

**Ausfachungsflächen windbean-
spruchter Mauerwerkswände unter
Berücksichtigung der Windlasten nach
DIN 1055-4:2005**

T 3241

T 3241

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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.

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

2010

ISBN 978-3-8167-8350-3

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

Ausfachungsflächen windbeanspruchter Mauerwerkswände unter Berücksichtigung der Windlasten nach DIN 1055-4:2005

TU Darmstadt, Fachgebiet Massivbau, Univ.-Prof. Dr.-Ing. C.-A. Graubner



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Forschungsbericht F05-9-2009



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Prof. Dr.-Ing. C.-A. Graubner
Institut für Massivbau

Fachgebiet Massivbau

Fachbereich 13
Bauingenieurwesen
und Geodäsie

Petersenstr. 12
64287 Darmstadt
Telefon (06151) 16 2144
Telefax (06151) 16 3044
graubner@massivbau.tu-darmstadt.de

Forschungsbericht

F05-9-2009

Projekt **Ausfachungsflächen windbeanspruchter Mauerwerkswände
unter Berücksichtigung der Windlasten nach DIN 1055-4:2005**

Berichtszeitraum 01.01.2009-18.11.2009

beauftragt durch Deutsches Institut für Bautechnik
Dr.-Ing. Roland Hirsch
Kolonnenstr. 30 L
10829 Berlin

ausführende Stellen Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Massivbau,
Sachbearbeiter: Dipl.-Ing. Annette Jarosch

Darmstadt, 18.11.2009

Univ.-Prof. Dr.-Ing. C.-A. Graubner

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Materialeigenschaften biegebeanspruchter Wände	6
2.1	Allgemeine Grundlagen	6
2.2	Materialkenngrößen für das Berechnungsmodell.....	7
3	Berechnungsmodell	8
3.1	Nichtlineare Berechnungsmethode	8
3.2	Randbedingungen der Bruchlinientheorie.....	9
3.3	Berechnungsmodell nach [1] für biegebeanspruchte nichttragende Mauerwerkswände	10
3.4	Vereinfachtes Nachweismodell.....	12
4	Bemessung von Ausfachungswänden	14
4.1	Ausgangssituation.....	14
4.2	Bemessungskonzept.....	15
4.3	Vergleich der Ausfachungsflächen	17
4.4	Tabellarische Darstellung der zulässigen Ausfachungsflächen	20
5	Zusammenfassung	21
	Literaturverzeichnis.....	22
	Anhang A – Ausfachungsflächen für allseits gelenkig gelagerte nichttragende Außenwände.....	23
	Anhang B – Ausfachungsflächen für seitlich eingespannte nichttragende Außenwände.....	29

1 Einleitung

Nichttragende Wände dienen in der Regel dem Raumabschluss, wobei die Abtragung der senkrecht zur Wandebene wirkenden Beanspruchungen vielfach über eine vierseitige Auflagerung der Wandkanten erfolgt. Die Festhaltung der Wandränder wird durch eine gelenkige oder eine einspannende Verbindung an die angrenzenden Bauteile (Decken, Querwände, aussteifende Stützen) gewährleistet.

Nichttragende Außenwände werden überwiegend infolge von Einwirkungen aus Wind beansprucht und als Ausfachungswände bezeichnet. Nach DIN 1053-100 kann auf einen statischen Nachweis windbeanspruchter nichttragender Außenwände verzichtet werden, wenn die Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Nachweisverfahrens nach DIN 1053-100 gegeben sind und die Bedingungen nach DIN 1053-1:1996 Tabelle 9 eingehalten werden.

Im Hinblick auf die neu eingeführte Windlastnorm DIN 1055-4:2005 sind die Randbedingungen zur Anwendung der derzeit verfügbaren Bemessungshilfsmittel nur noch bedingt gültig. Insbesondere ergeben sich durch die Einführung verschiedener Windlastzonen (siehe *Tabelle 1*) vielfach erhöhte Windbeanspruchungen, so dass die vorhandenen Angaben zu den zulässigen Ausfachungsflächen nach DIN 1053-1 einer Überprüfung bedürfen. Das Ziel dieser Untersuchung besteht daher darin, für ausgewählte Lagerungsbedingungen und Mauerwerkseigenschaften Angaben für die zulässige Ausfachungsfläche nichttragender Außenwände zu entwickeln und die Ergebnisse in Form von Tabellen zur Verfügung zu stellen.

Grundlage dieser Forschungsarbeit sind Forschungsergebnisse zum Tragverhalten von nichttragenden Wänden an der TU Darmstadt, welche im Rahmen einer Dissertation (siehe [1]) unter Betreuung des Erstverfassers dieses Forschungsberichtes am Fachgebiet Massivbau erarbeitet wurden. Mit dem entwickelten Nachweisverfahren kann für windbeanspruchte Ausfachungsflächen die aufnehmbare Windeinwirkung in Abhängigkeit der Lagerungsart, der Wandabmessungen sowie weiterer Materialkenngrößen bestimmt und in Form von Traglastfaktoren angegeben werden. Durch Anwendung der entwickelten Nachweismethodik ist es ebenfalls möglich bei vorgegebenen Randbedingungen (Lagerungsart, Wandabmessung, Materialeigenschaften) und gegebener Windeinwirkung die maximal mögliche Ausfachungsfläche windbeanspruchter Außenwände zu bestimmen und in Tabellenform aufzubereiten.

Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens ermöglichen eine Aussage darüber, welche Randbedingungen (Gebäudehöhe, Windlastzone) und welche Festlegungen auf der Materialseite für die zulässigen Ausfachungsflächen nach Tab. 9 von DIN 1053-1 zugrunde liegen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass für die Berechnung der Ausfachungsflächen stets bestimmte Annahmen, z.B. zum anzusetzenden Teilsicherheitsbeiwert auf der Einwirkungs- und der Widerstandsseite erforderlich sind. Diese beeinflussen die Ergebnisse signifikant, so dass die diesbezüglichen Auswirkung bei dem Vergleich der unterschiedlichen Ansätze zu berücksichtigen sind.

Tabelle 1 zeigt die nach DIN 1055-4 anzusetzenden Windeinwirkungen in Abhängigkeit der neu definierten Windlastzonen und der Gebäudehöhe über Gelände. Bis zum Jahre 2005 war eine derartige Differenzierung der Windeinwirkung normativ nicht vorgesehen, sondern die Windlasten wurden lediglich höhenabhängig bestimmt. Vor diesem Hintergrund definiert DIN 1053-1 die zulässigen Ausfachungsflächen lediglich in Abhängigkeit der Gebäudehöhe sowie der Wandabmessungen. Weiterhin beinhaltet die Tabelle 9 von DIN 1053-1 (siehe *Tabelle 2*) keine Abhängigkeit der Größe der zulässigen Ausfachungsfläche von den Materialeigenschaften (Zugfestigkeit senkrecht und parallel zur Lagerfuge) der Wand sowie der konstruktiven Durchbildung (Einfluss der Stoßfugenvermörtelung). Vielmehr wurde seinerzeit bei der Bestimmung der zulässigen Ausfachungsflächen von einer für alle Mauerwerksarten und Stein- Mörtel- Kombinationen einheitlichen Biegezugfestigkeit senkrecht zur Lagerfuge von 0,2 N/mm² ausgegangen und der Berechnung ein isotropes Materialverhalten mit entsprechender Drilltragfähigkeit des Mauerwerks zu Grunde gelegt. Es ist offensichtlich, dass die letztgenannten Einflussgrößen signifikante Auswirkungen auf die Tragfähigkeit von Ausfachungswänden haben und daher beim Nachweis erfasst werden sollten. Neuartiges Mauerwerk – nicht nur aus großformatigen Plansteinen – weist gegenüber den seinerzeitig angenommenen Randbedingungen veränderte Materialeigenschaften auf, weshalb die Überarbeitung der zulässigen Ausfachungsflächen auch vor diesem Hintergrund angebracht ist.

Tabelle 1 Vereinfachte Geschwindigkeitsdrücke für Bauwerke bis 25 m Höhe nach DIN 1055-4:2005

Windzone		Geschwindigkeitsdruck q in kN/m ² bei einer Gebäudehöhe h in den Grenzen von		
		$h \leq 10$ m	$10 \text{ m} < h \leq 18$ m	$18 \text{ m} < h \leq 25$ m
1	Binnenland	0,50	0,65	0,75
2	Binnenland	0,65	0,80	0,90
	Küste und Inseln der Ostsee	0,85	1,00	1,10
3	Binnenland	0,80	0,95	1,10
	Küste und Inseln der Ostsee	1,05	1,20	1,30
4	Binnenland	0,95	1,15	1,30
	Küste der Nord- und Ostsee und Inseln der Ostsee	1,25	1,40	1,55
	Inseln der Nordsee	1,40	–	–

Tabelle 2 GröÙte zulässige Werte der Ausfachungsfläche von nichttragenden Außenwänden ohne rechnerischen Nachweis nach DIN 1053-1:1996

1	2	3	4	5	6	7
Wanddicke d mm	GröÙte zulässige Werte ¹⁾ der Ausfachungsfläche in m ² bei einer Höhe über Gelände von					
	0 bis 8 m		8 bis 20 m		20 bis 100 m	
	$\epsilon = 1,0$	$\epsilon \geq 2,0$	$\epsilon = 1,0$	$\epsilon \geq 2,0$	$\epsilon = 1,0$	$\epsilon \geq 2,0$
115 ²⁾	12	8	8	5	6	4
175	20	14	13	9	9	6
240	36	25	23	16	16	12
≥ 300	50	33	35	23	25	17

¹⁾ Bei Seitenverhältnissen $1,0 < \epsilon < 2,0$ dürfen die größten zulässigen Werte der Ausfachungsflächen geradlinig interpoliert werden.
²⁾ Bei Verwendung von Steinen der Festigkeitsklassen ≥ 12 dürfen die Werte dieser Zeile um $1/3$ vergrößert werden.

2 Materialeigenschaften biegebeanspruchter Wände

2.1 Allgemeine Grundlagen

Mauerwerk stellt einen Verbundwerkstoff aus den zwei wesentlichen Komponenten Stein und Mörtel dar. Die Mauersteine unterscheiden sich hinsichtlich ihres Materials, des Formates sowie der Anordnung der Öffnungen im Stein (Lochung), so dass in Kombination mit den unterschiedlichen Mörteln eine große Vielfalt an möglichen Stein–Mörtel–Kombinationen entsteht. Aufgrund des stark unterschiedlichen Materialverhaltens der Einzelkomponenten Stein und Mörtel in Verbindung mit den ebenfalls unterschiedlichen Verbundeigenschaften zwischen den Einzelkomponenten besitzt jede Mauerwerksart spezifische Materialeigenschaften. Eine weitere Variation von Mauerwerk erfolgt über die Steingeometrie und Steingröße sowie die Art des ausgeführten Verbandes. Einen Einfluss auf das Tragverhalten, vorwiegend in horizontaler Richtung, hat auch die Art der Ausführung der Stoßfugen (vermörtelt oder unvermörtelt).

Der Mörtel stellt den Kleber zwischen den Mauersteinen dar und bestimmt in hohem Maß das Tragverhalten von Mauerwerk. Während noch vor einigen Jahrzehnten kleinformatisches Mauerwerk mit Normalmörtel und Stoßfugenvermörtelung verwendet wurde, bestehen neu errichtete Gebäude überwiegend aus großformatigem Mauerwerk mit Plansteinen in Dünnbettmörtel (DM) ohne Stoßfugenvermörtelung. Ursächlich für diese Entwicklung war nicht nur die effektivere Errichtung von Wänden aus großformatigem Mauerwerk, sondern auch die höhere Tragfähigkeit von Plansteinmauerwerk aufgrund der besseren Verbundeigenschaften des Dünnbettmörtels.

Das komplexe Tragverhalten von Mauerwerk bedingt eine Beschreibung der Materialeigenschaften sowohl an den Einzelkomponenten mit deren Verbundeigenschaften, als auch des makroskopischen Werkstoffverhaltens. Die gebräuchlichsten Arten von Mauersteinen sind Mauerziegel, Kalksandsteine, Porenbetonsteine sowie Beton- und Leichtbetonsteine. Die Steine sind durch Normen bzw. durch bauaufsichtliche Zulassungen geregelt. Neben der Unterscheidung von Mauersteinen hinsichtlich ihres Materials kann auch nach dem Format, den Materialeigenschaften oder der Lochung differenziert werden.

Hinsichtlich der Beschreibung des Tragverhaltens windbeanspruchter Ausfachungswände sind spezifische Materialkenngrößen von Bedeutung. Ausfachungswände stellen in statischer Hinsicht überwiegend biegebeanspruchte Platten dar, die die Einwirkungen senkrecht zur Plattenebene in zwei Richtungen (vertikal und horizontal) abtragen. Die vertikale Normalkraftbeanspruchung in Richtung der Mittelebene ist von untergeordneter Größenordnung, hat aber einen gewissen Einfluss auf die Randeinspannung am Wandfuß (siehe *Kapitel 3*). Bei zweiachsiger Biegebeanspruchung von besonderer Bedeutung ist das anisotrope Materialverhalten von Mauerwerk, welches - da es sich um ein statisch unbestimmtes System handelt - Einfluss auf die sich einstellende Schnittgrößenverteilung in x- und y-Richtung hat. Dies bedeutet, dass für eine realitätsnahe Traglastmodellierung neben den reinen Festigkeitseigenschaften auch die Verformungseigenschaften (Elastizitätsmodul in x- und y-Richtung) wirklichkeitsnah zu berücksichtigen sind.

Die zweiachsige Biegebeanspruchung von Ausfachungswänden erfordert für den Nachweis des Tragwiderstands den Ansatz von Mauerwerkszugfestigkeiten senkrecht und parallel zur Lagerfuge. Während hinsichtlich der horizontalen Tragfähigkeit von im Verband hergestelltem Mauerwerk wissenschaftlich weitgehend Einvernehmen besteht, ist der rechnerische Ansatz einer Zugfestigkeit von Mauerwerk senkrecht zur Lagerfuge Ausnahmefällen vorbehalten. Nach dem derzeitigen Entwurf der E DIN 1053-13, Abschnitt 7.3.2 (3) ist aber die Berücksichtigung einer Zugfestigkeit senkrecht zur Lagerfuge bei kurzzeitiger Windeinwirkung möglich. Somit sind die normativen Randbedingungen zur Modellierung des Tragverhaltens biegebeanspruchter Platten aus Mauerwerk gegeben. Von entscheidender Bedeutung sind dabei jedoch die quantitative Festlegung der zulässigen Zugfestigkeiten senkrecht und parallel zur Lagerfuge sowie der zu berücksichtigende Teilsicherheitsbeiwert.

