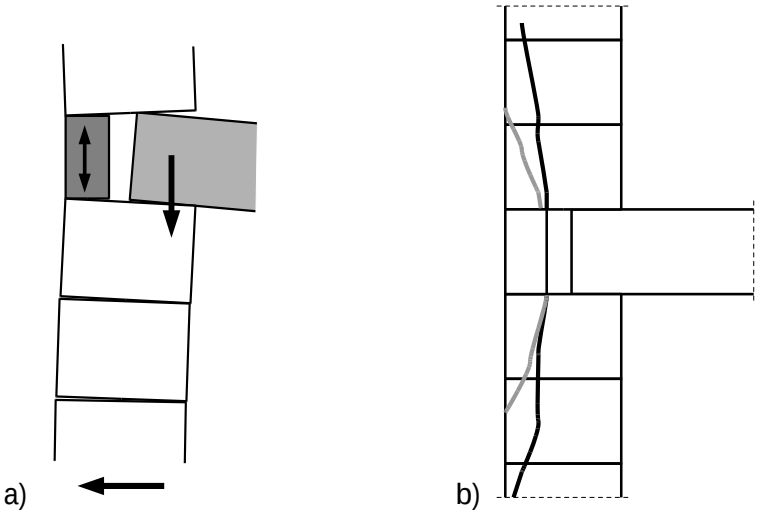


Bild 163 a) Verhinderung des reinen Stabilitätsversagens (Durchschlagen) durch Deckenabmauerungsstein; b) Schematische Darstellung der Versagensmöglichkeiten des WDK mit teilweise aufliegender Deckenplatte (s. a. Risskartierung im Anhang)

8.2. Zur Ausführung des WDK mit teilweise aufliegender Decke

8.2.1. Mörtelausgleichsschicht

Die Verwendung einer ausgleichenden Mörtelschicht über dem Deckenauflager (bzw. über die gesamte Wandlänge) kann neben der Beeinflussung der thermischen Leistungsfähigkeit des Wand-Decken-Knotens auch ungünstige Auswirkungen auf dessen Tragwiderstand haben. Dieser Fall kann dann eintreten, wenn Steine mit vertikal orientierten und nach unten offenen Hohlräumen, wie zum Beispiel Hohlblocksteine, Hochlochziegel oder Hochlochsteine verwendet werden (Bild 164).

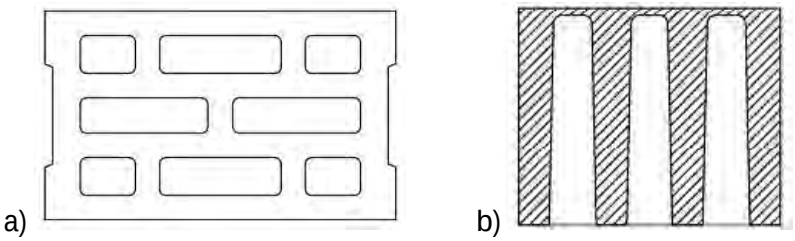


Bild 164 3-Kammer-Hohlblock nach DIN V 18151-100; a) Draufsicht; b) Querschnitt

Beim Verlegen der ersten Reihe in die Ausgleichsschicht drücken sich die Steine in das Mörtelbett ein. Infolgedessen wird der Mörtel in die Hohlräume verdrängt wodurch dann hinter den Stegen eine Art Verzahnung entstehen kann (Bild 165).

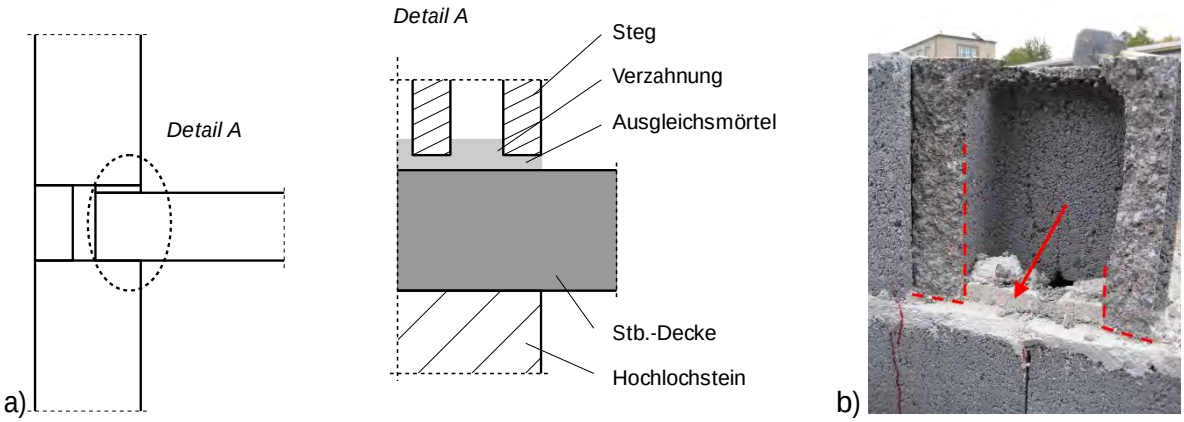


Bild 165 a) Schematische Darstellung eines WDK mit ausgleichender Mörtelschicht und Verzahnung bei Hohlblocksteinen; b) Mörtel im Hohlraum nach Versuch an Mauerwerksprüfkörpern aus 2-Kammer-Hohlblöcken (Beispiel)

In Kombination mit der Durchbiegung der Decke kann diese Verzahnung zu einer zusätzlichen horizontalen Beanspruchung des Mauersteins führen, wie eine durchgeführte numerische Berechnung qualitativ bestätigt hat.
Dafür wurde das vorhandene Modell des Wand-Decken-Knotens so abgeändert, dass in der ersten Reihe über der Decke die Aufgliederung des Steines und beim Ausgleichsmörtel die Verzahnung berücksichtigt werden konnte (Bild 166 a)). Vereinfachend wurde dabei nur ein Außensteg nachgebildet.

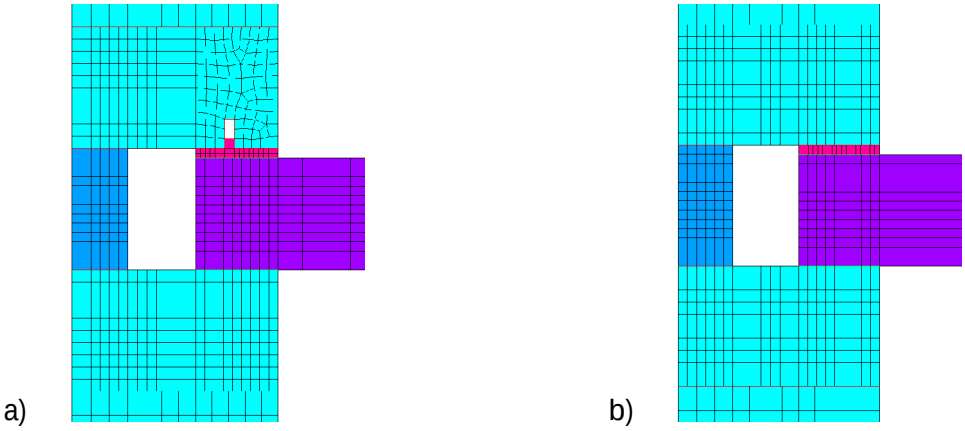


Bild 166 a) FE-Modell mit Verzahnung (vereinfachte Modellierung); b) Referenzmodell ohne Verzahnung

Die Berechnungen einer Lastkombination und der Vergleich mit dem Referenzmodell zeigen deutlich, dass die Verzahnung (unter ansonsten gleichen Randbedingungen) eine zusätzliche horizontale Beanspruchung hervorruft. Neben der Spannungsspitze am Hohlraum ergab sich auch im Bereich des Deckenabmauerungssteins eine höhere Querbeanspruchung (Bild 167).

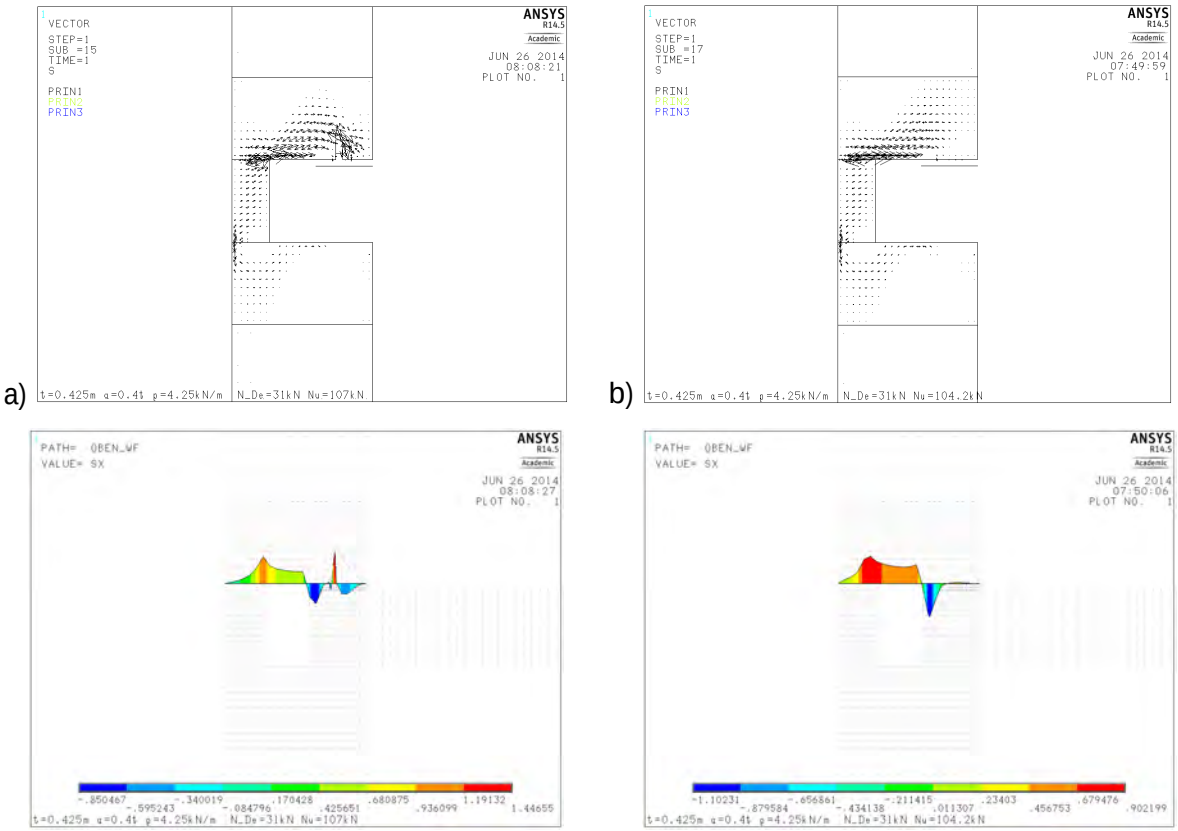


Bild 167 Ergebnisse der tastweisen FE-Berechnung (oben: Hauptspannungen; unten: horizontale Spannungen) ; a) mit Verzahnung; b) ohne Verzahnung

Die zusätzlichen horizontalen Beanspruchungen können eine Rissbildung im Bereich der Stege zur Folge haben (auch ein Abreißen der Außenstege ist möglich).
Da sich in der FE-Berechnung auch die Spannungen im Bereich des Deckenabmauerungssteins erhöhten ist ebenfalls damit zu rechnen, dass die auch in den Versuchen beobachteten Risse in Wandmitte bereits unter geringeren Lasten auftreten. Die veränderte Rissbildung kann die Lastweiterleitung (Lastspreizung) und damit das Versagen beeinflussen.
Ob und in welcher Intensität das beschriebene Szenario auftritt und welche Auswirkungen sich letztlich daraus ergeben hängt von verschiedenen Rahmenbedingungen ab:

- Material (Mörtel, Mauerstein, Deckenplatte),
- Geometrie (Abmessungen, Schichtdicken, Lochbilder),
- Belastungen (Wandauflasten, Deckenauflasten),
- Verformungen (Deckendurchbiegung),
- Ausführung (zusätzliche Trennschichten, etc.).

Aufgrund der vielen Einflussgrößen lassen sich bezüglich dieser Problematik nur qualitative Schlussfolgerungen treffen.
Prinzipiell sind Steine mit großen Hohlräumen (nur wenige Kammern) gegenüber Steinen mit vielen kleineren Hohlräumen (Hochlochziegel) als ungünstiger bzw. anfälliger anzusehen. Bei gefüllten Mauersteinen (zusätzliches Dämmmaterial in den Hohlräumen) hängt es vom ver-

wendeten Füllmaterial (Mineralwolle, mineralische Granulate, Polyurethan) und dessen Verformungsverhalten ab.
Im Allgemeinen sollte daher bei der Verwendung von Ausgleichsschichten bei Steinen mit vertikal orientierten Hohlräumen darauf geachtet werden, dass sich die Stege nicht zu sehr in den Mörtel eindrücken. Gegebenenfalls könnte über der Ausgleichsschicht auch eine Trennlage aus Bitumenbahn angeordnet werden.
Die Anordnung einer Bewehrung (siehe 8.2.2) könnte die Situation u. U. entschärfen.

8.2.2. Bewehrung

Bereits in den numerischen Voruntersuchungen zeigte sich, dass bei WDK mit teilweise aufliegender Deckenplatte die erste Steinreihe über bzw. unter der Deckenplatte einer hohen horizontalen Beanspruchung ausgesetzt ist (vgl. Bild 32). Als ursächlich für diese Querzugbeanspruchung wird die große „Stützweite“ zwischen Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager (Biegebeanspruchung), vor allem bei großen Wanddicken und geringer Auflagertiefe, in Verbindung mit der Durchbiegung der Decke angesehen.
In den experimentellen Untersuchungen bestätigte sich dann partiell die in den Voruntersuchungen (4.2.2) prognostizierte Entstehung von vertikalen Rissen in der Mitte der ersten Steinreihe über bzw. unter der Deckenplatte (Bild 168). Die Risse traten dabei meist in Verbindung mit der ersten Anpassung der Deckenneigung auf (bei einer Auflast von 50 kN, vgl. 0, Bild 60); zum Teil auch bereits bei geringeren Lasten, ohne das eine Neigungsänderung durchgeführt wurde.
Die angesprochenen Risse traten nicht bei allen Prüfkörpern auf (unabhängig von *a*/*t*).

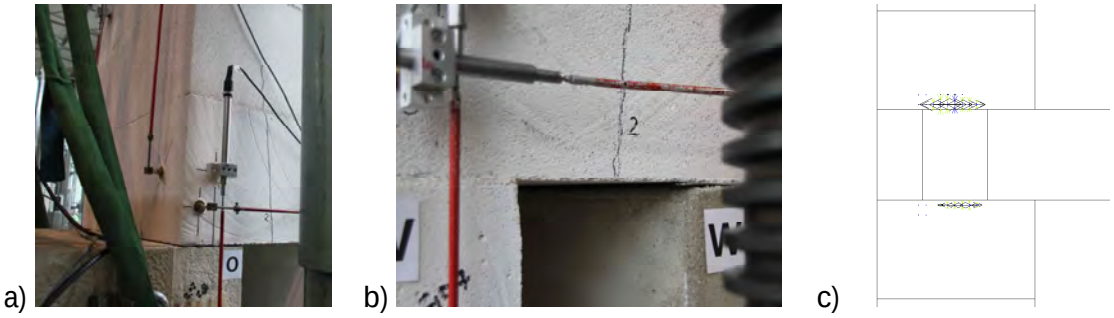


Bild 168 a) Erstriss in Steinmitte am WDK-Prüfkörper (W400-E); b) W425-B; c) Plastische Dehnungen unter geringer Auflast in FE-Simulation (vgl. 6.3)

Aufgrund der oben erwähnten Beobachtungen liegt es nahe, den Wand-Decken-Knoten durch Einlage einer Bewehrung zu ertüchtigen, um auf diese Weise die horizontalen Beanspruchungen abzumindern und so eine Verzögerung der Rissbildung zu erreichen.
Lewicki hatte Versuche durchgeführt, bei denen in der ersten Fuge am Wandfuß (bzw. am Wandkopf und am –fuß) Stabstahl mit einem Durchmesser von 3 mm als Bewehrung eingelegt war (vgl. [57]). Bei den so ausgebildeten Prüfkörpern setzte die Rissbildung im Vergleich zu den unbewehrten Versuchen später ein. Auch konnte dadurch ein höherer Einspanngrad erzielt werden (M_{eff} war höher).
Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Decken in den Versuchen von *Lewicki* zur Hälfte auf der Wand auflagen und des Weiteren eine entsprechend dicke Ausgleichsmörtelschicht verwendet wurde.
Damit eine Bewehrung wirksam eingesetzt werden kann, müssen seitens der Konstruktion mehrere Voraussetzungen erfüllt sein. Zum einen ist bei Anordnung einer Bewehrung zwingend eine Mörtelfuge erforderlich, deren Fugendicke zur Bewehrung passen muss (ausrei-

chende Deckung). Zum anderen ist sicherzustellen, dass die Auflagerflächen auf Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager ausreichen, um die Kräfte zu übertragen (Verankerungslänge).
Bei dieser speziellen Problematik ist weiterhin zu berücksichtigen, dass eine durchgängige Fuge über die komplette Wanddicke (in Abhängigkeit der Dicke) wieder einen thermischen Schwachpunkt darstellt (4.1.3.6). Die Einlage einer dickeren Stabstahlbewehrung würde die Situation dann zusätzlich verschärfen.
Da die betreffenden Risse, wie bereits erwähnt, vornehmlich im unteren Auflastbereich auftraten, könnten auch entsprechend dünne Bewehrungsquerschnitte verwendet werden. Stahlbewehrung für Dünnbettfugen hat neben der thermischen Beeinträchtigung dabei immer den Nachteil der erforderlichen Betonüberdeckung. Alternativ kann auf eine Bewehrung aus Kohle- oder Glasfasern zurückgegriffen werden (Einzelstäbe, Gewirke oder auch einzelne Stränge).
Die faserverstärkten Kunststoffe (GFK, CFK) haben abgesehen von der geringeren Betonüberdeckung den Vorteil, dass sie eine äußerst geringe Konstruktionsdehnung haben [80]. Bei geradlinig eingelegtem Fadenmaterial ergibt sich damit eine hochfeste Konstruktion. Die Verankerungslänge auf Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager ist ausreichend, um die Fasern bei Beanspruchung entsprechend zu aktivieren. Das jeweils vorgesehene Material muss für die Verwendung mit Mörtel geeignet sein (zum Beispiel alkaliresistente Fasern, AR-Glas).
Zu klären ist an dieser Stelle, ob die Mörtelfuge dafür durchgängig sein muss oder ob der Auftrag auf Deckenauflager und Deckenabmauerungsstein ausreicht (Bild 169). Für den letztgenannten Fall ist in diesem Zusammenhang zu ermitteln, wie die Anordnung der Bewehrung und die Dämmung zusammenpassen. Unbedingt zu vermeiden ist die vertikale Verformung der Bewehrung beim Einbau (z. B. durch Auflegen auf die Dämmung), da die Bewehrung durch den längeren Weg (nicht mehr geradlinig) unwirksam wird.

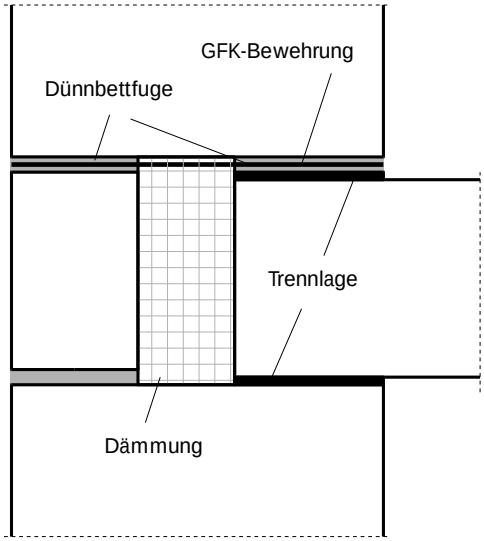


Bild 169 WDK mit Bewehrung am Wandfuß bei nicht durchgehender Mörtelfuge

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Einlage einer Bewehrung durchaus zur Ertüchtigung des WDK geeignet ist. Aufgrund der Abweichungen des erforderlichen Aufbaues mit Mörtelfuge und Bewehrung von den im Projekt betrachteten Aufbauten, sind an dieser Stelle jedoch noch weiterführende numerische (thermisch/mechanisch) und experimentelle Untersuchungen erforderlich.

8.2.3. Lastzentrierung und Auflagerstein

Es besteht die Möglichkeit, die randnahe Lasteinleitung unter der Deckenplatte zu umgehen und die Lasten durch geeignete Maßnahmen in der Mitte des Auflagers zu zentrieren (z. B. mittels Zentrierleisten oder Elastomer-Streifenlagern, Bild 170 a)).
Dabei ist zum einen zu berücksichtigen, dass sich durch eine Zentrierung die Lastaufteilung zwischen Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager ändert. Aufgrund der Beobachtungen in den experimentellen Untersuchungen ist in diesem Fall davon auszugehen, dass das Deckenauflager dann einen höheren Lastanteil überträgt. Theoretisch wären so höhere Traglasten möglich, da der Deckenabmauerungsstein versagensbestimmend ist. Zum anderen ist jedoch zu bedenken, dass durch die zentrierte Lasteinleitung im Steinmaterial Spannungskonzentrationen auftreten, die dann die Entstehung von Rissen begünstigen (vergleichbar mit der Wirkung der Oberkante der Decke die sich bei Durchbiegung in die obere Wandhälfte drückt, Bild 34).
Eine mögliche Alternative wäre an dieser Stelle die Kombination einer Maßnahme zur Lastzentrierung mit einem zusätzlichen, höherfesten, Auflagerstein unter der Deckenplatte (Bild 170 b)). Die wärmetechnische Analyse eines derart gestalteten Anschlussdetails hatte kaum Unterschiede zum herkömmlichen Aufbau ergeben (vgl. 4.1.3.4, Bild 24). Seitens der Hersteller sind entsprechende Deckenabmauerungs- und Auflagersteine mit den erforderlichen Dimensionen verfügbar.

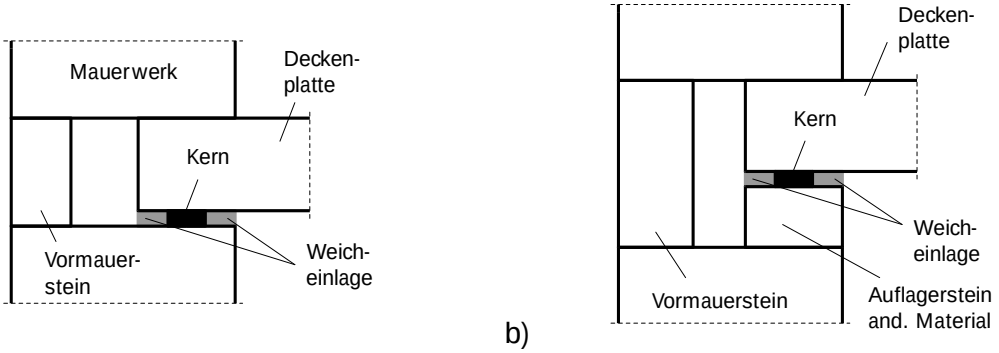


Bild 170 a) Alternativer Aufbau mit Element zur Lastzentrierung bei direkter Anordnung auf dem Wandkopf; b) Lastzentrierung auf zusätzlichem Auflagerstein

Die Nutzung eines Auflagersteins ohne Zentrierung dämpft die Randspannung zwar auch ab, hat jedoch gegenüber der Variante mit zusätzlicher Lastzentrierung deutlich geringere Auswirkungen, wie eine stichprobenartige numerische Untersuchung gezeigt hat (Bild 171).

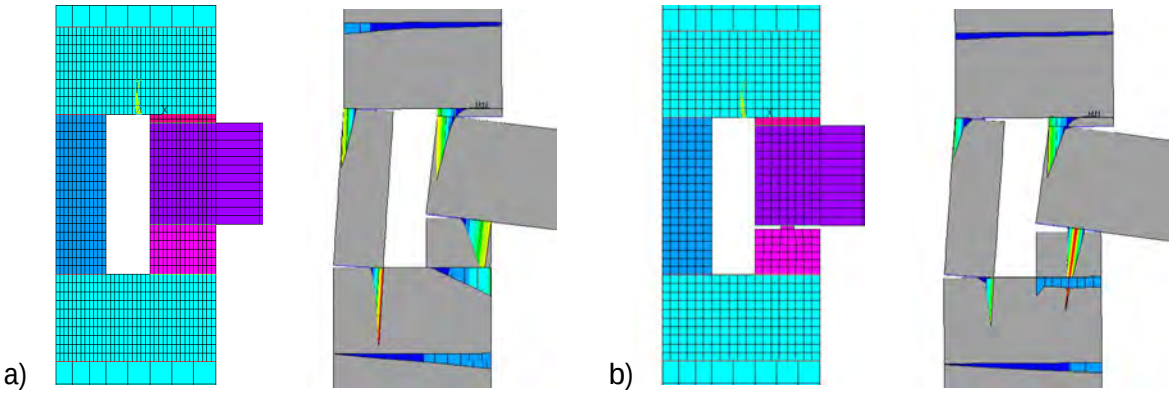


Bild 171 Einfluss des Auflagersteins auf Lastabtrag (qualitativ); FE-Modell und Kontaktspannungen unter gleicher Last (überhöhte Darstellung); a) Variante mit Auflagerstein; b) Variante mit Auflagerstein und zusätzlicher Lastzentrierung

8.2.4. Zusammenfassung

Die experimentellen Untersuchungen haben gezeigt, dass die betrachteten Ausführungsvarianten/Materialkombinationen innerhalb des definierten Anwendungsbereiches realisierbar sind und im GZG auch rissfrei bleiben. Insofern kann die gewählte Knotengestaltung bestätigt werden.

Es wird empfohlen, zwischen Wandkopf und Deckenplatte aus Stahlbeton eine Trennlage aus besandeter Bitumenbahn R500 einzulegen. Damit können geringfügige Unebenheiten ausgeglichen und Spannungsspitzen bzw. Zwängungen etwas abgedämpft werden. Die plastische Verformbarkeit wird dadurch gefördert. Die Bitumenpappe R500 erlaubt von ihrem Reibungsbeiwert her noch die Übertragung von Aussteifungskräften im Gebäude.

Die Auflagerkante ist bei Durchbiegung der Decke einer erhöhten Beanspruchung ausgesetzt. Aus diesem Grunde kann die Kante mit einem geeigneten Hilfsmittel (z. B. Schleifbrett) gefast werden. Im Putz ist ein Kellenschnitt anzusetzen um Risse aus unterschiedlicher Verformung zu vermeiden.

Über der Deckenplatte ist ebenfalls eine Trennlage aus Bitumenbahn anzuordnen. Auf die Verwendung einer über die gesamte Wandbreite gehenden dicken Ausgleichsmörtelschicht ist aus wärmeschutztechnischen Gründen möglichst zu verzichten. Ein Höhenausgleich über und unter dem Deckenauflager ist hingegen möglich.

Generell ist darauf zu achten, dass die Deckenplatte vollflächig auf dem Wandkopf aufliegt um einen gleichmäßigen Lasteintrag zu gewährleisten. Eine dünne Ausgleichsschicht kann dabei unterstützen.

Der Deckenabmauerungsstein soll in Anlehnung an die Mindestdicke tragender Wände eine Breite von mindestens 11,5 cm und eine Festigkeit die mindestens der Steinfestigkeit des übrigen Mauerwerks entspricht haben.

Bild 172 zeigt die empfohlene Ausführungsvariante des WDK bei normalen Beanspruchungen innerhalb des üblichen Anwendungsbereiches (EFH mit 2 Geschossen).

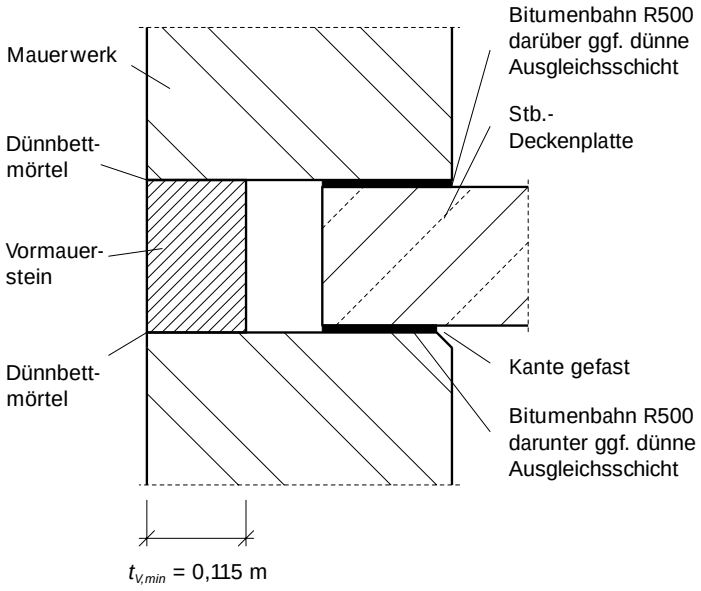


Bild 172 Empfohlene Ausführungsvariante WDK

Bei höheren Anforderungen ist der Wand-Decken-Knoten entsprechend zu verstärken. Dazu kann eine Bewehrung aus faserverstärkten Kunststoffen verwendet werden die am Wandfuß und Wandkopf eingelegt wird. Ebenfalls möglich ist die Verwendung einer Lastzentrierung in Kombination mit einem höherfesten Auflagerstein (ähnlich dem Kimmstein). Beide Varianten bedürfen noch weitergehender Untersuchungen (siehe 8.4).

8.3. Bewertung der derzeitigen Fachdiskussion

In [83] widmet sich *Kranzler* dem Außenwand-Decken-Knoten aus Ziegelmauerwerk und unterbreitet einen „ […] Vorschlag für die „ideale“ Ausführung des Details […] unter Berücksichtigung der bauphysikalischen, statischen und konstruktiven Belange […]“[2]. Er kommt zu dem Schluss, dass die Ausführungsvariante mit einer Auflagertiefe von $a = 2/3 \cdot t$ ohne Deckenabmauerungsstein alle gestellten Anforderungen bestmöglich erfüllt. Gleichzeitig wird aber die vorliegende Forschungsarbeit zitiert, die Auflagertiefen für eine – annähernd - wärmebrückenfreie Konstruktion Auflagertiefen von 0,3 .. 04t ausweist.

Die in [83] aus den Anforderungen an den Brandschutz abgeleitete Mindestauflagertiefe von $2/3 \cdot t$ basiert dabei auf einer Voraussetzung für die Einstufung in Feuerwiderstandsklassen nach DIN EN 1996-1-2/NA [84], nach der die Gesamtausmitte in Wandmitte nicht größer als $t/6$ werden darf.
Der gleiche Absatz (NDP zu Anhang B (5) in [84]) enthält auch noch den Zusatz, dass bei größeren Ausmitten eine konstruktive Zentrierung der Last vorzunehmen ist. Somit ist nicht zwangsläufig eine Auflagertiefe $>2/3 \cdot t$ erforderlich. Darüber hinaus ergibt sich für den Fall, dass der Deckenabmauerungsstein (wie in diesem Projekt) am Lastabtrag beteiligt ist, eine weitaus günstigere Beanspruchungssituation für den Querschnitt in Wandmitte (siehe auch 7.4). Das vorgebrachte Kriterium wird somit entkräftet. Die Thematik sollte dennoch bei zukünftigen Untersuchungen berücksichtigt werden.

[2] [83], S. 58

Im Gegensatz zu der innerhalb dieses Forschungsprojektes untersuchten Thematik liegt der Fokus bei den Anforderungen an den Wärmeschutz in [83] nicht auf dem konkreten Bauteil (wärmebrückenfreier Anschluss nach Kriterien des PHI), sondern wird eher allgemein behandelt.

Nach den Ausführungen in [83] hat die Vergrößerung der Auflagertiefe eine Erhöhung des Stoßstellendämm-Maßes zur Folge. Demgegenüber ergibt sich bei Verwendung eines Deckenabmauerungssteines infolge des zusätzlichen Schallübertragungsweges ein verringertes Stoßstellendämm-Maß. Daraus wird in [83] geschlussfolgert, dass eine möglichst große Auflagertiefe ohne Deckenabmauerungsstein aus Schallschutzgründen die geeignetste Variante ist.
Der schallübertragende Querschnitt beträgt bei einer Wanddicke von t = 0,4 m, einer Auflagertiefe von $a = 0{,}3 \cdot t$ und einem Deckenabmauerungsstein der Breite t_V = 11,5 cm

$$A_{eff} = \frac{a + t_V}{t} = \frac{0{,}12 + 0{,}115}{0{,}4} = 0{,}58 \cdot t \qquad (67)$$

und ist damit geringer, als bei Ansatz der Mindestauflagertiefe $a > 2/3 \cdot t$.

Ungeachtet der tatsächlichen Anforderungen an den Schallschutz, die an die thermisch optimierten Knoten unter Berücksichtigung des Anwendungsbereiches gestellt werden, besteht immer noch die Möglichkeit die Bauteile mit entsprechenden Lagern zur Körperschalldämmung (z. B. [85]) zu entkoppeln (siehe auch die Ausführungsvariante mit bis auf den Deckenabmauerungsstein gezogener bituminöser Trennschicht in Abschnitt 3.1). Es ist somit auch unter Berücksichtigung schallschutztechnischer Aspekte möglich, geringere Auflagertiefen zu verwenden.

Die in [83] vorgebrachten statischen Aspekte, wie die Nachweisführung und die Mitwirkung des Deckenabmauerungssteins beim Lastabtrag, wurden innerhalb des Projektes ausführlich behandelt.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass es für dieses Optimierungsproblem in Abhängigkeit der eigentlichen Zielstellung bzw. des Anwendungsschwerpunktes mehr als eine Lösung gibt. Während der Fokus in [83] weniger auf dem Wärmeschutz (hier Wärmebrücke am Detail) lag (Bild 173 a)), richtete sich das Hauptaugenmerk in den hier durchgeführten Untersuchungen eher auf die Optimierung des Wärmeschutzes und deren Auswirkungen auf die Statik (Bild 173 b)).

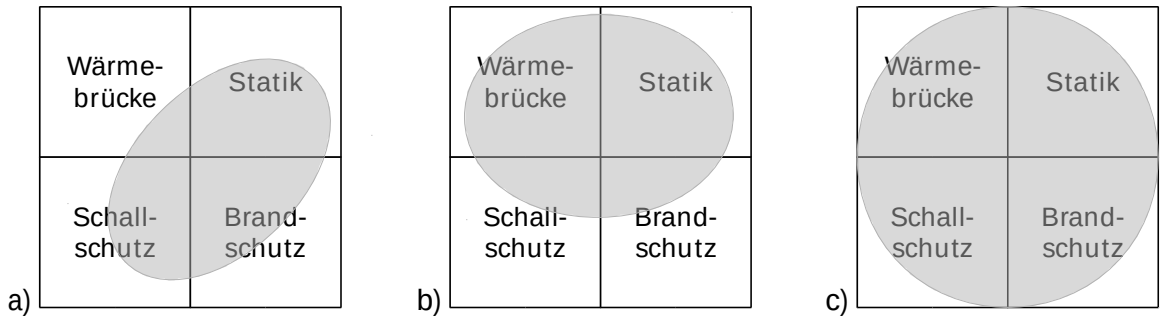


Bild 173 Lösungen für Optimierungsproblematik zur Ausführung des WDK in Abhängigkeit der Zielstellung; a) [83]; b) hier durchgeführte Untersuchungen; c) Idealer Fall

8.4. Zukünftiger Forschungsbedarf

Bei der Bewertung der erzielten Ergebnisse ist stets zu berücksichtigen, dass aufgrund der projektbedingten Rahmenbedingungen je Versuchsanordnung nur ein Versuch durchgeführt werden konnte. Die Gültigkeit der Ergebnisse ist zudem auf die hier untersuchten Materialien mit geringer Steinfestigkeit erst einmal beschränkt.
Um abgesicherte Aussagen hinsichtlich eines allgemeingültigen Nachweismodells bzw. entsprechende Aussagen zu anderen Materialkombinationen (beispielsweise bei höheren Steinfestigkeiten) treffen zu können bzw. um allgemein eine größere Datenbasis zur Verfügung zu haben, sind weiterführende Untersuchungen (experimentell und numerisch) sinnvoll. Folgende Punkte sind in zukünftige experimentelle und numerische Analysen einzubeziehen:

- WDK mit voll aufliegender Deckenplatte (bzw. a/t=2/3),
- alternative Deckensysteme (z. B. Porenbetondecke),
- andere Materialien (höhere Steinfestigkeiten),
- Maßnahmen zur Ertüchtigung des WDK (Bewehrung und Lastzentrierung)
- Einfluss horizontaler Schlitze am Wandkopf,
- Aspekte des Brand- und Schallschutzes.

9. Zusammenfassung

Aufgrund der in den letzten Jahren stetig gestiegenen Anforderungen an den Wärmeschutz und die Energieeffizienz erlangen Wärmebrücken an Detailpunkten der Konstruktion eine immer größere Bedeutung. An dieser Stelle bedarf ein wesentliches Rohbaudetail – der Anschluss der Geschossdecke an die monolithische Außenwand (Wand-Decken-Knoten) – besonderer Aufmerksamkeit. Mit den bisher üblichen Konstruktionen (Auflagertiefe der Deckenplatte $>t/2$) ist es fast unmöglich, die gestiegenen (und weiter steigenden) energetischen und wärmeschutztechnischen Anforderungen im Detail zu erfüllen. Hier ist eine thermische Optimierung des Anschlusses der Decke an die Wand erforderlich, welche in erster Linie durch eine deutliche Verkürzung der Deckenauflagertiefe auf der Wand erfolgte.
Neben der Beeinflussung des Tragverhaltens werden durch diese Verkürzung auch die in Deutschland üblichen und bauaufsichtlich akzeptierten Grenzen ($e \leq t/3$ und $a = t/2$) verlassen. Infolge des veränderten Lastflusses kommt es zu Lastkonzentrationen im Bereich des Deckenauflagers bzw. des Deckenabmauerungssteins die ein neues Bemessungs- und Nachweismodell erfordern.
Die Zielstellung des Forschungsvorhabens bestand in der Klärung des Grundsatzproblems (Wärmeschutz vs. Statik), welches durch die steigenden thermischen Anforderungen an einschalige und einschichtige Außenwände entsteht. Die monolithische Bauweise ist den neuen Erfordernissen der Energieeinsparung anzupassen, um die Wettbewerbsfähigkeit dieser traditionsreichen und weit verbreiteten Bauweise zu erhalten und zukünftig zu erhöhen. Sie steht auch für die Garantie von bezahlbarem Wohnraum. Die energetische Optimierung des Deckenanschlusses durch die Minimierung des Wärmebrückeneffektes stand dabei an erster Stelle, baut jedoch auf der Lösung der mechanischen Problemstellung auf. Die Forschungsarbeit hat dabei ein Ziel verfolgt, den Wärmebrückeneffekt des speziellen Anschlussdetails Wand-Decken-Knoten zu reduzieren, was nicht ausschließt, dass durch andere begleitenden Maßnahmen die aktuellen Ziele der Energieeinsparung auch erreicht werden können.

Bei der Bearbeitung galt es zunächst eindeutige Ansatzpunkte zu finden, mit dem die erforderliche Reduzierung der Auflagertiefe und die zu verwendenden Materialien genau bestimmt werden können. Aus der Aufgabenstellung ergab sich die Notwendigkeit, dazu die Zertifizierungskriterien des Passivhaus Instituts (PHI) zu verwenden. Für das Projekt stand nur der Anschluss der Geschossdecke an die Außenwand und nicht das Gesamtgebäude im Mittelpunkt. Aus diesem Grund sind nur die Kriterien zur Zertifizierung der „Passivhaus tauglichen Komponenten“ (vgl. Abschnitt 2.1.4) zur Erarbeitung der baustofflichen und konstruktiven Anforderungen an Wandbaustoff und Deckenauflager herangezogen worden (vgl. 2.1.3).
Ausgehend von einer Evaluierung verschiedener Geometrie- und Materialkombinationen am WDK wurden die bauphysikalischen Anforderungen an das Material spezifiziert, sowie die Randbedingungen und die Zielvorgaben für die statische Analyse abgesteckt. Die Analysen hatten ergeben, dass die zur Erfüllung des Wärmebrückenkriteriums ($\psi \leq 0{,}01$ W/(mK)) erforderlichen Auflagertiefen im Bereich $a = 0{,}3 \cdot t - 0{,}4 \cdot t$ liegen.
Mit Hilfe experimenteller, numerischer und ingenieurmäßiger Untersuchungen wurden anschließend die Auswirkungen einer derartigen Verkürzung der Deckenauflagertiefe auf die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit des Systems, das Versagen der teilweise aufliegenden Deckenplatte im Grenzzustand der Tragfähigkeit sowie die Mitwirkung des Deckenabmauerungssteins beim Lastabtrag analysiert. Dabei hatte sich gezeigt, dass das Versagen des Systems entgegen den Erwartungen nicht unter der teilweise aufliegenden Decke, sondern stets im Bereich des Deckenabmauerungssteins auftrat.

Aus den Ergebnissen wurden Ansätze zur Weiterentwicklung des Detailpunktes abgeleitet. Die vorgefundenen Schwachstellen können dabei durch konstruktive und baustoffliche Veränderungen beseitigt bzw. abgemindert werden. Das kann durch spezielle Elemente, wie z. B. eine Bewehrung der Fuge, eine Zentrierleiste zur Verringerung der Kantenpressung oder höherfeste Auflagersteine mit entsprechenden Eigenschaften erfolgen. Die Wirksamkeit der einzelnen Maßnahmen ist bei entsprechendem Bedarf noch experimentell zu verifizieren. Die Einflüsse auf die thermische Leistungsfähigkeit des Knotens wurden analysiert und als vernachlässigbar (in Abhängigkeit der tatsächlichen Ausführung) eingestuft.

Auf der Basis des experimentell beobachteten Knotenverhaltens sowie der numerisch ermittelten Schnittgrößen wurden abschließend mögliche Ansatzpunkte für ein für die Praxis zumutbares Nachweismodell für die teilweise aufliegende Deckenplatte erarbeitet. Dabei sind sowohl vereinfachte als auch genauere Herangehensweisen entwickelt worden. Die für das genauere Verfahren erforderlichen Schnittgrößen wurden numerisch bestimmt.

Im Unterschied zu den bisherigen Nachweismodellen wird vorgeschlagen, den Nachweis auf Basis der Steinfestigkeit zu führen. Dies erscheint einerseits dadurch gerechtfertigt, dass die Deckenplatte direkt auf dem Wandkopf aufliegt. Die Trennschicht aus Bitumenbahn dient der Vergleichmäßigung des Lastabtrages, hat jedoch keinen Einfluss auf die Druckfestigkeit. Des Weiteren wurde in Tastversuchen bestätigt, dass aufgrund der Teilflächenbeanspruchung auf der Deckenabmauerungssteinseite höhere Festigkeiten als die Mauerwerksdruckfestigkeit erreicht werden.
Es ist zu berücksichtigen, dass sich der Gültigkeitsbereich der Aussagen auf das untersuchte Material beschränkt (Steinfestigkeit entspricht in etwa der Mauerwerksfestigkeit). Um Aussagen in Bezug auf höhere Steinfestigkeitsklassen zu machen, ist eine Erweiterung der Untersuchungen erforderlich.

Es konnte gezeigt werden, dass für die untersuchten Materialkombinationen eine Ausführung des Wand-Decken-Knoten mit deutlich verkürzter Auflagerfläche innerhalb der aus den Materialeigenschaften (geringe Festigkeiten) resultierenden Anwendungsgrenzen (EFH, MFH mit 2 Geschossen) sowohl im GZT als auch im GZG möglich ist.

Mit dem Ergebnis wird ein Beitrag zur Erhaltung und zukünftigen Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit des Mauerwerksbaus geleistet. Durch die Lösung des wegen diametraler Anforderungen (Bauphysik, Statik) schwierigen Detailpunktes des Deckenanschlusses einschaliger und einschichtiger Wände wird die traditionsreiche und immer noch weit verbreitete Bauweise weiterentwickelt und den neuen Erfordernissen der Energieeinsparverordnung angepasst.

10. Literaturverzeichnis

[1] Jäger, W.; Hirsch, R.: Neuentwicklungen beim Mauerwerksbau mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ). In: Mauerwerk-Kalender 39 (2014). Hrsg. W. Jäger, Verlag Ernst & Sohn, Berlin. S. 35-68

[2] Deutsche Gesellschaft für Mauerwerksbau, www.dgfm.de, 16.07.2012

[3] DIN EN ISO 10211: 2008-04: Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Detaillierte Berechnungen (ISO 10211:2007); Deutsche Fassung EN ISO 10211:2007. NABau im DIN, Berlin 2008

[4] Schoch, T.: Construction of a nearly-zero energy house with AAC under different European climate conditions. In: Proceedings of 5th ICAAC, 14.09.-17.09.2011, Bygdoszcz. S. 639-664 (über http://www.5icaac.utp.edu.pl/, 15.10.2012)

[5] Ytong Silka – Marketing/PR: Eine Vision wird Realität. Pressemitteilung vom 17.10.2011.

[6] DIN EN 1996-1-1/NA: 2012-05: Nationaler Anhang. National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für unbewehrtes Mauerwerk. NABau im DIN, Berlin 2012

[7] KLB-Plansteine zur Verwendung mit Dünnbettmörtel. Preisliste 1/2012. http://www.klb-klimaleichtblock.de/downloads/preisliste.html, Internetpräsenz der KLB Klimaleichtblock GmbH, 11.09.2012

[8] Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 18.11.2013. Bundesgesetzblatt, Jahrgang 2013, Teil I, Nr. 67. Bonn, 21.11.2013

[9] Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 29.04.2009. Bundesgesetzblatt, Jahrgang 2009, Teil I, Nr. 23. Bonn, 30.04.2009

[10] DIN V 4108-6: 2003-06: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden. Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs. NABau im DIN. Berlin 2003

[11] DIN 4108-2: 2013-02: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz. NABau im DIN. Berlin 2013

[12] DIN 4108 Beiblatt 2: 2006-03: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele. NABau im DIN. Berlin 2006

[13] Wärmebrückenkatalog BVP, http://www.bv-porenbeton.de, 15.10.2012

[14] http://www.passiv.de, Internetpräsenz des Passivhaus Institut Darmstadt, 20.06.2012

[15] Fingerling, K.-H.; Feist, W.; Otte, J.; Pfluger, R.: Das kostengünstige , mehrgeschossige Passivhaus in verdichteter Bauweise – Teil 1: Konstruktionshandbuch für Passivhäuser. Forschungsarbeit, gefördert durch das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn. http://www.passiv.de/de/05_service/03_fachliteratur/03_fachliteratur.htm, 11.09.2012

[16] „Zertifiziertes Passivhaus“ – Zertifizierungskriterien für Passivhäuser mit Wohnnutzung. Stand: 13.05.2013. Passivhaus Institut, Darmstadt, 2013

[17] Anforderungen – Zertifizierung von Wand- und Bausystemen. Erforderliche Daten für die Beurteilung der Eignung von Wand- und Bausystemen als „Passivhaus geeignete Komponente“. Stand: 18.04.2012. Passivhaus Institut, Darmstadt, abgerufen 05/2014

[18] DIN 4108-4: 2013-02: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Teil 4: Wärme- und feuchtschutztechnische Bemessungswerte. NABau im DIN, Berlin 2013

[19] DIN EN ISO 6946: 2008-04: Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren (ISO 6946:2007); Deutsche Fassung EN ISO 6946:2007. NABau im DIN, Berlin 2008

[20] Spitzner, M. H.: Dauerthema Wärmebrücken – Praxishinweise zur Anwendung von DIN 4108 Beiblatt 2 und zum energetische Einfluss von Wärmebrücken. Bauphysik 27 (2005), Heft 5. Ernst & Sohn, Berlin 2005, 246-252

[21] DIN 1053-1: 1996-11: *Mauerwerk. Teil 1: Berechnung und Ausführung*. NABau im DIN, Berlin 1996

[22] DIN 1053-100: 2007-09. Mauerwerk. Teil 100: Berechnung auf Grundlage des semi-probabilistischen Sicherheitskonzeptes. NABau im DIN, Berlin 2007

[23] DIN EN 1996-1-1: 2010-12: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk; Dt. Fassung EN 1996-1-1:2005+AC:2009. NABau im DIN, Berlin 2010

[24] DIN EN 1996-3: 2010-12: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrtes Mauerwerk; Dt. Fassung EN 1996-3:2006+AC:2009. NABau im DIN, Berlin 2010

[25] DIN EN 1996-3/NA: 2012-01: Nationaler Anhang. National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten. NABau im DIN, Berlin 2012

[26] DIN 18530: 1987-03: Massive Deckenkonstruktionen für Dächer. Planung und Ausführung. NABau im DIN, Berlin 1987

[27] Jäger, W.; Meyer, U. u.a.: Bemessung von Ziegelmauerwerk nach DIN 1053-1. Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel im Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e. V., Bonn, 2002

[28] Jäger, W.: Konstruktionsregeln für Mauerwerk – Teil 2: Anschlussdetails. Mauerwerk Kalender 2006 (31). Hrsg. H.-J. Irmschler, W. Jäger, P. Schubert. Ernst und Sohn: Berlin, 231-265

[29] Initiative Bauen in Weiß. Arbeitsblätter zur Baukonstruktion. Stand: Mai 2008. Unveröffentlicht. Technische Universität Dresden, Fakultät Architektur, Lehrstuhl für Tragwerksplanung

[30] Avak, R.; Sterneck, D.: Ausbildung des Auflagers von Massivdecken auf Mauerwerkswänden. In: Bautechnik 73 (1996), Heft 11

[31] Gierga, M.: Baulicher Schallschutz – Schallschutz mit Ziegeln. Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel im Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V. Bonn, 2010

[32] Homann, M.: Porenbeton Handbuch. Planen und Bauen mit System. 6. Auflage (2008). Bauverlag Gütersloh

[33] Xella Neues Bauen: VB-Fz / Konstruktionsdetails – Wohnbau; Kapitel I Mauerwerksbau, 2002/2003

[34] Ytong Porenbeton. Massiv und wirtschaftlich Bauen mit Dach- und Deckenplatten; Ytong Systemdecke, Ytong Massivdach. Hrsg. Xella porenbeton GmbH, Ausgabe 06/2004

[35] Xella Porenbeton Schweiz AG: *Ytong Porenbeton - Konstruktionsdetails.* http://www.ytong.ch/de/docs/pb_konstruktion_de.pdf, 11.07.2013

[36] KLB Planungsatlas Hochbau. http://www.klb.planungsatlas-hochbau.de/

[37] KLB-Mauerwerkssysteme/Fachinformation: Deckenauflager mit KLB Mauerwerk. KLB Klimaleichtblock GmbH, Andernach. http://www.klb-klimaleichtblock.de/downloads/broschueren.html

[38] Jäger, W.; Mahrzahn, G.: Mauerwerk – Bemessung nach DIN 1053-100. Ernst & Sohn, Berlin, 2010

[39] Jäger, W.; Pflücke, T.; Schöps, P.: Kommentierte Technische Regeln für den Mauerwerksbau. Teil 1: DIN 1053-100: Mauerwerk – Berechnung auf der Grundlage des semiprobabilistischen Sicherheitskonzeptes. Kommentare und Erläuterungen. In: Mauerwerk Kalender 31 (2006). Hrsg. H.-J. Irmschler, W. Jäger, P. Schubert. Ernst & Sohn, Berlin, 360-410

[40] Brauer, N.; Ehmke, J.; Figge, D.; Meyer, U.: Bemessung von Ziegelmauerwerk. Ziegelmauerwerk nach DIN 1053-100. Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel e.V., Bonn 2006

[41] Baier, G.: Der Wand-Decken-Knoten im Mauerwerksbau. Verfahren zur Bestimmung der Lastexzentrizität in den Wänden. Dissertation, Technische Universität Dresden, Fakultät Architektur, Lehrstuhl Tragwerksplanung, Dresden 2007. In: Bauforschung und Baupraxis Band 7, Schriftenreihe des Lehrstuhls Tragwerksplanung: Dresden 2007

[42] Jäger, W.; Baier, G.: Außenwand-Decken-Knoten im einschaligen Mauerwerk mit nur teilweise eingebundener Decke nach EC6. Forschungsprojekt im Auftrag des DIBt. Abschlussbericht, Dresden, August 2005

[43] ÖNORM B 3350: 1994-01: Tragende Wände. Berechnung, Bemessung und Ausführung. Österreichischer Normenausschuss, Wien, 1994

[44] Jäger, W.: Eurocode 6 – Kommentar und Anwendungshilfen: DIN EN 1996-1-1 und DIN EN 1996-1-1/NA: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für unbewehrtes Mauerwerk. In: Mauerwerk Kalender 37 (2012). Hrsg. W. Jäger. Ernst & Sohn, Berlin, 413-434

[45] Jäger, W.; Baier, G.; Thieme, M.: Kosteneinsparung durch wirklichkeitsnahe Erfassung des Tragverhaltens von Mauerwerksbauten. BBR, Abschlussbericht, September 2004

[46] Pauser, A.: ÖNORM B 3350 Tragende Wände – Kurzfassung mit Kommentar. In: Mauerwerk-Kalender 18 (1993). Hrsg. P. Funk. Ernst & Sohn, Berlin, 1993, 539-548

[47] Pauser, A.; Schmiedmayer, R.: Die Zukunft des Mauerwerksbaues aus der Sicht der europäischen Normung. In: Tagungsband zum 1. Österreichischen Mauerwerksfachtag 1995

[48] Jäger, W.; Ortlepp, S.: Einfluss des Deckenabmauerungssteins auf die Lastexzentrizität. FEM-Untersuchung. Jäger Ingenieure GmbH Radebeul. Erarbeitet im Auftrag der DGfM, Radebeul Juli 2009

[49] Jäger, W.; Reichel, St.; Ortlepp, S.: Abschlussbericht AB2 – Monolithic Brick Passive House Components – Teilprojekt Analyse Statik / Material. Forschungsbericht, unveröffentlicht. Technische Universität Dresden, Fakultät Architektur, Lehrstuhl Tragwerksplanung, Dresden 2012

[50] Jäger, W.: Zukünftige Bemessung von Mauerwerk – Überblick und vereinfachtes Verfahren. Mauerwerk 13 (2009), Heft 5, Ernst & Sohn. Berlin 2009, 257-273

[51] Ortlepp, S.: Einfluss des Deckenabmauerungssteins auf die Lastexzentrizität - Erweiterung der Parameterstudie für den Wandkopf. Aktennotiz, Unveröffentlicht. Technische Universität Dresden, Fakultät Architektur, Lehrstuhl für Tragwerksplanung.

[52] Jäger, W.; Reichel, St.; Hammer, R.: Analyse des Tragverhaltens von bauphysikalisch optimierten Anschlussdetails einschaliger Wandkonstruktionen – Entwicklung eines passivhaustauglichen monolithischen Ziegelsystems für Österreich. In: Mauerwerk-Kalender 38 (2013). Hrsg. W. Jäger, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, S. 261-295

[53] Sahlin, S.: Structural Interaction of Walls and Floor Slabs. Effect of Deformation of Joints on Load-Carrying Capacity of Brick Masonry Walls, Light-Weight Cellular Concrete Element Walls, and Over-Reinforced Concrete Frames. Bulletins of the Division of Building Statics and Structural Engineering at the Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden. Nr. 33, 1959

[54] Sahlin, S.: Structural Masonry. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1971.

[55] Sahlin, S.: Plea for an EN Standard Test of Floor/Wall Joints. In: Masonry International, Vol 17, No 1, 1-6, 2004

[56] DIN EN 1052-1: 1998-12: Prüfverfahren für Mauerwerk – Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit; Deutsche Fassung EN 1052-1:1998. NABau im DIN, Berlin 1998

[57] Lewicki, B.; Lechman, M.; Szczygielski, A.: A Method of Testing of Floor-Wall Joints. In: CIB W023 – Wall Structures. Proceedings of the 42nd Commission Meeting, Prague, 26./27.09.2005

[58] Martens, D. R. W.: Wall-Floor-Interaction in Single-Story Masonry Buildings. In: Proceedings of the 5th AMCM, Glywice, Poland, 2005 (pp. 1-14).

[59] Martens, D. R. W.: Development of a standard joint fixity test. In: CIB W023 – Wall Structures. Proceedings of the 42nd Commission Meeting, Prague, 26./27.09.2005

[60] Martens, D. R. W.: Joint Fixity Factor for Single Storey Masonry Buildings. In: Proceedings of the 7th International Masonry Conference. 2006, Stoke-on-Trent

[61] DIN EN ISO 10456: 2010-05: Baustoffe und Bauprodukte – Wärme- und feuchtetechnische Eigenschaften – Tabellierte Bemessungswerte und Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte (ISO 10456:2007 + Cor. 1:2009); Deutsche Fassung EN ISO 10456:2007 + AC:2009. NABau im DIN, Berlin 2010

[62] Mauerwerk-Komplett-Programm. Bauen. Bisotherm Produktliste 2012. http://www.bisotherm.de/Download/broschueren.html, Internetpräsenz der Bisotherm GmbH, 11.09.2012

[63] Produktprogramm 2012, Ytong Porenbeton. http://www.ytong-silka.de/de/docs/03_Br_Produktprogramm_2012.pdf, 15.10.2012

[64] PORIT Plansteine Produktübersicht, http://www.porit.de/modx/plansteine.htm, 15.10.2012

[65] Schoch, T.: Construction of a nearly-zero energy house with AAC under different European climate conditions. In: Proceedings of 5th ICAAC, 14.09.-17.09.2011, Bygdoszcz. S. 639-664 (http://www.5icaac.utp.edu.pl/index.php?option=com_rokdownloads&view=folder&Itemid=43, 15.10.2012)

[66] Ytong Silka – Marketing/PR: Eine Vision wird Realität. Pressemitteilung vom 17.10.2011. http://www.ytong-silka.de/de/content/1745_2363.php?PRESSRELEASEID=251&PRESSCONTENTID=295&page=1&year=&category

[67] Internetpräsenz der Liapor Gruppe, http://www.liapor.com/de/bauherren/mauersteine/neostone.html, Aufruf am 06.06.2014

[68] Pieper, K.; Lind, V.: Kantenlasten und Kantenbruchfestigkeit von Mauerwerk. Forschungsbericht: Universität Braunschweig, Lehrstuhl für Hochbaustatik. Braunschweig: 1983

[69] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-17.1-1064 vom 24.05.2012; YTONG Porenbeton-Plansteine mit einer Trocken-Rohdichte von 0,25 kg/dm³ und einem Mittelwert der Druckfestigkeit von mindestens 2,3 N/mm². Berlin 2012

[70] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-17.1-540 vom 16.12.2010; Mauerwerk aus Ytong Porenbeton-Plansteinen der Rohdichteklassen 0,50 und 0,55 in der Festigkeitsklasse 4 und der Rohdichteklassen 0,60 und 0,65 in der Festigkeitsklasse 6. Berlin 2010

[71] DIN EN 771-4: 2011-07: Festlegungen für Mauersteine – Teil 4: Porenbetonsteine; Deutsche Fassung EN 771-4:2011. NABau im DIN, Berlin 2011

[72] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-17.1-1003 vom 11.08.2009; Mauerwerk aus Plan-Vollblöcken aus Leichtbeton – bezeichnet als Bisoplan Tec Super – im Dünnbettverfahren. Berlin 2009

[73] DIN EN 771-3: 2011-07: Festlegungen für Mauersteine – Teil 3: Mauersteine aus Beton (mit dichten und porigen Zuschlägen); Deutsche Fassung EN 771-3:2011. NABau im DIN, Berlin 2011

[74] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-17.1-1020 vom 03.03.2010; Mauerwerk aus Plan-Hohlblöcken aus Leichtbeton mit integrierter Wärmedämmung – bezeichnet als KLB-Kalopor M-Planblöcke. Berlin 2010

[75] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-17.1-778 vom 08.05.2009; Mauerwerk aus Plan-Vollsteinen und Plan-Vollblöcken aus Leichtbeton im Dünnbettverfahren. Berlin 2009

[76] DIN EN 772-1: 2011-07: Prüfverfahren für Mauersteine. Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit; Deutsche Fassung EN 772-1:2000. NABau im DIN, Berlin 2011

[77] DIN 18555-4: 1986-03: Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln. Festmörtel. Bestimmung der Längs- und Querdehnung sowie von Verformungskenngrößen von Mauermörteln im statischen Druckversuch. NABau im DIN, Berlin 1986

[78] DIN EN 1015-11: 2007-05: Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk – Teil 11: Bestimmung der Biegezug- und Druckfestigkeit von Festmörtel; Dt. Fassung EN 1015-11:1999+A1:2006. NABau im DIN, Berlin 2007

[79] DIN 1048-5: 1991-06: Prüfverfahren für Beton. Festbeton, gesondert hergestellte Probekörper. NABau im DIN, Berlin 1991

[80] http://www.textilbeton-aachen.de/, Aufruf am 27.08.2014

[81] DIN 18015-3: 2007-09: Elektrische Anlagen in Wohngebäuden – Teil 3: Leitungsführung und Anordnung der Betriebsmittel. NABau im DIN, Berlin 2007

[82] Jäger, W.; Reichel, St.; Ortlepp, S.; Bakeer; T.: Untersuchungen zur Reduzierung der Tragfähigkeit von Mauerwerk bei Schwächung des Querschnittes infolge von Aussparungen und Schlitzen. Forschungsbericht, unveröffentlicht. Technische Universität Dresden, Fakultät Architektur, Lehrstuhl Tragwerksplanung, Dresden 2013

[83] Kranzler, Th.: Zur Planung, Ausführung und Leistungsfähigkeit des Außenwand-Decken-Knotens von monolithischem Ziegelmauerwerk. In: Mauerwerk 18 (2014), Heft 2. Ernst & Sohn, Berlin 2014

[84] DIN EN 1996-1-2/NA: 2013-06: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-2/NA: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall. NABau im DIN, Berlin 2013

[85] http://www.mageba-germany.de, Aufruf am 29.08.2014

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Mindestauflagertiefe a in Abhängigkeit der Wanddicke t ([6], [24] und [25]) 15
Tabelle 2 Übersicht untersuchte Steinarten mit Wertebereichen 30
Tabelle 3 Übersicht Putz mit Wertebereichen 30
Tabelle 4 Parameterbereich U-Wert-Studie 32
Tabelle 5 Annahmen für Fußbodenaufbau und Wärmedämmung 34
Tabelle 6 Abstände d_{min} der Schnittebenen vom zentralen Element (Auswahl) 34
Tabelle 7 Berechnungsergebnisse Aufbau A 35
Tabelle 8 Ergebnisplots zu Aufbau A 36
Tabelle 9 Berechnungsergebnisse Aufbau B (Klammerwerte für λ=0,08) 38
Tabelle 10 Vergleich Varianten a, b, c und d mit Referenzaufbau 40
Tabelle 11 Parameterstudie Deckenauflagertiefe 41
Tabelle 12 Berechnungsergebnisse für ausgewählte Kombination (365mm / 0,065W/(mK)) 42
Tabelle 13 Mindestauflagertiefe a in Abhängigkeit der Wanddicke t nach [6] bzw. [25] 43
Tabelle 14 Untersuchte Varianten 44
Tabelle 15 Mauersteine für die experimentellen Untersuchungen 45
Tabelle 16 Vorschlag zugehöriger Deckenabmauerungssteine 46
Tabelle 17 Eingabeparameter 48
Tabelle 18 Eingangsparameter 51
Tabelle 19 Eingabeparameter 56
Tabelle 20 Zusammenstellung des Steinmaterials für die experimentellen Untersuchungen 65
Tabelle 21 Übersicht Versuchsprogramm 66
Tabelle 22 Geometrische und nutzungsabhängige Parameter 70
Tabelle 23 Auflagerkräfte für eine 6 m lange Deckenplatte bei Annahme beidseitig gelenkiger Lagerung ($N_{Decke,gel} = q_{De} \cdot 6$ m / 2) unter einer gleichmäßigen Flächenlast 71
Tabelle 24 Materialparameter der Mauersteine aus Einzelsteinprüfungen (Mittelwerte) 74
Tabelle 25 Zusammenfassung der Ergebnisse an den Steinprismen aus PP 1,6-0,25 (Mittelwerte) 76
Tabelle 26 Materialeigenschaften Dünnbettmörtel (Mittelwerte) 77
Tabelle 27 Materialeigenschaften Mauerwerk aus PP1,6-0,25/400 und DM (Mittelwerte) 78
Tabelle 28 Materialeigenschaften Beton (Mittelwerte aller Proben) 78
Tabelle 29 (Eigen-)Lasten, Reaktionskräfte, resultierende Bruchlasten (W400) 80
Tabelle 30 Erstrisse: Risslasten, Lastniveau 86
Tabelle 31 Materialparameter der Mauersteine aus Einzelsteinprüfungen (Mittelwerte) 87

Tabelle 32 Zusammenfassung der Ergebnisse an den Steinprismen aus Mauersteinen PP2-0,35 (Mittelwerte) ... 88
Tabelle 33 Materialeigenschaften Dünnbettmörtel (Mittelwerte) ... 88
Tabelle 34 Materialeigenschaften Mauerwerk aus PP2-0,35/425 und DM (Mittelwerte) ... 89
Tabelle 35 (Eigen-)Lasten, Reaktionskräfte, resultierende Bruchlasten (W425) ... 90
Tabelle 36 Erstrisse: Risslasten, Lastniveau Serie W425 ... 94
Tabelle 37 Materialparameter der Mauersteine aus Einzelsteinprüfungen (Mittelwerte) ... 95
Tabelle 38 Zusammenfassung der Ergebnisse an den Steinprismen aus Mauersteinen PP2-0,35/480 (Mittelwerte) ... 95
Tabelle 39 Materialeigenschaften Dünnbettmörtel (Mittelwerte) ... 96
Tabelle 40 Materialeigenschaften Mauerwerk aus PP2-0,35/480 und DM (Mittelwerte) ... 97
Tabelle 41 (Eigen-)Lasten, Reaktionskräfte, resultierende Bruchlasten (W480) ... 97
Tabelle 42 Erstrisse: Risslasten, Lastniveau Serie W480 ... 101
Tabelle 43 Materialparameter der Mauersteine aus Einzelsteinprüfungen (Mittelwerte) ... 102
Tabelle 44 Zusammenfassung der Ergebnisse an den Steinprismen aus Mauersteinen Bisoplan 09 (Mittelwerte) ... 104
Tabelle 45 Materialeigenschaften Bisotherm Dünnbettmörtel (Mittelwerte) ... 104
Tabelle 46 Materialeigenschaften Mauerwerk aus Bisoplan Super und DM (Mittelwerte) ... 105
Tabelle 47 (Eigen-)Lasten, Reaktionskräfte, resultierende Bruchlasten (W490) ... 106
Tabelle 48 Erstrisse: Risslasten, Lastniveau Serie W490 ... 110
Tabelle 49 Einfluss der Querschnittsreduzierung auf die Tragfähigkeit ... 113
Tabelle 50 Bruchfestigkeiten ... 114
Tabelle 51 Rissbreiten und zugehörige Risslasten aus Verformungsmessung [kN] ... 117
Tabelle 52 Materialparameter für FE-Simulation ... 126
Tabelle 53 Ergebnisse der Simulation für Versuch W400-A ... 128
Tabelle 54 Eingangsparameter für numerische Berechnungen ... 135
Tabelle 55 Eingangsparameter und Materialfestigkeiten für Drucker-Prager Modell ... 135
Tabelle 56 Parameterbereich ... 137
Tabelle 57 Eingangsparameter und Variation ... 141
Tabelle 58 Vergleich für den Abminderungsfaktor ΦSt ... 153
Tabelle 59 Flächenauslastung durch Spannungsblock von Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager bei letzter nachweisbarer Konstellation ... 158
Tabelle 60 Übersicht experimentell bestimmte Traglasten $N_{R,exp}$ [kN/m] ... 161
Tabelle 61 Steinfestigkeiten nach Norm/Zulassung und experimentell bestimmte Werte ... 161
Tabelle 62 Ergebnisse der numerischen Berechnung und Nachweisführung (W400; a/t=0,3; p=9,25 kN/m²; f_{St}=2,19 N/mm²) ... 162
Tabelle 63 Nachweisführung für W400, a/t=0,3; p=9,25 kN/m) ... 163

Tabelle 64 Ergebnisse der numerischen Berechnung und Nachweisführung (W490; a/t=0,5; p=9,25 kN/m²; f_{St}=2,0 N/mm²) ... 163
Tabelle 65 Ergebnisse der numerischen Berechnung und Nachweisführung (W400; a/t=0,3; p=9,25 kN/m²; f_{St}=2,19 N/mm²) ... 164
Tabelle 66 Ergebnisse der numerischen Berechnung und Nachweisführung (W490, a/t=0,5; p=9,25 kN/m²; f_{St}=2,0 N/mm²) ... 165
Tabelle 67 Nachweisführung für W425, a/t=0,3; p=9,25 kN/m) ... 166
Tabelle 68 Ergebnisse der vereinfachten Nachweisführung für W400; a/t=0,3; p=9,25 kN/m²; f_{St}=2,19 N/mm² ... 167
Tabelle 69 Gegenüberstellung für W400; a/t=0,3; p=9,25 kN/m²; f_{St}=2,19 N/mm² ... 167
Tabelle 70 Gegenüberstellung für W490; a/t=0,5; p=9,25 kN/m²; f_{St}=2,0 N/mm² ... 168
Tabelle 71 Eingangsdaten für Beispiel 1 ... 173
Tabelle 72 Eingangsdaten für Beispiel 1 ... 176

Bildverzeichnis

Bild 1 Änderung des Isothermenverlaufs durch Reduzierung der Auflagertiefe; a) Auflagertiefe 0,5·t; b) Auflagertiefe 0,3·t 6
Bild 2 a) Aufbau eines Wand-Decken-Knotens (WDK); b) Ausschnitt FE-Modell des WDK mit Kontaktspannungen im Bereich Deckenauflager und Deckenabmauerungsstein 7
Bild 3 a) schematische Darstellung eines Deckenrandelementes; b) Deckenabmauerungselement von KLB [7] 8
Bild 4 Ausschnitt Außenwand mit Schichtaufbau und Kennwerten 11
Bild 5 Schnittebenen am 2D-Modell des WDK nach [3] 13
Bild 6 Ausführungsbeispiele für das Auflager Decke/Wand nach [30] 17
Bild 7 Anschluss der Decke an die Außenwand aus Einsteinmauerwerk; a) aus [27], b) Praxisbeispiel: Halbfertigteildecke auf Bitumenbahn, Wärmedämmung, Deckenabmauerungsstein (privat) 17
Bild 8 Anschluss Decke zu Außenwand aus Porenbeton; a) aus [29], b) aus [32]; c) Konstruktionsdetail Nr. 0060 aus [33] 18
Bild 9 Ausführung der Geschossdecke auf monolithischem Mauerwerk nach [34] 18
Bild 10 Anschluss Decke an Außenwand aus Leichtbeton; a) Konstruktionsdetail Nr. 04-13-01-01 [36]; b) Deckenauflager nach [37] 19
Bild 11 Untersuchtes Anschlussdetail: WDK mit gering aufliegender Deckenplatte [52] 20
Bild 12 Abminderungsfaktor Φ' am Wandkopf für verschiedene Deckenstützweiten in Abhängigkeit von der Auflast [52] 21
Bild 13 a) Ausschnitt WDK mit geneigter Deckenplatte; b) Drehwinkelbeziehungen [41] 25
Bild 14 Bestimmung des Auflagerdrehwinkels bei Beschränkung der Durchbiegung 26
Bild 15 Bestimmung des Knotendrehwinkels für Träger auf 2 Stützen mit gleichmäßiger Streckenlast 26
Bild 16 Steinmaterial; a) Porenbetonstein (Quelle: PORIT); b) Plan-Vollblock aus Leichtbeton mit Schlitzen senkrecht zur Oberfläche (Quelle: Bisotherm); 29
Bild 17 Beispiel eines 2D-Modells des WDK in HEAT2 31
Bild 18 U-Wert in Abhängigkeit der Dicke des Mauerwerks 32
Bild 19 U-Werte in Abhängigkeit der Dicke des Mauerwerks und der Steinart (herstellerspezifisch) 33
Bild 20 Prinzipielle Knotenausbildung in den thermischen Untersuchungen 34
Bild 21 Variante A1, ohne Ausgleichsschicht 35
Bild 22 Parameterstudie (t=365 mm), Wärmebrückenverlustkoeffizient in Abhängigkeit der Auflagertiefe 37
Bild 23 Variante B1 38
Bild 24 alternative Aufbauten / flankierende Maßnahmen 39
Bild 25 Richtung des Wärmestroms 40
Bild 26 Wärmebrückenverlustkoeffizient in Abhängigkeit des Verhältnisses von Auflagertiefe zu Wanddicke (Auswahl) 42
Bild 27 Aufbau zur Analyse des Einflusses der durchgehenden Ausgleichsmörtelschicht 43
Bild 28 Ergebnisse der thermischen Berechnung für Aufbau a (links) und e (rechts) bei einer Auflagertiefe von a=175mm 44
Bild 29 Wärmebrückenverlustkoeffizient in Abhängigkeit des Verhältnisses a/t 45
Bild 30 FE-Modelle: a) a=t; b) a=0,5t; c) a=0,3t; d) Belastungen am Modell 47

Bild 31 a) Ausbildung des WDK; b) idealisierte Spannungs-Dehnungs-Beziehung 48
Bild 32 a) Schema Querzugbeanspruchung (ohne Darstellung Ausgleichsmörtelschicht); b) Querzugspannungen (ohne Darstellung Deckenplatte u. Ausgleichsschicht)) 49
Bild 33 Horizontale Spannungsverteilung am Wandfuß der oberen Wand; Normalkraft in der oberen Wand N_u=108 kN; a) Auflagertiefe 0,5·t; b) Auflagertiefe 0,3·t 49
Bild 34 a) Schematische Darstellung der infolge der Decken- bzw. Knotenverdrehung beanspruchten Bereiche (ohne Darstellung Ausgleichsmörtelschicht); b) Vertikalspannungen (y), ohne Darstellung Deckenplatte/Ausgleichsmörtel..... 50
Bild 35 Vertikalspannungen am Wandkopf; Normalkraft in der oberen Wand N_u=108 kN; a) Auflagertiefe 0,5·t; b) Auflagertiefe 0,3·t 50
Bild 36 Maximalwerte der horizontalen σx bzw. vertikalen σy Spannungen im Knotenbereich in Abhängigkeit der Auflagertiefe (WF – Wandfuß, WK – Wandkopf, Vm – Deckenabmauerungsstein)..... 51
Bild 37 Schnittgrößen und Lasten am WDK 52
Bild 38 Verhältnis der über Deckenabmauerungsstein (N_Vor) bzw. Deckenauflager (N_Dek) übertragenen Last zur Normalkraft am Wandkopf in Abhängigkeit des Verhältnisses aus Wandauflast zu Deckenauflagerkraft..... 52
Bild 39 Verhältnis der über Deckenabmauerungsstein bzw. Deckenauflager übertragenen Last zur Normalkraft am Wandfuß..... 53
Bild 40 Verhältnis zwischen Lastanteil bei verkürztem Auflager zu Lastanteil bei Auflagertiefe a=0,5·t in Abhängigkeit der Auflast am Modellkopf; mit N_i (x/y) 54
Bild 41 Ausmitte der Lastresultierenden am Wandkopf in Abhängigkeit des Verhältnisses aus Wandauflast N_{Fu} zu Deckenauflagerkraft N_{Decke} für verschiedene Auflagertiefen..... 54
Bild 42 Verlauf der Lastausmitte für beispielhafte Parameterkombination mit a=0,3·t; a) Wandauflast 50 kN; b) Wandauflast 200 kN..... 55
Bild 43 Deckeneinspannmoment bei verschiedenen Auflagertiefen in Abhängigkeit der Auflast aus der oberen Wand (bei a < t mit Deckenabmauerungsstein) 55
Bild 44 Unverformtes und verformtes 2D-Modell (stark überhöht) 56
Bild 45 Deckenverdrehung im Auflagerbereich aufgrund Durchbiegung; a) Ausschnitt FE-Simulation; b) schematische Darstellung am Ausschnitt des WDK 57
Bild 46 Verformung UY(x) in Abhängigkeit von Deckenbelastung q (zzgl. Eigengewicht) und Auflast N_{oo} für ausgewählte Parameterkombinationen (E_{MW} = 900 N/mm²) 57
Bild 47 Deckenneigung für ausgewählte Lastfälle und Parameterkombinationen (E_{MW} = 900 N/mm²); mit t/a/q = Wanddicke, Auflagertiefe, Deckenbelastung (exkl. Deckeneigengewicht)..... 58
Bild 48 Deckenneigung in Abhängigkeit der Auflast für ausgewählte Lastfälle und Parameterkombinationen (E_{MW} = 900 N/mm², q = 5 kN/m²) 58
Bild 49 Neigungsänderung der oberen und unteren (u) Wand in Abhängigkeit der Auflast N_{oo} und der Deckenbelastung q (exkl. Deckeneigengewicht) 59
Bild 50 Beispielhafte Darstellung des Versuchsaufbaus 60
Bild 51 FE-Modell Prüfkörper (t=0,48m; a/t=0,3) 60
Bild 52 Deckendurchbiegung an Wandausschnitt und Prüfkörper-Modell unter vergleichbaren Lastsituationen (Deckenauflagerkraft N_De, Wandauflast Nu)..... 61
Bild 53 Vergleich Spannungsverteilungen (oben: horiz. Spannungen; unten: vert. Spannungen) am WDK für Gebäudeausschnitt (links) und Prüfkörper (rechts) unter vergleichbarer Belastung..... 62
Bild 54 Versuchsgegenstand; a) Ytong PP 1,6-0,25 (400); b) Bisoplan 09 (16DF)..... 64

Bild 55 Ausbildung des WDK beim Versuchsaufbau und im Experiment zu verwendende Auflagertiefen in Abhängigkeit der Wanddicke t 66
Bild 56 Schematische Darstellung des Versuchsstandes..... 67
Bild 57 Modulare Ausbildung des WDK beim Versuchsaufbau; a) schematische Darstellung; b) WDK mit Trennlage über und unter der Deckenplatte 68
Bild 58 Prüfkörper W480A in der Prüfmaschine..... 68
Bild 59 Idealisierte Darstellung der Entwicklung des Lastniveaus im Gebäude bei der Erstellung 69
Bild 60 Belastungsregime vs. Deckenverdrehung (hier $e=q_{De}$)..... 72
Bild 61 a) Neigungsmesser auf der Deckenplatte; b) Wegaufnehmer an der Außenseite des Prüfkörpers (Nord) 73
Bild 62 Bestimmung der Druckfestigkeit an Einzelsteinen; a) Stein während der Versuchsdurchführung in der Prüfmaschine; b) Stein nach Versuchsdurchführung 74
Bild 63 a) Vollständiger Deckenabmauerungsstein in der Prüfmaschine vor Versuchsdurchführung; b) Gekürzter Deckenabmauerungsstein in der Prüfmaschine nach Versuchsdurchführung 75
Bild 64 Prismenentnahme aus dem Mauerstein 75
Bild 65 Bestimmung der Materialkennwerte am Steinprisma (40/40/160); a) Biegezugfestigkeit b) Spaltzugfestigkeit; c) Spannungs-Dehnungs-Beziehung 76
Bild 66 a) Mauerwerksprüfkörper in Anlehnung an DIN EN 1052-1; b) Prüfkörper YAR3 in der Prüfmaschine 77
Bild 67 Betonprüfkörper zur Ermittlung der Druckfestigkeit bzw. der Spannungs-Dehnungs-Beziehung; a) Würfel in der Prüfmaschine; b) Zylinder während Versuch; c) Zylinder nach Versuch 78
Bild 68 Schematische Darstellung des Versuchsaufbaues mit Lasten, Auflager- und Schnittkräften..... 79
Bild 69 Bruchbilder Serie W400 80
Bild 70 a) W400-B: Riss über Deckenabmauerungsstein West unmittelbar vor Versagen; b) Abplatzungen an der Außenschale nach Versuchsdurchführung W400-B und W400-E..... 81
Bild 71 Schädigung unter der Deckenplatte; a) W400-A (Süd); b) W400-E (Süd-West)..... 81
Bild 72 W400-E: Horizontale Verformungsmessung und Belastung in Abhängigkeit der Versuchsdauer 82
Bild 73 Über Deckenabmauerungsstein (Vm) bzw. Deckenauflager (De) übertragener Lastanteil in Abhängigkeit der Wandauflast (Serie W400)..... 83
Bild 74 Über Deckenabmauerungsstein (Vm) bzw. Deckenauflager (De) übertragener Anteil der Normalkraft am Wandkopf in Abhängigkeit der Wandauflast (Serie W400) 84
Bild 75 Verhältnis des übertragenen Lastanteils i (Vm, De) zur Normalkraft am Wandkopf in Abhängigkeit der Wandauflast (Serie W400)..... 84
Bild 76 Verhältnis der über Deckenabmauerungsstein bzw. Deckenauflager übertragenen zur Normalkraft am Wandkopf in Abhängigkeit des Verhältnisses aus Wandauflast zu Deckenauflagerkraft, gemittelte Werte (Serie W400) 85
Bild 77 Kategorisierung Erstrisse Versuch W400-E; a) Erstriss West/Mitte/unten; b) Erstriss West/Mitte/oben; c) Erstrisse Süd unter der Decke..... 86
Bild 78 a) Mauerwerksprüfkörper in Anlehnung an DIN EN 1052-1; b) Prüfkörper PR-3 in der Prüfmaschine 89
Bild 79 Bruchbilder Serie W425 90
Bild 80 Bruchbilder; a) W425-B; b) W425-C; c) W425-A unter Deckenauflager; d) W425-C Abplatzungen Auflagerkante 91

Bild 81 Über Deckenabmauerungsstein (Vm) bzw. Deckenauflager (De) übertragener Lastanteil in Abhängigkeit der Wandauflast (Serie W425) ... 92
Bild 82 Verhältnis des übertragenen Lastanteils i (Vm, De) zur Normalkraft am Wandkopf in Abhängigkeit der Wandauflast (Serie W425) ... 93
Bild 83 Verhältnis der über Deckenabmauerungsstein bzw. Deckenauflager übertragenen zur Normalkraft am Wandkopf in Abhängigkeit des Verhältnisses aus Wandauflast zu Deckenauflagerkraft, gemittelte Werte (Serie W425) ... 93
Bild 84 a) Mauerwerksprüfkörper in Anlehnung an DIN EN 1052-1; b) Prüfkörper YBR-3 in der Prüfmaschine ... 96
Bild 85 Bruchbilder Serie W480 ... 98
Bild 86 Bruchbilder; a) W480-D; b) W480-B; c) W480-C unter Deckenauflager ... 98
Bild 87 Über Deckenabmauerungsstein (Vm) bzw. Deckenauflager (De) übertragener Lastanteil in Abhängigkeit der Wandauflast (Serie W480) ... 99
Bild 88 Verhältnis des übertragenen Lastanteils i (Vm, De) zur Normalkraft am Wandkopf in Abhängigkeit der Wandauflast (Serie W480) ... 100
Bild 89 Verhältnis der über Deckenabmauerungsstein bzw. Deckenauflager übertragenen zur Normalkraft am Wandkopf in Abhängigkeit des Verhältnisses aus Wandauflast zu Deckenauflagerkraft, gemittelte Werte (Serie W480) ... 100
Bild 90 a) 3-Punkt-Biegezugversuch am Einzelstein; b) Einzelstein nach Spaltzugversuch ... 102
Bild 91 a) Vollständiger Deckenabmauerungsstein in der Prüfmaschine; b) Gekürzter Deckenabmauerungsstein in der Prüfmaschine ... 103
Bild 92 Prismenentnahme aus dem Mauerstein (40/40/160 mm) ... 103
Bild 93 a) Mauerwerksprüfkörper in Anlehnung an DIN EN 1052-1; b) Prüfkörper BR-2 in der Prüfmaschine ... 105
Bild 94 Bruchbilder Serie W490 ... 106
Bild 95 a) W490-A, Rissbildung am Deckenabmauerungsstein; b) W490-B, Schäden an der Außenseite nach Versuch; c) W490-A, Schäden unter Deckenauflager und in 2. Steinreihe; d) W490-C geringe Schädigung Deckenauflager ; e) W490-C, Abscheren/Ausknicken der unteren Außenschalen ... 107
Bild 96 Über Deckenabmauerungsstein (Vm) bzw. Deckenauflager (De) übertragener Lastanteil in Abhängigkeit der Wandauflast (Serie W490) ... 108
Bild 97 Verhältnis des übertragenen Lastanteils i (Vm, De) zur Normalkraft am Wandkopf in Abhängigkeit der Wandauflast (Serie W490) ... 109
Bild 98 Verhältnis der über Deckenabmauerungsstein bzw. Deckenauflager übertragenen zur Normalkraft am Wandkopf in Abhängigkeit des Verhältnisses aus Wandauflast zu Deckenauflagerkraft, gemittelte Werte (Serie W490) ... 109
Bild 99 a) Erstriss W400-A nahe Auflagerkante; b) Erstriss W490-C Nähe Steinmitte ... 111
Bild 100 Riss Nähe Steinmitte über Deckenplatte; a) W425-B; b) W490-B ... 111
Bild 101 Rissbildung unter dem Deckenauflager; a) W400-A; b) W425-A ... 111
Bild 102 Eindrücken des Deckenabmauerungssteins Abscheren/Ausknicken: a) W400-C; b) W490-B ... 112
Bild 103 Gegenüberstellung der Abminderung des lastübertragenden Querschnittes infolge der Reduzierung der Auflagertiefe und der Traglastminderung ... 114
Bild 104 Spannungsverteilung am Deckenabmauerungsstein für verschiedene Wandauflasten (W400-B) ... 116
Bild 105 Experimentelle Bestimmung des Deckeneinspannmomentes ... 118
Bild 106 Deckeneinspannmoment in Abhängigkeit der Auflast (Serie W490) ... 118
Bild 107 Aufteilung der Wandauflast für Versuche mit a/t = 0,5 mit Hervorhebung der minimalen und maximalen Aufteilung ... 119

Bild 108 Aufteilung der Wandauflast für Versuche mit a/t = 0,3 mit Hervorhebung der minimalen und maximalen Aufteilung 120
Bild 109 Aufteilung der resultierenden Normalkraft am Wandkopf für Versuche mit a/t=0,5 121
Bild 110 Aufteilung der resultierenden Normalkraft am Wandkopf für Versuche mit a/t=0,4 121
Bild 111 Aufteilung der resultierenden Normalkraft am Wandkopf für Versuche mit a/t=0,3 122
Bild 112 a) Kontaktspannungen (verformt, überhöht) und Hauptspannungsvektoren im Knotenbereich; b) Vertikalspannungen (verformtes System) und Hauptspannungsvektoren im Knotenbereich [41] 122
Bild 113 Vertikale Verformungen an der Wandaußenseite am Wandfuß (om) und Wandkopf (mu) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (Versuch W400-E) 123
Bild 114 a) FE-Modell (a/t=0,4); b) Ausschnitt des Wand-Decken-Knotens 125
Bild 115 Idealisierte Spannungs-Dehnungs-Beziehung 125
Bild 116 a) Modellierung der Belastung und der Lagerung in der numerischen Simulation; b) Schnittgrößen am WDK 127
Bild 117 Vergleich der experimentell (exp) und numerisch (FE) bestimmten Lastspreizung zwischen Deckenabmauerungsstein (Vm) und Deckenauflager (De) für W400-A (a/t=0,5) 128
Bild 118 Vergleich der experimentell (exp) und numerisch (FE) bestimmten Lastspreizung zwischen Deckenabmauerungsstein (Vm) und Deckenauflager (De) für W400-B (a/t=0,4) 129
Bild 119 Vergleich der experimentell (exp) und numerisch (FE) bestimmten Lastspreizung zwischen Deckenabmauerungsstein (Vm) und Deckenauflager (De) für W400-E (a/t=0,3) 129
Bild 120 Vergleich der experimentell (exp) und numerisch (FE) bestimmten Lastspreizung zwischen Deckenabmauerungsstein (Vm) und Deckenauflager (De) für Serie W425; oben: a/t=0,5; Mitte: a/t=0,4; unten: a/t=0,3 130
Bild 121 Vergleich der experimentell (exp) und numerisch (FE) bestimmten Lastspreizung zwischen Deckenabmauerungsstein (Vm) und Deckenauflager (De) für Serie W480; oben: a/t=0,5; Mitte: a/t=0,4; unten: a/t=0,3 131
Bild 122 Vergleich der experimentell (exp) und numerisch (FE) bestimmten Lastspreizung zwischen Deckenabmauerungsstein (Vm) und Deckenauflager (De) für Serie W490; oben: a/t=0,5; Mitte: a/t=0,4; unten: a/t=0,3 132
Bild 123 a) 2D-FE-Modell für die Analyse des Bruchverhaltens; b) Lasten am System 134
Bild 124 Ermittlung der Eingabgegrößen; a) Modell eines Druckversuchs; b) Modell eines 3-Punkt-Biegeversuchs 134
Bild 125 Vergleich der maximal aufnehmbaren Auflast aus FE-Berechnung mit experimentell bestimmten Werten (Serie W400) 136
Bild 126 Vergleich der maximal aufnehmbaren Auflast aus FE-Berechnung mit experimentell bestimmten Werten (Serie W490) 136
Bild 127 Vergleich der maximal aufnehmbaren Auflast aus FE-Berechnung mit experimentell bestimmten Werten (Serie W400) für Deckenlänge 6,00 m 137
Bild 128 Vergleich der maximal aufnehmbaren Auflast aus FE-Berechnung mit experimentell bestimmten Werten (Serie W400) für Deckenbelastung 10 kN/m² 138
Bild 129 Anteil des Deckenabmauerungssteins (Vm) und Deckenauflagers (De) an der resultierenden Normalkraft (No) am Wandkopf in Abhängigkeit des Verhältnisses aus Wandauflast und Deckenauflagerkraft; Vergleich FEM und Experiment für Versuch W400-A (a/t=0,5) 138

Bild 130 a) Ausschnitt W400-E (a/t=0,3) nach Bruch; b) Plastische Dehnungen im FE-Modell im letzten berechneten Lastschritt; c) Vektorplot von Darstellung b) .. 139
Bild 131 a) Ausschnitt W490-C (a/t=0,3) nach Bruch; b) Plastische Dehnungen im FE-Modell im letzten berechneten Lastschritt; c) Vektorplot von Darstellung b) .. 139
Bild 132 W400-A; Plastische Dehnungen unter steigender Auflast; Prüfkörper nach Versuchsdurchführung 140
Bild 133 Ergebnisse numerische Parameterstudie: Lastanteil Deckenabmauerungsstein in Abhängigkeit von N_u/N_{Decke} für verschiedene Parameterkombinationen (Wandhöhe) 142
Bild 134 Ergebnisse numerische Parameterstudie: Lastanteil Deckenabmauerungsstein in Abhängigkeit von N_u/N_{Decke} für verschiedene Parameterkombinationen (Wind) 142
Bild 135 Ergebnisse numerische Parameterstudie: Lastanteil Deckenabmauerungsstein in Abhängigkeit von N_u/N_{Decke} für verschiedene Parameterkombinationen (Länge) 143
Bild 136 Ergebnisse numerische Parameterstudie: Lastanteil Deckenabmauerungsstein in Abhängigkeit von N_u/N_{Decke} für verschiedene Parameterkombinationen (E-Modul Decke) 144
Bild 137 Modell zur Bestimmung des Abminderungsbeiwertes nach DIN 1053-100 bei teilweise aufliegender Deckenplatte ohne Deckenabmauerungsstein 145
Bild 138 a) Schnittkräfte/Auflagerkraft und Exzentrizität der Normalkraft am Wandkopf (mit resultierendem Spannungsblock) bei hoher Auflast (Ingenieurmodell); b) Lastübertragung am Deckenabmauerungsstein unter hoher Auflast (FE-Simulation, Hauptdruckspannungen) 146
Bild 139 Schnitt- und Auflagerkräfte sowie Exzentrizitäten im Knotenbereich (allgemeiner Spannungszustand mit linearer Spannungsverteilung) 147
Bild 140 Druckspannungen im Auflagerbereich und Lage der resultierenden Normalkraft bei unterschiedlichen Materialfestigkeiten; a) 0,45 N/mm²; b) 2,0 N/mm² 148
Bild 141 Vergleich der experimentell (exp) und numerisch (FE) bestimmten Lastspreizung zwischen Deckenabmauerungsstein (Vm) und Deckenauflager (De) für W400-E (a/t=0,3) bei Ansatz unterschiedlicher Materialfestigkeiten 149
Bild 142 a) Spannungsblock am Wandkopf unter hoher Auflast bei Annahme vollständiger Plastizierung der lastübertragenden Bereiche (theoretische Kapazitätsgrenze des WDK); b) Maximaler Spannungszustand (Druckspannungen) im Auflagerbereich bei geringer Materialfestigkeit für a/t=0,3 und a/t=0,5 150
Bild 143 Maximaler Spannungszustand (Druckspannungen) für letzte berechnete Laststufe im Auflagerbereich (aus FE Berechnung für t=0,4m und a/t=0,5 bzw. 0,3) 150
Bild 144 Bestimmung des Abminderungsfaktors nach bisherigem Ansatz und Übertragung auf System mit tragendem Deckenabmauerungsstein 151
Bild 145 Übertragung des Modells zur Bestimmung des Abminderungsbeiwertes nach DIN 1053-100 auf Systeme mit teilweise aufliegender Deckenplatte 152
Bild 146 Beispielhafte Darstellung des Abminderungsbeiwertes ΦSt in Abhängigkeit des Verhältnisses Wandauflast zu Deckenauflagerkraft 153
Bild 147 Schnittgrößen und Lastausmitten am WDK für getrennten Nachweis am Deckenauflager und am Deckenabmauerungsstein 154
Bild 148 Beispielhafte Darstellung des Abminderungsbeiwertes ΦSt in Abhängigkeit des Verhältnisses Wandauflast zu Deckenauflagerkraft; genaue und vereinfachte Ermittlung 157

Bild 149 a) Minimaler Anteil des Deckenabmauerungssteins an der resultierenden Normalkraft am Wandkopf; b) Faktor zur Berücksichtigung des Deckenabmauerungssteins 159
Bild 150 Abminderungsfaktoren nach EC6/NA in Abhängigkeit der Auflagertiefe für κ = 1; t=0,4m; f_k<1,8 N/mm²; L=6 m, beispielhaft dargestellt 160
Bild 151 Abminderungsfaktoren in Abhängigkeit der Auflagertiefe für W400 162
Bild 152 Grafische Darstellung des getrennten Nachweises für Deckenauflager und Deckenabmauerungsstein für W400; p=9,25 kN/m² 164
Bild 153 a) Abminderungsbeiwert für Nachweis am Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager für W425 für p=9,25 kN/m²; a=0,3t; b) Zugehörige Lastspreizung 165
Bild 154 Tastversuche an 2-Stein-Prüfkörper; a) Vor und b) nach Durchführung 169
Bild 155 Übersicht Nachweisverfahren bei teilweise aufliegenden Deckenplatte 170
Bild 156 Abminderungsfaktor für vereinfachte Nachweisführung für verschiedene Wanddicken bei a/t=0,3 und 0,4 171
Bild 157 Abminderungsfaktor für vereinfachte Nachweisführung für verschiedene Wanddicken und a/t=0,5 172
Bild 158 Abminderungsfaktoren für den Nachweis am Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager (a=0,3t) 174
Bild 159 Abminderungsbeiwert nach vereinfachtem allgemeinen Verfahren (t=0,40m), siehe auch Bild 156 175
Bild 160 Abminderungsfaktoren für den Nachweis am Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager (a=0,3t) 176
Bild 161 Abminderungsbeiwert nach allgemeinem vereinfachten Verfahren (t=0,40 m) ... 177
Bild 162 Mögliche Versagensarten des Wand-Decken-Knotens mit voll aufliegender Decke nach [41]; a) Stabilitätsversagen; b) Deckenversagen; c) Wandversagen 178
Bild 163 a) Verhinderung des reinen Stabilitätsversagens (Durchschlagen) durch Deckenabmauerungsstein; b) Schematische Darstellung der Versagensmöglichkeiten des WDK mit teilweise aufliegender Deckenplatte (s. a. Risskartierung im Anhang) 179
Bild 164 3-Kammer-Hohlblock nach DIN V 18151-100; a) Draufsicht; b) Querschnitt 179
Bild 165 a) Schematische Darstellung eines WDK mit ausgleichender Mörtelschicht und Verzahnung bei Hohlblocksteinen; b) Mörtel im Hohlraum nach Versuch an Mauerwerksprüfkörpern aus 2-Kammer-Hohlblöcken (Beispiel) 180
Bild 166 a) FE-Modell mit Verzahnung (vereinfachte Modellierung); b) Referenzmodell ohne Verzahnung 180
Bild 167 Ergebnisse der tastweisen FE-Berechnung (oben: Hauptspannungen; unten: horizontale Spannungen) ; a) mit Verzahnung; b) ohne Verzahnung 181
Bild 168 a) Erstriss in Steinmitte am WDK-Prüfkörper (W400-E); b) W425-B; c) Plastische Dehnungen unter geringer Auflast in FE-Simulation (vgl. 6.3) 182
Bild 169 WDK mit Bewehrung am Wandfuß bei nicht durchgehender Mörtelfuge 183
Bild 170 a) Alternativer Aufbau mit Element zur Lastzentrierung bei direkter Anordnung auf dem Wandkopf; b) Lastzentrierung auf zusätzlichem Auflagerstein 184
Bild 171 Einfluss des Auflagersteins auf Lastabtrag (qualitativ); FE-Modell und Kontaktspannungen unter gleicher Last (überhöhte Darstellung); a) Variante mit Auflagerstein; b) Variante mit Auflagerstein und zusätzlicher Lastzentrierung 185
Bild 172 Empfohlene Ausführungsvariante WDK 186

Bild 173 Lösungen für Optimierungsproblematik zur Ausführung des WDK in Abhängigkeit der Zielstellung; a) [83]; b) hier durchgeführte Untersuchungen; c) Idealer Fall 187

Anhang

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Fakultät Architektur Lehrstuhl Tragwerksplanung

ANHANG

zum

ABSCHLUSSBERICHT

TITEL: Energetische und mechanische Optimierung des Anschlusses der Decke an monolithische Außenwände aus Mauerwerk mit Passivhausstandard

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

Aktenzeichen: SF – 10.08.18.7-11.11 / II3 – F20-10-1-052

Weitere Angaben zur Forschenden Stelle und zur Mitfinanzierung sind auf dem Titelblatt des Hauptteils zu finden.

PROJEKTLEITER: Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger

BEARBEITER: Dipl.-Ing. Stephan Reichel
Dr.-Ing. habil. Sebastian Ortlepp

STAND / DATUM: 31.03.2015 / 28.06.2015

Anhang - Inhaltsverzeichnis

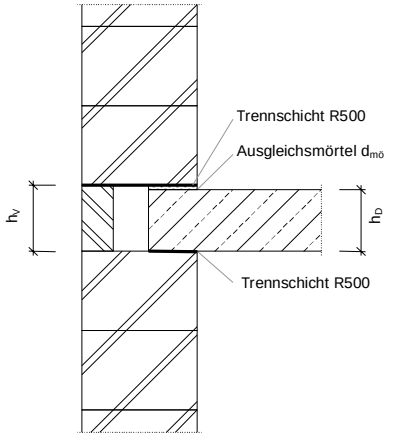
Anhang 1 Stand der Technik ... 6
Anhang 1.1 Ausführungsvarianten WDK ... 6
Anhang 2 Thermische Berechnungen ... 7
Anhang 2.1 Vorauswahl Material ... 7
Anhang 2.2 Parameterstudien zum U-Wert ... 10
Anhang 2.3 Alternative Aufbauten ... 14
Anhang 2.4 Berechnungen an ausgewählten Materialkombinationen ... 17
Anhang 2.4.1 Aufbau WDK ... 17
Anhang 2.4.2 Ergebnisse ... 22
Anhang 3 Versuchsbegleitende Materialprüfungen ... 23
Anhang 3.1 Allgemeines ... 23
Anhang 3.2 Serie W400 ... 24
Anhang 3.2.1 Einzelsteine ... 24
Anhang 3.2.2 Steinprismen ... 26
Anhang 3.2.3 Mörtel ... 29
Anhang 3.2.4 Mauerwerk ... 31
Anhang 3.2.5 Beton ... 32
Anhang 3.3 Serie W425 ... 33
Anhang 3.3.1 Einzelsteine ... 33
Anhang 3.3.2 Steinprismen ... 36
Anhang 3.3.3 Mörtel ... 41
Anhang 3.3.4 Mauerwerk ... 43
Anhang 3.4 Serie W480 ... 44
Anhang 3.4.1 Einzelsteine ... 44
Anhang 3.4.2 Steinprismen ... 47
Anhang 3.4.3 Mörtel ... 53
Anhang 3.4.4 Mauerwerk ... 55
Anhang 3.5 Serie W490 ... 56
Anhang 3.5.1 Einzelsteine ... 56
Anhang 3.5.2 Steinprismen ... 60
Anhang 3.5.3 Mörtel ... 65
Anhang 3.5.4 Mauerwerk ... 67
Anhang 4 Tastversuche an 2-Stein-Körpern ... 68
Anhang 5 Versuche am Wand-Decken-Knoten ... 71
Anhang 5.1 Allgemeines ... 71
Anhang 5.1.1 Bewehrungsplan der Deckenplatte ... 71
Anhang 5.1.2 Belastungsregime ... 72
Anhang 5.2 Serie W400 ... 73
Anhang 5.2.1 Messtechnik ... 73
Anhang 5.2.2 Belastungsregime ... 75
Anhang 5.2.3 W400-A ($a = 0{,}5 \cdot t$) ... 77
Anhang 5.2.4 W400-B ($a = 0{,}4 \cdot t$) ... 82
Anhang 5.2.5 W400-E ($a = 0{,}3 \cdot t$) ... 87

Anhang 5.2.6 Einspannmoment der Deckenplatte ... 93
Anhang 5.3 Serie W425 ... 94
Anhang 5.3.1 Messtechnik ... 94
Anhang 5.3.2 Belastungsregime ... 94
Anhang 5.3.3 W425-A ($a = 0{,}5 \cdot t$) ... 96
Anhang 5.3.4 W425-B ($a = 0{,}4 \cdot t$) ... 101
Anhang 5.3.5 W425-C ($a = 0{,}3 \cdot t$) ... 106
Anhang 5.3.6 Einspannmoment der Deckenplatte ... 111
Anhang 5.4 Serie W480 ... 112
Anhang 5.4.1 Messtechnik ... 112
Anhang 5.4.2 Belastungsregime ... 112
Anhang 5.4.3 W480-D ($a = 0{,}5 \cdot t$) ... 114
Anhang 5.4.4 W480-B ($a = 0{,}4 \cdot t$) ... 120
Anhang 5.4.5 W480-C ($a = 0{,}3 \cdot t$) ... 125
Anhang 5.4.6 Einspannmoment der Deckenplatte ... 130
Anhang 5.5 Serie W490 ... 131
Anhang 5.5.1 Messtechnik ... 131
Anhang 5.5.2 Belastungsregime ... 133
Anhang 5.5.3 W490-A ($a = 0{,}5 \cdot t$) ... 135
Anhang 5.5.4 W490-B ($a = 0{,}4 \cdot t$) ... 141
Anhang 5.5.5 W490-C ($a = 0{,}3 \cdot t$) ... 147
Anhang 5.5.6 Einspannmoment der Deckenplatte ... 153
Anhang 6 Numerische Berechnungen ... 154
Anhang 6.1 Nachstellung der Versuche ... 154
Anhang 6.1.1 Berechnungsergebnisse W400 ... 154
Anhang 6.1.2 Berechnungsergebnisse W425 ... 157
Anhang 6.1.3 Berechnungsergebnisse W480 ... 160
Anhang 6.1.4 Berechnungsergebnisse W490 ... 163
Anhang 6.2 Analysen zum Bruchverhalten ... 166
Anhang 6.3 Numerische Parameterstudien ... 169
Anhang 6.3.1 Wandhöhe ... 169
Anhang 6.3.2 Wind ... 171
Anhang 6.3.3 Deckenlänge ... 172
Anhang 6.3.4 Biegesteifigkeit der Deckenplatte ... 173
Anhang 7 Schnittgrößen für Nachweisführung ... 175
Anhang 7.1 Gemeinsamer Nachweis ... 175
Anhang 7.1.1 Allgemein ... 175
Anhang 7.1.2 Serie W400 ... 175
Anhang 7.1.3 Serie W425 ... 178
Anhang 7.1.4 Serie W480 ... 181
Anhang 7.1.5 Serie W490 ... 184
Anhang 7.2 Getrennter Nachweis Deckenauflager / Vormauerstein ... 187
Anhang 7.2.1 Allgemein ... 187
Anhang 7.2.2 Serie W400 ... 188
Anhang 7.2.3 Serie W425 ... 191
Anhang 7.2.4 Serie W480 ... 194
Anhang 7.2.5 Serie W490 ... 197

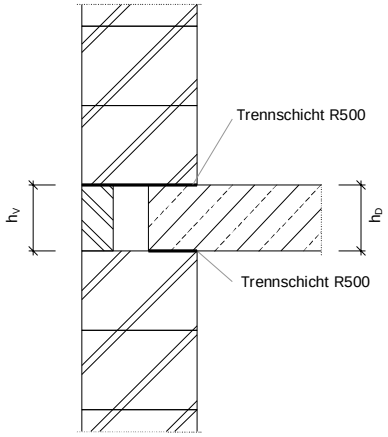
Anhang 7.3 Vereinfachter Nachweis ... 200
Anhang 7.3.1 Allgemeines Verfahren ... 200
Anhang 7.3.2 Serie W400 ... 202
Anhang 7.3.3 Serie W425 ... 203
Anhang 7.3.4 Serie W480 ... 204
Anhang 7.3.5 Serie W490 ... 205
Anhang 7.4 Parameterstudien ... 206
Anhang 7.4.1 Allgemeines ... 206
Anhang 7.4.2 Auszug aus den Berechnungsergebnissen ... 207
Anhang 8 Beispielhafte Anwendung ... 210
Anhang 8.1 Ausgangslage ... 210
Anhang 8.2 Beispiel 1 ... 210
Anhang 8.3 Beispiel 2 ... 212

Anhang 1 Stand der Technik

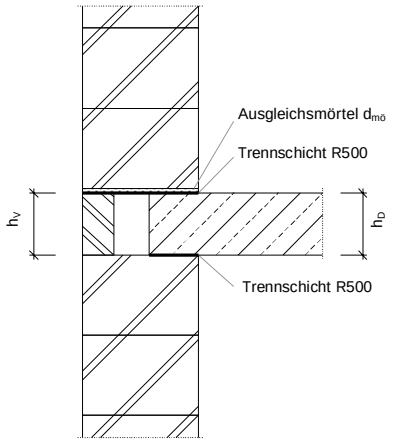
Anhang 1.1 Ausführungsvarianten WDK



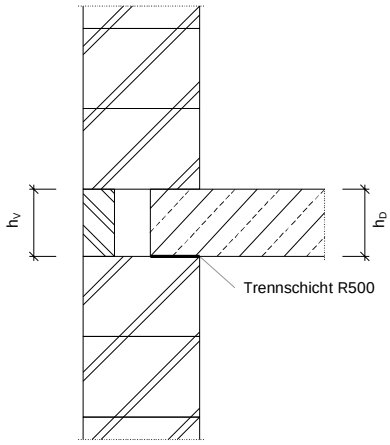
A: Trennschicht oben/unten; Mörtelausgleich über Deckenauflager



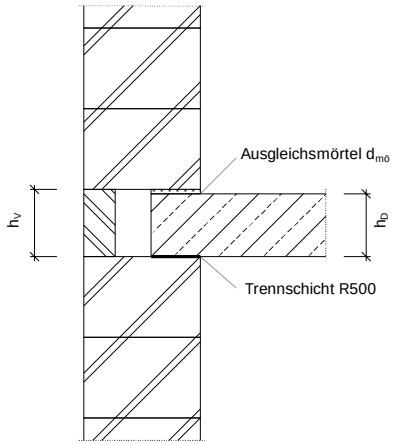
B: Trennschicht oben/unten; ohne Mörtelausgleich



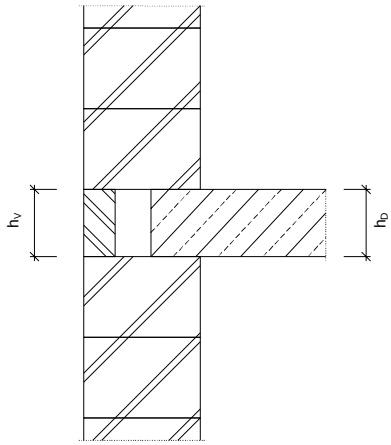
C: Trennschicht oben/unten; Mörtelausgleich über Trennschicht oben



D: Trennschicht unten; ohne Mörtelausgleich



E: Trennschicht unten; Mörtelausgleich über Decke



F: ohne Trennschicht; ohne Mörtelausgleich

Bild A 1 Ausführungsvarianten des Wand-Decken-Knotens

Anhang 2 Thermische Berechnungen

Anhang 2.1 Vorauswahl Material

Tabelle A 1 Leichtbetonsteine nach Vorauswahl

t mm	Art	Hersteller	Bezeichnung	*SFK*	λ W/(mK)
365	Vbl	Bisotherm	Bisoplan 09 (Super)	1,6	0,09
			Bisoplan 10 (Super)	2,0	0,10
			Bisoplan 13 (Super)	4,0	0,13
		KLB	Planblock SW1	2,0	0,10
			Planblock SW2	4,0	0,14
	Hbl	Bisotherm	Bisomark Hbl (org.)	1,6	0,065
			Bisomark Hbl (org.)	2,0	0,070
			Bisomark Hbl (org.)	4,0	0,080
			Bisomark Hbn	1,6	0,060
		KLB	Kalopor Ultra	2,0	0,070
			Kalopor	2,0	0,080
			Kalopor	4,0	0,110
425	Vbl	Bisotherm	Bisoplan 09 (Super)	1,6	0,090
			Bisoplan 10 (Super)	2,0	0,100
			Bisoplan 13 (Super)	4,0	0,130
		KLB	Planblock SW1	2,0	0,100
	Hbl	Bisotherm	Bisomark Hbl (org)	1,6	0,065
			Bisomark Hbl (org)	2,0	0,070
			Bisomark Hbl (org)	4,0	0,080
		KLB	Kalopor Ultra	2,0	0,075
			Kalopor	2,0	0,090
490	Vbl	Bisotherm	Bisoplan 09 (Super)	1,6	0,090
			Bisoplan 10 (Super)	2,0	0,100
			Bisoplan 13 (Super)	4,0	0,130
		KLB	Planblock SW1	2,0	0,100

Vbl: Plan-Vollblock, geschlitzt
Hbl: Plan-Hohlblock, gefüllt

Tabelle A 2 Porenbetonsteine entsprechend Vorauswahl

Bezeichnung	*t* mm	*l* mm	*h* mm	SFK	λ W/(mK)
Ytong PP 1,6-0,25	365	599	249	1,6	0,07
	400	599	249	1,6	
	425	599	249	1,6	
	480	499	249	1,6	
Ytong PP 1,6-0,3	365	599	249	1,6	0,08
	425	599	249	1,6	
	480	499	249	1,6	
Ytong PP 2-0,35	365	599	249	2,0	0,08
	400	599	249	2,0	
	480	499	249	2,0	
PORIT PPW2-0,35	365	499	249	2,0	0,09
	400	499	249	2,0	
	425	499	249	2,0	
	480	499	249	2,0	
Ytong PP4-0,5	365	499	249	4,0	0,12
PORIT PP2-0,35	365	499	249	2,0	0,08
	425	599	199	2,0	
	480	599	199	2,0	

Tabelle A 3 Vormauersteine gemäß Herstellerangaben (Auswahl)

Hersteller	Bezeichnung	*t* mm	*l* mm	*h* mm	SFK	λ W/(mK)
Bisotherm	Bisoplan Bauplatte	115	490	248	2,4	0,14 / 0,16
	Bisoplan Vollstein 5DF	123	300/365	248	2,4	0,14 / 0,16
KLB	Deckenabmauerungsstein	115	490	150 170 190 210	2	0,27
	Plan-Vollstein 8DF N+F	115	497	249	2,4,6 2,12	0,14 / 0,21 / 0,54 0,27 / 0,99
Ytong	PP 4 – 0,5	115	624	249	4	0,14
PORIT	PPl4 0,6	100	624	249	4	0,16
	PP 4 – 0,6	115	624	249	4	0,16

Tabelle A 4 Innenputz (Auswahl)

Putzart	λ_R W/(mK)	Quelle
Kalkzement-Putz	1,00	Maxit Baustoffwerke (maxit Kalkzementputz)
Kalkputz	0,77	HASIT (HASIT 666 Kalkputz)
Gips-Putz	0,51	E DIN 4108-4
Gips-Putz	0,44	Maxit Baustoffwerke (maxit ip 22)
Kalk-Zement-Leichtputz	0,44	Maxit Baustoffwerke (maxit ip 18 E)
Gips-Leichtputz	0,35	Maxit Baustoffwerke (maxit ip 22 E)
Gips-Leichtputz	0,25	Rigips (rimat 2000), E DIN 4108-4

Tabelle A 5 Außenputz (Auswahl)

Putzart	λ_R W/(mK)	Quelle
Kalk-Zement-Leichtputz	0,44	Maxit Baustoffwerke (maxit ip 18 E)
	0,30	HASIT (HASIT 640 Leichtputz)
Faser-Leichtputz	0,25	HASIT (HASIT 658 Faserleichtputz)
	0,15	HASIT (HASIT 635 Faser-Super-Leicht)
Wärmedämm-Putz	0,07	remmers (Wärmedämmputz), maxit therm 75

Anhang 2.2 Parameterstudien zum U-Wert

Die nachfolgenden Tabellen enthalten die Ergebnisse der Parameterstudien zum erreichbaren Wärmedurchgangskoeffizienten getrennt nach den Dicken der Mauersteine (siehe Abschnitt 4.1.2).

