

Jaroslav Novak, Martin Heßler
Wolfgang Jehl, Norbert Sack

Fenstermontage in hochwärme- dämmendem Ziegelmauerwerk

Erarbeitung eines Leitfadens zur Befestigung
von energieeffizienten Fenstern in hoch-
wärmedämmendem Ziegelmauerwerk

F 3087

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) 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

2019

ISBN 978-3-7388-0391-4

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

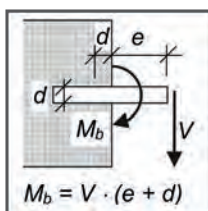
Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/bauforschung

Fenstermontage in hochwärmedämmendem Ziegelmauerwerk



Abschlussbericht

Thema	Erarbeitung eines Leitfadens zur Befestigung von energieeffizienten Fenstern in hochwärmedämmendem Ziegelmauerwerk
Kurztitel	Fenstermontage in hochwärmedämmendem Ziegelmauerwerk
Gefördert durch	Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-13.27)
Forschungsstelle	ift gemeinnützige Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH Theodor-Gietl-Straße 7-9 83026 Rosenheim
Bearbeiter	Jaroslav Novak Martin Heßler Wolfgang Jehl Norbert Sack
Projektleiter	Wolfgang Jehl
Institutsleitung	Prof. Ulrich Sieberath

Rosenheim, April 2018

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumordnung gefördert (Aktenzeichen: SWD- SWD-10.08.18.7-13.27).

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt bei den Autoren.



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Projektziel	1
2	Stand der Technik	3
2.1.1	Standardsteine	5
2.1.2	Leibungssteine	6
2.1.3	Einbausituationen des Fensters	7
3	Vorgehensweise zur Auslegung einer Fensterbefestigung	9
3.1	Grenzzustand der Tragfähigkeit	9
3.2	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	10
4	Analyse der auf die Fensterbefestigung einwirkenden Kräfte	11
4.1	Grundsätzliche Ausführung der Fensterbefestigung	11
4.2	In Fenster-/ Flügelebene wirkende Kräfte	14
4.3	Senkrecht zur Fensterebene wirkende Kräfte	16
4.3.1	Eigengewicht	18
4.3.2	Vertikale Nutzlasten	20
4.3.3	Windlasten	21
4.3.4	Absturzsicherung	24
4.4	Überlagerung von Lasten/ Kombination der Lastfälle	25
4.5	Anforderungen an das Befestigungsmittel im Standardfall	30
5	Kleinversuche am Einzelstein Runde 1	37
5.1	Versuchsdurchführung	37
5.2	Versuchsprogramm	38
5.3	Versuchsaufbau	41
5.3.1	Querzug	41
5.3.2	Biegung	42
5.4	Auswertung der Versuche	43
5.4.1	Auswertung der Versuche für Querzug	44
5.4.2	Auswertung der Versuche auf Biegung	53
6	Bauteilversuche Runde 1	55
6.1	Vorgehensweise	55
6.2	Ermittlung der Versagenslast im Bauteilversuch	55
6.2.1	Wandaufbau 1	56
6.2.2	Wandaufbau 2	60
6.3	Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit und alternativen Befestigungslösungen	64
6.3.1	Rechnerische Simulation	64
6.3.2	Beschreibung der Bauteilversuche 3 und 4	69
6.3.3	Wandaufbau 3	72
6.3.4	Ergebnisse Wandaufbau 3	77
6.3.5	Wandaufbau 4	84
6.3.6	Ergebnisse Wandaufbau 4	86

7	Untersuchungen zum Einfluss der Torsionsbehinderung	93
8	Kleinteilversuche am Einzelstein Runde 2	97
8.1	Vorversuche zur Ausbildung der Probekörper	97
8.2	Ermittlung der Tragfähigkeiten in speziellen Leibungsziegel	102
8.2.1	Einfluss der freien Hebelarmlänge	106
8.2.2	Festlegung der Tragfähigkeit	108
8.3	Unterer Anschluss	111
9	Weitere Bauteilversuche	115
9.1	Zielsetzung	115
9.2	Aufbau der Wand 5 und Wand 7	115
9.3	Aufbau der Wand 6 und Wand 8	120
9.4	Versuchsergebnisse an Wand 5	123
9.5	Versuchsergebnisse an Wand 6	130
9.6	Versuchsergebnisse an Wand 7	135
9.7	Versuchsergebnisse an Wand 8	142
9.8	Fazit der Bauteilversuche	149
10	Befestigungsplaner	151
11	Literaturverzeichnis	155
12	Danksagung	157

Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden umfangreiche Untersuchungen zu Befestigung von Fenster in hochwärmedämmendem Ziegelmauerwerk durchgeführt. Neben einer Analyse der an den Befestigungspunkten auftretenden Lasten wurden an unterschiedlichen Ziegelsteinen die Tragfähigkeiten durch Kleinteilversuche ermittelt. Aufbauend hierauf wurden an kompletten Bauteilen, bestehend aus Wand sowie eingebautem Fenster, Untersuchungen zur Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit durchgeführt. Hierbei wurden auch alternative Befestigungskonzepte zur Gruppenbefestigung sowie zur Befestigung am unteren Anschluss untersucht.

Die durchgeführte Analyse der an den Befestigungspunkten angreifenden Lasten hat ergeben, dass in vielen Fällen nicht die Windlast die entscheidende Größe für die Bemessung der Befestigungselemente ist. Vielmehr ist es die Last, die durch einen auf 90° geöffneten Flügel, insbesondere mit einer vertikalen Nutzlast, auf die Befestigungspunkte in Nähe des Eck- als auch Scherenlagers wirken. Die dort auftretenden Kräfte sind für typische Fensterformate so groß, dass die Lasten nicht mehr von einem einzigen Befestigungspunkt aufgenommen werden können. Daher wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens „alternative Befestigungslösungen“ untersucht. Durch eine Gruppenbefestigung in der Nähe des Scherenlagers bzw. des Ecklagers werden die angreifenden Lasten auf mehrere Befestigungspunkte aufgeteilt. Bei einer Gruppenbefestigung bei der die Befestigungspunkte symmetrisch um die lasteinleitende Stelle liegen, kann für die Bemessung eine gleichmäßige Lastverteilung angenommen werden. Dies gilt z.B. für eine „Über-Eck Befestigung“ im Bereich des Scherenlagers. Die Last am Ecklager kann bei einem Fenster mit Riegel auf zwei Befestigungspunkte aufgeteilt werden, die direkt oberhalb sowie unterhalb des Riegels liegen.

Ebenso kann eine Lastaufteilung erfolgen, wenn die Befestigungsmittel nicht symmetrisch um den Lasteinleitungspunkt verteilt sind. Wird z.B. am oberen Scherenlager im einem Abstand von ca. 100 mm zum „Standardbefestigungspunkt“ ein zweiter Befestigungspunkt gesetzt, so reduziert sich die Last auf den Standardbefestigungspunkt auf ca. 70%. Dies gilt auch sinngemäß für die Befestigung im Bereich des Ecklagers.

Für ein typisches einflügeliges Fenster der Abmessung von ca. 1,2 x 1,4 m liegen die Lasten pro Befestigungselement, ohne die Berücksichtigung von vertikalen Nutzlasten in der Größenordnung von 0,5 kN. Hierbei wurde eine umlaufende Befestigung angenommen. Bei Berücksichtigung einer vertikalen Nutzlast von 600 N (Klasse 3 nach EN 13115) erhöht sich die Last auf ca. 1,0 kN.

In Anlehnung an den Eurocode muss die Bemessung des Befestigungspunktes sowohl den Grenzzustand der Tragfähigkeit als auch den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit berücksichtigen. Für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist hierbei aktuell nach MO-02/1 eine maximale Verformung der Befestigungspunkte unter Last von 3 mm definiert. Diese Anforderung rührt aus der Sicherstellung der Dauerhaftigkeit des An-

schlusses insbesondere der inneren sowie äußeren Abdichtung zwischen Fenster und Mauerwerk.

Ist die empfohlene Tragfähigkeit für das Versagen eines Befestigungsmittels im Befestigungsgrund größer als die Kraft für die zulässige Verformung von 3 mm, so erfolgt die Bemessung anhand der Verformung (Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit). Die Kraft für eine Verformung von 3 mm hängt hierbei von der freien Länge des Befestigungsmittels, d.h. in erster Näherung von der Breite der Einbaufuge ab. Es ist daher wichtig bei der Bemessung auch die Breite der Einbaufuge zu berücksichtigen.

Messungen der Tragfähigkeit an Einzelsteinen haben gezeigt, dass die Verformung, bei einer Fugenbreite ab ca. 15 mm oftmals die maßgebliche Größe für die Bemessung des Befestigungsmittels darstellt und nicht wie ursprünglich vermutet, die reine Tragfähigkeit des Steines. Dies gilt insbesondere für spezielle Leibungsziegel, die ein hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften optimiertes Lochbild aufweisen.

Durchgeführte Untersuchungen an Kleinproben haben gezeigt, dass der „Aufbau des Probekörper“ sowie Details bei der Durchführung der Zugversuche signifikante Auswirkungen auf die ermittelte charakteristische Tragfähigkeit sowie die Versagensart haben kann. Eine Aussage über die Größe des Einflusses kann aufgrund der geringen Stichprobe nicht allgemeingültig abgeleitet werden. Prinzipiell wird jedoch empfohlen, die Tragfähigkeit von hochwärmedämmendem Ziegelmauerwerk in der Leibung an Steinverbänden zu ermitteln.

Durchgeführte Bauteilversuche zeigten, dass das theoretische (vereinfachte) Bemessungsmodell im Rahmen der baupraktischen Anwendung eine ausreichende Übereinstimmung mit den in den Bauteilversuchen ermittelten Verformungen aufweist. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass eine nach dem Bemessungskonzept ausgeführte Befestigung in den untersuchten, hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften optimierten Leibungsziegeln eine ausreichende Dauerhaftigkeit aufweist. Der bereits vorgestellte Ansatz einer Gruppenbefestigung zur Lastverteilung (über Eck oder Doppelbefestigung) wurde durch die zusätzlichen Bauteilversuche bestätigt.

EDV gestützte Hilfswerkzeuge werden zukünftig den Ausführenden bei der Planung der Montage und Befestigung von Fenstern unterstützen. Hierzu hat das ift Rosenheim ein erstes Werkzeug entwickelt, in das auch die Erkenntnisse des Forschungsvorhabens eingeflossen sind. Unter www.ift-montageplaner.de steht den Bauausführenden dieses Hilfswerkzeug kostenlos zur Verfügung.



1 Einleitung und Projektziel

Die gestiegenen und weiter steigenden Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz führen zu folgenden Entwicklungen:

Monolithisches Ziegelmauerwerk

Um die Anforderungen an den gestiegenen Wärmeschutz von Wänden zu erfüllen, wurde die Wärmeleitfähigkeit von Ziegelmauerwerk in den letzten Jahren deutlich reduziert. Durch

- Erhöhung der Lochanteile und Lochreihenzahl,
- geringere Stegdicken,
- geringere Scherbenrohrichten sowie
- mit Dämmstoff gefüllte Ziegel

können Wärmeleitfähigkeiten von deutlich unter $0,10 \text{ W/(m K)}$ erreicht werden.

Mit der entsprechenden Verbesserung der wärmetechnischen Eigenschaften ging jedoch gleichzeitig eine Reduzierung der mechanischen Festigkeiten einher.

Bauelemente wie Fenster, Fenstertüren

Zur Reduzierung des Wärmedurchgangskoeffizienten U von Fenstern und anderen transparenten Bauelementen wird der Einsatz von 3-fach Glas in Zukunft Standard werden. Der Trend des Transparenten Bauens führt zu größeren Bauelementen und somit auch zu größeren Glasflächen.

Die Anforderungen an den Komfort (z. B. Schallschutz) sowie an die Sicherheit (z. B. Einbruchhemmung) werden auch in Zukunft steigen. Hierdurch wird vermehrt Isolierglas mit Verbundscheiben eingesetzt werden.

Durch diese Entwicklungen ergeben sich heute und auch in Zukunft deutlich höhere Gewichte von transparenten Bauelementen.

Aufgrund architektonischer Anforderungen müssen zunehmend Einbausituationen umgesetzt werden, bei denen das Bauelement in der Fensterleibung zunehmend nach außen rückt.

Beim Einsatz einer zusätzlichen außenliegenden Wärmedämmung wird das Bauelement vor das Mauerwerk gesetzt, was zu einer anderen Befestigungssituation führt und den Einsatz von lastabtragenden Hilfsmitteln (Konsolen) notwendig macht.

Die o. g. Punkte führen zu folgenden Konsequenzen:

Die Befestigung von Fenstern und Fenstertüren in hochwärmedämmendem Ziegelmauerwerk wird mit herkömmlichen Methoden immer schwieriger. Allgemein anerkannte abgestimmte Befestigungslösungen unter Berücksichtigung weiterer Bauteile (z. B. Rolllädenkästen) fehlen.

Es besteht die Gefahr des Akzeptanzverlustes von hochwärmedämmendem Mauerwerk bei Architekten, Planern und Bauherren.

Neben der generellen Problematik der schwierigen Befestigung in hochwärmedämmendem Mauerwerk, treten in der Praxis weitere konkrete Fragestellungen auf.

Ein weiteres Befestigungsthema sind absturzsichernde Verglasungen. Die hier auftretenden Lasten müssen auch in hochwärmedämmendem Mauerwerk sicher aufgenommen werden können. Allgemeine Empfehlungen für geeignete Verankerungssysteme (Befestigungsmittel, Randabstände, etc.) fehlen derzeit.

Ziel des Forschungsvorhabens war die Erarbeitung von praxisnahen Handlungsempfehlungen zur Fensterbefestigung in hochwärmedämmendem Ziegelmauerwerk. Im Rahmen des Projektes sollten gesamtheitliche praxistaugliche Lösungen erarbeitet werden. Daher sollten nicht nur die Tragfähigkeiten von Befestigungsmitteln in verschiedenen Ziegeln betrachtet werden, sondern es sollten handwerkergerechte Vorschläge für die Bauelementebefestigung inkl. der Anschlusssituation z. B. nach unten in den Brüstungsbereich für diese modernen Wandbildner erarbeitet werden.

Zur Erreichung der Ziele waren umfangreiche experimentelle Untersuchungen vorgesehen. Im Rahmen der Untersuchungen sollten

- die Belastungsgrenzen für Befestigungslösungen in hochwärmedämmendem Ziegelmauerwerk herausgearbeitet werden,
- sowie baupraktische Lösungsvorschläge erarbeitet werden, die auch spezielle Einbausituationen (z. B. untere Befestigung bei Hochlochziegeln) berücksichtigen.

Die Erkenntnisse sollten sowohl durch Untersuchungen an Kleinproben, als auch durch komplette Bauteilversuche erarbeitet werden.

Des Weiteren sollten die Erkenntnisse der Industriepartner (z. B. des Befestigungsmittelherstellers) in das Projekt mit einfließen.

2 Stand der Technik

Im Laufe der Jahre sind die Anforderungen an den Wärmeschutz stetig gestiegen. In der EnEV 2014 [1] wird für Außenwände von zu errichtenden Wohngebäuden ein Wärmedurchgangskoeffizient von $0,28 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ gefordert. Dies setzt bei einer Wandstärke von 300 mm eine Wärmeleitfähigkeit von mindestens $0,08 \text{ W/(m K)}$ voraus.

Auch die Ziegelindustrie hat sich dieser Entwicklung angepasst und immer wieder neue Steine mit geringeren Wärmeleitfähigkeiten entwickelt (siehe Abbildung 1). Ziel dieser Entwicklungen ist es, den steigenden Anforderungen auch im einschaligen Bauen gerecht zu werden.



Abbildung 1 Entwicklung von Ziegelmauerwerk in den letzten Jahrzehnten

Im Zuge der Produktentwicklungen ist es der Ziegelindustrie gelungen, hochwärmedämmende Steine mit Wärmeleitfähigkeiten deutlich unter $0,10 \text{ W/(m K)}$ zu entwickeln. Durch die Verringerung der Querstege und geringere Stegdicken sowie einer Zunahme der Materialporosität konnten solch gute Wärmedämmeigenschaften erreicht werden. Diese Maßnahmen verringern aber zugleich die Festigkeiten der Ziegelsteine. Eine hohe Wärmedämmung kann nur durch eine Verringerung des wärmeleitenden Ziegelmateri- als erreicht werden. Besonders in Richtung des Wärmeflusses sind Stegdicken gering zu halten und durchgehende Stege zu vermeiden. Aus Sicht der Befestigungstechnik hingegen wirkt sich eine geringere Masse im Bereich der Leibung negativ auf die einleitbaren Lasten aus. Steine mit einer hohen Masse im Leibungsbereich, sprich Steine mit dicken durchgehenden Querstegen am Randbereich sowie einer geringen Porosität, sind hinsichtlich der Befestigung günstig. Dieses entgegengesetzte Verhalten der Wärmeleitfähigkeit zur Festigkeit macht die Befestigung in hochwärmedämmendem Mauerwerk zu einer Herausforderung.

Hochwärmedämmende Ziegelsteine können hinsichtlich ihres Lochbildes grob in 2 Gruppen gegliedert werden (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1 Einteilung der Lochbilder

Bezeichnung	Beschreibung	Bild
Großkammerziegel	Planziegel mit großen Kammern und massiven, aber wenigen Stegen. Die Kammern sind mit einem Dämmstoff ausgefüllt.	
Ziegel mit filigranem Lochbild	Planziegel mit kleinen Kammern und dünnen Stegen. Die Kammern können mit einem Dämmstoff ausgefüllt sein.	

Steine mit dickeren Außenstegen und großen Kammern, die mit Dämmstoff verfüllt sind werden als Großkammerziegel bezeichnet.

Andere Steine haben dünnere, filigrane Stege. Diese filigranen Steine sind mit und ohne Dämmstoff in den Hohlkammern am Markt erhältlich. Diese filigranen Ziegel unterscheiden sich auch in der Anordnung der Längs- und Querstege im Inneren des Steines.

In Abbildung 2 sind die einzelnen Bezeichnungen der Stege dargestellt.

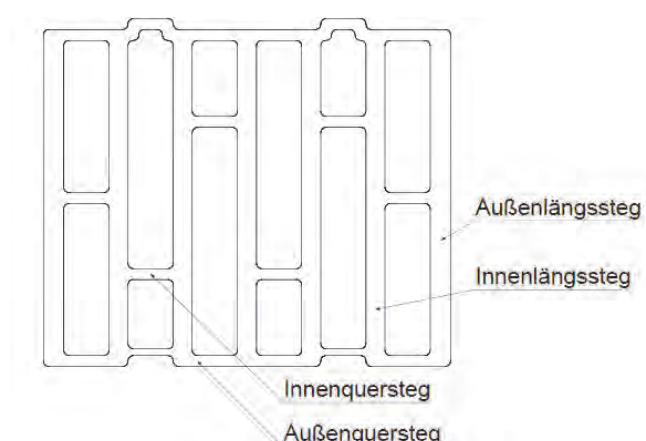
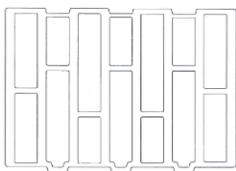
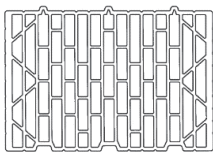
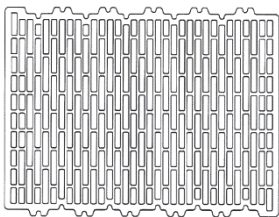
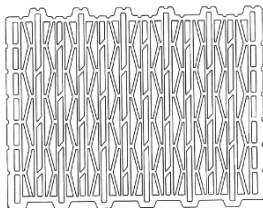


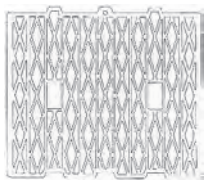
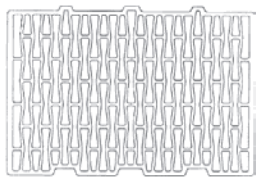
Abbildung 2 Bezeichnung der Stege eines Ziegelsteines am Beispiel eines Großkammerziegels

2.1.1 Standardsteine

Die Standardsteine werden zur Errichtung der Wandfläche verwendet. Ebenso werden diese Steine in der Praxis häufig zur Errichtung der Fensterleibung eingesetzt, obwohl spezielle Leibungsziegel zur Verfügung stehen (siehe nachfolgendes Kapitel). In der nachfolgenden Tabelle 2 sind die gängigen Lochbilder der zur Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel zugehörigen Hersteller und die Wärmeleitfähigkeiten dieser Steine aufgelistet.

Tabelle 2 Lochbilder von gängigen Ziegelsteinen

Großkammerziegel			
Zeile	Lochbild	Hersteller	Wärmeleitfähigkeit in $W/(m \cdot K)$
1		Mein Ziegelhaus	0,07 – 0,11
		Poroton	0,07 – 0,11
		Thermopor	0,07 – 0,10
2		Unipor	0,07 – 0,10
Filigrane Steine			
Zeile	Lochbild	Hersteller	Wärmeleitfähigkeit in $W/(m \cdot K)$
3		Poroton	0,10 – 0,16
		Thermopor	0,11 – 0,16
		Unipor	0,10 – 0,16
		Verfüllt	0,11
4		Poroton	0,08 – 0,11
		Thermopor	0,08 – 0,11
		Unipor	0,08 – 0,10
		Verfüllt	0,07 – 0,10

5		Thermopor Unipor	0,12 – 0,15 0,10 – 0,14
6		Thermopor	0,08 – 0,11

Nach Informationen der ARGE Mauerziegel haben Großkammerziegel aktuell (2016) einen Marktanteil von etwa 30 % der Ziegelsteine. Diese Ziegel haben in den letzten Jahren einen starken Zuwachs bekommen. Trotz des höheren Preises aufgrund der Herstellung ist bei den Großkammerziegeln mit einem Marktzuwachs in den nächsten 10 Jahren auf bis zu 70 % zu rechnen. Besonders im Mehrfamilienhausbau werden diese Steine wegen ihrer mechanischen Eigenschaften vermehrt eingesetzt. Die dickeren Stegdicken dieser Steine sind hinsichtlich der Befestigungstechnik vorteilhaft und somit zukunftssträftig. Filigrane Steine haben nach Angaben der ARGE Mauerziegel momentan einen Marktanteil von etwa 15-20 %. Durch die zusätzliche Dämmung in den Ziegelkammern können Steine bei gleichen Eigenschaften geringere Wärmeleitfähigkeiten erreichen, als ohne Dämmung. Des Weiteren sind dickere Stegdicken bzw. eine höhere Anzahl an Querstege möglich. Diese Zunahme der Querstege bzw. der Querstegdicken kann eine höhere Lastabtragung des Befestigungsmittels nach sich ziehen, vorausgesetzt die Materialeigenschaften des Steines bleiben gleich.

2.1.2 Leibungssteine

Leibungssteine sind Steine, die für den Einsatz im Leibungsbereich entwickelt wurden. Diese Ziegelsteine sind in Vollsteinen und in Halbsteinen erhältlich und müssen daher nicht zugeschnitten werden. Die Stegdicken dieser Steine können im Leibungsbereich dicker ausgeführt sein, als bei den Standardsteinen. Für ca. 90 % der Standardziegel sind Leibungsziegel erhältlich. Ein weiterer Vorteil der Leibungssteine ist, dass zur Umsetzung von Abdichtungsmaßnahmen zwischen Blendrahmen und Mauerwerk kein separater Glattstrich erforderlich ist.

In der folgenden Tabelle 3 sind einige Leibungssteine beispielhaft dargestellt.

Tabelle 3 Beispielhafte Darstellung von Varianten von Leibungssteinen

Großkammerziegel	
	
halber Leibungsziegel	ganzer & halber Leibungsziegel
Filigran verfüllte Leibungsziegel	
	
ganzer Leibungsziegel	halber Leibungsziegel
Filigran ungefüllte Leibungsziegel	
	
halber und ganzer Leibungsziegel	

2.1.3 Einbausituationen des Fensters

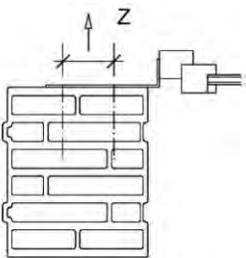
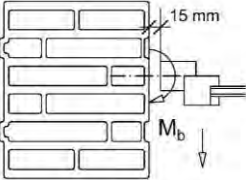
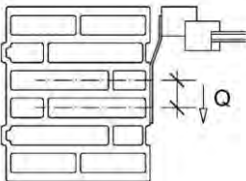
Es gibt verschiedene Arten wie ein Fenster eingebaut werden kann. Je nach Einbausituation wird das Befestigungsmittel anders belastet. Die Einbausituation ist somit ein entscheidender Faktor in der Festlegung der Belastung auf das Befestigungsmittel. In der folgenden Tabelle 4 sind verschiedene Einbausituationen von Fenstern und den daraus resultierenden Belastungen auf die Befestigungsmittel dargestellt.

Die Einbausituation 1, in Zeile 1 der Tabelle 4 mit der Belastung auf zentrischen Auszug, tritt vorwiegend bei einem vorgesetzten Wärmedämmverbundsystem auf. Hochwärme-

dämmende Steine benötigen aktuell keine weitere Dämmebene, daher wurde diese Einbausituation im Rahmen des Forschungsvorhabens nicht weiter betrachtet.

Bei hochwärmedämmendem Ziegelmauerwerk erfolgt die Montage des Fensters in der Regel im mittleren Drittel der Leibung. Dies ist wärme- und feuchtetechnisch (Ψ -Wert, innere Oberflächentemperatur) die beste Position. Somit kommt zumeist die Befestigungssituation mittels Rahmendübel vor (siehe Zeile 2, Tabelle 4). Die Montage mit Mauerankern ist in Zeile 3 von Tabelle 4 dargestellt. Diese Montageart wird gewählt, wenn das Fenster bündig bzw. nahezu bündig an der Außenkante des Mauerwerks sitzt, wie z. B. bei einer vorgesetzten Schalung.

Tabelle 4 Einbausituationen eines Fensters und die daraus resultierende Belastung auf das Befestigungsmittel

Zeile	Einbausituation	Belastung des Befestigungsmittels	Einsatzbereich
1		Zentrischer Auszug	Fenster wird außen mittels Konsolen/Winkeln an der Wandebene befestigt. Bei vorgesetztem Wärmedämmverbundsystem
2		Biegung	Fenster mittig in der Leibung auf Abstand montiert. Standardfall
3		Querzug	Fenster mittels Maueranker bündig zur Außenkante befestigt. Bei vorgesetzter Verschalung

3 Vorgehensweise zur Auslegung einer Fensterbefestigung

Bei der Befestigung für ein Fenster muss zunächst die Forderung hinsichtlich der ausreichenden Tragfähigkeit erfüllt werden. Darüber hinaus muss die dauerhafte Gebrauchstauglichkeit gegeben sein.

Diese Unterscheidung ist erforderlich, da die Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit nicht proportional verlaufen. Das bedeutet, dass die Befestigung des Fensters eine ausreichende Tragfähigkeit aufweisen kann, die Ansprüche in Bezug auf die maximale Durchbiegung zur Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit jedoch nicht erfüllt werden.

Es ist nachzuweisen, dass

$$E_d \leq R_d \quad \text{Grenzzustand der Tragfähigkeit}$$

und

$$E_{d,\delta} \leq R_{d,\delta} \quad \text{Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit}$$

erfüllt sind.

Hierbei bedeuten:

R_d	Bemessungswert des Widerstandes für den Grenzzustand der Tragfähigkeit
$R_{d,\delta}$	Bemessungswert des Widerstandes für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
E_d	Bemessungswert der Einwirkung für den Grenzzustand der Tragfähigkeit
$E_{d,\delta}$	Bemessungswert der Einwirkung für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

3.1 Grenzzustand der Tragfähigkeit

Für den Nachweis der Tragfähigkeit eines Befestigungsmittels werden Zugprüfungen an Kleinproben (Befestigungsmittel im Mauerwerk) durchgeführt. Die Prüfungen erfolgen in der Regel mit einer Stichprobe $n = 5$. Aus den Einzelergebnissen jeder Prüfserie wird eine charakteristische Tragfähigkeit R_k anhand der 5 %-Fraktile mit einer Aussagewahrscheinlichkeit von 90 % (nach ETAG 020) bzw. 75 % (in Anlehnung an DIN 18008) ermittelt.

$$R_k = R_m - k_s \cdot S \quad (1)$$

Mit

S	Standardabweichung der der Prüfserie
k_s	Fraktilenfaktor für $n = X$ Proben

Die Bemessungslast wird ermittelt anhand der charakteristischen Tragfähigkeit dividiert durch einen verankerungsgrundabhängigen Material-Teilsicherheitsbeiwert γ_M (bei Versagen im Verankerungsgrund):

$$R_d = R_k / \gamma_M \quad (2)$$

mit:

$$\gamma_M = 2,5 \quad \text{für Mauerwerk}$$

in Anlehnung an ETAG 020, Anhang C [2]. Liegen andere Versagensarten vor, dürfen die Teilsicherheitsbeiwerte nach ETAG 020, Anhang C bestimmt werden.

Die empfohlene Maximallast (Gebrauchslast) R_{empf} ermittelt sich aus dem Bemessungswiderstand geteilt durch einen kombinierten Teilsicherheitsbeiwert γ_F für ständige und veränderliche Einwirkungen (Gleichung (3)).

$$R_{\text{empf}} = R_d / \gamma_F \quad (3)$$

mit:

$$\gamma_F = 1,4$$

Hinweis: Bei diesem Ansatz müssen auf der Lastseite keine zusätzlichen Teilsicherheitsbeiwerte mit Kombinationsbeiwerten angesetzt werden. Alternativ können auf der Lastseite auch getrennte Teilsicherheitsbeiwerte für ständige und veränderliche Einwirkungen mit Kombinationsbeiwerten verwendet werden. Die so ermittelte Last darf dann nicht größer als die Bemessungslast des Befestigungspunktes F_{Rd} sein.

3.2 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Bei den Prüfungen, bei denen die Lastaufnahme in Abhängigkeit der Verschiebung ermittelt wird, wird die charakteristische Tragfähigkeit in einer Lastverschiebungskurve dargestellt. Die maximal zulässige, reversible Verschiebung ist entsprechend [12] auf 3 mm begrenzt (Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit). In diesem außergewöhnlichen Lastfall darf angenommen werden, dass die Teilsicherheitsbeiwerte für den Widerstand und für die Einwirkung 1,0 betragen (vgl. ETAG 020, Anhang C).

Bemessungswiderstand:

$$R_{d,\delta} = R_{k,\delta} / \gamma_M \quad (4)$$

Empfohlene Last:

$$R_{\delta,\text{empf}} = R_{d,\delta} / \gamma_F \quad (5)$$

mit:

$$\gamma_M \text{ und } \gamma_F = 1,0$$

4 Analyse der auf die Fensterbefestigung einwirkenden Kräfte

4.1 Grundsätzliche Ausführung der Fensterbefestigung

Fenster nach der „Begriffsnorm“ EN 12519 sind Bauteile, die in die Öffnung einer Wand- oder geneigten Dachöffnung montiert werden und zur Belichtung und gegebenenfalls auch zur Belüftung verwendet werden. Fenstertüren sind türhohe Fenster, die zudem dem (gelegentlichen) Zu- und Durchgang zu Freiflächen, Terrassen, Balkonen und dgl. dienen.

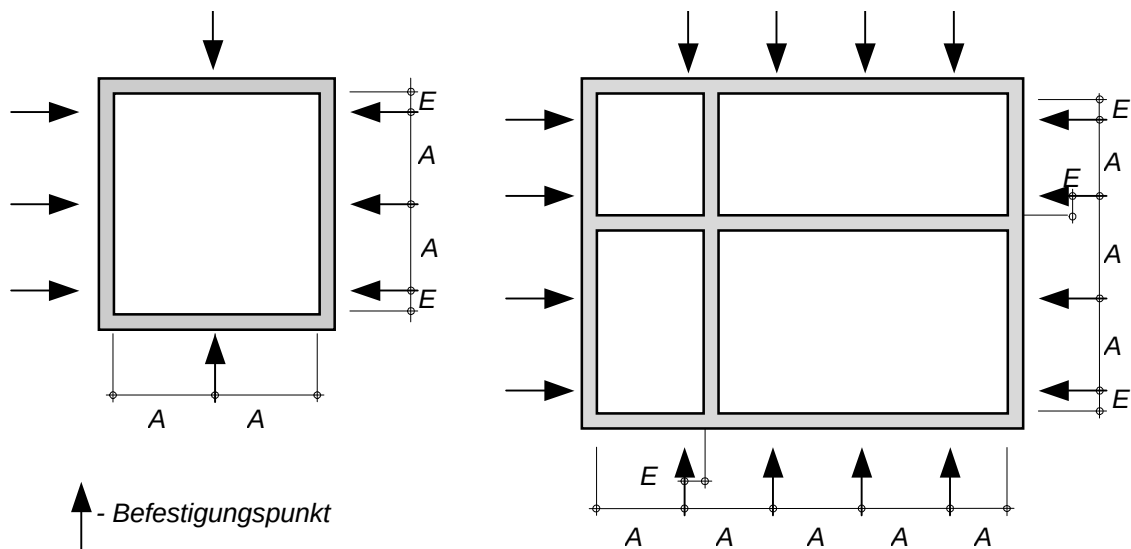
In DIN 18055 : 2014-11 wird die Definition, insbesondere hinsichtlich der Lasteinleitung der einwirkenden Kräfte in die tragende Wandkonstruktion, konkreter gefasst. Hier heißt es in Anmerkung 2 zur Begriffsdefinition: „Fenster können neben- oder *) übereinander angeordnet werden.“ und weiter in Anmerkung 3: „Das Fenster schließt eine Öffnung in der Wand bzw. der Gebäudehülle. Das Fenster muss an mindestens zwei gegenüberliegenden Seiten an eine tragende Struktur sicher angebunden werden. Nach bauaufsichtlicher Definition gilt eine Neigung bis einschließlich 10° zur Senkrechten als vertikal.“

*) Werden Fenster neben- und übereinander angeordnet, sind die Elemente statisch tragend miteinander zu koppeln. Die statische Kopplung ist nachzuweisen.

Außentüren bilden den Abschluss einer Wandöffnung, erlauben den Zu- und Durchgang von Personen in Gebäude und können ggf. zur Belichtung beitragen. Sie trennen das Außenklima vom Innenklima. Diese Bauteile haben in der Regel einen umlaufenden Rahmen mit oder ohne zusätzliche Unterteilung und sind mit mindestens einem öffenbaren Flügel und ggf. feststehenden Seitenteilen oder Oberlichten ausgestattet.

Da die einzelnen Rahmenmaterialien eine unterschiedliche Steifigkeit aufweisen, sind je nach Rahmenwerkstoff andere Befestigungsabstände zu beachten. In Tabelle 5 sind die in der Regel geltenden Befestigungs- und Eckabstände dargestellt. Es ist davon auszugehen, dass ein Fenster immer über mindestens 4 Befestigungspunkte im Baukörper verankert ist. Sollte in Befestigungspunkt ausfallen, so ist in der Regel sichergestellt, dass das Fenster noch so „gehalten“ wird, dass es zu keinem kompletten Versagen der Befestigung führt (Redundanz).

Tabelle 5 Befestigungsabstände nach dem Leitfaden zur Montage

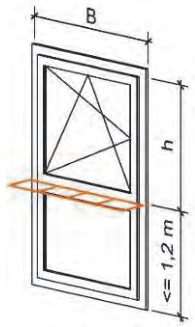


Durch Einbaulage (im mittleren Drittel der Wand) sowie die konkrete Einbausituation (Fugenausbildung, innerer und/oder äußerer Putzanschlag) wird die Lastabtragung in der Regel unterstützt. Diese Faktoren werden jedoch bei der Bemessung der Fensterbefestigung nicht berücksichtigt.

Fenster werden durch die verschiedensten Einwirkungen belastet. Diese Einwirkungen können durch das Eigengewicht hervorgerufen werden. Aber auch Fremdeinwirkungen, wie die Belastung durch Personen oder Wind, müssen Fenster und deren Befestigungsmittel standhalten. Die aus den Einwirkungen resultierenden Kräfte müssen über die Befestigungsmittel und/ oder die Tragklötze in den Untergrund abgetragen werden. Dabei ist die Wirkungsrichtung der resultierenden Auflagerkräfte zu beachten. Sie können sowohl in Fenster- oder Flügelebene als auch rechtwinklig zur Fensterebene auftreten. In der folgenden Tabelle 6 sind die Belastungsarten, die auf ein Fenster wirken, aufgezeigt.

Tabelle 6 Belastungsarten eines Fensters

1. Eigengewicht (ständige Lasten) a. Glasgewicht 2,5 kg/(m²mm) i. Standard Isolierglas30 kg/m² z.B. 4/12/4/12/4 ii. Schallschutz Isolierglas50 kg/m² z.B. 4/12/4/12/8 a. Profilgewicht bedingt durch den Profilquerschnitt [3] iii. PVC hart mit Stahlarmierung3,5 kg/m iv. Aluminium wärme gedämmt2,5 kg/m v. Hartholz IV783,8 kg/m													
2. Vertikale Nutzlasten (veränderliche Lasten) a. Vertikallast P i. Empfohlene Vertikallasten 1. Mind. Klasse 2 Wohnungsbau, mind. Klasse 3 Nichtwohnungsbau <table><tr><td>Klasse</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>Vertikallast</td><td>0 N</td><td>200 N</td><td>400 N</td><td>600 N</td><td>800N</td></tr></table>	Klasse	0	1	2	3	4	Vertikallast	0 N	200 N	400 N	600 N	800N	
Klasse	0	1	2	3	4								
Vertikallast	0 N	200 N	400 N	600 N	800N								
3. Zusatzlasten z. B. Rollladenkästen und Sonnenschutzvorrichtungen, die am Fenster montiert sind													
4. Windlasten (veränderliche Lasten) a. 0,72 kN/m² (=> Klasse Windwiderstand des Fenster B2; 800 Pa) b. 1,11 kN/m² (=> Klasse Windwiderstand des Fenster B3; 1200 Pa) c. 1,53 kN/m² (=> Klasse Windwiderstand des Fenster B4; 1600 Pa) d. 1,96 kN/m² (=> Klasse Windwiderstand des Fenster B5; 2000 Pa)													

5. Absturzsicherung (veränderliche Lasten) a. Anpralllasten (stoßartige Einwirkung) nach ETB [4] i. 2,8 kN statische Ersatzlast pro Befestigungspunkt b. Horizontallasten (statische Einwirkung) nach DIN EN 1991-1-1/NA, Tab. 6.12 DE [6] i. 0,5 kN/m ohne nennenswerten Publikumsverkehr ii. 1 kN/m mit nennenswerten Publikumsverkehr iii. 2 kN/m mit Menschenansammlungen (Sondernutzung)	
--	---

4.2 In Fenster-/ Flügelebene wirkende Kräfte

In der Fensterebene wirkende Kräfte entstehen im Allgemeinen durch das Eigengewicht des Fensters. Diese Kräfte werden in der Regel über Tragklötze in das Mauerwerk eingeleitet. Es wird dabei in zwei Kraftrichtungen unterschieden:

Die **vertikal** in der Fensterebene wirkenden Kräfte belasten die Tragklötze auf Druck. Dieser Druck wird in das Mauerwerk weitergeleitet. Bei der Wahl der Tragklötze ist auf eine ausreichende Dimensionierung zu achten, um ein Eindringen in Untergründen mit geringer Druckfestigkeit zu vermeiden. Des Weiteren sollten die Tragklötze aus einem geeigneten und dauerhaften Material mit geringer Wärmeleitfähigkeit (z.B. Holz, Kunststoff) bestehen.

Die **horizontal** in der Flügelebene wirkenden Kräfte entstehen durch das Eigengewicht eines in Drehstellung geöffneten Flügels. Diese Kräfte werden bei geringfügiger Öffnung über Tragklötze oder geeignete Distanzbefestigungen in den Untergrund abgetragen. Bei rechtwinklig geöffnetem Flügel müssen die Kräfte über die mechanische Befestigung in den Untergrund abgetragen werden.

In Tabelle 7 ist die Einleitung der Kräfte schematisch dargestellt. Die Berechnung der in Fensterebene wirkenden Kräfte wurde nach dem RAL Leitfadens zur Montage durchgeführt und ist in Tabelle 8 aufgeführt.

Tabelle 7 Krafteinleitung der in der Fensterebene auftretenden Lasten

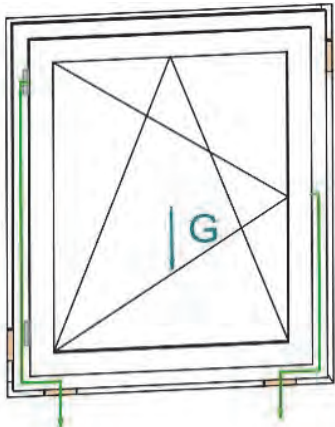
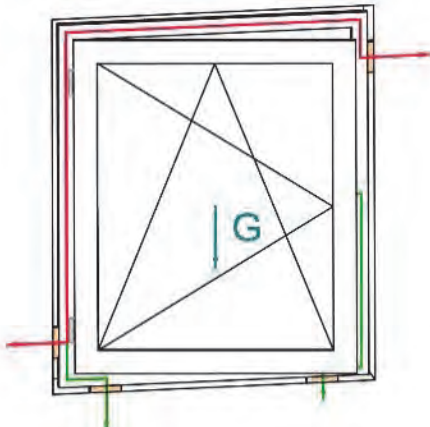
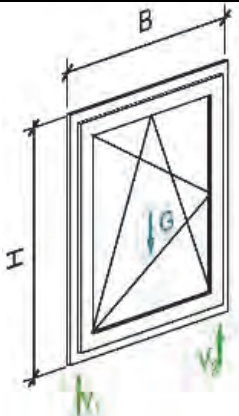
Vertikal in Fensterebene	Horizontal in Fensterebene
	

Tabelle 8 Einwirkende Kräfte in Fensterebene

Ermittlung der Auflagerkräfte eines geschlossenen Flügels	
$V_1 = V_2 = \frac{G}{2}$	

Ermittlung der Auflagerkräfte eines geringfügig geöffneten Flügels	
$V_1 = \frac{G_{BR}}{2} + G_{FL} + P$ $V_2 = \frac{G_{BR}}{2}$ $H_1 = H_2 = \frac{b}{h} \cdot \left(\frac{G_{FL}}{2} + P \right)$	
Legende: B, H Elementbreite , Elementhöhe in m b, h Flügelbreite, Flügelhöhe in m G Lasten aus Eigengewicht in kN, BR = Blendrahmen, FL = Flügel P vertikale Nutzlast in kN V_n Auflagerkräfte in kN vertikal in Fensterebene H_n Auflagerkräfte in kN horizontal in Fensterebene, Betrag H₁ und H₂ unabhängig vom Öffnungswinkel mit Wirkungslinie in Flügelebene	

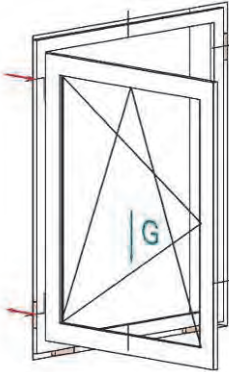
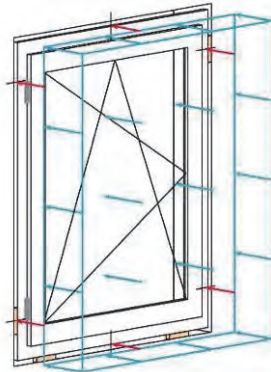
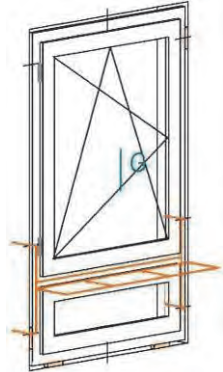
4.3 Senkrecht zur Fensterebene wirkende Kräfte

Die senkrecht zur Fensterebene wirkenden Kräfte werden über das Befestigungsmittel in den Untergrund abgetragen. Dabei wird je nach Befestigungsart (Rahmendübel, Maueranker) das Befestigungsmittel auf Auszug, Querkzug oder Biegung beansprucht. Die einzelnen Einbausituationen und die daraus resultierenden Belastungen am Befestigungsmittel wurden in Tabelle 4 bereits beschrieben.

Da bei hochwärmedämmendem, monolithischem Ziegelmauerwerk das Fenster in der Regel im mittleren Drittel der Leibung montiert wird, erfolgt die Befestigung mittels Rahmendübel oder Maueranker. Hierbei wird das Befestigungsmittel hauptsächlich durch Querkzug (Maueranker) oder Querkzug und Biegung belastet.

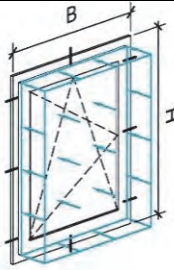
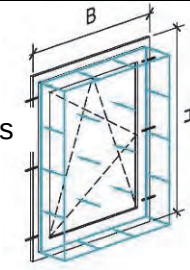
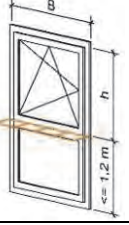
Die Last entsteht durch das Eigengewicht des geöffneten Drehflügels, durch die Windbelastung sowie im Sonderfall der Absturzsicherung durch entsprechende Aufprall- bzw. Holmlasten. In der folgenden Tabelle 9 sind die Krafteinleitungen der einzelnen Belastungsarten dargestellt.

Tabelle 9 Krafteinleitung der senkrecht zur Fensterebene auftretenden Lasten

Querzug- und Biegebelastung am Befestigungsmittel nach Belastungsart		
90° geöffneter Flügel	Windbelastung	Holmlast
		
Auf die Befestigungspunkte in der Nähe der Bänder	Zu unterscheiden ist umlaufende sowie zweiseitige Befestigung (siehe Tabelle 10)	Befestigungspunkte in Holmnähe

Die senkrecht zur Fensterebene wirkenden Kräfte werden wie folgt ermittelt (Tabelle 10).

Tabelle 10 Berechnung der senkrecht zur Fensterebene wirkenden Kräfte

Ermittlung der Auflagerkräfte bei Windlasten			
Umlaufende Befestigung $F_{BP} = \frac{w \cdot B \cdot H}{n_{BP}}$		2-seitige Befestigung $F_{BP} = w \cdot s \cdot \frac{B}{2}$	
Ermittlung der Auflagerkräfte durch Absturzsicherung			
$H_q = \frac{q \cdot B}{2}$			
Legende: F_{BP}, H_q horizontale Auflagerkräfte in kN B, H Elementbreite, Elementhöhe in m s Befestigungsabstand in m w Windlast in kN/m ² n_{BP} Anzahl der Befestigungspunkte BP Befestigungspunkt			

4.3.1 Eigengewicht

Das Eigengewicht des Fensters ist eine ständig einwirkende Last. Sie setzt sich aus dem Gewicht des Blendrahmens, des Flügelrahmens und der Verglasung zusammen. In der folgenden Tabelle 11 sind Gewichte für Rahmenprofile und Glas aufgeführt.

Tabelle 11 Gewichtsannahmen für Rahmenprofile von Fenstern und Glas

Zeile	Werkstoff	Gewicht
1	PVC-hart mit unterschiedlichen Stahlarmierungen	3,7 kg/m 4,3 kg/m 5,5 kg/m
2	PVC-hart ohne Armierung	2,0 kg/m
3	Weichholz (Rohdichte 0,5 g/cm ³)	IV 68 2,1 kg/m IV 78 2,7 kg/m IV 92 3,8 kg/m
4	Hartholz (Rohdichte 0,7 g/cm ³)	IV 68 2,9 kg/m IV 78 3,8 kg/m IV 92 5,3 kg/m
5	Aluminium wärmegeklämmt	2,5 kg/m
6	Glas	2,5 kg/(mm m ²)

Die Berechnungen im Rahmen der hier vorgestellten Analyse wurden für Kunststoffprofile durchgeführt. Es ist jedoch möglich, die Berechnungen auch für andere Profilarten durchzuführen. Hierzu muss das Profilgewicht je Laufmeter korrigiert werden. Des Weiteren ist der Abstand der Befestigungsmittel zu beachten und gegebenenfalls anzupassen (siehe Tabelle 5).

Abbildung 4 stellt exemplarisch die Auflagerkräfte für eine raumhohe Fenstertüre in Abhängigkeit der Elementbreite bei geschlossenem Flügel bei einer Gesamtansichtsbreite der Flügel-/Blendrahmenkombination von 140 mm dar (siehe Abbildung 3). Die Berechnungen wurden für unterschiedliche Profilmassen sowie für zwei unterschiedliche Glasgewichte von 30 kg/m² sowie 50 kg/m² durchgeführt. In den berechneten Auflagerkräften ist bereits der Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma = 1,35$ für ständige Einwirkungen nach Eurocode enthalten.

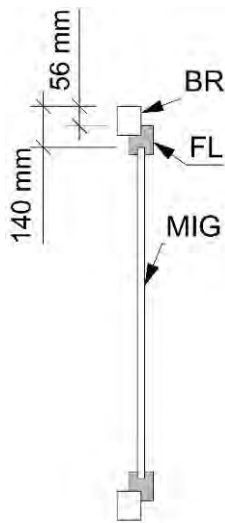


Abbildung 3 Darstellung der Rahmen-Ansichtsbreite der berechneten Fenster

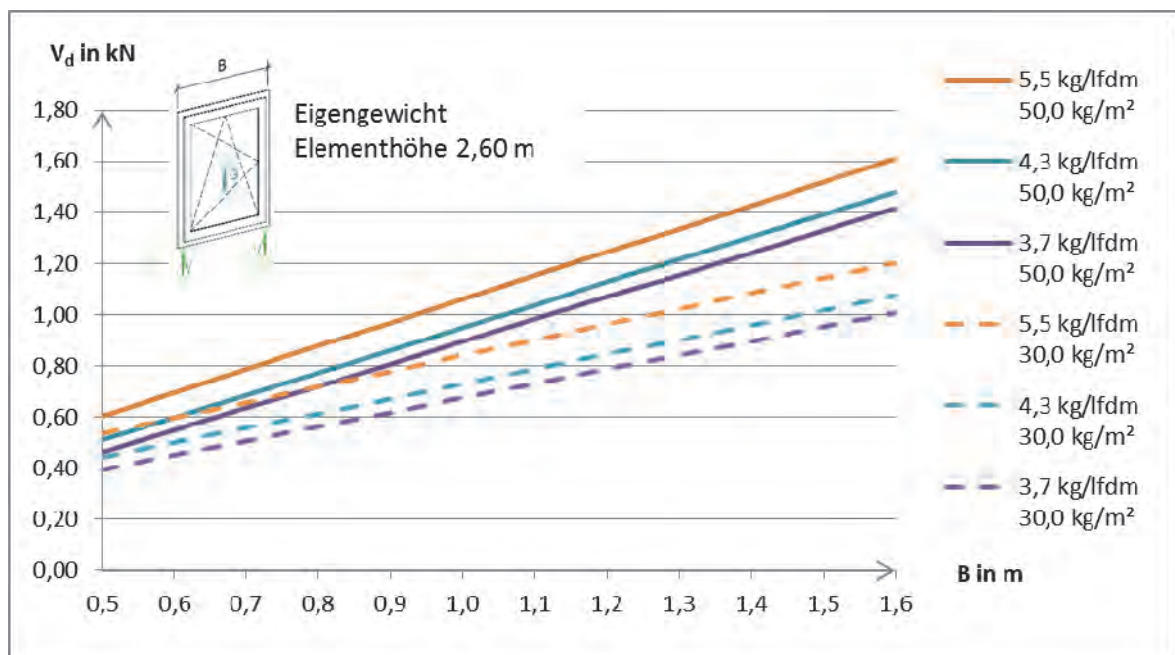


Abbildung 4 Vertikale Auflagerkraft eines einflügeligen Kunststofffensters im geschlossenen Zustand
 durchgezogene Linien: Auflagerkraft für MIG mit Flächengewicht 50 kg/m²
 gestrichelte Linien: Auflagerkraft für MIG mit Flächengewicht 30 kg/m²

Für die im weiteren Kapitel dargestellten Berechnungen der auftretenden Lasten wurde generell ein Profilgewicht von 5,5 kg/m angesetzt, um auf der sicheren Seite zu liegen. Im tatsächlichen Fall sind selbstverständlich die realen Gewichte der Profile zu verwenden.