Die Werkstoffkenngrößen von Mauerwerk werden überwiegend experimentell ermittelt. Einfache Näherungsgleichungen zur Abschätzung z. B. der Mauerwerksdruckfestigkeit existieren zwar, basieren jedoch auf versuchstechnisch ermittelten Basisgrößen von Stein und Mörtel und approximieren lediglich die integrale Mauerwerksfestigkeit. Selbst aufwendige numerische Berechnungen der Mauerwerkeigenschaften aus den Einzelkomponenten bringen derzeit nur bedingt zufriedenstellende Ergebnisse. Für die Bestimmung des Tragwiderstands von Ausfachungswänden werden – wie dargestellt – vor allem die Biegezugfestigkeiten von Mauerwerk benötigt. Diese Kenngrößen sind allerdings versuchstechnisch nur schwer zu ermitteln und die experimentell erhaltenen Ergebnisse weisen starke Streuungen auf. Darüberhinaus ist zu hinterfragen inwieweit die an Kleinkörperversuchen ermittelten Kennwerte das globale Verhalten der Wand korrekt abbilden. Wissenschaftliche Untersuchungen zur Zuverlässigkeit von biegezugbeanspruchtem Mauerwerk fehlen vollständig, sind aber auch nicht Gegenstand dieses Forschungsprojektes.

2.2 Materialkenngrößen für das Berechnungsmodell

Die derzeit gültige deutsche Mauerwerksnorm DIN 1053-100: 2007 gestattet keine Berücksichtigung der Zugfestigkeit senkrecht zur Lagerfuge bei der Bemessung von tragenden, biegebeanspruchten Wänden. Normativ wird festgelegt, dass zur Aufnahme von Biegebeanspruchungen senkrecht zur Lagerfuge immer eine vertikale Normaldruckkraft entsprechender Größe erforderlich ist. Ein rechnerischer Nachweis der Biegetragfähigkeit ist nach aktueller Normung für die Bemessung von nichttragenden und ausfachenden Mauerwerkswänden, die per Definition über keine planmäßige Auflast verfügen, nicht möglich. Die Bemessung von nichttragenden Wänden erfolgt bis heute mit Hilfe von Tabellen, in denen die Tragfähigkeit anhand von Versuchen aus den 80er Jahren unter festgelegten Randbedingungen ermittelt wurde. Eine Anwendung dieser Bemessungstabellen gestaltet sich heute jedoch schwierig. Einerseits sind mit der Einführung von DIN 1055-4: 2005 veränderte Windeinwirkungen bei Ausfachungswänden zu berücksichtigen, andererseits hat sich in jüngster Zeit die Mauerwerksbauweise hinsichtlich des Steinformats, des Lochbildes, der Stoßfugenvermörtelung und der Stein- und Mörtelmaterialien weiterentwickelt.

Das in *Kapitel 3* beschriebene Berechnungsmodell beruht auf einer umfangreichen wissenschaftlichen Forschungsarbeit zur Beanspruchbarkeit nichttragender Wände und einer in diesem Zusammenhang entwickelten Nachweismethodik zur Bestimmung der sich

einstellenden Schnittgrößenverteilung. Grundgedanke ist die Bestimmung eines dimensionslosen Traglastfaktors Y_w , welcher die verschiedenen Einflussgrößen integriert abbildet. Neben den direkten Effekten aus Wandgeometrie, Lagerungsbedingungen und Verhältnis der Biegezugfestigkeiten beinhaltet der in [1] abgeleitete Traglastfaktor auch die Einflüsse aus dem anisotropen Verformungsverhalten von Mauerwerk. Mit der entwickelten Nachweismethodik ist es möglich, die Tragfähigkeit biegebeanspruchter Ausfachungswände einfach und praxisnah unter Verwendung weniger Materialkenngrößen zu bestimmen.

Das Berechnungsmodell benötigt zur Bestimmung der aufnehmbaren Beanspruchung von Ausfachungswänden lediglich die Kenntnis der Biegezugfestigkeit des Mauerwerks senkrecht und parallel zur Lagerfuge. Für den eigentlichen Nachweis auf Basis des Teilsicherheitskonzeptes sind diese Materialkenngrößen als im Bauwerk verfügbare 5%-Quantilwerte notwendig. Dabei ist zu beachten, dass durch die Verwendung der Biegezugfestigkeit parallel zur Lagerfuge eine Reihe von Einflussgrößen, wie z.B. das Überbindemaß, die Steingröße und die Art der Stoßfugenausbildung integral erfasst werden. Aktuelle Forschungsergebnisse (vgl. [4]) zeigen, dass Mauerwerk über eine, wenn auch geringe, Zugfestigkeit senkrecht zur Lagerfuge verfügt. Internationale Normen (z. B. AS 3700-2001 (2001), Eurocode 6-1 (2006), CSAS.304.1- 04 (2004)) oder auch der Gelbdruck der E DIN 1053-13 erlauben bereits heute eine Bemessung unter Berücksichtigung der Biegezugfestigkeit senkrecht zur Lagerfuge mit der Einschränkung, dass nur zeitweise einwirkende Beanspruchungen rechtwinklig zur Oberfläche auf Mauerwerkswände (wie z. B. Wind auf Ausfachungsflächen) auftreten dürfen. Ein allgemein gültiges Bemessungsverfahren zum wirtschaftlichen Nachweis von nichttragenden und ausfachenden Mauerwerkswänden – auch ohne Auflast – kann für nichttragende Wände entwickelt werden, wenn eine wirklichkeitsnahe Abbildung des Tragverhaltens bzw. der Ansatz der Biegezugfestigkeit von Mauerwerk berücksichtigt wird.

3 Berechnungsmodell

3.1 Nichtlineare Berechnungsmethode

In der diesem Forschungsvorhaben zu Grunde liegenden Forschungsarbeit [1] wird die Tragfähigkeit von nichttragenden, biegebeanspruchten Mauerwerkswänden durch eine diskrete Abbildung des Wandsystems mit Hilfe der Finite Element Methode analysiert. Die Ermittlung von Spannungs- und Verformungszuständen ermöglicht eine wirklichkeitsnahe Erfassung des nichtlinearen Tragverhaltens von Mauerwerk unter Berücksichtigung des orthotropen Materialverhaltens und der sich einstellenden Rissbildung im Grenzzustand der Tragfähigkeit. Voraussetzung für eine realitätsnahe Modellierung ist eine entsprechende Implementierung geeigneter Materialgesetze und die Kenntnis der benötigten Werkstoffkenngrößen. Das entwickelte Berechnungsmodell bildet den Spannungs- und Verformungszustand im gerissenen und ungerissenen Zustand realitätsnah ab und beinhaltet Materialgesetze, die auf die speziell im Mauerwerk vorhandenen Werkstoffparameter abgestimmt sind. Darüberhinaus wird gewährleistet, dass nicht nur die Bruchbedingungen auf Querschnittsebene formuliert sind, sondern auch die Resttragfähigkeit mit der zugehörigen Steifigkeit über ein entsprechendes Nachbruchverhalten erfasst wird.

3.2 Randbedingungen der Bruchlinientheorie

In der Literatur bzw. in internationalen Normen existieren bereits Bemessungsmodelle für Ausfachungswände, die entweder ausschließlich auf der Bruchlinientheorie (Eurocode 6-1 (2006) und BS 5628-1 (2005) beruhen bzw. eine Modifikation dieser darstellen (z. B. AS 3700-2001 (2001) und CAN-CSA S304.1-04 (2004)). Zum besseren Verständnis der Traglastmodelle werden nachfolgend die theoretischen Grundlagen sowie Randbedingungen der Bruchlinientheorie (BLT) kurz umrissen und die Anwendung auf den Werkstoff Mauerwerk diskutiert.

Die BLT wurde ursprünglich zur Berechnung der Traglast von Stahlbetonplatten entwickelt. Die grundlegenden Gedanken gehen auf die Arbeit von Johansen (1962) zurück. Bei Versuchen wurde beobachtet, dass mit zunehmender Belastung entlang spezifischer Linien Risse auftreten. Die Risslinien stellen eine Aneinanderreihung von Fließgelenken dar und bilden die Bruchfigur der Platte, während die Formänderungen (Krümmungen) der sich im elastischen Bereich befindenden Plattenanteile im Vergleich zu den Verformungen (Rotationen) entlang der Risslinien verschwindend gering sind. Basierend auf diesen Beobachtungen wurde ein Berechnungsverfahren auf den Grundlagen der Plastizitätstheorie entwickelt, welches auf folgenden Annahmen basiert:

- a) ideal-plastisches Materialverhalten
- b) keine Membranwirkung
- c) keine Momenten- Querkraft- Interaktion
- d) Rissverteilung zusammengefasst in linear verlaufenden Risslinien (Bruchfigur)
- e) Vernachlässigung elastischer Formänderungen
- f) Vernachlässigung von lokalen Einflüssen (Wippen- u. Fächerausbildung)

Aufgrund der ähnlichen Rissbilder von Stahlbetonplatten und überwiegend biegebeanspruchten Mauerwerkswänden wurde daher die Anwendung der Bruchlinientheorie auf den Mauerwerksbau übertragen, wobei eine der wesentlichsten Voraussetzungen für die Anwendung der Bruchlinientheorie die Ausbildung von plastischen Gelenken bzw. eine entsprechender Rotationsfähigkeit des Querschnitts ist.

Im Stahlbeton stellt sich unter Biegebeanspruchung durch die Bewehrung ein annähernd plastisches Verhalten ein, während Mauerwerk teilweise ein sehr sprödes Versagen aufweist. Bei Anwendung der Bruchlinientheorie im Stahlbetonbau wird für die richtungsabhängig unterschiedlich bewehrten Platten ein Orthotropiekoeffizient μ_t definiert, der das Verhältnis der aufnehmbaren Fließmomente in Längs- und Querrichtung beschreibt. Im Mauerwerksbau wird für den Orthotropiekoeffizienten das Verhältnis der Biegezugfestigkeiten senkrecht und parallel zur Lagerfuge gewählt.

$$\mu_t = \frac{M_{pl,x}}{M_{pl,y}} = \frac{f_{t1} \cdot Z}{f_{t2} \cdot Z} = \frac{f_{t1}}{f_{t2}} \quad Gl. 1$$

M_{pl}	aufnehmbares plastisches Biegemoment
f_t	Biegezugfestigkeit
Z	elastisches Widerstandsmoment in Wandquerrichtung

Für biegebeanspruchte Wände aus Mauerwerk mit geringer Auflast stellt sich ein annähernd plastisches Materialverhalten ein. Wobei mit zunehmender Auflast die Rotationsfähigkeit des Querschnitts jedoch deutlich geringer wird. Der Einfluss der Biegezugfestigkeit nimmt mit zunehmender Druckbeanspruchung ab. Für Wände mit geringer Drucknormalbeanspruchung ist eine Verminderung des aufnehmbaren Biegemomentes nach Überschreitung des Rissmomentes zu beobachten. Mit größer werdender Biegezugfestigkeit senkrecht zur Lagerfuge und geringerer Auflast nimmt dieser Effekt besonders zu und dominiert vor allem das Tragverhalten von nichttragenden Wänden ohne Auflast.

Bei einer Biegebeanspruchung parallel zur Lagerfuge treten die Versagensmechanismen Steinzug- und Fugenversagen auf. Das Überschreiten der Zugfestigkeit des Mauersteines stellt ein sprödes Versagen dar, bei dem das Nachbruchverhalten durch einen starken Abfall der Resttragfähigkeit des Querschnitts gekennzeichnet ist. Das Fugenversagen nach Überschreiten des Rissmomentes wird durch eine Entfestigung der (Torsions-)Haftscherfestigkeit in der Lagerfuge charakterisiert, die ebenfalls zu einer Abnahme des aufnehmbaren Biegemomentes führt.

Zusammenfassend kann nach [1] festgestellt werden, dass die Ausbildung eines plastischen Materialverhaltens bei Mauerwerk stark von dem Verhältnis der Biegezugfestigkeit zur Auflast abhängt. Bei geringen Auflasten und hohen Biegezugfestigkeiten senkrecht zur Lagerfuge kann es zu einer Überschätzung der berechneten Traglast nach der Bruchlinientheorie kommen. Weiterhin ist anzumerken, dass bei der Anwendung der Bruchlinientheorie für die Berechnung der Systemtragfähigkeit vorausgesetzt wird, dass in allen Bruchlinien ein konstantes Fließgelenk mit $M_{pl} = M_{Riss}$ entsteht, was dem wirklichen Tragverhalten nicht entspricht. Bei einer biegebeanspruchten zweiachsig abtragenden Wand kann sich mit Erreichen des Rissmomentes M_{Riss} in Wandmitte die Systemtragfähigkeit einstellen, während in den übrigen Bruchlinien die Zugspannungen weit unter der zugehörigen Biegezugfestigkeit liegen. Darüberhinaus wird in den Bruchlinien auch die Interaktion der richtungsabhängigen Biegezugfestigkeiten nicht berücksichtigt.

Eine gute Übereinstimmung der rechnerischen Ergebnisse aus der Bruchlinientheorie mit den Versuchswerten konnte dennoch beobachtet werden. Dieser Sachverhalt tritt überwiegend bei biegebeanspruchten Wänden mit einer Auflast auf, bei denen das Verhältnis der Biegezugfestigkeit senkrecht zur Lagerfuge zur Druckbeanspruchung zu einem plastischen Tragverhalten führt bzw. nach Erreichen des Rissmomentes eine Steigerung der Querschnittstragfähigkeit möglich ist. Weitergehende Analysen hinsichtlich des unterschiedlichen Tragverhaltens von Stahlbetonplatten und Mauerwerkswänden und die Anwendung der Bruchlinientheorie auf das Mauerwerk werden in [1] ausführlich diskutiert.