Tabelle A 6 Wanddicke 36,5 cm

Mauerstein					Innenputz			Außenputz			U-Wert
Material	Art	SFK	*t*	*λ*	Mat.	*d*	*λ*	Mat.	*d*	*λ*	*U*
			m	W/(mK)		m	W/(mK)		m	W/(mK)	W/(m²K)
Bisoplan 09 Super PORIT PPW2-0,35	Vbl PP	1,6 2,0	0,365	0,090	G	0,015	0,51	L	0,02	0,25	0,231
			0,365	0,090	G-L	0,015	0,35	L	0,02	0,25	0,230
			0,365	0,090	G-L	0,015	0,35	F-L	0,02	0,15	0,227
			0,365	0,090	G-L	0,015	0,25	F-L	0,02	0,15	0,226
			0,365	0,090	G-L	0,015	0,35	D	0,04	0,07	0,207
			0,365	0,090	G-L	0,015	0,25	D	0,06	0,07	0,195
			0,365	0,090	G-L	0,015	0,25	D	0,08	0,07	0,184
KLB Planbl. SW1	Vbl	2,0	0,365	0,100	G-L	0,015	0,35	F-L	0,02	0,31	0,254
			0,365	0,100	G-L	0,015	0,35	F-L	0,02	0,15	0,250
			0,365	0,100	G-L	0,015	0,25	D	0,04	0,07	0,225
			0,365	0,100	G-L	0,015	0,25	D	0,06	0,07	0,211
			0,365	0,100	G-L	0,015	0,25	D	0,08	0,07	0,199
Bisomark Hbl (org.)	Hbl	1,6	0,365	0,065	G	0,015	0,51	L	0,02	0,25	0,170
			0,365	0,065	G-L	0,015	0,25	L	0,02	0,25	0,169
			0,365	0,065	G-L	0,015	0,25	F-L	0,02	0,15	0,167
			0,365	0,065	G-L	0,015	0,25	D	0,04	0,07	0,156
			0,365	0,065	G-L	0,015	0,25	D	0,06	0,07	0,149
			0,365	0,065	G-L	0,015	0,25	D	0,08	0,07	0,143
Bisomark Hbl (org.) Ytong PP 1,6 - 0,25 KLB Kalopor Ultra Ytong PP 1,6 - 0,25	Hbl PP Hbl PP	2,0 1,6 2,0 1,6	0,365	0,070	G	0,015	0,51	L	0,02	0,25	0,182
			0,365	0,070	G-L	0,015	0,25	L	0,02	0,25	0,181
			0,365	0,070	G-L	0,015	0,25	F-L	0,02	0,15	0,180
			0,365	0,070	G-L	0,015	0,25	D	0,04	0,07	0,166
			0,365	0,070	G-L	0,015	0,25	D	0,06	0,07	0,159
			0,365	0,070	G-L	0,015	0,25	D	0,08	0,07	0,152
Ytong PP 1,6 – 0,3 Ytong PP 2 – 0,35 PORIT PP 2 – 0,35	PP	1,6 2,0 2,0	0,365	0,080	G	0,015	0,51	L	0,02	0,25	0,207
			0,365	0,080	G	0,015	0,51	L	0,02	0,25	0,207
			0,365	0,080	G-L	0,015	0,25	D	0,04	0,07	0,186
			0,365	0,080	G	0,015	0,51	L	0,02	0,25	0,207
			0,365	0,080	G-L	0,015	0,25	D	0,04	0,07	0,186
			0,365	0,080	G-L	0,015	0,25	D	0,08	0,07	0,168

Vbl	*Plan-Vollblock aus Leichtbeton mit Schlitzen senkrecht zur Oberfläche*
Hbl	*Plan-Hohlblock aus Leichtbeton mit integrierter Dämmung*
PP	*Porenbeton*
G	*Gipsputz*
G-L	*Gips-Leichtputz*
L	*Leichtputz*
F-L	*Faser-Leichtputz*
D	*Dämmputz*

Tabelle A 7 Wanddicke 40 cm

Mauerstein					Innenputz			Außenputz			U-Wert
Material	Art	SFK	*t*	*λ*	Mat.	*d*	*λ*	Mat.	*d*	*λ*	*U*
			m	W/(mK)		m	W/(mK)		m	W/(mK)	W/(m²K)
Ytong PP 1,6 – 0,25	PP	1,6	0,400	0,07	G	0,015	0,51	F-L	0,02	0,31	0,167
			0,400	0,07	G-L	0,015	0,35	F-L	0,02	0,15	0,165
			0,400	0,07	G-L	0,015	0,25	F-L	0,02	0,15	0,165
			0,400	0,07	G-L	0,015	0,25	D	0,04	0,07	0,153
			0,400	0,07	G-L	0,015	0,25	D	0,06	0,07	0,147
			0,400	0,07	G-L	0,015	0,25	D	0,08	0,07	0,141
Ytong PP 2 – 0,35	PP	2,0	0,400	0,08	G	0,015	0,51	F-L	0,02	0,31	0,190
			0,400	0,08	G-L	0,015	0,35	F-L	0,02	0,15	0,187
			0,400	0,08	G-L	0,015	0,25	F-L	0,02	0,15	0,186
			0,400	0,08	G-L	0,015	0,25	D	0,04	0,07	0,172
			0,400	0,08	G-L	0,015	0,25	D	0,06	0,07	0,164
			0,400	0,08	G-L	0,015	0,25	D	0,08	0,07	0,157
PORIT PPW2 – 0,35	PP	2,0	0,400	0,09	G	0,015	0,51	F-L	0,02	0,31	0,212
			0,400	0,09	G-L	0,015	0,35	F-L	0,02	0,15	0,209
			0,400	0,09	G-L	0,015	0,25	F-L	0,02	0,15	0,208
			0,400	0,09	G-L	0,015	0,25	D	0,04	0,07	0,191
			0,400	0,09	G-L	0,015	0,25	D	0,06	0,07	0,181
			0,400	0,09	G-L	0,015	0,25	D	0,08	0,07	0,172

Tabelle A 8 Wanddicke 42,5 cm

Mauerstein					Innenputz			Außenputz			U-Wert
Material	Art	SFK	*t*	*λ*	Mat.	*d*	*λ*	Mat.	*d*	*λ*	*U*
			m	W/(mK)		m	W/(mK)		m	W/(mK)	W/(m²K)
Bisoplan 09 Super	Vbl	1,6	0,425	0,090	G	0,015	0,51	L	0,02	0,25	0,1999
			0,425	0,090	G-L	0,015	0,35	L	0,02	0,25	0,1994
			0,425	0,090	G-L	0,015	0,35	F-L	0,02	0,15	0,1973
			0,425	0,090	G-L	0,015	0,25	F-L	0,02	0,15	0,1966
			0,425	0,090	G-L	0,015	0,35	D	0,04	0,07	0,1816
			0,425	0,090	G-L	0,015	0,25	D	0,06	0,07	0,1721
			0,425	0,090	G-L	0,015	0,25	D	0,08	0,07	0,1641
KLB Planblock SW1	Vbl	2,0	0,425	0,100	G-L	0,015	0,35	F-L	0,02	0,31	0,2209
			0,425	0,100	G-L	0,015	0,35	F-L	0,02	0,15	0,2176
			0,425	0,100	G-L	0,015	0,25	D	0,04	0,07	0,1980
			0,425	0,100	G-L	0,015	0,25	D	0,06	0,07	0,1874
			0,425	0,100	G-L	0,015	0,25	D	0,08	0,07	0,1778
Bisomark Hbl (org.) Ytong PP 1,6-0,25	Hbl PP	2,0 1,6	0,425	0,070	G	0,015	0,51	F-L	0,02	0,31	0,158
			0,425	0,070	G-L	0,015	0,35	F-L	0,02	0,15	0,156
			0,425	0,070	G-L	0,015	0,25	F-L	0,02	0,15	0,155
			0,425	0,070	G-L	0,015	0,25	D	0,04	0,07	0,145
			0,425	0,070	G-L	0,015	0,25	D	0,06	0,07	0,140
			0,425	0,070	G-L	0,015	0,25	D	0,08	0,07	0,134
Bisomark Hbl (org.) Ytong PP 1,6 – 0,3 PORIT PP2 – 0,35	Hbl PP PP	4,0 1,6 2,0	0,425	0,080	G	0,015	0,51	L	0,02	0,25	0,179
			0,425	0,080	G-L	0,015	0,25	D	0,04	0,07	0,164
			0,425	0,080	G-L	0,015	0,25	D	0,08	0,07	0,150
KLB Kalopor Ultra	Hbl	2,0	0,425	0,075	G-L	0,015	0,35	F-L	0,02	0,31	0,168
			0,425	0,075	G-L	0,015	0,35	F-L	0,02	0,15	0,166
			0,425	0,075	G-L	0,015	0,25	F-L	0,02	0,15	0,166
			0,425	0,075	G-L	0,015	0,25	D	0,04	0,07	0,155
			0,425	0,075	G-L	0,015	0,25	D	0,06	0,07	0,148
PORIT PPW2 – 0,35	PP	2,0	0,425	0,090	G	0,015	0,51	F-L	0,02	0,31	0,201
			0,425	0,090	G-L	0,015	0,35	F-L	0,02	0,15	0,197
			0,425	0,090	G-L	0,015	0,25	F-L	0,02	0,15	0,197
			0,425	0,090	G-L	0,015	0,25	D	0,04	0,07	0,181
			0,425	0,090	G-L	0,015	0,25	D	0,06	0,07	0,172
			0,425	0,090	G-L	0,015	0,25	D	0,08	0,07	0,164

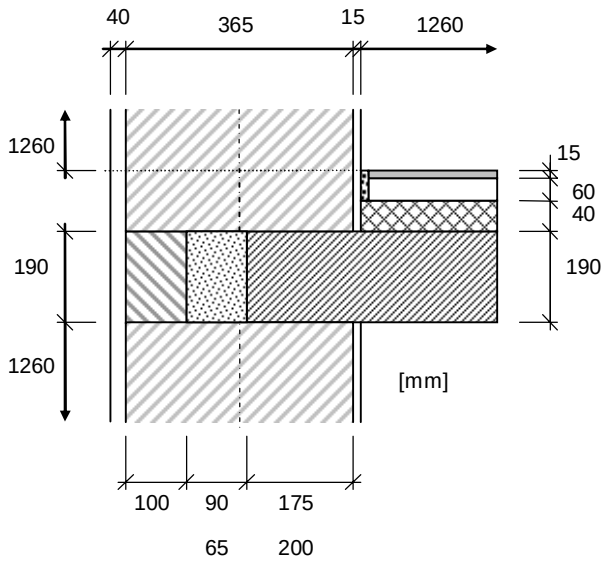
Tabelle A 9 Wanddicke 48 cm

Mauerstein					Innenputz			Außenputz			U-Wert
Material	Art	SFK	*t*	*λ*	Mat.	*d*	*λ*	Mat.	*d*	*λ*	*U*
			m	W/(mK)		m	W/(mK)		m	W/(mK)	W/(m²K)
Ytong PP 1,6-0,25	PP	1,6	0,48	0,070	G	0,015	0,51	L	0,02	0,25	0,1401
Ytong PP1,6–0,30 Ytong PP 2 – 0,35 PORIT PP2 – 0,35	PP	1,6 2,0 2,0	0,48	0,080	G	0,015	0,51	F-L	0,02	0,31	0,160
			0,48	0,080	G-L	0,015	0,35	F-L	0,02	0,15	0,158
			0,48	0,080	G-L	0,015	0,25	F-L	0,02	0,15	0,157
			0,48	0,080	G-L	0,015	0,25	D	0,04	0,07	0,147
			0,48	0,080	G-L	0,015	0,25	D	0,06	0,07	0,141
Ytong PP 2 -0,35 PORIT PPW2-0,35	PP	2,0	0,48	0,090	G	0,015	0,51	L	0,02	0,25	0,1782
			0,48	0,090	G-L	0,015	0,25	D	0,04	0,07	0,1630
			0,48	0,090	G-L	0,015	0,25	D	0,08	0,07	0,1491

Tabelle A 10 Wanddicke 49 cm

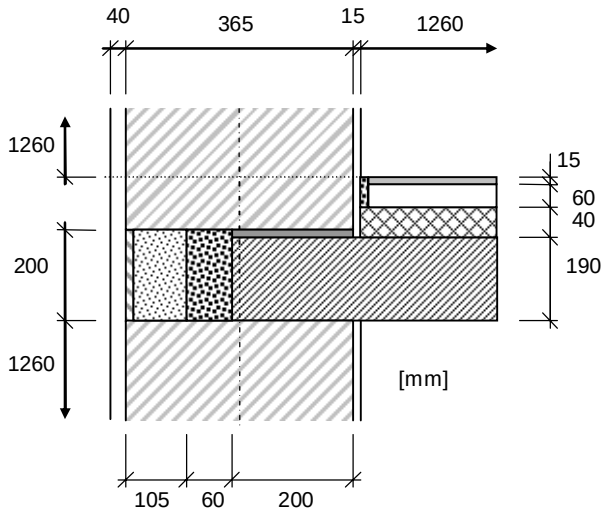
Mauerstein					Innenputz			Außenputz			U-Wert
Material	Art	SFK	*t*	*λ*	Mat.	*d*	*λ*	Mat.	*d*	*λ*	*U*
			m	W/(mK)		m	W/(mK)		m	W/(mK)	W/(m²K)
Bisoplan 09 Super	Vbl	1,6	0,49	0,090	G	0,015	0,51	L	0,02	0,25	0,1747
			0,49	0,090	G-L	0,015	0,35	L	0,02	0,25	0,1743
			0,49	0,090	G-L	0,015	0,35	F-L	0,02	0,15	0,1727
			0,49	0,090	G-L	0,015	0,25	F-L	0,02	0,15	0,1722
			0,49	0,090	G-L	0,015	0,35	D	0,04	0,07	0,1605
			0,49	0,090	G-L	0,015	0,25	D	0,06	0,07	0,1531
			0,49	0,090	G-L	0,015	0,25	D	0,08	0,07	0,1467
KLB Planblock SW1	Vbl	2,0	0,49	0,100	G-L	0,015	0,35	F-L	0,02	0,31	0,19
			0,49	0,100	G-L	0,015	0,35	F-L	0,02	0,15	0,1906
			0,49	0,100	G-L	0,015	0,25	F-L	0,02	0,15	0,1900
			0,49	0,100	G-L	0,015	0,25	D	0,04	0,07	0,1754
			0,49	0,100	G-L	0,015	0,25	D	0,06	0,07	0,1670

Anhang 2.3 Alternative Aufbauten



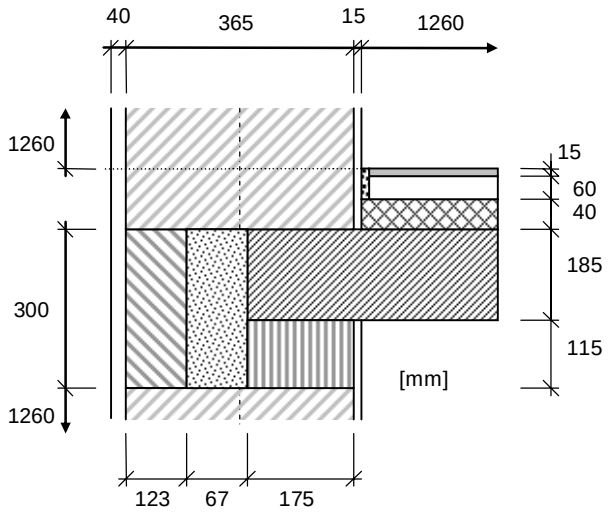
Material	Maße	λ
Mauerstein	365	0,060
Innenputz (Gipsputz)	15	0,51
Außenputz (Dämmputz)	40	0,07
Vormauerstein	100x190	0,14
Stahlbetondecke	190	2,1
Dämmung	t_{ins}	0,03
Trittschalldämmung	40	0,04
Estrich	60	1,2
Fließen	15	1,3
Wärmedämmfilz	10	0,035

Bild A 2 Basisaufbau A mit modifizierten Auflagertiefen (175/200)



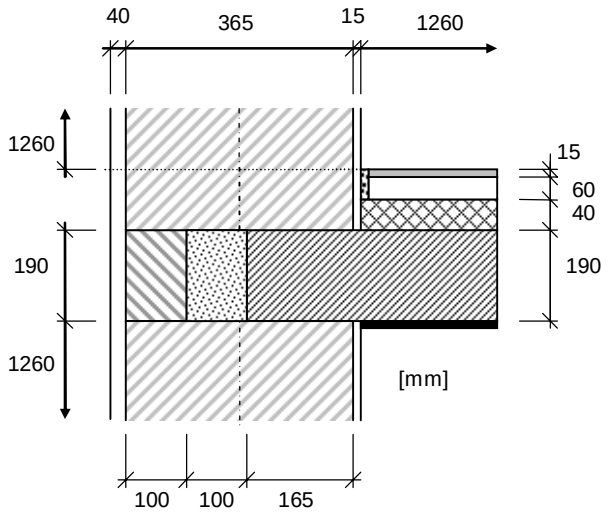
Material	Maße	λ
Mauerstein	365	0,060
Innenputz (Gipsputz)	15	0,51
Außenputz (Dämmputz)	40	0,07
Deckenrandelemente	105x200	0,34
Stahlbetondecke	190	2,1
Leichtmörtel	10	0,21
Dämmung	60	0,03
Trittschalldämmung	40	0,04
Estrich	60	1,2
Fließen	15	1,3
Wärmedämmfilz	10	0,035

Bild A 3 Alternative a) mit Deckenrandelement



Material	Maße	λ
Mauerstein	365	0,060
Innenputz (Gipsputz)	15	0,51
Außenputz (Dämmputz)	40	0,07
Vormauerstein	123x300	0,16
Stahlbetondecke	190	2,1
Auflagerstein	175x115	0,16
Dämmung	100	0,03
Trittschalldämmung	40	0,04
Estrich	60	1,2
Fließen	15	1,3
Wärmedämmfilz	10	0,035

Bild A 4 Alternative b) mit Auflagerstein



Material	Maße	λ
Mauerstein	365	0,060
Innenputz (Gipsputz)	15	0,51
Außenputz (Dämmputz)	40	0,07
Vormauerstein	100x190	0,14
Stahlbetondecke	190	2,1
Dämmung WDK Dämmung Deckenunterseite	100 20	0,03
Trittschalldämmung	40	0,04
Estrich	60	1,2
Fließen	15	1,3
Wärmedämmfilz	10	0,035

Bild A 5 Variante c) mit zusätzlicher Dämmung bzw. Verputzung der Deckenunterseite

Tabelle A 11 Vergleich Aufbau A mit Ausgleichmörtel (nicht durchgehend)

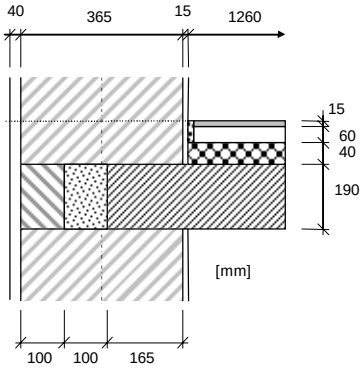
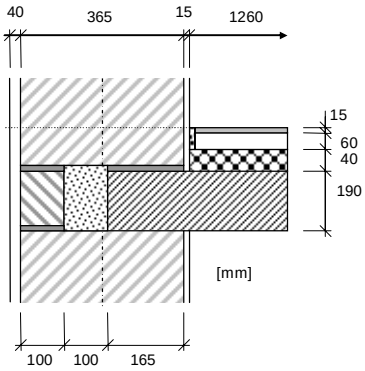
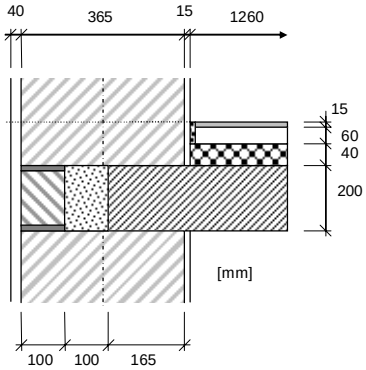
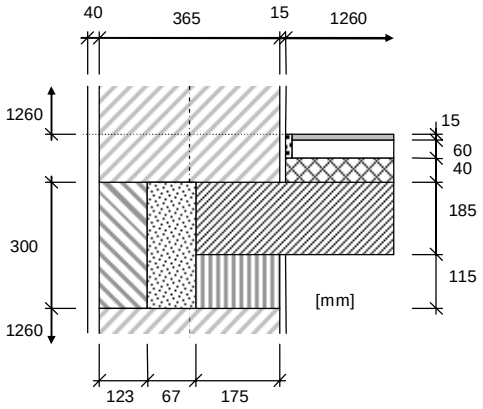
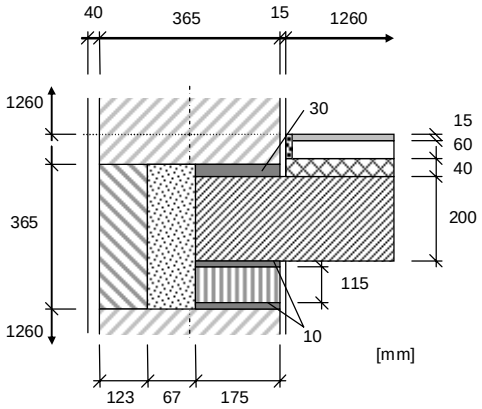
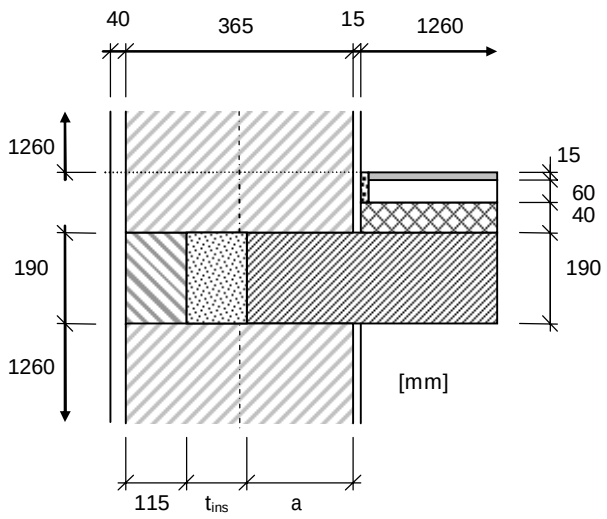
		
U = 0,1459 W/(m²K)	0,1459	0,1459
Φ = 13,04 W/m	13,1	13,109
L^{2D} = 0,4347 W/(mK)	0,4367	0,437
ψ = 0,0225 W/(mK)	0,023	0,0233
U_{AVG} = 0,1539 W/(m²K)	0,154	0,1541

Tabelle A 12 Vergleich Alternative b) mit Ausgleichmörtel

	
U = 0,1459 W/(m²K)	0,1459
Φ = 14,012 W/m	14,442
L^{2D} = 0,4671 W/(mK)	0,4814
ψ = 0,0388 W/(mK)	0,0437
U_{AVG} = 0,1591 W/(m²K)	0,1605

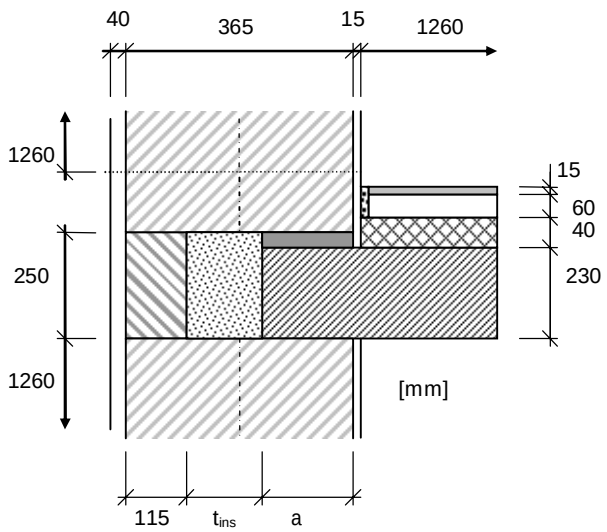
Anhang 2.4 Berechnungen an ausgewählten Materialkombinationen

Anhang 2.4.1 Aufbau WDK



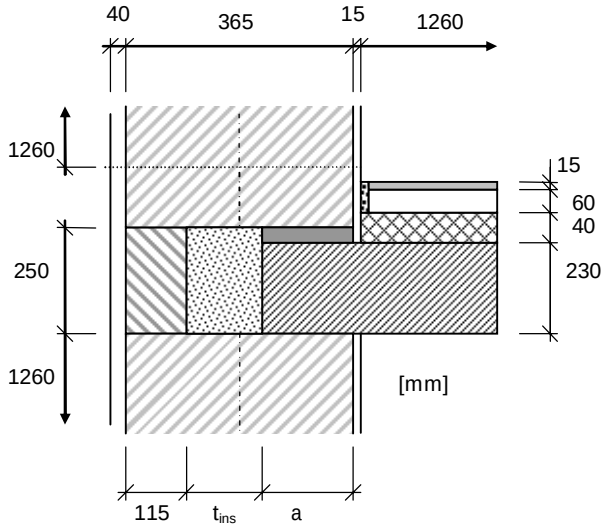
Material	Maße	λ
KLB Planblock SW1	365	0,100
Innenputz (Gips-Leichtputz)	15	0,25
Außenputz (Dämmputz)	40	0,07
Deckenabmauerungsstein	115x190	0,27
Stahlbetondecke	190	2,1
Dämmung	t_{ins}	0,03
Trittschalldämmung	40	0,04
Estrich	60	1,2
Fließen	15	1,3
Wärmedämmfilz	10	0,035

Bild A 6 KLB Planblock



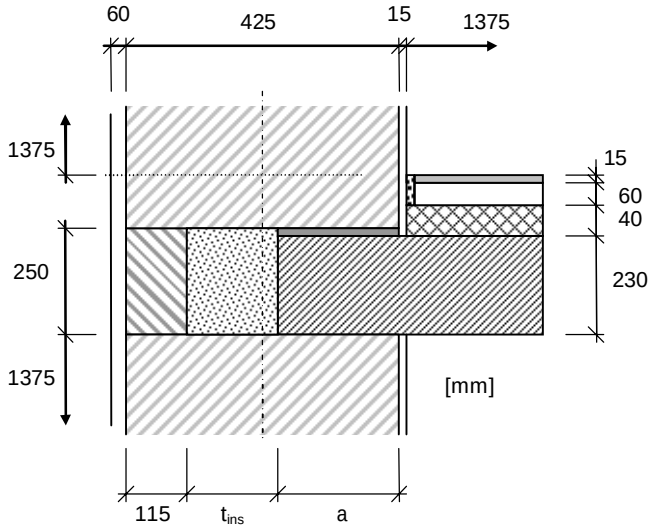
Material	Maße	λ
Bisomark Hbl (org)	365	0,065
Innenputz (Gips-Leichtputz)	15	0,25
Außenputz (Dämmputz)	40	0,07
Vormauerstein Bisoplan Bauplatte	115x248	0,14
Stahlbetondecke	230	2,1
Dämmung	t_{ins}	0,03
Leichtmörtel	20	0,21
Trittschalldämmung	40	0,04
Estrich	60	1,2
Fließen	15	1,3
Wärmedämmfilz	10	0,035

Bild A 7 Bisomark Hbl



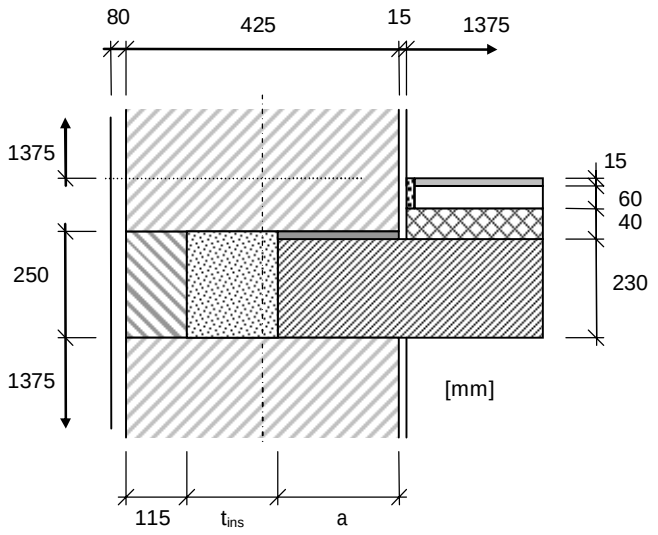
Material	Maße	λ
YTONG PP 1,6 – 0,25	365	0,070
Innenputz (Gips-Leichtputz)	15	0,25
Außenputz (Dämmputz)	40	0,07
Vormauerstein PP 4 – 0,5	115x249	0,14
Stahlbetondecke	230	2,1
Dämmung	t_{ins}	0,03
Leichtmörtel	20	0,21
Trittschalldämmung	40	0,04
Estrich	60	1,2
Fließen	15	1,3
Wärmedämmfilz	10	0,035

Bild A 8 YTONG PP 1,6 – 0,25



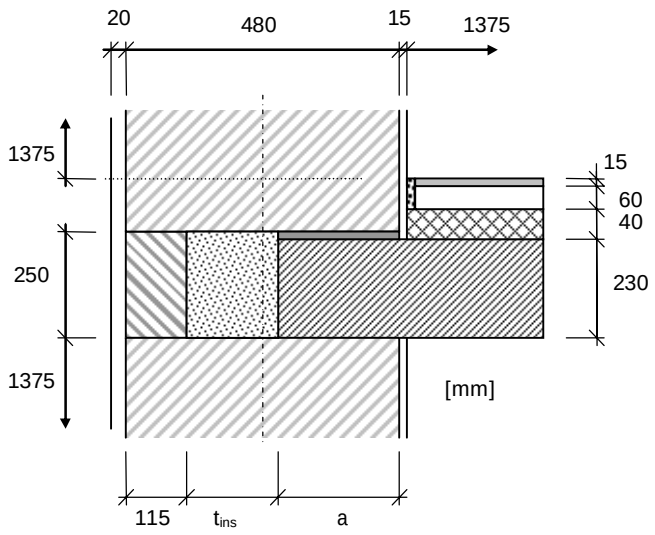
Material	Maße	λ
KLB Kalopor Ultra	425	0,075
Innenputz (Gips-Leicht-Putz)	15	0,25
Außenputz (Dämmputz)	60	0,07
Vormauerstein Plan-Vollstein 8DF (0,8) SFK 4	115x249	0,21
Stahlbetondecke	230	2,1
Dämmung	t_{ins}	0,03
Leichtmörtel	20	0,21
Trittschalldämmung	40	0,04
Estrich	60	1,2
Fließen	15	1,3
Wärmedämmfilz	10	0,035

Bild A 9 KLB Kalopor Ultra



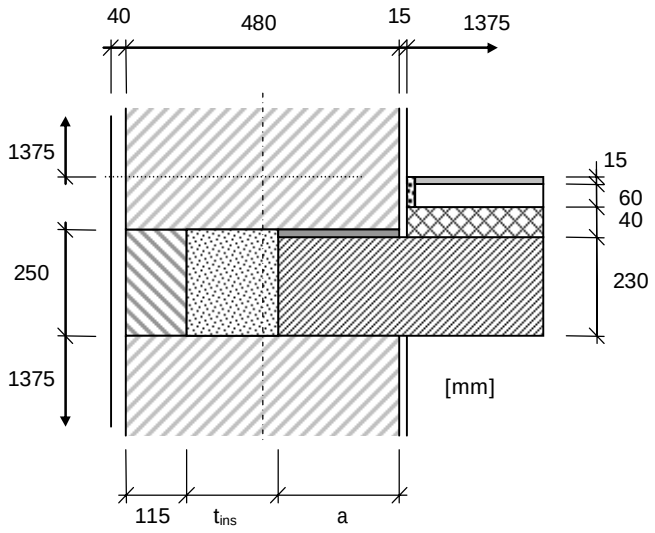
Material	Maße	λ
PORIT PP2 – 0,35	425	0,080
Innenputz (Gips-Leicht-Putz)	15	0,25
Außenputz (Dämmputz)	60	0,07
Vormauerstein PP 4 – 0,6	115x249	0,16
Stahlbetondecke	230	2,1
Dämmung	t_{ins}	0,03
Leichtmörtel	20	0,21
Trittschalldämmung	40	0,04
Estrich	60	1,2
Fließen	15	1,3
Wärmedämmfilz	10	0,035

Bild A 10 PORIT PP2-0,35



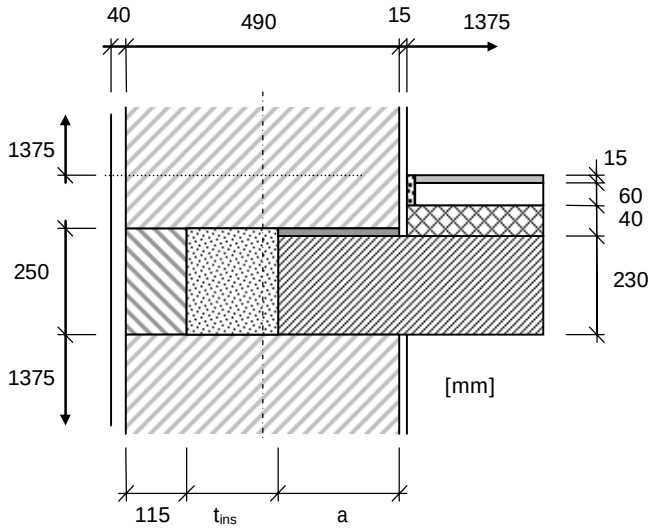
Material	Maße	λ
Ytong PP 1,6 – 0,25	480	0,070
Innenputz (Gips-Putz)	15	0,51
Außenputz (Leichputz)	20	0,25
Vormauerstein PP 4 – 0,50	115x249	0,14
Stahlbetondecke	230	2,1
Dämmung	t_{ins}	0,03
Leichtmörtel	20	0,21
Trittschalldämmung	40	0,04
Estrich	60	1,2
Fließen	15	1,3
Wärmedämmfilz	10	0,035

Bild A 11 Ytong PP 1,6-0,25



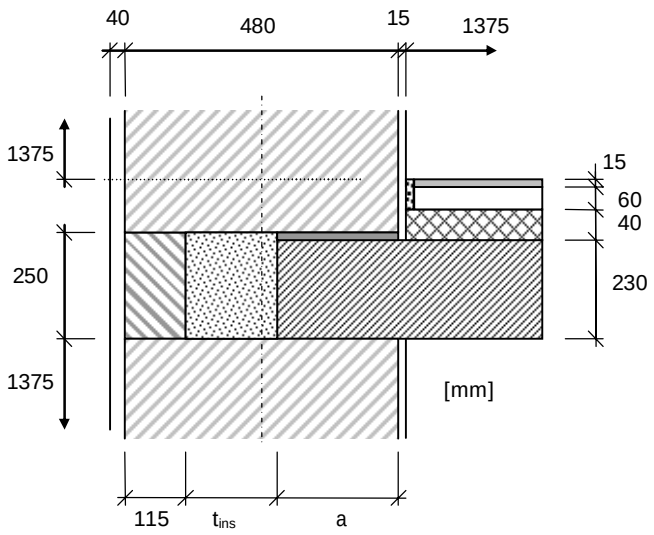
Material	Maße	λ
PP 1,6-0,30 / PP2 – 0,35	480	0,080
Innenputz (Gips-Leicht-Putz)	15	0,25
Außenputz (Dämmputz)	40	0,07
Vormauerstein PP4 – 0,50	115x249	0,14
Stahlbetondecke	230	2,1
Dämmung	t_{ins}	0,03
Leichtmörtel	20	0,21
Trittschalldämmung	40	0,04
Estrich	60	1,2
Fließen	15	1,3
Wärmedämmfilz	10	0,035

Bild A 12 Ytong PP 1,6 -0,30 / Ytong PP 2-0,35



Material	Maße	λ
Bisoplan 09 Super	490	0,09
Innenputz (Gips-Leicht-Putz)	15	0,25
Außenputz (Dämmputz)	40	0,07
Bisoplan Bauplatte SFK4	115x249	0,16
Stahlbetondecke	230	2,1
Dämmung	t_{ins}	0,03
Leichtmörtel	20	0,21
Trittschalldämmung	40	0,04
Estrich	60	1,2
Fließen	15	1,3
Wärmedämmfilz	10	0,035

Bild A 13 Bisoplan 09 Super



Material	Maße	λ
PORIT PP2 – 0,35	480	0,080
Innenputz (Gips-Leicht-Putz)	15	0,25
Außenputz (Dämmputz)	40	0,07
Vormauerstein PPW4 – 0,50	115x249	0,14
Stahlbetondecke	230	2,1
Dämmung	t_{ins}	0,03
Leichtmörtel	20	0,21
Trittschalldämmung	40	0,04
Estrich	60	1,2
Fließen	15	1,3
Wärmedämmfilz	10	0,035

Bild A 14 PORIT PP 2 – 0,35

Anhang 2.4.2 Ergebnisse

Tabelle A 13 Berechnungsergebnisse ausgewählter Materialkombinationen

Kombination	λ	t	a	t_{ins}	ψ	U-Wert
	W/(mK)	mm	mm	mm	W/(mK)	W(m²K)
Bisomark Hbl	0,065	365	50	200	-0,0063	0,156
			100	150	0,0039	
			125	125	0,0108	
			150	100	0,0206	
			175	75	0,0324	
			225	25	0,0777	
KLB Planblock	0,10	365	50	200	-0,0107	0,2246
			100	150	0,0006	
			150	100	0,0188	
			175	75	0,0318	
			200	50	0,0459	
Ytong PP 1,6-0,25	0,070	365	50	200	-0,0092	0,1662
			75	175	-0,0046	
			100	150	0,0012	
			125	125	0,0086	
			150	100	0,0179	
			200	50	0,0454	
KLB Kalopor Ultra	0,075	425	50	260	-0,0084	0,148
			100	210	-0,0012	
			150	160	0,0099	
			200	110	0,0265	
			250	60	0,0531	
PORIT PP2-0,35	0,080	425	50	260	-0,0111	0,156
			100	210	-0,0039	
			150	160	0,0071	
			200	110	0,0232	
			250	60	0,0486	
Ytong PP 1,6 – 0,25	0,070	480	50	315	-0,0105	0,140
			100	265	-0,0041	
			150	215	0,0054	
			175	190	0,0117	
			200	165	0,0191	
			250	115	0,0383	
Ytong PP 2 – 0,35 Ytong PP 1,6 – 0,3	0,08	480	50	315	-0,0115	0,147
			100	265	-0,0054	
			150	215	0,0036	
			175	190	0,0094	
			200	165	0,0163	
			250	115	0,0344	
Bisoplan 09 Super	0,09	490	150	225	-0,001	0,16
			180	195	0,0047	
			200	175	0,011	
			250	125	0,0288	

Anhang 3 Versuchsbegleitende Materialprüfungen

Anhang 3.1 Allgemeines

Anhang 3.2 Serie W400

Anhang 3.2.1 Einzelsteine

Tabelle A 14 Materialparameter der Mauersteine aus Einzelsteinprüfung (PP 1,6 - 0,25)

lfd. Nr.	Name	Länge	Breite	Höhe	Masse	Rohdichte	Bruchlast	Druck-festigkeit	E-Modul
		[mm]	[mm]	[mm]	[kg]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]
1	YA-1	599	400	249	23,827	0,399	497,37	2,08	492
2	YA-2	599	400	249	24,285	0,408	547,58	2,29	616
3	YA-3	599	400	249	23,854	0,401	531,46	2,22	594
Mittelwerte						0,403	525,47	2,19	567

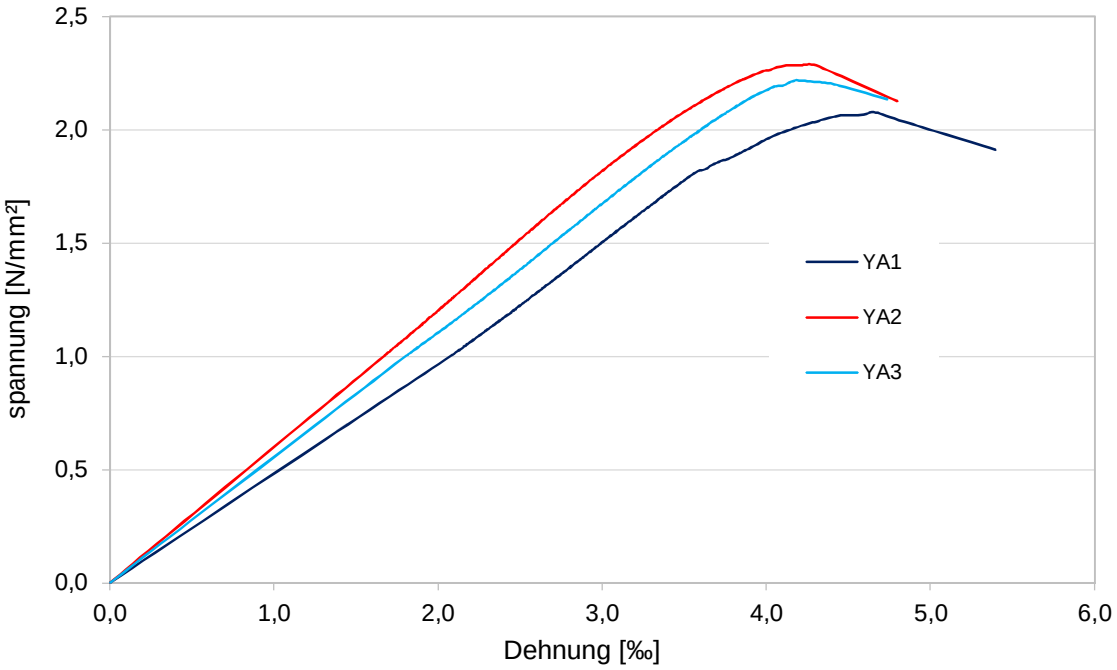


Bild A 15 Spannungs-Dehnungs-Beziehung der Mauersteine (PP 1,6 – 0,25)

Tabelle A 15 Materialparameter der Vormauersteine aus Einzelsteinprüfung (PPW4 - 0,55)

lfd. Nr.	Name	Länge	Breite	Höhe	Masse	Rohdichte	Bruchlast	Druck-festigkeit	E-Modul
		[mm]	[mm]	[mm]	[kg]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]
1	YAV-1	624	115	249	11,756	0,655	237,33	3,31	997
2	YAV-2	624	115	249	11,680	0,659	242,39	3,38	985
3	YAV-3	624	115	249	11,642	0,657	257,33	3,59	1268
Mittelwerte						0,657	245,69	2,19	3,42

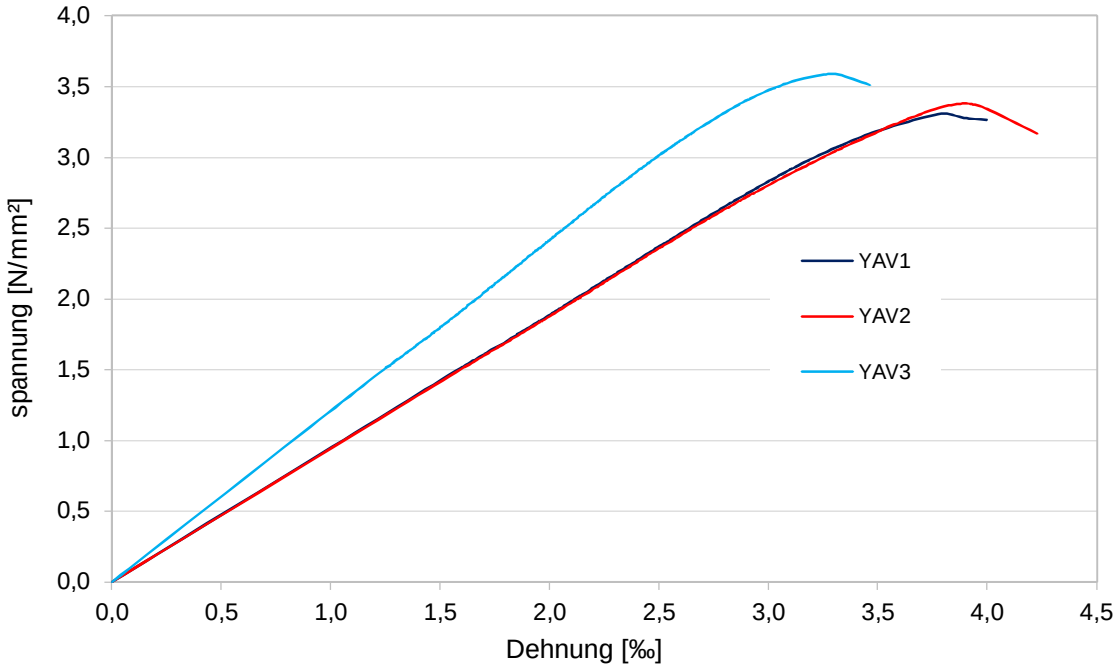


Bild A 16 Spannungs-Dehnungs-Beziehung der Vormauersteine (PPW 4-0,55)

Anhang 3.2.2 Steinprismen

Tabelle A 16 Druckfestigkeit an Würfeln (PP 1,6-0,25)

lfd. Nr.	Name	Richtung	Länge	Breite	Höhe	Masse	Rohdichte	Bruchlast	Druck-festigkeit
			[mm]	[mm]	[mm]	[kg]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]
1	WZa-1	z	98,8	102,9	98,1	268,5	0,269	19,626	1,93
2	WZb-1	z	99,3	100,4	98,7	266,5	0,271	16,388	1,64
3	WZc-1	z	96,3	100,7	98,1	256,4	0,269	14,895	1,54
4	WZa-2	z	98,9	99,0	98,7	259,3	0,268	19,55	1,99
5	WZb-2	z	98,7	100,9	98,8	266,5	0,271	15,999	1,61
6	WZc-2	z	98,4	100,9	98,8	258,7	0,263	18,612	1,87
Mittelwerte							0,269	17,512	1,76
7	PZa-1	x	88,4	103,5	99,5	245,7	0,270	12,351	1,35
8	PZc-1	x	85,6	100,7	99,5	238	0,277	13,26	1,54
Mittelwerte							0,274	12,806	1,58
9	PZb-1	y	88,4	101,2	99,8	240,8	0,270	16,186	1,81
10	PZb-1b	y	88,1	101,0	99,1	229,3	0,260	11,953	1,34
Mittelwerte							0,265	14,070	1,58

Tabelle A 17 Biegezugfestigkeit an Steinprismen (PP 1,6-0,25)

lfd. Nr.	Name	Richtung	Breite	Länge	Höhe	Masse	Rohdichte	Bruchlast	Biegezugfestigkeit
			[mm]	[mm]	[mm]	[g]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]
1	PYa-1	y	39,7	179,8	39,9	77,0	0,270	Fehlversuch	-
2	PYb-1	y	39,9	178,3	39,8	77,9	0,276	0,24	0,57
3	PYa-2	y	39,5	177,7	39,8	74,2	0,265	0,206	0,49
4	PYb-2	y	39,3	178,3	39,8	75,2	0,270	0,221	0,53
Mittelwerte							0,270	0,222	0,53
4	PXa-1	x	40,1	169,6	39,8	74,00	0,273	0,309	0,73
5	PXb-1	x	40,3	168,9	39,9	75,40	0,278	0,304	0,71
6	PXa-2	x	39,6	170,1	39,3	72,50	0,274	0,275	0,67
7	PXb-2	x	40,1	169,0	40,1	70,80	0,261	0,256	0,60
Mittelwerte							0,271	0,286	0,68

Tabelle A 18 Spaltzugfestigkeit aus Teilprismen des Biegezugversuchs (PP 1,6-0,25)

lfd. Nr.	Name	Richtung	Breite	Höhe	Bruchlast	Spaltzug-festigkeit
			[mm]	[mm]	[kN]	[N/mm²]
1	PYa-1	y	39,7	39,9	0,797	0,32
2	PYb-1	y	39,9	39,8	0,871	0,35
3	PYa-2	y	39,5	39,8	0,764	0,31
4	PYb-2	y	39,3	39,8	0,593	0,24
Mittelwerte					0,756	0,31
5	PXa-1	x	40,1	39,8	1,078	0,43
6	PXb-1	x	40,3	39,9	0,722	0,29
7	PXa-2	x	39,6	39,3	1,161	0,48
8	PXb-2	x	40,1	40,1	0,760	0,30
Mittelwerte					0,930	0,37

Tabelle A 19 Druckfestigkeit aus Teilprismen des Biegezugversuchs (PP 1,6-0,25)

lfd. Nr.	Name	Richtung	Breite	Höhe	Bruchlast	Druck-festigkeit
			[mm]	[mm]	[kN]	[N/mm²]
1	PYa-1	z	39,7	39,9	2,542	1,60
2	PYb-1	z	39,9	39,8	2,573	1,62
3	PXa-2	z	39,6	39,3	3,028	1,95
4	PXb-2	z	40,1	40,1	2,480	1,54
Mittelwerte					2,656	1,68
5	PYa-2	x	39,5	39,8	3,126	1,99
6	PYb-2	x	39,3	39,8	2,313	1,48
Mittelwerte					2,720	1,73
7	PXa-1	y	40,1	39,8	2,037	1,28
8	PXb-1	y	40,3	39,9	2,910	1,81
Mittelwerte					2,474	1,54

Tabelle A 20 Druckfestigkeit und E-Modul von Steinprismen in vertikaler Richtung

lfd. Nr.	Name	Länge	Breite	Höhe	Rohdichte	F_{Bruch}	f_{Bruch}	$f/3$	$\varepsilon(f/3)$	E-Modul
		[mm]	[mm]	[mm]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]	[‰]	[N/mm²]
1	PZb-1	40,4	164,0	40,3	0,270	3,69	2,27	0,763	0,827	922
2	PZb-1b	40,6	163,4	40,4	0,270	3,60	2,19	0,736	0,782	941
3	PZ-2	40,5	166,1	40,7	0,273	3,63	2,20	0,732	0,786	931
4	PZ-2	40,6	166,3	40,7	0,270	3,56	2,15	0,715	0,780	918
Mittelwerte					0,271		2,20			928

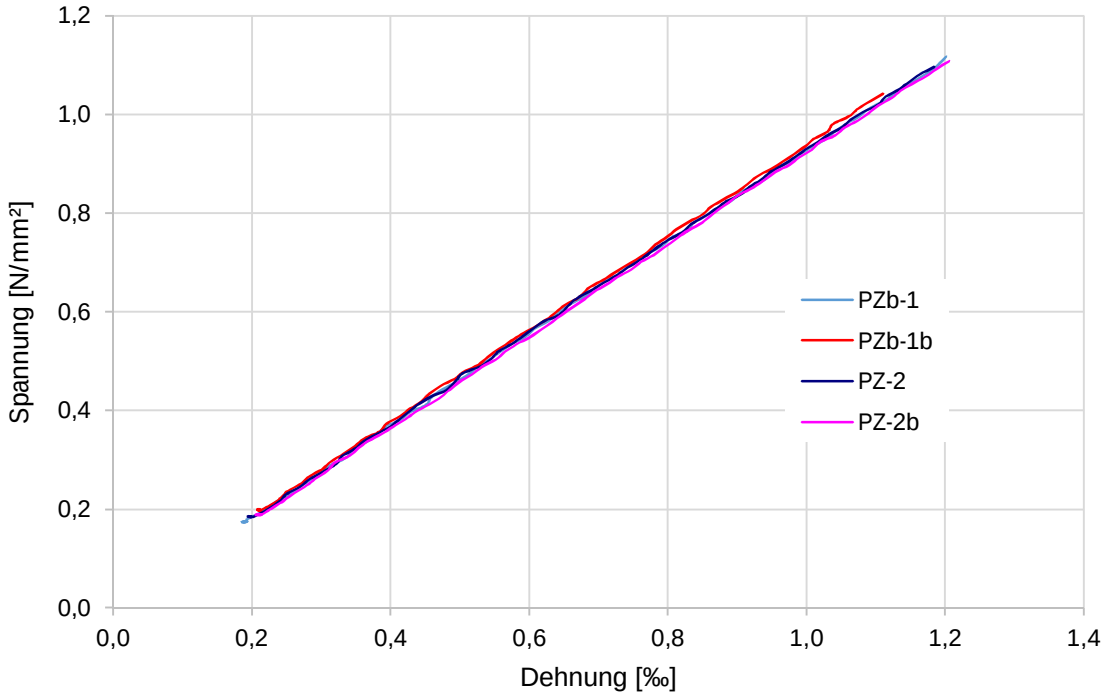


Bild A 17 Spannungs-Dehnungs-Beziehung für Steinprismen (PP 1,6-0,25); nicht bis zum Bruch gemessen

Anhang 3.2.3 Mörtel

Die nachfolgenden Tabellen (Tabelle A 21, Tabelle A 22) enthalten die Kennwerte der zu den Versuchen an den kleinen Mauerwerksprüfkörpern erstellten Mörtelprismen.

Tabelle A 21 Materialkennwerte der Mörtelprismen (Mauerwerksprüfkörper Reihe YAR)

lfd. Nr.	Name	Alter	Höhe	Breite	Länge	ρ_m	$F_{Bruch,BZ}$	$f_{BZ,m}$	$F_{Bruch,DF}$	f_m	$F_{Bruch,SZ}$	$f_{SZ,m}$
		[d]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]	[kN]	[N/mm²]	[kN]	[N/mm²]
1	YAR1	14	39,9	41,8	159,7	1,503	-	-	-	-	-	-
2	YAR2	14	39,9	40,7	160,3	1,530	-	-	-	-	-	-
3	YAR3	14	40,2	40,4	160,0	1,542	1,653	3,78	23,225	14,31	4,849	1,91
4	YAR4	14	40,2	40,6	160,0	1,536	1,889	4,28	22,438	13,75	4,530	1,78
5	YAR5	14	39,9	40,6	158,8	1,548	1,833	4,19	21,782	13,46	3,997	1,58
6	YAR6	14	39,9	40,8	159,3	1,544	1,928	4,37	21,885	13,47	4,374	1,72
MW						1,534		4,15		13,75		1,75

Bild A 18 zeigt die Spannungs-Dehnungs-Beziehung für den verwendeten Dünnbettmörtel. Die Dehnungen wurden jeweils etwa bis zur Hälfte der zu erwartenden Bruchlast aufgezeichnet.

Tabelle A 22 Druckfestigkeit und E-Modul der Mörtelprismen (Mauerwerksprüfkörper YAR)

lfd. Nr.	Name	Alter	Höhe	Breite	Länge	ρ_m	$F_{Bruch,BZ}$	f_{Bruch}	$f/3$	$\varepsilon\,(f/3)$	E-Modul
		[d]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]	[‰]	[N/mm²]
1	YAR1	14	39,9	41,8	159,7	1,503	18,93	11,35	3,786	0,452	8372
2	YAR2	14	39,9	40,7	160,3	1,530	21,07	12,98	4,335	0,495	8750
MW						1,517			12,17		8561

Die Ergebnisse der Mörtelprüfungen aus den Versuchen am Wand-Decken-Knoten (WDK) sind zur besseren Übersicht mit in diesem Abschnitt aufgeführt. Wie bei der Beschreibung des Versuchsaufbaues bereits erwähnt wurde, sind die Prüfkörper außerhalb der Prüfmaschine modular vorgefertigt worden. Die dabei hergestellten Mörtelprismen sind in den jeweiligen Tabellen in der Spalte Zuordnung mit „A“ gekennzeichnet. Die beim späteren Zusammensetzen hergestellten Prismen sind mit „B“ bezeichnet.

Tabelle A 23 Materialkennwerte der Mörtelprismen (WDK-Versuche; W400-A)

lfd. Nr.	Name	Zuordnung	Alter	ρ_m	$f_{BZ,m}$	f_m	$f_{SZ,m}$	E	$f_{m,E}$
			[d]	[kg/dm³]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
1	W400-A-1	A	28	1,553	-	-	-	8544	10,97
2	W400-A-2		27	1,531	3,50	10,17	2,54	-	-
3	W400-A-3		27	1,532	3,29	9,71	1,65	-	-
MW				1,538	3,40	9,94	2,10	8544	10,97
4	W400-A-4	B	8	1,690	-	-	-	10400	16,91
5	W400-A-5		7	1,698	2,68	13,20	2,43	-	-
6	W400-A-6		7	1,716	2,58	14,34	2,99	-	-
MW				1,701	2,63	13,77	2,71	10400	16,91

Tabelle A 24 Materialkennwerte der Mörtelprismen (WDK-Versuche; W400-B)

lfd. Nr.	Name	Zuordnung	Alter	ρ_m	$f_{BZ,m}$	f_m	$f_{SZ,m}$	E	$f_{m,E}$
			[d]	[kg/dm³]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
1	W400-B-1	A	28	1,516	-	-	-	8271	12,39
2	W400-B-2		26	1,525	3,91	11,40	2,30	-	-
3	W400-B-3		26	1,490	3,59	11,48	2,41	-	-
MW				1,510	3,75	11,44	2,36	8271	12,39
4	W400-B-4	B	10	1,637	-	-	-	11459	17,77
5	W400-B-5		8	1,646	3,40	17,98	2,37	-	-
6	W400-B-6		8	1,633	4,42	17,16	2,81	-	-
MW				1,638	3,91	17,57	2,59	11459	17,77

Tabelle A 25 Materialkennwerte der Mörtelprismen (WDK-Versuche; W400-E)

lfd. Nr.	Name	Zuordnung	Alter	ρ_m	$f_{BZ,m}$	f_m	$f_{SZ,m}$	E	$f_{m,E}$
			[d]	[kg/dm³]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
1	W400-E-1	A	18	1,603	-	-	-	8162	11,29
2	W400-E-2		18	1,604	3,69	13,69	3,06	-	-
3	W400-E-3		18	1,591	3,45	12,75	2,46	-	-
MW				1,60	3,57	13,22	2,76	8162	11,29
4	W400-E-4	B	6	1,785	-	-	-	9644	11,37
5	W400-E-5		6	-	2,40	10,65	2,21	-	-
6	W400-E-6		6	-	2,57	10,54	2,22	-	-
MW				1,785	2,48	10,59	2,22	9644	11,37

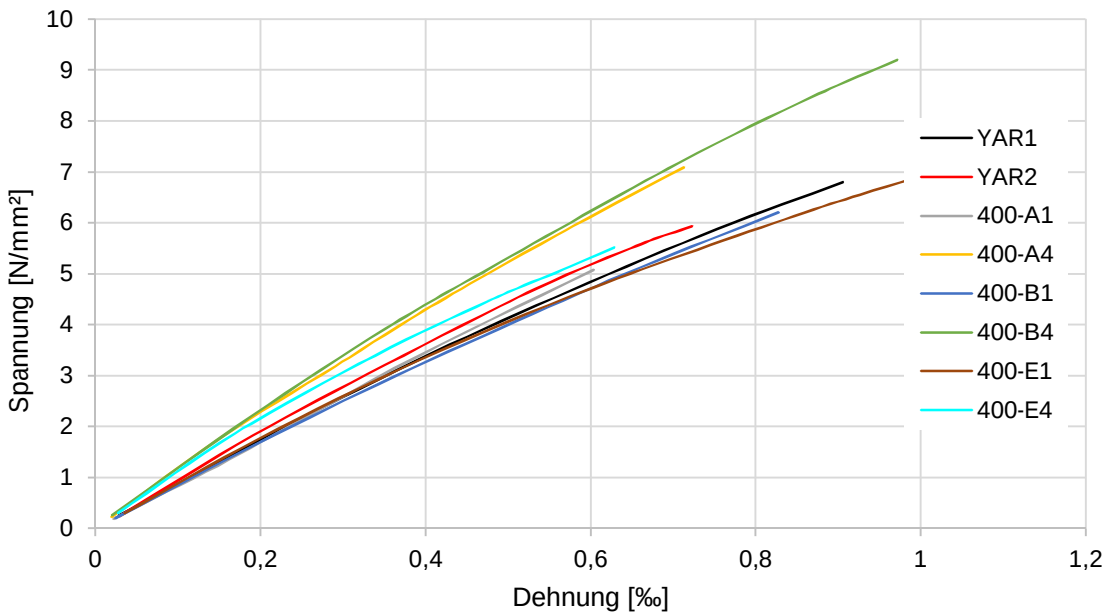


Bild A 18 Spannungs-Dehnungs-Beziehung für Mörtelprismen aus Ytong Dünnbettmörtel (nicht bis zum Bruch gemessen)

Anhang 3.2.4 Mauerwerk

Tabelle A 26 Druckfestigkeit, E-Modul und Querdehnzahl an kleinen Mauerwerksprüfkörpern aus Porenbeton-Plansteinen PP 1,6-0,25 und Dünnbettmörtel

lfd. Nr.	Name	Alter	t / l / h	*h/t*	F_{Bruch}	*f*	*f/3*	*ε (f/3)*	*E-Modul*	*ν*
		[d]	[mm]	[-]	[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]	[‰]	[N/mm²]	[-}
1	YAR1	14	400/900/1250	3,1	571,4	1,59	0,53	0,617	856	0,21
3	YAR2				531,9	1,48	0,49	0,543	905	0,21
3	YAR3				563,1	1,56	0,52	0,586	888	0,22
MW					555,4	1,54			883	0,21

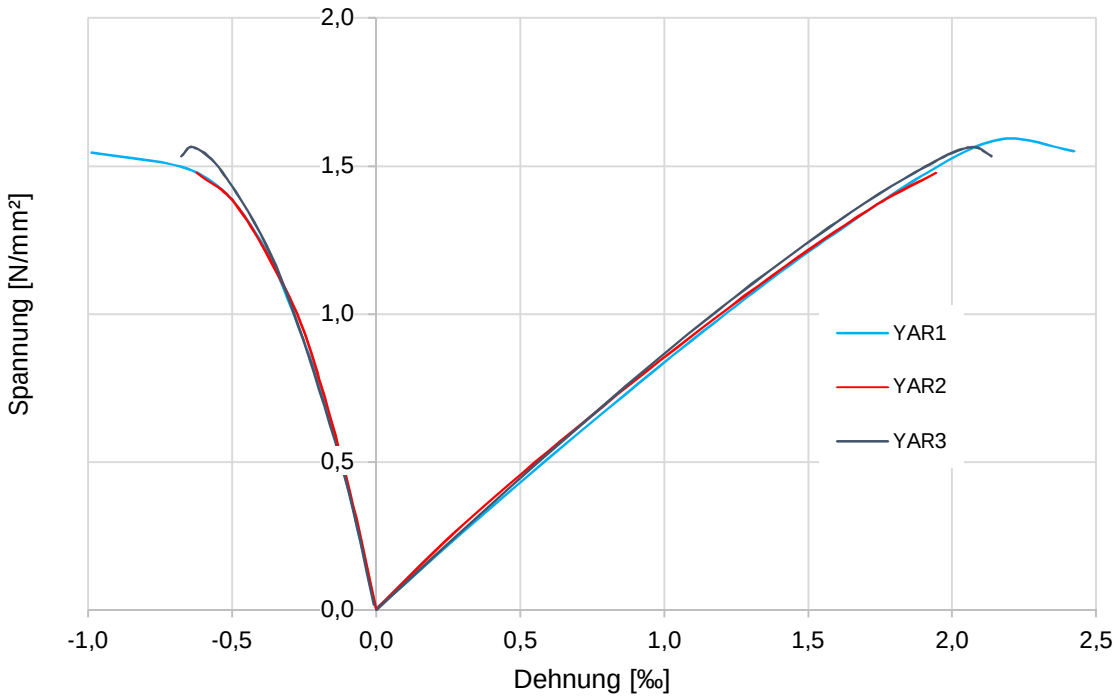


Bild A 19 Spannungs-Dehnungs-Kennlinie und Querdehnungslinie für kleine Mauerwerksprüfkörper aus Porenbeton-Plansteinen (PP 1,6-0,25)

Anhang 3.2.5 Beton

Tabelle A 27 Druckfestigkeit des Betons für die Deckenplatte (Würfel)

lfd. Nr.	Name	Alter	Länge	Breite	Höhe	Masse	Rohdichte	Bruchlast	Druck-festigkeit
		[d]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg]	[kg/dm³]	[kN]	(N/mm²]
1	W1	28	149,9	151,1	149,9	7,467	2,20	501,1	22,12
2	W2	28	149,9	152,5	149,6	7,517	2,20	492,2	21,53
3	W3	126	150,2	150,9	150	7,319	2,15	596,7	26,33
4	W4	126	150,4	150,4	149,9	7,235	2,13	604,7	26,73
MW							2,17		24,18

Tabelle A 28 Druckfestigkeit und E-Modul des Betons für die Deckenplatte (Zylinder)

lfd. Nr.	Name	Alter	Durch-messer	Höhe	Masse	Rohdichte	Bruchlast	Druck-festigkeit	E-Modul
		[d]	[mm]	[mm]	[kg]	[kg/dm³]	[kN]	(N/mm²]	[N/mm²]
1	Z1	28	149,9	297,2	11,73	2,24	366,7	20,78	24430
2	Z2	28	149,7	297,9	11,797	2,25	382,4	21,73	28691
3	Z3	126	150,3	297,8	11,53	2,18	464,6	26,19	25904
4	Z4	126	150,0	299,4	11,569	2,19	418,7	23,69	21205
MW						2,22		23,10	25057

Anhang 3.3 Serie W425

Anhang 3.3.1 Einzelsteine

Tabelle A 29 Materialparameter der Mauersteine aus Einzelsteinprüfung (PP 2 - 0,35)

lfd. Nr.	Name	Länge	Breite	Höhe	Bruchlast	Druckfestigkeit	E-Modul
		[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]
1	P-1	499	425	249	512,89	2,42	527
2	P-2	499	425	249	491,85	2,32	527
3	P-3	499	425	249	502,09	2,37	549
Mittelwerte					502,27	2,37	534

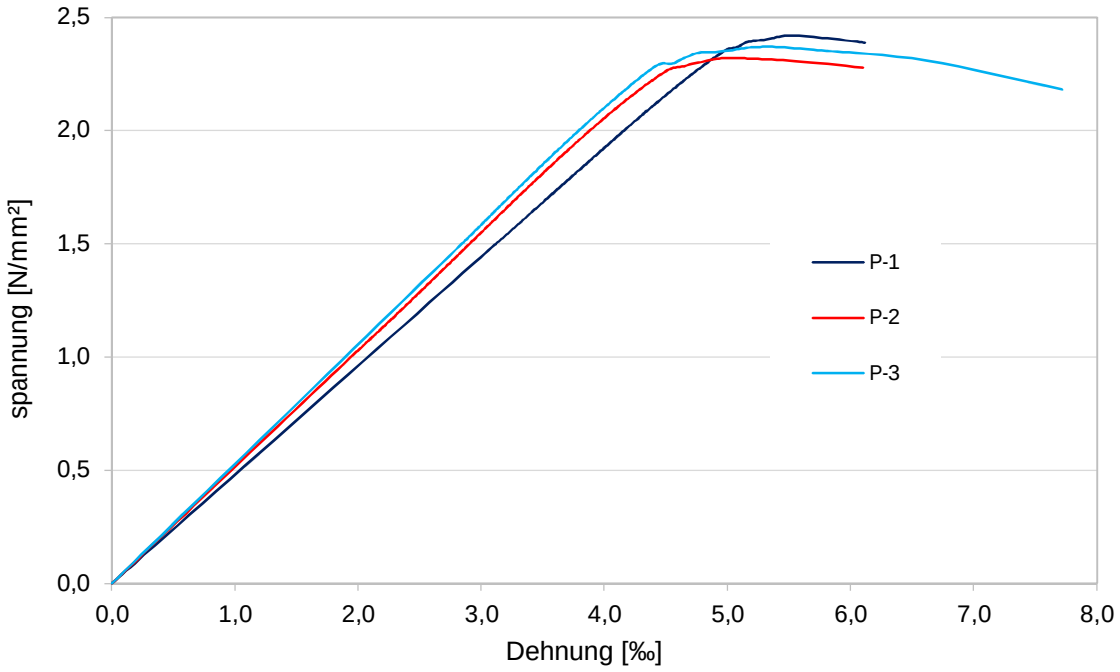


Bild A 20 Spannungs-Dehnungs-Beziehung der Mauersteine (PP 2 – 0,35)

Tabelle A 30 Materialparameter der Vormauersteine aus Einzelsteinprüfung (PPpl 4-0,5)

lfd. Nr.	Name	Länge	Breite	Höhe	Bruchlast	Druckfestigkeit	E-Modul
		[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]
1	PV-1	624	115	249	278,72	3,88	944
2	PV-2	624	115	249	290,11	4,04	969
3	PV-3	624	115	249	296,98	4,14	972
Mittelwerte					288,60	4,02	961

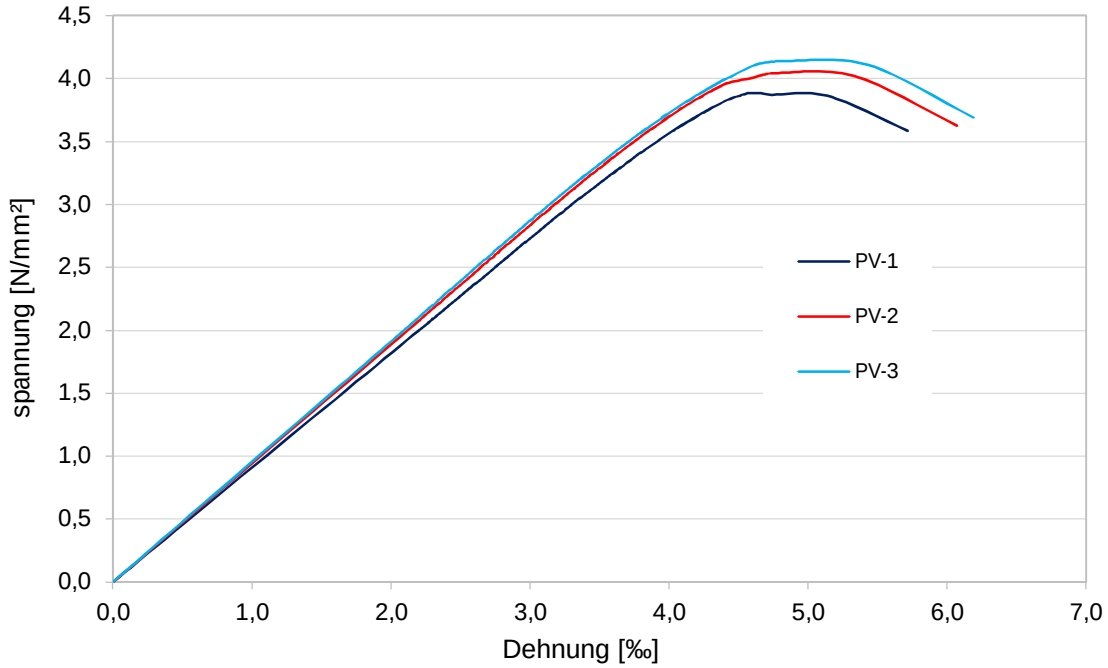


Bild A 21 Spannungs-Dehnungs-Beziehung der Vormauersteine (PPpl 4– 0,50)

Tabelle A 31 Druckfestigkeit und E-Modul von geschnittenen Vormauersteinen (PPpl 4-0,5)

lfd. Nr.	Name	Länge	Breite	Höhe	Rohdichte	F_{Bruch}	f_{Bruch}	$f/3$	$\varepsilon(f/3)$	E-Modul
		[mm]	[mm]	[mm]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]	[‰]	[N/mm²]
1	PVD-1	306	115	249	0,599	144,00	4,12	1,367	0,734	1863
2	PVD-2	306	115	249	0,606	154,20	4,43	1,481	0,794	1865
3	PVD-3	308	115	249	0,595	143,62	4,07	-	-	-
Mittelwerte					0,600	147,27	4,21			1864

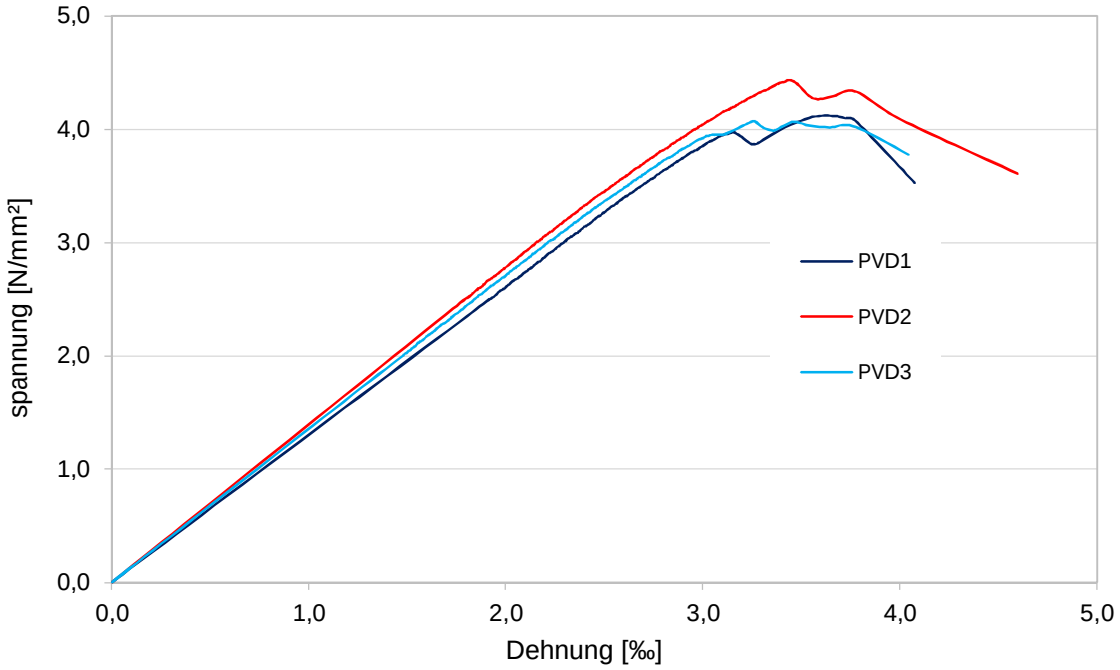


Bild A 22 Spannungs-Dehnungs-Beziehung aus DMS-Messwerten an geschnittenen Vormauersteinen (PPpl 4-0,5)

Anhang 3.3.2 Steinprismen

Tabelle A 32 Druckfestigkeit an Würfeln (PP2-0,35/425)

lfd. Nr.	Name	Richtung	Länge	Breite	Höhe	Masse	Rohdichte	Bruchlast	Druck-festigkeit
			[mm]	[mm]	[mm]	[kg]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]
1	WZa-1	z	105,4	98,5	99,1	392,6	0,382	30,45	2,934
2	WZb-1	z	105,0	97,7	99,2	385,9	0,379	25,60	2,495
3	WZc-1	z	103,7	99,7	99,1	379	0,370	24,29	2,349
4	WZa-2	z	104,4	98,5	98,9	387,9	0,381	26,66	2,591
5	WZb-2	z	104,7	98,4	99,4	388,6	0,380	28,04	2,723
6	WZc-2	z	104,8	98,3	99,3	380,7	0,372	26,03	2,526
Mittelwerte							0,377	26,84	2,603

Tabelle A 33 Biegezugfestigkeit an Steinprismen (PP2-0,35/425)

lfd. Nr.	Name	Richtung	Breite	Länge	Höhe	Masse	Rohdichte	Bruchlast	Biegezugfestigkeit
			[mm]	[mm]	[mm]	[g]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]
1	PYa-1	y	40,0	169,9	40,1	103,1	0,379	0,326	0,76
2	PYb-1	y	35,5	162,6	39,3	97,5	0,430	0,328	0,90
3	PYa-2	y	39,6	163,7	39,8	98,3	0,381	0,313	0,75
4	PYb-2	y	39,4	163,9	39,6	98,40	0,385	0,308	0,75
Mittelwerte							0,394	0,319	0,79
4	PXa-1	x	40,8	154,3	40,4	96,40	0,379	0,382	0,86
5	PXb-1	x	40,8	154,2	40,4	100,50	0,396	0,442	1,00
6	PXa-2	x	39,5	154,0	39,1	89,90	0,378	0,382	0,95
7	PXb-2	x	39,5	154,6	39,5	94,30	0,391	0,423	1,03
Mittelwerte							0,386	0,407	0,96

Tabelle A 34 Spaltzugfestigkeit aus Teilprismen des Biegezugversuchs (PP2-0,35/425)

lfd. Nr.	Name	Richtung	Breite	Höhe	Bruchlast	Spaltzug-festigkeit
			[mm]	[mm]	[kN]	[N/mm²]
1	PYa-1	y	40,0	40,1	1,140	0,46
2	PYb-1	y	35,5	39,3	1,265	0,58
3	PYa-2	y	39,6	39,8	0,858	0,35
4	PYb-2	y	39,4	39,6	1,171	0,48
Mittelwerte					1,109	0,47
5	PXa-1	x	40,8	40,4	1,091	0,42
6	PXb-1	x	40,8	40,4	0,76	0,30
7	PXa-2	x	39,5	39,1	1,16	0,48
8	PXb-2	x	39,5	39,5	1,043	0,43
Mittelwerte					1,014	0,41

Tabelle A 35 Druckfestigkeit aus Teilprismen des Biegezugversuchs (PP2-0,35/425)

lfd. Nr.	Name	Richtung	Breite	Höhe	Bruchlast	Druck-festigkeit
			[mm]	[mm]	[kN]	[N/mm²]
1	PYa-1	z	40,0	40,1	3,914	2,45
2	PYb-1	z	35,5	39,3	3,263	2,30
3	PXa-2	z	39,5	39,1	3,196	2,02
4	PXb-2	z	39,5	39,5	3,765	2,38
Mittelwerte					3,535	2,29
5	PYa-2	x	39,6	39,8	3,831	2,42
6	PYb-2	x	39,4	39,6	3,865	2,46
Mittelwerte					3,848	2,44
7	PXa-1	y	40,8	40,4	3,722	2,28
8	PXb-1	y	40,8	40,4	3,371	2,07
Mittelwerte					3,547	2,17

Tabelle A 36 Druckfestigkeit und E-Modul von Steinprismen in z-Richtung (PP2-0,35/425)

lfd. Nr.	Name	Länge	Breite	Höhe	Rohdichte	F_{Bruch}	f_{Bruch}	$f/3$	$\varepsilon(f/3)$	E-Modul
		[mm]	[mm]	[mm]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]	[‰]	[N/mm²]
1	PZa-1	40,9	40,9	163,4	0,381	5,045	3,016	1,014	0,809	1254
2	PZa-1b	40,9	40,5	163,0	0,388	5,079	3,063	1,027	0,801	1282
3	PZb-1	100,4	79,3	248,6	0,378	24,301	3,052	1,021	0,820	1244
4	PZa-2	41,0	40,7	161,4	0,391	5,037	3,015	1,095	0,868	1261
Mittelwerte					0,385		3,037			1260

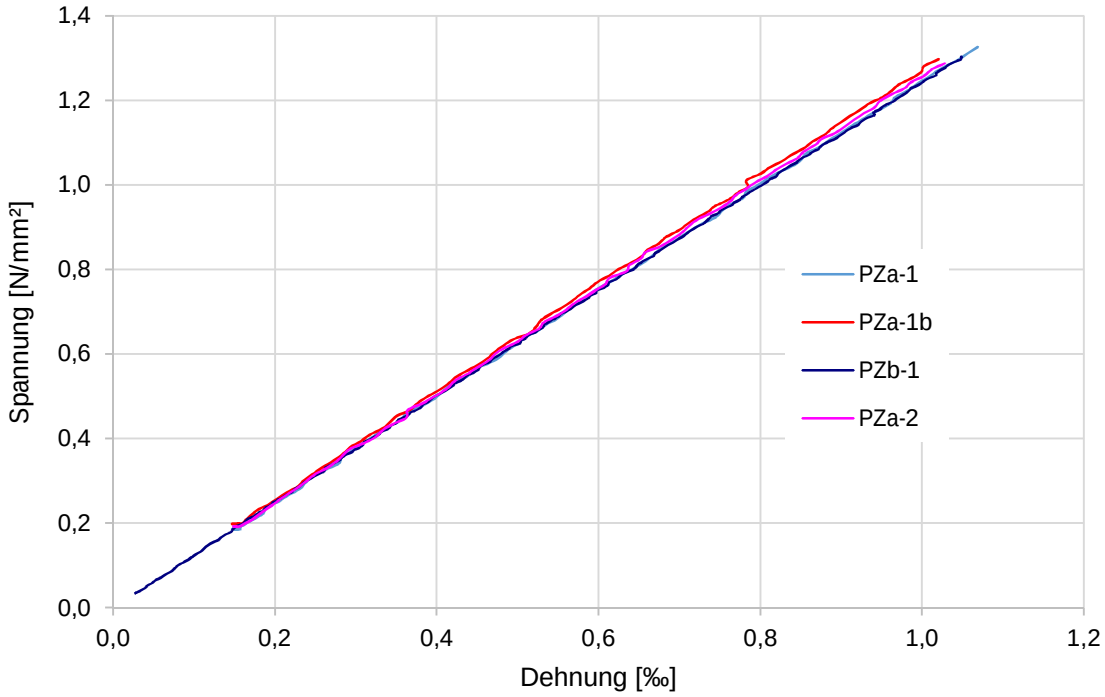


Bild A 23 Spannungs-Dehnungs-Beziehung für Steinprismen (PP2-0,35/425); nicht bis zum Bruch gemessen

Tabelle A 37 Druckfestigkeit und E-Modul von Vormauersteinprismen in z-Richtung (PPpl4-0,5)

lfd. Nr.	Name	Länge	Breite	Höhe	Rohdichte	F_{Bruch}	f_{Bruch}	$f/3$	$\varepsilon(f/3)$	E-Modul
		[mm]	[mm]	[mm]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]	[‰]	[N/mm²]
1	**P1o**	114,1	114,4	114,9	0,525	47,613	3,65	-	-	-
2	**P1u**	114,1	114,7	114,6	0,544	61,860	4,73	-	-	-
3	**P2o**	114,8	114,2	114,6	0,527	55,888	4,26	-	-	-
4	**P2u**	114,7	114,7	114,5	0,529	59,499	4,52	-	-	-
5	**P3o**	114,2	114,9	114,7	0,525	61,088	4,66	-	-	-
6	**P3u**	114,4	115,3	114,5	0,524	59,411	4,50	-	-	-
7	**P4o**	113,6	114,6	114,8	0,703	61,900	4,76	-	-	-
8	**P4u**	113,6	114,4	114,7	0,553	63,884	4,92	-	-	-
Mittelwerte					0,554	58,893	4,50			
9	VM1	113,3	114,3	249,2	0,536	68,480	5,29	1,756	0,890	1972
10	VM2	115,4	114,1	248,9	0,542	69,250	5,26	1,748	0,879	1988
11	VM3	114,1	113,3	249,0	0,537	65,756	5,09	1,674	0,845	1980
Mittelwerte					0,538	67,829	5,21			1980

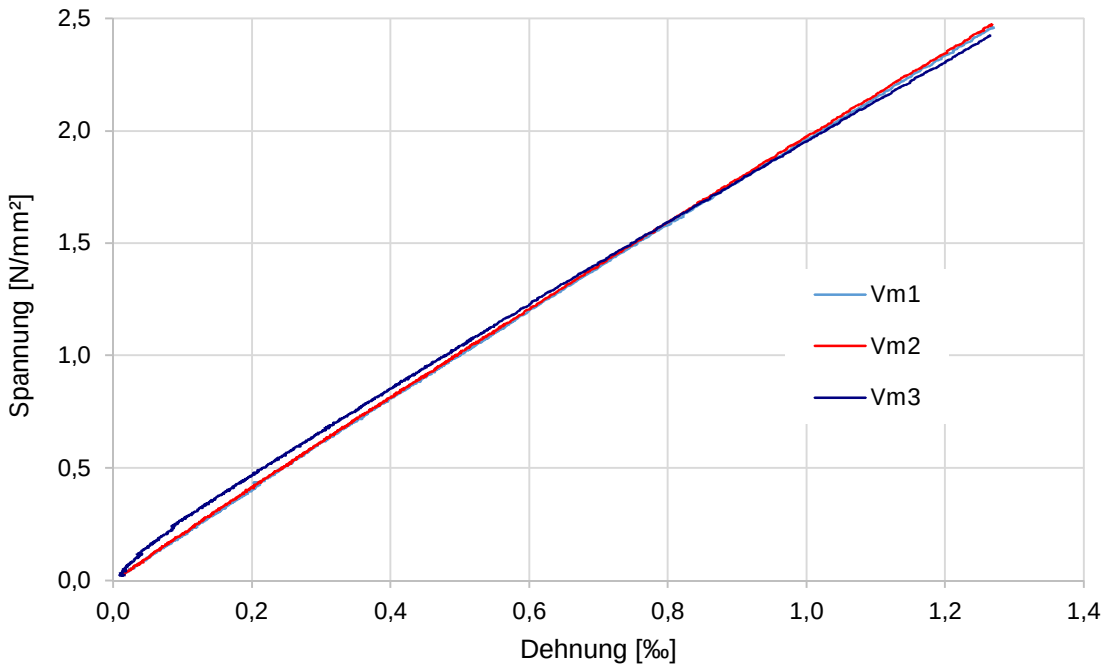


Bild A 24 Spannungs-Dehnungs-Beziehung für Vormauersteinprismen (PPpl 4-0,5); nicht bis zum Bruch gemessen

Tabelle A 38 Druckfestigkeit und E-Modul von Vormauersteinprismen (PPpl 4-0,5)

lfd. Nr.	Name	Länge	Breite	Höhe	Rohdichte	F_{Bruch}	f_{Bruch}	$f/3$	$\varepsilon(f/3)$	E-Modul
		[mm]	[mm]	[mm]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]	[‰]	[N/mm²]
1	P11	115,1	114,7	249,6	0,556	64,69	4,90	1,63	0,957	1707
2	P12	115,3	114,6	249,4	0,583	63,36	4,79	1,60	0,834	1916
3	P13	115,7	114,6	249,1	0,587	65,01	4,91	1,64	0,847	1930
4	P14	115,6	114,5	249,1	0,536	63,23	4,78	1,59	0,862	1847
5	P21	115,3	114,6	249,1	0,587	63,44	4,83	1,61	0,823	1955
6	P22	116,0	114,7	249,2	0,624	60,91	4,58	1,53	0,833	1832
7	P23	116,2	114,8	249,8	0,594	62,92	4,72	1,57	0,837	1880
8	P24	115,9	115,1	249,1	0,539	62,32	4,67	1,56	0,830	1876
9	P31	115,8	114,7	249,0	0,612	64,43	4,85	1,62	0,829	1951
10	P32	115,8	114,7	249,1	0,647	59,71	4,49	1,50	0,814	1841
11	P33	116,0	114,6	249,7	0,612	62,40	4,70	1,57	0,840	1863
12	P34	115,3	114,4	249,7	0,552	61,18	4,64	1,55	0,843	1834
Mittelwerte					0,586	62,80	4,74			1869

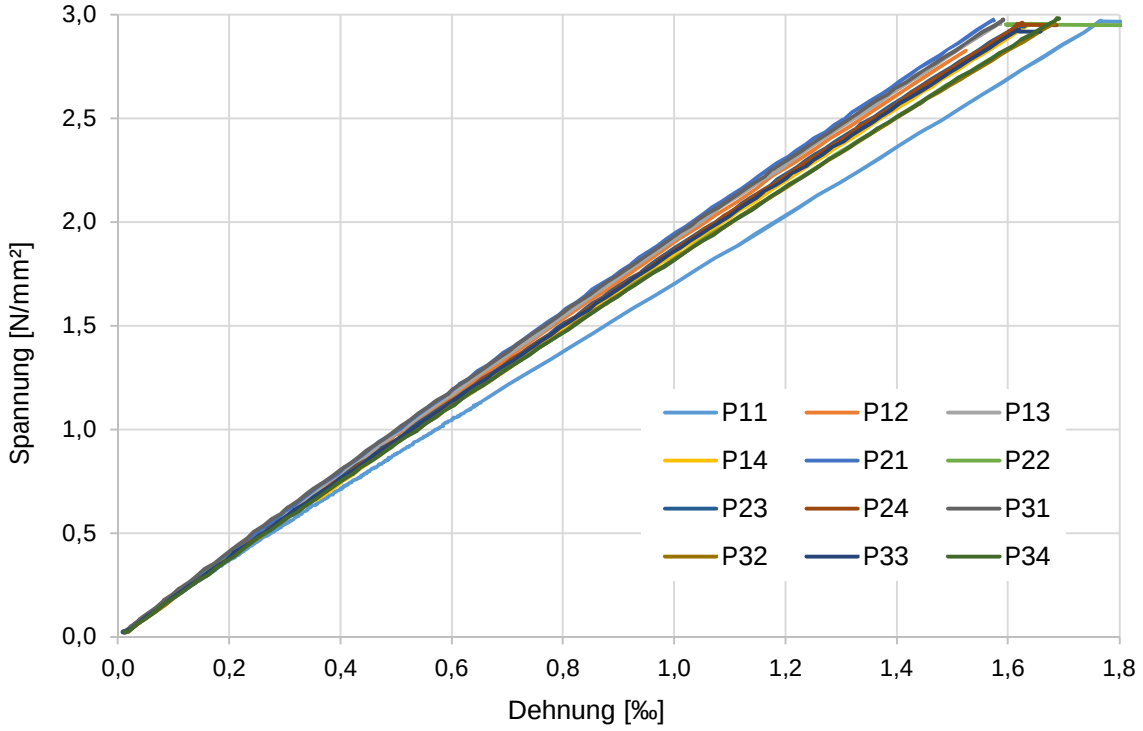


Bild A 25 Spannungs-Dehnungs-Beziehung an Vormauersteinprismen (PPpl-4-0,5); nicht bis zum Bruch

Anhang 3.3.3 Mörtel

Tabelle A 39 Materialkennwerte der Mörtelprismen (Mauerwerksprüfkörper)

lfd. Nr.	Name	Alter	Höhe	Breite	Länge	ρ_m	$F_{Bruch,BZ}$	$f_{BZ,m}$	$F_{Bruch,DF}$	f_m	$F_{Bruch,SZ}$	$f_{SZ,m}$
		[d]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]	[kN]	[N/mm²]	[kN]	[N/mm²]
1	PR-1	18	39,82	39,88	159,74	1,532	-	-	-	-	-	-
2	PR-2	18	40,43	41,04	159,78	1,503	-	-	-	-	-	-
3	PR-3	18	39,71	40,35	160,05	1,522	1,549	3,59	17,144	10,70	5,521	2,21
4	PR-4	18	40,15	39,91	160,33	1,525	1,709	4,01	17,917	11,18	4,974	1,99
5	PR-5	18	40,05	39,95	159,08	1,543	1,579	3,71	18,102	11,31	4,446	1,78
6	PR-6	18	39,91	40,78	158,60	1,488	1,549	3,50	16,543	10,16	4,793	1,88
MW						1,519		3,70		10,84		1,96

Tabelle A 40 Druckfestigkeit und E-Modul der Mörtelprismen (Mauerwerksprüfkörper)

lfd. Nr.	Name	Alter	Höhe	Breite	Länge	ρ_m	F_{Bruch}	f_{Bruch}	$f/3$	$\varepsilon\ (f/3)$	E-Modul
		[d]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]	[‰]	[N/mm²]
1	PR-1	18	39,82	39,88	159,74	1,532	14,502	9,13	3,006	0,410	7338
2	PR-2	18	40,43	41,04	159,78	1,503	13,352	8,05	2,687	0,396	6793
MW						1,518		8,59	12,17		7066

Tabelle A 41 Materialkennwerte der Mörtelprismen (WDK-Versuche; W425-A)

lfd. Nr.	Name	Zuord-nung	Alter	ρ_m	$f_{BZ,m}$	f_m	$f_{SZ,m}$	E	$f_{m,E}$
			[d]	[kg/dm³]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
1	W425-A-1	A	16	1,634	3,19	10,63	2,07	-	-
2	W425-A-2		16	1,629	-	-	-	10240	10,80
MW				1,631	3,19	10,63	2,07	10240	10,80
4	W425-A-4	B	4	-	2,37	9,87	2,15	-	-
5	W425-A-5		4	-	2,15	12,14	2,27	-	-
6	W425-A-6		4	-	-	-	-	9224	9,77
MW				-	2,26	11,00	2,21	9224	9,77

Tabelle A 42 Materialkennwerte der Mörtelprismen (WDK-Versuche; W425-B)

lfd. Nr.	Name	Zuordnung	Alter	ρ_m	$f_{BZ,m}$	f_m	$f_{SZ,m}$	E	$f_{m,E}$
			[d]	[kg/dm³]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
1	W425-B-1	A	17	1,389	-	-	-	8343	7,53
2	W425-B-2		17	1,393	2,21	8,41	1,21	-	-
3	W425-B-3		17	1,392	2,18	8,35	1,32	-	-
MW				1,391	2,19	8,38	1,27	8343	7,53
4	W425-B-4	B	3	1,768	-	-	-	9586	6,13
5	W425-B-5		3	1,748	2,40	8,65	1,59	-	-
6	W425-B-6		3	1,758	2,41	6,15	1,44	-	-
MW				1,758	2,40	7,40	1,51	9586	6,13

Tabelle A 43 Materialkennwerte der Mörtelprismen (WDK-Versuche; W425-C)

lfd. Nr.	Name	Zuordnung	Alter	ρ_m	$f_{BZ,m}$	f_m	$f_{SZ,m}$	E	$f_{m,E}$
			[d]	[kg/dm³]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
1	W425-C-1	A	22	1,508	-	-	-	6403	8,51
2	W425-C-2		22	1,522	3,46	7,68	1,58	-	-
3	W425-C-3		22	1,522	3,11	7,55	1,42	-	-
MW				1,517	3,29	7,61	1,50	6403	8,51
4	W425-C-4	B	3	1,776	-	-	-	8459	9,62
5	W425-C-5		3	1,779	2,29	6,36	1,57	-	-
6	W425-C-6		3	1,785	2,08	6,59	1,44	-	-
MW				1,780	2,18	6,48	1,50	8459	9,62

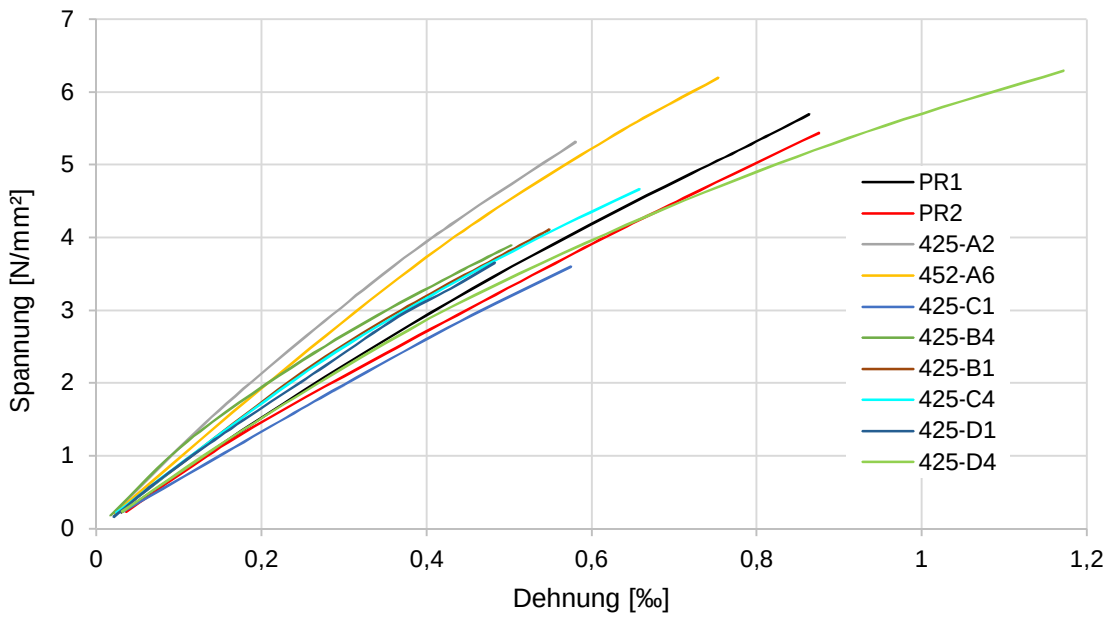


Bild A 26 Spannungs-Dehnungs-Beziehung für Mörtelprismen aus Porit Dünnbettmörtel (nicht bis zum Bruch gemessen)

Anhang 3.3.4 Mauerwerk

Tabelle A 44 Druckfestigkeit, E-Modul und Querdehnzahl an kleinen Mauerwerksprüfkörpern aus Porenbeton-Plansteinen PP2-0,35/425 und Dünnbettmörtel

lfd. Nr.	Name	Alter	t / l / h	*h/t*	F_{Bruch}	*f*	*f/3*	*ε (f/3)*	*E-Modul*	*ν*
		[d]	[mm]	[-]	[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]	[‰]	[N/mm²]	[-}
1	PR-1	17	425/750/1250	2,94	593,38	1,86	0,620	0,5296	1170	0,24
3	PR-2				587,42	1,84	0,613	0,5346	1147	0,31
3	PR-3				569,33	1,79	0,596	0,5443	1094	0,26
MW					583,38	1,83			1137	0,27

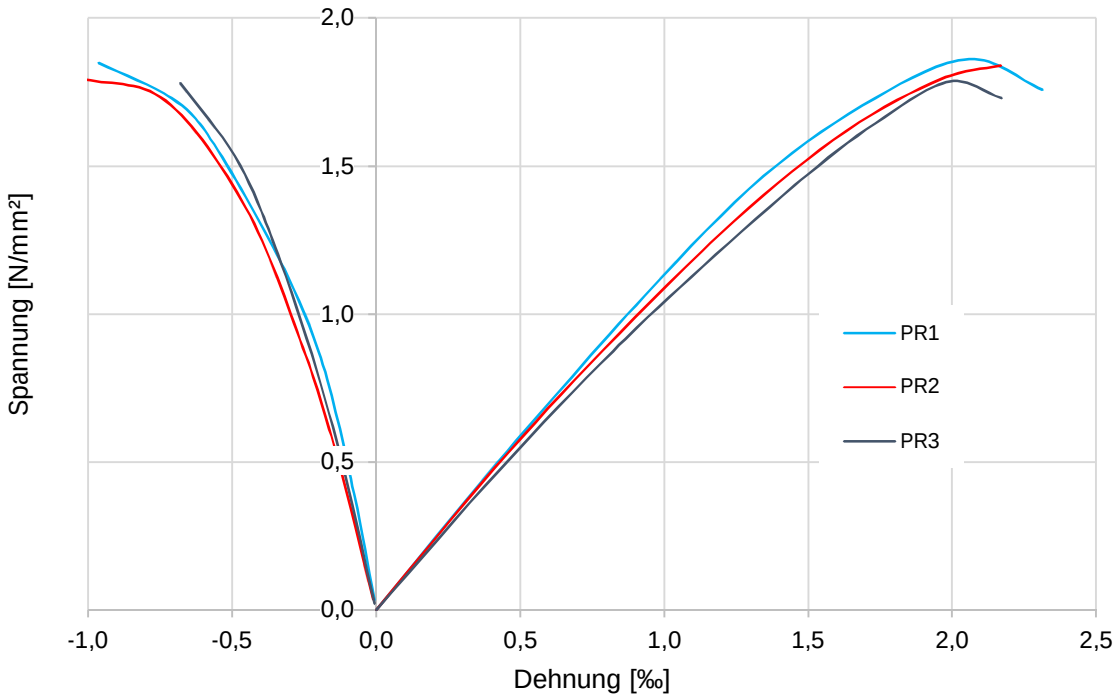


Bild A 27 Spannungs-Dehnungs-Kennlinie und Querdehnungslinie für kleine Mauerwerksprüfkörper aus Porenbeton-Plansteinen (PP2-0,35/425) und Dünnbettmörtel

Anhang 3.4 Serie W480

Anhang 3.4.1 Einzelsteine

Tabelle A 45 Materialparameter der Mauersteine aus Einzelsteinprüfung (PP2- 0,35/480)

lfd. Nr.	Name	Länge	Breite	Höhe	Rohdichte	Bruchlast	Druckfestigkeit	E-Modul
		[mm]	[mm]	[mm]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]
1	YB0a	499	480	249		512,252	2,14	662
2	YB0b	499	480	249		535,053	2,23	638
3	YB1	499	480	249		567,325	2,37	610
4	YB2	499	480	249		526,373	2,20	527
5	YB3	499	480	249		546,238	2,28	632
Mittelwerte						537,45	2,24	614

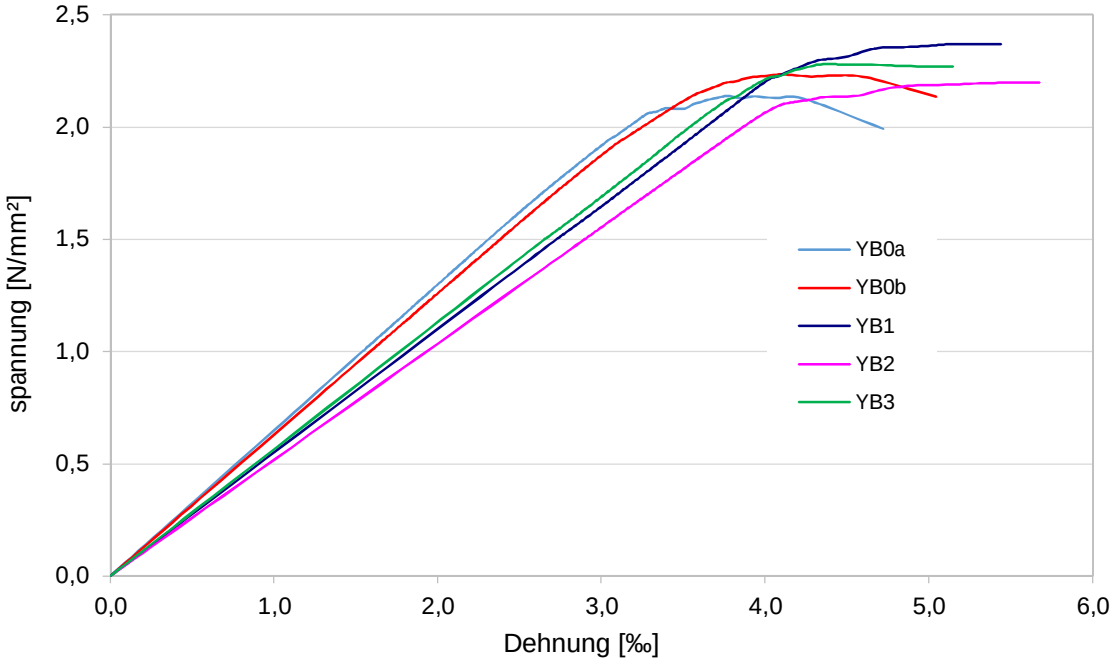


Bild A 28 Spannungs-Dehnungs-Beziehung der Mauersteine (PP2- 0,35/480)

Tabelle A 46 Materialparameter der Vormauersteine aus Einzelsteinprüfung (PPW4-0,55)

lfd. Nr.	Name	Länge	Breite	Höhe	Bruchlast	Druckfestigkeit	E-Modul
		[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]
1	YBV0a	624	115	249	290,70	4,05	1060
2	YBV0b	624	115	249	276,99	3,86	1093
3	YBV1	624	115	249	290,04	4,04	868
4	YBV2	624	115	249	259,40	3,61	762
5	YBV3	624	115	249	257,54	3,59	879
Mittelwerte					274,93	3,83	932

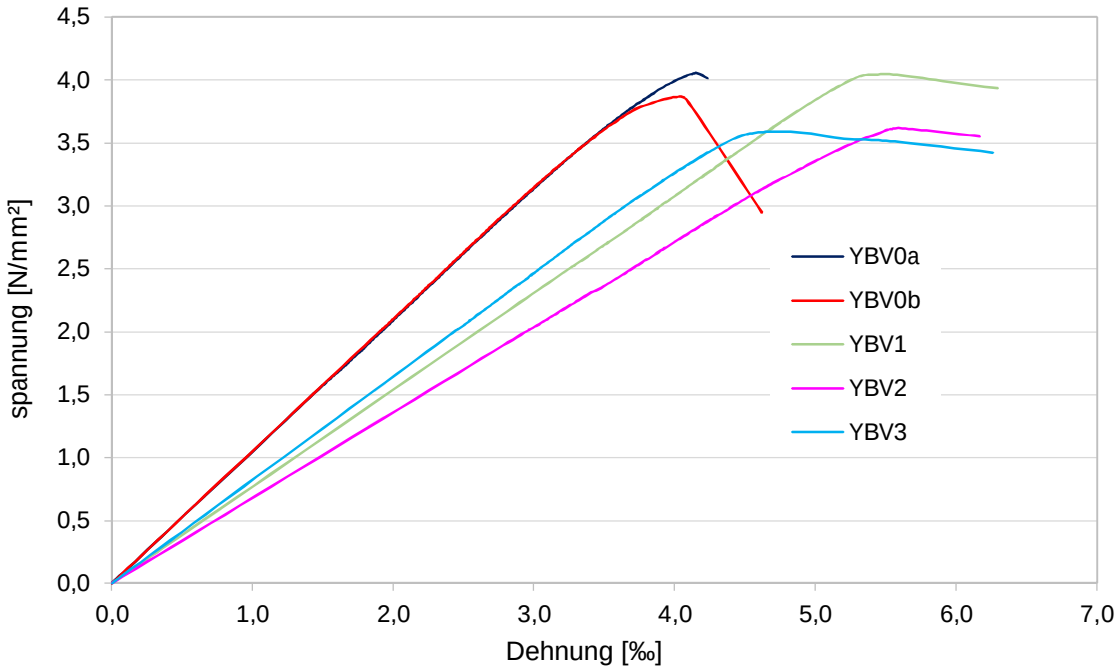


Bild A 29 Spannungs-Dehnungs-Beziehung der Vormauersteine (PPW4-0,55)

Tabelle A 47 Druckfestigkeit und E-Modul von geschnittenen Vormauersteinen (PPW4-0,55)

lfd. Nr.	Name	Länge	Breite	Höhe	Rohdichte	F_{Bruch}	f_{Bruch}	$f/3$	$\varepsilon(f/3)$	E-Modul
		[mm]	[mm]	[mm]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]	[‰]	[N/mm²]
1	YBVD-1	309	115	249	0,680	147,27	4,13	1,377	0,750	1835
2	YBVD-2	309	115	249	0,736	146,27	4,12	1,369	0,748	1830
3	YBVD-3	309	115	249	0,712	144,02	4,05	-	-	-
Mittelwerte						145,85	4,10			1832

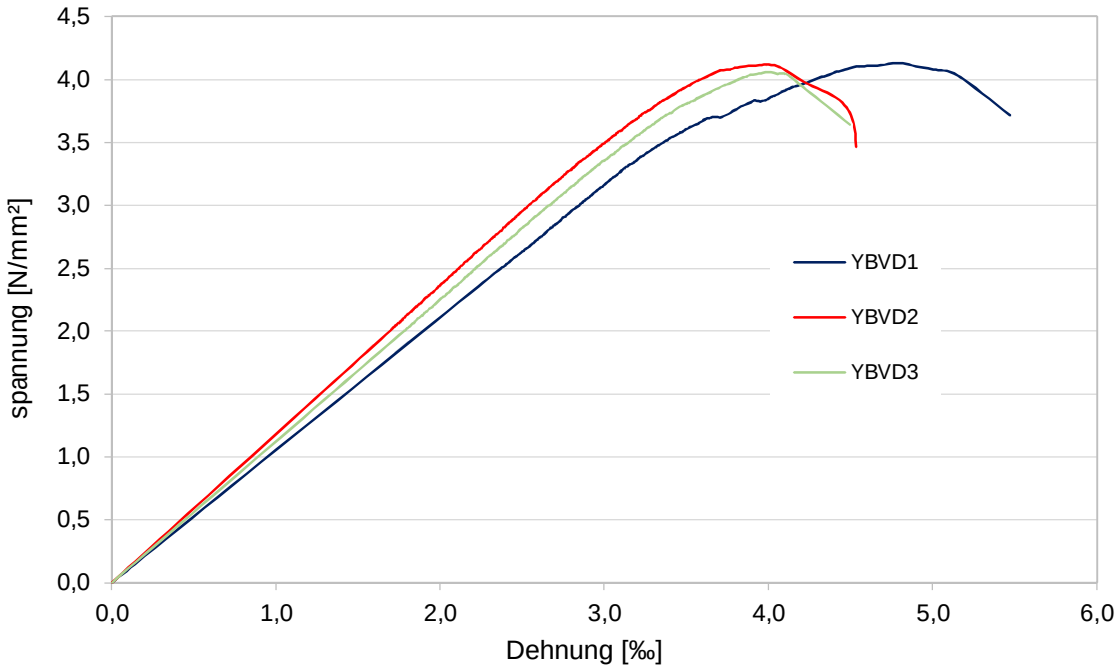


Bild A 30 Spannungs-Dehnungs-Beziehung an geschnittenen Vormauersteinen (PPpl 4-0,5)

Anhang 3.4.2 Steinprismen

Tabelle A 48 Druckfestigkeit an Würfeln (PP2-0,35/480)

lfd. Nr.	Name	Richtung	Länge	Breite	Höhe	Masse	Rohdichte	Bruchlast	Druck-festigkeit
			[mm]	[mm]	[mm]	[kg]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]
1	WZa-1	z	99,2	98,2	99,0	334,5	0,347	23,94	2,458
2	WZb-1	z	100,1	97,1	99,1	347,2	0,360	24,07	2,475
3	WZc-1	z	100,6	98,6	98,8	360,1	0,367	24,84	2,505
4	WZa-2	z	98,8	98,1	99,2	336	0,350	23,68	2,446
5	WZb-2	z	98,8	99,6	98,9	344,7	0,354	24,03	2,440
6	WZc-2	z	100,2	98,8	98,9	355,4	0,363	27,13	2,738
Mittelwerte							0,357	24,62	2,51

Tabelle A 49 Biegezugfestigkeit an Steinprismen (PP2-0,35/480)

lfd. Nr.	Name	Richtung	Breite	Länge	Höhe	Masse	Rohdichte	Bruchlast	Biegezugfestigkeit
			[mm]	[mm]	[mm]	[g]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]
1	PYa-1	y	40,8	162,4	40,8	97,4	0,361	0,298	0,66
2	PYa-1b	y	40,6	162,3	40,4	97,8	0,367	0,274	0,62
3	PYb-1	y	40,6	163,3	40,6	102,3	0,380	0,348	0,78
4	PYb-1b	y	41,0	163,2	40,7	104,1	0,382	0,348	0,77
Mittelwerte							0,372	0,317	0,71
4	PXa-1	x	39,0	183,8	39,8	103,8	0,364	0,333	0,81
5	PXb-1	x	39,7	182,6	39,7	109,5	0,380	0,36	0,86
6	PXa-2	x	39,9	184,0	39,7	104,8	0,360	0,329	0,79
7	PXb-2	x	39,8	182,6	39,9	107,8	0,373	0,337	0,80
Mittelwerte							0,369	0,340	0,81

Tabelle A 50 Spaltzugfestigkeit aus Teilprismen des Biegezugversuchs (PP2-0,35/480)

lfd. Nr.	Name	Richtung	Breite	Höhe	Bruchlast	Spaltzug-festigkeit
			[mm]	[mm]	[kN]	[N/mm²]
1	PYa-1	y	40,8	40,8	1,069	0,41
2	PYa-1b	y	40,6	40,4	1,193	0,47
3	PYb-1	y	40,6	40,6	1,229	0,48
4	PYb-1b	y	41,0	40,7	1,462	0,56
Mittelwerte					1,238	0,48
5	PXa-1	x	39,0	39,8	0,759	0,31
6	PXb-1	x	39,7	39,7	1,052	0,43
7	PXa-2	x	39,9	39,7	0,915	0,37
8	PXb-2	x	39,8	39,9	1,224	0,49
Mittelwerte					0,988	0,40

Tabelle A 51 Druckfestigkeit aus Teilprismen des Biegezugversuchs (PP2-0,35/480)

lfd. Nr.	Name	Richtung	Breite	Höhe	Bruchlast	Druck-festigkeit
			[mm]	[mm]	[kN]	[N/mm²]
1	PYa-1	z	40,8	40,8	4,068	2,49
2	PYa-1b	z	40,6	40,4	4,411	2,72
3	PXa-1	z	39,0	39,8	3,814	2,45
4	PXb-1	z	39,7	39,7	4,338	2,73
Mittelwerte					4,158	2,60
5	PYb-1	x	40,6	40,6	4,254	2,62
6	PYb-1b	x	41,0	40,7	4,261	2,60
Mittelwerte					4,258	2,61
7	PXa-2	y	39,9	39,7	2,376	1,49
8	PXb-2	y	39,8	39,9	3,091	1,94
Mittelwerte					2,734	1,72

Tabelle A 52 Druckfestigkeit und E-Modul von Steinprismen in z-Richtung (PP2-0,35/480)

lfd. Nr.	Name	Länge	Breite	Höhe	Rohdichte	F_{Bruch}	f_{Bruch}	$f/3$	$\varepsilon(f/3)$	E-Modul
		[mm]	[mm]	[mm]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]	[‰]	[N/mm²]
1	PZa-1	100,2	249,6	86,8	0,360	25,103	2,89	0,969	0,818	1185
2	PZb-1	99,8	249,2	90,4	0,361	26,721	2,96	0,997	0,822	1213
3	PZa-2	100,2	249,4	85,7	0,365	25,466	2,97	0,998	0,836	1194
4	PZb-2	100,4	249,3	92,0	0,366	28,313	3,07	1,019	0,871	1170
Mittelwerte					0,363		2,97			1190

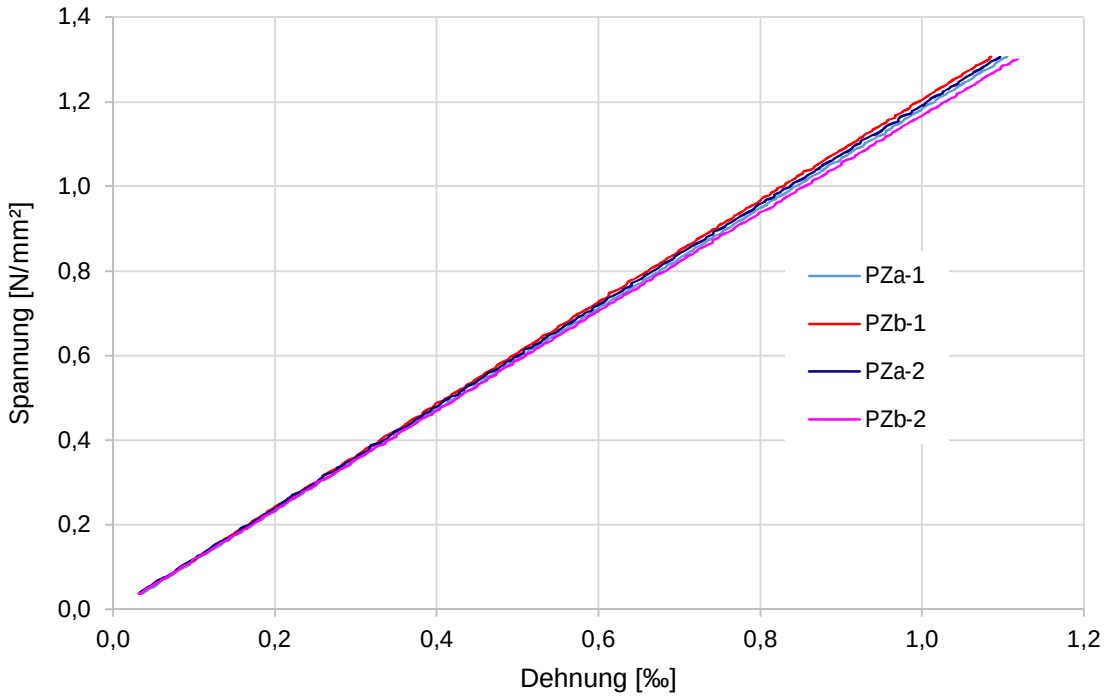


Bild A 31 Spannungs-Dehnungs-Beziehung für Steinprismen (PP2-0,35/480); nicht bis zum Bruch gemessen

Tabelle A 53 Druckfestigkeit an Vormauerstein-Würfelprismen in z-Richtung (PPW4-0,55)

lfd. Nr.	Name	Länge	Breite	Höhe	Masse	Rohdichte	F_{Bruch}	f_{Bruch}
		[mm]	[mm]	[mm]	[kg]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]
1	**Y1o**	115,4	115,1	114,7	0,9382	0,616	62,031	4,67
2	**Y1u**	115,4	114,2	115,2	0,9512	0,626	70,888	5,38
3	**Y2o**	115,6	114,0	115,1	0,9218	0,607	68,274	5,18
4	**Y2u**	115,1	115,0	114,0	0,9157	0,607	63,412	4,79
Mittelwerte						0,614	66,151	5,00

Tabelle A 54 Druckfestigkeit und E-Modul von Vormauersteinprismen (PPW4-0,55)

lfd. Nr.	Name	Länge	Breite	Höhe	Rohdichte	F_{Bruch}	f_{Bruch}	$f/3$	$\varepsilon(f/3)$	E-Modul
		[mm]	[mm]	[mm]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]	[‰]	[N/mm²]
1	Y11	115,8	115,6	249,5	0,636	64,75	4,84	1,61	0,747	2158
2	Y12	116,1	115,1	249,6	0,676	62,29	4,66	1,55	0,779	1995
3	Y13	115,8	115,2	249,3	0,647	42,51	3,19	1,06	0,570	1865
4	Y14	116,2	114,5	249,5	0,540	48,72	3,66	1,22	0,743	1641
5	Y21	115,7	115,1	248,6	0,613	70,51	5,29	1,76	0,837	2109
6	Y22	115,5	115,3	248,9	0,651	63,44	4,76	1,59	0,789	2011
7	Y23	116,4	115,3	249,1	0,604	61,72	4,60	1,53	0,784	1955
8	Y24	116,2	115,0	248,5	0,533	51,73	3,87	1,29	0,759	1698
9	Y31	115,6	115,2	249,6	0,589	68,99	5,18	1,73	0,828	2085
10	Y32	115,9	115,2	248,4	0,603	57,48	4,31	1,44	0,760	1889
11	Y33	116,0	115,2	249,4	0,563	60,05	4,50	1,50	0,773	1939
12	Y34	115,1	115,1	249,9	0,508	50,71	3,83	1,28	0,746	1709
Mittelwerte					0,597	58,58	4,39			1921

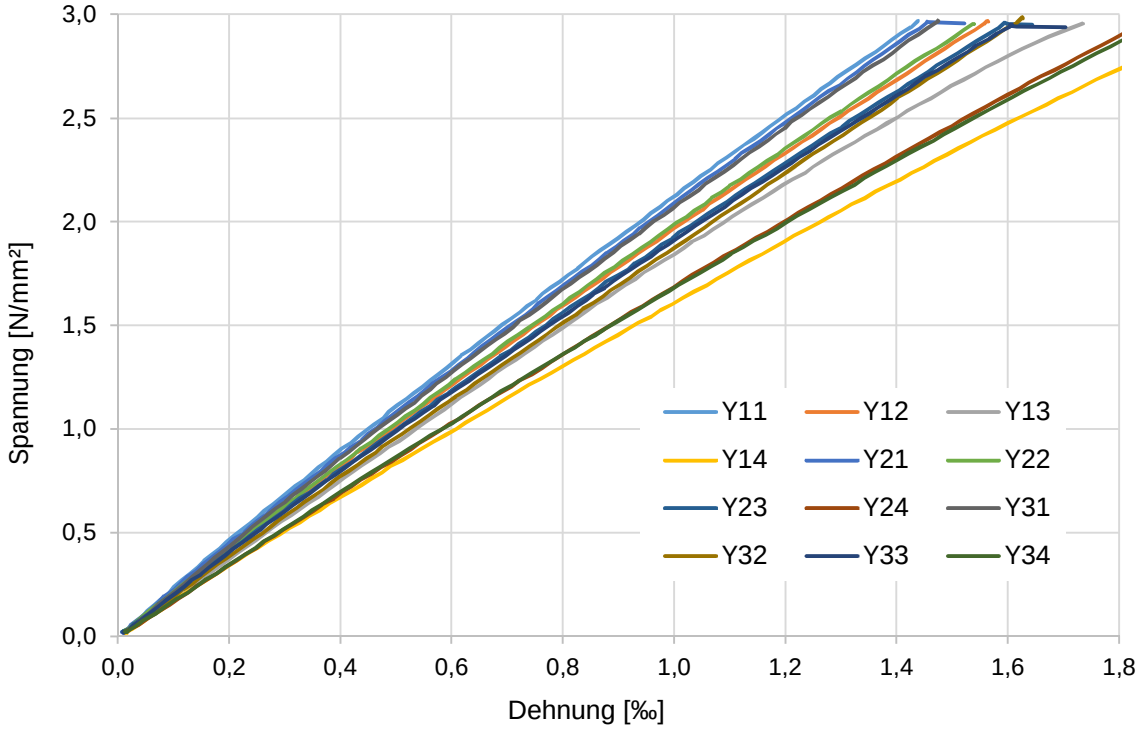


Bild A 32 Spannungs-Dehnungs-Beziehung an Vormauersteinprismen (PPW-4-0,55); nicht bis zum Bruch

Anhang 3.4.3 Mörtel

Tabelle A 55 Materialkennwerte der Mörtelprismen Ytong Dünnbettmörtel

lfd. Nr.	Name	Alter	Höhe	Breite	Länge	ρ_m	$F_{Bruch,BZ}$	$f_{BZ,m}$	$F_{Bruch,DF}$	f_m	$F_{Bruch,SZ}$	$f_{SZ,m}$
		[d]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]	[kN]	[N/mm²]	[kN]	[N/mm²]
1	YBM-1	19	40,7	40,9	156,3	1,486	-	-	-	-	-	-
2	YBM-2	19	40,2	40,8	157,2	1,499	-	-	-	-	-	-
3	YBM-3	19	40,0	40,6	158,6	1,506	1,701	3,87	26,99	16,62	8,59	3,38
4	YBM-4	19	39,9	40,5	159,8	1,508	1,967	4,52	25,38	15,73	7,22	2,86
5	YBM-5	19	39,8	40,3	159,8	1,518	1,894	4,40	26,36	16,44	8,63	3,44
6	YBM-6	19	39,8	40,3	159,5	1,519	1,866	4,34	26,01	16,24	8,24	3,29
7	YBR-1	18	40,1	40,4	159,8	1,555	-	-	-	-	-	-
8	YBR-2	18	39,9	40,6	159,6	1,528	1,586	3,63	16,89	10,44	6,77	2,68
9	YBR-3	18	40,1	40,5	159,9	1,544	1,965	4,47	23,48	14,44	6,74	2,65
MW						1,519	1,830	4,20	24,19	14,98	7,70	3,05

Tabelle A 56 Druckfestigkeit und E-Modul der Mörtelprismen Ytong Dünnbettmörtel

lfd. Nr.	Name	Alter	Höhe	Breite	Länge	ρ_m	F_{Bruch}	f_{Bruch}	$f/3$	$\varepsilon\,(f/3)$	E-Modul
		[d]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]	[‰]	[N/mm²]
1	YBM-1	19	40,7	40,9	156,3	1,486	25,384	15,86	5,285	0,575	9193
2	YBM-2	19	40,2	40,8	157,2	1,499	25,054	15,66	5,214	0,552	9443
3	YBR-1	18	40,1	40,4	159,8	1,555		11,52	3,843	0,404	9516
MW						1,518		14,35	12,17		9384

Tabelle A 57 Materialkennwerte der Mörtelprismen (WDK-Versuche; W480-D)

lfd. Nr.	Name	Zuord-nung	Alter	ρ_m	$f_{BZ,m}$	f_m	$f_{SZ,m}$	E	$f_{m,E}$
			[d]	[kg/dm³]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
1	W480-D-1	A	19	1,487	-	-	-	9330	12,22
2	W480-D-2		19	1,504	4,28	13,33	2,77	-	-
3	W480-D-3		19	1,511	3,09	9,81	2,55	-	-
MW				1,491	3,68	11,57	2,66	9330	12,22
4	W480-D-4	B	4	1,670	-	-	-	10142	18,37
5	W480-D-5		4	1,680	2,98	16,64	2,96	-	-
6	W480-D-6		4	1,677	2,62	15,32	2,88	-	-
MW				1,676	2,80	15,98	2,92	10142	18,37

Tabelle A 58 Materialkennwerte der Mörtelprismen (WDK-Versuche; W480-B)

lfd. Nr.	Name	Zuordnung	Alter	ρ_m	$f_{BZ,m}$	f_m	$f_{SZ,m}$	E	$f_{m,E}$
			[d]	[kg/dm³]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
1	W480-B-1	A	20	1,451	-	-	-	9927	11,43
2	W480-B-2		20	1,439	3,28	10,10	2,60	-	-
3	W480-B-3		20	1,434	2,84	11,56	1,33	-	-
MW				1,441	3,06	10,83	1,96	9927	11,43
4	W480-B-4	B	8	1,745	-	-	-	11634	12,46
5	W480-B-5		8	1,779	2,69	15,46	2,43	-	-
6	W480-B-6		8	1,757	2,31	17,27	2,06	-	-
MW				1,761	2,50	16,36	2,25	11634	12,46

Tabelle A 59 Materialkennwerte der Mörtelprismen (WDK-Versuche; W480-C)

lfd. Nr.	Name	Zuordnung	Alter	ρ_m	$f_{BZ,m}$	f_m	$f_{SZ,m}$	E	$f_{m,E}$
			[d]	[kg/dm³]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
1	W480-C-1	A	22	1,544	-	-	-	9361	12,47
2	W480-C-2		22	1,543	4,17	11,97	2,89	-	-
3	W480-C-3		22	1,524	4,36	10,33	2,37	-	-
MW				1,537	4,26	11,15	2,63	9361	12,47
4	W480-C-4	B	3	1,657	-	-	-	9949	10,93
5	W480-C-5		3	1,655	1,83	12,57	1,97	-	-
6	W480-C-6		3	1,660	2,92	13,43	1,84	-	-
MW				1,657	2,37	13,00	1,91	9949	10,93

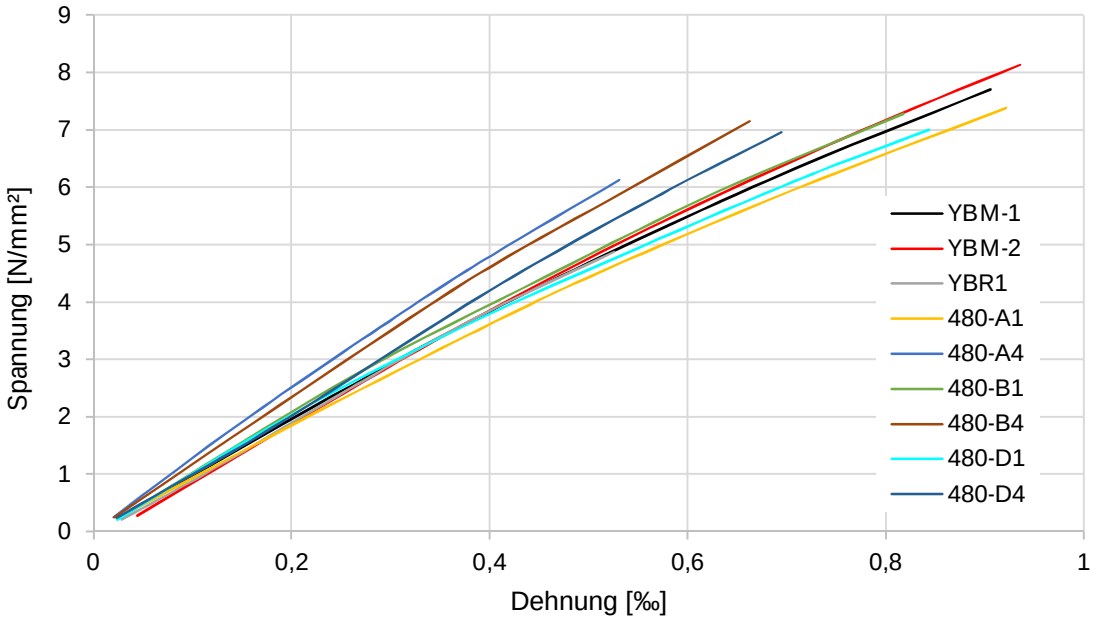


Bild A 33 Spannungs-Dehnungs-Beziehung für Mörtelprismen aus Ytong Dünnbettmörtel (nicht bis zum Bruch gemessen)

Anhang 3.4.4 Mauerwerk

Tabelle A 60 Druckfestigkeit, E-Modul und Querdehnzahl an kleinen Mauerwerksprüfkörpern aus Porenbeton-Plansteinen PP2-0,35/480 und Dünnbettmörtel

lfd. Nr.	Name	Alter	t / l / h	*h/t*	F_{Bruch}	*f*	*f/3*	*ε (f/3)*	*E-Modul*	*ν*
		[d]	[mm]	[-]	[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]	[‰]	[N/mm²]	[-}
1	YBR-1	18	480/750/1250	2,6	637,88	1,77	0,592	0,508	1165	0,28
3	YBR-3	14			640,91	1,78	0,594	0,575	1032	0,26
3	YBR-4	14			647,18	1,80	0,599	0,571	1048	0,26
MW					641,99	1,78			1082	0,27

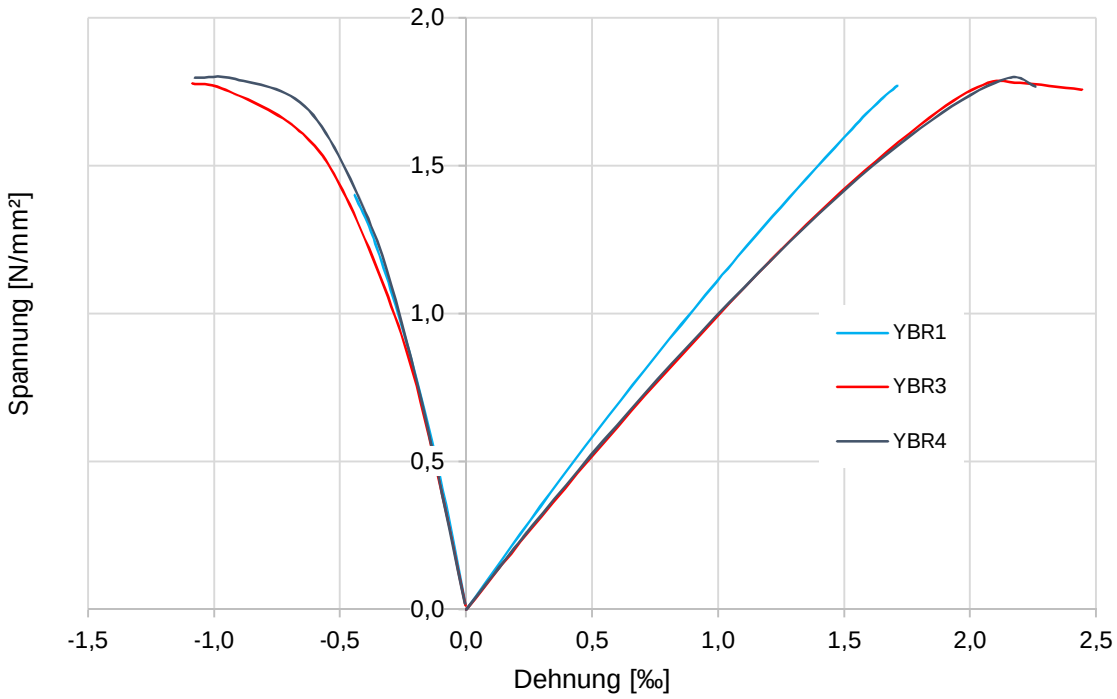


Bild A 34 Spannungs-Dehnungs-Kennlinie und Querdehnungslinie für kleine Mauerwerksprüfkörper aus Porenbeton-Plansteinen (PP2-0,35/480) und Dünnbettmörtel

Anhang 3.5 Serie W490

Anhang 3.5.1 Einzelsteine

Tabelle A 61 Materialparameter der Mauersteine aus Einzelsteinprüfung (Bisoplan 09)

lfd. Nr.	Name	Länge	Breite	Höhe	Masse	Rohdichte	Bruchlast	Druck-festigkeit	E-Modul
		[mm]	[mm]	[mm]	[kg]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]
1	B-1	247	490	249	20,643	0,68	244,34	2,02	586
2	B-2	247	490	249	22,142	0,73	303,20	2,51	454
3	B-3	247	490	249	22,746	0,75	321,99	2,66	580
4	B-4	247	490	249	21,591	0,72	340,67	2,81	660
5	B-5	247	490	249	22,919	0,76	284,84	2,35	450
6	B-6	247	490	249	23,185	0,77	320,83	2,65	766
						0,74	302,64	2,50	583

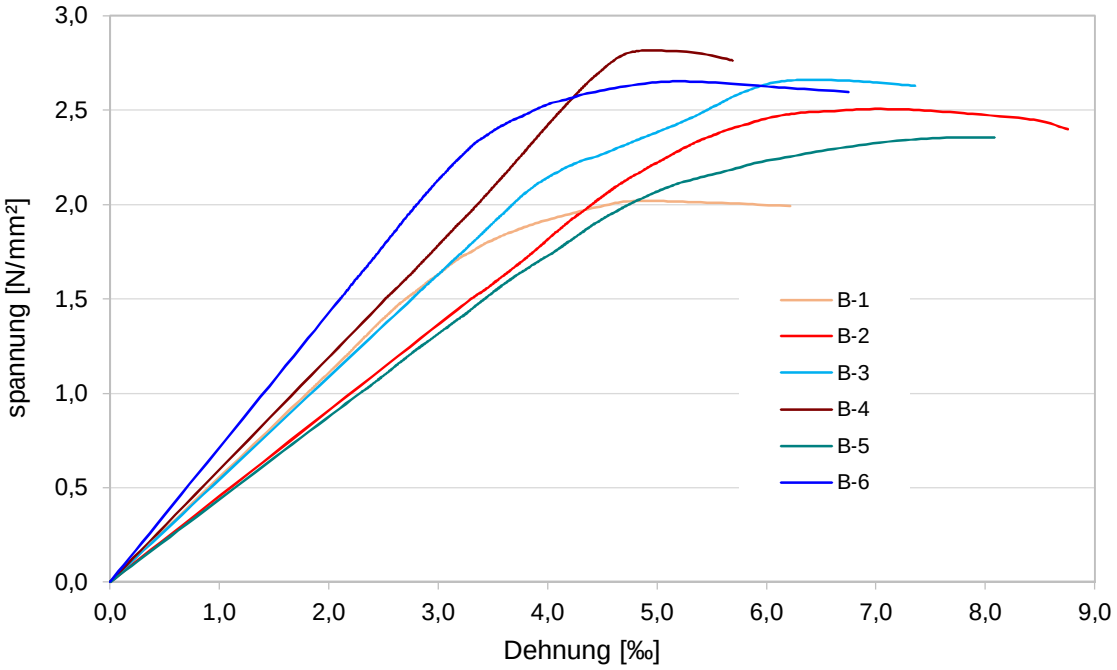


Bild A 35 Spannungs-Dehnungs-Beziehung der Mauersteine (Bisoplan 09)