4.3.2 Vertikale Nutzlasten

Öffenbare Fenster werden entsprechend EN 13115 [7] auf ihre Widerstandsfähigkeit gegen Vertikallasten klassifiziert. Diese Last berücksichtigt das Abstützen einer Person auf der Schließseite eines geöffneten Flügels. In der mittlerweile zurückgezogenen DIN 18055 aus dem Jahre 1981 wurden die Vertikallasten als Lasten an der Schließkante wirkend mit 500 N geregelt. Die aktuelle DIN 18055 [8] gibt keine Anforderung vor, sie definiert lediglich die Einteilung in Klassen. Die Anwendung der Klassen, abhängig vom Einsatzbereich, ist vom Planer vorzugeben. Empfohlen wird die Klasse 2 für private Wohngebäude sowie die Klasse 3 für öffentlich genutzte Gebäude.

Tabelle 12 Klassifizierung für Vertikallasten entsprechend [8]

Widerstandsfähigkeit gegen:	Klasse 0	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4
Vertikallasten	-	200 N	400 N	600 N	800 N

Die RAL Gütegemeinschaft Fenster und Haustüren e.V. empfiehlt in Deutschland die Klasse 3 als Mindestanforderung für die Widerstandsfähigkeit gegen Lasten in Flügelebene für das Bauteil. Im weiteren Verlauf wurden die Bemessungen nach der Empfehlung der RAL-Gütegemeinschaft Fenster und Haustüren e. V. nach Klasse 3 ausgeführt.

Die horizontalen Auflagerkräfte bei einem um 90° geöffneten Flügel werden mit zunehmender Flügelhöhe, bei gleicher Flügelbreite geringer. Dies ergibt sich, da durch eine größere Flügelhöhe ein günstigeres Verhältnis von Breite zu Höhe entsteht. Somit sind stehende Flügelprofile hinsichtlich der Belastung durch das Eigengewicht und die Nutzlast am geöffneten Flügel günstiger als liegende Profile. Daher wurde für diesen Lastfall eine Höhe von 1,3 m angesetzt. Dies ist die kleinste mögliche Flügelhöhe, die für alle Flügelbreiten eines Kunststofffensters mit Stahlarmierung laut Herstellerangabe der führenden Profilhersteller zulässig ist. In Abbildung 3 sind die aus der Kombination aus Eigengewicht des geöffneten Flügels und der Nutzlast von 600 N resultierenden Auflagerkräfte eines 1,30 m hohen Flügels dargestellt.

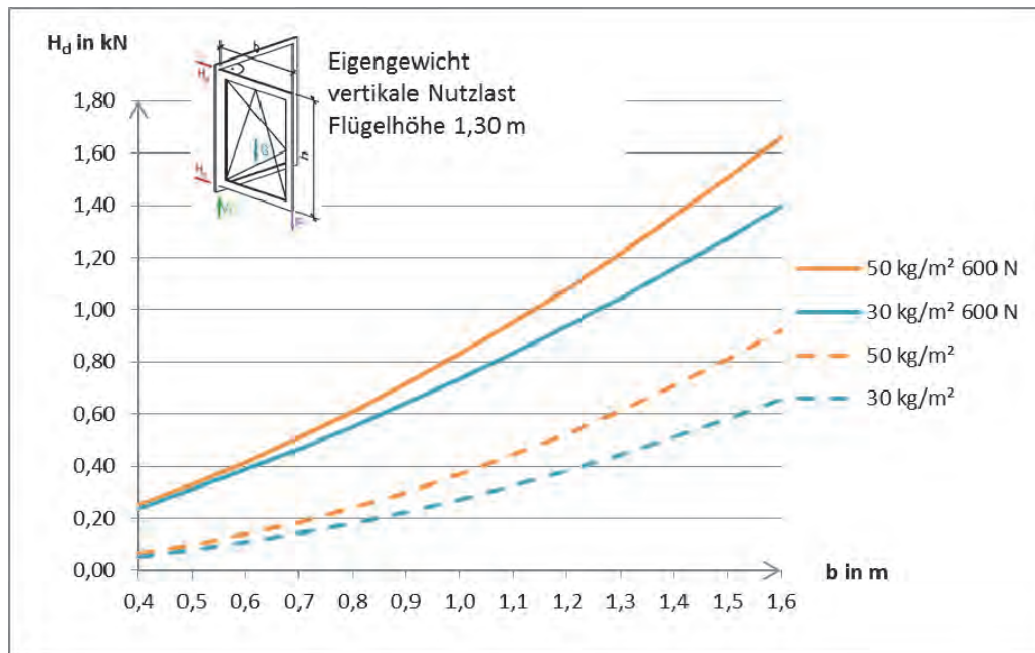


Abbildung 5 Horizontale Auflagerkraft aus der Belastung durch das Flügelgewicht und der Nutzlast für zwei unterschiedliche Flächengewichte des MIG
 durchgezogene Linien: Mit Berücksichtigung einer Nutzlast von 600 N
 gestrichelte Linien: Ohne Berücksichtigung einer Nutzlast

4.3.3 Windlasten

Windlasten sind von Seiten der Planung vorzugeben und nach EN 1991-1-4 [5] sowie DIN EN 1991-1-4/NA [6] zu ermitteln. Sollten keine Anforderungen vorliegen, kann DIN 18055 [8] für die Ermittlung der Windlasten herangezogen werden. Ausgehend von den Widerstandsklassen von Fenstern (B2, B3, B4, B5) wurden die maximalen Windlasten nach DIN 18055, Anhang A im Binnenland, für die weiteren Berechnungen angesetzt. Die Windlasten in Küstengebieten - dazu zählt ein 5 km breiter Streifen, der entlang der Küste verläuft und landeinwärts gerichtet ist - und auf Inseln sind als Extremsituation einzustufen und wurden im Rahmen der Berechnungen nicht betrachtet.

Nach DIN EN 1991-1-4/NA ist Deutschland in vier Windzonen eingeteilt. Dabei wurden die unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten der einzelnen Regionen und somit die resultierenden unterschiedlichen Windbelastungen beachtet. Deutschland ist größtenteils der Windzone 1 und 2 zugeordnet. Lediglich in einzelnen Regionen Norddeutschlands und in Gebieten der Windzone 1, die über 830 m NN liegen, sind Windzone 3 bzw. 4 anzusetzen (siehe Abbildung 6).



Abbildung 6 Windzonenkarte

Hochwärmedämmende Steine werden zu einem Großteil im Bereich des Einfamilien- und Doppelhausbaus sowie im Geschosswohnungsbau mit bis zu drei Vollgeschossen verwendet. Daher wurde die Bemessungswindlast von $1,11 \text{ kN/m}^2$ als Standardfall angesetzt. Bemessungswindlasten von $1,53 \text{ kN/m}^2$ und $1,96 \text{ kN/m}^2$ sind nur in vereinzelten Fällen wie in Gebäuden über 10 m oder in den Windzonen 3 und 4 anzusetzen.

Auflagerkräfte infolge Windlasten können auf zwei Arten berechnet werden. Der Unterschied dieser Rechenwege liegt in der Befestigung des Fensters. Diese kann umlaufend oder nur 2-seitig ausgeführt werden. Bei einer umlaufenden Befestigung wird angenommen, dass sich die Lasten, die aus der Windeinwirkung resultieren, gleichmäßig auf alle Befestigungspunkte verteilt.

Die Berechnungen der Windlast wurden für ungünstigste Elementabmessungen für ein raumhohes Element durchgeführt. Hier wurde für die umlaufende Befestigung eine Elementhöhe von 2,4 m angesetzt (siehe Abbildung 7). Die gewählte Höhe bietet die maximale Windangriffsfläche, bei minimaler Anzahl an Befestigungspunkten. Bei einer Höhe von z. B. 2,6 m wären auf Grund der Achsabstände mehr Befestigungspunkte erforderlich, wodurch sich die Kraft auf das einzelne Befestigungsmittel verringert. Bei der 2-seitigen Befestigung sind anstelle der Elementhöhe oder auch Elementbreite die Achsabstände der Befestigungsmittel maßgebend. Daher ist der maximal mögliche Abstand je nach Rahmenmaterial, im Fall eines berechneten Kunststofffensters von $s = 700 \text{ mm}$, anzusetzen.

Annahmen für eine umlaufende Befestigung:

- keine Unterteilung des Elements durch Pfosten und Riegel
- umlaufende Befestigung mit gleichmäßigen Befestigungsabständen
- gleichmäßige Verteilung der Windlast auf alle Befestigungspunkte

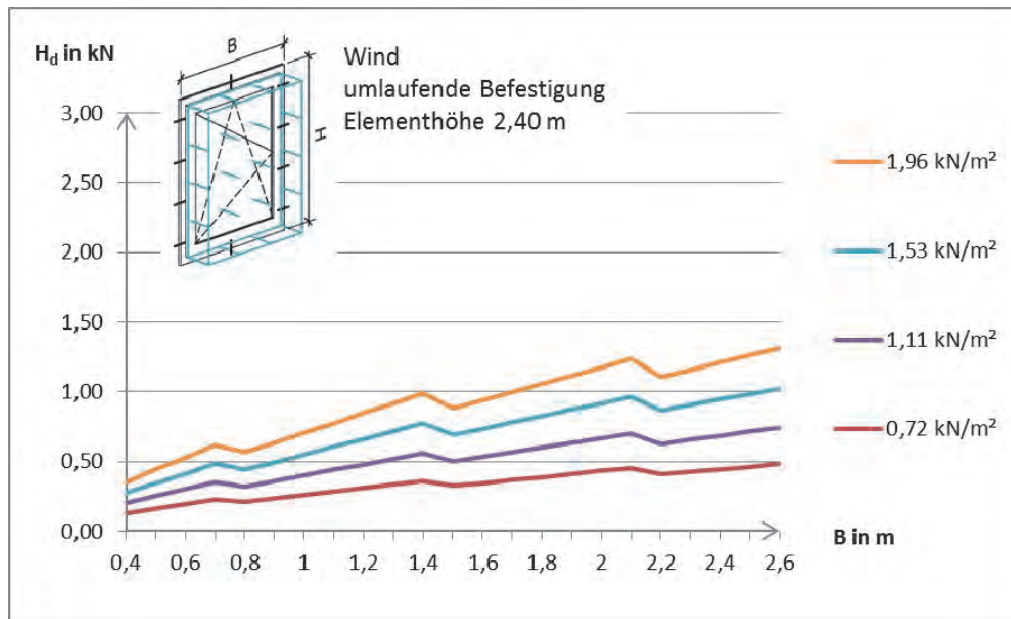


Abbildung 7 Auflagerkraft am Befestigungspunkt infolge unterschiedlicher Windlasten bei umlaufender Befestigung mit Abständen ≤ 700 mm

Bei der 2-seitigen Befestigung werden - wie bei der umlaufenden Befestigung - die maximal auftretenden Auflagerkräfte ermittelt und berücksichtigt. Diese Auflagerkräfte treten an den Befestigungspunkten mit der größten Lasteinzugsfläche auf, dies sind in der Regel die mittleren Befestigungspunkte (siehe Abbildung 9).

Annahmen für eine 2-seitige Befestigung

- keine Unterteilung des Elementes durch Pfosten und Riegel
- 2-seitige Befestigung mit gleichmäßigen Befestigungsabständen
- maximale Auflagerkraft beim mittleren Auflager

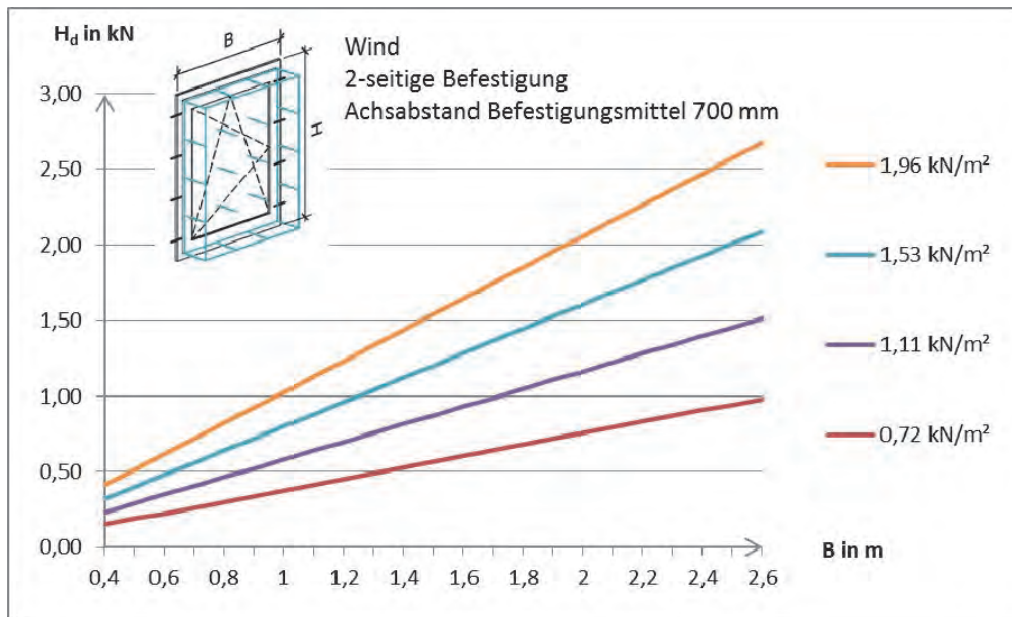


Abbildung 8 Auflagerkraft am Befestigungspunkt infolge unterschiedlicher Windlasten bei 2-seitiger, seitlicher Befestigung mit Achsabstand 700 mm

4.3.4 Absturzsicherung

Nach ETB-Richtlinie "Bauteile, die gegen Absturz sichern" haben nichttragende, raumabschließende Bauteile, Brüstungen, Umwehrungen und dergleichen, die einen Höhenunterschied zwischen den Verkehrsflächen aufweisen, eine Sicherungsfunktion gegen Absturz. Der Höhenunterschied sowie die maßgebliche Brüstungshöhe unterscheiden sich in den einzelnen Bundesländern und sind daher in der Bauordnung der Länder geregelt. In Bayern z.B. ist der Höhenunterschied auf 0,5 m festgelegt.

Für den Nachweis der Absturzsicherung sind zwei „Lastfälle“ zu berücksichtigen. Zum einen sind die horizontal statischen Lasten (Holmlasten), die in Form von Linienlasten angesetzt werden, zu betrachten. Zum anderen stoßartige Belastungen, die aus einem Anprall resultieren können.

Bei absturzsichernden Bauteilen muss die Lastabtragung in den Untergrund nachgewiesen werden. Daher ist momentan für das Befestigungssystem eines absturzsichernden Elementes ein Prüfnachweis in Verbindung mit einer Zustimmung im Einzelfall oder eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung erforderlich, die die tatsächliche Einbausituation und den Anwendungsfall abdeckt.

1. Holmlasten

Die horizontalen statischen Lasten sind nach DIN EN 1991-1-1 [9] zu bestimmen. Diese Lasten sind in Absturzrichtung in voller Höhe und in der Gegenrichtung mit 50 %, mindestens jedoch 0,5 kN/m, anzusetzen. In Tabelle 13 sind die horizontalen Nutzlasten nach Nutzungskategorie aufgeführt.

Tabelle 13 Horizontale Lasten auf Zwischenwände und Absperrungen

Zeile	Horizontale Nutzlast q_k in kN/m	Nutzungskategorie
1	0,5 kN/m	ohne nennenswerten Publikumsverkehr
2	1,0 kN/m	mit nennenswertem Publikumsverkehr
3	2,0 kN/m	mit Menschenansammlungen (Sondernutzung)

Windlasten sind diesen Nutzlasten zu überlagern.

Auf der Widerstandsseite (Befestigungsmittel im Baukörper) erfolgt die Bemessung entsprechend Eurocode unter Berücksichtigung der entsprechenden Material-Teilsicherheitsbeiwerte, z.B. $\gamma_m = 2,5$ für Mauerwerk.

Die am häufigsten auftretende Nutzlast ist die der Nutzungskategorie ohne nennenswerten Publikumsverkehr. Diese Kategorie beinhaltet die belasteten Flächen in Wohn- und Aufenthaltsräumen sowie Bürogebäuden. Eine horizontale Nutzlast von 1,0 kN/m ist in öffentlichen Gebäuden wie Krankenhäusern, Hotels, Heimeinrichtungen, Schulungsräumen und Verkaufsflächen anzusetzen. Die Nutzungskategorie mit Menschenansammlungen ist eher selten. Sie kommt lediglich im Bereich von Konzertsälen, Tribünen und Eingangsbereichen und dergleichen mit bodentiefen Fenstern vor.

2. Anpralllasten

Hierbei ist die ETB Richtlinie „Bauteile die gegen Absturz sichern“ anzuwenden. Der Nachweis kann durch dynamische (weicher Stoß) oder statische Versuche (Tragfähigkeit) geführt werden. Entsprechend ETB „genügt der Nachweis, dass das Befestigungselement eine größere Widerstandskraft besitzt als 2,8 kN. Als Widerstandskraft darf die Kraft eingesetzt werden, bei der ein Versagen gerade noch nicht eintritt“.

D.h. dass nach aktueller Auslegung des DIBt die charakteristische Tragfähigkeit des Befestigungsmittels im Untergrund größer/gleich 2,8 kN sein muss. Ein Material-Teilsicherheitsbeiwert ist hierbei nicht zu berücksichtigen.

4.4 Überlagerung von Lasten/ Kombination der Lastfälle

Für den Nachweis des Grenzzustandes der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit ist neben den einzelnen Lastfällen auch eine Überlagerung von Lasten durch eine Kombination der einzelnen Lastfälle nachzuweisen. Die Kombination der Einwirkungen ist in DIN EN 1990 [11] nach dem Eurocode geregelt. Bei der Überlagerung der Lastfälle sind Teilsicherheitsbeiwerte als auch Kombinationsbeiwerte anzusetzen.

$$F_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} \oplus \gamma_{Q,1} Q_{k,1} \oplus \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$G_{k,j}$	ständige Einwirkungen (z. B. Eigengewicht,...)
$Q_{k,1}$	vorherrschende veränderliche Einwirkung (Wind, Holmlast,...)
$Q_{k,i}$	weitere veränderliche Einwirkungen (Wind, Holmlast,...)
$\gamma_G = 1,35$	Teilsicherheitsbeiwert für G_k (aber $\gamma_G = 1,0$ falls G_k günstig wirkt)
$\gamma_Q = 1,5$	Teilsicherheitsbeiwert für Q_k
ψ_0	Kombinationsbeiwert für $Q_{k,i}$
$\oplus$	in Kombination mit

Die Kombinationsbeiwerte ψ_0 sind entsprechend Eurocode:

$\psi_0 = 0,6$	Für Windeinwirkung
$\psi_0 = 0,7$	Für Einwirkung aufgrund Holmlast

Nach Eurocode sind Windlasten und horizontale Nutzlasten zur Absturzsicherung überlagert anzusetzen. Daher setzt sich die Lastfallkombination bei einem geschlossenen Fensterflügel aus Eigengewicht, Windlasten und horizontalen Nutzlasten zusammen. Wobei die Belastung aus dem Eigengewicht im geschlossenen Zustand über die Tragklötze abgeleitet wird und somit keine Belastung auf das Befestigungsmittel ausübt. Der Lastfall eines geöffneten Fensters mit einer gegen Absturz sichernden Funktion wurde nicht mit einer vertikalen Nutzlast überlagert. Das Eintreten einer Belastung durch eine abstützende Person am Flügelrahmen und einer gegen den Holm lehnenen Person ist unwahrscheinlich und wurde daher nicht weiter betrachtet. Anders als die Nachweisführung hinsichtlich statischer Einwirkung (Holmlast) ist die stoßartige Einwirkung (Anprall) nicht mit anderen Einwirkungen (Wind) zu überlagern.

Beim Lastfall eines geöffneten Flügels mit Überlagerung aus einer Personenlast wurde die vertikale Nutzlast als außerordentlicher Lastfall entsprechend DIN EN 1990/NA interpretiert. Hieraus ergibt sich, dass der Teilsicherheitsbeiwert mit $\gamma = 1,0$ angesetzt wird. Für die Überlagerung wurden beide Lasten mit jeweils 100 % angesetzt.

In der nachfolgenden Tabelle 14 sind die auftretenden Lastfallkombinationen mit den entsprechenden Kombinationsbeiwerten und der Lastsicherheit dargestellt.

Tabelle 14 auftretende Lastfallkombinationen

	G	P	w	q¹⁾	2,8 kN/BP
LFK gF1*	1,0 x 1,35	0	1,0 x 1,5	0,7 x 1,5	0
LFK gF2*	1,0 x 1,35	0	0,6 x 1,5	1,0 x 1,5	0
LFK gF3*	1,0 x 1,35	0	1,0 x 1,5	-0,7 x 1,5**	0
LFK gF4*	1,0 x 1,35	0	0,6 x 1,5	-1,0 x 1,5**	0
LFK oF1	1,0 x 1,35	1,0 x 1,0	0	0	0
LFK oF2	1,0 x 1,35	0	0	1,0 x 1,5	0
LFK oF3	1,0 x 1,35	0	0	-1,0 x 1,5**	0
LFK ETB	0	0	0	0	1,0 x 1,0
Kombinationsbeiwert x Lastsicherheit LFK Lastfallkombination gF geschlossener Flügel oF offener Flügel G Last aus Eigengewicht P Personenlast am Flügel w Last aus Wind q Holmlast *Diese Lastfallkombinationen sind zusätzlich nach der Befestigungsart (umlaufende oder 2-seitige Befestigung) zu untergliedern **Last gegen die Absturzrichtung zu 50 % mindestens jedoch 0,5 kN/m anzusetzen ¹⁾ wenn zutreffend					

Die Ersatzlast von 2,8 kN nach ETB-Richtlinie für die statische Nachweisführung der Absturzsicherung ist nicht direkt mit den Holmlasten in den Diagrammen vergleichbar und wurde daher gestrichelt dargestellt. Anders als bei den anderen Lasten ist diese Last direkt mit der charakteristischen Tragfähigkeit des Befestigungsmittels und nicht mit der Bemessungslast zu vergleichen. Daher ist zu beachten, dass für die Bemessung des Befestigungsmittels beim Lastfall Wind+Holm, die entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerte auf der Widerstandseite noch zu berücksichtigen sind. Für Mauerwerk beträgt der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_m = 2,5$. Alle Lastfallkombinationen wurden für die jeweils ungünstigsten Flügelhöhen bzw. Elementhöhen durchgeführt. In den folgenden Abbildungen 9 bis 12 sind die Lastfallkombinationen, welche die maximale Belastung auf das Befestigungsmittel hervorrufen, aufgeführt.

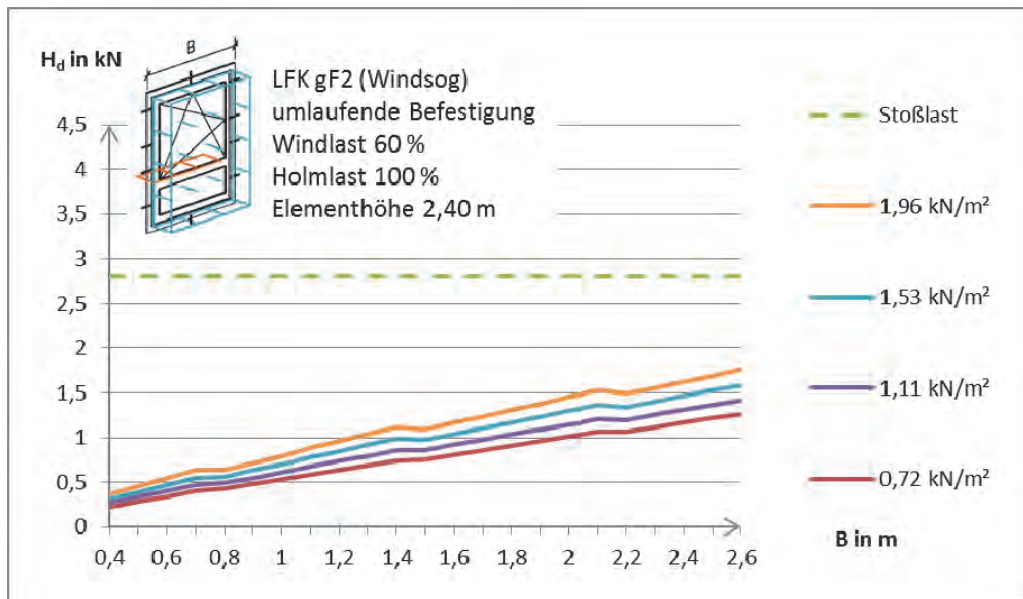


Abbildung 9 Auflagerkraft infolge LFK gF2 (Windsog) am Befestigungsmittel im Bereich des Holmes bei umlaufender Befestigung und einer Holmlast von 0,5 kN/m bei Windlasten von 0,72 bis 1,96 kN/m²

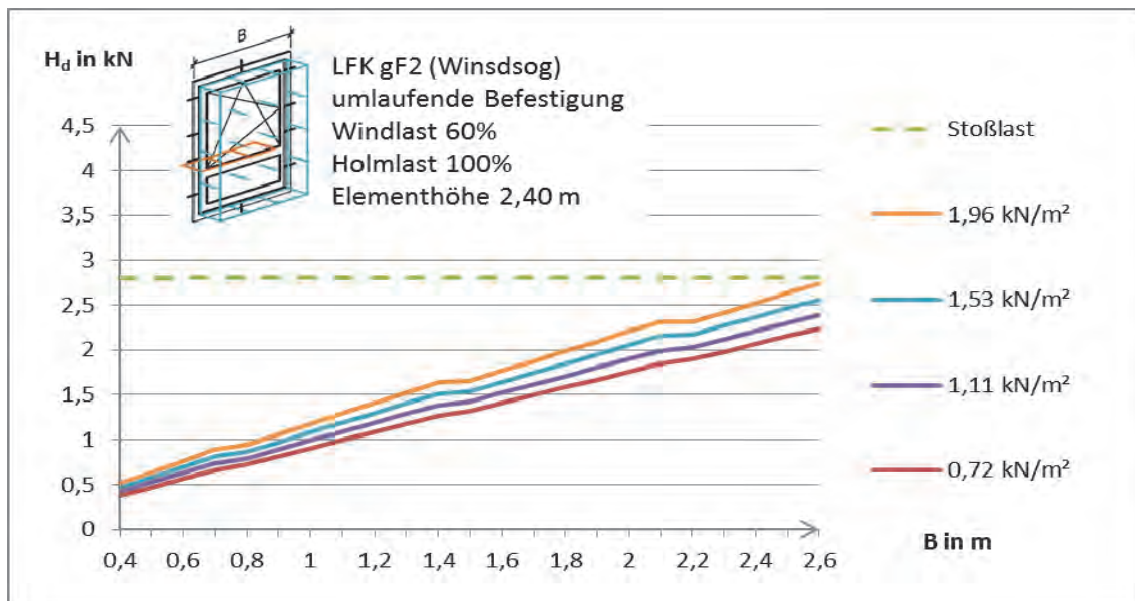


Abbildung 10 Auflagerkraft infolge LFK gF2 (Windsog) am Befestigungsmittel im Bereich des Holmes bei umlaufender Befestigung und einer Holmlast von 1,0 kN/m bei Windlasten von 0,72 bis 1,96 kN/m²

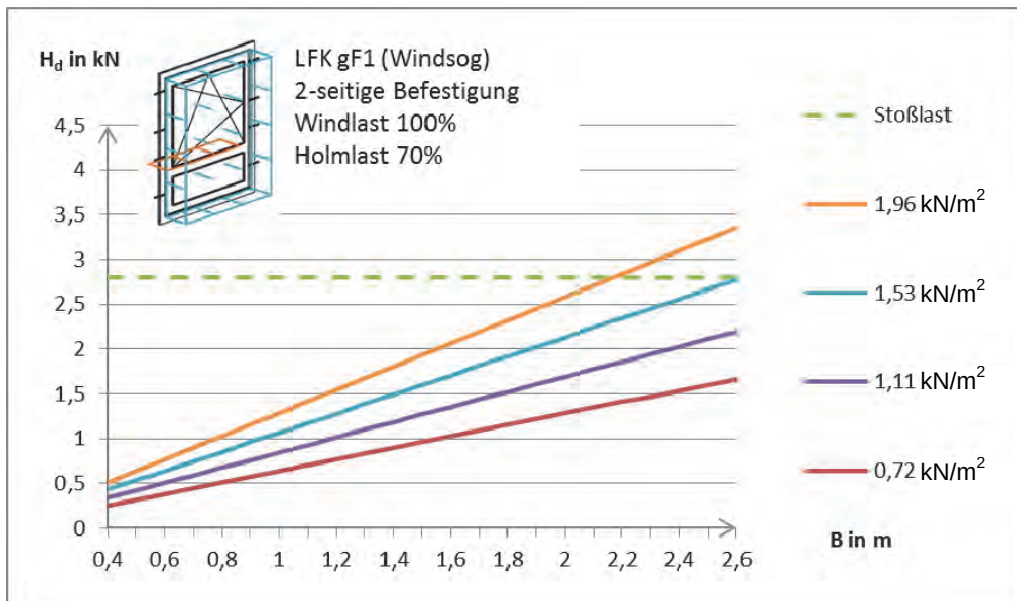


Abbildung 11 Auflagerkraft infolge LFK gF1 (Windsog) am Befestigungsmittel im Bereich des Holmes bei 2-seitiger Befestigung und einer Holmlast von 0,5 kN/m bei Windlasten von 0,72 bis 1,96 kN/m²

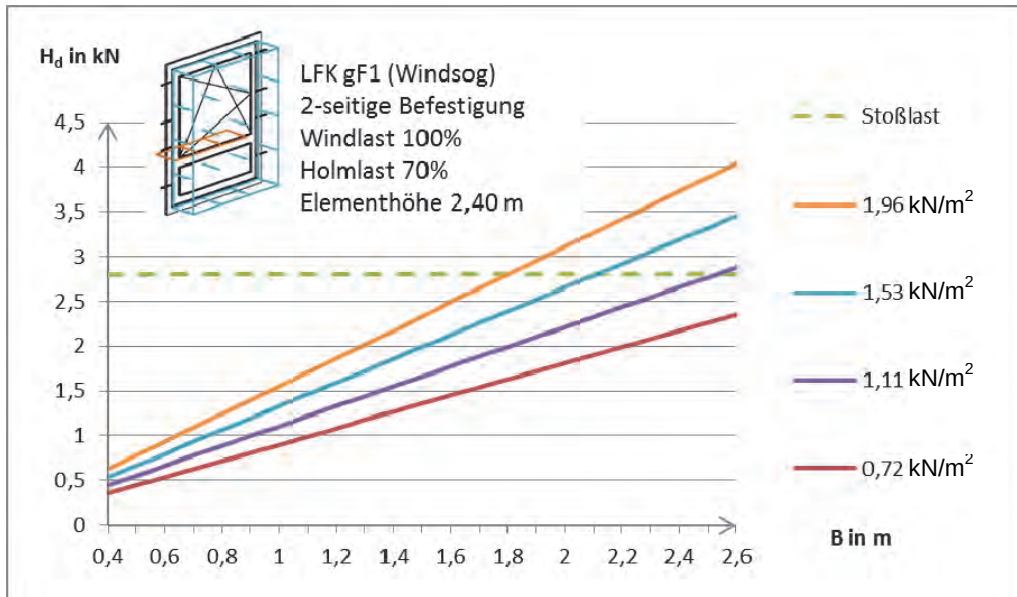


Abbildung 12 Auflagerkraft infolge LFK gF1 (Windsog) am Befestigungsmittel im Bereich des Holmes bei 2-seitiger Befestigung und einer Holmlast von 1,0 kN/m bei Windlasten von 0,72 bis 1,96 kN/m²

Für die Belastung aus Windlast bei 2-seitiger Befestigung und Absturzsicherung ist der Lastfall gF1 (Windsog), sprich die Kombination aus 100 % Windlast und 70 % Holmlast, weitgehend maßgebend. Bei umlaufender Befestigung ist Lastfall gF2 maßgebend. Die resultierende Last auf das Befestigungsmittel bei einer 2-seitigen Befestigung ist höher als

bei einer umlaufenden Befestigung, da die Last bei der umlaufenden Befestigung auf mehr Befestigungspunkte abgeleitet werden kann.

Die Holmlast, bei der Absturzsicherung in Gegenrichtung, wirkt entlastend auf das Befestigungsmittel bei einer Windsogbelastung. Somit sind die Lastfälle gF3 und gF4 nicht maßgebend. Die Belastung durch Winddruck ist bei den Lastfällen gF1 und gF2 entlastend, da sie entgegen der Absturzrichtung wirkt.

In Kapitel 4.3.2 ist die Lastfallkombination LFK oF1 bereits aufgeführt. Sie ist für Fenster ohne Absturzsicherung weitestgehend maßgebend.

Die Belastung durch LFK oF2, Eigengewicht des geöffneten Fensterflügels und der Holmlast, (siehe Abbildung 13) wird mit zunehmender Flügelbreite größer und kann je nach Windwiderstandsklasse gegenüber der Lastfallkombination gF1 und gF2 maßgebend werden.

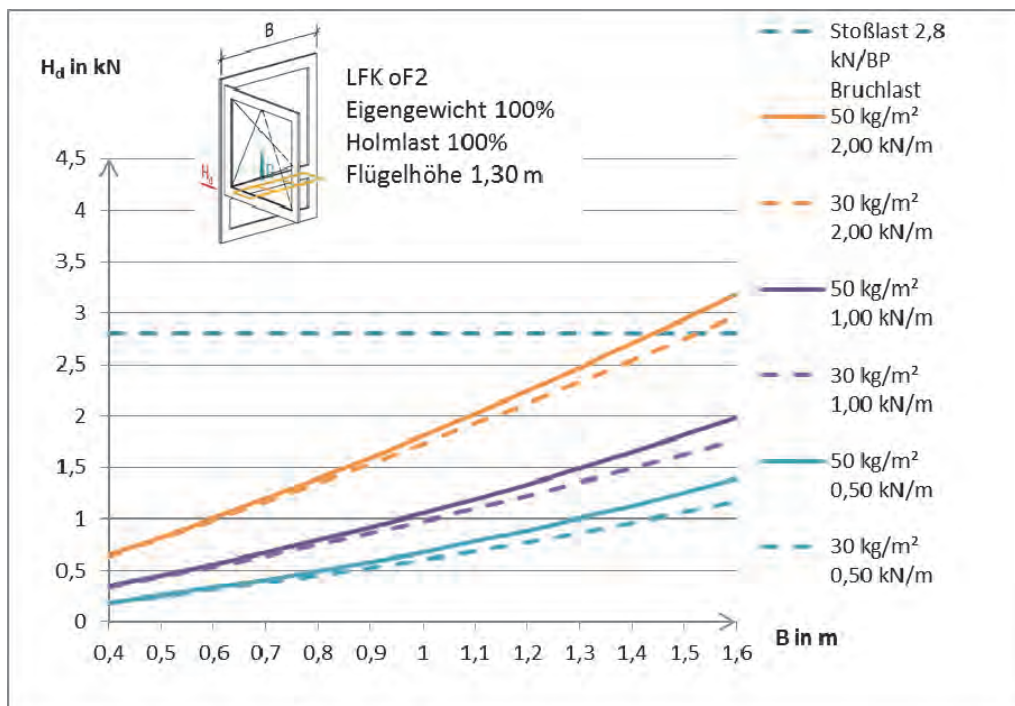


Abbildung 13 Auflagerkräfte infolge Flügelgewicht des geöffneten Flügels und einer Holmlast am Befestigungsmittel in der Nähe des Holmes (LFK oF2)

4.5 Anforderungen an das Befestigungsmittel im Standardfall

Um den notwendigen Widerstand eines Befestigungsmittels besser darstellen zu können, wird im Folgenden ein Standardfall für diesen Abschnitt definiert:

- Standard Isolierglas (3-fach Verglasung) 30 kg/m²
- Profilgewicht 5,5 kg/lfm
- Vertikale Nutzlast sowohl 0 als auch 600 N (Klasse 3)



- Windlast B3 => 1,11 kN/m²
- keine absturzsichernde Funktion

Aus den zuvor genannten Rahmenbedingungen ergeben sich die folgenden Lastfälle,

- LFK oF2 (Eigengewicht geöffneter Flügel + vertikale Nutzlast (0 bzw. 600 N)),
- Windlast bei 2-seitiger Befestigung sowie
- Windlast bei umlaufender Befestigung.

Die auftretenden Belastungen aus den jeweiligen Lastfällen an einem einflügligen Dreh-/Drehkippensters sind in Tabelle 15 bis Tabelle 18 dargestellt. Die entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerte sind in den berechneten Lasten enthalten. Die grau hinterlegten Bereiche kennzeichnen die Fensterabmessung in Bereichen, in denen die maximalen Grenzabmessungen des Flügels nach Angaben des Profilherstellers erreicht/überschritten sind.

Tabelle 15 Last in kN an den Befestigungspunkten des definierten 1-flügligen D/DK-Fensters durch Wind, umlaufende Befestigung

D/DK 1-flüglig

Windlast umlaufend

Windwiderstandsklasse

B3

1,11 kN/m²

Elementhöhe H in m		Elementbreite B in m													
		0,40 m	0,50 m	0,60 m	0,70 m	0,80 m	0,90 m	1,00 m	1,10 m	1,20 m	1,30 m	1,40 m	1,50 m	1,60 m	
		BP	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2
0,40 m	2	0,07	0,08	0,10	0,12	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,16	0,12	0,13	
0,50 m	2	0,08	0,10	0,12	0,15	0,11	0,12	0,14	0,15	0,17	0,18	0,19	0,16	0,17	
0,60 m	2	0,10	0,12	0,15	0,17	0,13	0,15	0,17	0,18	0,20	0,22	0,23	0,19	0,20	
0,70 m	2	0,12	0,15	0,17	0,20	0,16	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,22	0,23	
0,80 m	2	0,13	0,17	0,20	0,23	0,18	0,20	0,22	0,24	0,27	0,29	0,31	0,25	0,27	
0,90 m	2	0,15	0,19	0,22	0,26	0,20	0,22	0,25	0,27	0,30	0,32	0,35	0,28	0,30	
1,00 m	2	0,17	0,21	0,25	0,29	0,22	0,25	0,28	0,31	0,33	0,36	0,39	0,31	0,33	
1,10 m	3	0,12	0,15	0,18	0,21	0,18	0,21	0,23	0,25	0,27	0,30	0,32	0,27	0,29	
1,20 m	3	0,13	0,17	0,20	0,23	0,20	0,22	0,25	0,27	0,30	0,32	0,35	0,30	0,32	
1,30 m	3	0,14	0,18	0,22	0,25	0,22	0,24	0,27	0,30	0,32	0,35	0,38	0,32	0,35	
1,40 m	3	0,16	0,19	0,23	0,27	0,23	0,26	0,29	0,32	0,35	0,38	0,41	0,35	0,37	
1,50 m	3	0,17	0,21	0,25	0,29	0,25	0,28	0,31	0,34	0,37	0,41	0,44	0,37	0,40	
1,60 m	3	0,18	0,22	0,27	0,31	0,27	0,30	0,33	0,37	0,40	0,43	0,47	0,40	0,43	
1,70 m	3	0,19	0,24	0,28	0,33	0,28	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,50	0,42	0,45	
1,80 m	4	0,15	0,19	0,22	0,26	0,24	0,27	0,30	0,33	0,36	0,39	0,42	0,37	0,40	
1,90 m	4	0,16	0,20	0,24	0,28	0,25	0,28	0,32	0,35	0,38	0,41	0,44	0,40	0,42	
2,00 m	4	0,17	0,21	0,25	0,29	0,27	0,30	0,33	0,37	0,40	0,43	0,47	0,42	0,44	
2,10 m	4	0,17	0,22	0,26	0,31	0,28	0,31	0,35	0,38	0,42	0,45	0,49	0,44	0,47	
2,20 m	4	0,18	0,23	0,27	0,32	0,29	0,33	0,37	0,40	0,44	0,48	0,51	0,46	0,49	
2,30 m	4	0,19	0,24	0,29	0,34	0,31	0,34	0,38	0,42	0,46	0,50	0,54	0,48	0,51	
2,40 m	4	0,20	0,25	0,30	0,35	0,32	0,36	0,40	0,44	0,48	0,52	0,56	0,50	0,53	
2,50 m	5	0,17	0,21	0,25	0,29	0,28	0,31	0,35	0,38	0,42	0,45	0,49	0,45	0,48	
2,60 m	5	0,17	0,22	0,26	0,30	0,29	0,32	0,36	0,40	0,43	0,47	0,51	0,46	0,49	
2,70 m	5	0,18	0,22	0,27	0,31	0,30	0,34	0,37	0,41	0,45	0,49	0,52	0,48	0,51	
2,80 m	5	0,19	0,23	0,28	0,33	0,31	0,35	0,39	0,43	0,47	0,51	0,54	0,50	0,53	
2,90 m	5	0,19	0,24	0,29	0,34	0,32	0,36	0,40	0,44	0,48	0,52	0,56	0,52	0,55	
3,00 m	5	0,20	0,25	0,30	0,35	0,33	0,37	0,42	0,46	0,50	0,54	0,58	0,54	0,57	

≤ 0,5 kN 1,0 kN >1,0 kN

Grenzabmessung der Profilhersteller

Tabelle 16 Last an den Befestigungspunkten des definierten 1-flügligen D/DK-Fensters durch Wind, zweiseitige Befestigung

D/DK 1-flüglig

Windlast 2-seitige Befestigung

Windwiderstandsklasse B3 1,11 kN/m²

Elementhöhe H in m	s in m	Elementbreite B in m															
		0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6			
0,40 m	0,10	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,12	0,13			
0,50 m	0,20	0,07	0,08	0,10	0,12	0,13	0,15	0,17	0,18	0,20	0,22	0,23	0,25	0,27			
0,60 m	0,30	0,10	0,12	0,15	0,17	0,20	0,22	0,25	0,27	0,30	0,32	0,35	0,37	0,40			
0,70 m	0,40	0,13	0,17	0,20	0,23	0,27	0,30	0,33	0,37	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53			
0,80 m	0,50	0,17	0,21	0,25	0,29	0,33	0,37	0,42	0,46	0,50	0,54	0,58	0,62	0,67			
0,90 m	0,60	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80			
1,00 m	0,70	0,23	0,29	0,35	0,41	0,47	0,52	0,58	0,64	0,70	0,76	0,82	0,87	0,93			
1,10 m	0,40	0,13	0,17	0,20	0,23	0,27	0,30	0,33	0,37	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53			
1,20 m	0,45	0,15	0,19	0,22	0,26	0,30	0,34	0,37	0,41	0,45	0,49	0,52	0,56	0,60			
1,30 m	0,50	0,17	0,21	0,25	0,29	0,33	0,37	0,42	0,46	0,50	0,54	0,58	0,62	0,67			
1,40 m	0,55	0,18	0,23	0,27	0,32	0,37	0,41	0,46	0,50	0,55	0,60	0,64	0,69	0,73			
1,50 m	0,60	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80			
1,60 m	0,65	0,22	0,27	0,32	0,38	0,43	0,49	0,54	0,60	0,65	0,70	0,76	0,81	0,87			
1,70 m	0,70	0,23	0,29	0,35	0,41	0,47	0,52	0,58	0,64	0,70	0,76	0,82	0,87	0,93			
1,80 m	0,50	0,17	0,21	0,25	0,29	0,33	0,37	0,42	0,46	0,50	0,54	0,58	0,62	0,67			
1,90 m	0,53	0,18	0,22	0,27	0,31	0,36	0,40	0,44	0,49	0,53	0,58	0,62	0,67	0,71			
2,00 m	0,57	0,19	0,24	0,28	0,33	0,38	0,42	0,47	0,52	0,57	0,61	0,66	0,71	0,75			
2,10 m	0,60	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80			
2,20 m	0,63	0,21	0,26	0,32	0,37	0,42	0,47	0,53	0,58	0,63	0,69	0,74	0,79	0,84			
2,30 m	0,67	0,22	0,28	0,33	0,39	0,44	0,50	0,56	0,61	0,67	0,72	0,78	0,83	0,89			
2,40 m	0,70	0,23	0,29	0,35	0,41	0,47	0,52	0,58	0,64	0,70	0,76	0,82	0,87	0,93			
2,50 m	0,55	0,18	0,23	0,27	0,32	0,37	0,41	0,46	0,50	0,55	0,60	0,64	0,69	0,73			
2,60 m	0,58	0,19	0,24	0,29	0,34	0,38	0,43	0,48	0,53	0,57	0,62	0,67	0,72	0,77			
2,70 m	0,60	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80			
2,80 m	0,63	0,21	0,26	0,31	0,36	0,42	0,47	0,52	0,57	0,62	0,68	0,73	0,78	0,83			
2,90 m	0,65	0,22	0,27	0,32	0,38	0,43	0,49	0,54	0,60	0,65	0,70	0,76	0,81	0,87			
3,00 m	0,68	0,22	0,28	0,34	0,39	0,45	0,51	0,56	0,62	0,67	0,73	0,79	0,84	0,90			

≤ 0,5 kN 1,0 kN >1,0 kN

Grenzabmessung der Profilversteller

Tabelle 17 Last am oberen und unteren bandseitigen Befestigungspunkt des definierten 1-flügligen D/DK-Fensters bei 90° geöffnetem Flügel, ohne zusätzliche Nutzlast P

D/DK 1-flüglig

LFK oF1

Nutzlast 0 N

Elementhöhe H in m	Elementbreite B in m															
	0,40 m	0,50 m	0,60 m	0,70 m	0,80 m	0,90 m	1,00 m	1,10 m	1,20 m	1,30 m	1,40 m	1,50 m	1,60 m			
0,40 m	0,10	0,16	0,23	0,31	0,41	0,51	0,63	0,76	0,90	1,05	1,22	1,40	1,58			
0,50 m	0,09	0,14	0,20	0,27	0,35	0,44	0,53	0,64	0,76	0,89	1,03	1,17	1,33			
0,60 m	0,08	0,13	0,18	0,24	0,31	0,39	0,48	0,57	0,68	0,79	0,91	1,04	1,18			
0,70 m	0,08	0,12	0,17	0,22	0,29	0,36	0,44	0,53	0,62	0,73	0,84	0,96	1,09			
0,80 m	0,07	0,11	0,16	0,21	0,27	0,34	0,41	0,50	0,59	0,68	0,79	0,90	1,02			
0,90 m	0,07	0,11	0,15	0,20	0,26	0,32	0,39	0,47	0,56	0,65	0,75	0,85	0,96			
1,00 m	0,07	0,10	0,14	0,19	0,25	0,31	0,38	0,45	0,53	0,62	0,72	0,82	0,92			
1,10 m	0,06	0,10	0,14	0,19	0,24	0,30	0,37	0,44	0,52	0,60	0,69	0,79	0,89			
1,20 m	0,06	0,10	0,14	0,18	0,23	0,29	0,36	0,43	0,50	0,58	0,67	0,77	0,87			
1,30 m	0,06	0,09	0,13	0,18	0,23	0,29	0,35	0,42	0,49	0,57	0,65	0,75	0,84			
1,40 m	0,06	0,09	0,13	0,17	0,22	0,28	0,34	0,41	0,48	0,56	0,64	0,73	0,83			
1,50 m	0,06	0,09	0,13	0,17	0,22	0,27	0,33	0,40	0,47	0,55	0,63	0,72	0,81			
1,60 m	0,06	0,09	0,13	0,17	0,22	0,27	0,33	0,39	0,46	0,54	0,62	0,70	0,80			
1,70 m	0,06	0,09	0,13	0,17	0,21	0,27	0,32	0,39	0,46	0,53	0,61	0,69	0,78			
1,80 m	0,06	0,09	0,12	0,17	0,21	0,26	0,32	0,38	0,45	0,52	0,60	0,68	0,77			
1,90 m	0,06	0,09	0,12	0,16	0,21	0,26	0,32	0,38	0,45	0,52	0,59	0,68	0,76			
2,00 m	0,06	0,09	0,12	0,16	0,21	0,26	0,31	0,37	0,44	0,51	0,59	0,67	0,76			
2,10 m	0,06	0,09	0,12	0,16	0,21	0,26	0,31	0,37	0,44	0,51	0,58	0,66	0,75			
2,20 m	0,06	0,09	0,12	0,16	0,20	0,25	0,31	0,37	0,43	0,50	0,58	0,66	0,74			
2,30 m	0,06	0,09	0,12	0,16	0,20	0,25	0,31	0,36	0,43	0,50	0,57	0,65	0,74			
2,40 m	0,06	0,08	0,12	0,16	0,20	0,25	0,30	0,36	0,43	0,49	0,57	0,65	0,73			
2,50 m	0,06	0,08	0,12	0,16	0,20	0,25	0,30	0,36	0,42	0,49	0,56	0,64	0,72			
2,60 m	0,06	0,08	0,12	0,16	0,20	0,25	0,30	0,36	0,42	0,49	0,56	0,64	0,72			
2,70 m	0,05	0,08	0,12	0,15	0,20	0,25	0,30	0,36	0,42	0,49	0,56	0,63	0,72			
2,80 m	0,05	0,08	0,12	0,15	0,20	0,24	0,30	0,35	0,42	0,48	0,55	0,63	0,71			
2,90 m	0,05	0,08	0,12	0,15	0,20	0,24	0,30	0,35	0,41	0,48	0,55	0,63	0,71			
3,00 m	0,05	0,08	0,12	0,15	0,19	0,24	0,29	0,35	0,41	0,48	0,55	0,62	0,70			

≤ 0,5 kN 1,0 kN >1,0 kN

Grenzabmessung der Profilversteller



Tabelle 18 Last am oberen und unteren bandseitigen Befestigungspunkt des definierten 1-flügligen D/DK-Fensters bei 90° geöffnetem Flügel, mit zusätzlicher vertikaler Nutzlast P = 600 N

D/DK 1-flüglig

LFK oF1

Nutzlast 600 N

Elementhöhe H in m	Elementbreite B in m															
	0,40 m	0,50 m	0,60 m	0,70 m	0,80 m	0,90 m	1,00 m	1,10 m	1,20 m	1,30 m	1,40 m	1,50 m	1,60 m	1,70 m	1,80 m	1,90 m
0,40 m	0,70	0,76	0,83	0,91	1,01	1,11	1,23	1,36	1,50	1,65	1,82	2,00	2,18			
0,50 m	0,69	0,74	0,80	0,87	0,95	1,04	1,13	1,24	1,36	1,49	1,63	1,77	1,93			
0,60 m	0,68	0,73	0,78	0,84	0,91	0,99	1,08	1,17	1,28	1,39	1,51	1,64	1,78			
0,70 m	0,68	0,72	0,77	0,82	0,89	0,96	1,04	1,13	1,22	1,33	1,44	1,56	1,69			
0,80 m	0,67	0,71	0,76	0,81	0,87	0,94	1,01	1,10	1,19	1,28	1,39	1,50	1,62			
0,90 m	0,67	0,71	0,75	0,80	0,86	0,92	0,99	1,07	1,16	1,25	1,35	1,45	1,56			
1,00 m	0,67	0,70	0,74	0,79	0,85	0,91	0,98	1,05	1,13	1,22	1,32	1,42	1,52			
1,10 m	0,66	0,70	0,74	0,79	0,84	0,90	0,97	1,04	1,12	1,20	1,29	1,39	1,49			
1,20 m	0,66	0,70	0,74	0,78	0,83	0,89	0,96	1,03	1,10	1,18	1,27	1,37	1,47			
1,30 m	0,66	0,69	0,73	0,78	0,83	0,89	0,95	1,02	1,09	1,17	1,25	1,35	1,44			
1,40 m	0,66	0,69	0,73	0,77	0,82	0,88	0,94	1,01	1,08	1,16	1,24	1,33	1,43			
1,50 m	0,66	0,69	0,73	0,77	0,82	0,87	0,93	1,00	1,07	1,15	1,23	1,32	1,41			
1,60 m	0,66	0,69	0,73	0,77	0,82	0,87	0,93	0,99	1,06	1,14	1,22	1,30	1,40			
1,70 m	0,66	0,69	0,73	0,77	0,81	0,87	0,92	0,99	1,06	1,13	1,21	1,29	1,38			
1,80 m	0,66	0,69	0,72	0,77	0,81	0,86	0,92	0,98	1,05	1,12	1,20	1,28	1,37			
1,90 m	0,66	0,69	0,72	0,76	0,81	0,86	0,92	0,98	1,05	1,12	1,19	1,28	1,36			
2,00 m	0,66	0,69	0,72	0,76	0,81	0,86	0,91	0,97	1,04	1,11	1,19	1,27	1,36			
2,10 m	0,66	0,69	0,72	0,76	0,81	0,86	0,91	0,97	1,04	1,11	1,18	1,26	1,35			
2,20 m	0,66	0,69	0,72	0,76	0,80	0,85	0,91	0,97	1,03	1,10	1,18	1,26	1,34			
2,30 m	0,66	0,69	0,72	0,76	0,80	0,85	0,91	0,96	1,03	1,10	1,17	1,25	1,34			
2,40 m	0,66	0,68	0,72	0,76	0,80	0,85	0,90	0,96	1,03	1,09	1,17	1,25	1,33			
2,50 m	0,66	0,68	0,72	0,76	0,80	0,85	0,90	0,96	1,02	1,09	1,16	1,24	1,32			
2,60 m	0,66	0,68	0,72	0,76	0,80	0,85	0,90	0,96	1,02	1,09	1,16	1,24	1,32			
2,70 m	0,65	0,68	0,72	0,75	0,80	0,85	0,90	0,96	1,02	1,09	1,16	1,23	1,32			
2,80 m	0,65	0,68	0,72	0,75	0,80	0,84	0,90	0,95	1,02	1,08	1,15	1,23	1,31			
2,90 m	0,65	0,68	0,72	0,75	0,80	0,84	0,90	0,95	1,01	1,08	1,15	1,23	1,31			
3,00 m	0,65	0,68	0,72	0,75	0,79	0,84	0,89	0,95	1,01	1,08	1,15	1,22	1,30			

≤ 0,5 kN 1,0 kN >1,0 kN

Grenzabmessung der Profilversteller

Die Analyse der in Tabelle 15 bis Tabelle 18 dargestellten Werte führt zu folgenden Erkenntnissen für den vorab definierten Standardfall:

- Für ein Fenster mit der Abmessung von ca. 1,2 m x 1,4 m liegt die durch das Befestigungselement abzutragende Last aufgrund von Windeinwirkung bei ca. 0,4 kN bei umlaufender Befestigung, bei nur 2-seitiger Befestigung erhöht sich der Wert auf ca. 0,6 kN.
- Für eine Fenstertüre (Abmessung ca. 1,3 m x 2,2 m) liegt die durch das Befestigungselement abzutragende Last aufgrund von Windeinwirkung bei ca. 0,5 kN bei umlaufender Befestigung, bei nur 2-seitiger Befestigung erhöht sich der Wert auf ca. 0,7 kN.
- Die „Rücksprünge“ der abzutragenden Lasten aufgrund von Windeinwirkung bei größer werdenden Elementen (sowohl Breite als auch Höhe) ergeben sich aufgrund der Erhöhung der Anzahl der Befestigungsmittel.
- Prinzipiell kann die durch das Befestigungsmittel abzutragende Last aufgrund von Windeinwirkung durch die Verwendung von mehr Befestigungspunkten reduziert werden.
- Die Lasten aus dem Eigengewicht des Flügels nehmen bei konstanter Elementbreite mit zunehmender Elementhöhe wie bereits dargestellt ab. Daher ergeben sich bei gleicher Elementfläche (B x H) für stehende Formate geringere Kräfte als

- für liegende Formate. Bei reiner Windbeanspruchung hingegen nehmen die abzuleitenden Lasten bei konstanter Elementbreite mit zunehmender Elementhöhe zu.
- Für ein Fenster mit der Abmessung von ca. 1,2 m x 1,4 m liegt die durch das Befestigungselement abzutragende Last aufgrund von Eigengewicht ohne Vertikale Nutzlast bei ca. 0,5 kN und ist damit etwas höher als die Last, die „nur“ durch eine Windbelastung bei umlaufender Befestigung entstehen würde. Für eine Fenstertüre (Abmessung ca. 1,3 m x 2,2 m) liegt die Last aufgrund des Eigengewichts ohne vertikale Nutzlast ebenfalls bei ca. 0,5 kN.
 - Bei einer zusätzlich zu berücksichtigenden vertikale Nutzlast P von 600 N liegen für alle Abmessungen die durch das Eigenwicht und Nutzlast versachte Last signifikant höher, als die Last die durch Windeinwirkung ausgelöst wird. Dies gilt sowohl für eine umlaufende als auch für eine 2-seitige Befestigung des Fensters.
 - Hierdurch ergibt sich, dass die für die Bemessung des Befestigungselementes sich ergebende Last bei zu berücksichtigender Nutzlast von P = 600 N durch den Lastfall Eigengewicht des Flügels + vertikale Nutzlast beschrieben wird (Tabelle 18).
 - Wird keine zusätzliche vertikale Nutzlast P angesetzt, so ergibt sich die Bemessungslast aus dem jeweiligen Maximalwert aus Tabelle 15 und
 - Tabelle 17 für eine umlaufende Befestigung bzw. dem jeweiligen Maximalwert aus Tabelle 16 und
 - Tabelle 17 für 2-seitige Befestigung. Tabelle 19 sowie Tabelle 20 stellen die jeweiligen Maximalwerte dar.