3.3 Berechnungsmodell nach [1] für biegebeanspruchte nichttragende Mauerwerkswände

Die Beschreibung des Tragverhaltens auf Querschnittsebene basiert auf den sich einstellenden Plattenschnittgrößen sowie auf den nichtlinearen Verformungen des gerissenen Querschnitts, die durch ein geeignetes Verfahren abgebildet werden müssen. In Anlehnung an die Bruchlinientheorie und dem zugehörigen charakteristischen Verlauf der Risslinien bei überwiegend biegebeanspruchten Wänden aus Mauerwerk wird ein biegesteifer Trägerrost mit entlang den Risslinien angeordneten Gelenkfedern gewählt. Das Stabtragwerk wird

mittels der FEM modelliert und bietet die Möglichkeit, die Schnittgrößen zu berechnen, das Nachbruchverhalten des Mauerwerks durch eingeschaltete Federn zu simulieren und eine physikalisch nichtlineare Iteration der Systemtragfähigkeit durchzuführen.

Die Abbildung des Stabwerkes mit eingeschalteten Federn wird mit der „direkten Steifigkeitsmethode“ (siehe [3] und [4]) realisiert und in das Programm implementiert. Die „direkte Steifigkeitsmethode“ basiert auf dem Verschiebungsgrößenverfahren und ist besonders für eine computergerechte Aufbereitung geeignet. Das Stabwerksystem wird in Einzelemente zerlegt, bei der die Verträglichkeit aufgegeben wird. Anschließend werden die Elemente wieder zu einem Gesamtsystem mit einem gemeinsamen globalen Koordinatensystem zusammengesetzt, wobei die Verträglichkeit und das Gleichgewicht erfüllt werden.

Die Implementierung der horizontalen und vertikalen Federn erfolgt an den Knotenpunkten der Stäbe. Zusätzlich zu dem bereits vorhandenen Knoten wird ein zweiter Knoten mit gleichen Koordinaten definiert und in seiner Verschiebung zum Ursprungsknoten gekoppelt. In Abhängigkeit der Orientierung der Bruchlinie erfolgt anschließend eine neue Zuordnung der Stäbe auf die Knoten (siehe *Abbildung 1*). An den Auflagerrändern der Platte sowie bei horizontal bzw. vertikal verlaufenden Bruchlinien wird nur eine senkrecht zur Bruchlinie wirkende Feder generiert.

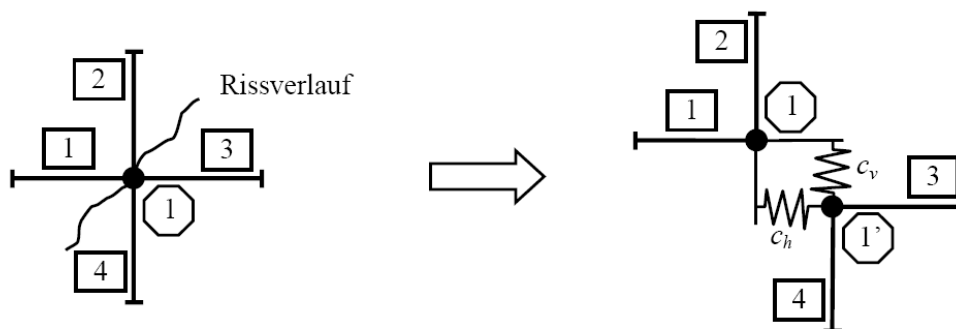


Abbildung 1 Prinzipielle Darstellung der Implementierung von Drehfedern

Die Generierung bzw. Vernetzung der Knoten und Stabelemente erfolgt in Abhängigkeit der Wandgeometrie und der Lagerungsbedingungen automatisch durch das entwickelte Berechnungsprogramm, wobei ein regelmäßiger Gitterrost mit annähernd gleich langen Stabelementen angestrebt wird. Das Eigengewicht der Wand bzw. eventuelle Auflasten am Wandkopf werden in jedem Knoten mit einem linearen Ansatz über die Wandhöhe abgebildet. Eine zusätzliche Berücksichtigung von Membrandruckkräften bei einer in Scheibenrichtung unverschieblichen Lagerung ist über die Stabelemente nicht möglich.

Das dargestellte Berechnungsverfahren auf Basis der Finiten Elemente ist in der Lage, die Tragfähigkeit überwiegend biegebeanspruchter Platten aus Mauerwerk wirklichkeitsnah abzubilden. Es ermöglicht die detaillierte Berücksichtigung der im Grenzzustand der Tragfähigkeit relevanten Einflussgrößen. Unberücksichtigt bleibt lediglich der sich aus einer Verkantung der Wand im verformten Zustand gegenüber den Umfassungsbauteilen möglicherweise einstellende Membranspannungszustand, der allerdings von einer Vielzahl weiterer Einflussgrößen abhängt. Das entwickelte Berechnungsverfahren liefert auf der sicheren Seite liegende Ergebnisse, ist aber für eine direkte Anwendung in der Praxis zu komplex. Daher wurde mit Hilfe einer Parameterstudie der maßgeblichen Einflussgrößen eine

vereinfachte Nachweismethodik unter Verwendung eines dimensionslosen Traglastfaktors entwickelt.

3.4 Vereinfachtes Nachweismodell

Um Ausfachungswände einfach und praxisgerecht nachweisen zu können, wurde ein vereinfachtes Nachweisverfahren zur Bestimmung der im Grenzzustand der Tragfähigkeit aufnehmbaren Beanspruchungen entwickelt, welches gleichzeitig auch die Angabe zulässiger Ausfachungsflächen in Abhängigkeit einer Einheitswindbelastung erlaubt. Hierzu kommt ein dimensionsloser Traglastfaktor Y_w zur Anwendung, der über eine Parameterstudie mit dem in Kapitel 3.3 beschriebenen Berechnungsmodell bestimmt wurde.

Für die im Grenzzustand der Tragfähigkeit aufnehmbare Windlast gilt:

$$w_{Rd} = \frac{t^2}{H \cdot L} \cdot \frac{f_{tk1}}{\mu_t \cdot \gamma_M} \cdot Y_w \quad \text{Gl. 2}$$

$$Y_w = f(\lambda_w, \mu_b, \text{Lagerungsbedingung})$$

Man erkennt aus Gl. 2, dass die aufnehmbare Windlast nunmehr lediglich von den geometrischen Wandabmessungen (Wandhöhe H und Wandlänge L), der Biegezugfestigkeit f_{tk1} senkrecht zur Lagerfuge sowie dem Verhältnswert μ_t der Biegezugfestigkeiten abhängt. Die wesentlichen Einflussgrößen auf den Traglastfaktor Y_w sind neben der Wandgeometrie ($\lambda_w = H/L$) die Lagerungsbedingungen, sowie auf der Werkstoffseite das Verhältnis der Biegezugfestigkeiten μ_t . Die Beschreibung des Tragverhaltens über die Biegezugfestigkeiten führt zu zwei wesentlichen Vorteilen. Zum einen entfällt der Einfluss der Wanddicke auf den bezogenen Traglastfaktor (siehe [1]). Zum anderen berücksichtigt die Biegezugfestigkeit f_{tk2} parallel zur Lagerfuge bereits die Steingeometrie, die Stein- und Mörtelfestigkeit, sowie das Überbindemaß und die Art der Stoßfugenausbildung. Die Biegezugfestigkeit f_{tk2} stellt somit eine übergeordnete Werkstoffkenngröße dar.

Aufgrund der praktischen Bedeutung sowie der zunehmenden Anwendung von Mauerwerk mit Plansteinen und unvermörtelten Stoßfugen erfolgte die Bestimmung des bezogenen Traglastfaktors Y_w für diese Mauerwerksart. Die in der Parameterstudie verwendete Referenzwand berücksichtigt einen Mauerstein 6 DF mit einer Dicke von $t = 175$ mm. Die Systemtragfähigkeit der Wand wird in Abhängigkeit der geometrischen Randbedingungen für verschiedene Verhältnisse der Biegezugfestigkeit μ_t bestimmt.

Durch die normierte Darstellung des Traglastfaktors gelten die Ergebnisse für Wände mit verschiedenen Wanddicken. Gleiches gilt hinsichtlich des Steinformates und des Überbindemaßes, wobei diese Kennwerte durch die Biegezugfestigkeit parallel zur Lagerfuge erfasst werden. Die Berechnung des Traglastfaktors beinhaltet gleichzeitig die Erfassung der anisotropen Verformungseigenschaften von Mauerwerk und die daraus resultierende Schnittgrößenumlagerung innerhalb der Wand.

Tabelle 3 Materialkennwerte für die Parameterstudie

Angenommene Materialkennwerte für die Parameterstudie

Stein	Lagerfuge	Mauerwerk
$l_b = 248 \text{ mm}$	$t_{m1} = 2 \text{ mm}$	$f_{t1} = \mu_t \cdot f_{t2}$
$h_b = 248 \text{ mm}$	$t_{m2} = 2 \text{ mm}$	$f_{t2} = 0,60 \text{ N/mm}^2$
$t_b = 175 \text{ mm}$		$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$

- l_b Mauersteinlänge
- h_b Mauersteinhöhe
- t_b Dicke des Steines
- t_{m1} Dicke der Lagerfuge
- t_{m2} Dicke der Stoßfuge
- f_{t1} Biegezugfestigkeit von Mauerwerk für Beanspruchungen senkrecht zur Lagerfuge
- f_{t2} Biegezugfestigkeit von Mauerwerk für Beanspruchungen parallel zur Lagerfuge
- γ Wichte

Beispielhaft wird hier das Diagramm aus [1] für den bezogenen Traglastfaktor für eine allseits gelenkig gelagerte Wand aufgeführt.

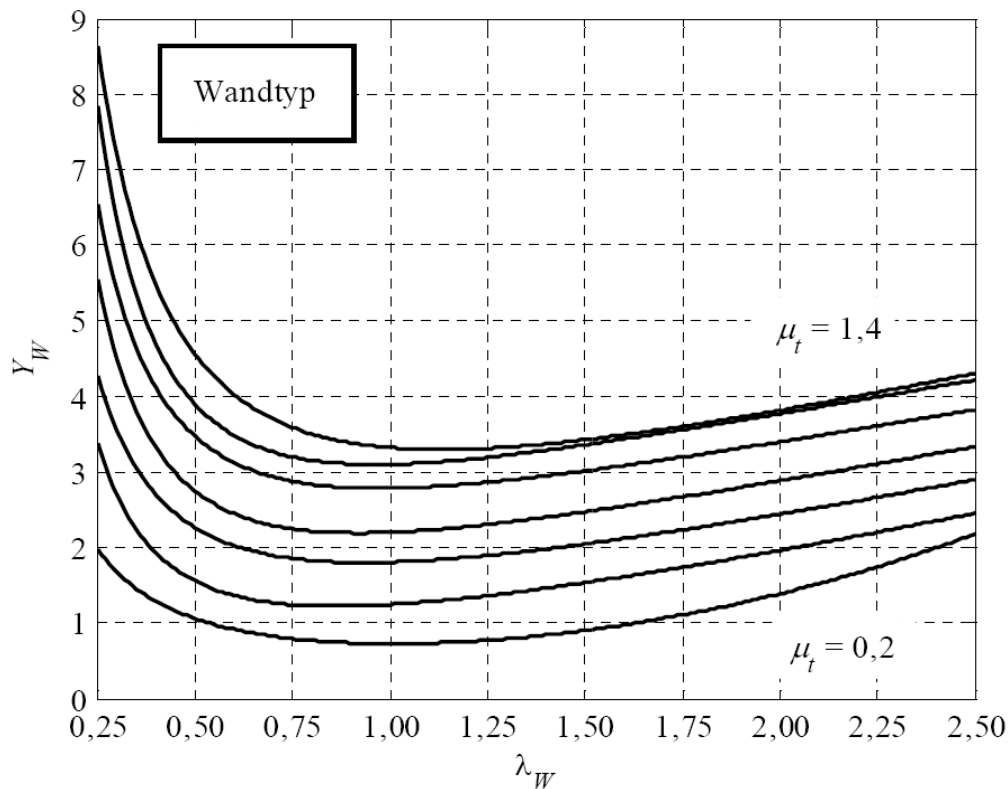


Abbildung 2 bezogener Traglastfaktor für eine umlaufend gelenkig gelagerte Wand

4 Bemessung von Ausfachungswänden

4.1 Ausgangssituation

Nichttragende Außenwände aus Mauerwerk werden auch als Ausfachungswände bzw. ausfachende Wände bezeichnet. Ihre Anwendung ist bei Fachwerk-, Skelett- und Schottensystemen zu finden. Ausfachungswände werden in der Regel durch Windeinwirkungen beansprucht. Nach DIN 1053-100:2007 kann auf einen statischen Nachweis bei nichttragenden Außenwänden verzichtet werden, wenn die Wände vierseitig gehalten sind, die Bedingungen nach DIN 1053-1:1996, Tabelle 9 eingehalten sind und für das Mauerwerk mindestens ein Normalmörtel der Mörtelgruppe IIa, Dünnbettmörtel oder Leichtmörtel LM 36 verwendet wird. Bei der Herleitung der Ausfachungsflächen nach DIN 1053-1:1996, Tabelle 9, wurden die Windlasten nach DIN 1055-4 von 1986 gestaffelt nach der Gebäudehöhe zu Grunde gelegt. Für die Ermittlung der zulässigen Ausfachungsflächen in DIN 1053-1 wurde von einem isotropen Werkstoffverhalten mit vollständiger Drilltragfähigkeit ausgegangen und einheitlich für alle Stein-Mörtel-Kombinationen eine Biegezugfestigkeit senkrecht zur Lagerfuge von $f_{ikl} \approx 0,2 \text{ N/mm}^2$ angesetzt. Mit Einführung der neuen Windlasten nach DIN 1055-4:2005 sind differenziertere Staudrücke in Abhängigkeit der Windzone und der Gebäudehöhe (vereinfachtes Verfahren) zu berücksichtigen.