Tabelle A 62 Materialparameter der Vormauersteine aus Einzelsteinprüfung (Baupl. 4-0,65)

lfd. Nr.	Name	Länge	Breite	Höhe	Masse[1]	Rohdichte	Bruchlast	Druck-festigkeit	E-Modul
		[mm]	[mm]	[mm]	[kg]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]
1	BV-8	490	115	249	15,9528	1,14	320,96	5,70	1158
2	BV-9	490	115	249	15,9077	1,13	303,83	5,39	1165
3	BV-10	490	115	249	16,0327	1,14	338,56	6,01	1125
Mittelwerte						1,14	321,12	5,70	1149

[1] *Prüfung direkt nach Außenlagerung*

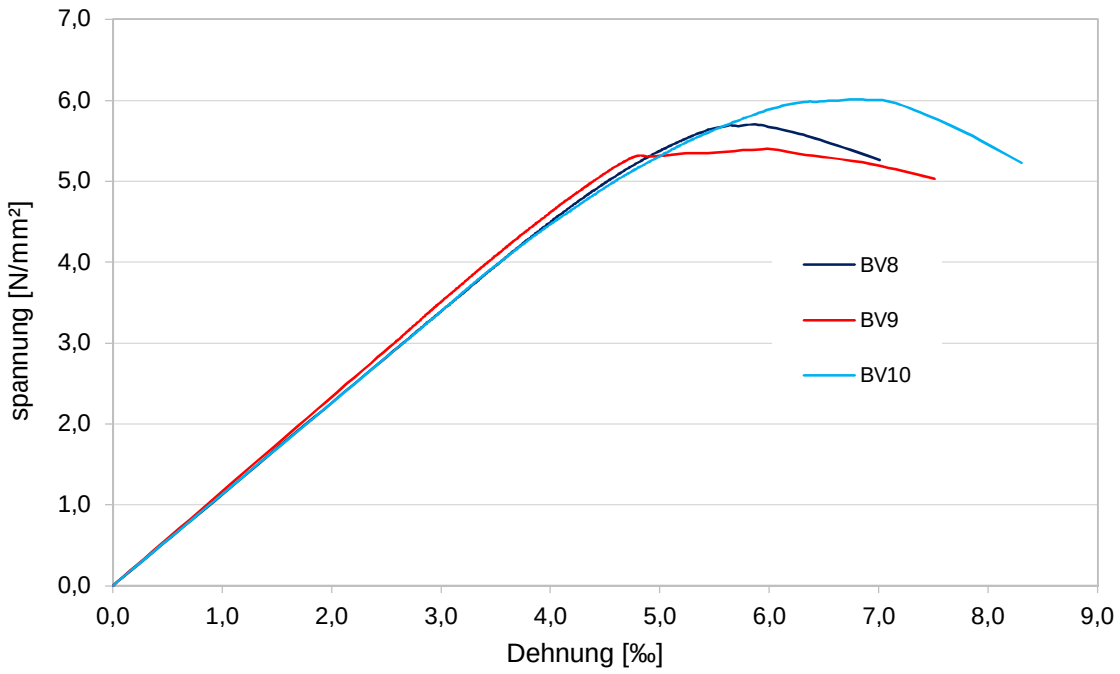


Bild A 36 Spannungs-Dehnungs-Beziehung der Vormauersteine (Bauplatte 4-0,65)

Tabelle A 63 Druckfestigkeit und E-Modul von geschnittenen Vormauersteinen (Baupl. 4-0,65))

lfd. Nr.	Name	Länge	Breite	Höhe	Rohdichte	F_{Bruch}	f_{Bruch}	$f/3$	$\varepsilon(f/3)$	E-Modul
		[mm]	[mm]	[mm]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]	[‰]	[N/mm²]
1	BD-1	300	115	249	0,841	171,60	4,97	1,651	0,694	2378
2	BD-2	300	115	249	0,853	161,28	4,67	1,559	0,493	3163
Mittelwerte					0,847 [1]	166,44	4,82			2771

[1] *Prüfung nach 12 Wochen Laborlagerung*

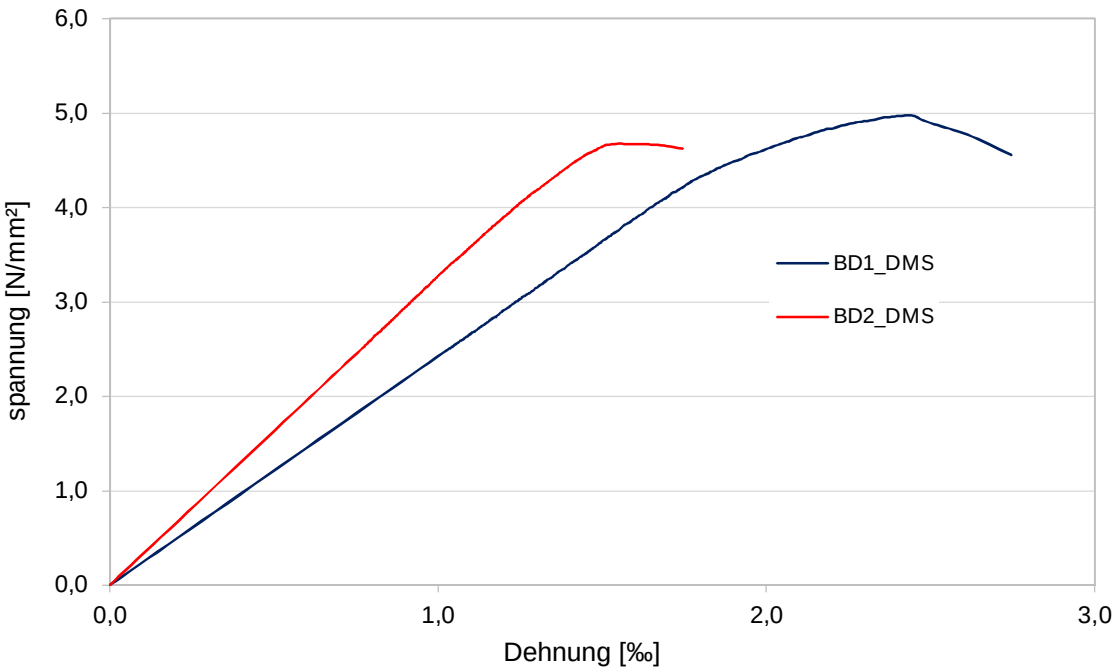


Bild A 37 Spannungs-Dehnungs-Beziehung an geschnittenen Vormauersteinen (PPpl 4-0,5)

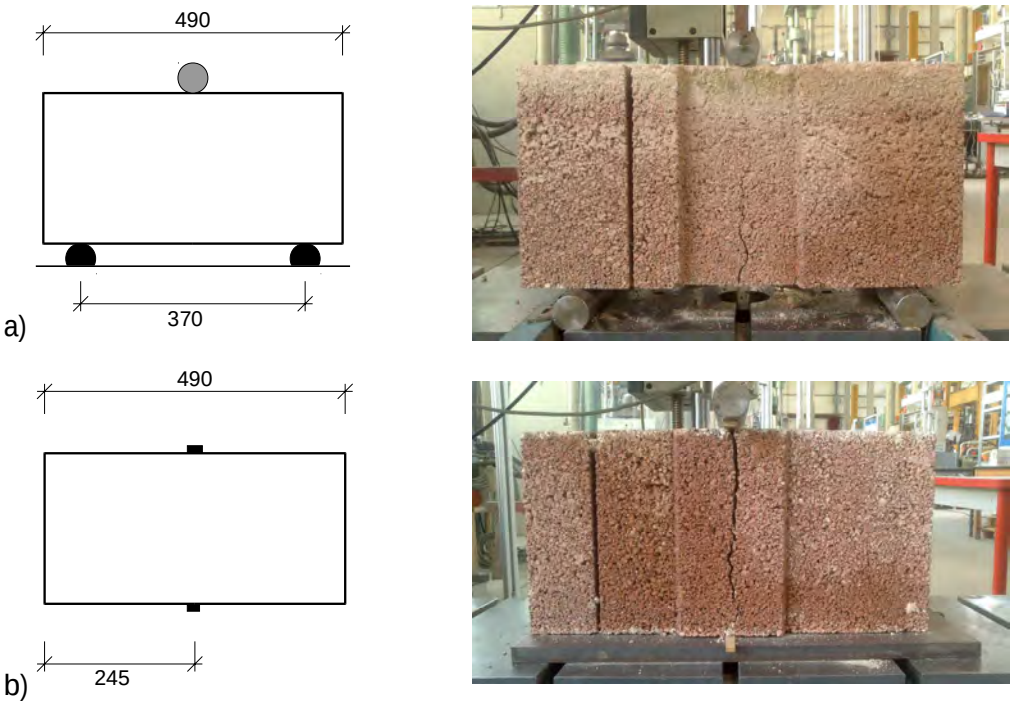


Bild A 38 a) Bestimmung der Biegezugfestigkeit an Einzelsteinen; b) Bestimmung der Spaltzugfestigkeit an Einzelsteinen

Tabelle A 64 Biegezugfestigkeit von Einzelsteinen (Bisoplan 09)

lfd. Nr.	Name	Länge	Breite	Höhe	Stegdicken-summe	Bruch-last	Biegezugfestigkeit (brutto)	Biegezugfestigkeit (netto)
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]
1	BZ1	247	490	249	90	5,807	0,210	0,578
2	BZ-2	247	490	249	90	6,366	0,231	0,633
3	BZ-3	247	490	249	90	6,898	0,250	0,686
Mittelwerte						6,357	0,230	0,632

Tabelle A 65 Spaltzugfestigkeit von Einzelsteinen (Bisoplan 09)

lfd. Nr.	Name	Länge	Breite	Höhe	Stegdicken-summe	Bruch-last	Biegezugfestigkeit (brutto)	Biegezugfestigkeit (netto)
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]
1	SZ1	247	490	249	90	9,759	0,102	0,279
2	SZ-2	247	490	249	90	10,823	0,113	0,309
3	SZ-3	247	490	249	90	10,860	0,113	0,310
Mittelwerte						10,481	0,109	0,299

Anhang 3.5.2 Steinprismen

Tabelle A 66 Biegezugfestigkeit an Steinprismen (Bisoplan 09)

lfd. Nr.	Name	Richtung	Breite	Länge	Höhe	Masse	Rohdichte	Bruchlast	Biegezugfestigkeit
			[mm]	[mm]	[mm]	[g]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]
1	1Ac	z	41,2	39,1	161,2	188,9	0,727	0,530	1,26
2	2Ac	z	39,5	41,4	161,9	191,6	0,724	0,544	1,21
3	3Ac	z	37,3	42,0	161,6	175,7	0,695	0,391	0,89
Mittelwert							0,715	0,488	1,12
1	1Bb	y	39,6	41,6	161,6	207,4	0,779	0,659	1,44
2	1Bd	y	40,3	40,9	161,2	186,7	0,702	0,434	0,96
3	2Bb	y	40,7	38,9	161,6	187,0	0,731	0,488	1,19
4	2Bc	y	41,1	39,1	161,6	189,8	0,731	0,610	1,46
5	3Bb	y	40,1	41,4	161,5	182,3	0,679	0,464	1,01
6	3Bd	y	40,0	41,0	161,1	182,5	0,690	0,515	1,15
Mittelwert							0,719	0,528	1,20

Tabelle A 67 Spaltzugfestigkeit aus Teilprismen des Biegezugversuchs (Bisoplan 09)

lfd. Nr.	Name	Richtung	Breite	Höhe	Bruchlast	Spaltzug-festigkeit
			[mm]	[mm]	[kN]	[N/mm²]
1	1Bb-II	y	39,6	41,6	2,500	0,97
2	2Bb-II	y	40,7	38,9	2,446	0,99
3	3Bb-II	y	40,1	41,4	1,433	0,55
Mittelwert					2,126	0,84
	1Ac-II	z	41,2	39,1	1,830	0,73
	2Ac-II	z	39,5	41,4	1,792	0,70
	3Ac-II	z	37,3	42,0	1,648	0,67
Mittelwert					1,757	0,70

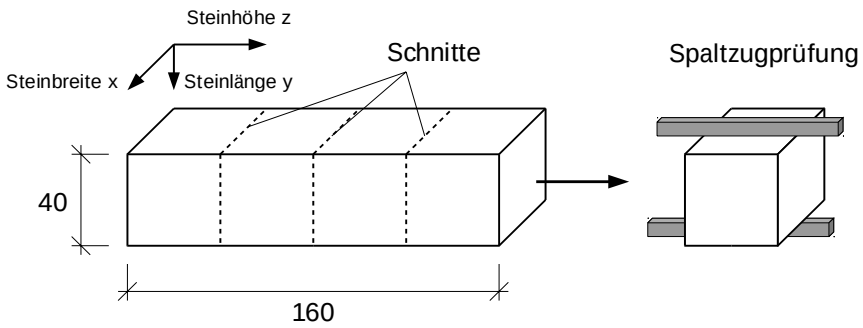


Bild A 39 Vorbereitung der Steinprismen aus Bisoplan 09 für Spaltzugprüfung in Richtung Steinbreite

Tabelle A 68 Spaltzugfestigkeit an Steinprismen in Richtung Steinbreite (Bisoplan 09)

lfd. Nr.	Name	Breite	Länge	Höhe	Masse	Rohdichte	Bruchlast	Spaltzug-festigkeit
		[mm]	[mm]	[mm]	[g]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]
1	1Bc-1	40,5	34,2	41,3	40,3	0,705	1,309	0,61
2	1Bc-2	40,5	40,5	41,9	47,3	0,689	1,155	0,45
3	1Bc-3	40,3	40,3	42,0	48,7	0,713	1,031	0,41
4	1Bc-4	40,0	40,3	42,7	47,2	0,687	1,671	0,66
5	2Bd-1	40,1	40,0	41,1	48,3	0,734	1,673	0,67
6	2Bd-2	39,2	40,2	41,0	47,6	0,736	2,019	0,82
7	2Bd-3	38,6	40,3	41,0	46,6	0,730	2,031	0,83
8	2Bd-4	37,7	34,2	40,6	35,9	0,685	1,608	0,80
9	3Bd-1	40,4	35,8	39,8	40,4	0,702	1,237	0,55
10	3Bd-2	40,3	40,1	40,2	43,5	0,669	1,421	0,56
11	3Bd-3	40,0	40,2	40,1	42,6	0,662	1,421	0,57
12	3Bd-4	39,4	38,7	40,2	40	0,654	1,301	0,55
Mittelwerte						0,697	1,490	0,62

Tabelle A 69 Druckfestigkeit aus Teilprismen der Biegezugversuche (Bisoplan 09)

lfd. Nr.	Name	Richtung	Breite	Höhe	Bruchlast	Druck-festigkeit
			[mm]	[mm]	[kN]	[N/mm²]
1	1Bb-I	z	39,6	41,6	6,319	3,83
2	1Bd-I		40,3	40,9	5,096	3,09
3	1Bd-II		40,3	40,9	3,627	2,20
4	2Bb-I		40,7	38,9	4,257	2,69
5	2Bc-I		41,1	39,1	4,404	2,74
6	2Bc-II		41,1	39,1	5,356	3,34
7	3Bb-I		40,1	41,4	4,216	2,54
8	3Bd-I		40,0	41,0	3,473	2,12
9	3Bd-II		40,0	41,0	4,936	3,01
Mittelwerte					4,632	2,84
10	1Ac-I	x	41,2	39,1	6,596	4,09
11	3Ac-I		37,3	42,0	4,433	2,83
Mittelwerte					5,515	3,46
12	2Ac-I	y	39,5	41,4	4,535	2,77

Tabelle A 70 Druckfestigkeit und E-Modul von Steinprismen (Bisoplan 09)

lfd. Nr.	Name	Ri.	Länge	Breite	Höhe	Rohdichte	F_{Bruch}	f_{Bruch}	$f/3$	$\varepsilon(f/3)$	E-Modul
			[mm]	[mm]	[mm]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]	[‰]	[N/mm²]
1	1Aa	z	39,1	41,1	161,7	0,719	4,076	2,53	0,839	0,344	2439
2	1Ab	z	38,6	40,9	161,4	0,718	4,796	3,03	1,012	0,522	1937
3	2Aa	z	38,2	41,2	161,9	0,679	4,854	3,08	1,029	0,590	1743
4	2Ab	z	41,1	39,4	162,0	0,708	5,451	3,02	1,009	0,455	2216
5	3Aa	z	37,9	40,5	161,0	0,720	5,077	3,20	1,069	0,476	2247
6	3Ab	z	37,4	42,1	161,7	0,677	4,209	2,67	0,892	0,460	1939
MW						0,704		2,92			2087
7	1Ba	y	40,2	41,3	160,6	0,664	4,243	2,55	0,847	0,450	1882
8	2Ba	y	38,7	41,5	161,6	0,777	9,052	3,06	1,021	0,303	3370
9	3Ba	y	39,7	41,5	161,7	0,754	7,631	2,95	0,985	0,342	2883
MW						0,731		2,86			2712

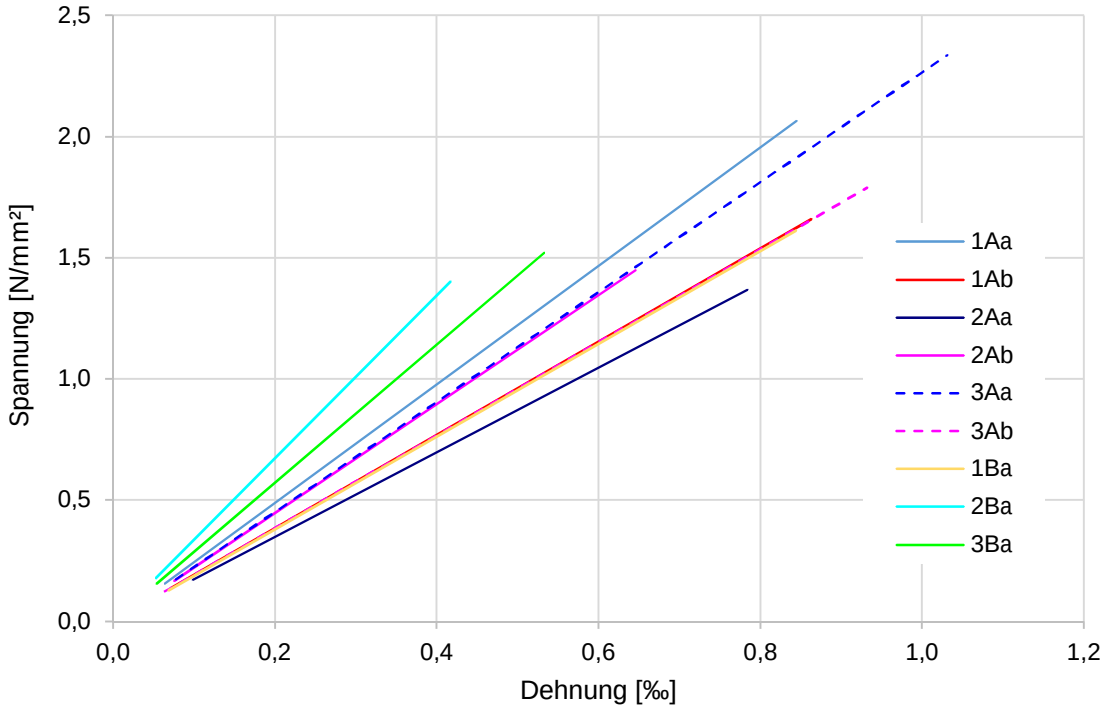


Bild A 40 Spannungs-Dehnungs-Beziehung für Steinprismen (Bisoplan 09); nicht bis zum Bruch gemessen

Tabelle A 71 Druckfestigkeit und E-Modul von Vormauersteinprismen (Baupl. 4-0,65)

lfd. Nr.	Name	Länge	Breite	Höhe	Rohdichte	F_{Bruch}	f_{Bruch}	$f/3$	$\varepsilon(f/3)$	E-Modul
		[mm]	[mm]	[mm]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]	[‰]	[N/mm²]
1	B11	116,2	113,4	249,3	0,888					
2	B12	116,1	114,2	249,3	0,934	65,598	4,95	1,65	0,637	2589
3	B13	116,1	113,8	249,8	0,944	70,249	5,31	1,77	0,549	3226
4	B14	116,2	113,8	249,3	0,905	74,596	5,64	1,88	0,601	3130
5	B21	116,1	113,6	249,5	0,906	68,572	5,20	1,73	0,668	2595
6	B22	115,9	113,5	250,0	0,941	70,624	5,37	1,79	0,598	2993
7	B23	116,4	113,6	250,7	0,947	69,338	5,25	1,75	0,576	3034
8	B24	116,3	114,2	249,3	0,904	76,221	5,74	1,91	0,703	2719
9	B31	116,2	113,6	250,3	0,866	66,135	5,01	1,67	0,632	2646
10	B32	116,2	113,9	250,0	0,891	69,570	5,26	1,75	0,670	2616
11	B33	115,9	113,9	250,7	0,913	74,894	5,67	1,89	0,692	2734
12	B34	116,3	114,2	249,9	0,893	81,376	6,12	2,04	0,729	2800
Mittelwerte					0,911	71,56	5,41			2826

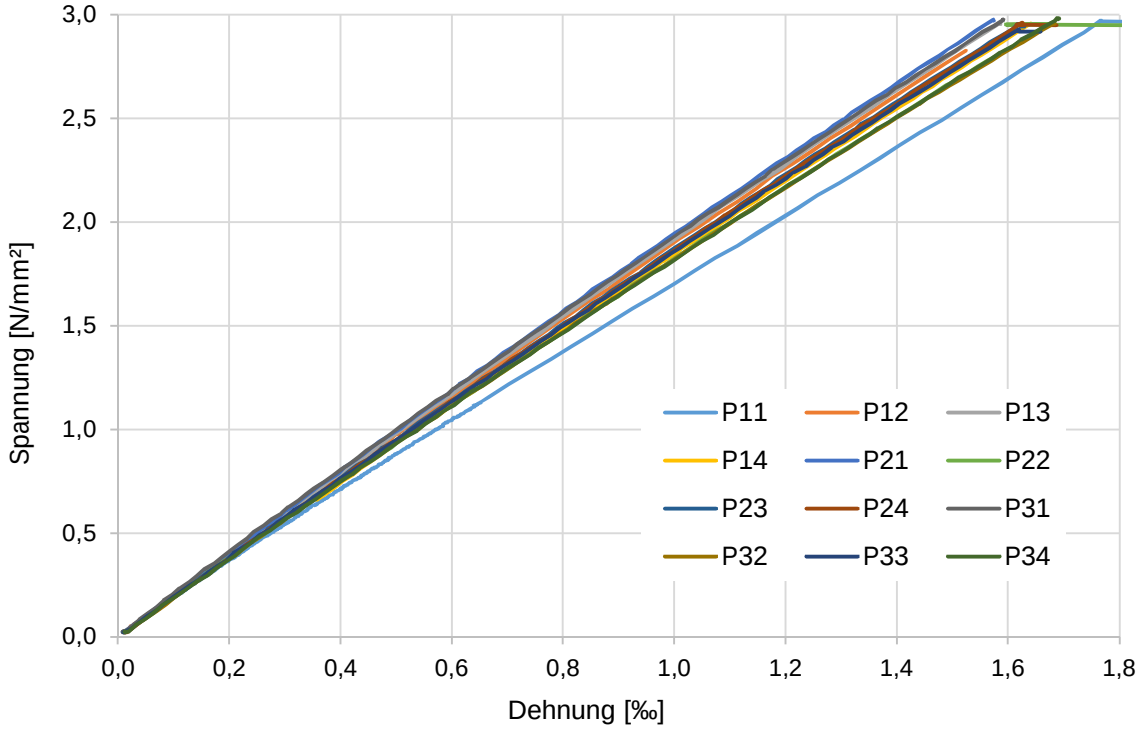


Bild A 41 Spannungs-Dehnungs-Beziehung an Vormauersteinprismen (Baupl. 4-0,65); nicht bis zum Bruch

Anhang 3.5.3 Mörtel

Tabelle A 72 Materialkennwerte der Mörtelprismen Bisotherm Dünnbettmörtel

lfd. Nr.	Name	Alter	Höhe	Breite	Länge	ρ_m	$F_{Bruch,BZ}$	$f_{BZ,m}$	$F_{Bruch,DF}$	f_m	$F_{Bruch,SZ}$	$f_{SZ,m}$
		[d]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]	[kN]	[N/mm²]	[kN]	[N/mm²]
1	BM-1	14	40,2	40,3	159,9	0,917	1,018	2,34	20,954	12,93	5,34	2,11
2	BM-2	14	39,8	39,9	159,4	0,902	1,189	2,82	19,151	12,08	4,85	1,96
3	BM-3	14	39,7	39,4	159,2	0,924	1,265	3,08	21,392	13,67	5,79	2,37
4	BM-4	14	40,0	40,0	160,3	0,923	-	-	-	-	-	-
5	BM-7	19	39,9	40,8	157,3	1,005	-	-	-	-		
6	BM-8	19	39,7	39,3	159,6	0,960	1,117	2,73	23,25	14,90	5,529	2,27
MW						0,939	1,147	2,74	21,187	13,40	5,377	2,18

Tabelle A 73 Druckfestigkeit und E-Modul der Mörtelprismen Bisotherm Dünnbettmörtel

lfd. Nr.	Name	Alter	Höhe	Breite	Länge	ρ_m	F_{Bruch}	f_{Bruch}	$f/3$	$\varepsilon\ (f/3)$	E-Modul
		[d]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]	[‰]	[N/mm²]
1	BM-4	14	40,0	40,0	160,3	0,923	11,059 [1]	6,912	2,317	0,469	4937
2	BM-7	19	39,9	40,8	157,3	1,005	25,734	16,08	4,032	0,699	5766
Mittelwerte							-	-			5352

[1] *Prüfkörper BM-4 wurde nicht bis zum Bruch belastet*

Tabelle A 74 Materialkennwerte der Mörtelprismen (WDK-Versuche; W490-A)

lfd. Nr.	Name	Zuordnung	Alter	ρ_m	$f_{BZ,m}$	f_m	$f_{SZ,m}$	E	$f_{m,E}$
			[d]	[kg/dm³]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
1	W490-A-1	A	23	0,883	-	-	-	4497	12,15
2	W490-A-2		22	0,899	2,22	12,86	2,94	-	-
3	W490-A-3		22	0,865	3,41	13,18	3,13	-	-
MW				0,882	2,82	13,02	3,04	4497	12,15
4	W490-A-4	B	8	0,965	-	-	-	5649	13,30
5	W490-A-5		7	0,966	1,25	13,42	2,31	-	-
6	W490-A-6		7	0,955	1,22	12,54	2,50	-	-
MW				0,962	1,23	12,98	2,40	5649	13,30

Tabelle A 75 Materialkennwerte der Mörtelprismen (WDK-Versuche; W490-B)

lfd. Nr.	Name	Zuordnung	Alter	ρ_m	$f_{BZ,m}$	f_m	$f_{SZ,m}$	E	$f_{m,E}$
			[d]	[kg/dm³]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
1	W490-B-1	A	27	0,835	-	-	-	3830	9,38
2	W490-B-2		26	0,858	3,28	12,66	1,58	-	-
3	W490-B-3		26	0,851	3,55	12,61	2,36	-	-
MW				0,848	3,42	12,63	1,97	3830	9,38
4	W490-B-4	B	8	0,949	-	-	-	4707	9,86
5	W490-B-5		7	0,948	2,28	7,63	1,90	-	-
6	W490-B-6		7	0,956	1,95	9,59	1,92	-	-
MW				0,951	2,12	8,61	1,91	4707	9,86

Tabelle A 76 Materialkennwerte der Mörtelprismen (WDK-Versuche; W490-C)

lfd. Nr.	Name	Zuordnung	Alter	ρ_m	$f_{BZ,m}$	f_m	$f_{SZ,m}$	E	$f_{m,E}$
			[d]	[kg/dm³]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
1	W490-C-1	A	23	0,887	-	-	-	4610	11,34
2	W490-C-2		22	0,879	2,92	11,37	2,63	-	-
3	W490-C-3		22	0,871	3,15	12,10	2,45	-	-
MW				0,879	3,04	11,74	2,54	4610	11,34
4	W490-C-4	B	11	0,944	-	-	-	3835	9,94
5	W490-C-5		11	0,936	1,67	8,95	1,76	-	-
6	W490-C-6		11	0,964	1,47	8,68	1,40	-	-
MW				0,948	1,57	8,81	1,58	3835	9,94

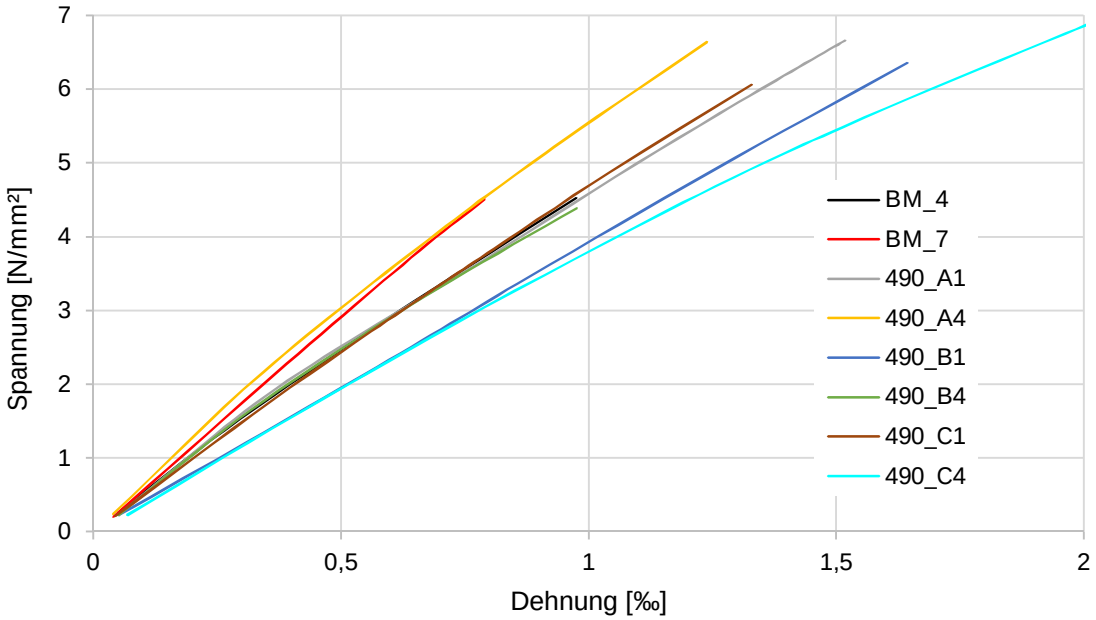


Bild A 42 Spannungs-Dehnungs-Beziehung für Mörtelprismen aus Bisotherm Dünnbettmörtel (nicht bis zum Bruch gemessen)

Anhang 3.5.4 Mauerwerk

Tabelle A 77 Druckfestigkeit, E-Modul und Querdehnzahl an kleinen Mauerwerksprüfkörpern aus Bisotherm-Plansteinen Bisoplan 09 (490) und Dünnbettmörtel

lfd. Nr.	Name	Alter	t / l / h	*h/t*	F_{Bruch}	*f*	*f/3*	*ε (f/3)*	*E-Modul*	*ν*
		[d]	[mm]	[-]	[kN]	[N/mm²]	[N/mm²]	[‰]	[N/mm²]	[-}
1	BR-1	14	490/500/1250	2,6	453,40	1,85	0,616	0,255	2411	0,46
3	BR-3	14			525,13	2,14	0,713	0,308	2312	0,24
3	BR-4	18			479,30	1,96	0,652	0,327	1994	0,20
MW					485,94	1,98			2239	0,30

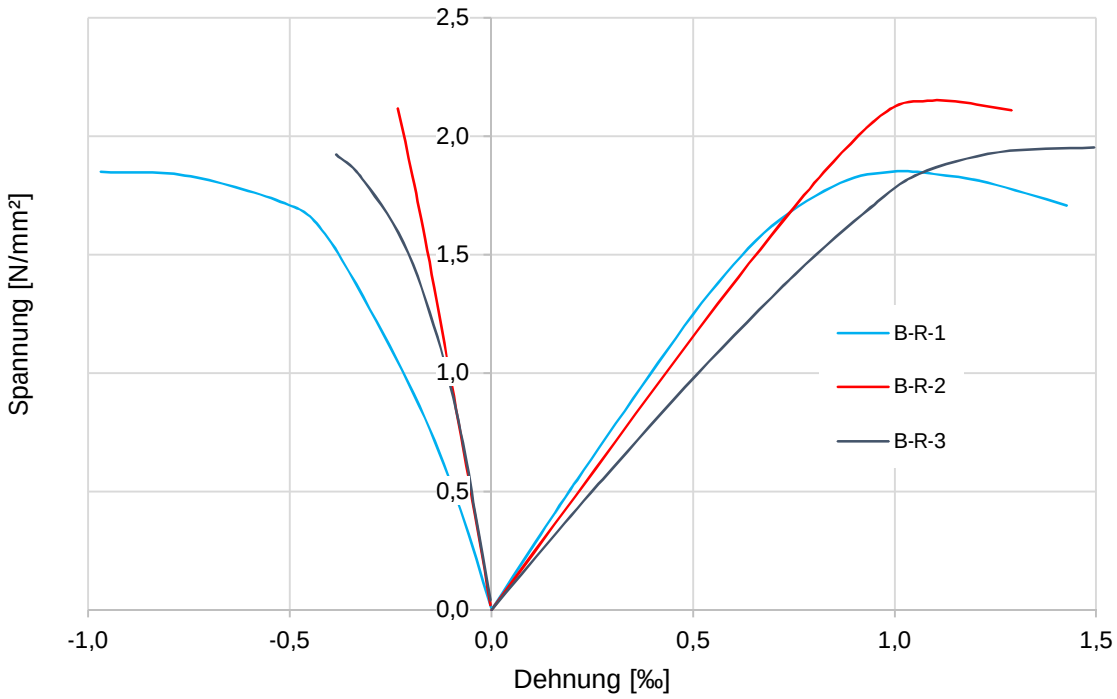


Bild A 43 Spannungs-Dehnungs-Kennlinie und Querdehnungslinie für kleine Mauerwerksprüfkörper aus Bisoplan 09 und Dünnbettmörtel

Anhang 4 Tastversuche an 2-Stein-Körpern

Um zu überprüfen, inwieweit sich die Randbelastung durch den Vormauerstein auf die (Mauerwerks-)Druckfestigkeit am Wand-Decken-Knoten auswirkt wurden Tastversuche an zusammengesetzten 2-Stein-Prüfkörpern durchgeführt. Als Referenz dienten neben den Ergebnissen aus Einzelstein- und Mauerwerksprüfungen Versuche an zugeschnittenen Einzelsteinen.
Die 2-Stein-Prüfkörper wurden aus einem geschnittenen Mauerstein und einem geschnittenen Vormauerstein zusammengesetzt (Bild A 44).
Das Versuchsalter der Prüfkörper (PK) betrug 6 Tage. Die Last wurde dabei zentrisch in der Schwereachse des Vormauersteins eingetragen. Um ein Kippen im Versagensfall zu unterbinden wurde der unbelastete Teil des Mauersteins fixiert (dort liegt im Normalfall die Decke auf).

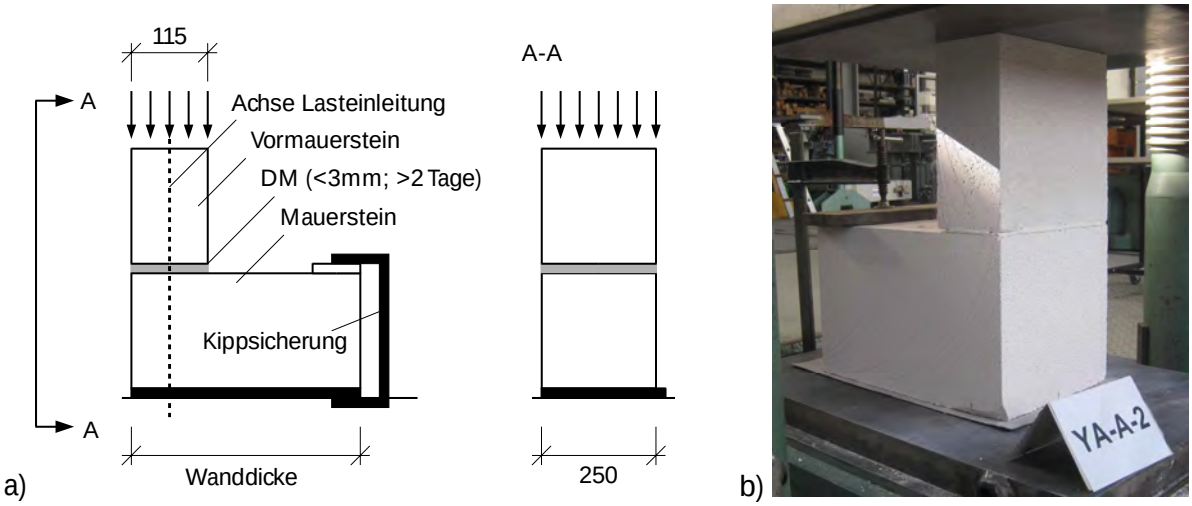


Bild A 44 a) Versuchsanordnung 2-Stein-Prüfkörper (schematisch); b) Prüfkörper in der Prüfmaschine

Es sind jeweils drei Versuche durchgeführt wurden. Für die untersuchten Varianten stellte sich bei allen Serien jeweils ein vergleichbares charakteristisches Riss- bzw. Bruchbild ein. Bei den Versuchen kam es dabei zunächst zu einem schrägen Abscheren des unbelasteten Bereiches. Mit weiterer Laststeigerung entstanden dann vertikale Risse am Überganspunkt Vormauerstein-Mauerstein, bevor sich der Vormauerstein in den Mauerstein eindrückt und im Zuge dessen weitere vertikale Risse entstehen bzw. auch Abspaltungen der Außenschale auftreten. Das Versagen trat meist unmittelbar nach der Rissbildung am Vormauerstein ein.

Bild A 45 Referenzprüfkörper YA-B-1 im Versuchsstand nach Versuchsdurchführung

Tabelle A 78 Ergebnisse der Referenzversuche

Stein	Bez.	Breite	Länge (Mw)	Höhe	Masse	Dichte		F_{Bruch}	f_{Bruch}	
		mm	mm	mm	kg	kg/dm³		kN	N/mm²	
Ytong 400	YA-B-1	400	251,0	249	9,767	0,391	0,388	189,7	1,89	1,90
	YA-B-2	400	251,0	249	9,649	0,386		192,4	1,92	
	YA-B-3	400	250,0	249	9,640	0,387		190,7	1,91	
Porit 425	P-B-1	480	251,0	249	12,773	0,426	0,436	266,7	2,21	2,13
	P-B-2	480	250,5	249	13,726	0,458		248	2,06	
	P-B-3	480	249,5	249	12,660	0,425		253,8	2,12	
Ytong 480	YB-B-1	425	250,5	249	12,310	0,464	0,463	275,4	2,59	2,60
	YB-B-2	425	251,5	249	12,274	0,461		272,3	2,55	
	YB-B-3	425	250,0	249	12,269	0,464		283,6	2,67	

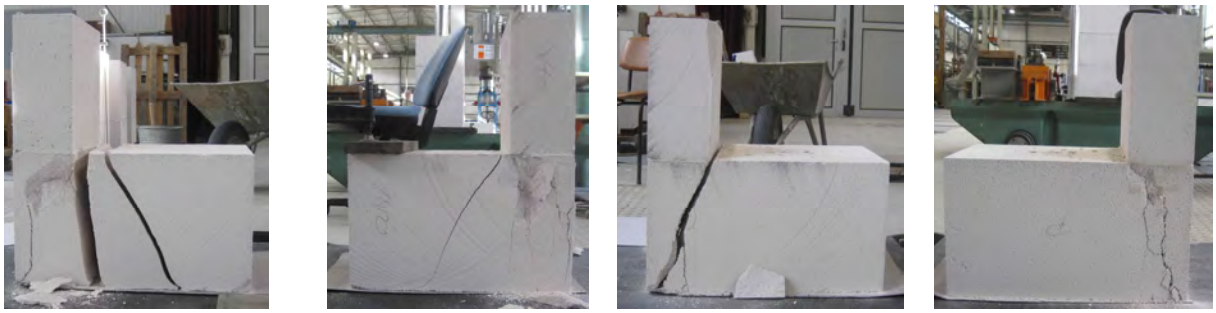


Bild A 46 Prüfkörper nach der Versuchsdurchführung

Tabelle A 79 Ergebnisse für zusammengesetzte Prüfkörper

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Stein	Bez.	t	t_{eff}	l	h	F_{Bruch}	f_{Bruch}	MW	f_{Ref}	$f_{Ref,Rilem}$	F_{Riss}	f_{Riss}
		mm	mm	mm	mm	kN	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	kN	N/mm²
Ytong 400 PP 1,6 - 0,25	YA-A-1	400	115	251,0	504	42,3	1,47	1,65	1,90	1,54	34	1,18
	YA-A-2	400	115	250,0	503	46,4	1,61				38	1,32
	YA-A-3	400	115	250,5	504	54,3	1,88				47	1,63
Porit 425 PP 2 - 0,35	P-A-1	425	115	249,5	504	67	2,34	2,21	2,13	1,83	-	-
	P-A-2	425	115	249,8	503	48,8	1,70				44	1,53
	P-A-3	425	115	249,8	502	74	2,58				-	-
Ytong 480 PP 2 - 0,35	YB-A-1	480	115	250,0	502	61,8	2,15	2,37	2,60	1,78	28	0,97
	YB-A-2	480	115	251,0	502	69,6	2,41				53	1,84
	YB-A-3	480	115	250,5	503	73,8	2,56				-	-

Dabei sind:

f_{Ref} Druckfestigkeit aus Einzelsteinversuch (Tabelle A 78)
$f_{Ref,Rilem}$ Mauerwerksdruckfestigkeit aus RILEM-Versuchen
F_{Riss} Risslast (Erstriss)
f_{Riss} Rissspannung

Die Bruchfestigkeiten liegen alle über den Mauerwerksfestigkeiten, zum Teil auch über den Steinfestigkeiten.

Anhang 5 Versuche am Wand-Decken-Knoten

Anhang 5.1 Allgemeines

Anhang 5.1.1 Bewehrungsplan der Deckenplatte

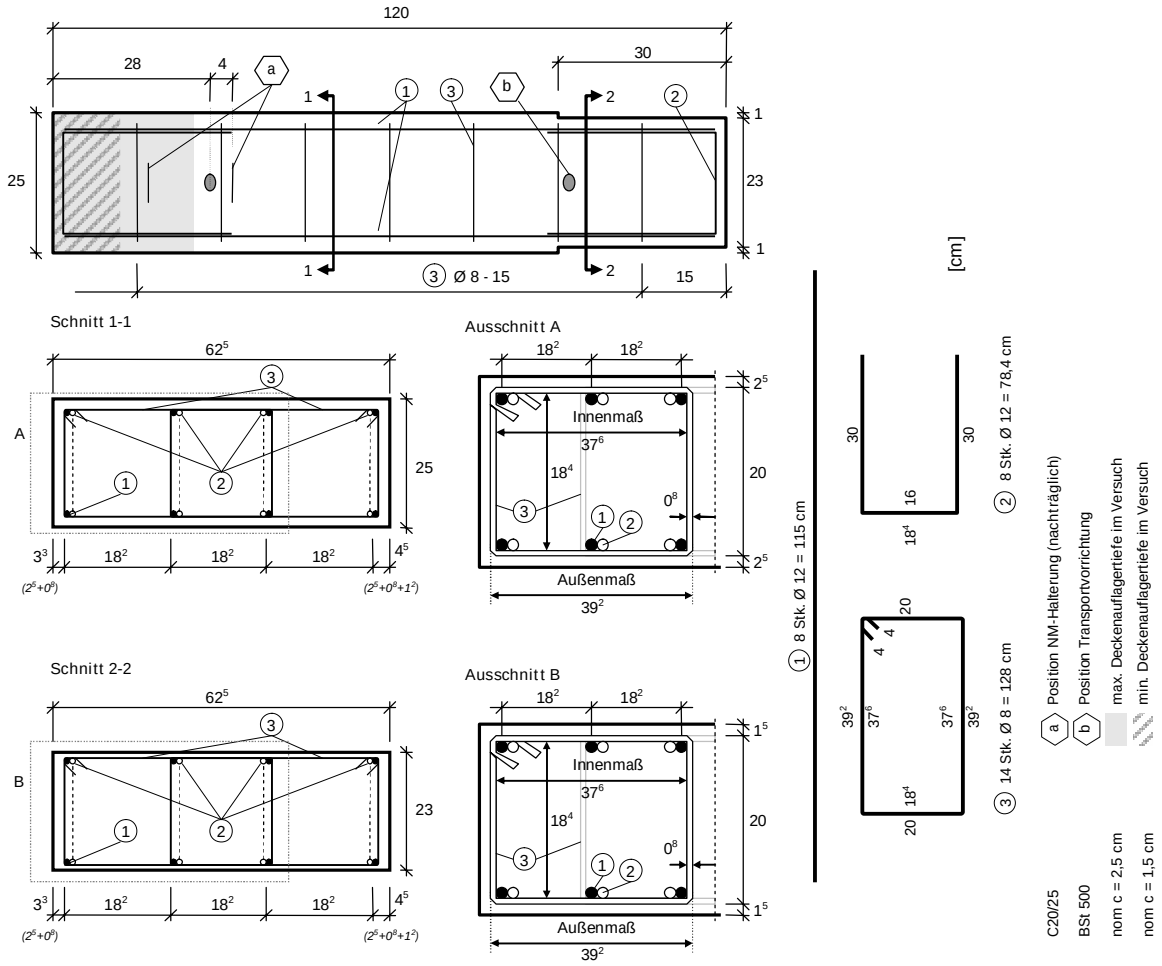


Bild A 47 Schal und Bewehrungsplan der Deckenplatte

Tabelle A 80 Stahlliste BSt 500

Position	Länge	Durchmesser	Anzahl	Nenngewicht	Stückgewicht	Gesamtgewicht
	[m]	[mm]	[Stck.]	[kg/m]	[kg]	[kg]
1	1,15	12	8	0,888	1,02	8,17
2	0,784	12	8	0,888	0,70	5,57
3	1,28	8	14	0,395	0,51	7,08
					Summe	20,82

Anhang 5.1.2 Belastungsregime

Zur Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit sind die am Wand-Decke-Knoten auftretenden Lasten mit heranzuziehen. Die Wandauflast F_1 entspricht der Last welche aus den oberen Geschossen in den WDK eingetragen wird. Diese setzt sich je Geschoss aus dem Wandeigengewicht und der Auflagerkraft einer Decke zusammen.

Die maximale vertikale Last, die aus einem zusätzlichen Geschoss in den WDK eingetragen wird ergibt sich zusammen mit dem Eigengewicht einer Wand somit aus

$$N_{Ge,i} = N_{Wand,i} + N_{Decke,i}. \tag{1}$$

Mit den Parametern zum Belastungsregime ergibt sich die Auflagerkraft einer Decke bei Annahme beidseitig gelenkiger Lagerung bei 6,00 m Deckenspannweite je Meter Wandlänge zu

$$\begin{aligned} N_{Decke,k} &= \frac{1}{2} \cdot l_w \cdot \left(g_{EG,k} + g_{AB,k} + q_{max,k}\right) \\ N_{Decke,k} &= \frac{1}{2} \cdot 6m \cdot \left(5{,}75\ \frac{kN}{m^2} + 2\ \frac{kN}{m^2} + 2{,}8\ \frac{kN}{m^2}\right) \approx 32 \frac{kN}{m} \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned} N_{Decke,d} &= \frac{1}{2} \cdot l_w \cdot \left(g_{EG,k} \cdot \gamma_g + g_{AB,k} \cdot \gamma_g + q_{max,k} \cdot \gamma_q\right) \\ N_{Decke,d} &= \frac{1}{2} \cdot 6m \cdot \left(5{,}75\ \frac{kN}{m^2} \cdot 1{,}35 + 2\ \frac{kN}{m^2} \cdot 1{,}35 + 2{,}8\ \frac{kN}{m^2} \cdot 1{,}5\right) \approx 45 \frac{kN}{m} \end{aligned} \tag{3}$$

Das Wandeigengewicht ergibt in Abhängigkeit des jeweiligen Materials für eine 3 m hohe Wand zu

$$\begin{aligned} N_{Wand,k} &= h_w \cdot t \cdot \gamma_{MW} \\ N_{Wand,d} &= N_{Wand,k} \cdot \gamma_G \end{aligned} \tag{4}$$

Bei Deckenauflagerkraft und Wandeigengewicht ist anschließend noch die Prüfkörperlänge mit einzurechnen.

Tabelle A 81 Bestimmung der Geschosslasten

Wanddicke [m]	0,40	0,425	0,48	0,49
Eigengewicht [kN/m³]	3,5	4,5	4,5	5,0
Wandhöhe [m]	3,0	3,0	3,0	3,0
Wandlänge [m]	0,625	0,625	0,625	0,625
$N_{Wand,k}$ [kN]	2,63	3,59	4,05	4,59
$N_{Decke,k}$ [kN]	20	20	20	20
$N_{Ge,k}$ [kN]	22,6	23,6	24,1	24,6

Anhang 5.2 Serie W400

Anhang 5.2.1 Messtechnik

Bild A 48 und Bild A 49 zeigen den prinzipiellen Messstellenplan für die Prüfkörper aus Porenbeton wobei in den einzelnen Serien die Anzahl der Dehnmessstreifen (DMS) am Vormauerstein variierte. Die auf der Nord-Seite angeordneten induktiven Wegaufnehmer (IWA) 26 und 27 kamen erst bei den späteren Versuchen zum Einsatz.

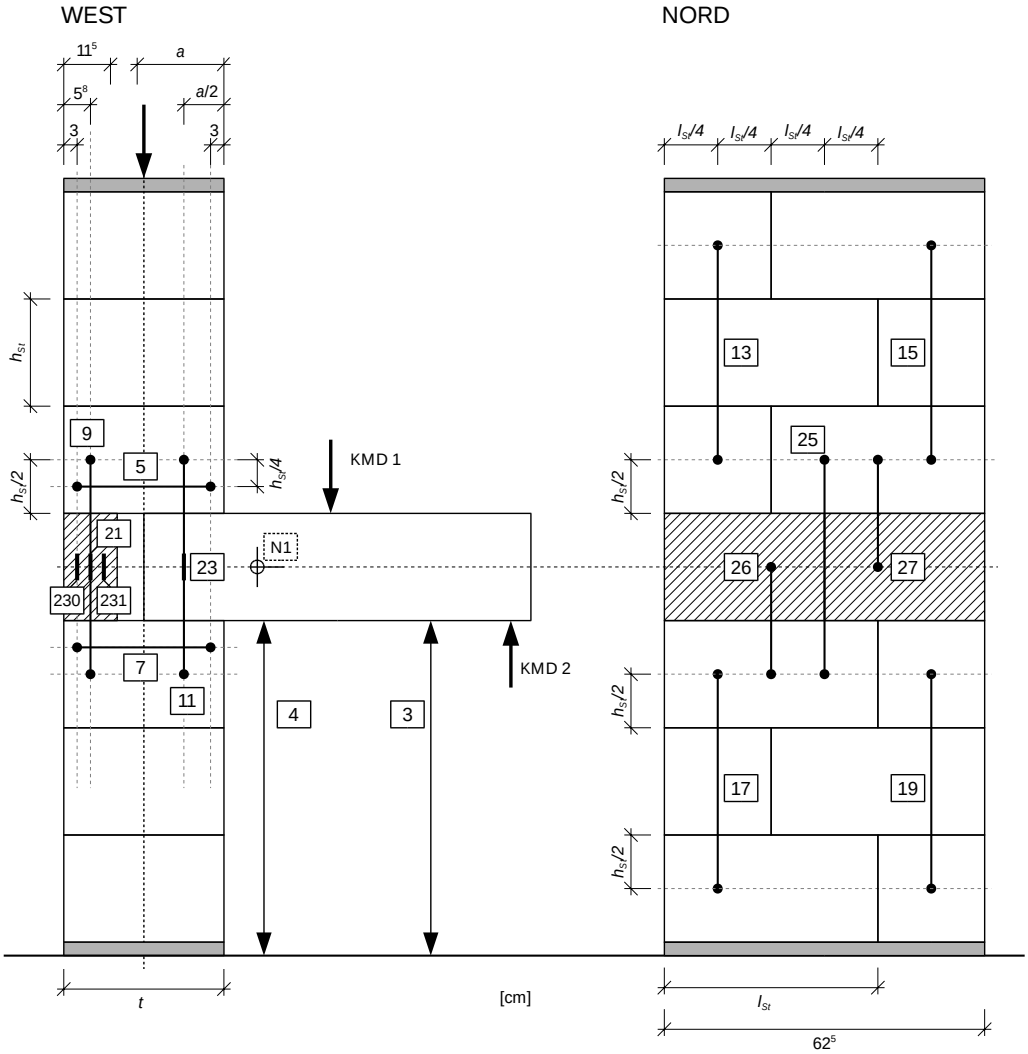


Bild A 48 Messstellenplan Prüfserien W400, W425 und W480; West- und Nord-Seite

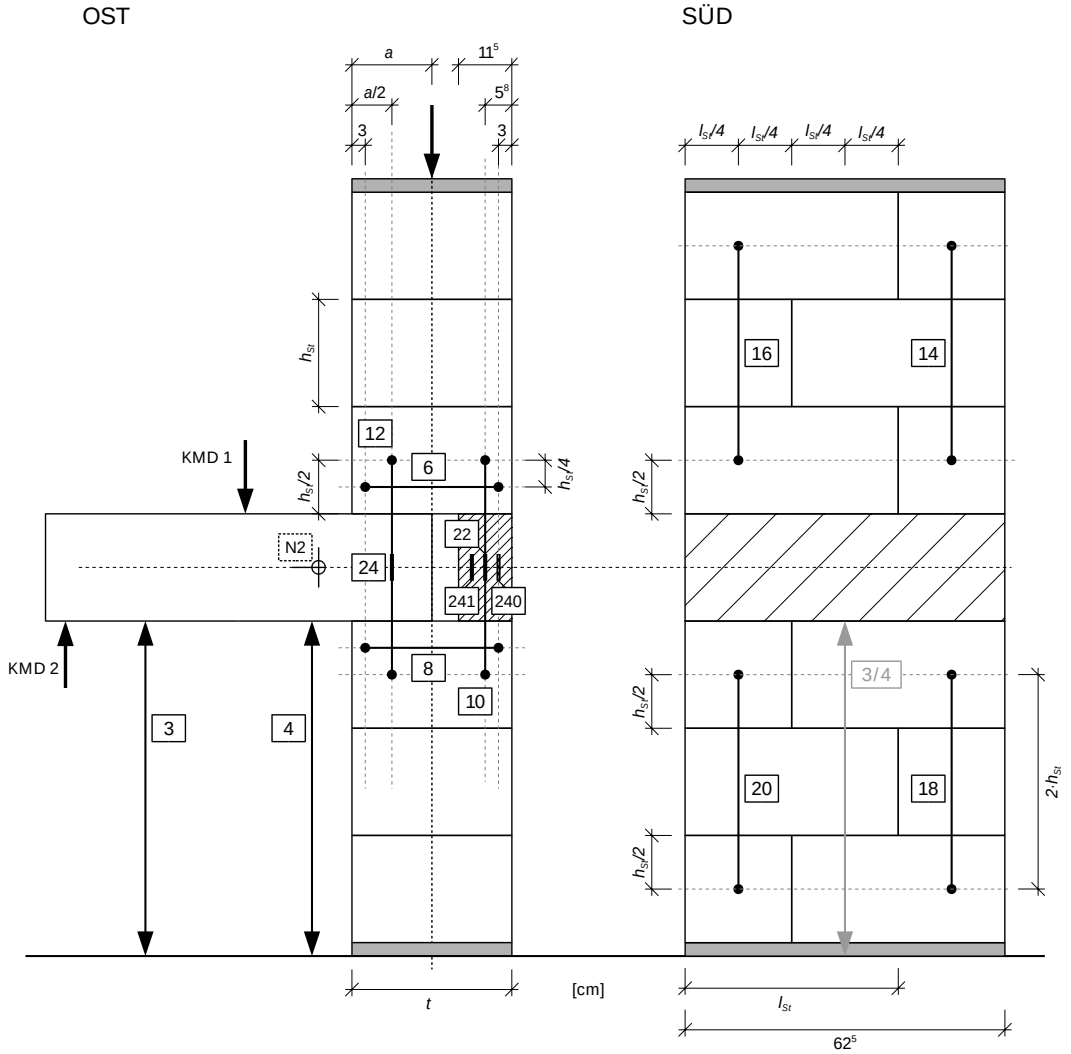


Bild A 49 Messstellenplan Prüfserien W400, W425 und W480; Ost- und Süd-Seite

Tabelle A 82 Übersicht Messstellen

Pos.	Aufnehmertyp (Anordnung)	Pos.	Aufnehmertyp
KMD 1	Kraftmessdosen Auflast Deckenplatte (100 kN)	17, 19	IWA vertikal (Nord, untere PK-Hälfte), 5 mm
KMD 2	Kraftmessdose Auflagerkraft Decke (50 kN)	14, 16	IWA vertikal (Süd, obere PK-Hälfte), 5 mm
3, 4	IWA vertikal (Neigung Deckenplatte), 10 mm	18, 20	IWA vertikal (Süd, untere PK-Hälfte), 5 mm
5, 7	IWA horizontal (West), 5 mm	25, 26, 27	IWA vertikal (Nord), 5 mm
6, 8	IWA horizontal (Ost), 5mm	21 (230, 231)	DMS 60 mm (Vorm. West)
9, 10	IWA vertikal (Vormauerstein West/Ost), 5 mm	22 (240, 241)	DMS 60 mm (Vorm. Ost)
11, 12	IWA vertikal (Decke West/Ost), 10 mm	23, 24	DMS 60 mm (Decke)
13, 15	IWA vertikal (Nord, obere PK-Hälfte), 5 mm	N1, N2	Neigungssensor

Anhang 5.2.2 Belastungsregime

Tabelle A 83 Lastregime für Serie W400

Laststufe	Auflast F_1	N_{Decke}	Neigung		
			W400-A	W400-B	W400-E
	[kN]	[kN]	[°]	[°]	[°]
0	0	2,9	0,000	0,000	0,000
1	5	2,9	0,000	0,000	0,000
2	5	5,0	0,000	0,000	0,000
3	5	5,0	0,100	0,100	0,100
4	5	10,8	0,100	0,100	0,100
5	5	10,8	0,187	0,190	0,190
6	10	10,8	0,182	0,185	0,187
7	20	10,8	0,171	0,178	0,182
8	30	10,8	0,163	0,172	0,178
9	40	10,8	0,157	0,167	0,175
10	50	10,8	0,153	0,163	0,172
11	50	15,0	0,153	0,163	0,172
12	50	15,0	0,215	0,230	0,235
13	50	18,7	0,215	0,230	0,235
14	50	18,7	0,284	0,296	0,305
15	60	18,7	0,277	0,289	0,300
16	70	18,7	0,269	0,284	0,296
17	80	18,7	0,264	0,279	0,293
18	80	23,0	0,264	0,279	0,293
19	80	23,0	0,344	0,362	0,375
20	80	28,2	0,344	0,362	0,375
21	80	28,2	0,429	0,445	0,458
22	90	28,2	0,421	0,439	0,454
23	100	28,2	0,413	0,433	0,449
24	110	28,2	0,406	0,428	0,445
25	120	28,2	0,399	0,423	0,442
26	130	28,2	0,392	0,418	0,438
27	Bruch				

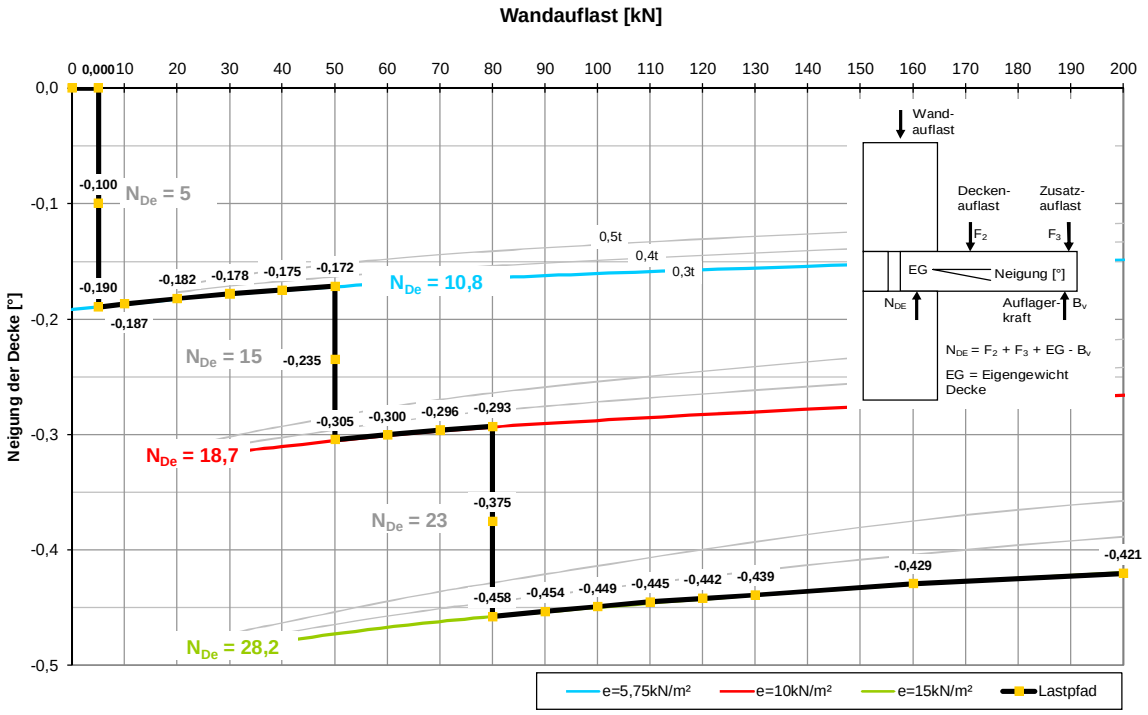


Bild A 50 Belastungsregime W400-E

Anhang 5.2.3 W400-A ($a = 0{,}5 \cdot t$)

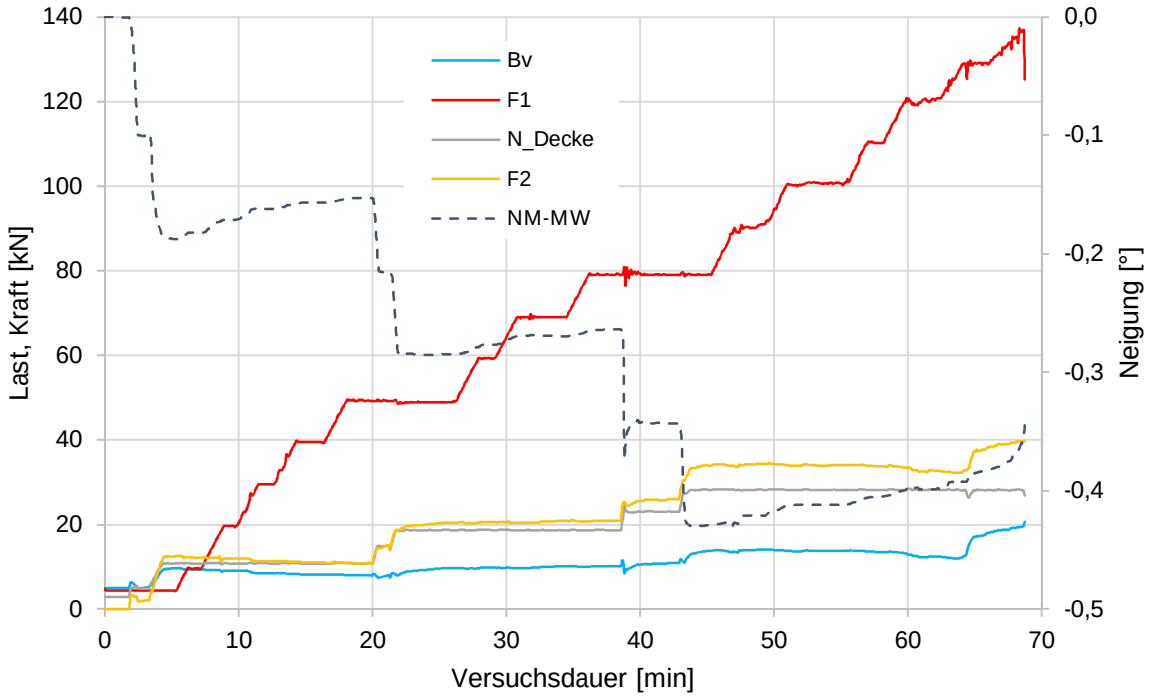


Bild A 51 Lasten, Reaktionskräfte und Deckenneigung in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W400-A)

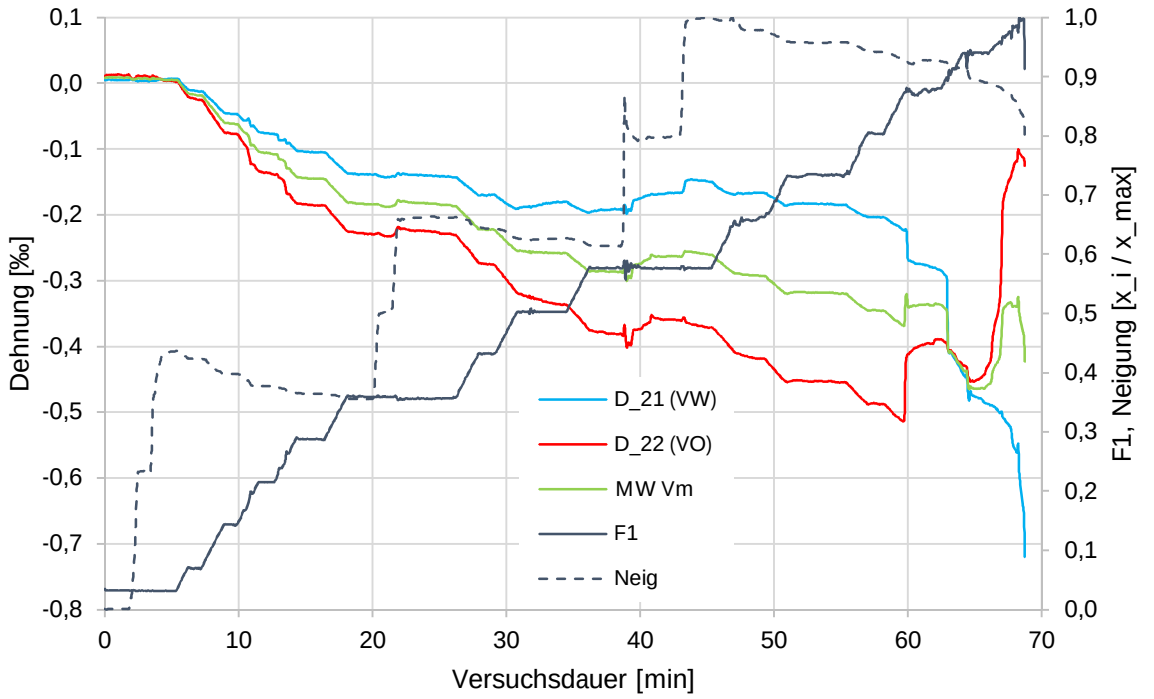


Bild A 52 Dehnungen am Vormauerstein sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.: Ist-Wert/Maximalwert) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W400-A)

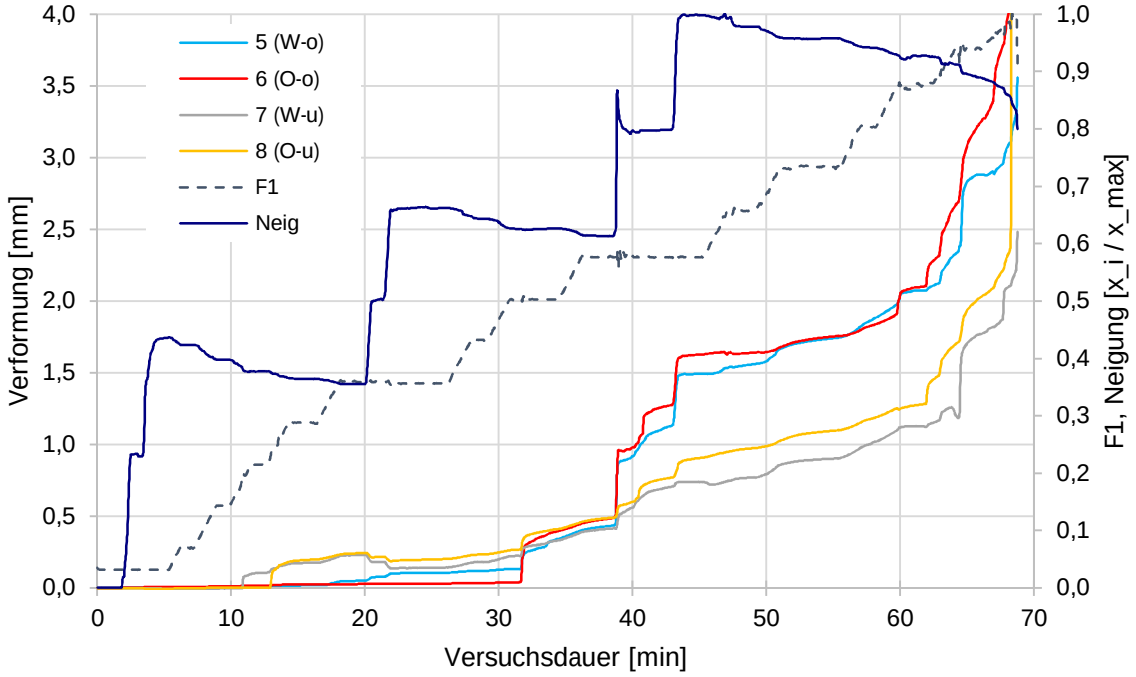


Bild A 53 Horizontale Verformungen (West/Ost) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W400-A)

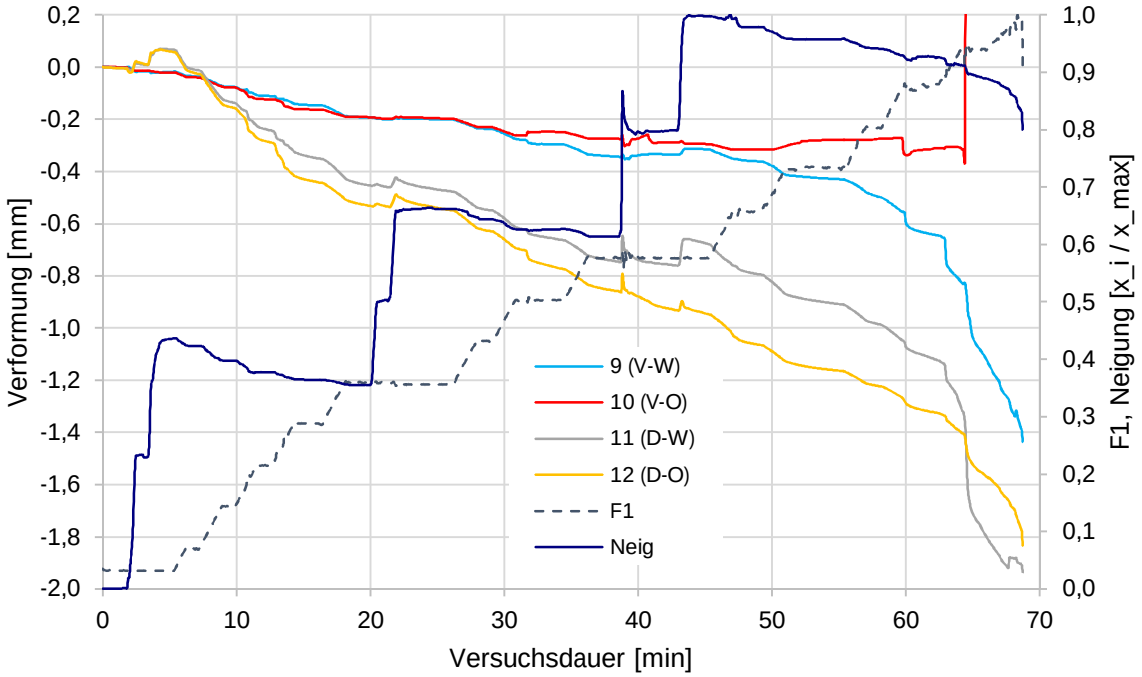


Bild A 54 Vertikale Verformungen (West/Ost) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W400-A)

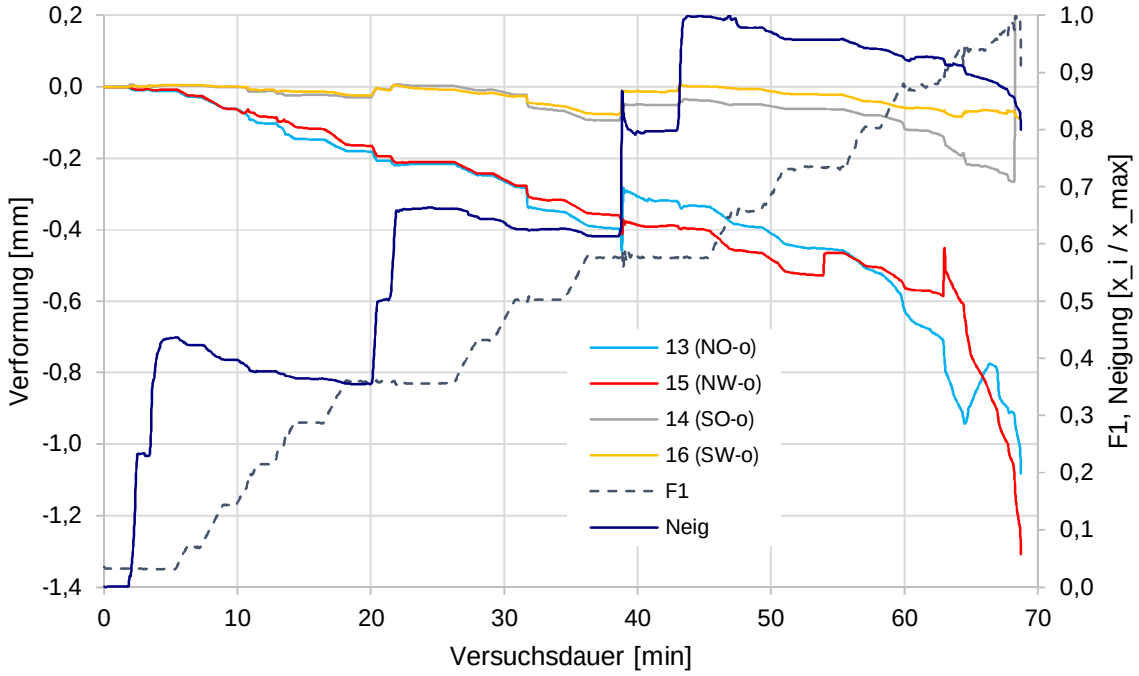


Bild A 55 Vertikale Verformungen obere Prüfkörperhälfte (Nord/Süd) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W400-A)

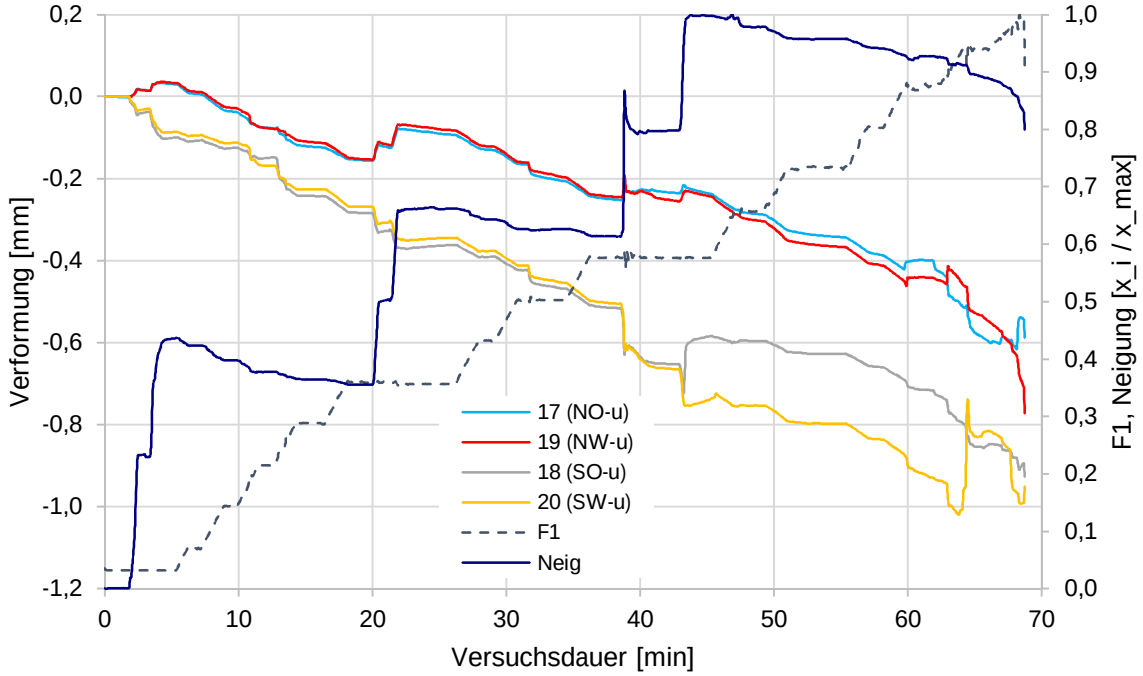


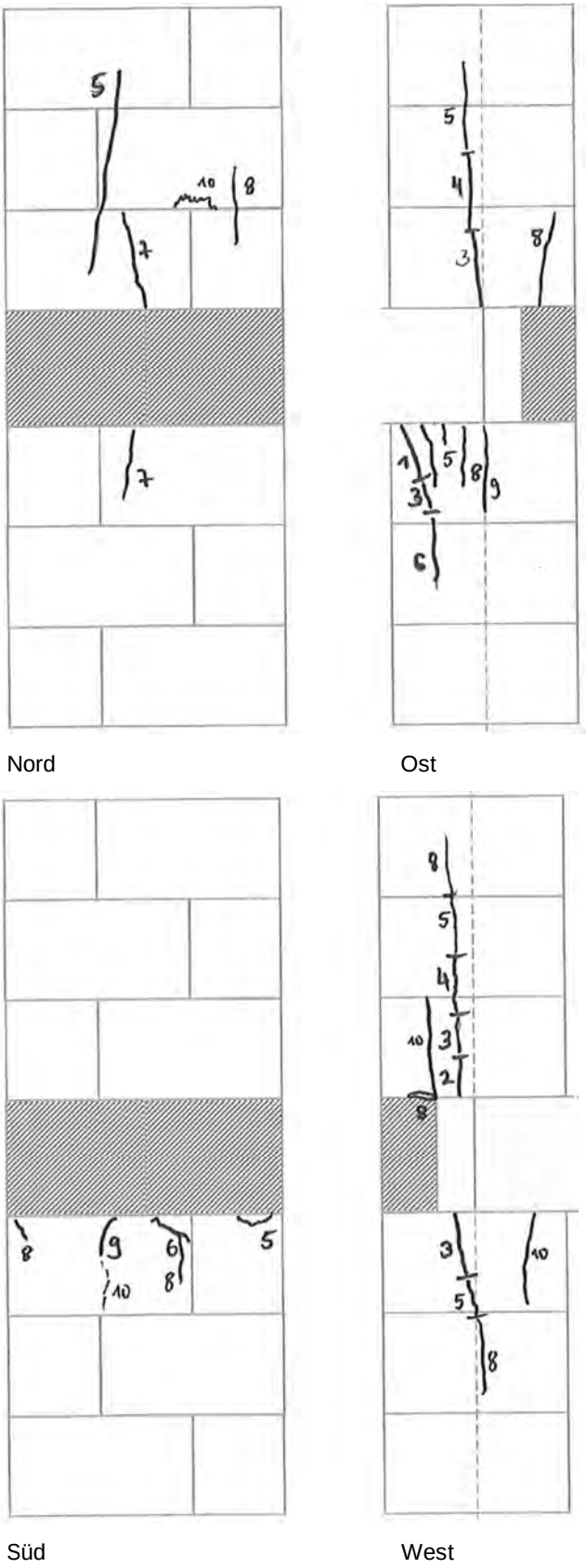
Bild A 56 Vertikale Verformungen untere Prüfkörperhälfte (Nord/Süd) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W400-A)

F1	N_De	No	F1 / N_De	Vm (A)	De (A)	De (No) (A)	Vm / F1 (A)	De / F1 (A)	Vm / No (A)	De / No (A)	M1 (A)	M2 (A)
4,405	10,715	15,120	0,411	0,677	3,727	14,442	0,154	0,846	0,045	0,955	-1,106	-0,035
10,163	10,776	20,939	0,943	2,709	7,454	18,230	0,267	0,733	0,129	0,871	-1,184	-0,106
20,303	10,807	31,110	1,879	8,757	11,546	22,353	0,431	0,569	0,281	0,719	-1,366	-0,286
30,291	10,759	41,050	2,815	14,801	15,489	26,248	0,489	0,511	0,361	0,639	-1,634	-0,558
40,513	10,767	51,279	3,763	20,183	20,330	31,097	0,498	0,502	0,394	0,606	-1,836	-0,760
49,650	10,845	60,495	4,578	24,788	24,862	35,707	0,499	0,501	0,410	0,590	-1,916	-0,832
48,980	18,427	67,407	2,658	24,649	24,331	42,758	0,503	0,497	0,366	0,634	-5,246	-3,403
50,100	18,677	68,777	2,683	26,002	24,099	42,775	0,519	0,481	0,378	0,622	-4,515	-2,647
60,256	18,673	78,929	3,227	31,086	29,171	47,843	0,516	0,484	0,394	0,606	-4,508	-2,640
70,172	18,642	88,814	3,764	35,710	34,461	53,103	0,509	0,491	0,402	0,598	-4,281	-2,417
79,428	18,629	98,057	4,264	39,084	40,344	58,972	0,492	0,508	0,399	0,601	-4,330	-2,467
79,114	23,138	102,252	3,419	36,665	42,449	65,587	0,463	0,537	0,359	0,641	-6,000	-3,686
79,795	28,249	108,045	2,825	35,675	44,120	72,370	0,447	0,553	0,330	0,670	-6,519	-3,694
90,852	28,071	118,923	3,236	39,663	51,189	79,260	0,437	0,563	0,334	0,666	-6,452	-3,645
100,041	28,218	128,258	3,545	43,645	56,395	84,613	0,436	0,564	0,340	0,660	-6,538	-3,717
110,261	28,225	138,486	3,906	47,208	63,053	91,279	0,428	0,572	0,341	0,659	-6,633	-3,811
119,852	28,193	148,044	4,251	50,279	69,573	97,765	0,420	0,580	0,340	0,660	-7,341	-4,520
130,366	28,057	158,422	4,647	67,122	63,244	91,300	0,515	0,485	0,424	0,576	-3,957	-1,152
137,217	28,297	165,514	4,849	81,318	55,900	84,196	0,593	0,407	0,491	0,509	-3,454	-0,624

Dabei sind:

F1	Wandauflast in [kN]
N_De	Deckenauflagerkraft am Wand-Decken-Knoten in [kN]
No	Resultierende Normalkraft am Wandkopf mit No = F1 + N_De in [kN]
F1 / N_De	Verhältnis Wandauflast zu Deckenauflagerkraft [-]
Vm (i)	Lastanteil Vormauerstein (Wandauflast) in [kN]
De (i)	Lastanteil Deckenauflager (Wandauflast) in [kN]
De (No) (i)	Lastanteil Deckenauflager (gesamt) in [kN]
i / F1	Verhältnis Lastanteil i zu Wandauflast [-]
i / No	Verhältnis Lastanteil i zu No [-]
M1 (i)	Einspannmoment Auflagerkante in [kNm]
M2 (i)	Einspannmoment halbe Auflagertiefe in [kNm]

Bild A 57 Experimentell bestimmte Lastspreizung zwischen Vormauerstein und Deckenauflager (W400-A)



Riss-Nr.	Last [kN]
1	40
2	50 (II)
3	70
4	80 (0)
5	80 (I)
6	80 (II)
7	90
8	100
9	120
10	130

Bild A 58 Risskartierung W400-A

Anhang 5.2.4 W400-B ($a = 0{,}4 \cdot t$)

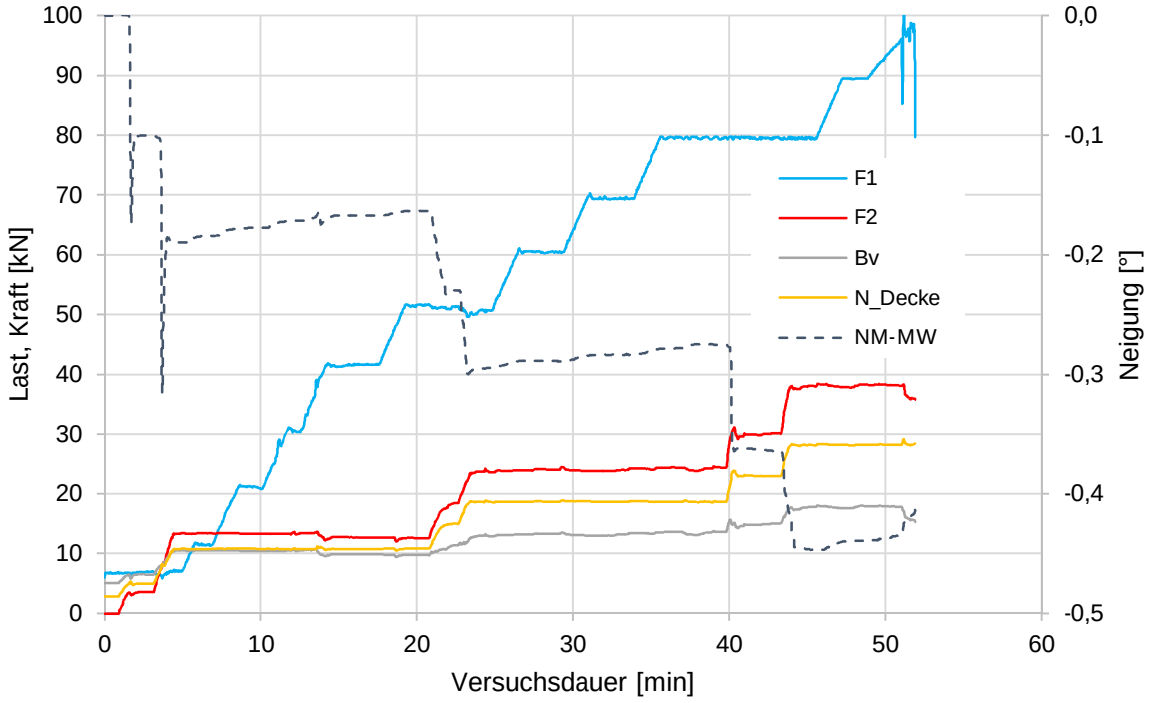


Bild A 59 Lasten, Reaktionskräfte und Deckenneigung in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W400-B)

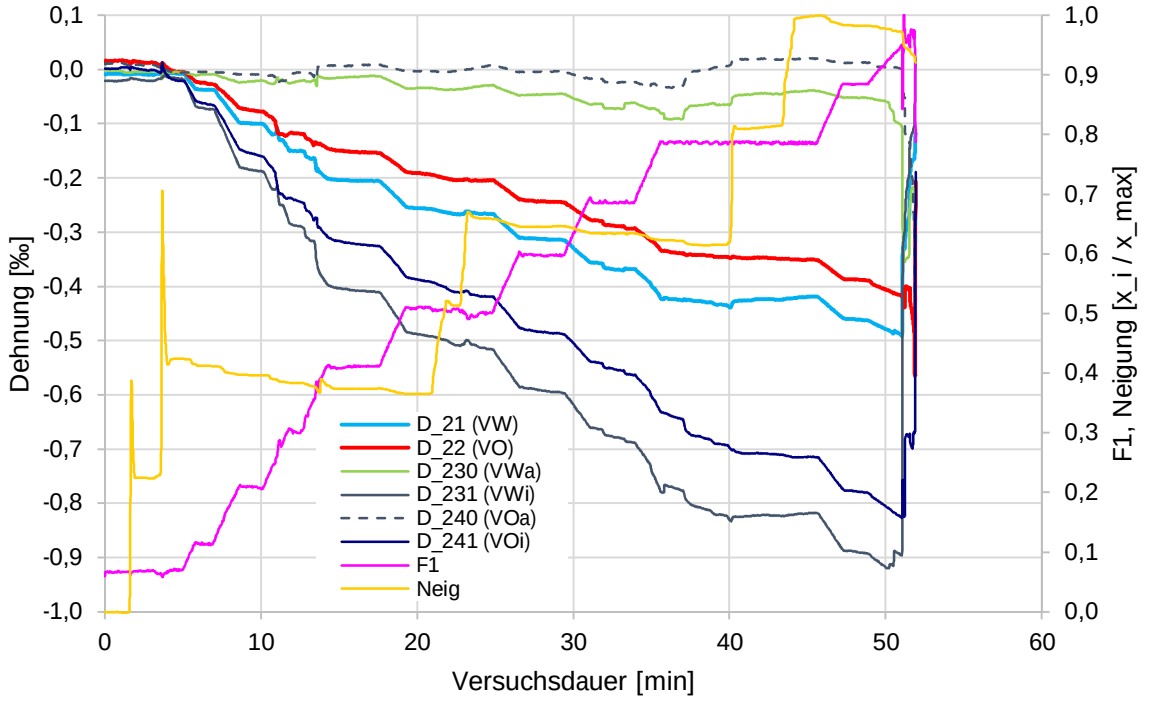


Bild A 60 Dehnungen am Vormauerstein sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.: Ist-Wert/Maximalwert) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W400-B)

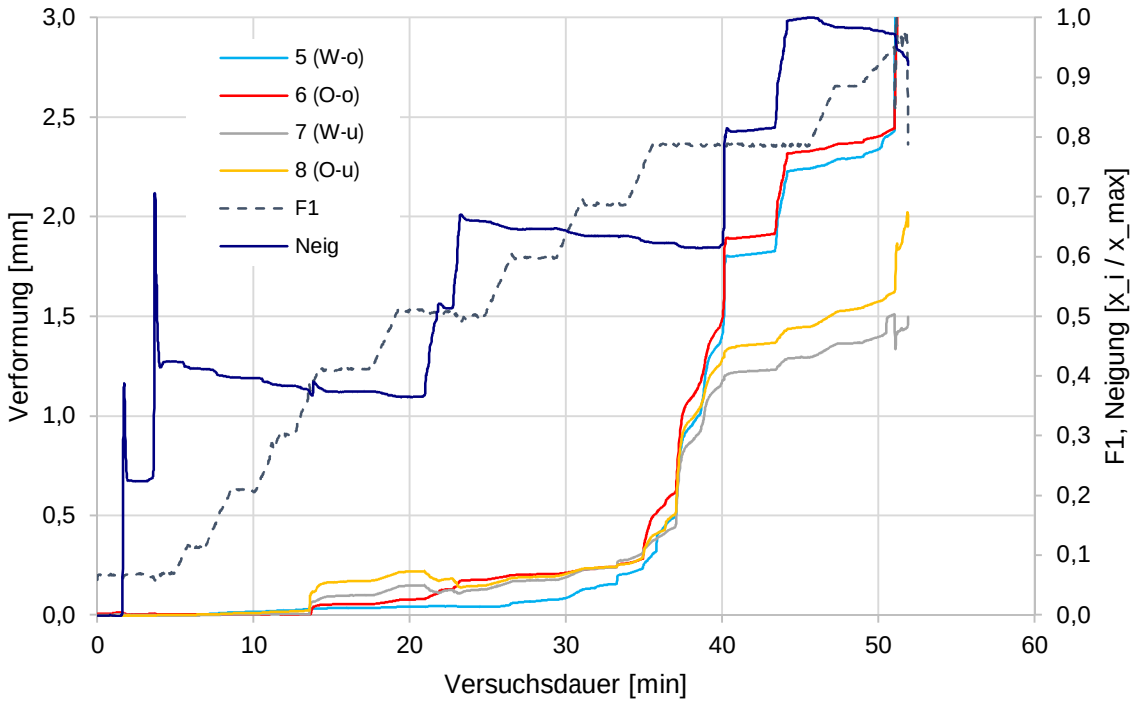


Bild A 61 Horizontale Verformungen (West/Ost) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W400-A)

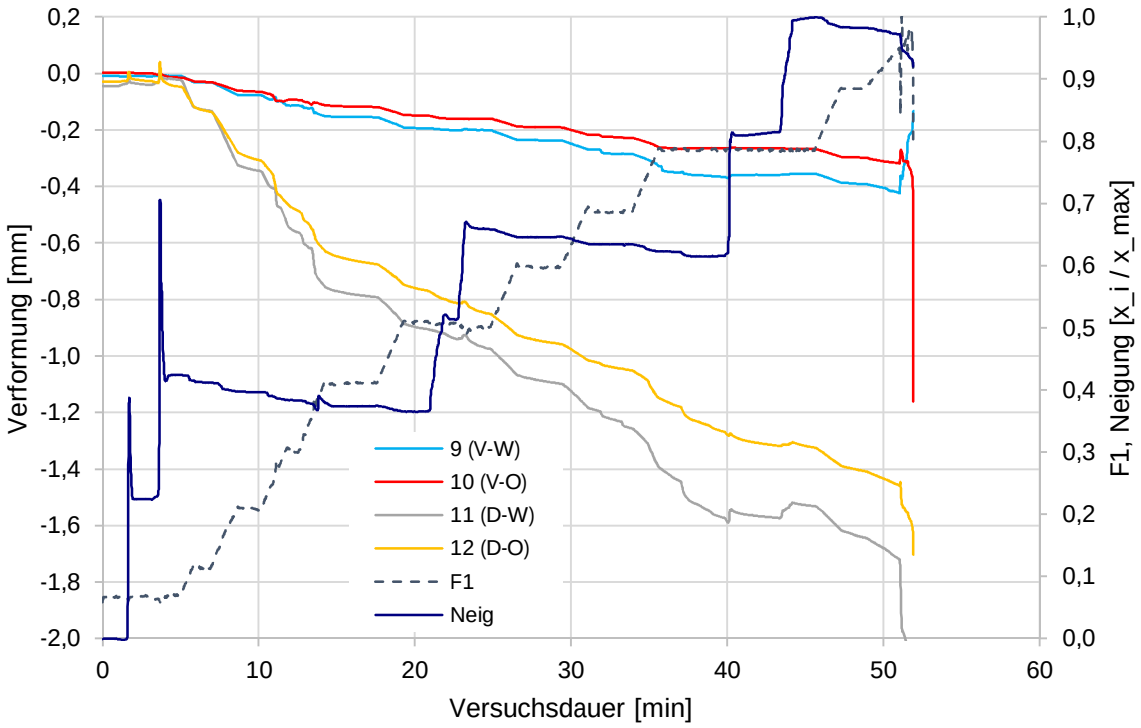


Bild A 62 Vertikale Verformungen (West/Ost) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W400-B)

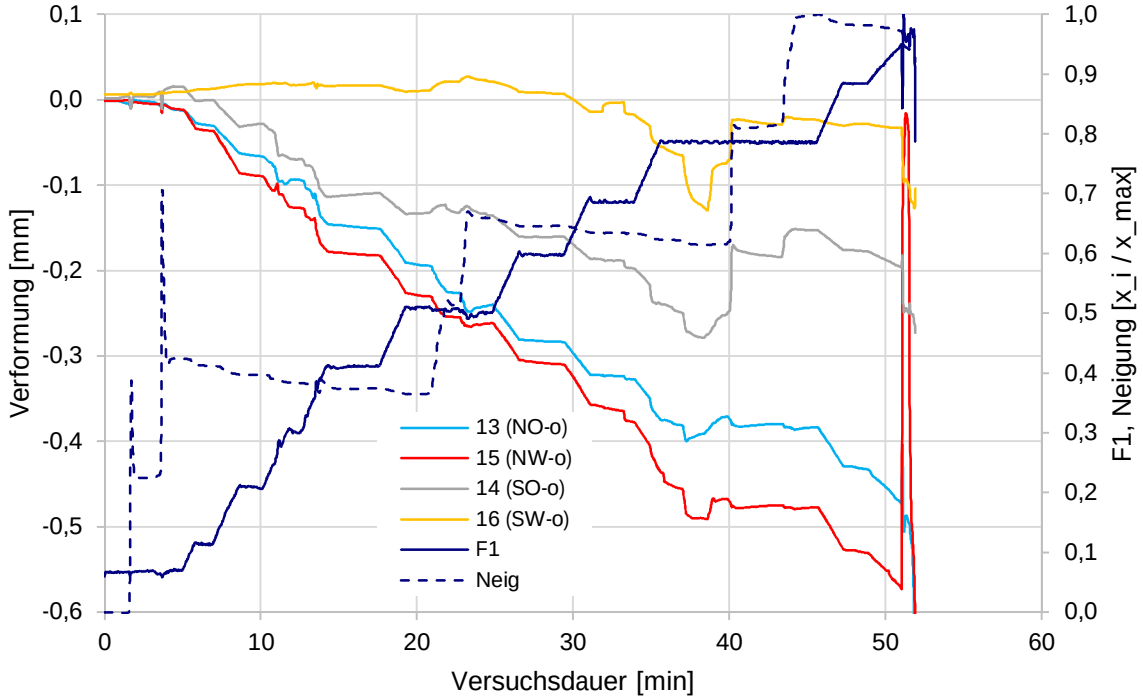


Bild A 63 Vertikale Verformungen obere Prüfkörperhälfte (Nord/Süd) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W400-B)

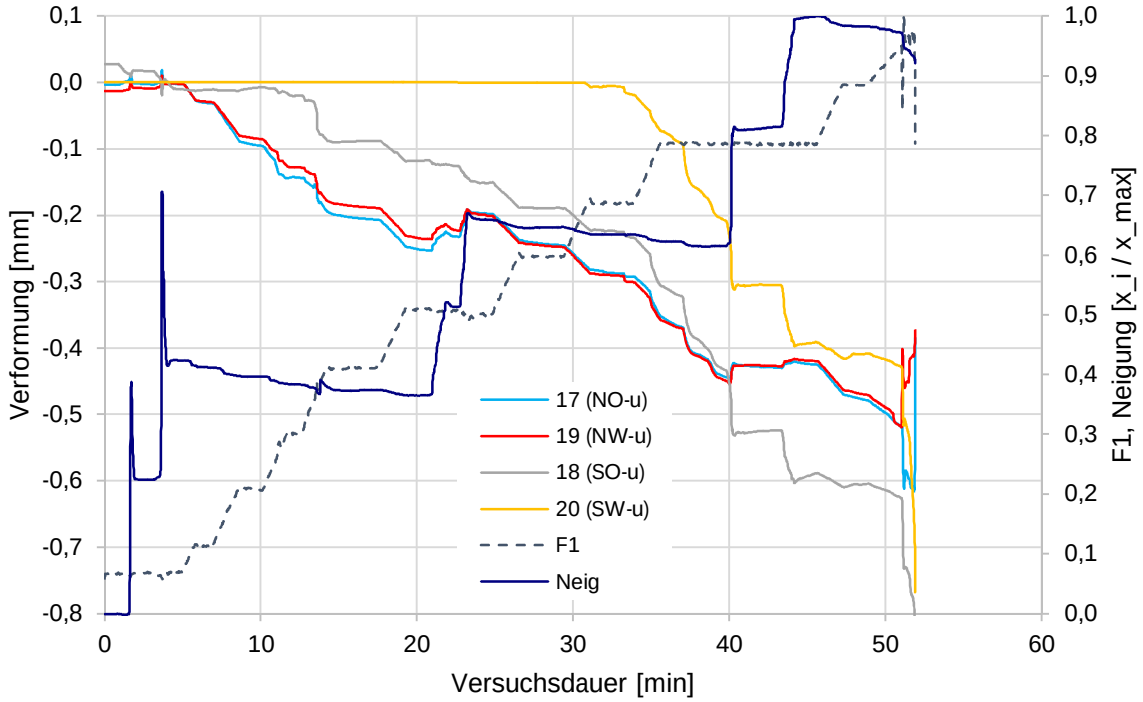


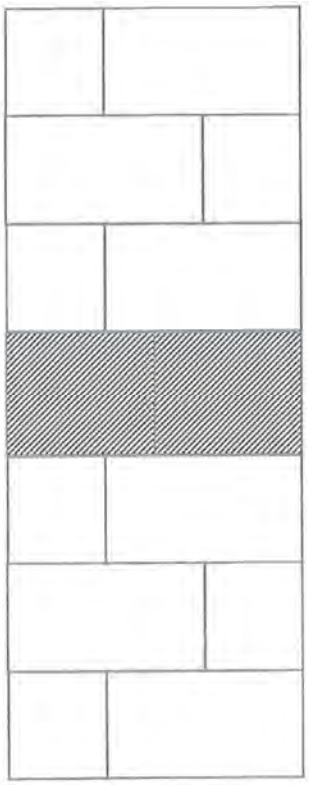
Bild A 64 Vertikale Verformungen untere Prüfkörperhälfte (Nord/Süd) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W400-B)

F1	N_De	No	F1 / N_De	Vm (B)	De (B)	De (No) (B)	Vm / F1 (B)	De / F1 (B)	Vm / No (B)	De / No (B)	M1 (B)	M2 (B)
6,756	4,799	11,556	1,408	0,366	6,390	11,190	0,054	0,946	0,032	0,968	-0,051	0,333
10,130	10,792	20,922	0,939	2,686	7,444	18,236	0,265	0,735	0,128	0,872	-0,189	0,674
20,889	10,838	31,727	1,927	11,248	9,641	20,479	0,538	0,462	0,355	0,645	-0,188	0,679
31,027	10,715	41,742	2,896	18,180	12,847	23,562	0,586	0,414	0,436	0,564	-0,126	0,731
41,764	10,807	52,571	3,865	24,590	17,174	27,981	0,589	0,411	0,468	0,532	-0,558	0,307
50,277	10,724	61,000	4,688	29,177	21,099	31,823	0,580	0,420	0,478	0,522	-0,620	0,238
51,202	13,976	65,177	3,664	31,285	19,916	33,892	0,611	0,389	0,480	0,520	-1,513	-0,395
50,722	18,625	69,347	2,723	32,096	18,626	37,251	0,633	0,367	0,463	0,537	-2,092	-0,602
60,466	18,872	79,338	3,204	38,202	22,264	41,136	0,632	0,368	0,482	0,518	-1,884	-0,374
69,386	18,714	88,100	3,708	43,580	25,806	44,520	0,628	0,372	0,495	0,505	-2,072	-0,575
79,767	18,719	98,486	4,261	51,780	27,987	46,706	0,649	0,351	0,526	0,474	-1,736	-0,238
79,698	22,985	102,684	3,467	51,754	27,944	50,929	0,649	0,351	0,504	0,496	-3,034	-1,195
79,970	28,341	108,311	2,822	52,654	27,317	55,657	0,658	0,342	0,486	0,514	-3,209	-0,942
89,897	28,215	118,112	3,186	58,284	31,613	59,829	0,648	0,352	0,493	0,507	-3,198	-0,940
96,080	28,253	124,333	3,401	62,124	33,956	62,209	0,647	0,353	0,500	0,500	-3,299	-1,038

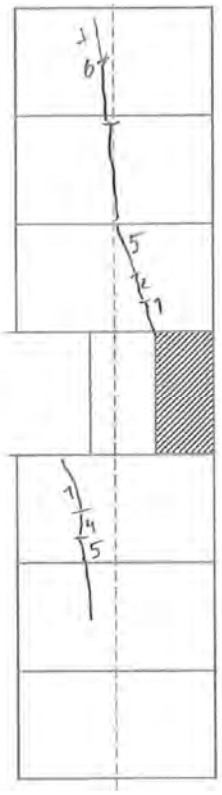
Dabei sind:

F1	Wandauflast in [kN]
N_De	Deckenauflagerkraft am Wand-Decken-Knoten in [kN]
No	Resultierende Normalkraft am Wandkopf mit No = F1 + N_De in [kN]
F1 / N_De	Verhältnis Wandauflast zu Deckenauflagerkraft [-]
Vm (i)	Lastanteil Vormauerstein (Wandauflast) in [kN]
De (i)	Lastanteil Deckenauflager (Wandauflast) in [kN]
De (No) (i)	Lastanteil Deckenauflager (gesamt) in [kN]
i / F1	Verhältnis Lastanteil i zu Wandauflast [-]
i / No	Verhältnis Lastanteil i zu No [-]
M1 (i)	Einspannmoment Auflagerkante in [kNm]
M2 (i)	Einspannmoment halbe Auflagertiefe in [kNm]

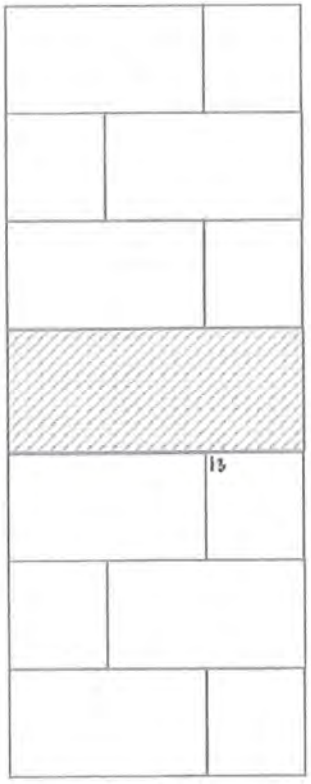
Bild A 65 Experimentell bestimmte Lastspreizung zwischen Vormauerstein und Deckenauflager (W400-B)



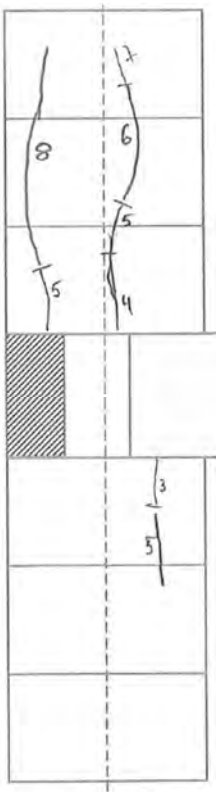
Nord



Ost



Süd



West

Riss-Nr.	Last [kN]
1	40
2	50 (II)
3	60
4	70
5	80 (0)
6	80 (I)
7	80 (II)
8	93

Bild A 66 Risskartierung W400-B

Anhang 5.2.5 W400-E (a = 0,3 · t)

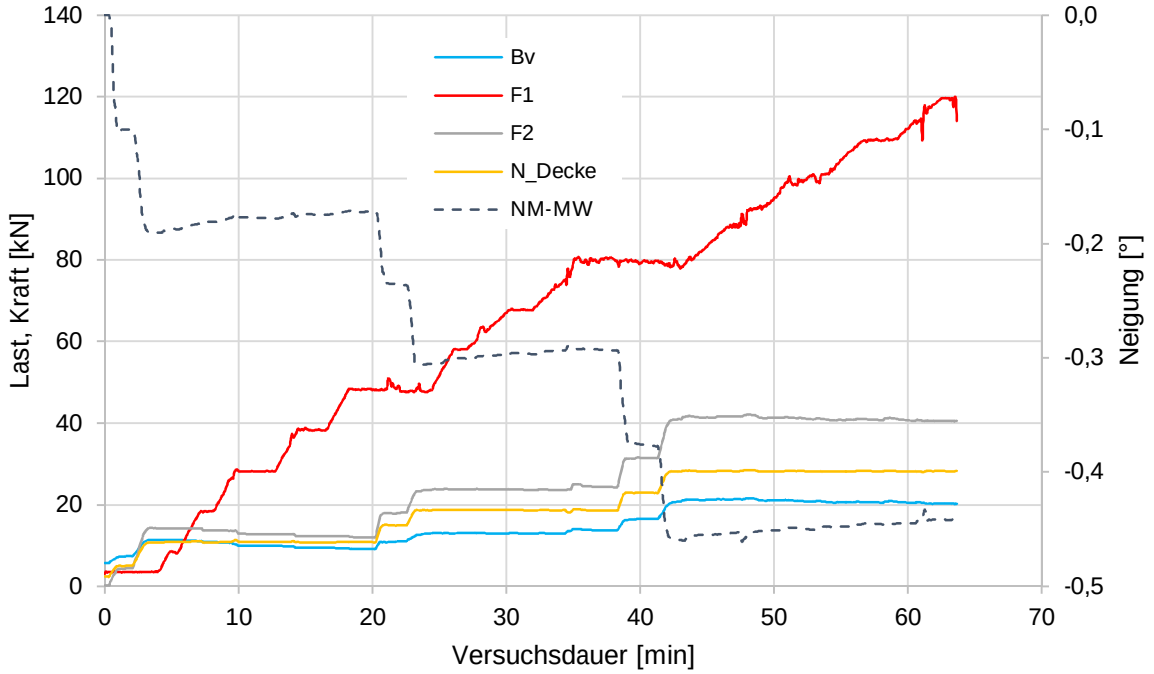


Bild A 67 Lasten, Reaktionskräfte und Deckenneigung in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W400-E)

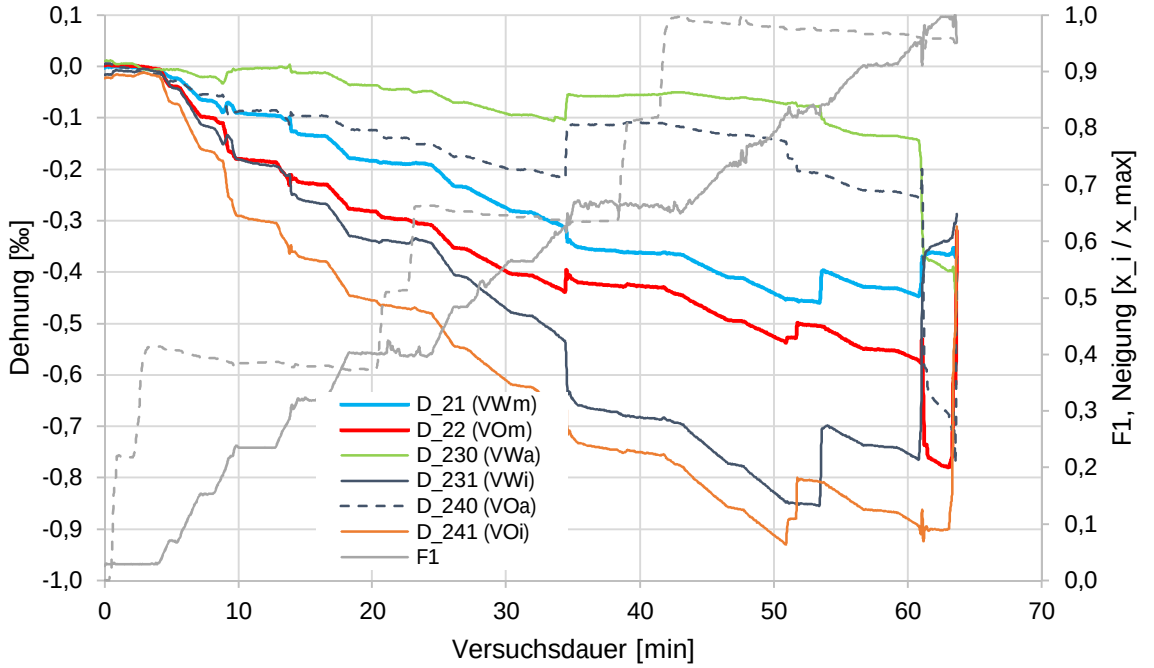


Bild A 68 Dehnungen am Vormauerstein sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.: Ist-Wert/Maximalwert) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W400-E)

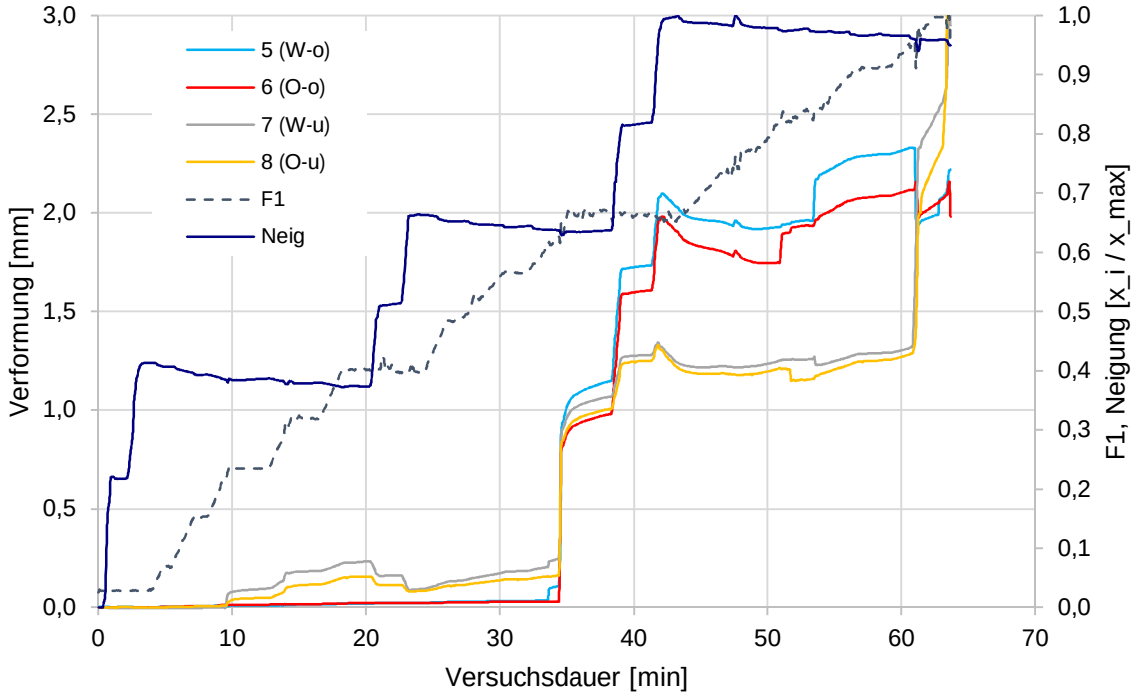


Bild A 69 Horizontale Verformungen (West/Ost) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W400-E)

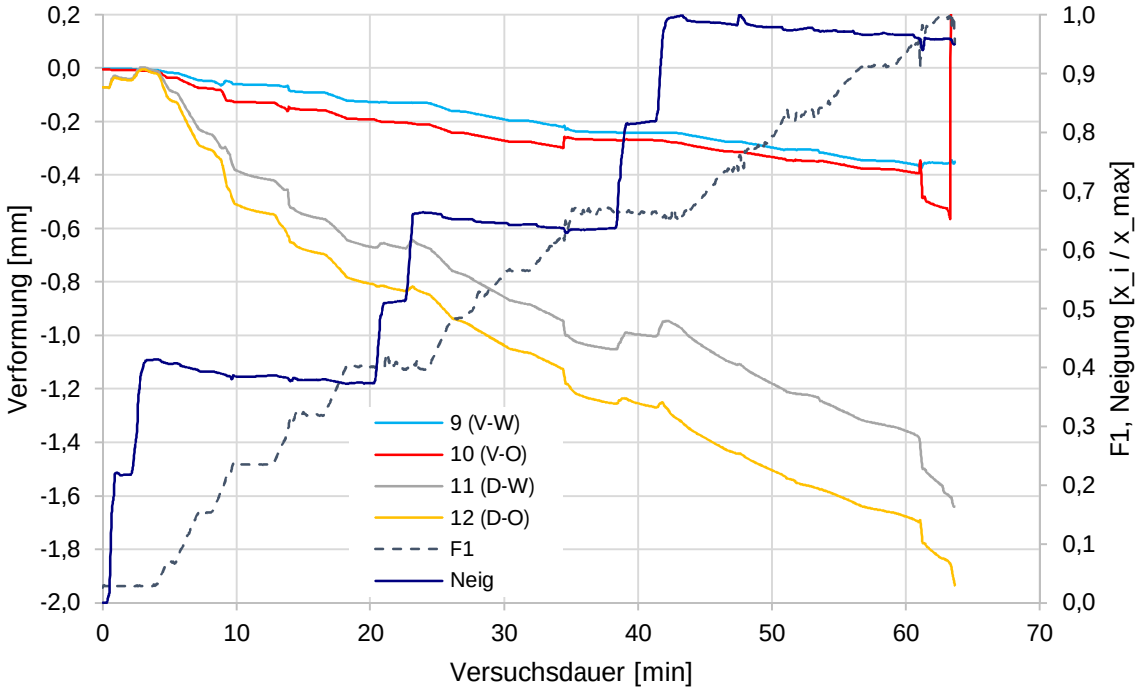


Bild A 70 Vertikale Verformungen (West/Ost) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W400-E)

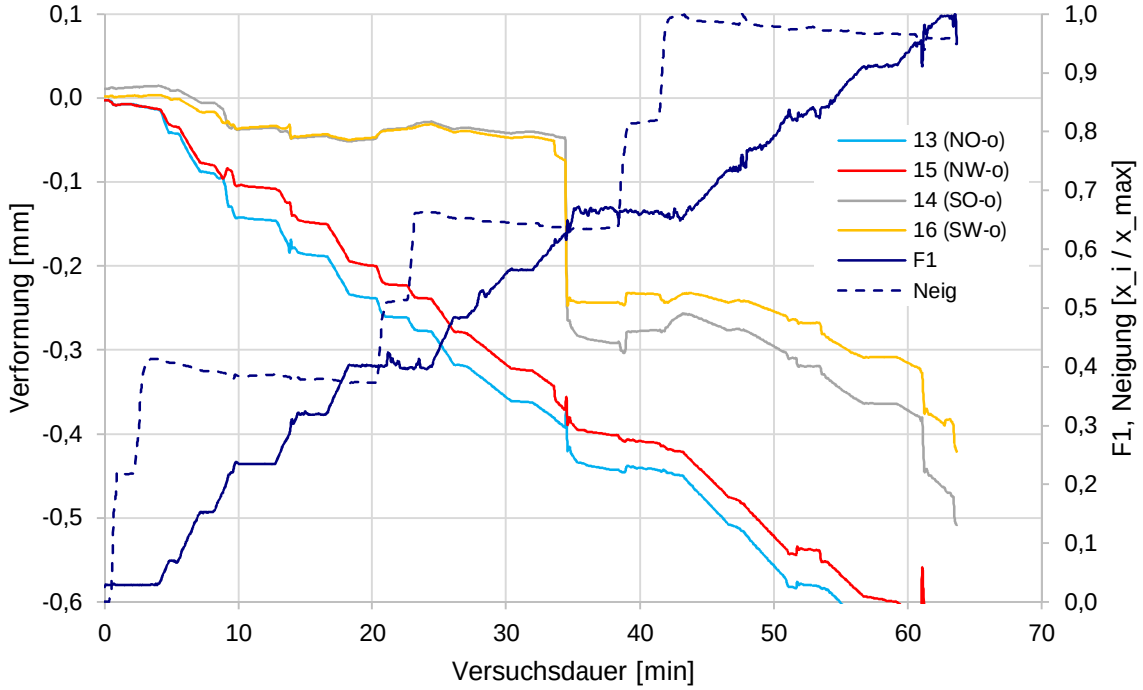


Bild A 71 Vertikale Verformungen obere Prüfkörperhälfte (Nord/Süd) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W400-E)

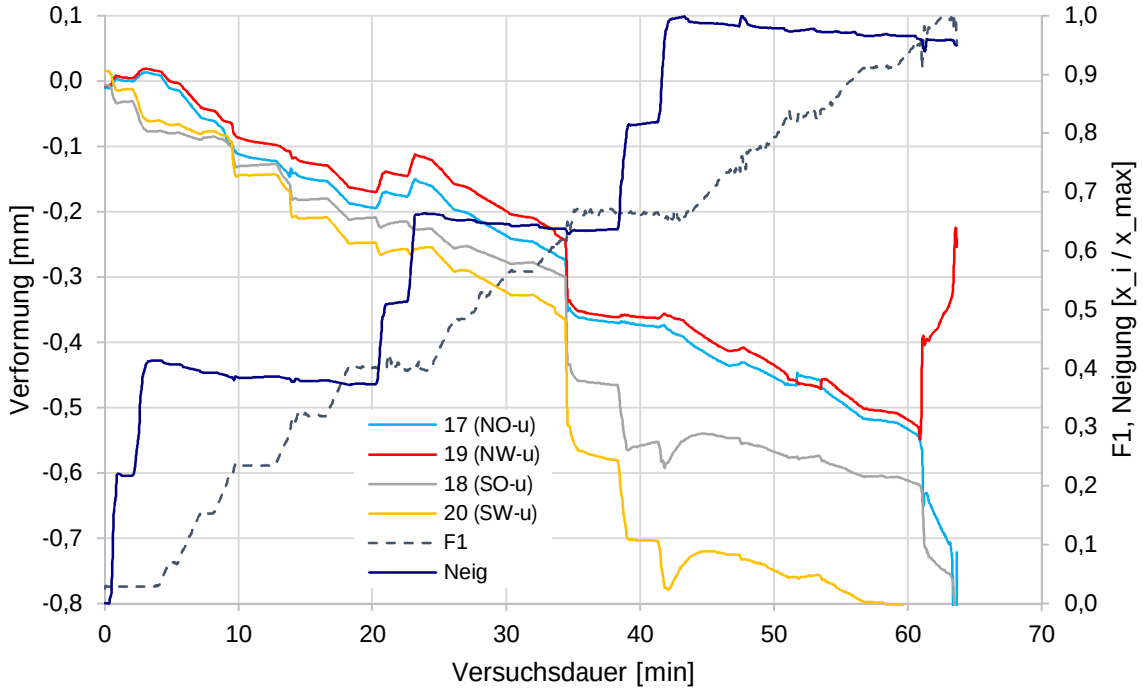


Bild A 72 Vertikale Verformungen untere Prüfkörperhälfte (Nord/Süd) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W400-E)

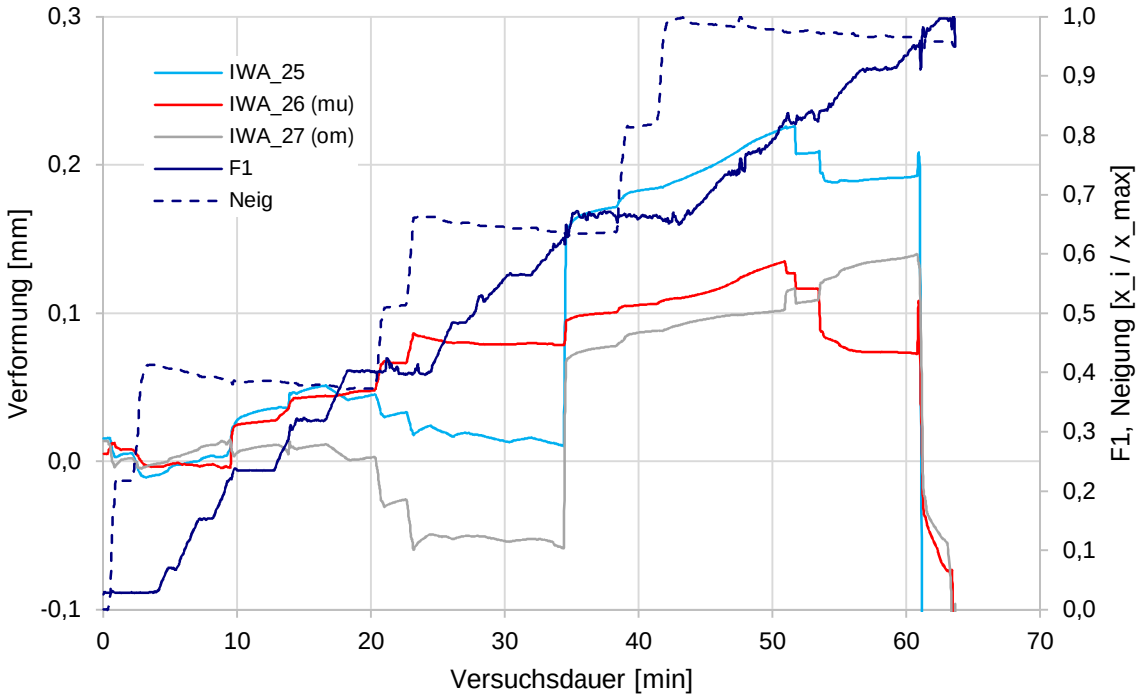


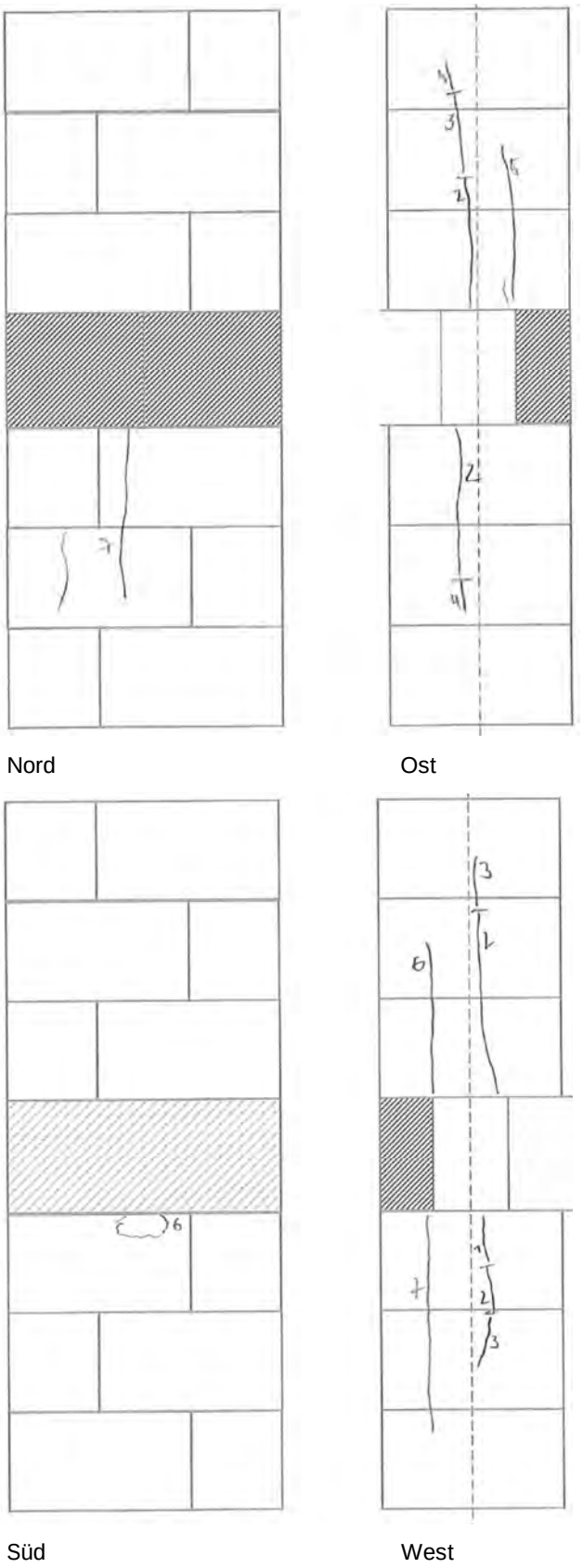
Bild A 73 Vertikale Verformungen von oberer zu unterer Prüfkörperhälfte (Nord) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W400-E)

F1	N_De	No	F1 / N_De	Vm (E)	De (E)	De (No) (E)	Vm / F1 (E)	De / F1 (E)	Vm / No (E)	De / No (E)	M1 (E)	M2 (E)
4,708	10,786	15,493	0,436	1,274	3,434	14,219	0,271	0,729	0,082	0,918	0,295	0,942
10,250	10,866	21,116	0,943	5,137	5,113	15,978	0,501	0,499	0,243	0,757	0,199	0,850
20,164	10,783	30,947	1,870	12,325	7,839	18,622	0,611	0,389	0,398	0,602	-0,044	0,603
30,366	10,815	41,181	2,808	19,980	10,385	21,200	0,658	0,342	0,485	0,515	-0,612	0,037
40,058	10,757	50,815	3,724	25,819	14,239	24,996	0,645	0,355	0,508	0,492	-0,863	-0,217
48,138	10,840	58,977	4,441	31,221	16,917	27,756	0,649	0,351	0,529	0,471	-1,069	-0,418
50,775	15,003	65,778	3,384	32,957	17,818	32,821	0,649	0,351	0,501	0,499	-1,759	-0,858
49,852	18,741	68,593	2,660	34,963	14,889	33,630	0,701	0,299	0,510	0,490	-1,976	-0,852
60,280	18,696	78,976	3,224	41,759	18,521	37,217	0,693	0,307	0,529	0,471	-1,917	-0,795
70,106	18,676	88,783	3,754	48,433	21,673	40,349	0,691	0,309	0,546	0,454	-1,948	-0,828
80,342	18,858	99,200	4,260	52,065	28,277	47,135	0,648	0,352	0,525	0,475	-1,410	-0,278
79,613	22,878	102,491	3,480	53,748	25,864	48,742	0,675	0,325	0,524	0,476	-1,675	-0,303
80,703	28,375	109,078	2,844	56,635	24,069	52,443	0,702	0,298	0,519	0,481	-0,972	0,731
87,983	28,221	116,204	3,118	61,837	26,146	54,367	0,703	0,297	0,532	0,468	-0,882	0,811
98,811	28,168	126,979	3,508	65,839	32,972	61,140	0,666	0,334	0,519	0,481	-1,116	0,574
110,139	28,206	138,345	3,905	67,434	42,705	70,911	0,612	0,388	0,487	0,513	-1,277	0,415
119,998	28,219	148,218	4,252	66,760	53,238	81,458	0,556	0,444	0,450	0,550	-1,577	0,117

Dabei sind:

F1	Wandauflast in [kN]
N_De	Deckenauflagerkraft am Wand-Decken-Knoten in [kN]
No	Resultierende Normalkraft am Wandkopf mit No = F1 + N_De in [kN]
F1 / N_De	Verhältnis Wandauflast zu Deckenauflagerkraft [-]
Vm (i)	Lastanteil Vormauerstein (Wandauflast) in [kN]
De (i)	Lastanteil Deckenauflager (Wandauflast) in [kN]
De (No) (i)	Lastanteil Deckenauflager (gesamt) in [kN]
i / F1	Verhältnis Lastanteil i zu Wandauflast [-]
i / No	Verhältnis Lastanteil i zu No [-]
M1 (i)	Einspannmoment Auflagerkante in [kNm]
M2 (i)	Einspannmoment halbe Auflagertiefe in [kNm]

Bild A 74 Experimentell bestimmte Lastspreizung zwischen Vormauerstein und Deckenauflager (W400-E)



Riss-Nr.	Last [kN]
1	40
2	75
3	80 (I)
4	80 (II)
5	100
6	110
7	118

Bild A 75 Risskartierung W400-E

Anhang 5.2.6 Einspannmoment der Deckenplatte

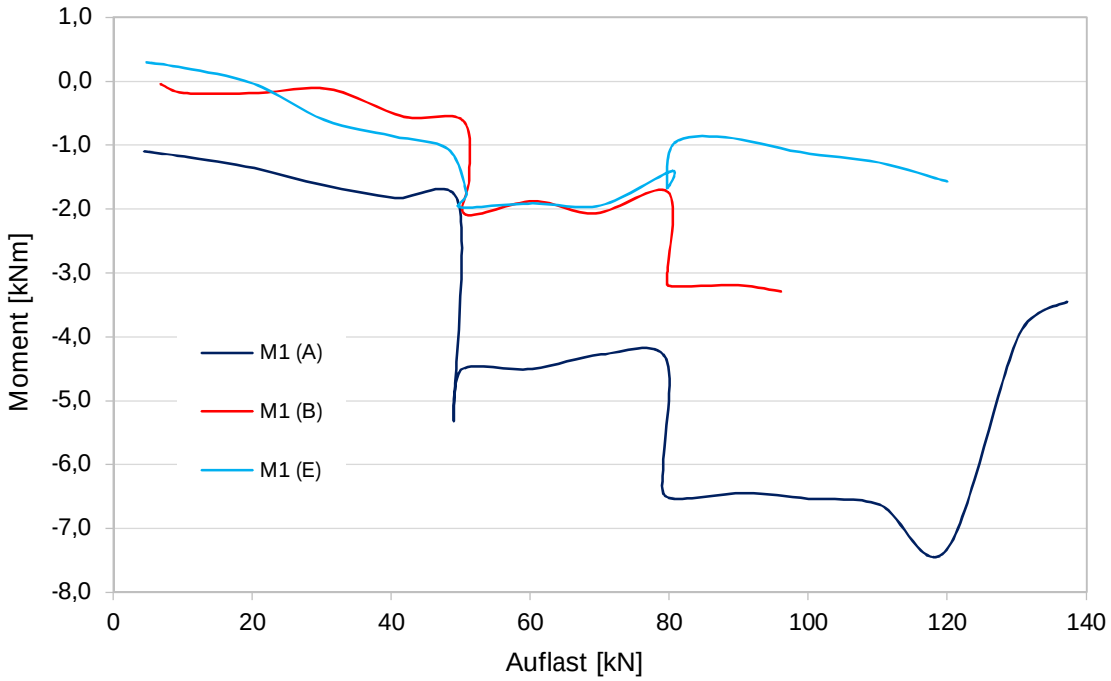


Bild A 76 Einspannmoment der Deckenplatte Serie W400

Anhang 5.3 Serie W425

Anhang 5.3.1 Messtechnik

Siehe Anhang 5.2.1.