Tabelle 19 Maximallast am Befestigungsmittel des definierten 1-flügligen D/DK-Fensters bedingt durch Wind sowie Flügelgewicht, ohne zusätzliche Nutzlast, umlaufende Befestigung

D/DK 1-flüglig

höchste Belastungen aus Windlasten oder Eigengewicht Flügel in kN
umlaufend befestigt, ohne Nutzlast

Elementhöhe H in m	Elementbreite B in m												
	0,4 m	0,5 m	0,6 m	0,7 m	0,8 m	0,9 m	1,0 m	1,1 m	1,2 m	1,3 m	1,4 m	1,5 m	1,6 m
0,4 m	0,10	0,16	0,23	0,31	0,41	0,51	0,63	0,76	0,90	1,05	1,22	1,40	1,58
0,5 m	0,09	0,14	0,20	0,27	0,35	0,44	0,53	0,64	0,76	0,89	1,03	1,17	1,33
0,6 m	0,10	0,13	0,18	0,24	0,31	0,39	0,48	0,57	0,68	0,79	0,91	1,04	1,18
0,7 m	0,12	0,15	0,17	0,22	0,29	0,36	0,44	0,53	0,62	0,73	0,84	0,96	1,09
0,8 m	0,13	0,17	0,20	0,23	0,27	0,34	0,41	0,50	0,59	0,68	0,79	0,90	1,02
0,9 m	0,15	0,19	0,22	0,26	0,26	0,32	0,39	0,47	0,56	0,65	0,75	0,85	0,96
1,0 m	0,17	0,21	0,25	0,29	0,25	0,31	0,38	0,45	0,53	0,62	0,72	0,82	0,92
1,1 m	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24	0,30	0,37	0,44	0,52	0,60	0,69	0,79	0,89
1,2 m	0,13	0,17	0,20	0,23	0,23	0,29	0,36	0,43	0,50	0,58	0,67	0,77	0,87
1,3 m	0,14	0,18	0,22	0,25	0,23	0,29	0,35	0,42	0,49	0,57	0,65	0,75	0,84
1,4 m	0,16	0,19	0,23	0,27	0,23	0,28	0,34	0,41	0,48	0,56	0,64	0,73	0,83
1,5 m	0,17	0,21	0,25	0,29	0,25	0,28	0,33	0,40	0,47	0,55	0,63	0,72	0,81
1,6 m	0,18	0,22	0,27	0,31	0,27	0,30	0,33	0,39	0,46	0,54	0,62	0,70	0,80
1,7 m	0,19	0,24	0,28	0,33	0,28	0,32	0,35	0,39	0,46	0,53	0,61	0,69	0,78
1,8 m	0,15	0,19	0,22	0,26	0,24	0,27	0,32	0,38	0,45	0,52	0,60	0,68	0,77
1,9 m	0,16	0,20	0,24	0,28	0,25	0,28	0,32	0,38	0,45	0,52	0,59	0,68	0,76
2,0 m	0,17	0,21	0,25	0,29	0,27	0,30	0,33	0,37	0,44	0,51	0,59	0,67	0,76
2,1 m	0,17	0,22	0,26	0,31	0,28	0,31	0,35	0,38	0,44	0,51	0,58	0,66	0,75
2,2 m	0,18	0,23	0,27	0,32	0,29	0,33	0,37	0,40	0,44	0,50	0,58	0,66	0,74
2,3 m	0,19	0,24	0,29	0,34	0,31	0,34	0,38	0,42	0,46	0,50	0,57	0,65	0,74
2,4 m	0,20	0,25	0,30	0,35	0,32	0,36	0,40	0,44	0,48	0,52	0,57	0,65	0,73
2,5 m	0,17	0,21	0,25	0,29	0,28	0,31	0,35	0,38	0,42	0,49	0,56	0,64	0,72
2,6 m	0,17	0,22	0,26	0,30	0,29	0,32	0,36	0,40	0,43	0,49	0,56	0,64	0,72
2,7 m	0,18	0,22	0,27	0,31	0,30	0,34	0,37	0,41	0,45	0,49	0,56	0,63	0,72
2,8 m	0,19	0,23	0,28	0,33	0,31	0,35	0,39	0,43	0,47	0,51	0,55	0,63	0,71
2,9 m	0,19	0,24	0,29	0,34	0,32	0,36	0,40	0,44	0,48	0,52	0,56	0,63	0,71
3,0 m	0,20	0,25	0,30	0,35	0,33	0,37	0,42	0,46	0,50	0,54	0,58	0,62	0,70

≤ 0,5 kN 1,0 kN >1,0 kN

Grenzabmessung der Profilversteller

Tabelle 20 Maximallast am Befestigungsmittel des definierten 1-flügligen D/DK-Fensters bedingt durch Wind sowie Flügelgewicht, ohne zusätzliche Nutzlast, 2-seitige Befestigung

D/DK 1-flüglig

höchste Belastungen aus Windlasten oder Eigengewicht Flügel in kN

2-seitig befestigt, ohne Nutzlast

Elementhöhe H in m	Elementbreite B in m												
	0,4 m	0,5 m	0,6 m	0,7 m	0,8 m	0,9 m	1,0 m	1,1 m	1,2 m	1,3 m	1,4 m	1,5 m	1,6 m
0,4 m	0,10	0,16	0,23	0,31	0,41	0,51	0,63	0,76	0,90	1,05	1,22	1,40	1,58
0,5 m	0,09	0,14	0,20	0,27	0,35	0,44	0,53	0,64	0,76	0,89	1,03	1,17	1,33
0,6 m	0,10	0,13	0,18	0,24	0,31	0,39	0,48	0,57	0,68	0,79	0,91	1,04	1,18
0,7 m	0,13	0,17	0,20	0,23	0,29	0,36	0,44	0,53	0,62	0,73	0,84	0,96	1,09
0,8 m	0,17	0,21	0,25	0,29	0,33	0,37	0,42	0,50	0,59	0,68	0,79	0,90	1,02
0,9 m	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,75	0,85	0,96
1,0 m	0,23	0,29	0,35	0,41	0,47	0,52	0,58	0,64	0,70	0,76	0,82	0,87	0,93
1,1 m	0,13	0,17	0,20	0,23	0,27	0,30	0,37	0,44	0,52	0,60	0,69	0,79	0,89
1,2 m	0,15	0,19	0,22	0,26	0,30	0,34	0,37	0,43	0,50	0,58	0,67	0,77	0,87
1,3 m	0,17	0,21	0,25	0,29	0,33	0,37	0,42	0,46	0,50	0,57	0,65	0,75	0,84
1,4 m	0,18	0,23	0,27	0,32	0,37	0,41	0,46	0,50	0,55	0,60	0,64	0,73	0,83
1,5 m	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,81
1,6 m	0,22	0,27	0,32	0,38	0,43	0,49	0,54	0,60	0,65	0,70	0,76	0,81	0,87
1,7 m	0,23	0,29	0,35	0,41	0,47	0,52	0,58	0,64	0,70	0,76	0,82	0,87	0,93
1,8 m	0,17	0,21	0,25	0,29	0,33	0,37	0,42	0,46	0,50	0,54	0,60	0,68	0,77
1,9 m	0,18	0,22	0,27	0,31	0,36	0,40	0,44	0,49	0,53	0,58	0,62	0,68	0,76
2,0 m	0,19	0,24	0,28	0,33	0,38	0,42	0,47	0,52	0,57	0,61	0,66	0,71	0,76
2,1 m	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
2,2 m	0,21	0,26	0,32	0,37	0,42	0,47	0,53	0,58	0,63	0,69	0,74	0,79	0,84
2,3 m	0,22	0,28	0,33	0,39	0,44	0,50	0,56	0,61	0,67	0,72	0,78	0,83	0,89
2,4 m	0,23	0,29	0,35	0,41	0,47	0,52	0,58	0,64	0,70	0,76	0,82	0,87	0,93
2,5 m	0,18	0,23	0,27	0,32	0,37	0,41	0,46	0,50	0,55	0,60	0,64	0,69	0,73
2,6 m	0,19	0,24	0,29	0,34	0,38	0,43	0,48	0,53	0,57	0,62	0,67	0,72	0,77
2,7 m	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
2,8 m	0,21	0,26	0,31	0,36	0,42	0,47	0,52	0,57	0,62	0,68	0,73	0,78	0,83
2,9 m	0,22	0,27	0,32	0,38	0,43	0,49	0,54	0,60	0,65	0,70	0,76	0,81	0,87
3,0 m	0,22	0,28	0,34	0,39	0,45	0,51	0,56	0,62	0,67	0,73	0,79	0,84	0,90

≤ 0,5 kN 1,0 kN >1,0 kN

Grenzabmessung der Profilversteller

Hinweis: Ergeben sich die Bemessungslasten für das Befestigungselement aus der Wirkung des um 90° geöffneten Flügels, d. h. aus dem Flügelgewicht und u. U. mit vertikaler Nutzlast, so ist es prinzipiell ausreichend, wenn die in der Nähe der Lasteinleitungspunkte gelegenen Befestigungspunkte entsprechend ausgelegt werden. Dies sind die Befestigungspunkte, die sich z. B. bei einem DK-Fenster in der Nähe des Scherenlagers sowie Ecklagers befinden. Die anderen Befestigungspunkte können auf die Anforderungen aus der Wirkung des Windes ausgelegt werden.



5 Kleinversuche am Einzelstein Runde 1

In der Vergangenheit wurden bereits zahlreiche Versuche zur Befestigung in hochwärmedämmenden Ziegelsteinen durch den Projektpartner Würth durchgeführt. Diese Versuchsergebnisse wurden für das Forschungsprojekt zur Verfügung gestellt und analysiert. Eine Darstellung der Ergebnisse im Rahmen des Abschlussberichtes erscheint jedoch nicht sinnvoll, da aufgrund anderer Randbedingungen bei der Prüfung kein direkter Vergleich bzw. eine Korrelation mit den nachfolgend aufgeführten Versuchen möglich ist.

Aus der Untersuchung der bereits vorhandenen Daten wird deutlich, dass jede der einzelnen Kenngrößen einen gewissen Einfluss auf die Belastungsgrenze der Steine hat. Um die Einflüsse dennoch eingrenzen zu können, sind bei den durchgeführten Versuchen am Einzelstein verschiedenste Setzpositionen innerhalb einer Steincharge geprüft worden. Durch diese Vielzahl an Prüfungen in den gleichen Steinen sollten Erkenntnisse zum Einfluss der Lochgeometrie ermittelt werden. Die Prüfkörper der einzelnen Steinsorten entstammen alle derselben Charge aus dem gleichen Herstellwerk, dadurch wird der Einfluss der Materialeigenschaften möglichst gering gehalten.

Die nachfolgend beschriebenen Untersuchungen wurden im Rahmen einer Bachelorarbeit [10] durchgeführt.

5.1 Versuchsdurchführung

Die Versuche wurden in Anlehnung an die ETAG 020 [11] und die ift-Richtlinie MO-02/1 [12] im akkreditierten Labor der Fa. Würth durchgeführt.

Ziel der Versuche ist die Ermittlung der Belastungsgrenzen, bei unterschiedlichen Prüfkörpern und Setzpositionen. Anhand der Prüfergebnisse und der Versagensart sollen Aussagen über die Einflussfaktoren auf die Befestigung getroffen werden.

Nach der Richtlinie MO-02/1 ist die Setzposition so zu wählen, dass die geringste Tragfähigkeit zu erwarten ist. Daher wurden die Versuche in den verschiedensten Setzpositionen der Steine durchgeführt. Hiermit soll nicht nur die ungünstigste Setzposition ermittelt werden, sondern auch der Einfluss unterschiedlicher Lochgeometrien.

Aus bauphysikalischen Gründen sollten Fenster bei monolithischem hochwärmedämmendem Ziegelmauerwerk im mittleren Drittel der Wandstärke t eingebaut werden. Bei einer Befestigung mittels Mauerankern kann das Befestigungsmittel in den Randbereich des Steines rücken. Um den Einfluss des Randbereiches einzudämmen, wurde ein Mindestabstand von 9 cm von der freien Steinkante festgelegt.

Viele der Steine haben keine glatte Leibungsoberfläche. Sie sind mit Nut und Feder oder Rillen versehen. Diese Höhendifferenzen sind nicht mittels Mörtel ausgeglichen worden. Das Anbauteil wurde in diesem Fall aufgesetzt montiert. Eine dadurch entstehende freie Schraubenlänge wurde in Kauf genommen, da Mörtel keine ausreichende Festigkeit hat,

um das Anbauteil vor eventuellem Schrägstellen zu hindern. Der Mörtel würde bereits nach kurzer Zeit abbröckeln.

Die Versuche wurden alle mit einer Kombination des Kunststoff-Rahmendübels W-UR 10 XXL und der AMO® III-Schraube Ø 7,5 mm durchgeführt. Die Schraubenlänge wurde bei den Querkzugversuchen mit freier Schraubenlänge je nach Setzposition variiert. Die Schraube sollte lediglich 10 mm über den letzten Quersteg hinausreichen. Auf eine Bohrlochreinigung wurde verzichtet. Des Weiteren wurde auf eine Vorspannung des Anbauteils verzichtet. Daher musste bei den Querkzugversuchen das Anbauteil beim Eindrehen der Schraube nach oben gedrückt werden, um ein Lochspiel im Anbauteil zu verhindern.

5.2 Versuchsprogramm

Die Versuche wurden bei ganzen Steinformaten am Einzelstein durchgeführt. Bei halben Leibungsziegeln wurde der jeweilige zugehörige Standardstein dazu gespannt. Das gesamte Versuchsprogramm ist in Tabelle 21 dargestellt.

Die Bezeichnung der Versuchsserie setzt sich wie folgt zusammen.

19_Q_A

Erste Ziffer = Nummer des Steintyps (Steine alle aus der gleichen Charge)

Erster Buchstabe = Versuchsart Q = Querkzug, B = Biegung

Zweiter Buchstabe = Bezeichnung der Setzposition

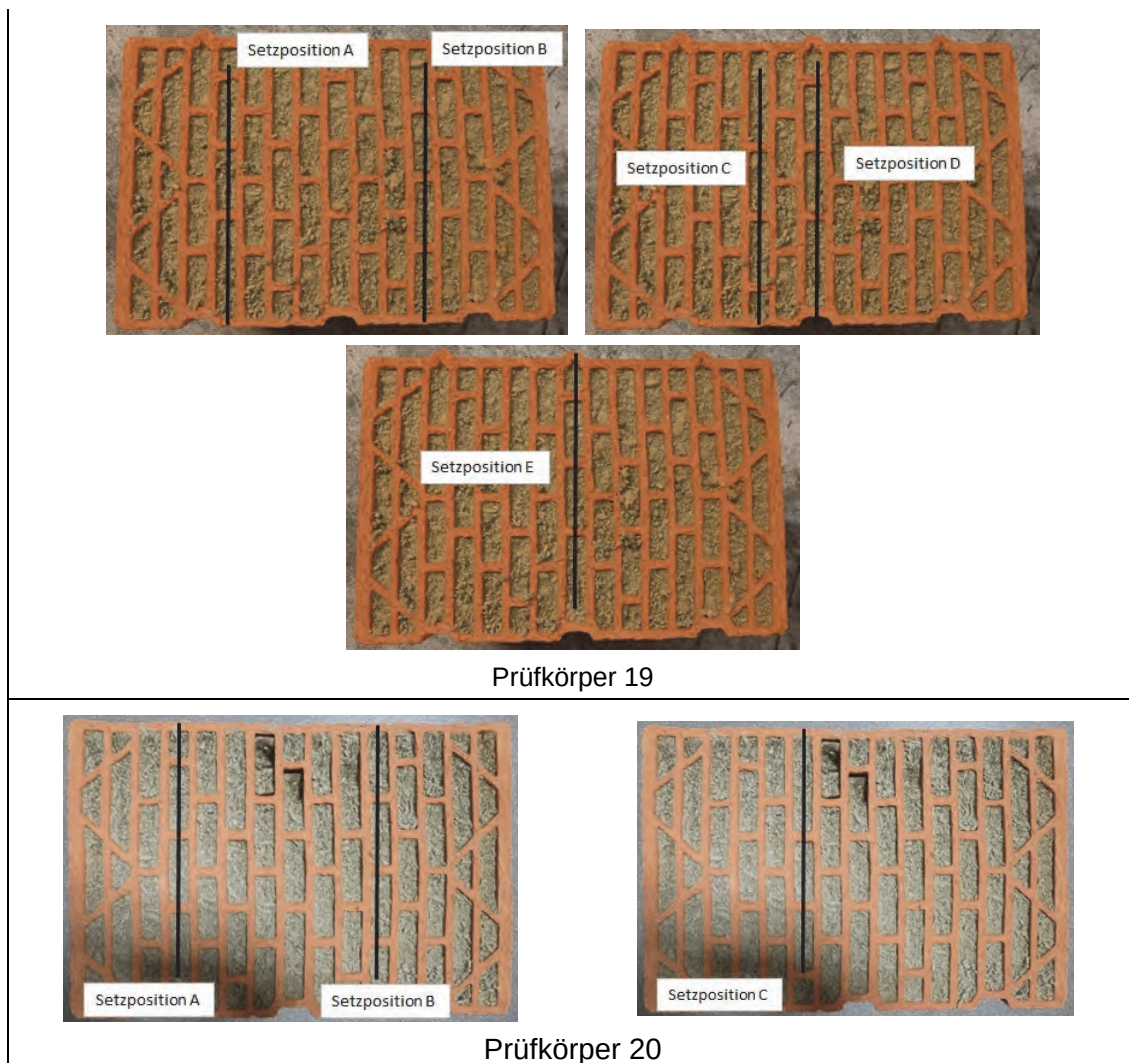
Tabelle 21 Versuchsprogramm der durchgeführten Versuche in der Runde 1

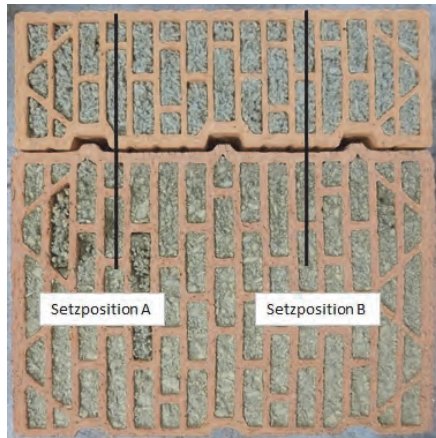
Steintyp	Versuchsart	Setzposition	Befestigungsmittel	Größe in mm	Steinformat	Versuchsanzahl
19_	Q_	A	W-UR 10 XXL AMO III 7,5 x 252	248x365x249	12 DF	6
19_	Q_	B		248x365x249	12 DF	5
19_	Q_	C		248x365x249	12 DF	5
19_	Q_	D		248x365x249	12 DF	5
19_	Q_	E		248x365x249	12 DF	5
20_	Q_	A		247x365x249	12 DF	5
20_	Q_	B		247x365x249	12 DF	5
20_	Q_	C		247x365x249	12 DF	5
21_	Q_	A		118x365x249	6 DF	5
21_	Q_	B		118x365x249	6 DF	5
21_	Q_	C		118x365x249	6 DF	5
21_	Q_	D		118x365x249	6 DF	5
21_	B_	A		118x365x249	6 DF	5
22_	Q_	A		248x365x249	12 DF	5
22_	Q_	B		248x365x249	12 DF	5
22_	Q_	C		248x365x249	12 DF	5
22_	Q_	D		248x365x249	12 DF	5

22_	B_	A	248x365x249	12 DF	5
22_	B_	B	248x365x249	12 DF	5
23_	Q_	A ₁	123x365x249	6 DF	3
23_	Q_	A ₂	123x365x249	6 DF	5
23_	B_	A ₂	123x365x249	6 DF	5
24_	Q_	A	248x365x249	12 DF	5
24_	Q_	B	248x365x249	12 DF	5
24_	B_	A	248x365x249	12 DF	5
24_	B_	B	248x365x249	12 DF	5

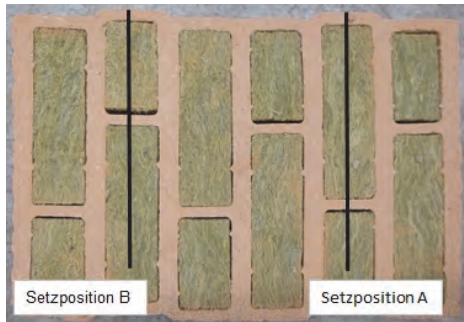
Abbildungen der einzelnen Prüfkörper und deren Setzpositionen werden in Tabelle 22 dargestellt.

Tabelle 22 Setzpositionen bei den durchgeführten Versuchen

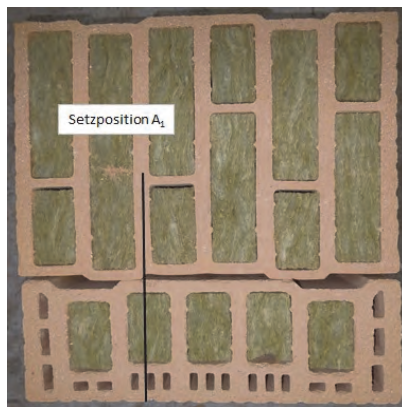




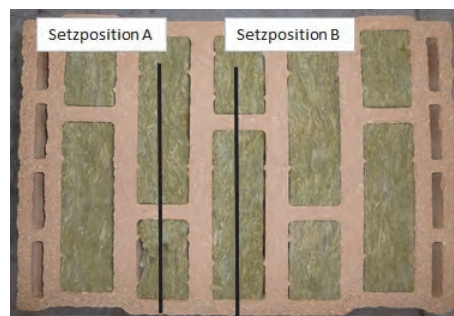
Prüfkörper 21



Prüfkörper 22



Prüfkörper 23



Prüfkörper 24

5.3 Versuchsaufbau

5.3.1 Querzug

Die Einbausituation mittels Mauerankern wird durch den Querzugversuch geprüft. Zwischen dem Anbauteil und der Steinoberfläche ist eine maximal 2 mm dicke Gleitfolie eingesetzt. Diese Folie verhindert die Reibung zwischen den Oberflächen, welche eine Verfälschung der Messergebnisse bewirken könnte. Durch diese Maßnahme wird einzig die Belastungsgrenze des Dübels im Untergrund ermittelt. Das Anbauteil wird ohne Abstand zum Prüfkörper montiert.

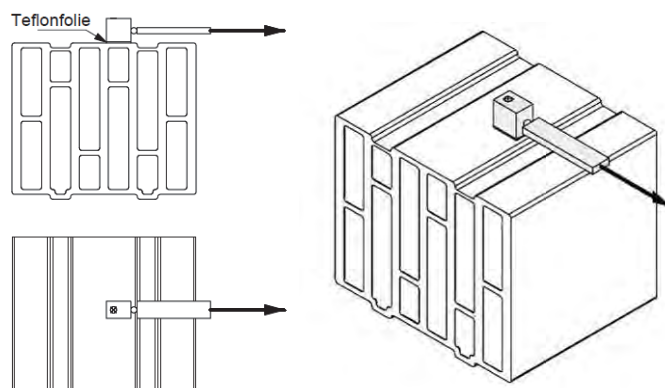


Abbildung 14 Schematische Darstellung des Querzugversuches

Um den Stein vor dem Verrutschen und Abheben zu sichern, wurde dieser hydraulisch eingespannt. Die Einspannkraft wurde je nach Einspannfläche des Steines neu berechnet. Die Flächenlast betrug $0,2 \text{ N/mm}^2$ [13]. Bei einem Standardstein mit der Abmessung $248 \times 365 \times 249 \text{ mm}$ ergab diese eine Einspannkraft von ca. 18 kN. Zwischen dem Prüfkörper und den Stahlplatten zur Einspannung wurde jeweils eine Antirutschmatte eingelegt. Diese sicherte die Verbindung zwischen Stahlplatte und Prüfkörper vor dem Verrutschen. Die Verschiebung/Verformung des Befestigungsmittels wurde mittels eines Wegaufnehmers aufgezeichnet und die Kraft über eine elektronische Kraftmesszelle gemessen. In Abbildung 15 ist der Versuchsaufbau der durchgeführten Querzugversuche dargestellt.



Abbildung 15 Experimentelle Umsetzung Querzugversuche

5.3.2 Biegung

Die Versuche auf Biegung sollen die Einbausituation mittels Abstandsmontage darstellen. Hierzu wurde mit einem Abstand von 15 mm geprüft. Dies entspricht einer Abstandsmontage mit einer Fuge von 15 mm zwischen Fensterrahmen und Leibung. Der Bolzen am Anbauteil war in den Versuchen frei drehbar und mit einem Innengewinde versehen. Über dieses Innengewinde wird die Schraube im Bolzen fest eingespannt. Ein freies Verdrehen der Schraube ist durch den drehbaren Bolzen sichergestellt.

Der Prüfkörper wurde, wie bei den Querzugversuchen, hydraulisch eingespannt. Die Einspannkraft wurde, wie bei den Querzugversuchen, mit einer Flächenlast von $0,2 \text{ N/mm}^2$ ermittelt. Mittels eines Wegaufnehmers wurde die Verschiebung aufgezeichnet. Die Kraft wurde wie in den vorangegangenen Versuchen mit einer elektronischen Kraftmesszelle ermittelt. In Abbildung 16 ist der Versuchsaufbau der Biegeversuche dargestellt.



Abbildung 16 Experimentelle Umsetzung der Zugversuche für „Biegung“



5.4 Auswertung der Versuche

Die Versuchsergebnisse der durchgeführten Querkzugversuche sind in Tabelle 23, die Versuche für Biegung in Tabelle 24 dargestellt.

Für die Querkzugversuche werden der Mittelwert der Maximallast N_u , der zugehörige Variationskoeffizient sowie charakteristische Tragfähigkeit R_k (logarith. 5% Fraktile zu N_u) angegeben.

Bei den Versuchsergebnissen zu Biegung werden zusätzlich die entsprechenden Mittelwerte, die Variationskoeffizienten sowie die charakteristische Werte bei einer Verschiebung von 3 mm angegeben.

N_u Maximallast

N_{3mm} Last bei einem Weg von 3 mm

R_k charakteristische Tragfähigkeit

$R_{k,3mm}$ charakteristische Last bei einem Weg von 3 mm

Tabelle 23 Versuchsergebnisse der durchgeführten Versuche für Querkzug

Versuchs-Serie	Mittelwert N_u in kN	Variationskoeffizient für N_u in %	5,0 % Fraktile log R_k in kN
19_Q_A	2,92	10,1	2,15
19_Q_B	2,42	13,4	1,52
19_Q_C	3,12	5,2	2,63
19_Q_D	2,86	16,2	1,64
19_Q_E	3,39	4,2	2,94
20_Q_A	2,33	6,1	1,90
20_Q_B	2,78	12,5	1,85
20_Q_C	2,75	5,9	2,26
21_Q_A	2,49	7,7	1,93
21_Q_B	2,68	13,5	1,74
21_Q_C	2,83	30,0	1,05
21_Q_D	4,00	15,5	2,29
22_Q_A	2,23	10,8	1,54
22_Q_B	1,84	4,8	1,57
22_Q_C	3,09	9,3	2,23
22_Q_D	2,55	7,8	1,96
23_Q_A	4,66	16,6	2,62
24_Q_A	3,10	11,9	2,07
24_Q_B	4,14	10,2	2,92

Tabelle 24 Versuchsergebnisse der durchgeführten Versuche für Biegung

Versuchs- Serie	Mittelwert		Variationskoeffizient für		5,0 % Fraktile log	
	N_u in kN	N_{3mm} in kN	N_u in %	N_{3mm} in %	R_k in kN	$R_{k,3mm}$ in kN
21 B A	2,17	0,78	22,9	6,1	1,00	0,63
22 B A	2,02	0,54	16,1	6,6	1,16	0,43
22 B B	1,52	0,73	16,3	11,9	0,89	0,47
23 B A	4,47	0,82	2,8	4,5	4,06	0,70
24 B A	2,98	0,80	11,3	8,2	2,04	0,60
24 B B	3,62	0,60	6,0	3,4	2,96	0,53

5.4.1 Auswertung der Versuche für Querzug

In diesem Kapitel werden das Versagensbild sowie die Ergebnisse der Querzugversuche genauer analysiert. Hierzu wurde die Lochgeometrie der einzelnen Prüfkörper mit den Mittelwerten aus den Versuchen gegenübergestellt. Die Gegenüberstellung ist in Tabelle 25 dargestellt. In Abbildung 17 sind die Definitionen der hierbei betrachteten Maße abgebildet.

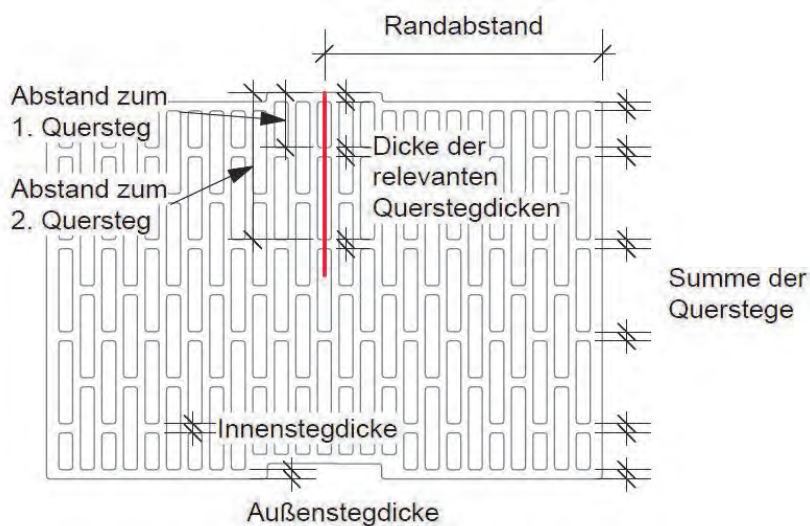


Abbildung 17 Definition der Lochgeometrie für die Auswertung der durchgeführten Versuche



Tabelle 25 Gegenüberstellung der jeweiligen Steingeometrien der Prüfkörper mit den, in den durchgeführten Versuchen, ermittelten Mittelwerte

Versuchs- serie	Rand- abstand	Querstegdicke		Abstand zum 1. Quersteg	Abstand zum 2. Quersteg	Dicke der relevanten Querstege	Mittelwert	
		Außen in mm	Innen in mm				N _{li} in kN	N _{3mm} in kN
19_Q_A	92	8,4	7,5	80	148	23,4	2,92	0,87
19_Q_B	114	8,4	7,5	51	119	30,9	2,42	2,17
19_Q_C	137	8,4	7,5	22	90	30,9	3,12	2,51
19_Q_D	182	8,4	7,5	70	138	23,4	2,86	2,22
19_Q_E	182	9	7,5	22	90,5	31,5	3,39	2,28
20_Q_A	90	9	7	20	87	30	2,33	1,98
20_Q_B	112	9	7	51	118	30	2,78	1,93
20_Q_C	134	9	7	79	146	23	2,75	1,91
21_Q_A	88	10	6	18	82	48,4	2,49	1,66
21_Q_B	110	10	6	46	109	44,4	2,68	1,83
21_Q_C	134	10	6	18	83	44,4	2,83	1,84
21_Q_D	179	10	6	18	99	45,5	4,00	2,69
22_Q_A	95	9	8,5	142	-	18	2,23	1,87
22_Q_B	95	9	8,5	75	-	17,5	1,84	1,39
22_Q_C	154	11	9	142	-	19,5	3,09	2,59
22_Q_D	154	11	9	75	-	20	2,55	2,37
23_Q_A	125	8,5	21,5	17	104	42	4,66	3,57
24_Q_A	125	13	13	66	-	26	3,10	2,84
24_Q_B	185	13	13	140	-	26	4,14	2,65

Einfluss Randabstand

Der Einfluss des Randabstandes wird beim Vergleich der Versuchsserien 21_B_A, 21_B_C und 21_B_D am besten deutlich. Die Setzpositionen dieser Prüfkörper sind in der Lochgeometrie nahezu identisch. Ihre Randabstände sind jedoch unterschiedlich. Setzposition A weist mit einem Randabstand von 88 mm die geringste Höchstlast auf. Die Höchstlasten der Setzposition C (Randabstand 134 mm) und Setzposition D (Randabstand 179 mm) weisen mit dem steigenden Randabstand höhere Werte auf. Dieser Zusammenhang der steigenden Höchstlast bei größerem Randabstand ist unter anderem durch die Einspannung bedingt. Alle Prüfkörper spalteten auf der Höhe des Bohrloches. Bei einem größeren Randabstand ist die eingespannte Fläche des abbrechenden Steines somit größer. Ferner wird der Ausbruchkörper, durch die größere Fläche, stärker am Herausziehen gehindert, wodurch höhere Lasten erreicht werden können. Dieser Zusammenhang der steigenden Höchstlasten bei größeren Randabständen ist auch in Abbildung 18 ersichtlich.

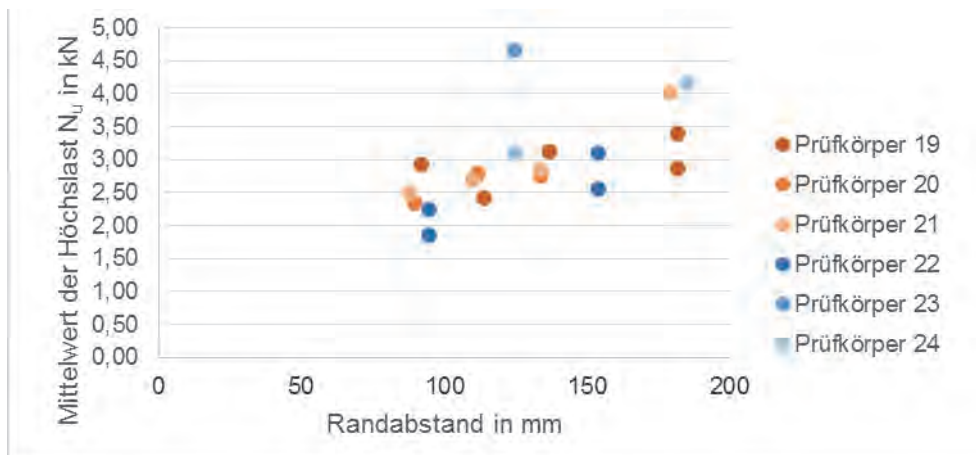


Abbildung 18 Mittelwerte der Höchstlasten N_u der Steintypen 19-24 (Prüfkörper) in Abhängigkeit des Randabstandes

Einfluss Außenstegdicke

In der Auswertung der Versuche zeigt sich ein deutlicher Zusammenhang der Außenstegdicke mit den ermittelten Höchstlasten. Dies ist besonders bei den Großkammersteinen (Prüfkörper 22, 23, 24) erkennbar (siehe Abbildung 19).

Mit steigender Außenstegdicke werden höhere Lasten erreicht. Bei Prüfkörpern mit nur einem vom Dübel belasteten Innensteg kann für den Dübel und die Stege das statische System eines Trägers auf zwei Stützen mit Kragarm angesetzt werden (siehe Tabelle 26). Die Auflagerkraft am Auflager B, sprich am Außensteg, wird immer größer sein als die Auflagerkraft A am 1. Innenquersteg. Der Außensteg ist somit eine maßgebende Größe für die Höhe der ableitbaren Lasten. Steintyp 23 ist ein Leibungsziegel mit einem zweiten Steg im Randbereich der Leibung. Durch die höhere Dicke im Randbereich konnten deutlich höhere Lasten ermittelt werden. Bei zwei der Versuche kam es sogar zu einem Versagen der Schraube (siehe Abbildung 20, Versuch 2 und 4).

Ein Einsatz von speziellen Leibungsziegeln mit dickeren Stegen im Randbereich der Leibung führt zu deutlich höher abtragbaren Lasten.

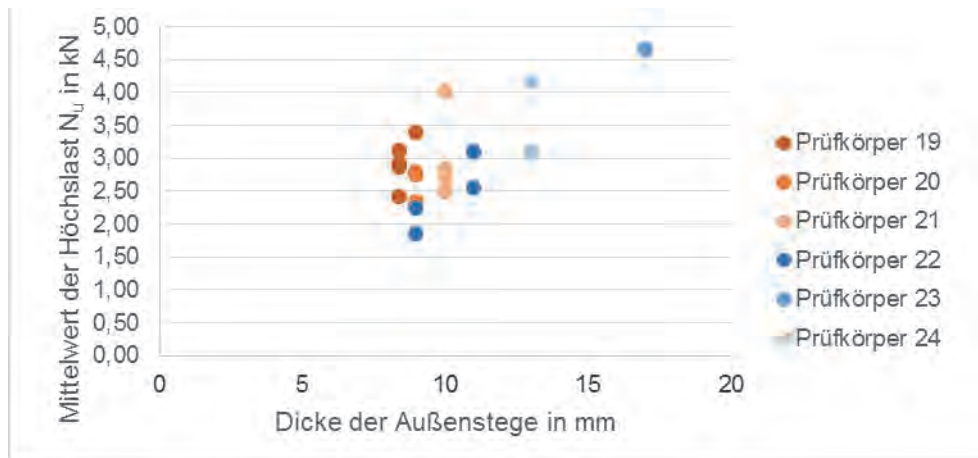


Abbildung 19 Mittelwerte der Höchstlasten N_u der Steintypen 19-24 (Prüfkörper) in Abhängigkeit der Außenstegdicke



Abbildung 20 Versagensbild Versuchsserie 23_Q_A

Einfluss Innenstegdicke

Die Betrachtung der Innenstegdicke und der ermittelten Höchstlasten weist auf eine Tendenz der steigenden Höchstlast mit zunehmender Innenstegdicke hin. Wie bei der Betrachtung der Außenstegdicke ist dieser Zusammenhang besonders bei den Großkammerziegeln (Steintypen 22, 23, 24) erkennbar. Die Innenstegdicke des Steintyps 23 setzt sich aus der Außenstegdicke der Stoßfugenseite und der Außenstegdicke des folgenden Standardziegels zusammen.

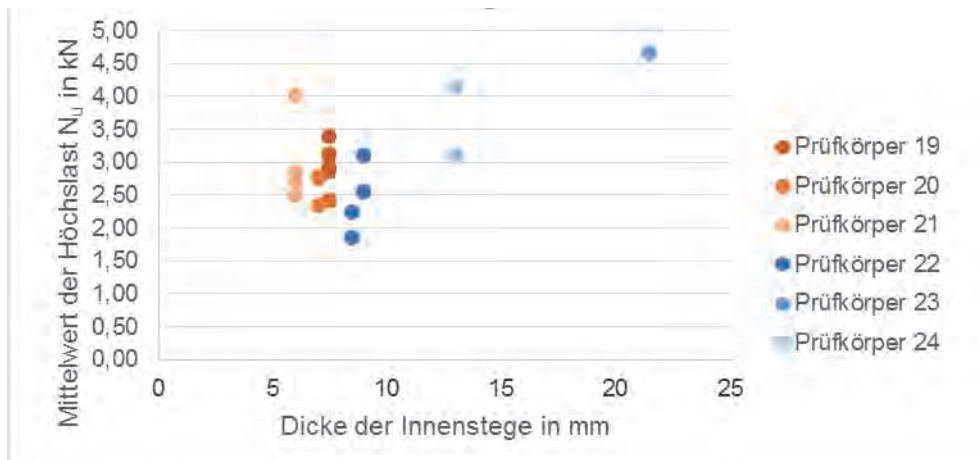


Abbildung 21 Mittelwerte der Höchstlasten N_u der Steintypen 19-24 (Prüfkörper) in Abhängigkeit der Innenstegdicke

Einfluss Abstand zum 1. Quersteg

Die Gegenüberstellung des Abstandes zum 1. Quersteg mit den Mittelwerten der Höchstlast N_u in Abbildung 22 zeigt auf den ersten Blick keinen eindeutigen Zusammenhang. Eine Betrachtung der Prüfkörper mit lediglich zwei beanspruchten Stegen zeigt jedoch einen Anstieg der Höchstlast mit größer werdendem Abstand zum 1. Quersteg. Besonders deutlich wird dies in der Betrachtung des Steintyps 22. Die Setzpositionen A und B, sowie die Setzpositionen C und D unterscheiden sich lediglich im Abstand zum 1. Quersteg. Ihr Randabstand, sowie die Dicke des Außen- und Innensteges sind bei den jeweiligen Setzpositionen identisch (siehe Tabelle 25).

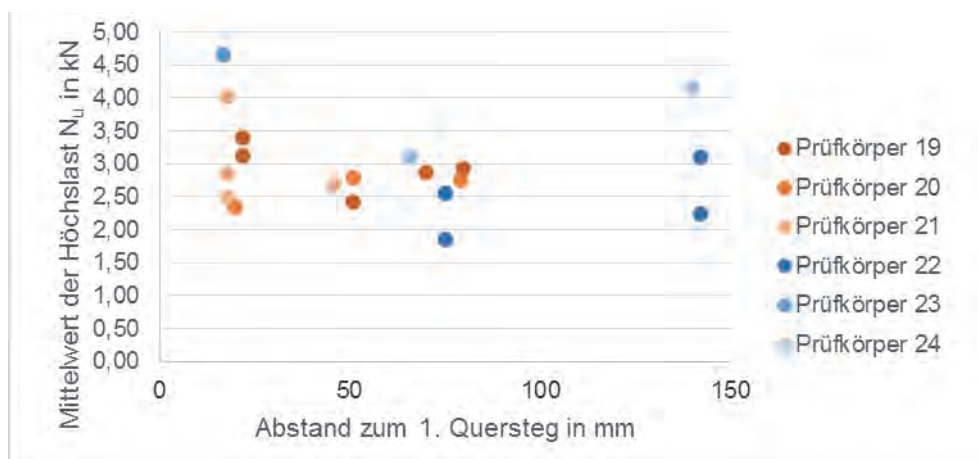
Das Befestigungsmittel wird bei Steintyp 22 von zwei Stegen, einem Außensteg und einem Innensteg, gehalten. Diese Steggeometrie entspricht dem statischen System eines Trägers auf zwei Stützen mit Kragarm. Die Auflagerkräfte dieses Trägers werden wie folgt berechnet (Tabelle 26).

Tabelle 26 Berechnung der Auflagerkräfte eines Trägers auf zwei Stützen mit Kragarm

Berechnung der Auflagerkräfte eines Trägers auf zwei Stützen mit Kragarm	
$A = -\frac{a}{l} \times F$	$B = \left(1 + \frac{a}{l}\right) \times F$
Legende:	

A,B	Auflagerkraft am Auflager A bzw. B in kN
F	angreifende Kraft in kN
l	Abstand zwischen Auflager A und B in m
a	Entfernung der angreifenden Last F zum Auflager B in m

Abstand a entspricht der freien Schraubenlänge von 15 mm und der halben Außenstegdicke. Die freie Schraubenlänge war bei allen Versuchen gleich, somit kann die Länge a als konstant angesehen werden. Der Abstand l entspricht der Distanz von Mitte des Außensteges zur Mitte des Innensteges. Da der Abstand l bei beiden Formeln im Nenner steht, führt ein größerer Abstand somit zu einer Minderung der Auflagerkräfte A und B und damit zu einer möglichen höheren externen angreifenden Kraft F. .



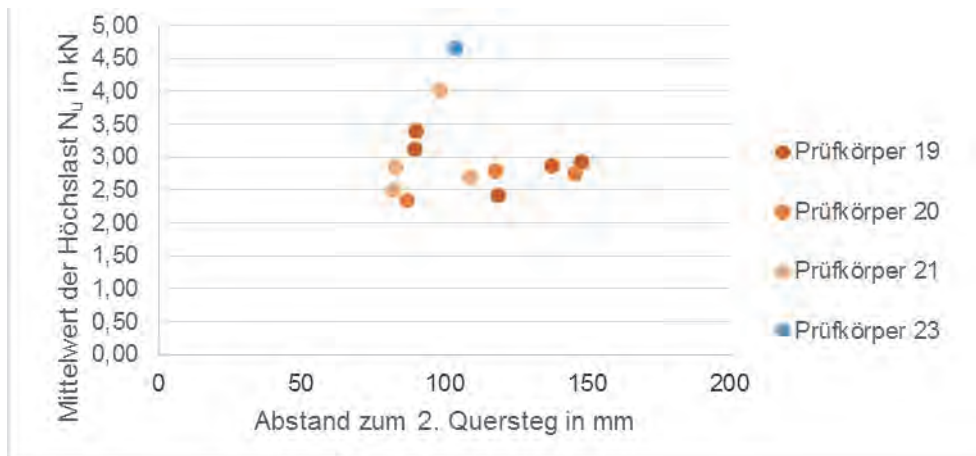


Abbildung 23 Mittelwerte der Höchstlasten N_u der Steintypen 19, 20, 21 sowie 23 (Prüfkörper) in Abhängigkeit des Abstandes Außensteg - 2. Quersteg

Einfluss Dicke der relevanten Querstege

Wie in der Betrachtung der vorhandenen Daten zeigt sich in Abbildung 24 die Tendenz einer steigenden Höchstlast mit zunehmender Dicke der relevanten Querstege.