Gegenüber der alten Windlastnorm ist die Anzahl möglicher Variationen der Geschwindigkeitsdrücke in Anhängigkeit der Windzone angestiegen, so dass eine Auswertung in Form der Tabelle 9 nach DIN 1053-1:1996 mit der Angabe von windzonenabhängigen Ausfachungsflächen zu einer Vielzahl von Tabellen führen würde und daher nicht praxistauglich ist. Im Hinblick auf eine einfache Darstellungsform wird deshalb die Wandfläche A_{w0} in tabellarischer Form für die normierte Bemessungswindlast $w_{d0} = 1,0 \text{ kN/m}^2$ angegeben. Abweichende Windeinwirkungen in den verschiedenen Windlastzonen können durch entsprechende Division der zulässigen Ausfachungsfläche durch die tatsächliche Windbeanspruchung w_d einfach und schnell ermittelt werden.

Mit der an der TU Darmstadt entwickelten Methodik wurden rechteckige Wände mit unterschiedlichen Lagerungsbedingungen (frei, gelenkig, eingespannt) unter flächiger Windbeanspruchung berechnet. Die Wand wurde generell mit einer teilweisen Einspannung am Wandfuß ohne Berücksichtigung der Biegezugfestigkeit abgebildet. Die Vorgehensweise begründet sich darin, dass durch die Anordnung z. B. einer Kimmschicht die Biegezugfestigkeit reduziert bzw. durch eventuelle Sperr- bzw. Dichtfolien erst gar nicht aktiviert wird. Dennoch entsteht durch das Wandeigengewicht eine Drucknormalspannung in der Lagerfuge und bewirkt somit eine Einspannung am Wandfuß. Das auftretende Einspannmoment wird in Abhängigkeit der Auflagerverdrehung der Wand rechnerisch erfasst. Der Tragmechanismus kann vereinfachend als „Kippen“ über die Steinkante charakterisiert werden. Die theoretischen Untersuchungen zum Tragverhalten beschränken sich auf Mauerwerk unter überwiegender Biegebeanspruchung. Die günstig wirkende Drucknormalkraft in vertikaler Richtung fließt in den mechanischen Ansätzen zur Beschreibung der Querschnittstragfähigkeit und des Nachbruchverhaltens ein, wohingegen die Druckbeanspruchung parallel zur Lagerfuge ausgeschlossen wird. Die vertikalen Druckspannungen werden sowohl durch das Wandeigengewicht hervorgerufen als auch durch eine Verformungsbehinderung der Wand in Bauteillängsachse und der damit verbundenen Aktivierung von Druckmembrankräften. Der zuletzt genannte Effekt bedingt die

Einbeziehung der angrenzenden Bauteile sowie eine genaue Abbildung der Lagerungsbedingungen der Wand in die Tragwerksanalyse. Eine derart ausführliche und differenzierte Darstellung übersteigt nicht nur den Rahmen einer Parameterstudie, sondern müsste auch im Bemessungsmodell über einen Nachweis der Lagerungsbedingungen erfasst werden.

4.2 Bemessungskonzept

Für den Grenzzustand der Tragfähigkeit ist allgemein nachzuweisen, dass der Bemessungswert der Einwirkungen E_d kleiner ist als der Bemessungswert des Widerstandes R_d . (siehe Gl. 3). Der Materialsicherheitsbeiwert γ_M erfasst die Streuung der Baustoffeigenschaften sowie auftretende Modellunsicherheiten. Die DIN 1053-100:2007 unterscheidet nicht bezüglich der Druckfestigkeit oder Zugfestigkeit und gibt einen allgemeinen Materialsicherheitsbeiwert von $\gamma_M = 1,5$ an. Der Bemessungswert E_d ist für die jeweilige Lastfallkombination auf der Grundlage der DIN 1055-100:2001 zu ermitteln. Beim Zusammenwirken von mehreren unabhängigen Einwirkungen ist neben den Teilsicherheitsbeiwerten γ_G und γ_Q für ständige und veränderliche Einwirkungen gegebenenfalls noch ein Kombinationsbeiwert zu berücksichtigen.

$$\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k = E_d \leq R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} \quad \text{Gl. 3}$$

Das entwickelte Bemessungskonzept basiert auf der Kenntnis eines bezogenen Traglastfaktors Y_w , der die nichtlineare Schnittgrößenermittlung unter Verwendung von wirklichkeitsnahen Materialgesetzen beinhaltet. Der Traglastfaktor schließt nicht nur die Lagerungsbedingungen der Wand ein, sondern erfasst auch das orthotrope Materialverhalten von Mauerwerk. Die Bestimmung der zulässigen Ausfachungsfläche A_{w0} erfolgt durch Umstellung von Gl. 2 und Gleichsetzung von Einwirkung und Widerstand $w_{Ed} = w_{Rd}$, wobei für die Bemessungswindlast der normierte Wert von $w_{d0} = 1,0 \text{ kN/m}^2$ angesetzt wird.

$$A_{w0} = t^2 \cdot \frac{f_{tk1}}{w_{d0} \cdot \mu_t \cdot \gamma_M} \cdot Y_w = t^2 \cdot \frac{f_{tk1}}{\mu_t \cdot \gamma_M} \cdot Y_w (\text{Lagerungsbedingungen}, \lambda_w, \mu_t) \quad \text{Gl. 4}$$

mit

$$\lambda_w = \frac{H}{L} \quad \text{Gl. 5}$$

$$\mu_t = \frac{f_{tk1}}{f_{tk2}} \quad \text{Gl. 6}$$

γ Sicherheitsbeiwerte: $\gamma_M = 1,5$

w_{d0} Bemessungswindlast: $w_{d0} = 1,0 \text{ kN/m}^2$

A_{w0} Ausfachungsfläche

t Wanddicke

f_{tk1} vertikale Biegezugfestigkeit

f_{tk2} horizontale Biegezugfestigkeit

μ_t Biegezugverhältnis

λ_w Wandschlankheit

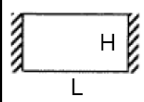
Y_w bezogene Traglast Y_w (Lagerungsbedingungen, λ_w, μ_t)

Die tatsächlich zulässige Ausfachungsfläche ergibt sich dann unter Berücksichtigung der tatsächlichen Windlast $w_d = \gamma_k \cdot w_k$ zu:

$$\text{zul } A_w = A_{w0} / w_d \quad \text{Gl. 7}$$

In Tabelle 4 ist beispielhaft die zulässige Ausfachungsfläche A_{w0} einer vierseitig gelagerten Wand mit seitlicher Einspannung in Abhängigkeit des Seitenverhältnisses $\lambda_w = H/L$ und der Wanddicke t für ein Verhältnis der Biegezugfestigkeiten $\mu_t = f_{tk1}/f_{tk2} \leq 0,6$ und eine vertikale Biegezugfestigkeit von $f_{tk1} = 0,1 \text{ N/mm}^2$ angegeben. Für eine Bemessungswindlast von $w_d = 1,0 \text{ kN/m}^2$ kann die Ausfachungsfläche direkt abgelesen werden. Bei abweichenden Windlasten sind die Grundwerte A_{w0} der Tabelle durch die anzusetzende Windlast zu dividieren. In den *Anhängen A* und *B* sind weitere Tabellen für andere Lagerungsbedingungen sowie andere Biegezugfestigkeiten senkrecht zur Lagerfuge und Biegezugfestigkeitsverhältnisse enthalten.

Tabelle 4 Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} für eine seitlich eingespannte Wand mit einer vertikalen Biegezugfestigkeit $f_{tk1} = 0,10 \text{ MN/m}^2$ und einem Verhältnis der Biegezugfestigkeit $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2} \leq 0,6$

	Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} ¹⁾ in m^2 für den Bemessungswert der Windlast ²⁾ $w_{d0} = 1,0 \text{ kN/m}^2$							f_{tk1} ⁴⁾ = 0,1 μ_t ⁵⁾ ≤ 0,6	
	Wanddicke t [mm]	Wandschlankheit $\lambda_w = H / L$ ³⁾ (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)							
	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	
Wände vierseitig gehalten									
115	5,3	3,4	3,5	4,1	4,9	5,7	6,6	7,6	
150	9,0	5,8	5,9	6,9	8,3	9,7	11,3	12,9	
175	12,2	7,9	8,0	9,4	11,3	13,3	15,4	17,5	
200	16,0	10,3	10,4	12,3	14,7	17,3	20,1	22,9	
240	23,0	14,8	15,0	17,7	21,2	25,0	28,9	33,0	
300	36,0	23,1	23,5	27,7	33,1	39,0	45,2	51,5	

¹⁾ Die Werte gelten für Wände mit einer Einspannung der seitlichen Ränder.
²⁾ Bei abweichenden Windlasten ist der Tabellenwert durch die Windlast w_d zu teilen: Tabellenwert / w_d [kN/m²].
³⁾ Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.
⁴⁾ vertikale Biegezugfestigkeit f_{tk1}
⁵⁾ Verhältnis der Biegezugfestigkeiten $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2}$

4.3 Vergleich der Ausfachungsflächen

Zur besseren Veranschaulichung der Auswirkungen der neuen Windlastansätze nach DIN 1055-4:2005 sollen die Ergebnisse nach dem vorgestellten Bemessungskonzept mit den zulässigen Ausfachungsflächen nach DIN 1053-1 verglichen werden. Exemplarisch wird eine umlaufend gelagerte Wand mit einer Einspannung an den vertikalen Rändern, einer vertikalen Biegezugfestigkeit $f_{ikt} = 0,10 \text{ MN/m}^2$ und einem Verhältnis der Biegezugfestigkeiten von $\mu_t \leq 0,6$ betrachtet. Die Bemessungswindlast der aktuellen DIN 1055-4:2005 ermittelt sich mit Hilfe der Tabelle 2 der Norm (siehe Tabelle 1) und ergibt sich wie folgt:

$$w_d = \gamma_Q \cdot c_{p,10} \cdot q_k = 1,5 \cdot 0,8 \cdot q_k \quad \text{Gl. 8}$$

Die grafische Auswertung der Ergebnisse ist in Abhängigkeit der Gebäudehöhenklassen 0 m bis 10 m und 10 m bis 20 m in *Abbildung 3* bzw. *Abbildung 4* dargestellt. Generell ist festzustellen, dass in Bereichen mit einem zunehmenden einachsigen Lastabtrag die zulässigen Ausfachungsflächen größer werden. Insbesondere bei schlanken Wänden ($\lambda_w > 1,0$) wird dieser Effekt deutlich. Es zeigt sich aber auch, dass mit der Einführung der neuen Windlastzonen mit z.T. deutlich höheren Windlasten die zulässigen Ausfachungsflächen bei gewissen Wandgeometrien reduziert werden müssten. Während sich bei den berücksichtigten Materialeigenschaften und Lagerungsbedingungen für die Windlastzone 1 identische oder – insbesondere bei größeren Seitenverhältnissen – größere zulässige Ausfachungsflächen ergeben, sind die entsprechenden Werte für die Windlastzone 2 deutlich geringer.

An dieser Stelle sei angemerkt, dass die Vergleichsberechnung mit einem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_Q = 1,5$ durchgeführt wurden. Dies bedeutet, dass ein globaler Sicherheitsabstand zwischen den Quantilwerten von Einwirkung und Widerstand von $\gamma_G = \gamma_Q \cdot \gamma_M = 1,5 \cdot 1,5 = 2,25$ zur Anwendung kommt, während DIN 1053-1 bisher einen globalen Sicherheitsabstand von 2,0 für ausreichend erachtete. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die experimentell an Kleinkörperversuchen ermittelten Biegezugfestigkeiten – insbesondere senkrecht zur Lagerfuge – das reale Materialverhalten im Bauteil selbst nur bedingt wiedergeben und innerhalb der Wand an der kritischen Nachweisstelle das Auftreten dieses sehr kleinen Fraktilwertes äußerst unwahrscheinlich ist. Diesbezüglich wird eine Diskussion angeraten, ob ein erhöhter Teilsicherheitsbeiwert auf der Einwirkungsseite tatsächlich erforderlich ist, oder nicht im vorliegenden Nachweisfall eine Absenkung von γ_Q möglich ist, da es sich um eine außergewöhnliche Bemessungssituation handelt.

Grundlage der Vergleichsrechnungen sind die Bemessungswindlasten der Windlastzonen 1 und 2 nach DIN 1055-4:2005. Dabei ist zu beachten dass bis zu einer Gebäudehöhe von 0 m bis 10 m eine Bemessungswindlast von $w_d = 0,6 \text{ kN/m}^2$ für Windzone 1 und eine Bemessungswindlast von $w_d = 0,8 \text{ kN/m}^2$ für Windzone 2 anzusetzen ist. Für eine Gebäudehöhe von 10 m bis 20 m ist eine Bemessungswindlast von $w_d = 0,8 \text{ kN/m}^2$ für Windzone 1 und eine Bemessungswindlast von $w_d = 1,0 \text{ kN/m}^2$ für Windzone 2 zu berücksichtigen.

Die maximal zulässigen Ausfachungsflächen nach DIN 1053-1 werden nicht in Abhängigkeit von Windlasten sondern differenziert nach der Gebäudehöhe angegeben. Der Berechnung wurden Staudrücke von $w_d = 0,6 \text{ kN/m}^2$ für eine Gebäudehöhe von 0 m bis 8 m und $w_d = 1,0 \text{ kN/m}^2$ für eine Gebäudehöhe von 8 m bis 20 m nach DIN 1055-4:1986 zugrunde gelegt.