Anhang 5.3.2 Belastungsregime

Tabelle A 84 Lastregime für Serie W425

Laststufe	Auflast F_1	N_{Decke}	Neigung		
			W425-A	W425-B	W425-C
	[kN]	[kN]	[°]	[°]	[°]
0	0	2,0	0,000	0,000	0,000
1	5	2,0	0,000	0,000	0,000
2	5	5,0	0,000	0,000	0,000
3	5	5,0	0,100	0,100	0,100
4	5	10,8	0,100	0,100	0,100
5	5	10,8	0,185	0,185	0,187
6	10	10,8	0,180	0,182	0,184
7	20	10,8	0,169	0,174	0,179
8	30	10,8	0,159	0,167	0,175
9	40	10,8	0,151	0,162	0,171
10	50	10,8	0,146	0,157	0,168
11	50	15,0	0,146	0,157	0,168
12	50	15,0	0,210	0,221	0,230
13	50	18,7	0,210	0,221	0,230
14	50	18,7	0,277	0,290	0,300
15	60	18,7	0,267	0,282	0,295
16	70	18,7	0,260	0,276	0,290
17	80	18,7	0,254	0,271	0,285
18	80	23,0	0,254	0,271	0,285
19	80	23,0	0,330	0,349	0,360
20	80	28,2	0,330	0,349	0,360
21	80	28,2	0,416	0,435	0,450
22	90	28,2	0,407	0,428	0,445
23	100	28,2	0,399	0,423	0,440
24	110	28,2	0,391	0,416	0,435
25	120	28,2	0,383	0,409	0,431
26	130	28,2	0,375	0,404	0,427
27	Bruch				

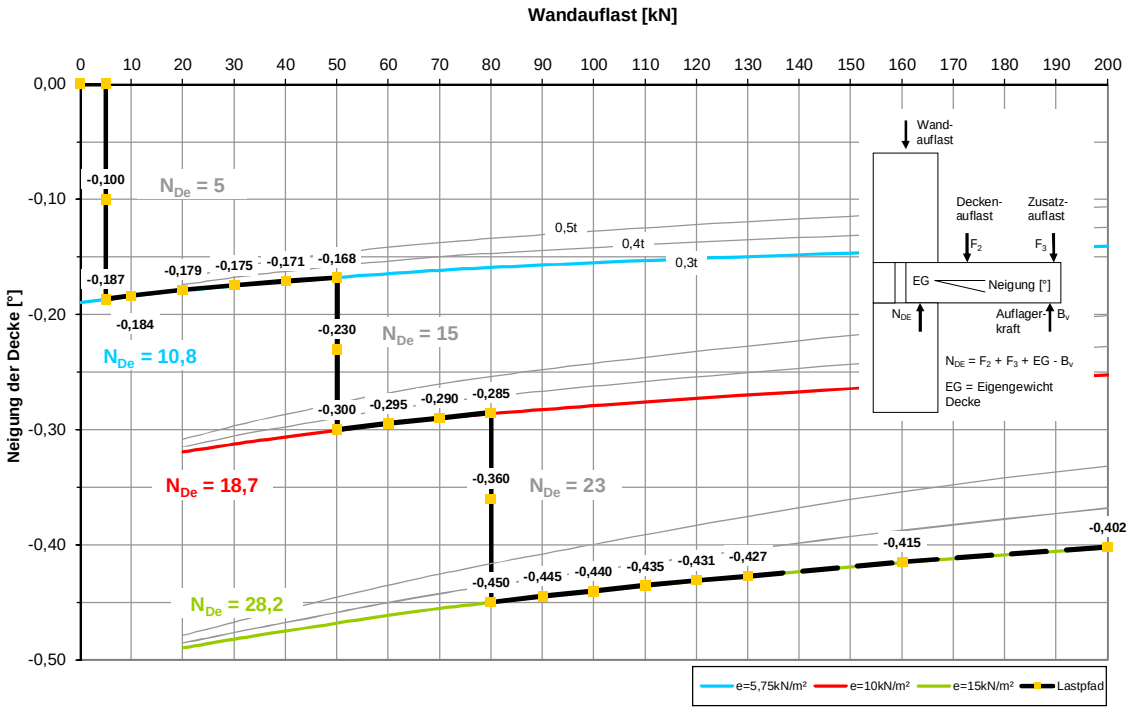


Bild A 77 Belastungsregime W425-C

Anhang 5.3.3 W425-A ($a = 0{,}5 \cdot t$)

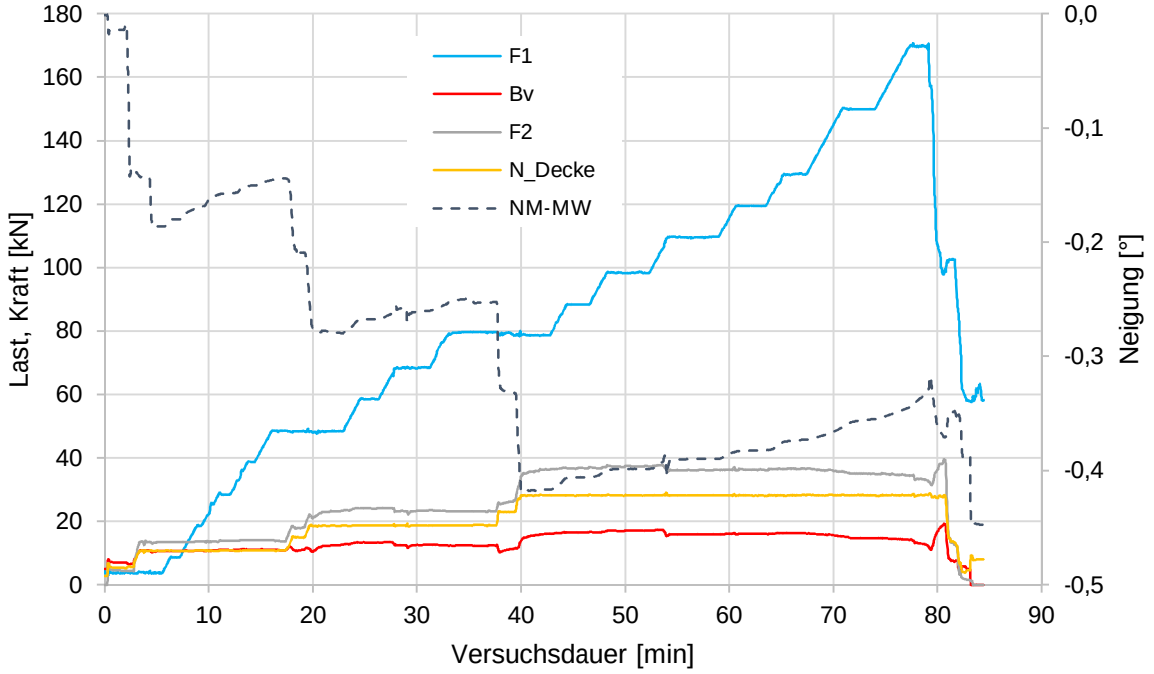


Bild A 78 Lasten, Reaktionskräfte und Deckenneigung in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W425-A)

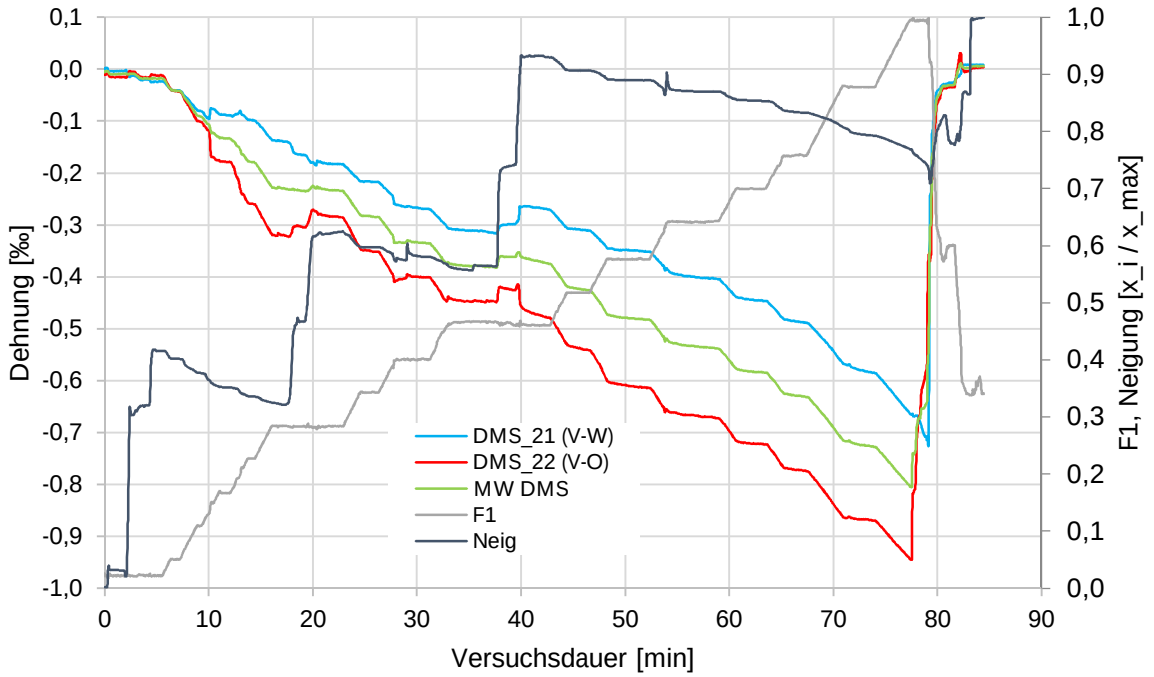


Bild A 79 Dehnungen am Vormauerstein sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.: Ist-Wert/Maximalwert) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W425-A)

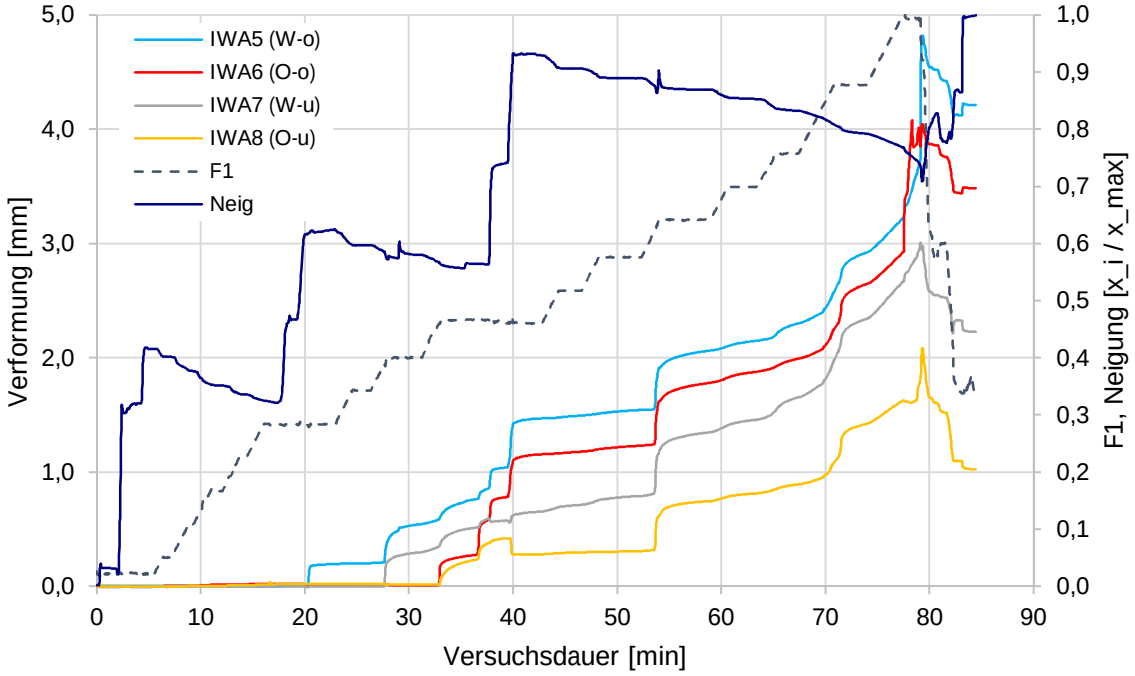


Bild A 80 Horizontale Verformungen (West/Ost) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W425-A)

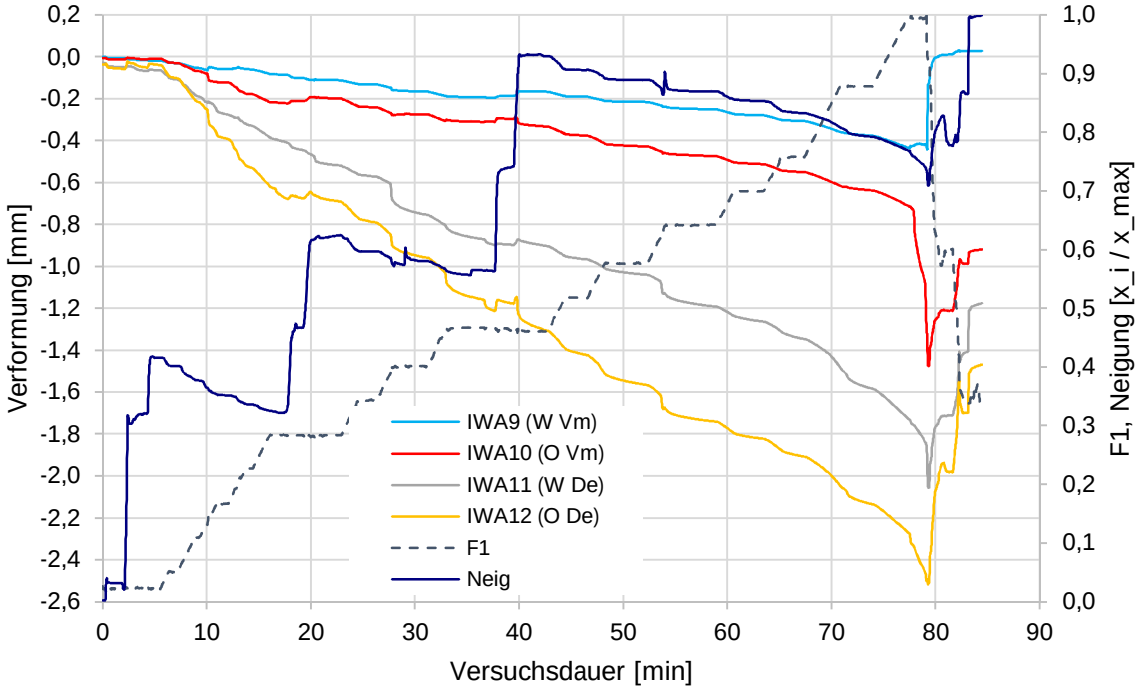


Bild A 81 Vertikale Verformungen (West/Ost) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W425-A)

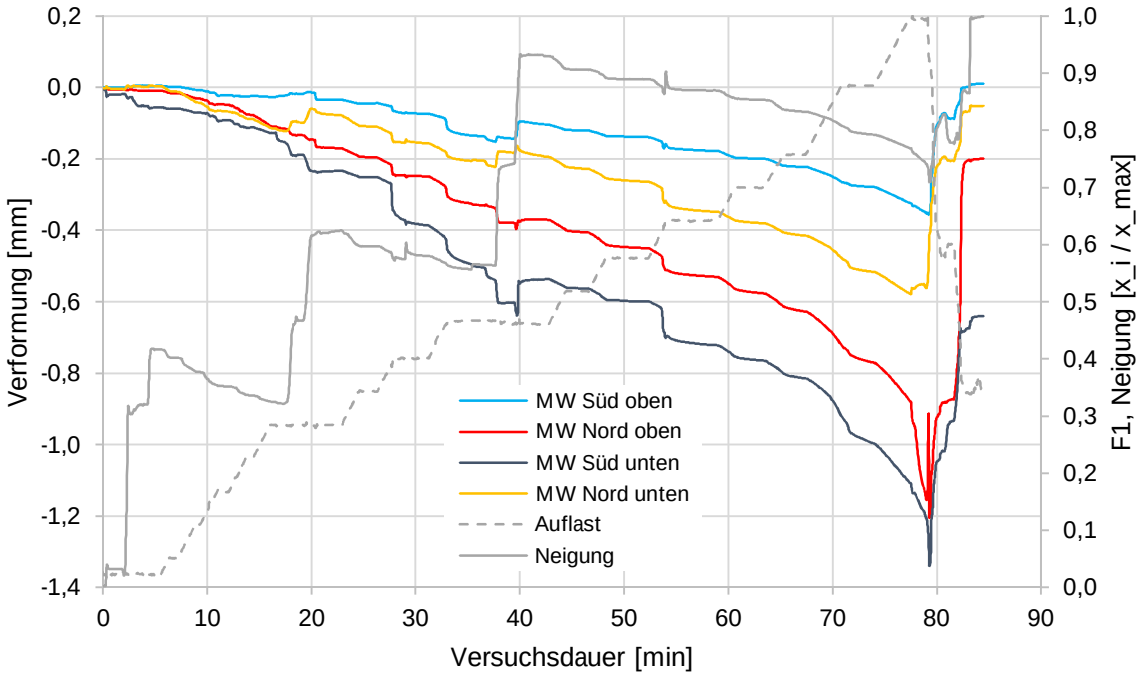


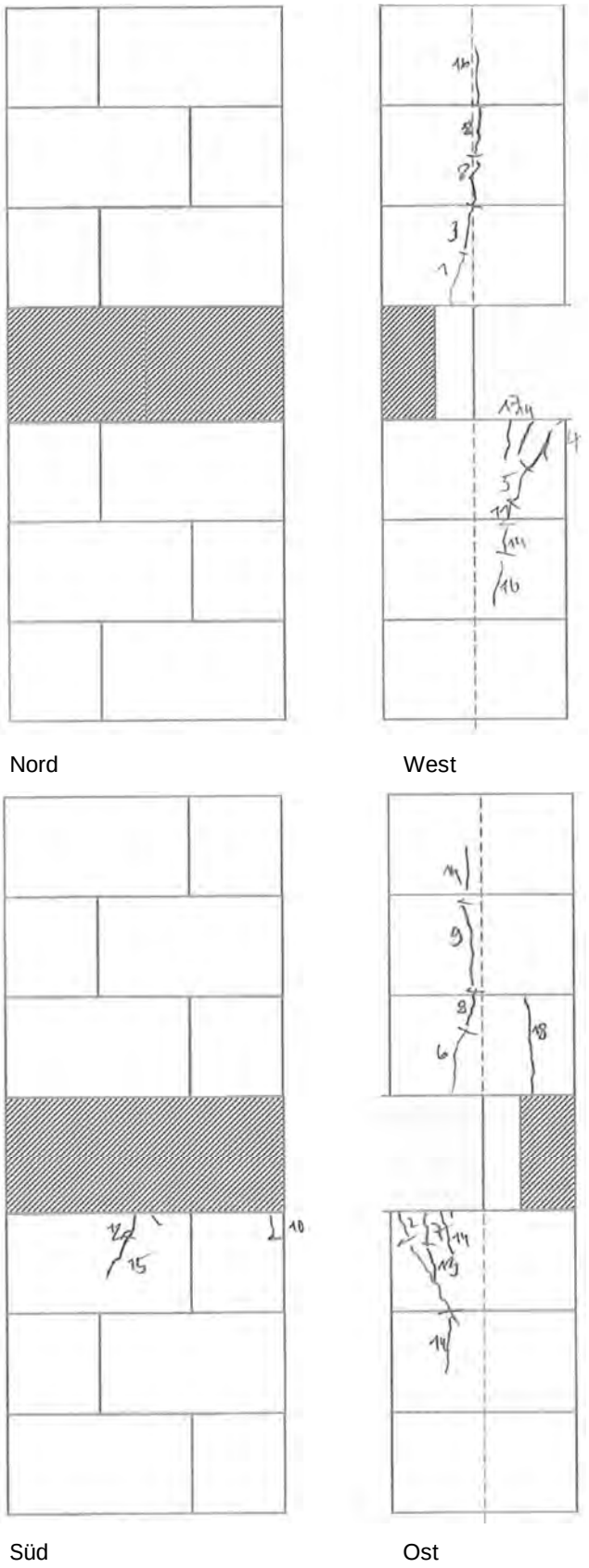
Bild A 82 Vertikale Verformungen (Nord/Süd) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W400-E)

F1	N_De	No	F1 / N_De	Vm (A)	De (A)	De (No) (A)	Vm / F1 (A)	De / F1 (A)	Vm / No (A)	De / No (A)	M1 (A)	M2 (A)
4,084	5,882	9,966	0,694	1,197	2,887	8,769	0,293	0,707	0,120	0,880	-0,711	-0,088
10,286	10,771	21,057	0,955	5,755	4,531	15,301	0,560	0,440	0,273	0,727	-0,634	0,508
19,970	10,825	30,795	1,845	11,768	8,203	19,028	0,589	0,411	0,382	0,618	-0,622	0,525
29,995	10,820	40,816	2,772	16,930	13,065	23,886	0,564	0,436	0,415	0,585	-0,506	0,641
40,184	10,817	51,001	3,715	22,652	17,532	28,349	0,564	0,436	0,444	0,556	-0,412	0,734
48,547	10,725	59,272	4,527	27,905	20,642	31,366	0,575	0,425	0,471	0,529	-0,436	0,701
48,478	14,863	63,341	3,262	28,570	19,908	34,771	0,589	0,411	0,451	0,549	-2,307	-0,732
49,978	18,663	68,641	2,678	29,347	20,631	39,294	0,587	0,413	0,428	0,572	-3,054	-1,076
60,263	18,716	78,978	3,220	35,451	24,812	43,528	0,588	0,412	0,449	0,551	-2,831	-0,847
70,170	18,771	88,941	3,738	41,598	28,573	47,343	0,593	0,407	0,468	0,532	-3,221	-1,231
79,541	18,694	98,235	4,255	45,895	33,646	52,340	0,577	0,423	0,467	0,533	-3,345	-1,364
79,211	23,008	102,219	3,443	44,006	35,205	58,213	0,556	0,444	0,431	0,569	-6,168	-3,729
81,169	28,244	109,413	2,874	46,788	34,380	62,625	0,576	0,424	0,428	0,572	-5,608	-2,614
90,352	28,276	118,628	3,195	52,575	37,777	66,053	0,582	0,418	0,443	0,557	-5,430	-2,433
100,017	28,242	128,259	3,541	59,351	40,666	68,908	0,593	0,407	0,463	0,537	-5,140	-2,147
110,153	28,158	138,311	3,912	65,676	44,477	72,636	0,596	0,404	0,475	0,525	-5,716	-2,731
119,948	28,118	148,067	4,266	71,217	48,731	76,849	0,594	0,406	0,481	0,519	-5,679	-2,698
129,891	28,353	158,243	4,581	76,957	52,934	81,286	0,592	0,408	0,486	0,514	-5,684	-2,679
140,244	28,109	168,353	4,989	81,587	58,657	86,766	0,582	0,418	0,485	0,515	-5,790	-2,811
150,159	28,405	178,565	5,286	86,889	63,270	91,676	0,579	0,421	0,487	0,513	-6,177	-3,166
159,994	28,415	188,408	5,631	93,141	66,853	95,268	0,582	0,418	0,494	0,506	-6,591	-3,579
170,439	28,348	198,787	6,012	66,229	104,210	132,558	0,389	0,611	0,333	0,667	-7,818	-4,813

Dabei sind:

F1	Wandauflast in [kN]
N_De	Deckenauflagerkraft am Wand-Decken-Knoten in [kN]
No	Resultierende Normalkraft am Wandkopf mit No = F1 + N_De in [kN]
F1 / N_De	Verhältnis Wandauflast zu Deckenauflagerkraft [-]
Vm (i)	Lastanteil Vormauerstein (Wandauflast) in [kN]
De (i)	Lastanteil Deckenauflager (Wandauflast) in [kN]
De (No) (i)	Lastanteil Deckenauflager (gesamt) in [kN]
i / F1	Verhältnis Lastanteil i zu Wandauflast [-]
i / No	Verhältnis Lastanteil i zu No [-]
M1 (i)	Einspannmoment Auflagerkante in [kNm]
M2 (i)	Einspannmoment halbe Auflagertiefe in [kNm]

Bild A 83 Experimentell bestimmte Lastspreizung zwischen Vormauerstein und Deckenauflager (W425-A)



Riss-Nr.	Last [kN]
1	50 (II)
2	60
3, 4	70
5, 6, 7	80 (0)
8	80 (I)
9, 10	80 (II)
11, 12, 13	100
14	110
15	130
16, 17	150
18	170

Bild A 84 Risskartierung W425-A

Anhang 5.3.4 W425-B ($a = 0{,}4 \cdot t$)

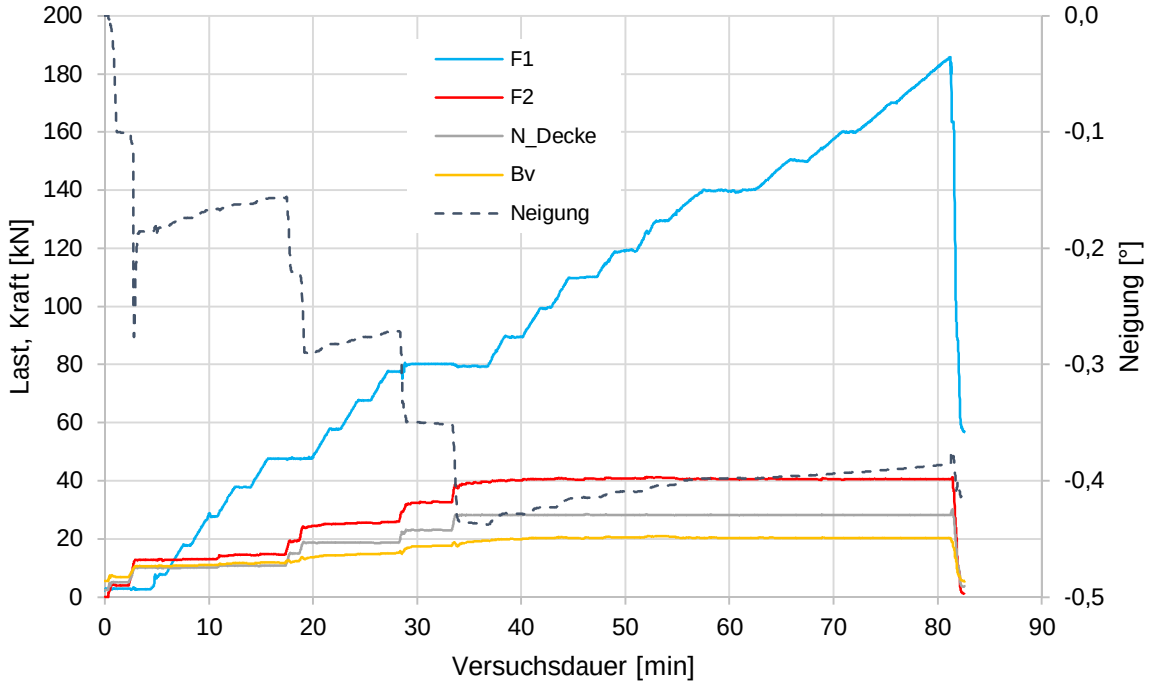


Bild A 85 Lasten, Reaktionskräfte und Deckenneigung in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W425-B)

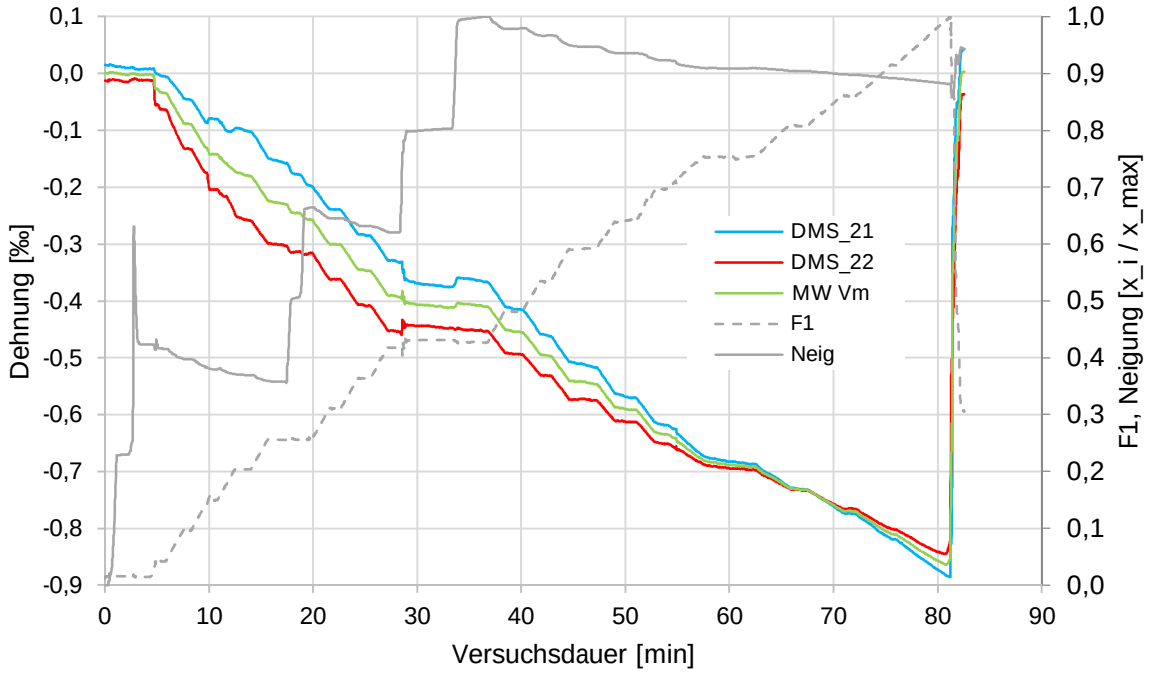


Bild A 86 Dehnungen am Vormauerstein sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.: Ist-Wert/Maximalwert) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W425-B)

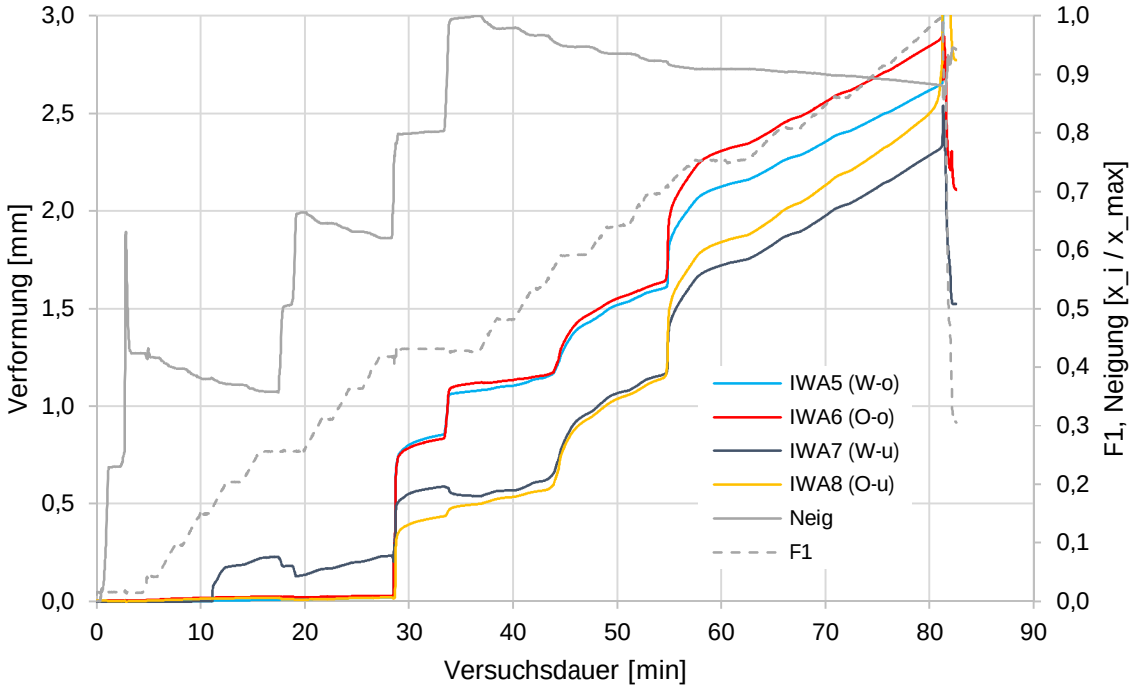


Bild A 87 Horizontale Verformungen (West/Ost) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W425-B)

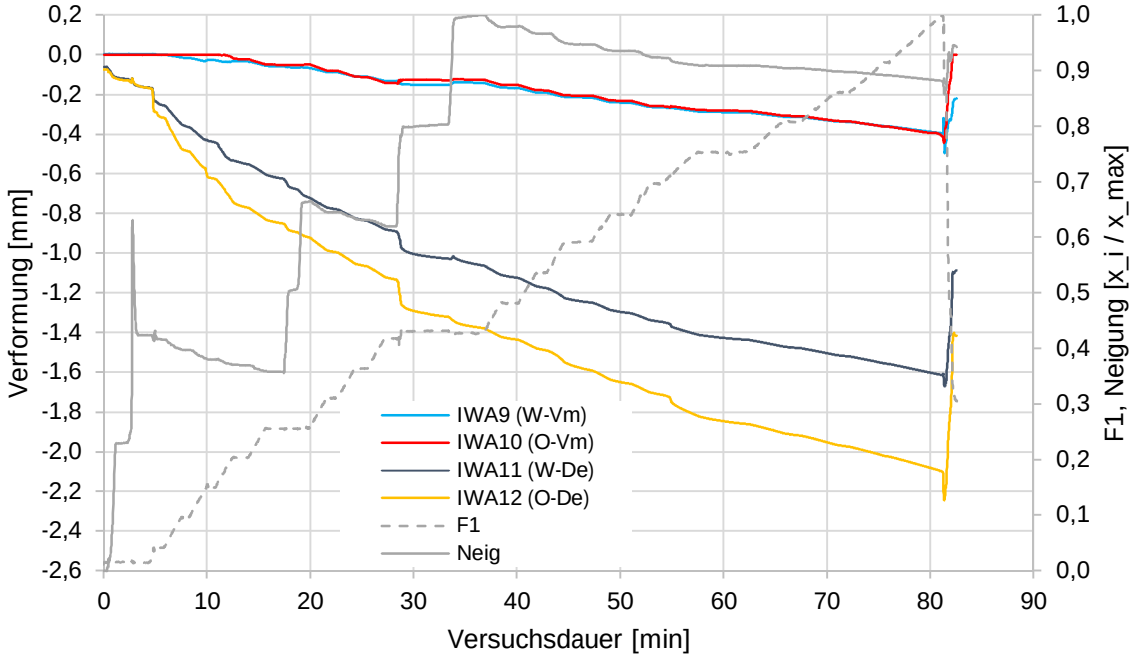


Bild A 88 Vertikale Verformungen (West/Ost) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W425-B)

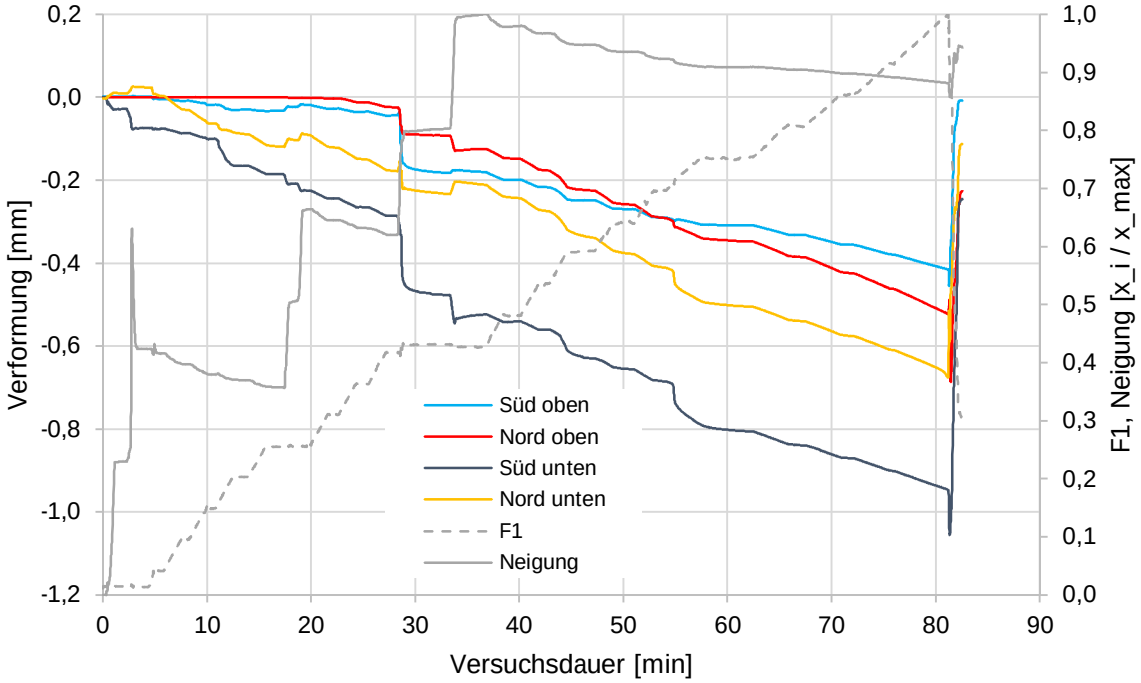


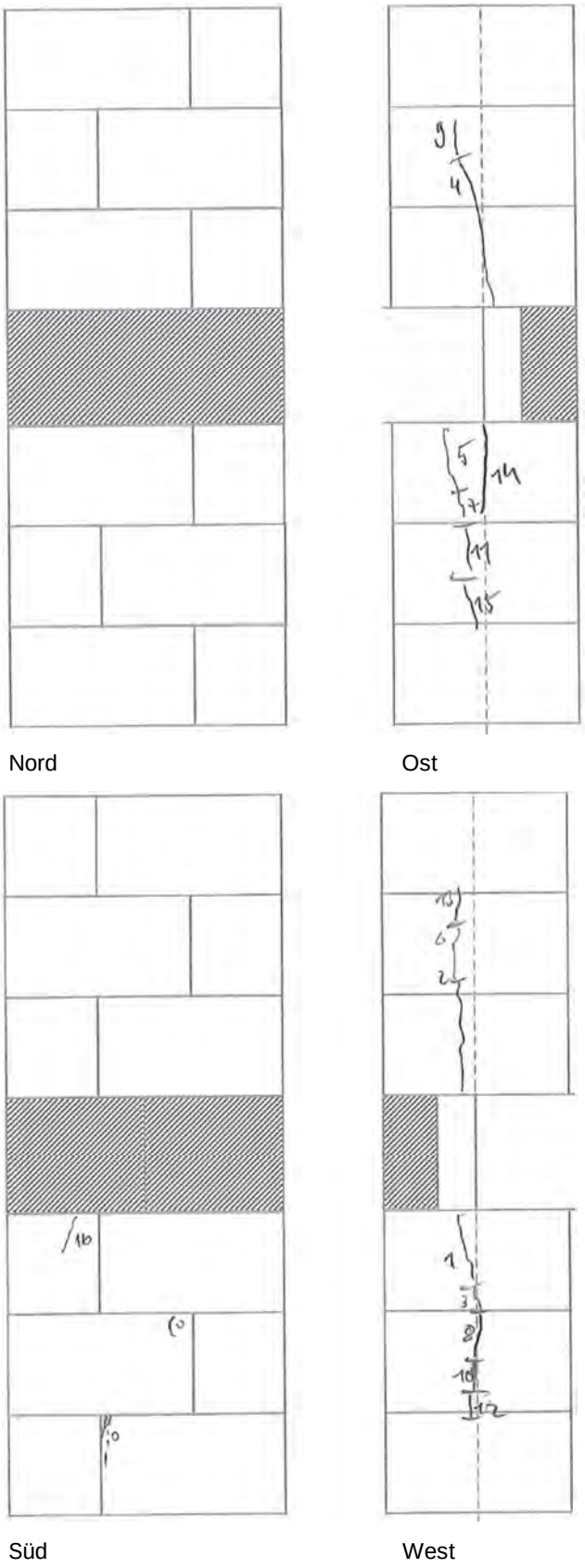
Bild A 89 Vertikale Verformungen (Nord/Süd) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W400-E)

F1	N_De	No	F1 / N_De	Vm (B)	De (B)	De (No) (B)	Vm / F1 (B)	De / F1 (B)	Vm / No (B)	De / No (B)	M1 (B)	M2 (B)
2,580	10,058	12,638	0,256	0,143	2,437	12,495	0,055	0,945	0,011	0,989	0,113	0,968
10,066	10,011	20,077	1,005	5,299	4,767	14,778	0,526	0,474	0,264	0,736	0,172	1,023
20,069	10,093	30,162	1,988	11,944	8,125	18,218	0,595	0,405	0,396	0,604	0,218	1,076
30,081	10,874	40,955	2,766	18,178	11,903	22,777	0,604	0,396	0,444	0,556	0,153	1,078
40,064	10,798	50,862	3,710	22,889	17,175	27,973	0,571	0,429	0,450	0,550	0,356	1,274
47,547	10,793	58,340	4,405	27,308	20,238	31,031	0,574	0,426	0,468	0,532	0,518	1,435
47,550	14,944	62,494	3,182	29,494	18,056	32,999	0,620	0,380	0,472	0,528	-1,189	0,081
50,094	18,599	68,692	2,693	32,670	17,424	36,023	0,652	0,348	0,476	0,524	-1,674	-0,093
60,047	18,651	78,698	3,219	37,649	22,398	41,049	0,627	0,373	0,478	0,522	-1,386	0,199
69,994	18,627	88,621	3,758	43,248	26,746	45,373	0,618	0,382	0,488	0,512	-1,176	0,407
77,650	18,685	96,335	4,156	47,502	30,148	48,834	0,612	0,388	0,493	0,507	-1,032	0,556
80,216	23,082	103,298	3,475	49,865	30,350	53,432	0,622	0,378	0,483	0,517	-1,416	0,546
80,052	28,185	108,237	2,840	50,092	29,959	58,145	0,626	0,374	0,463	0,537	-2,640	-0,244
90,075	28,391	118,466	3,173	55,621	34,454	62,845	0,617	0,383	0,470	0,530	-2,238	0,175
100,263	28,222	128,485	3,553	60,690	39,572	67,795	0,605	0,395	0,472	0,528	-2,065	0,334
110,000	28,134	138,134	3,910	65,966	44,034	72,168	0,600	0,400	0,478	0,522	-2,118	0,273
120,177	28,215	148,391	4,259	72,434	47,742	75,957	0,603	0,397	0,488	0,512	-1,910	0,489
130,047	28,139	158,186	4,622	77,523	52,524	80,663	0,596	0,404	0,490	0,510	-1,725	0,666
140,000	28,268	168,268	4,953	83,198	56,802	85,070	0,594	0,406	0,494	0,506	-2,034	0,369
150,041	28,185	178,226	5,323	88,687	61,353	89,538	0,591	0,409	0,498	0,502	-2,061	0,335
160,238	28,146	188,383	5,693	93,656	66,582	94,727	0,584	0,416	0,497	0,503	-2,082	0,310
170,117	28,218	198,336	6,029	98,540	71,578	99,796	0,579	0,421	0,497	0,503	-2,055	0,344
180,270	28,192	208,462	6,394	103,480	76,791	104,983	0,574	0,426	0,496	0,504	-2,042	0,355
185,925	28,169	214,094	6,600	103,989	81,936	110,105	0,559	0,441	0,486	0,514	-2,006	0,389

Dabei sind:

F1	Wandauflast in [kN]
N_De	Deckenauflagerkraft am Wand-Decken-Knoten in [kN]
No	Resultierende Normalkraft am Wandkopf mit No = F1 + N_De in [kN]
F1 / N_De	Verhältnis Wandauflast zu Deckenauflagerkraft [-]
Vm (i)	Lastanteil Vormauerstein (Wandauflast) in [kN]
De (i)	Lastanteil Deckenauflager (Wandauflast) in [kN]
De (No) (i)	Lastanteil Deckenauflager (gesamt) in [kN]
i / F1	Verhältnis Lastanteil i zu Wandauflast [-]
i / No	Verhältnis Lastanteil i zu No [-]
M1 (i)	Einspannmoment Auflagerkante in [kNm]
M2 (i)	Einspannmoment halbe Auflagertiefe in [kNm]

Bild A 90 Experimentell bestimmte Lastspreizung zwischen Vormauerstein und Deckenauflager (W425-B)



Riss-Nr.	Last [kN]
0	0
1	40
2, 3, 4, 5	80 (I)
6	80 (II)
7	90
8, 9	110
10, 11	120
12, 13, 14	140
15, 16	150

Bild A 91 Risskartierung W425-B

Anhang 5.3.5 W425-C ($a = 0{,}3 \cdot t$)

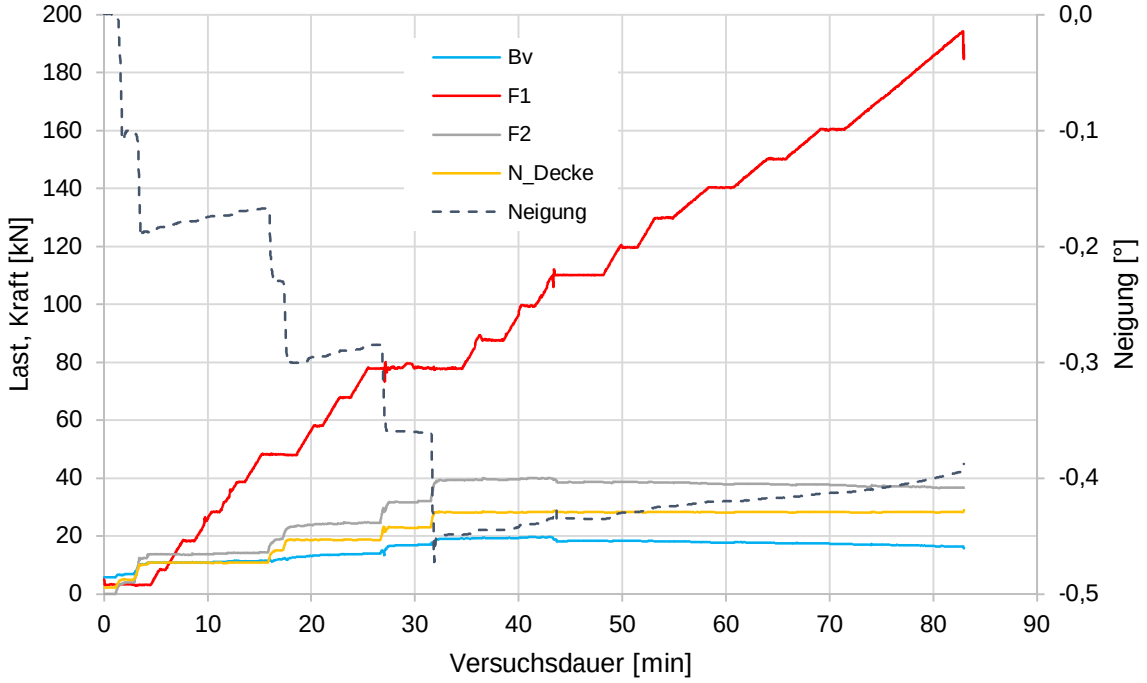


Bild A 92 Lasten, Reaktionskräfte und Deckenneigung in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W425-C)

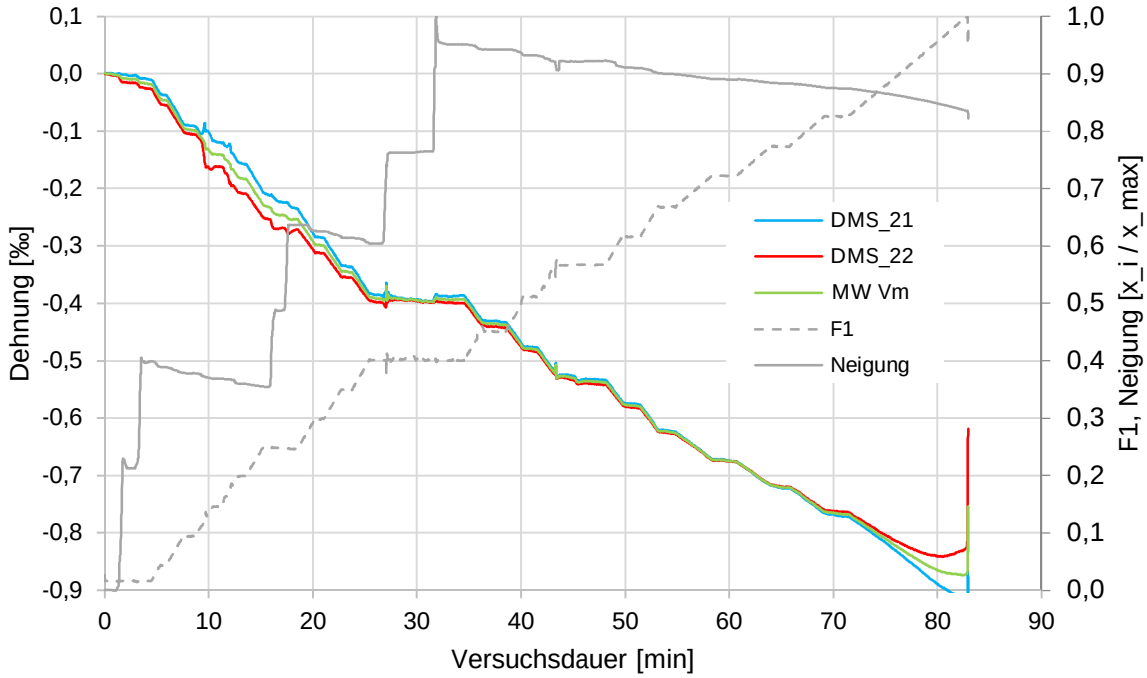


Bild A 93 Dehnungen am Vormauerstein sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.: Ist-Wert/Maximalwert) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W425-C)

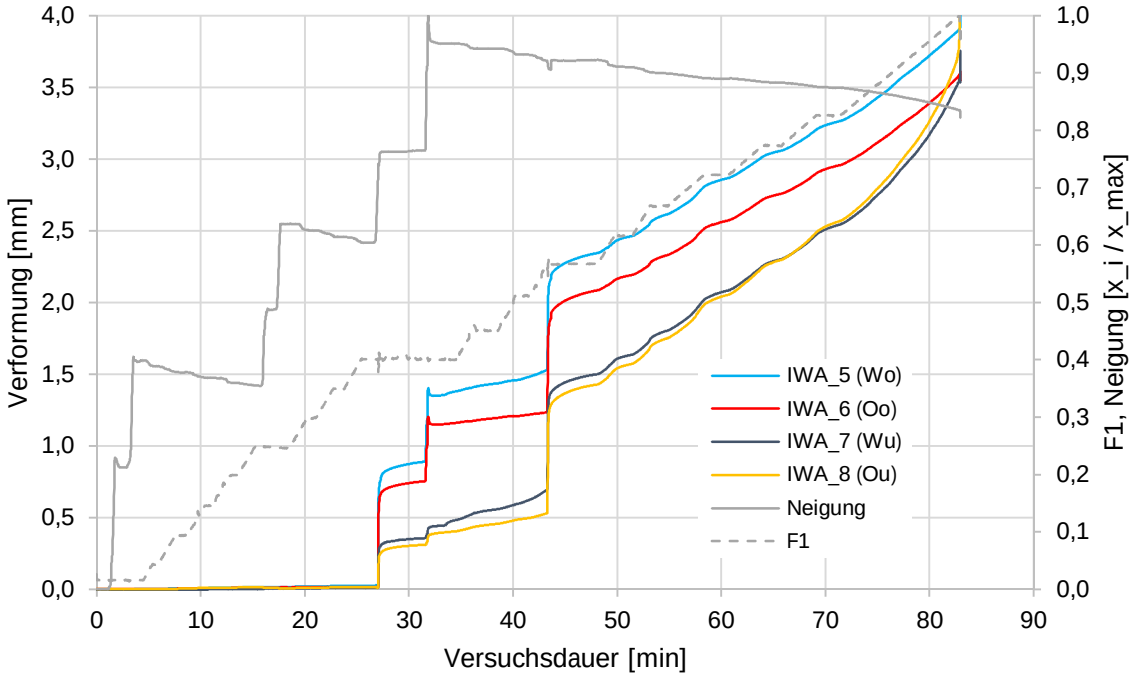


Bild A 94 Horizontale Verformungen (West/Ost) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W425-C)

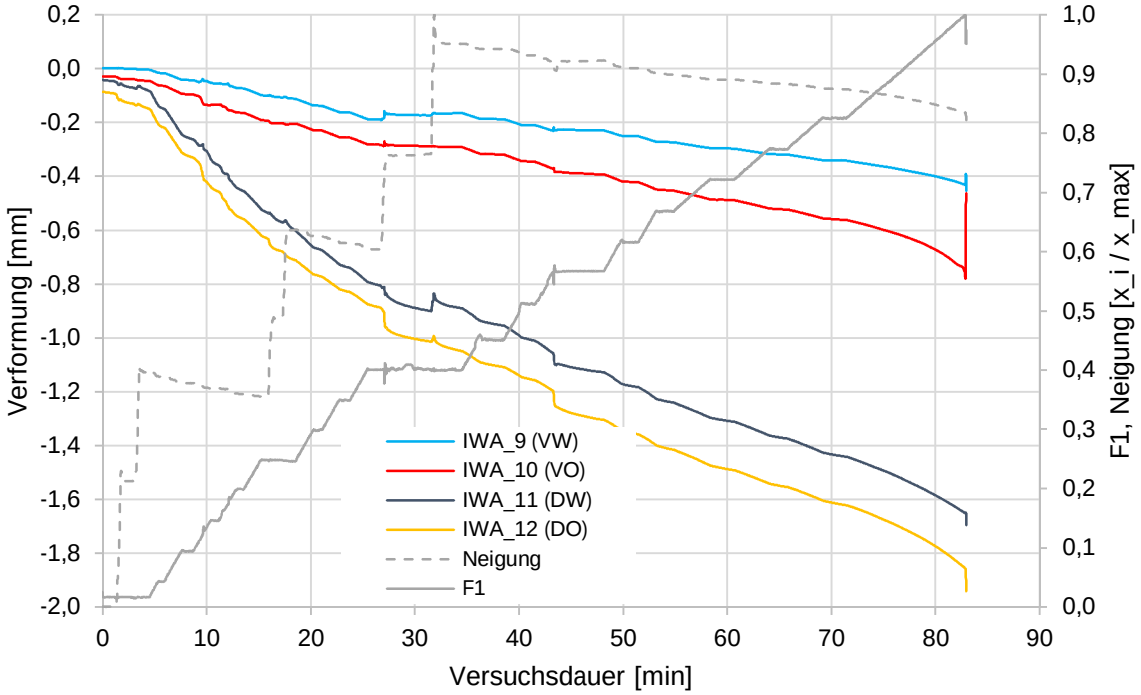


Bild A 95 Vertikale Verformungen (West/Ost) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W425-C)

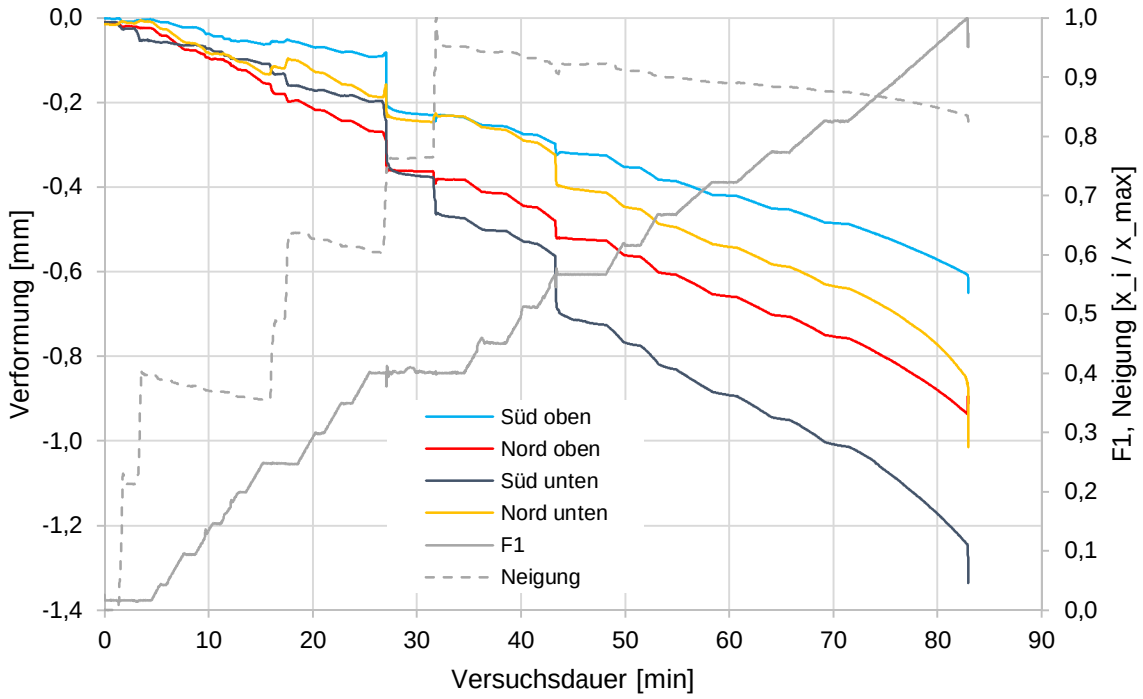


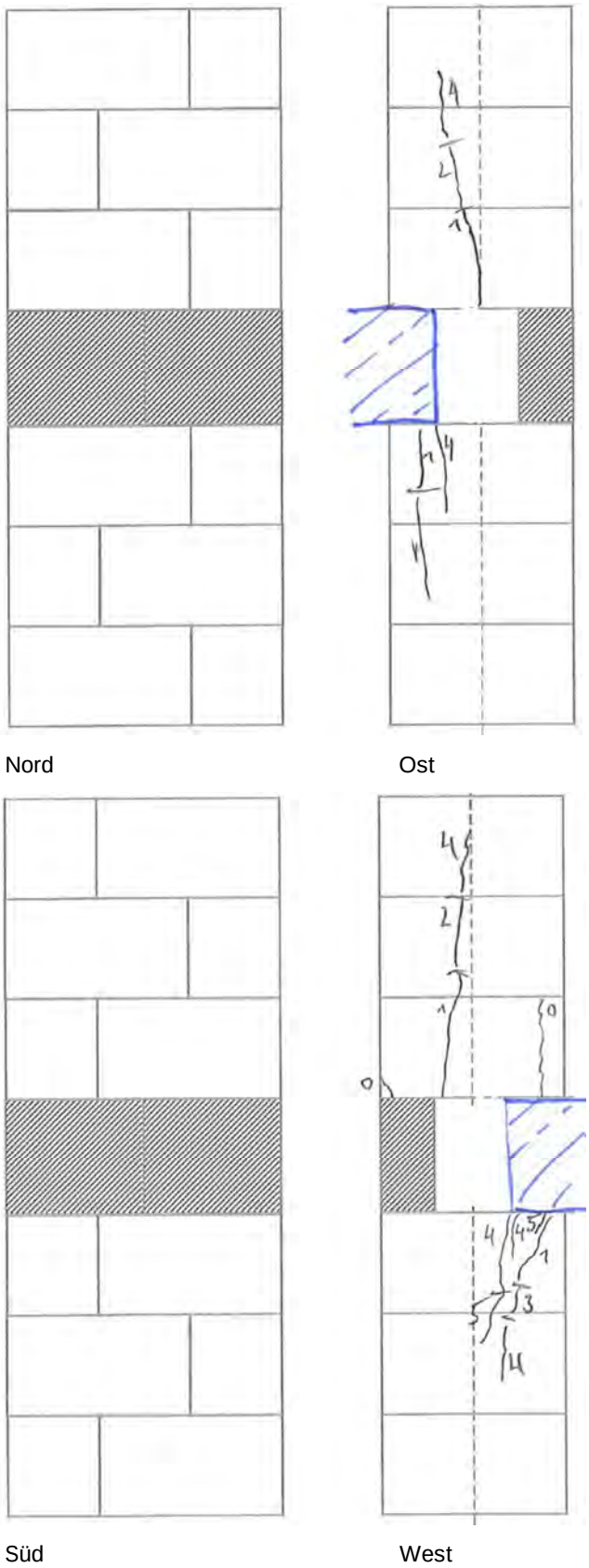
Bild A 96 Vertikale Verformungen (Nord/Süd) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W425-C)

F1	N_De	No	F1 / N_De	Vm (C)	De (C)	De (No) (C)	Vm / F1 (C)	De / F1 (C)	Vm / No (C)	De / No (C)	M1 (C)	M2 (C)
3,250	4,981	8,231	0,652	1,181	2,069	7,050	0,363	0,637	0,143	0,857	0,079	0,396
10,025	10,761	20,786	0,932	6,933	3,092	13,854	0,692	0,308	0,334	0,666	0,040	0,726
19,983	10,810	30,793	1,848	14,185	5,798	16,608	0,710	0,290	0,461	0,539	0,054	0,743
29,877	10,728	40,604	2,785	19,166	10,711	21,439	0,641	0,359	0,472	0,528	0,251	0,935
40,030	10,781	50,811	3,713	25,480	14,550	25,331	0,637	0,363	0,501	0,499	0,375	1,063
48,191	10,831	59,022	4,449	30,831	17,359	28,190	0,640	0,360	0,522	0,478	0,382	1,072
48,134	14,955	63,089	3,219	33,360	14,774	29,729	0,693	0,307	0,529	0,471	-1,050	-0,097
49,847	18,681	68,528	2,668	35,390	14,457	33,138	0,710	0,290	0,516	0,484	-2,016	-0,825
59,958	18,727	78,685	3,202	41,637	18,321	37,048	0,694	0,306	0,529	0,471	-1,660	-0,466
70,144	18,658	88,802	3,759	47,924	22,220	40,878	0,683	0,317	0,540	0,460	-1,495	-0,305
77,045	18,705	95,750	4,119	52,241	24,804	43,509	0,678	0,322	0,546	0,454	-1,379	-0,186
77,969	22,972	100,941	3,394	53,793	24,176	47,148	0,690	0,310	0,533	0,467	-1,253	0,212
80,114	28,134	108,248	2,848	54,348	25,766	53,900	0,678	0,322	0,502	0,498	-2,068	-0,275
90,059	28,146	118,206	3,200	60,362	29,697	57,844	0,670	0,330	0,511	0,489	-2,004	-0,210
100,173	28,316	128,489	3,538	65,422	34,752	63,068	0,653	0,347	0,509	0,491	-1,891	-0,085
110,009	28,352	138,361	3,880	71,293	38,717	67,068	0,648	0,352	0,515	0,485	-2,743	-0,935
120,322	28,204	148,526	4,266	78,791	41,531	69,736	0,655	0,345	0,530	0,470	-2,616	-0,818
130,280	28,191	158,471	4,621	84,885	45,395	73,586	0,652	0,348	0,536	0,464	-2,732	-0,935
140,141	28,226	168,367	4,965	90,835	49,306	77,532	0,648	0,352	0,540	0,460	-2,914	-1,114
150,031	28,288	178,319	5,304	96,886	53,145	81,433	0,646	0,354	0,543	0,457	-3,034	-1,231
160,030	28,320	188,350	5,651	103,032	56,998	85,318	0,644	0,356	0,547	0,453	-3,181	-1,376
170,123	28,163	198,286	6,041	109,225	60,899	89,062	0,642	0,358	0,551	0,449	-3,390	-1,594
180,103	28,247	208,350	6,376	114,554	65,549	93,795	0,636	0,364	0,550	0,450	-3,587	-1,786
190,180	28,244	218,424	6,733	117,896	72,284	100,528	0,620	0,380	0,540	0,460	-3,755	-1,954
194,197	28,282	222,478	6,867	117,863	76,333	104,615	0,607	0,393	0,530	0,470	-3,851	-2,048

Dabei sind:

F1	Wandauflast in [kN]
N_De	Deckenauflagerkraft am Wand-Decken-Knoten in [kN]
No	Resultierende Normalkraft am Wandkopf mit No = F1 + N_De in [kN]
F1 / N_De	Verhältnis Wandauflast zu Deckenauflagerkraft [-]
Vm (i)	Lastanteil Vormauerstein (Wandauflast) in [kN]
De (i)	Lastanteil Deckenauflager (Wandauflast) in [kN]
De (No) (i)	Lastanteil Deckenauflager (gesamt) in [kN]
i / F1	Verhältnis Lastanteil i zu Wandauflast [-]
i / No	Verhältnis Lastanteil i zu No [-]
M1 (i)	Einspannmoment Auflagerkante in [kNm]
M2 (i)	Einspannmoment halbe Auflagertiefe in [kNm]

Bild A 97 Experimentell bestimmte Lastspreizung zwischen Vormauerstein und Deckenauflager (W425-C)



Riss-Nr.	Last [kN]
0	0
1	80 (I)
2	80 (II)
3	90
4	110
5	140

Bild A 98 Risskartierung W425-C

Anhang 5.3.6 Einspannmoment der Deckenplatte

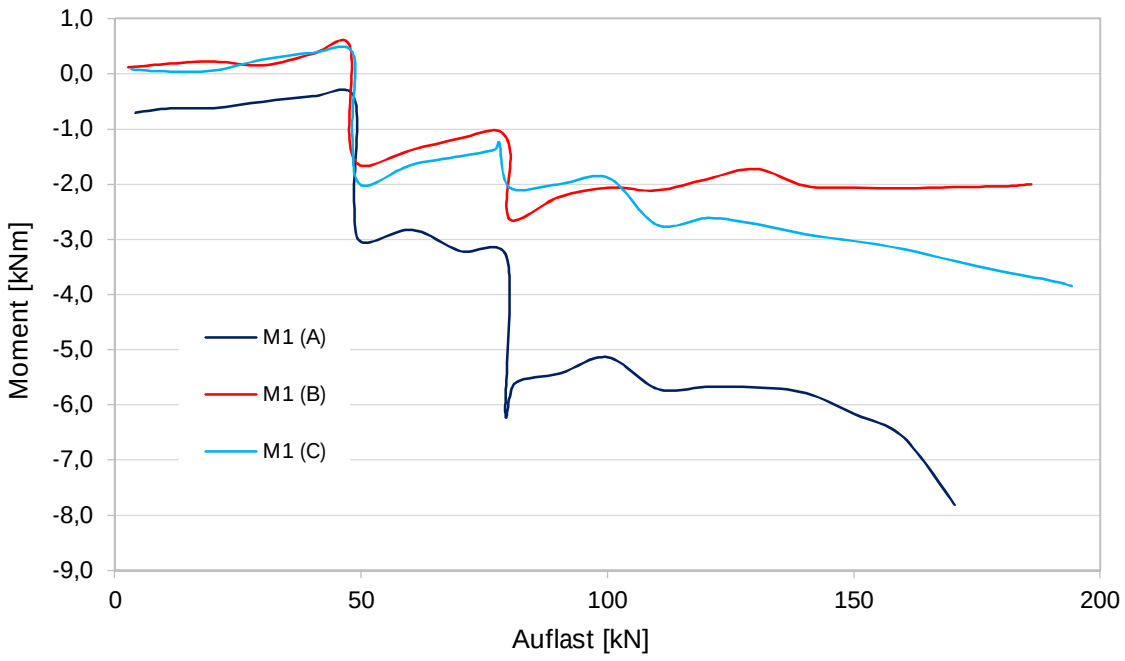


Bild A 99 Einspannmoment der Deckenplatte Serie W425

Anhang 5.4 Serie W480

Anhang 5.4.1 Messtechnik

Siehe Anhang 5.2.1.

Anhang 5.4.2 Belastungsregime

Tabelle A 85 Lastregime für Serie W480

Laststufe	Auflast F_1	N_{Decke}	Neigung		
			W480-D	W480-B	W480-C
	[kN]	[kN]	[°]	[°]	[°]
0	0	2,0	0,000	0,000	0,000
1	5	2,0	0,000	0,000	0,000
2	5	5,0	0,000	0,000	0,000
3	5	5,0	0,100	0,100	0,100
4	5	10,8	0,100	0,100	0,100
5	5	10,8	0,180	0,183	0,184
6	10	10,8	0,174	0,178	0,181
7	20	10,8	0,162	0,170	0,176
8	30	10,8	0,153	0,163	0,172
9	40	10,8	0,144	0,157	0,167
10	50	10,8	0,138	0,151	0,164
11	50	15,0	0,138	0,151	0,164
12	50	15,0	0,203	0,218	0,230
13	50	18,7	0,203	0,218	0,230
14	50	18,7	0,267	0,283	0,295
15	60	18,7	0,257	0,276	0,290
16	70	18,7	0,249	0,269	0,284
17	80	18,7	0,242	0,263	0,280
18	80	23,0	0,242	0,263	0,280
19	80	23,0	0,322	0,345	0,360
20	80	28,2	0,322	0,345	0,360
21	80	28,2	0,402	0,427	0,445
22	90	28,2	0,392	0,419	0,439
23	100	28,2	0,383	0,412	0,434
24	110	28,2	0,373	0,404	0,428
25	120	28,2	0,364	0,397	0,424
26	130	28,2	0,356	0,390	0,419
27	Bruch				

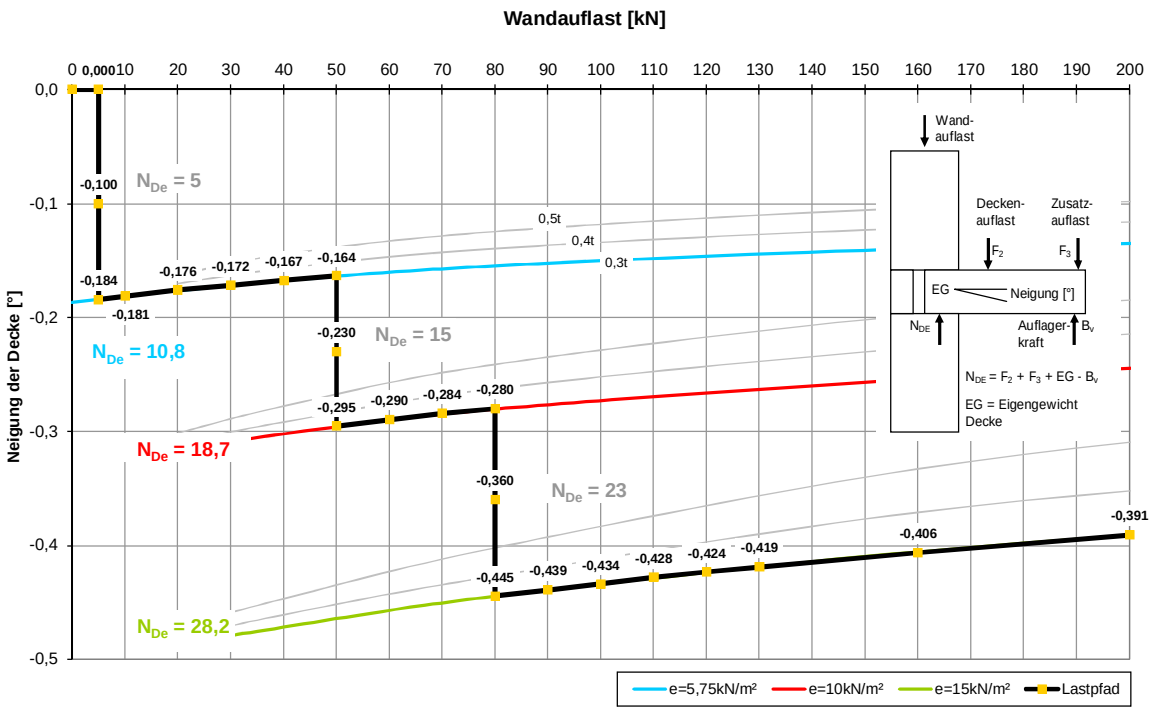


Bild A 100 Belastungsregime W480-C

Anhang 5.4.3 W480-D ($a = 0{,}5 \cdot t$)

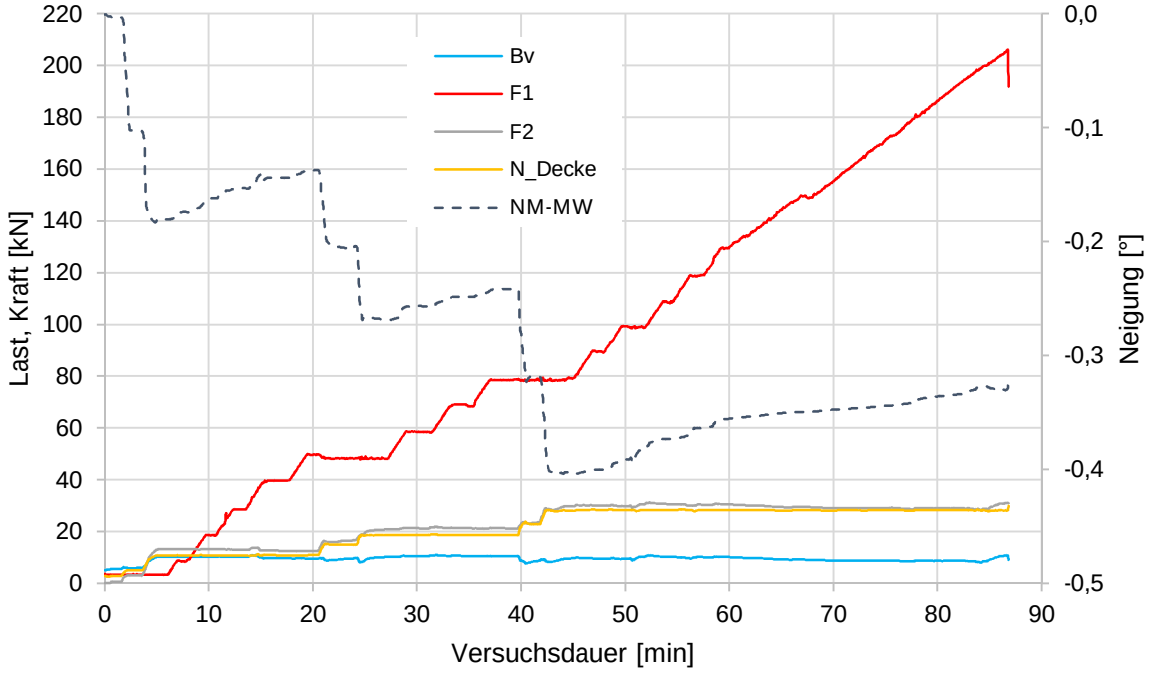


Bild A 101 Lasten, Reaktionskräfte und Deckenneigung in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W480-D)

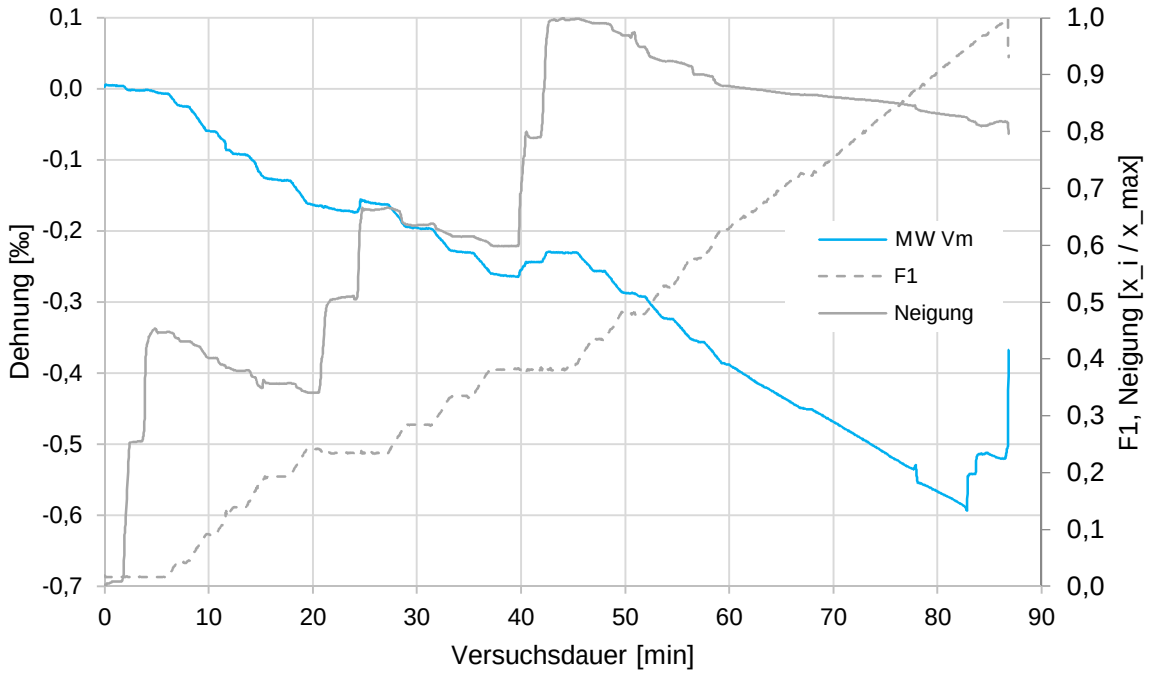


Bild A 102 Dehnungen am Vormauerstein sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.: Ist-Wert/Maximalwert) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W480-D)

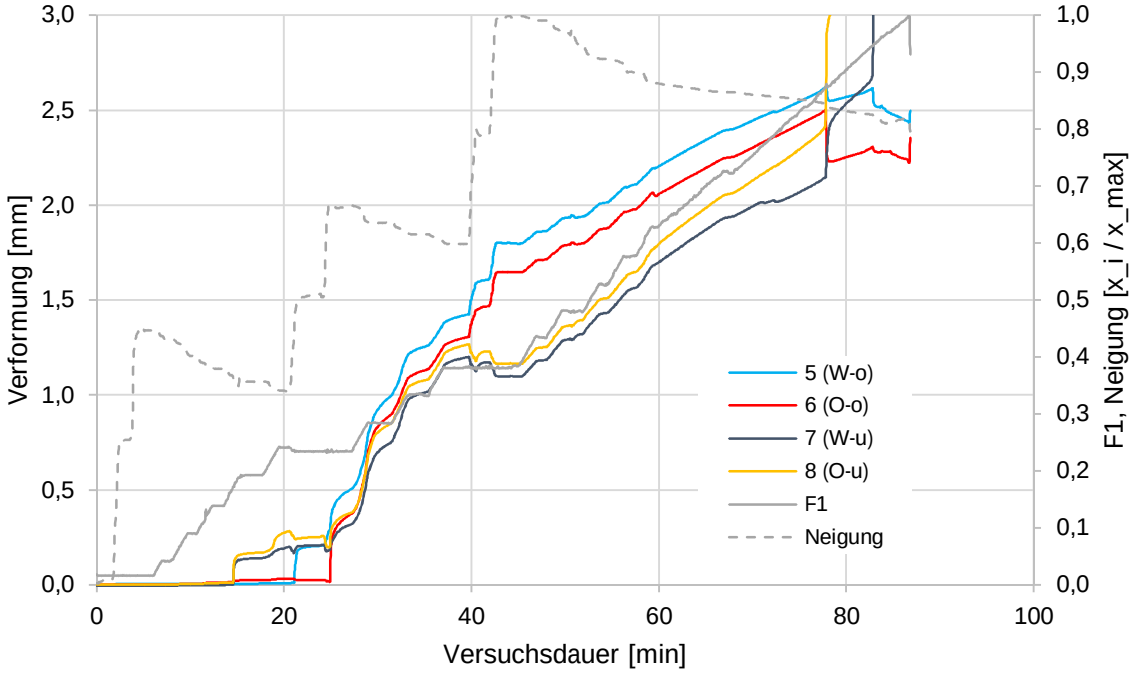


Bild A 103 Horizontale Verformungen (West/Ost) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W480-D)

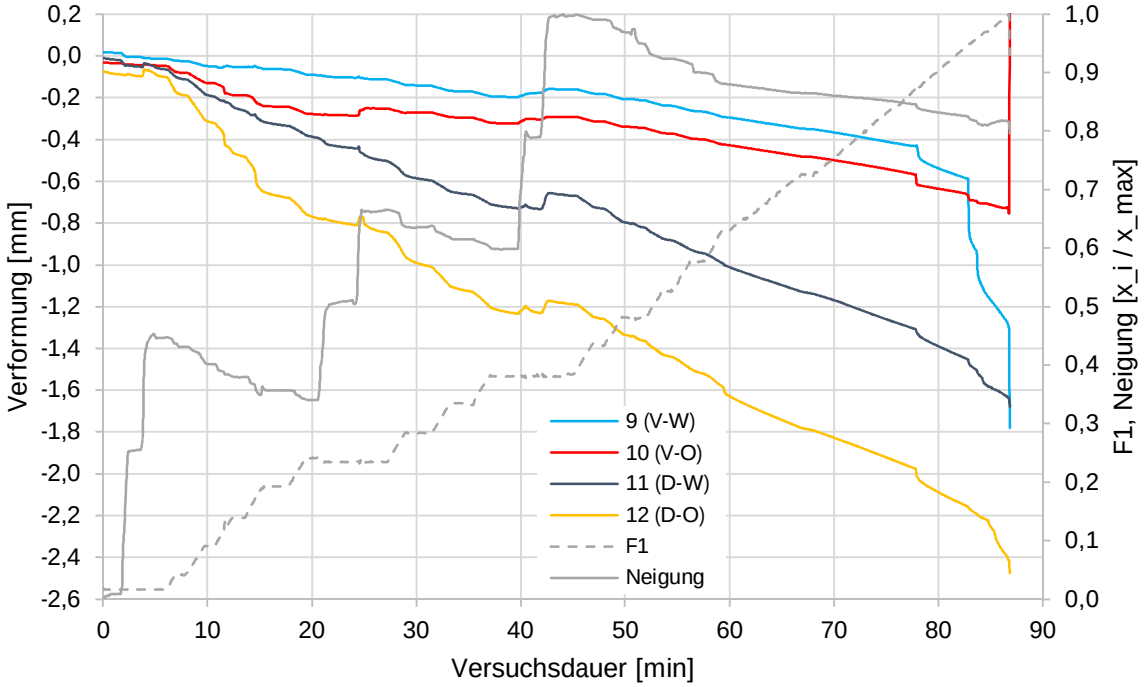


Bild A 104 Vertikale Verformungen (West/Ost) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W480-D)

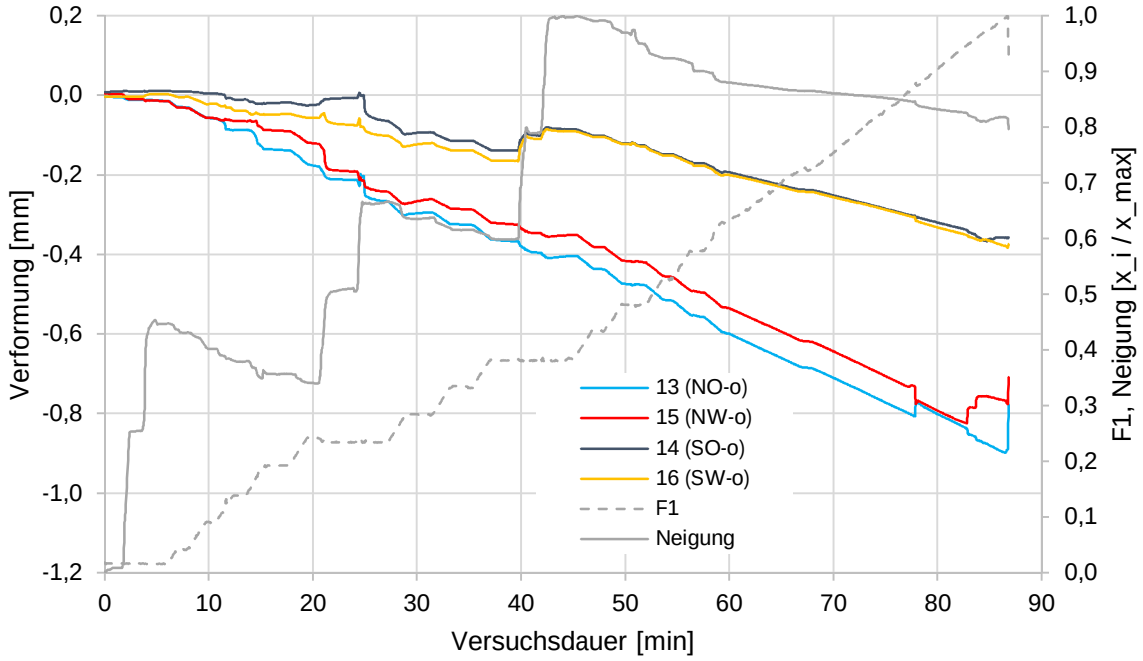


Bild A 105 Vertikale Verformungen obere Prüfkörperhälfte (Nord/Süd) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W480-D)

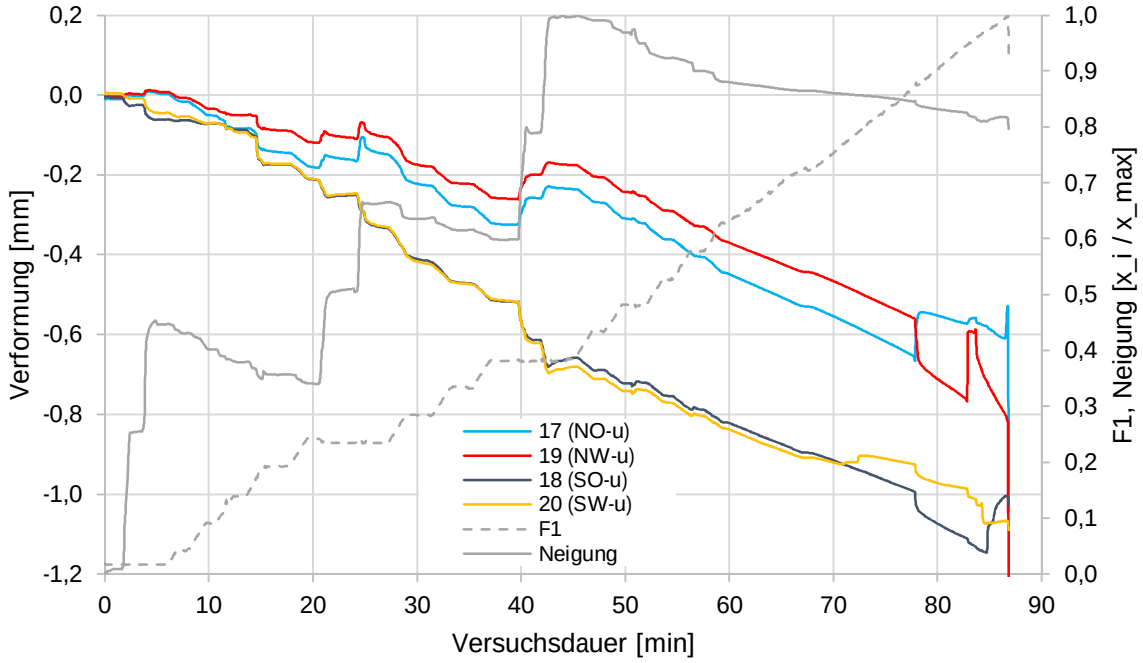


Bild A 106 Vertikale Verformungen untere Prüfkörperhälfte (Nord/Süd) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W480-D)

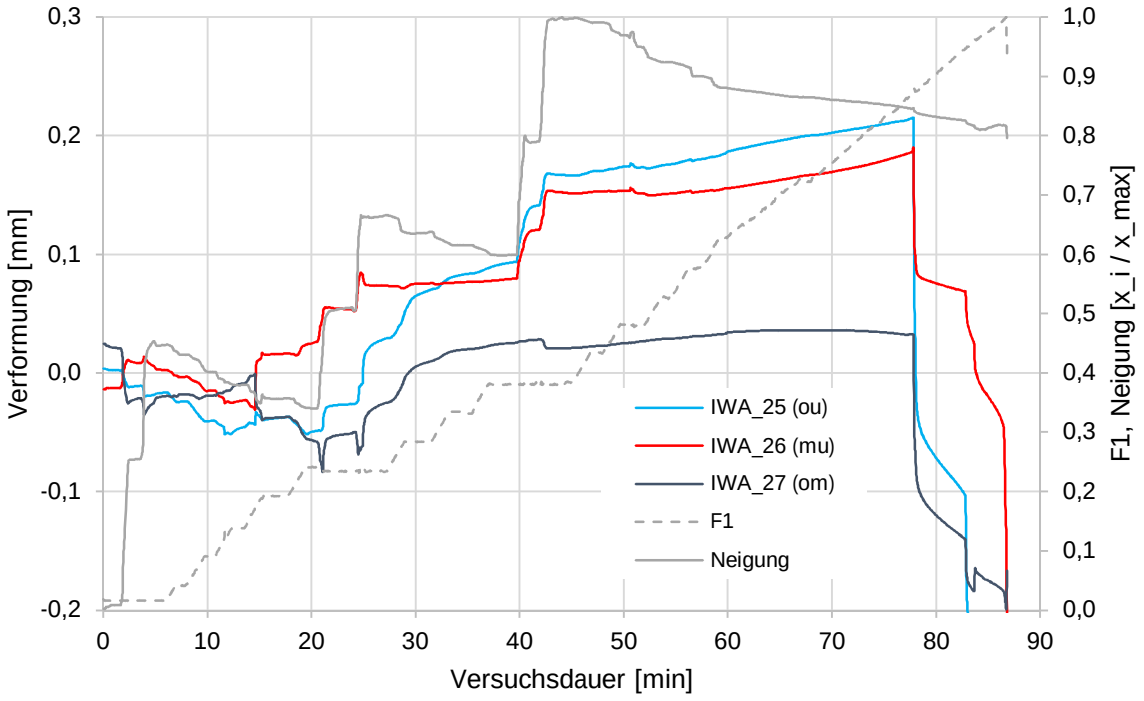


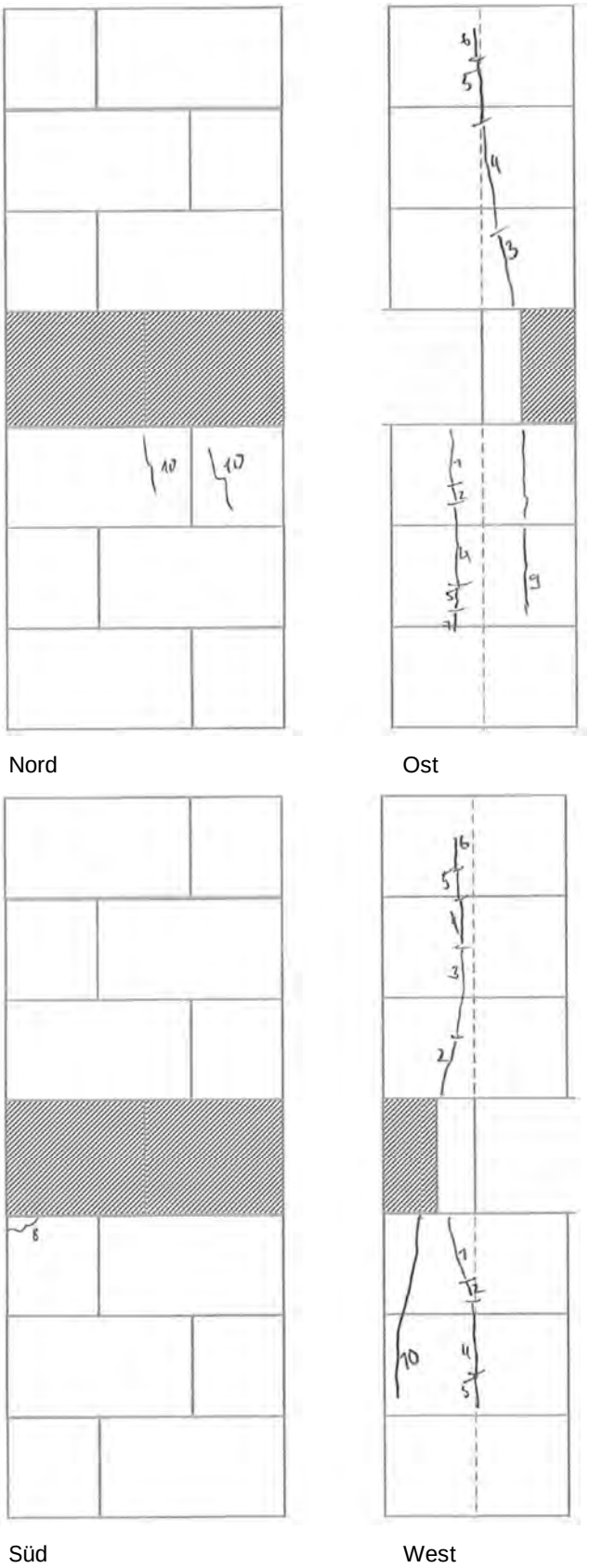
Bild A 107 Vertikale Verformungen von oberer zu unterer Prüfkörperhälfte (Nord) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W480-D)

F1	N_De	No	F1 / N_De	Vm (A)	De (A)	De (No) (A)	Vm / F1 (A)	De / F1 (A)	Vm / No (A)	De / No (A)	M1 (A)	M2 (A)
3,355	4,694	8,048	0,715	0,225	3,129	7,823	0,067	0,933	0,028	0,972	-0,298	0,265
9,986	10,831	20,816	0,922	3,729	6,257	17,088	0,373	0,627	0,179	0,821	-0,941	0,358
18,878	10,809	29,687	1,747	8,094	10,784	21,593	0,429	0,571	0,273	0,727	-0,912	0,385
28,627	10,777	39,404	2,656	12,164	16,463	27,240	0,425	0,575	0,309	0,691	-0,907	0,386
39,761	10,990	50,751	3,618	16,648	23,113	34,104	0,419	0,581	0,328	0,672	-1,276	0,043
49,998	10,884	60,882	4,594	21,484	28,514	39,398	0,430	0,570	0,353	0,647	-1,310	-0,004
50,067	18,688	68,755	2,679	22,241	27,826	46,514	0,444	0,556	0,323	0,677	-4,639	-2,396
58,636	18,715	77,351	3,133	25,947	32,689	51,404	0,443	0,557	0,335	0,665	-4,477	-2,231
69,002	18,770	87,771	3,676	30,304	38,698	57,467	0,439	0,561	0,345	0,655	-4,446	-2,194
78,442	18,757	97,199	4,182	34,603	43,839	62,596	0,441	0,559	0,356	0,644	-4,492	-2,241
78,658	22,888	101,546	3,437	32,388	46,270	69,158	0,412	0,588	0,319	0,681	-7,562	-4,815
80,441	28,244	108,685	2,848	30,623	49,817	78,061	0,381	0,619	0,282	0,718	-9,290	-5,901
89,886	28,333	118,218	3,173	34,193	55,693	84,025	0,380	0,620	0,289	0,711	-9,495	-6,095
100,147	28,324	128,471	3,536	39,560	60,587	88,911	0,395	0,605	0,308	0,692	-8,886	-5,487
110,195	28,383	138,578	3,883	43,555	66,641	95,023	0,395	0,605	0,314	0,686	-9,233	-5,827
119,991	28,211	148,202	4,253	47,730	72,260	100,471	0,398	0,602	0,322	0,678	-9,199	-5,813
130,139	28,310	158,449	4,597	51,757	78,382	106,693	0,398	0,602	0,327	0,673	-9,217	-5,820
140,109	28,241	168,351	4,961	55,995	84,115	112,356	0,400	0,600	0,333	0,667	-9,518	-6,129
149,900	28,249	178,149	5,306	60,149	89,751	118,000	0,401	0,599	0,338	0,662	-9,751	-6,361
159,916	28,223	188,139	5,666	63,910	96,005	124,229	0,400	0,600	0,340	0,660	-9,870	-6,483
169,813	28,275	198,087	6,006	67,850	101,962	130,237	0,400	0,600	0,343	0,657	-9,903	-6,510
179,861	28,314	208,174	6,352	70,702	109,159	137,473	0,393	0,607	0,340	0,660	-9,991	-6,593
189,802	28,243	218,045	6,720	76,454	113,347	141,591	0,403	0,597	0,351	0,649	-9,964	-6,575
200,084	28,148	228,232	7,108	68,108	131,976	160,124	0,340	0,660	0,298	0,702	-10,000	-6,623
206,063	28,165	234,228	7,316	66,891	139,172	167,337	0,325	0,675	0,286	0,714	-8,819	-5,439

Dabei sind:

F1	Wandauflast in [kN]
N_De	Deckenauflagerkraft am Wand-Decken-Knoten in [kN]
No	Resultierende Normalkraft am Wandkopf mit No = F1 + N_De in [kN]
F1 / N_De	Verhältnis Wandauflast zu Deckenauflagerkraft [-]
Vm (i)	Lastanteil Vormauerstein (Wandauflast) in [kN]
De (i)	Lastanteil Deckenauflager (Wandauflast) in [kN]
De (No) (i)	Lastanteil Deckenauflager (gesamt) in [kN]
i / F1	Verhältnis Lastanteil i zu Wandauflast [-]
i / No	Verhältnis Lastanteil i zu No [-]
M1 (i)	Einspannmoment Auflagerkante in [kNm]
M2 (i)	Einspannmoment halbe Auflagertiefe in [kNm]

Bild A 108 Experimentell bestimmte Lastspreizung zwischen Vormauerstein und Deckenauflager (W480-D)



Riss-Nr.	Last [kN]
1	40
2	50 (I)
3	50 (II)
4	60
5	70
6	80 (II)
7	140
8	160
9	180
10	195

Bild A 109 Risskartierung W480-D

Anhang 5.4.4 W480-B ($a = 0{,}4 \cdot t$)

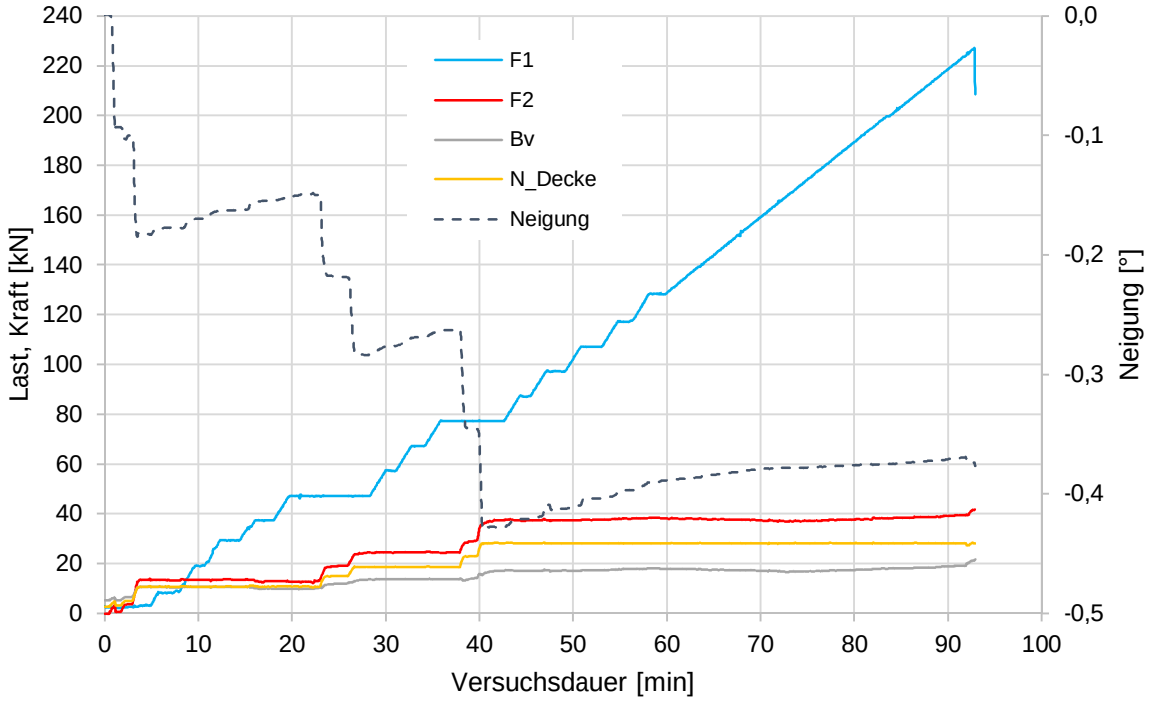


Bild A 110 Lasten, Reaktionskräfte und Deckenneigung in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W480-B)

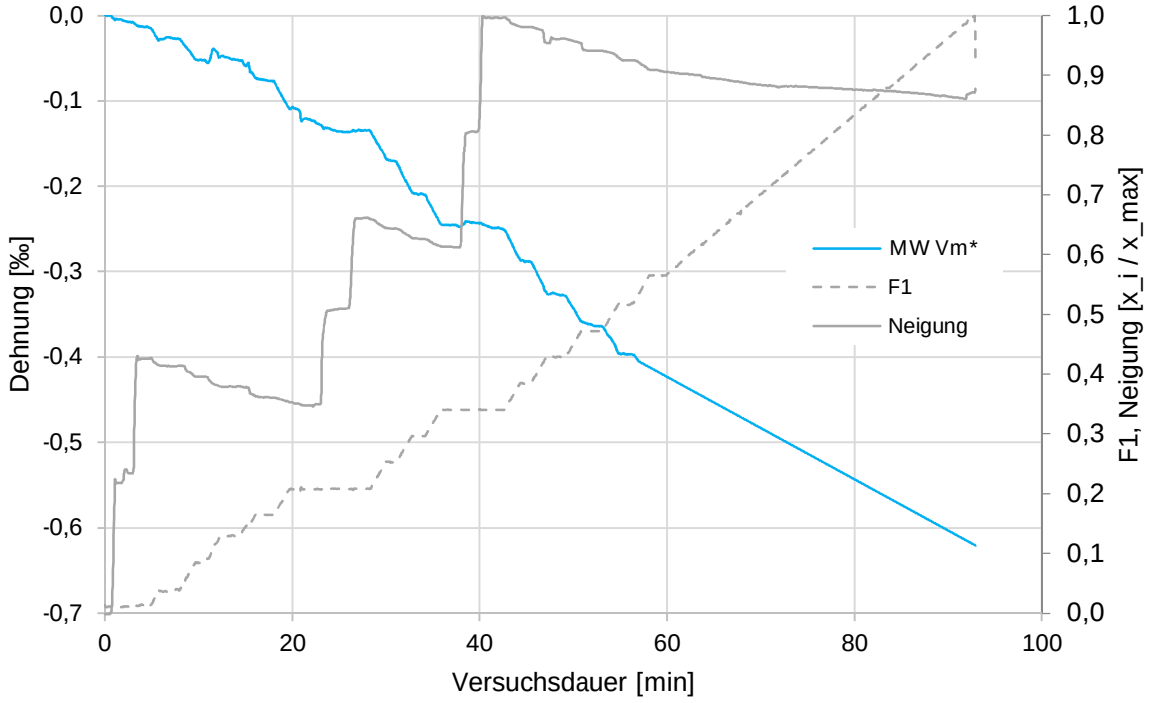


Bild A 111 Dehnungen am Vormauerstein sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.: Ist-Wert/Maximalwert) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W480-B)

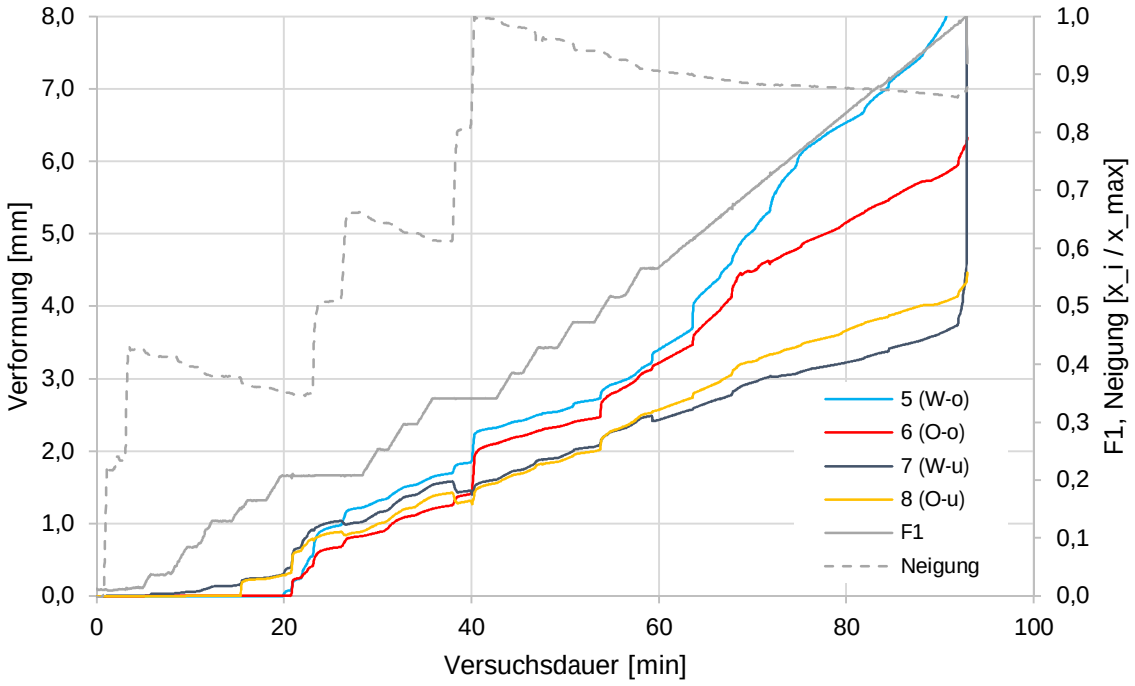


Bild A 112 Horizontale Verformungen (West/Ost) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W480-B)

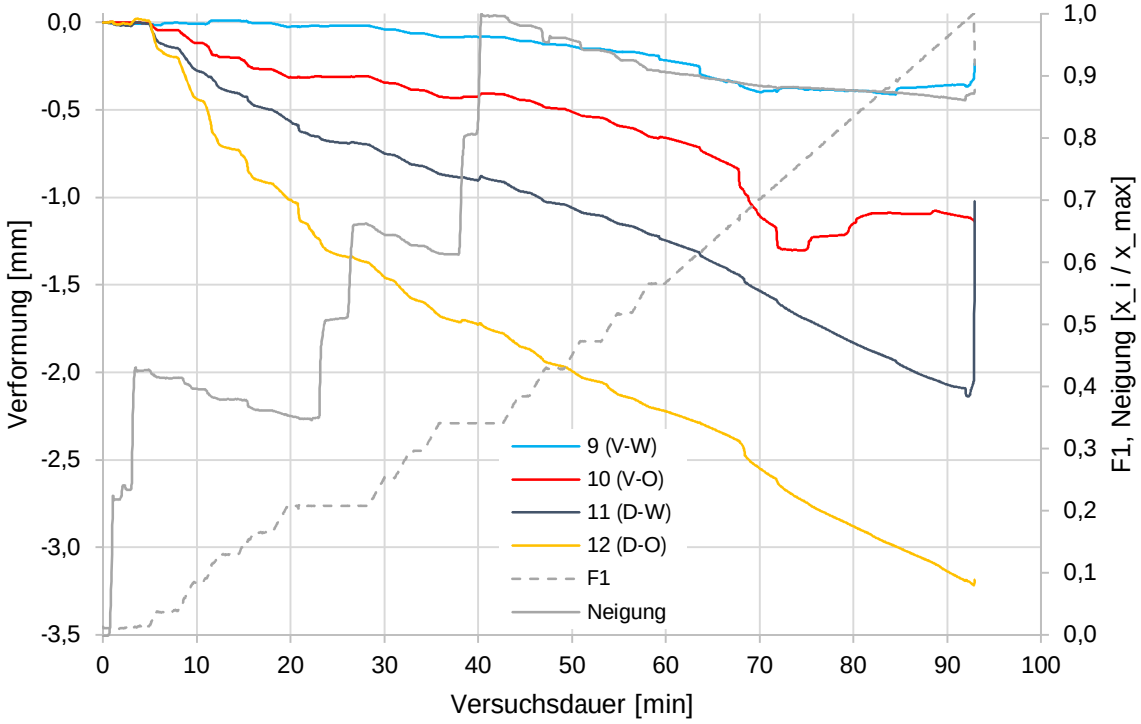


Bild A 113 Vertikale Verformungen (West/Ost) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W480-B)

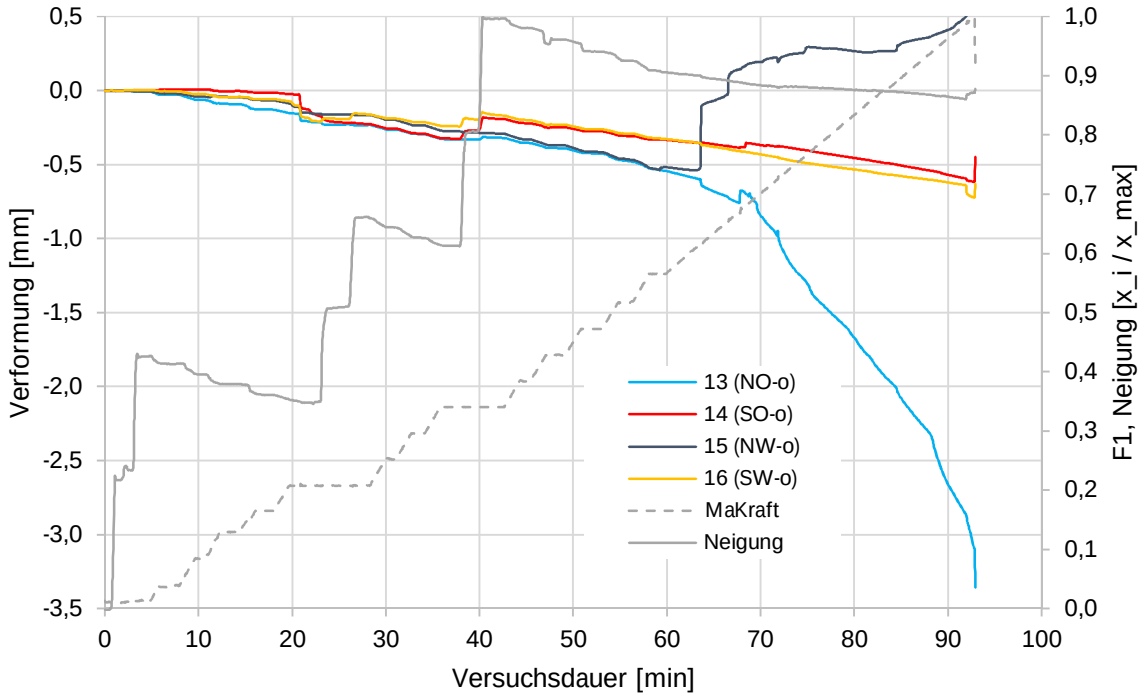


Bild A 114 Vertikale Verformungen obere Prüfkörperhälfte (Nord/Süd) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W480-B)

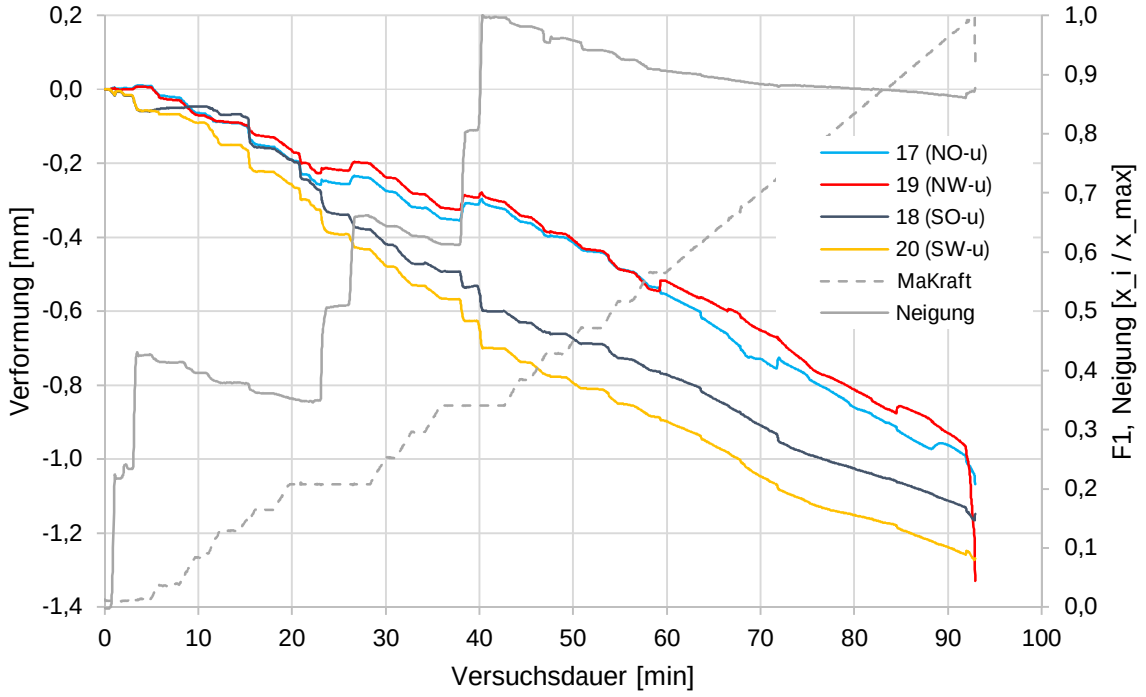


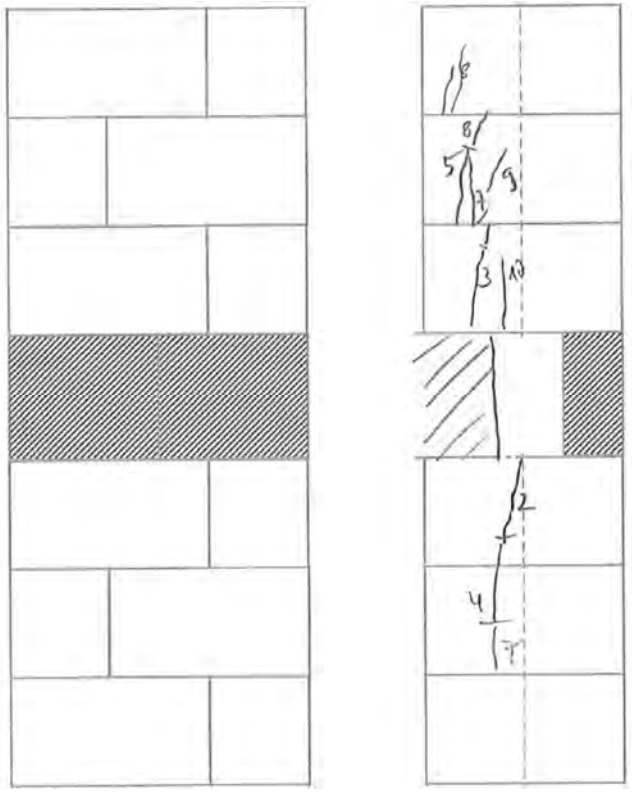
Bild A 115 Vertikale Verformungen untere Prüfkörperhälfte (Nord/Süd) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W480-B)