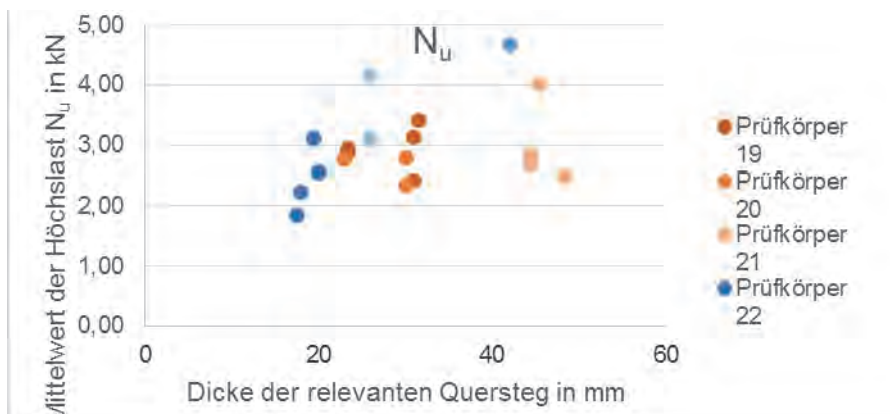


Abbildung 24 Mittelwerte der Höchstlasten N_u der Steintypen 19-24 (Prüfkörper) in Abhängigkeit der Dicke der Querstege

Einfluss Nut und Feder

Die Setzposition A des Prüfkörpers 19 befindet sich direkt unterhalb einer Nut. Im Versuchsverlauf bildete sich ein Langloch am Außensteg, bis das Befestigungsmittel an dem Längssteg anlag. Erst nach dieser Verschiebung stieg die Last zu ihrem Maximum an (siehe Abbildung 25). Daher sind die Anfangswerte der Versuche relativ gering, verglichen zu anderen Setzpositionen. Das Versagensbruchbild der Steine war bei allen Versuchen dieser Serie das gleiche. Der Stein brach entlang des Längssteges. Auch bei den späteren Versuchen mit Setzposition B zog sich das Rissbild zu dieser vermeintlichen Sollbruchstelle hin (siehe Abbildung 26).

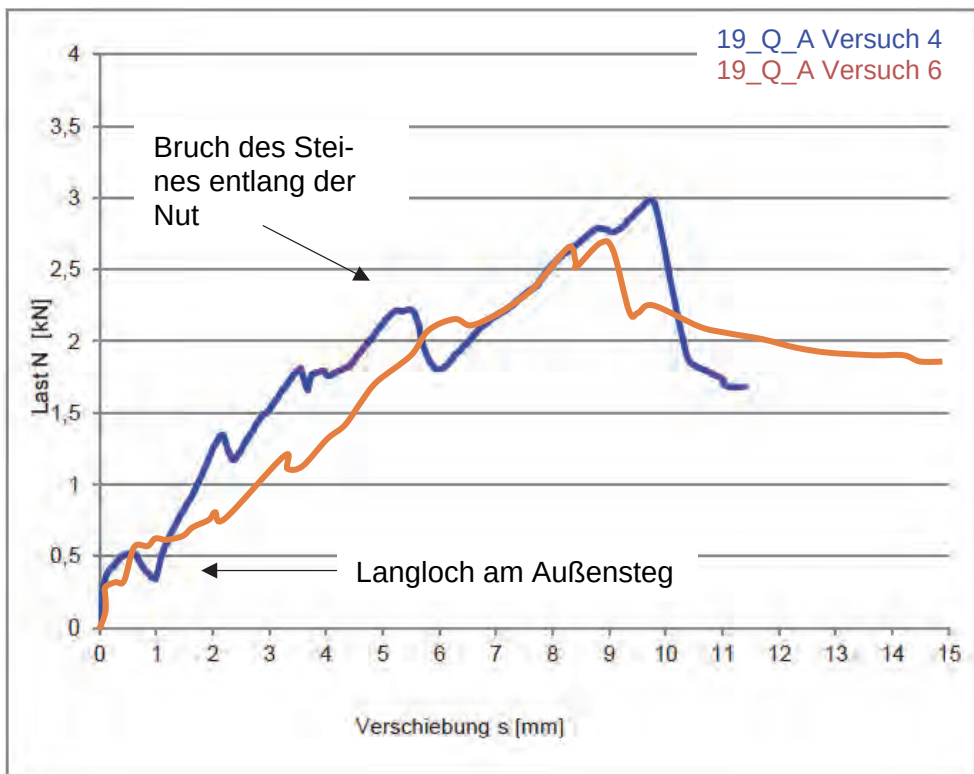


Abbildung 25 Vergleich der Kraft-Weg-Diagramme von Versuch 4 und 6 der Serie 19_Q_A

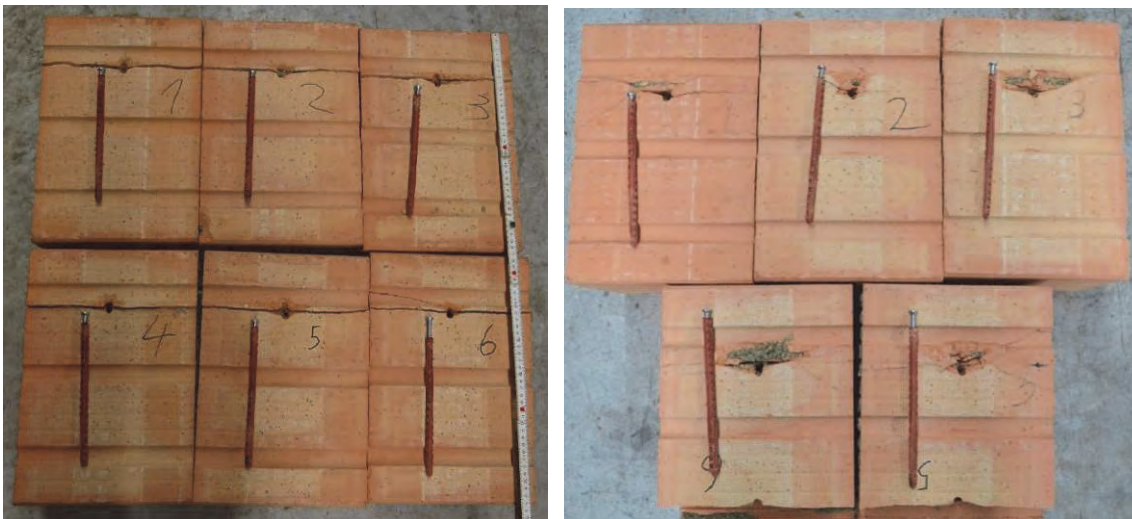


Abbildung 26 Versagensbild Versuchsserie 19_Q_A (links) sowie 19_Q_B (rechts)

Die Setzposition C und E der Prüfkörpernummer 19 haben eine nahezu gleiche Lochgeometrie. Lediglich die Feder bei Setzposition E und der Randabstand (137 mm Position C, 183 mm Position E) unterscheiden die beiden Positionen voneinander. Im Vergleich der einzelnen Lasten sind die geringeren Anfangslasten der Setzposition E erkenntlich (siehe Abbildung 28). Gleich zu Beginn des Versuches bildete sich ein Ausbruch an der Feder. Nachdem die Dübelhülse am oberen Längssteg anlag, steigerte sich die Last weiter bis zum Steinbruch entlang der Feder. Durch eine ebene Oberfläche im Bereich der Leibung

können frühzeitige Abplatzungen am Queraußensteg und damit einhergehende geringe Anfangslasten vermieden werden.



Abbildung 27 Versagensbild der Versuchsserie 19_Q_C (links) sowie 19_Q_E (rechts)

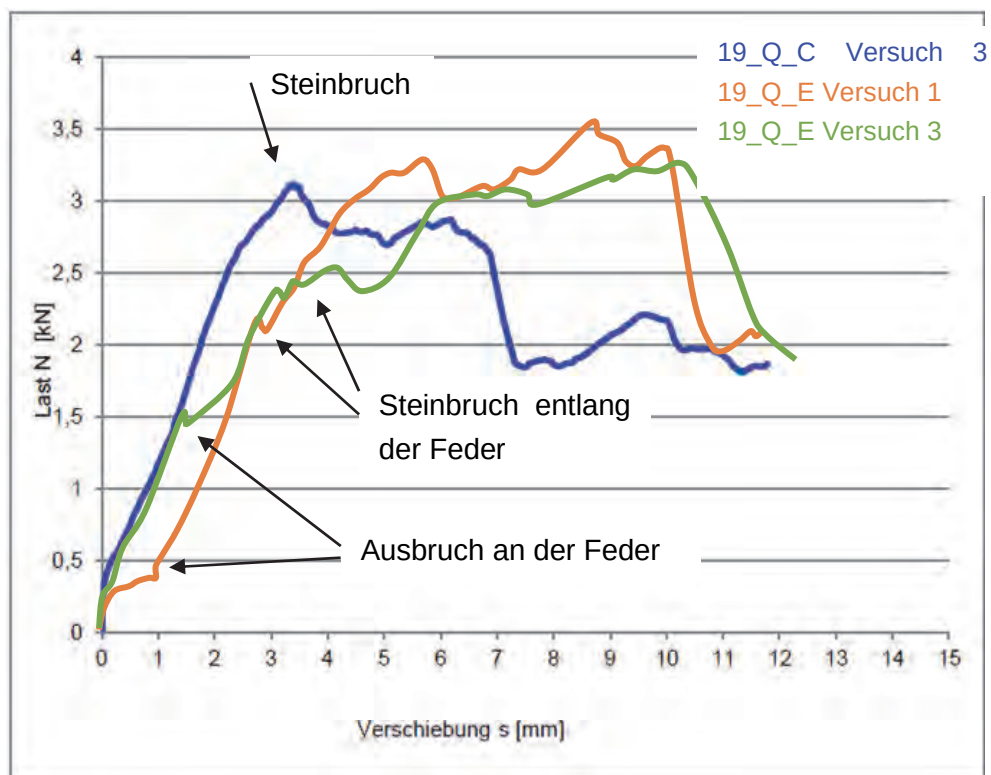


Abbildung 28 Vergleich der Kraft-Weg-Diagramme der Versuchsserien 19_Q_C Versuch 3 sowie 19_Q_E Versuch 1 und 3

Zusammenfassung der Versuche auf Querzug

Aus der Analyse der durchgeführten Versuche sind lediglich Tendenzen zwischen den einzelnen geometrischen Kenngrößen der Steine und der Bruchlast erkennbar. Eine Einordnung der Steine nach ihrer Belastungsgrenze ist nicht möglich. Neben den Materialeigenschaften ist auch die jeweilige Lochgeometrie der Setzposition eine entscheidende Kenngröße. Dies zeigten die Versuche der unterschiedlichen Setzpositionen in den Steinen der gleichen Steincharge. Es sind zu viele Einflussfaktoren, die eine Gliederung der Steine nach ihren Belastungsgrenzen nicht zulassen.

5.4.2 Auswertung der Versuche auf Biegung

Die Versuche auf Querzug mit einer freien Schraubenlänge von 15 mm zeigen bei einer Verschiebung von bis zu 15 mm alle identische Verläufe. Vergleicht man die Werte innerhalb der ersten 3 mm Verschiebung, wird der gleiche Anfangsverlauf der Kurven ersichtlich (siehe Abbildung 29). Diese einheitlichen Anfangslasten sind durch die Verbiegung der Schraube bedingt. Innerhalb der ersten 15 mm verdreht sich die Schraube. Vereinzelt bildet sich bereits hier ein Langloch. Erst kurz bevor das Anbauteil am Stein anliegt bricht der Stein (siehe Abbildung 30 und Abbildung 31). Dieses Versagensbild ist bei allen Querzugversuchen mit freier Schraubenlänge gleich. Lediglich das Endversagen der Steine weicht voneinander ab.

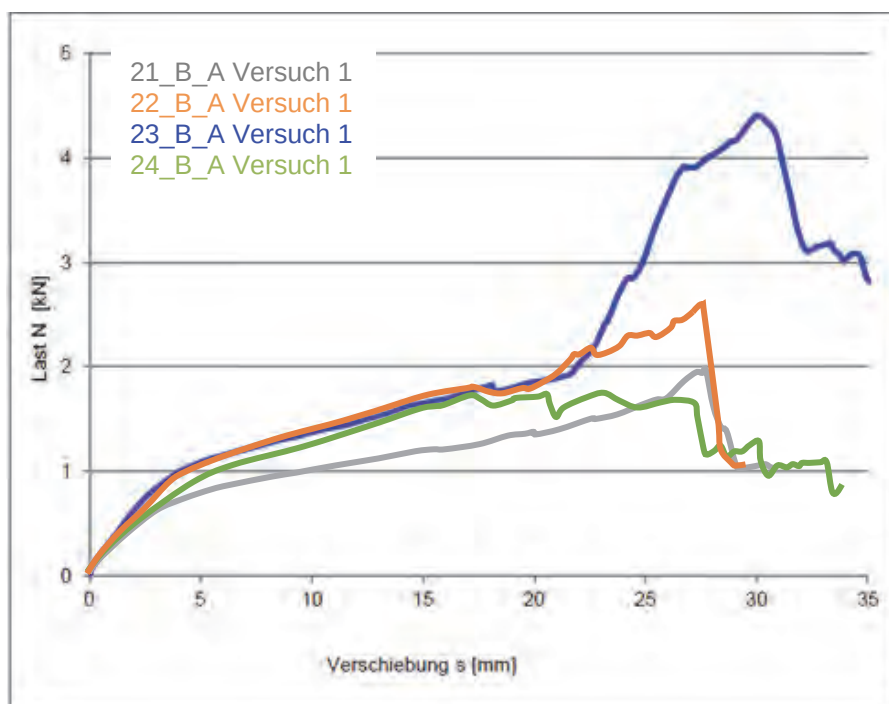


Abbildung 29 Vergleich der Kraft-Weg-Diagramm der Versuchsserie 21_B_A, 22_B_A, 23_B_A sowie 24_B_A der Versuche 1



Abbildung 30 Versagensbild Versuchsserie 22_B_A_Versuch 1



Abbildung 31 Versuchsverlauf der Versuchsserie 23_B_A_Versuch 1

Eine freie Drehbarkeit der Schraube ist in der realen Einbausituation im Fensterrahmen allerdings nicht gegeben. In der Realität ist die Schraube im Rahmen gehalten. Hierdurch ist eine Teileinspannung der Schraube vorhanden. Diese Teileinspannung behindert die freie Drehbarkeit der Schraube. Je nach Rahmenmaterial ist diese Teileinspannung unterschiedlich. Daher wurden im Verlauf des Projektes weitere Untersuchungen hierzu durchgeführt.

6 Bauteilversuche Runde 1

6.1 Vorgehensweise

Für die Bauteilversuche wurden insgesamt vier Wände aufgebaut. Hierzu wurden die gleichen Steine verwendet, an denen bereits Kleinteilversuche zur Ermittlung der Tragfähigkeiten durchgeführt wurden.

An zwei der vier Wände wurden Versuche durchgeführt, mit denen untersucht werden sollte, inwieweit die durch die Kleinteilversuche ermittelten Tragfähigkeiten im realen Bauteilversuch bestätigt werden können, indem die Elemente mit Windlast bis zum Versagen der Befestigung geprüft wurden.

An den beiden restlichen Wänden wurden zum einen Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit der Befestigung, als auch zu alternativen Befestigungslösungen durchgeführt.

6.2 Ermittlung der Versagenslast im Bauteilversuch

Zur Durchführung der Versuche wurden zwei Wände in einem speziellen Stahlumfassungsrahmen aufgebaut. Eine Wand wurde aus einem gefüllten Großkammerziegel, die andere Wand aus einem gefüllten filigranen Ziegel errichtet. Um auf die eingebauten Fenster Windlasten aufbringen zu können, wurde die Anschlussfuge von außen luftdicht abgeklebt, die Außenfläche der Wand wurde verputzt, um eine luftdichte Ebene herzustellen. Abbildung 32 zeigt exemplarisch einen entsprechenden Wandaufbau von außen.



Abbildung 32 Fenstertüre in verputzte Wand eingebaut, Fuge abgedichtet

Die Bauteile wurden luftdicht auf einen Fassadenprüfstand aufgespannt. Mit Hilfe eines in den Prüfstand eingebauten Gebläses kann ein Überdruck bzw. Unterdruck in der Prüfkammer erzeugt werden. Gleichzeitig wurden die Verformung des Elementes über entsprechend angebrachte Wegaufnehmer aufgezeichnet. Zusätzlich wurde über eine Hilfskonstruktion die Verdrehung des Rahmenprofils in Abhängigkeit der aufgetragenen Druckdifferenz gemessen. Die Druckdifferenz wurde in Schritten von jeweils 100 Pa erhöht und ca. 40 Sekunden gehalten, bevor die nächste Druckstufe eingestellt wurde.

6.2.1 Wandaufbau 1

Der Wandaufbau 1 wurde an einem gefüllten Großkammerziegel durchgeführt. Die Montage des Elementes erfolgte in Leibungsmitte. Dies entspricht Setzposition B in den durchgeführten Kleinteilversuchen an Steintyp 24. Stein und Setzposition sind in Abbildung 33 dargestellt.

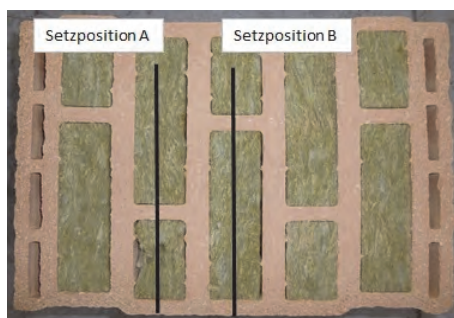


Abbildung 33 Verwendeter Planziegel für Wandaufbau 1

Die im Kleinteilversuch ermittelten Lasten sind nochmals in Tabelle 27 dargestellt:

Tabelle 27 Im Kleinteilversuch ermittelte Lasten für den im Wandaufbau verwendeten Ziegel

Serie	Mittelwert		Variationskoeffizient für		5,0 % Fraktile log	
	N_u in kN	N_{3mm} in kN	N_u in %	N_{3mm} in %	R_k in kN	$R_{k,3mm}$ in kN
24_B_A	2,98	0,80	11,3	8,2	2,04	0,60
24_B_B	3,62	0,60	6,0	3,4	2,96	0,53

Bei der Montage des Fensters wurde darauf geachtet, dass die Befestigung immer in einem ganzen Stein erfolgte. Zur Montage wurde als Befestigungsmittel eine Kombination des Kunststoff-Rahmendübels W-UR 10 XXL und der AMO® Combi III-Schraube 7,5/11,5 eingesetzt. Die Montage der Fenstertüre, mit einer Außenabmessung von 1410 mm x 2480 mm, erfolgte mit je drei Befestigungsmitteln in der seitlichen Leibung. Nach unten als auch nach oben wurde nicht befestigt, um die Windlasten nur über die Befestigungsmittel in den Mauerziegeln abzutragen. Die Innenansicht des eingebauten Elementes mit der Lage der einzelnen Befestigungspunkte sind in Abbildung 34 dargestellt.

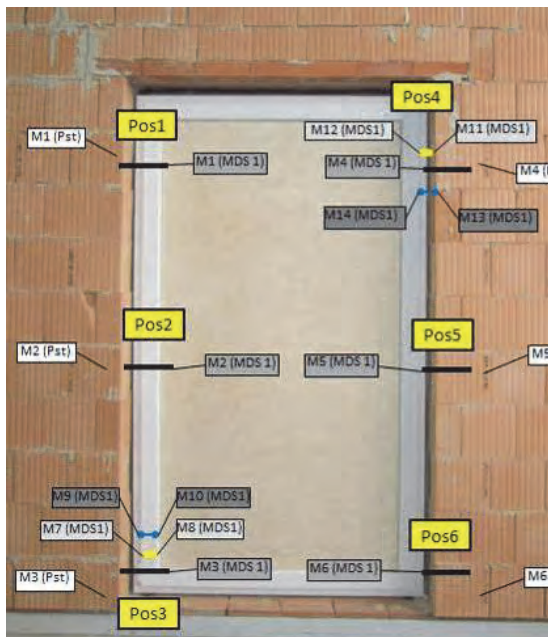


Abbildung 34 Wandaufbau 1 mit montiertem Fenster und Darstellung der Befestigungspositionen in Gelb

Die Fugenbreite zwischen Blendrahmen und Leibung sollte umlaufend 20 mm betragen. Die gemessenen Fugenbreiten können Tabelle 28 entnommen werden. Es ist zu erkennen, dass an den Befestigungspunkten 5 und 6 die geplante Fugenbreite deutlich überschritten wurde, da die Öffnung entsprechende Toleranzen aufwies.

Tabelle 28 Fugenbreiten im Bauteilversuch 1

Position	1	2	3	4	5	6
Fugenbreite in mm	19	18	22	18	25	30

Die an den einzelnen Befestigungspunkten mittels eines Wegaufnehmers ermittelten Verformungen in Abhängigkeit des Differenzdruckes sind in Tabelle 29 für eine mittlere Verformung im Bereich von 3 mm dargestellt.

Tabelle 29 Gemessene Verformung an den Befestigungspunkten in Abhängigkeit der aufgetragenen Druckdifferenz.

Druckdiff. in Pa	Verformung in mm am Befestigungspunkt						
	1	2	3	4	5	6	Mittelwert
-1000	-2,4	-2,2	-2,1	-3,4	-2,9	-2,6	-2,6
-1100	-2,6	-2,4	-2,3	-3,7	-3,2	-2,9	-2,9
-1200	-2,9	-2,6	-2,5	-3,9	-3,4	-3,2	-3,1

Der Mittelwert der Verformung von 3 mm wird bei einer Druckdifferenz von ca. 1150 Pa überschritten. Dies entspricht unter Annahme einer gleichmäßigen Lastverteilung auf die

einzelnen Befestigungspunkte einer Kraft von 0,67 kN. Im Kleinteilversuch wurde als Mittelwert einer Verformung von 3 mm eine Kraft von 0,60 kN ermittelt.

Die Druckdifferenz wurde im weiteren Verlauf in Schritten von 100 Pa erhöht. Bei einem Differenzdruck von ca. 3600 Pa war an den Befestigungspunkten 4 und 6 der Beginn einer Langlochbildung zu beobachten. Bei einem aufgebrauchten Differenzdruck von 3900 Pa versagte das komplette Bauelement (Fenster + Wand). Diese Druckdifferenz entspricht einer Last von ca. 2,5 kN pro Befestigungspunkt. Zuerst wurde vermutet, dass der Stein am Befestigungspunkt 4 ausgebrochen war. Nach dem Abnehmen der Wand vom Prüfstand war zwar ein Langloch vorhanden, es wurde jedoch kein weiteres „Versagen“ des Befestigungspunktes festgestellt (Abbildung 35).



Abbildung 35 Befestigungspunkt 4 nach Ausbau des Fensterelementes

Als Ursache wurde ein Versagen der Lagerfugen im Bereich des oberen Sturzes identifiziert (Abbildung 36). Dieses Versagen wird darauf zurückgeführt, dass beim Errichten der Wand ein Teil der rechten Leibung nochmals aufgebaut werden musste. Hierzu war es nötig, den Sturz leicht anzuheben. Nach dem Ablassen des Sturzes war keine ausreichende Verbindung zwischen den Ziegeln und dem Sturz mehr vorhanden.



Abbildung 36 Versagen der Lagerfugen im Bereich des Sturzes

Da im Bauteilversuch die Belastung nicht bis zum Versagen der Befestigung erhöht werden konnte, kann der Kleinteilversuch und der Bauteilversuch nicht miteinander verglichen werden.

Nichtsdestoweniger ergeben sich bei anderen Vergleichsparametern im Rahmen des – Vergleichs des Kleinteilversuches mit dem Bauteilversuch doch signifikante Unterschiede.

Dies betrifft zum einen die in beiden Versuchen aufgezeichnete Verschiebung bei höheren Lasten, als auch das Aussehen des Befestigungsmittels am Ende des jeweiligen Versuches.

Tabelle 30 zeigt die am Ende des Bauteilversuches aufgezeichneten Verformungen der einzelnen Befestigungspunkte. Abbildung 37 zeigt ein typisches Kraft-Weg-Diagramm am gleichen Stein für den Kleinteilversuch.

Tabelle 30 Gemessene Verformung an den Befestigungspunkten in Abhängigkeit der aufgetragenen Druckdifferenz am Ende des Bauteilversuches

Druckdiff. in Pa	Verformung in mm an Befestigungspunkt						
	1	2	3	4	5	6	Mittelwert
-3700	-7,7	-6,0	-5,7	-9,6	-8,9	-10,0	-8,0
-3800	-8,1	-6,2	-6,1	-10,7	-9,6	-11,1	-8,6
-3900	-8,4	-6,3	-6,1	-20,7	-11,6	-11,1	-8,7 (ohne Pkt. 4)

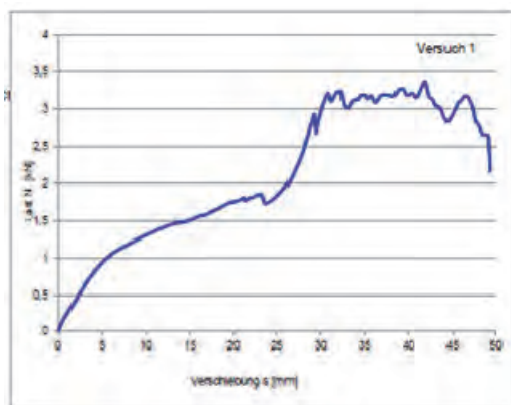


Abbildung 37 Typisches Kraft-Weg-Diagramm im Rahmen des Kleinteilversuches für die Setzposition B am Steintyp 24.

Es fällt auf, dass bei einer Druckdifferenz von 3800 Pa (Last von ca. 2,5 kN) im Kleinteilversuch eine Verschiebung von ca. 28 mm ermittelt wurde. Im Bauteilversuch lagen die Verformungen jedoch deutlich darunter. Für die Befestigungspunkte 1-3 wurde eine Verschiebung von 6-8 mm ermittelt, für die Befestigungspunkte 4-6 eine etwas leicht größere zwischen 10 und 11 mm.

Ebenso zeigen sich deutliche Unterschiede hinsichtlich der Verformung der Befestigungselemente am Ende der Untersuchungen. Während die Schrauben des Kleinteilversuchs in der Nähe des Lasteinleitungspunktes deutlich verformt wurden, zeigt sich bei den Schrauben aus dem Bauteilversuch keine bzw. nur eine geringe plastische Verformung. Abbildung 38 stellt das Aussehen der Befestigungsmittel nach dem Kleinteilversuch sowie dem Bauteilversuch gegenüber.

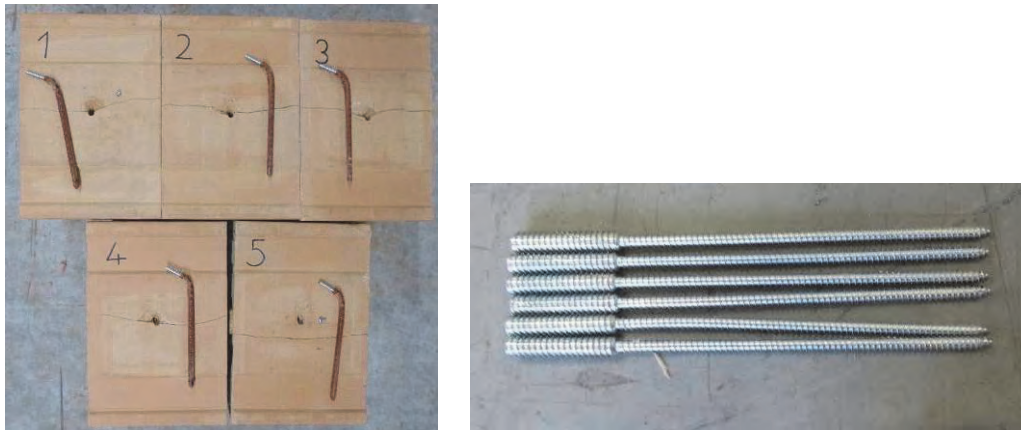


Abbildung 38 Aussehen der Befestigungsmittel am Ende der jeweiligen Prüfung
links: Kleinteilversuch
rechts: Bauteilversuch

Als Ursache für die Abweichungen wird die unterschiedliche Krafteinleitung in das Befestigungselement gesehen. Während beim Kleinteilversuch die Last über einen frei drehbaren Adapter eingeleitet wird, erfolgt die Lasteinleitung im Bauteilversuch über das Rahmenprofil welches sich nicht frei drehen kann.

6.2.2 Wandaufbau 2

Der Wandaufbau 2 wurde mit einem Filigranziegel durchgeführt. Die Montage des Elementes erfolgte in Setzposition B entsprechend den durchgeführten Kleinteilversuchen an Steintyp 20. Stein und Setzposition ist in Abbildung 39 dargestellt.



Abbildung 39 Verwendeter Planziegel für Wandaufbau 2

Die im Kleinteilversuch ermittelten Lasten sind nochmals in Tabelle 31 dargestellt.

Tabelle 31 Im Kleinteilversuch ermittelte Lasten für den im Wandaufbau verwendeten Ziegel. Da am Vollstein keine Versuche auf „Biegung“ durchgeführt wurden, sind zusätzlich die Biegeversuche am Halbstein (Steintyp 21) enthalten

Serie	Mittelwert		Variationskoeffizient für		5,0 % Fraktile log	
	N _u in kN	N _{3mm} in kN	N _u in %	N _{3mm} in %	R _k in kN	R _{k,3mm} in kN
20_Q_A	2,33	1,98	6,1	10,2	1,90	1,37
20_Q_B	2,78	1,93	12,5	18,6	1,85	1,03
20_Q_C	2,75	1,91	5,9	24,1	2,26	0,80
21_B_A	2,17	0,78	22,9	6,1	1,00	0,63

Bei der Montage des Fensters wurde darauf geachtet, dass die Befestigung immer in einem ganzen Stein erfolgte. Zur Montage wurde als Befestigungsmittel eine Kombination des Kunststoff-Rahmendübels W-UR 10 XXL und der AMO® Combi III-Schraube 7,5/11,5 eingesetzt. Die Montage der Fenstertüre mit einer Außenabmessung von 1410 mm x 2480 mm erfolgte mit je drei Befestigungsmitteln in der seitlichen Leibung. Nach unten als auch nach oben wurde nicht befestigt, um die Windlasten nur über die Befestigungsmittel in den Mauerziegeln abzutragen. Die Innenansicht des eingebauten Elementes mit der Lage der einzelnen Befestigungspunkte ist in Abbildung 40 dargestellt.

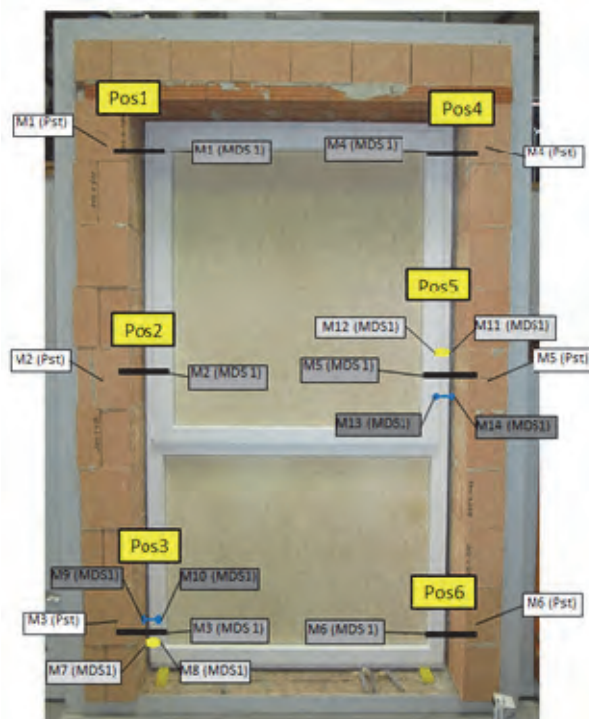


Abbildung 40 Wandaufbau 2 mit montiertem Fenster und Darstellung der Befestigungspositionen in Gelb

Die Fugenbreite zwischen Blendrahmen und Leibung war umlaufend mit 20 mm geplant. Die gemessenen Fugenbreiten können Tabelle 32 entnommen werden. Es ist zu erken-

nen, dass die geplante Fugenbreite im Rahmen der baupraktischen Toleranzen eingehalten wurde.

Tabelle 32 Fugenbreiten im Bauteilversuch 2

Position	1	2	3	4	5	6
Fugenbreite in mm	21	22	20	20	23	23

Die an den einzelnen Befestigungspunkten mittels eines Wegaufnehmers ermittelten Verformungen in Abhängigkeit des Differenzdruckes sind in Tabelle 33 für eine mittlere Verformung im Bereich von 3 mm dargestellt.

Tabelle 33 Gemessene Verformung an den Befestigungspunkten in Abhängigkeit der aufgetragenen Druckdifferenz.

Druckdiff. in Pa	Verformung in mm am Befestigungspunkt						
	1	2	3	4	5	6	Mittelwert
-1300	-2,3	-2,8	-1,9	-2,4	-2,7	-2,3	-2,4
-1400	-2,5	-3,0	-2,1	-2,5	-3,1	-3,6	-2,8
-1500	-2,6	-3,3	-2,4	-2,7	-3,7	-7,3	-3,7

Der Mittelwert der Verformung von 3 mm wird bei einer Druckdifferenz von ca. 1400 Pa überschritten. Die deutliche Erhöhung des Mittelwerts der Durchbiegung von 1400 Pa auf 1500 Pa ist der Zunahme der Verformung des Messpunktes 6 geschuldet. Die Ursache konnte nicht ermittelt werden. Der Differenzdruck von 1400 Pa entspricht unter Annahme einer gleichmäßigen Lastverteilung auf die einzelnen Befestigungspunkte einer Kraft von 0,81 kN. Da im Kleinteilversuch keine Prüfungen zur Biegung des Befestigungsmittels an dem Vollstein durchgeführt wurden, wird hier die Verformung des Befestigungsmittels im entsprechenden Halbstein (Steintyp 21) herangezogen. Hier wurde bei den Kleinteilversuchen eine Verformung von 3 mm bei einer Last von 0,78 kN ermittelt.

Die Druckdifferenz wurde im weiteren Verlauf in Schritten von 100 Pa erhöht. Bei einem Differenzdruck von ca. 3400 Pa versagte der Leibungsbereich am Befestigungspunkt 5 (siehe Abbildung 41).



Abbildung 41 Ausbrechen des Leibungsbereiches um den Befestigungspunkt 5

Legt man den maximal erreichten Differenzdruck von 3400 Pa zugrunde, so entspricht dies unter der Annahme der Lasteinzugsfläche für den Befestigungspunkt 5 einer Maximalkraft von 2,4 kN. Da wie bereits erläutert, am Vollstein keine Biegeversuche durchgeführt wurden, wird zum Vergleich der Bruchlast die in der Setzposition B ermittelte Kraft am Vollstein herangezogen. Diese beträgt nach Tabelle 31 2,78 kN. Unter Berücksichtigung der charakteristischen Tragfähigkeit von 1,85 kN sowie des Teilsicherheitsbeiwertes von $\gamma_m = 2,5$ für Mauerwerk, ergibt sich eine Bemessungslast $F_{Rd} = 1,85 \text{ kN} / 2,5 = 0,74 \text{ kN}$. Die aus dem Bauteilversuch ermittelte Versagenslast ist somit um den Faktor 3 größer als die Bemessungslast aus dem Kleinteilversuch.

Wie auch bei dem Bauteilversuch der Wand 1, ist an den Befestigungsmitteln keine signifikante Verformung zu erkennen.



Abbildung 42 Aussehen der Befestigungsmittel des Bauteilversuches mit Wand 2 am Ende der Prüfung

6.3 Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit und alternativen Befestigungslösungen

Neben der im vorherigen Kapitel untersuchten Frage der Repräsentativität des Kleinteilversuchs zur Ermittlung der Bemessungslasten, stellt sich ebenso die Frage, ob die Befestigung eines Fensters auch dauerhaft ist oder ob entsprechende veränderliche Lasten zu einer Lockerung des Befestigungsmittels führen. Dazu wurden an zwei Wandaufbauten Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit durchgeführt.

Ebenso wurden an diesen Wandaufbauten alternative Befestigungslösungen untersucht, die speziell die für eine Bemessung maßgeblichen Lasten im Bereich des Eck- sowie Scherenlagers aufnehmen könnten.

Die experimentellen Prüfungen wurden durch rechnerische Simulationen begleitet. Die im Folgenden dargestellten Untersuchungen wurden im Rahmen einer Bachelorarbeit [14] durchgeführt.

6.3.1 Rechnerische Simulation

6.3.1.1 Rechenmodell

Mithilfe des Statik-Programms RFEM wurde die Kraftverteilung auf die einzelnen Befestigungspunkte unter Berücksichtigung der Steifigkeit des Rahmens berechnet. Für die Berechnung wurde zuerst ein statisches Modell, für das eingebaute Fenster erstellt. In folgender Abbildung sind dieses Modell sowie die wirkenden Lasten dargestellt.

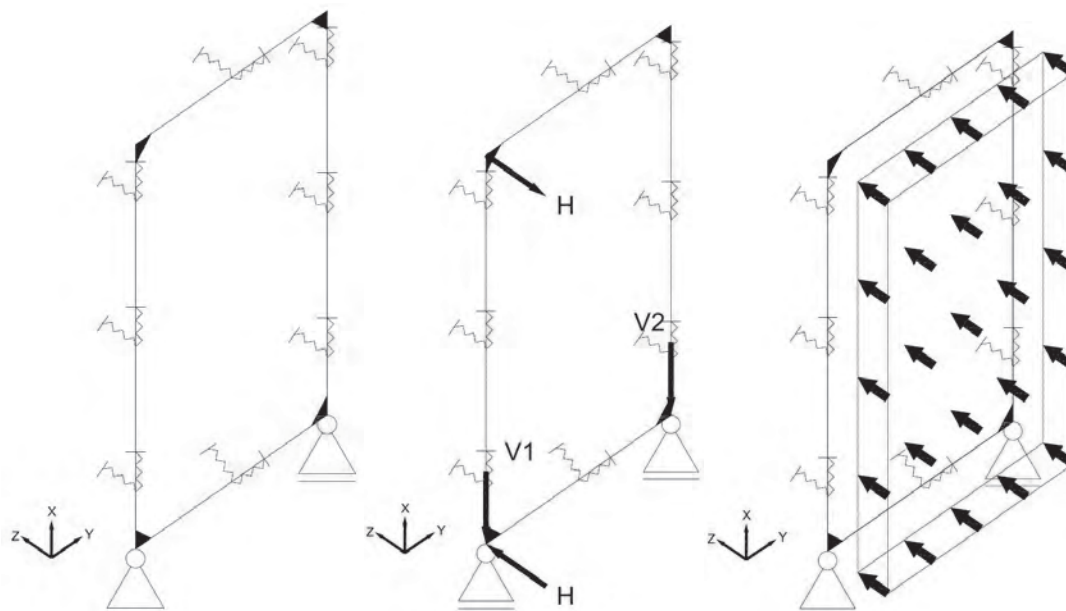


Abbildung 43 Schematische Darstellung des statischen Modells

Bei der Berechnung wird der Rahmen als Stab angesehen, der mittels Federn an den Befestigungspunkten gelagert ist.



Um das statische Modell erstellen zu können, wurden im Vorfeld einige Parameter definiert und deren Auswirkung auf die Berechnungsergebnisse verglichen. Alle Vergleiche wurden an einem 1-flügeligen Fenster mit der Standardgröße von 1,23 m x 1,48 m gerechnet, welches sowohl 2- oder 4-seitig befestigt wurde.

Als Lastfälle für die Vergleiche wurde sowohl Windlast als auch die Last aus Eigengewicht + vertikaler Nutzlast P gewählt.

Im Rahmen des vorliegenden Abschlussberichtes wird auf eine detaillierte Darstellung des Berechnungsmodells verzichtet. Detaillierte Informationen können [14] entnommen werden.

6.3.1.2 Berechnung alternativer Befestigungslösungen

Bei einer zusätzlich zu berücksichtigenden vertikale Nutzlast P von 600 N liegen für alle Abmessungen die durch das Eigenwicht und vertikaler Nutzlast verursachte Last signifikant höher, als die Last die durch Windeinwirkung ausgelöst wird. Dies gilt sowohl für eine umlaufende als auch für eine 2-seitige Befestigung des Fensters.

Hierdurch ergibt sich, dass die für die Bemessung des Befestigungselementes sich ergebende Last bei zu berücksichtigender vertikaler Nutzlast von $P = 600$ N durch den Lastfall Eigengewicht des Flügels + vertikaler Nutzlast beschrieben wird (Tabelle 18). Die hierbei belasteten Befestigungsmittel sind diejenigen, die sich in unmittelbarer Nähe des Scherenlagers sowie Ecklagers bei einem Drehkipp-Fenster befinden. Für alle anderen Befestigungspunkte könnte die Auslegung aufgrund der Anforderungen aus der Wirkung des Windes durchgeführt werden. Daher wurden im Folgenden zwei alternative Befestigungslösungen rechnerisch untersucht, um eine Lastaufteilung für den Fall 90° geöffnetes Fenster mit evtl. vertikaler Nutzlast ansetzen zu können.

Ansatz 1 Befestigung über Eck

Als erste Lösung wurde eine zusätzliche Befestigung im oberen Rahmenprofil nahe des Scherenlagers betrachtet (Befestigung über Eck), um die Last über eine Gruppenbefestigung auf mehrere Punkte zu verteilen. Prinzipiell können die Untersuchungen auf den unteren Befestigungspunkt übertragen werden.

Hierzu wird ein weiterer Befestigungspunkt mit einem identischen Abstand von 100 mm aus der innen Ecke des Rahmens nach oben in den Sturz vorgesehen.

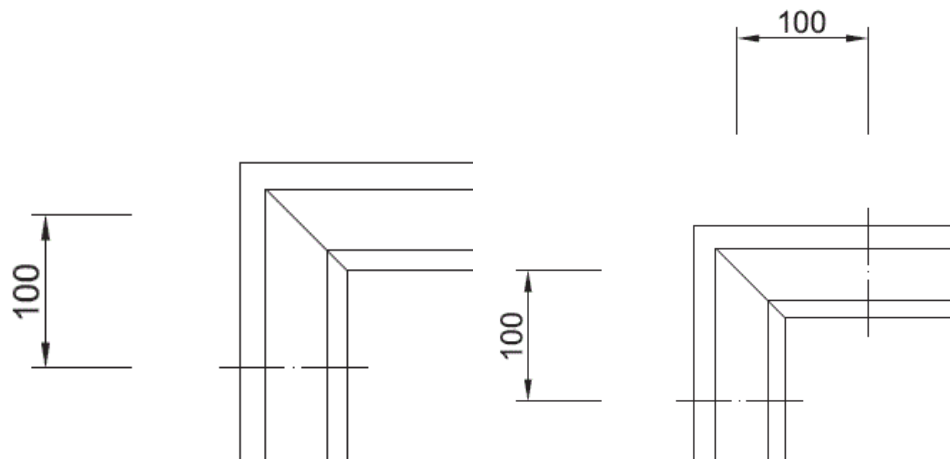
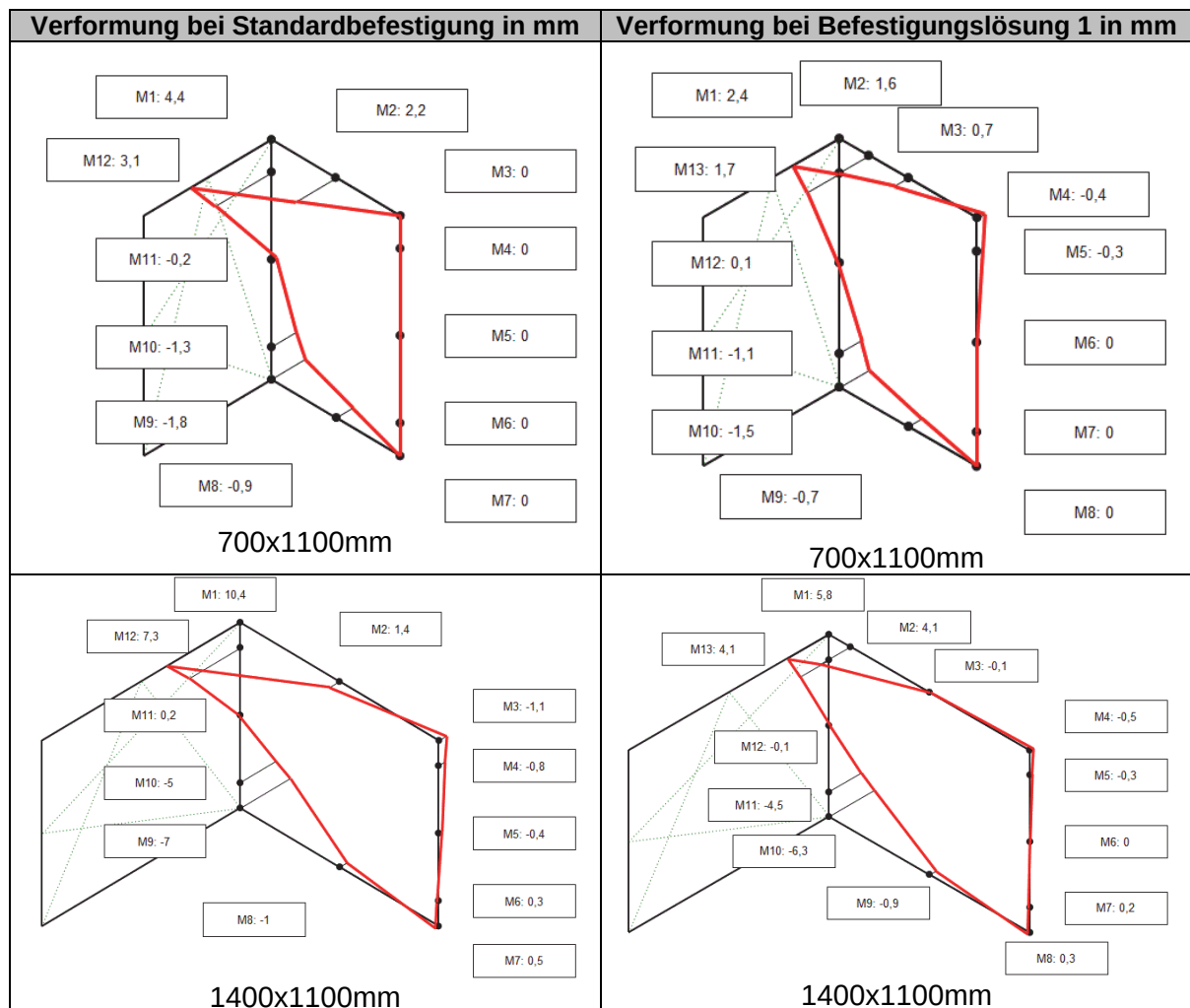


Abbildung 44 Vergleich Standardbefestigung nach RAL Montageleitfaden mit Über-Eck-Befestigung

Der Sturz ist im Regelfall ausreichend tragfähig.

Ein Vergleich der Verformungen der Befestigungsmittel für die aktuelle Standardbefestigung sowie die vorgeschlagene „Über-Eck“-Befestigung kann nachfolgender Tabelle 34 entnommen werden. Die Berechnungen wurden für zwei unterschiedliche Fensterabmessungen durchgeführt. Hierbei wurde ein Glasflächengewicht von 50 kg/m^2 angenommen, sowie eine vertikale Nutzlast von 800 N . Als Rahmenwerkstoff wurde hierbei PVC mit einer Stahlaussteifung zugrunde gelegt. Die Flächenträgheitsmomente der Aussteifung wurden für die Berechnung mit $I_x = 1,7 \text{ cm}^4$ und $I_y = 1,4 \text{ cm}^4$ angesetzt.

Tabelle 34 Vergleich Verformungen bei Standardbefestigung mit Gruppenbefestigung 1

Die Analyse der durchgeführten Berechnungen führt zu folgende Ergebnissen:

- Die Durchbiegung des oberen seitlichen Befestigungspunktes am Scherenlager kann durch den Einsatz des zusätzlichen Befestigungspunktes nach oben über Eck signifikant reduziert werden.
- Bei der Überecklösung wird die Kraft nahezu 1:1 auf beide Befestigungspunkte aufgeteilt. Dies ist erkennbar an der nahezu identischen Verformung der beiden Befestigungspunkte.

Auch wenn die tatsächliche Lastaufteilung noch in gewissen Grenzen variieren kann (genauer Lasteinleitungspunkt durch den Beschlag) kann unter baupraktischem Gesichtspunkt von einer 50 % Lastaufteilung ausgegangen werden.

Ansatz 2 Gruppenbefestigung an der Seite

Da eine zusätzliche Befestigung nach oben nicht immer möglich ist, wie z.B. im Falle eines vorhandenen Rollladenkastens, wurde als Ansatz 2 eine Gruppenbefestigung untersucht, welche ausschließlich in der Leibung sitzt. Auch hier können die Ergebnisse der Untersuchungen prinzipiell auf die untere Befestigung im Bereich des Ecklagers übertragen werden.

Hierzu wird in einem Abstand von 100 mm unterhalb des Standard Befestigungsmittels ein weiterer Befestigungspunkt vorgesehen (Doppelbefestigung).