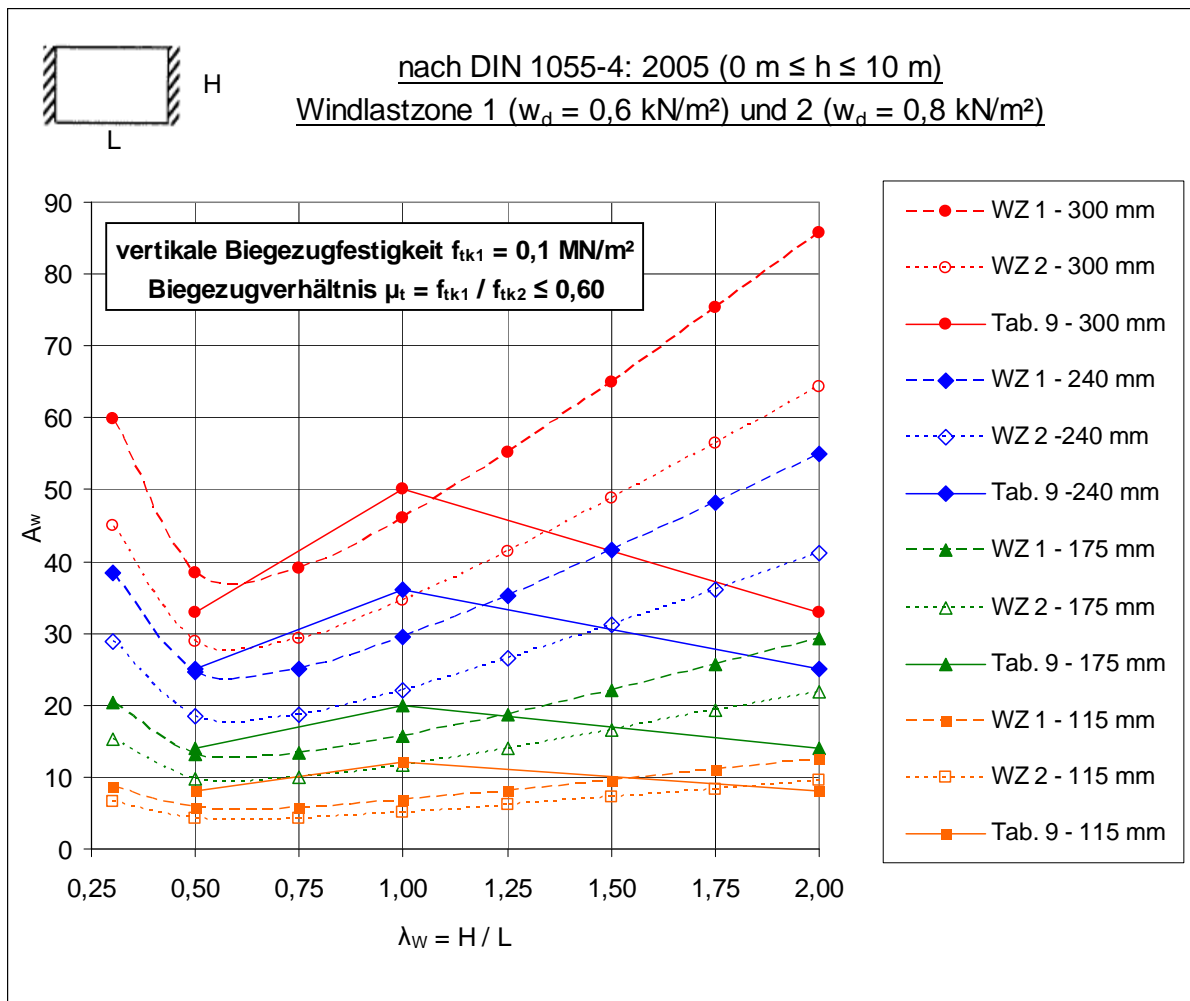


Abbildung 3 Vergleich der zulässigen Ausfachungsflächen des Bemessungskonzepts unter Ansatz der Windlasten nach DIN 1055-4: 2005 mit den entsprechenden Werten nach DIN 1053-1, Tabelle 9 für eine Gebäudehöhe bis 10 m

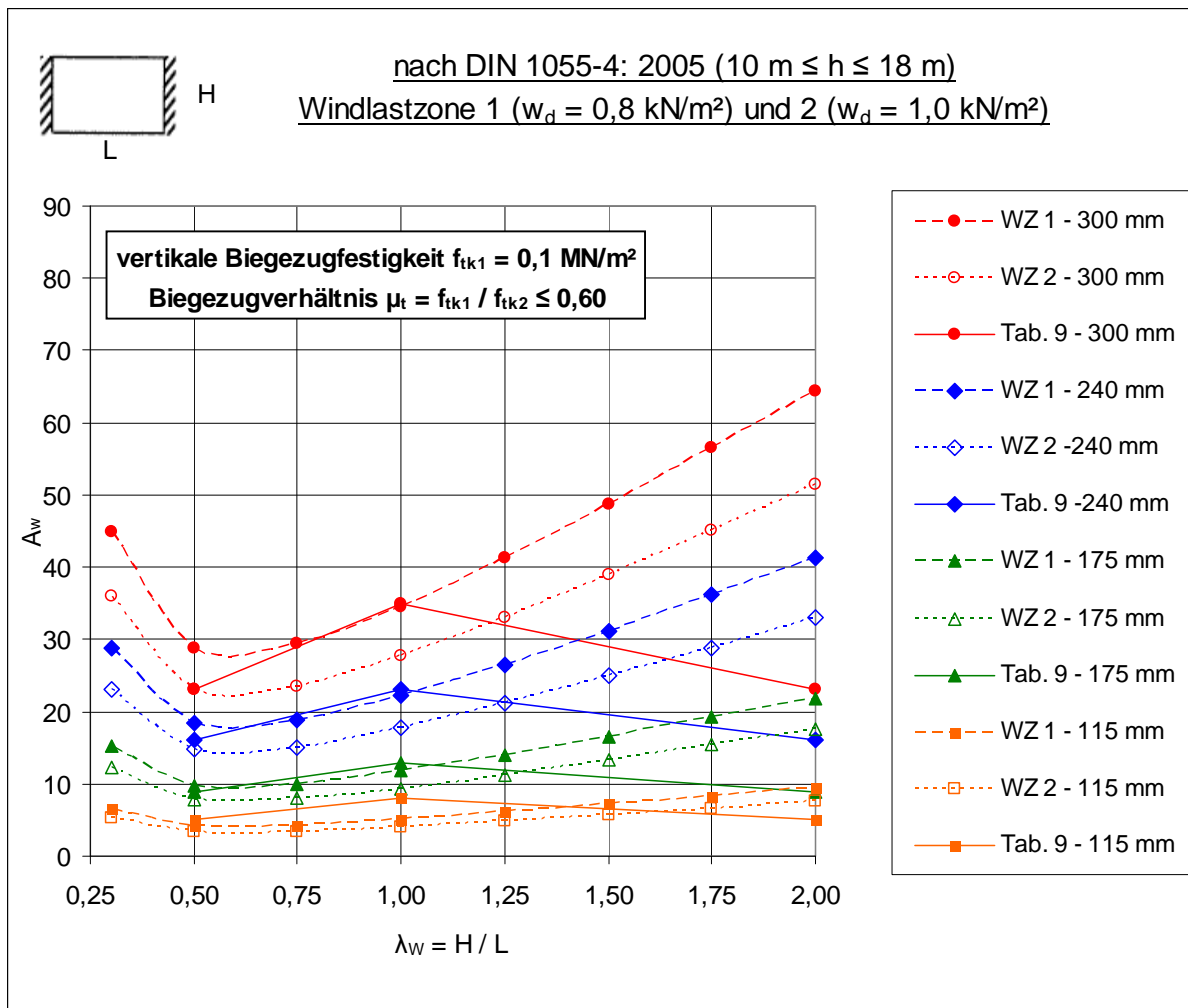


Abbildung 4 Vergleich der zulässigen Ausfachungsflächen des Bemessungskonzepts unter Ansatz der Windlasten nach DIN 1055-4:2005 mit den entsprechenden Werten nach DIN 1053-1, Tabelle 9 für eine Gebäudehöhe in den Grenzen von 10 m bis 18 m

Die Notwendigkeit der Untersuchung eines zweiachsigen Lastabtrages bei nichttragenden Wänden aus Mauerwerk liegt nicht allein in der eventuellen Steigerung der Systemtragfähigkeit durch die bestehenden Lastumlagerungsmöglichkeiten begründet, sondern muss aufgrund der starken Interaktion zwischen der horizontalen und der vertikalen Biegezugfestigkeit analysiert werden. Die horizontale Biegezugfestigkeit kann durch eine Biegemomentenbeanspruchung senkrecht zur Lagerfuge, die noch zu keiner Rissbildung in der Lagerfuge führt, eine Reduzierung der horizontalen Biegezugfestigkeit bewirken. Übersteigt das vertikale Moment das Rissmoment, klappt die Lagerfuge auf und die Biegezugfestigkeit parallel zur Lagerfuge reduziert sich bei geringen Auflasten überproportional. Dieser Effekt wird weder durch die Bruchlinientheorie erfasst noch wurde er bei der Erstellung der Ausfachungsflächen berücksichtigt. Die Systemtragfähigkeit einer zweiachsig abtragenden Mauerwerkswand kann also kleiner sein, als die Tragfähigkeit der Wand unter Betrachtung eines einachsigen Lastabtrages.

Eine Überschätzung der aufnehmbaren Traglast kann durchaus bei der Ermittlung von linear-elastischen Plattenschnittgrößen auftreten, die die Zugrundelegung der jeweiligen Biegezugfestigkeiten berücksichtigt, jedoch ohne Berücksichtigung einer gegenseitigen Beeinflussung. Bei nichttragenden Wänden ist der Verbundwerkstoff Mauerwerk hinsichtlich der Systemtragfähigkeit schwer zu erfassen. Die stark ausgeprägten orthotropen Materialeigenschaften führen zu unterschiedlichen richtungsabhängigen Querschnittstragfähigkeiten, die wiederum durch die Beanspruchungen beeinflusst werden. Demzufolge ist es wichtig, nicht nur die Querschnittstragfähigkeit bei einer mehraxialen Beanspruchung richtig zu erfassen, sondern auch das Nachbruchverhalten wirklichkeitsnah abzubilden, um so mögliche Lastumlagerungseffekte innerhalb der vielfach statisch unbestimmten Wand nutzen zu können.

4.4 Tabellarische Darstellung der zulässigen Ausfachungsflächen

Im Rahmen der Forschungsarbeit wurden für ausgewählte Lagerungsbedingungen und Zugfestigkeiten die Grundwerte A_{w0} der zulässigen Ausfachungsflächen für windbeanspruchte Mauerwerkswände unter der Einheitswindlast $w_{d0} = 1,0 \text{ kN/m}^2$ berechnet. Eine Auswertung für allseits gelenkig gelagertes Mauerwerk mit den oben aufgeführten vertikalen Biegezugfestigkeiten und den Verhältnissen der Biegezugfestigkeiten kann dem Anhang A entnommen werden. Anhang B beinhaltet analog die Tabellen für seitlich eingespannte Wände. Für einen Bemessungswert der Windlast von $w_d = 1,0 \text{ kN/m}^2$ kann die zulässige Ausfachungsfläche direkt aus den Tabellen abgelesen werden. Für andere Windlasten ist eine einfache Umrechnung nach Gl. 7 möglich.

Für die Bestimmung der Tabellen werte wurden folgende Randbedingungen berücksichtigt:

- Lagerungsbedingungen: 

Die tabellarische Auswertung der maximal zulässigen Ausfachungsflächen wurde für allseits gelenkig gelagerte und für vertikal eingespannte Wände vorgenommen.

- vertikale Biegezugfestigkeiten: $f_{tk1} = 0,05 \text{ MN/m}^2$
 $f_{tk1} = 0,10 \text{ MN/m}^2$
 $f_{tk1} = 0,20 \text{ MN/m}^2$
- Verhältnisse der Biegezugfestigkeiten ($\mu_t = f_{tk1}/f_{tk2}$): $\mu_t \leq 0,2$
 $\mu_t \leq 0,6$
 $\mu_t \leq 1,0$
 $\mu_t \leq 1,4$

5 Zusammenfassung

Das Ziel der Forschungsarbeit beinhaltete die Erstellung von Bemessungshilfsmitteln für windbeanspruchte nichttragende Ausfachungswände aus Mauerwerk. Unter Anwendung eines an der TU Darmstadt entwickelten Berechnungsmodells zur Bestimmung der aufnehmbaren Windlasten im Grenzzustand der Tragfähigkeit konnte ein Bemessungskonzept erarbeitet und maximal zulässige Ausfachungsflächen von Mauerwerkswänden in Abhängigkeit festgelegter Randbedingungen und Materialparametern angegeben werden. Die zulässigen Ausfachungsflächen nichttragender Außenwände unter Windbeanspruchung wurden unter Berücksichtigung des semiprobabilistischen Teilsicherheitskonzeptes für zwei Lagerungsbedingungen, drei vertikale Biegezugfestigkeiten und vier unterschiedliche Biegezugfestigkeitsverhältnisse abgeleitet.

Die angegebenen Ausfachungsflächen wurden unter Annahme konservativer Randbedingungen ermittelt. Ein sich möglicherweise einstellender Membranspannungszustand wurde nicht berücksichtigt, da er sich nicht in allen Anwendungsfällen zweifelsfrei einstellt. Ausdrücklich sei darauf hingewiesen, dass die vorliegende Studie keinerlei Untersuchungen zur notwendigen Zuverlässigkeit von Ausfachungsflächen enthält. In den Bemessungstabellen wurden vielmehr die nach DIN 1055-100 und DIN 1053-100 definierten Teilsicherheitsbeiwerte unverändert übernommen, ohne zu überprüfen, inwieweit diese zur Errechnung des für erforderlich erachteten Zielwertes der Systemzuverlässigkeit angemessen sind. Die Tabellen erlauben jedoch eine Möglichkeit der direkten Berücksichtigung eines reduzierten Teilsicherheitsbeiwertes auf der Einwirkungsseite. Mit den Bemessungstabellen steht der Praxis ein einfaches Hilfsmittel für den Nachweis der Lastabtragung windbeanspruchter Außenwände zur Verfügung.