F1	N_De	No	F1 / N_De	Vm (B)	De (B)	De (No) (B)	Vm / F1 (B)	De / F1 (B)	Vm / No (B)	De / No (B)	M1 (B)	M2 (B)
5,404	10,826	16,230	0,499	2,685	2,718	13,544	0,497	0,503	0,165	0,835	-0,272	0,767
10,854	11,036	21,890	0,983	4,033	6,821	17,857	0,372	0,628	0,184	0,816	-0,328	0,732
20,205	10,810	31,015	1,869	7,169	13,037	23,846	0,355	0,645	0,231	0,769	-0,325	0,712
30,127	10,767	40,894	2,798	6,860	23,267	34,034	0,228	0,772	0,168	0,832	-0,237	0,796
39,582	10,831	50,413	3,655	11,079	28,503	39,334	0,280	0,720	0,220	0,780	-0,652	0,388
47,130	10,846	57,976	4,346	14,513	32,617	43,463	0,308	0,692	0,250	0,750	-0,787	0,254
47,190	15,008	62,198	3,144	17,659	29,530	44,539	0,374	0,626	0,284	0,716	-1,433	0,008
50,199	18,650	68,849	2,692	18,971	31,228	49,878	0,378	0,622	0,276	0,724	-2,065	-0,275
60,255	18,744	78,999	3,215	23,874	36,381	55,125	0,396	0,604	0,302	0,698	-2,003	-0,203
69,701	18,833	88,534	3,701	28,801	40,899	59,732	0,413	0,587	0,325	0,675	-1,989	-0,181
77,458	18,699	96,158	4,142	32,142	45,316	64,016	0,415	0,585	0,334	0,666	-2,047	-0,252
77,290	23,054	100,344	3,353	31,890	45,400	68,454	0,413	0,587	0,318	0,682	-3,673	-1,460
79,971	28,331	108,302	2,823	34,145	45,826	74,158	0,427	0,573	0,315	0,685	-4,248	-1,529
90,019	28,197	118,216	3,193	39,024	50,995	79,192	0,434	0,566	0,330	0,670	-4,268	-1,561
100,332	28,197	128,529	3,558	44,316	56,015	84,213	0,442	0,558	0,345	0,655	-4,256	-1,549
110,101	28,221	138,322	3,901	48,915	61,186	89,407	0,444	0,556	0,354	0,646	-4,124	-1,415
120,351	28,219	148,570	4,265	52,902	67,449	95,668	0,440	0,560	0,356	0,644	-3,864	-1,155
130,066	28,212	158,278	4,610	55,902	74,164	102,376	0,430	0,570	0,353	0,647	-3,854	-1,146
140,637	28,259	168,896	4,977	58,660	81,977	110,236	0,417	0,583	0,347	0,653	-4,014	-1,301
150,232	28,251	178,483	5,318	61,155	89,077	117,328	0,407	0,593	0,343	0,657	-4,155	-1,443
159,879	28,156	188,035	5,678	63,650	96,229	124,385	0,398	0,602	0,339	0,661	-4,298	-1,595
170,113	28,328	198,441	6,005	66,342	103,771	132,099	0,390	0,610	0,334	0,666	-4,460	-1,741
180,001	28,231	208,232	6,376	68,903	111,098	139,329	0,383	0,617	0,331	0,669	-4,304	-1,594
190,032	28,301	218,333	6,715	71,529	118,503	146,804	0,376	0,624	0,328	0,672	-4,080	-1,363
199,994	28,169	228,163	7,100	74,352	125,642	153,811	0,372	0,628	0,326	0,674	-3,751	-1,047
210,146	28,270	238,416	7,434	76,979	133,167	161,437	0,366	0,634	0,323	0,677	-3,583	-0,869
226,987	28,270	255,256	8,029	81,443	145,543	173,813	0,359	0,641	0,319	0,681	-1,909	0,805

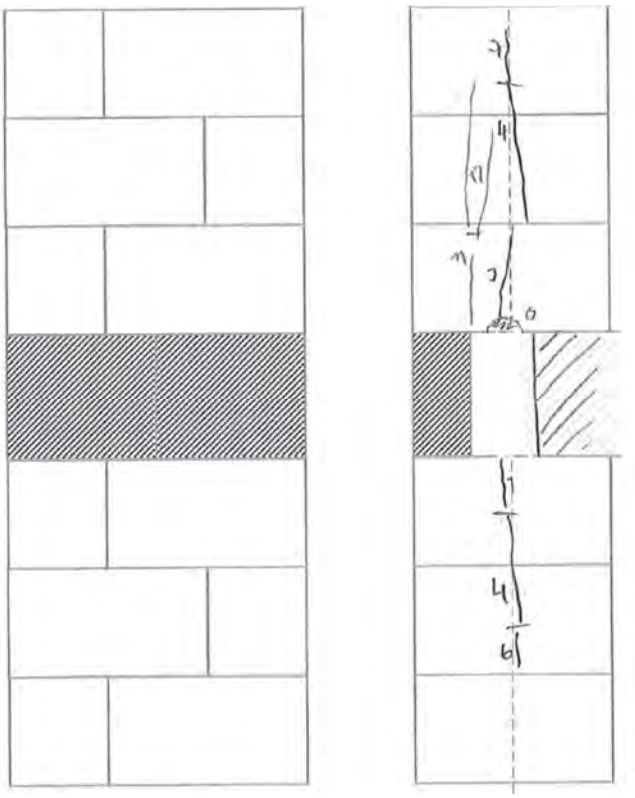
Dabei sind:

F1	Wandauflast in [kN]
N_De	Deckenauflagerkraft am Wand-Decken-Knoten in [kN]
No	Resultierende Normalkraft am Wandkopf mit No = F1 + N_De in [kN]
F1 / N_De	Verhältnis Wandauflast zu Deckenauflagerkraft [-]
Vm (i)	Lastanteil Vormauerstein (Wandauflast) in [kN]
De (i)	Lastanteil Deckenauflager (Wandauflast) in [kN]
De (No) (i)	Lastanteil Deckenauflager (gesamt) in [kN]
i / F1	Verhältnis Lastanteil i zu Wandauflast [-]
i / No	Verhältnis Lastanteil i zu No [-]
M1 (i)	Einspannmoment Auflagerkante in [kNm]
M2 (i)	Einspannmoment halbe Auflagertiefe in [kNm]

Bild A 116 Experimentell bestimmte Lastspreizung zwischen Vormauerstein und Deckenauflager (W480-B)



Nord Ost



Süd West

Riss-Nr.	Last [kN]
0	0
1	30
2	40
3	50 (0)
4	50 (I)
5	50 (II)
6	70
7	80
8	80 (II)
9	110
10	120
11	130
12	140

Bild A 117 Risskartierung W480-B

Anhang 5.4.5 W480-C (a = 0,3 · t)

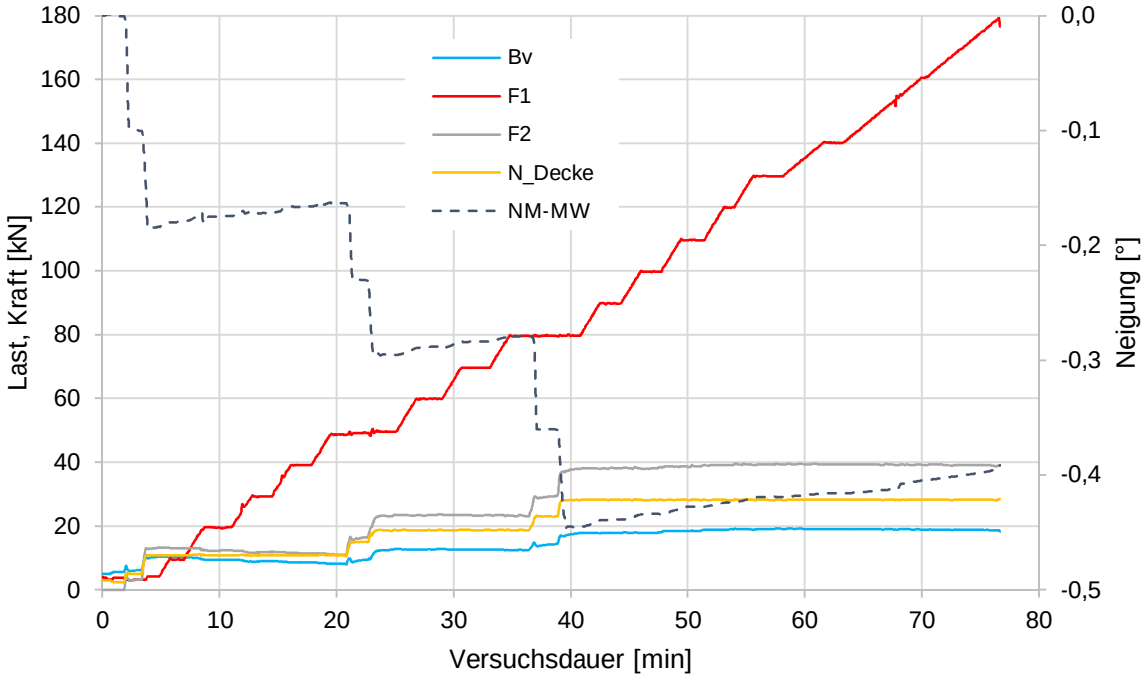


Bild A 118 Lasten, Reaktionskräfte und Deckenneigung in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W480-C)

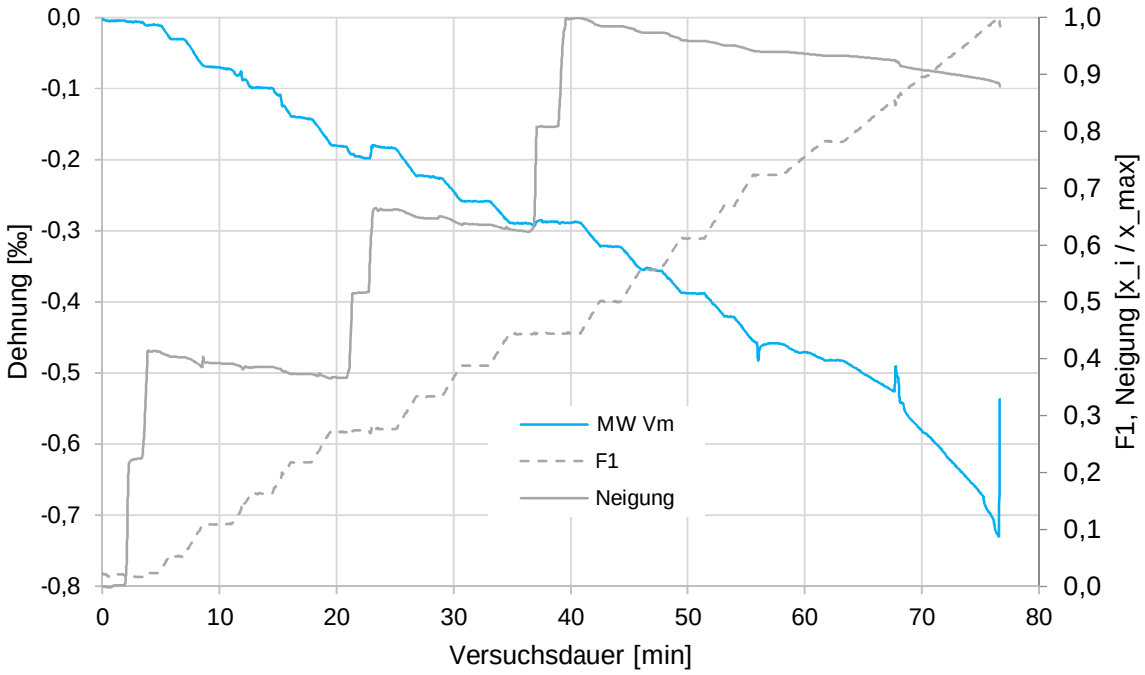


Bild A 119 Dehnungen am Vormauerstein sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.: Ist-Wert/Maximalwert) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W480-C)

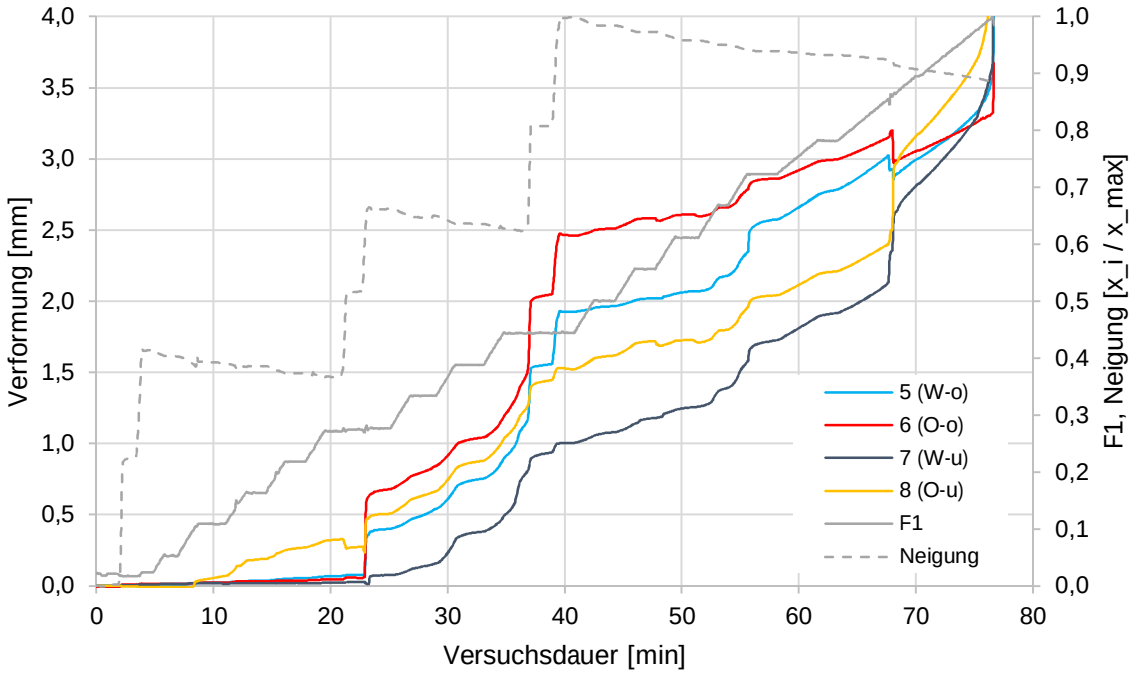


Bild A 120 Horizontale Verformungen (West/Ost) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W480-C)

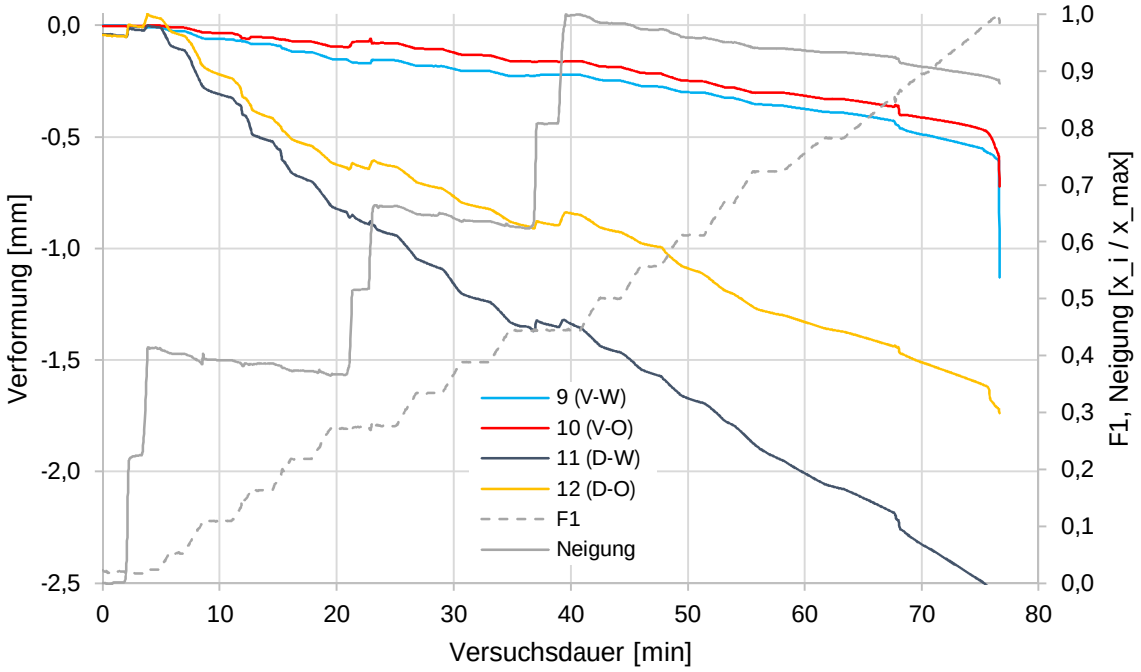


Bild A 121 Vertikale Verformungen (West/Ost) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W480-C)

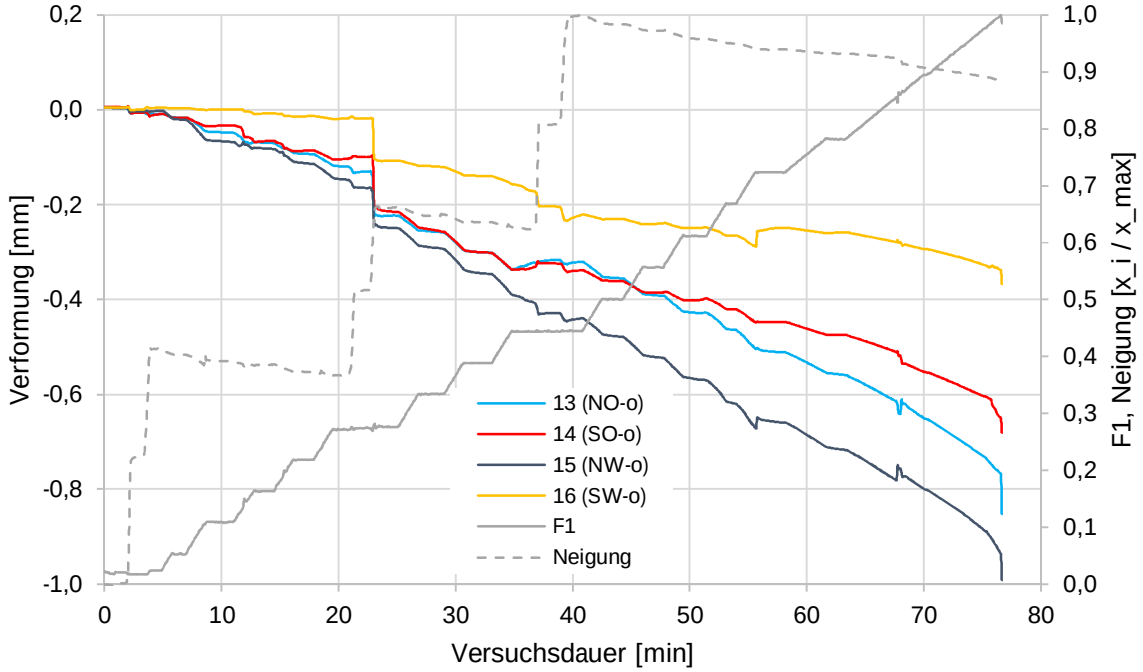


Bild A 122 Vertikale Verformungen obere Prüfkörperhälfte (Nord/Süd) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W480-C)

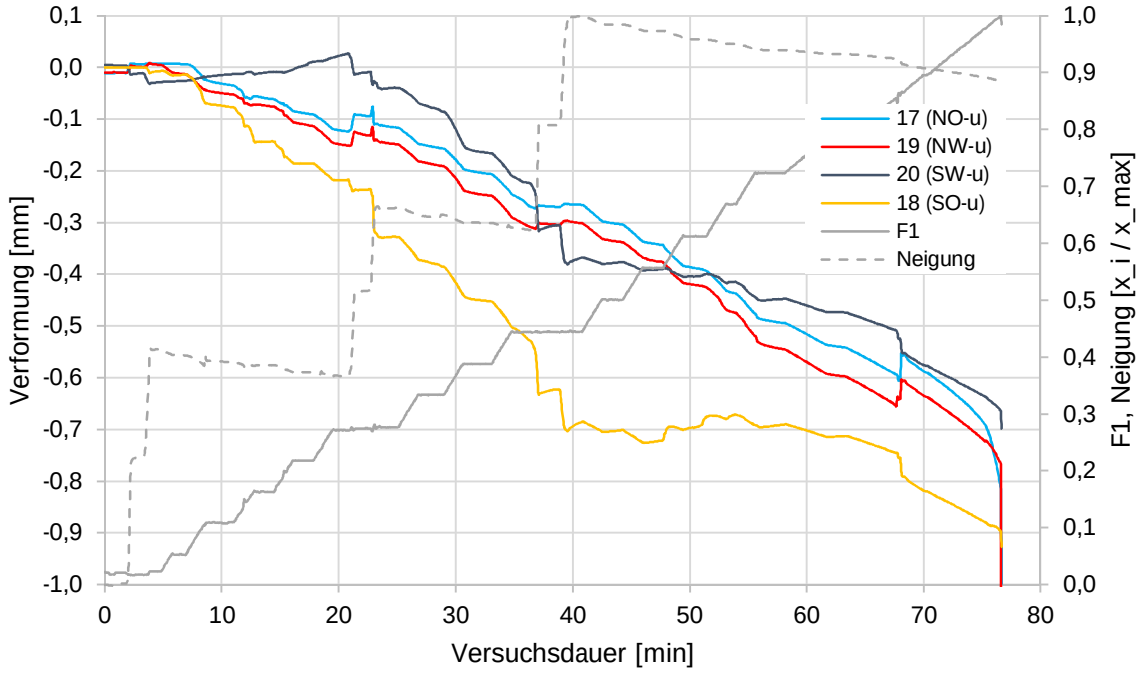


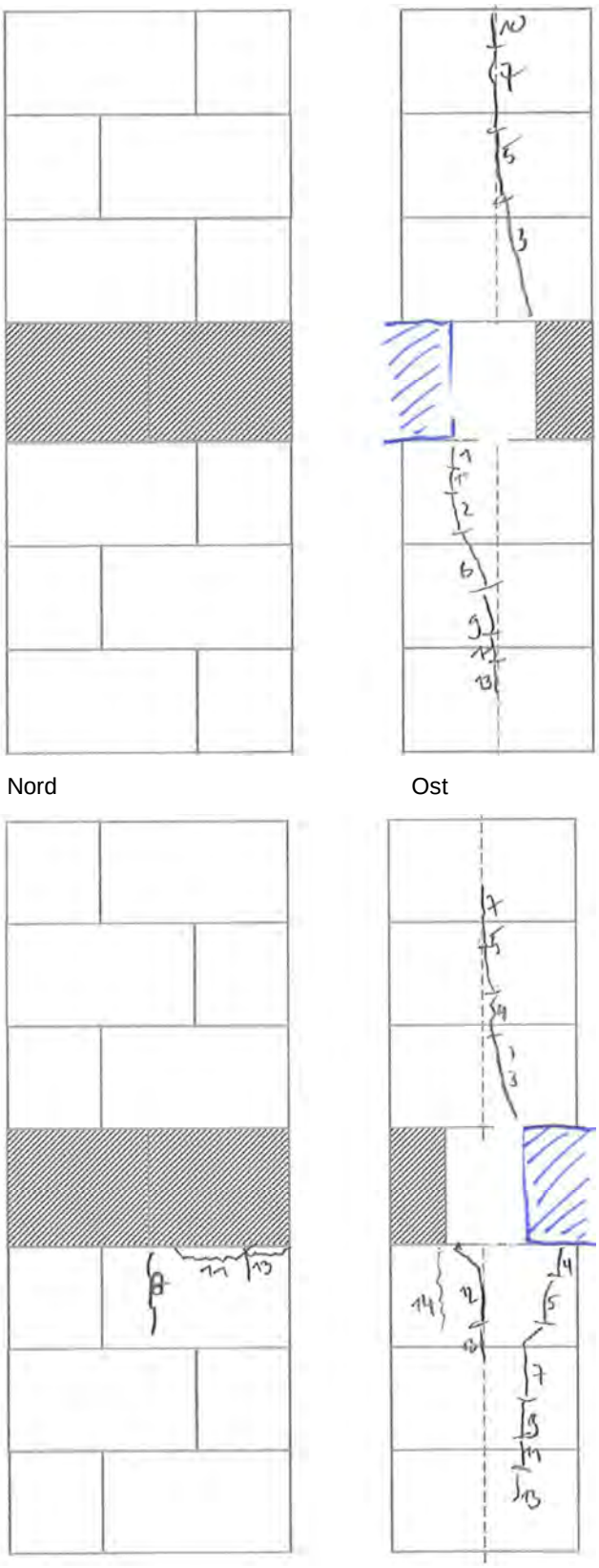
Bild A 123 Vertikale Verformungen untere Prüfkörperhälfte (Nord/Süd) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W480-C)

F1	N_De	No	F1 / N_De	Vm (C)	De (C)	De (No) (C)	Vm / F1 (C)	De / F1 (C)	Vm / No (C)	De / No (C)	M1 (C)	M2 (C)
5,030	10,769	15,798	0,467	1,606	3,423	14,192	0,319	0,681	0,102	0,898	-0,447	0,328
10,394	10,793	21,187	0,963	4,482	5,912	16,705	0,431	0,569	0,212	0,788	-0,564	0,213
19,605	10,780	30,385	1,819	9,759	9,846	20,626	0,498	0,502	0,321	0,679	-1,043	-0,266
40,094	10,766	50,860	3,724	20,374	19,720	30,486	0,508	0,492	0,401	0,599	-1,524	-0,749
40,094	10,766	50,860	3,724	20,374	19,720	30,486	0,508	0,492	0,401	0,599	-1,524	-0,749
48,908	10,904	59,812	4,485	25,256	23,651	34,555	0,516	0,484	0,422	0,578	-1,813	-1,028
49,131	15,022	64,153	3,271	27,384	21,747	36,769	0,557	0,443	0,427	0,573	-3,030	-1,949
49,889	18,719	68,608	2,665	26,183	23,706	42,425	0,525	0,475	0,382	0,618	-2,441	-1,094
59,864	18,762	78,626	3,191	31,718	28,146	46,908	0,530	0,470	0,403	0,597	-2,427	-1,076
69,970	18,734	88,704	3,735	36,400	33,570	52,304	0,520	0,480	0,410	0,590	-2,523	-1,174
79,764	18,729	98,493	4,259	40,541	39,223	57,952	0,508	0,492	0,412	0,588	-2,637	-1,289
79,934	22,965	102,899	3,481	40,242	39,692	62,657	0,503	0,497	0,391	0,609	-3,447	-1,794
79,684	28,141	107,826	2,832	40,470	39,214	67,355	0,508	0,492	0,375	0,625	-3,499	-1,473
90,016	28,158	118,173	3,197	45,359	44,657	72,814	0,504	0,496	0,384	0,616	-3,431	-1,404
99,722	28,247	127,969	3,530	49,890	49,832	78,079	0,500	0,500	0,390	0,610	-3,367	-1,333
109,609	28,247	137,856	3,880	54,407	55,202	83,449	0,496	0,504	0,395	0,605	-2,937	-0,904
119,866	28,384	148,250	4,223	59,185	60,681	89,065	0,494	0,506	0,399	0,601	-2,795	-0,751
129,703	28,205	157,908	4,599	64,825	64,878	93,084	0,500	0,500	0,411	0,589	-2,791	-0,760
140,248	28,226	168,475	4,969	67,416	72,832	101,058	0,481	0,519	0,400	0,600	-2,785	-0,753
149,948	28,172	178,120	5,323	72,219	77,730	105,901	0,482	0,518	0,405	0,595	-2,839	-0,811
160,430	28,237	188,667	5,681	81,267	79,163	107,400	0,507	0,493	0,431	0,569	-2,877	-0,844
170,248	28,237	198,485	6,029	90,083	80,166	108,403	0,529	0,471	0,454	0,546	-2,956	-0,923
179,236	28,262	207,498	6,342	102,278	76,958	105,220	0,571	0,429	0,493	0,507	-3,018	-0,984

Dabei sind:

F1	Wandauflast in [kN]
N_De	Deckenauflagerkraft am Wand-Decken-Knoten in [kN]
No	Resultierende Normalkraft am Wandkopf mit No = F1 + N_De in [kN]
F1 / N_De	Verhältnis Wandauflast zu Deckenauflagerkraft [-]
Vm (i)	Lastanteil Vormauerstein (Wandauflast) in [kN]
De (i)	Lastanteil Deckenauflager (Wandauflast) in [kN]
De (No) (i)	Lastanteil Deckenauflager (gesamt) in [kN]
i / F1	Verhältnis Lastanteil i zu Wandauflast [-]
i / No	Verhältnis Lastanteil i zu No [-]
M1 (i)	Einspannmoment Auflagerkante in [kNm]
M2 (i)	Einspannmoment halbe Auflagertiefe in [kNm]

Bild A 124 Experimentell bestimmte Lastspreizung zwischen Vormauerstein und Deckenauflager (W480-C)



Riss-Nr.	Last [kN]
1	30
2	40
3	50 (II)
4	60
5	70
6	80 (0)
7	80 (I)
8	80 (II)
9	90
10	100
11	110
12	130
13	140
14	150

Bild A 125 Risskartierung W480-C

Anhang 5.4.6 Einspannmoment der Deckenplatte

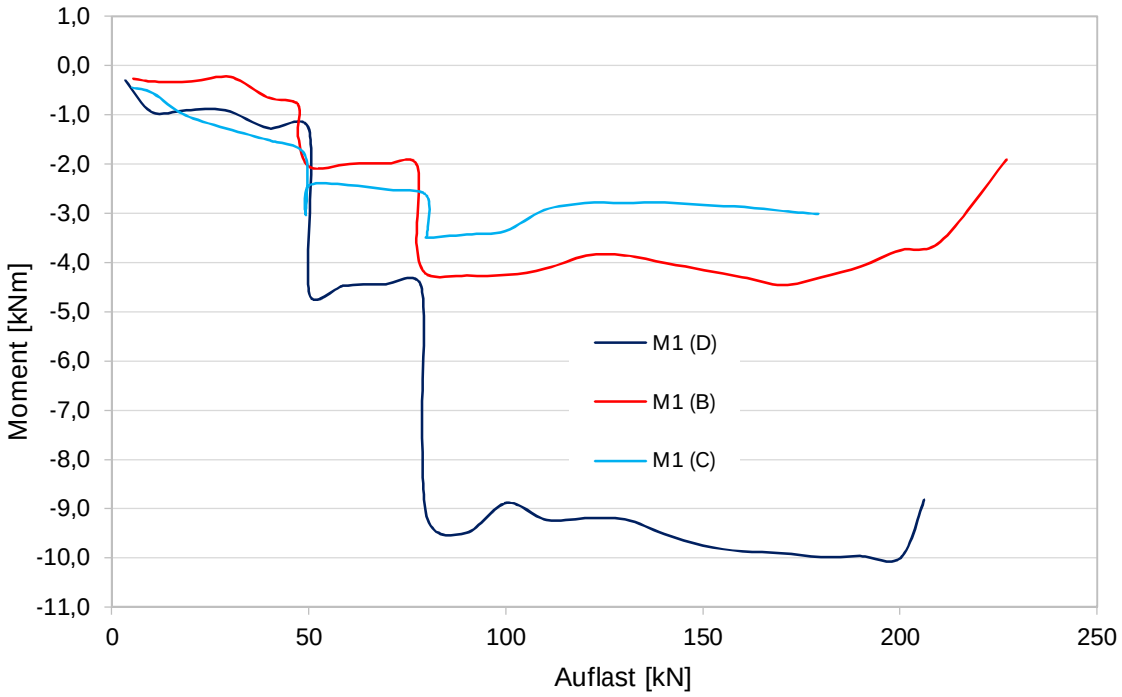


Bild A 126 Einspannmoment der Deckenplatte Serie W480

Anhang 5.5 Serie W490

Anhang 5.5.1 Messtechnik

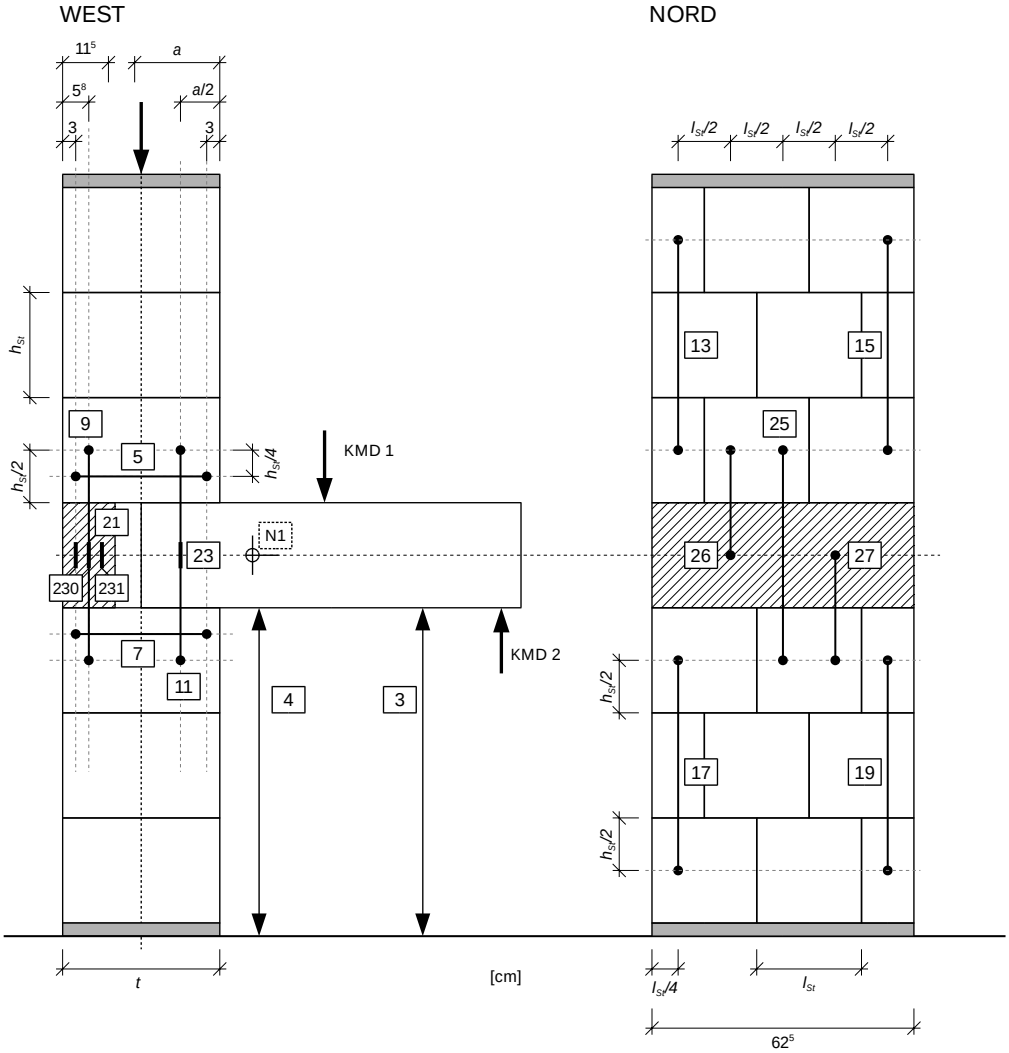


Bild A 127 Messstellenplan Prüfserie W490; West- und Nord-Seite

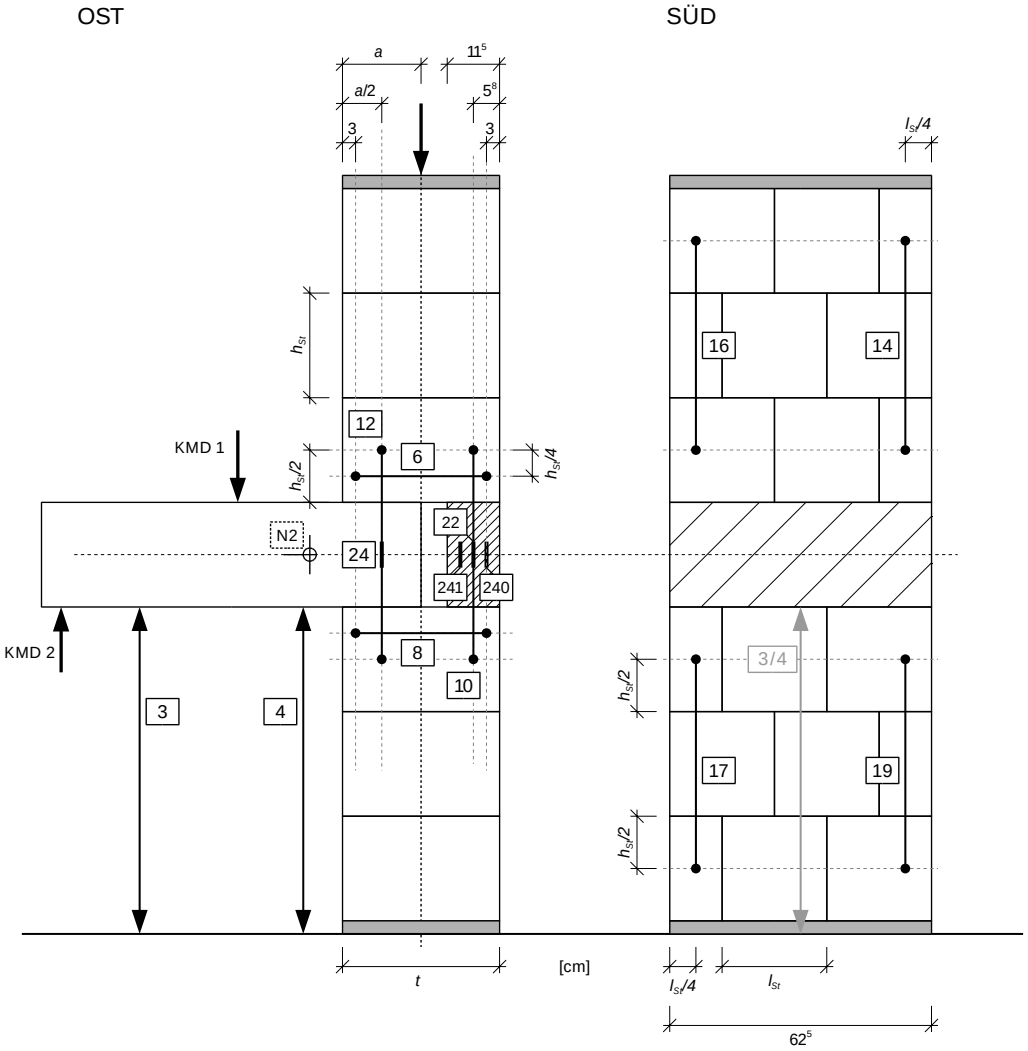


Bild A 128 Messstellenplan Prüfserie W490; Ost- und Süd-Seite

Tabelle A 86 Übersicht Messstellen

Pos.	Aufnehmertyp (Anordnung)	Pos.	Aufnehmertyp
KMD 1	Kraftmessdosen Auflast Deckenplatte (100 kN)	17, 19	IWA vertikal (Nord, untere PK-Hälfte), 5 mm
KMD 2	Kraftmessdose Auflagerkraft Decke (50 kN)	14, 16	IWA vertikal (Süd, obere PK-Hälfte), 5 mm
3, 4	IWA vertikal (Neigung Deckenplatte), 10 mm	18, 20	IWA vertikal (Süd, untere PK-Hälfte), 5 mm
5, 7	IWA horizontal (West), 5 mm	25, 26, 27	IWA vertikal (Nord), 5 mm
6, 8	IWA horizontal (Ost), 5mm	21 (230, 231)	DMS 60 mm (Vorm. West)
9, 10	IWA vertikal (Vormauerstein West/Ost), 5 mm	22 (240, 241)	DMS 60 mm (Vorm. Ost)
11, 12	IWA vertikal (Decke West/Ost), 10 mm	23, 24	DMS 60 mm (Decke)
13, 15	IWA vertikal (Nord, obere PK-Hälfte), 5 mm	N1, N2	Neigungssensor

Anhang 5.5.2 Belastungsregime

Tabelle A 87 Lastregime für Serie W490

Laststufe	Auflast F_1	N_{Decke}	Neigung		
			W490-A	W490-B	W490-C
	[kN]	[kN]	[°]	[°]	[°]
0	0	2,0	0,000	0,000	0,000
1	5	2,0	0,000	0,000	0,000
2	5	5,0	0,000	0,000	0,000
3	5	5,0	0,100	0,100	0,100
4	5	10,8	0,100	0,100	0,100
5	5	10,8	0,174	0,183	0,186
6	10	10,8	0,168	0,178	0,181
7	20	10,8	0,158	0,167	0,174
8	30	10,8	0,148	0,158	0,167
9	40	10,8	0,138	0,150	0,161
10	50	10,8	0,130	0,144	0,157
11	50	15,0	0,130	0,144	0,157
12	50	15,0	0,190	0,210	0,225
13	50	18,7	0,190	0,210	0,225
14	50	18,7	0,259	0,278	0,292
15	60	18,7	0,249	0,268	0,285
16	70	18,7	0,239	0,260	0,279
17	80	18,7	0,229	0,253	0,273
18	80	23,0	0,229	0,253	0,357
19	80	23,0	0,310	0,340	0,357
20	80	28,2	0,310	0,340	0,357
21	80	28,2	0,393	0,423	0,441
22	90	28,2	0,382	0,414	0,434
23	100	28,2	0,371	0,405	0,428
24	110	28,2	0,360	0,397	0,422
25	120	28,2	0,350	0,388	0,416
26	130	28,2	0,341	0,380	0,411
27	Bruch				

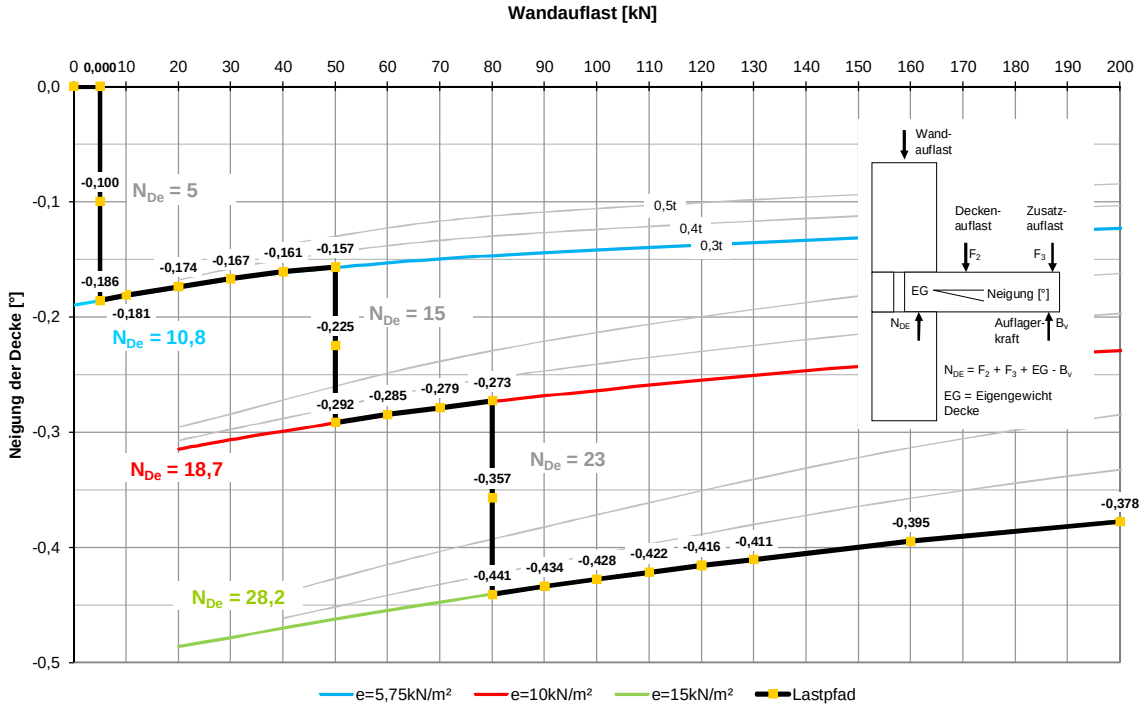


Bild A 129 Belastungsregime W490-C

Anhang 5.5.3 W490-A (a = 0,5 · t)

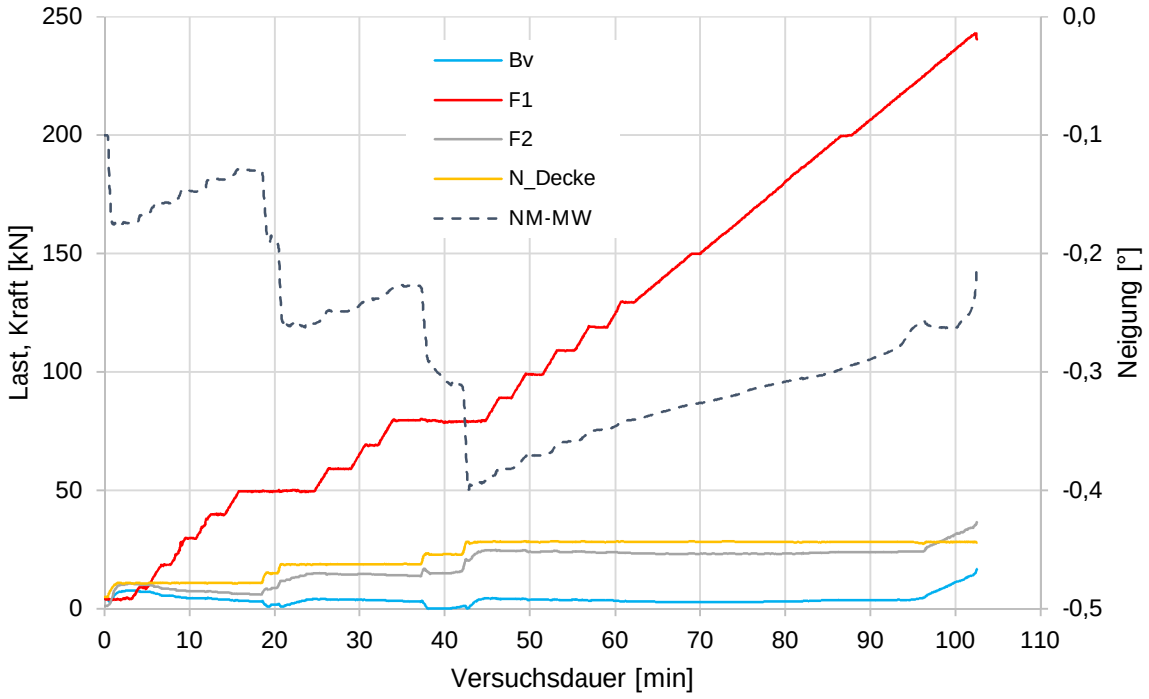


Bild A 130 Lasten, Reaktionskräfte und Deckenneigung in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W490-A)

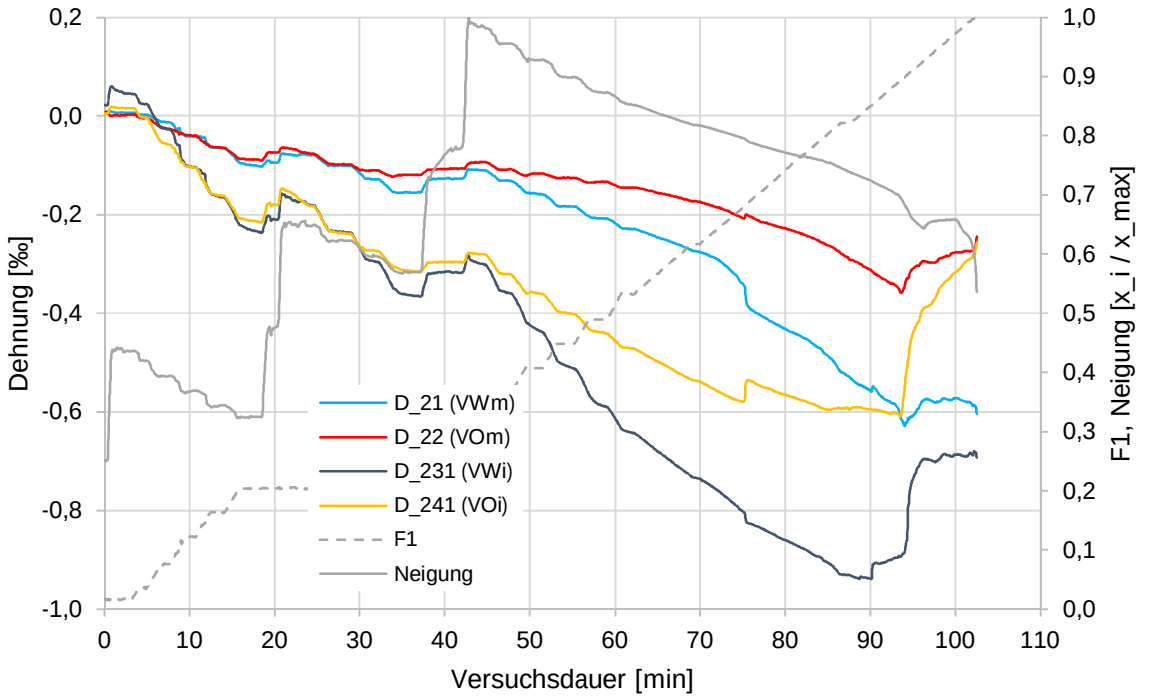


Bild A 131 Dehnungen am Vormauerstein sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.: Ist-Wert/Maximalwert) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W490-A)

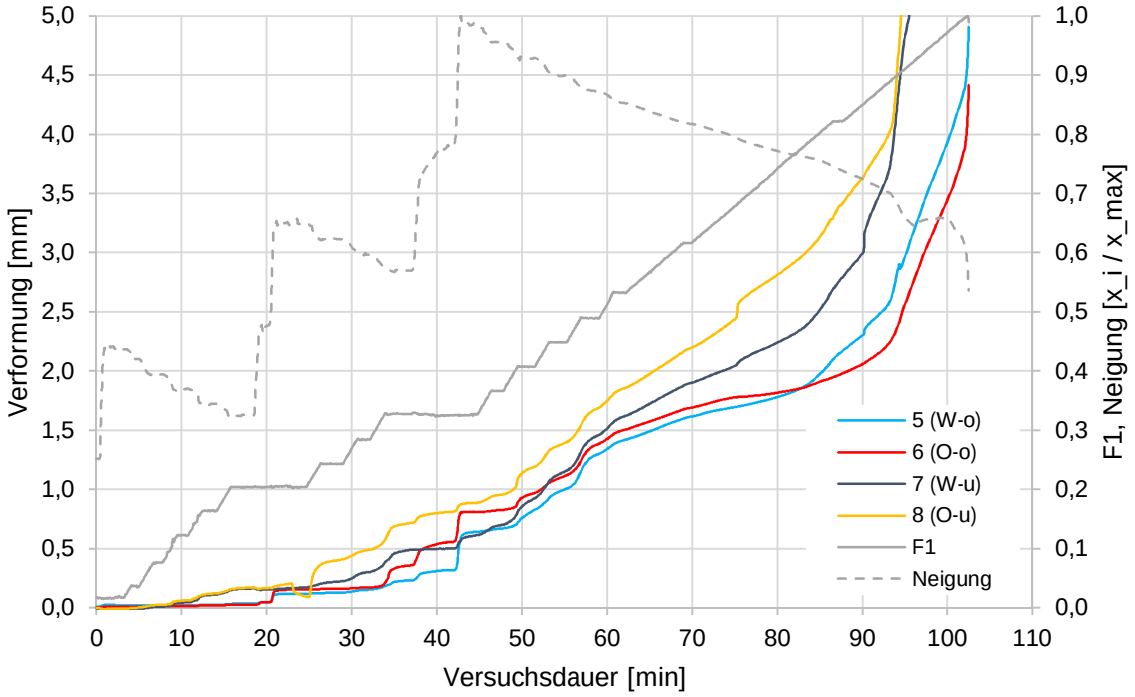


Bild A 132 Horizontale Verformungen (West/Ost) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W490-A)

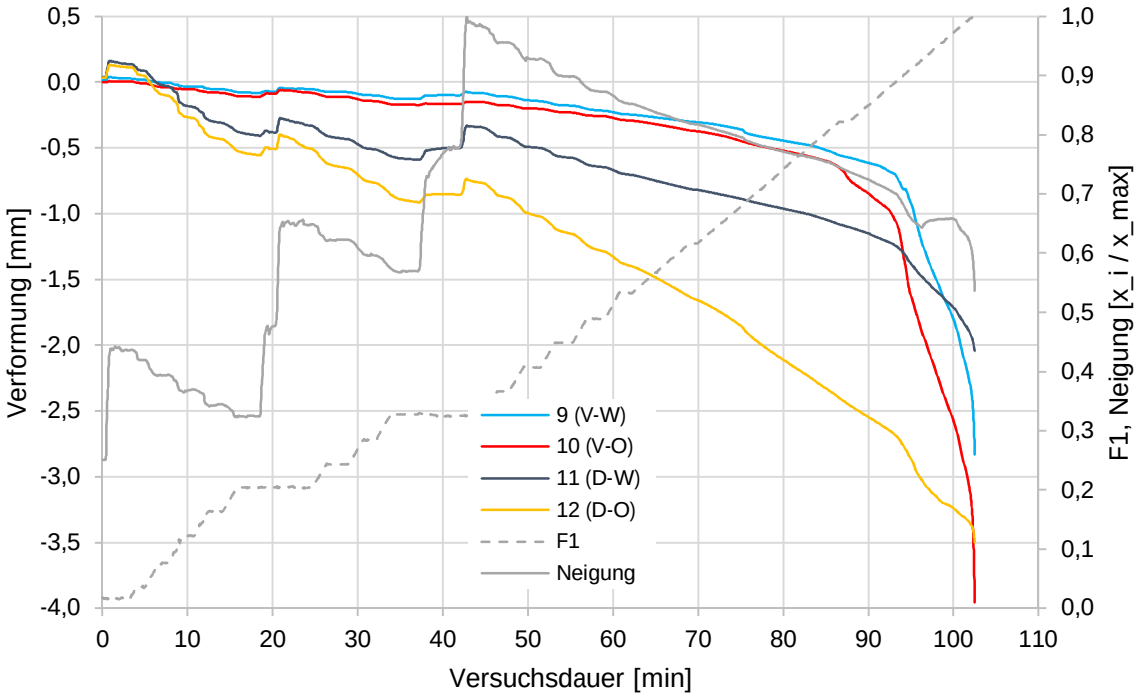


Bild A 133 Vertikale Verformungen (West/Ost) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W490-A)

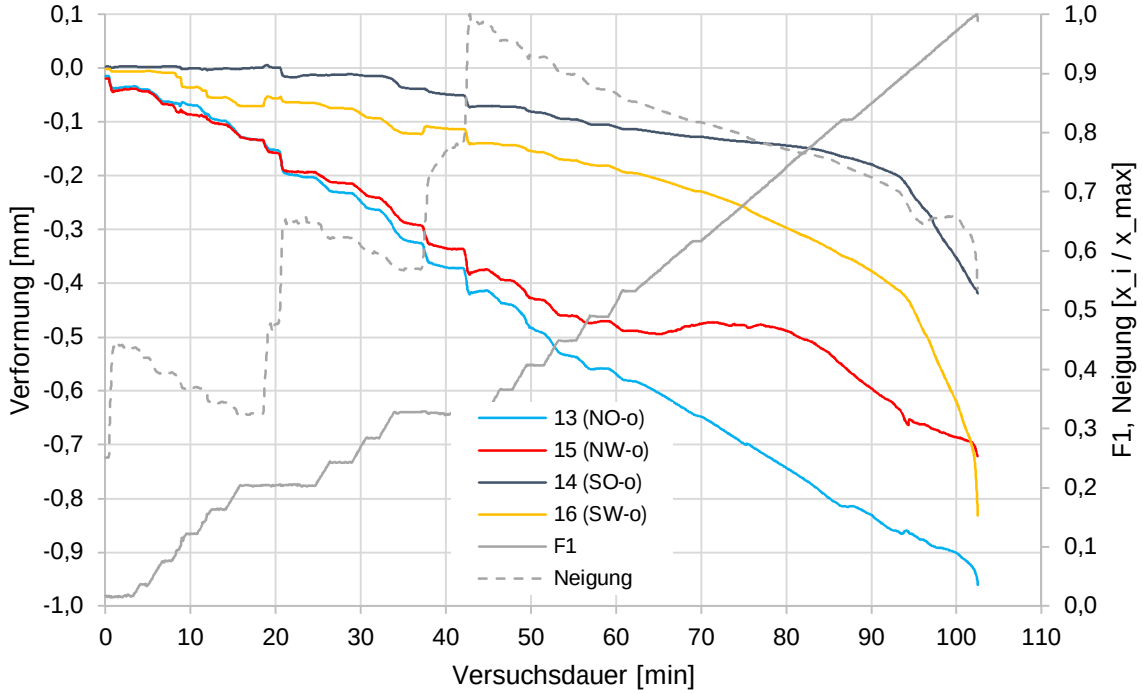


Bild A 134 Vertikale Verformungen obere Prüfkörperhälfte (Nord/Süd) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W490-A)

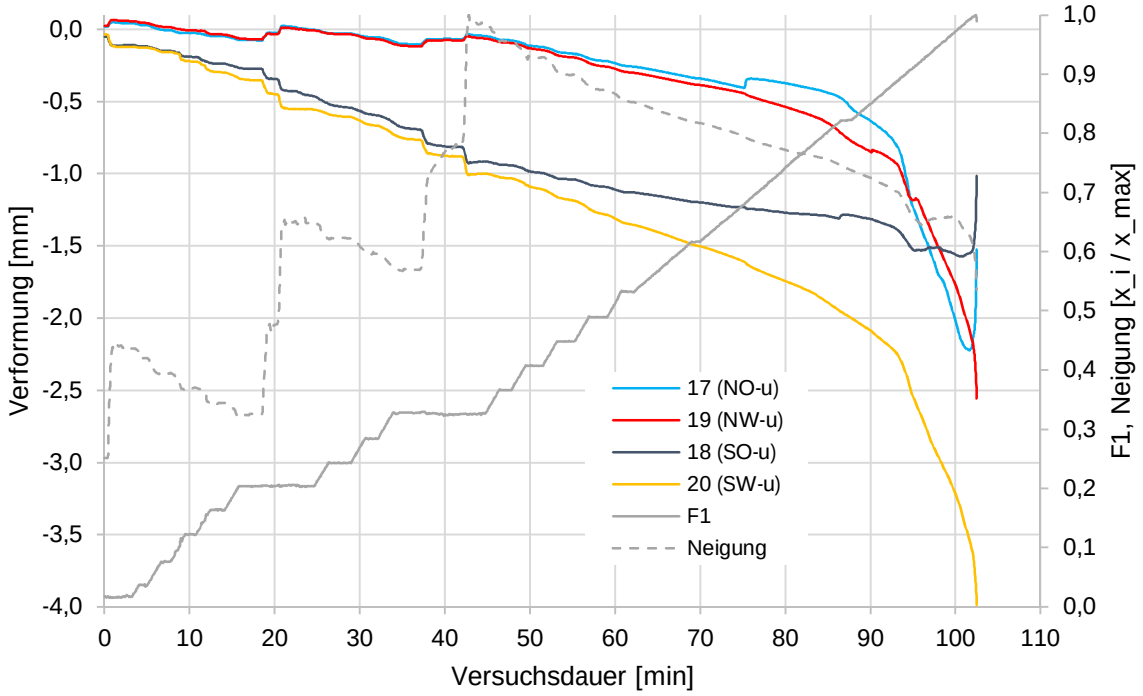


Bild A 135 Vertikale Verformungen untere Prüfkörperhälfte (Nord/Süd) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W490-A)

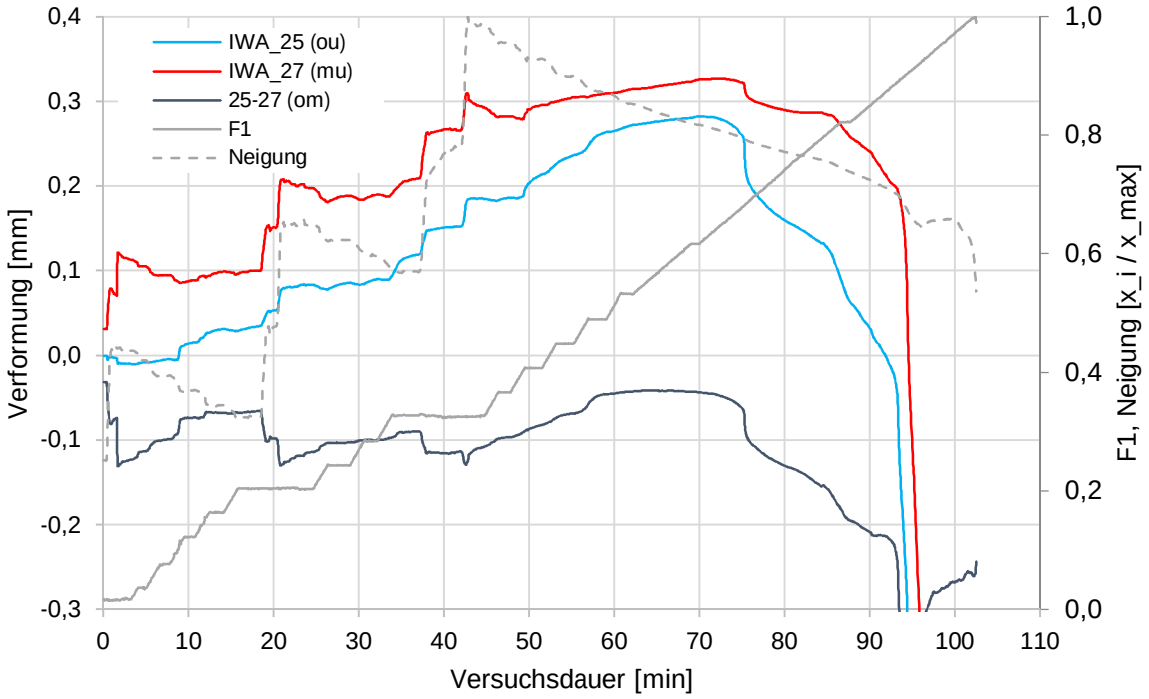


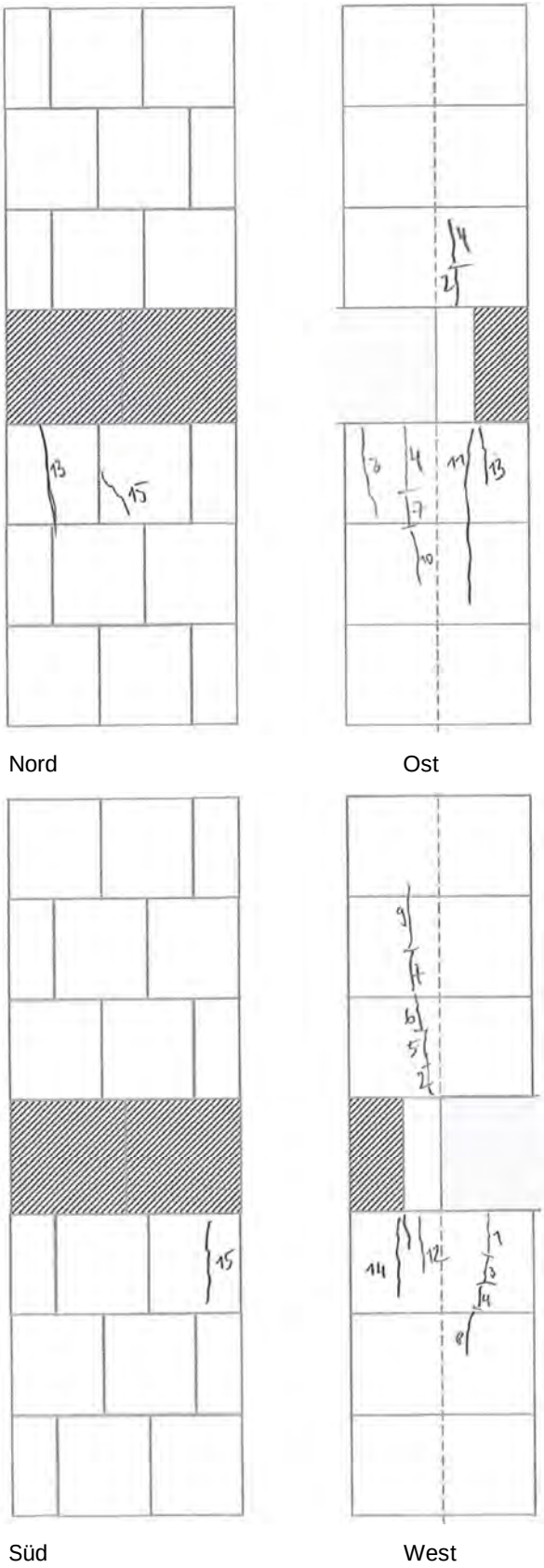
Bild A 136 Vertikale Verformungen von oberer zu unterer Prüfkörperhälfte (Nord) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W490-A)

F1	N_De	No	F1 / N_De	Vm (A)	De (A)	De (No) (A)	Vm / F1 (A)	De / F1 (A)	Vm / No (A)	De / No (A)	M1 (A)	M2 (A)
7,244	10,861	18,104	0,667	0,560	6,683	17,544	0,077	0,923	0,031	0,969	-2,560	-1,229
10,200	10,887	21,087	0,937	0,474	9,726	20,613	0,046	0,954	0,022	0,978	-2,827	-1,493
20,230	10,859	31,088	1,863	4,682	15,548	26,407	0,231	0,769	0,151	0,849	-3,668	-2,338
29,880	10,890	40,770	2,744	7,922	21,958	32,848	0,265	0,735	0,194	0,806	-4,133	-2,799
39,848	10,923	50,772	3,648	12,600	27,249	38,172	0,316	0,684	0,248	0,752	-4,341	-3,003
49,625	10,908	60,533	4,549	18,085	31,540	42,448	0,364	0,636	0,299	0,701	-4,762	-3,426
49,709	15,552	65,261	3,196	16,694	33,015	48,567	0,336	0,664	0,256	0,744	-7,557	-5,652
49,972	18,757	68,729	2,664	15,740	34,232	52,988	0,315	0,685	0,229	0,771	-8,047	-5,749
59,053	18,711	77,764	3,156	19,722	39,331	58,041	0,334	0,666	0,254	0,746	-8,172	-5,880
68,878	18,799	87,678	3,664	23,658	45,220	64,019	0,343	0,657	0,270	0,730	-8,262	-5,959
79,236	18,861	98,097	4,201	27,533	51,703	70,564	0,347	0,653	0,281	0,719	-8,514	-6,204
78,795	22,958	101,753	3,432	23,214	55,581	78,539	0,295	0,705	0,228	0,772	-12,107	-9,295
79,875	28,143	108,018	2,838	20,276	59,599	87,742	0,254	0,746	0,188	0,812	-12,315	-8,868
89,680	28,096	117,776	3,192	24,019	65,661	93,757	0,268	0,732	0,204	0,796	-12,428	-8,986
99,192	28,214	127,406	3,516	27,364	71,828	100,042	0,276	0,724	0,215	0,785	-12,698	-9,242
109,097	28,239	137,335	3,863	30,828	78,269	106,508	0,283	0,717	0,224	0,776	-12,667	-9,208
119,036	28,218	147,254	4,218	33,973	85,063	113,281	0,285	0,715	0,231	0,769	-12,830	-9,373
129,503	28,341	157,844	4,569	37,187	92,316	120,658	0,287	0,713	0,236	0,764	-13,084	-9,612
139,914	28,250	168,164	4,953	40,479	99,435	127,685	0,289	0,711	0,241	0,759	-13,151	-9,690
149,522	28,373	177,895	5,270	44,218	105,304	133,678	0,296	0,704	0,249	0,751	-13,249	-9,773
160,731	28,369	189,101	5,666	50,925	109,806	138,175	0,317	0,683	0,269	0,731	-13,247	-9,771
169,903	28,267	198,170	6,011	60,788	109,115	137,381	0,358	0,642	0,307	0,693	-13,158	-9,695
180,036	28,143	208,178	6,397	65,453	114,583	142,725	0,364	0,636	0,314	0,686	-13,032	-9,585
189,770	28,153	217,923	6,741	70,642	119,128	147,281	0,372	0,628	0,324	0,676	-12,893	-9,444
199,775	28,210	227,985	7,082	79,605	120,170	148,380	0,398	0,602	0,349	0,651	-12,783	-9,328
210,077	28,165	238,242	7,459	89,187	120,890	149,055	0,425	0,575	0,374	0,626	-12,739	-9,289
219,930	28,316	248,246	7,767	93,981	125,948	154,265	0,427	0,573	0,379	0,621	-12,769	-9,301
230,133	28,166	258,299	8,171	86,903	143,229	171,396	0,378	0,622	0,336	0,664	-10,660	-7,209
240,089	28,179	268,268	8,520	84,981	155,108	183,287	0,354	0,646	0,317	0,683	-8,017	-4,565
243,072	27,998	271,070	8,682	84,282	158,790	186,788	0,347	0,653	0,311	0,689	-6,656	-3,226

Dabei sind:

F1	Wandauflast in [kN]
N_De	Deckenauflagerkraft am Wand-Decken-Knoten in [kN]
No	Resultierende Normalkraft am Wandkopf mit No = F1 + N_De in [kN]
F1 / N_De	Verhältnis Wandauflast zu Deckenauflagerkraft [-]
Vm (i)	Lastanteil Vormauerstein (Wandauflast) in [kN]
De (i)	Lastanteil Deckenauflager (Wandauflast) in [kN]
De (No) (i)	Lastanteil Deckenauflager (gesamt) in [kN]
i / F1	Verhältnis Lastanteil i zu Wandauflast [-]
i / No	Verhältnis Lastanteil i zu No [-]
M1 (i)	Einspannmoment Auflagerkante in [kNm]
M2 (i)	Einspannmoment halbe Auflagertiefe in [kNm]

Bild A 137 Experimentell bestimmte Lastspreizung zwischen Vormauerstein und Deckenauflager (W490-A)



Riss-Nr.	Last [kN]
1	50 (0)
2	50 (II)
3	60
4	80 (0)
5	80 (II)
6	80 (III)
7	100
8	110
9	120
10	130
11	168
12	195
13	215
14	220
15	225

Bild A 138 Risskartierung W490-A

Anhang 5.5.4 W490-B ($a = 0{,}4 \cdot t$)

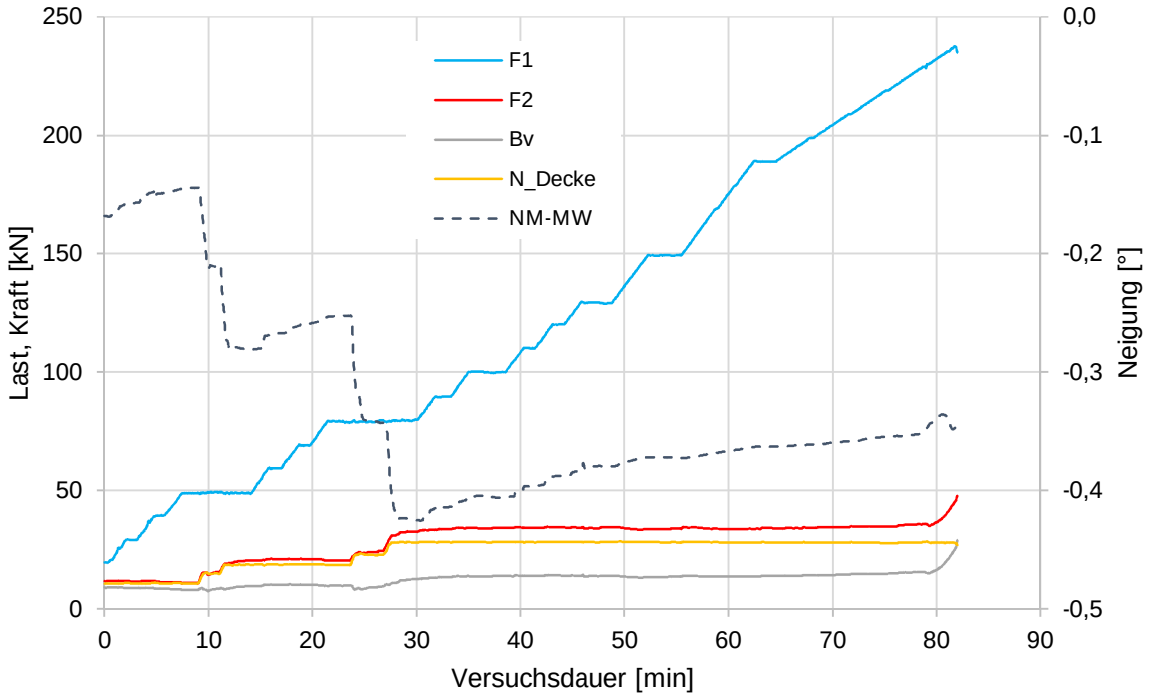


Bild A 139 Lasten, Reaktionskräfte und Deckenneigung in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W490-B)

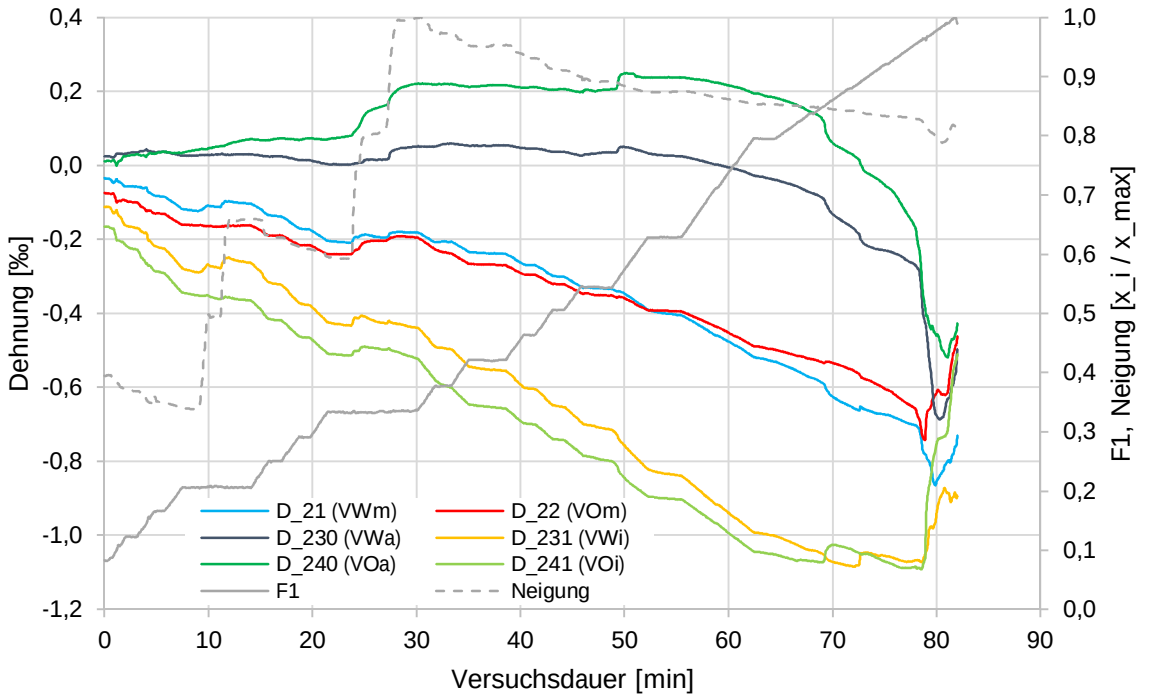


Bild A 140 Dehnungen am Vormauerstein sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.: Ist-Wert/Maximalwert) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W490-B)

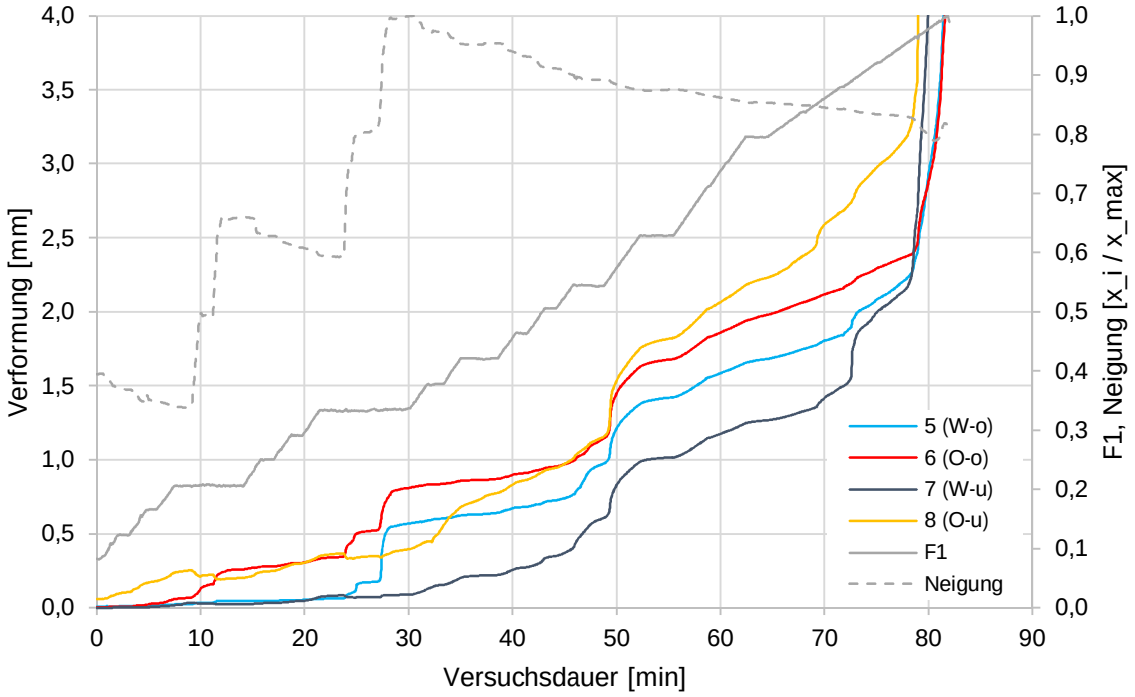


Bild A 141 Horizontale Verformungen (West/Ost) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W490-B)

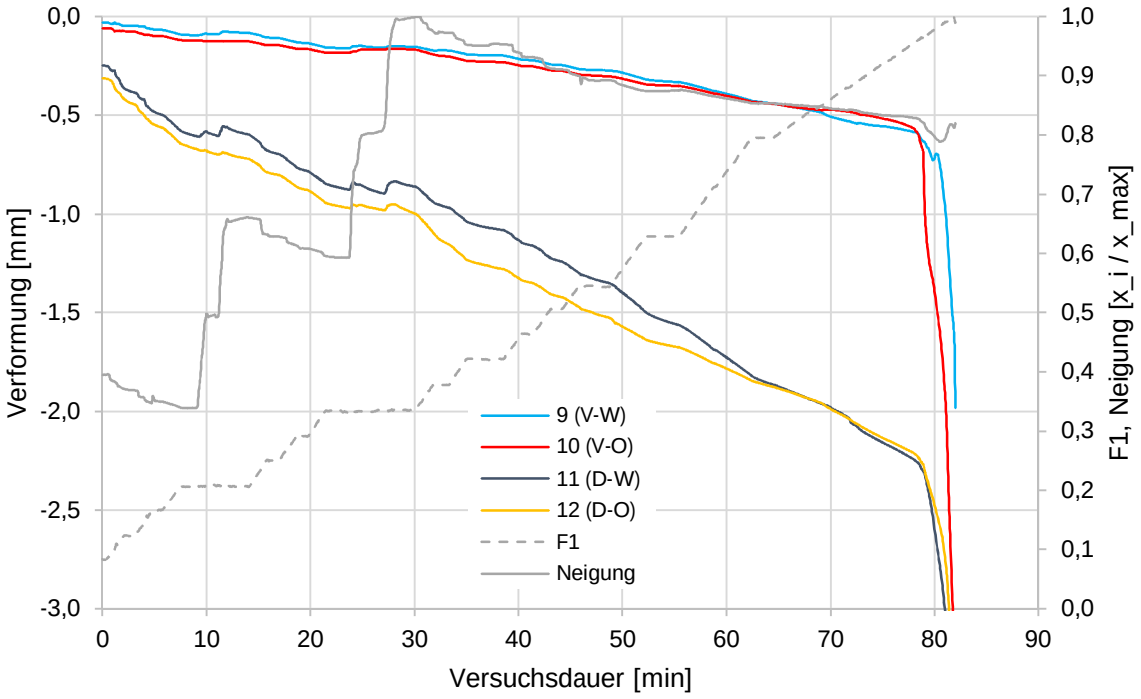


Bild A 142 Vertikale Verformungen (West/Ost) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W490-B)

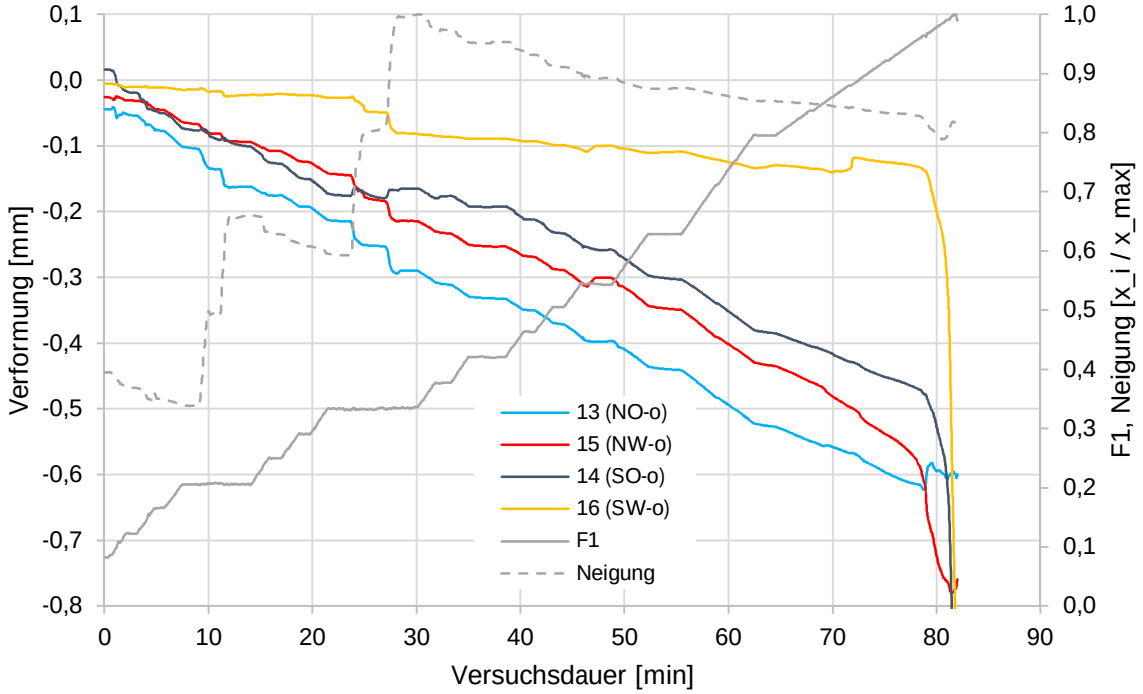


Bild A 143 Vertikale Verformungen obere Prüfkörperhälfte (Nord/Süd) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W490-B)

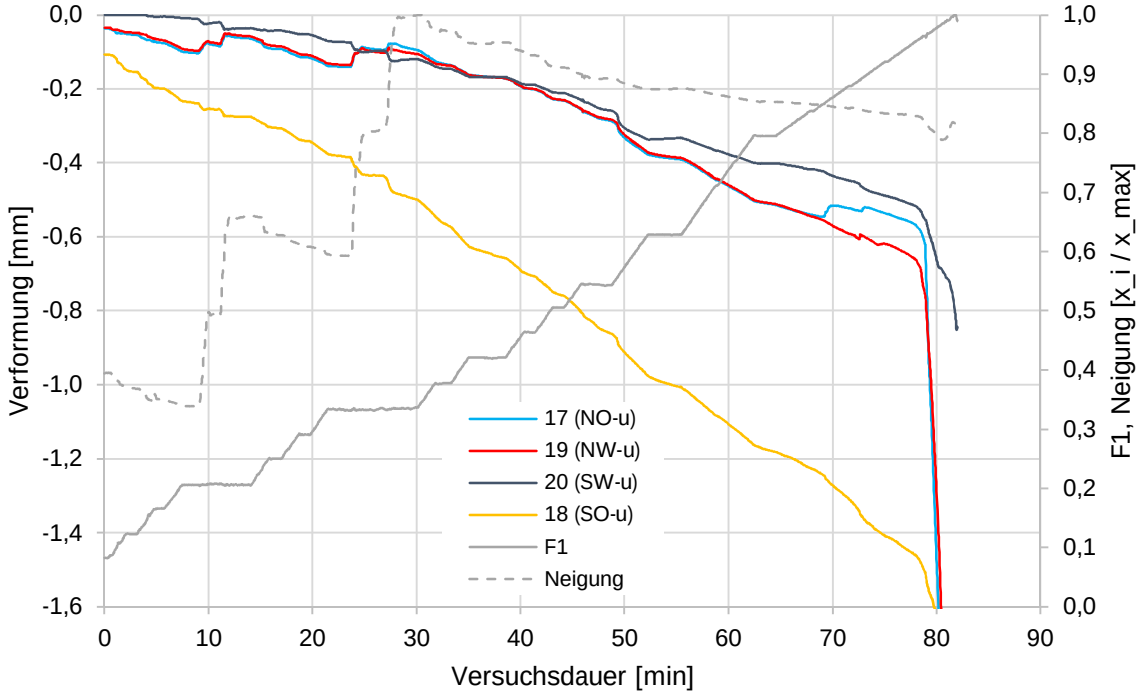


Bild A 144 Vertikale Verformungen untere Prüfkörperhälfte (Nord/Süd) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W490-B)

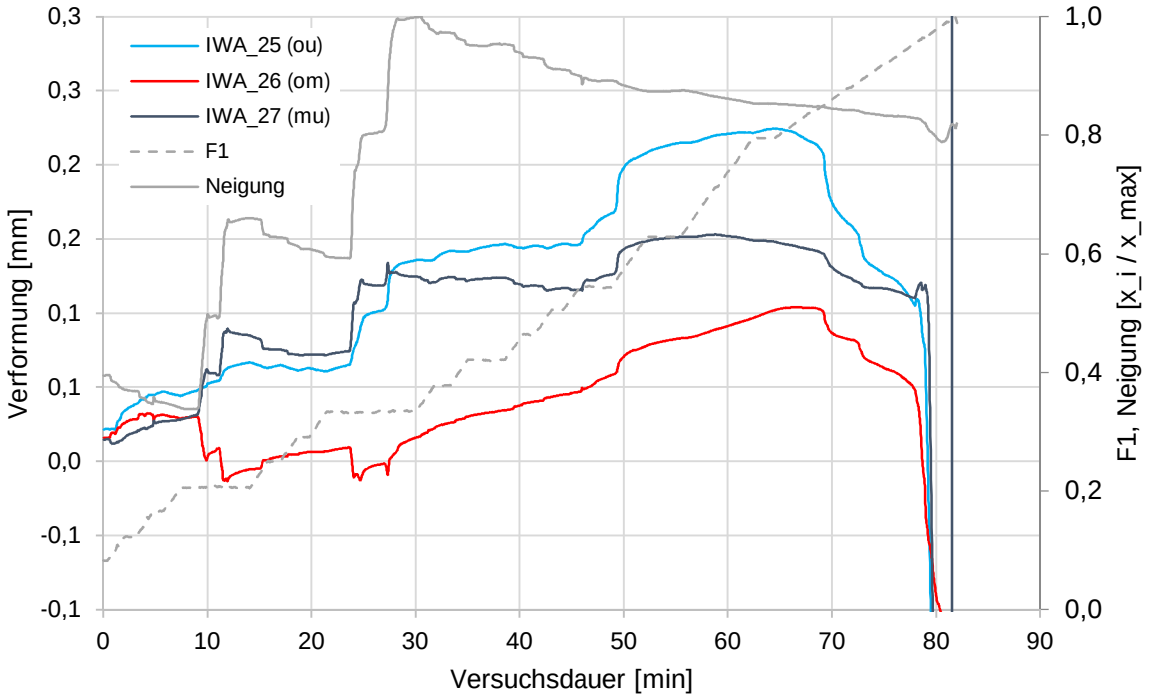


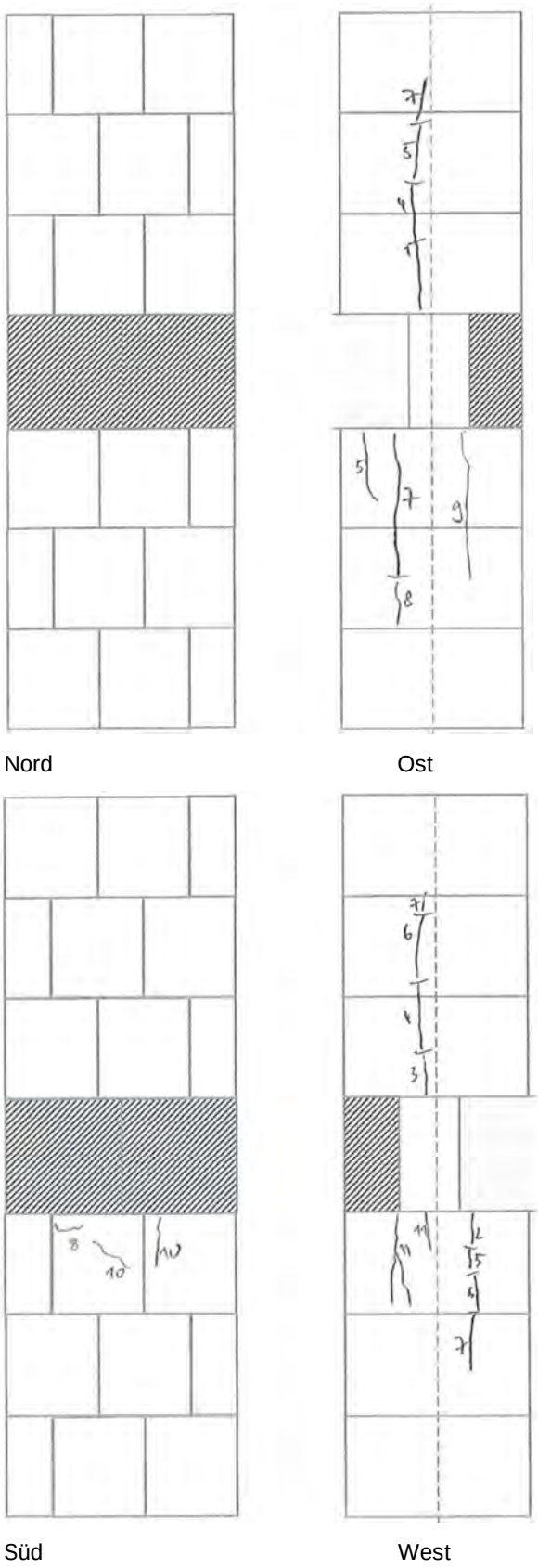
Bild A 145 Vertikale Verformungen von oberer zu unterer Prüfkörperhälfte (Nord) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W490-B)

F1	N_De	No	F1 / N_De	Vm (B)	De (B)	De (No) (B)	Vm / F1 (B)	De / F1 (B)	Vm / No (B)	De / No (B)	M1 (B)	M2 (B)
19,706	10,605	30,312	1,858	10,789	8,917	19,523	0,547	0,453	0,356	0,644	-1,184	-0,144
29,352	10,939	40,291	2,683	15,376	13,976	24,915	0,524	0,476	0,382	0,618	-1,472	-0,400
39,395	10,884	50,279	3,620	21,128	18,267	29,151	0,536	0,464	0,420	0,580	-1,606	-0,540
48,950	10,776	59,726	4,542	27,722	21,228	32,005	0,566	0,434	0,464	0,536	-1,852	-0,796
49,123	14,883	64,007	3,301	27,561	21,563	36,446	0,561	0,439	0,431	0,569	-3,404	-1,945
49,734	18,707	68,442	2,659	26,935	22,799	41,506	0,542	0,458	0,394	0,606	-4,497	-2,664
59,631	18,797	78,428	3,172	32,297	27,334	46,131	0,542	0,458	0,412	0,588	-4,239	-2,397
69,495	18,831	88,327	3,690	38,314	31,182	50,013	0,551	0,449	0,434	0,566	-4,293	-2,447
79,381	18,681	98,062	4,249	44,267	35,115	53,796	0,558	0,442	0,451	0,549	-4,443	-2,612
78,900	22,839	101,739	3,455	39,206	39,694	62,534	0,497	0,503	0,385	0,615	-6,685	-4,446
79,895	28,074	107,969	2,846	37,344	42,551	70,625	0,467	0,533	0,346	0,654	-7,073	-4,322
89,377	28,146	117,523	3,175	43,503	45,874	74,020	0,487	0,513	0,370	0,630	-6,674	-3,916
100,094	28,389	128,482	3,526	49,631	50,463	78,851	0,496	0,504	0,386	0,614	-6,498	-3,716
110,284	28,158	138,442	3,917	55,997	54,287	82,445	0,508	0,492	0,404	0,596	-6,315	-3,556
119,525	28,328	147,853	4,219	61,333	58,192	86,520	0,513	0,487	0,415	0,585	-6,271	-3,495
129,570	28,247	157,818	4,587	67,379	62,191	90,438	0,520	0,480	0,427	0,573	-6,413	-3,645
139,836	28,319	168,155	4,938	72,078	67,758	96,077	0,515	0,485	0,429	0,571	-6,681	-3,906
149,319	28,290	177,609	5,278	77,924	71,395	99,684	0,522	0,478	0,439	0,561	-6,698	-3,926
159,988	28,352	188,340	5,643	84,541	75,446	103,798	0,528	0,472	0,449	0,551	-6,502	-3,724
169,694	28,167	197,861	6,025	89,582	80,112	108,279	0,528	0,472	0,453	0,547	-6,520	-3,760
180,100	28,087	208,187	6,412	94,972	85,128	113,215	0,527	0,473	0,456	0,544	-6,453	-3,701
188,869	28,192	217,060	6,699	101,038	87,831	116,022	0,535	0,465	0,465	0,535	-6,310	-3,547
199,923	28,096	228,019	7,116	110,089	89,835	117,930	0,551	0,449	0,483	0,517	-6,134	-3,381
210,047	28,128	238,175	7,467	120,986	89,061	117,189	0,576	0,424	0,508	0,492	-5,885	-3,128
219,992	27,832	247,824	7,904	128,353	91,639	119,471	0,583	0,417	0,518	0,482	-5,606	-2,879
230,033	28,539	258,572	8,060	145,484	84,549	113,088	0,632	0,368	0,563	0,437	-5,796	-2,999
237,553	27,939	265,492	8,503	125,104	112,450	140,388	0,527	0,473	0,471	0,529	0,077	2,815

Dabei sind:

F1	Wandauflast in [kN]
N_De	Deckenauflagerkraft am Wand-Decken-Knoten in [kN]
No	Resultierende Normalkraft am Wandkopf mit No = F1 + N_De in [kN]
F1 / N_De	Verhältnis Wandauflast zu Deckenauflagerkraft [-]
Vm (i)	Lastanteil Vormauerstein (Wandauflast) in [kN]
De (i)	Lastanteil Deckenauflager (Wandauflast) in [kN]
De (No) (i)	Lastanteil Deckenauflager (gesamt) in [kN]
i / F1	Verhältnis Lastanteil i zu Wandauflast [-]
i / No	Verhältnis Lastanteil i zu No [-]
M1 (i)	Einspannmoment Auflagerkante in [kNm]
M2 (i)	Einspannmoment halbe Auflagertiefe in [kNm]

Bild A 146 Experimentell bestimmte Lastspreizung zwischen Vormauerstein und Deckenauflager (W490-B)



Riss-Nr.	Last [kN]
1	50 (II)
2	80 (0)
3	80 (I)
4	80 (II)
5	100
6	130
7	150
8	180
9	193
10	200
11	215

Bild A 147 Risskartierung W490-B

Anhang 5.5.5 W490-C (a = 0,3 · t)

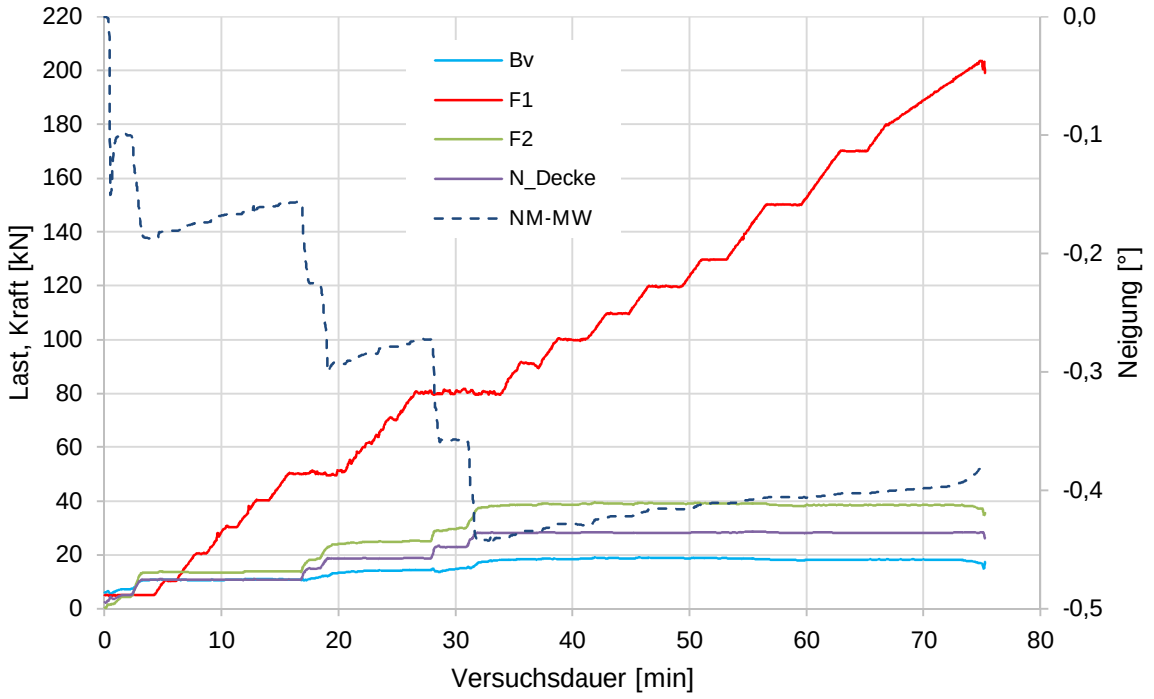


Bild A 148 Lasten, Reaktionskräfte und Deckenneigung in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W490-C)

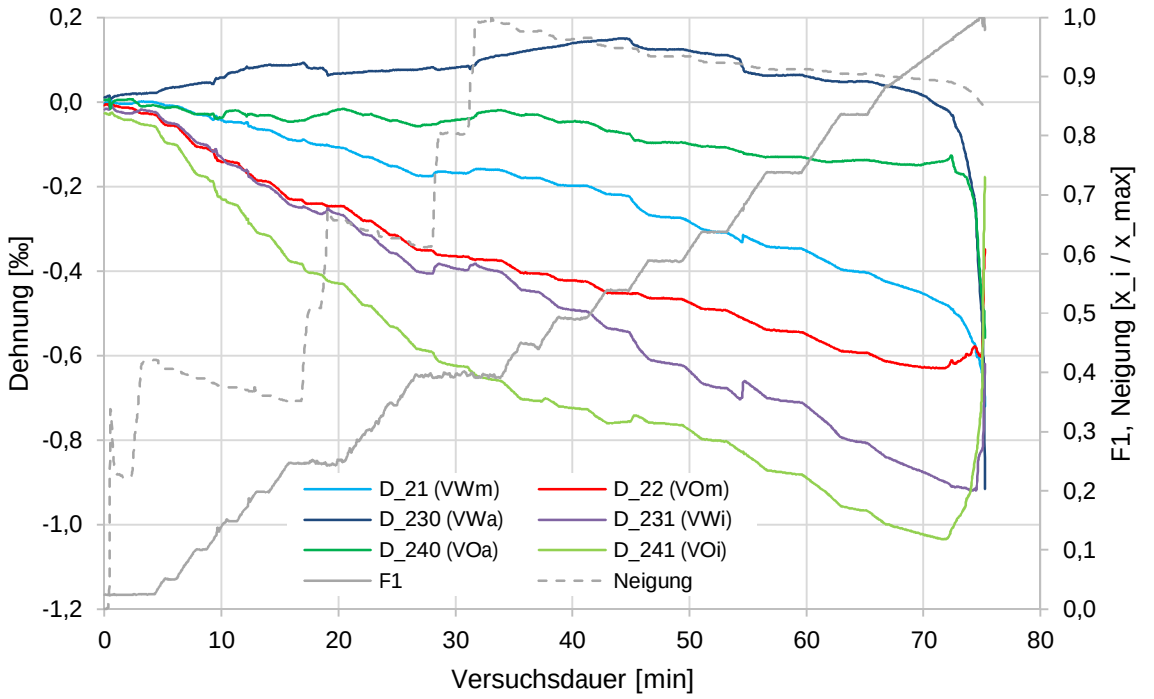


Bild A 149 Dehnungen am Vormauerstein sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.: Ist-Wert/Maximalwert) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W490-C)

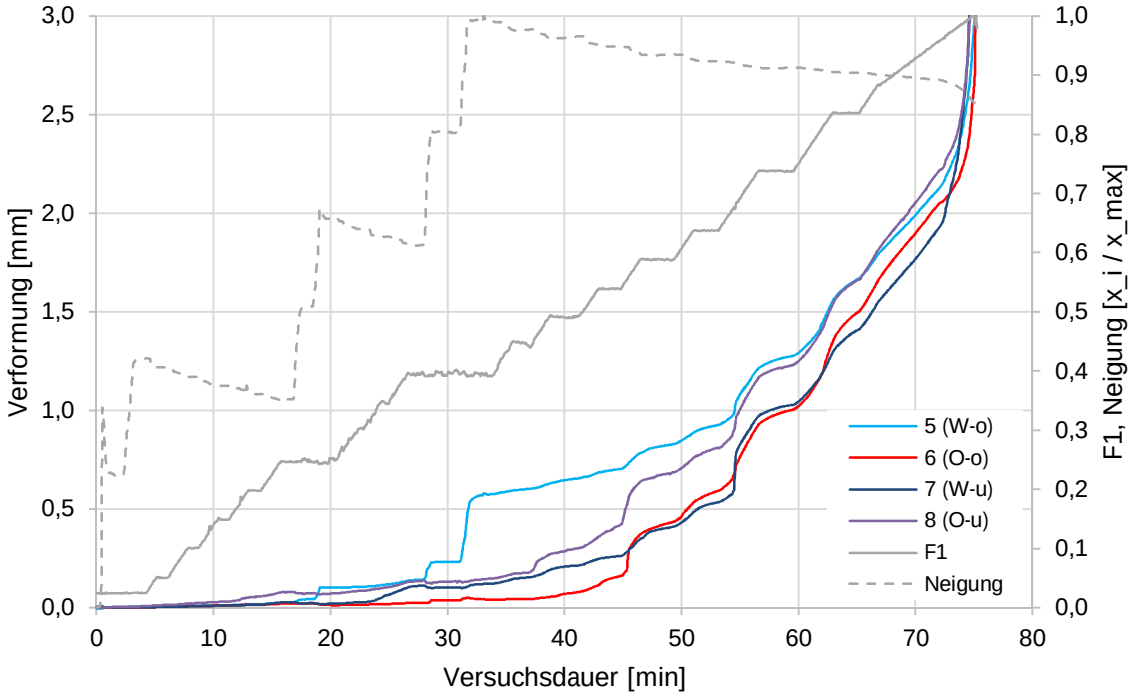


Bild A 150 Horizontale Verformungen (West/Ost) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W490-C)

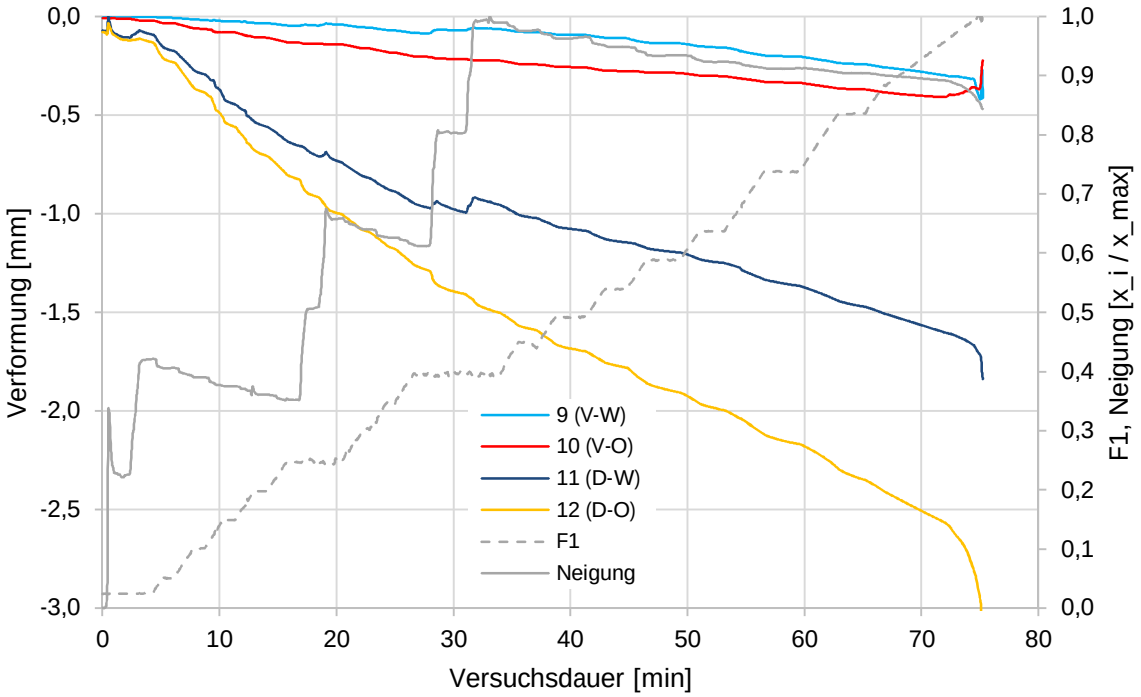


Bild A 151 Vertikale Verformungen (West/Ost) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W490-C)

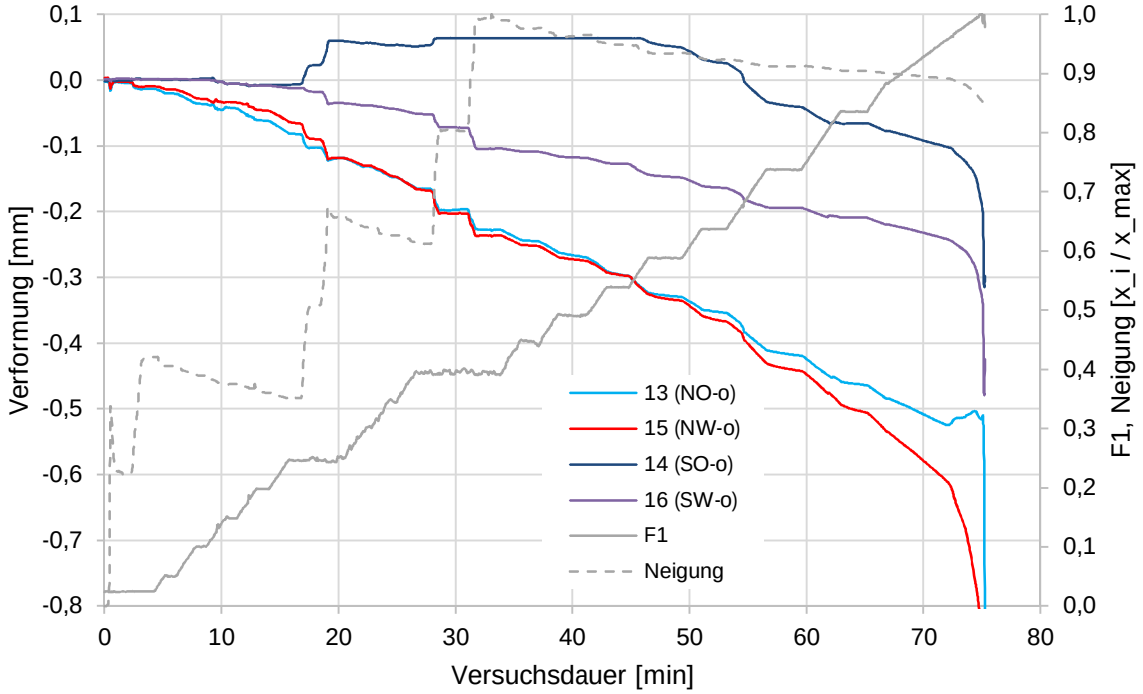


Bild A 152 Vertikale Verformungen obere Prüfkörperhälfte (Nord/Süd) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W490-C

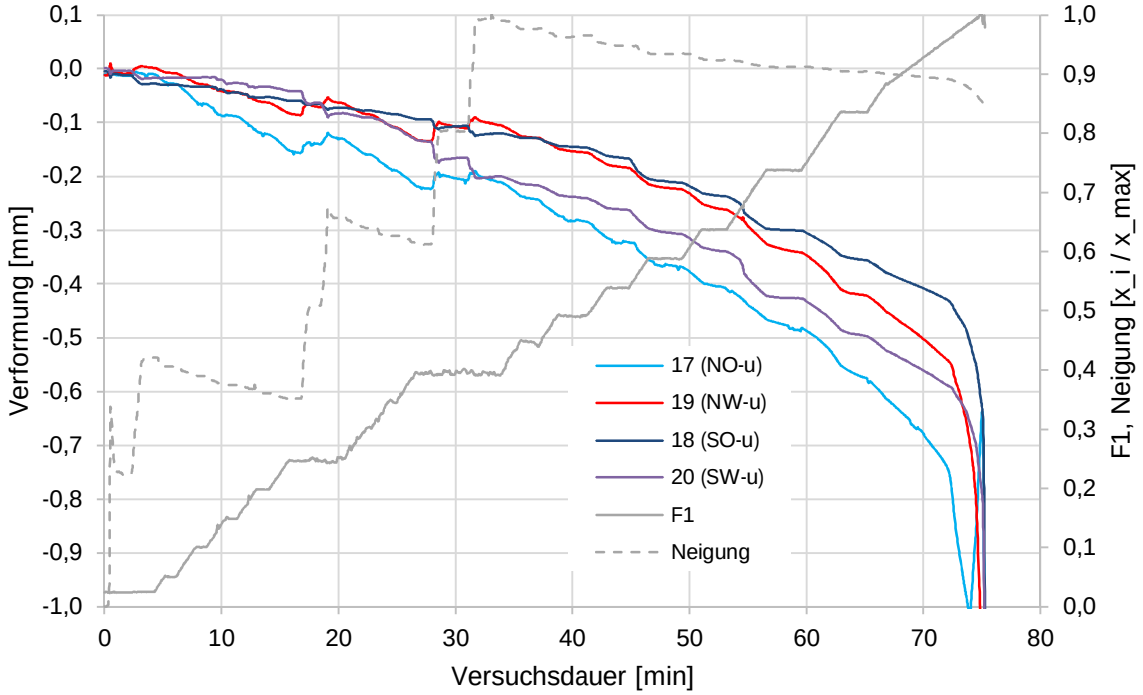


Bild A 153 Vertikale Verformungen untere Prüfkörperhälfte (Nord/Süd) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W490-C)

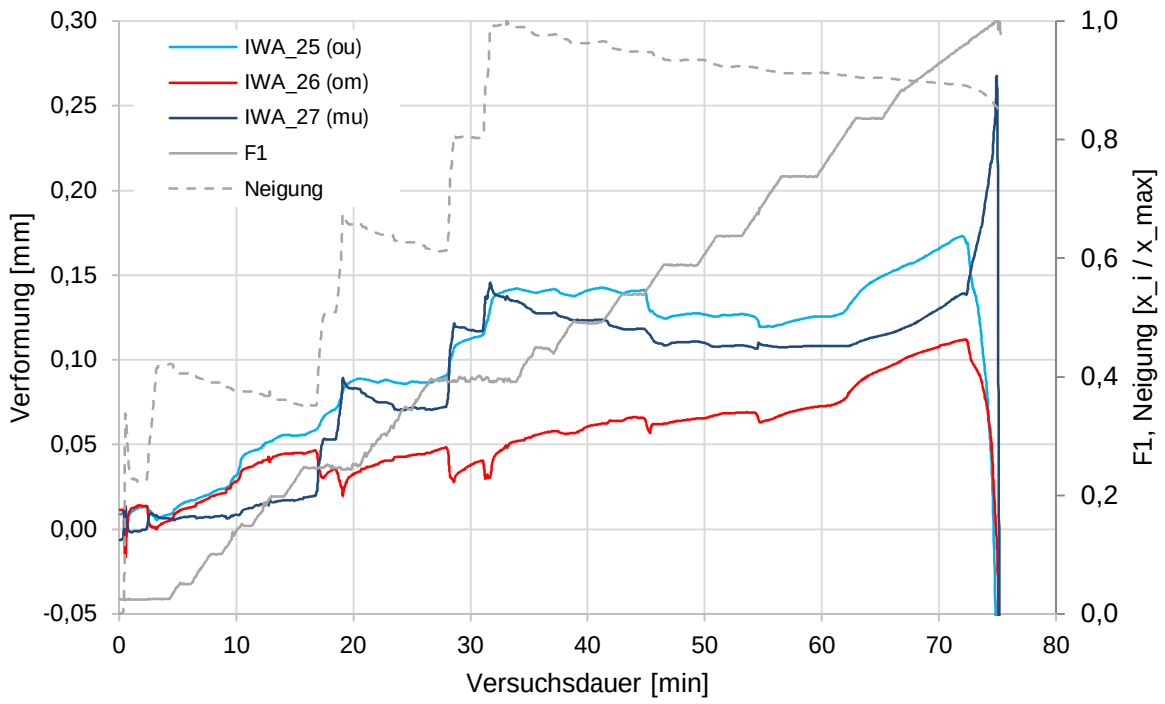


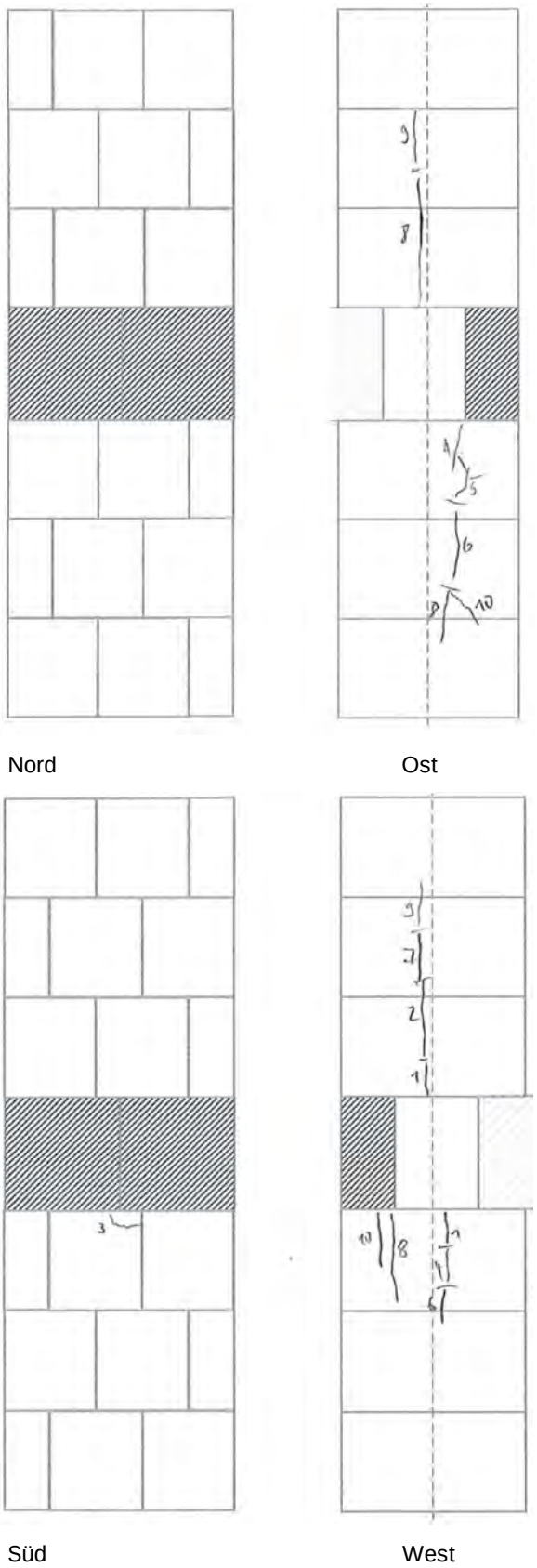
Bild A 154 Vertikale Verformungen von oberer zu unterer Prüfkörperhälfte (Nord) sowie Auflast und Deckenneigung (bezogene Darst.) in Abhängigkeit der Versuchsdauer (W490-C)

F1	N_De	No	F1 / N_De	Vm (C)	De (C)	De (No) (C)	Vm / F1 (C)	De / F1 (C)	Vm / No (C)	De / No (C)	M1 (C)	M2 (C)
5,031	4,984	10,015	1,010	1,806	3,226	8,209	0,359	0,641	0,180	0,820	0,196	0,562
10,586	10,832	21,418	0,977	6,230	4,356	15,188	0,588	0,412	0,291	0,709	-0,338	0,458
20,550	10,849	31,399	1,894	13,398	7,152	18,001	0,652	0,348	0,427	0,573	-0,390	0,407
29,908	10,731	40,639	2,787	18,442	11,466	22,197	0,617	0,383	0,454	0,546	-0,299	0,489
39,947	10,919	50,866	3,659	24,470	15,477	26,396	0,613	0,387	0,481	0,519	-0,262	0,540
50,427	10,897	61,323	4,628	31,731	18,696	29,593	0,629	0,371	0,517	0,483	-0,276	0,525
50,091	14,812	64,903	3,382	33,935	16,156	30,968	0,677	0,323	0,523	0,477	-1,614	-0,525
51,073	18,632	69,705	2,741	35,390	15,683	34,315	0,693	0,307	0,508	0,492	-2,071	-0,702
59,438	18,755	78,193	3,169	40,509	18,929	37,684	0,682	0,318	0,518	0,482	-1,819	-0,441
69,986	18,664	88,650	3,750	45,562	24,424	43,089	0,651	0,349	0,514	0,486	-1,670	-0,298
79,981	18,822	98,804	4,249	51,587	28,394	47,216	0,645	0,355	0,522	0,478	-1,614	-0,231
80,738	22,991	103,728	3,512	53,130	27,607	50,598	0,658	0,342	0,512	0,488	-3,082	-1,392
80,069	28,258	108,327	2,834	53,398	26,671	54,929	0,667	0,333	0,493	0,507	-3,403	-1,326
90,578	28,259	118,837	3,205	57,523	33,055	61,314	0,635	0,365	0,484	0,516	-3,313	-1,236
99,702	28,267	127,969	3,527	61,149	38,553	66,820	0,613	0,387	0,478	0,522	-3,220	-1,142
109,806	28,316	138,122	3,878	66,780	43,026	71,342	0,608	0,392	0,483	0,517	-3,107	-1,025
119,938	28,218	148,155	4,250	72,756	47,182	75,399	0,607	0,393	0,491	0,509	-2,902	-0,828
129,752	28,301	158,053	4,585	78,777	50,974	79,276	0,607	0,393	0,498	0,502	-3,041	-0,961
139,750	28,539	168,289	4,897	83,029	56,721	85,260	0,594	0,406	0,493	0,507	-3,302	-1,204
150,308	28,507	178,814	5,273	87,721	62,587	91,094	0,584	0,416	0,491	0,509	-3,390	-1,295
159,955	28,294	188,249	5,653	93,143	66,812	95,105	0,582	0,418	0,495	0,505	-3,432	-1,352
170,230	28,245	198,474	6,027	98,085	72,145	100,390	0,576	0,424	0,494	0,506	-3,375	-1,299
180,361	28,227	208,588	6,390	103,717	76,644	104,871	0,575	0,425	0,497	0,503	-3,336	-1,261
189,867	28,204	218,071	6,732	108,059	81,808	110,012	0,569	0,431	0,496	0,504	-3,338	-1,265
200,217	28,321	228,539	7,069	112,998	87,220	115,541	0,564	0,436	0,494	0,506	-3,691	-1,610
203,584	28,340	231,924	7,184	122,574	81,010	109,350	0,602	0,398	0,529	0,471	-4,197	-2,114

Dabei sind:

F1	Wandauflast in [kN]
N_De	Deckenauflagerkraft am Wand-Decken-Knoten in [kN]
No	Resultierende Normalkraft am Wandkopf mit No = F1 + N_De in [kN]
F1 / N_De	Verhältnis Wandauflast zu Deckenauflagerkraft [-]
Vm (i)	Lastanteil Vormauerstein (Wandauflast) in [kN]
De (i)	Lastanteil Deckenauflager (Wandauflast) in [kN]
De (No) (i)	Lastanteil Deckenauflager (gesamt) in [kN]
i / F1	Verhältnis Lastanteil i zu Wandauflast [-]
i / No	Verhältnis Lastanteil i zu No [-]
M1 (i)	Einspannmoment Auflagerkante in [kNm]
M2 (i)	Einspannmoment halbe Auflagertiefe in [kNm]

Bild A 155 Experimentell bestimmte Lastspreizung zwischen Vormauerstein und Deckenauflager (W490-C)



Riss-Nr.	Last [kN]
1	80 (I)
2	80 (II)
3	90
4	100
5	110
6	120
7	130
8	150
9	170

Bild A 156 Risskartierung W490-C

Anhang 5.5.6 Einspannmoment der Deckenplatte

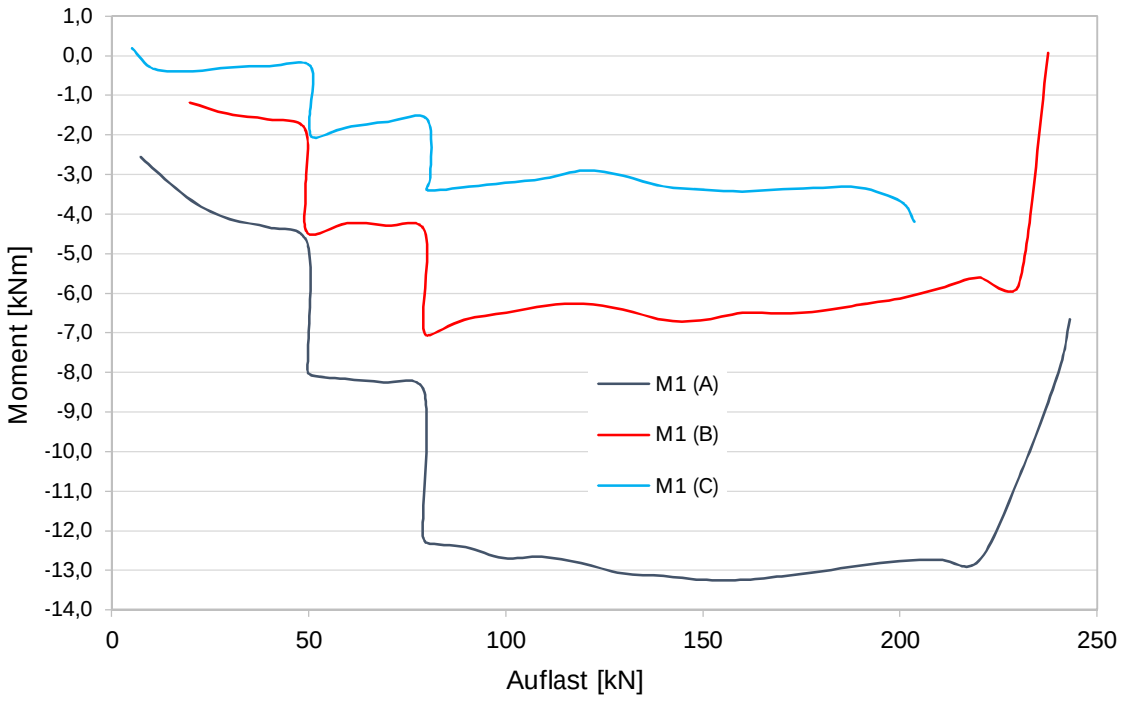


Bild A 157 Einspannmoment der Deckenplatte Serie W490

Anhang 6 Numerische Berechnungen

Anhang 6.1 Nachstellung der Versuche

Anhang 6.1.1 Berechnungsergebnisse W400

Tabelle A 88 Ergebnisse der Simulation für Versuch W400-A

n	*p* [kN/m²]	N_{Fu} / N_{Decke}	N_o [kN]	N_{Vor} / N_o (Vm)	N_{Dek} / N_o (De)
0,5	0	0,937	34,66	0,112	0,888
1	0	1,660	47,12	0,233	0,768
2	0	3,106	72,07	0,346	0,655
4	0	5,999	121,98	0,416	0,586
6	0	8,894	171,91	0,432	0,570
8	0	11,788	221,82	0,438	0,563
10	0	14,682	271,74	0,441	0,558
15	0	21,918	394,19	0,448	0,555
0,5	4,25	0,543	47,4	0,044	0,957
1	4,25	0,961	59,85	0,130	0,871
2	4,25	1,797	84,77	0,255	0,747
4	4,25	3,469	134,67	0,366	0,636
6	4,25	5,141	184,58	0,407	0,595
8	4,25	6,813	234,51	0,424	0,578
10	4,25	8,486	284,44	0,432	0,570
15	4,25	12,667	407,22	0,441	0,564
0,5	9,25	0,363	62,39	0,011	0,989
1	9,25	-	-	-	-
2	9,25	1,198	99,72	0,179	0,823
4	9,25	2,311	149,59	0,306	0,696
6	9,25	3,423	199,5	0,367	0,635
8	9,25	4,536	249,41	0,398	0,603
10	9,25	5,649	297,1	0,418	0,591
15	9,25	8,432	420,07	0,433	0,577