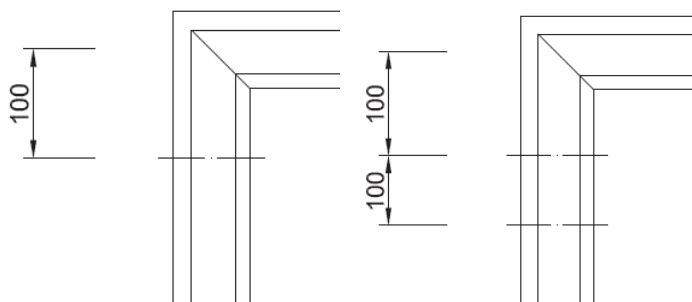
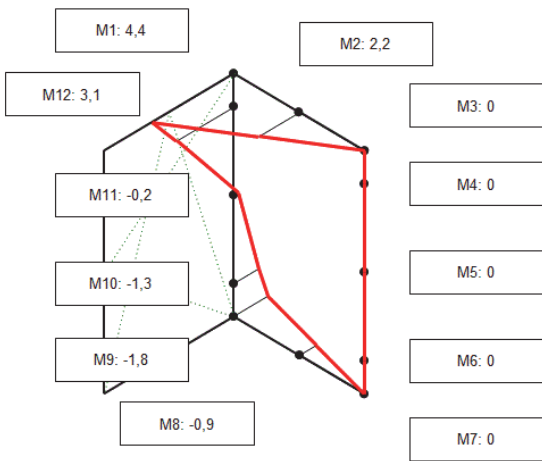
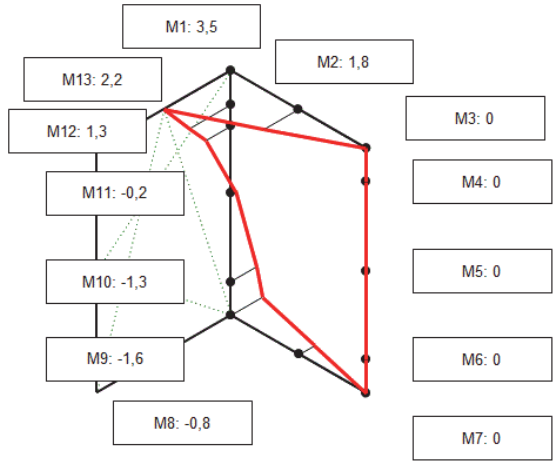
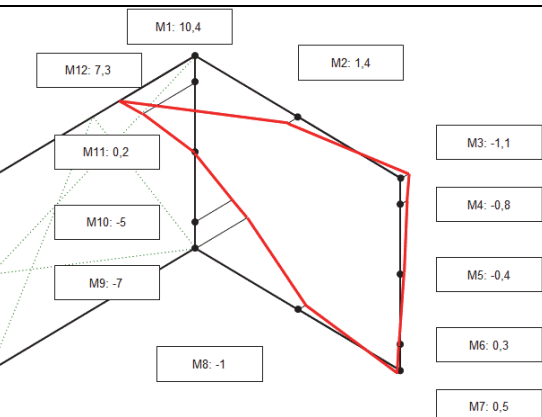
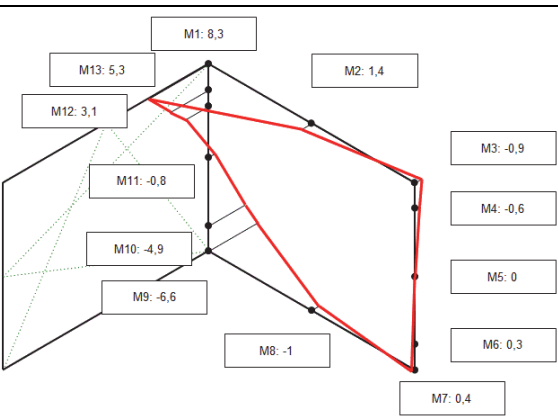


Abbildung 45 Vergleich Standardbefestigung nach RAL Montageleitfaden mit Doppelbefestigung

Ein Vergleich der Verformungen der Befestigungsmittel für die aktuelle Standardbefestigung sowie die vorgeschlagene „Doppel“-Befestigung kann nachfolgender Tabelle 35 entnommen werden. Die Berechnungen wurden für die gleichen Fenstervarianten wie bereits zuvor durchgeführt

Tabelle 35 Vergleich Verformungen bei Standardbefestigung mit Gruppenbefestigung 2

Verformung bei Standardbefestigung in mm	Verformung bei Befestigungslösung 2 in mm
 700x1100mm	 700x1100mm
 1400x1100mm	 1400x1100mm

Da hier keine um den Lasteinleitungspunkt symmetrische Gruppenbefestigung vorliegt, übernimmt die dem Lasteinleitungspunkt näher liegende Befestigung mehr Last als die weiter entfernt liegende.

Die Lastreduzierung des oberen Befestigungspunktes kann unter der Annahme, dass sich das Befestigungselement im linear elastischen Bereich befindet in erster Näherung aus der Reduzierung der Auslenkung abgeleitet werden. Anhand der berechneten Varianten ergibt sich eine Reduzierung der Auslenkung auf ca. 70 % und somit einer Reduzierung der Last auf den Befestigungspunkt von 30 %.

6.3.2 Beschreibung der Bauteilversuche 3 und 4

6.3.2.1 ift-Richtlinie MO-02/1

Die Bauteilversuche wurden entsprechend der ift Richtlinie MO-02/1 „Baukörperanschluss von Fenstern, Teil 2; Verfahren zur Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit von

Befestigungssystemen“ durchgeführt. Ziel dieser Prüfung ist die Untersuchung auf Funktion und Dauerhaftigkeit des Befestigungssystems. Hierbei wird in einem stabilen Stahlrahmen, mit dem zu untersuchenden Ziegel, eine Fensteröffnung erstellt, in die das Fenster mittels des Befestigungssystems montiert wird. Hierbei dürfen keine äußeren Einflüsse auf das Befestigungssystem vorhanden sein (z. B. Überdeckung mit Putz, Ortschaum in der Bauteilfuge). Um jedoch die für die Simulation von Windlasten notwendigen Druckdifferenzen aufbringen zu können, wird das Mauerwerk außenseitig verputzt sowie ein luftdichter Anschluss zwischen Blendrahmen und Mauerwerk erstellt. Dies wird in der Regel mittels einer Fugenanschlussfolie bewerkstelligt, welche mit einer Schlaufe geklebt wird, die eine ausreichende Verformung des Fensters zulässt.

Zur Messung der Verformung des Fensters in den Prüfungen, werden jeweils an den Ecken sowie an jedem Befestigungspunkt Wegaufnehmer angebracht, welche mit einer Auflösung von 0,1 mm arbeiten.

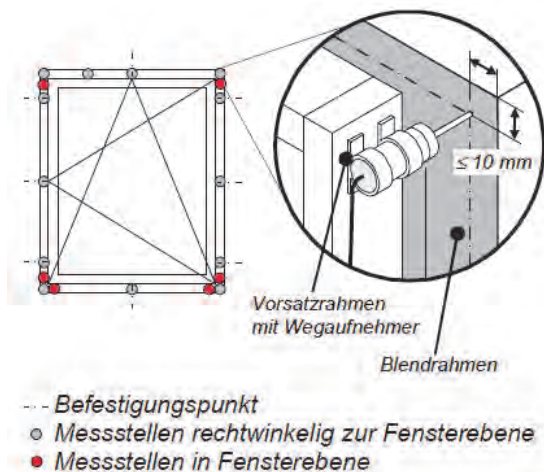


Abbildung 46 Lage/ Position der Wegaufnehmer

Mit diesem Probekörperaufbau werden der Reihenfolge nach folgende Prüfungen durchgeführt.

1 Widerstandsfähigkeit gegen Lasten in der Flügelebene (Racking)

Diese Prüfung hat als Grundlage die DIN EN 14608 und spiegelt die Horizontallast mit vertikaler Nutzlast wieder. Hierbei wird der Flügel um 90° geöffnet und in 200 N Schritten an der schließseitigen Flügelecke zusätzlich belastet. Die jeweilige Last wird für 5 Min. gehalten und anschließend wieder komplett entlastet. Dabei wird kontinuierlich die Verformung unter Last und die bleibende Verformung nach Entlastung gemessen.

2 Statische Windlast

Der Bauteilrahmen wird luftdicht auf einen Luft-Wasser-Wind-Prüfstand aufgespannt und in Anlehnung an DIN EN 12211 ein statischer Druck von $\pm 2000 \text{ Pa}$ in der Kammer er-

zeugt. Dieser wird für 30 Sek. gehalten und dann die Verformung des Fensters unter Last und die bleibende Verformung nach Entlastung gemessen.

3 Druck-Sog-Wechselasten

Diese Prüfung findet, wie die statische Windlast in Anlehnung an die DIN EN 12211, im direkten Anschluss an diese, auf demselben Prüfstand statt. Hierbei wird ein Druck von ± 1000 Pa abwechselnd als schwellende Beanspruchung auf das Fenster gegeben. Da ein Zyklus eine Amplitudendauer von 28s+12s aufweist und die Wegaufnehmer etwas Träge reagieren, kann man hier die Verformung nur sehr schwierig messen. Deshalb wird der Druck des Ersten und Letzten der 200 Zyklen etwas länger aufrechterhalten und nur hier die Verformung gemessen.

4 Klima-Wechselasten

In dieser Prüfung wird der Bauteilrahmen auf einen Klima-Prüfstand aufgespannt. Auf der Außenseite wird ein Wechselklima erzeugt. Insgesamt werden 10 Zyklen mit einer Höchsttemperatur von $+60^{\circ}\text{C}$ und einer Tiefsttemperatur von -15°C absolviert. Ein Zyklus dauert hierbei 24 Stunden. Auf der Raumseite des Fensters beträgt die Temperatur konstant $\approx 20^{\circ}\text{C}$.

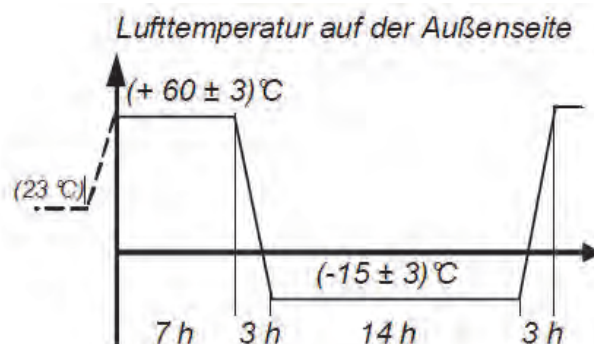


Abbildung 47 Temperaturwechselbelastung auf der Außenseite

Die Untersuchung simuliert die Verformung des Rahmenprofils durch Witterungseinflüsse. Die Verformung an den Messstellen wird alle 10 Min. aufgezeichnet.

5 Dauerfunktion

Das Fenster (Dreh-Kipp) wird mittels einer Prüfeinrichtung in Anlehnung an DIN EN 1191 10.000-mal in den Stellungen, Drehen-Schließen, Kippen-Schließen betätigt.

6 Druck-Sog-Wechselasten nach klimatischer Belastung und Dauerfunktion

Diese Prüfung hat denselben Ablauf wie 3.

7 Statische Windlast nach klimatischer Belastung und Dauerfunktion

Diese Prüfung hat denselben Ablauf wie 2.

8 Sicherheitsversuch

Diese Prüfung findet ebenfalls in Anlehnung an die EN 12211 statt. Hierbei wird ein Statischer Druck von ± 3000 Pa auf das Element aufgebracht. Dies entspricht den 1,5-fachen des Drucks der statischen Windlast.

9 Pendelschlag

Hierbei trifft ein Zwillingsreifen mit einer Masse von 50 kg aus einer Fallhöhe von 700 mm mittig auf das Element auf. Dies simuliert den Aufprall einer Person.

Beurteilung

In allen Prüfungen mit Ausnahme von 8 und 9 sind max. 3 mm reversible Verschiebung sowie <1 mm bleibende Verformung des Befestigungspunktes zulässig. Die Anforderungen der MO-02/1 an eine bleibende Verformung von max. 1 mm wurden für eine Elementgröße von 1230 mm x 1480 mm festgelegt.

Es darf keine Lockerung des Befestigungsmittels auftreten. Nach den Prüfungen 8 und 9 muss das Fenster ausreichend in der Wandöffnung gehalten werden.

6.3.2.2 Probekörper

Für die Bauteilversuche wurden in die Wände Fenster des Systems VEKA Softline 82 integriert.

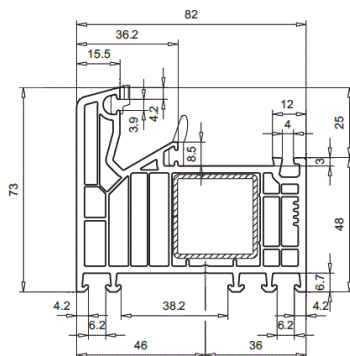


Abbildung 48 Querschnitt des Blendrahmens

6.3.3 Wandaufbau 3

6.3.3.1 Aufbau des Bauteils

Für den Wandaufbau 3 wurde der Steintyp 22 aus den Kleinteiluntersuchungen verwendet. Der Wandaufbau erfolgte mit Steinen aus der identischen Charge. Die Montage des Fensters erfolgte in der Setzposition B.

Als Sturz wurden drei betonverfüllte Ziegelstürze eingesetzt. Diese wurden jeweils außen mit der Mauerfläche bündig und einmal mittig dazwischen gesetzt.



Abbildung 49 Links: Verwendeter Stein sowie Setzposition für den Bauteilversuch 3
Rechts: Sturzausbildung

Bei Hochlochziegeln besteht das generelle Problem der unteren Befestigung, da sich hier keine Situation vorfindet, in der eine Befestigung wie an der Seite oder oben erfolgen könnte. Zur Umsetzung der unteren Befestigung wurden zwei Möglichkeiten angedacht:

1. Befestigung über spezielle Winkelkonsolen



Abbildung 50 Möglichkeit der unteren Befestigung mit einer Winkelkonsole am Beispiel JB-D K mit HVP der Firma Würth

2. Verfüllen des Hochloches mit Mörtel und Befestigung mittels Kunststoffdübel W-UR 10XS und AMO® Combi-Schraube

Da im Rahmen des Vorhabens auch alternative Befestigungslösungen erarbeitet werden sollten, wurde die Variante 2 realisiert. Hierzu wurde die Dämmstofffüllung im Bereich der unteren Befestigung aus dem Hohlraum entnommen und mit Mörtel verfüllt. Nach ausreichender Trocknung erfolgte die Montage des Elementes im unteren Bereich direkt in den mit Mörtel ausgefüllten Bereich.



Abbildung 51 Mit Mörtel verfüllter Holhraum im Bereich der unteren Befestigung.

Um einen variablen Versuchsaufbau zu bewerkstelligen, wurde in das Fenster eine 30 mm starke Multiplexplatte eingebaut um das Glasflächengewicht variieren zu können. Für die vorgesehenen Untersuchungen sollte ein Glasflächengewicht von 50 kg/m^2 simuliert werden. Deshalb wurde der Flügel mit Hilfe von gleichmäßig verteilten Stahlgewichten von 42 kg auf 130 kg aufgelastet.



Abbildung 52 Fenster in der Wand montiert mit Zusatzgewichten

Im Rahmen der Untersuchungen wurden zwei unterschiedliche Lösungsansätze einer „Gruppenbefestigung“ untersucht, um hinsichtlich der Belastung durch einen 90° geöffneten Flügel mit einer vertikalen Nutzlast von 600 N größere Lastwiderstände zu erreichen.

Zum einen wurde die „Über-Eck“ Lösung umgesetzt. Hierzu wurde im Bereich des Scherenlagers zusätzlich zur „Standard Befestigung“ ein weiterer Befestigungspunkt nach oben ergänzt.

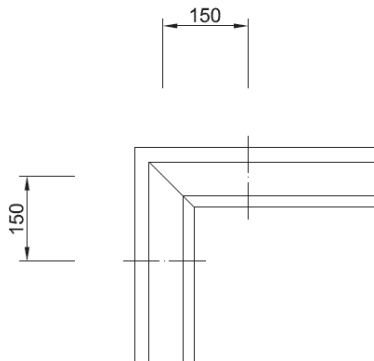


Abbildung 53 „Gruppenbefestigung 1 über Eck Lösung mit zusätzlicher Befestigung nach oben

Der komplette Wandaufbau inkl. der Lage der Befestigungsstellen sowie der Lage der Potentiometer zur Messung der Verformung ist in Abbildung 54 dargestellt.

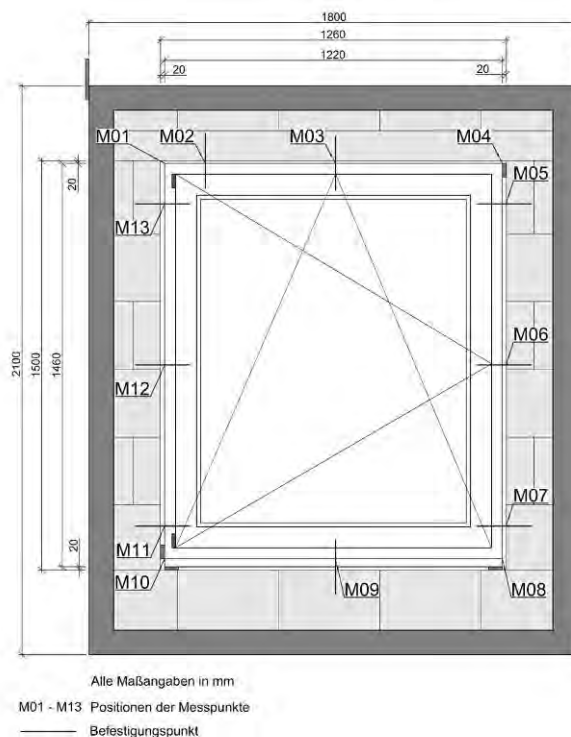


Abbildung 54 Darstellung Bauteil mit Gruppenbefestigung 1

Zum anderen wurde eine „Doppelbefestigung“ untersucht. Hierzu wurde in der Leibung ein zusätzliches Befestigungsmittel im Scherenlagerbereich hinzugefügt (Abbildung 55).

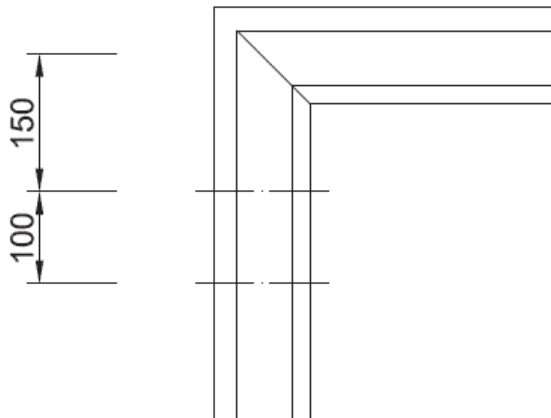


Abbildung 55 „Gruppenbefestigung seitliche Doppelbefestigung

Der sich ergebende komplette Wandaufbau inkl. der Lage der Befestigungsstellen sowie der Lage der Potentiometer zur Messung der Verformung ist in Abbildung 56 dargestellt.

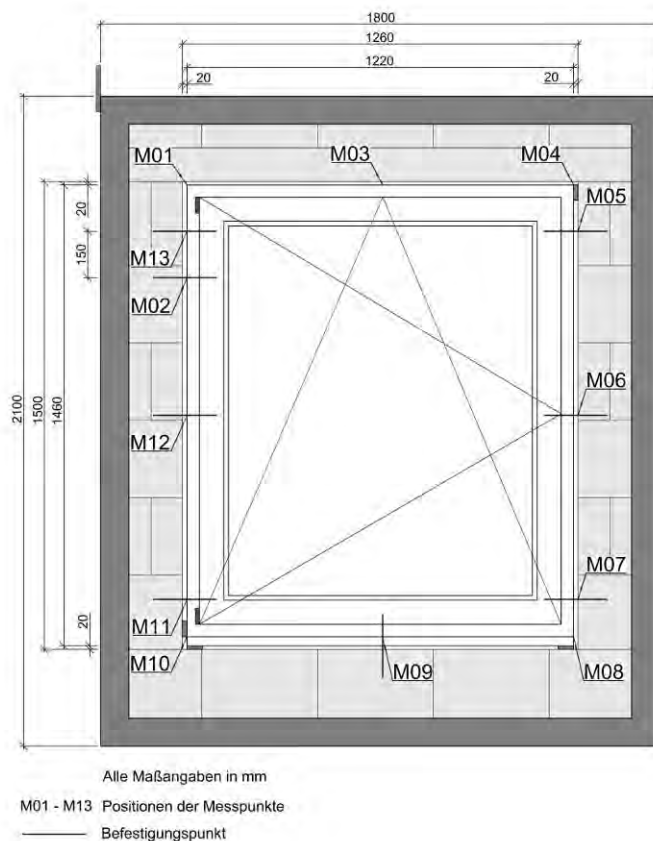


Abbildung 56 Darstellung Bauteil mit Gruppenbefestigung 2



6.3.4 Ergebnisse Wandaufbau 3

6.3.4.1 Prüfung der Widerstandsfähigkeit gegen Lasten in der Flügelebene

Die Untersuchungen wurden an dem Bauteil mit der Über-Eck-Befestigungslösung durchgeführt. Bei der Prüfung wurde die Verformung in Abhängigkeit der vorhandenen Lasten aufgezeichnet. Die gemessenen Verformungen sind in Tabelle 36 ersichtlich.

Tabelle 36 Gemessene Verformung an den 13 Messstellen in Abhängigkeit der aufgetragenen Last

	Poti 1	Poti 2	Poti 3	Poti 4	Poti 5	Poti 6	Poti 7	Poti 8	Poti 9	Poti 10	Poti 11	Poti 12	Poti 13
Öffnen des Probekörpers	1,0	0,7	0,2	0,2	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,5	-1,5	-0,9	0,1	0,9
Nullstellen der Messdatenstation	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Maximale Verformung unter einer zusätzlichen Last von 200 N	0,6	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,8	-0,5	0,0	0,5
Anschließend bleibende Verformung	0,4	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,7	-0,4	0,0	0,3
Maximale Verformung unter einer zusätzlichen Last von 400 N	1,5	1,5	0,5	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	-0,3	-1,4	-0,9	0,1	1,1
Anschließend bleibende Verformung	1,1	1,1	0,4	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	-0,2	-1,0	-0,6	0,0	0,7
Schließen / Öffnen des Probekörpers	-0,6	-0,3	0,0	-0,3	-0,2	0,1	0,2	0,2	0,5	1,1	0,6	-0,1	-0,5
Maximale Verformung unter einer zusätzlichen Last von 600 N	1,9	1,8	0,6	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,3	-0,3	-1,7	-1,1	0,0	1,2
Anschließend bleibende Verformung	1,2	1,3	0,5	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,3	-0,1	-1,1	-0,8	0,0	0,8
Schließen / Öffnen des Probekörpers	-0,4	-0,2	0,0	-0,3	-0,2	0,1	0,2	0,2	0,5	1,0	0,5	-0,1	-0,5
Maximale Verformung unter einer zusätzlichen Last von 800 N	2,4	2,3	0,8	-0,2	-0,1	0,0	0,1	0,3	-0,4	-2,3	-1,5	0,1	1,5
Anschließend bleibende Verformung	1,4	1,4	0,6	-0,1	-0,1	0,0	0,1	0,3	-0,2	-1,5	-1	0,0	0,8
Schließen des Probekörpers	-0,3	-0,1	0,1	-0,3	-0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,9	0,5	-0,1	-0,5

Alle Verformungsangaben in mm

Abbildung 57 zeigt die Versuchsdurchführung für den 90°geöffneten Flügel mit einer zusätzlichen Nutzlast von 600 N (Klasse 3).



Abbildung 57 90° geöffneter Flügel mit zusätzlicher vertikaler Nutzlast von 600 N

Der geprüfte Lastfall wurde ebenso durch das statische Modell berechnet. Abbildung 58 stellt die gemessene sowie berechnete Verformung gegenüber.

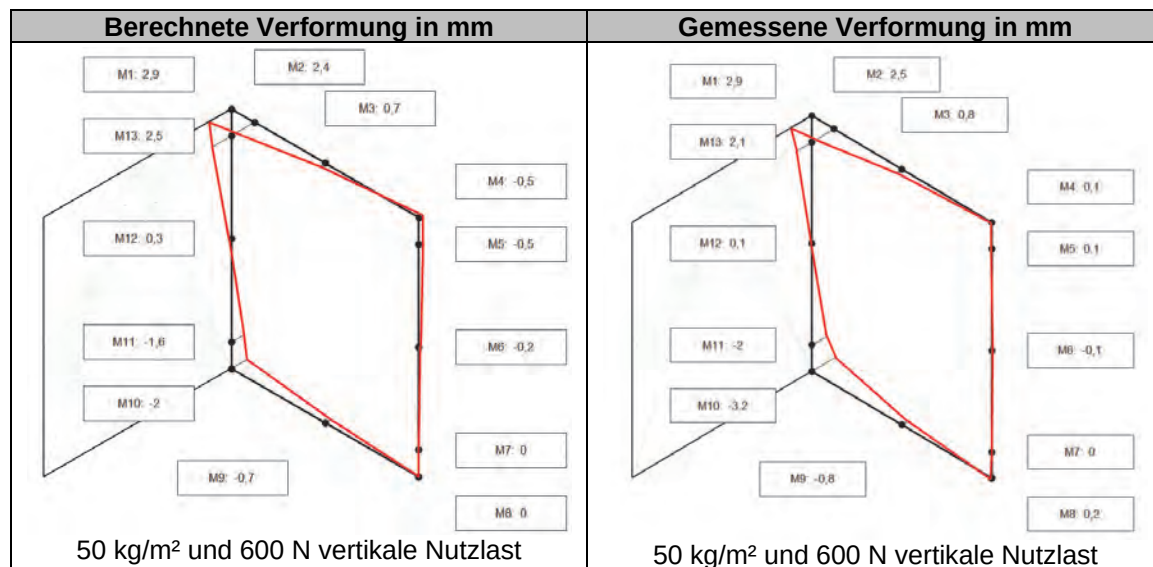


Abbildung 58 Gegenüberstellung der berechneten sowie gemessenen Verformungen

Für die meisten Messpunkte zeigt sich eine gute Übereinstimmung zwischen den gemessenen sowie berechneten Verformungen. Dies insbesondere im Bereich des Scherenlagers mit der umgesetzten Gruppenbefestigung.

6.3.4.2 Statische Windlast

Tabelle 37 zeigt die an den Messstellen aufgenommenen Verformungen für eine statische Windlast (Sog/ Druck) von 2000 Pa.

Tabelle 37 Gemessene Verformung bei statischer Windlast (Sog/ Druck)

	Pot1	Pot2	Pot3	Pot4	Pot5	Pot6	Pot7	Pot8	Pot9	Pot10	Pot11	Pot12	Pot13
Windsog mit 2000Pa	1,6	1,7	1,7	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	2,1	1,5	1,5	1,6	1,8
Winddruck mit 2000Pa	2,2	3,3	4,6	2,4	2,1	1,6	1,8	1,8	2,4	1,5	1,5	1,6	2,1

Alle Verformungsangaben in mm

Es fällt auf, dass die Verformungen an den Messstellen 1 bis 5 bei Winddruck deutlich größer sind, als bei vergleichbarem Sog. Die Ursache hierfür lag im Versagen des Ziegelsturzes in dem die obere Befestigung verankert war. Aufgrund der durch die Kleinteilver-suche vorgegebenen Befestigungslage des Fensters in der Wand, war kein ausreichender Randabstand der Befestigungsmittel zur Sturzkante vorhanden. Daher sind die gemessenen Verformungen für Winddruck im oberen Befestigungsbereich nicht aussagekräftig. Der Vergleich der gemessenen mit der berechneten Verformung bei Windsog ist in Abbildung 59 dargestellt.

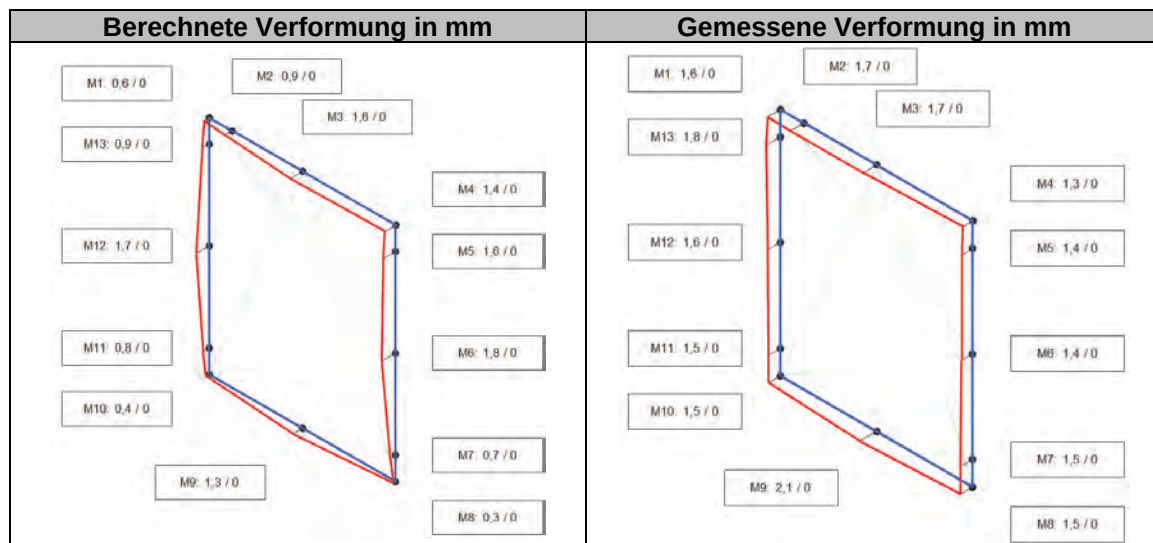


Abbildung 59 Gegenüberstellung der berechneten sowie gemessenen Verformungen

Es zeigt sich eine relativ gute Übereinstimmung zwischen den gemessenen und berechneten Verformungen. Auffällig ist auch, dass die gemessenen Verformungen an allen Messpunkten nahezu gleich groß sind. Unter der Annahme einer einheitlichen „Federkonstante“ des Befestigungsmittels bedeutet dies, dass an allen Befestigungspunkten die gleiche Last angreift. Der Ansatz, bei einer umlaufenden Befestigung die Windlast auf alle Befestigungspunkte gleichmäßig aufzuteilen, ist somit gerechtfertigt.

Aufgrund des Versagens des Sturzes war es nicht möglich, den kompletten Zyklus entsprechend MO-02 für die Befestigungslösung 1 zu untersuchen. Daher musste an dieser Stelle bereits auf die Befestigungslösung 2 umgebaut werden.

6.3.4.3 Prüfung der Widerstandsfähigkeit gegen Lasten in der Flügelebene

Die Untersuchungen entsprechend MO-02 wurden am Bauteil mit der Befestigungslösung 2 neu begonnen. Bei der Prüfung wurde die Verformung in Abhängigkeit der vorhandenen Lasten aufgezeichnet. Die gemessenen Verformungen sind in Tabelle 38 ersichtlich. Die Befestigungspunkte der Lösung 2 werden durch die Messstellen 2 sowie 13 beschrieben.

Tabelle 38 Gemessene Verformung an den 13 Messstellen in Abhängigkeit der aufgetragenen Last

	Poti 1	Poti 2	Poti 3	Poti 4	Poti 5	Poti 6	Poti 7	Poti 8	Poti 9	Poti 10	Poti 11	Poti 12	Poti 13
Öffnen des Probekörpers	2,1	1,4	1,4	0,3	0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,4	-1,2	-0,8	0,2	1,6
Nullstellen der Messdatenstation	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Maximale Verformung unter einer zusätzlichen Last von 200 N	0,6	0,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,5	-0,3	0,0	0,4
Anschließend bleibende Verformung	0,4	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,3	-0,1	0,0	0,2
Maximale Verformung unter einer zusätzlichen Last von 400 N	1,1	0,5	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,8	-0,5	0,1	0,8
Anschließend bleibende Verformung	0,5	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,5	-0,2	0,0	0,3
Maximale Verformung unter einer zusätzlichen Last von 600 N	1,7	0,9	1,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	-0,3	-1,1	-0,6	0,1	1,2
Anschließend bleibende Verformung	0,7	0,5	0,5	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	-0,1	-0,6	-0,3	0,0	0,5
Schließen des Probekörpers	-1,9	-1,0	-1,3	-0,3	-0,2	0,1	0,1	0,1	0,3	1,1	0,8	-0,2	-1,4

Alle Verformungsangaben in mm

Auch hier wurde der geprüfte Lastfall ebenso durch das statische Modell berechnet. Abbildung 58 stellt die gemessene sowie berechnete Verformung gegenüber.

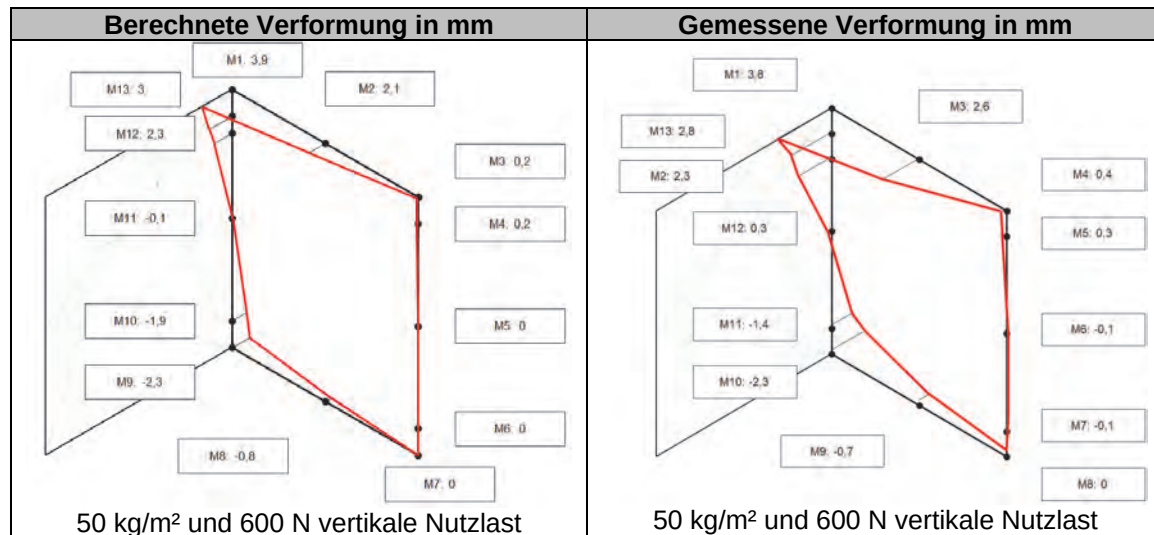


Abbildung 60 Gegenüberstellung der berechneten sowie gemessenen Verformungen mit Befestigungslösung 2

Für die meisten Messpunkte zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den gemessenen sowie berechneten Verformungen. Dies insbesondere im Bereich des Scheerlagers mit der umgesetzten Gruppenbefestigung.

6.3.4.4 Statische Windlast

Tabelle 39 zeigt die an den Messstellen aufgenommenen Verformungen für eine statische Windlast (Sog/ Druck) von 2000 Pa.

Tabelle 39 Gemessene Verformung bei statischer Windlast (Sog/ Druck)

	Poti 1	Poti 2	Poti 3	Poti 4	Poti 5	Poti 6	Poti 7	Poti 8	Poti 9	Poti 10	Poti 11	Poti 12	Poti 13
Maximale Verformung bei - 200 Pa	-5,0	-3,6	-6,4	-2,6	-2,1	-1,6	-1,4	-1,2	-1,8	-0,9	-1,2	-2,3	-4,2
Maximale Verformung bei + 2000 Pa	2,9	2,3	5,7	2,8	2,4	1,6	1,4	1,3	2,2	1,3	1,4	1,9	2,5
Anschließende bleibende Verformung	0,1	0,2	0,4	0,4	0,4	0,1	0,1	0,1	0,3	0,6	0,4	0,3	0,2

Alle Verformungsangaben in mm

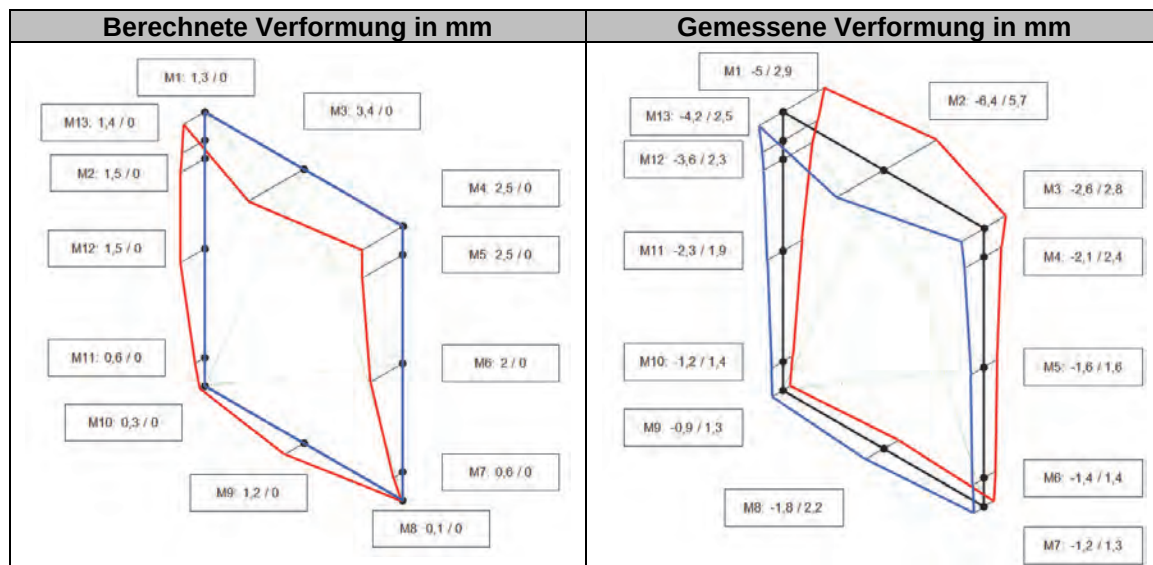


Abbildung 61 Gegenüberstellung der berechneten sowie gemessenen Verformungen statische Windlast

An den Messpunkten der Doppelbefestigung zeigt sich bei Windsog eine Verformung über 3 mm. Die Ursache hierfür lag in einer Lockerung des Befestigungspunktes 13, bedingt durch das Versagen der Befestigungsmittel im oberen Sturz bei den vorhergehenden Untersuchungen. Trotz der Lockerung sowie des Spiels von ca. 1 mm wurden die Untersuchungen weitergeführt.

6.3.4.5 Druck-Sog Wechsellasten

Die bei den Druck-Sog-Wechsellasten aufgezeichneten Verformungen für den ersten sowie den letzten Zyklus sind in Tabelle 40 dargestellt.

Tabelle 40 Gemessene Verformung bei Druck-/ Sog-Wechsellast

Erster Zyklus	Poti 1	Poti 2	Poti 3	Poti 4	Poti 5	Poti 6	Poti 7	Poti 8	Poti 9	Poti 10	Poti 11	Poti 12	Poti 13
Maximale Verformung bei - 1000 Pa	-3,7	-2,7	-4,1	-1,8	-1,4	-1	-0,8	-0,7	-1,0	-0,6	-0,8	-1,6	-3,2
Maximale Verformung bei + 1000 Pa	1,7	1,4	3,0	1,4	1,2	0,7	0,6	0,5	0,8	0,1	0,3	0,9	1,5
Letzer Zyklus	Poti 1	Poti 2	Poti 3	Poti 4	Poti 5	Poti 6	Poti 7	Poti 8	Poti 9	Poti 10	Poti 11	Poti 12	Poti 13
Maximale Verformung bei - 1000 Pa	-3,7	-2,7	-4,1	-1,9	-1,5	-1,0	-0,8	-0,7	-1,0	-0,5	-0,7	-1,6	-3,2
Maximale Verformung bei + 1000 Pa	1,8	1,4	3,1	1,5	1,3	0,7	0,6	0,5	0,7	0,1	0,3	0,8	1,5
Anschließende bleibende Verformung	Poti 1	Poti 2	Poti 3	Poti 4	Poti 5	Poti 6	Poti 7	Poti 8	Poti 9	Poti 10	Poti 11	Poti 12	Poti 13
	0,4	0,3	0,3	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0	0,3

Alle Verformungsangaben in mm

Es ist zu erkennen, dass die ermittelten Verformungen am Ende der Belastung (letzter Zyklus) im Wesentlichen den Verformungen des ersten Zyklus entsprechen. Die simulierte Alterung durch Windlasten führte demnach zu keiner Lockerung der Befestigungspunkte.

6.3.4.6 Klima Wechsellasten

Die während der Klimawechsellast ermittelten maximalen Verformungen sind in Tabelle 41 dargestellt. Die angegebenen Verformungen beziehen sich hierbei auf die Änderung gegenüber der Lage bei Raumtemperatur auf beiden Seiten. An den Befestigungspunkten liegen die ermittelten maximalen Verformungen alle unter der Vorgabe der maximalen Verformung von 3 mm. Ebenso zeigte sich bei der visuellen Kontrolle der Befestigungspunkte keine Lockerung der Befestigungsmittel.

Tabelle 41 Gemessene Verformung bei Klima-Wechsellast

	Poti 1	Poti 2	Poti 3	Poti 4	Poti 5	Poti 6	Poti 7	Poti 8	Poti 9	Poti 10	Poti 11	Poti 12	Poti 13
Maximale Verformung bei +80°C	0,8	-0,2	-0,7	0,7	0,1	-0,5	0,1	0,5	-0,1	0,2	0,0	-0,5	0,2
Maximale Verformung bei -15°C	-4,1	-1,0	0,1	-1,0	0,3	1,2	-0,1	-1,2	1,2	-1,0	0,0	0,8	-2,4
Alle Verformungen in mm													

6.3.4.7 Dauerfunktion

Die Dauerfunktionsprüfung wurde positiv durchlaufen. Es wurden bei der visuellen Kontrolle keine lockeren Befestigungspunkte festgestellt.

6.3.4.8 Druck-Sog-Wechsellasten nach klimatischer Belastung und Dauerfunktion

Die bei den Belastungen aufgezeichneten Verformungen für den ersten sowie den letzten Zyklus sind in Tabelle 42 dargestellt.

Tabelle 42 Gemessene Verformung bei Druck-/ Sog-Wechsellast nach Klimastat und Dauerfunktion

Erster Zyklus	Poti 1	Poti 2	Poti 3	Poti 4	Poti 5	Poti 6	Poti 7	Poti 8	Poti 9	Poti 10	Poti 11	Poti 12	Poti 13
Maximale Verformung bei -1000 Pa	-1,9	-1,6	-2,7	-1,0	-0,7	-0,7	-0,6	-0,5	-0,9	-0,4	-0,7	-1,2	-1,6
Maximale Verformung bei +1000 Pa	4,2	2,8	4,5	2,3	1,9	0,9	0,7	0,6	1,0	0,2	0,3	1,0	3,4
Letzter Zyklus	Poti 1	Poti 2	Poti 3	Poti 4	Poti 5	Poti 6	Poti 7	Poti 8	Poti 9	Poti 10	Poti 11	Poti 12	Poti 13
Maximale Verformung bei -1000 Pa	-1,9	-1,6	-2,8	-1,0	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,9	-0,4	-0,7	-1,1	-1,6
Maximale Verformung bei +1000 Pa	4,2	2,8	4,5	2,3	1,9	0,9	0,6	0,6	0,9	0,2	0,3	1,1	3,4
Anschließende bleibende Verformung	Poti 1	Poti 2	Poti 3	Poti 4	Poti 5	Poti 6	Poti 7	Poti 8	Poti 9	Poti 10	Poti 11	Poti 12	Poti 13
	0,5	0,4	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,4
Alle Verformungsangaben in mm													

Es ist zu erkennen, dass die ermittelten Verformungen am Ende der Belastung (letzter Zyklus) im Wesentlichen den Verformungen des ersten Zyklus entsprechen. Die simulierte Alterung durch Windlasten führte demnach zu keiner Lockerung der Befestigungspunkte. Ebenso konnte bei der visuellen Kontrolle keine Lockerung festgestellt werden.

6.3.4.9 Statische Windlast nach klimatischer Belastung und Dauerfunktion

Tabelle 43 zeigt die an den Messstellen aufgenommenen Verformungen für eine statische Windlast (Sog/ Druck) von 2000 Pa.

Tabelle 43 Gemessene Verformung bei statischer Windlast (Sog/ Druck) nach Klimalast und Dauerfunktion

	Poti 1	Poti 2	Poti 3	Poti 4	Poti 5	Poti 6	Poti 7	Poti 8	Poti 9	Poti 10	Poti 11	Poti 12	Poti 13
Maximale Verformung bei - 200 Pa	-5,0	-3,6	-6,4	-2,6	-2,1	-1,6	-1,4	-1,2	-1,8	-0,9	-1,2	-2,3	-4,2
Maximale Verformung bei + 2000 Pa	2,9	2,3	5,7	2,8	2,4	1,6	1,4	1,3	2,2	1,3	1,4	1,9	2,5
Anschließende bleibende Verformung	0,1	0,2	0,4	0,4	0,4	0,1	0,1	0,1	0,3	0,6	0,4	0,3	0,2

Alle Verformungsangaben in mm

Die Anforderungen an die maximal zulässige Verformung an den Befestigungspunkten werden erfüllt.

6.3.4.10 Sicherheitsversuch

Die erhöhten Druckbelastungen (± 3000 Pa) im Sicherheitsversuch führten zu keinem Versagen der Befestigungsmittel. Das Fenster wurde ausreichend in der Wandöffnung gehalten.

6.3.4.11 Unplanmäßige Nutzung

Beim Pendeln brach am Befestigungspunkt 5 der Ziegel, zudem löste sich die Verklebung zur oberen und unteren Ziegelreihe (siehe Abbildung 62). An allen anderen Befestigungspunkten zeigten sich keine Beschädigungen. Das Fenster wurde ausreichend in der Wand gehalten.



Abbildung 62 Bauteil von außen nach durchgeführtem Pendelschlag

Das „Versagen“ war durch folgende Fakten bedingt:

1. Bei der visuellen Untersuchung des Bruchstücks wurde sichtbar, dass die Ziegelreihen nicht vollflächig verklebt waren und somit die komplette Klebefuge versagt hat.
2. Des Weiteren konnte aufgrund des vorgegebenen Umfassungsrahmens die Leibung nur als Pfeiler ausgebildet werden. Hierdurch konnte kein richtiger Steinverband hergestellt werden. Zusätzlich mussten die Steine ausgeklinkt werden, um in den Umfassungsrahmen eingebaut zu werden. Hierdurch ergab sich eine weitere Schwächung.

Es kann daher davon ausgegangen werden, dass in einer realen Einbausituation, ein solcher Ausbruch mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht vorhanden gewesen wäre.

6.3.5 Wandaufbau 4

6.3.5.1 Aufbau des Bauteils

Für den Wandaufbau 4 wurde der Steintyp 23 aus den Kleinteiluntersuchungen verwendet. Der Wandaufbau erfolgte mit Steinen aus der identischen Charge. Die Montage des Fensters erfolgte mittig in der Leibung, um bei diesem Bauteil eine ausreichende Befestigung im oberen mittigen Sturz zu gewährleisten.

Als Sturz wurden drei betonverfüllte Ziegelstürze eingesetzt. Diese wurden jeweils außen mit der Mauerfläche bündig und einmal mittig dazwischen gesetzt.

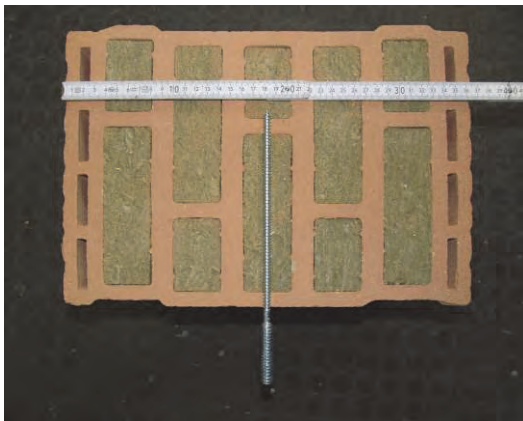


Abbildung 63 Verwendeter Stein sowie Setzposition für den Bauteilversuch 4

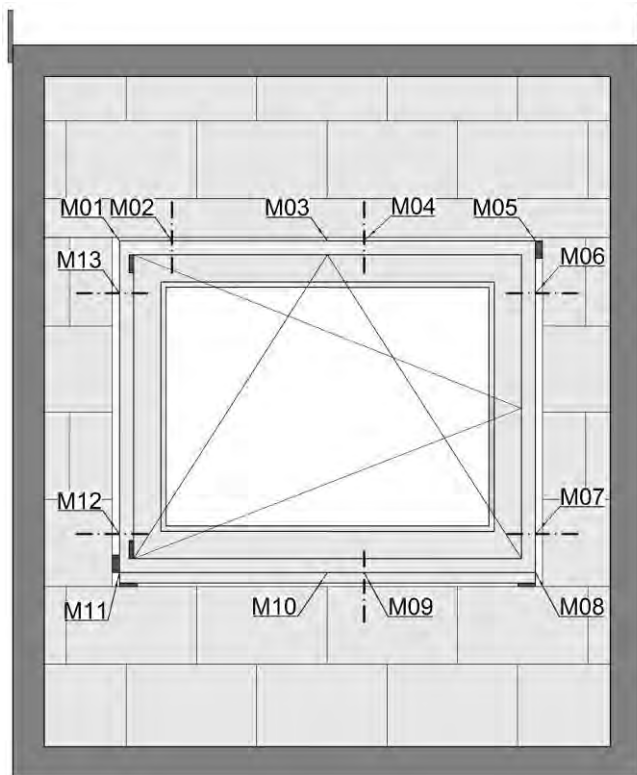
Für die untere Befestigung wurde auch hier die Dämmstofffüllung im Bereich der unteren Befestigung aus dem Hohlraum entnommen und mit Mörtel verfüllt. Nach ausreichender Trocknung erfolgte die Montage des Elementes im unteren Bereich direkt in den mit Mörtel ausgefüllten Bereich.

Das Fenster mit der Abmessung von 1190 mm x 980 mm wurde in diesem Versuch ebenfalls mit einer 30 mm Multiplexplatte ausgefacht und mit Zusatzgewichten auf ein gesamtes Flügelgewicht von 77 kg aufgelastet um ein Glasflächengewicht von 50 kg/m² zu simulieren.



Abbildung 64 Fenster in der Wand montiert mit Zusatzgewichten

Im Bereich des Scherenlagers wurde hier die Befestigungslösung 1, d. h. über Eck Befestigung umgesetzt. Die verwendeten Befestigungsmittel entsprechen denjenigen aus dem Bauteil 3. Der komplette Wandaufbau 4 inkl. der Lage der Befestigungsstellen sowie der Lage der Potentiometer zur Messung der Verformung, ist in Abbildung 54 dargestellt.



M01 - M11 Positionen der Messpunkte
--- Befestigungspunkt

Abbildung 65 Darstellung Bauteil 4 mit Lage der Befestigungspunkte sowie Lage der Messstellen

6.3.6 Ergebnisse Wandaufbau 4

6.3.6.1 Widerstandsfähigkeit gegen Lasten in der Flügelebene

Bei der Prüfung wurde die Verformung in Abhängigkeit der vorhandenen Lasten aufgezeichnet. Die zusätzliche vertikale Nutzlast wurde hierbei bis 600 N erhöht. Die gemessenen Verformungen sind in Tabelle 44 ersichtlich.

Tabelle 44 Gemessene Verformung an den 13 Messstellen in Abhängigkeit der aufgetragenen Last

	Poti 1	Poti 2	Poti 3	Poti 4	Poti 5	Poti 6	Poti 7	Poti 8	Poti 9	Poti 10	Poti 11	Poti 12	Poti 13
Öffnen des Probekörpers	0,7	0,4	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	-0,5	0,1	-1,7	-0,9	0,6
Maximale Verformung unter einer zusätzlichen Last von 200 N	1,2	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	-0,8	0,0	-2,9	-1,7	0,9
Anschließend bleibende Verformung	1,0	0,6	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	-0,7	0,0	-2,3	-1,5	0,7
Maximale Verformung unter einer zusätzlichen Last von 400 N	1,7	1,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,3	-1,1	0,0	-4,0	-2,6	1,2
Anschließend bleibende Verformung	1,2	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	-1	0,1	-3,2	-2,2	0,8
Maximale Verformung unter einer zusätzlichen Last von 600 N	2,1	1,3	0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,2	0,3	-1,3	0,0	-5,1	-3,3	1,6
Anschließend bleibende Verformung	1,3	0,9	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,3	-1,1	0,0	-3,7	-2,6	0,9
Schließen des Probekörpers	0,4	0,3	0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,4	0,0	-0,9	-0,9	0,2

Alle Verformungsangaben in mm

Es ist zu erkennen, dass sich die Befestigungspunkte am Scherenlager durch die „Über-Eck“ Lösung nahezu gleich verformen. Unter der Annahme einer identischen „Federkonstante“ der beiden Befestigungspunkte, ergibt sich eine gleichförmige Lastaufteilung auf die Befestigungsmittel.