Literaturverzeichnis

- [1] **Richter, L. (2009):** *Tragfähigkeit nichttragender Wände aus Mauerwerk: Ein nichtlineares Berechnungsverfahren und Bemessungsmodell für biegebeanspruchte Innen- und Außenwände.* Dissertation, TU Darmstadt.
- [2] **Graubner, C.-A. & Richter, L. (2008):** *Bemessungstabellen für nichttragende Innen- und Außenwände aus Kalksandsteinmauerwerk.* Forschungsbericht F 01-08, TU Darmstadt, 2008.
- [3] **Mehlhorn, G. (1995a):** *Der Ingenieurbau: Grundwissen - Teil 5: Baustatik / Baudynamik.* Berlin: Ernst & Sohn, 1995.
- [4] **Mehlhorn, G. (1995b):** *Der Ingenieurbau: Grundwissen - Teil 6: Rechnerorientierte Baumechanik.* Berlin: Ernst & Sohn, 1995.
- [5] **Schmidt, U. & Schubert, P. (2004):** *Eigenschaftswerte von Mauerwerk, Teil 2: Biegezugfestigkeit.* Mauerwerk-Kalender, 29 (2004), S. 31-31, Berlin: Ernst & Sohn, 2004.
- [6] **DIN 1053-1: 1996:** *Mauerwerk – Teil 1: Berechnung und Ausführung.* Berlin: Deutsches Institut für Normung e. V., 1996.
- [7] **Entwurf DIN 1053-11: 2009:** *Mauerwerk – Teil 11: Vereinfachtes Nachweisverfahren für unbewehrtes Mauerwerk.* Berlin: Deutsches Institut für Normung e. V., 2009.
- [8] **DIN 1053-100: 2007:** *Mauerwerk – Teil 100: Berechnung auf der Grundlage des semiprobabilistischen Sicherheitskonzeptes.* Berlin: Deutsches Institut für Normung e. V., 2007.
- [9] **DIN 1055-4: 2005:** *Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 4: Windlasten.* Berlin: Deutsches Institut für Normung e. V., 2006.
- [10] **DIN 1055-100: 2001:** *Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung – Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln.* Berlin: Deutsches Institut für Normung e. V., 2001.
- [11] **AS 3700-2001 (2001):** *Australian Standard – Masonry Structures.* Sydney: Standards Australia: 2001.
- [12] **CAN-CSA S304.1-04 (2004):** *Masonry Design for Buildings.* Mississauga, Ontario: Canadian Standards Association, 2004.
- [13] **Eurocode 6-1 (2006):** *Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk.* EN 1996-1-1:2006-01 – Deutsche Fassung EN 1996-1-1:2005. Berlin: Deutsches Institut für Normung e. V., 2006.

Anhang A – Ausfachungsflächen für allseits gelenkig gelagerte nichttragende Außenwände


vertikale Biegezugfestigkeit $f_{tk1}=0,05 \text{ MN/m}^2$

Tabelle A-1 Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} für eine allseits gelenkig gelagerte Wand mit einer vertikalen Biegezugfestigkeit $f_{tk1} = 0,05 \text{ MN/m}^2$ und einem Verhältnis der Biegezugfestigkeit $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2} \leq 0,2$

	Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} ¹⁾ in m^2 für den Bemessungswert der Windlast ²⁾ $w_{d0} = 1,0 \text{ kN/m}^2$							f_{tk1} ⁴⁾ = 0,05 μ_t ⁵⁾ ≤ 0,2	
Wanddicke t [mm]	Wandschlankheit $\lambda_w = H / L$ ³⁾ (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)								
	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	
Wände vierseitig gehalten									
115	3,7	2,3	1,8	1,6	1,7	2,0	2,4	3,1	
150	6,3	4,0	3,0	2,7	2,9	3,4	4,2	5,2	
175	8,5	5,4	4,1	3,7	3,9	4,6	5,7	7,1	
200	11,1	7,1	5,3	4,9	5,2	6,0	7,4	9,3	
240	16,1	10,2	7,6	7,0	7,4	8,7	10,6	13,3	
300	25,1	15,9	11,9	10,9	11,6	13,5	16,6	20,8	

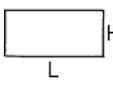
¹⁾ Die Werte gelten für Wände mit allseits gelenkig gelagerten Rändern.
²⁾ Bei abweichenden Windlasten ist der Tabellenwert durch die Windlast w_d zu teilen: Tabellenwert / w_d [kN/m²].
³⁾ Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.
⁴⁾ vertikale Biegezugfestigkeit f_{tk1}
⁵⁾ Verhältnis der Biegezugfestigkeiten $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2}$

Tabelle A-2 Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} für eine allseits gelenkig gelagerte Wand mit einer vertikalen Biegezugfestigkeit $f_{tk1} = 0,05 \text{ MN/m}^2$ und einem Verhältnis der Biegezugfestigkeit $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2} \leq 0,6$

	Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} ¹⁾ in m^2 für den Bemessungswert der Windlast ²⁾ $w_{d0} = 1,0 \text{ kN/m}^2$							f_{tk1} ⁴⁾ = 0,05 μ_t ⁵⁾ ≤ 0,6	
Wanddicke t [mm]	Wandschlankheit $\lambda_w = H / L$ ³⁾ (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)								
	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	
Wände vierseitig gehalten									
115	2,6	1,7	1,4	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	
150	4,4	2,8	2,3	2,3	2,4	2,6	2,8	3,1	
175	6,0	3,9	3,2	3,1	3,2	3,5	3,8	4,2	
200	7,9	5,0	4,1	4,0	4,2	4,5	5,0	5,4	
240	11,3	7,2	5,9	5,8	6,1	6,5	7,1	7,8	
300	17,7	11,3	9,3	9,0	9,5	10,2	11,2	12,2	

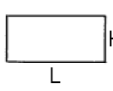
¹⁾ Die Werte gelten für Wände mit allseits gelenkig gelagerten Rändern.
²⁾ Bei abweichenden Windlasten ist der Tabellenwert durch die Windlast w_d zu teilen: Tabellenwert / w_d [kN/m²].
³⁾ Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.
⁴⁾ vertikale Biegezugfestigkeit f_{tk1}
⁵⁾ Verhältnis der Biegezugfestigkeiten $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2}$

Tabelle A-3 Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} für eine allseits gelenkig gelagerte Wand mit einer vertikalen Biegezugfestigkeit $f_{tk1} = 0,05 \text{ MN/m}^2$ und einem Verhältnis der Biegezugfestigkeit $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2} \leq 1,0$

	Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} ¹⁾ in m^2 für den Bemessungswert der Windlast ²⁾ $w_{d0} = 1,0 \text{ kN/m}^2$							f_{tk1} ⁴⁾ = 0,05 μ_t ⁵⁾ ≤ 1,0	
	Wanddicke t [mm]	Wandschlankheit $\lambda_w = H / L$ ³⁾ (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)							
	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	
Wände vierseitig gehalten									
115	2,4	1,5	1,3	1,2	1,3	1,3	1,4	1,5	
150	4,0	2,6	2,2	2,1	2,1	2,3	2,4	2,5	
175	5,5	3,5	2,9	2,8	2,9	3,1	3,3	3,5	
200	7,2	4,6	3,8	3,7	3,8	4,0	4,3	4,5	
240	10,3	6,7	5,5	5,3	5,5	5,8	6,1	6,5	
300	16,2	10,4	8,6	8,4	8,6	9,0	9,6	10,2	

¹⁾ Die Werte gelten für Wände mit allseits gelenkig gelagerten Rändern.
²⁾ Bei abweichenden Windlasten ist der Tabellenwert durch die Windlast w_d zu teilen: Tabellenwert / w_d [kN/m²].
³⁾ Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.
⁴⁾ vertikale Biegezugfestigkeit f_{tk1}
⁵⁾ Verhältnis der Biegezugfestigkeiten $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2}$


Tabelle A-4 Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} für eine allseits gelenkig gelagerte Wand mit einer vertikalen Biegezugfestigkeit $f_{tk1} = 0,05 \text{ MN/m}^2$ und einem Verhältnis der Biegezugfestigkeit $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2} \leq 1,4$

	Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} ¹⁾ in m^2 für den Bemessungswert der Windlast ²⁾ $w_{d0} = 1,0 \text{ kN/m}^2$							f_{tk1} ⁴⁾ = 0,05 μ_t ⁵⁾ ≤ 1,4	
	Wanddicke t [mm]	Wandschlankheit $\lambda_w = H / L$ ³⁾ (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)							
	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	
Wände vierseitig gehalten									
115	2,3	1,4	1,1	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	
150	3,8	2,4	1,9	1,8	1,8	1,8	1,9	2,0	
175	5,2	3,3	2,6	2,4	2,4	2,5	2,6	2,8	
200	6,8	4,3	3,4	3,2	3,2	3,3	3,4	3,6	
240	9,8	6,3	4,9	4,6	4,5	4,7	4,9	5,2	
300	15,4	9,8	7,7	7,1	7,1	7,3	7,7	8,2	

¹⁾ Die Werte gelten für Wände mit allseits gelenkig gelagerten Rändern.
²⁾ Bei abweichenden Windlasten ist der Tabellenwert durch die Windlast w_d zu teilen: Tabellenwert / w_d [kN/m²].
³⁾ Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.
⁴⁾ vertikale Biegezugfestigkeit f_{tk1}
⁵⁾ Verhältnis der Biegezugfestigkeiten $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2}$

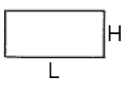
vertikale Biegezugfestigkeit $f_{tk1}=0,10 \text{ MN/m}^2$

Tabelle A-5 Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} für eine allseits gelenkig gelagerte Wand mit einer vertikalen Biegezugfestigkeit $f_{tk1} = 0,10 \text{ MN/m}^2$ und einem Verhältnis der Biegezugfestigkeit $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2} \leq 0,2$

	Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} ¹⁾ in m^2 für den Bemessungswert der Windlast ²⁾ $w_{d0} = 1,0 \text{ kN/m}^2$							f_{tk1} ⁴⁾ = 0,1 μ_t ⁵⁾ ≤ 0,2	
	Wanddicke t [mm]	Wandschlankheit $\lambda_w = H / L$ ³⁾ (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)							
	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	
Wände vierseitig gehalten									
115	7,4	4,7	3,5	3,2	3,4	4,0	4,9	6,1	
150	12,5	8,0	6,0	5,5	5,8	6,8	8,3	10,4	
175	17,1	10,8	8,1	7,4	7,9	9,2	11,3	14,2	
200	22,3	14,1	10,6	9,7	10,3	12,0	14,8	18,5	
240	32,1	20,4	15,3	14,0	14,8	17,3	21,3	26,7	
300	50,2	31,8	23,8	21,8	23,2	27,1	33,3	41,7	


¹⁾ Die Werte gelten für Wände mit allseits gelenkig gelagerten Rändern.
²⁾ Bei abweichenden Windlasten ist der Tabellenwert durch die Windlast w_d zu teilen: Tabellenwert / w_d [kN/m²].
³⁾ Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.
⁴⁾ vertikale Biegezugfestigkeit f_{tk1}
⁵⁾ Verhältnis der Biegezugfestigkeiten $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2}$

Tabelle A-6 Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} für eine allseits gelenkig gelagerte Wand mit einer vertikalen Biegezugfestigkeit $f_{tk1} = 0,10 \text{ MN/m}^2$ und einem Verhältnis der Biegezugfestigkeit $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2} \leq 0,6$

	Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} ¹⁾ in m^2 für den Bemessungswert der Windlast ²⁾ $w_{d0} = 1,0 \text{ kN/m}^2$							f_{tk1} ⁴⁾ = 0,1 μ_t ⁵⁾ ≤ 0,6	
	Wanddicke t [mm]	Wandschlankheit $\lambda_w = H / L$ ³⁾ (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)							
	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	
Wände vierseitig gehalten									
115	5,2	3,3	2,7	2,7	2,8	3,0	3,3	3,6	
150	8,8	5,7	4,6	4,5	4,7	5,1	5,6	6,1	
175	12,0	7,7	6,3	6,2	6,4	7,0	7,6	8,3	
200	15,7	10,1	8,2	8,0	8,4	9,1	9,9	10,8	
240	22,6	14,5	11,9	11,6	12,1	13,1	14,3	15,6	
300	35,4	22,6	18,6	18,1	18,9	20,5	22,3	24,4	

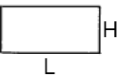
¹⁾ Die Werte gelten für Wände mit allseits gelenkig gelagerten Rändern.
²⁾ Bei abweichenden Windlasten ist der Tabellenwert durch die Windlast w_d zu teilen: Tabellenwert / w_d [kN/m²].
³⁾ Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.
⁴⁾ vertikale Biegezugfestigkeit f_{tk1}
⁵⁾ Verhältnis der Biegezugfestigkeiten $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2}$

Tabelle A-7 Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} für eine allseits gelenkig gelagerte Wand mit einer vertikalen Biegezugfestigkeit $f_{tk1} = 0,10 \text{ MN/m}^2$ und einem Verhältnis der Biegezugfestigkeit $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2} \leq 1,0$

	Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} ¹⁾ in m ² für den Bemessungswert der Windlast ²⁾ $w_{d0} = 1,0 \text{ kN/m}^2$							f_{tk1} ⁴⁾ = 0,1 μ_t ⁵⁾ ≤ 1,0	
	Wanddicke t [mm]	Wandschlankheit $\lambda_w = H / L$ ³⁾ (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)							
	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	
Wände vierseitig gehalten									
115	4,7	3,1	2,5	2,5	2,5	2,7	2,8	3,0	
150	8,1	5,2	4,3	4,2	4,3	4,5	4,8	5,1	
175	11,0	7,1	5,9	5,7	5,8	6,2	6,5	6,9	
200	14,4	9,3	7,7	7,4	7,6	8,0	8,5	9,1	
240	20,7	13,3	11,0	10,7	11,0	11,6	12,3	13,0	
300	32,3	20,8	17,3	16,7	17,2	18,1	19,2	20,4	

¹⁾ Die Werte gelten für Wände mit allseits gelenkig gelagerten Rändern.
²⁾ Bei abweichenden Windlasten ist der Tabellenwert durch die Windlast w_d zu teilen: Tabellenwert / w_d [kN/m²].
³⁾ Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.
⁴⁾ vertikale Biegezugfestigkeit f_{tk1}
⁵⁾ Verhältnis der Biegezugfestigkeiten $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2}$


Tabelle A-8 Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} für eine allseits gelenkig gelagerte Wand mit einer vertikalen Biegezugfestigkeit $f_{tk1} = 0,10 \text{ MN/m}^2$ und einem Verhältnis der Biegezugfestigkeit $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2} \leq 1,4$

	Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} ¹⁾ in m ² für den Bemessungswert der Windlast ²⁾ $w_{d0} = 1,0 \text{ kN/m}^2$							f_{tk1} ⁴⁾ = 0,1 μ_t ⁵⁾ ≤ 1,4	
	Wanddicke t [mm]	Wandschlankheit $\lambda_w = H / L$ ³⁾ (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)							
	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	
Wände vierseitig gehalten									
115	4,5	2,9	2,3	2,1	2,1	2,2	2,3	2,4	
150	7,7	4,9	3,8	3,6	3,5	3,7	3,9	4,1	
175	10,5	6,7	5,2	4,8	4,8	5,0	5,2	5,6	
200	13,7	8,7	6,8	6,3	6,3	6,5	6,9	7,3	
240	19,7	12,5	9,8	9,1	9,1	9,4	9,9	10,5	
300	30,7	19,5	15,4	14,2	14,2	14,7	15,4	16,3	

¹⁾ Die Werte gelten für Wände mit allseits gelenkig gelagerten Rändern.
²⁾ Bei abweichenden Windlasten ist der Tabellenwert durch die Windlast w_d zu teilen: Tabellenwert / w_d [kN/m²].
³⁾ Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.
⁴⁾ vertikale Biegezugfestigkeit f_{tk1}
⁵⁾ Verhältnis der Biegezugfestigkeiten $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2}$

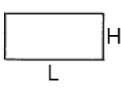
vertikale Biegezugfestigkeit $f_{tk1}=0,20 \text{ MN/m}^2$

Tabelle A-9 Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} für eine allseits gelenkig gelagerte Wand mit einer vertikalen Biegezugfestigkeit $f_{tk1} = 0,20 \text{ MN/m}^2$ und einem Verhältnis der Biegezugfestigkeit $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2} \leq 0,2$

	Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} ¹⁾ in m ² für den Bemessungswert der Windlast ²⁾ $w_{d0} = 1,0 \text{ kN/m}^2$								f_{tk1} ⁴⁾ = 0,2 μ_t ⁵⁾ ≤ 0,2
	Wandschlankheit $\lambda_w = H / L$ ³⁾ (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)								
Wanddicke t [mm]	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	
Wände vierseitig gehalten									
115	14,7	9,4	7,0	6,4	6,8	8,0	9,8	12,2	
150	25,1	15,9	11,9	10,9	11,6	13,5	16,6	20,8	
175	34,1	21,7	16,2	14,9	15,8	18,4	22,6	28,4	
200	44,6	28,3	21,2	19,4	20,6	24,1	29,6	37,0	
240	64,2	40,7	30,5	28,0	29,7	34,7	42,6	53,3	
300	100,3	63,6	47,7	43,7	46,4	54,2	66,5	83,3	

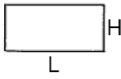
¹⁾ Die Werte gelten für Wände mit allseits gelenkig gelagerten Rändern.
²⁾ Bei abweichenden Windlasten ist der Tabellenwert durch die Windlast w_d zu teilen: Tabellenwert / w_d [kN/m²].
³⁾ Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.
⁴⁾ vertikale Biegezugfestigkeit f_{tk1}
⁵⁾ Verhältnis der Biegezugfestigkeiten $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2}$

Tabelle A-10 Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} für eine allseits gelenkig gelagerte Wand mit einer vertikalen Biegezugfestigkeit $f_{tk1} = 0,20 \text{ MN/m}^2$ und einem Verhältnis der Biegezugfestigkeit $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2} \leq 0,6$

	Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} ¹⁾ in m ² für den Bemessungswert der Windlast ²⁾ $w_{d0} = 1,0 \text{ kN/m}^2$								f_{tk1} ⁴⁾ = 0,2 μ_t ⁵⁾ ≤ 0,6
	Wandschlankheit $\lambda_w = H / L$ ³⁾ (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)								
Wanddicke t [mm]	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	
Wände vierseitig gehalten									
115	10,4	6,7	5,5	5,3	5,6	6,0	6,6	7,2	
150	17,7	11,3	9,3	9,0	9,5	10,2	11,2	12,2	
175	24,1	15,4	12,6	12,3	12,9	13,9	15,2	16,6	
200	31,4	20,1	16,5	16,1	16,8	18,2	19,8	21,7	
240	45,3	29,0	23,8	23,1	24,2	26,2	28,6	31,2	
300	70,7	45,3	37,1	36,1	37,9	40,9	44,6	48,8	


¹⁾ Die Werte gelten für Wände mit allseits gelenkig gelagerten Rändern.
²⁾ Bei abweichenden Windlasten ist der Tabellenwert durch die Windlast w_d zu teilen: Tabellenwert / w_d [kN/m²].
³⁾ Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.
⁴⁾ vertikale Biegezugfestigkeit f_{tk1}
⁵⁾ Verhältnis der Biegezugfestigkeiten $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2}$

Tabelle A-11 Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} für eine allseits gelenkig gelagerte Wand mit einer vertikalen Biegezugfestigkeit $f_{tk1} = 0,20 \text{ MN/m}^2$ und einem Verhältnis der Biegezugfestigkeit $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2} \leq 1,0$

	Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} ¹⁾ in m ² für den Bemessungswert der Windlast ²⁾ $w_{d0} = 1,0 \text{ kN/m}^2$							f_{tk1} ⁴⁾ = 0,2 μ_t ⁵⁾ ≤ 1,0	
	Wanddicke t [mm]	Wandschlankheit $\lambda_w = H / L$ ³⁾ (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)							
	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	
Wände vierseitig gehalten									
115	9,5	6,1	5,1	4,9	5,0	5,3	5,6	6,0	
150	16,2	10,4	8,6	8,4	8,6	9,0	9,6	10,2	
175	22,0	14,2	11,7	11,4	11,7	12,3	13,1	13,9	
200	28,7	18,5	15,3	14,8	15,3	16,1	17,0	18,1	
240	41,4	26,7	22,1	21,4	22,0	23,1	24,6	26,1	
300	64,6	41,7	34,5	33,4	34,3	36,1	38,4	40,8	

¹⁾ Die Werte gelten für Wände mit allseits gelenkig gelagerten Rändern.
²⁾ Bei abweichenden Windlasten ist der Tabellenwert durch die Windlast w_d zu teilen: Tabellenwert / w_d [kN/m²].
³⁾ Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.
⁴⁾ vertikale Biegezugfestigkeit f_{tk1}
⁵⁾ Verhältnis der Biegezugfestigkeiten $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2}$

Tabelle A-12 Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} für eine allseits gelenkig gelagerte Wand mit einer vertikalen Biegezugfestigkeit $f_{tk1} = 0,20 \text{ MN/m}^2$ und einem Verhältnis der Biegezugfestigkeit $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2} \leq 1,4$

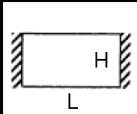
	Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} ¹⁾ in m ² für den Bemessungswert der Windlast ²⁾ $w_{d0} = 1,0 \text{ kN/m}^2$							f_{tk1} ⁴⁾ = 0,2 μ_t ⁵⁾ ≤ 1,4	
	Wanddicke t [mm]	Wandschlankheit $\lambda_w = H / L$ ³⁾ (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)							
	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	
Wände vierseitig gehalten									
115	9,0	5,7	4,5	4,2	4,2	4,3	4,5	4,8	
150	15,4	9,8	7,7	7,1	7,1	7,3	7,7	8,2	
175	20,9	13,3	10,5	9,7	9,7	10,0	10,5	11,1	
200	27,3	17,4	13,7	12,7	12,6	13,0	13,7	14,5	
240	39,3	25,0	19,7	18,2	18,2	18,8	19,7	20,9	
300	61,4	39,1	30,8	28,5	28,4	29,3	30,9	32,7	

¹⁾ Die Werte gelten für Wände mit allseits gelenkig gelagerten Rändern.
²⁾ Bei abweichenden Windlasten ist der Tabellenwert durch die Windlast w_d zu teilen: Tabellenwert / w_d [kN/m²].
³⁾ Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.
⁴⁾ vertikale Biegezugfestigkeit f_{tk1}
⁵⁾ Verhältnis der Biegezugfestigkeiten $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2}$

Anhang B – Ausfachungsflächen für seitlich eingespannte nichttragende Außenwände

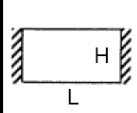
vertikale Biegezugfestigkeit $f_{tk1}=0,05 \text{ MN/m}^2$

Tabelle B-1 Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} für eine seitlich eingespannte Wand mit einer vertikalen Biegezugfestigkeit $f_{tk1} = 0,05 \text{ MN/m}^2$ und einem Verhältnis der Biegezugfestigkeit $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2} \leq 0,2$

	Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} ¹⁾ in m ² für den Bemessungswert der Windlast ²⁾ $w_{d0} = 1,0 \text{ kN/m}^2$							f_{tk1} ⁴⁾ = 0,05 μ_t ⁵⁾ ≤ 0,2	
Wanddicke t [mm]	Wandschlankheit $\lambda_w = H / L$ ³⁾ (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)								
	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	
Wände vierseitig gehalten									
115	3,8	2,3	2,1	2,3	2,7	3,2	3,7	4,3	
150	6,4	4,0	3,6	4,0	4,6	5,4	6,3	7,3	
175	8,7	5,4	4,9	5,4	6,3	7,4	8,6	9,9	
200	11,4	7,0	6,4	7,1	8,3	9,7	11,2	12,9	
240	16,4	10,1	9,2	10,2	11,9	13,9	16,2	18,6	
300	25,6	15,9	14,4	15,9	18,6	21,8	25,3	29,1	

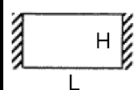
¹⁾ Die Werte gelten für Wände mit einer Einspannung der seitlichen Ränder.
²⁾ Bei abweichenden Windlasten ist der Tabellenwert durch die Windlast w_d zu teilen: Tabellenwert / w_d [kN/m²].
³⁾ Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.
⁴⁾ vertikale Biegezugfestigkeit f_{tk1}
⁵⁾ Verhältnis der Biegezugfestigkeiten $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2}$

Tabelle B-2 Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} für eine seitlich eingespannte Wand mit einer vertikalen Biegezugfestigkeit $f_{tk1} = 0,05 \text{ MN/m}^2$ und einem Verhältnis der Biegezugfestigkeit $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2} \leq 0,6$

	Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} ¹⁾ in m ² für den Bemessungswert der Windlast ²⁾ $w_{d0} = 1,0 \text{ kN/m}^2$							f_{tk1} ⁴⁾ = 0,05 μ_t ⁵⁾ ≤ 0,6	
Wanddicke t [mm]	Wandschlankheit $\lambda_w = H / L$ ³⁾ (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)								
	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	
Wände vierseitig gehalten									
115	2,6	1,7	1,7	2,0	2,4	2,9	3,3	3,8	
150	4,5	2,9	2,9	3,5	4,1	4,9	5,6	6,4	
175	6,1	3,9	4,0	4,7	5,6	6,6	7,7	8,8	
200	8,0	5,1	5,2	6,2	7,4	8,7	10,0	11,4	
240	11,5	7,4	7,5	8,9	10,6	12,5	14,5	16,5	
300	18,0	11,6	11,7	13,8	16,5	19,5	22,6	25,7	

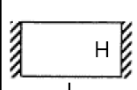
¹⁾ Die Werte gelten für Wände mit einer Einspannung der seitlichen Ränder.
²⁾ Bei abweichenden Windlasten ist der Tabellenwert durch die Windlast w_d zu teilen: Tabellenwert / w_d [kN/m²].
³⁾ Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.
⁴⁾ vertikale Biegezugfestigkeit f_{tk1}
⁵⁾ Verhältnis der Biegezugfestigkeiten $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2}$

Tabelle B-3 Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} für eine seitlich eingespannte Wand mit einer vertikalen Biegezugfestigkeit $f_{tk1} = 0,05 \text{ MN/m}^2$ und einem Verhältnis der Biegezugfestigkeit $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2} \leq 1,0$

	Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} ¹⁾ in m^2 für den Bemessungswert der Windlast ²⁾ $w_{d0} = 1,0 \text{ kN/m}^2$							f_{tk1} ⁴⁾ = 0,05 μ_t ⁵⁾ ≤ 1,0	
	Wanddicke t [mm]	Wandschlankheit $\lambda_w = H / L$ ³⁾ (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)							
	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	
Wände vierseitig gehalten									
115	2,4	1,6	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	
150	4,1	2,7	2,7	3,0	3,4	3,8	4,2	4,6	
175	5,5	3,6	3,6	4,1	4,6	5,2	5,7	6,3	
200	7,2	4,8	4,7	5,3	6,0	6,7	7,5	8,2	
240	10,4	6,9	6,8	7,7	8,7	9,7	10,8	11,8	
300	16,3	10,7	10,7	12,0	13,5	15,2	16,8	18,4	

¹⁾ Die Werte gelten für Wände mit einer Einspannung der seitlichen Ränder.
²⁾ Bei abweichenden Windlasten ist der Tabellenwert durch die Windlast w_d zu teilen: Tabellenwert / w_d [kN/m²].
³⁾ Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.
⁴⁾ vertikale Biegezugfestigkeit f_{tk1}
⁵⁾ Verhältnis der Biegezugfestigkeiten $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2}$

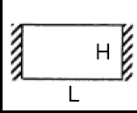
Tabelle B-4 Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} für eine seitlich eingespannte Wand mit einer vertikalen Biegezugfestigkeit $f_{tk1} = 0,05 \text{ MN/m}^2$ und einem Verhältnis der Biegezugfestigkeit $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2} \leq 1,4$

	Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} ¹⁾ in m^2 für den Bemessungswert der Windlast ²⁾ $w_{d0} = 1,0 \text{ kN/m}^2$							f_{tk1} ⁴⁾ = 0,05 μ_t ⁵⁾ ≤ 1,4	
	Wanddicke t [mm]	Wandschlankheit $\lambda_w = H / L$ ³⁾ (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)							
	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	
Wände vierseitig gehalten									
115	2,3	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,1	
150	3,9	2,6	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3	3,6	
175	5,3	3,6	3,4	3,6	3,9	4,2	4,6	4,9	
200	6,9	4,7	4,5	4,7	5,1	5,5	5,9	6,3	
240	9,9	6,7	6,4	6,8	7,4	8,0	8,6	9,1	
300	15,5	10,5	10,0	10,7	11,5	12,5	13,4	14,3	