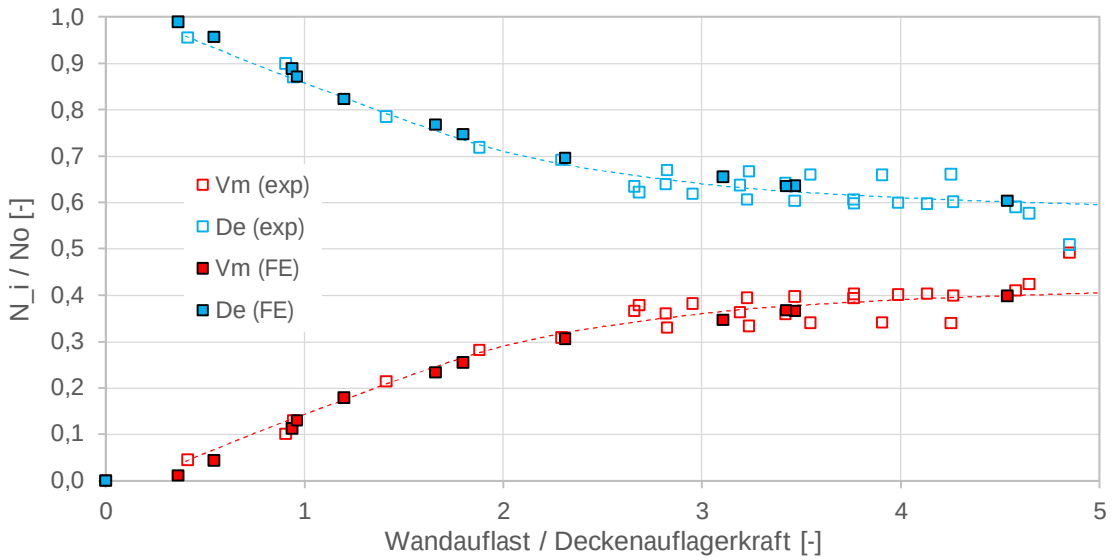


Bild A 158 Vergleich der numerisch und experimentell bestimmten Lastspreizung zwischen Vormauerstein (Vm) und Deckenauflager (De) für W400-A

Tabelle A 89 Ergebnisse der Simulation für Versuch W400-B

n	*p* [kN/m²]	N_{Fu} / N_{Decke}	N_o [kN]	N_{Vor} / N_o (Vm)	N_{Dek} / N_o (De)
0,5	0	0,936	34,45	0,198	0,802
1	0	1,660	46,93	0,307	0,694
2	0	3,108	71,91	0,404	0,597
4	0	6,005	121,87	0,460	0,541
6	0	8,901	171,83	0,474	0,526
8	0	11,798	221,79	0,480	0,518
10	0	14,694	271,75	0,484	0,513
15	0	21,936	394,36	0,491	0,509
0,5	4,25	0,541	47,19	0,114	0,886
1	4,25	0,960	59,66	0,210	0,791
2	4,25	1,797	84,63	0,326	0,675
4	4,25	3,471	134,58	0,420	0,581
6	4,25	5,145	184,55	0,453	0,548
8	4,25	6,819	234,52	0,467	0,535
10	4,25	8,492	284,48	0,474	0,527
15	4,25	12,677	406,22	0,483	0,522
0,5	9,25	0,361	62,18	0,071	0,928
1	9,25	-	-	-	-
2	9,25	1,197	99,6	0,257	0,744
4	9,25	2,311	149,55	0,370	0,631
6	9,25	3,425	199,5	0,421	0,580
8	9,25	4,539	247,24	0,450	0,560
10	9,25	5,653	297,43	0,462	0,546
15	9,25	8,398	419,26	0,474	0,535

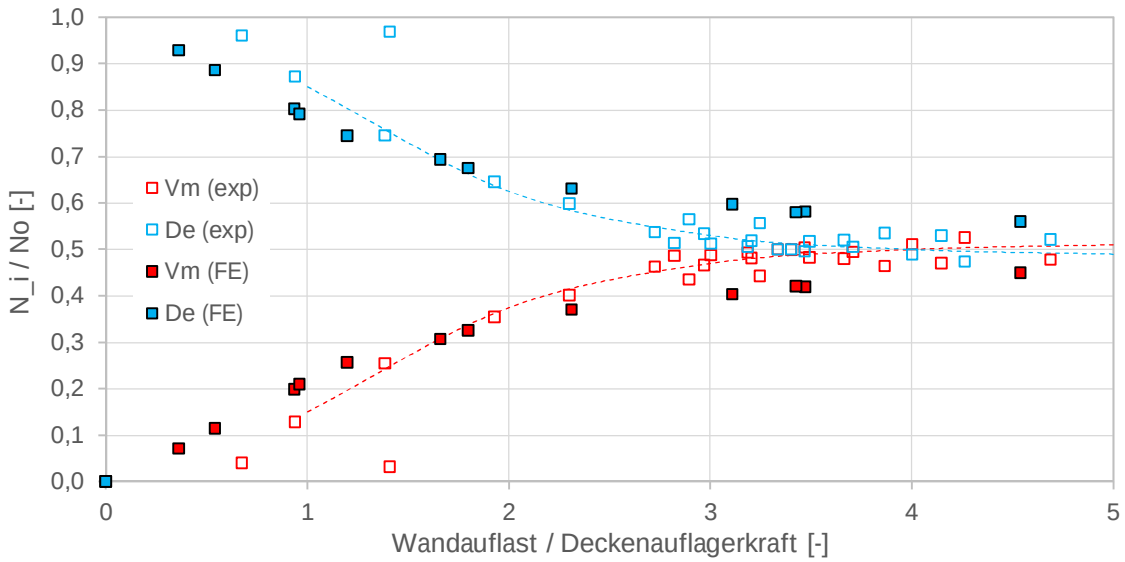


Bild A 159 Vergleich der numerisch und experimentell bestimmten Lastspreizung zwischen Vormauerstein (Vm) und Deckenauflager (De) für W400-B

Tabelle A 90 Ergebnisse der Simulation für Versuch W400-C

n	p [kN/m²]	N_{Fu} / N_{Decke}	N_o [kN]	N_{Vor} / N_o (Vm)	N_{Dek} / N_o (De)
0,5	0	0,935	34,24	0,286	0,714
1	0	1,660	46,73	0,382	0,618
2	0	3,109	71,73	0,461	0,540
4	0	6,007	121,71	0,505	0,495
6	0	8,904	171,7	0,519	0,478
8	0	11,802	221,68	0,525	0,469
10	0	14,700	271,67	0,529	0,464
15	0	21,945	393,47	0,537	0,462
0,5	4,25	0,540	46,98	0,195	0,805
1	4,25	0,959	59,47	0,291	0,710
2	4,25	1,797	84,46	0,397	0,604
4	4,25	3,471	134,45	0,473	0,528
6	4,25	5,146	184,44	0,500	0,502
8	4,25	6,821	234,42	0,512	0,487
10	4,25	8,495	282,19	0,522	0,482
15	4,25	12,682	405,09	0,525	0,477
0,5	9,25	0,360	61,98	0,126	0,874
1	9,25	0,638	74,47	0,214	0,787
2	9,25	1,196	99,45	0,331	0,670
4	9,25	2,310	149,43	0,433	0,568
6	9,25	3,425	199,43	0,474	0,528
8	9,25	4,540	247,26	0,498	0,513
10	9,25	5,654	297,26	0,506	0,502
15	9,25	8,390	417,49	0,512	0,491

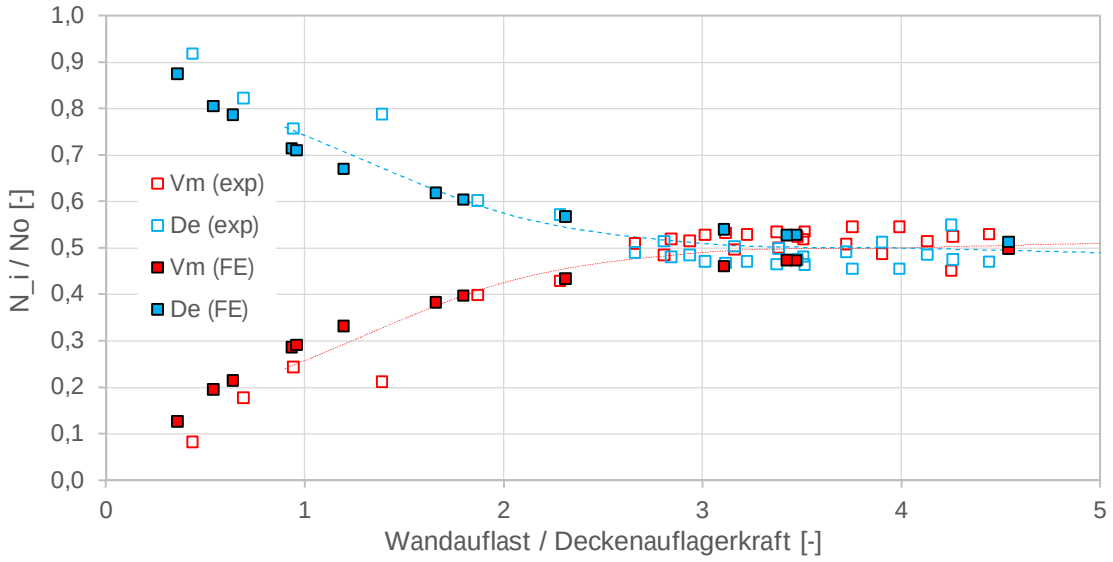


Bild A 160 Vergleich der numerisch und experimentell bestimmten Lastspreizung zwischen Vormauerstein (Vm) und Deckenauflager (De) für W400-C

Anhang 6.1.2 Berechnungsergebnisse W425

Tabelle A 91 Ergebnisse der Simulation für Versuch W425-A

n	*p* [kN/m²]	N_{Fu} / N_{Decke}	N_o [kN]	N_{Vor} / N_o (Vm)	N_{Dek} / N_o (De)
0,5	0	0,948	35,02	0,101	0,897
1	0	1,673	47,52	0,234	0,766
2	0	3,123	72,54	0,364	0,635
4	0	6,023	122,56	0,446	0,554
6	0	8,922	172,58	0,467	0,533
8	0	11,821	222,59	0,473	0,526
10	0	14,720	272,61	0,477	0,521
15	0	21,969	397,66	0,483	0,514
0,5	4,25	0,547	47,77	0,024	0,975
1	4,25	0,966	60,28	0,119	0,880
2	4,25	1,804	85,3	0,259	0,740
4	4,25	3,480	135,33	0,386	0,613
6	4,25	5,155	185,35	0,435	0,564
8	4,25	6,830	235,37	0,457	0,543
10	4,25	8,506	285,39	0,467	0,533
15	4,25	12,694	410,43	0,476	0,523
0,5	9,25	-	-	-	-
1	9,25	0,643	75,28	0,063	0,936
2	9,25	1,200	100,3	0,173	0,826
4	9,25	2,315	150,34	0,318	0,681
6	9,25	3,430	200,37	0,389	0,611
8	9,25	4,545	250,4	0,425	0,574
10	9,25	5,661	300,41	0,446	0,554
15	9,25	8,448	422,28	0,462	0,537

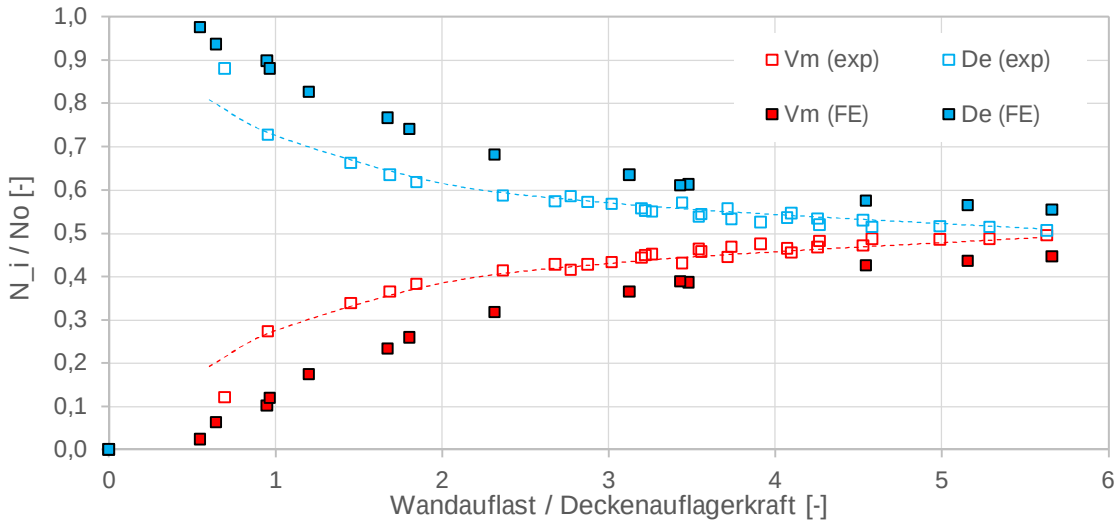


Bild A 161 Vergleich der numerisch und experimentell bestimmten Lastspreizung zwischen Vormauerstein (Vm) und Deckenauflager (De) für W425-A

Tabelle A 92 Ergebnisse der Simulation für Versuch W425-B

n	p [kN/m²]	N_{Fu} / N_{Decke}	N_o [kN]	N_{Vor} / N_o (Vm)	N_{Dek} / N_o (De)
0,5	0	0,950	34,78	0,197	0,802
1	0	1,675	47,29	0,315	0,684
2	0	3,125	72,3	0,424	0,575
4	0	6,024	122,33	0,491	0,509
6	0	8,923	172,35	0,508	0,491
8	0	11,824	222,38	0,515	0,483
10	0	14,723	272,41	0,519	0,477
15	0	21,973	397,48	0,525	0,470
0,5	4,25	0,548	47,53	0,103	0,896
1	4,25	0,967	60,05	0,207	0,792
2	4,25	1,805	85,07	0,336	0,664
4	4,25	3,481	135,1	0,443	0,556
6	4,25	5,157	185,13	0,483	0,517
8	4,25	6,833	235,15	0,500	0,500
10	4,25	8,508	285,17	0,508	0,492
15	4,25	12,697	406,93	0,514	0,484
0,5	9,25	0,364	62,53	0,050	0,950
1	9,25	0,643	75,05	0,136	0,863
2	9,25	1,201	100,08	0,258	0,741
4	9,25	2,316	150,12	0,387	0,612
6	9,25	3,432	200,15	0,445	0,554
8	9,25	4,547	250,18	0,475	0,525
10	9,25	5,662	300,22	0,491	0,509
15	9,25	8,450	422,79	0,499	0,496

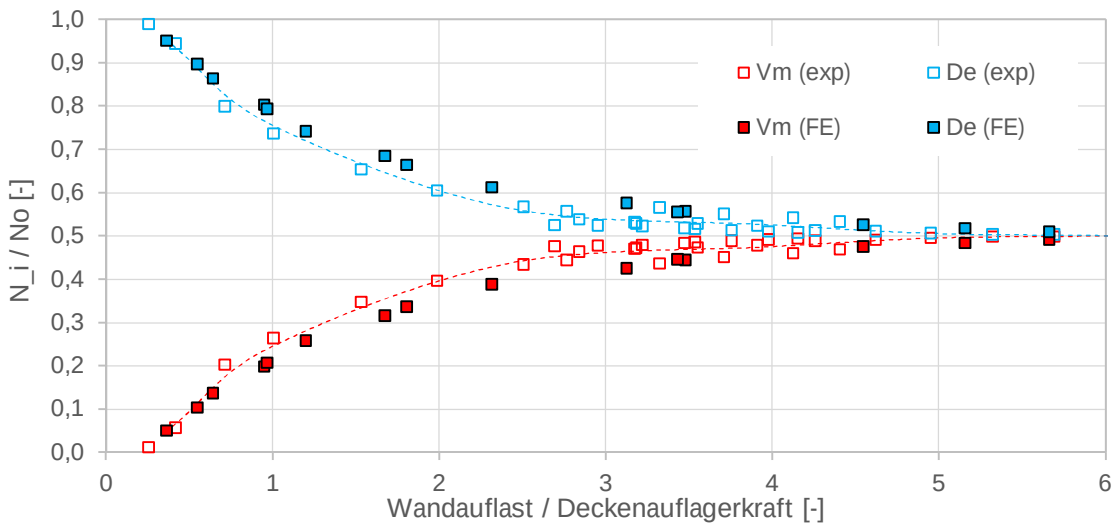


Bild A 162 Vergleich der numerisch und experimentell bestimmten Lastspreizung zwischen Vormauerstein (Vm) und Deckenauflager (De) für W425-B

Tabelle A 93 Ergebnisse der Simulation für Versuch W425-C

n	*p* [kN/m²]	N_{Fu} / N_{Decke}	N_o [kN]	N_{Vor} / N_o (Vm)	N_{Dek} / N_o (De)
0,5	0	0,950	34,51	0,287	0,713
1	0	1,674	47,01	0,397	0,604
2	0	3,123	71,99	0,487	0,514
4	0	6,020	121,97	0,538	0,462
6	0	8,918	171,96	0,553	0,444
8	0	11,816	221,95	0,561	0,435
10	0	14,714	271,94	0,566	0,430
15	0	21,958	393,69	0,571	0,426
0,5	4,25	0,549	47,25	0,191	0,810
1	4,25	0,968	59,75	0,299	0,702
2	4,25	1,805	84,74	0,414	0,587
4	4,25	3,480	134,72	0,502	0,500
6	4,25	5,154	184,69	0,532	0,469
8	4,25	6,828	234,69	0,546	0,453
10	4,25	8,503	284,68	0,553	0,445
15	4,25	12,689	407,06	0,557	0,436
0,5	9,25	0,366	62,25	0,120	0,881
1	9,25	0,645	74,74	0,211	0,790
2	9,25	1,202	99,74	0,334	0,667
4	9,25	2,316	149,72	0,456	0,545
6	9,25	3,431	199,7	0,503	0,499
8	9,25	4,546	249,67	0,526	0,476
10	9,25	5,660	296,66	0,533	0,467
15	9,25	8,446	419,67	0,544	0,453

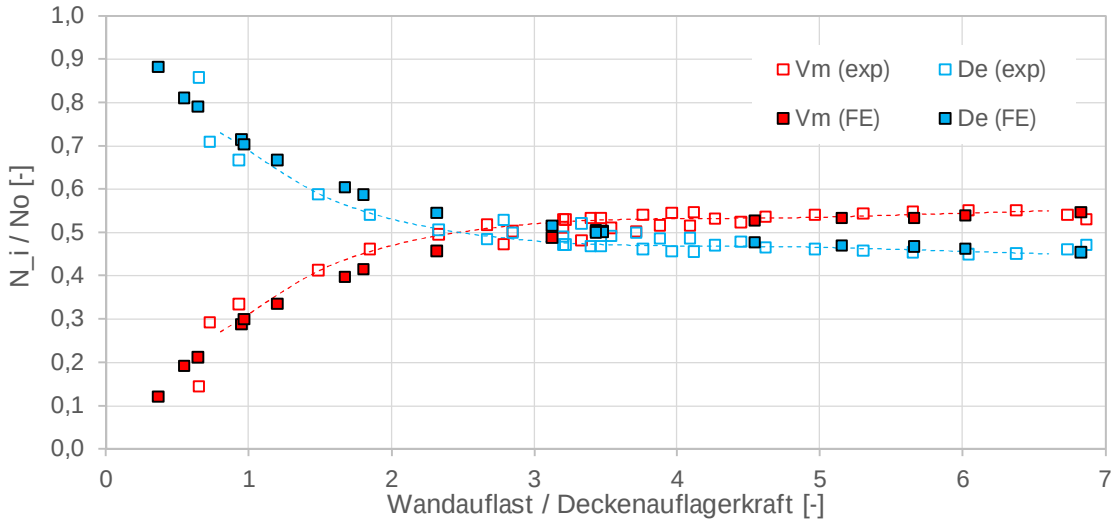


Bild A 163 Vergleich der numerisch und experimentell bestimmten Lastspreizung zwischen Vormauerstein (Vm) und Deckenauflager (De) für W425-C

Anhang 6.1.3 Berechnungsergebnisse W480

Tabelle A 94 Ergebnisse der Simulation für Versuch W480-A

n	*p* [kN/m²]	N_{Fu} / N_{Decke}	N_o [kN]	N_{Vor} / N_o (Vm)	N_{Dek} / N_o (De)
0,5	0	0,976	35,67	0,040	0,959
1	0	1,700	48,16	0,154	0,845
2	0	3,148	73,17	0,297	0,702
4	0	6,047	123,18	0,387	0,613
6	0	8,945	173,17	0,408	0,593
8	0	11,842	223,16	0,414	0,585
10	0	14,740	273,15	0,417	0,581
15	0	21,984	398,13	0,421	0,575
0,5	4,25	-	-	-	-
1	4,25	0,982	60,92	0,064	0,935
2	4,25	1,819	85,91	0,178	0,821
4	4,25	3,493	135,93	0,320	0,680
6	4,25	5,168	185,94	0,374	0,625
8	4,25	6,843	235,94	0,397	0,603
10	4,25	8,517	285,94	0,407	0,593
15	4,25	12,704	410,91	0,416	0,583
0,5	9,25	-	-	-	-
1	9,25	0,653	75,93	0,020	0,980
2	9,25	1,210	100,92	0,106	0,893
4	9,25	2,324	150,92	0,241	0,758
6	9,25	3,438	200,95	0,321	0,679
8	9,25	4,553	250,96	0,363	0,637
10	9,25	5,668	300,96	0,385	0,614
15	9,25	8,454	425,96	0,408	0,592

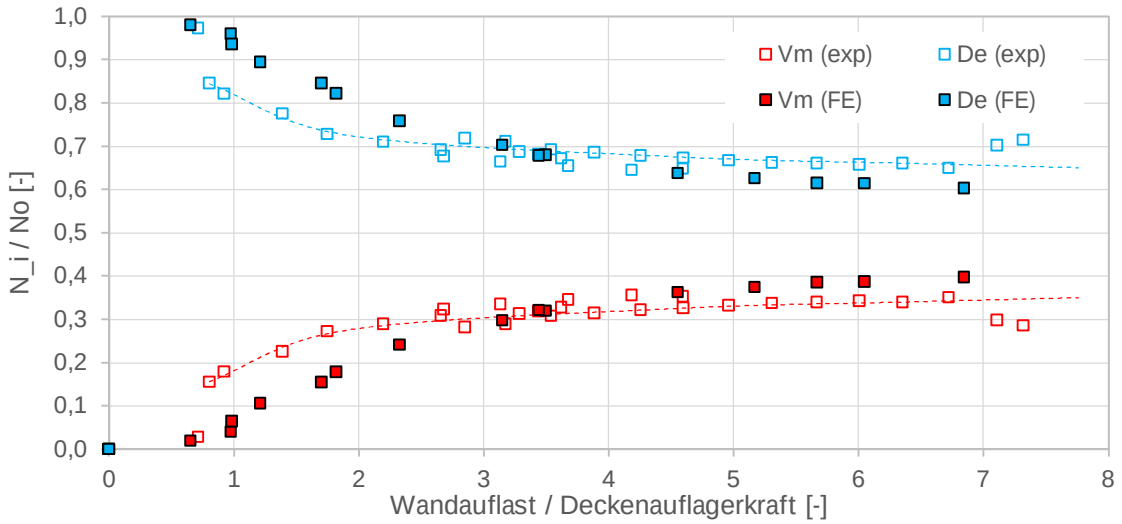


Bild A 164 Vergleich der numerisch und experimentell bestimmten Lastspreizung zwischen Vormauerstein (Vm) und Deckenauflager (De) für W480-A

Tabelle A 95 Ergebnisse der Simulation für Versuch W480-B

n	*p* [kN/m²]	N_{Fu} / N_{Decke}	N_o [kN]	N_{Vor} / N_o (Vm)	N_{Dek} / N_o (De)
0,5	0	0,978	35,39	0,116	0,884
1	0	1,703	47,89	0,236	0,764
2	0	3,152	72,89	0,356	0,643
4	0	6,051	122,89	0,433	0,567
6	0	8,950	172,89	0,452	0,549
8	0	11,848	222,89	0,458	0,541
10	0	14,747	272,89	0,461	0,536
15	0	21,993	397,89	0,466	0,529
0,5	4,25	0,565	48,14	0,054	0,945
1	4,25	0,984	60,64	0,131	0,868
2	4,25	1,822	85,64	0,258	0,742
4	4,25	3,497	135,64	0,377	0,623
6	4,25	5,172	185,64	0,422	0,578
8	4,25	6,847	235,64	0,442	0,558
10	4,25	8,522	285,64	0,451	0,550
15	4,25	12,710	410,64	0,460	0,538
0,5	9,25	0,376	63,14	0,029	0,971
1	9,25	0,655	75,64	0,089	0,911
2	9,25	1,212	100,64	0,180	0,819
4	9,25	2,327	150,64	0,311	0,689
6	9,25	3,442	200,64	0,378	0,622
8	9,25	4,557	250,64	0,413	0,587
10	9,25	5,672	300,64	0,432	0,568
15	9,25	8,459	425,64	0,445	0,549

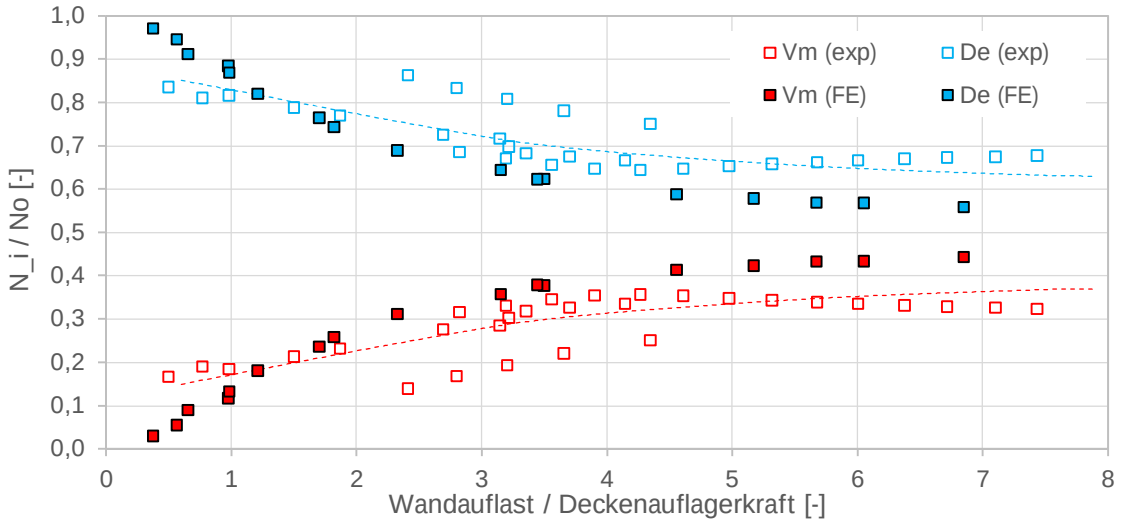


Bild A 165 Vergleich der numerisch und experimentell bestimmten Lastspreizung zwischen Vormauerstein (Vm) und Deckenauflager (De) für W480-B

Tabelle A 96 Ergebnisse der Simulation für Versuch W480-C

n	*p* [kN/m²]	N_{Fu} / N_{Decke}	N_o [kN]	N_{Vor} / N_o (Vm)	N_{Dek} / N_o (De)
0,5	0	0,980	35,11	0,219	0,782
1	0	1,704	47,62	0,323	0,677
2	0	3,152	72,63	0,424	0,576
4	0	6,052	122,62	0,483	0,518
6	0	8,950	172,62	0,498	0,501
8	0	11,848	222,62	0,505	0,492
10	0	14,747	272,63	0,509	0,487
15	0	21,994	397,64	0,514	0,480
0,5	4,25	0,567	47,84	0,131	0,869
1	4,25	0,986	60,35	0,225	0,775
2	4,25	1,822	85,37	0,343	0,657
4	4,25	3,497	135,39	0,440	0,560
6	4,25	5,173	185,38	0,475	0,525
8	4,25	6,848	235,36	0,490	0,511
10	4,25	8,523	285,37	0,498	0,501
15	4,25	12,710	410,38	0,500	0,490
0,5	9,25	-	-	-	-
1	9,25	0,656	75,33	0,154	0,846
2	9,25	1,214	100,35	0,269	0,731
4	9,25	2,328	150,39	0,389	0,611
6	9,25	3,442	200,41	0,441	0,560
8	9,25	4,558	250,4	0,467	0,533
10	9,25	5,673	300,39	0,482	0,519
15	9,25	8,460	423,33	0,489	0,505

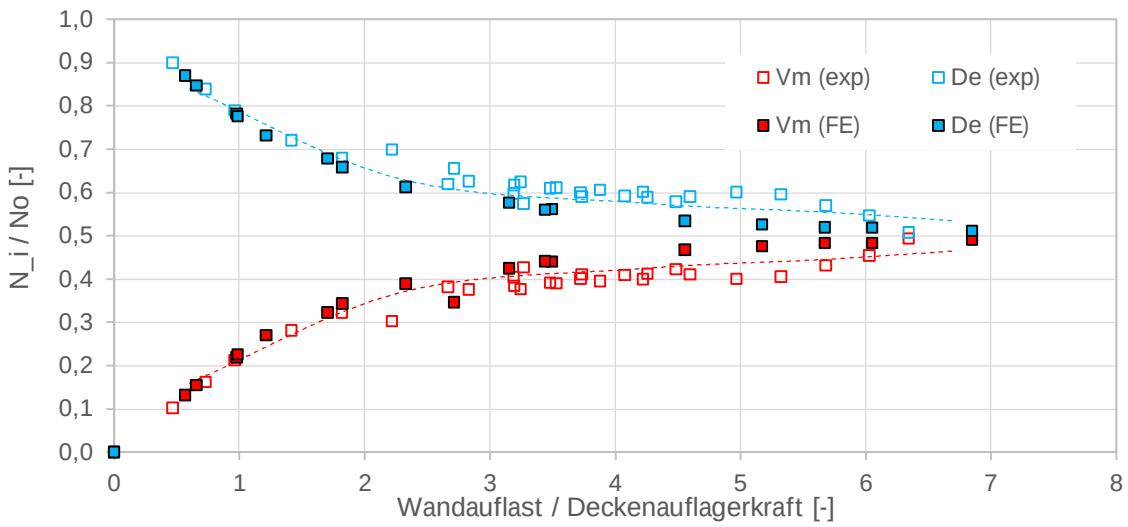


Bild A 166 Vergleich der numerisch und experimentell bestimmten Lastspreizung zwischen Vormauerstein (Vm) und Deckenauflager (De) für W480-C

Anhang 6.1.4 Berechnungsergebnisse W490

Tabelle A 97 Ergebnisse der Simulation für Versuch W490-A

n	*p* [kN/m²]	N_{Fu} / N_{Decke}	N_o [kN]	N_{Vor} / N_o (Vm)	N_{Dek} / N_o (De)
0,5	0	1,013	36,34	0,043	0,956
1	0	1,738	48,79	0,133	0,867
2	0	3,184	73,77	0,278	0,722
4	0	6,082	123,75	0,401	0,599
6	0	8,979	173,73	0,436	0,564
8	0	11,876	223,7	0,447	0,554
10	0	14,774	273,67	0,451	0,549
15	0	22,019	398,62	0,456	0,542
0,5	4,25	0,586	49,14	0,004	0,995
1	4,25	-	-	-	-
2	4,25	1,843	86,52	0,164	0,836
4	4,25	3,515	136,47	0,309	0,691
6	4,25	5,189	186,45	0,383	0,617
8	4,25	6,864	236,43	0,419	0,581
10	4,25	8,538	286,41	0,436	0,565
15	4,25	12,724	411,34	0,449	0,551
0,5	9,25	-	-	-	-
1	9,25	0,669	76,68	0,000	0,999
2	9,25	1,227	101,61	0,106	0,894
4	9,25	2,341	151,44	0,223	0,777
6	9,25	3,454	201,41	0,311	0,689
8	9,25	4,568	251,4	0,368	0,633
10	9,25	5,683	301,37	0,401	0,600
15	9,25	8,468	426,31	0,437	0,563

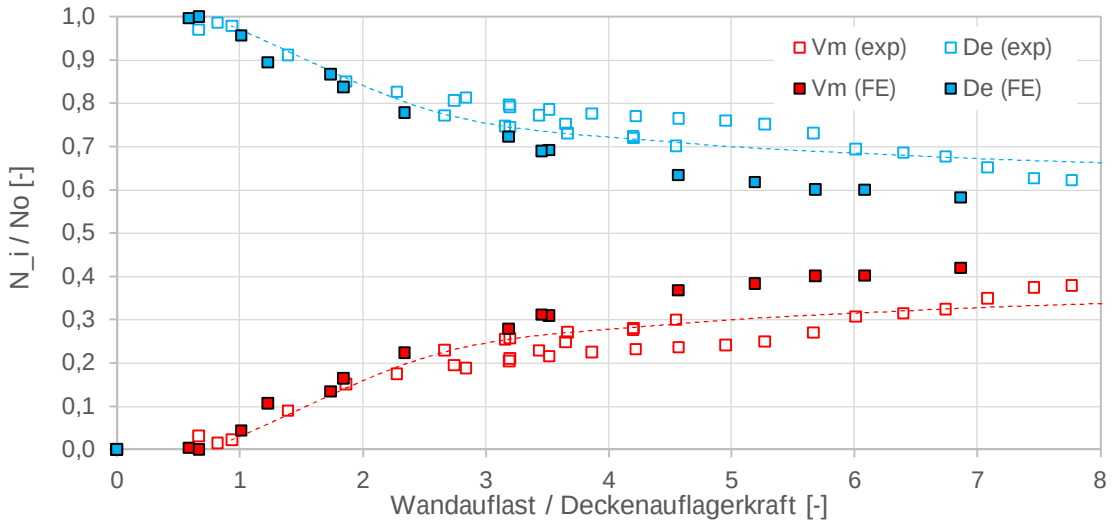


Bild A 167 Vergleich der numerisch und experimentell bestimmten Lastspreizung zwischen Vormauerstein (Vm) und Deckenauflager (De) für W490-A

Tabelle A 98 Ergebnisse der Simulation für Versuch W490-B

n	*p* [kN/m²]	N_{Fu} / N_{Decke}	N_o [kN]	N_{Vor} / N_o (Vm)	N_{Dek} / N_o (De)
0,5	0	1,016	36,04	0,127	0,872
1	0	1,740	48,55	0,214	0,785
2	0	3,188	73,54	0,346	0,654
4	0	6,088	123,55	0,448	0,552
6	0	8,987	173,57	0,479	0,521
8	0	11,887	223,58	0,489	0,511
10	0	14,787	273,6	0,493	0,506
15	0	22,035	398,65	0,498	0,498
0,5	4,25	0,587	48,78	0,100	0,899
1	4,25	1,007	61,29	0,153	0,846
2	4,25	1,845	86,33	0,244	0,755
4	4,25	3,519	136,33	0,372	0,628
6	4,25	5,194	186,33	0,433	0,566
8	4,25	6,870	236,34	0,463	0,537
10	4,25	8,545	286,35	0,478	0,522
15	4,25	12,734	411,39	0,491	0,508
0,5	9,25	-	-	-	-
1	9,25	0,671	76,29	0,132	0,867
2	9,25	1,229	101,31	0,188	0,812
4	9,25	2,344	151,38	0,301	0,698
6	9,25	3,458	201,38	0,373	0,626
8	9,25	4,573	251,38	0,420	0,580
10	9,25	5,687	301,38	0,448	0,552
15	9,25	8,476	423,65	0,482	0,525

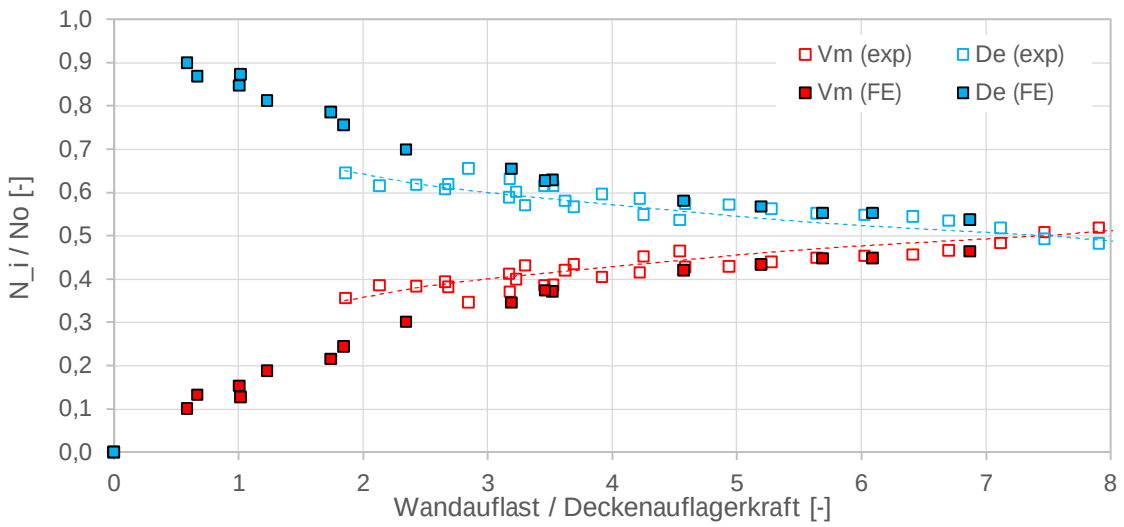


Bild A 168 Vergleich der numerisch und experimentell bestimmten Lastspreizung zwischen Vormauerstein (Vm) und Deckenauflager (De) für W490-B

Tabelle A 99 Ergebnisse der Simulation für Versuch W490-C

n	*p* [kN/m²]	N_{Fu} / N_{Decke}	N_o [kN]	N_{Vor} / N_o (Vm)	N_{Dek} / N_o (De)
0,5	0	1,016	35,71	0,217	0,784
1	0	1,739	48,21	0,313	0,688
2	0	3,187	73,21	0,426	0,574
4	0	6,086	123,19	0,505	0,496
6	0	8,984	173,15	0,528	0,473
8	0	11,881	223,14	0,536	0,463
10	0	14,780	273,13	0,541	0,457
15	0	22,025	398,1	0,547	0,449
0,5	4,25	0,589	48,47	0,176	0,824
1	4,25	1,008	60,94	0,244	0,757
2	4,25	1,844	85,93	0,339	0,662
4	4,25	3,518	135,93	0,447	0,554
6	4,25	5,194	185,91	0,495	0,506
8	4,25	6,868	235,87	0,517	0,485
10	4,25	8,543	285,83	0,528	0,474
15	4,25	12,729	407,87	0,542	0,463
0,5	9,25	0,393	63,49	0,159	0,841
1	9,25	0,673	75,96	0,207	0,793
2	9,25	1,230	100,9	0,296	0,705
4	9,25	2,343	150,9	0,392	0,609
6	9,25	3,457	200,9	0,449	0,551
8	9,25	4,572	250,88	0,484	0,517
10	9,25	5,687	297,89	0,510	0,501
15	9,25	8,493	421,59	0,532	0,480

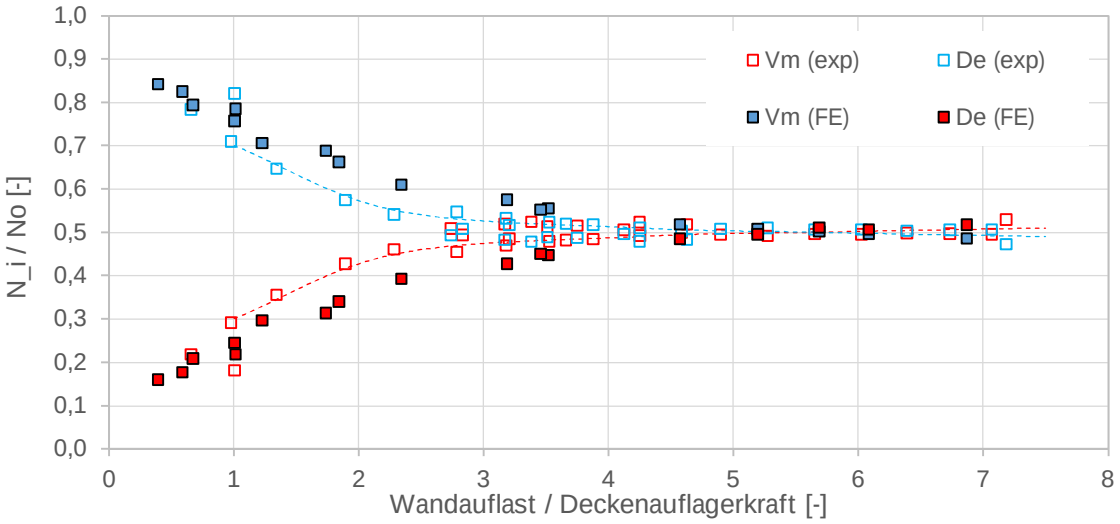


Bild A 169 Vergleich der numerisch und experimentell bestimmten Lastspreizung zwischen Vormauerstein (Vm) und Deckenauflager (De) für W490-C

Anhang 6.2 Analysen zum Bruchverhalten

Tabelle A 100 Parameterstudie Bruchlasten für W400

t	a/t	e_{Decke}	l_{Decke}	F_{max}	t	a/t	e_{Decke}	l_{Decke}	F_{max}
0,4	0,2	0	2	181,248	0,4	0,4	7,5	2	232,254
0,4	0,2	0	2,5	181,116	0,4	0,4	7,5	2,5	230,637
0,4	0,2	0	3	179,924	0,4	0,4	7,5	3	222,380
0,4	0,2	2,5	2	181,214	0,4	0,4	10	2	231,827
0,4	0,2	2,5	2,5	179,593	0,4	0,4	10	2,5	228,261
0,4	0,2	2,5	3	178,643	0,4	0,4	10	3	218,570
0,4	0,2	5	2	180,444	0,4	0,5	0	2	259,069
0,4	0,2	5	2,5	179,431	0,4	0,5	0	2,5	257,489
0,4	0,2	5	3	177,077	0,4	0,5	0	3	251,540
0,4	0,2	7,5	2	178,809	0,4	0,5	2,5	2	256,463
0,4	0,2	7,5	2,5	177,626	0,4	0,5	2,5	2,5	253,032
0,4	0,2	7,5	3	176,825	0,4	0,5	2,5	3	240,234
0,4	0,2	10	2	177,654	0,4	0,5	5	2	256,050
0,4	0,2	10	2,5	177,849	0,4	0,5	5	2,5	250,058
0,4	0,2	10	3	173,233	0,4	0,5	5	3	237,753
0,4	0,3	0	2	209,191	0,4	0,5	7,5	2	251,913
0,4	0,3	0	2,5	208,641	0,4	0,5	7,5	2,5	242,602
0,4	0,3	0	3	205,846	0,4	0,5	7,5	3	233,427
0,4	0,3	2,5	2	208,097	0,4	0,5	10	2	250,517
0,4	0,3	2,5	2,5	206,370	0,4	0,5	10	2,5	240,266
0,4	0,3	2,5	3	206,244	0,4	0,5	10	3	229,570
0,4	0,3	5	2	208,538	0,4	0,6	0	2	278,703
0,4	0,3	5	2,5	206,556	0,4	0,6	0	2,5	273,877
0,4	0,3	5	3	203,194	0,4	0,6	0	3	271,312
0,4	0,3	7,5	2	205,820	0,4	0,6	2,5	2	274,431
0,4	0,3	7,5	2,5	204,428	0,4	0,6	2,5	2,5	271,313
0,4	0,3	7,5	3	197,256	0,4	0,6	2,5	3	256,152
0,4	0,3	10	2	206,676	0,4	0,6	5	2	273,508
0,4	0,3	10	2,5	203,030	0,4	0,6	5	2,5	258,817
0,4	0,3	10	3	193,478	0,4	0,6	5	3	251,785
0,4	0,4	0	2	233,729	0,4	0,6	7,5	2	270,215
0,4	0,4	0	2,5	228,243	0,4	0,6	7,5	2,5	255,959
0,4	0,4	0	3	231,574	0,4	0,6	7,5	3	247,913
0,4	0,4	2,5	2	231,364	0,4	0,6	10	2	268,97
0,4	0,4	2,5	2,5	232,213	0,4	0,6	10	2,5	252,563
0,4	0,4	2,5	3	229,103	0,4	0,6	10	3	244,204
0,4	0,4	5	2	233,383					
0,4	0,4	5	2,5	228,884					
0,4	0,4	5	3	223,425					

Dabei sind

t Wanddicke,
a/t Verhältnis Ausflagertiefe / Wanddicke,
e_{Decke} Deckenbelastung zzgl. Eigengewicht,
l_{Decke} Deckenlänge,
F_{max} maximal aufnehmbare Auflast.

Tabelle A 101 Parameterstudie Bruchlasten für W490

t	a/t	e_{Decke}	l_{Decke}	F_{max}	t	a/t	e_{Decke}	l_{Decke}	F_{max}
0,49	0,2	0	2	338,6	0,49	0,4	7,5	2	413,7
0,49	0,2	0	2,5	338,6	0,49	0,4	7,5	2,5	405,3
0,49	0,2	0	3	339,2	0,49	0,4	7,5	3	385,9
0,49	0,2	2,5	2	336,9	0,49	0,4	10	2	410,2
0,49	0,2	2,5	2,5	335,9	0,49	0,4	10	2,5	393,9
0,49	0,2	2,5	3	333,8	0,49	0,4	10	3	379,9
0,49	0,2	5	2	336,5	0,49	0,5	0	2	470,6
0,49	0,2	5	2,5	331,8	0,49	0,5	0	2,5	479,4
0,49	0,2	5	3	324,7	0,49	0,5	0	3	478,2
0,49	0,2	7,5	2	335,0	0,49	0,5	2,5	2	469,4
0,49	0,2	7,5	2,5	331,4	0,49	0,5	2,5	2,5	478,0
0,49	0,2	7,5	3	322,3	0,49	0,5	2,5	3	474,1
0,49	0,2	10	2	334,1	0,49	0,5	5	2	466,3
0,49	0,2	10	2,5	328,3	0,49	0,5	5	2,5	466,8
0,49	0,2	10	3	313,5	0,49	0,5	5	3	459,2
0,49	0,3	0	2	378,0	0,49	0,5	7,5	2	465,1
0,49	0,3	0	2,5	381,4	0,49	0,5	7,5	2,5	463,9
0,49	0,3	0	3	379,5	0,49	0,5	7,5	3	447,0
0,49	0,3	2,5	2	379,9	0,49	0,5	10	2	467,2
0,49	0,3	2,5	2,5	378,5	0,49	0,5	10	2,5	457,0
0,49	0,3	2,5	3	372,2	0,49	0,5	10	3	436,2
0,49	0,3	5	2	380,8	0,49	0,6	0	2	531,2
0,49	0,3	5	2,5	371,3	0,49	0,6	0	2,5	524,1
0,49	0,3	5	3	361,8	0,49	0,6	0	3	523,5
0,49	0,3	7,5	2	370,1	0,49	0,6	2,5	2	529,8
0,49	0,3	7,5	2,5	367,3	0,49	0,6	2,5	2,5	518,1
0,49	0,3	7,5	3	360,7	0,49	0,6	2,5	3	499,7
0,49	0,3	10	2	369,2	0,49	0,6	5	2	519,6
0,49	0,3	10	2,5	364,3	0,49	0,6	5	2,5	512,4
0,49	0,3	10	3	354,5	0,49	0,6	5	3	480,7
0,49	0,4	0	2	426,4	0,49	0,6	7,5	2	514,0
0,49	0,4	0	2,5	421,3	0,49	0,6	7,5	2,5	484,1
0,49	0,4	0	3	420,9	0,49	0,6	7,5	3	474,7
0,49	0,4	2,5	2	420,5	0,49	0,6	10	2	506,6
0,49	0,4	2,5	2,5	419,2	0,49	0,6	10	2,5	479,8
0,49	0,4	2,5	3	414,6	0,49	0,6	10	3	466,4
0,49	0,4	5	2	417,6					
0,49	0,4	5	2,5	413,4					
0,49	0,4	5	3	393,1					

Dabei sind

t Wanddicke,
a/t Verhältnis Ausflagertiefe / Wanddicke,
e_{Decke} Deckenbelastung zzgl. Eigengewicht,
l_{Decke} Deckenlänge,
F_{max} maximal aufnehmbare Auflast.

Tabelle A 102 Ergebnisse der Simulation für Versuch W400-A (Lastspreizung mit DP)

n	p [kN/m²]	N_{Fu} / N_{Decke}	N_o [kN]	N_{Vor} / N_o (Vm)	N_{Dek} / N_o (De)
0,5	0	0,936	34,67	0,123	0,877
1	0	1,639	47,14	0,258	0,743
2	0	3,117	72,08	0,379	0,622
4	0	5,966	120,93	0,450	0,558
6	0	8,828	171,98	0,455	0,551
8	0	11,659	221,23	0,448	0,552
0,5	4,2	0,542	47,49	0,058	0,943
1	4,2	0,952	59,91	0,150	0,853
2	4,2	1,750	84,8	0,284	0,718
4	4,2	3,424	134,45	0,399	0,610
6	4,2	5,045	183,21	0,445	0,565
8	4,2	-	-	-	-
0,5	9,2	0,342	62,43	0,045	0,959
1	9,2	-	-	-	-
2	9,2	1,145	97,3	0,210	0,794
4	9,2	-	-	-	-
6	9,2	-	-	-	-
8	9,2	-	-	-	-

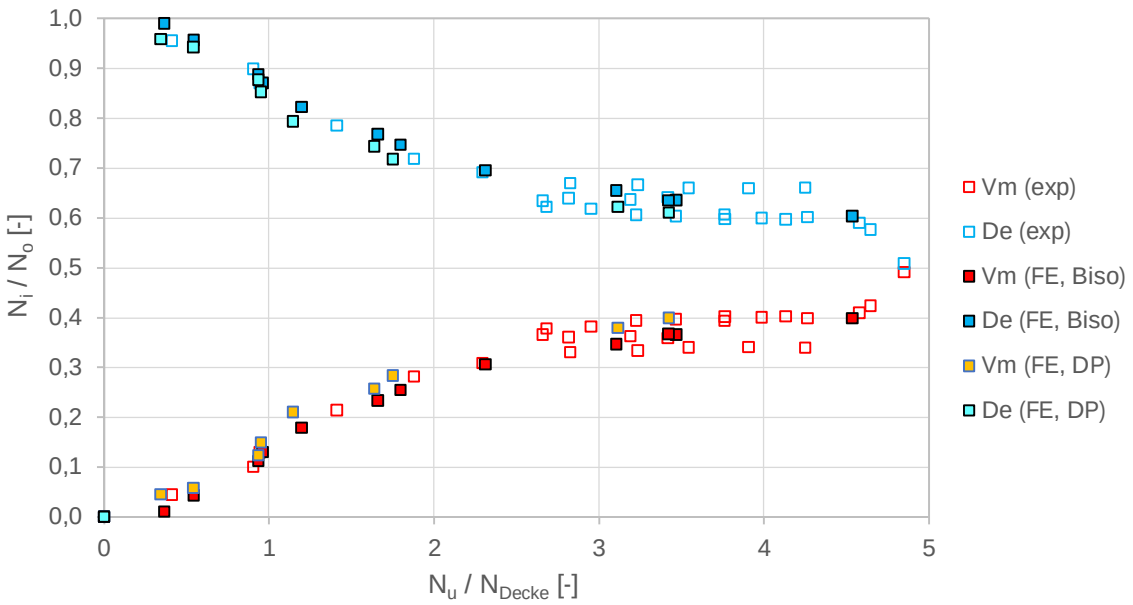


Bild A 170 Vergleich der numerisch und experimentell bestimmten Lastspreizung zwischen Vormauerstein (Vm) und Deckenauflager (De) für W400-A bei Ansatz verschiedener Materialmodelle (Ergebnisse Biso siehe Tabelle A 88)

Anhang 6.3 Numerische Parameterstudien

Anhang 6.3.1 Wandhöhe

Tabelle A 103 Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie zur Wandhöhe (a/t=0,3)

t	a/t	w	h	l	E_{Decke}	e_{Decke}	N_u / N_{Decke}	N_o	N_V/N_o	N_D/N_o
m	-	kN/m²	m	m	N/mm²	kN/m²	-	kN/m	-	-
0,4	0,3	-1,35	2,75	6	15000	0	0,935	34,24	0,312	0,688
0,4	0,3	-1,35	2,75	6	15000	0	1,660	46,73	0,406	0,594
0,4	0,3	-1,35	2,75	6	15000	0	3,109	71,73	0,479	0,522
0,4	0,3	-1,35	2,75	6	15000	0	6,007	121,71	0,517	0,483
0,4	0,3	-1,35	2,75	6	15000	0	8,905	171,7	0,528	0,469
0,4	0,3	-1,35	2,75	6	15000	0	11,802	221,68	0,533	0,462
0,4	0,3	-1,35	2,75	6	15000	0	14,700	271,67	0,536	0,458
0,4	0,3	-1,35	2,75	6	15000	0	21,945	393,43	0,542	0,458
0,4	0,3	-1,35	2,75	6	15000	4,2	0,540	46,98	0,214	0,786
0,4	0,3	-1,35	2,75	6	15000	4,2	0,959	59,47	0,305	0,696
0,4	0,3	-1,35	2,75	6	15000	4,2	1,797	84,46	0,409	0,592
0,4	0,3	-1,35	2,75	6	15000	4,2	3,471	134,45	0,482	0,520
0,4	0,3	-1,35	2,75	6	15000	4,2	5,146	184,44	0,507	0,495
0,4	0,3	-1,35	2,75	6	15000	4,2	6,821	234,42	0,517	0,482
0,4	0,3	-1,35	2,75	6	15000	4,2	8,495	282,17	0,527	0,478
0,4	0,3	-1,35	2,75	6	15000	4,2	12,682	405,05	0,528	0,473
0,4	0,3	-1,35	2,75	6	15000	9,2	0,360	61,98	0,136	0,864
0,4	0,3	-1,35	2,75	6	15000	9,2	0,638	74,47	0,222	0,779
0,4	0,3	-1,35	2,75	6	15000	9,2	1,196	99,45	0,336	0,665
0,4	0,3	-1,35	2,75	6	15000	9,2	2,310	149,43	0,438	0,563
0,4	0,3	-1,35	2,75	6	15000	9,2	3,425	199,43	0,478	0,523
0,4	0,3	-1,35	2,75	6	15000	9,2	4,540	247,25	0,501	0,509
0,4	0,3	-1,35	2,75	6	15000	9,2	5,654	297,25	0,509	0,499
0,4	0,3	-1,35	2,75	6	15000	9,2	8,390	417,57	0,515	0,489
0,4	0,3	-1,35	3,25	6	15000	0	0,936	34,24	0,343	0,657
0,4	0,3	-1,35	3,25	6	15000	0	1,660	46,73	0,431	0,569
0,4	0,3	-1,35	3,25	6	15000	0	3,109	71,73	0,495	0,505
0,4	0,3	-1,35	3,25	6	15000	0	6,007	121,71	0,527	0,473
0,4	0,3	-1,35	3,25	6	15000	0	8,905	171,7	0,534	0,463
0,4	0,3	-1,35	3,25	6	15000	0	11,802	221,68	0,537	0,458
0,4	0,3	-1,35	3,25	6	15000	0	14,700	271,67	0,539	0,455
0,4	0,3	-1,35	3,25	6	15000	0	21,945	393,41	0,543	0,457
0,4	0,3	-1,35	3,25	6	15000	4,2	0,540	46,99	0,232	0,768
0,4	0,3	-1,35	3,25	6	15000	4,2	0,959	59,47	0,330	0,671
0,4	0,3	-1,35	3,25	6	15000	4,2	1,797	84,46	0,428	0,573
0,4	0,3	-1,35	3,25	6	15000	4,2	3,471	134,45	0,494	0,508
0,4	0,3	-1,35	3,25	6	15000	4,2	5,146	184,44	0,515	0,487
0,4	0,3	-1,35	3,25	6	15000	4,2	6,821	234,42	0,524	0,475
0,4	0,3	-1,35	3,25	6	15000	4,2	8,495	282,17	0,532	0,473
0,4	0,3	-1,35	3,25	6	15000	4,2	12,682	405,07	0,531	0,471
0,4	0,3	-1,35	3,25	6	15000	9,2	0,360	61,99	0,166	0,834
0,4	0,3	-1,35	3,25	6	15000	9,2	0,638	74,47	0,245	0,756
0,4	0,3	-1,35	3,25	6	15000	9,2	1,196	99,46	0,351	0,650
0,4	0,3	-1,35	3,25	6	15000	9,2	2,310	149,43	0,453	0,548
0,4	0,3	-1,35	3,25	6	15000	9,2	3,425	199,43	0,489	0,512
0,4	0,3	-1,35	3,25	6	15000	9,2	4,540	247,26	0,510	0,500
0,4	0,3	-1,35	3,25	6	15000	9,2	5,654	297,24	0,516	0,492
0,4	0,3	-1,35	3,25	6	15000	9,2	8,393	417,69	0,519	0,485

Tabelle A 104 Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie zur Wandhöhe (a/t=0,5)

t	a/t	w	h	l	E_{Decke}	e_{Decke}	N_u / N_{Decke}	N_o	N_V/N_o	N_D/N_o
m	-	kN/m²	m	m	N/mm²	kN/m²	-	kN/m	-	-
0,4	0,5	-1,35	2,75	6	15000	0	0,937	34,66	0,149	0,852
0,4	0,5	-1,35	2,75	6	15000	0	1,660	47,12	0,257	0,744
0,4	0,5	-1,35	2,75	6	15000	0	3,106	72,06	0,365	0,636
0,4	0,5	-1,35	2,75	6	15000	0	5,999	121,98	0,427	0,575
0,4	0,5	-1,35	2,75	6	15000	0	8,894	171,91	0,440	0,562
0,4	0,5	-1,35	2,75	6	15000	0	11,788	221,82	0,444	0,556
0,4	0,5	-1,35	2,75	6	15000	0	14,682	271,74	0,446	0,553
0,4	0,5	-1,35	2,75	6	15000	0	21,918	394,15	0,452	0,551
0,4	0,5	-1,35	2,75	6	15000	4,2	0,543	47,4	0,073	0,927
0,4	0,5	-1,35	2,75	6	15000	4,2	0,961	59,85	0,145	0,855
0,4	0,5	-1,35	2,75	6	15000	4,2	1,797	84,76	0,265	0,737
0,4	0,5	-1,35	2,75	6	15000	4,2	3,469	134,66	0,373	0,629
0,4	0,5	-1,35	2,75	6	15000	4,2	5,141	184,58	0,412	0,589
0,4	0,5	-1,35	2,75	6	15000	4,2	6,813	234,51	0,428	0,573
0,4	0,5	-1,35	2,75	6	15000	4,2	8,486	284,44	0,435	0,567
0,4	0,5	-1,35	2,75	6	15000	4,2	12,667	407,24	0,444	0,561
0,4	0,5	-1,35	2,75	6	15000	9,2	0,000	0	#DIV/0!	#DIV/0!
0,4	0,5	-1,35	2,75	6	15000	9,2	0,641	74,82	0,088	0,913
0,4	0,5	-1,35	2,75	6	15000	9,2	1,198	99,72	0,183	0,818
0,4	0,5	-1,35	2,75	6	15000	9,2	2,311	149,59	0,309	0,693
0,4	0,5	-1,35	2,75	6	15000	9,2	3,423	199,49	0,369	0,632
0,4	0,5	-1,35	2,75	6	15000	9,2	4,536	249,41	0,400	0,601
0,4	0,5	-1,35	2,75	6	15000	9,2	5,649	297,11	0,420	0,589
0,4	0,5	-1,35	2,75	6	15000	9,2	8,432	420,06	0,434	0,575
0,4	0,5	-1,35	3,25	6	15000	0	0,937	34,67	0,197	0,803
0,4	0,5	-1,35	3,25	6	15000	0	1,660	47,12	0,293	0,708
0,4	0,5	-1,35	3,25	6	15000	0	3,106	72,06	0,388	0,613
0,4	0,5	-1,35	3,25	6	15000	0	5,999	121,98	0,440	0,561
0,4	0,5	-1,35	3,25	6	15000	0	8,894	171,9	0,450	0,553
0,4	0,5	-1,35	3,25	6	15000	0	11,788	221,82	0,451	0,549
0,4	0,5	-1,35	3,25	6	15000	0	14,682	271,73	0,452	0,547
0,4	0,5	-1,35	3,25	6	15000	0	21,918	394,12	0,455	0,548
0,4	0,5	-1,35	3,25	6	15000	4,2	0,543	47,41	0,100	0,900
0,4	0,5	-1,35	3,25	6	15000	4,2	0,961	59,85	0,180	0,821
0,4	0,5	-1,35	3,25	6	15000	4,2	1,797	84,77	0,291	0,710
0,4	0,5	-1,35	3,25	6	15000	4,2	3,469	134,66	0,391	0,611
0,4	0,5	-1,35	3,25	6	15000	4,2	5,141	184,58	0,425	0,576
0,4	0,5	-1,35	3,25	6	15000	4,2	6,813	234,5	0,439	0,563
0,4	0,5	-1,35	3,25	6	15000	4,2	8,486	284,44	0,444	0,559
0,4	0,5	-1,35	3,25	6	15000	4,2	12,667	407,21	0,449	0,556
0,4	0,5	-1,35	3,25	6	15000	9,2	0,363	62,41	0,045	0,954
0,4	0,5	-1,35	3,25	6	15000	9,2	0,641	74,82	0,119	0,882
0,4	0,5	-1,35	3,25	6	15000	9,2	1,198	99,72	0,212	0,789
0,4	0,5	-1,35	3,25	6	15000	9,2	2,311	149,59	0,332	0,670
0,4	0,5	-1,35	3,25	6	15000	9,2	3,423	199,49	0,386	0,616
0,4	0,5	-1,35	3,25	6	15000	9,2	4,536	249,41	0,414	0,588
0,4	0,5	-1,35	3,25	6	15000	9,2	5,649	297,15	0,431	0,578
0,4	0,5	-1,35	3,25	6	15000	9,2	8,439	420,06	0,442	0,568

Anhang 6.3.2 Wind

Tabelle A 105 Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie Wind (a/t=0,5)

t	a/t	w	h	l	E_{Decke}	e_{Decke}	N_u / N_{Decke}	N_o	N_V/N_o	N_D/N_o
m	-	kN/m²	m	m	N/mm²	kN/m²	-	kN/m	-	-
0,4	0,5	+1,35	3,25	6	15000	0	0,937	34,66	0,123	0,878
0,4	0,5	+1,35	3,25	6	15000	0	1,660	47,12	0,242	0,759
0,4	0,5	+1,35	3,25	6	15000	0	3,106	72,07	0,352	0,649
0,4	0,5	+1,35	3,25	6	15000	0	5,999	121,98	0,419	0,583
0,4	0,5	+1,35	3,25	6	15000	0	8,894	171,91	0,434	0,568
0,4	0,5	+1,35	3,25	6	15000	0	11,788	221,82	0,439	0,561
0,4	0,5	+1,35	3,25	6	15000	0	14,682	271,74	0,442	0,557
0,4	0,5	+1,35	3,25	6	15000	0	21,918	394,18	0,449	0,555
0,4	0,5	+1,35	3,25	6	15000	4,2	0,543	47,4	0,054	0,946
0,4	0,5	+1,35	3,25	6	15000	4,2	0,961	59,85	0,141	0,860
0,4	0,5	+1,35	3,25	6	15000	4,2	1,797	84,77	0,264	0,738
0,4	0,5	+1,35	3,25	6	15000	4,2	3,469	134,67	0,372	0,630
0,4	0,5	+1,35	3,25	6	15000	4,2	5,141	184,58	0,411	0,591
0,4	0,5	+1,35	3,25	6	15000	4,2	6,813	234,51	0,427	0,575
0,4	0,5	+1,35	3,25	6	15000	4,2	8,486	284,44	0,434	0,568
0,4	0,5	+1,35	3,25	6	15000	4,2	12,667	407,23	0,442	0,562
0,4	0,5	+1,35	3,25	6	15000	9,2	0,363	62,4	0,021	0,979
0,4	0,5	+1,35	3,25	6	15000	9,2	0,641	74,82	0,089	0,912
0,4	0,5	+1,35	3,25	6	15000	9,2	1,198	99,72	0,189	0,812
0,4	0,5	+1,35	3,25	6	15000	9,2	2,311	149,59	0,314	0,688
0,4	0,5	+1,35	3,25	6	15000	9,2	3,423	199,5	0,373	0,629
0,4	0,5	+1,35	3,25	6	15000	9,2	4,536	249,41	0,403	0,599
0,4	0,5	+1,35	3,25	6	15000	9,2	5,649	297,11	0,422	0,587
0,4	0,5	+1,35	3,25	6	15000	9,2	8,439	420,06	0,435	0,574
0,4	0,5	0	3,25	6	15000	0	0,936	34,67	0,057	0,943
0,4	0,5	0	3,25	6	15000	0	1,660	47,13	0,189	0,812
0,4	0,5	0	3,25	6	15000	0	3,106	72,07	0,317	0,684
0,4	0,5	0	3,25	6	15000	0	5,999	121,98	0,397	0,604
0,4	0,5	0	3,25	6	15000	0	8,894	171,91	0,419	0,583
0,4	0,5	0	3,25	6	15000	0	11,788	221,83	0,427	0,573
0,4	0,5	0	3,25	6	15000	0	14,682	271,74	0,432	0,567
0,4	0,5	0	3,25	6	15000	0	21,918	394,24	0,442	0,561
0,4	0,5	0	3,25	6	15000	4,2	0,543	47,4	0,013	0,988
0,4	0,5	0	3,25	6	15000	4,2	0,961	59,85	0,103	0,898
0,4	0,5	0	3,25	6	15000	4,2	1,797	84,77	0,235	0,767
0,4	0,5	0	3,25	6	15000	4,2	3,469	134,67	0,353	0,649
0,4	0,5	0	3,25	6	15000	4,2	5,141	184,58	0,397	0,605
0,4	0,5	0	3,25	6	15000	4,2	6,813	234,51	0,416	0,586
0,4	0,5	0	3,25	6	15000	4,2	8,486	284,44	0,425	0,577
0,4	0,5	0	3,25	6	15000	4,2	12,667	407,17	0,436	0,569
0,4	0,5	0	3,25	6	15000	9,2	0,363	62,38	-0,010	1,010
0,4	0,5	0	3,25	6	15000	9,2	0,641	74,82	0,063	0,938
0,4	0,5	0	3,25	6	15000	9,2	2,311	149,6	0,297	0,704
0,4	0,5	0	3,25	6	15000	9,2	3,423	199,5	0,361	0,641
0,4	0,5	0	3,25	6	15000	9,2	4,536	249,41	0,393	0,609
0,4	0,5	0	3,25	6	15000	9,2	5,649	297,08	0,413	0,596
0,4	0,5	0	3,25	6	15000	9,2	8,432	420,07	0,429	0,580
0,4	0,5	-1,35	siehe Tabelle A 104							

Anhang 6.3.3 Deckenlänge

Tabelle A 106 Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie Deckenlänge (a/t=0,5)

t	a/t	w	h	l	E_{Decke}	e_{Decke}	N_u / N_{Decke}	N_o	N_V/N_o	N_D/N_o
m	-	kN/m²	m	m	N/mm²	kN/m²	-	kN/m	-	-
0,4	0,3	-1,35	3,25	4	15000	0	1,403	26,88	0,481	0,520
0,4	0,3	-1,35	3,25	4	15000	0	2,490	39,38	0,523	0,478
0,4	0,3	-1,35	3,25	4	15000	0	4,663	64,37	0,540	0,457
0,4	0,3	-1,35	3,25	4	15000	0	9,010	114,35	0,545	0,448
0,4	0,3	-1,35	3,25	4	15000	0	13,357	164,34	0,547	0,445
0,4	0,3	-1,35	3,25	4	15000	0	17,703	214,33	0,547	0,444
0,4	0,3	-1,35	3,25	4	15000	0	22,050	264,31	0,548	0,443
0,4	0,3	-1,35	3,25	4	15000	0	32,677	386,47	0,551	0,446
0,4	0,3	-1,35	3,25	4	15000	4,2	0,811	35,38	0,380	0,620
0,4	0,3	-1,35	3,25	4	15000	4,2	1,439	47,88	0,449	0,552
0,4	0,3	-1,35	3,25	4	15000	4,2	2,694	72,87	0,502	0,500
0,4	0,3	-1,35	3,25	4	15000	4,2	5,207	122,85	0,527	0,470
0,4	0,3	-1,35	3,25	4	15000	4,2	7,719	172,84	0,534	0,460
0,4	0,3	-1,35	3,25	4	15000	4,2	10,231	222,82	0,537	0,456
0,4	0,3	-1,35	3,25	4	15000	4,2	12,743	272,81	0,540	0,453
0,4	0,3	-1,35	3,25	4	15000	4,2	18,894	394,82	0,545	0,453
0,4	0,3	-1,35	3,25	4	15000	9,2	0,539	45,38	0,295	0,705
0,4	0,3	-1,35	3,25	4	15000	9,2	0,958	57,88	0,378	0,622
0,4	0,3	-1,35	3,25	4	15000	9,2	1,793	82,87	0,458	0,543
0,4	0,3	-1,35	3,25	4	15000	9,2	3,465	132,85	0,506	0,495
0,4	0,3	-1,35	3,25	4	15000	9,2	5,137	182,83	0,520	0,477
0,4	0,3	-1,35	3,25	4	15000	9,2	6,809	232,82	0,527	0,468
0,4	0,3	-1,35	3,25	4	15000	9,2	8,481	282,8	0,531	0,463
0,4	0,3	-1,35	3,25	4	15000	9,2	12,594	404,49	0,538	0,462
0,4	0,5	-1,35	3,25	4	15000	0	1,401	27,25	0,386	0,614
0,4	0,5	-1,35	3,25	4	15000	0	2,486	39,72	0,437	0,565
0,4	0,5	-1,35	3,25	4	15000	0	4,657	64,68	0,460	0,542
0,4	0,5	-1,35	3,25	4	15000	0	8,997	114,59	0,461	0,538
0,4	0,5	-1,35	3,25	4	15000	0	13,338	164,51	0,460	0,537
0,4	0,5	-1,35	3,25	4	15000	0	17,679	214,42	0,460	0,537
0,4	0,5	-1,35	3,25	4	15000	0	22,020	264,34	0,459	0,537
0,4	0,5	-1,35	3,25	4	15000	0	32,872	389,13	0,459	0,536
0,4	0,5	-1,35	3,25	4	15000	4,2	0,811	35,75	0,251	0,749
0,4	0,5	-1,35	3,25	4	15000	4,2	1,437	48,22	0,342	0,658
0,4	0,5	-1,35	3,25	4	15000	4,2	2,691	73,16	0,414	0,587
0,4	0,5	-1,35	3,25	4	15000	4,2	5,199	123,08	0,446	0,557
0,4	0,5	-1,35	3,25	4	15000	4,2	7,708	172,99	0,450	0,550
0,4	0,5	-1,35	3,25	4	15000	4,2	10,217	222,91	0,452	0,547
0,4	0,5	-1,35	3,25	4	15000	4,2	12,726	272,82	0,453	0,545
0,4	0,5	-1,35	3,25	4	15000	4,2	18,997	395,36	0,458	0,545
0,4	0,5	-1,35	3,25	4	15000	9,2	0,540	45,75	0,165	0,835
0,4	0,5	-1,35	3,25	4	15000	9,2	0,958	58,21	0,256	0,744
0,4	0,5	-1,35	3,25	4	15000	9,2	1,792	83,14	0,356	0,645
0,4	0,5	-1,35	3,25	4	15000	9,2	3,461	133,04	0,422	0,580
0,4	0,5	-1,35	3,25	4	15000	9,2	5,130	182,97	0,439	0,563
0,4	0,5	-1,35	3,25	4	15000	9,2	6,800	232,88	0,444	0,557
0,4	0,5	-1,35	3,25	4	15000	9,2	8,470	282,8	0,446	0,553
0,4	0,3	-1,35	3,25	6	Tabelle A 103					
0,4	0,5	-1,35	3,25	6	Tabelle A 104					

Anhang 6.3.4 Biegesteifigkeit der Deckenplatte

Tabelle A 107 Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie E-Modul Decke (15000)

t	a/t	w	h	l	E_{Decke}	e_{Decke}	N_u / N_{Decke}	N_o	N_V/N_o	N_D/N_o
m	-	kN/m²	m	m	N/mm²	kN/m²	-	kN/m	-	-
0,4	0,3	0	3,25	4	15000	0	1,403	26,88	0,406	0,594
0,4	0,3	0	3,25	4	15000	0	2,490	39,38	0,465	0,537
0,4	0,3	0	3,25	4	15000	0	4,663	64,37	0,503	0,494
0,4	0,3	0	3,25	4	15000	0	9,010	114,36	0,524	0,470
0,4	0,3	0	3,25	4	15000	0	13,357	164,34	0,532	0,460
0,4	0,3	0	3,25	4	15000	0	17,703	214,33	0,536	0,455
0,4	0,3	0	3,25	4	15000	0	22,050	264,31	0,538	0,452
0,4	0,3	0	3,25	4	15000	0	32,677	386,45	0,545	0,453
0,4	0,3	0	3,25	4	15000	4,2	0,811	35,38	0,324	0,676
0,4	0,3	0	3,25	4	15000	4,2	1,439	47,88	0,406	0,595
0,4	0,3	0	3,25	4	15000	4,2	2,694	72,87	0,470	0,532
0,4	0,3	0	3,25	4	15000	4,2	5,207	122,85	0,507	0,490
0,4	0,3	0	3,25	4	15000	4,2	7,719	172,84	0,519	0,475
0,4	0,3	0	3,25	4	15000	4,2	10,231	222,82	0,526	0,467
0,4	0,3	0	3,25	4	15000	4,2	12,742	272,81	0,531	0,462
0,4	0,3	0	3,25	4	15000	4,2	18,896	394,84	0,539	0,460
0,4	0,3	0	3,25	4	15000	9,2	0,539	45,38	0,261	0,740
0,4	0,3	0	3,25	4	15000	9,2	0,958	57,87	0,350	0,651
0,4	0,3	0	3,25	4	15000	9,2	1,793	82,87	0,431	0,570
0,4	0,3	0	3,25	4	15000	9,2	3,465	132,85	0,488	0,513
0,4	0,3	0	3,25	4	15000	9,2	5,137	182,83	0,507	0,490
0,4	0,3	0	3,25	4	15000	9,2	6,809	232,82	0,516	0,479
0,4	0,3	0	3,25	4	15000	9,2	8,481	282,8	0,522	0,472
0,4	0,3	0	3,25	4	15000	9,2	12,595	404,43	0,532	0,468
0,4	0,3	0	3,25	6	15000	0	0,935	34,24	0,293	0,708
0,4	0,3	0	3,25	6	15000	0	1,660	46,73	0,385	0,615
0,4	0,3	0	3,25	6	15000	0	3,109	71,73	0,464	0,537
0,4	0,3	0	3,25	6	15000	0	6,007	121,71	0,507	0,493
0,4	0,3	0	3,25	6	15000	0	8,904	171,7	0,519	0,477
0,4	0,3	0	3,25	6	15000	0	11,802	221,68	0,526	0,469
0,4	0,3	0	3,25	6	15000	0	14,700	271,67	0,529	0,464
0,4	0,3	0	3,25	6	15000	0	21,945	393,46	0,537	0,463
0,4	0,3	0	3,25	6	15000	4,2	0,540	46,98	0,204	0,797
0,4	0,3	0	3,25	6	15000	4,2	0,959	59,47	0,299	0,702
0,4	0,3	0	3,25	6	15000	4,2	1,797	84,46	0,402	0,599
0,4	0,3	0	3,25	6	15000	4,2	3,471	134,45	0,476	0,525
0,4	0,3	0	3,25	6	15000	4,2	5,146	184,44	0,502	0,500
0,4	0,3	0	3,25	6	15000	4,2	6,821	234,42	0,513	0,486
0,4	0,3	0	3,25	6	15000	4,2	8,495	282,19	0,523	0,481
0,4	0,3	0	3,25	6	15000	4,2	12,682	405,13	0,525	0,477
0,4	0,3	0	3,25	6	15000	9,2	0,360	61,98	0,134	0,867
0,4	0,3	0	3,25	6	15000	9,2	0,638	74,47	0,222	0,779
0,4	0,3	0	3,25	6	15000	9,2	1,196	99,45	0,338	0,663
0,4	0,3	0	3,25	6	15000	9,2	2,310	149,43	0,438	0,563
0,4	0,3	0	3,25	6	15000	9,2	3,425	199,43	0,478	0,524
0,4	0,3	0	3,25	6	15000	9,2	4,540	247,25	0,501	0,510
0,4	0,3	0	3,25	6	15000	9,2	5,654	297,25	0,508	0,500

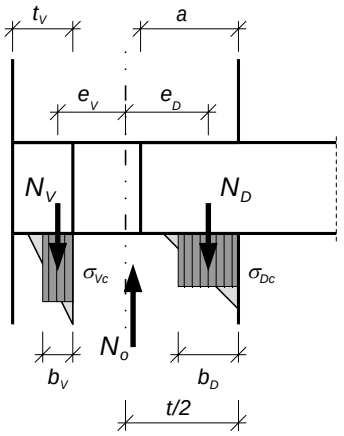
Tabelle A 108 Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie E-Modul Decke (30000)

t	a/t	w	h	l	E_{Decke}	e_{Decke}	N_u / N_{Decke}	N_o	N_V/N_o	N_D/N_o
m	-	kN/m²	m	m	N/mm²	kN/m²	-	kN/m	-	-
0,4	0,3	0	3,25	4	30000	0	1,403	26,88	0,428	0,570
0,4	0,3	0	3,25	4	30000	0	2,490	39,38	0,472	0,523
0,4	0,3	0	3,25	4	30000	0	4,663	64,37	0,502	0,490
0,4	0,3	0	3,25	4	30000	0	9,010	114,36	0,522	0,468
0,4	0,3	0	3,25	4	30000	0	13,357	164,34	0,530	0,460
0,4	0,3	0	3,25	4	30000	0	17,703	214,33	0,535	0,455
0,4	0,3	0	3,25	4	30000	0	22,050	264,31	0,537	0,452
0,4	0,3	0	3,25	4	30000	0	32,677	386,78	0,544	0,452
0,4	0,3	0	3,25	4	30000	4,2	0,811	35,38	0,364	0,637
0,4	0,3	0	3,25	4	30000	4,2	1,439	47,88	0,426	0,572
0,4	0,3	0	3,25	4	30000	4,2	2,694	72,87	0,475	0,520
0,4	0,3	0	3,25	4	30000	4,2	5,207	122,85	0,505	0,487
0,4	0,3	0	3,25	4	30000	4,2	7,719	172,84	0,518	0,473
0,4	0,3	0	3,25	4	30000	4,2	10,231	222,82	0,525	0,466
0,4	0,3	0	3,25	4	30000	4,2	12,742	272,81	0,529	0,461
0,4	0,3	0	3,25	4	30000	4,2	18,884	394,98	0,538	0,459
0,4	0,3	0	3,25	4	30000	9,2	0,540	45,38	0,314	0,689
0,4	0,3	0	3,25	4	30000	9,2	0,958	57,88	0,383	0,618
0,4	0,3	0	3,25	4	30000	9,2	1,793	82,87	0,445	0,552
0,4	0,3	0	3,25	4	30000	9,2	3,465	132,85	0,488	0,506
0,4	0,3	0	3,25	4	30000	9,2	5,137	182,84	0,505	0,488
0,4	0,3	0	3,25	4	30000	9,2	6,809	232,82	0,515	0,477
0,4	0,3	0	3,25	4	30000	9,2	8,481	282,81	0,521	0,470
0,4	0,3	0	3,25	4	30000	9,2	12,570	404,87	0,532	0,466
0,4	0,3	0	3,25	6	30000	0	0,935	34,24	0,353	0,648
0,4	0,3	0	3,25	6	30000	0	1,660	46,74	0,422	0,580
0,4	0,3	0	3,25	6	30000	0	3,109	71,73	0,474	0,524
0,4	0,3	0	3,25	6	30000	0	6,006	121,71	0,506	0,489
0,4	0,3	0	3,25	6	30000	0	8,904	171,7	0,517	0,475
0,4	0,3	0	3,25	6	30000	0	11,802	221,68	0,524	0,468
0,4	0,3	0	3,25	6	30000	0	14,700	271,67	0,528	0,463
0,4	0,3	0	3,25	6	30000	0	21,809	393,88	0,536	0,461
0,4	0,3	0	3,25	6	30000	4,2	0,540	46,99	0,282	0,719
0,4	0,3	0	3,25	6	30000	4,2	0,959	59,49	0,359	0,643
0,4	0,3	0	3,25	6	30000	4,2	1,796	84,48	0,432	0,570
0,4	0,3	0	3,25	6	30000	4,2	3,471	134,46	0,483	0,515
0,4	0,3	0	3,25	6	30000	4,2	5,146	184,44	0,501	0,494
0,4	0,3	0	3,25	6	30000	4,2	6,820	234,43	0,511	0,483
0,4	0,3	0	3,25	6	30000	4,2	8,495	284,41	0,517	0,476
0,4	0,3	0	3,25	6	30000	4,2	12,682	406,09	0,528	0,471
0,4	0,3	0	3,25	6	30000	9,2	0,360	61,99	0,221	0,780
0,4	0,3	0	3,25	6	30000	9,2	0,638	74,48	0,301	0,700
0,4	0,3	0	3,25	6	30000	9,2	1,196	99,47	0,390	0,612
0,4	0,3	0	3,25	6	30000	9,2	2,310	149,45	0,457	0,544
0,4	0,3	0	3,25	6	30000	9,2	3,425	199,44	0,484	0,514
0,4	0,3	0	3,25	6	30000	9,2	4,540	249,42	0,497	0,499
0,4	0,3	0	3,25	6	30000	9,2	5,654	297,06	0,510	0,493

Anhang 7 Schnittgrößen für Nachweisführung

Anhang 7.1 Gemeinsamer Nachweis

Anhang 7.1.1 Allgemein



$$\Phi_{St} = \frac{N_V + N_D}{max\ \sigma \cdot t} \qquad (5)$$

Bild A 171 Schnittgrößen und Lastausmitten am WDK

Anhang 7.1.2 Serie W400

Tabelle A 109 Verschmierter Abminderungsfaktor; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,4 m; a=0,3t; l=6m; E_{De}=15000N/mm²; w=0; f=2,19 N/mm²)

$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	b_{Vc}	b_{Dc}	σ_V	σ_D	Φ_{St}
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	N/mm²	N/mm²	-
0	16,1	17,25	34,24	9,79	24,45	0,038	0,052	0,26	0,47	0,182
0	28,6	17,25	46,73	17,87	28,9	0,044	0,056	0,41	0,52	0,227
0	53,6	17,25	71,73	33,07	38,73	0,056	0,066	0,59	0,59	0,304
0	103,6	17,25	121,71	61,52	60,21	0,068	0,082	0,90	0,73	0,336
0	153,6	17,25	171,7	89,06	82,05	0,074	0,092	1,20	0,89	0,355
0	203,6	17,25	221,68	116,45	104,05	0,078	0,098	1,49	1,06	0,369
0	253,6	17,25	271,67	143,84	126,06	0,080	0,102	1,80	1,24	0,375
0	378,6	17,25	393,47	211,47	181,92	0,086	0,106	2,46	1,72	0,400
4,2	16,1	29,85	46,98	9,17	37,84	0,038	0,048	0,24	0,79	0,149
4,2	28,6	29,85	59,47	17,28	42,24	0,038	0,050	0,45	0,84	0,176
4,2	53,6	29,85	84,46	33,51	51,03	0,038	0,056	0,88	0,91	0,232
4,2	103,6	29,85	134,45	63,61	71,05	0,050	0,068	1,27	1,04	0,265
4,2	153,6	29,85	184,44	92,19	92,6	0,060	0,078	1,54	1,19	0,301
4,2	203,6	29,85	234,42	119,92	114,23	0,066	0,086	1,82	1,33	0,322
4,2	253,6	29,85	282,19	147,37	136,15	0,070	0,092	2,11	1,48	0,337
4,2	378,6	29,85	405,09	212,51	193,23	0,084	0,100	2,53	1,93	0,401
9,2	16,1	44,85	61,98	7,8	54,2	0,038	0,046	0,20	1,18	0,132
9,2	28,6	44,85	74,47	15,95	58,58	0,038	0,048	0,42	1,22	0,153
9,2	53,6	44,85	99,45	32,93	66,64	0,038	0,052	0,86	1,28	0,194
9,2	103,6	44,85	149,43	64,77	84,85	0,038	0,060	1,69	1,41	0,221
9,2	153,6	44,85	199,43	94,51	105,25	0,042	0,068	2,25	1,55	0,222
9,2	203,6	44,85	247,26	123,09	126,86	0,052	0,076	2,37	1,67	0,264
9,2	253,6	44,85	297,26	150,4	149,21	0,060	0,082	2,51	1,82	0,299
9,2	376,3	44,85	417,49	213,89	205,19	0,080	0,096	2,67	2,14	0,392

Tabelle A 110 Verschmierter Abminderungsfaktor; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,4 m; a=0,4t; l=6m; E_{De} =15000N/mm²; w=0; f=2,19 N/mm²)

$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	b_{Vc}	b_{Dc}	σ_V	σ_D	Φ_{St}
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	N/mm²	N/mm²	-
0	16,1	17,25	34,45	6,83	27,63	0,038	0,056	0,18	0,49	0,175
0	28,6	17,25	46,93	14,4	32,56	0,038	0,064	0,38	0,51	0,231
0	53,6	17,25	71,91	29,03	42,94	0,058	0,074	0,50	0,58	0,310
0	103,6	17,25	121,87	56,12	65,94	0,070	0,096	0,80	0,69	0,381
0	153,6	17,25	171,83	81,49	90,37	0,076	0,114	1,07	0,79	0,401
0	203,5	17,25	221,79	106,51	114,85	0,080	0,122	1,33	0,94	0,416
0	253,5	17,25	271,75	131,51	139,36	0,082	0,128	1,60	1,09	0,422
0	378,4	17,25	394,36	193,74	200,92	0,086	0,138	2,25	1,46	0,438
4,2	16,2	29,85	47,19	5,39	41,8	0,038	0,054	0,14	0,77	0,152
4,2	28,7	29,85	59,66	12,5	47,2	0,038	0,056	0,33	0,84	0,177
4,2	53,6	29,85	84,63	27,58	57,12	0,038	0,064	0,72	0,89	0,237
4,2	103,6	29,85	134,58	56,5	78,23	0,050	0,076	1,13	1,03	0,298
4,2	153,6	29,85	184,55	83,63	101,14	0,062	0,090	1,35	1,12	0,342
4,2	203,5	29,85	234,52	109,59	125,36	0,068	0,102	1,61	1,23	0,364
4,2	253,5	29,85	284,48	134,84	149,78	0,072	0,112	1,87	1,34	0,380
4,2	378,4	29,85	406,22	196,3	212,07	0,082	0,126	2,39	1,68	0,426
9,2	16,2	44,85	62,18	4,44	57,73	0,038	0,052	0,12	1,11	0,140
9,2	53,7	44,85	99,6	25,56	74,14	0,038	0,058	0,67	1,28	0,195
9,2	103,6	44,85	149,55	55,4	94,31	0,038	0,068	1,45	1,39	0,259
9,2	153,6	44,85	199,5	83,98	115,76	0,042	0,076	2,00	1,52	0,250
9,2	203,6	44,85	247,24	111,29	138,49	0,052	0,086	2,14	1,61	0,292
9,2	253,5	44,85	297,43	137,46	162,44	0,060	0,094	2,29	1,73	0,327
9,2	376,7	44,85	419,26	198,53	224,24	0,076	0,114	2,61	1,97	0,405
9,2	16,1	17,25	34,45	6,83	27,63	0,038	0,056	0,18	0,49	0,175

Tabelle A 111 Verschmierter Abminderungsfaktor; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,4 m; a=0,5t; l=6m; E_{De} =15000N/mm²; w=0; f=2,19 N/mm²)

$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	b_{Vc}	b_{Dc}	σ_V	σ_D	Φ_{St}
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	N/mm²	N/mm²	-
0	16,2	17,25	34,66	3,89	30,79	0,038	0,064	0,10	0,48	0,180
0	28,6	17,25	47,12	11	36,18	0,038	0,072	0,29	0,50	0,235
0	53,6	17,25	72,07	24,97	47,19	0,058	0,086	0,43	0,55	0,329
0	103,5	17,25	121,98	50,71	71,48	0,074	0,112	0,69	0,64	0,446
0	153,4	17,25	171,91	74,29	98,02	0,080	0,132	0,93	0,74	0,464
0	203,3	17,25	221,82	97,07	124,86	0,082	0,146	1,18	0,86	0,469
0	253,3	17,25	271,74	119,81	151,71	0,084	0,154	1,43	0,99	0,476
0	378,1	17,25	394,19	176,69	218,86	0,088	0,168	2,01	1,30	0,493
4,2	16,2	29,85	47,4	2,07	45,34	0,038	0,060	0,05	0,76	0,157
4,2	28,7	29,85	59,85	7,77	52,13	0,038	0,064	0,20	0,81	0,184
4,2	53,7	29,85	84,77	21,6	63,31	0,038	0,072	0,56	0,88	0,241
4,2	103,5	29,85	134,67	49,29	85,6	0,050	0,088	0,99	0,97	0,342
4,2	153,5	29,85	184,58	75,12	109,78	0,064	0,104	1,17	1,06	0,394
4,2	203,4	29,85	234,51	99,44	135,5	0,070	0,118	1,42	1,15	0,413
4,2	253,3	29,85	284,44	122,84	162,25	0,074	0,130	1,66	1,25	0,429
4,2	378,1	29,85	407,22	179,57	229,67	0,082	0,150	2,19	1,53	0,467
9,2	53,7	44,85	99,72	17,83	82,04	0,038	0,066	0,47	1,24	0,201
9,2	103,6	44,85	149,59	45,81	104,05	0,038	0,078	1,20	1,33	0,281
9,2	153,5	44,85	199,5	73,22	126,63	0,042	0,088	1,74	1,44	0,287
9,2	203,4	44,85	249,41	99,36	150,51	0,054	0,098	1,84	1,54	0,339
9,2	253,4	44,85	297,1	124,27	175,63	0,062	0,108	2,00	1,63	0,374
9,2	378,2	44,85	420,07	181,82	242,3	0,076	0,132	2,39	1,84	0,443

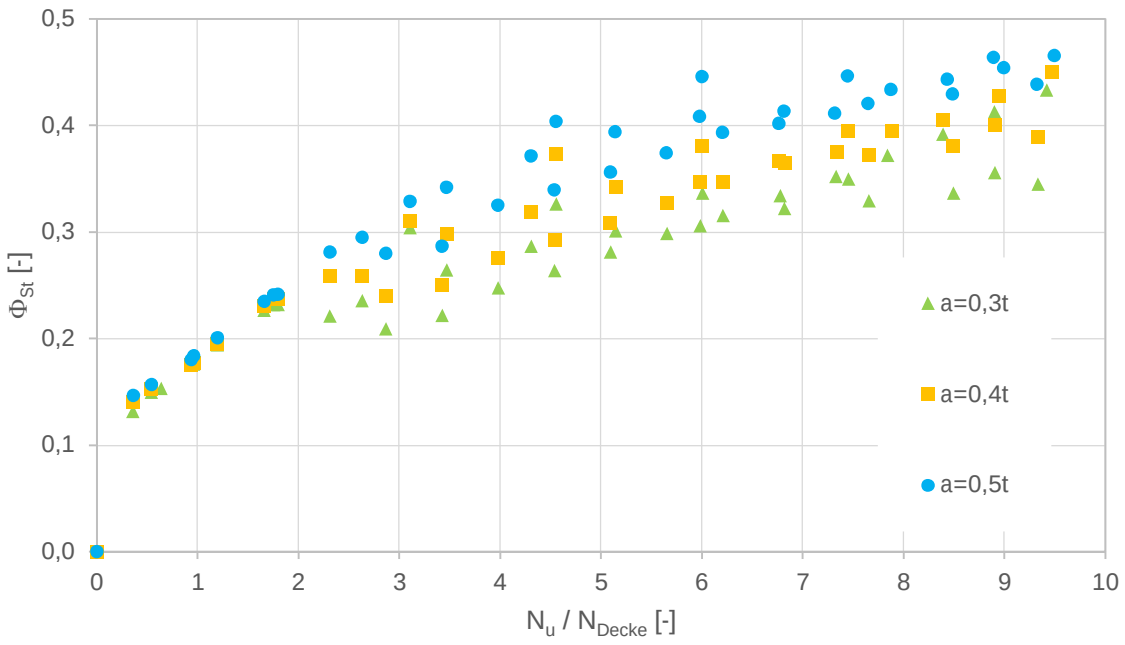


Bild A 172 Verschmierter Abminderungsfaktor für Wanddicke t=0,4 m

Anhang 7.1.3 Serie W425

Tabelle A 112 Verschmierter Abminderungsfaktor; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,425 m; a=0,3t; l=6m; E_{De} =15000N/mm²; w=0; f=2,37 N/mm²)

$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	b_{Vc}	b_{Dc}	σ_V	σ_D	Φ_{St}
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	N/mm²	N/mm²	-
0	16,38	17,25	34,51	9,91	24,62	0,038	0,059	0,26	0,42	0,195
0	28,87	17,25	47,01	18,65	28,39	0,038	0,063	0,49	0,45	0,227
0	53,87	17,25	71,99	35,06	37,02	0,053	0,073	0,66	0,51	0,256
0	103,85	17,25	121,97	65,67	56,31	0,065	0,089	1,01	0,63	0,284
0	153,83	17,25	171,96	95,15	76,39	0,071	0,099	1,34	0,77	0,301
0	203,82	17,25	221,95	124,51	96,6	0,075	0,103	1,66	0,94	0,313
0	253,81	17,25	271,94	153,85	116,83	0,077	0,107	2,00	1,09	0,319
0	378,78	17,25	393,69	224,94	167,53	0,083	0,111	2,71	1,51	0,341
4,2	16,4	29,85	47,25	9,04	38,25	0,038	0,057	0,24	0,67	0,166
4,2	28,89	29,85	59,75	17,85	41,96	0,038	0,059	0,47	0,71	0,198
4,2	53,87	29,85	84,74	35,1	49,73	0,038	0,065	0,92	0,77	0,218
4,2	103,87	29,85	134,72	67,64	67,3	0,043	0,075	1,57	0,90	0,202
4,2	153,86	29,85	184,69	98,32	86,61	0,055	0,085	1,79	1,02	0,243
4,2	203,82	29,85	234,69	128,07	106,4	0,061	0,093	2,10	1,14	0,263
4,2	253,81	29,85	284,68	157,44	126,58	0,065	0,097	2,42	1,30	0,276
4,2	378,78	29,85	407,06	226,53	177,59	0,075	0,105	3,02	1,69	0,315
9,2	16,42	44,85	62,25	7,44	54,84	0,038	0,055	0,19	1,00	0,147
9,2	28,91	44,85	74,74	15,77	59,04	0,038	0,057	0,41	1,04	0,170
9,2	53,9	44,85	99,74	33,35	66,5	0,038	0,061	0,87	1,09	0,216
9,2	103,87	44,85	149,72	68,33	81,58	0,038	0,069	1,78	1,18	0,198
9,2	153,87	44,85	199,7	100,46	99,59	0,038	0,075	2,62	1,33	0,179
9,2	203,87	44,85	249,67	131,37	118,81	0,045	0,083	2,92	1,43	0,202
9,2	253,84	44,85	296,66	158,18	138,48	0,055	0,089	2,88	1,56	0,243
9,2	378,79	44,85	419,67	228,48	190,06	0,069	0,099	3,31	1,92	0,297

Tabelle A 113 Verschmierter Abminderungsfaktor; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,425 m; a=0,4t; l=6m; E_{De} =15000N/mm²; w=0; f=2,37N/mm²)

$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	b_{Vc}	b_{Dc}	σ_V	σ_D	Φ_{St}
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	N/mm²	N/mm²	-
0	16,38	17,25	34,78	6,86	27,89	0,038	0,065	0,18	0,43	0,191
0	28,89	17,25	47,29	14,9	32,35	0,038	0,073	0,39	0,44	0,251
0	53,9	17,25	72,3	30,67	41,59	0,051	0,083	0,60	0,50	0,283
0	103,92	17,25	122,33	60,08	62,25	0,067	0,103	0,90	0,60	0,321
0	153,93	17,25	172,35	87,51	84,69	0,073	0,119	1,20	0,71	0,338
0	203,96	17,25	222,38	114,46	107,37	0,077	0,129	1,49	0,83	0,351
0	253,98	17,25	272,41	141,39	130,07	0,079	0,135	1,79	0,96	0,357
0	379,04	17,25	397,48	208,71	186,86	0,083	0,143	2,51	1,31	0,370
4,2	16,36	29,85	47,53	4,89	42,6	0,038	0,063	0,13	0,68	0,165
4,2	28,87	29,85	60,05	12,42	47,58	0,038	0,065	0,32	0,73	0,193
4,2	53,88	29,85	85,07	28,55	56,45	0,038	0,073	0,75	0,77	0,259
4,2	103,91	29,85	135,1	59,91	75,12	0,043	0,085	1,39	0,88	0,228
4,2	153,93	29,85	185,13	89,37	95,7	0,055	0,097	1,62	0,99	0,268
4,2	203,96	29,85	235,15	117,53	117,68	0,063	0,109	1,87	1,08	0,297
4,2	253,96	29,85	285,17	144,79	140,2	0,067	0,117	2,16	1,20	0,310
4,2	379,02	29,85	406,93	209,2	197,05	0,077	0,131	2,72	1,50	0,352
9,2	16,34	44,85	62,53	3,1	59,38	0,099	0,061	0,03	0,97	0,151
9,2	28,85	44,85	75,05	10,22	64,77	0,038	0,063	0,27	1,03	0,172
9,2	53,87	44,85	100,08	25,83	74,17	0,038	0,067	0,67	1,11	0,213
9,2	103,88	44,85	150,12	58,17	91,86	0,038	0,077	1,52	1,19	0,232
9,2	153,91	44,85	200,15	89,12	110,93	0,038	0,085	2,33	1,31	0,202
9,2	203,94	44,85	250,18	118,74	131,35	0,045	0,093	2,64	1,41	0,223
9,2	253,95	44,85	300,22	147,43	152,73	0,053	0,101	2,78	1,51	0,254
9,2	378,99	44,85	422,79	210,9	209,53	0,069	0,117	3,06	1,79	0,324

Tabelle A 114 Verschmierter Abminderungsfaktor; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,425 m; a=0,5t; l=6m; E_{De} =15000N/mm²; w=0; f=2,37 N/mm²)

$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	b_{Vc}	b_{Dc}	σ_V	σ_D	Φ_{St}
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	N/mm²	N/mm²	-
0	16,36	17,25	35,02	3,55	31,43	0,038	0,075	0,09	0,42	0,196
0	28,86	17,25	47,52	11,1	36,39	0,038	0,081	0,29	0,45	0,249
0	53,87	17,25	72,54	26,43	46,04	0,051	0,095	0,52	0,48	0,329
0	103,89	17,25	122,56	54,65	67,85	0,069	0,117	0,79	0,58	0,364
0	153,9	17,25	172,58	80,53	92,04	0,075	0,137	1,07	0,67	0,378
0	203,91	17,25	222,59	105,37	116,99	0,079	0,151	1,33	0,77	0,392
0	253,92	17,25	272,61	130,13	141,93	0,081	0,159	1,61	0,89	0,398
0	378,96	17,25	397,66	192,02	204,28	0,085	0,173	2,26	1,18	0,413
4,2	16,34	29,85	47,77	1,13	46,59	0,419	0,069	0,00	0,68	0,166
4,2	28,85	29,85	60,28	7,19	53,02	0,038	0,073	0,19	0,73	0,195
4,2	53,84	29,85	85,3	22,09	63,13	0,038	0,081	0,58	0,78	0,257
4,2	103,87	29,85	135,33	52,25	82,95	0,043	0,097	1,22	0,86	0,262
4,2	153,88	29,85	185,35	80,67	104,56	0,057	0,111	1,42	0,94	0,308
4,2	203,89	29,85	235,37	107,46	127,79	0,065	0,123	1,65	1,04	0,335
4,2	253,91	29,85	285,39	133,14	152,21	0,071	0,135	1,88	1,13	0,358
4,2	378,93	29,85	410,43	195,24	214,58	0,077	0,155	2,54	1,38	0,380
9,2	28,82	44,85	75,28	4,72	70,47	0,038	0,071	0,12	0,99	0,178
9,2	53,82	44,85	100,3	17,38	82,8	0,038	0,077	0,45	1,08	0,219
9,2	103,83	44,85	150,34	47,78	102,4	0,038	0,087	1,25	1,18	0,283
9,2	153,85	44,85	200,37	77,85	122,34	0,038	0,097	2,03	1,26	0,232
9,2	203,86	44,85	250,4	106,5	143,7	0,047	0,105	2,27	1,37	0,260
9,2	253,89	44,85	300,41	133,88	166,34	0,055	0,115	2,43	1,45	0,290
9,2	378,91	44,85	422,28	195,27	226,85	0,069	0,135	2,83	1,68	0,351

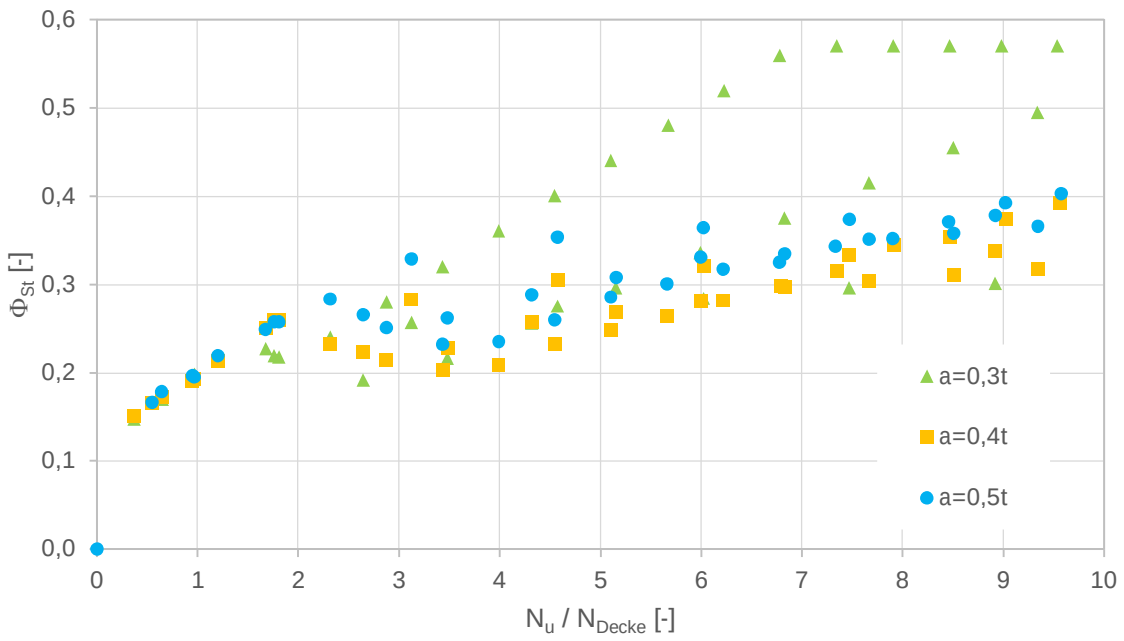


Bild A 173 Verschmierter Abminderungsfaktor für Wanddicke t=0,425 m

Anhang 7.1.4 Serie W480

Tabelle A 115 Verschmierter Abminderungsfaktor; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,48 m; a=0,3t; l=6m; E_{De} =15000N/mm²; w=0; f=2,24 N/mm²)

$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	b_{Vc}	b_{Dc}	σ_V	σ_D	Φ_{St}
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	N/mm²	N/mm²	-
0	16,9	17,25	35,11	7,68	27,44	0,038	0,054	0,20	0,51	0,144
0	29,39	17,25	47,62	15,36	32,24	0,038	0,060	0,40	0,54	0,185
0	54,37	17,25	72,63	30,83	41,8	0,052	0,068	0,59	0,61	0,246
0	104,4	17,25	122,62	59,21	63,53	0,068	0,088	0,87	0,72	0,294
0	154,39	17,25	172,62	85,98	86,42	0,074	0,104	1,16	0,83	0,309
0	204,38	17,25	222,62	112,36	109,54	0,078	0,112	1,44	0,98	0,321
0	254,39	17,25	272,63	138,68	132,71	0,082	0,118	1,69	1,12	0,334
0	379,39	17,25	397,64	204,48	190,67	0,086	0,126	2,38	1,51	0,346
4,2	16,92	29,85	47,84	6,28	41,58	0,038	0,050	0,16	0,83	0,120
4,2	29,42	29,85	60,35	13,57	46,8	0,038	0,054	0,35	0,87	0,145
4,2	54,4	29,85	85,37	29,27	56,11	0,038	0,060	0,76	0,94	0,190
4,2	104,38	29,85	135,39	59,54	75,88	0,044	0,072	1,35	1,05	0,208
4,2	154,41	29,85	185,38	88,09	97,4	0,058	0,082	1,52	1,19	0,254
4,2	204,42	29,85	235,36	115,43	120,24	0,064	0,094	1,80	1,28	0,272
4,2	254,4	29,85	285,37	142,02	143,1	0,070	0,102	2,03	1,40	0,293
4,2	379,39	29,85	410,38	205,29	200,99	0,078	0,114	2,63	1,76	0,322
9,2	0	44,85	0	0	0	0,038	0,480	0,00	0,00	#DIV/0!
9,2	29,44	44,85	75,33	11,6	63,75	0,038	0,050	0,30	1,28	0,123
9,2	54,43	44,85	100,35	27,02	73,37	0,038	0,054	0,71	1,36	0,154
9,2	104,39	44,85	150,39	58,47	91,95	0,038	0,062	1,53	1,48	0,205
9,2	154,38	44,85	200,41	88,31	112,15	0,038	0,070	2,31	1,60	0,181
9,2	204,42	44,85	250,4	117,01	133,49	0,048	0,080	2,44	1,67	0,214
9,2	229,43	44,85	275,4	131,05	144,52	0,052	0,082	2,52	1,76	0,228
9,2	254,44	44,85	300,39	144,87	155,81	0,056	0,086	2,59	1,81	0,242
9,2	279,44	44,85	325,38	155,98	167,28	0,060	0,090	2,60	1,86	0,259
9,2	304,44	44,85	347,36	168,91	178,9	0,064	0,094	2,64	1,90	0,275
9,2	329,43	44,85	372,55	181,65	190,42	0,066	0,098	2,75	1,94	0,282
9,2	354,43	44,85	398,02	194,36	202	0,068	0,100	2,86	2,02	0,289
9,2	379,42	44,85	423,33	207	213,7	0,070	0,102	2,96	2,10	0,296
9,2	404,4	44,85	446,61	219,47	225,51	0,074	0,104	2,97	2,17	0,313

Tabelle A 116 Verschmierter Abminderungsfaktor; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,48 m; a=0,4t; l=6m; E_{De} =15000N/mm²; w=0; f=2,24 N/mm²)

$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	b_{Vc}	b_{Dc}	σ_V	σ_D	Φ_{St}
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	N/mm²	N/mm²	-
0	16,87	17,25	35,39	4,11	31,27	0,038	0,060	0,11	0,52	0,141
0	29,37	17,25	47,89	11,29	36,58	0,038	0,068	0,29	0,54	0,185
0	54,38	17,25	72,89	25,98	46,89	0,052	0,082	0,50	0,57	0,265
0	104,38	17,25	122,89	53,18	69,72	0,072	0,104	0,74	0,67	0,347
0	154,38	17,25	172,89	78,06	94,96	0,078	0,128	1,00	0,74	0,360
0	204,38	17,25	222,89	102,02	120,54	0,082	0,142	1,24	0,85	0,373
0	254,38	17,25	272,89	125,88	146,24	0,084	0,150	1,50	0,97	0,378
0	379,38	17,25	397,89	185,53	210,51	0,088	0,164	2,11	1,28	0,391
4,2	16,88	29,85	48,14	2,61	45,5	0,038	0,056	0,07	0,81	0,123
4,2	29,38	29,85	60,64	7,96	52,65	0,038	0,060	0,21	0,88	0,144
4,2	54,38	29,85	85,64	22,06	63,56	0,038	0,068	0,58	0,93	0,191
4,2	104,38	29,85	135,64	51,09	84,54	0,044	0,084	1,16	1,01	0,243
4,2	154,38	29,85	185,64	78,4	107,25	0,060	0,098	1,31	1,09	0,296
4,2	204,38	29,85	235,64	104,16	131,53	0,068	0,112	1,53	1,17	0,321
4,2	254,38	29,85	285,64	128,87	156,99	0,074	0,124	1,74	1,27	0,342
4,2	379,38	29,85	410,64	188,73	221,1	0,080	0,144	2,36	1,54	0,362
9,2	16,88	44,85	63,14	1,82	61,28	0,056	0,052	0,03	1,18	0,112
9,2	29,38	44,85	75,64	6,71	68,88	0,038	0,056	0,18	1,23	0,128
9,2	54,38	44,85	100,64	18,16	82,45	0,038	0,062	0,47	1,33	0,158
9,2	104,38	44,85	150,64	46,88	103,74	0,038	0,072	1,22	1,44	0,218
9,2	154,38	44,85	200,64	75,84	124,8	0,038	0,082	1,98	1,52	0,211
9,2	204,38	44,85	250,64	103,42	147,23	0,050	0,092	2,07	1,60	0,252
9,2	254,39	44,85	300,64	129,82	170,87	0,060	0,102	2,16	1,68	0,290
9,2	379,39	44,85	425,64	189,32	233,85	0,072	0,124	2,63	1,89	0,335

Tabelle A 117 Verschmierter Abminderungsfaktor; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,48 m; a=0,5t; l=6m; E_{De} =15000N/mm²; w=0; f=2,24 N/mm²)

$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	b_{Vc}	b_{Dc}	σ_V	σ_D	Φ_{St}
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	N/mm²	N/mm²	-
0	16,84	17,25	35,67	1,44	34,2	0,038	0,070	0,04	0,49	0,152
0	29,33	17,25	48,16	7,44	40,7	0,038	0,078	0,19	0,52	0,192
0	54,31	17,25	73,17	21,75	51,39	0,056	0,094	0,39	0,55	0,279
0	104,31	17,25	123,18	47,63	75,52	0,076	0,126	0,63	0,60	0,409
0	154,3	17,25	173,17	70,62	102,61	0,082	0,152	0,86	0,68	0,419
0	204,28	17,25	223,16	92,34	130,66	0,086	0,172	1,07	0,76	0,433
0	254,26	17,25	273,15	113,89	158,74	0,088	0,184	1,29	0,86	0,439
0	379,23	17,25	398,13	167,81	228,91	0,090	0,200	1,86	1,14	0,443
4,2	29,31	29,85	60,92	3,92	56,96	0,038	0,068	0,10	0,84	0,151
4,2	54,29	29,85	85,91	15,32	70,55	0,038	0,078	0,40	0,90	0,198
4,2	104,26	29,85	135,93	43,5	92,37	0,048	0,098	0,91	0,94	0,300
4,2	154,25	29,85	185,94	69,62	116,26	0,066	0,116	1,05	1,00	0,367
4,2	204,26	29,85	235,94	93,75	142,16	0,074	0,134	1,27	1,06	0,388
4,2	254,24	29,85	285,94	116,49	169,5	0,078	0,150	1,49	1,13	0,399
4,2	379,2	29,85	410,91	170,76	239,67	0,084	0,176	2,03	1,36	0,421
9,2	29,29	44,85	75,93	1,49	74,38	0,306	0,064	0,00	1,16	0,136
9,2	54,27	44,85	100,92	10,67	90,17	0,038	0,070	0,28	1,29	0,163
9,2	104,24	44,85	150,92	36,41	114,44	0,038	0,084	0,95	1,36	0,231
9,2	154,21	44,85	200,95	64,49	136,37	0,038	0,096	1,68	1,42	0,248
9,2	204,19	44,85	250,96	91,03	159,83	0,056	0,110	1,63	1,45	0,322
9,2	229,2	44,85	275,96	103,67	172,2	0,060	0,116	1,73	1,48	0,333
9,2	254,2	44,85	300,96	115,99	184,89	0,064	0,122	1,81	1,52	0,346
9,2	279,2	44,85	325,96	127,92	197,96	0,068	0,128	1,88	1,55	0,361
9,2	304,2	44,85	350,96	139,71	211,19	0,070	0,134	2,00	1,58	0,366
9,2	329,2	44,85	375,96	151,24	224,68	0,072	0,138	2,10	1,63	0,373
9,2	354,19	44,85	400,96	162,58	238,37	0,074	0,144	2,20	1,66	0,380
9,2	379,18	44,85	425,96	173,75	252,27	0,074	0,150	2,35	1,68	0,378
9,2	404,17	44,85	450,95	184,78	266,32	0,076	0,154	2,43	1,73	0,387

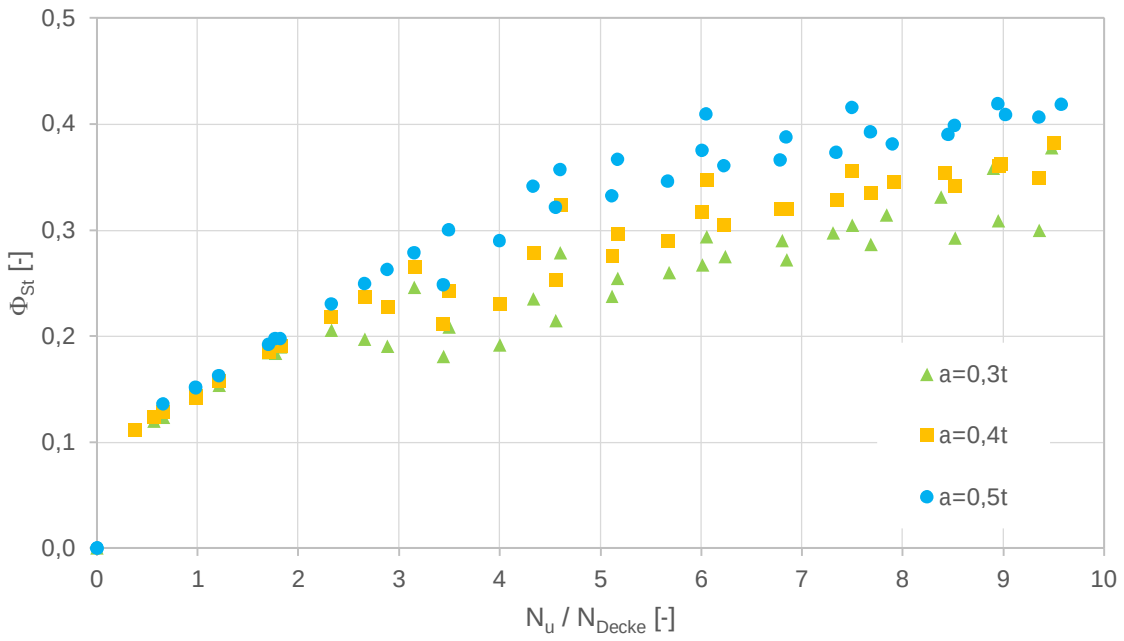


Bild A 174 Verschmierter Abminderungsfaktor für Wanddicke t=0,48 m

Anhang 7.1.5 Serie W490

Tabelle A 118 Verschmierter Abminderungsfaktor; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,49 m; a=0,3t; l=6m; E_{De} =15000N/mm²; w=0; f=2 N/mm²)

$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	b_{Vc}	b_{Dc}	σ_V	σ_D	Φ_{St}
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	N/mm²	N/mm²	-
0	17,51	17,25	35,7	6,08	29,66	0,038	0,054	0,16	0,55	0,133
0	30	17,25	48,21	14,38	33,86	0,038	0,058	0,38	0,58	0,169
0	54,98	17,25	73,21	30,96	42,28	0,046	0,066	0,67	0,64	0,222
0	104,99	17,25	123,19	62,26	61,04	0,066	0,082	0,94	0,74	0,267
0	154,98	17,25	173,15	91,5	81,87	0,072	0,098	1,27	0,84	0,278
0	204,96	17,25	223,14	119,74	103,18	0,076	0,108	1,58	0,96	0,289
0	254,95	17,25	273,13	147,79	124,69	0,078	0,114	1,89	1,09	0,293
0	379,93	17,25	398,1	217,93	178,49	0,084	0,124	2,59	1,44	0,312
4,2	17,56	29,85	48,42	3,92	44,54	0,038	0,050	0,10	0,89	0,111
4,2	30,06	29,85	60,91	10,86	50,13	0,038	0,054	0,28	0,93	0,134
4,2	55,04	29,85	85,91	27,36	58,65	0,038	0,058	0,71	1,01	0,174
4,2	105	29,85	135,91	60,53	75,51	0,038	0,068	1,58	1,11	0,176
4,2	155,03	29,85	185,89	91,88	94,19	0,050	0,078	1,84	1,21	0,207
4,2	205,02	29,85	235,86	121,93	114,26	0,060	0,088	2,03	1,30	0,237
4,2	255,01	29,85	285,82	150,98	135,34	0,066	0,096	2,29	1,41	0,255
4,2	379,96	29,85	408,21	221,22	188,94	0,074	0,110	2,99	1,72	0,280
9,2	30,11	44,85	75,87	7,77	68,19	0,038	0,050	0,20	1,36	0,114
9,2	55,11	44,85	100,85	23,08	77,93	0,038	0,056	0,60	1,39	0,148
9,2	105,07	44,85	150,85	56,92	94,13	0,038	0,062	1,49	1,52	0,203
9,2	155,04	44,85	200,84	89,81	111,28	0,038	0,068	2,35	1,64	0,175
9,2	205,06	44,85	250,83	121,39	129,72	0,038	0,076	3,17	1,71	0,162
9,2	255,08	44,85	298,26	152,01	149,16	0,048	0,082	3,17	1,82	0,194
9,2	380,82	44,85	421,1	223,94	202,5	0,066	0,096	3,39	2,11	0,256

Tabelle A 119 Verschmierter Abminderungsfaktor; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,49 m; a=0,4t; l=6m; E_{De} =15000N/mm²; w=0; f=2 N/mm²)

$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	b_{Vc}	b_{Dc}	σ_V	σ_D	Φ_{St}
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	N/mm²	N/mm²	-
0	17,47	17,25	36,02	2,15	33,84	0,038	0,062	0,06	0,55	0,135
0	29,98	17,25	48,53	9,22	39,29	0,038	0,068	0,24	0,58	0,171
0	54,99	17,25	73,54	25,1	48,39	0,044	0,080	0,57	0,60	0,248
0	105,01	17,25	123,55	55,36	68,16	0,070	0,098	0,79	0,70	0,319
0	155,03	17,25	173,57	83,13	90,44	0,076	0,118	1,09	0,77	0,324
0	205,05	17,25	223,58	109,25	114,3	0,080	0,134	1,37	0,85	0,334
0	255,07	17,25	273,6	134,84	138,33	0,082	0,144	1,64	0,96	0,339
0	380,11	17,25	398,65	198,73	198,51	0,086	0,158	2,31	1,26	0,351
4,2	17,48	29,85	48,77	0,37	48,37	1,950	0,056	0,00	0,86	0,115
4,2	29,98	29,85	61,28	5,06	56,17	0,038	0,060	0,13	0,94	0,133
4,2	55	29,85	86,29	18,39	67,86	0,038	0,068	0,48	1,00	0,176
4,2	105,02	29,85	136,3	50,36	85,9	0,038	0,080	1,32	1,07	0,211
4,2	155,04	29,85	186,32	80,75	105,53	0,054	0,092	1,50	1,15	0,254
4,2	205,06	29,85	236,34	109,58	126,73	0,064	0,104	1,71	1,22	0,282
4,2	255,08	29,85	286,35	136,94	149,4	0,070	0,116	1,96	1,29	0,299
4,2	380,12	29,85	411,39	202,05	209,03	0,076	0,138	2,66	1,51	0,316
9,2	29,99	44,85	76,28	2,52	73,7	0,448	0,056	0,01	1,32	0,118
9,2	55	44,85	101,29	13,18	88,04	0,038	0,062	0,34	1,42	0,145
9,2	105,02	44,85	151,3	42,9	108,35	0,038	0,072	1,12	1,50	0,205
9,2	155,04	44,85	201,32	74,7	126,56	0,038	0,080	1,95	1,58	0,211
9,2	205,06	44,85	251,34	105,44	145,83	0,040	0,088	2,64	1,66	0,195
9,2	255,08	44,85	301,35	134,96	166,34	0,052	0,096	2,60	1,73	0,237
9,2	380,13	44,85	423,95	204,1	222,31	0,066	0,116	3,09	1,92	0,281

Tabelle A 120 Verschmierter Abminderungsfaktor; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,4 m; a=0,5t; l=6m; E_{De} =15000N/mm²; w=0; f=2,19 N/mm²)

$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	b_{Vc}	b_{Dc}	σ_V	σ_D	Φ_{St}
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	N/mm²	N/mm²	-
0	17,49	17,25	36,29	0,2	36,08	0,678	0,070	0,00	0,52	0,144
0	29,97	17,25	48,78	4,9	43,87	0,038	0,078	0,13	0,56	0,177
0	54,94	17,25	73,76	20,15	53,6	0,044	0,094	0,46	0,57	0,264
0	104,91	17,25	123,75	49,69	74,07	0,074	0,118	0,67	0,63	0,376
0	154,89	17,25	173,73	75,85	97,93	0,082	0,142	0,93	0,69	0,383
0	204,86	17,25	223,7	99,97	123,91	0,084	0,162	1,19	0,76	0,384
0	254,85	17,25	273,67	123,33	150,23	0,086	0,176	1,43	0,85	0,389
0	379,82	17,25	398,62	181,68	216,08	0,088	0,194	2,06	1,11	0,393
4,2	30,02	29,85	61,5	0,25	61,24	3,834	0,070	0,00	0,87	0,143
4,2	54,98	29,85	86,47	11,36	75,11	0,038	0,078	0,30	0,96	0,183
4,2	104,93	29,85	136,45	41,72	94,75	0,038	0,094	1,09	1,01	0,256
4,2	154,89	29,85	186,44	71,57	114,91	0,060	0,110	1,19	1,04	0,319
4,2	204,88	29,85	236,42	99,17	137,33	0,070	0,124	1,42	1,11	0,341
4,2	254,86	29,85	286,4	124,88	161,63	0,074	0,140	1,69	1,15	0,346
4,2	379,8	29,85	411,34	184,89	226,6	0,082	0,168	2,25	1,35	0,372
9,2	55,04	44,85	101,41	5,02	96,4	0,038	0,072	0,13	1,34	0,155
9,2	104,97	44,85	151,38	31,05	120,37	0,038	0,084	0,81	1,43	0,216
9,2	154,93	44,85	201,36	62,18	139,24	0,038	0,094	1,62	1,48	0,253
9,2	204,89	44,85	251,36	92,35	159,09	0,044	0,104	2,10	1,53	0,244
9,2	254,88	44,85	301,35	120,95	180,51	0,058	0,114	2,09	1,58	0,295
9,2	379,81	44,85	426,31	186,52	239,98	0,072	0,140	2,59	1,71	0,336