Die Last führt am Befestigungspunkt im Bereich des Ecklagers zu deutlich größeren Verformungen bedingt dadurch, dass die Gesamtlast nur über einen Befestigungspunkt abgetragen wird. Bei einer Vertikalen Nutzlast von 600 N wird die für die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit definierte Verformung von 3 mm leicht überschritten.

Abbildung 66 zeigt die Versuchsdurchführung für den 90°geöffneten Flügel mit einer zusätzlichen vertikalen Nutzlast von 600 N (Klasse 3).



Abbildung 66 Geöffneter Flügel mit zusätzlicher vertikaler Nutzlast von 600 N

Der geprüfte Lastfall wurde ebenso durch das statische Modell berechnet. Abbildung 58 stellt die gemessene sowie berechnete Verformung gegenüber.

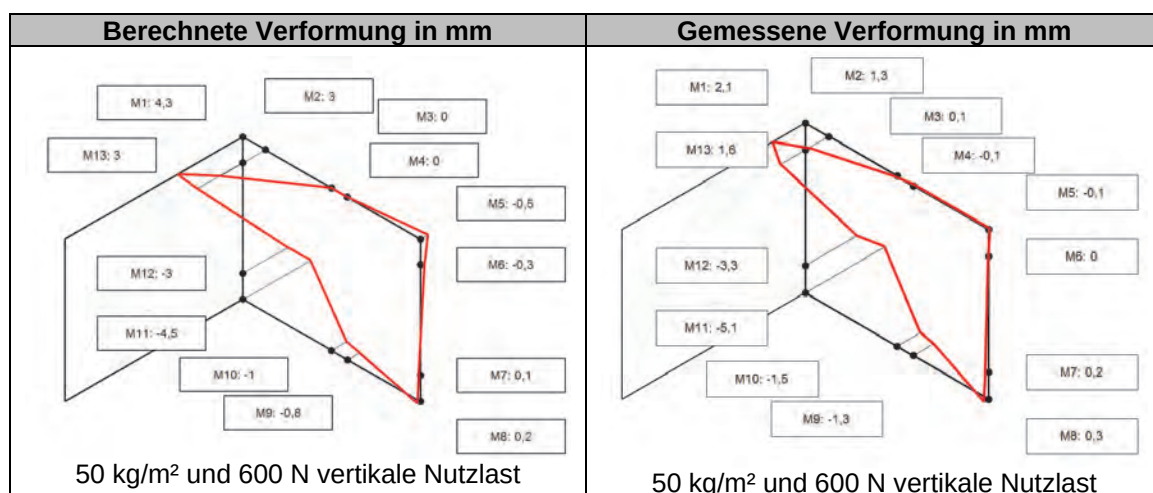


Abbildung 67 Gegenüberstellung der berechneten sowie gemessenen Verformungen

Der Vergleich der berechneten mit der gemessenen Verformung zeigt qualitativ eine sehr gute Übereinstimmung. Qualitativ ist jedoch ein großer Unterschied zwischen Berechnung und Messung bei der Verformung der Befestigungspunkte über Eck (Messstelle 13 und 2) zu erkennen. Während bei der statischen Simulation Auslenkungen von 3 mm berechnet wurden, liegen die gemessenen Werte mit 1,6 sowie 1,3 mm bei gut der Hälfte. Eine Erklärung hierfür konnte nicht gefunden werden.

6.3.6.2 Statische Windlast

Tabelle 45 zeigt die an den Messstellen aufgenommenen Verformungen für eine statische Windlast (Sog/ Druck) von 2000 Pa.

Tabelle 45 Gemessene Verformung bei statischer Windlast (Sog/ Druck)

	Poti 1	Poti 2	Poti 3	Poti 4	Poti 5	Poti 6	Poti 7	Poti 8	Poti 9	Poti 10	Poti 11	Poti 12	Poti 13
Maximale Verformung bei -2000 Pa	-0,5	-0,6	-0,9	-0,9	-1,0	-1,0	-1,2	-1,3	-1,7	-0,2	-1,2	-1,1	-0,8
Maximale Verformung bei +2000 Pa	0,3	0,5	0,8	0,8	0,9	0,9	1,1	1,2	2,5	0,0	3,2	2,8	0,8
Anschließende bleibende Verformung	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,8	-0,1	2,2	1,7	0,2

Alle Verformungsangaben in mm

Der Vergleich der gemessenen mit der berechneten Verformung bei statischer Windlast ist in Abbildung 68 dargestellt.

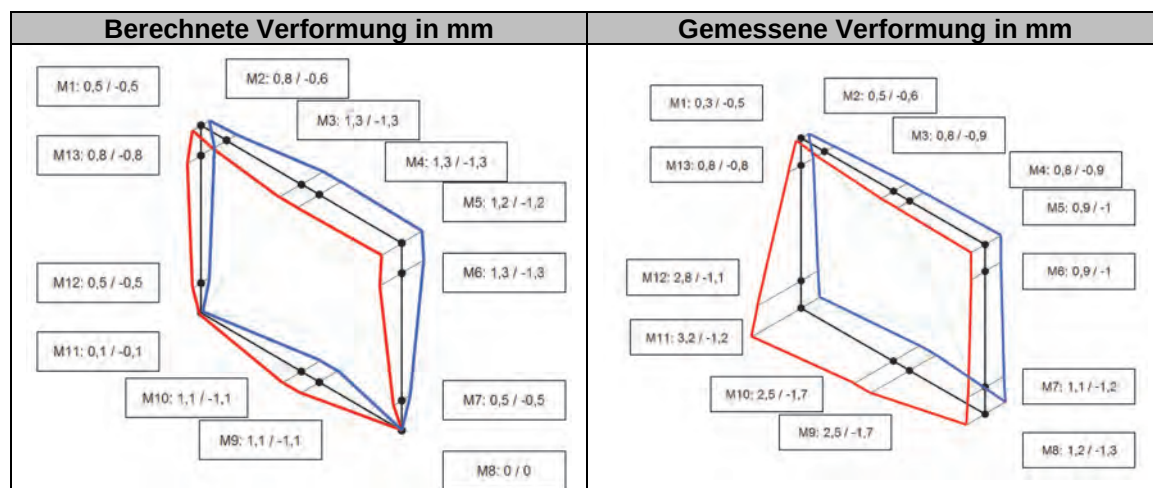


Abbildung 68 Gegenüberstellung der berechneten sowie gemessenen Verformungen

Beim Vergleich der gemessenen und berechneten Verformungen fällt zunächst bei den gemessenen Verformungen im unteren Bereich des Fensters ein großer Unterschied zwischen Windsog und Winddruck auf. Während bei Windsog noch eine weitgehend gleichmäßige Verformung der Befestigungspunkte festgestellt wurde, sind die Auslenkungen bei Winddruck im unteren sowie linken Bereich deutlich größer. Dies fällt auch insbesondere beim Vergleich mit den berechneten Verformungen auf. Als Ursache hierfür wird das in der realen Einbausituation verwendete Fensterbankprofil angesehen, das nicht starr mit



dem Blendrahmen verbunden, sondern mittels einer Klipsverbindung am Blendrahmen befestigt ist.

Ebenso kann nicht ausgeschlossen werden, dass es sich hier um Messartefakte handelt. Dies wird dadurch nahegelegt, dass bei der Wiederholung der Prüfung nach Klimabelastung und Dauerfunktion (siehe Kapitel 6.3.6.7) dieses Verhalten nicht mehr auftrat.

Eine Lockerung der Befestigungspunkte durch die eingeleiteten Lasten wurde nicht festgestellt.

6.3.6.3 Druck-Sog-Wechselasten

Die bei den Druck-Sog-Wechselasten aufgezeichneten Verformungen für den ersten sowie den letzten Zyklus sind in Tabelle 46 dargestellt.

Tabelle 46 Gemessene Verformung bei Druck-/ Sog-Wechselast

Erster Zyklus	Poti 1	Poti 2	Poti 3	Poti 4	Poti 5	Poti 6	Poti 7	Poti 8	Poti 9	Poti 10	Poti 11	Poti 12	Poti 13
Maximale Verformung bei -1000 Pa	-0,2	-0,3	-0,5	-0,5	-0,5	-0,6	-0,8	-0,9	-1,2	-0,1	-1,4	-1,3	-0,5
Maximale Verformung bei +1000 Pa	0,1	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,4	0,4	0,9	0,1	0,4	0,4	0,3
Letzter Zyklus	Poti 1	Poti 2	Poti 3	Poti 4	Poti 5	Poti 6	Poti 7	Poti 8	Poti 9	Poti 10	Poti 11	Poti 12	Poti 13
Maximale Verformung bei -1000 Pa	-0,2	-0,3	-0,5	-0,5	-0,5	-0,6	-0,8	-0,8	-1,2	-0,1	-1,2	-1,1	-0,5
Maximale Verformung bei +1000 Pa	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,7	0,0	0,2	0,3	0,2
Anschließende bleibende Verformung	Poti 1	Poti 2	Poti 3	Poti 4	Poti 5	Poti 6	Poti 7	Poti 8	Poti 9	Poti 10	Poti 11	Poti 12	Poti 13
	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,2	-0,2	-0,1

Alle Verformungsangaben in mm

Es ist zu erkennen, dass die ermittelten Verformungen am Ende der Belastung (letzter Zyklus) im Wesentlichen den Verformungen des ersten Zyklus entsprechen. Die simulierte Alterung durch Windlasten führte demnach zu keiner Lockerung der Befestigungspunkte.

6.3.6.4 Klima Wechselasten

Die während der Klimawechselast ermittelten maximalen Verformungen sind in Tabelle 47 dargestellt.

Tabelle 47 Gemessene Verformung bei Klima-Wechselast

	Poti 1	Poti 2	Poti 3	Poti 4	Poti 5	Poti 6	Poti 7	Poti 8	Poti 9	Poti 10	Poti 11	Poti 12	Poti 13
Maximale Verformung bei +60°C	0,5	0,1	-0,2	-0,1	0,4	0,1	-0,1	0,3	-0,2	-0,6	0,1	0,1	0,1
Maximale Verformung bei -15°C	-0,8	0,0	0,6	0,5	-1,2	-0,1	0	-0,9	1,2	-1,4	-0,8	0,3	0,2

Alle Verformungen in mm

Die angegebenen Verformungen beziehen sich hierbei auf die Änderung gegenüber der Lage bei Raumtemperatur auf beiden Seiten. An den Befestigungspunkten liegen die ermittelten maximalen Verformungen alle deutlich unter der Vorgabe der maximalen Verformung von 3 mm. Ebenso zeigte sich bei der visuellen Kontrolle der Befestigungspunkte keine Lockerung der Befestigungsmittel.

6.3.6.5 Dauerfunktion

Die Dauerfunktionsprüfung wurde positiv durchlaufen. Es wurden bei der visuellen Kontrolle keine lockeren Befestigungspunkte festgestellt.

6.3.6.6 Druck-Sog-Wechselasten nach klimatischer Belastung und Dauerfunktion

Die bei den Belastungen aufgezeichneten Verformungen für den ersten sowie den letzten Zyklus sind in Tabelle 48 dargestellt.

Tabelle 48 Gemessene Verformung bei Druck-/ Sog-Wechselast nach Klimast und Dauerfunktion

Erster Zyklus	Poti 1	Poti 2	Poti 3	Poti 4	Poti 5	Poti 6	Poti 7	Poti 8	Poti 9	Poti 10	Poti 11	Poti 12	Poti 13
Maximale Verformung bei -1000 Pa	-0,1	-0,2	-0,4	-0,4	-0,7	-0,7	-0,9	-0,9	-1,1	-1,1	-0,7	-0,5	-0,3
Maximale Verformung bei +1000 Pa	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,7	0,8	1	1,1	0,7	0,8	0,3
Letzter Zyklus	Poti 1	Poti 2	Poti 3	Poti 4	Poti 5	Poti 6	Poti 7	Poti 8	Poti 9	Poti 10	Poti 11	Poti 12	Poti 13
Maximale Verformung bei -1000 Pa	-0,1	-0,2	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,9	-0,9	-1,1	-1,1	-0,6	-0,5	-0,3
Maximale Verformung bei +1000 Pa	0,3	0,2	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7	0,8	1	1,1	0,7	0,8	0,3
Anschließende bleibende Verformung	Poti 1	Poti 2	Poti 3	Poti 4	Poti 5	Poti 6	Poti 7	Poti 8	Poti 9	Poti 10	Poti 11	Poti 12	Poti 13
	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,4	0,4	0

Alle Verformungsangaben in mm

Es ist zu erkennen, dass die ermittelten Verformungen am Ende der Belastung (letzter Zyklus) im Wesentlichen den Verformungen des ersten Zyklus entsprechen. Die simulierte Alterung durch Windlasten nach Dauerfunktion und klimatischer Belastung führte demnach zu keiner Lockerung der Befestigungspunkte. Ebenso konnte bei der visuellen Kontrolle keine Lockerung festgestellt werden.

6.3.6.7 Statische Windlast nach klimatischer Belastung und Dauerfunktion

Tabelle 49 zeigt die an den Messstellen aufgenommenen Verformungen für eine statische Windlast (Sog/ Druck) von 2000 Pa.

Tabelle 49 Gemessene Verformung bei statischer Windlast (Sog/ Druck) nach Klimast und Dauerfunktion

	Poti 1	Poti 2	Poti 3	Poti 4	Poti 5	Poti 6	Poti 7	Poti 8	Poti 9	Poti 10	Poti 11	Poti 12	Poti 13
Maximale Verformung bei -2000 Pa	-0,5	-0,5	-1	-1	-1,3	-1,4	-1,7	-1,7	-2,3	-2,4	-2,1	-1,9	-0,8
Maximale Verformung bei +2000 Pa	0,4	0,4	0,7	0,8	0,9	1	1,2	1,4	2	2,0	1,3	1,3	0,7
Anschließende bleibende Verformung	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1

Alle Verformungsangaben in mm

Die Anforderungen an die maximal zulässige Verformung an den Befestigungspunkten werden erfüllt.



6.3.6.8 Sicherheitsversuch

Die erhöhten Druckbelastungen (± 3000 Pa) im Sicherheitsversuch führten zu keiner Lockerung oder eines Versagens der Befestigungsmittel. Das Fenster wurde ausreichend in der Wandöffnung gehalten.

6.3.6.9 Unplanmäßige Nutzung

Hier blieb das Fenster fest mit dem Mauerwerk verbunden, ein Lockern der Befestigungsmittel konnte ebenfalls nicht festgestellt werden.

7 Untersuchungen zum Einfluss der Torsionsbehinderung

Die Ermittlung der Tragfähigkeit der Befestigungsmittel mit freier Schraubenlänge erfolgte in der ersten Runde der Untersuchungen mit einem Adapter, der eine freie Verdrehbarkeit des Befestigungsmittels simuliert.



Abbildung 69 Lasteinleitung beim Kleinteilversuch mit freier Verdrehbarkeit

Eine freie Drehbarkeit der Schraube ist in der realen Einbausituation im Fensterrahmen nicht gegeben. In der Realität ist die Schraube im Rahmen gehalten. Hierdurch ist eine Teileinspannung der Schraube vorhanden. Diese Teileinspannung behindert die freie Drehbarkeit der Schraube. Je nach Rahmenmaterial bzw. des Trägheitsmomentes ist diese Teileinspannung unterschiedlich.

Daher wurden im Rahmen des Projektes Untersuchungen durchgeführt, um zu ermitteln, wie die am realen Fenster vorhandene Torsionsbehinderung die Tragfähigkeit beeinflusst.

Hierzu wurde im ersten Schritt an Fenstern unterschiedlicher Rahmenmaterialien die Verdrehung des Rahmenprofils in Abhängigkeit der Belastung untersucht.

Die zur Untersuchung verwendeten Fenstertüren wurden alle in einem Umfassungsrahmen aus Stahl-Rechteckrohr montiert. Die Fuge zwischen Element und Stahlrahmen betrug umlaufend 20 mm. Die Befestigung der Elemente erfolgte mit Schrauben des Typs AMO III 7,5. Die Belastung der Elemente erfolgte durch auf das Element aufgebrachte Windlasten, sowohl Druck als auch Sog. Zur Ermittlung der Torsion des Blendrahmens wurde eine entsprechende Vorrichtung auf den Blendrahmen der jeweils untersuchten Fenstertüre montiert. Die Ermittlung der auftretenden Torsion in Abhängigkeit der am Befestigungselement auftretenden Last erfolgte durch Berechnung anhand der mittels zweier Potentiometer gemessenen Lageveränderung der Vorrichtung. Gemessen wurde die Torsion an unterschiedlichen Positionen des Blendrahmens:

- Im Bereich der unteren Blendrahmenecke
- In direkter Nähe eines Befestigungspunktes auf der Längsseite der Fenstertüre

- In der Mitte zwischen zwei Befestigungspunkten auf der Längsseite der Fenstertüre

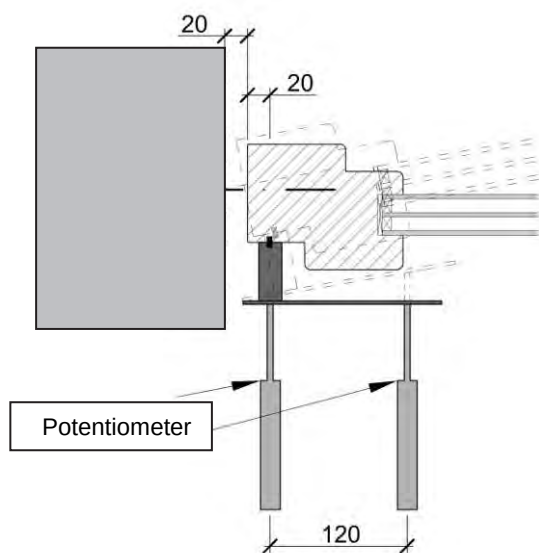


Abbildung 70 Prinzipskizze zur Messung der Torsion

Die Berechnung der Last auf das Befestigungselement erfolgte hierbei unter der Annahme einer gleichmäßigen Verteilung der Flächenlast durch Wind auf die Befestigungselemente.

Aus den ermittelten Torsionen als Funktion der einwirkenden Kraft wurde durch lineare Regression die jeweilige mittlere Torsionssteifigkeit ermittelt. Die Ausgleichsgeraden sind in den jeweiligen Diagrammen dargestellt.

Tabelle 50 zeigt die entsprechend abgeleiteten „Torsionskonstanten“ in Abhängigkeit des Rahmenmaterials, sowie des „Messortes“. Des Weiteren sind die Konstanten sowohl für die Belastung „Sog“ als auch für die Belastung „Druck“ angegeben.

Tabelle 50 Ermittelte Torsionskonstanten; Erster Wert für Sog, Zweiter Wert für Druck

Rahmenmaterial	Ermittelte Torsionskonstante in °/kN		
	Befestigungspunkt Längsseite	Zwischen zwei Befestigungspunkten Längsseite	Bereich Blendrahmenecke
Aluminium	2,8 / 2,4	2,5 / 1,9	0,8 / 0,8
Holz	2,6 / 2,8	2,6 / 1,8	0,5 / 0,3
PVC mit □ Aussteifung	7,9 / 6,1	5,9 / 3,9	3,4 / 3,0
PVC mit U-Aussteifung	7,9 / 6,7	8,2 / 6,1	1,9 / 1,8

Wie zu erkennen ist, ergeben sich für das Rahmenmaterial PVC die größten Torsionswerte. Der Einfluss der Aussteifung (Rechteckrohr vs. offenes U-Profil) ergab keine signifikanten Unterschiede. Die Torsionskonstanten für die beiden anderen Rahmenmaterialien Aluminium sowie Holz liegen für die Position des Befestigungsmittels um den Faktor 3 niedriger als für das Rahmenmaterial PVC. Für Sog und Druck ergeben sich teilweise stärker abweichende Torsionskonstanten; dies vor allen Dingen beim Rahmenmaterial PVC. Die Abweichungen können durch eine unterschiedliche Lasteinleitung begründet werden. So wird die Flächenlast des Flügels bei Sog mittels einer umlaufenden „Linienlast“ an den Blendrahmen übertragen. Der Flügel liegt umlaufend auf dem Blendrahmen auf. Bei Überdruck hingegen wird der Flügel vom Blendrahmen „abgehoben“. Die Lastübertragung auf den Blendrahmen erfolgt hierbei nur punktuell durch die Schließstücke des Beschlages.

Aus den Messungen an den beiden PVC Varianten kann eine Torsionskonstante von $8^\circ/\text{kN}$ begründet werden.

Um den Einfluss der Torsionsbehinderung bei der Ermittlung der Tragfähigkeit der Befestigungsmittel zu berücksichtigen wurde daher ein entsprechender Adapter angefertigt, der in Abbildung 71 schematisch dargestellt ist. Die Krafteinleitung erfolgt über eine drehbar gelagerte Platte. Die Verdrehung der Platte und somit die Verdrehung des eingespannten Rechteckrohrs wird mittels einer Druckfeder behindert. Die Federkonstante k der Druckfeder ist so zu bemessen, dass sich eine effektive Torsionskonstante von $8^\circ/\text{kN}$ ergibt. Unter Berücksichtigung der Abmessung, wie in der Skizze angegeben, ergibt sich die Federkonstante k zu ca. 90 N/mm .

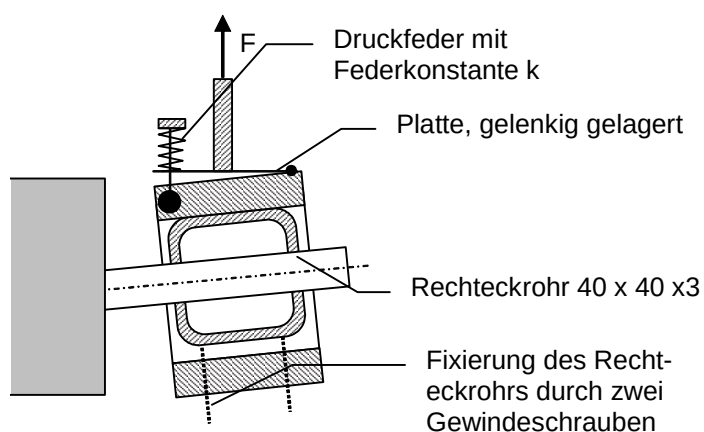


Abbildung 71 Schematische Darstellung des Adapters zur Berücksichtigung der Torsion

Um den Einfluss zu untersuchen, wurden an gleichen Steinen sowohl Zugversuche mit freier Drehbarkeit, als auch mit dem speziellen Adapter durchgeführt. Der Abstand zwi-

schen Ziegeloberfläche und dem Punkt der Krafteinleitung betrug bei allen Versuchen 20 mm.

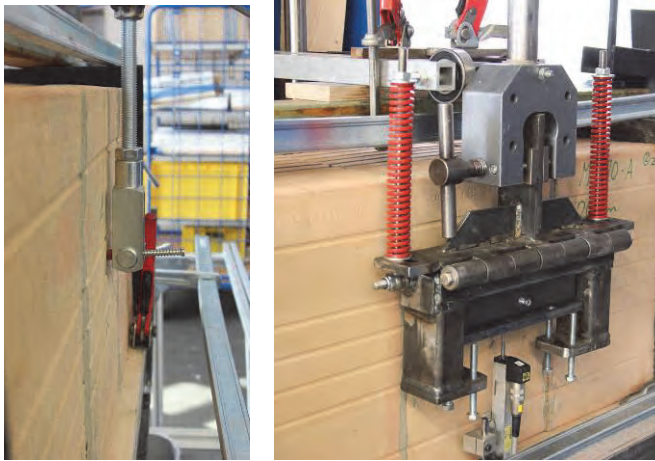


Abbildung 72 Versuchsaufbau zum Einfluss der Torsionsbehinderung
links: freie Verdrehbarkeit
rechts: Adapter der das reale Verhalten des Fensterrahmens nachstellen sollte

Bei der Durchführung der Versuche zeigte sich jedoch, dass mit dem entwickelten Adapter die Fragestellung leider nicht zielführend beantwortet werden konnte. Die Ursache hierfür liegt im Wesentlichen dadurch begründet, dass die Drehachse des Adapters gegenüber der Ebene der Lasteinleitung (Achse der Zugprüfmaschine) verschoben ist. Hierdurch klappt der untere Teil des Adapters aus der Ebene der Krafteinleitung und es ergibt sich eine entsprechende Querkraft, die als zentrische Zuglast in das Befestigungsmittel eingeleitet wird. Ebenso war durch das „Wegklappen“ keine definierte Messung des Weges möglich. Der Effekt des Wegklappens ist aus Abbildung 73 ersichtlich.

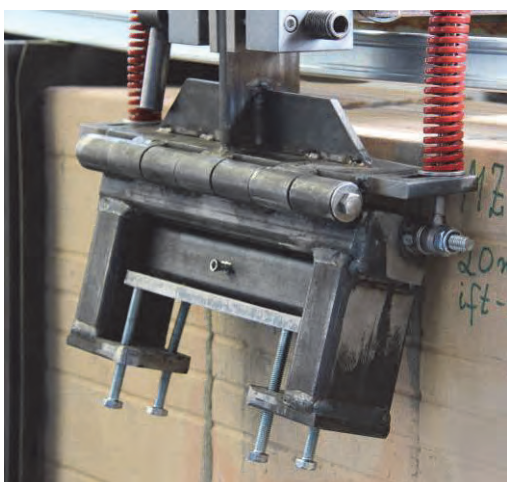


Abbildung 73 Wegklappen des unteren Teils des Adapters

Es war daher im Rahmen des Forschungsvorhabens leider nicht möglich, die Auswirkung der Torsionsbehinderung detailliert zu quantifizieren. Hierzu sollten in der Zukunft weitere Untersuchungen durchgeführt werden.

8 Kleinteilversuche am Einzelstein Runde 2

8.1 Vorversuche zur Ausbildung der Probekörper

Die Untersuchungen an den Einzelsteinen in der Runde 1 wurden an Probekörpern durchgeführt, die nur aus einem Einzelstein bestanden. Um den Stein vor dem Verrutschen und Abheben zu sichern wurde dieser hydraulisch im Bereich der Lagerfugenflächen mit einer Einspannkraft von ca. 18 kN eingespannt. Dies entspricht einer Flächenlast von $0,2 \text{ N/mm}^2$ [13] für einen Standardstein mit der Abmessung $248 \times 365 \times 249 \text{ mm}$. Zwischen dem Prüfkörper und den Einspannplatten der Apparatur wurde jeweils eine Antirutschmatte eingelegt. Diese sicherte die Verbindung zwischen Stahlplatte und Prüfkörper vor dem Verrutschen.

Da der Stein bei diesem Versuchsaufbau nicht in einem Verband geprüft wird, wie er in der Realität auftritt, stellte sich die Frage, ob durch die Untersuchungen an Steinverbänden andere Ergebnisse der Tragfähigkeit zu erwarten wären. Bei einem Steinversagen könnte z.B. Last von dem zu prüfenden Stein über die Lagerfuge an die benachbarten Steine übertragen werden.

Um diese Frage zu klären, wurden entsprechende vergleichende Untersuchungen an Einzelsteinen sowie an entsprechenden Steinverbänden durchgeführt. Die Versuche wurden als reine Querkzugversuche konzipiert (siehe auch Abbildung 74).

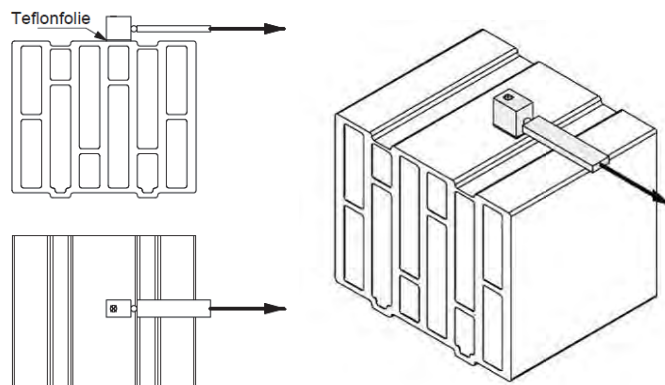


Abbildung 74 Schematische Darstellung des Querkzugversuches

Die Versuchsdurchführung an den Einzelsteinen erfolgte weitgehend identisch zu den bereits vorgestellten Versuchen der Runde 1. Um weiterhin den Einfluss der Antirutschmatte zu untersuchen wurde bei der Hälfte der Probekörper keine Antirutschmatte zwischen Stein und Spannplatte eingelegt.

Für die Versuche an Steinverbänden wurden zunächst Verbände aus den zu untersuchenden Steinen hergestellt. Die Vorgehensweise hierzu ist in Kapitel 8.2 detailliert dargestellt.

Für die Untersuchungen kam sowohl ein gefüllter Großkammerziegel, als auch ein ungefüllter filigraner Ziegel zum Einsatz. Die verwendeten Lochbilder können Abbildung 75 entnommen werden, ebenso wie die in den Untersuchungen verwendete Setzposition A. Bei den Dreierverbänden wurde immer eine Antirutschmatte zwischen Stein und Spannplatte eingebracht. Auch hierbei wurde die „Vorspannung“ mit einer Flächenlast von $0,2 \text{ N/mm}^2$ aufgebracht.

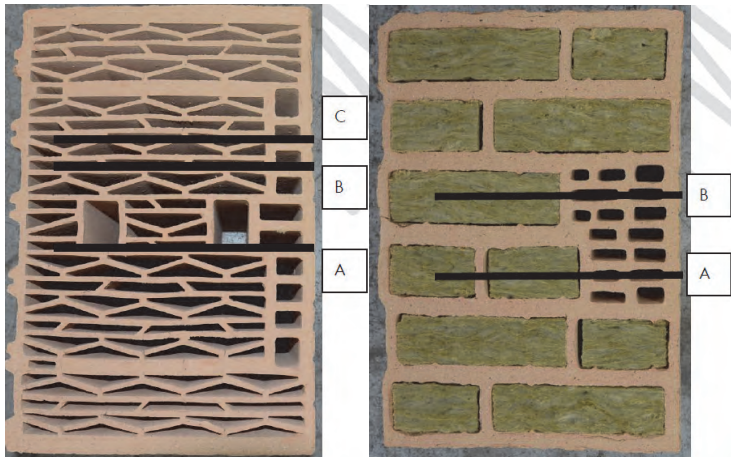


Abbildung 75 Steine für die Untersuchungen zum Probekörperaufbau
links: Steintyp 50
rechts: Steintyp 60



Abbildung 76 Probekörper in der Untersuchung
links: Einzelstein
rechts: Verband aus 3 Steinen

Das komplette Versuchsprogramm kann der Tabelle 51 entnommen werden, die ermittelten Versagenslasten sind in Tabelle 52 enthalten.

Tabelle 51 Versuchsprogramm der durchgeführten Versuche zur Probekörperausbildung

Steintyp Nr.	Versuchsart	Setzposition	Befestigungsmittel	Größe Ziegel in mm	Probekörper	Versuchsanzahl
50	Q_	A	W-UR 8	248x365x249	Einzelstein	6*
50	Q_	A	Dübelschraube 6	248x365x249	Dreierverband	5
60	Q_	A	W-UR 10 XXL	248x365x249	Einzelstein	6*
60	Q_	A	AMO III 7,5 x 252	248x365x249	Dreierverband	5

* Von den 6 Versuchen wurden 3 mit und 3 ohne Antirutschmatte durchgeführt.

Tabelle 52 Versuchsergebnisse der durchgeführten Versuche zur Probekörperausbildung

Ver-suchs-serie	Probekörperausführung	Mittelwert N_u in kN	Variationskoeffizient für N_u in %	5,0 % Fraktile log R_k in kN
50_Q_A	Einzelstein	2,5	13,9	1,7
50_Q_A	Dreierverband	2,7	10,4	1,9
60_Q_A	Einzelstein	3,6	18,0	2,0
60_Q_A	Dreierverband	5,8	7,7	4,5

Wie zu erkennen ist, liegen die ermittelten Bruchlasten bei beiden untersuchten Lochbildern im Dreierverband höher als die am Einzelstein ermittelten Werte. Dies gilt sowohl für die Mittelwerte der Einzelmessungen, als auch für die statistisch ermittelten charakteristischen Tragfähigkeiten R_k .

Beim Steintyp 50 wurde durch den Dreierverband eine um ca. 10 % höhere charakteristische Tragfähigkeit gegenüber dem Einzelstein ermittelt. Es wurden keine weiteren Analysen durchgeführt, ob die Erhöhung statistisch signifikant ist. Es haben sich jedoch im Versuch deutlich unterschiedliche Versagensmechanismen ergeben. Bei den Versuchen am Einzelstein mit Antirutschmatte war in allen drei Fällen ein Spalten des Steines zu beobachten. Beim Weglassen der Antirutschmatte bildete sich in allen drei Versuchen ein Langloch und das Befestigungsmittel wurde aus dem Verankerungsgrund herausgezogen (Abbildung 77).



Abbildung 77 Verankerungsgrund (Steintyp 50) und Dübelssystem nach der Versuchsdurchführung am Einzelstein
Unten: Versuchsaufbau mit Antirutschmatte
Oben: Versuchsaufbau ohne Antirutschmatte

Die bei den sechs Versuchen am Einzelstein ermittelten Höchstwerte der Belastung (N_u) unterscheiden sich zwischen den Versuchen mit und ohne Antirutschmatte, jedoch nicht wesentlich. So lagen die drei Einzelwerte bei der Verwendung der Antirutschmatte bei 2,50 kN, 2,38 kN sowie 2,25 kN. An den Aufbauten ohne Antirutschmatte wurden Einzelwerte von 2,67 kN, 3,16 kN und 2,22 kN ermittelt.

Als Versagensart bei den Untersuchungen im Dreierverband mit dem Steintyp 50 wurde bei allen 5 Versuchen eine Langlochbildung mit Herausziehen des Befestigungsmittels aus dem Verankerungsgrund beobachtet (siehe Abbildung 78).



Abbildung 78 Verankerungsgrund (Steintyp 50) und Dübelssystem nach der Versuchsdurchführung am Dreierverband

Beim Steintyp 60 ergibt sich ein signifikanter Unterschied der ermittelten Tragfähigkeiten am Einzelstein zum Dreierverband. Die am Dreierverband ermittelte charakteristische Tragfähigkeit ist mehr als doppelt so groß wie der am Einzelstein ermittelte Wert. Dies zeigt sich auch deutlich im Versagen. Beim Einzelstein bestand das Versagen immer im Spalten des Steins. Dies sowohl beim Einsatz einer Antirutschmatte als auch beim Versuchsaufbau ohne Antirutschmatte. Abbildung 79 zeigt die Proben nach der Prüfung.



Abbildung 79 Verankerungsgrund (Steintyp 60) und Dübelssystem nach der Versuchsdurchführung am Einzelstein
Unten: Versuchsaufbau mit Antirutschmatte
Oben: Versuchsaufbau ohne Antirutschmatte

Beim Dreierverband konnte kein Spalten des Steines beobachtet werden. Als Versagensart konnte hier die Bildung eines Langloches mit Herausziehen des Dübels sowie ein Ausbrechen des Steines um das Befestigungsmittel herum beobachtet werden. Bei einem der 5 Versuche brach am Ende des Versuches die Schraube.



Abbildung 80 Verankerungsgrund (Steintyp 60) und Dübelssystem nach der Versuchsdurchführung am Dreierverband
links: Alle untersuchten Probekörper
rechts: Detailaufnahme

Fazit

Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass der „Aufbau des Probekörper“ sowie Details bei der Durchführung der Zugversuche signifikante Auswirkungen auf die ermittelte charakteristische Tragfähigkeit sowie die Versagensart haben kann. Eine Aussage über die Größe des Einflusses kann aufgrund der geringen Stichprobe nicht allgemeingültig abgeleitet werden. Prinzipiell kann aber empfohlen werden, die Tragfähigkeit von hochwärmedämmendem Ziegelmauerwerk in der Leibung an Steinverbänden zu er-

mitteln, da hierbei davon ausgegangen werden kann, dass dieser Aufbau die Realität besser abbildet.

Die weiteren Versuche, die im nächsten Kapitel beschrieben werden, wurden daher alle an entsprechenden Dreierverbänden durchgeführt.

8.2 Ermittlung der Tragfähigkeiten in speziellen Leibungsziegel

Zur Erstellung von Fenster- und Türleibungen bietet die Ziegelindustrie spezielle Leibungsziegel mit einem verstärkten Mittelbereich an, die eine optimierte Befestigung von Fenstern und Türen ermöglichen. Diese Ziegelvarianten haben den Vorteil, dass der Dübel mehrere Stege erfasst. Durch die massive Ausbildung dieser Stege wird die Verankerung optimiert. Durch die glatte Oberfläche im Bereich der Leibung bieten diese Ziegel auch den Vorteil, die Fenster ohne zusätzlichen Glattstrich einbauen zu können. Hierdurch wird sowohl das Setzen des Fensters, als auch die Umsetzung der inneren und äußeren Abdichtung erleichtert.

Im Rahmen des Vorhabens wurden an zwei ausgewählten Varianten Untersuchungen zur Tragfähigkeit durchgeführt. Zum einen wurde ein ungefüllter filigraner Ziegel verwendet. Ebenso wurde ein gefüllter Großkammerziegel untersucht. Die Querschnitte der untersuchten Planziegel sind in Abbildung 81 sowie Abbildung 82 dargestellt. Ebenso sind die jeweiligen Setzpositionen des Befestigungsmittels im Stein eingezeichnet.

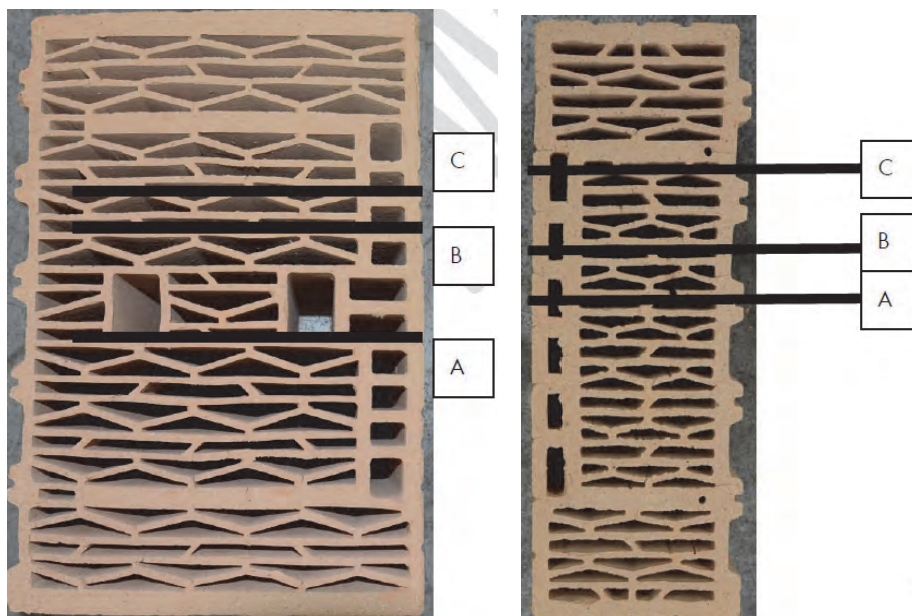


Abbildung 81 Verstärkter Leibungsziegel, ungefüllt filigran
links: Ganzer Stein, Steintyp 50 mit den Setzpositionen A, B und C
rechts: Halber Stein, Steintyp Nr 51 mit den Setzpositionen A, B und C

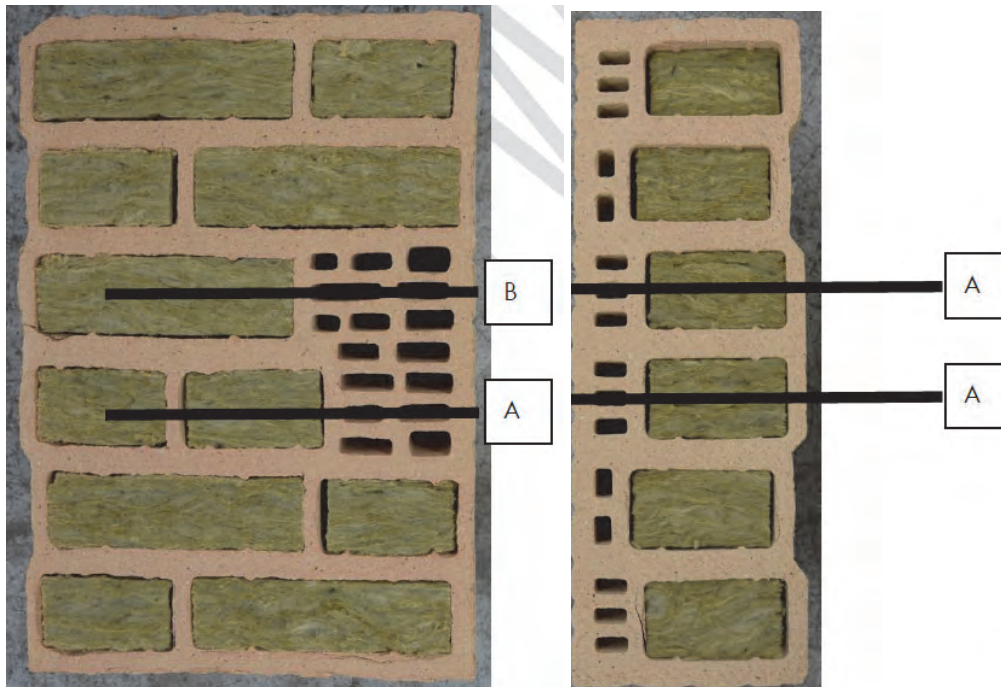


Abbildung 82 Verstärkter Leibungsziegel, gefüllt Großkammer
links: Ganzer Stein, Steintyp 60 mit den Setzpositionen A und B
rechts: Halber Stein, Steintyp 61 mit der Setzposition A

Die Ermittlung der Tragfähigkeit der Steine erfolgte an hierzu hergestellten Verbänden aus je drei Ziegelsteinen unter Einsatz von Dünnbettmörtel „ZiegelPlan ZP 99“. Hierzu wurde zunächst der unterste Stein befeuchtet. Anschließend wurde beim nächsten Stein eine Lagerfläche in Wasser und danach in den nach Herstellerangaben angerührten Dünnbettmörtel eingetaucht und auf den zuvor befeuchteten Stein gesetzt und ausgerichtet. Die Lagerfläche des zweiten Steins wurde nun wieder befeuchtet. Der dritte Stein wurde nun identisch zum zweiten zuerst in Wasser und anschließend in den Dünnbettmörtel eingetaucht und auf den befeuchteten zweiten Stein gesetzt und ausgerichtet. Der Ablauf ist exemplarisch in Abbildung 83 dargestellt



a) Befeuchten des ersten Steins



b) Befeuchten des zweiten Steins



c) Tauchen des Steins in Dünnbettmörtel



d) Setzen und Ausrichten des Steins

Abbildung 83 Herstellung des Verbands für die Untersuchungen.

Bei der Herstellung von Probekörpern mit einem halben Stein wurde hinter dem halben Leibungsziegel noch ein ganzer Stein vermauert. Ein Beispiel eines Dreierverbandes mit einem halben Stein ist in Abbildung 84 zu sehen.



Halber Leibungs-
ziegel

Ganzer Leibungs-
ziegel

Abbildung 84 Fertiger Verband am Beispiel eines halben Ziegels

Ziel der Versuche war zum einen die Ermittlung der Tragfähigkeiten der ausgewählten Steine zu ermitteln. Ebenso sollte durch die Variation der freien Hebelarmlänge der Einfluss unterschiedlich breiter Montagefugen auf die Tragfähigkeit, als auch die Verformung ermittelt werden. Das hierzu durchgeführte Prüfprogramm kann Tabelle 53 entnommen werden.

**Tabelle 53** Versuchsprogramm der durchgeführten Versuche zur Ermittlung der Tragfähigkeit

Steintyp Nr.	Versuchsart	Setzposition	Hebelarm in mm	Befestigungsmittel	Größe Ziegel in mm	Versuchsanzahl
50	B_	A	15	W-UR 10 XXL AMO III 7,5 x 252	240x365x249	5
50	B_	A	20		240x365x249	5
50	B_	A	30		240x365x249	5
50	B_	B	20		240x365x249	5
50	B_	C	20		240x365x249	5
51	B_	A	20		123x365x249	5
51	B_	B	20		123x365x249	5
51	B_	C	20		123x365x249	5
60	B_	A	15		248x365x249	5
60	B_	A	20		248x365x249	5
60	B_	A	30		248x365x249	5
60	B_	B	20		248x365x249	5
61	B_	A	20		123x365x249	5

Tabelle 54 stellt alle Ergebnisse der durchgeführten Versuche dar. Die Diskussion der Ergebnisse erfolgt in den nächsten Kapiteln.

Tabelle 54 Ergebnisse der durchgeführten Kleinteilversuche zur Tragfähigkeit

Versuchsserie	Hebelarm in mm	Mittelwert		Variationskoeffizient für		5,0 % Fraktile log	
		N _u in kN	N _{3mm} in kN	N _u in %	N _{3mm} in %	R _k in kN	R _{k,3mm} in kN
50_B_A	15	3,07	1,11	12	14	2,05	0,65
50_B_A	20	2,96	0,71	12,9	7,1	1,92	0,54
50_B_A	30	3,22	0,42	7,8	6,5	2,46	0,33
50_B_B	20	3,09	1,00	5,2	3,9	2,59	0,87
50_B_C	20	3,22	0,92	16	8,9	1,9	0,66
51_B_A	20	3,34	0,94	32,7	3,86	1,02	0,83
51_B_B	20	2,89	0,92	27,1	5,7	0,94	0,76
51_B_C	20	2,78	0,82	11,4	15,9	1,87	0,44
60_B_A	15	4,53	1,42	8,6	5,2	3,36	1,19
60_B_A	20	4,96	0,91	6,6	5	3,74	0,76
60_B_A	30	5,06	0,56	2,1	6,4	4,72	0,45
60_B_B	20	4,63	0,92	8,0	3,5	3,5	0,82
61_B_A	20	3,79	0,87	14,8	6,3	2,25	0,7

8.2.1 Einfluss der freien Hebelarmlänge

Zur Ermittlung des Einflusses der Hebelarmlänge auf die Tragfähigkeit (sowohl Bruchlast als auch Verformung) wurden Versuche an den in Abbildung 85 dargestellten Leibungsziegeln durchgeführt. Für die Versuche wurde bei beiden Steinvarianten die Setzposition A untersucht.

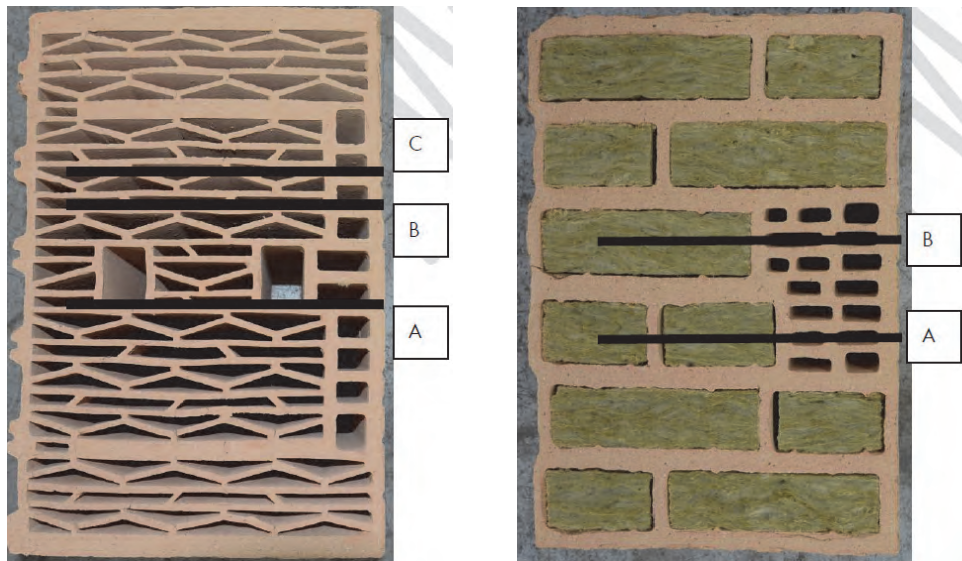


Abbildung 85 Leibungsziegel für die Untersuchung des Einflusses der freien Dübellänge
links: Ganzer Stein, Steintyp 50 mit den Setzpositionen A, B und C
rechts: Ganzer Stein, Steintyp 60 mit den Setzpositionen A und B

Die Versuche wurden an Kleinproben aus Dreierverbänden durchgeführt. Variiert wurde der Abstand zwischen der Steinfläche und dem Drehpunkt des Adapters mit dem die Kraft in die Schraube eingeleitet wurde. Der Abstand zwischen Krafteinleitungspunkt und der Wandfläche wird hierbei als freie Hebelarmlänge bezeichnet. Eine Berücksichtigung der halben Dicke der äußeren Steinwandung zur Berechnung der freien Hebelarmlänge erfolgt hierbei nicht. In Abbildung 86 ist ein Versuchsaufbau für eine freie Hebelarmlänge von 30 mm exemplarisch dargestellt. Die Versuche wurden für Hebelarmlängen von 15 mm, 20 mm sowie 30 mm durchgeführt. Pro Variante wurden je 5 Versuche durchgeführt.

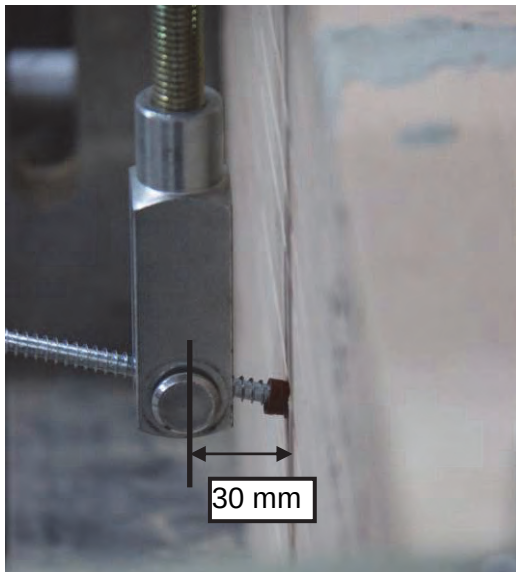


Abbildung 86 Durchführung der Versuche; Im Bild freie Hebelarmlänge von 30 mm

Die numerischen Ergebnisse der Versuche sind in Tabelle 55 aufgeführt.