¹⁾ Die Werte gelten für Wände mit einer Einspannung der seitlichen Ränder.
²⁾ Bei abweichenden Windlasten ist der Tabellenwert durch die Windlast w_d zu teilen: Tabellenwert / w_d [kN/m²].
³⁾ Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.
⁴⁾ vertikale Biegezugfestigkeit f_{tk1}
⁵⁾ Verhältnis der Biegezugfestigkeiten $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2}$

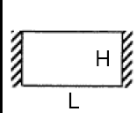
vertikale Biegezugfestigkeit $f_{tk1}=0,10 \text{ MN/m}^2$

Tabelle B-5 Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} für eine seitlich eingespannte Wand mit einer vertikalen Biegezugfestigkeit $f_{tk1} = 0,10 \text{ MN/m}^2$ und einem Verhältnis der Biegezugfestigkeit $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2} \leq 0,2$

	Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} ¹⁾ in m ² für den Bemessungswert der Windlast ²⁾ $w_{d0} = 1,0 \text{ kN/m}^2$							f_{tk1} ⁴⁾ = 0,1 μ_t ⁵⁾ ≤ 0,2	
	Wandschlankheit $\lambda_w = H / L$ ³⁾ (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)								
Wanddicke t [mm]	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	
Wände vierseitig gehalten									
115	7,5	4,7	4,2	4,7	5,5	6,4	7,4	8,5	
150	12,8	7,9	7,2	8,0	9,3	10,9	12,7	14,5	
175	17,4	10,8	9,8	10,8	12,6	14,8	17,2	19,8	
200	22,8	14,1	12,8	14,1	16,5	19,4	22,5	25,8	
240	32,8	20,3	18,4	20,4	23,8	27,9	32,4	37,2	
300	51,3	31,7	28,8	31,8	37,1	43,5	50,6	58,1	

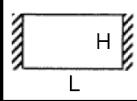
¹⁾ Die Werte gelten für Wände mit einer Einspannung der seitlichen Ränder.
²⁾ Bei abweichenden Windlasten ist der Tabellenwert durch die Windlast w_d zu teilen: Tabellenwert / w_d [kN/m²].
³⁾ Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.
⁴⁾ vertikale Biegezugfestigkeit f_{tk1}
⁵⁾ Verhältnis der Biegezugfestigkeiten $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2}$

Tabelle B-6 Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} für eine seitlich eingespannte Wand mit einer vertikalen Biegezugfestigkeit $f_{tk1} = 0,10 \text{ MN/m}^2$ und einem Verhältnis der Biegezugfestigkeit $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2} \leq 0,6$

	Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} ¹⁾ in m ² für den Bemessungswert der Windlast ²⁾ $w_{d0} = 1,0 \text{ kN/m}^2$							f_{tk1} ⁴⁾ = 0,1 μ_t ⁵⁾ ≤ 0,6	
	Wandschlankheit $\lambda_w = H / L$ ³⁾ (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)								
Wanddicke t [mm]	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	
Wände vierseitig gehalten									
115	5,3	3,4	3,5	4,1	4,9	5,7	6,6	7,6	
150	9,0	5,8	5,9	6,9	8,3	9,7	11,3	12,9	
175	12,2	7,9	8,0	9,4	11,3	13,3	15,4	17,5	
200	16,0	10,3	10,4	12,3	14,7	17,3	20,1	22,9	
240	23,0	14,8	15,0	17,7	21,2	25,0	28,9	33,0	
300	36,0	23,1	23,5	27,7	33,1	39,0	45,2	51,5	

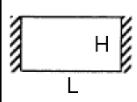
¹⁾ Die Werte gelten für Wände mit einer Einspannung der seitlichen Ränder.
²⁾ Bei abweichenden Windlasten ist der Tabellenwert durch die Windlast w_d zu teilen: Tabellenwert / w_d [kN/m²].
³⁾ Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.
⁴⁾ vertikale Biegezugfestigkeit f_{tk1}
⁵⁾ Verhältnis der Biegezugfestigkeiten $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2}$

Tabelle B-7 Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} für eine seitlich eingespannte Wand mit einer vertikalen Biegezugfestigkeit $f_{tk1} = 0,10 \text{ MN/m}^2$ und einem Verhältnis der Biegezugfestigkeit $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2} \leq 1,0$

	Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} ¹⁾ in m ² für den Bemessungswert der Windlast ²⁾ $w_{d0} = 1,0 \text{ kN/m}^2$								f_{tk1} ⁴⁾ = 0,1 μ_t ⁵⁾ ≤ 1,0
	Wanddicke t [mm]	Wandschlankheit $\lambda_W = H / L$ ³⁾ (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)							
	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	
Wände vierseitig gehalten									
115	4,8	3,2	3,1	3,5	4,0	4,5	4,9	5,4	
150	8,1	5,4	5,3	6,0	6,8	7,6	8,4	9,2	
175	11,1	7,3	7,3	8,1	9,2	10,3	11,4	12,5	
200	14,5	9,5	9,5	10,6	12,0	13,5	14,9	16,4	
240	20,8	13,7	13,7	15,3	17,3	19,4	21,5	23,6	
300	32,5	21,4	21,4	23,9	27,1	30,3	33,6	36,8	

¹⁾ Die Werte gelten für Wände mit einer Einspannung der seitlichen Ränder.
²⁾ Bei abweichenden Windlasten ist der Tabellenwert durch die Windlast w_d zu teilen: Tabellenwert / w_d [kN/m²].
³⁾ Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.
⁴⁾ vertikale Biegezugfestigkeit f_{tk1}
⁵⁾ Verhältnis der Biegezugfestigkeiten $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2}$

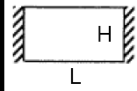
Tabelle B-8 Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} für eine seitlich eingespannte Wand mit einer vertikalen Biegezugfestigkeit $f_{tk1} = 0,10 \text{ MN/m}^2$ und einem Verhältnis der Biegezugfestigkeit $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2} \leq 1,4$

	Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} ¹⁾ in m ² für den Bemessungswert der Windlast ²⁾ $w_{d0} = 1,0 \text{ kN/m}^2$								f_{tk1} ⁴⁾ = 0,1 μ_t ⁵⁾ ≤ 1,4
	Wanddicke t [mm]	Wandschlankheit $\lambda_W = H / L$ ³⁾ (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)							
	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	
Wände vierseitig gehalten									
115	4,5	3,1	2,9	3,1	3,4	3,7	3,9	4,2	
150	7,7	5,3	5,0	5,3	5,8	6,2	6,7	7,1	
175	10,5	7,1	6,8	7,3	7,9	8,5	9,1	9,7	
200	13,7	9,3	8,9	9,5	10,3	11,1	11,9	12,7	
240	19,8	13,4	12,8	13,7	14,8	16,0	17,1	18,3	
300	30,9	21,0	20,1	21,3	23,1	24,9	26,8	28,5	

¹⁾ Die Werte gelten für Wände mit einer Einspannung der seitlichen Ränder.
²⁾ Bei abweichenden Windlasten ist der Tabellenwert durch die Windlast w_d zu teilen: Tabellenwert / w_d [kN/m²].
³⁾ Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.
⁴⁾ vertikale Biegezugfestigkeit f_{tk1}
⁵⁾ Verhältnis der Biegezugfestigkeiten $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2}$

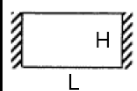
vertikale Biegezugfestigkeit $f_{tk1}=0,20 \text{ MN/m}^2$

Tabelle B-9 Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} für eine seitlich eingespannte Wand mit einer vertikalen Biegezugfestigkeit $f_{tk1} = 0,20 \text{ MN/m}^2$ und einem Verhältnis der Biegezugfestigkeit $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2} \leq 0,2$

	Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} ¹⁾ in m ² für den Bemessungswert der Windlast ²⁾ $w_{d0} = 1,0 \text{ kN/m}^2$							f_{tk1} ⁴⁾ = 0,2 μ_t ⁵⁾ ≤ 0,2	
	Wandschlankheit $\lambda_w = H / L$ ³⁾ (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)								
Wanddicke t [mm]	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	
Wände vierseitig gehalten									
115	15,1	9,3	8,5	9,4	10,9	12,8	14,9	17,1	
150	25,6	15,9	14,4	15,9	18,6	21,8	25,3	29,1	
175	34,9	21,6	19,6	21,7	25,3	29,6	34,4	39,6	
200	45,6	28,2	25,6	28,3	33,0	38,7	45,0	51,7	
240	65,6	40,6	36,8	40,8	47,5	55,7	64,8	74,4	
300	102,5	63,4	57,5	63,7	74,3	87,1	101,2	116,3	

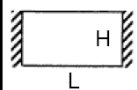
¹⁾ Die Werte gelten für Wände mit einer Einspannung der seitlichen Ränder.
²⁾ Bei abweichenden Windlasten ist der Tabellenwert durch die Windlast w_d zu teilen: Tabellenwert / w_d [kN/m²].
³⁾ Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.
⁴⁾ vertikale Biegezugfestigkeit f_{tk1}
⁵⁾ Verhältnis der Biegezugfestigkeiten $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2}$

Tabelle B-10 Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} für eine seitlich eingespannte Wand mit einer vertikalen Biegezugfestigkeit $f_{tk1} = 0,20 \text{ MN/m}^2$ und einem Verhältnis der Biegezugfestigkeit $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2} \leq 0,6$

	Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} ¹⁾ in m ² für den Bemessungswert der Windlast ²⁾ $w_{d0} = 1,0 \text{ kN/m}^2$							f_{tk1} ⁴⁾ = 0,2 μ_t ⁵⁾ ≤ 0,6	
	Wandschlankheit $\lambda_w = H / L$ ³⁾ (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)								
Wanddicke t [mm]	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	
Wände vierseitig gehalten									
115	10,6	6,8	6,9	8,1	9,7	11,5	13,3	15,1	
150	18,0	11,6	11,7	13,8	16,5	19,5	22,6	25,7	
175	24,5	15,7	16,0	18,8	22,5	26,5	30,7	35,0	
200	32,0	20,5	20,9	24,6	29,4	34,7	40,1	45,8	
240	46,0	29,6	30,1	35,4	42,3	49,9	57,8	65,9	
300	71,9	46,2	47,0	55,4	66,2	78,0	90,3	103,0	

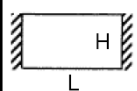
¹⁾ Die Werte gelten für Wände mit einer Einspannung der seitlichen Ränder.
²⁾ Bei abweichenden Windlasten ist der Tabellenwert durch die Windlast w_d zu teilen: Tabellenwert / w_d [kN/m²].
³⁾ Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.
⁴⁾ vertikale Biegezugfestigkeit f_{tk1}
⁵⁾ Verhältnis der Biegezugfestigkeiten $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2}$

Tabelle B-11 Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} für eine seitlich eingespannte Wand mit einer vertikalen Biegezugfestigkeit $f_{tk1} = 0,20 \text{ MN/m}^2$ und einem Verhältnis der Biegezugfestigkeit $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2} \leq 1,0$

	Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} ¹⁾ in m^2 für den Bemessungswert der Windlast ²⁾ $w_{d0} = 1,0 \text{ kN/m}^2$							f_{tk1} ⁴⁾ = 0,2 μ_t ⁵⁾ ≤ 1,0	
	Wanddicke t [mm]	Wandschlankheit $\lambda_w = H / L$ ³⁾ (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)							
	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	
Wände vierseitig gehalten									
115	9,6	6,3	6,3	7,0	8,0	8,9	9,9	10,8	
150	16,3	10,7	10,7	12,0	13,5	15,2	16,8	18,4	
175	22,1	14,6	14,5	16,3	18,4	20,7	22,9	25,1	
200	28,9	19,1	19,0	21,3	24,1	27,0	29,9	32,7	
240	41,7	27,4	27,3	30,6	34,6	38,8	43,0	47,2	
300	65,1	42,9	42,7	47,8	54,1	60,7	67,2	73,7	

¹⁾ Die Werte gelten für Wände mit einer Einspannung der seitlichen Ränder.
²⁾ Bei abweichenden Windlasten ist der Tabellenwert durch die Windlast w_d zu teilen: Tabellenwert / w_d [kN/m²].
³⁾ Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.
⁴⁾ vertikale Biegezugfestigkeit f_{tk1}
⁵⁾ Verhältnis der Biegezugfestigkeiten $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2}$

Tabelle B-12 Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} für eine seitlich eingespannte Wand mit einer vertikalen Biegezugfestigkeit $f_{tk1} = 0,20 \text{ MN/m}^2$ und einem Verhältnis der Biegezugfestigkeit $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2} \leq 1,4$

	Normierte Grundwerte der Ausfachungsflächen A_{w0} ¹⁾ in m^2 für den Bemessungswert der Windlast ²⁾ $w_{d0} = 1,0 \text{ kN/m}^2$							f_{tk1} ⁴⁾ = 0,2 μ_t ⁵⁾ ≤ 1,4	
	Wanddicke t [mm]	Wandschlankheit $\lambda_w = H / L$ ³⁾ (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)							
	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	
Wände vierseitig gehalten									
115	9,1	6,2	5,9	6,3	6,8	7,3	7,9	8,4	
150	15,5	10,5	10,0	10,7	11,5	12,5	13,4	14,3	
175	21,0	14,3	13,7	14,5	15,7	17,0	18,2	19,4	
200	27,5	18,7	17,8	19,0	20,5	22,2	23,8	25,4	
240	39,6	26,9	25,7	27,3	29,6	31,9	34,3	36,5	
300	61,9	42,0	40,1	42,7	46,2	49,9	53,5	57,1	

¹⁾ Die Werte gelten für Wände mit einer Einspannung der seitlichen Ränder.
²⁾ Bei abweichenden Windlasten ist der Tabellenwert durch die Windlast w_d zu teilen: Tabellenwert / w_d [kN/m²].
³⁾ Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.
⁴⁾ vertikale Biegezugfestigkeit f_{tk1}
⁵⁾ Verhältnis der Biegezugfestigkeiten $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2}$