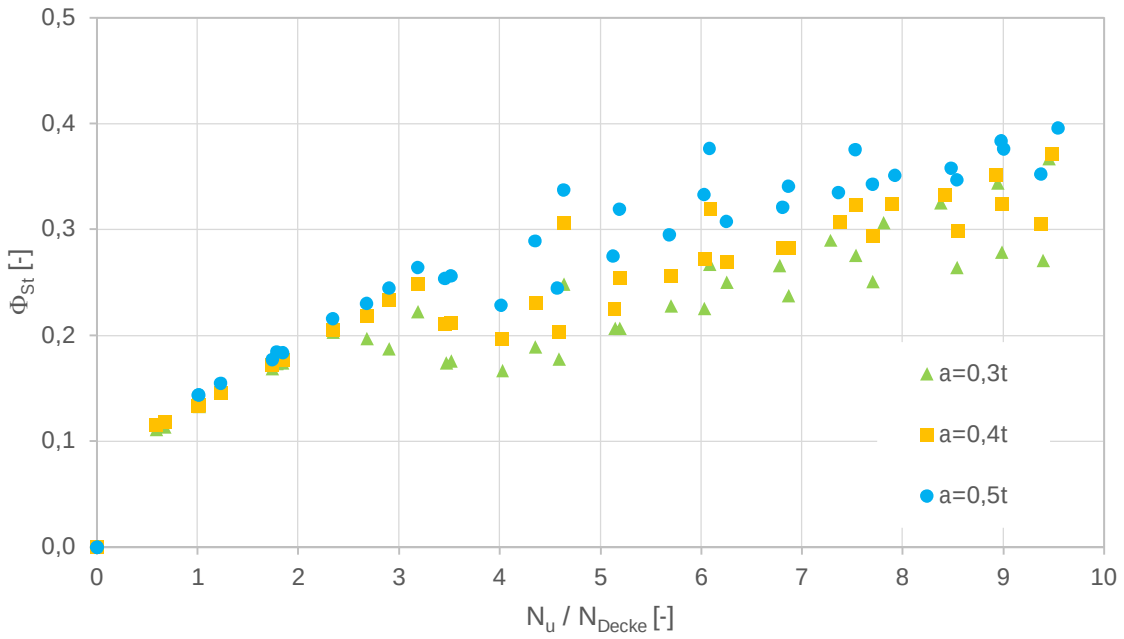
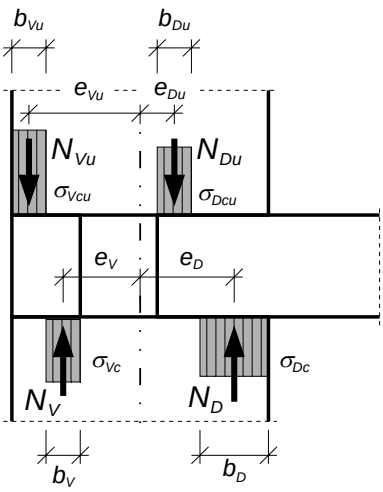


Bild A 175 Verschmierter Abminderungsfaktor für Wanddicke t=0,49 m

Anhang 7.2 Getrennter Nachweis Deckenauflager / Vormauerstein

Anhang 7.2.1 Allgemein



$$b_D = 2 \cdot \left(\frac{t}{2} - e_D\right) = (t - 2 \cdot e_D) \tag{6}$$

$$b_V = 2 \cdot \left(e_V - \left(\frac{t}{2} - t_V\right)\right) \tag{7}$$

Bild A 176 Schnittgrößen und Lastausmitten am WDK

$$\Phi_{St,V} = \frac{b_V}{t_V} = \frac{2 \cdot \left(e_V - \left(\frac{t}{2} - t_V\right)\right)}{t_V} = \left(2 \cdot \frac{e_V}{t_V} - \frac{t}{t_V} + 2\right). \tag{8}$$

$$\Phi_{St,D} = \frac{b_D}{a} = \frac{(t - 2 \cdot e_D)}{a} \tag{9}$$

$$N_V \leq N_{R,V} = \Phi_{St,V} \cdot f_{St} \cdot t_{V.} \tag{10}$$

$$N_D \leq N_{R,D} = \Phi_{St,D} \cdot f_{St} \cdot a \tag{11}$$

Anhang 7.2.2 Serie W400

Tabelle A 121 Getrennter Nachweis; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,4; a=0,3t; l=6m; E=15000N/mm²; w=0kN/m²)

p	N_u	N_{Decke}	N_o	N_V	N_D	e_o	e_V	e_D	$\Phi_{St,V}$	$\Phi_{St,D}$
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	m	-	-
0	16,1	17,25	34,24	9,79	24,45	0,096	0,104	0,174	0,33	0,43
0	28,6	17,25	46,73	17,87	28,9	0,066	0,107	0,172	0,38	0,47
0	53,6	17,25	71,73	33,07	38,73	0,038	0,113	0,167	0,49	0,55
0	103,6	17,25	121,71	61,52	60,21	0,018	0,119	0,159	0,59	0,68
0	153,6	17,25	171,7	89,06	82,05	0,011	0,122	0,154	0,64	0,77
0	203,6	17,25	221,68	116,45	104,05	0,006	0,124	0,151	0,68	0,82
0	253,6	17,25	271,67	143,84	126,06	0,004	0,125	0,149	0,70	0,85
0	378,6	17,25	393,47	211,47	181,92	0,001	0,128	0,147	0,75	0,88
4,2	16,1	29,85	46,98	9,17	37,84	0,129	0,104	0,176	0,33	0,40
4,2	28,6	29,85	59,47	17,28	42,24	0,1	0,104	0,175	0,33	0,42
4,2	53,6	29,85	84,46	33,51	51,03	0,065	0,104	0,172	0,33	0,47
4,2	103,6	29,85	134,45	63,61	71,05	0,036	0,110	0,166	0,43	0,57
4,2	153,6	29,85	184,44	92,19	92,6	0,023	0,115	0,161	0,52	0,65
4,2	203,6	29,85	234,42	119,92	114,23	0,017	0,118	0,157	0,57	0,72
4,2	253,6	29,85	282,19	147,37	136,15	0,013	0,120	0,154	0,61	0,77
4,2	378,6	29,85	405,09	212,51	193,23	0,007	0,127	0,150	0,73	0,83
9,2	16,1	44,85	61,98	7,8	54,2	0,147	0,104	0,177	0,33	0,38
9,2	28,6	44,85	74,47	15,95	58,58	0,124	0,104	0,176	0,33	0,40
9,2	53,6	44,85	99,45	32,93	66,64	0,09	0,104	0,174	0,33	0,43
9,2	103,6	44,85	149,43	64,77	84,85	0,054	0,104	0,170	0,33	0,50
9,2	153,6	44,85	199,43	94,51	105,25	0,038	0,106	0,166	0,37	0,57
9,2	203,6	44,85	247,26	123,09	126,86	0,029	0,111	0,162	0,45	0,63
9,2	253,6	44,85	297,26	150,4	149,21	0,023	0,115	0,159	0,52	0,68
9,2	376,3	44,85	417,49	213,89	205,19	0,012	0,125	0,152	0,70	0,80

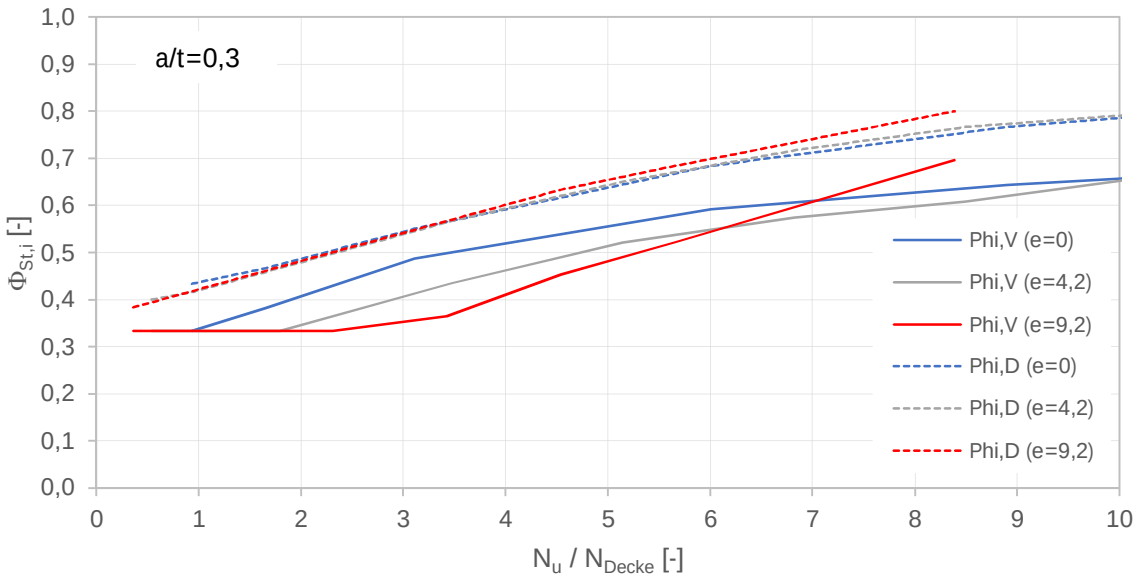


Bild A 177 Abminderungsfaktoren für NW am Vormauerstein und Deckenauflager (a=0,3t)

Tabelle A 122 Getrennter Nachweis; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,4; a=0,4t; l=6m; E=15000N/mm²; w=0kN/m²)

p	N_u	N_{Decke}	N_o	N_V	N_D	e_o	e_V	e_D	$\Phi_{St,V}$	$\Phi_{St,D}$
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	m	-	-
0	16,1	17,25	34,45	6,83	27,63	0,121	0,104	0,172	0,33	0,35
0	28,6	17,25	46,93	14,4	32,56	0,085	0,104	0,168	0,33	0,40
0	53,6	17,25	71,91	29,03	42,94	0,051	0,114	0,163	0,50	0,46
0	103,6	17,25	121,87	56,12	65,94	0,027	0,120	0,152	0,61	0,60
0	153,6	17,25	171,83	81,49	90,37	0,017	0,123	0,143	0,66	0,71
0	203,5	17,25	221,79	106,51	114,85	0,012	0,125	0,139	0,70	0,76
0	253,5	17,25	271,75	131,51	139,36	0,009	0,126	0,136	0,71	0,80
0	378,4	17,25	394,36	193,74	200,92	0,004	0,128	0,131	0,75	0,86
4,2	16,2	29,85	47,19	5,39	41,8	0,149	0,104	0,173	0,33	0,34
4,2	28,7	29,85	59,66	12,5	47,2	0,121	0,104	0,172	0,33	0,35
4,2	53,6	29,85	84,63	27,58	57,12	0,083	0,104	0,168	0,33	0,40
4,2	103,6	29,85	134,58	56,5	78,23	0,048	0,110	0,162	0,43	0,48
4,2	153,6	29,85	184,55	83,63	101,14	0,033	0,116	0,155	0,54	0,56
4,2	203,5	29,85	234,52	109,59	125,36	0,024	0,119	0,149	0,59	0,64
4,2	253,5	29,85	284,48	134,84	149,78	0,019	0,121	0,144	0,63	0,70
4,2	378,4	29,85	406,22	196,3	212,07	0,012	0,126	0,137	0,71	0,79
9,2	16,2	44,85	62,18	4,44	57,73	0,162	0,104	0,173	0,33	0,33
9,2	53,7	44,85	99,6	25,56	74,14	0,11	0,104	0,171	0,33	0,36
9,2	103,6	44,85	149,55	55,4	94,31	0,07	0,104	0,166	0,33	0,43
9,2	153,6	44,85	199,5	83,98	115,76	0,05	0,106	0,162	0,37	0,48
9,2	203,6	44,85	247,24	111,29	138,49	0,039	0,111	0,157	0,45	0,54
9,2	253,5	44,85	297,43	137,46	162,44	0,031	0,115	0,153	0,52	0,59
9,2	376,7	44,85	419,26	198,53	224,24	0,019	0,123	0,143	0,66	0,71
9,2	16,1	17,25	34,45	6,83	27,63	0,121	0,104	0,172	0,33	0,35

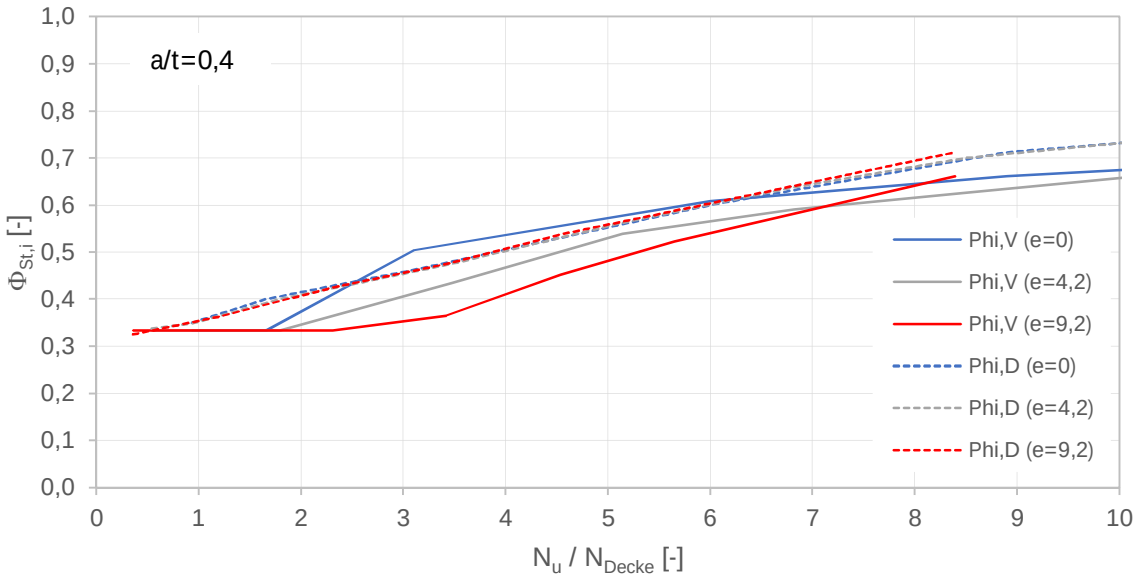


Bild A 178 Abminderungsfaktoren für NW am Vormauerstein und Deckenauflager (a=0,4t)

Tabelle A 123 Getrennter Nachweis; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,4; a=0,5t; l=6m; E=15000N/mm²; w=0kN/m²)

p	N_u	N_{Decke}	N_o	N_V	N_D	e_o	e_V	e_D	$\Phi_{St,V}$	$\Phi_{St,D}$
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	m	-	-
0	16,2	17,25	34,66	3,89	30,79	0,141	0,104	0,167	0,33	0,32
0	28,6	17,25	47,12	11	36,18	0,103	0,104	0,164	0,33	0,36
0	53,6	17,25	72,07	24,97	47,19	0,064	0,114	0,157	0,50	0,43
0	103,5	17,25	121,98	50,71	71,48	0,034	0,122	0,144	0,64	0,56
0	153,4	17,25	171,91	74,29	98,02	0,023	0,125	0,134	0,70	0,66
0	203,3	17,25	221,82	97,07	124,86	0,016	0,126	0,127	0,71	0,73
0	253,3	17,25	271,74	119,81	151,71	0,012	0,127	0,123	0,73	0,77
0	378,1	17,25	394,19	176,69	218,86	0,007	0,129	0,116	0,77	0,84
4,2	16,2	29,85	47,4	2,07	45,34	0,164	0,104	0,167	0,33	0,30
4,2	28,7	29,85	59,85	7,77	52,13	0,14	0,104	0,167	0,33	0,32
4,2	53,7	29,85	84,77	21,6	63,31	0,1	0,104	0,164	0,33	0,36
4,2	103,5	29,85	134,67	49,29	85,6	0,059	0,110	0,156	0,43	0,44
4,2	153,5	29,85	184,58	75,12	109,78	0,041	0,117	0,148	0,56	0,52
4,2	203,4	29,85	234,51	99,44	135,5	0,031	0,120	0,141	0,61	0,59
4,2	253,3	29,85	284,44	122,84	162,25	0,024	0,122	0,135	0,64	0,65
4,2	378,1	29,85	407,22	179,57	229,67	0,016	0,126	0,125	0,71	0,75
9,2	16,3	44,85	62,39	0,68	61,72	0,175	0,406	0,167	0,00	0,29
9,2	53,7	44,85	99,72	17,83	82,04	0,127	0,104	0,167	0,33	0,33
9,2	103,6	44,85	149,59	45,81	104,05	0,084	0,104	0,161	0,33	0,39
9,2	153,5	44,85	199,5	73,22	126,63	0,06	0,106	0,156	0,37	0,44
9,2	203,4	44,85	249,41	99,36	150,51	0,047	0,112	0,151	0,47	0,49
9,2	253,4	44,85	297,1	124,27	175,63	0,039	0,116	0,146	0,54	0,54
9,2	378,2	44,85	420,07	181,82	242,3	0,026	0,123	0,134	0,66	0,66

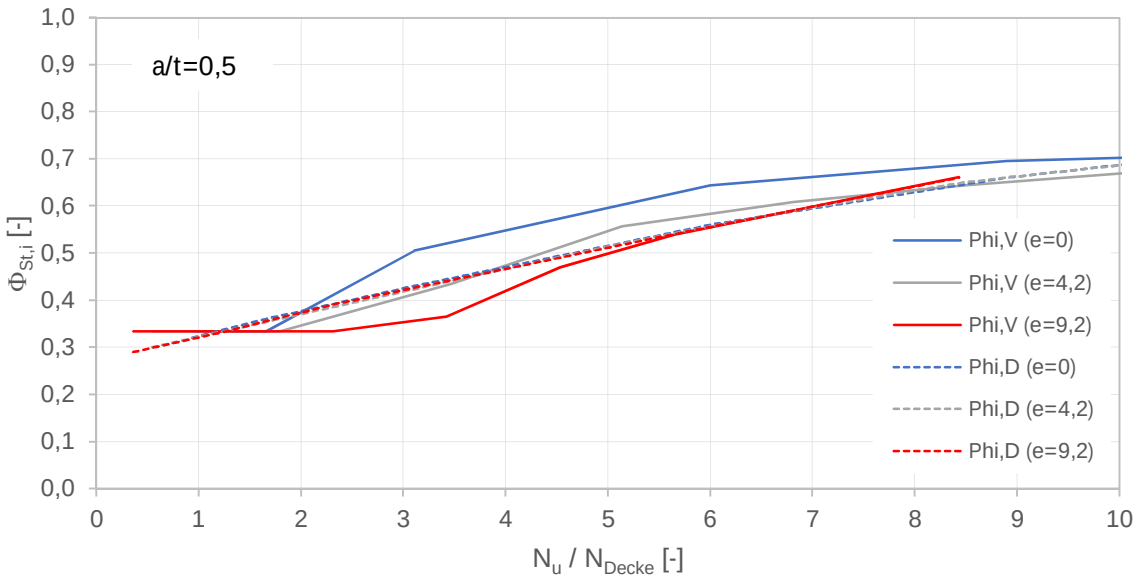


Bild A 179 Abminderungsfaktoren für NW am Vormauerstein und Deckenauflager (a=0,3t)

Anhang 7.2.3 Serie W425

Tabelle A 124 Getrennter Nachweis; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,425; a=0,3t; l=6m; E=15000N/mm²; w=0kN/m²)

p	N_u	N_{Decke}	N_o	N_V	N_D	e_o	e_V	e_D	$\Phi_{St,V}$	$\Phi_{St,D}$
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	m	-	-
0	16,38	17,25	34,51	9,91	24,62	0,101	0,117	0,183	0,33	0,46
0	28,87	17,25	47,01	18,65	28,39	0,063	0,117	0,181	0,33	0,49
0	53,87	17,25	71,99	35,06	37,02	0,03	0,124	0,176	0,46	0,57
0	103,85	17,25	121,97	65,67	56,31	0,008	0,130	0,168	0,57	0,70
0	153,83	17,25	171,96	95,15	76,39	-0,001	0,133	0,163	0,62	0,78
0	203,82	17,25	221,95	124,51	96,6	-0,005	0,135	0,161	0,65	0,81
0	253,81	17,25	271,94	153,85	116,83	-0,008	0,136	0,159	0,67	0,84
0	378,78	17,25	393,69	224,94	167,53	-0,012	0,139	0,157	0,72	0,87
4,2	16,4	29,85	47,25	9,04	38,25	0,139	0,117	0,184	0,33	0,45
4,2	28,89	29,85	59,75	17,85	41,96	0,104	0,117	0,183	0,33	0,46
4,2	53,87	29,85	84,74	35,1	49,73	0,062	0,117	0,180	0,33	0,51
4,2	103,87	29,85	134,72	67,64	67,3	0,028	0,119	0,175	0,37	0,59
4,2	153,86	29,85	184,69	98,32	86,61	0,013	0,125	0,170	0,48	0,67
4,2	203,82	29,85	234,69	128,07	106,4	0,006	0,128	0,166	0,53	0,73
4,2	253,81	29,85	284,68	157,44	126,58	0,001	0,130	0,164	0,57	0,76
4,2	378,78	29,85	407,06	226,53	177,59	-0,005	0,135	0,160	0,65	0,82
9,2	16,42	44,85	62,25	7,44	54,84	0,16	0,117	0,185	0,33	0,43
9,2	28,91	44,85	74,74	15,77	59,04	0,133	0,117	0,184	0,33	0,45
9,2	53,9	44,85	99,74	33,35	66,5	0,092	0,117	0,182	0,33	0,48
9,2	103,87	44,85	149,72	68,33	81,58	0,049	0,117	0,178	0,33	0,54
9,2	153,87	44,85	199,7	100,46	99,59	0,03	0,117	0,175	0,33	0,59
9,2	203,87	44,85	249,67	131,37	118,81	0,018	0,120	0,171	0,39	0,65
9,2	253,84	44,85	296,66	158,18	138,48	0,013	0,125	0,168	0,48	0,70
9,2	378,79	44,85	419,67	228,48	190,06	0,003	0,132	0,163	0,60	0,78

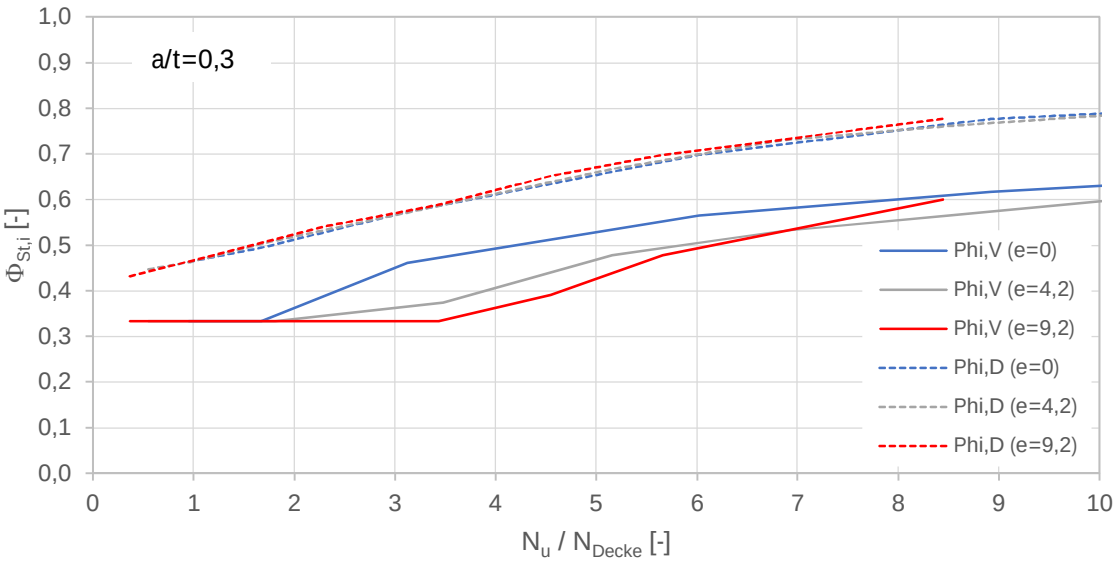


Bild A 180 Abminderungsfaktoren für NW am Vormauerstein und Deckenauflager (a=0,3t)

Tabelle A 125 Getrennter Nachweis; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,425; a=0,4t; l=6m; E=15000N/mm²; w=0kN/m²)

p	N_u	N_{Decke}	N_o	N_V	N_D	e_o	e_V	e_D	$\Phi_{St,V}$	$\Phi_{St,D}$
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	m	-	-
0	16,38	17,25	34,78	6,86	27,89	0,128	0,117	0,180	0,33	0,38
0	28,89	17,25	47,29	14,9	32,35	0,086	0,117	0,176	0,33	0,43
0	53,9	17,25	72,3	30,67	41,59	0,046	0,123	0,171	0,44	0,49
0	103,92	17,25	122,33	60,08	62,25	0,018	0,131	0,161	0,58	0,61
0	153,93	17,25	172,35	87,51	84,69	0,007	0,134	0,153	0,63	0,70
0	203,96	17,25	222,38	114,46	107,37	0,002	0,136	0,148	0,67	0,76
0	253,98	17,25	272,41	141,39	130,07	-0,002	0,137	0,145	0,69	0,79
0	379,04	17,25	397,48	208,71	186,86	-0,007	0,139	0,141	0,72	0,84
4,2	16,36	29,85	47,53	4,89	42,6	0,163	0,117	0,181	0,33	0,37
4,2	28,87	29,85	60,05	12,42	47,58	0,129	0,117	0,180	0,33	0,38
4,2	53,88	29,85	85,07	28,55	56,45	0,084	0,117	0,176	0,33	0,43
4,2	103,91	29,85	135,1	59,91	75,12	0,042	0,119	0,170	0,37	0,50
4,2	153,93	29,85	185,13	89,37	95,7	0,024	0,125	0,164	0,48	0,57
4,2	203,96	29,85	235,15	117,53	117,68	0,015	0,129	0,158	0,55	0,64
4,2	253,96	29,85	285,17	144,79	140,2	0,009	0,131	0,154	0,58	0,69
4,2	379,02	29,85	406,93	209,2	197,05	0,002	0,136	0,147	0,67	0,77
9,2	16,34	44,85	62,53	3,1	59,38	0,181	0,147	0,182	0,86	0,36
9,2	28,85	44,85	75,05	10,22	64,77	0,156	0,117	0,181	0,33	0,37
9,2	53,87	44,85	100,08	25,83	74,17	0,115	0,117	0,179	0,33	0,39
9,2	103,88	44,85	150,12	58,17	91,86	0,067	0,117	0,174	0,33	0,45
9,2	153,91	44,85	200,15	89,12	110,93	0,044	0,117	0,170	0,33	0,50
9,2	203,94	44,85	250,18	118,74	131,35	0,03	0,120	0,166	0,39	0,55
9,2	253,95	44,85	300,22	147,43	152,73	0,022	0,124	0,162	0,46	0,59
9,2	378,99	17,25	422,79	210,9	209,53	0,01	0,132	0,154	0,60	0,69

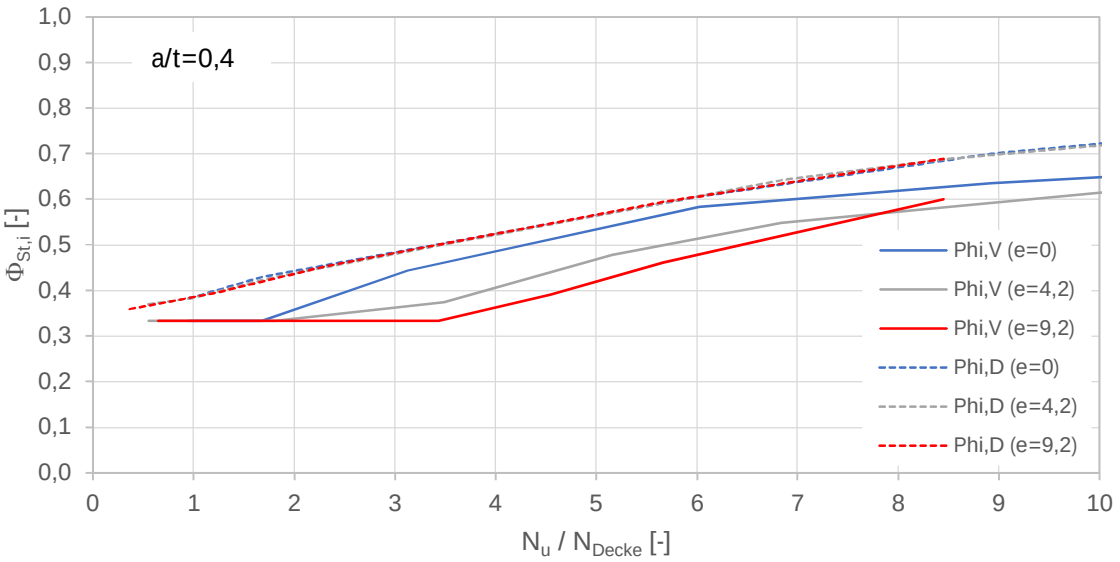


Bild A 181 Abminderungsfaktoren für NW am Vormauerstein und Deckenauflager (a=0,4t)

Tabelle A 126 Getrennter Nachweis; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,425m; a=0,5t; l=6m; E=15000N/mm²; w=0kN/m²)

p	N_u	N_{Decke}	N_o	N_V	N_D	e_o	e_V	e_D	$\Phi_{St,V}$	$\Phi_{St,D}$
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	m	-	-
0	16,36	17,25	35,02	3,55	31,43	0,152	0,117	0,175	0,33	0,35
0	28,86	17,25	47,52	11,10	36,39	0,108	0,117	0,172	0,33	0,38
0	53,87	17,25	72,54	26,43	46,04	0,060	0,123	0,165	0,44	0,45
0	103,89	17,25	122,56	54,65	67,85	0,026	0,132	0,154	0,60	0,55
0	153,90	17,25	172,58	80,53	92,04	0,014	0,135	0,144	0,65	0,64
0	203,91	17,25	222,59	105,37	116,99	0,007	0,137	0,137	0,69	0,71
0	253,92	17,25	272,61	130,13	141,93	0,003	0,138	0,133	0,70	0,75
0	378,96	17,25	397,66	192,02	204,28	-0,003	0,140	0,126	0,74	0,81
4,2	28,85	29,85	60,28	7,19	53,02	0,151	0,117	0,176	0,33	0,34
4,2	53,84	29,85	85,30	22,09	63,13	0,104	0,117	0,172	0,33	0,38
4,2	103,87	29,85	135,33	52,25	82,95	0,055	0,119	0,164	0,37	0,46
4,2	153,88	29,85	185,35	80,67	104,56	0,034	0,126	0,157	0,50	0,52
4,2	203,89	29,85	235,37	107,46	127,79	0,022	0,130	0,151	0,57	0,58
4,2	253,91	29,85	285,39	133,14	152,21	0,016	0,133	0,145	0,62	0,64
4,2	378,93	29,85	410,43	195,24	214,58	0,006	0,136	0,135	0,67	0,73
9,2	28,82	44,85	75,28	4,72	70,47	0,173	0,117	0,177	0,33	0,33
9,2	53,82	44,85	100,30	17,38	82,80	0,137	0,117	0,174	0,33	0,36
9,2	103,83	44,85	150,34	47,78	102,40	0,084	0,117	0,169	0,33	0,41
9,2	153,85	44,85	200,37	77,85	122,34	0,056	0,117	0,164	0,33	0,46
9,2	203,86	44,85	250,40	106,50	143,70	0,040	0,121	0,160	0,41	0,49
9,2	253,89	44,85	300,41	133,88	166,34	0,030	0,125	0,155	0,48	0,54

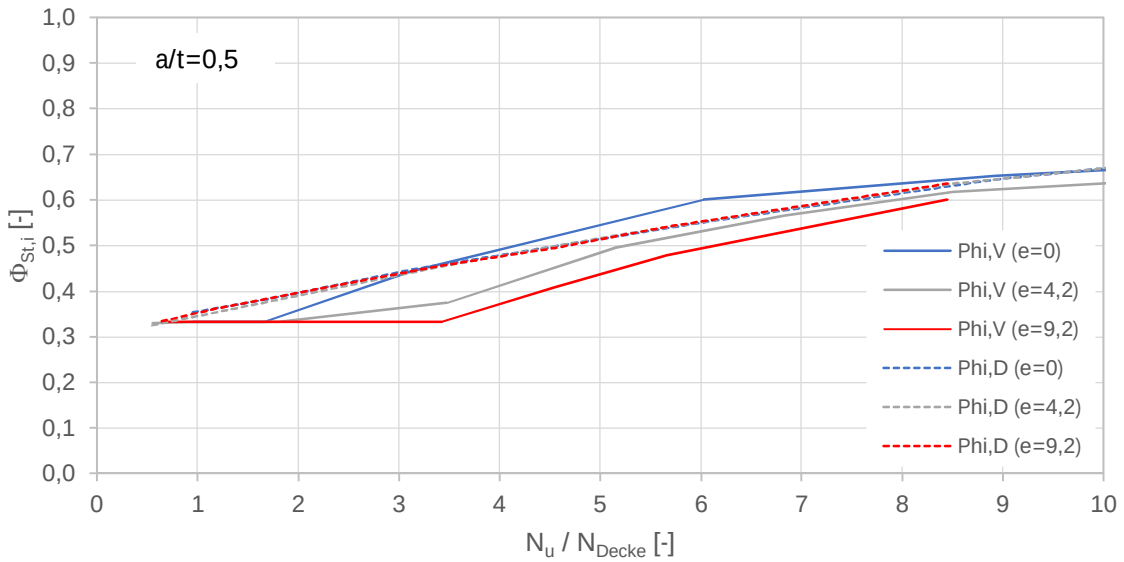


Bild A 182 Abminderungsfaktoren für NW am Vormauerstein und Deckenauflager (a=0,5t)

Anhang 7.2.4 Serie W480

Tabelle A 127 Getrennter Nachweis; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,48m; a=0,3t; l=6m; E=15000N/mm²; w=0kN/m²)

p	N_u	N_{Decke}	N_o	N_V	N_D	e_o	e_V	e_D	$\Phi_{St,V}$	$\Phi_{St,D}$
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	m	-	-
0	16,9	17,25	35,11	7,68	27,44	0,143	0,144	0,213	0,33	0,38
0	29,39	17,25	47,62	15,36	32,24	0,098	0,144	0,210	0,33	0,42
0	54,37	17,25	72,63	30,83	41,8	0,054	0,151	0,206	0,45	0,47
0	104,4	17,25	122,62	59,21	63,53	0,025	0,159	0,196	0,59	0,61
0	154,39	17,25	172,62	85,98	86,42	0,014	0,162	0,188	0,64	0,72
0	204,38	17,25	222,62	112,36	109,54	0,008	0,164	0,184	0,68	0,78
0	254,39	17,25	272,63	138,68	132,71	0,004	0,166	0,181	0,71	0,82
0	379,39	17,25	397,64	204,48	190,67	-0,001	0,168	0,177	0,75	0,88
4,2	16,92	29,85	47,84	6,28	41,58	0,181	0,144	0,215	0,33	0,35
4,2	29,42	29,85	60,35	13,57	46,8	0,144	0,144	0,213	0,33	0,38
4,2	54,4	29,85	85,37	29,27	56,11	0,095	0,144	0,210	0,33	0,42
4,2	104,38	29,85	135,39	59,54	75,88	0,05	0,147	0,204	0,38	0,50
4,2	154,41	29,85	185,38	88,09	97,4	0,031	0,154	0,199	0,50	0,57
4,2	204,42	29,85	235,36	115,43	120,24	0,021	0,157	0,193	0,56	0,65
4,2	254,4	29,85	285,37	142,02	143,1	0,015	0,160	0,189	0,61	0,71
4,2	379,39	29,85	410,38	205,29	200,99	0,007	0,164	0,183	0,68	0,79
9,2	29,44	44,85	75,33	11,6	63,75	0,174	0,144	0,215	0,33	0,35
9,2	54,43	44,85	100,35	27,02	73,37	0,129	0,144	0,213	0,33	0,38
9,2	104,39	44,85	150,39	58,47	91,95	0,077	0,144	0,209	0,33	0,43
9,2	154,38	44,85	200,41	88,31	112,15	0,052	0,144	0,205	0,33	0,49
9,2	204,42	44,85	250,4	117,01	133,49	0,038	0,149	0,200	0,42	0,56
9,2	229,43	44,85	275,4	131,05	144,52	0,033	0,151	0,199	0,45	0,57
9,2	254,44	44,85	300,39	144,87	155,81	0,028	0,153	0,197	0,49	0,60
9,2	279,44	44,85	325,38	155,98	167,28	0,025	0,155	0,195	0,52	0,63
9,2	304,44	44,85	347,36	168,91	178,9	0,024	0,157	0,193	0,56	0,65
9,2	329,43	44,85	372,55	181,65	190,42	0,021	0,158	0,191	0,57	0,68
9,2	354,43	44,85	398,02	194,36	202	0,019	0,159	0,190	0,59	0,69
9,2	379,42	44,85	423,33	207	213,7	0,017	0,160	0,189	0,61	0,71
9,2	404,4	44,85	446,61	219,47	225,51	0,016	0,162	0,188	0,64	0,72

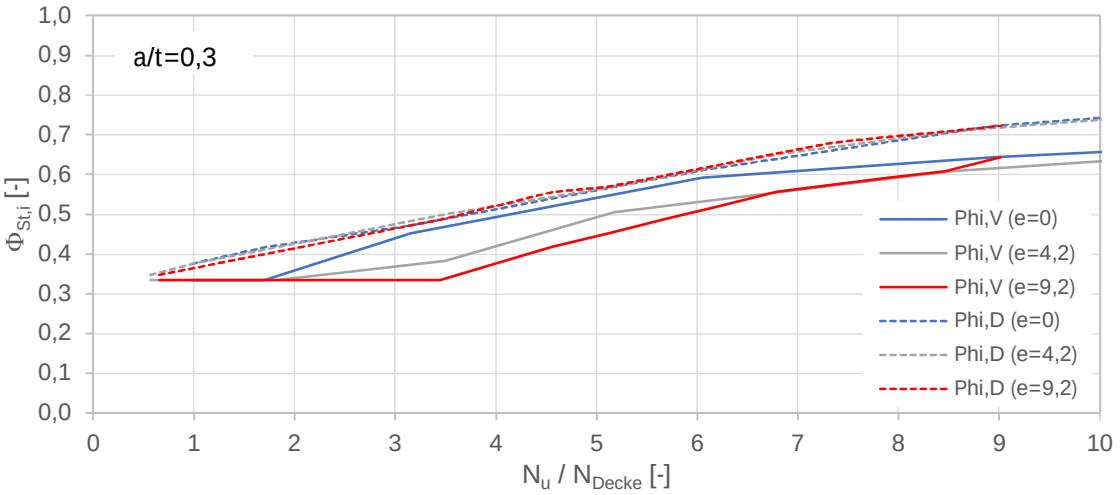


Bild A 183 Abminderungsfaktoren für NW am Vormauerstein und Deckenauflager (a=0,3t)

Tabelle A 128 Getrennter Nachweis; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,48m; a=0,4t; l=6m; E=15000N/mm²; w=0kN/m²)

p	N_u	N_{Decke}	N_o	N_V	N_D	e_o	e_V	e_D	$\Phi_{St,V}$	$\Phi_{St,D}$
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	m	-	-
0	16,87	17,25	35,39	4,11	31,27	0,175	0,144	0,208	0,33	0,31
0	29,37	17,25	47,89	11,29	36,58	0,127	0,144	0,206	0,33	0,35
0	54,38	17,25	72,89	25,98	46,89	0,075	0,151	0,199	0,45	0,43
0	104,38	17,25	122,89	53,18	69,72	0,037	0,161	0,188	0,63	0,54
0	154,38	17,25	172,89	78,06	94,96	0,023	0,164	0,176	0,68	0,67
0	204,38	17,25	222,89	102,02	120,54	0,016	0,166	0,169	0,71	0,74
0	254,38	17,25	272,89	125,88	146,24	0,011	0,167	0,165	0,73	0,78
0	379,38	17,25	397,89	185,53	210,51	0,005	0,169	0,158	0,77	0,85
4,2	16,88	29,85	48,14	2,61	45,5	0,203	0,144	0,208	0,33	0,29
4,2	29,38	29,85	60,64	7,96	52,65	0,174	0,144	0,208	0,33	0,31
4,2	54,38	29,85	85,64	22,06	63,56	0,122	0,144	0,206	0,33	0,35
4,2	104,38	29,85	135,64	51,09	84,54	0,068	0,147	0,198	0,38	0,44
4,2	154,38	29,85	185,64	78,4	107,25	0,045	0,155	0,191	0,52	0,51
4,2	204,38	29,85	235,64	104,16	131,53	0,033	0,159	0,184	0,59	0,58
4,2	254,38	29,85	285,64	128,87	156,99	0,025	0,162	0,178	0,64	0,65
4,2	379,38	29,85	410,64	188,73	221,1	0,015	0,165	0,168	0,70	0,75
9,2	16,88	44,85	63,14	1,82	61,28	0,212	0,153	0,208	0,49	0,27
9,2	29,38	44,85	75,64	6,71	68,88	0,193	0,144	0,208	0,33	0,29
9,2	54,38	44,85	100,64	18,16	82,45	0,158	0,144	0,208	0,33	0,32
9,2	104,38	44,85	150,64	46,88	103,74	0,101	0,144	0,204	0,33	0,38
9,2	154,38	44,85	200,64	75,84	124,8	0,07	0,144	0,199	0,33	0,43
9,2	204,38	44,85	250,64	103,42	147,23	0,052	0,150	0,194	0,43	0,48
9,2	254,39	44,85	300,64	129,82	170,87	0,041	0,155	0,189	0,52	0,53
9,2	379,39	17,25	425,64	189,32	233,85	0,025	0,161	0,178	0,63	0,65

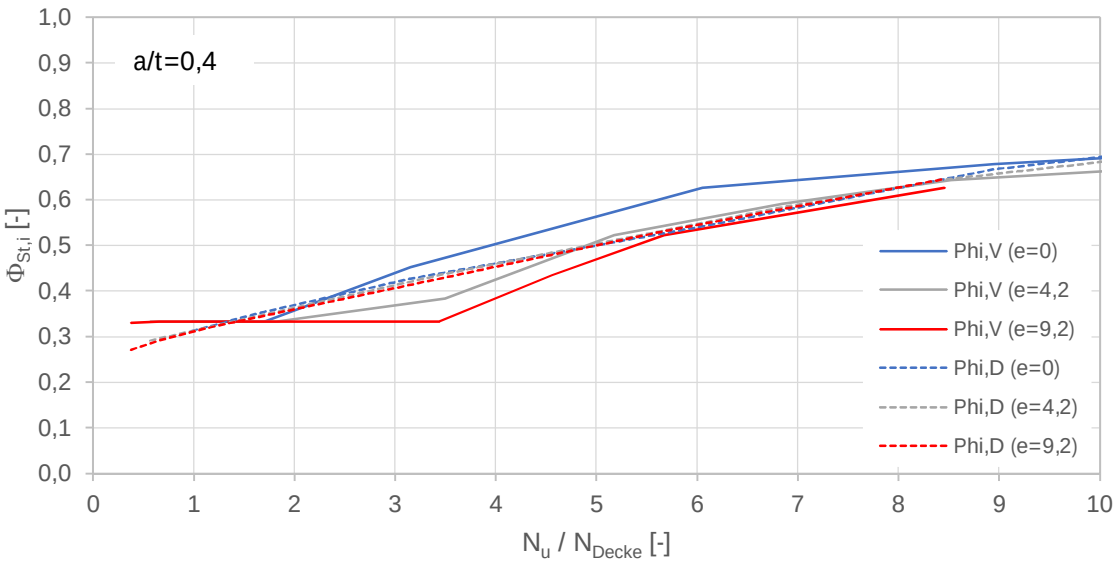


Bild A 184 Abminderungsfaktoren für NW am Vormauerstein und Deckenauflager (a=0,4t)

Tabelle A 129 Getrennter Nachweis; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,48m; a=0,5t; l=6m; E=15000N/mm²; w=0kN/m²)

p	N_u	N_{Decke}	N_o	N_V	N_D	e_o	e_V	e_D	$\Phi_{St,V}$	$\Phi_{St,D}$
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	m	-	-
0	16,84	17,25	35,67	1,44	34,2	0,196	0,144	0,200	0,33	0,29
0	29,33	17,25	48,16	7,44	40,7	0,151	0,144	0,200	0,33	0,33
0	54,31	17,25	73,17	21,75	51,39	0,09	0,153	0,193	0,49	0,39
0	104,31	17,25	123,18	47,63	75,52	0,046	0,163	0,177	0,66	0,53
0	154,3	17,25	173,17	70,62	102,61	0,029	0,166	0,164	0,71	0,63
0	204,28	17,25	223,16	92,34	130,66	0,021	0,168	0,154	0,75	0,72
0	254,26	17,25	273,15	113,89	158,74	0,016	0,169	0,148	0,77	0,77
0	379,23	17,25	398,13	167,81	228,91	0,009	0,170	0,140	0,78	0,83
4,2	29,31	29,85	60,92	3,92	56,96	0,19	0,144	0,200	0,33	0,28
4,2	54,29	29,85	85,91	15,32	70,55	0,145	0,144	0,200	0,33	0,33
4,2	104,26	29,85	135,93	43,5	92,37	0,083	0,149	0,191	0,42	0,41
4,2	154,25	29,85	185,94	69,62	116,26	0,055	0,158	0,182	0,57	0,48
4,2	204,26	29,85	235,94	93,75	142,16	0,04	0,162	0,173	0,64	0,56
4,2	254,24	29,85	285,94	116,49	169,5	0,031	0,164	0,165	0,68	0,63
4,2	379,2	29,85	410,91	170,76	239,67	0,019	0,167	0,152	0,73	0,73
9,2	29,29	44,85	75,93	1,49	74,38	0,21	0,144	0,200	0,33	0,27
9,2	54,27	44,85	100,92	10,67	90,17	0,178	0,144	0,200	0,33	0,29
9,2	104,24	44,85	150,92	36,41	114,44	0,121	0,144	0,198	0,33	0,35
9,2	154,21	44,85	200,95	64,49	136,37	0,084	0,144	0,192	0,33	0,40
9,2	204,19	44,85	250,96	91,03	159,83	0,063	0,153	0,185	0,49	0,46
9,2	229,2	44,85	275,96	103,67	172,2	0,056	0,155	0,182	0,52	0,48
9,2	254,2	44,85	300,96	115,99	184,89	0,05	0,157	0,179	0,56	0,51
9,2	279,2	44,85	325,96	127,92	197,96	0,045	0,159	0,176	0,59	0,53
9,2	304,2	44,85	350,96	139,71	211,19	0,041	0,160	0,173	0,61	0,56
9,2	329,2	44,85	375,96	151,24	224,68	0,037	0,161	0,171	0,63	0,58
9,2	354,19	44,85	400,96	162,58	238,37	0,034	0,162	0,168	0,64	0,60
9,2	379,18	44,85	425,96	173,75	252,27	0,032	0,162	0,165	0,64	0,63

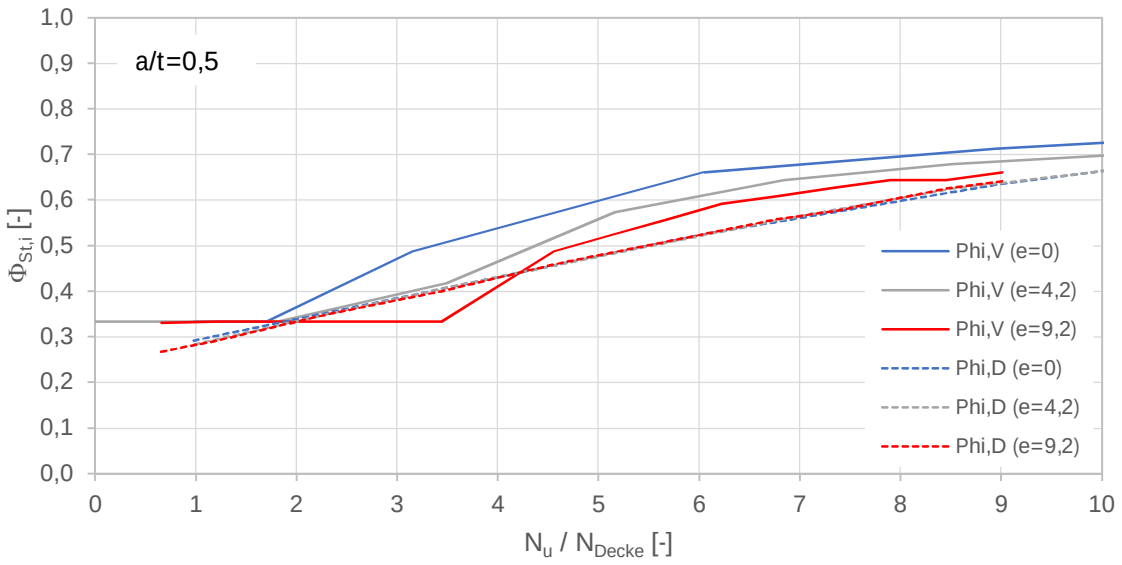


Bild A 185 Abminderungsfaktoren für NW am Vormauerstein und Deckenauflager (a=0,5t)

Anhang 7.2.5 Serie W490

Tabelle A 130 Getrennter Nachweis; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,49m; a=0,3t; l=6m; E=15000N/mm²; w=0kN/m²)

p	N_u	N_{Decke}	N_o	N_V	N_D	e_o	e_V	e_D	$\Phi_{St,V}$	$\Phi_{St,D}$
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	m	-	-
0	17,51	17,25	35,7	6,08	29,66	0,166	0,149	0,218	0,33	0,37
0	30	17,25	48,21	14,38	33,86	0,112	0,149	0,216	0,33	0,39
0	54,98	17,25	73,21	30,96	42,28	0,058	0,153	0,212	0,40	0,45
0	104,99	17,25	123,19	62,26	61,04	0,019	0,163	0,204	0,57	0,56
0	154,98	17,25	173,15	91,5	81,87	0,005	0,166	0,196	0,63	0,67
0	204,96	17,25	223,14	119,74	103,18	-0,001	0,168	0,191	0,66	0,73
0	254,95	17,25	273,13	147,79	124,69	-0,005	0,169	0,188	0,68	0,78
0	379,93	17,25	398,1	217,93	178,49	-0,011	0,172	0,183	0,73	0,84
4,2	17,56	29,85	48,42	3,92	44,54	0,207	0,149	0,220	0,33	0,34
4,2	30,06	29,85	60,91	10,86	50,13	0,169	0,149	0,218	0,33	0,37
4,2	55,04	29,85	85,91	27,36	58,65	0,11	0,149	0,216	0,33	0,39
4,2	105	29,85	135,91	60,53	75,51	0,052	0,149	0,211	0,33	0,46
4,2	155,03	29,85	185,89	91,88	94,19	0,028	0,155	0,206	0,43	0,53
4,2	205,02	29,85	235,86	121,93	114,26	0,015	0,160	0,201	0,52	0,60
4,2	255,01	29,85	285,82	150,98	135,34	0,007	0,163	0,197	0,57	0,65
4,2	379,96	29,85	408,21	221,22	188,94	-0,001	0,167	0,190	0,64	0,75
9,2	30,11	44,85	75,87	7,77	68,19	0,202	0,149	0,220	0,33	0,34
9,2	55,11	44,85	100,85	23,08	77,93	0,152	0,149	0,217	0,33	0,38
9,2	105,07	44,85	150,85	56,92	94,13	0,088	0,149	0,214	0,33	0,42
9,2	155,04	44,85	200,84	89,81	111,28	0,054	0,149	0,211	0,33	0,46
9,2	205,06	44,85	250,83	121,39	129,72	0,036	0,149	0,207	0,33	0,52
9,2	255,08	44,85	298,26	152,01	149,16	0,025	0,154	0,204	0,42	0,56
9,2	380,82	44,85	421,1	223,94	202,5	0,01	0,163	0,197	0,57	0,65

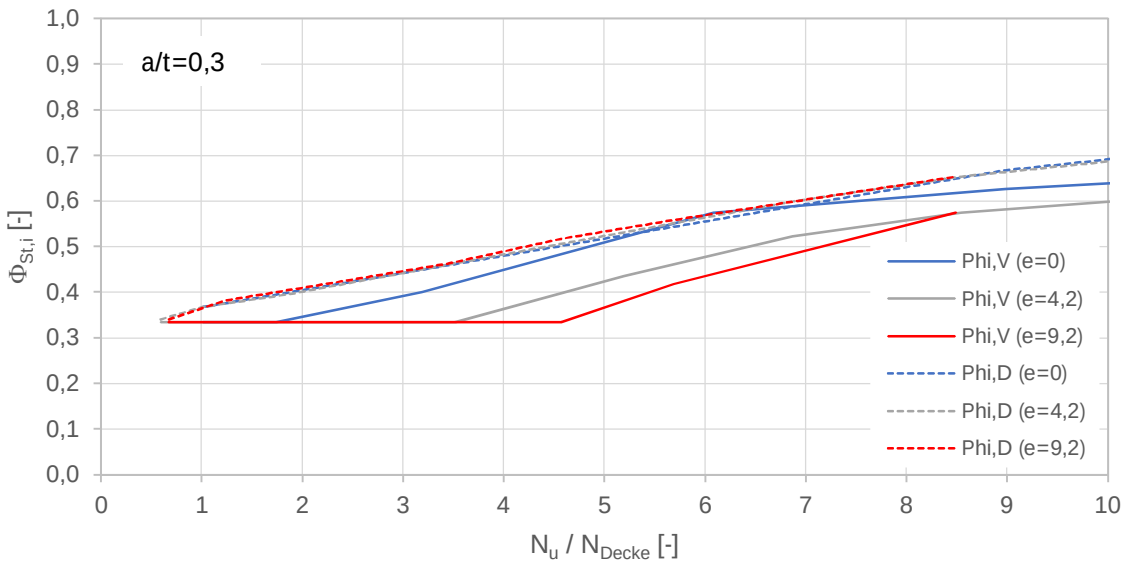


Bild A 186 Abminderungsfaktoren für NW am Vormauerstein und Deckenauflager (a=0,3t)

Tabelle A 131 Getrennter Nachweis; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,49m; a=0,4t; l=6m; E=15000N/mm²; w=0kN/m²)

p	N_u	N_{Decke}	N_o	N_V	N_D	e_o	e_V	e_D	$\Phi_{St,V}$	$\Phi_{St,D}$
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	m	-	-
0	17,47	17,25	36,02	2,15	33,84	0,201	0,149	0,212	0,33	0,32
0	29,98	17,25	48,53	9,22	39,29	0,149	0,149	0,211	0,33	0,35
0	54,99	17,25	73,54	25,1	48,39	0,084	0,152	0,205	0,38	0,41
0	105,01	17,25	123,55	55,36	68,16	0,034	0,165	0,196	0,61	0,50
0	155,03	17,25	173,57	83,13	90,44	0,017	0,168	0,186	0,66	0,60
0	205,05	17,25	223,58	109,25	114,3	0,008	0,170	0,178	0,70	0,68
0	255,07	17,25	273,6	134,84	138,33	0,003	0,171	0,173	0,71	0,73
0	380,11	17,25	398,65	198,73	198,51	-0,004	0,173	0,166	0,75	0,81
4,2	17,48	29,85	48,77	0,37	48,37	0,224	1,105	0,212	16,96	0,29
4,2	29,98	29,85	61,28	5,06	56,17	0,197	0,149	0,212	0,33	0,31
4,2	55	29,85	86,29	18,39	67,86	0,144	0,149	0,211	0,33	0,35
4,2	105,02	29,85	136,3	50,36	85,9	0,075	0,149	0,205	0,33	0,41
4,2	155,04	29,85	186,32	80,75	105,53	0,045	0,157	0,199	0,47	0,47
4,2	205,06	29,85	236,34	109,58	126,73	0,029	0,162	0,193	0,56	0,53
4,2	255,08	29,85	286,35	136,94	149,4	0,019	0,165	0,187	0,61	0,59
4,2	380,12	29,85	411,39	202,05	209,03	0,007	0,168	0,176	0,66	0,70
9,2	29,99	44,85	76,28	2,52	73,7	0,222	0,149	0,212	3,90	0,29
9,2	55	44,85	101,29	13,18	88,04	0,183	0,149	0,212	0,33	0,32
9,2	105,02	44,85	151,3	42,9	108,35	0,118	0,149	0,209	0,33	0,37
9,2	155,04	44,85	201,32	74,7	126,56	0,078	0,149	0,205	0,33	0,41
9,2	205,06	44,85	251,34	105,44	145,83	0,054	0,150	0,201	0,35	0,45
9,2	255,08	44,85	301,35	134,96	166,34	0,039	0,156	0,197	0,45	0,49
9,2	380,13	17,25	423,95	204,1	222,31	0,02	0,163	0,187	0,57	0,59

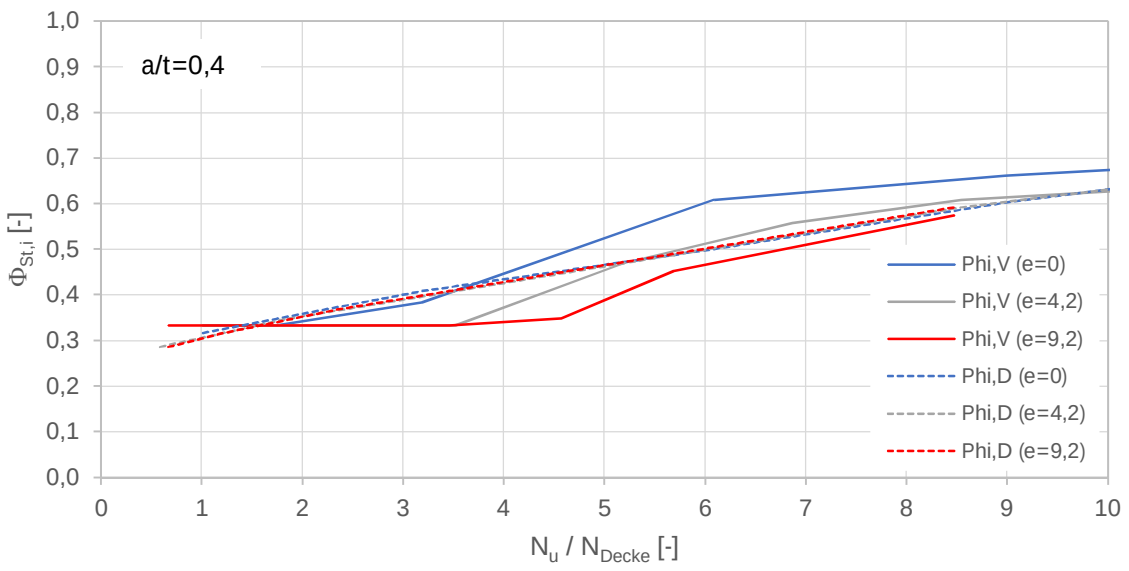


Bild A 187 Abminderungsfaktoren für NW am Vormauerstein und Deckenauflager (a=0,4t)

Tabelle A 132 Getrennter Nachweis; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,49m; a=0,5t; l=6m; E=15000N/mm²; w=0kN/m²)

p	N_u	N_{Decke}	N_o	N_V	N_D	e_o	e_V	e_D	$\Phi_{St,V}$	$\Phi_{St,D}$
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	m	-	-
0	17,49	17,25	36,29	0,2	36,08	0,212	0,149	0,204	0,33	0,29
0	29,97	17,25	48,78	4,9	43,87	0,176	0,149	0,204	0,33	0,32
0	54,94	17,25	73,76	20,15	53,6	0,103	0,152	0,198	0,38	0,38
0	104,91	17,25	123,75	49,69	74,07	0,045	0,167	0,186	0,64	0,48
0	154,89	17,25	173,73	75,85	97,93	0,024	0,171	0,174	0,71	0,58
0	204,86	17,25	223,7	99,97	123,91	0,014	0,172	0,164	0,73	0,66
0	254,85	17,25	273,67	123,33	150,23	0,008	0,173	0,157	0,75	0,72
0	379,82	17,25	398,62	181,68	216,08	0,001	0,174	0,148	0,77	0,79
4,2	30,02	29,85	61,5	0,25	61,24	0,218	2,047	0,204	0,33	0,29
4,2	54,98	29,85	86,47	11,36	75,11	0,168	0,149	0,204	0,33	0,32
4,2	104,93	29,85	136,45	41,72	94,75	0,093	0,149	0,198	0,33	0,38
4,2	154,89	29,85	186,44	71,57	114,91	0,056	0,160	0,190	0,52	0,45
4,2	204,88	29,85	236,42	99,17	137,33	0,037	0,165	0,183	0,61	0,51
4,2	254,86	29,85	286,4	124,88	161,63	0,026	0,167	0,175	0,64	0,57
4,2	379,8	29,85	411,34	184,89	226,6	0,012	0,171	0,161	0,71	0,69
9,2	55,04	44,85	101,41	5,02	96,4	0,205	0,149	0,204	0,33	0,29
9,2	104,97	44,85	151,38	31,05	120,37	0,14	0,149	0,203	0,33	0,34
9,2	154,93	44,85	201,36	62,18	139,24	0,094	0,149	0,198	0,33	0,38
9,2	204,89	44,85	251,36	92,35	159,09	0,067	0,152	0,193	0,38	0,42
9,2	254,88	44,85	301,35	120,95	180,51	0,049	0,159	0,188	0,50	0,47
9,2	379,81	44,85	426,31	186,52	239,98	0,026	0,166	0,175	0,63	0,57
9,2	404,8	44,85	448,18	198,88	252,64	0,025	0,166	0,173	0,63	0,59
9,2	429,79	44,85	473,29	211,02	265,51	0,022	0,167	0,171	0,64	0,60
9,2	454,78	44,85	498,56	222,91	278,69	0,02	0,168	0,169	0,66	0,62
9,2	504,76	44,85	547,97	246,28	305,42	0,017	0,169	0,165	0,68	0,65

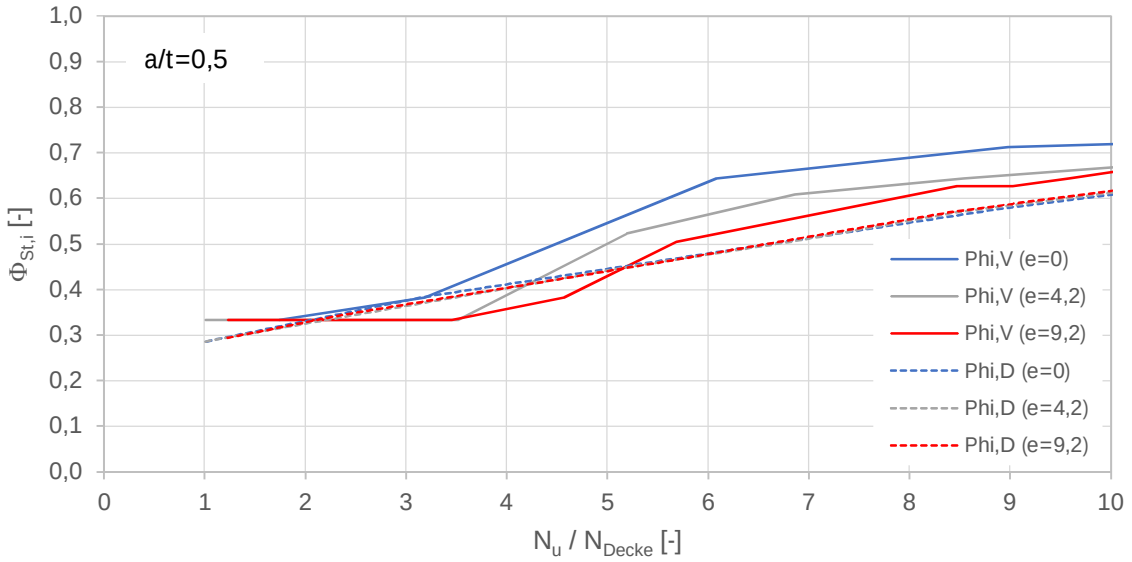


Bild A 188 Abminderungsfaktoren für NW am Vormauerstein und Deckenauflager (a=0,5t)

Anhang 7.3 Vereinfachter Nachweis

Anhang 7.3.1 Allgemeines Verfahren

Die nachfolgenden Bilder zeigen die Diagramme mit den Abminderungsfaktoren für den vereinfachten allgemeinen Nachweis. Die Werte basieren jeweils auf der experimentell ermittelten minimalen Lastspreizung zwischen Vormauerstein und Deckenauflager.

Die folgenden Abschnitte enthalten den wanddickenbezogenen Wert.

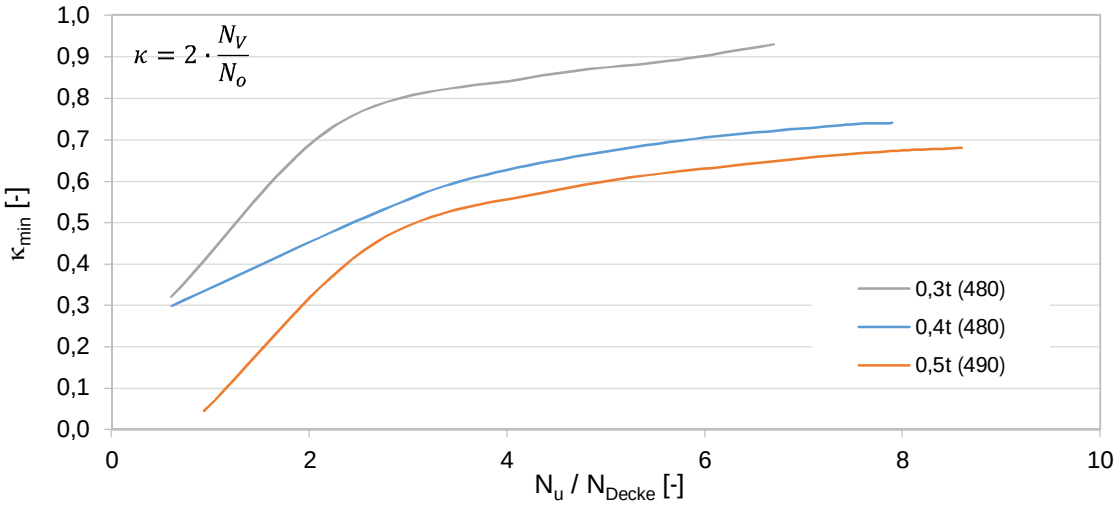


Bild A 189 Faktor zur Berücksichtigung des Vormauersteins

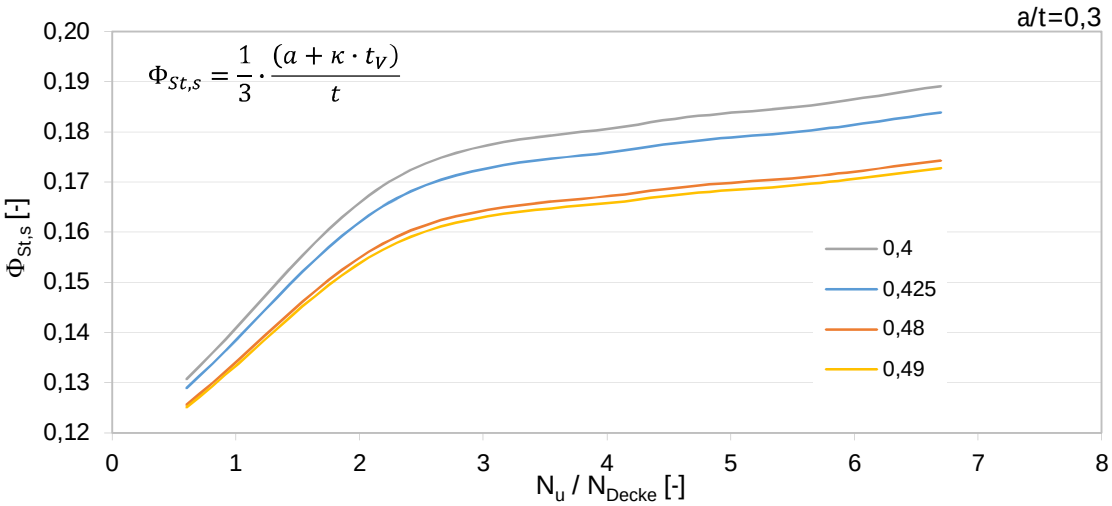


Bild A 190 Abminderungsfaktoren für vereinfachten allgemeinen Nachweis (k_{min})

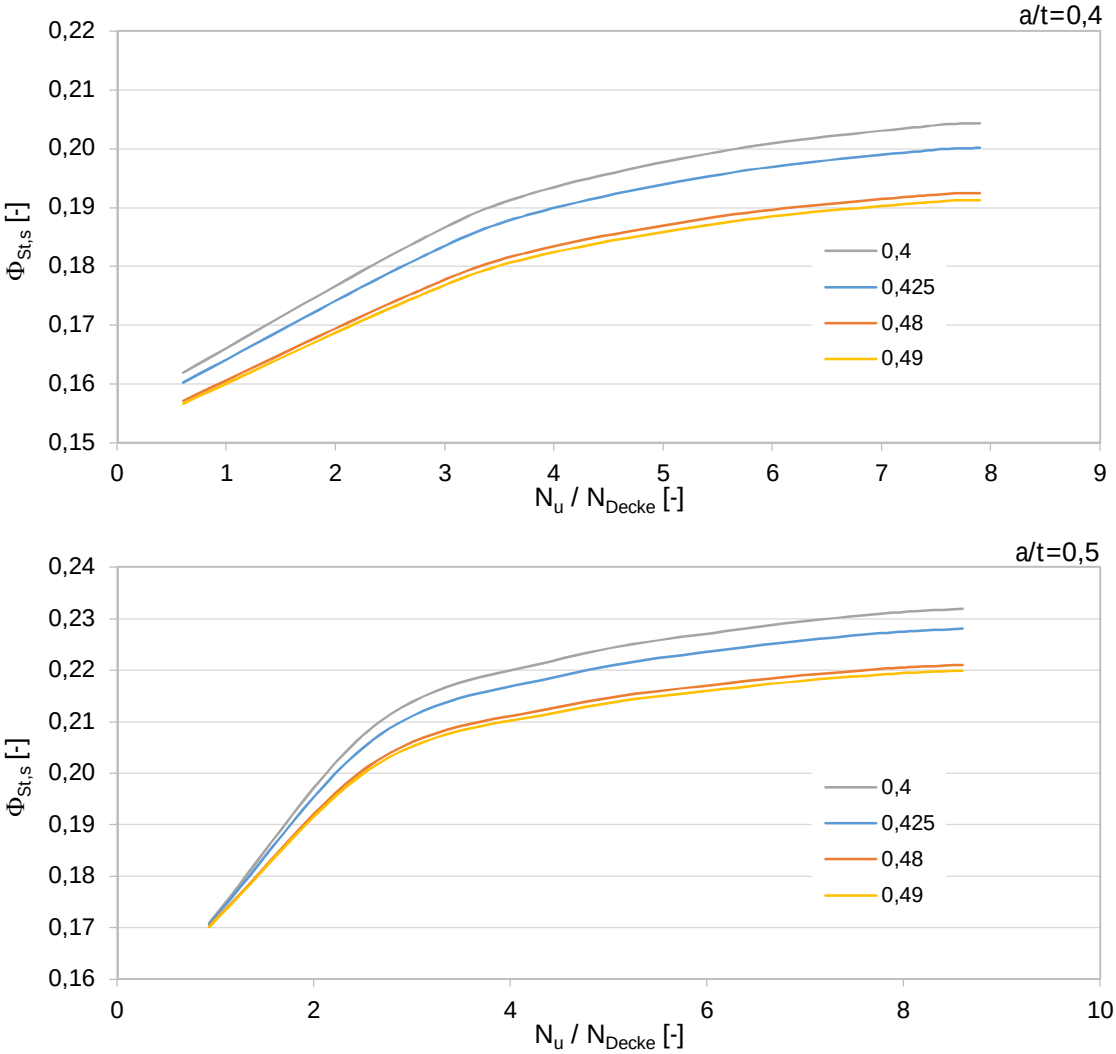


Bild A 191 Abminderungsfaktoren für vereinfachten allgemeinen Nachweis (k_{min})

Anhang 7.3.2 Serie W400

Im Gegensatz zum vorigen Abschnitt basieren die nachfolgenden Werte auf den zu den jeweiligen Wanddicken gehörenden experimentell beobachteten Lastspreizungen.

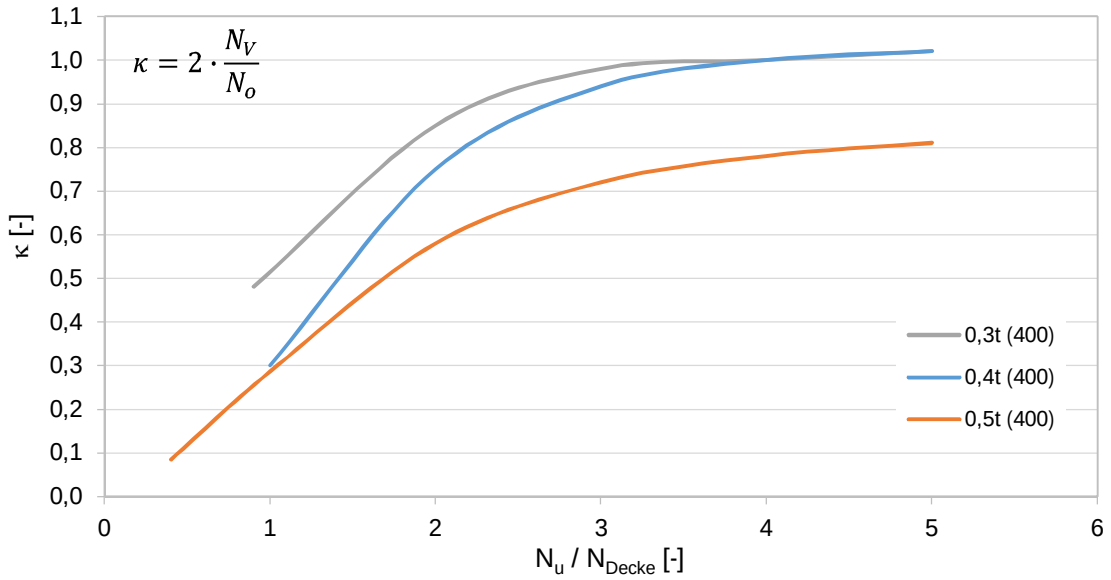


Bild A 192 Faktor zur Berücksichtigung des Vormauersteins (t=0,40m)

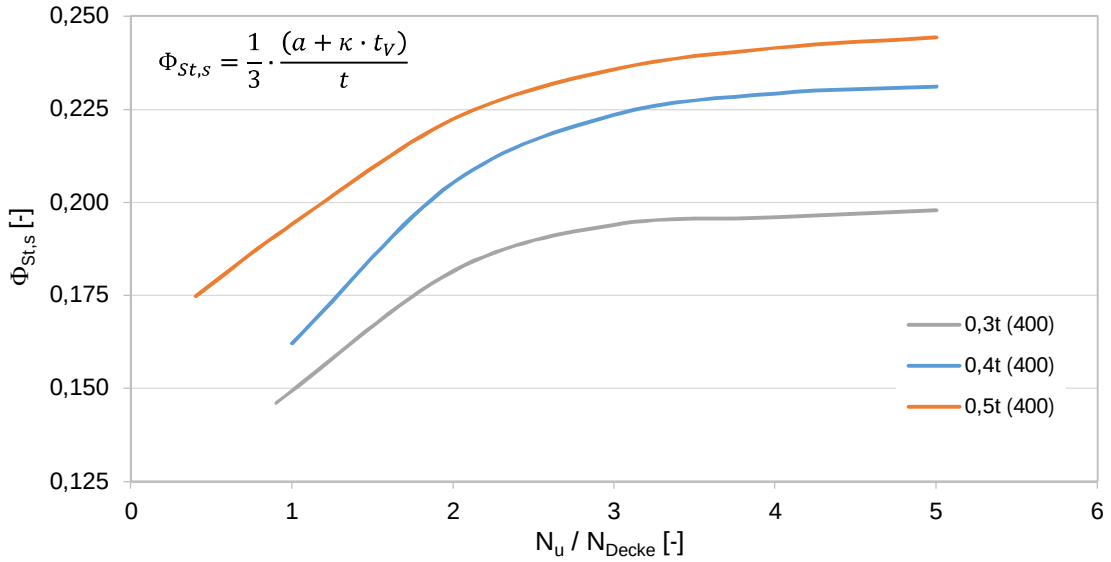


Bild A 193 Vereinfacht bestimmter Abminderungsbeiwert (t=0,40m)

Anhang 7.3.3 Serie W425

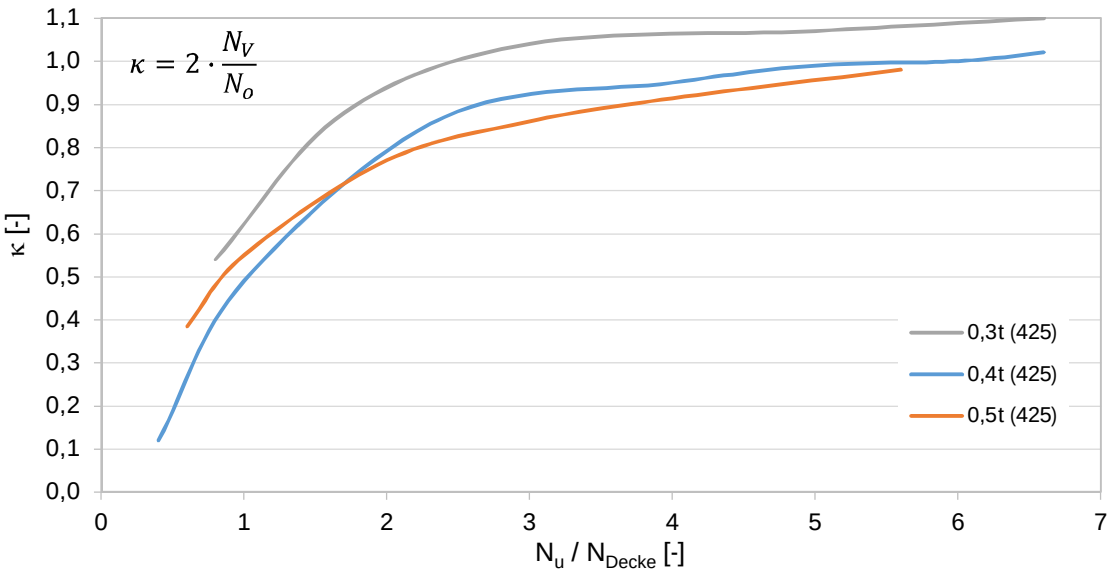


Bild A 194 Faktor zur Berücksichtigung des Vormauersteins (t=0,425m)

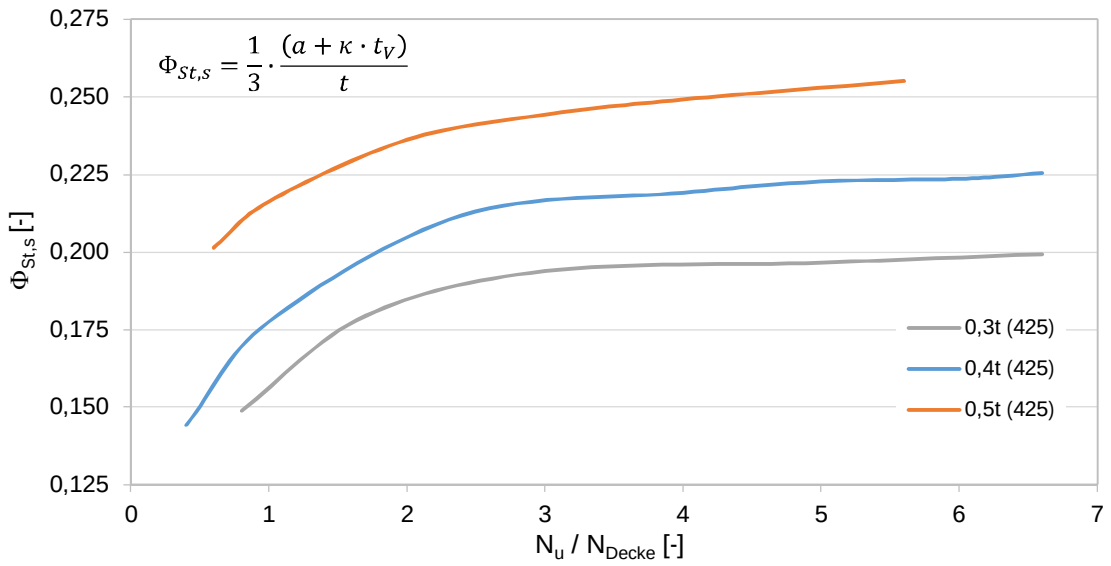


Bild A 195 Vereinfacht bestimmter Abminderungsbeiwert (t=0,425m)

Anhang 7.3.4 Serie W480

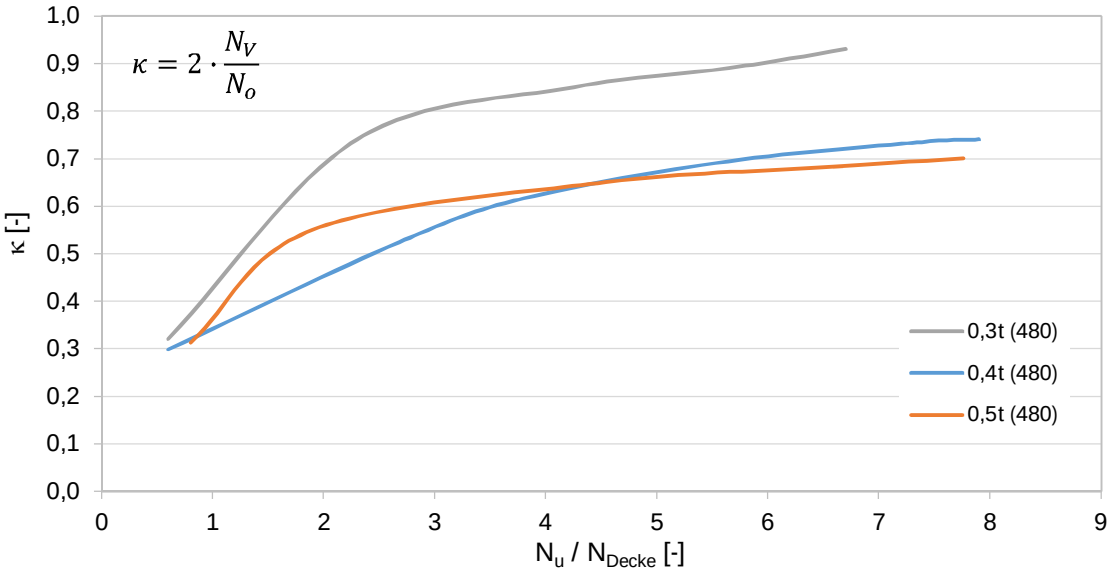


Bild A 196 Faktor zur Berücksichtigung des Vormauersteins (t=0,48m)

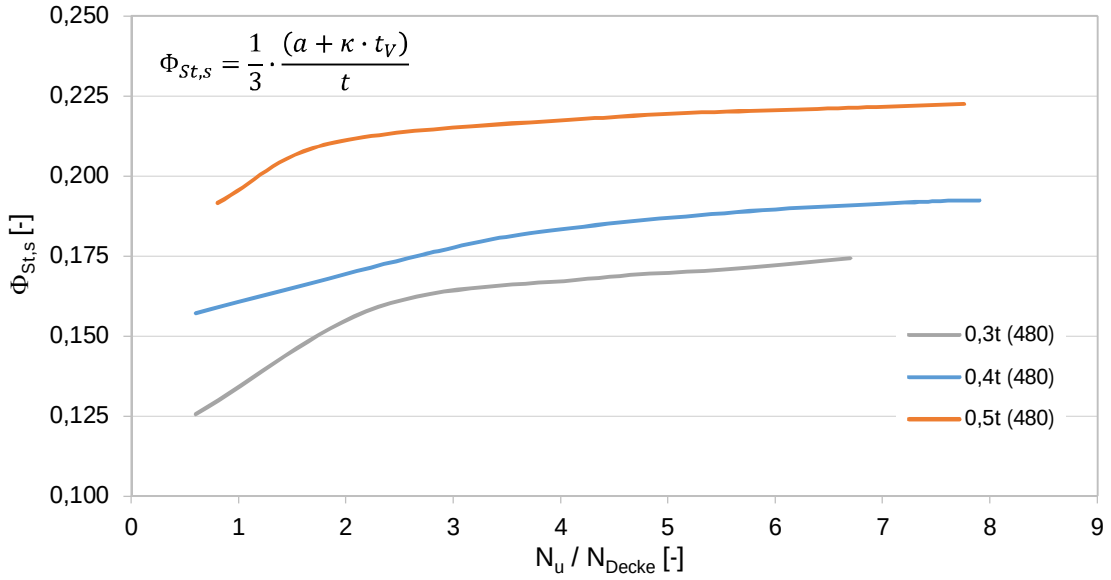


Bild A 197 Vereinfacht bestimmter Abminderungsbeiwert (t=0,48m)

Anhang 7.3.5 Serie W490

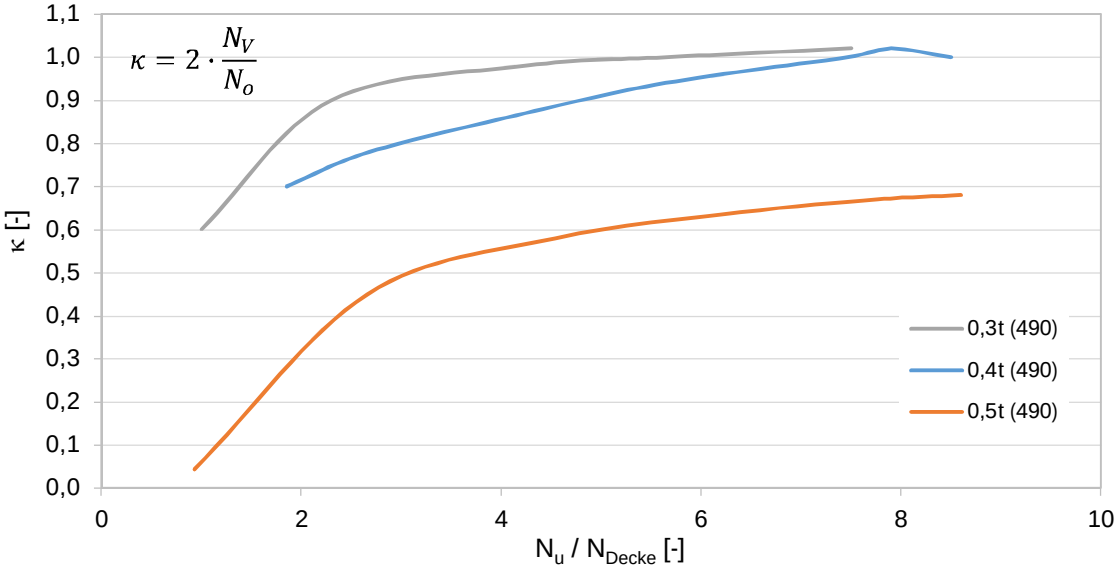


Bild A 198 Faktor zur Berücksichtigung des Vormauersteins (t=0,49m)

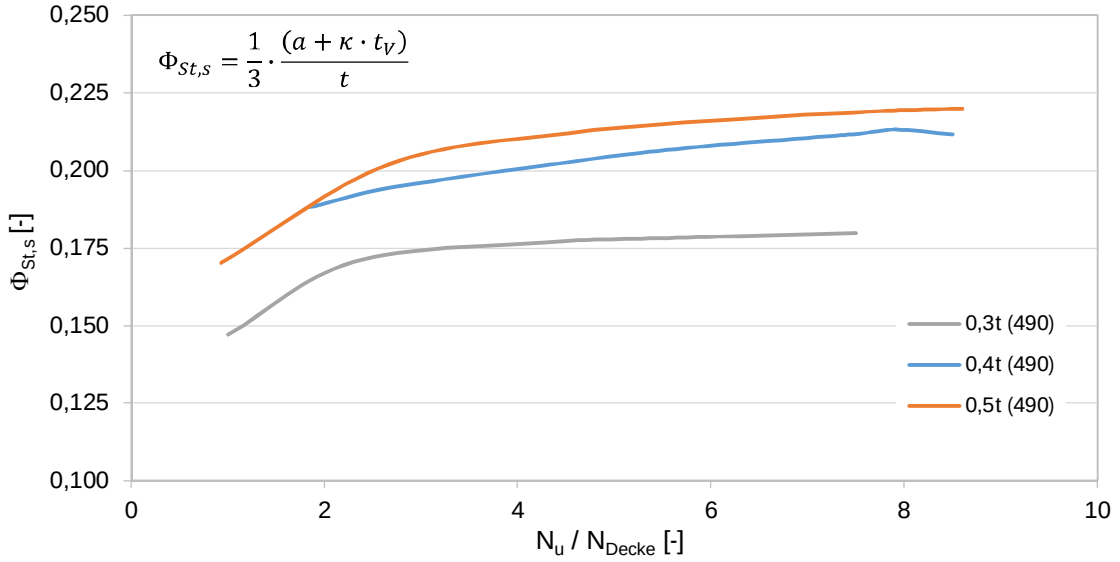


Bild A 199 Vereinfacht bestimmter Abminderungsbeiwert (t=0,49m)

Anhang 7.4 Parameterstudien

Anhang 7.4.1 Allgemeines

Die numerische Parameteruntersuchung wurde beispielhaft für eine Materialkombination durchgeführt (W400). Neben der experimentell betrachteten Kombination wurden dabei folgende Größen variiert:

- Deckenlänge: 4,00 / 6,00 m,
- E-Modul Decke: 15000 / 30000 N/mm²,
- Wind: -1,35 / 0 / +1,35 kN/m²,
- Wandhöhe: 2,75 / 3,00 / 3,25 m.

Nachfolgend sind die Ergebnisse in Auszügen aufgeführt. Die Werte können direkt für den Nachweis benutzt werden. Es ist zu beachten, dass sich nicht alle dargestellten Tabellenwerte acuh nachweisen lassen.
Für alle anderen Wanddicken kann analog vorgegangen werden. Es ist davon auszugehen, dass sich vergleichbare Tendenzen ergeben.

In Anhang 8 wird die Anwendung an zwei Beispielen demonstriert.

Anhang 7.4.2 Auszug aus den Berechnungsergebnissen

Tabelle A 133 Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,4m; E=15000N/mm²; w=0kN/m²; h=3m)

			a/t = 0,3				a/t = 0,4				a/t = 0,5			
l	p	N_u	N_V	N_D	e_V	e_D	N_V	N_D	e_V	e_D	N_V	N_D	e_V	e_D
m	kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	kN/m	kN/m	m	m	kN/m	kN/m	m	m
6	0	16,1	9,79	24,5	0,104	0,174	6,8	27,6	0,104	0,172	3,9	30,8	0,104	0,167
6	0	28,6	17,87	28,9	0,107	0,172	14,4	32,6	0,104	0,168	11,0	36,2	0,104	0,164
6	0	53,6	33,07	38,7	0,113	0,167	29,0	42,9	0,114	0,163	25,0	47,2	0,114	0,157
6	0	78,6	47,51	49,4	0,117	0,162	42,9	54,1	0,118	0,157	38,2	59,0	0,119	0,151
6	0	103,6	61,52	60,2	0,119	0,159	56,1	65,9	0,120	0,152	50,7	71,5	0,122	0,144
6	0	128,6	75,32	71,1	0,121	0,156	68,9	78,2	0,122	0,147	62,7	84,6	0,123	0,139
6	0	153,6	89,06	82,1	0,122	0,154	81,5	90,4	0,123	0,143	74,3	98,0	0,125	0,134
6	0	178,6	102,75	93,1	0,123	0,152	94,0	102,6	0,124	0,141	85,7	111,4	0,125	0,130
6	0	203,6	116,45	104,1	0,124	0,151	106,5	114,9	0,125	0,139	97,1	124,9	0,126	0,127
6	0	228,6	130,14	115,1	0,125	0,150	119,0	127,1	0,126	0,137	108,4	138,3	0,127	0,125
6	0	253,6	143,84	126,1	0,125	0,149	131,5	139,4	0,126	0,136	119,8	151,7	0,127	0,123
6	0	278,6	157,53	137,1	0,126	0,148	144,0	151,6	0,127	0,134	131,2	165,1	0,128	0,121
6	0	303,6	171,2	148,1	0,126	0,148	156,5	163,9	0,127	0,133	142,6	178,6	0,128	0,120
6	0	328,6	184,71	159,3	0,127	0,147	169,0	176,1	0,128	0,132	153,9	192,0	0,129	0,118
6	0	353,6	198,2	170,5	0,127	0,147	181,4	188,5	0,128	0,132	165,3	205,4	0,129	0,117
6	0	378,6	211,47	181,9	0,128	0,147	193,7	200,9	0,128	0,131	176,7	218,9	0,129	0,116
6	0	401,3	224,54	193,6	0,129	0,146	206,0	213,4	0,129	0,130	188,0	232,4	0,130	0,116
6	0	426,0	236,03	205,5	0,131	0,146	218,1	226,1	0,130	0,130	199,2	246,0	0,130	0,115
6	4,2	16,1	9,17	37,8	0,104	0,176	5,4	41,8	0,104	0,173	2,1	45,3	0,104	0,167
6	4,2	28,6	17,28	42,2	0,104	0,175	12,5	47,2	0,104	0,172	7,8	52,1	0,104	0,167
6	4,2	53,6	33,51	51,0	0,104	0,172	27,6	57,1	0,104	0,168	21,6	63,3	0,104	0,164
6	4,2	78,6	48,8	60,8	0,106	0,169	42,4	67,4	0,105	0,165	35,7	74,2	0,104	0,160
6	4,2	103,6	63,61	71,1	0,110	0,166	56,5	78,2	0,110	0,162	49,3	85,6	0,110	0,156
6	4,2	128,6	78,05	81,7	0,113	0,163	70,3	89,5	0,113	0,158	62,4	97,5	0,114	0,152
6	4,2	153,6	92,19	92,6	0,115	0,161	83,6	101,1	0,116	0,155	75,1	109,8	0,117	0,148
6	4,2	178,6	106,1	103,4	0,116	0,159	96,8	113,1	0,117	0,152	87,4	122,5	0,119	0,145
6	4,2	203,6	119,92	114,2	0,118	0,157	109,6	125,4	0,119	0,149	99,4	135,5	0,120	0,141
6	4,2	228,6	133,68	125,2	0,119	0,155	122,3	137,6	0,120	0,147	111,3	148,8	0,121	0,138
6	4,2	253,6	147,37	136,2	0,120	0,154	134,8	149,8	0,121	0,144	122,8	162,3	0,122	0,135
6	4,2	278,6	160,89	147,3	0,121	0,153	147,4	162,0	0,122	0,143	134,3	175,7	0,123	0,132
6	4,2	303,6	174,26	158,6	0,122	0,152	159,8	174,3	0,123	0,141	145,7	189,1	0,124	0,130
6	4,2	328,6	187,52	170,1	0,123	0,151	172,1	186,8	0,124	0,140	157,1	202,6	0,125	0,128
6	4,2	353,6	200,71	181,6	0,125	0,151	184,3	199,4	0,125	0,138	168,4	216,0	0,125	0,127
6	4,2	378,6	212,51	193,2	0,127	0,150	196,3	212,1	0,126	0,137	179,6	229,7	0,126	0,125
6	4,2	401,6	224,83	204,4	0,128	0,149	208,3	224,8	0,127	0,137	190,6	243,4	0,127	0,124
6	4,2	424,9	237,07	216,0	0,130	0,148	220,1	237,8	0,128	0,136	201,6	257,3	0,127	0,123
6	9,2	16,1	7,8	54,2	0,104	0,177	4,4	57,7	0,104	0,173	0,7	61,7	0,406	0,167
6	9,2	28,6	15,95	58,6	0,104	0,176	0,0	0,0	0,104	0,000	0,0	0,0	0,104	0,000
6	9,2	53,6	32,93	66,6	0,104	0,174	25,6	74,1	0,104	0,171	17,8	82,0	0,104	0,167
6	9,2	78,6	49,31	75,3	0,104	0,172	40,6	84,1	0,104	0,168	31,7	93,2	0,104	0,164
6	9,2	103,6	64,77	84,9	0,104	0,170	55,4	94,3	0,104	0,166	45,8	104,1	0,104	0,161
6	9,2	128,6	79,86	94,8	0,104	0,168	69,9	104,9	0,104	0,164	59,8	115,0	0,104	0,159
6	9,2	153,6	94,51	105,3	0,106	0,166	84,0	115,8	0,106	0,162	73,2	126,6	0,106	0,156
6	9,2	178,6	109,02	115,9	0,109	0,164	97,8	127,0	0,109	0,159	86,5	138,4	0,110	0,153
6	9,2	203,6	123,09	126,9	0,111	0,162	111,3	138,5	0,111	0,157	99,4	150,5	0,112	0,151
6	9,2	228,6	136,84	138,1	0,113	0,161	124,5	150,3	0,113	0,155	111,9	163,0	0,114	0,148
6	9,2	253,6	150,4	149,2	0,115	0,159	137,5	162,4	0,115	0,153	124,3	175,6	0,116	0,146
6	9,2	278,6	163,75	159,0	0,117	0,158	150,1	174,9	0,117	0,151	136,3	188,6	0,118	0,143
6	9,2	304,0	177,03	170,6	0,119	0,156	162,5	187,6	0,119	0,149	148,1	201,8	0,119	0,141
6	9,2	328,8	190,18	181,5	0,121	0,155	174,7	199,2	0,120	0,147	159,5	215,5	0,120	0,139
6	9,2	351,7	201,47	193,0	0,123	0,153	186,7	211,6	0,122	0,145	170,8	229,3	0,122	0,137
6	9,2	376,3	213,89	205,2	0,125	0,152	198,5	224,2	0,123	0,143	181,8	242,3	0,123	0,134
6	9,2	399,2	225,93	217,7	0,127	0,150	208,8	237,4	0,125	0,141	192,8	256,0	0,124	0,132
6	9,2	422,5	237,36	229,8	0,129	0,148	219,9	251,1	0,127	0,139	203,4	270,0	0,125	0,130

Tabelle A 134 Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,4m; E=15000N/mm²; w=-1,35kN/m²; h=3,25m)

			a/t = 0,3				a/t = 0,5			
l	p	N_u	N_V	N_D	e_V	e_D	N_V	N_D	e_V	e_D
m	kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	kN/m	kN/m	m	m
4	0	16,1	12,92	13,97	0,129	0,167	10,53	16,74	0,131	0,158
4	0	28,6	20,6	18,84	0,127	0,161	17,35	22,43	0,129	0,150
4	0	53,6	34,78	29,39	0,127	0,154	29,75	35,06	0,129	0,135
4	0	103,6	62,33	51,26	0,128	0,148	52,78	61,68	0,130	0,121
4	0	153,6	89,82	73,19	0,129	0,146	75,67	88,41	0,131	0,115
4	0	203,6	117,29	95,14	0,129	0,145	98,56	115,14	0,131	0,113
4	0	253,6	144,75	117,1	0,130	0,144	121,45	141,88	0,132	0,111
4	0	375,8	212,94	172,47	0,131	0,143	178,69	208,72	0,132	0,108
4	4,2	16,1	13,45	21,93	0,128	0,171	8,98	26,78	0,128	0,163
4	4,2	28,6	21,49	26,41	0,124	0,168	16,51	31,75	0,125	0,158
4	4,2	53,6	36,57	36,43	0,123	0,162	30,3	42,96	0,125	0,150
4	4,2	103,6	64,71	57,74	0,125	0,154	54,84	68,5	0,127	0,134
4	4,2	153,6	92,26	79,59	0,126	0,150	77,87	95,14	0,128	0,125
4	4,2	203,6	119,75	101,52	0,127	0,148	100,76	121,85	0,129	0,120
4	4,2	253,6	147,23	123,45	0,127	0,147	123,66	148,58	0,130	0,117
4	4,2	376,0	215,18	179,03	0,129	0,145	180,9	215,4	0,131	0,113
4	9,2	16,1	13,39	32	0,128	0,172	7,54	38,21	0,127	0,165
4	9,2	28,6	21,89	36,01	0,122	0,170	14,93	43,32	0,118	0,163
4	9,2	53,6	37,95	45,02	0,119	0,166	29,58	53,66	0,120	0,157
4	9,2	103,6	67,18	65,7	0,121	0,159	56,1	77,15	0,123	0,146
4	9,2	153,6	95,07	87,2	0,123	0,154	80,26	103,1	0,125	0,136
4	9,2	203,6	122,63	109,04	0,124	0,151	103,36	129,75	0,126	0,129
4	9,2	253,6	150,14	130,94	0,125	0,150	126,27	156,45	0,127	0,124
4	9,2	376,6	217,6	186,98	0,128	0,147	183,46	223,31	0,129	0,118
6	0	16,1	11,75	22,49	0,114	0,175	6,84	27,84	0,116	0,167
6	0	28,6	20,14	26,61	0,114	0,173	13,79	33,38	0,111	0,164
6	0	53,6	35,53	36,25	0,116	0,168	27,98	44,18	0,118	0,157
6	0	103,6	64,12	57,6	0,120	0,158	53,73	68,45	0,123	0,144
6	0	153,6	91,65	79,46	0,123	0,153	77,27	95,02	0,125	0,133
6	0	203,6	118,99	101,51	0,124	0,151	100,02	121,87	0,127	0,126
6	0	253,6	146,32	123,59	0,125	0,149	122,73	148,76	0,128	0,122
6	0	375,8	213,75	179,66	0,129	0,146	179,51	216,02	0,130	0,116
6	4,2	16,1	10,89	36,11	0,104	0,176	4,73	42,68	0,104	0,167
6	4,2	28,6	19,6	39,92	0,104	0,175	10,76	49,14	0,104	0,167
6	4,2	53,6	36,12	48,41	0,104	0,172	24,68	60,22	0,104	0,164
6	4,2	103,6	66,4	68,24	0,112	0,166	52,68	82,21	0,113	0,156
6	4,2	153,6	95,03	89,75	0,116	0,161	78,52	106,38	0,118	0,148
6	4,2	203,6	122,74	111,41	0,118	0,157	102,83	132,1	0,121	0,141
6	4,2	253,6	150,15	133,38	0,120	0,154	126,19	158,9	0,123	0,135
6	4,2	376,0	215,03	190,69	0,127	0,150	182,77	226,44	0,126	0,125
6	9,2	16,1	10,26	51,73	0,104	0,177	2,83	59,56	0,104	0,167
6	9,2	28,6	18,24	56,27	0,104	0,176	8,89	65,99	0,104	0,167
6	9,2	53,6	34,88	64,66	0,104	0,174	21,17	78,7	0,104	0,167
6	9,2	103,6	67,76	81,84	0,104	0,170	49,63	100,23	0,104	0,162
6	9,2	153,6	97,62	102,12	0,108	0,166	77,06	122,8	0,109	0,156
6	9,2	203,6	126,21	123,73	0,112	0,162	103,2	146,67	0,114	0,151
6	9,2	253,6	153,48	146,12	0,116	0,159	128,12	171,78	0,117	0,146
6	9,2	376,6	216,65	202,52	0,126	0,152	185,54	238,63	0,123	0,134

Tabelle A 135 Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,4m; E=30000N/mm²; w=-1,35kN/m²; h=3,25m)

			a/t = 0,3				a/t = 0,5			
l	p	N_u	N_V	N_D	e_V	e_D	N_V	N_D	e_V	e_D
m	kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	kN/m	kN/m	m	m
6	0	16,1	13,99	20,29	0,130	0,165	10,67	24,01	0,128	0,157
6	0	28,6	21,82	25	0,126	0,162	17,63	29,55	0,126	0,153
6	0	53,6	36,37	35,23	0,124	0,156	30,6	41,6	0,126	0,144
6	0	103,6	63,98	57,04	0,126	0,150	54,09	68,04	0,127	0,129
6	0	153,6	91,29	79,13	0,127	0,148	76,82	94,92	0,129	0,121
6	0	203,6	118,59	101,25	0,128	0,146	99,5	121,85	0,130	0,117
6	0	253,6	145,88	123,37	0,129	0,145	122,19	148,79	0,130	0,115
6	0	375,8	213,64	179,15	0,130	0,144	178,9	216,13	0,131	0,111
6	4,2	16,1	14,65	32,37	0,131	0,168	9,57	37,86	0,122	0,161
6	4,2	28,6	23,19	36,37	0,123	0,166	16,93	43	0,119	0,159
6	4,2	53,6	38,77	45,88	0,120	0,162	30,92	54	0,120	0,153
6	4,2	103,6	67,28	66,87	0,122	0,155	56,35	78,58	0,123	0,143
6	4,2	153,6	94,9	88,65	0,123	0,152	79,99	105,07	0,125	0,133
6	4,2	203,6	122,23	110,72	0,125	0,150	102,77	131,9	0,126	0,127
6	4,2	253,6	149,55	132,82	0,126	0,148	125,47	158,81	0,127	0,123
6	4,2	376,0	216,85	189,01	0,129	0,146	182,16	226,16	0,129	0,117
6	9,2	16,1	14,54	47,47	0,138	0,168	8,62	53,8	0,119	0,163
6	9,2	28,6	23,96	50,59	0,122	0,168	15,87	59,04	0,108	0,161
6	9,2	53,6	40,86	58,79	0,115	0,165	30,58	69,33	0,111	0,158
6	9,2	103,6	70,61	78,99	0,117	0,160	57,34	92,57	0,117	0,150
6	9,2	153,6	98,8	100,21	0,119	0,156	82,42	117,51	0,120	0,143
6	9,2	203,6	126,45	121,95	0,121	0,153	106,25	143,79	0,122	0,137
6	9,2	253,6	153,85	143,96	0,123	0,151	129,31	170,65	0,124	0,131
6	9,2	376,6	220,07	201,03	0,128	0,148	185,75	238,21	0,127	0,123

Anhang 8 Beispielhafte Anwendung

Anhang 8.1 Ausgangslage

gegeben: WDK mit Wanddicke t, Wandhöhe h_W
Auflagertiefe a, E-Modul Decke E_{Decke}, Länge der Decke l_{Decke}

Belastung: Normalkraft in der oberen Wand N_u
Auflagerkraft Decke N_{Decke} aus Deckenbelastung p
zusätzliche horizontale Belastungen

gesucht: Lastaufteilung zwischen Vormauerstein und Deckenauflager (N_V, N_D)
Lastausmitten für den Nachweis

Lösung: Mit den Werten N_u und p können die erforderlichen Werte direkt aus den Tabellen abgelesen werden. Zwischenwerte können interpoliert werden. Alternativ können die Abminderungsfaktoren als Diagramme bereitgestellt werden.

Anhang 8.2 Beispiel 1

Tabelle A 136 Eingangsdaten für Beispiel 1

Wanddicke	0,4 m
Auflagertiefe bei a/t=0,3	0,12 m
Dicke Vormauerstein t_V	0,115 m
Wandhöhe	3 m
Deckenlänge	6 m
E_{Decke}	15000 N/mm² (gerissen)
Deckendicke	0,23 m
Ausbaulast Decke	2 kN/m²
Verkehrslast	3 kN/m²
p_{Decke} (Bemessungswert)	15 kN/m²
Auflagerkraft N_{Decke}	45 kN/m
Wind	0 kN/m²
Normalkraft N_u in der oberen Wand	103,6 kN/m
N_u / N_{Decke}	2,3
resultierende Normalkraft am Wandkopf N_o	103,6 + 45 + EG Vormauerstein ≈ 149 kN/m
Steindruckfestigkeit	2,19 N/mm²
experimentell best. Traglast $N_{R,exp}$	240 kN/m

Der gemeinsame Nachweis (Anhang 7.1, Tabelle A 109) ergibt folgende Werte:

p	N_u	N_{Decke}	N_o	N_V	N_D	b_V	b_D	σ_V	σ_D
9,2	103,6	44,85	149,43	64,77	84,9	0,038	0,060	1,69	1,41

$$\Phi_{St} = \frac{N_V + N_D}{max\,\sigma \cdot t} = \frac{(64{,}77 + 84{,}9) \cdot 10^{-3}}{1{,}69 \cdot 0{,}4} = 0{,}221 \tag{12}$$

$$N_R = \Phi_{St} \cdot f_{St} \cdot t = 0{,}221 \cdot 2{,}19 \cdot 0{,}4 = 193{,}5\ kN/m \tag{13}$$

Aus Tabelle A 133 ergeben sich für den getrennten Nachweis folgende Werte:

l	p	N_u	N_V	N_D	e_V	e_D
6	9,2	103,6	64,77	84,9	0,104	0,170

Es ergibt sich

$$N_V = 64{,}7\ kN/m \leq N_{R,V} = 83{,}2\ kN/m \tag{14}$$

bzw.

$$N_D = 84{,}9\ kN/m \leq N_{R,D} = 131{,}4\ kN/m. \tag{15}$$

Es ergibt sich folgendes $\Phi_{St,V}$, $\Phi_{St,D}$ Diagramm (vgl. Anhang 7.2.2).

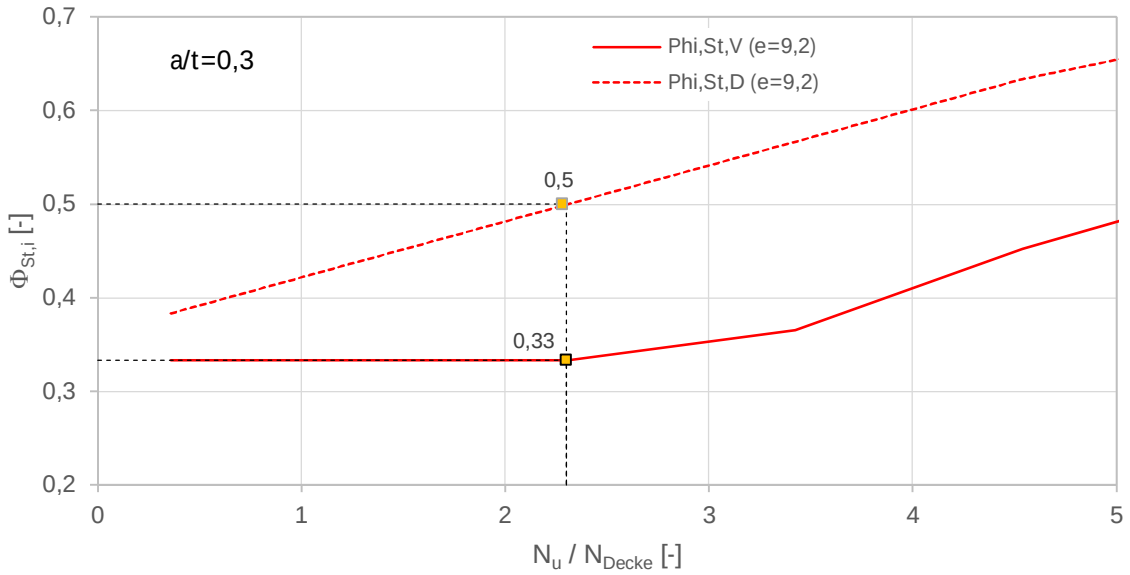


Bild A 200 Abminderungsfaktoren für NW am Vormauerstein und Deckenauflager (a=0,3t)

Der Nachweis lautet anschließend:

$$N_{R,V} = \Phi_{St,V} \cdot f_{St} \cdot t_V = 0{,}33 \cdot 2{,}19 \cdot 0{,}115 = 83\ kN/m > N_V = 64{,}7\ kN/m \tag{16}$$

bzw.

$N_{R,D} = \Phi_{St,D} \cdot f_{St} \cdot a = 0{,}5 \cdot 2{,}19 \cdot 0{,}12 = 131{,}4\ kN/m\ > N_D = 84{,}9\ kN/m$ (17)

Nach dem vereinfachten allgemeinen Verfahren (κ_{min}) ergibt sich das Diagramm:

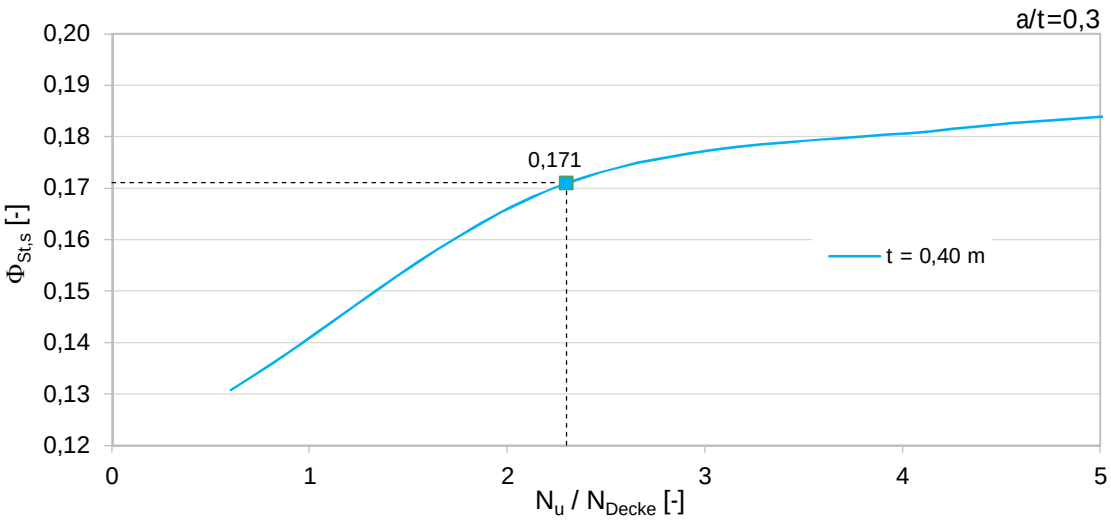


Bild A 201 Abminderungsbeiwert nach vereinfachtem allgemeinen Verfahren (t=0,40m)

Nach der vereinfachten Herangehensweise gilt

$N_o \leq N_{R,s} = \Phi_{St,s} \cdot f_{St} \cdot t.$ (18)

$N_{R,s} = 0{,}171 \cdot 2{,}19 \cdot 0{,}4 = 149{,}7\ kN/m\ > N_o = 149\ kN/m.$ (19)

Mit dem wanddickenbezogenen Diagramm in 0 ergibt sich ein geringfügig höherer Wert.

Die Laststufe lässt sich mit allen Verfahren nachweisen.

Anhang 8.3 Beispiel 2

Bis auf die Normalkraft am Wandfuß der oberen Wand N_u bleiben die Eingangsdaten gleich.

Tabelle A 137 Eingangsdaten für Beispiel 1

Normalkraft N_u in der oberen Wand	153,6 kN/m
N_u / N_{Decke}	3,41
resultierende Normalkraft am Wandkopf N_o	153,6 + 45 + EG Vormauerstein ≈ 199 kN/m
Steindruckfestigkeit	2,19 N/mm²
experimentell best. Traglast $N_{R,exp}$	240 kN/m
N_V	94,5 kN/m
N_D	105,25 kN/m
Φ_{St} nach Tabelle A 109	0,222

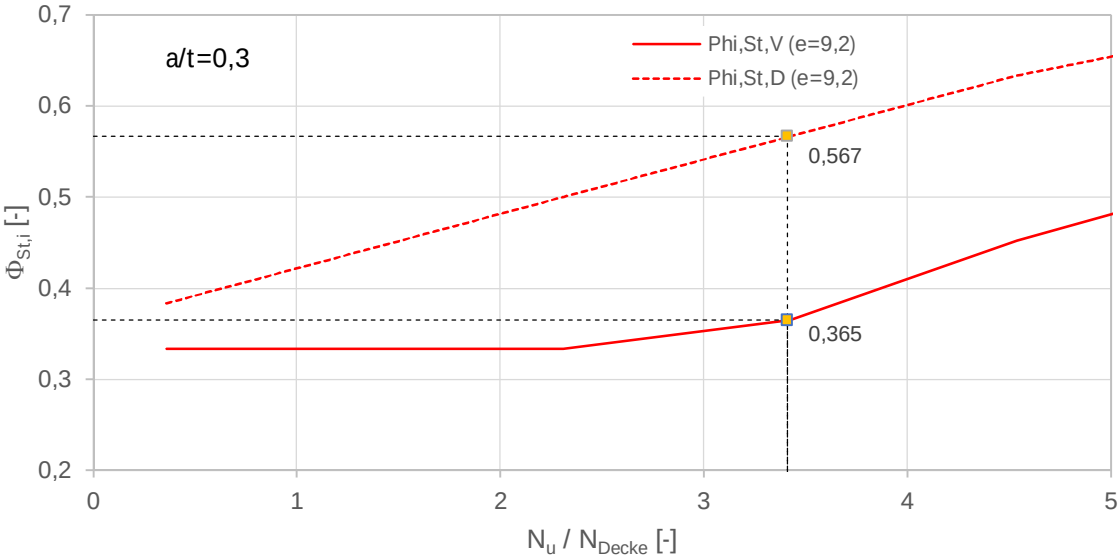


Bild A 202 Abminderungsfaktoren für NW am Vormauerstein und Deckenauflager (a=0,3t)

$$N_{R,V} = \Phi_{St,V} \cdot f_{St} \cdot t_V = 0{,}365 \cdot 2{,}19 \cdot 0{,}115 = 92\ kN/m < N_V = 94{,}5\ kN/m \quad (20)$$

$$N_{R,D} = \Phi_{St,D} \cdot f_{St} \cdot a = 0{,}567 \cdot 2{,}19 \cdot 0{,}12 = 149\ kN/m > N_D = 105{,}25\ kN/m \quad (21)$$

$$N_R = \Phi_{St} \cdot f_{St} \cdot t = 0{,}222 \cdot 2{,}19 \cdot 0{,}4 = 194\ kN/m < 199\ kN/m < N_{R,exp} \quad (22)$$

In Bild A 203 ist zusätzlich zum Abminderungsfaktor nach allgemeinem Ansatz (kmin) der wanddickenbezogene Wert mit aufgeführt (siehe Bild A 193).