Tabelle 55 Ergebnisse der durchgeführten Kleinteilversuche Runde 2

Versuchs- serie	Hebelarm in mm	Mittelwert		Variationskoeff- fizient für		5,0 % Fraktile log	
		N_u in kN	N_{3mm} in kN	N_u in %	N_{3mm} in %	R_k in kN	$R_{k,3mm}$ in kN
50_B_A	15	3,07	1,11	12	14	2,05	0,65
50_B_A	20	2,96	0,71	12,9	7,1	1,92	0,54
50_B_A	30	3,22	0,42	7,8	6,5	2,46	0,33
60_B_A	15	4,53	1,42	8,6	5,2	3,36	1,19
60_B_A	20	4,96	0,91	6,6	5,0	3,74	0,76
60_B_A	30	5,06	0,56	2,1	6,4	4,72	0,45

Für die Diskussion der Ergebnisse werden die ermittelten Mittelwerte der Versagenslast N_u als auch die Mittelwerte der Last bei einer Verformung von 3 mm N_{3mm} herangezogen, da die Fraktilewerte aufgrund unterschiedlicher Variationskoeffizienten hierfür weniger geeignet erscheinen.

Die Analyse der Bruchlasten N_u führt zu der Erkenntnis, dass bei den untersuchten Leibungsziegeln keine signifikante Abhängigkeit der Bruchlast von der Hebelarmlänge festgestellt werden konnte. So liegen die Bruchlasten für den Steintyp 50 in einem Bereich von 2,96 kN bis 3,22 kN. Beim Steintyp 60 variieren die Bruchlasten von 4,53 kN bis 5,06 kN. Die Lasten liegen somit innerhalb einer Bandbreite von ca. $\pm 5\%$.

Hinsichtlich der Last für eine Verformung von 3 mm N_{3mm} ergibt sich eine deutliche Abhängigkeit von der freien Hebelarmlänge. Wie zu erwarten verkleinert sich die Last, die für

eine Verformung von 3 mm benötigt wird, mit größerer Hebelarmlänge. Der funktionale Zusammenhang ist in Abbildung 87 dargestellt. Neben den Mittelwerten (ausgefüllte Datenpunkte) und einer hierfür berechneten Ausgleichskurve sind auch die einzelnen Messwerte (nicht ausgefüllte Datenpunkte) eingetragen.

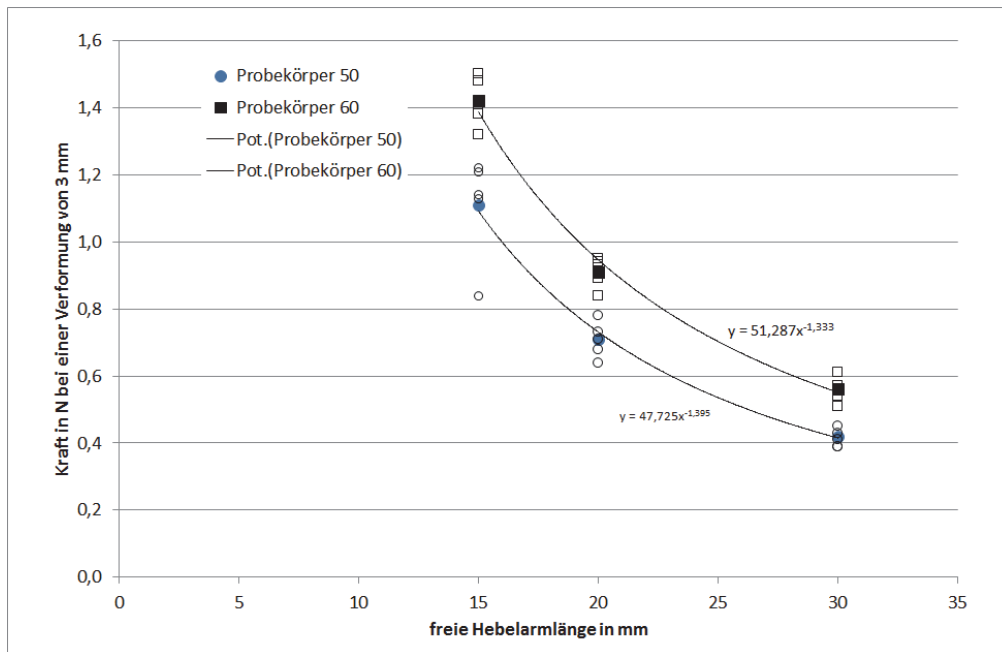


Abbildung 87 Grafische Darstellung des Zusammenhangs freie Hebelarmlänge und Last für eine Verformung von 3 mm. Neben den Mittelwerten der Messung (ausgefüllte Marker) sind jeweils auch die Einzelwerte eingetragen (nicht ausgefüllte Datenpunkte). Zusätzlich sind Ausgleichskurven unter Annahme eines potentiellen Zusammenhangs eingezeichnet.

8.2.2 Festlegung der Tragfähigkeit

Mit den im Kleinteilversuch geprüften Leibungsziegeln wurden im Folgenden (siehe nächstes Kapitel) weitere Wände aufgebaut. In diese wurden Fenster eingebaut und mit unterschiedlichen Lasten beaufschlagt. Die Lasten sollten hierbei so festgelegt sein, dass der Bemessungswiderstand der Befestigung nahezu ausgeschöpft wird.

Die Tragfähigkeit wurde auf Grundlage der durchgeführten Kleinteilversuche mit freier Verdrehbarkeit festgelegt. Die Montage des Fensters erfolgte in der Leibungsmitte mit einer Fugenbreite von 20 mm. Für die Festlegung der Tragfähigkeit wurden daher folgende Setzpositionen aus den Kleinteilversuchen verwendet.

Leibungsziegel ungefüllt filigran:	Steintyp 50 Setzposition A und B Steintyp 51 Setzposition A und B
Leibungsziegel Großkammer gefüllt:	Steintyp 60 Setzposition A und B Steintyp 61 Setzposition A

Die Setzpositionen sind nochmals in Abbildung 88 und Abbildung 89 dargestellt.

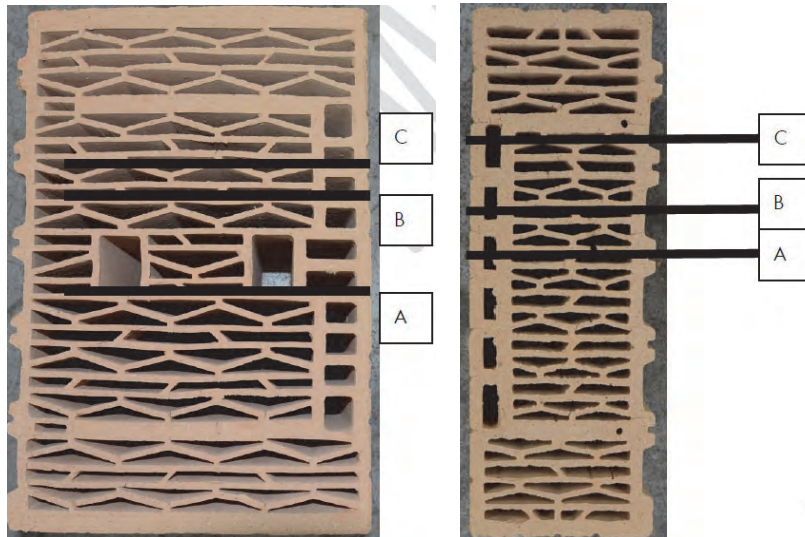


Abbildung 88 Verstärkter Leibungsziegel, ungefüllt filigran
links: Ganzer Stein, Steintyp 50 mit den Setzpositionen A, B und C
rechts: Halber Stein, Steintyp 51 mit den Setzpositionen A, B und C

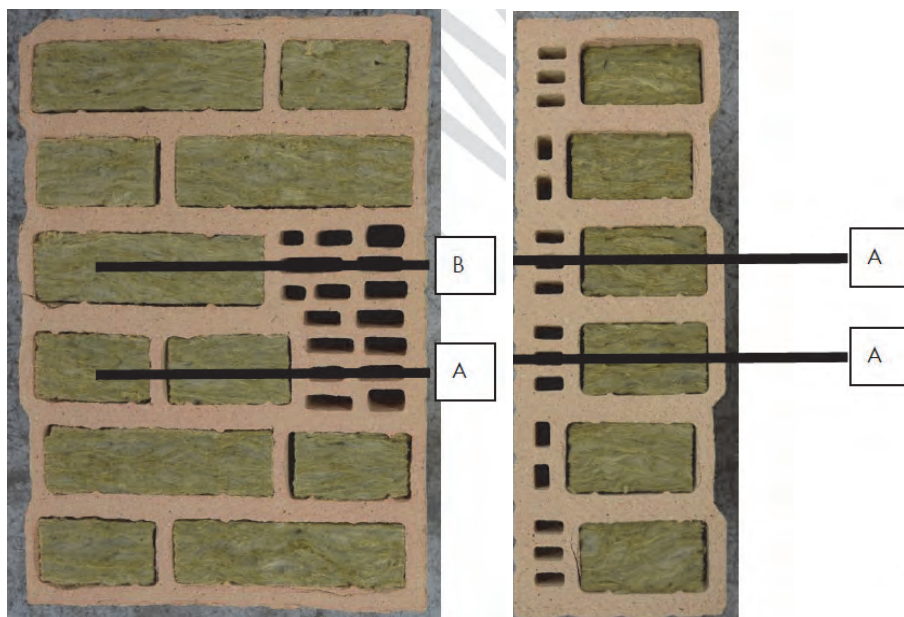


Abbildung 89 Verstärkter Leibungsziegel, gefüllt Großkammer
links: Ganzer Stein, Steintyp 60 mit den Setzpositionen A und B
rechts: Halber Stein, Steintyp 61 mit der Setzposition A

Die für die oben genannten Randbedingungen ermittelten Werte aus den Kleinteilversuchen sind in Tabelle 56 zusammengefasst.

Tabelle 56 Ergebnisse zur Festlegung der Tragfähigkeit

Versuchs- serie	Hebelarm in mm	Mittelwert		Variationskoeff- fizient für		5,0 % Fraktile log	
		N _u in kN	N _{3mm} in kN	N _u in %	N _{3mm} in %	R _k in kN	R _{k,3mm} in kN
50_B_A	20	2,96	0,71	12,9	7,1	1,92	0,54
50_B_B	20	3,09	1,00	5,2	3,9	2,59	0,87
51_B_A	20	3,34	0,94	32,7	3,86	1,02	0,83
51_B_B	20	2,89	0,92	27,1	5,7	0,94	0,76
60_B_A	20	4,96	0,91	6,6	5,0	3,74	0,76
60_B_B	20	4,63	0,92	8,0	3,5	3,50	0,82
61_B_A	20	3,79	0,87	14,8	6,3	2,25	0,70

Wie zu erkennen, ergeben sich für die geprüften Leibungsziegel des Steintyps 51 im Vergleich zu dem Steintyp 50 relativ niedrige charakteristische Tragfähigkeiten R_k , obwohl die Mittelwerte der Messungen N_u für die Steintypen 50 und 51 vergleichbar groß sind. Die Ursache hierfür liegt in den hohen Variationskoeffizienten des Steintyps 51 bei den zwei Setzpositionen. Daher wurden die Messwerte des Halbziegels (Steintyp 51) nicht für die Ermittlung der Tragfähigkeit herangezogen.

Ausgehend von den charakteristischen Tragfähigkeiten ergeben sich die Bemessungswiderstände für den Grenzzustand der Tragfähigkeit als auch für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit unter Berücksichtigung der maßgeblichen Sicherheitsbeiwerte γ_M . Für den Grenzzustand der Tragfähigkeit ist $\gamma_M = 2,5$ (für Mauerwerk); für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist $\gamma_M = 1,0$ (siehe auch Kapitel 3). Es gilt also:

$$R_d = R_k / 2,5$$

Grenzzustand der Tragfähigkeit

$$R_{d,3mm} = R_{k,3mm}$$

Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

In nachfolgender Tabelle 57 sind die entsprechend berechneten Bemessungswiderstände angegeben.

Tabelle 57 Bemessungswiderstände

Serie	Hebelarm in mm	Mittelwert		Variationskoeff- fizient für		5,0 % Fraktile log		Bemessungs- widerstand	
		N _u in kN	N _{3mm} in kN	N _u in %	N _{3mm} in %	R _k in kN	R _{k,3mm} in kN	R _d in kN	R _{d,3mm} in kN
50_B_A	20	2,96	0,71	12,9	7,1	1,92	0,54	0,77	0,54
50_B_B	20	3,09	1,00	5,2	3,9	2,59	0,87	1,04	0,87
60_B_A	20	4,96	0,91	6,6	5,0	3,74	0,76	1,50	0,76
60_B_B	20	4,63	0,92	8,0	3,5	3,50	0,82	1,40	0,82
61_B_A	20	3,79	0,87	14,8	6,3	2,25	0,70	0,90	0,70



Es ist zu erkennen, dass der Bemessungswiderstand der Tragfähigkeit R_d bei allen Fällen größer ist, als der Bemessungswiderstand der Gebrauchstauglichkeit $R_{d,3mm}$. Daher ist die max. zulässige Verformung der Schraube hier maßgeblich für die Bemessung der Befestigungspunkte.

Für die Wände, die aus dem filigranen ungefüllten Planziegel aufgebaut wurden, wurde auf Grundlage der Tabelle 57 ein Bemessungswiderstand von 0,54 kN festgelegt. Für die Wände, die mit den Großkammersteinen aufgebaut wurden, wurde der Bemessungswiderstand zu 0,70 kN festgelegt.

Die in den Bauteilversuchen umgesetzten Einwirkungen (Windlast sowie vertikale Nutzlast P) sollten so dimensioniert sein, dass der Bemessungswiderstand nach Möglichkeit nahezu komplett ausgenutzt wird.

In den Kapiteln 9.2 und 0 werden die am Befestigungspunkt auftretenden Lasten in Abhängigkeit der Windlasten sowie der vertikalen Nutzlasten P ermittelt.

Fazit

Die Ermittlung der Tragfähigkeiten an den hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften optimierten Leibungsziegel hat gezeigt, dass die Verformung die maßgebliche Größe für die Bemessung des Befestigungsmittels darstellt. Der Grenzzustand der Tragfähigkeit des Steines selbst ist höher als der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.

8.3 Unterer Anschluss

Wie bereits in den dargestellten Bauteilversuchen (Kapitel 6.3) beschrieben, besteht eine baupraktische Möglichkeit darin, bei Großkammerziegeln den Hohlraum, in dem das Befestigungsmittel verankert werden soll, mit Schnellzement auszufüllen. Im Rahmen des Vorhabens wurden hierzu erste Tastversuche (siehe Tabelle 58) hinsichtlich der zu erzielenden Tragfähigkeit durchgeführt.

Tabelle 58 Versuchsprogramm der Tastversuche

Steintyp Nr.	Versuchsart	Setzposition	Prüfgegenstand	Größe in mm	Steinformat	Versuchsanzahl
60	Q_	A	AMO III 7,5 x 252 mm	248x365x249	12 DF	5
60	Q_	B	AMO III 7,5 x 252 mm	248x365x249	12 DF	4

An der geplanten Setzstelle der Schraube wurde das Dämmmaterial aus dem Stein bis zur halben Steinhöhe entfernt. Hierzu wurde das Dämmmaterial aus dem Hohlraum der Setzstelle komplett herausgenommen und mit einem Messer halbiert. Anschließend wurde eine der beiden Hälften wieder in den Hohlraum eingefügt und der verbleibende Hohlraum mit Fixzement aufgefüllt. Der Fixzement hat nach Angaben des Herstellers (Fa. Würth) nach zwei Stunden eine Druckfestigkeit von 11,5 N/mm²; nach einem Tag erhöht

sich die Druckfestigkeit auf 13,1 N/mm². Das Einbringen der Schrauben sowie die Durchführung der Prüfungen erfolgten ca. 18 Stunden nach dem Einbringen des Fixzementes.

Der verwendete Planziegel hatte eine Druckfestigkeit der Klasse 4 (6,1 N/mm²) sowie eine Rohdichte der Klasse 0,6 (0,54 kg/dm³).

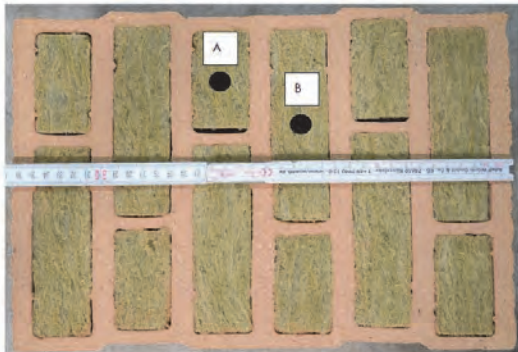


Abbildung 90 Verwendeter Stein mit den Sitzpositionen für die Versuche

Die Bohrlöcher wurden mit Würth-Hammerbohrern erstellt. Beim Bohren wurde der Bohrhämmer in einem Bohrständer geführt. Das Bohrloch lag komplett im Fixzement, die Bohrlöcher wurden vor dem Eindrehen der Schrauben nicht gereinigt.

Bei den Biegezug-Versuchen mit dem Befestigungsmittel im Fixzement wurde der Verankerungsgrund, entsprechend Abbildung 91, gegen Bewegungen während der Versuchsdurchführung gesichert. Diese Fixierung des Steines wurde gewählt, um eine Beeinflussung der Tragfähigkeit durch die Fixierung auszuschließen.



Abbildung 91 Versuchsaufbau

Ein typisches Kraft-Weg-Diagramm eines Versuches ist in Abbildung 92 dargestellt.

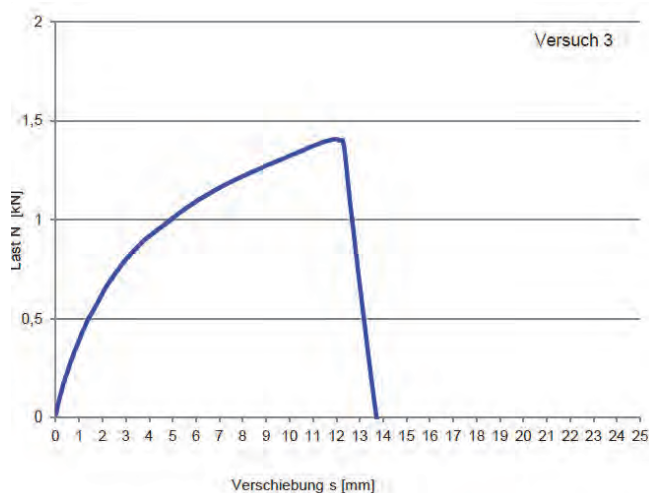


Abbildung 92 Typisches Kraft-Weg-Diagramm für die Versuche Schraube im Schnellzement

Die Versuchsergebnisse der durchgeführten Versuche sind in Tabelle 59 dargestellt. Es werden neben den Mittelwerten und den Variationskoeffizienten auch die bei einem Fraktile von 5 % logarithmierten Werte dargestellt. Diese Werte sind wiederum bei einer Verschiebung von 3 mm und der Höchstbelastung angegeben. Der freie Hebelarm betrug bei den Versuchen 20 mm.

N_u Maximallast

N_{3mm} Last bei einem Weg von 3 mm

Tabelle 59 Versuchsergebnisse der durchgeführten Versuche

Serie	Mittelwert		Variationskoeffizient für		5,0 % Fraktile log	
	N_u in kN	N_{3mm} in kN	N_u in %	N_{3mm} in %	R_k in kN	$R_{k,3mm}$ in kN
50_Q_A	1,37	0,72	13,8	15,3	0,85	0,41
50_Q_B	1,73	0,85	25,0	12,0	0,61	0,54

Die ermittelte charakteristische Tragfähigkeit bei einer Verformung von 3 mm $R_{k,3\text{ mm}}$ liegt mit den ermittelten Werten von 0,41 bzw. 0,54 kN in einem Bereich, der auch bei den Kleinteilversuchen in der Runde 1 in der Leibungssituation ermittelt wurde. Hier lagen die $R_{k,3mm}$ Werte zwischen 0,43 und 0,70 kN; dies jedoch bei einer etwas geringeren freien Hebelarmlänge von 15 mm.

Die ermittelte charakteristische Tragfähigkeit R_k hingegen ist mit ca. 0,85 bzw. 0,61 kN eher gering. Die Ursache hierfür liegt im „Einspannen“ des Planziegels für die Prüfdurchführung. Nahezu alle Steine versagten in der Ebene, in der die „Einspannung“ des Steins erfolgt ist (siehe Abbildung 93). In der Realität wird die Last jedoch über die seitlichen Ausbildungen (Nut und Feder) sowie die untere Lagerfuge des Steines weitergeleitet.

Daher sollten im Nachgang weitere Untersuchungen durchgeführt werden, bei denen eine praxisnähere Fixierung des Steines während der Biegezugprüfung gegeben ist. Ebenso sollte untersucht werden, inwiefern ein Verfüllen weiterer Kammern einen Einfluss auf die Tragfähigkeit haben könnte.



Abbildung 93 Bruch des Planziegels bei der Prüfung Schraube in Schnellzement

9 Weitere Bauteilversuche

9.1 Zielsetzung

Mit den ermittelten Tragfähigkeiten aus den Kleinteilversuchen (Kapitel 8.2) wurde eine Bemessung der Fensterbefestigung für zwei Fenstertypen und zwei Steintypen nach dem Konzept des Leitfadens zur Montage durchgeführt. Anhand des Prüfprogrammes nach MO 02-1 (siehe hierzu auch Kapitel 6.3.2.1) sollte untersucht werden, ob die Anforderungen hinsichtlich der zulässigen Verformung an den Befestigungspunkten als auch die Dauerhaftigkeit der Befestigung selbst erfüllt werden.

Die in den Bauteilversuchen umgesetzten Einwirkungen (Windlast, Flügelgewicht sowie vertikale Nutzlast P) sollten so dimensioniert sein, dass der Bemessungswiderstand der Befestigung in den beiden untersuchten Steintypen nach Möglichkeit nahezu komplett ausgenutzt wird. Dies betrifft in den durchgeführten Bauteilversuchen die seitlichen Befestigungspunkte (Leibung). Die Verformungen der zugehörigen Messpunkte sind in den jeweiligen Tabellen grau hinterlegt.

Die obere als auch untere Befestigung (Sturz und Boden) wurden für die Bemessung in diesem Falle nicht betrachtet. Daher kann es sein, dass an diesen Befestigungspunkten Verformungen gemessen wurden, die deutlich über der Anforderung einer maximalen Verformung von 3 mm liegen.

9.2 Aufbau der Wand 5 und Wand 7

Für die Wandaufbauten 5 und 7 sollte die Einbausituation eines Fensters mit Unterlicht untersucht werden. Das hierzu hergestellte Mauerwerk inkl. Öffnung ist in Abbildung 94 dargestellt. Abbildung 95 zeigt die verwendeten Planziegel. Für die Wand 1 wurden die ungefüllten filigranen Leibungsziegel verwendet (Steintyp 50 und 51); für die Wand 3 wurden die gefüllten Großkammerziegel (Steintyp 60 und 61) verwendet.

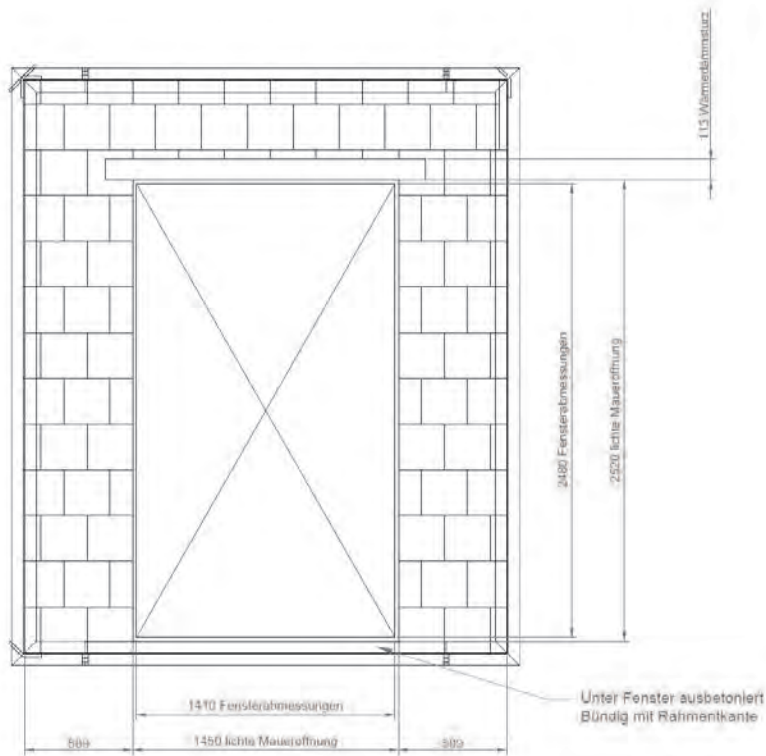


Abbildung 94 Zeichnung der Wand 5 und Wand 7



Abbildung 95 Verwendete Panziegel für die Leibung Wand 5 und Wand 7

In die Wand 5 als auch in die Wand 7 wurde ein einflügliges Dreh-Kipp Fenster mit Unterlicht eingebaut. Das Element hatte die Abmessungen von 1410 mm x 2480 mm. Die Fugenbreite betrug umlaufend 20 mm. Der Riegel befand sich auf einer Höhe von 1000 mm. Die Ansicht sowie der Querschnitt des Fensters kann aus den Zeichnungen in Abbildung 96 und Abbildung 97 entnommen werden.

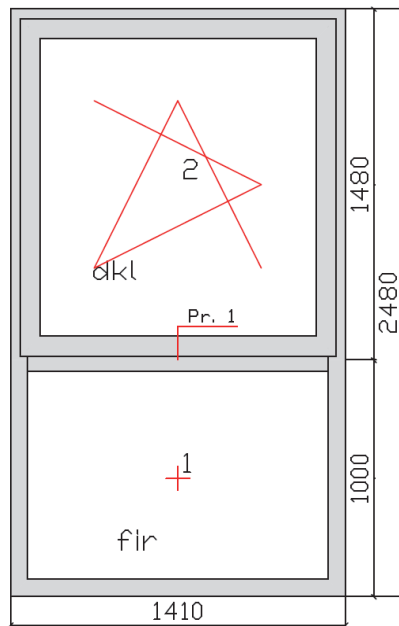


Abbildung 96 Ansicht des Fensters für Wand 5 und Wand 7

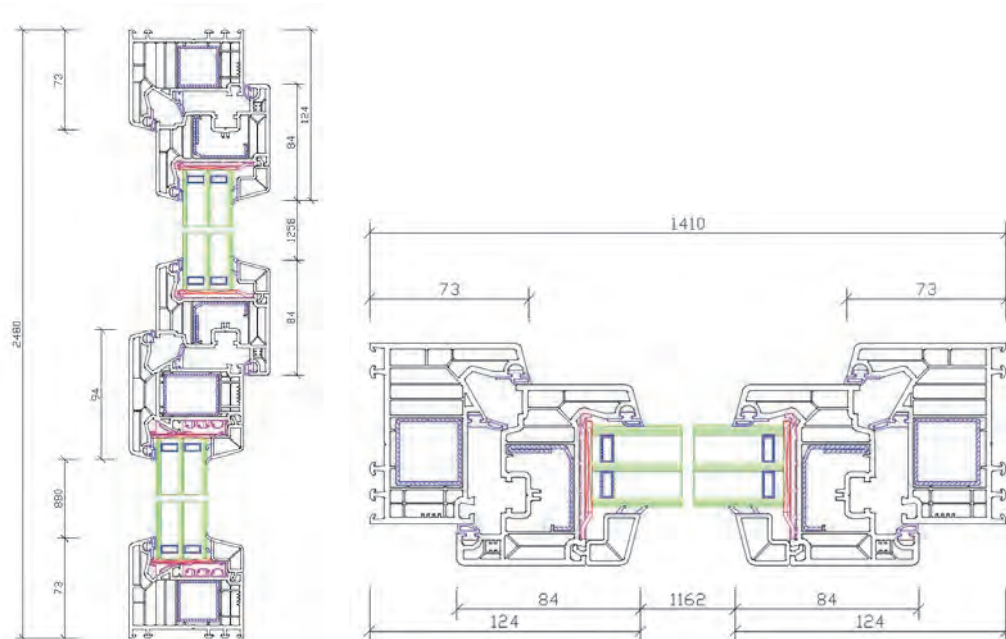


Abbildung 97 Querschnitte des Fensters für Wand 5 und Wand 3
Hinweis: Das in der Zeichnung dargestellte MIG wurde durch Multiplexplatten ersetzt

Das Fenster wurde jeweils in die Mitte der Leibung eingebaut. Nach links und rechts zur Leibung wurden je fünf Befestigungspunkte gesetzt, nach oben und unten je einer. Am Scherenlager wurde zusätzlich zum „Standard-Befestigungspunkt“ noch ein zweiter Befestigungspunkt für eine Gruppenbefestigung umgesetzt um die Lasten bei geöffnetem Flügel abtragen zu können. Die genaue Lage der Befestigungspunkte sowie kann der Zeichnung in Abbildung 103 entnommen werden.

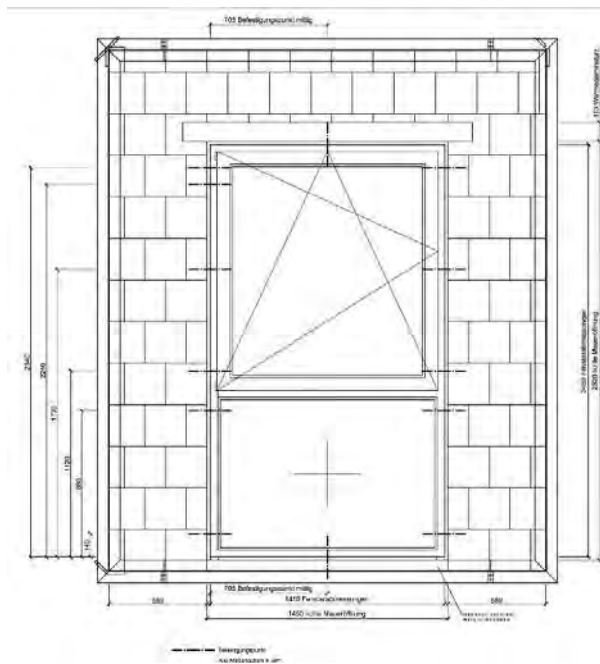


Abbildung 98 Lage der Befestigungspunkte für die Wände 5 und 7

Der Fensterflügel wurde mit Zusatzgewichten auf ein Gesamtgewicht von 80 kg aufgelastet.

Aufgrund der Teilung des Elementes ist zu erwarten, dass in Riegelhöhe erhöhte Lasten (im Vergleich zu den anderen Befestigungspunkten) auftreten. Zur Festlegung der in den Versuch anzustrebenden Windlast wurde daher die an den Befestigungspunkten in Riegelhöhe auftretende Belastung berechnet.

Die berechneten Lasten auf die Befestigungsmittel sind in Abhängigkeit der Windlast in Tabelle 59 angegeben.

Tabelle 60 Lasten auf den Befestigungspunkt in Abhängigkeit der Windlast

Windlast in Pa	Last an jedem Befestigungspunkt in Riegelhöhe in kN
1200	0,53
1600	0,71
2000	0,88

Es ist zu erkennen, dass für den aus den Kleinteilversuchen abgeleiteten Bemessungswiderstand von ca. 0,54 kN bzw. 0,70 kN für einen Winddruck von 1200 Pa noch zu „keinen Problemen“ bei beiden Wandaufbauten führen sollte. Ein Winddruck von 1600 Pa hingegen führt zu einer Überschreitung des Bemessungswiderstandes von ca. 18 % beim Wandaufbau 5. Beim Wandaufbau 7 ist der Bemessungswiderstand bei einem Winddruck von 1600 Pa zu 100 % ausgelastet.

Tabelle 61 stellt die Lasten dar, die bei einem 90° geöffneten Flügel mit vertikaler Nutzlast an den Befestigungspunkten in Nähe des Eck- bzw. Scherenlagers abgetragen werden müssen.

Tabelle 61 Lasten an den Befestigungspunkten in Nähe des Eck- bzw. Scherenlagers bei 90° geöffnetem Flügel (Masse 80 kg) in Abhängigkeit der vertikalen Nutzlast P

Vertikale Nutzlast P in N	Last am Befestigungspunkt in kN
0	0,38
200	0,56
400	0,75
600	0,95
800	1,14

Legt man den Bemessungswiderstand für die Befestigung von 0,54 kN bzw. 0,70 kN zugrunde zeigt sich, dass bei Einsatz nur eines Befestigungspunktes am oberen Scherenlager bzw. am unteren Ecklager bereits ab einer vertikalen Nutzlast von 400 N bzw. 600 N der Bemessungswiderstand deutlich überschritten wäre. Unter Berücksichtigung der Gruppenbefestigung im Bereich des oberen Scherenlagers (Doppelbefestigung mit zusätzlichem Befestigungspunkt 100 mm unterhalb des „Standardbefestigungspunktes“) und des unteren Ecklagers (Doppelbefestigung mit Befestigungsmittel über und unter dem Riegel) ergeben sich die in Tabelle 62 dargestellten Lasten. Die Berechnung erfolgte anhand der in Tabelle 61 dargestellten Werte, unter der Annahme einer Lastreduktion von 70 %, für den oberen Befestigungspunkt und einer gleichmäßigen Aufteilung der Last auf die beiden Befestigungspunkte ober und unterhalb des Riegels.

Tabelle 62 Lasten am oberen und unteren Befestigungspunkt bei 90° geöffnetem Flügel (Masse 80 kg) in Abhängigkeit der vertikale Nutzlast P unter Berücksichtigung der Gruppenbefestigung

Vertikale Nutzlast P in N	Last am oberen Befestigungspunkt in kN	Last an den beiden unteren Befestigungspunkten in kN
0	0,26	0,19
200	0,40	0,28
400	0,53	0,38
600	0,66	0,47
800	0,80	0,57

9.3 Aufbau der Wand 6 und Wand 8

Für die Wandaufbauten 6 und 8 sollte die Einbausituation einer großen zweiflügeligen Fenstertüre untersucht werden. Das hierzu hergestellte Mauerwerk inkl. Öffnung ist in Abbildung 99 dargestellt. Abbildung 100 zeigt die verwendeten Planziegel. Für die Wand 6 wurden die ungefüllten filigrane Leibungsziegel (Steintyp 50 und 51); für die Wand 8 wurden die gefüllten Großkammerziegel (Steintyp 60 und 61) verwendet.

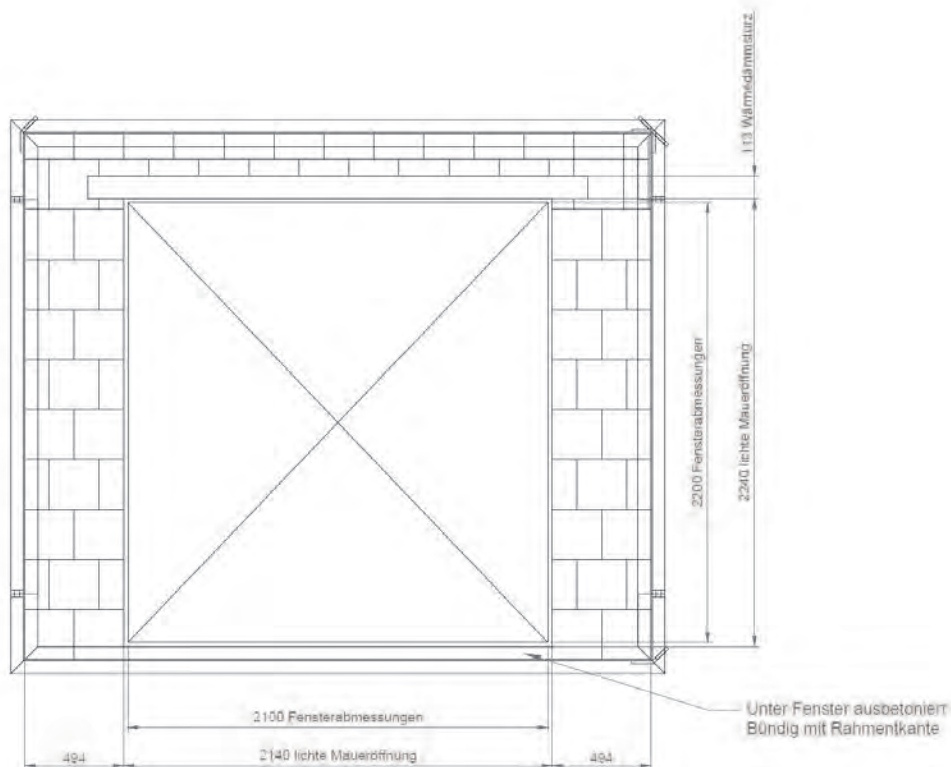


Abbildung 99 Zeichnung der Wand 6 und Wand 8

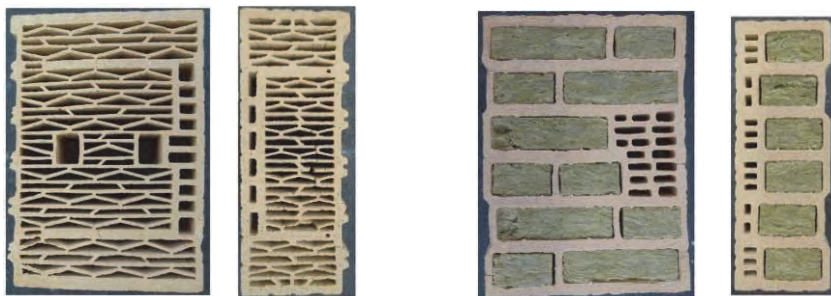


Abbildung 100 Verwendete Panziegel für die Leibung Wand 6 und Wand 8

In die Wand 6 als auch in die Wand 8 wurde eine zweiflügelige Fenstertüre mit Mittelpfosten eingebaut. Das Fenster hatte die Abmessungen von 2100 mm x 2200 mm. Die Ansicht sowie der Querschnitt des Fensters kann aus den Zeichnungen in Abbildung 101 und Abbildung 102 entnommen werden.

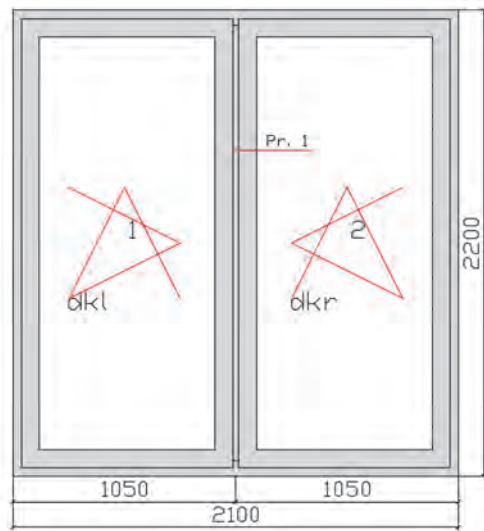


Abbildung 101 Ansicht des Fensters für Wand 6 und Wand 8

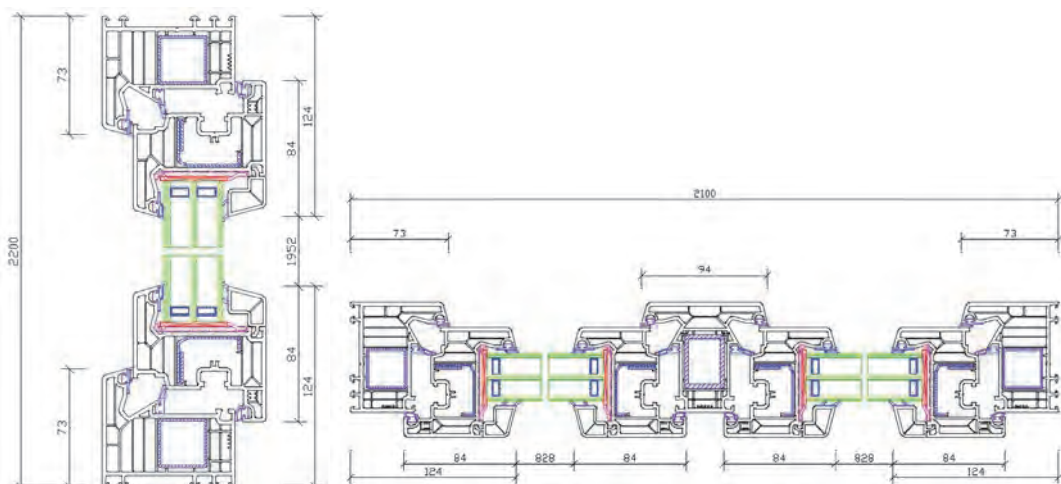


Abbildung 102 Querschnitte des Fensters für Wand 6 und Wand 8
Hinweis: Das in der Zeichnung dargestellte MIG wurde durch Multiplexplatten ersetzt

Das Fenster wurde jeweils in die Mitte der Leibung eingebaut. Die Fugenbreite betrug umlaufend 20 mm. Nach links und rechts zur Leibung wurden je vier Befestigungspunkte gesetzt, nach oben und unten je zwei. Die genaue Lage der Befestigungspunkte kann der Zeichnung in Abbildung 103 entnommen werden.

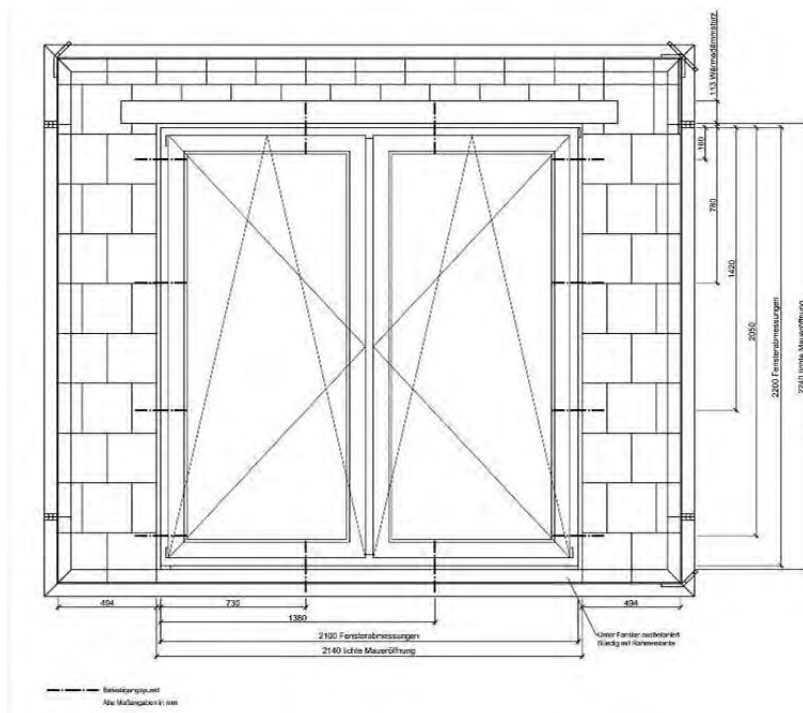


Abbildung 103 Lage der Befestigungspunkte für die Wände 6 und 8

Die Fensterflügel wurden mit Zusatzgewichten auf ein Gesamtgewicht von je 110 kg aufgelastet.

Die berechneten Lasten auf die Befestigungsmittel in der Leibung bei Windbeanspruchung sind in Tabelle 63 angegeben.

Tabelle 63 Lasten auf die Befestigungspunkte in der Leibung in Abhängigkeit der Windlast

Windlast in Pa	Last am Befestigungspunkt in kN
1200	0,35
1600	0,46
2000	0,58

Für den Wandaufbau 2 wäre daher mit dem abgeleiteten Bemessungswiderstand von 0,55 kN eine komplette Auslastung der Befestigungsmittel erreicht. Beim Wandaufbau 4 mit dem abgeleiteten Bemessungswiderstand von 0,70 kN sollten noch Reserven hinsichtlich der Verformung vorhanden sein.

Tabelle 64 stellt die Lasten dar, die bei einem 90° geöffneten Flügel mit vertikalen Nutzlasten an den oberen und unteren Befestigungspunkten abgetragen werden müssten.

Tabelle 64 Lasten am oberen und unteren Befestigungspunkt bei 90° geöffnetem Flügel (Masse 110 kg) in Abhängigkeit der vertikalen Nutzlast P

Vertikale Nutzlast P in N	Last am Befestigungspunkt in kN
0	0,26
200	0,35
400	0,45
600	0,54
800	0,64

Legt man den Bemessungswiderstand für die Befestigung von 0,54 kN bzw. 0,70 kN zugrunde zeigt sich, dass bei Einsatz nur eines Befestigungspunktes am oberen Scherenlager bzw. am unteren Ecklager mit einer vertikalen Nutzlast von 600 N bzw. 800 N der Bemessungswiderstand ausgeschöpft bzw. nahezu ausgeschöpft wäre. Da in diesem Fall mit der „Standardbefestigung“ die Klasse 3 bzw. Klasse 4 nach EN 13115 möglich ist, war eine Modifizierung der Standardbefestigung nicht notwendig.

9.4 Versuchsergebnisse an Wand 5

Die Ansicht des untersuchten Bauteils (Wand + Fenster) kann Abbildung 104 entnommen werden. Ebenso sind die verwendeten Leibungsziegel nochmals dargestellt.



Abbildung 104 Wandaufbau mit Fensterelement sowie verwendete Leibungsziegel

Die während den einzelnen Belastungen auftretenden Verformungen wurden an insgesamt 16 Messpunkten aufgezeichnet und zwar an den vier Ecken des Fensters sowie an

den Befestigungspunkten. Da nur 16 Potentiometer zur Verfügung standen, konnte die Verformung an einem Befestigungspunkt nicht gemessen werden. Die Lage der einzelnen Messpunkte kann Abbildung 105 entnommen werden.

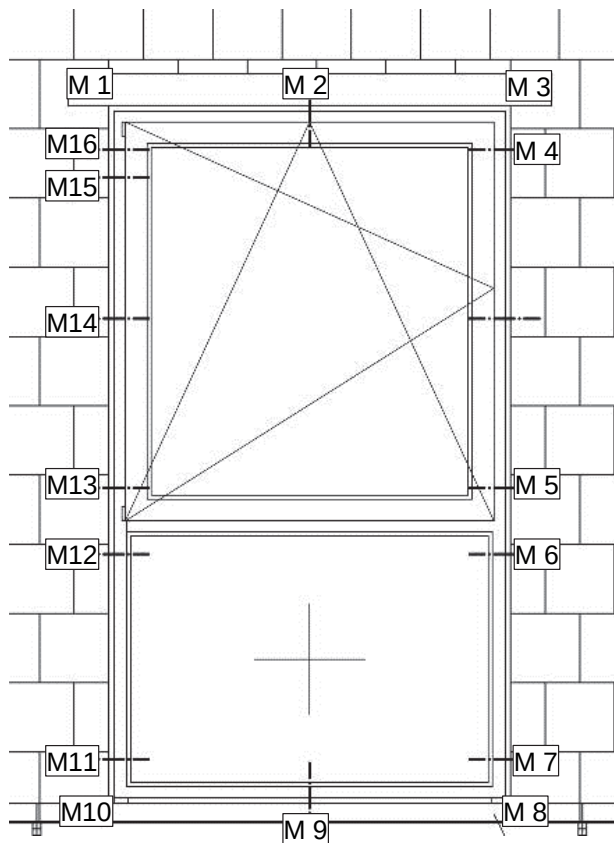


Abbildung 105 Lage der Messpunkte M1 bis M16

9.4.1.1 Widerstandsfähigkeit gegen Lasten in der Flügelebene (Racking)

Die Untersuchungen zum Verhalten bei Lasteinwirkung in der Flügelebene bei geöffnetem Flügel ist in Abbildung 112 dargestellt. Die vertikale Nutzlast P betrug 800 N.



Abbildung 106 Auflastung des Flügels mit 800 N

Die während der Belastung gemessenen Verformungen in Abhängigkeit der Nutzlast sowie die am Belastungsende bleibenden Verformungen sind in Tabelle 65 aufgeführt.

Tabelle 65 Ermittelte Verformungen an den Messpunkten während des Racking

Nutzlast	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
800 N	4,2	0,3	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,4	-2,5	-2,6	-0,6	1,5	2,3

Bleibende Verformung	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
	2,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,4	-1,7	-1,8	-0,4	0,9	1,4

Alle Maßangaben in mm

Bei einer Nutzlast von 800 N ergeben sich an den Befestigungspunkten in der Leibung Verformungen die unter der Maximalverformung von 3 mm liegen. Die bleibenden Verformungen nach Belastung liegen über der Anforderung von 1 mm. Dies ist dadurch begründet, dass die Werte für den geöffneten Flügel gelten. Für den wieder geschlossenen Flügel liegen leider keine Messwerte vor. Es ist davon auszugehen, dass bei geschlossenem Flügel keine bleibende Verformung von mehr als 1 mm vorhanden gewesen wäre.

9.4.1.2 Statische Windlast

Hinweis: In der Versuchsdurchführung wurde versehentlich eine zu hohe Windlast aufgebracht. Dies war dadurch bedingt, dass die Bemessungswindlast für das zweiflüglige Element 2000 Pa betrug, die fälschlicherweise auch bei der Laborprüfung für das einflüglige Element mit Unterlicht angesetzt wurde.

Tabelle 66 zeigt die während der statischen Windlast gemessenen Verformungen. Es ist zu erkennen, dass für die Befestigungspunkte, die direkt oberhalb als auch unterhalb des Riegels liegen, die gemessenen Verformungen über der maximal zulässigen Verformung von 3 mm liegen. Dies gilt sowohl für die von der Rauminnenseite aus gesehene rechte Leibung (M5 und M6) als auch für die linke Leibung (M12 und M13). Dies ist wie bereits dargestellt dadurch bedingt, dass ein Winddruck von 2000 Pa entsprechend Tabelle 60 zu Lasten an den Befestigungspunkt in Riegelnahe führt, die deutlich über dem Bemessungswiderstand für das Befestigungsmittel liegen. Durch die Messungen der Verformung ist gut zu erkennen, dass durch den Riegel eine Lastkonzentration auf die in der Nähe liegenden Befestigungspunkte erfolgt.

Tabelle 66 Ermittelte Verformungen an den Messpunkten während der stat. Windlast

Druck	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
+2000 Pa	1,6	2,2	2,4	2,4	3,7	3,4	1,6	0,9	2,0	1,4	2,2	4,1	4,7	3,1	1,8	1,7
-2000 Pa	-1,7	-2,3	-2,0	-2,0	-3,2	-2,9	-1,4	-0,8	-2,1	-0,8	-1,6	-3,8	-4,0	-2,4	-1,6	-1,6

Bleibende Verformung	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
	-0,1	0,1	0,2	0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	-0,1	0,1	0,2	0,5	0,6	0,2	0,0	-0,1

Alle Maßangaben in mm

9.4.1.3 Druck-Sog-Wechselasten

Tabelle 67 kann entnommen werden, dass die Alterung mit Druck-Sog-Wechselasten zu keiner Lockerung der Befestigungsmittel in den Leibungsziegeln geführt hat, da die im ersten und letzten Zyklus gemessenen Verformungen nahezu identisch sind. Am Ende der Wechselasten bleibt keine nennenswerte bleibende Verformung bestehen.