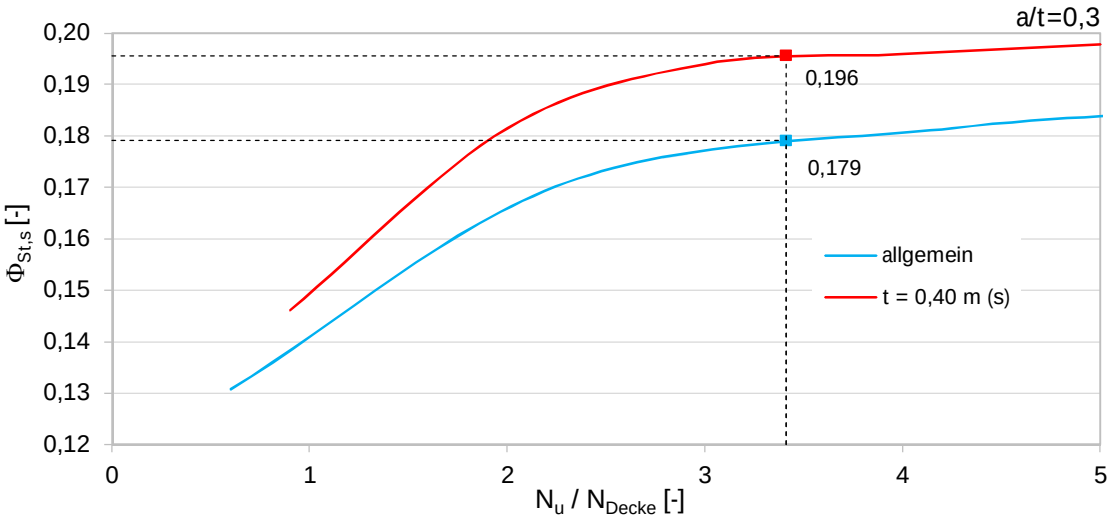


Bild A 203 Abminderungsbeiwert nach allgemeinem vereinfachten Verfahren (t=0,40m)

$$N_{R,s} = 0{,}179 \cdot 2{,}19 \cdot 0{,}4 = 157\ kN/m < N_o = 199\ kN/m < N_{R,exp}. \quad (23)$$

$$N_{R,s} = 0{,}196 \cdot 2{,}19 \cdot 0{,}4 = 171\ kN/m < N_o = 199\ kN/m < N_{R,exp}. \quad (24)$$

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Fakultät Architektur Lehrstuhl Tragwerksplanung

BEIBLATT ZUR BEMESSUNG

zum

ABSCHLUSSBERICHT

TITEL: **Energetische und mechanische Optimierung des Anschlusses der Decke an monolithische Außenwände aus Mauerwerk mit Passivhausstandard**

Aktenzeichen: SF – 10.08.18.7-11.11 / II3 – F20-10-1-052

PROJEKTLEITER: Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger

BEARBEITER: Dipl.-Ing. Stephan Reichel
Dr.-Ing. habil. Sebastian Ortlepp

STAND / DATUM: 31.03.2015 / 28.06.2015

F:\2-T-TU-Arbeitsordner\Forsch\b-Proj\12\61201-BBSR-twaDpl\06-Bericht\End\04-Text\Endfassung\Beiblatt\15-06-28-Final\15-03-31-AbBer-Beiblatt-15-06-28.docx

Beiblatt zur Bemessung – Inhaltsverzeichnis

1. Schnittgrößen für Nachweisführung 4
1.1. Allgemeines 4
1.2. Gemeinsamer Nachweis 4
1.2.1. Allgemeines 4
1.2.2. Wanddicke 400 mm 5
1.2.3. Wanddicke 425 mm 8
1.2.4. Wanddicke 480 mm 11
1.2.5. Wanddicke 490 mm 14
1.3. Getrennter Nachweis, Deckenauflager & Deckenabmauerungsstein 17
1.3.1. Allgemeines 17
1.3.2. Wanddicke 400 mm 19
1.3.3. Wanddicke 425 mm 22
1.3.4. Wanddicke 480 mm 25
1.3.5. Wanddicke 490 mm 28
1.4. Parameterstudien 31
1.4.1. Allgemeines 31
1.4.2. Auszug aus den Berechnungsergebnissen 32
2. Beispielhafte Anwendung 34
2.1. Ausgangslage 34
2.1.1. Beispiel 1 34

1. Schnittgrößen für Nachweisführung

1.1. Allgemeines

Die in diesem Blatt angegebenen Parameter entstammen aus einer nichtlinearen nummerischen Simulationsstudie, welche im Kap. 6 des Abschlussberichtes erläutert ist wird. Randbedingungen, Annahmen, Materialgesetze und Modell sind in diesem Abschnitt genau angegeben und entsprechen den derzeitigen Stand einer FE-Berechnung im Mauerwerksbau.
Die im Folgenden verwendeten Bezeichnungen in Tabellen und Formeln sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1 Übersicht der Bezeichnungen und Parameter

Eingabewerte:

p_{De}: gleichmäßig verteilte Flächenlast auf der Deckenplatte ohne Deckeneigengewicht (Ausbaulast und veränderliche Last)
g_{De}: Eigengewicht der Deckenplatte
g_{Ab}: Ausbaulast der Decke
$p_{De,p}$: gleichmäßig verteilte veränderliche Flächenlast auf der Decke (Verkehrslast)
q_{De}: Gleichmäßig verteilte Gesamtlast auf der Decke
N_u: Kraft am Fußpunkt der oberen Wand aus den oberen Geschossen
N_{Decke}: Kraft aus dem Deckenauflager (Querkraft der Deckenplatte am Auflager)
N_o: Gegenkraft am Wandkopf der unteren Wand (= N_V + N_D)

Ablesewerte:

N_V: Kraftanteil unter dem Deckenabmauerungsstein
N_D: Kraftanteil unter dem Deckenauflager
Φ_{St}: Abminderungsfaktor zur Tragfähigkeit bezogen auf den Gesamtquerschnitt ($N_R=\Phi_{St}\cdot f\cdot t$)

mit:

t: Wanddicke
f: maßgebende Materialfestigkeit (für den Nachweis im Rahmen der Anwendung ist f_d zu verwenden)

1.2. Gemeinsamer Nachweis

1.2.1. Allgemeines

Bei diesem Verfahren kann ein Nachweis des Wand-Decken-Knotens auf Basis seiner Gesamttragfähigkeit erfolgen. Der abzulesende Beiwert für die Bemessung ist der gemeinsame Abminderungsfaktor Φ_{St}., welcher dann mit $N_{Rd}=\Phi_{St}\cdot f\cdot t$ auf die Tragkraft schließen lässt. Es ist in diesem Verfahren nicht bekannt, wo genau sich der maßgebende Versagensbereich befindet (Deckenabmauerungsstein oder Deckenauflager). Für einen genaueren Nachweis der Einzelbereiche und bei der Verwendung unterschiedlicher Materialien im Bereich des Deckenauflagers (Auflagerstein höherer Festigkeit) ist der getrennte Nachweis erforderlich, siehe Kap. 1.3

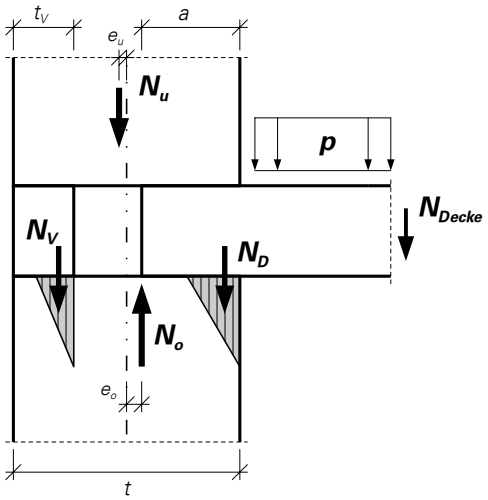


Bild 1 Schnittgrößen und Lastausmitten am WDK

1.2.2. Wanddicke 400 mm

Tabelle 2 Gemeinsamer Abminderungsfaktor; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,4 m; **a=0,3t**; l=6m; E_{De}=15000N/mm²; w=0; f=2,19 N/mm²)

$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	Φ_{St}
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	-
0	16,1	17,25	34,24	9,79	24,45	0,182
0	28,6	17,25	46,73	17,87	28,9	0,227
0	53,6	17,25	71,73	33,07	38,73	0,304
0	103,6	17,25	121,71	61,52	60,21	0,336
0	153,6	17,25	171,7	89,06	82,05	0,355
0	203,6	17,25	221,68	116,45	104,05	0,369
0	253,6	17,25	271,67	143,84	126,06	0,375
0	378,6	17,25	393,47	211,47	181,92	0,400
4,2	16,1	29,85	46,98	9,17	37,84	0,149
4,2	28,6	29,85	59,47	17,28	42,24	0,176
4,2	53,6	29,85	84,46	33,51	51,03	0,232
4,2	103,6	29,85	134,45	63,61	71,05	0,265
4,2	153,6	29,85	184,44	92,19	92,6	0,301
4,2	203,6	29,85	234,42	119,92	114,23	0,322
4,2	253,6	29,85	282,19	147,37	136,15	0,337
4,2	378,6	29,85	405,09	212,51	193,23	0,401
9,2	16,1	44,85	61,98	7,8	54,2	0,132
9,2	28,6	44,85	74,47	15,95	58,58	0,153
9,2	53,6	44,85	99,45	32,93	66,64	0,194
9,2	103,6	44,85	149,43	64,77	84,85	0,221
9,2	153,6	44,85	199,43	94,51	105,25	0,222
9,2	203,6	44,85	247,26	123,09	126,86	0,264
9,2	253,6	44,85	297,26	150,4	149,21	0,299
9,2	376,3	44,85	417,49	213,89	205,19	0,392

Tabelle 3 Gemeinsamer Abminderungsfaktor; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,4 m; **a=0,4t**; l=6m; E_{De}=15000N/mm²; w=0; f=2,19 N/mm²)

$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	Φ_{St}
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	-
0	16,1	17,25	34,45	6,83	27,63	0,175
0	28,6	17,25	46,93	14,4	32,56	0,231
0	53,6	17,25	71,91	29,03	42,94	0,310
0	103,6	17,25	121,87	56,12	65,94	0,381
0	153,6	17,25	171,83	81,49	90,37	0,401
0	203,5	17,25	221,79	106,51	114,85	0,416
0	253,5	17,25	271,75	131,51	139,36	0,422
0	378,4	17,25	394,36	193,74	200,92	0,438
4,2	16,2	29,85	47,19	5,39	41,8	0,152
4,2	28,7	29,85	59,66	12,5	47,2	0,177
4,2	53,6	29,85	84,63	27,58	57,12	0,237
4,2	103,6	29,85	134,58	56,5	78,23	0,298
4,2	153,6	29,85	184,55	83,63	101,14	0,342
4,2	203,5	29,85	234,52	109,59	125,36	0,364
4,2	253,5	29,85	284,48	134,84	149,78	0,380
4,2	378,4	29,85	406,22	196,3	212,07	0,426
9,2	16,2	44,85	62,18	4,44	57,73	0,140
9,2	53,7	44,85	99,6	25,56	74,14	0,195
9,2	103,6	44,85	149,55	55,4	94,31	0,259
9,2	153,6	44,85	199,5	83,98	115,76	0,250
9,2	203,6	44,85	247,24	111,29	138,49	0,292
9,2	253,5	44,85	297,43	137,46	162,44	0,327
9,2	376,7	44,85	419,26	198,53	224,24	0,405
9,2	16,1	17,25	34,45	6,83	27,63	0,175

Tabelle 4 Gemeinsamer Abminderungsfaktor; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,4; **a=0,5t**; l=6m; E=15000N/mm²; w=0; f=2,19 N/mm²)

$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	Φ_{St}
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	-
0	16,2	17,25	34,66	3,89	30,79	0,180
0	28,6	17,25	47,12	11	36,18	0,235
0	53,6	17,25	72,07	24,97	47,19	0,329
0	103,5	17,25	121,98	50,71	71,48	0,446
0	153,4	17,25	171,91	74,29	98,02	0,464
0	203,3	17,25	221,82	97,07	124,86	0,469
0	253,3	17,25	271,74	119,81	151,71	0,476
0	378,1	17,25	394,19	176,69	218,86	0,493
4,2	16,2	29,85	47,4	2,07	45,34	0,157
4,2	28,7	29,85	59,85	7,77	52,13	0,184
4,2	53,7	29,85	84,77	21,6	63,31	0,241
4,2	103,5	29,85	134,67	49,29	85,6	0,342
4,2	153,5	29,85	184,58	75,12	109,78	0,394
4,2	203,4	29,85	234,51	99,44	135,5	0,413
4,2	253,3	29,85	284,44	122,84	162,25	0,429
4,2	378,1	29,85	407,22	179,57	229,67	0,467
9,2	53,7	44,85	99,72	17,83	82,04	0,201
9,2	103,6	44,85	149,59	45,81	104,05	0,281
9,2	153,5	44,85	199,5	73,22	126,63	0,287
9,2	203,4	44,85	249,41	99,36	150,51	0,339
9,2	253,4	44,85	297,1	124,27	175,63	0,374
9,2	378,2	44,85	420,07	181,82	242,3	0,443

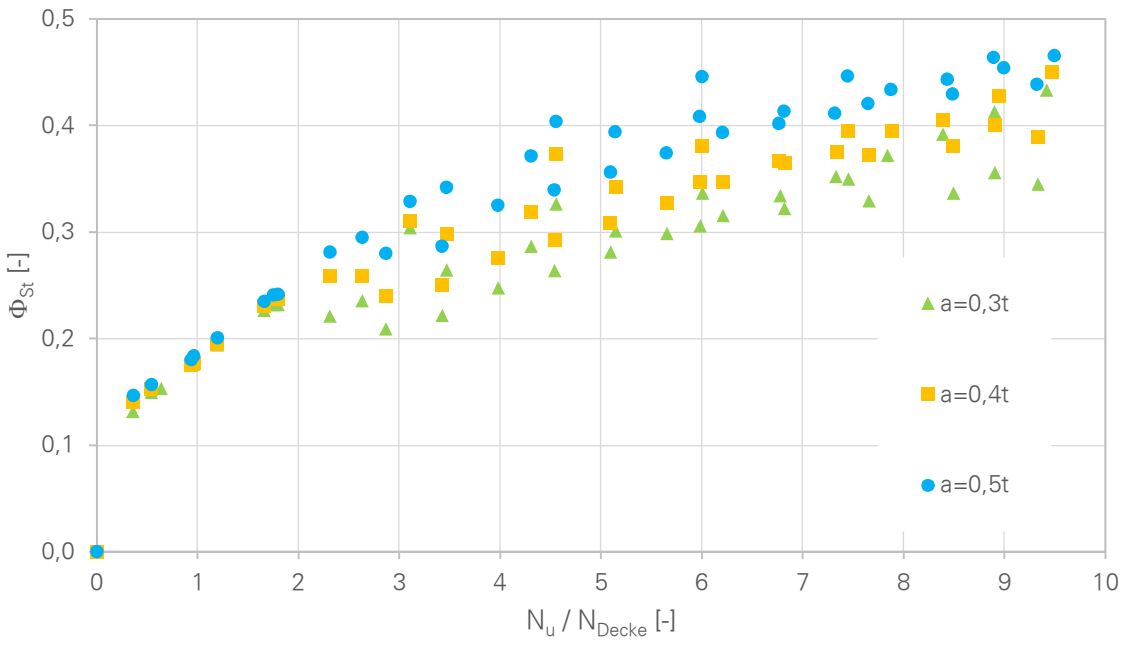


Bild 2 Gemeinsamer Abminderungsfaktor für Wanddicke t=0,4 m

1.2.3. Wanddicke 425 mm

Tabelle 5 Gemeinsamer Abminderungsfaktor; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,425; **a=0,3t**; l=6m; E=15000N/mm²; w=0; f=2,37 N/mm²)

$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	Φ_{St}
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	-
0	16,38	17,25	34,51	9,91	24,62	0,195
0	28,87	17,25	47,01	18,65	28,39	0,227
0	53,87	17,25	71,99	35,06	37,02	0,256
0	103,85	17,25	121,97	65,67	56,31	0,284
0	153,83	17,25	171,96	95,15	76,39	0,301
0	203,82	17,25	221,95	124,51	96,6	0,313
0	253,81	17,25	271,94	153,85	116,83	0,319
0	378,78	17,25	393,69	224,94	167,53	0,341
4,2	16,4	29,85	47,25	9,04	38,25	0,166
4,2	28,89	29,85	59,75	17,85	41,96	0,198
4,2	53,87	29,85	84,74	35,1	49,73	0,218
4,2	103,87	29,85	134,72	67,64	67,3	0,202
4,2	153,86	29,85	184,69	98,32	86,61	0,243
4,2	203,82	29,85	234,69	128,07	106,4	0,263
4,2	253,81	29,85	284,68	157,44	126,58	0,276
4,2	378,78	29,85	407,06	226,53	177,59	0,315
9,2	16,42	44,85	62,25	7,44	54,84	0,147
9,2	28,91	44,85	74,74	15,77	59,04	0,170
9,2	53,9	44,85	99,74	33,35	66,5	0,216
9,2	103,87	44,85	149,72	68,33	81,58	0,198
9,2	153,87	44,85	199,7	100,46	99,59	0,179
9,2	203,87	44,85	249,67	131,37	118,81	0,202
9,2	253,84	44,85	296,66	158,18	138,48	0,243
9,2	378,79	44,85	419,67	228,48	190,06	0,297

Tabelle 6 Gemeinsamer Abminderungsfaktor; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,425; **a=0,4t**; l=6m; E=15000N/mm²; w=0; f=2,37N/mm²)

$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	Φ_{St}
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	-
0	16,38	17,25	34,78	6,86	27,89	0,191
0	28,89	17,25	47,29	14,9	32,35	0,251
0	53,9	17,25	72,3	30,67	41,59	0,283
0	103,92	17,25	122,33	60,08	62,25	0,321
0	153,93	17,25	172,35	87,51	84,69	0,338
0	203,96	17,25	222,38	114,46	107,37	0,351
0	253,98	17,25	272,41	141,39	130,07	0,357
0	379,04	17,25	397,48	208,71	186,86	0,370
4,2	16,36	29,85	47,53	4,89	42,6	0,165
4,2	28,87	29,85	60,05	12,42	47,58	0,193
4,2	53,88	29,85	85,07	28,55	56,45	0,259
4,2	103,91	29,85	135,1	59,91	75,12	0,228
4,2	153,93	29,85	185,13	89,37	95,7	0,268
4,2	203,96	29,85	235,15	117,53	117,68	0,297
4,2	253,96	29,85	285,17	144,79	140,2	0,310
4,2	379,02	29,85	406,93	209,2	197,05	0,352
9,2	16,34	44,85	62,53	3,1	59,38	0,151
9,2	28,85	44,85	75,05	10,22	64,77	0,172
9,2	53,87	44,85	100,08	25,83	74,17	0,213
9,2	103,88	44,85	150,12	58,17	91,86	0,232
9,2	153,91	44,85	200,15	89,12	110,93	0,202
9,2	203,94	44,85	250,18	118,74	131,35	0,223
9,2	253,95	44,85	300,22	147,43	152,73	0,254
9,2	378,99	44,85	422,79	210,9	209,53	0,324

Tabelle 7 Gemeinsamer Abminderungsfaktor; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,425; **a=0,5t**; l=6m; E=15000N/mm²; w=0; f=2,37 N/mm²)

$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	Φ_{St}
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	-
0	16,36	17,25	35,02	3,55	31,43	0,196
0	28,86	17,25	47,52	11,1	36,39	0,249
0	53,87	17,25	72,54	26,43	46,04	0,329
0	103,89	17,25	122,56	54,65	67,85	0,364
0	153,9	17,25	172,58	80,53	92,04	0,378
0	203,91	17,25	222,59	105,37	116,99	0,392
0	253,92	17,25	272,61	130,13	141,93	0,398
0	378,96	17,25	397,66	192,02	204,28	0,413
4,2	16,34	29,85	47,77	1,13	46,59	0,166
4,2	28,85	29,85	60,28	7,19	53,02	0,195
4,2	53,84	29,85	85,3	22,09	63,13	0,257
4,2	103,87	29,85	135,33	52,25	82,95	0,262
4,2	153,88	29,85	185,35	80,67	104,56	0,308
4,2	203,89	29,85	235,37	107,46	127,79	0,335
4,2	253,91	29,85	285,39	133,14	152,21	0,358
4,2	378,93	29,85	410,43	195,24	214,58	0,380
9,2	28,82	44,85	75,28	4,72	70,47	0,178
9,2	53,82	44,85	100,3	17,38	82,8	0,219
9,2	103,83	44,85	150,34	47,78	102,4	0,283
9,2	153,85	44,85	200,37	77,85	122,34	0,232
9,2	203,86	44,85	250,4	106,5	143,7	0,260
9,2	253,89	44,85	300,41	133,88	166,34	0,290
9,2	378,91	44,85	422,28	195,27	226,85	0,351

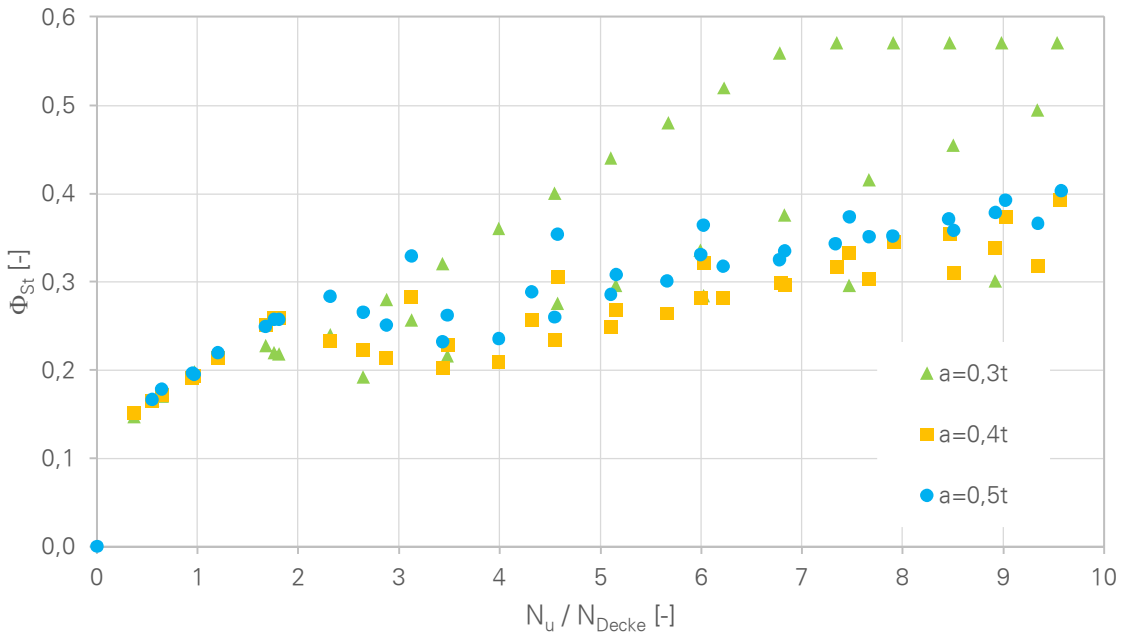


Bild 3 Gemeinsamer Abminderungsfaktor für Wanddicke t=0,425 m

1.2.4. Wanddicke 480 mm

Tabelle 8 Gemeinsamer Abminderungsfaktor; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,48; a=0,3t; l=6m; E=15000N/mm²; w=0; f=2,24 N/mm²)

$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	Φ_{St}
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	-
0	16,9	17,25	35,11	7,68	27,44	0,144
0	29,39	17,25	47,62	15,36	32,24	0,185
0	54,37	17,25	72,63	30,83	41,8	0,246
0	104,4	17,25	122,62	59,21	63,53	0,294
0	154,39	17,25	172,62	85,98	86,42	0,309
0	204,38	17,25	222,62	112,36	109,54	0,321
0	254,39	17,25	272,63	138,68	132,71	0,334
0	379,39	17,25	397,64	204,48	190,67	0,346
4,2	16,92	29,85	47,84	6,28	41,58	0,120
4,2	29,42	29,85	60,35	13,57	46,8	0,145
4,2	54,4	29,85	85,37	29,27	56,11	0,190
4,2	104,38	29,85	135,39	59,54	75,88	0,208
4,2	154,41	29,85	185,38	88,09	97,4	0,254
4,2	204,42	29,85	235,36	115,43	120,24	0,272
4,2	254,4	29,85	285,37	142,02	143,1	0,293
4,2	379,39	29,85	410,38	205,29	200,99	0,322
9,2	0	44,85	0	0	0	#DIV/0!
9,2	29,44	44,85	75,33	11,6	63,75	0,123
9,2	54,43	44,85	100,35	27,02	73,37	0,154
9,2	104,39	44,85	150,39	58,47	91,95	0,205
9,2	154,38	44,85	200,41	88,31	112,15	0,181
9,2	204,42	44,85	250,4	117,01	133,49	0,214
9,2	229,43	44,85	275,4	131,05	144,52	0,228
9,2	254,44	44,85	300,39	144,87	155,81	0,242
9,2	279,44	44,85	325,38	155,98	167,28	0,259
9,2	304,44	44,85	347,36	168,91	178,9	0,275
9,2	329,43	44,85	372,55	181,65	190,42	0,282
9,2	354,43	44,85	398,02	194,36	202	0,289
9,2	379,42	44,85	423,33	207	213,7	0,296
9,2	404,4	44,85	446,61	219,47	225,51	0,313

Tabelle 9 Gemeinsamer Abminderungsfaktor; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,48; **a=0,4t**; l=6m; E=15000N/mm²; w=0; f=2,24 N/mm²)

$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	Φ_{St}
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	-
0	16,87	17,25	35,39	4,11	31,27	0,141
0	29,37	17,25	47,89	11,29	36,58	0,185
0	54,38	17,25	72,89	25,98	46,89	0,265
0	104,38	17,25	122,89	53,18	69,72	0,347
0	154,38	17,25	172,89	78,06	94,96	0,360
0	204,38	17,25	222,89	102,02	120,54	0,373
0	254,38	17,25	272,89	125,88	146,24	0,378
0	379,38	17,25	397,89	185,53	210,51	0,391
4,2	16,88	29,85	48,14	2,61	45,5	0,123
4,2	29,38	29,85	60,64	7,96	52,65	0,144
4,2	54,38	29,85	85,64	22,06	63,56	0,191
4,2	104,38	29,85	135,64	51,09	84,54	0,243
4,2	154,38	29,85	185,64	78,4	107,25	0,296
4,2	204,38	29,85	235,64	104,16	131,53	0,321
4,2	254,38	29,85	285,64	128,87	156,99	0,342
4,2	379,38	29,85	410,64	188,73	221,1	0,362
9,2	16,88	44,85	63,14	1,82	61,28	0,112
9,2	29,38	44,85	75,64	6,71	68,88	0,128
9,2	54,38	44,85	100,64	18,16	82,45	0,158
9,2	104,38	44,85	150,64	46,88	103,74	0,218
9,2	154,38	44,85	200,64	75,84	124,8	0,211
9,2	204,38	44,85	250,64	103,42	147,23	0,252
9,2	254,39	44,85	300,64	129,82	170,87	0,290
9,2	379,39	44,85	425,64	189,32	233,85	0,335

Tabelle 10 Gemeinsamer Abminderungsfaktor; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,48; **a=0,5t**; l=6m; E=15000N/mm²; w=0; f=2,24 N/mm²)

$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	Φ_{St}
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	-
0	16,84	17,25	35,67	1,44	34,2	0,152
0	29,33	17,25	48,16	7,44	40,7	0,192
0	54,31	17,25	73,17	21,75	51,39	0,279
0	104,31	17,25	123,18	47,63	75,52	0,409
0	154,3	17,25	173,17	70,62	102,61	0,419
0	204,28	17,25	223,16	92,34	130,66	0,433
0	254,26	17,25	273,15	113,89	158,74	0,439
0	379,23	17,25	398,13	167,81	228,91	0,443
4,2	29,31	29,85	60,92	3,92	56,96	0,151
4,2	54,29	29,85	85,91	15,32	70,55	0,198
4,2	104,26	29,85	135,93	43,5	92,37	0,300
4,2	154,25	29,85	185,94	69,62	116,26	0,367
4,2	204,26	29,85	235,94	93,75	142,16	0,388
4,2	254,24	29,85	285,94	116,49	169,5	0,399
4,2	379,2	29,85	410,91	170,76	239,67	0,421
9,2	29,29	44,85	75,93	1,49	74,38	0,136
9,2	54,27	44,85	100,92	10,67	90,17	0,163
9,2	104,24	44,85	150,92	36,41	114,44	0,231
9,2	154,21	44,85	200,95	64,49	136,37	0,248
9,2	204,19	44,85	250,96	91,03	159,83	0,322
9,2	229,2	44,85	275,96	103,67	172,2	0,333
9,2	254,2	44,85	300,96	115,99	184,89	0,346
9,2	279,2	44,85	325,96	127,92	197,96	0,361
9,2	304,2	44,85	350,96	139,71	211,19	0,366
9,2	329,2	44,85	375,96	151,24	224,68	0,373
9,2	354,19	44,85	400,96	162,58	238,37	0,380
9,2	379,18	44,85	425,96	173,75	252,27	0,378
9,2	404,17	44,85	450,95	184,78	266,32	0,387

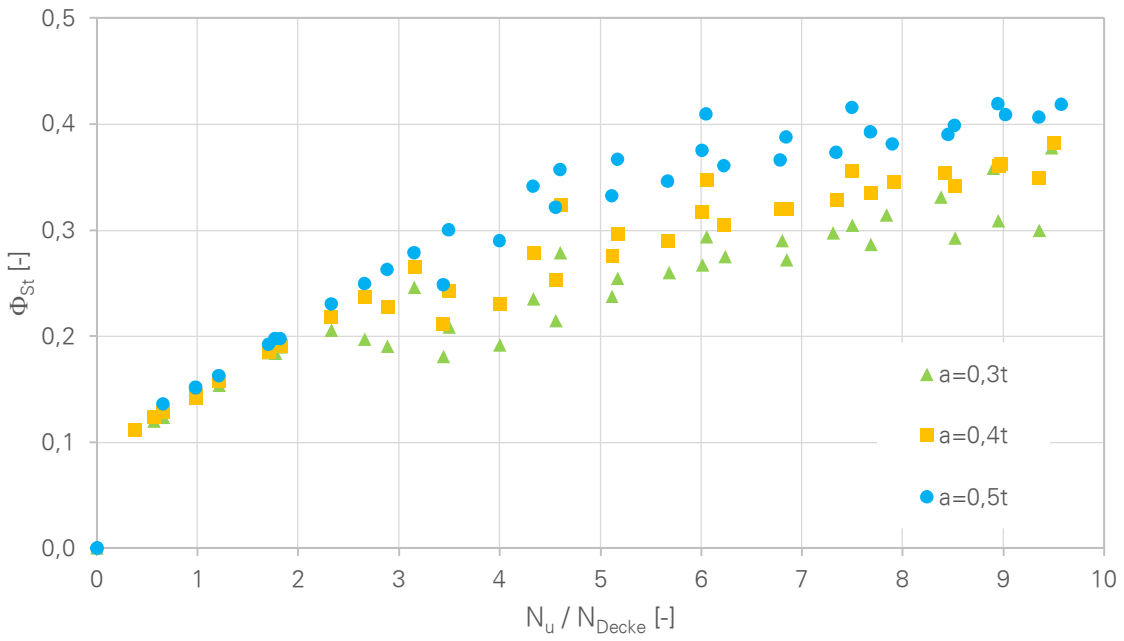


Bild A 1 Gemeinsamer Abminderungsfaktor für Wanddicke t=0,48 m

1.2.5. Wanddicke 490 mm

Tabelle 11 Gemeinsamer Abminderungsfaktor; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,49; **a=0,3t**; l=6m; E=15000N/mm²; w=0; f=2 N/mm²)

$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	Φ_{St}
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	-
0	17,51	17,25	35,7	6,08	29,66	0,133
0	30	17,25	48,21	14,38	33,86	0,169
0	54,98	17,25	73,21	30,96	42,28	0,222
0	104,99	17,25	123,19	62,26	61,04	0,267
0	154,98	17,25	173,15	91,5	81,87	0,278
0	204,96	17,25	223,14	119,74	103,18	0,289
0	254,95	17,25	273,13	147,79	124,69	0,293
0	379,93	17,25	398,1	217,93	178,49	0,312
4,2	17,56	29,85	48,42	3,92	44,54	0,111
4,2	30,06	29,85	60,91	10,86	50,13	0,134
4,2	55,04	29,85	85,91	27,36	58,65	0,174
4,2	105	29,85	135,91	60,53	75,51	0,176
4,2	155,03	29,85	185,89	91,88	94,19	0,207
4,2	205,02	29,85	235,86	121,93	114,26	0,237
4,2	255,01	29,85	285,82	150,98	135,34	0,255
4,2	379,96	29,85	408,21	221,22	188,94	0,280
9,2	30,11	44,85	75,87	7,77	68,19	0,114
9,2	55,11	44,85	100,85	23,08	77,93	0,148
9,2	105,07	44,85	150,85	56,92	94,13	0,203
9,2	155,04	44,85	200,84	89,81	111,28	0,175
9,2	205,06	44,85	250,83	121,39	129,72	0,162
9,2	255,08	44,85	298,26	152,01	149,16	0,194
9,2	380,82	44,85	421,1	223,94	202,5	0,256

Tabelle 12 Gemeinsamer Abminderungsfaktor; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,49; **a=0,4t**; l=6m; E=15000N/mm²; w=0; f=2 N/mm²)

$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	Φ_{St}
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	-
0	17,47	17,25	36,02	2,15	33,84	0,135
0	29,98	17,25	48,53	9,22	39,29	0,171
0	54,99	17,25	73,54	25,1	48,39	0,248
0	105,01	17,25	123,55	55,36	68,16	0,319
0	155,03	17,25	173,57	83,13	90,44	0,324
0	205,05	17,25	223,58	109,25	114,3	0,334
0	255,07	17,25	273,6	134,84	138,33	0,339
0	380,11	17,25	398,65	198,73	198,51	0,351
4,2	17,48	29,85	48,77	0,37	48,37	0,115
4,2	29,98	29,85	61,28	5,06	56,17	0,133
4,2	55	29,85	86,29	18,39	67,86	0,176
4,2	105,02	29,85	136,3	50,36	85,9	0,211
4,2	155,04	29,85	186,32	80,75	105,53	0,254
4,2	205,06	29,85	236,34	109,58	126,73	0,282
4,2	255,08	29,85	286,35	136,94	149,4	0,299
4,2	380,12	29,85	411,39	202,05	209,03	0,316
9,2	29,99	44,85	76,28	2,52	73,7	0,118
9,2	55	44,85	101,29	13,18	88,04	0,145
9,2	105,02	44,85	151,3	42,9	108,35	0,205
9,2	155,04	44,85	201,32	74,7	126,56	0,211
9,2	205,06	44,85	251,34	105,44	145,83	0,195
9,2	255,08	44,85	301,35	134,96	166,34	0,237
9,2	380,13	44,85	423,95	204,1	222,31	0,281

Tabelle 13 Gemeinsamer Abminderungsfaktor; Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,49; **a=0,5t**; l=6m; E=15000N/mm²; w=0; f=2,0 N/mm²)

$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	Φ_{St}
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	-
0	17,49	17,25	36,29	0,2	36,08	0,144
0	29,97	17,25	48,78	4,9	43,87	0,177
0	54,94	17,25	73,76	20,15	53,6	0,264
0	104,91	17,25	123,75	49,69	74,07	0,376
0	154,89	17,25	173,73	75,85	97,93	0,383
0	204,86	17,25	223,7	99,97	123,91	0,384
0	254,85	17,25	273,67	123,33	150,23	0,389
0	379,82	17,25	398,62	181,68	216,08	0,393
4,2	30,02	29,85	61,5	0,25	61,24	0,143
4,2	54,98	29,85	86,47	11,36	75,11	0,183
4,2	104,93	29,85	136,45	41,72	94,75	0,256
4,2	154,89	29,85	186,44	71,57	114,91	0,319
4,2	204,88	29,85	236,42	99,17	137,33	0,341
4,2	254,86	29,85	286,4	124,88	161,63	0,346
4,2	379,8	29,85	411,34	184,89	226,6	0,372
9,2	55,04	44,85	101,41	5,02	96,4	0,155
9,2	104,97	44,85	151,38	31,05	120,37	0,216
9,2	154,93	44,85	201,36	62,18	139,24	0,253
9,2	204,89	44,85	251,36	92,35	159,09	0,244
9,2	254,88	44,85	301,35	120,95	180,51	0,295
9,2	379,81	44,85	426,31	186,52	239,98	0,336

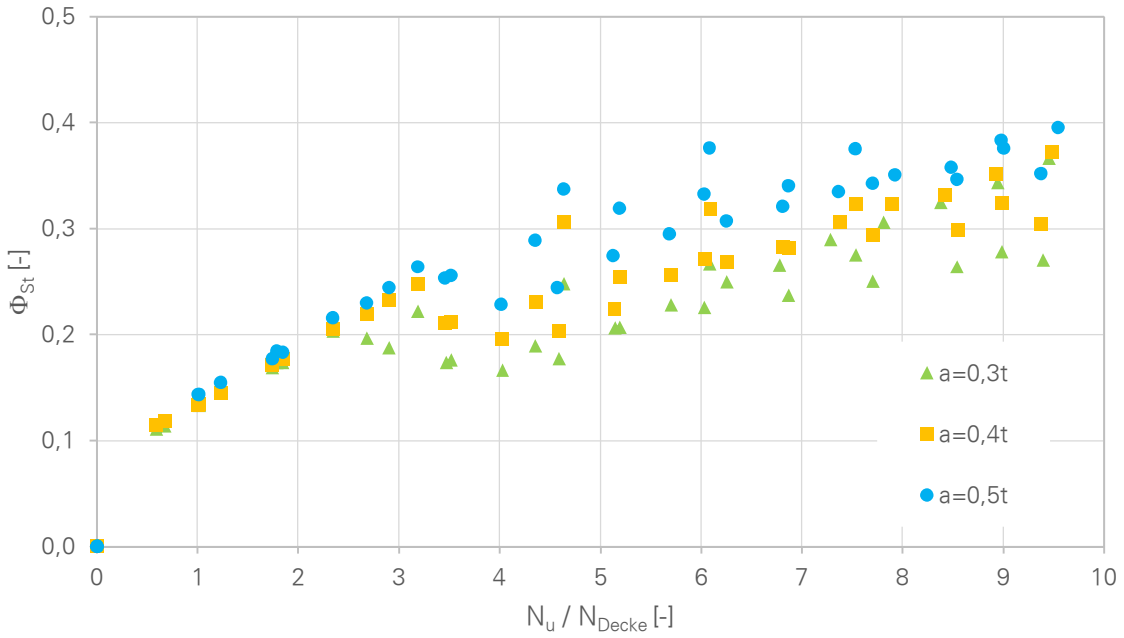


Bild 4 Gemeinsamer Abminderungsfaktor für Wanddicke t=0,49 m

1.3. Getrennter Nachweis, Deckenauflager & Deckenabmauerungsstein

1.3.1. Allgemeines

In Fällen, in denen unterschiedliche Mauerwerksmaterialien im WDK verwendet werden, z.B. wenn der Deckenabmauerungsstein zum Wandmauerwerk verschieden ist, wird ein getrennter Nachweis von Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager notwendig. Dabei werden ebenso wie im gemeinsamen Nachweis die Kraftanteile aus oberer Wand und Deckenauflager bestimmt. Die zusätzliche Angabe der jeweiligen Kraftaußermittigkeit gegenüber der Wandachse lässt z.B. die Bestimmung eines Spannungsblocks zu (siehe hierzu Gl. (1) und (2)), welcher wiederum als als Nachweis heranziehbar ist (siehe Gl. (4) bis (6)).
Die im Folgenden verwendeten Bezeichnungen in Tabellen und Formeln sind in Tabelle 14 zusammengefasst.

Tabelle 14 Übersicht der Bezeichnungen und Parameter

Eingabewerte:

p: Flächenlast auf der Deckenplatte ohne Deckeneigengewicht
N_u: Kraft am Fußpunkt der oberen Wand aus den oberen Geschossen
N_{Decke}: Kraft aus dem Deckenauflager (Querkraft der Deckenplatte am Auflager)
N_o: Gegenkraft am Wandkopf der unteren Wand (= N_V + N_D)

Ablesewerte, aus FE-Rechnung bestimmt:

N_V: Kraftanteil unter dem Deckenabmauerungsstein
N_D: Kraftanteil unter dem Deckenauflager
e_0: Lastaußermitte am Kopf der unteren Wand
e_V: Außermitte der Kraft aus dem Deckenabmauerungsstein
e_D: Außermitte der Kraft aus dem Deckenauflager
$\Phi_{St,V}$: Abminderungsfaktor zur Tragfähigkeit bezogen auf die Dicke des Deckenabmauerungssteins ($N_{R,V}=\Phi_{St,V}\cdot f\cdot t_v$)
$\Phi_{St,D}$: Abminderungsfaktor zur Tragfähigkeit bezogen auf das Deckenauflager ($N_{R,D,}=\Phi_{St,D}\cdot f\cdot a$)

mit:

t_v: Dicke Deckenabmauerungsstein
a: Deckenauflagerlänge
f: Materialfestigkeit (für den Nachweis ist f_d zu verwenden)

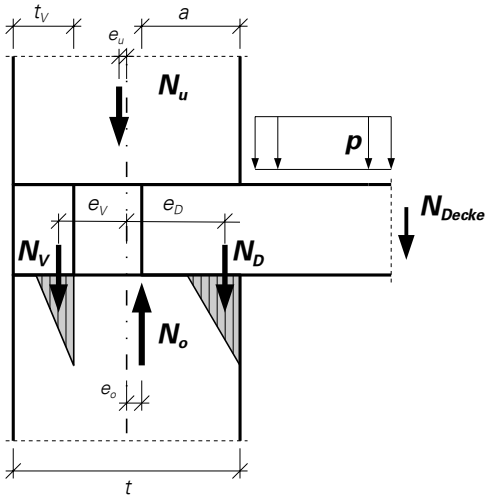


Bild 5 Schnittgrößen und Lastausmitten am WDK

Gemäß der Spannungsblocktheorie lässt sich mithilfe der Lastposition und der drucküber-tragenden Kontaktfläche die Breite eines Spannungsblocks, jeweils unter dem Deckenab-mauerungsstein, als auch unter dem Deckenauflager berechnen, (Gl. (1), (2)):

$$b_D = 2 \cdot \left(\frac{t}{2} - e_D\right) = (t - 2 \cdot e_D) \tag{1}$$

$$b_V = 2 \cdot \left(e_V - \left(\frac{t}{2} - t_V\right)\right) \tag{2}$$

Die für den Bemessungsnachweis notwendigen Abminderungsfaktoren Φ beinhalten das Verhältnis von Spannungsblockbreite zur maximal vorhandenen Breite zur Spannungsüber-tragung, demnach t_V für den Deckenabmauerungsstein und A unter dem Deckenauflager, (Gl. (3) und (4))

$$\Phi_{St,V} = \frac{b_V}{t_V} = \frac{2 \cdot \left(e_V - \left(\frac{t}{2} - t_V\right)\right)}{t_V} = \left(2 \cdot \frac{e_V}{t_V} - \frac{t}{t_V} + 2\right). \tag{3}$$

$$\Phi_{St,D} = \frac{b_D}{a} = \frac{(t - 2 \cdot e_D)}{a} \tag{4}$$

Der getrennte Nachweis für Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager ergibt sich demzufolge zu den Gleichungen Gl. (5) und (6).

$$N_V \leq N_{R,V} = \Phi_{St,V} \cdot f \cdot t_{V.} \tag{5}$$

$$N_D \leq N_{R,D} = \Phi_{St,D} \cdot f \cdot a \tag{6}$$

1.3.2. Wanddicke 400 mm

Tabelle 15 Getrennter Nachweis (t=0,4 m; **a=0,3t**; l=6m; E_{De}=15000N/mm²; w=0kN/m²)

$p_{De,d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	e_o	e_V	e_D	$\Phi_{St,V}$	$\Phi_{St,D}$
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	m	-	-
0	16,1	17,25	34,24	9,79	24,45	0,096	0,104	0,174	0,33	0,43
0	28,6	17,25	46,73	17,87	28,9	0,066	0,107	0,172	0,38	0,47
0	53,6	17,25	71,73	33,07	38,73	0,038	0,113	0,167	0,49	0,55
0	103,6	17,25	121,71	61,52	60,21	0,018	0,119	0,159	0,59	0,68
0	153,6	17,25	171,7	89,06	82,05	0,011	0,122	0,154	0,64	0,77
0	203,6	17,25	221,68	116,45	104,05	0,006	0,124	0,151	0,68	0,82
0	253,6	17,25	271,67	143,84	126,06	0,004	0,125	0,149	0,70	0,85
0	378,6	17,25	393,47	211,47	181,92	0,001	0,128	0,147	0,75	0,88
4,2	16,1	29,85	46,98	9,17	37,84	0,129	0,104	0,176	0,33	0,40
4,2	28,6	29,85	59,47	17,28	42,24	0,1	0,104	0,175	0,33	0,42
4,2	53,6	29,85	84,46	33,51	51,03	0,065	0,104	0,172	0,33	0,47
4,2	103,6	29,85	134,45	63,61	71,05	0,036	0,110	0,166	0,43	0,57
4,2	153,6	29,85	184,44	92,19	92,6	0,023	0,115	0,161	0,52	0,65
4,2	203,6	29,85	234,42	119,92	114,23	0,017	0,118	0,157	0,57	0,72
4,2	253,6	29,85	282,19	147,37	136,15	0,013	0,120	0,154	0,61	0,77
4,2	378,6	29,85	405,09	212,51	193,23	0,007	0,127	0,150	0,73	0,83
9,2	16,1	44,85	61,98	7,8	54,2	0,147	0,104	0,177	0,33	0,38
9,2	28,6	44,85	74,47	15,95	58,58	0,124	0,104	0,176	0,33	0,40
9,2	53,6	44,85	99,45	32,93	66,64	0,09	0,104	0,174	0,33	0,43
9,2	103,6	44,85	149,43	64,77	84,85	0,054	0,104	0,170	0,33	0,50
9,2	153,6	44,85	199,43	94,51	105,25	0,038	0,106	0,166	0,37	0,57
9,2	203,6	44,85	247,26	123,09	126,86	0,029	0,111	0,162	0,45	0,63
9,2	253,6	44,85	297,26	150,4	149,21	0,023	0,115	0,159	0,52	0,68
9,2	376,3	44,85	417,49	213,89	205,19	0,012	0,125	0,152	0,70	0,80

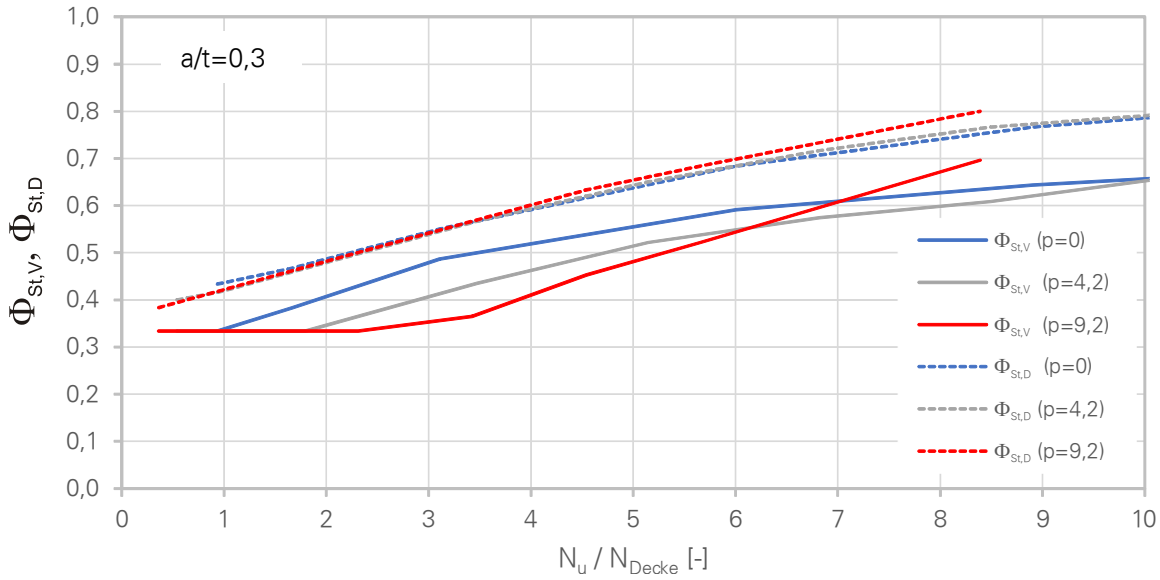


Bild 6 Abminderungsfaktoren für NW am Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager (a=0,3t)

Tabelle 16 Getrennter Nachweis (t=0,4 m; **a=0,4t**; l=6m; E_{De}=15000N/mm²; w=0kN/m²)

$p_{De,d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	e_o	e_V	e_D	$\Phi_{St,V}$	$\Phi_{St,D}$
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	m	-	-
0	16,1	17,25	34,45	6,83	27,63	0,121	0,104	0,172	0,33	0,35
0	28,6	17,25	46,93	14,4	32,56	0,085	0,104	0,168	0,33	0,40
0	53,6	17,25	71,91	29,03	42,94	0,051	0,114	0,163	0,50	0,46
0	103,6	17,25	121,87	56,12	65,94	0,027	0,120	0,152	0,61	0,60
0	153,6	17,25	171,83	81,49	90,37	0,017	0,123	0,143	0,66	0,71
0	203,5	17,25	221,79	106,51	114,85	0,012	0,125	0,139	0,70	0,76
0	253,5	17,25	271,75	131,51	139,36	0,009	0,126	0,136	0,71	0,80
0	378,4	17,25	394,36	193,74	200,92	0,004	0,128	0,131	0,75	0,86
4,2	16,2	29,85	47,19	5,39	41,8	0,149	0,104	0,173	0,33	0,34
4,2	28,7	29,85	59,66	12,5	47,2	0,121	0,104	0,172	0,33	0,35
4,2	53,6	29,85	84,63	27,58	57,12	0,083	0,104	0,168	0,33	0,40
4,2	103,6	29,85	134,58	56,5	78,23	0,048	0,110	0,162	0,43	0,48
4,2	153,6	29,85	184,55	83,63	101,14	0,033	0,116	0,155	0,54	0,56
4,2	203,5	29,85	234,52	109,59	125,36	0,024	0,119	0,149	0,59	0,64
4,2	253,5	29,85	284,48	134,84	149,78	0,019	0,121	0,144	0,63	0,70
4,2	378,4	29,85	406,22	196,3	212,07	0,012	0,126	0,137	0,71	0,79
9,2	16,2	44,85	62,18	4,44	57,73	0,162	0,104	0,173	0,33	0,33
9,2	53,7	44,85	99,6	25,56	74,14	0,11	0,104	0,171	0,33	0,36
9,2	103,6	44,85	149,55	55,4	94,31	0,07	0,104	0,166	0,33	0,43
9,2	153,6	44,85	199,5	83,98	115,76	0,05	0,106	0,162	0,37	0,48
9,2	203,6	44,85	247,24	111,29	138,49	0,039	0,111	0,157	0,45	0,54
9,2	253,5	44,85	297,43	137,46	162,44	0,031	0,115	0,153	0,52	0,59
9,2	376,7	44,85	419,26	198,53	224,24	0,019	0,123	0,143	0,66	0,71
9,2	16,1	17,25	34,45	6,83	27,63	0,121	0,104	0,172	0,33	0,35

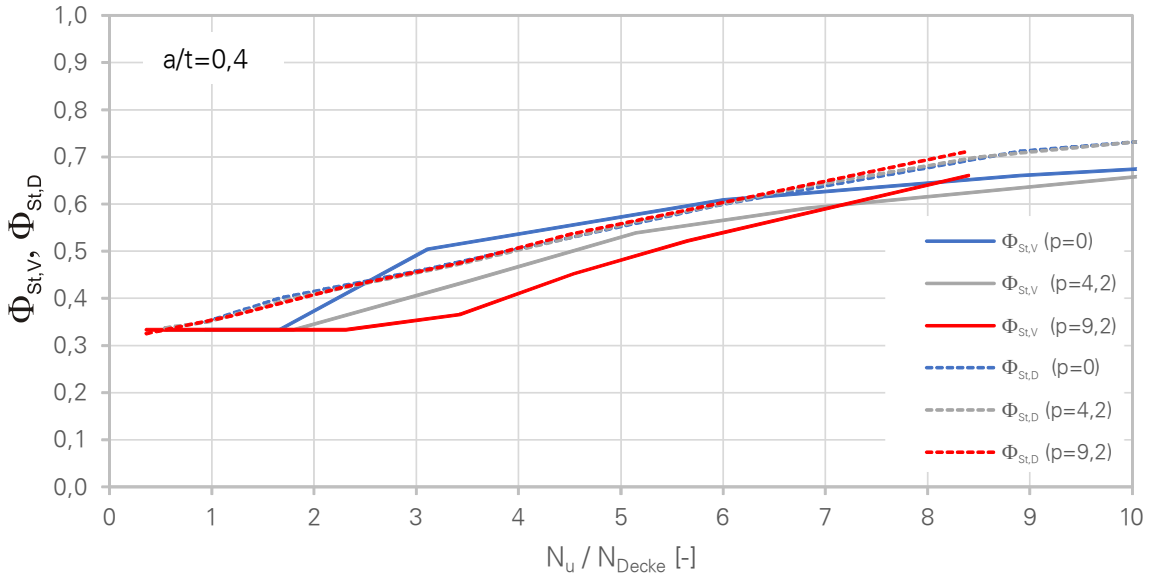


Bild 7 Abminderungsfaktoren für NW am Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager (a=0,4t)

Tabelle 17 Getrennter Nachweis (t=0,4 m; **a=0,5t**; l=6m; E_{De}=15000N/mm²; w=0kN/m²)

$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	e_o	e_V	e_D	$\Phi_{St,V}$	$\Phi_{St,D}$
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	m	-	-
0	16,2	17,25	34,66	3,89	30,79	0,141	0,104	0,167	0,33	0,32
0	28,6	17,25	47,12	11	36,18	0,103	0,104	0,164	0,33	0,36
0	53,6	17,25	72,07	24,97	47,19	0,064	0,114	0,157	0,50	0,43
0	103,5	17,25	121,98	50,71	71,48	0,034	0,122	0,144	0,64	0,56
0	153,4	17,25	171,91	74,29	98,02	0,023	0,125	0,134	0,70	0,66
0	203,3	17,25	221,82	97,07	124,86	0,016	0,126	0,127	0,71	0,73
0	253,3	17,25	271,74	119,81	151,71	0,012	0,127	0,123	0,73	0,77
0	378,1	17,25	394,19	176,69	218,86	0,007	0,129	0,116	0,77	0,84
4,2	16,2	29,85	47,4	2,07	45,34	0,164	0,104	0,167	0,33	0,30
4,2	28,7	29,85	59,85	7,77	52,13	0,14	0,104	0,167	0,33	0,32
4,2	53,7	29,85	84,77	21,6	63,31	0,1	0,104	0,164	0,33	0,36
4,2	103,5	29,85	134,67	49,29	85,6	0,059	0,110	0,156	0,43	0,44
4,2	153,5	29,85	184,58	75,12	109,78	0,041	0,117	0,148	0,56	0,52
4,2	203,4	29,85	234,51	99,44	135,5	0,031	0,120	0,141	0,61	0,59
4,2	253,3	29,85	284,44	122,84	162,25	0,024	0,122	0,135	0,64	0,65
4,2	378,1	29,85	407,22	179,57	229,67	0,016	0,126	0,125	0,71	0,75
9,2	16,3	44,85	62,39	0,68	61,72	0,175	0,406	0,167	0,00	0,29
9,2	53,7	44,85	99,72	17,83	82,04	0,127	0,104	0,167	0,33	0,33
9,2	103,6	44,85	149,59	45,81	104,05	0,084	0,104	0,161	0,33	0,39
9,2	153,5	44,85	199,5	73,22	126,63	0,06	0,106	0,156	0,37	0,44
9,2	203,4	44,85	249,41	99,36	150,51	0,047	0,112	0,151	0,47	0,49
9,2	253,4	44,85	297,1	124,27	175,63	0,039	0,116	0,146	0,54	0,54
9,2	378,2	44,85	420,07	181,82	242,3	0,026	0,123	0,134	0,66	0,66

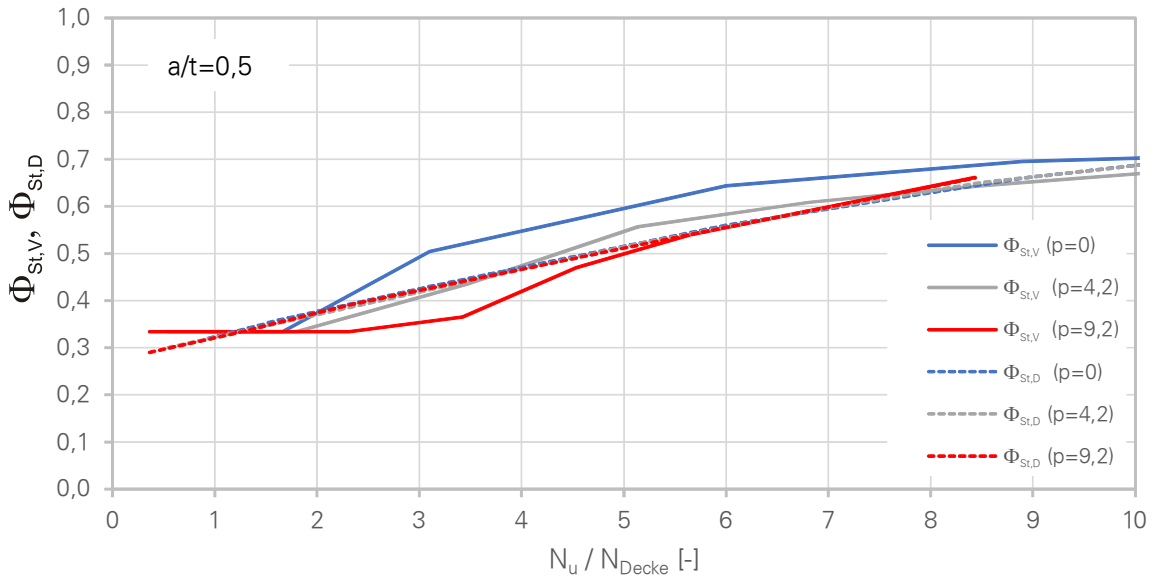


Bild 8 Abminderungsfaktoren für NW am Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager (a=0,3t)

1.3.3. Wanddicke 425 mm

Tabelle 18 Getrennter Nachweis; (t=0,425 m; **a=0,3t**; l=6m; E_{De}=15000N/mm²; w=0kN/m²)

$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	e_o	e_V	e_D	$\Phi_{St,V}$	$\Phi_{St,D}$
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	m	-	-
0	16,38	17,25	34,51	9,91	24,62	0,101	0,117	0,183	0,33	0,46
0	28,87	17,25	47,01	18,65	28,39	0,063	0,117	0,181	0,33	0,49
0	53,87	17,25	71,99	35,06	37,02	0,03	0,124	0,176	0,46	0,57
0	103,85	17,25	121,97	65,67	56,31	0,008	0,130	0,168	0,57	0,70
0	153,83	17,25	171,96	95,15	76,39	-0,001	0,133	0,163	0,62	0,78
0	203,82	17,25	221,95	124,51	96,6	-0,005	0,135	0,161	0,65	0,81
0	253,81	17,25	271,94	153,85	116,83	-0,008	0,136	0,159	0,67	0,84
0	378,78	17,25	393,69	224,94	167,53	-0,012	0,139	0,157	0,72	0,87
4,2	16,4	29,85	47,25	9,04	38,25	0,139	0,117	0,184	0,33	0,45
4,2	28,89	29,85	59,75	17,85	41,96	0,104	0,117	0,183	0,33	0,46
4,2	53,87	29,85	84,74	35,1	49,73	0,062	0,117	0,180	0,33	0,51
4,2	103,87	29,85	134,72	67,64	67,3	0,028	0,119	0,175	0,37	0,59
4,2	153,86	29,85	184,69	98,32	86,61	0,013	0,125	0,170	0,48	0,67
4,2	203,82	29,85	234,69	128,07	106,4	0,006	0,128	0,166	0,53	0,73
4,2	253,81	29,85	284,68	157,44	126,58	0,001	0,130	0,164	0,57	0,76
4,2	378,78	29,85	407,06	226,53	177,59	-0,005	0,135	0,160	0,65	0,82
9,2	16,42	44,85	62,25	7,44	54,84	0,16	0,117	0,185	0,33	0,43
9,2	28,91	44,85	74,74	15,77	59,04	0,133	0,117	0,184	0,33	0,45
9,2	53,9	44,85	99,74	33,35	66,5	0,092	0,117	0,182	0,33	0,48
9,2	103,87	44,85	149,72	68,33	81,58	0,049	0,117	0,178	0,33	0,54
9,2	153,87	44,85	199,7	100,46	99,59	0,03	0,117	0,175	0,33	0,59
9,2	203,87	44,85	249,67	131,37	118,81	0,018	0,120	0,171	0,39	0,65
9,2	253,84	44,85	296,66	158,18	138,48	0,013	0,125	0,168	0,48	0,70
9,2	378,79	44,85	419,67	228,48	190,06	0,003	0,132	0,163	0,60	0,78

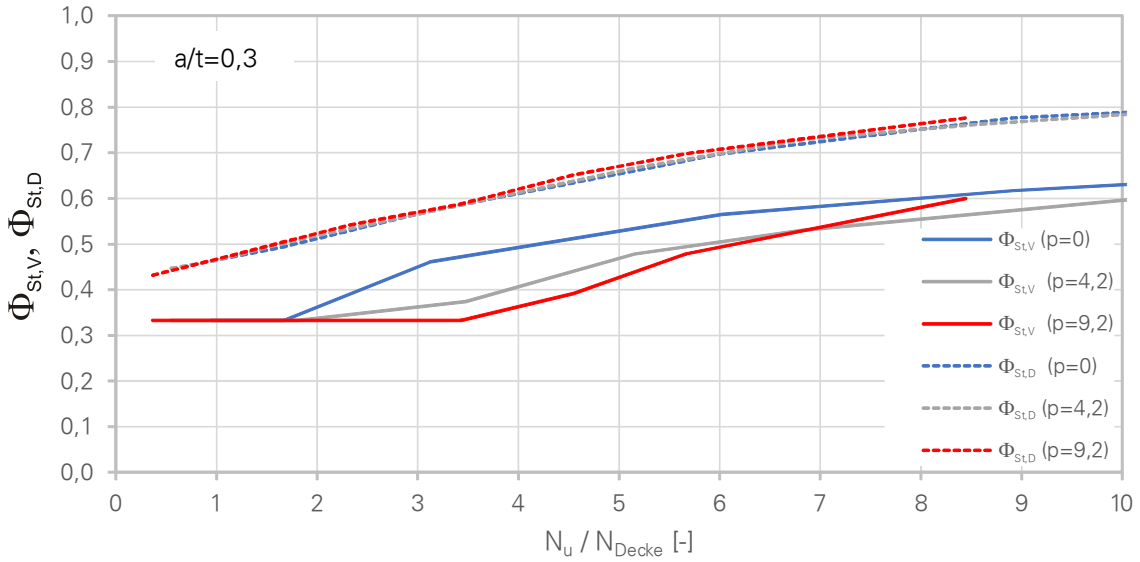


Bild 9 Abminderungsfaktoren für NW am Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager (a=0,3t)

Tabelle 19 Getrennter Nachweis (t=0,425 m; **a=0,4t**; l=6m; E_{De}=15000N/mm²; w=0kN/m²)

$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	e_o	e_V	e_D	$\Phi_{St,V}$	$\Phi_{St,D}$
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	m	-	-
0	16,38	17,25	34,78	6,86	27,89	0,128	0,117	0,180	0,33	0,38
0	28,89	17,25	47,29	14,9	32,35	0,086	0,117	0,176	0,33	0,43
0	53,9	17,25	72,3	30,67	41,59	0,046	0,123	0,171	0,44	0,49
0	103,92	17,25	122,33	60,08	62,25	0,018	0,131	0,161	0,58	0,61
0	153,93	17,25	172,35	87,51	84,69	0,007	0,134	0,153	0,63	0,70
0	203,96	17,25	222,38	114,46	107,37	0,002	0,136	0,148	0,67	0,76
0	253,98	17,25	272,41	141,39	130,07	-0,002	0,137	0,145	0,69	0,79
0	379,04	17,25	397,48	208,71	186,86	-0,007	0,139	0,141	0,72	0,84
4,2	16,36	29,85	47,53	4,89	42,6	0,163	0,117	0,181	0,33	0,37
4,2	28,87	29,85	60,05	12,42	47,58	0,129	0,117	0,180	0,33	0,38
4,2	53,88	29,85	85,07	28,55	56,45	0,084	0,117	0,176	0,33	0,43
4,2	103,91	29,85	135,1	59,91	75,12	0,042	0,119	0,170	0,37	0,50
4,2	153,93	29,85	185,13	89,37	95,7	0,024	0,125	0,164	0,48	0,57
4,2	203,96	29,85	235,15	117,53	117,68	0,015	0,129	0,158	0,55	0,64
4,2	253,96	29,85	285,17	144,79	140,2	0,009	0,131	0,154	0,58	0,69
4,2	379,02	29,85	406,93	209,2	197,05	0,002	0,136	0,147	0,67	0,77
9,2	16,34	44,85	62,53	3,1	59,38	0,181	0,147	0,182	0,86	0,36
9,2	28,85	44,85	75,05	10,22	64,77	0,156	0,117	0,181	0,33	0,37
9,2	53,87	44,85	100,08	25,83	74,17	0,115	0,117	0,179	0,33	0,39
9,2	103,88	44,85	150,12	58,17	91,86	0,067	0,117	0,174	0,33	0,45
9,2	153,91	44,85	200,15	89,12	110,93	0,044	0,117	0,170	0,33	0,50
9,2	203,94	44,85	250,18	118,74	131,35	0,03	0,120	0,166	0,39	0,55
9,2	253,95	44,85	300,22	147,43	152,73	0,022	0,124	0,162	0,46	0,59
9,2	378,99	17,25	422,79	210,9	209,53	0,01	0,132	0,154	0,60	0,69

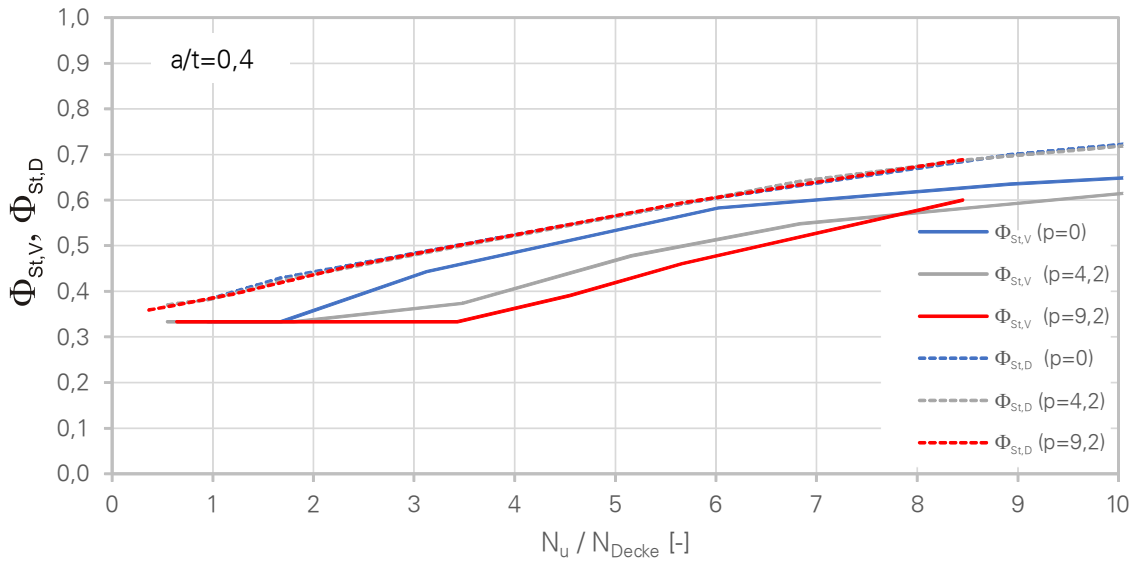


Bild 10 Abminderungsfaktoren für NW am Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager (a=0,4t)

Tabelle 20 Getrennter Nachweis (t=0,425 m; **a=0,5t**; l=6m; E_{De}=15000N/mm²; w=0kN/m²)

$p_{De,d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	e_o	e_V	e_D	$\Phi_{St,V}$	$\Phi_{St,D}$
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	m	-	-
0	16,36	17,25	35,02	3,55	31,43	0,152	0,117	0,175	0,33	0,35
0	28,86	17,25	47,52	11,10	36,39	0,108	0,117	0,172	0,33	0,38
0	53,87	17,25	72,54	26,43	46,04	0,060	0,123	0,165	0,44	0,45
0	103,89	17,25	122,56	54,65	67,85	0,026	0,132	0,154	0,60	0,55
0	153,90	17,25	172,58	80,53	92,04	0,014	0,135	0,144	0,65	0,64
0	203,91	17,25	222,59	105,37	116,99	0,007	0,137	0,137	0,69	0,71
0	253,92	17,25	272,61	130,13	141,93	0,003	0,138	0,133	0,70	0,75
0	378,96	17,25	397,66	192,02	204,28	-0,003	0,140	0,126	0,74	0,81
4,2	28,85	29,85	60,28	7,19	53,02	0,151	0,117	0,176	0,33	0,34
4,2	53,84	29,85	85,30	22,09	63,13	0,104	0,117	0,172	0,33	0,38
4,2	103,87	29,85	135,33	52,25	82,95	0,055	0,119	0,164	0,37	0,46
4,2	153,88	29,85	185,35	80,67	104,56	0,034	0,126	0,157	0,50	0,52
4,2	203,89	29,85	235,37	107,46	127,79	0,022	0,130	0,151	0,57	0,58
4,2	253,91	29,85	285,39	133,14	152,21	0,016	0,133	0,145	0,62	0,64
4,2	378,93	29,85	410,43	195,24	214,58	0,006	0,136	0,135	0,67	0,73
9,2	28,82	44,85	75,28	4,72	70,47	0,173	0,117	0,177	0,33	0,33
9,2	53,82	44,85	100,30	17,38	82,80	0,137	0,117	0,174	0,33	0,36
9,2	103,83	44,85	150,34	47,78	102,40	0,084	0,117	0,169	0,33	0,41
9,2	153,85	44,85	200,37	77,85	122,34	0,056	0,117	0,164	0,33	0,46
9,2	203,86	44,85	250,40	106,50	143,70	0,040	0,121	0,160	0,41	0,49
9,2	253,89	44,85	300,41	133,88	166,34	0,030	0,125	0,155	0,48	0,54

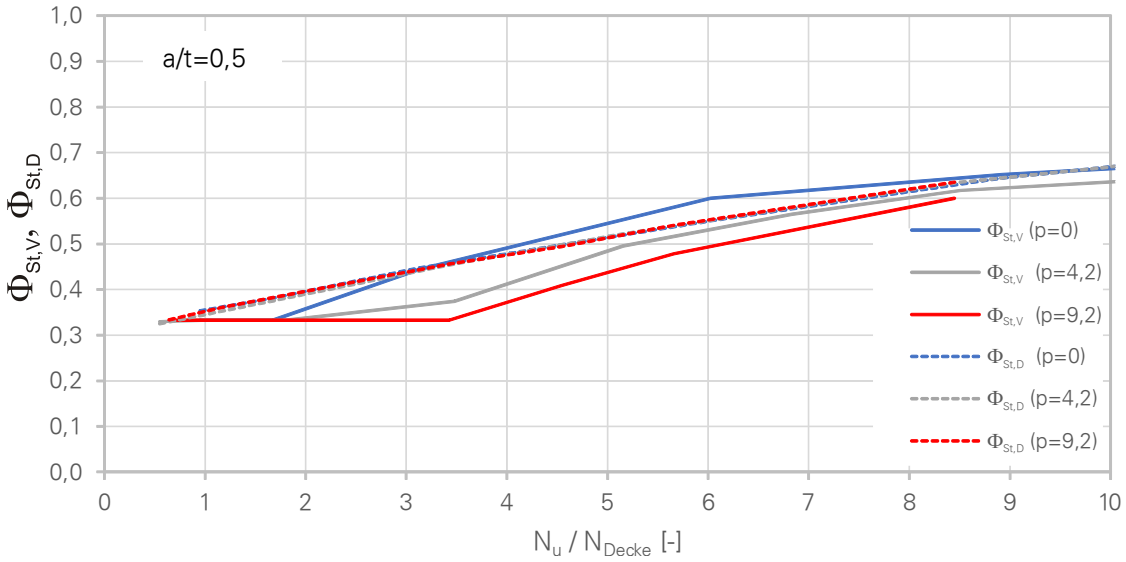


Bild 11 Abminderungsfaktoren für NW am Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager (a=0,5t)

1.3.4. Wanddicke 480 mm

Tabelle 21 Getrennter Nachweis (t=0,48 m; **a=0,3t**; l=6m; E_{De}=15000N/mm²; w=0kN/m²)

$p_{De,d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	e_o	e_V	e_D	$\Phi_{St,V}$	$\Phi_{St,D}$
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	m	-	-
0	16,9	17,25	35,11	7,68	27,44	0,143	0,144	0,213	0,33	0,38
0	29,39	17,25	47,62	15,36	32,24	0,098	0,144	0,210	0,33	0,42
0	54,37	17,25	72,63	30,83	41,8	0,054	0,151	0,206	0,45	0,47
0	104,4	17,25	122,62	59,21	63,53	0,025	0,159	0,196	0,59	0,61
0	154,39	17,25	172,62	85,98	86,42	0,014	0,162	0,188	0,64	0,72
0	204,38	17,25	222,62	112,36	109,54	0,008	0,164	0,184	0,68	0,78
0	254,39	17,25	272,63	138,68	132,71	0,004	0,166	0,181	0,71	0,82
0	379,39	17,25	397,64	204,48	190,67	-0,001	0,168	0,177	0,75	0,88
4,2	16,92	29,85	47,84	6,28	41,58	0,181	0,144	0,215	0,33	0,35
4,2	29,42	29,85	60,35	13,57	46,8	0,144	0,144	0,213	0,33	0,38
4,2	54,4	29,85	85,37	29,27	56,11	0,095	0,144	0,210	0,33	0,42
4,2	104,38	29,85	135,39	59,54	75,88	0,05	0,147	0,204	0,38	0,50
4,2	154,41	29,85	185,38	88,09	97,4	0,031	0,154	0,199	0,50	0,57
4,2	204,42	29,85	235,36	115,43	120,24	0,021	0,157	0,193	0,56	0,65
4,2	254,4	29,85	285,37	142,02	143,1	0,015	0,160	0,189	0,61	0,71
4,2	379,39	29,85	410,38	205,29	200,99	0,007	0,164	0,183	0,68	0,79
9,2	29,44	44,85	75,33	11,6	63,75	0,174	0,144	0,215	0,33	0,35
9,2	54,43	44,85	100,35	27,02	73,37	0,129	0,144	0,213	0,33	0,38
9,2	104,39	44,85	150,39	58,47	91,95	0,077	0,144	0,209	0,33	0,43
9,2	154,38	44,85	200,41	88,31	112,15	0,052	0,144	0,205	0,33	0,49
9,2	204,42	44,85	250,4	117,01	133,49	0,038	0,149	0,200	0,42	0,56
9,2	229,43	44,85	275,4	131,05	144,52	0,033	0,151	0,199	0,45	0,57
9,2	254,44	44,85	300,39	144,87	155,81	0,028	0,153	0,197	0,49	0,60
9,2	279,44	44,85	325,38	155,98	167,28	0,025	0,155	0,195	0,52	0,63
9,2	304,44	44,85	347,36	168,91	178,9	0,024	0,157	0,193	0,56	0,65
9,2	329,43	44,85	372,55	181,65	190,42	0,021	0,158	0,191	0,57	0,68
9,2	354,43	44,85	398,02	194,36	202	0,019	0,159	0,190	0,59	0,69
9,2	379,42	44,85	423,33	207	213,7	0,017	0,160	0,189	0,61	0,71
9,2	404,4	44,85	446,61	219,47	225,51	0,016	0,162	0,188	0,64	0,72

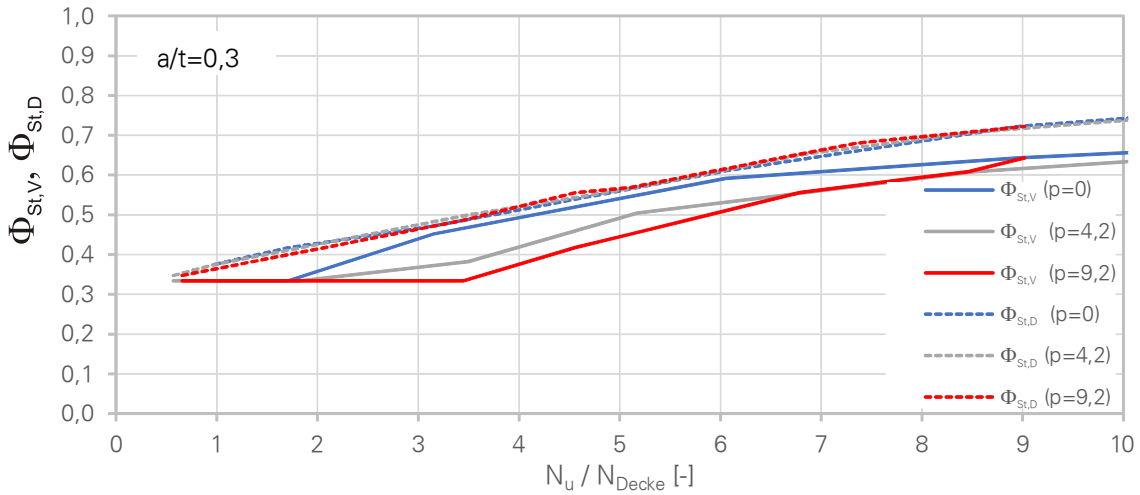


Bild 12 Abminderungsfaktoren für NW am Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager (a=0,3t)

Tabelle 22 Getrennter Nachweis; (t=0,48 m; **a=0,4t**; l=6m; E_{De}=15000N/mm²; w=0kN/m²)

$p_{De,d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	e_o	e_V	e_D	$\Phi_{St,V}$	$\Phi_{St,D}$
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	m	-	-
0	16,87	17,25	35,39	4,11	31,27	0,175	0,144	0,208	0,33	0,31
0	29,37	17,25	47,89	11,29	36,58	0,127	0,144	0,206	0,33	0,35
0	54,38	17,25	72,89	25,98	46,89	0,075	0,151	0,199	0,45	0,43
0	104,38	17,25	122,89	53,18	69,72	0,037	0,161	0,188	0,63	0,54
0	154,38	17,25	172,89	78,06	94,96	0,023	0,164	0,176	0,68	0,67
0	204,38	17,25	222,89	102,02	120,54	0,016	0,166	0,169	0,71	0,74
0	254,38	17,25	272,89	125,88	146,24	0,011	0,167	0,165	0,73	0,78
0	379,38	17,25	397,89	185,53	210,51	0,005	0,169	0,158	0,77	0,85
4,2	16,88	29,85	48,14	2,61	45,5	0,203	0,144	0,208	0,33	0,29
4,2	29,38	29,85	60,64	7,96	52,65	0,174	0,144	0,208	0,33	0,31
4,2	54,38	29,85	85,64	22,06	63,56	0,122	0,144	0,206	0,33	0,35
4,2	104,38	29,85	135,64	51,09	84,54	0,068	0,147	0,198	0,38	0,44
4,2	154,38	29,85	185,64	78,4	107,25	0,045	0,155	0,191	0,52	0,51
4,2	204,38	29,85	235,64	104,16	131,53	0,033	0,159	0,184	0,59	0,58
4,2	254,38	29,85	285,64	128,87	156,99	0,025	0,162	0,178	0,64	0,65
4,2	379,38	29,85	410,64	188,73	221,1	0,015	0,165	0,168	0,70	0,75
9,2	16,88	44,85	63,14	1,82	61,28	0,212	0,153	0,208	0,49	0,27
9,2	29,38	44,85	75,64	6,71	68,88	0,193	0,144	0,208	0,33	0,29
9,2	54,38	44,85	100,64	18,16	82,45	0,158	0,144	0,208	0,33	0,32
9,2	104,38	44,85	150,64	46,88	103,74	0,101	0,144	0,204	0,33	0,38
9,2	154,38	44,85	200,64	75,84	124,8	0,07	0,144	0,199	0,33	0,43
9,2	204,38	44,85	250,64	103,42	147,23	0,052	0,150	0,194	0,43	0,48
9,2	254,39	44,85	300,64	129,82	170,87	0,041	0,155	0,189	0,52	0,53
9,2	379,39	17,25	425,64	189,32	233,85	0,025	0,161	0,178	0,63	0,65

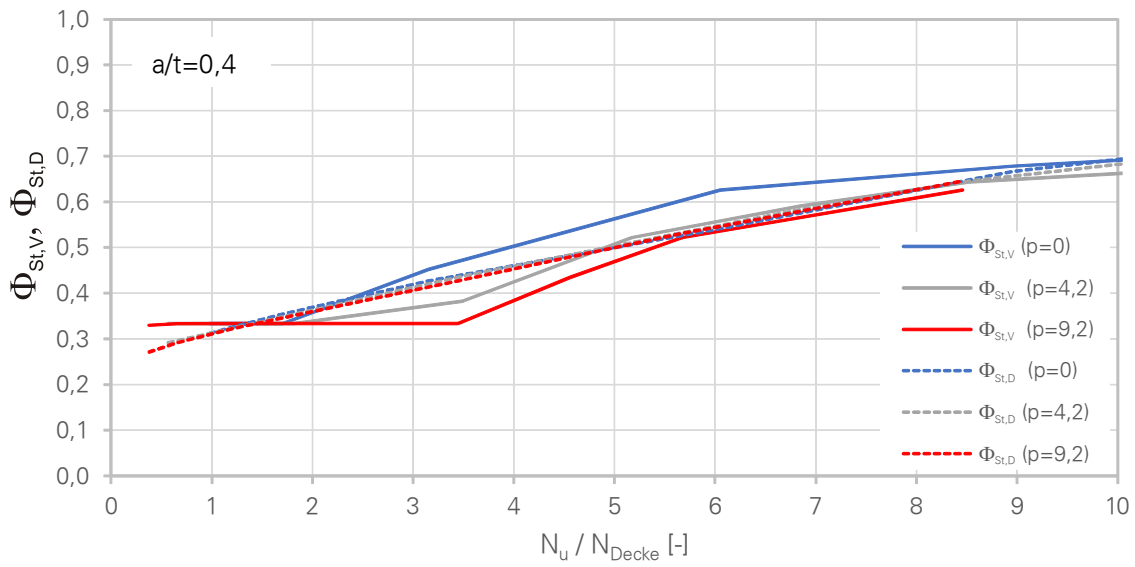


Bild 13 Abminderungsfaktoren für NW am Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager (a=0,4t)

Tabelle 23 Getrennter Nachweis (t=0,48 m; **a=0,5t**; l=6m; E_{De}=15000N/mm²; w=0kN/m²)

$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	e_o	e_V	e_D	$\Phi_{St,V}$	$\Phi_{St,D}$
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	m	-	-
0	16,84	17,25	35,67	1,44	34,2	0,196	0,144	0,200	0,33	0,29
0	29,33	17,25	48,16	7,44	40,7	0,151	0,144	0,200	0,33	0,33
0	54,31	17,25	73,17	21,75	51,39	0,09	0,153	0,193	0,49	0,39
0	104,31	17,25	123,18	47,63	75,52	0,046	0,163	0,177	0,66	0,53
0	154,3	17,25	173,17	70,62	102,61	0,029	0,166	0,164	0,71	0,63
0	204,28	17,25	223,16	92,34	130,66	0,021	0,168	0,154	0,75	0,72
0	254,26	17,25	273,15	113,89	158,74	0,016	0,169	0,148	0,77	0,77
0	379,23	17,25	398,13	167,81	228,91	0,009	0,170	0,140	0,78	0,83
4,2	29,31	29,85	60,92	3,92	56,96	0,19	0,144	0,200	0,33	0,28
4,2	54,29	29,85	85,91	15,32	70,55	0,145	0,144	0,200	0,33	0,33
4,2	104,26	29,85	135,93	43,5	92,37	0,083	0,149	0,191	0,42	0,41
4,2	154,25	29,85	185,94	69,62	116,26	0,055	0,158	0,182	0,57	0,48
4,2	204,26	29,85	235,94	93,75	142,16	0,04	0,162	0,173	0,64	0,56
4,2	254,24	29,85	285,94	116,49	169,5	0,031	0,164	0,165	0,68	0,63
4,2	379,2	29,85	410,91	170,76	239,67	0,019	0,167	0,152	0,73	0,73
9,2	29,29	44,85	75,93	1,49	74,38	0,21	0,144	0,200	0,33	0,27
9,2	54,27	44,85	100,92	10,67	90,17	0,178	0,144	0,200	0,33	0,29
9,2	104,24	44,85	150,92	36,41	114,44	0,121	0,144	0,198	0,33	0,35
9,2	154,21	44,85	200,95	64,49	136,37	0,084	0,144	0,192	0,33	0,40
9,2	204,19	44,85	250,96	91,03	159,83	0,063	0,153	0,185	0,49	0,46
9,2	229,2	44,85	275,96	103,67	172,2	0,056	0,155	0,182	0,52	0,48
9,2	254,2	44,85	300,96	115,99	184,89	0,05	0,157	0,179	0,56	0,51
9,2	279,2	44,85	325,96	127,92	197,96	0,045	0,159	0,176	0,59	0,53
9,2	304,2	44,85	350,96	139,71	211,19	0,041	0,160	0,173	0,61	0,56
9,2	329,2	44,85	375,96	151,24	224,68	0,037	0,161	0,171	0,63	0,58
9,2	354,19	44,85	400,96	162,58	238,37	0,034	0,162	0,168	0,64	0,60
9,2	379,18	44,85	425,96	173,75	252,27	0,032	0,162	0,165	0,64	0,63

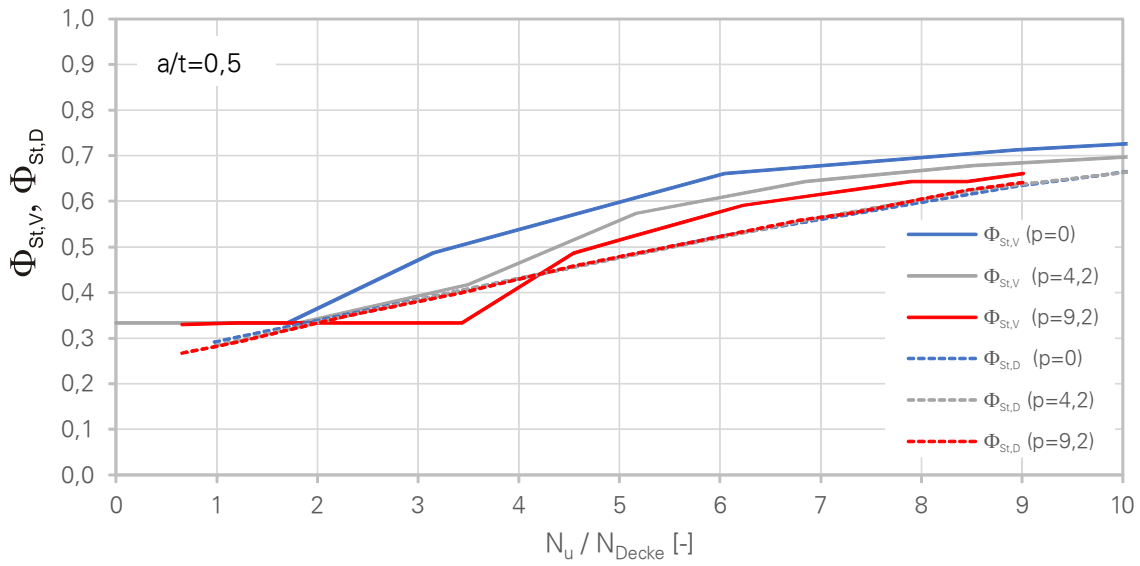


Bild 14 Abminderungsfaktoren für NW am Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager (a=0,5t)

1.3.5. Wanddicke 490 mm

Tabelle 24 Getrennter Nachweis (t=0,49 m; **a=0,3t**; l=6m; E_{De}=15000N/mm²; w=0kN/m²)

$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	e_o	e_V	e_D	$\Phi_{St,V}$	$\Phi_{St,D}$
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	m	-	-
0	17,51	17,25	35,7	6,08	29,66	0,166	0,149	0,218	0,33	0,37
0	30	17,25	48,21	14,38	33,86	0,112	0,149	0,216	0,33	0,39
0	54,98	17,25	73,21	30,96	42,28	0,058	0,153	0,212	0,40	0,45
0	104,99	17,25	123,19	62,26	61,04	0,019	0,163	0,204	0,57	0,56
0	154,98	17,25	173,15	91,5	81,87	0,005	0,166	0,196	0,63	0,67
0	204,96	17,25	223,14	119,74	103,18	-0,001	0,168	0,191	0,66	0,73
0	254,95	17,25	273,13	147,79	124,69	-0,005	0,169	0,188	0,68	0,78
0	379,93	17,25	398,1	217,93	178,49	-0,011	0,172	0,183	0,73	0,84
4,2	17,56	29,85	48,42	3,92	44,54	0,207	0,149	0,220	0,33	0,34
4,2	30,06	29,85	60,91	10,86	50,13	0,169	0,149	0,218	0,33	0,37
4,2	55,04	29,85	85,91	27,36	58,65	0,11	0,149	0,216	0,33	0,39
4,2	105	29,85	135,91	60,53	75,51	0,052	0,149	0,211	0,33	0,46
4,2	155,03	29,85	185,89	91,88	94,19	0,028	0,155	0,206	0,43	0,53
4,2	205,02	29,85	235,86	121,93	114,26	0,015	0,160	0,201	0,52	0,60
4,2	255,01	29,85	285,82	150,98	135,34	0,007	0,163	0,197	0,57	0,65
4,2	379,96	29,85	408,21	221,22	188,94	-0,001	0,167	0,190	0,64	0,75
9,2	30,11	44,85	75,87	7,77	68,19	0,202	0,149	0,220	0,33	0,34
9,2	55,11	44,85	100,85	23,08	77,93	0,152	0,149	0,217	0,33	0,38
9,2	105,07	44,85	150,85	56,92	94,13	0,088	0,149	0,214	0,33	0,42
9,2	155,04	44,85	200,84	89,81	111,28	0,054	0,149	0,211	0,33	0,46
9,2	205,06	44,85	250,83	121,39	129,72	0,036	0,149	0,207	0,33	0,52
9,2	255,08	44,85	298,26	152,01	149,16	0,025	0,154	0,204	0,42	0,56
9,2	380,82	44,85	421,1	223,94	202,5	0,01	0,163	0,197	0,57	0,65

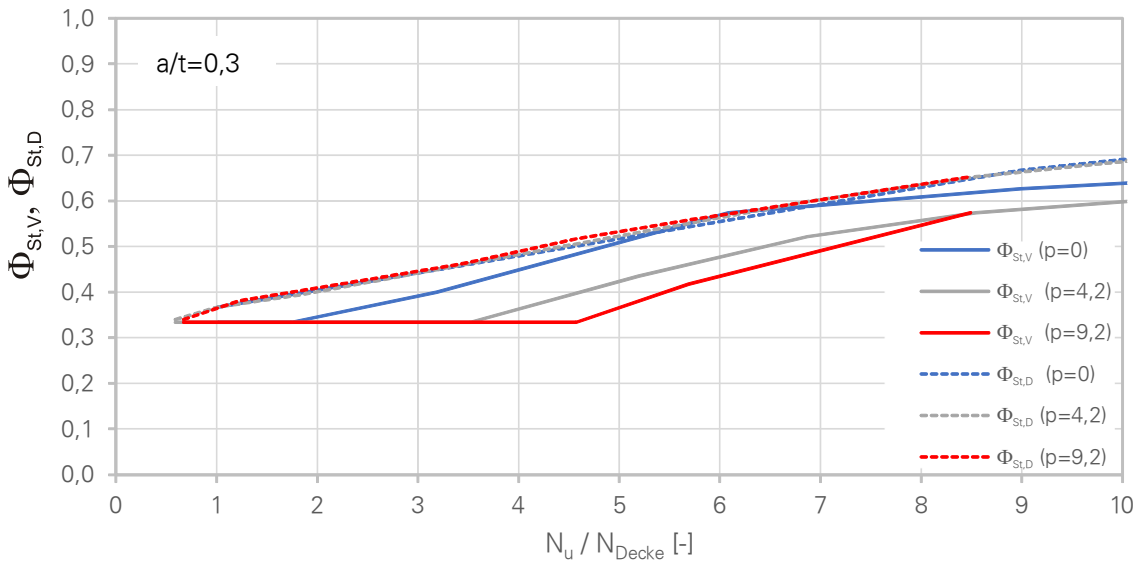


Bild 15 Abminderungsfaktoren für NW am Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager (a=0,3t)

Tabelle 25 Getrennter Nachweis (t=0,49 m; **a=0,4t**; l=6m; E_{De}=15000N/mm²; w=0kN/m²)

$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	e_o	e_V	e_D	$\Phi_{St,V}$	$\Phi_{St,D}$
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	m	-	-
0	17,47	17,25	36,02	2,15	33,84	0,201	0,149	0,212	0,33	0,32
0	29,98	17,25	48,53	9,22	39,29	0,149	0,149	0,211	0,33	0,35
0	54,99	17,25	73,54	25,1	48,39	0,084	0,152	0,205	0,38	0,41
0	105,01	17,25	123,55	55,36	68,16	0,034	0,165	0,196	0,61	0,50
0	155,03	17,25	173,57	83,13	90,44	0,017	0,168	0,186	0,66	0,60
0	205,05	17,25	223,58	109,25	114,3	0,008	0,170	0,178	0,70	0,68
0	255,07	17,25	273,6	134,84	138,33	0,003	0,171	0,173	0,71	0,73
0	380,11	17,25	398,65	198,73	198,51	-0,004	0,173	0,166	0,75	0,81
4,2	17,48	29,85	48,77	0,37	48,37	0,224	1,105	0,212	16,96	0,29
4,2	29,98	29,85	61,28	5,06	56,17	0,197	0,149	0,212	0,33	0,31
4,2	55	29,85	86,29	18,39	67,86	0,144	0,149	0,211	0,33	0,35
4,2	105,02	29,85	136,3	50,36	85,9	0,075	0,149	0,205	0,33	0,41
4,2	155,04	29,85	186,32	80,75	105,53	0,045	0,157	0,199	0,47	0,47
4,2	205,06	29,85	236,34	109,58	126,73	0,029	0,162	0,193	0,56	0,53
4,2	255,08	29,85	286,35	136,94	149,4	0,019	0,165	0,187	0,61	0,59
4,2	380,12	29,85	411,39	202,05	209,03	0,007	0,168	0,176	0,66	0,70
9,2	29,99	44,85	76,28	2,52	73,7	0,222	0,149	0,212	3,90	0,29
9,2	55	44,85	101,29	13,18	88,04	0,183	0,149	0,212	0,33	0,32
9,2	105,02	44,85	151,3	42,9	108,35	0,118	0,149	0,209	0,33	0,37
9,2	155,04	44,85	201,32	74,7	126,56	0,078	0,149	0,205	0,33	0,41
9,2	205,06	44,85	251,34	105,44	145,83	0,054	0,150	0,201	0,35	0,45
9,2	255,08	44,85	301,35	134,96	166,34	0,039	0,156	0,197	0,45	0,49
9,2	380,13	17,25	423,95	204,1	222,31	0,02	0,163	0,187	0,57	0,59

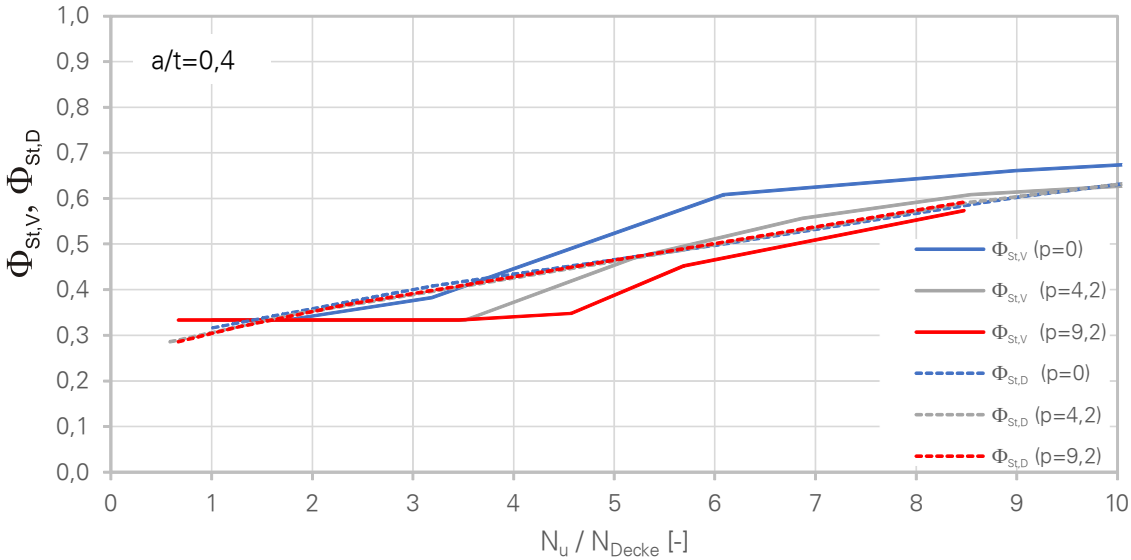


Bild 16 Abminderungsfaktoren für NW am Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager (a=0,4t)

Tabelle 26 Getrennter Nachweis (t=0,49 m; **a=0,5t**; l=6m; E_{De}=15000N/mm²; w=0kN/m²)

$p_{De,d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	e_o	e_V	e_D	$\Phi_{St,V}$	$\Phi_{St,D}$
kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	m	-	-
0	17,49	17,25	36,29	0,2	36,08	0,212	0,149	0,204	0,33	0,29
0	29,97	17,25	48,78	4,9	43,87	0,176	0,149	0,204	0,33	0,32
0	54,94	17,25	73,76	20,15	53,6	0,103	0,152	0,198	0,38	0,38
0	104,91	17,25	123,75	49,69	74,07	0,045	0,167	0,186	0,64	0,48
0	154,89	17,25	173,73	75,85	97,93	0,024	0,171	0,174	0,71	0,58
0	204,86	17,25	223,7	99,97	123,91	0,014	0,172	0,164	0,73	0,66
0	254,85	17,25	273,67	123,33	150,23	0,008	0,173	0,157	0,75	0,72
0	379,82	17,25	398,62	181,68	216,08	0,001	0,174	0,148	0,77	0,79
4,2	30,02	29,85	61,5	0,25	61,24	0,218	2,047	0,204	0,33	0,29
4,2	54,98	29,85	86,47	11,36	75,11	0,168	0,149	0,204	0,33	0,32
4,2	104,93	29,85	136,45	41,72	94,75	0,093	0,149	0,198	0,33	0,38
4,2	154,89	29,85	186,44	71,57	114,91	0,056	0,160	0,190	0,52	0,45
4,2	204,88	29,85	236,42	99,17	137,33	0,037	0,165	0,183	0,61	0,51
4,2	254,86	29,85	286,4	124,88	161,63	0,026	0,167	0,175	0,64	0,57
4,2	379,8	29,85	411,34	184,89	226,6	0,012	0,171	0,161	0,71	0,69
9,2	55,04	44,85	101,41	5,02	96,4	0,205	0,149	0,204	0,33	0,29
9,2	104,97	44,85	151,38	31,05	120,37	0,14	0,149	0,203	0,33	0,34
9,2	154,93	44,85	201,36	62,18	139,24	0,094	0,149	0,198	0,33	0,38
9,2	204,89	44,85	251,36	92,35	159,09	0,067	0,152	0,193	0,38	0,42
9,2	254,88	44,85	301,35	120,95	180,51	0,049	0,159	0,188	0,50	0,47
9,2	379,81	44,85	426,31	186,52	239,98	0,026	0,166	0,175	0,63	0,57
9,2	404,8	44,85	448,18	198,88	252,64	0,025	0,166	0,173	0,63	0,59
9,2	429,79	44,85	473,29	211,02	265,51	0,022	0,167	0,171	0,64	0,60
9,2	454,78	44,85	498,56	222,91	278,69	0,02	0,168	0,169	0,66	0,62
9,2	504,76	44,85	547,97	246,28	305,42	0,017	0,169	0,165	0,68	0,65

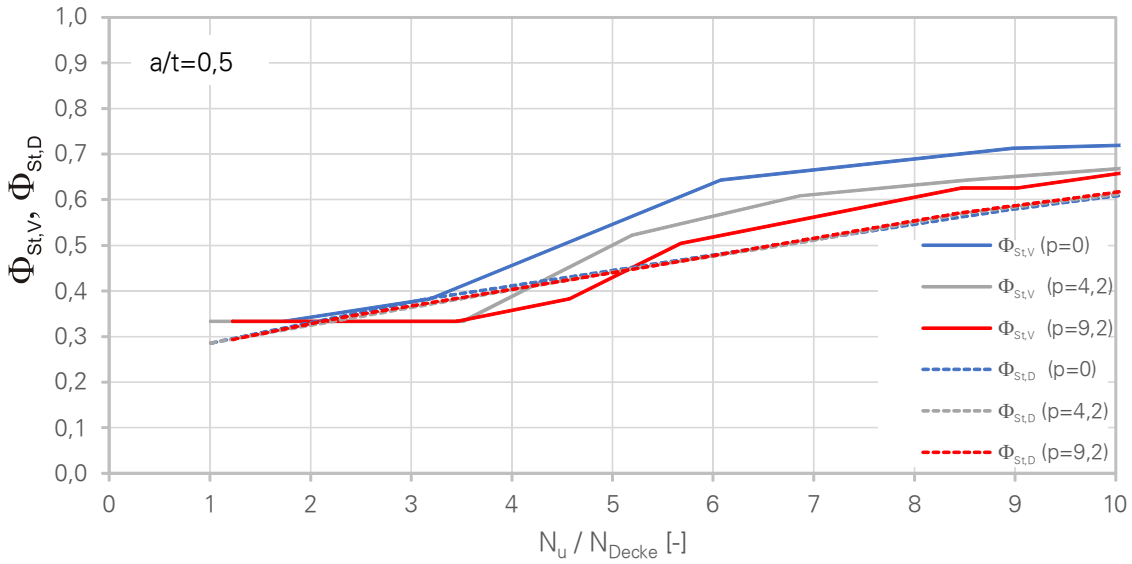


Bild 17 Abminderungsfaktoren für NW am Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager (a=0,5t)

1.4. Parameterstudien

1.4.1. Allgemeines

Weitere Werte mit Wind wurden an einer Wand der Dicke von 400 mm ermittelt. Die variierten Größen stellen sich wie folgt dar:

- Deckenlänge: 4,00 / 6,00 m,
- E-Modul Decke: 15000 / 30000 N/mm²,
- Wind: -1,35 / +1,35 kN/m²,
- Wandhöhe: 2,75 / 3,00 / 3,25 m.

Nachfolgend sind die Ergebnisse in Auszügen aufgeführt. Die Werte können direkt für den Nachweis benutzt werden.
Für alle anderen Wanddicken sind vorerst keine Daten ermittelt worden hierbei kann aber analog vorgegangen werden. Es ist davon auszugehen, dass sich vergleichbare Tendenzen ergeben.

In Kap. 2 wird die Anwendung an zwei Beispielen demonstriert.

1.4.2. Auszug aus den Berechnungsergebnissen

Tabelle 27 Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,4 m; E=15000N/mm²; w=-1,35kN/m²; h=3,25m)

			a/t = 0,3				a/t = 0,5			
l	$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	e_V	e_D	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	e_V	e_D
m	kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	kN/m	kN/m	m	m
4	0	16,1	12,92	13,97	0,129	0,167	10,53	16,74	0,131	0,158
4	0	28,6	20,6	18,84	0,127	0,161	17,35	22,43	0,129	0,150
4	0	53,6	34,78	29,39	0,127	0,154	29,75	35,06	0,129	0,135
4	0	103,6	62,33	51,26	0,128	0,148	52,78	61,68	0,130	0,121
4	0	153,6	89,82	73,19	0,129	0,146	75,67	88,41	0,131	0,115
4	0	203,6	117,29	95,14	0,129	0,145	98,56	115,14	0,131	0,113
4	0	253,6	144,75	117,1	0,130	0,144	121,45	141,88	0,132	0,111
4	0	375,8	212,94	172,47	0,131	0,143	178,69	208,72	0,132	0,108
4	4,2	16,1	13,45	21,93	0,128	0,171	8,98	26,78	0,128	0,163
4	4,2	28,6	21,49	26,41	0,124	0,168	16,51	31,75	0,125	0,158
4	4,2	53,6	36,57	36,43	0,123	0,162	30,3	42,96	0,125	0,150
4	4,2	103,6	64,71	57,74	0,125	0,154	54,84	68,5	0,127	0,134
4	4,2	153,6	92,26	79,59	0,126	0,150	77,87	95,14	0,128	0,125
4	4,2	203,6	119,75	101,52	0,127	0,148	100,76	121,85	0,129	0,120
4	4,2	253,6	147,23	123,45	0,127	0,147	123,66	148,58	0,130	0,117
4	4,2	376,0	215,18	179,03	0,129	0,145	180,9	215,4	0,131	0,113
4	9,2	16,1	13,39	32	0,128	0,172	7,54	38,21	0,127	0,165
4	9,2	28,6	21,89	36,01	0,122	0,170	14,93	43,32	0,118	0,163
4	9,2	53,6	37,95	45,02	0,119	0,166	29,58	53,66	0,120	0,157
4	9,2	103,6	67,18	65,7	0,121	0,159	56,1	77,15	0,123	0,146
4	9,2	153,6	95,07	87,2	0,123	0,154	80,26	103,1	0,125	0,136
4	9,2	203,6	122,63	109,04	0,124	0,151	103,36	129,75	0,126	0,129
4	9,2	253,6	150,14	130,94	0,125	0,150	126,27	156,45	0,127	0,124
4	9,2	376,6	217,6	186,98	0,128	0,147	183,46	223,31	0,129	0,118
6	0	16,1	11,75	22,49	0,114	0,175	6,84	27,84	0,116	0,167
6	0	28,6	20,14	26,61	0,114	0,173	13,79	33,38	0,111	0,164
6	0	53,6	35,53	36,25	0,116	0,168	27,98	44,18	0,118	0,157
6	0	103,6	64,12	57,6	0,120	0,158	53,73	68,45	0,123	0,144
6	0	153,6	91,65	79,46	0,123	0,153	77,27	95,02	0,125	0,133
6	0	203,6	118,99	101,51	0,124	0,151	100,02	121,87	0,127	0,126
6	0	253,6	146,32	123,59	0,125	0,149	122,73	148,76	0,128	0,122
6	0	375,8	213,75	179,66	0,129	0,146	179,51	216,02	0,130	0,116
6	4,2	16,1	10,89	36,11	0,104	0,176	4,73	42,68	0,104	0,167
6	4,2	28,6	19,6	39,92	0,104	0,175	10,76	49,14	0,104	0,167
6	4,2	53,6	36,12	48,41	0,104	0,172	24,68	60,22	0,104	0,164
6	4,2	103,6	66,4	68,24	0,112	0,166	52,68	82,21	0,113	0,156
6	4,2	153,6	95,03	89,75	0,116	0,161	78,52	106,38	0,118	0,148
6	4,2	203,6	122,74	111,41	0,118	0,157	102,83	132,1	0,121	0,141
6	4,2	253,6	150,15	133,38	0,120	0,154	126,19	158,9	0,123	0,135
6	4,2	376,0	215,03	190,69	0,127	0,150	182,77	226,44	0,126	0,125
6	9,2	16,1	10,26	51,73	0,104	0,177	2,83	59,56	0,104	0,167
6	9,2	28,6	18,24	56,27	0,104	0,176	8,89	65,99	0,104	0,167
6	9,2	53,6	34,88	64,66	0,104	0,174	21,17	78,7	0,104	0,167
6	9,2	103,6	67,76	81,84	0,104	0,170	49,63	100,23	0,104	0,162
6	9,2	153,6	97,62	102,12	0,108	0,166	77,06	122,8	0,109	0,156
6	9,2	203,6	126,21	123,73	0,112	0,162	103,2	146,67	0,114	0,151
6	9,2	253,6	153,48	146,12	0,116	0,159	128,12	171,78	0,117	0,146
6	9,2	376,6	216,65	202,52	0,126	0,152	185,54	238,63	0,123	0,134

Tabelle 28 Auszug Ergebnisse numerische Parameterstudie (t=0,4 m; E=30000N/mm²; w=-1,35kN/m²; h=3,25m)

			a/t = 0,3				a/t = 0,5			
l	$p_{De.d}$	$N_{u,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	e_V	e_D	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	e_V	e_D
m	kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	m	m	kN/m	kN/m	m	m
6	0	16,1	13,99	20,29	0,130	0,165	10,67	24,01	0,128	0,157
6	0	28,6	21,82	25	0,126	0,162	17,63	29,55	0,126	0,153
6	0	53,6	36,37	35,23	0,124	0,156	30,6	41,6	0,126	0,144
6	0	103,6	63,98	57,04	0,126	0,150	54,09	68,04	0,127	0,129
6	0	153,6	91,29	79,13	0,127	0,148	76,82	94,92	0,129	0,121
6	0	203,6	118,59	101,25	0,128	0,146	99,5	121,85	0,130	0,117
6	0	253,6	145,88	123,37	0,129	0,145	122,19	148,79	0,130	0,115
6	0	375,8	213,64	179,15	0,130	0,144	178,9	216,13	0,131	0,111
6	4,2	16,1	14,65	32,37	0,131	0,168	9,57	37,86	0,122	0,161
6	4,2	28,6	23,19	36,37	0,123	0,166	16,93	43	0,119	0,159
6	4,2	53,6	38,77	45,88	0,120	0,162	30,92	54	0,120	0,153
6	4,2	103,6	67,28	66,87	0,122	0,155	56,35	78,58	0,123	0,143
6	4,2	153,6	94,9	88,65	0,123	0,152	79,99	105,07	0,125	0,133
6	4,2	203,6	122,23	110,72	0,125	0,150	102,77	131,9	0,126	0,127
6	4,2	253,6	149,55	132,82	0,126	0,148	125,47	158,81	0,127	0,123
6	4,2	376,0	216,85	189,01	0,129	0,146	182,16	226,16	0,129	0,117
6	9,2	16,1	14,54	47,47	0,138	0,168	8,62	53,8	0,119	0,163
6	9,2	28,6	23,96	50,59	0,122	0,168	15,87	59,04	0,108	0,161
6	9,2	53,6	40,86	58,79	0,115	0,165	30,58	69,33	0,111	0,158
6	9,2	103,6	70,61	78,99	0,117	0,160	57,34	92,57	0,117	0,150
6	9,2	153,6	98,8	100,21	0,119	0,156	82,42	117,51	0,120	0,143
6	9,2	203,6	126,45	121,95	0,121	0,153	106,25	143,79	0,122	0,137
6	9,2	253,6	153,85	143,96	0,123	0,151	129,31	170,65	0,124	0,131
6	9,2	376,6	220,07	201,03	0,128	0,148	185,75	238,21	0,127	0,123

2. Beispielhafte Anwendung

2.1. Ausgangslage

Gegeben: WDK mit Wanddicke t, Wandhöhe h_W
Auflagertiefe a, E-Modul Decke E_{De}, Länge der Decke l_{Decke}

Belastung: Normalkraft in der oberen Wand N_u
Auflagerkraft Decke $N_{De,d}$ aus Deckenbelastung $q_{De,d}$
zusätzliche horizontale Belastungen z.B. aus Wind

gesucht: Lastaufteilung zwischen Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager (N_V, N_D)
Lastausmitten für den Nachweis

Lösung: Mit $N_{u,d}$ und $p_{De,d}$ können die erforderlichen Werte direkt aus den Tabellen abgelesen werden. Zwischenwerte sind zu interpolieren. Alternativ lassen sich die Abminderungsfaktoren auch in Form von Diagrammen darstellen.

2.1.1. Beispiel 1

Tabelle 29 Eingangsdaten für Beispiel 1

Wanddicke t	0,4 m
Auflagertiefe bei a/t=0,3	0,12 m
Dicke Deckenabmauerungsstein t_V	0,115 m
Lichte Wandhöhe	3 m
Deckenlänge l	6 m
Elastizitätsmodul der Decke E_{De}	15000 N/mm² (gerissen)
Deckendicke h_D	0,23 m
Ausbaulast Decke $g_{Ab,k}$	2 kN/m²
Verkehrslast $p_{De,p,k}$	3 kN/m²
$g_{Ab,d} + p_{De,p,d}$	2·1,35+3·1,5=7,2 kN/m²
$q_{De,d}$ (Bemessungswert)	0,23·25·1,35+2·1,35+3·1,5=14,96=15 kN/m²
Auflagerkraft N_{De}	45 kN/m
Wind w_k	0 kN/m²
Normalkraft $N_{u,d}$ in der oberen Wand	103,6 kN/m
$N_{u,d}$ / $N_{De,d}$	2,3
resultierende Normalkraft am Wandkopf $N_{o,d}$	103,6 + 45 + EG Deckenabmauerungsstein ≈ 149 kN/m
Steindruckfestigkeit f_b	2,19 N/mm²
experimentell best. Traglast $N_{R,exp}$	148,22 kN/m (Bild A 74 im Anhang)

a) Gemeinsamer Nachweis
Nach 1.2, Tabelle 2

$p_{De,d}$	$N_{u,d}$	$N_{De,d}$	$N_{o,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	b_V	b_D	σ_V	σ_D
9,2	103,6	44,85	149,43	64,77	84,9	0,038	0,060	1,69	1,41

$$\Phi_{St} = \frac{N_{V,d} + N_{D,d}}{max\ \sigma \cdot t} = \frac{(64{,}77 + 84{,}9) \cdot 10^{-3}}{1{,}69 \cdot 0{,}4} = 0{,}221 \quad (7)\ .$$

$$N_R = \Phi_{St} \cdot f_b \cdot t = 0{,}221 \cdot 2{,}19 \cdot 0{,}4 = 193{,}5 \frac{kN}{m} > N_{o,d} = 149\ \mathrm{kN/m} \quad (8)$$

b) Getrennter Nachweis von Deckenauflager und Deckenabmauerungsstein

Aus Tabelle 14 ergeben sich für den getrennten Nachweis folgende Werte:

l	$p_{De,d}$	$N_{u,d}$	$N_{V,d}$	$N_{D,d}$	$e_{V,d}$	$e_{D,d}$
6	9,2	103,6	64,77	84,9	0,104	0,170

Der Nachweis lautet

$$N_{R,V} = \Phi_{St,V} \cdot f_b \cdot t_V = 0{,}33 \cdot 2{,}19 \cdot 0{,}115 = 83\ kN/m > N_{V,d} = 64{,}7\ kN/m \quad (9)$$

bzw.

$$N_{R,D} = \Phi_{St,D} \cdot f_b \cdot a = 0{,}5 \cdot 2{,}19 \cdot 0{,}12 = 131{,}4\ kN/m > N_{D,d} = 84{,}9\ kN/m \quad (10)$$

Die Laststufe lässt sich mit den angeführten Verfahren nachweisen. Für eine praktische Anwendung ist der Teilsicherheitsbeiwert auf der Materialseite mit zu berücksichtigen.

VERWENDETE FORMELZEICHEN

EINLAGE ZUM

ABSCHLUSSBERICHT

TITEL: **Energetische und mechanische Optimierung des Anschlusses der Decke an monolithische Außenwände aus Mauerwerk mit Passivhausstandard**

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

Aktenzeichen: SF – 10.08.18.7-11.11 / II3 – F20-10-1-052

Weitere Angaben zur Forschenden Stelle und zur Mitfinanzierung sind auf dem Titelblatt des Hauptteils zu finden.

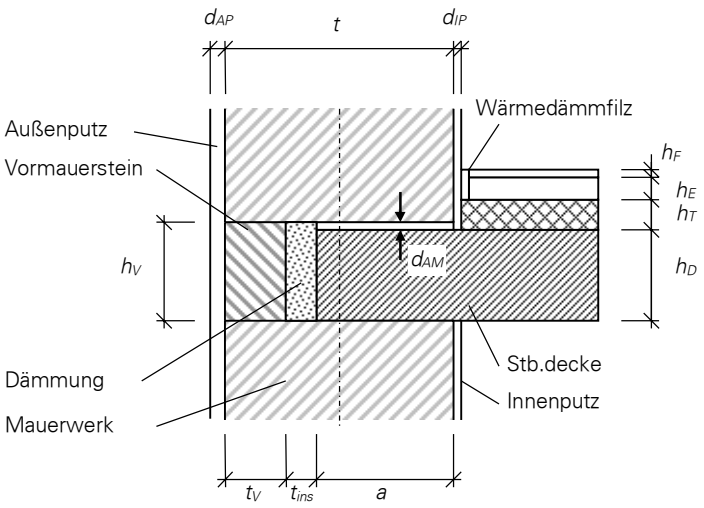
PROJEKTLEITER: Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger

BEARBEITER: Dr.-Ing. habil. Sebastian Ortlepp

STAND/DATUM: 31. März 2015 / 28.06.2015

1. Schnittgrößen für Nachweisführung

Im Kap. 4 werden **verschiedene Wandsysteme** betrachtet. Die dabei verwendeten Variablen zeigt Bild 1.

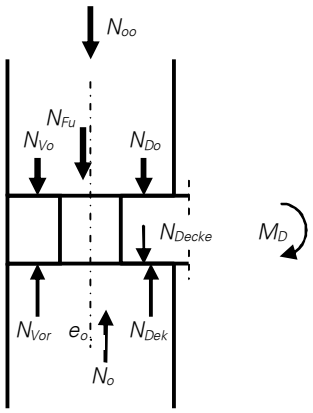


Dabei sind:

t	Wanddicke
d_{AP}	Dicke Außenputz
d_{IP}	Dicke Innenputz
d_{AM}	Höhe Ausgleichsschicht
a	Deckenauflagertiefe
t_{ins}	Dicke Wärmedämmung
t_V	Dicke Deckenabmauerungsstein
h_V	Höhe Deckenabmauerungsstein
h_D	Höhe Stahlbetondecke
h_T	Höhe Trittschalldämmung
h_E	Höhe Estrich
h_F	Höhe Fußbodenbelag

Bild 1 Prinzipielle Knotenausbildung in den thermischen Untersuchungen

Bild 2 zeigt die Definition der verwendeten **Schnittgrößen** und Lasten am Wand-Decken-Knoten (WDK) aus dem Kapitel 4.2 für die theoretische Bestimmung der Lastspreizung.



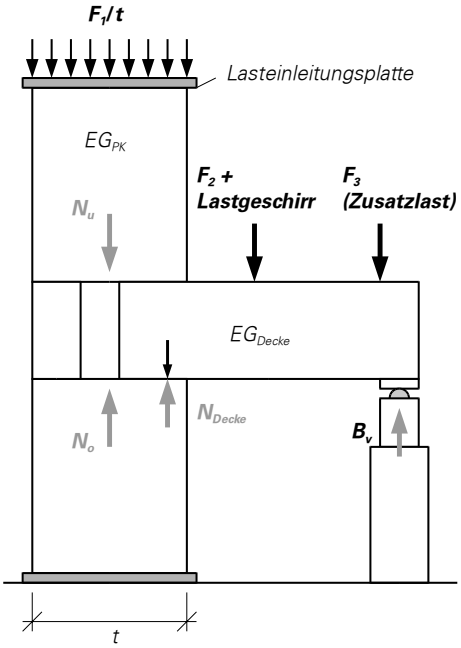
Dabei sind:

N_{oo}	Auflast am Kopf des FE-Modells,
N_{Fu}	Normalkraft in der oberen Wand (Wandfuß); Wandauflast,
N_{Vo}	Anteil Last Deckenabmauerungsstein (Wandfuß),
N_{Do}	Anteil Last Deckenauflager (Wandfuß),
N_{Decke}	Deckenauflagerkraft aus Deckenbelastung,
N_o	resultierende Kraft am Wandkopf,
e_o	Ausmitte von N_o,
N_{Vor}	über Deckenabmauerungsstein übertragene Last ($N_{Vo} \approx N_{Vor}$),
N_{Dek}	über Auflager übertr. Last ($N_{Dek} = N_{Do} + N_{Decke}$),
M_D	Deckeneinspannmoment.

Bild 2 Schnittgrößen und Lasten am WDK

Im Kapitel 5.2.2 und ff sind die **Auswertungen der experimentellen Untersuchungen** dargestellt. Die Bruchlast F_{Bruch} ergibt sich aus der Summe der experimentell ermittelten maximalen Auflast F_1, der Deckenauflagerkraft N_{Decke} und der Eigenlast der oberen Prüfkörperhälfte EG_{PK} inklusive der Lasteinleitungsplatte EP_{LE} (siehe Bild 3). Die Bruchlast wird für die weiteren Betrachtungen mit der resultierenden Normalkraft am Wandkopf N_o gleichgesetzt. Es gilt:

$$F_{Bruch} = N_o \approx N_u + N_{Decke} = F_1 + EG_{PK} + EG_{LE} + N_{Decke}. \quad (1)$$



Dabei sind:

F_1	Auflast am Wandkopf (Flächenlast),
F_2	Deckenauflast (Streckenlast); Eigengewicht Lastgeschirr zur Lasteinleitung,
F_3	Zusatzlast (Sicherstellung Kontakt Decke – Auflager; kein Kragarm),
B_v	knotenabseitige Auflagerkraft,
N_{Decke}	Deckenauflagerkraft aus Deckenlast,
EG_{Decke}	Eigengewicht der Deckenplatte,
EG_{PK}	Eigengewicht Prüfkörper,
EG_{LE}	Eigengewicht Lasteinleitungsplatten bzw. Lastgeschirr,
N_u	Normalkraft am Wandfuß,
N_o	resultierende Last am Wandkopf (Bruchlast),

Bild 3 Schematische Darstellung des Versuchsaufbaues mit Lasten, Auflager- und Schnittkräften

In den Diagrammen in den Kapiteln 5.2 bis 5.6 bedeuten „De“ Lastanteil des Deckenauflagers und „Vm“ Lastanteil über den Deckenabmauerungsstein.

Bei den **Versuchsnachrechnungen** im Kap. 6 wurden Schnittgrößen und Lastausmitten berechnet (Bild 4).

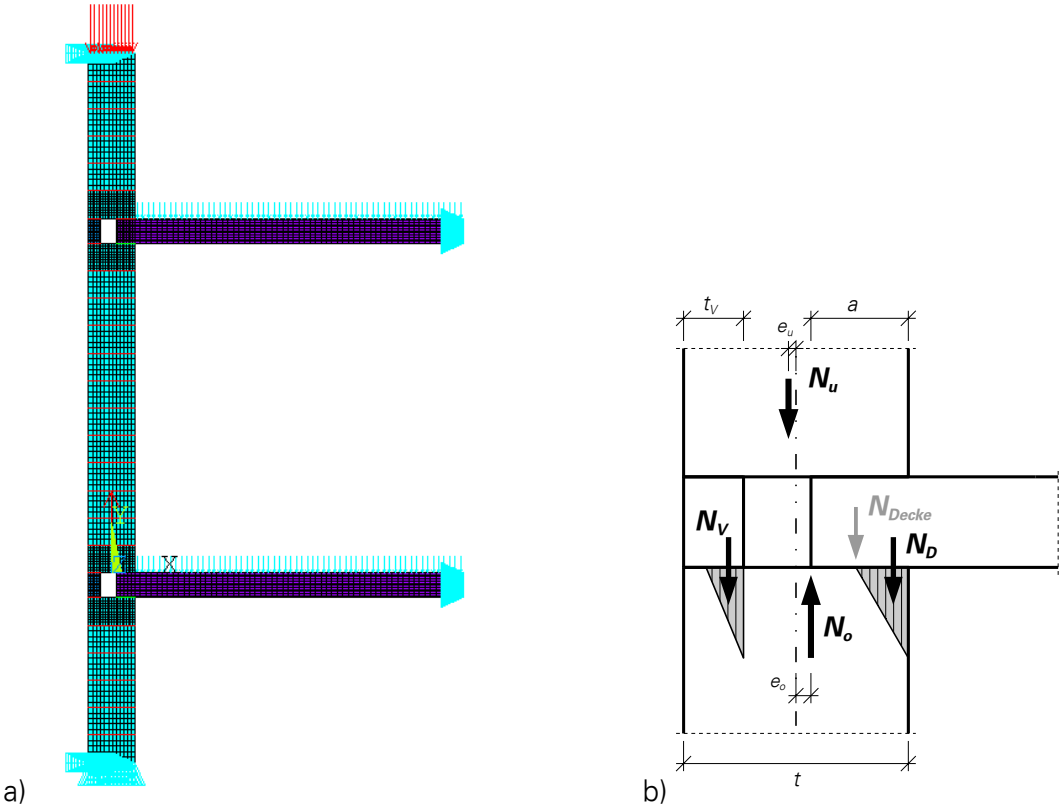


Bild 4 *a) Modellierung der Belastung und der Lagerung in der numerischen Simulation; b) Schnittgrößen am WDK*

Die in dem Beiblatt verwendeten Bezeichnungen in Tabellen und Formeln für den **gemeinsamen Nachweis** sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1 Übersicht der Bezeichnungen und Parameter, siehe Bild 5 und Bild 6

Eingabewerte:

p_{De}: gleichmäßig verteilte Flächenlast auf der Deckenplatte ohne Deckeneigengewicht (Ausbaulast und veränderliche Last)

g_{De}: Eigengewicht der Deckenplatte

g_{Ab}: Ausbaulast der Decke

$p_{De,p}$: gleichmäßig verteilte veränderliche Flächenlast auf der Decke (Verkehrslast)

q_{De}: Gleichmäßig verteilte Gesamtlast auf der Decke

N_u: Kraft am Fußpunkt der oberen Wand aus den oberen Geschossen

N_{Decke}: Kraft aus dem Deckenauflager (Querkraft der Deckenplatte am Auflager)

N_o: Gegenkraft am Wandkopf der unteren Wand (= N_V + N_D)

Ablesewerte:

N_V: Kraftanteil unter dem Deckenabmauerungsstein

N_D: Kraftanteil unter dem Deckenauflager

Φ_{St}: Abminderungsfaktor zur Tragfähigkeit bezogen auf den Gesamtquerschnitt (N_R=Φ_{St}·f·t)

mit:

t: Wanddicke

f: maßgebende Materialfestigkeit (für den Nachweis im Rahmen der Anwendung ist f_d zu verwenden)

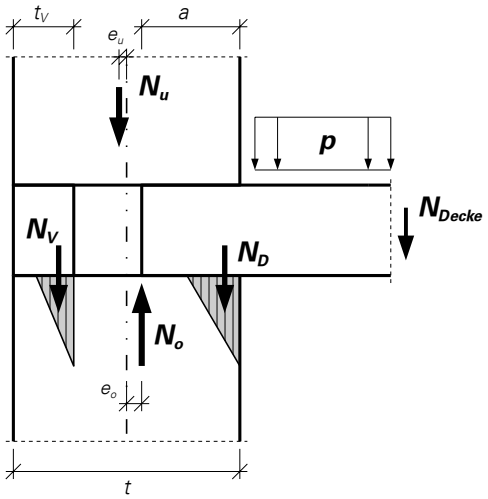


Bild 5 Schnittgrößen und Lastausmitten am WDK - beim gemeinsamen Nachweis

Der Nachweis ist wie folgt definiert:

$$N_o \leq N_R = \Phi_{St} \cdot f \cdot t \quad \text{mit} \tag{2}$$

$$\Phi_{St} = \frac{N_V + N_D}{max\ \sigma \cdot t}. \tag{3}$$

Die in dem Beiblatt verwendeten Bezeichnungen in Tabellen und Formeln für den **getrennten Nachweis** sind in sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2 Übersicht der Bezeichnungen und Parameter, siehe Bild 6

Eingabewerte:

p_{De}: gleichmäßig verteilte, veränderliche Flächenlast (Verkehrslast) auf der Deckenplatte ohne Deckeneigengewicht und ohne Ausbaulast

g_{De}: Eigengewicht der Deckenplatte

g_{Ab}: Ausbaulast der Decke

$p_{De,p}$: gleichmäßig verteilte veränderliche Flächenlast auf der Decke (Verkehrslast)

q_{De}: Gleichmäßig verteilte Gesamtlast auf der Decke

N_u: Kraft am Fußpunkt der oberen Wand aus den oberen Geschossen

N_{Decke}: Kraft aus dem Deckenauflager (Querkraft der Deckenplatte am Auflager)

N_o: Gegenkraft am Wandkopf der unteren Wand (= N_V + N_D)

Ablesewerte, aus FE-Rechnung bestimmt:

N_V: Kraftanteil unter dem Deckenabmauerungsstein

N_D: Kraftanteil unter dem Deckenauflager

e_0: Lastaußermitte am Kopf der unteren Wand

e_V: Außermitte der Kraft aus dem Deckenabmauerungsstein

e_D: Außermitte der Kraft aus dem Deckenauflager

$\Phi_{St,V}$: Abminderungsfaktor zur Tragfähigkeit bezogen auf die Dicke des Deckenabmauerungssteins ($N_{R,V}=\Phi_{St,V}\cdot f\cdot t_V$)

$\Phi_{St,D}$: Abminderungsfaktor zur Tragfähigkeit bezogen auf das Deckenauflager ($N_{R,D,}=\Phi_{St,D}\cdot f\cdot a$)

mit:

t_V: Dicke Deckenabmauerungsstein

a: Deckenauflagerlänge

f: maßgebende Materialfestigkeit (für den Nachweis ist f_d zu verwenden)

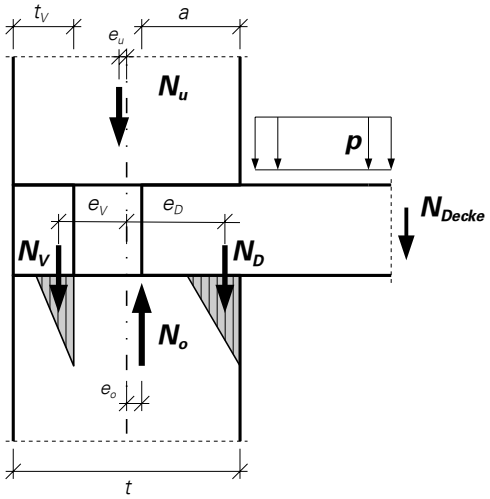


Bild 6 Schnittgrößen und Lastausmitten am WDK – beim getrennten Nachweis

Der getrennte Nachweis für Deckenabmauerungsstein und Deckenauflager ist in den nachfolgenden Gleichungen Gl. (4) und (5) angegeben.

$$N_V \leq N_{R,V} = \Phi_{St,V} \cdot f \cdot t_{V.} \quad (4)$$

$$N_D \leq N_{R,D} = \Phi_{St,D} \cdot f \cdot a \quad (5)$$