Tabelle 67 Ermittelte Verformungen an den Messpunkten zu Beginn und Ende der Druck-Sog-Wechselasten

Erster Zyklus	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
+1000 Pa	0,9	1,0	1,3	1,3	2,0	2,0	0,8	0,5	1,1	0,7	1,1	2,2	2,4	1,7	1,0	0,9
-1000 Pa	-0,8	-1,4	-1,2	-1,2	-2,2	-1,8	-0,8	-0,4	-1,2	-0,5	-1,1	-2,9	-3,0	-1,6	-0,9	-0,8

Letzte Zyklus	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
+1000 Pa	0,8	1,0	1,3	1,3	2,0	2,0	0,8	0,4	1,3	0,7	1,1	2,2	2,4	1,7	1,0	0,9
-1000 Pa	-0,8	-1,4	-1,2	-1,2	-2,2	-1,8	-0,8	-0,4	-1,0	-0,5	-1,1	-2,8	-2,9	-1,6	-0,9	-0,9

Bleibende Verformung	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	-0,1

Alle Maßangaben in mm

9.4.1.4 Klima-Wechselasten

Die Klima-Wechselasten führten zu keinen unzulässigen Verformungen der Befestigungsmittel (siehe Tabelle 68). Die Messstellen 5, 6 und 11, 12, 13, 14 zeigen Verformungen, die leicht über der definierten zulässigen max. bleibenden Verformung von 1 mm liegen. Die Ursache hierfür wird in der gegenüber der Referenzgröße“ der MO/02-1 (1,23 x 1,48 m) stark abweichenden Elementabmessungen gesehen.



Tabelle 68 Ermittelte maximale Verformungen an den Messpunkten während der Klima Wechselbelastung

Temperatur	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
+ 60°C	0,6	-0,4	0,9	0,2	-0,2	-0,1	0,1	0,8	-0,9	0,9	0,2	-0,3	-0,4	-0,3	-0,2	0,0
- 15°C	-3,7	0,7	-3,7	-1,4	2,2	2,0	-1,3	-3,9	1,4	-4,0	-1,5	1,9	2,0	2,0	0,2	-1,1

Bleibende Verformung	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
	-2,1	0,2	-2,2	-0,9	1,5	1,3	-1,0	-2,3	0,6	-2,5	-1,2	1,2	1,3	1,3	0,0	-0,7

Alle Maßangaben in mm

9.4.1.5 Dauerfunktion

Am Ende der Dauerfunktion waren keine Lockerungen der Befestigungsmittel in den Leibungsziegeln zu beobachten.

9.4.1.6 Druck-Sog-Wechselasten nach klimatischer Belastung und Dauerfunktion

Aus Tabelle 69 ist erkennbar, dass die Druck-Sog-Wechselasten zu keiner Lockerung der Befestigungsmittel in den Leibungsziegeln geführt hat. Am Ende der Wechselasten bleibt keine nennenswerte bleibende Verformung bestehen.

Die gemessenen Verformungen liegen vergleichbar zu den Verformungen aus dem ersten Durchlauf der Druck-Sog-Wechselasten (siehe Tabelle 67).

Tabelle 69 Ermittelte Verformungen an den Messpunkten zu Beginn und Ende der Druck-Sog-Wechselasten nach Klimabelastung und Dauerfunktion

Erster Zyklus	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
+1000 Pa	1,0	1,2	2,0	2,0	1,7	1,6	1,0	0,7	1,1	1,1	1,4	1,9	2,1	1,5	1,0	0,9
-1000 Pa	-0,5	-1,2	-0,9	-1,0	-1,7	-2,0	-0,7	-0,2	-1,1	-0,2	-0,8	-3,1	-3,1	-1,7	-0,8	-0,8

Letzte Zyklus	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
+1000 Pa	1,0	1,3	2,1	2,0	1,8	1,7	1,1	0,7	1,1	1,1	1,5	2,0	2,2	1,5	1,0	0,9
-1000 Pa	-0,5	-1,2	-0,9	-1,1	-2,1	-2,0	-0,6	-0,2	-1,3	-0,2	-0,9	-3,1	-3,1	-1,8	-0,9	-0,8

Bleibende Verformung	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,4	0,3	0,1	0,0

Alle Maßangaben in mm

9.4.1.7 Statische Windlast nach klimatischer Belastung und Dauerfunktion

Tabelle 70 zeigt die während der statischen Windlast gemessenen Verformungen. Es ist zu erkennen, dass für die Befestigungspunkte, die direkt oberhalb als auch unterhalb des Riegels liegen, die gemessenen Verformungen teils deutlich über der maximal zulässigen Verformung von 3 mm liegen. Dies gilt sowohl für die von der Rauminnenseite aus gesehene rechte Leibung (M5 und M6) als auch für die linke Leibung (M12 und M13). Die Ursache hierfür wurde bereits dargestellt.

Tabelle 70 Ermittelte Verformungen an den Messpunkten während der stat. Windlast nach Klimabelastung und Dauerfunktion

Druck	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
+2000 Pa	1,8	2,4	3,2	3,0	3,0	2,9	2,2	1,6	2,2	2,2	2,7	3,2	3,6	2,4	1,9	1,8
-2000 Pa	-1,4	-2,5	-2,1	-2,3	-2,5	-3,8	-1,4	-0,7	-2,4	-0,9	-1,9	-5,2	-5,4	-3,2	-1,8	-1,6

Bleibende Verformung	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0

Alle Maßangaben in mm

9.4.1.8 Sicherheitsversuch

Der Sicherheitsversuch wurde mit Druckstößen (Über- und Unterdruck) von 3000 Pa durchgeführt. Das Fenster wurde ausreichend in der Leibung gehalten.

9.4.1.9 Pendelschlag

Auch nach dem durchgeführten Pendelschlag mit Zwillingssreifen wurde das Fenster ausreichend in der Leibung gehalten.

9.4.1.10 Orientierende Untersuchungen zur Absturzsicherung

Am Fenster wurden orientierende Untersuchungen zur absturzsichernden Funktion durchgeführt. Ziel war es zu untersuchen, ob die Lasten an den Befestigungsmitteln abgetragen werden können. Hierzu wurden Versuche sowohl zum dynamischen Anprall als auch zur statischen Holmlast durchgeführt.

An der Ausfachung wurden entsprechend DIN 18008 mit dem Zwillingssreifen aus einer Fallhöhe von 900 mm Anpralllasten eingeleitet.

Ebenso wurde der Anprall auf den Riegel untersucht. Hierzu wurde zum einen der Glas- kugelsack nach ETB Richtlinie verwendet. Die Fallhöhe betrug hier entsprechend des Berechnungsverfahrens nach ETB Richtlinie 700 mm. Zusätzlich wurde der Riegel auch mit den Zwillingssreifen bei einer Fallhöhe von 900 mm belastet (siehe Abbildung 107). Die

Aufprallpunkte lagen hierbei (sowohl Glaskugelsack als auch Zwillingssreifen) an den Enden des Riegels.

Die Anprallversuche führten zu keinem Versagen der Befestigung des Fensters.



Abbildung 107 Anprall mit Zwillingssreifen, Anprallstellen an der Füllung sowie am Riegel

Nach den Anprallversuchen wurden weitere Versuche zur Lasteinleitung mittels statischen Lasten durchgeführt. Hierzu wurde mit einem hydraulischen Druckstempel der Übergangsbereich vom Riegel zum Blendrahmen im Bereich des T-Verbinders belastet (Abbildung 108).



Abbildung 108 Verformung durch Lasteinleitung am Übergangspunkt Riegel Blendrahmen

Mit dem Versuchsaufbau war es möglich eine Last von 9 kN einzuleiten. Eine größere Kraft konnte mit dem Versuchsaufbau nicht umgesetzt werden, da die Verformung zu groß war. Die Belastung konnte durch die Befestigungsmittel abgetragen werden ohne dass die Befestigung selbst versagte. Durch die hohen Lasten bildeten sich Langlöcher in den Leibungsziegeln an den Befestigungsmitteln ober- und unterhalb des Riegels. Nach Belastungsende wurde das Fenster immer noch ausreichend in der Wand gehalten.



Abbildung 109 Langlochbildung am Befestigungspunkt über dem Riegel

9.5 Versuchsergebnisse an Wand 6

Die Ansicht des untersuchten Bauteils (Wand + Fenster) kann Abbildung 110 entnommen werden. Ebenso sind die verwendeten Leibungsziegel nochmals dargestellt.



Abbildung 110 Wandaufbau mit Fensterelement sowie verwendete Leibungsziegel

Die während den einzelnen Belastungen auftretenden Verformungen wurden an insgesamt 16 Messpunkten aufgezeichnet und zwar an den vier Ecken des Fensters sowie an den Befestigungspunkten. Die Lage der einzelnen Messpunkte kann

Abbildung 111 entnommen werden.

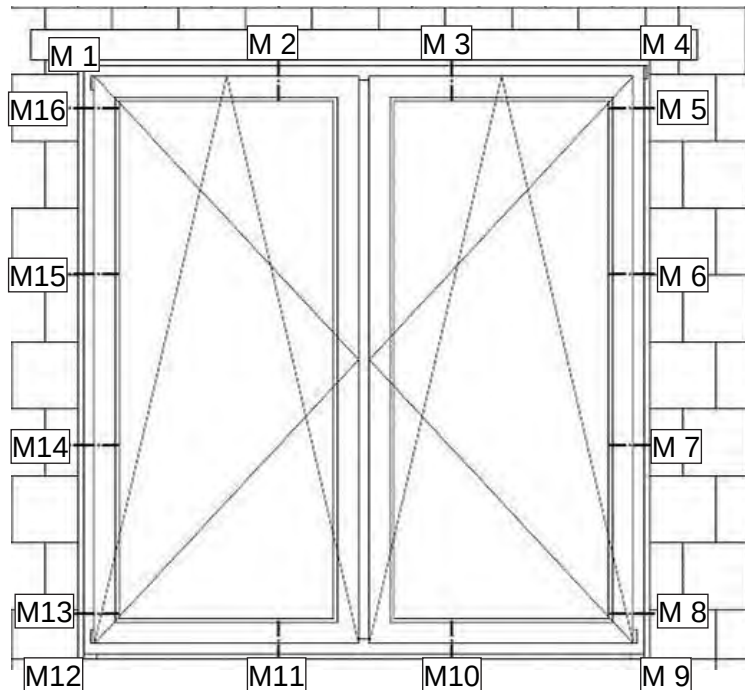


Abbildung 111 Lage der Messpunkte M1 bis M16

9.5.1.1 Widerstandsfähigkeit gegen Lasten in der Flügelebene (Racking)

Die Untersuchungen zum Verhalten bei Lasteinwirkung in der Flügelebene bei geöffnetem Flügel erfolgen am rechten Flügel (siehe Abbildung 112).

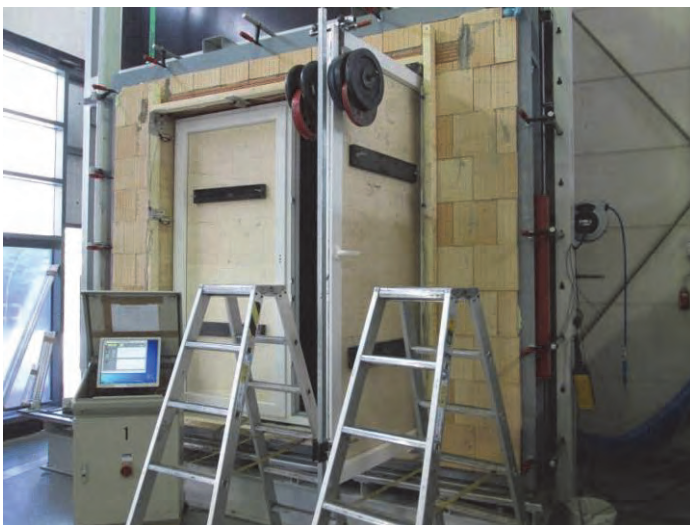


Abbildung 112 Versuchsaufbau zur Simulation der vertikalen Nutzlast

Die während der Belastung gemessenen Verformungen in Abhängigkeit der Nutzlast sowie die am Belastungsende bleibenden Verformungen sind in Tabelle 71 aufgeführt.

Tabelle 71 Ermittelte Verformungen an den Messpunkten während des Racking

Nutzlast	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
200 N	0,0	0,0	0,1	0,7	0,6	0,2	0,0	-0,7	-1,4	-0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
400 N	0,0	0,0	0,1	0,9	0,8	0,2	0,1	-1,0	-1,8	-0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
600 N	0,0	0,0	0,2	1,1	0,9	0,3	0,1	-1,1	-2,1	-0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
800 N	0,0	0,0	0,2	1,4	1,1	0,3	0,0	-1,3	-2,5	-0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0

Bleibende Verformung	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Alle Maßangaben in mm

Bis zu einer Nutzlast von 800 N ergeben sich an den Befestigungspunkten in der Leibung Verformungen die deutlich unter der Maximalverformung von 3 mm liegen. Die bleibende Verformung nach Belastung liegt ebenso deutlich unter der Anforderung von 1 mm.

9.5.1.2 Statische Windlast

Statische Windlasten von 2000 Pa (Druck als auch Sog) führten zu den in Tabelle 72 dargestellten Verformungen. An den Befestigungspunkten in der Leibung werden die Anforderungen an die maximale Verformung von 3 mm eingehalten. Ebenso tritt keine nennenswerte bleibende Verformung nach der Belastung auf.

Tabelle 72 Ermittelte Verformungen an den Messpunkten während der stat. Windlast

Druck	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
+2000 Pa	1,4	3,8	3,7	0,9	1,4	2,4	2,4	2,3	2,1	5,7	6,3	2,1	2,2	2,4	2,3	1,6
-2000 Pa	-1,4	-3,5	-3,4	-1,8	-2,2	-2,6	-2,6	-2,0	-1,6	-4,9	-4,9	-1,3	-1,6	-2,1	-2,6	-1,8

Bleibende Verformung	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
	-0,1	0,2	0,4	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,7	0,7	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0

Alle Maßangaben in mm



9.5.1.3 Druck-Sog-Wechselasten

Aus Tabelle 73 kann entnommen werden, dass die Alterung mit Druck-Sog-Wechselasten zu keiner Lockerung der Befestigungsmittel in den Leibungsziegeln geführt hat. Am Ende der Wechselasten bleibt keine nennenswerte bleibende Verformung bestehen.

Tabelle 73 Ermittelte Verformungen an den Messpunkten zu Beginn und Ende der Druck-Sog-Wechselasten

Erster Zyklus	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
+1000 Pa	0,9	2,0	1,9	0,5	0,7	1,3	1,3	1,2	1,1	2,9	3,3	1,3	1,4	1,4	1,3	0,9
-1000 Pa	-0,8	-2,2	-2,1	-1,2	-1,4	-1,6	-1,5	-1,3	-1,1	-3,2	-3,5	-0,9	-1,0	-1,3	-1,6	-1,0

Letzte Zyklus	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
+1000 Pa	0,9	1,9	1,8	0,5	0,8	1,2	1,3	1,2	1,1	2,8	3,3	1,3	1,4	1,4	1,3	0,9
-1000 Pa	-0,8	-2,3	-2,2	-1,1	-1,4	-1,6	-1,5	-1,2	-1,1	-3,3	-3,6	-0,9	-1,0	-1,3	-1,6	-1,1

Bleibende Verformung	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
	-0,2	-0,5	-0,4	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,6	-0,6	-0,3	-0,3	-0,2	-0,1	-0,2

Alle Maßangaben in mm

9.5.1.4 Klima-Wechselasten

Klima-Wechselasten führten zu keinen unzulässigen Verformungen der Befestigungsmittel (siehe Tabelle 74). Die Messstellen 5 und 8 zeigen Verformungen, die leicht über der definierten zulässigen max. Verformung von 1 mm liegen. Die Ursache hierfür wird in der gegenüber der Referenzgröße“ der MO/02-1 (1,23 x 1,48 m) stark abweichenden Elementabmessungen gesehen.

Tabelle 74 Ermittelte maximale Verformungen an den Messpunkten während der Klima-Wechselbelastung

Temperatur	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
+ 60°C	0,3	-0,6	-0,7	1,0	-0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	-0,5	-0,5	0,2	-0,1	0,1	0,1	0,0
- 15°C	-3,4	1,1	1,0	-4,1	-1,7	1,6	1,6	-1,4	-3,7	1,7	1,8	-3,1	-1,0	1,5	1,5	-1,1

Bleibende Verformung	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
	-2,2	0,5	0,4	-2,8	-1,4	0,7	0,8	-1,2	-2,5	1,1	1,2	-2,0	-0,8	0,8	0,9	-0,9

Alle Maßangaben in mm

9.5.1.5 Dauerfunktion

Am Ende der Dauerfunktion waren keine Lockerungen der Befestigungsmittel in den Leibungsziegel zu beobachten.

9.5.1.6 Druck-Sog-Wechselasten nach klimatischer Belastung und Dauerfunktion

Aus Tabelle 75 kann entnommen werden, dass die Druck-Sog-Wechselasten zu keiner Lockerung der Befestigungsmittel in den Leibungsziegeln geführt hat. Am Ende der Wechselasten bleibt keine nennenswerte bleibende Verformung bestehen.

Die gemessenen Verformungen liegen vergleichbar zu den Verformungen aus dem ersten Durchlauf der Klima-Wechselasten (siehe Tabelle 73).

Tabelle 75 Ermittelte Verformungen an den Messpunkten zu Beginn und Ende der Druck-Sog-Wechselasten nach Klimabelastung und Dauerfunktion

Erster Zyklus	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
+1000 Pa	1,1	2,0	1,9	1,0	1,2	1,2	1,1	1,4	1,5	2,8	3,1	1,4	1,4	1,2	1,1	1,1
-1000 Pa	-0,5	-2,2	-2,0	-0,7	-1,0	-1,6	-1,5	-0,9	-0,6	-2,9	-3,4	-0,7	-0,8	-1,3	-1,5	-0,7

Letzte Zyklus	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
+1000 Pa	1,1	2,0	1,9	1,0	1,2	1,2	1,1	1,3	1,4	3,0	3,4	1,5	1,5	1,2	1,1	1,1
-1000 Pa	-0,5	-2,3	-2,1	-0,7	-1,0	-1,6	-1,5	-0,9	-0,6	-3,0	-3,5	-0,8	-0,8	-1,3	-1,5	-0,8

Bleibende Verformung	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,3	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0

Alle Maßangaben in mm

9.5.1.7 Statische Windlast nach klimatischer Belastung und Dauerfunktion

Die ermittelten Verformungen durch statische Windlast von 2000 Pa nach der klimatischen Belastung und Dauerfunktion sind in Tabelle 76 dargestellt. Es ergeben sich maximale Verformungen an den Befestigungsmitteln in den Leibungsziegeln von bis zu 3 mm für Sog. Für Druck werden geringere Verformungen ermittelt. Im Vergleich zur stat. Windlast von klimatischer Belastung und Dauerfunktion (Tabelle 72) zeigt sich keine signifikante Erhöhung der gemessenen Verformungen.

Tabelle 76 Ermittelte Verformungen an den Messpunkten während der stat. Windlast nach Klimabelastung und Dauerfunktion

Druck	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
+2000 Pa	2,0	4,4	3,5	1,7	2,0	2,1	1,9	2,3	2,4	5,6	6,0	2,3	2,3	2,1	2,0	1,9
-2000 Pa	-1,0	-3,7	-4,0	-1,3	-2,0	-3,0	-2,9	-1,9	-1,3	-5,6	-6,1	-1,3	-1,6	-2,3	-2,8	-1,6

Bleibende Verformung	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
	0,2	0,9	0,2	0,1	0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,1	0,3	0,4	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0

Alle Maßangaben in mm

9.5.1.8 Sicherheitsversuch

Der Sicherheitsversuch wurde mit Druckstößen (Über- und Unterdruck) von 3000 Pa durchgeführt. Es zeigten sich keine bleibenden Schäden an der Befestigung. Das Fenster wurde ausreichend in der Leibung gehalten.

9.5.1.9 Pendelschlag

Auch nach dem durchgeführten Pendelschlag mit Zwillingssreifen wurde das Fenster ausreichend in der Leibung gehalten.

9.6 Versuchsergebnisse an Wand 7

Die Ansicht des untersuchten Bauteils (Wand + Fenster) kann Abbildung 113 entnommen werden. Ebenso sind die verwendeten Leibungsziegel nochmals dargestellt.

**Abbildung 113** Wandaufbau 7 mit Fensterelement sowie verwendete Leibungsziegel

Die während den einzelnen Belastungen auftretenden Verformungen wurden an insgesamt 16 Messpunkten aufgezeichnet und zwar an den vier Ecken des Fensters sowie an den Befestigungspunkten. Da nur 16 Potentiometer zur Verfügung standen, konnte die Verformung an einem Befestigungspunkt nicht gemessen werden. Die Lage der einzelnen Messpunkte kann Abbildung 105 entnommen werden.

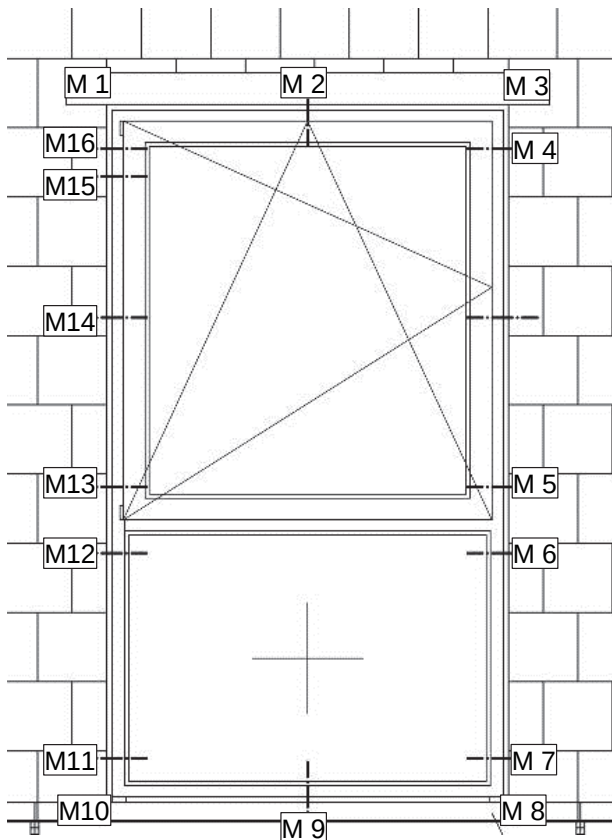


Abbildung 114 Lage der Messpunkte M1 bis M16

9.6.1.1 Widerstandsfähigkeit gegen Lasten in der Flügelebene (Racking)

Die Untersuchungen zum Verhalten bei Lasteinwirkung in der Flügelebene bei geöffnetem Flügel ist in Abbildung 115 dargestellt.



Abbildung 115 Geöffneter Flügel ohne Auflastung

Die während der Belastung gemessenen Verformungen in Abhängigkeit der Nutzlast sowie die am Belastungsende bleibenden Verformungen sind in Tabelle 77 aufgeführt. Die zulässige Verformung von 3 mm während der Belastung wird bis zu einer vertikalen Nutzlast von 800 N eingehalten. An den beiden oberen Befestigungspunkten wird nach Entfernen der Vertikalen Nutzlast eine bleibende Verformung von 1,3 mm bzw. 2,0 mm gemessen. Diese liegt über der Anforderung von 1 mm. Dies ist dadurch begründet, dass die Werte für den geöffneten Flügel gelten. Für den wieder geschlossenen Flügel liegen leider keine Messwerte vor. Es ist davon auszugehen, dass bei geschlossenem Flügel keine bleibende Verformung von mehr als 1 mm vorhanden gewesen wäre.

Tabelle 77 Ermittelte Verformungen an den Messpunkten während des Racking

Nutzlast	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
200 N	2,4	0,4	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	-0,2	-1,0	-1,0	-0,3	1,0	1,6
400 N	3,1	0,6	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	-0,3	-1,2	-1,3	-0,3	1,3	2,1
600 N	3,8	0,8	-0,1	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	-0,3	-1,5	-1,6	-0,4	1,6	2,5
800 N	4,4	0,9	-0,1	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	-0,4	-1,8	-1,9	-0,4	1,9	3,0

Bleibende Verformung	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
	2,8	0,6	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	-1,0	-1,0	-0,2	1,3	2,0

Alle Maßangaben in mm

9.6.1.2 Statische Windlast

Tabelle 78 zeigt die während der statischen Windlast gemessenen Verformungen für eine positive Druckdifferenz. Bis zu einer Druckdifferenz von 1600 Pa liegen die ermittelten Verformungen unter der Anforderung von 3 mm. Erst ab einer Druckdifferenz von 2000 Pa überschreitet die Verformung der Befestigungsmittel in der rechten Leibung, die direkt über und unter dem Riegel angeordnet sind, den Grenzwert. Die bleibende Verformung liegt bei allen Befestigungsmitteln nahe bei 0.

Tabelle 78 Ermittelte Verformungen an den Messpunkten während der stat. Windlast

Druck	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
+1200 Pa	1,9	2,4	1,6	1,2	1,7	2,0	1,6	1,1	1,2	0,2	0,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,4
+1600 Pa	2,4	3,3	2,3	1,7	2,5	2,9	2,1	1,4	1,6	0,4	1,1	2,3	2,2	1,9	1,7	1,9
+2000 Pa	3,0	4,0	3,0	2,2	3,2	3,8	2,6	1,6	2,0	0,6	1,5	2,9	2,8	2,4	2,1	2,3

Bleibende Verformung	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
	0,2	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2

Alle Maßangaben in mm

9.6.1.3 Druck-Sog-Wechselasten

Tabelle 79 kann entnommen werden, dass die Alterung mit Druck-Sog-Wechselasten zu keiner Lockerung der Befestigungsmittel in den Leibungsziegeln geführt hat, da die im ersten und letzten Zyklus gemessenen Verformungen nahezu identisch sind. Am Ende der Wechselasten bleibt keine nennenswerte bleibende Verformung bestehen.

Tabelle 79 Ermittelte Verformungen an den Messpunkten zu Beginn und Ende der Druck-Sog-Wechselasten

Erster Zyklus	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
+1000 Pa	1,8	2,0	1,5	1,1	1,5	1,7	1,3	0,9	0,9	0,2	0,6	1,4	1,3	1,3	1,3	1,4
-1000 Pa	-0,9	-1,8	-1,5	-1,2	-1,8	-1,9	-1,1	-0,6	-1,0	-0,4	-0,9	-1,7	-1,8	-1,3	-0,8	-0,8

Letzte Zyklus	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
+1000 Pa	1,8	2,1	1,6	1,2	1,6	1,9	1,4	1,0	0,9	0,3	0,7	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3
-1000 Pa	-1,0	-2,1	-1,6	-1,3	-2,0	-2,1	-1,1	-0,5	-1,1	-0,4	-0,9	-1,7	-1,8	-1,3	-0,9	-1,0

Bleibende Verformung	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0

Alle Maßangaben in mm

9.6.1.4 Klima-Wechselasten

Klima-Wechselasten führten zu keinen unzulässigen Verformungen der Befestigungsmittel (siehe Tabelle 80). Die Messstellen 7 und 11 zeigen Verformungen, die leicht über der definierten zulässigen max. bleibenden Verformung von 1 mm liegen. Die Ursache hierfür wird in der gegenüber der Referenzgröße“ der MO/02-1 (1,23 x 1,48 m) stark abweichenden Elementabmessungen gesehen.



Tabelle 80 Ermittelte maximale Verformungen an den Messpunkten während der Klima-Wechselbelastung

Temperatur	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
+ 60°C	0,4	-0,8	0,2	-0,1	-0,4	-0,5	0,0	1,0	-0,4	0,8	-0,1	-0,4	-0,4	-0,4	0,0	0,2
- 15°C	-2,6	0,9	-2,5	-1,1	0,9	1,0	-1,3	-3,6	1,0	-4,1	-1,6	1,0	0,9	1,3	-0,3	-1,2

Bleibende Verformung	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
	-1,6	0,1	-1,6	-0,8	0,5	0,5	-1,1	-2,3	0,4	-2,5	-1,3	0,5	0,5	0,7	-0,3	-0,8

Alle Maßangaben in mm

9.6.1.5 Dauerfunktion

Am Ende der Dauerfunktion waren keine Lockerungen der Befestigungsmittel in den Leibungsziegel zu beobachten.

9.6.1.6 Druck-Sog-Wechselasten nach klimatischer Belastung und Dauerfunktion

Aus Tabelle 81 ist erkennbar, dass die Druck-Sog-Wechselasten zu keiner Lockerung der Befestigungsmittel in den Leibungsziegeln geführt hat. Am Ende der Wechselasten bleibt keine nennenswerte bleibende Verformung bestehen.

Die gemessenen Verformungen liegen vergleichbar zu den Verformungen aus dem ersten Durchlauf der Klimawechselasten (siehe Tabelle 79).

Tabelle 81 Ermittelte Verformungen an den Messpunkten zu Beginn und Ende der Druck-Sog-Wechselasten nach Klimabelastung und Dauerfunktion

Erster Zyklus	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
+1000 Pa	1,4	2,0	1,6	1,1	1,5	1,7	1,5	1,1	0,9	0,6	0,9	1,3	1,1	0,9	0,9	1,0
-1000 Pa	-1,0	-2,0	-1,6	-1,2	-2,1	-2,2	-0,8	-0,2	-1,1	-0,5	-0,8	-1,7	-1,7	-1,3	-0,8	-0,7

Letzte Zyklus	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
+1000 Pa	1,6	2,0	1,8	1,3	1,5	1,8	1,7	1,4	1,0	0,7	1,0	1,4	1,2	0,9	0,9	1,0
-1000 Pa	-1,0	-2,3	-1,6	-1,4	-2,2	-2,2	-0,8	-0,2	-1,1	-0,4	-0,9	-1,8	-1,8	-1,5	-0,9	-0,9

Bleibende Verformung	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
	-0,1	-0,3	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2

Alle Maßangaben in mm

9.6.1.7 Statische Windlast nach klimatischer Belastung und Dauerfunktion

Die ermittelten Verformungen durch statische Windlast nach der klimatischen Belastung und Dauerfunktion sind in Tabelle 82 dargestellt. Beim Vergleich mit den Werten aus der Eingangsprüfung (Tabelle 78) zeigen sich vergleichbare Verformungen. Eine Lockerung der Befestigungsmittel fand also nicht statt. Es zeigt sich aber, dass bei negativen Druckdifferenzen (Sog) die Verformung der Befestigungsmittel in der rechten Leibung, die direkt über und unter dem Riegel angeordnet sind, bereits ab 1600 Pa knapp über dem Grenzwert von 3 mm liegt. Es kann also davon ausgegangen werden, dass auch im Rahmen der Eingangsprüfung bei Sog eine entsprechende Verformung gemessen worden wäre. Für einen Differenzdruck von -2000 Pa liegen die Verformungen an den Befestigungsmitteln in der rechten Leibung, die direkt über und unter dem Riegel angeordnet sind über 4 mm und somit deutlich über der zulässigen Verformung von 3 mm. Am Ende der Windlasten bleibt keine nennenswerte Verformung bestehen.

Tabelle 82 Ermittelte Verformungen an den Messpunkten während der stat. Windlast nach Klimabelastung und Dauerfunktion

Druck	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
+1200 Pa	1,8	2,4	2,1	1,5	1,8	2,2	2,1	1,7	1,2	0,7	1,1	1,6	1,4	1,1	1,1	1,3
-1200 Pa	-1,2	-2,6	-1,9	-1,6	-2,6	-2,7	-1,0	-0,3	-1,3	-0,5	-1,0	-2,1	-2,2	-1,7	-1,1	-1,0
+1600 Pa	2,4	3,1	2,7	1,9	2,4	2,9	2,7	2,1	1,6	1,1	1,6	2,2	1,9	1,4	1,5	1,7
-1600 Pa	-1,6	-3,2	-2,5	-2,0	-3,3	-3,4	-1,3	-0,4	-1,7	-0,8	-1,4	-2,7	-2,9	-2,2	-1,4	-1,3
+2000 Pa	3,0	3,8	3,2	2,4	3,0	3,6	3,2	2,5	2,1	1,6	2,2	2,7	2,4	1,8	1,8	2,1
-2000 Pa	-2,0	-3,9	-3,1	-2,5	-4,1	-4,2	-1,6	-0,5	-2,1	-1,1	-1,8	-3,3	-3,5	-2,6	-1,8	-1,6

Bleibende Verformung	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
	-0,2	-0,4	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,2	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,2

Alle Maßangaben in mm

9.6.1.8 Sicherheitsversuch

Der Sicherheitsversuch wurde mit Druckstößen (Über- und Unterdruck) von 2400 Pa durchgeführt. Es zeigten sich keine bleibenden Schäden an der Befestigung. Das Fenster wurde ausreichend in der Leibung gehalten.

9.6.1.9 Pendelschlag

Nach dem Pendelschlagversuch mit dem Zwillingstreifen aus einer Fallhöhe von 700 mm war das Element noch ausreichend in der Wand befestigt. Es zeigten sich keinerlei signifikante Schäden.

9.6.1.10 Orientierende Untersuchungen zur Absturzsicherung

Am Fenster wurden orientierende Untersuchungen zur absturzsichernden Funktion durchgeführt. Ziel war es zu untersuchen, ob die Lasten an den Befestigungsmitteln abge-

tragen werden können. Hierzu wurden Versuche sowohl zum dynamischen Anprall als auch zur statischen Holmlast durchgeführt.

An der Ausfachung wurden entsprechend DIN 18008 mit dem Zwillingsreifen aus einer Fallhöhe von 900 mm Anpralllasten eingeleitet.

Ebenso wurde der Anprall auf den Riegel untersucht. Hierzu wurde zum einen der Glaskugelsack nach ETB Richtlinie verwendet (siehe auch Abbildung 116). Die Fallhöhe betrug hier entsprechend des Berechnungsverfahrens nach ETB Richtlinie 700 mm. Zusätzlich wurde der Riegel auch mit dem Zwillingsreifen bei einer Fallhöhe von 900 mm belastet. Die Aufprallpunkte lagen hierbei (sowohl Glaskugelsack als auch Zwillingsreifen) an den Enden des Riegels.

Die Anprallversuche führten zu keinem Versagen der Befestigung des Fensters.



Abbildung 116 Prüfung des Anpralls mit Glaskugelsack nach ETB Richtlinie

Nach den Anprallversuchen wurden weitere Versuche zur Lasteinleitung mittels statischen Lasten durchgeführt. Hierzu wurde mit einem hydraulischen Druckstempel der Übergangsbereich vom Riegel zum Blendrahmen im Bereich des T-Verbinders belastet. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 117 dargestellt.



Abbildung 117 Lasteinleitung am Übergangspunkt Riegel Blendrahmen

Mit dem Versuchsaufbau war es möglich eine Last von 11 kN einzuleiten. Eine größere Kraft konnte mit dem Versuchsaufbau nicht umgesetzt werden. Die Belastung konnte durch die Befestigungsmittel abgetragen werden, ohne dass die Befestigung selbst versagte. Durch die hohen Lasten bildeten sich Langlöcher in den Leibungsziegeln an den Befestigungsmitteln ober- und unterhalb des Riegels. Nach Belastungsende wurde das Fenster immer noch ausreichend in der Wand gehalten.



Abbildung 118 Langlochbildung am Befestigungspunkt über dem Riegel

9.7 Versuchsergebnisse an Wand 8

Die Ansicht des untersuchten Bauteils (Wand + Fenster) kann Abbildung 119 entnommen werden. Ebenso sind die verwendeten Leibungsziegel nochmals dargestellt.



Abbildung 119 Wandaufbau 8 mit Fensterelement sowie verwendete Leibungsziegel

Die während den einzelnen Belastungen auftretenden Verformungen wurden an insgesamt 16 Messpunkten aufgezeichnet und zwar an den vier Ecken des Fensters sowie an den Befestigungspunkten. Die Lage der einzelnen Messpunkte kann

Abbildung 111 entnommen werden.

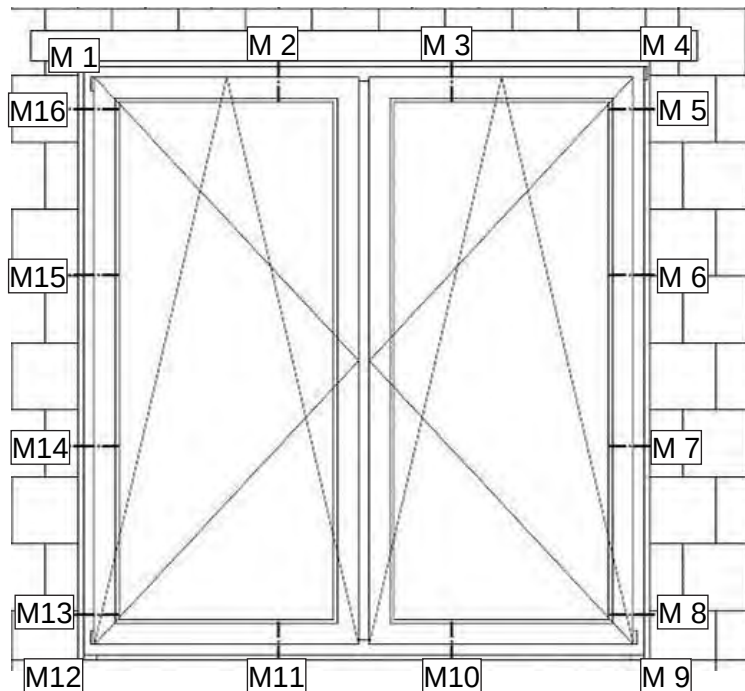


Abbildung 120 Lage der Messpunkte M1 bis M16

Hinweis: Der Potentiometer an der Messstelle 9 war defekt und es konnten daher keine Daten aufgezeichnet werden.

9.7.1.1 Widerstandsfähigkeit gegen Lasten in der Flügelebene (Racking)

Die Untersuchungen zum Verhalten bei Lasteinwirkung in der Flügelebene bei geöffnetem Flügel erfolgten am linken Flügel. Die während der Belastung gemessenen Verformungen in Abhängigkeit der Nutzlast sowie die am Belastungsende bleibenden Verformungen sind in Tabelle 83 aufgeführt.

Tabelle 83 Ermittelte Verformungen an den Messpunkten während des Racking

Nutzlast	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
200 N	2,4	0,4	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	/	0,1	-0,2	-1,0	-1,0	-0,3	1,0	1,6
400 N	3,1	0,6	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	/	0,1	-0,3	-1,2	-1,3	-0,3	1,3	2,1
600 N	3,8	0,7	-0,1	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	/	0,1	-0,3	-1,5	-1,6	-0,4	1,6	2,5
800 N	4,4	0,9	-0,1	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	/	0,1	-0,4	-1,8	-1,9	-0,4	1,9	3,0

Bleibende Verformung	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
	2,8	0,6	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	/	0,0	-0,3	-1,0	-1,0	-0,2	1,3	2,0

Alle Maßangaben in mm

Bis zu einer Nutzlast von 800 N ergeben sich an den Befestigungspunkten in der Leibung Verformungen die deutlich unter der Maximalverformung von 3 mm liegen. Die bleibende Verformung nach Belastung liegt ebenso deutlich unter der Anforderung von 1 mm.

9.7.1.2 Statische Windlast

Statische Windlasten von 800 bis 2000 Pa (nur Druck) führten zu den in Tabelle 84 dargestellten Verformungen. Es wurden keine Sogmessungen durchgeführt. An den Befestigungspunkten in der Leibung werden die Anforderungen an die maximale Verformung von 3 mm bis zu einem Druck von 1600 Pa eingehalten. Für eine Druckdifferenz von 2000 Pa werden Verformungen gemessen, die teilweise leicht über dem Grenzwert von 3 mm liegen. Es tritt keine nennenswerte bleibende Verformung nach der Belastung auf.

Tabelle 84 Ermittelte Verformungen an den Messpunkten während der stat. Windlast

Druck	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
+800 Pa	1,0	2,3	2,0	0,8	0,8	1,2	1,0	0,6	/	1,4	1,4	0,5	0,6	1,0	1,2	0,9
+1200 Pa	1,4	3,5	3,1	1,1	1,2	1,9	1,6	0,9	/	2,3	2,3	0,8	0,9	1,7	1,8	1,4
+1600 Pa	1,8	4,6	4,2	1,4	1,5	2,4	2,1	1,3	/	3,3	3,3	1,1	1,4	2,3	2,5	1,9
+2000 Pa	2,3	5,6	5,2	1,7	1,9	3,0	2,6	1,6	/	4,2	4,2	1,5	1,8	2,8	3,1	2,3

Bleibende Verformung	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
	0,4	0,8	0,8	0,3	0,2	0,2	0,3	0,6	/	0,7	0,6	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3

Alle Maßangaben in mm

9.7.1.3 Druck-Sog-Wechselasten

Aus Tabelle 85 kann entnommen werden, dass die Alterung mit Druck-Sog-Wechselasten zu keiner Lockerung der Befestigungsmittel in den Leibungsziegeln geführt hat. Am Ende der Wechselasten bleibt keine nennenswerte bleibende Verformung bestehen.

Tabelle 85 Ermittelte Verformungen an den Messpunkten zu Beginn und Ende der Druck-Sog-Wechselasten

Erster Zyklus	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
+1000 Pa	1,5	3,7	3,4	1,1	1,2	1,7	1,5	1,0	/	2,5	2,4	0,9	1,0	1,6	1,8	1,5
-1000 Pa	-1,7	-2,9	-2,5	-1,1	-1,2	-1,7	-1,3	-0,8	/	-1,5	-1,9	-0,5	-0,9	-1,5	-1,6	-1,6

Letzte Zyklus	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
+1000 Pa	1,6	3,8	3,5	1,2	1,3	1,8	1,5	1,0	/	2,6	2,4	1,0	1,0	1,6	1,7	1,5
-1000 Pa	-1,8	-3,3	-2,7	-1,1	-1,2	-1,6	-1,2	-0,8	/	-1,5	-1,9	-0,5	-0,9	-1,5	-1,7	-1,7



Bleibende Verformung	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
	0,4	0,4	0,5	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	/	0,3	0,3	0,5	0,3	0,1	0,1	0,3

Alle Maßangaben in mm

9.7.1.4 Klima-Wechselasten

Klima-Wechselasten führten zu keinen unzulässigen Verformungen der Befestigungsmittel (siehe Tabelle 86). Die Messstellen 8 und 16 zeigen Verformungen, die leicht über der definierten zulässigen max. bleibenden Verformung von 1 mm liegen. Die Ursache hierfür wird in der gegenüber der Referenzgröße“ der MO/02-1 (1,23 x 1,48 m) stark abweichenden Elementabmessungen gesehen.

Tabelle 86 Ermittelte maximale Verformungen an den Messpunkten während der Klima-Wechselbelastung

Temperatur	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
+ 60°C	0,3	-0,6	-0,6	0,2	-0,1	-0,2	-0,2	0,1	/	-0,2	-0,3	0,5	0,1	-0,2	-0,3	0,0
- 15°C	-3,7	1,0	0,9	-3,1	-0,9	1,8	1,3	-2,6	/	0,6	1,1	-3,1	-1,5	1,4	1,5	-1,6

Bleibende Verformung	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
	-2,2	0,2	0,3	-1,8	-0,7	0,9	0,7	-1,8	/	0,2	0,5	-1,9	-0,9	0,2	0,6	-1,1

Alle Maßangaben in mm

9.7.1.5 Dauerfunktion

Am Ende der Dauerfunktion waren keine Lockerungen der Befestigungsmittel in den Leibungsziegeln zu beobachten.

9.7.1.6 Druck-Sog-Wechselasten nach klimatischer Belastung und Dauerfunktion

Tabelle 87 kann entnommen werden, dass die erneuten Druck-Sog-Wechselasten zu keiner Lockerung der Befestigungsmittel in den Leibungsziegeln geführt hat. Am Ende der Wechselasten bleibt keine nennenswerte bleibende Verformung bestehen.

Tabelle 87 Ermittelte Verformungen an den Messpunkten zu Beginn und Ende der Druck-Sog-Wechselasten nach Klimabelastung und Dauerfunktion

Erster Zyklus	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
+1000 Pa	1,5	2,6	2,2	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	/	2,1	1,9	0,8	1,0	1,2	1,4	1,4
-1000 Pa	-1,6	-3,9	-3,6	-0,8	-0,9	-1,9	-1,5	-1,3	/	-1,8	-2,3	-0,9	-1,1	-1,6	-1,8	-1,6

Letzte Zyklus	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
+1000 Pa	1,7	2,8	2,4	1,0	1,0	1,2	1,2	1,4	/	2,2	1,9	0,8	1,0	1,3	1,5	1,6

-1000 Pa	-1,8	-4,3	-3,8	-0,8	-1,0	-1,9	-1,6	-1,3	/	-1,9	-2,3	-0,9	-1,1	-1,5	-1,9	-1,7
----------	------	------	------	------	------	------	------	------	---	------	------	------	------	------	------	------

Bleibende Verformung	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
	-0,2	-0,5	-0,5	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1	-0,2	/	-0,5	-0,5	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	-0,1

Alle Maßangaben in mm

9.7.1.7 Statische Windlast nach klimatischer Belastung und Dauerfunktion

Die ermittelten Verformungen durch statische Windlast nach der klimatischen Belastung und Dauerfunktion sind in Tabelle 88 dargestellt. Wie auch im Rahmen der Eingangsprüfung werden bis 1600 Pa Verformungen gemessen, die unter der Anforderung von 3 mm liegen. Für eine Druckdifferenz von 2000 Pa werden Verformungen gemessen, die auch hier in der Ausgangsprüfung teilweise leicht über dem Grenzwert von 3 mm liegen. Im Vergleich zur stat. Windlast vor klimatischer Belastung und Dauerfunktion (Tabelle 84) zeigt sich keine signifikante Erhöhung der gemessenen Verformungen.

Tabelle 88 Ermittelte Verformungen an den Messpunkten während der stat. Windlast nach Klimabelastung und Dauerfunktion

Druck	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
+800 Pa	1,5	2,8	2,5	0,8	0,8	1,1	1,0	1,4	/	2,2	2,0	0,7	0,8	1,1	1,3	1,4
-800 Pa	-1,5	-3,4	-2,9	-0,6	-0,7	-1,4	-1,2	-0,9	/	-1,2	-1,5	-0,6	-0,8	-1,2	-1,4	-1,3
+1200 Pa	2,0	3,6	3,2	1,3	1,3	1,6	1,5	1,8	/	2,9	2,7	1,1	1,3	1,6	1,9	1,9
-1200 Pa	-1,8	-4,3	-3,7	-0,9	-1,1	-2,0	-1,7	-1,3	/	-1,7	-2,1	-1,0	-1,2	-1,8	-2,0	-1,8
+1600 Pa	2,5	4,5	4,1	1,8	1,8	2,2	2,0	2,1	/	3,7	3,5	1,5	1,7	2,2	2,5	2,4
-1600 Pa	-2,4	-5,6	-4,9	-1,3	-1,6	-2,8	-2,4	-1,8	/	-2,6	-3,3	-1,4	-1,7	-2,5	-2,7	-2,4
+2000 Pa	2,9	5,5	5,0	2,1	2,1	2,7	2,5	2,4	/	4,4	4,4	1,8	2,1	2,8	3,2	2,9
-2000 Pa	-2,9	-6,4	-5,7	-1,6	-2,0	-3,3	-2,8	-2,1	/	-3,2	-4,0	-1,7	-2,0	-3,0	-3,2	-2,8

Bleibende Verformung	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
	-0,1	-0,3	-0,3	-0,2	-0,1	0,0	-0,1	-0,2	/	-0,4	-0,3	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1

Alle Maßangaben in mm

9.7.1.8 Sicherheitsversuch

Nach dem Sicherheitsversuch zeigten sich keine Schäden, das Fenster wurde ausreichend in der Leibung gehalten.

9.7.1.9 Pendelschlag

Auch beim Pendelschlagversuch blieben keine Schäden, das Fenster wurde ausreichend in der Leibung gehalten.

9.7.1.10 Windbelastung bis zum Versagen

Ziel der Untersuchung war es, das Bauelement bis zum Versagen zu belasten. Im ersten Durchgang konnte eine Sogbelastung bis 5.200 Pa durchgeführt werden. Aufgrund der Undichtigkeit des Bauteils sowie des begrenzten Fördervolumens des Prüfstandes konnte im vorhandenen Prüfaufbau keine höhere Druckdifferenz angefahren werden. Abbildung 121 zeigt exemplarisch die Durchbiegung im oberen Bereich des Fensters.



Abbildung 121 Durchbiegung des Fensterelementes

Um ein Versagen herbeizuführen wurden für die weiterführenden Prüfungen die Befestigungsmittel zum Sturz und zum „Estrich“ entfernt. Um die Durchbiegung des Fensters selbst zu begrenzen, wurden die oberen und unteren Blendrahmen als auch der Pfosten mit von der Raumseite aufgetragenen Holzprofilen ausgesteift (Abbildung 122).



Abbildung 122 Ausgesteiftes Element

Um die Luftdichtheit des Bauteils zu erhöhen, wurde von der Raumseite eine Folie über das komplette Bauteil „gelegt“. Somit konnten die notwendigen Luftvolumenströme redu-

ziert und die erforderliche Druckdifferenz hergestellt werden. Abbildung 123 zeigt das Bauteil mit auf der Raumseite angebrachter Folie.



Abbildung 123 Herstellung der inneren luftdichten Ebene durch aufgelegte Folie

Anschließend wurde die Druckdifferenz beginnend bei 2000 Pa in 100 Pa Schritten erhöht. Bei 4100 Pa brach die Befestigungs-Schraube unten links (von der Raumseite). Durch das Versagen der untersten Schraube versagten anschließend auch die restlichen drei darüber liegenden Schrauben im „Reißverschlussverfahren“. Nach dem Ausbau des Fensters konnte auch im unteren Bereich eine leichte Rissbildung im Ziegelmauerwerk festgestellt werden. Der Ziegelstein selbst saß jedoch noch fest im Verband. Abbildung 124 zeigt Aufnahmen des Befestigungspunktes, als auch des gebrochenen Befestigungsmittels.



Abbildung 124 oben: Unterer Befestigungspunkt nach Ausbau des Elements
unten: Ausgebautes, gebrochenes Befestigungsmittel



Ausgehend von der für den unteren Befestigungspunkt maßgeblichen Lasteinzugsfläche ergibt sich bei einer Druckdifferenz von 4100 Pa eine Bruchlast am Befestigungspunkt von ca. 3,5 kN.

9.8 Fazit der Bauteilversuche

Bauteilversuche zeigen, dass das theoretische (vereinfachte) Bemessungsmodell im Rahmen der baupraktischen Anwendung eine ausreichende Übereinstimmung mit den in den Bauteilversuchen ermittelten Verformungen aufweist. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass eine nach dem Bemessungskonzept ausgeführte Befestigung in den untersuchten, hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften optimierten Leibungsziegeln eine ausreichende Dauerhaftigkeit aufweist.

Der bereits vorgestellte Ansatz einer Gruppenbefestigung zur Lastverteilung (über Eck oder Doppelbefestigung) wurde durch die zusätzlichen Bauteilversuche bestätigt.

10 Befestigungsplaner

Zur Ermittlung der Lasten, die an den Befestigungspunkten angreifen, kann der Monteur auf ein online Berechnungstool zurückgreifen.

Unter www.befestigungsplaner.de werden anhand der Eingabe der Randbedingungen, die Auflagerkräfte an den Befestigungspunkten ermittelt und in einer PDF-Datei ausgegeben. Dieses Ergebnisblatt dient im Rahmen der statischen Bemessung der Fensterbefestigung zur Auswahl eines geeigneten Befestigungsmittels.

Die Befestigung in hochwärmedämmendem Ziegelmauerwerk ist hierbei im Sonderfall 1 enthalten (siehe Abbildung 125). Die entsprechende Abfrage erfolgt in einer gesonderten Eingabemaske (Abbildung 126).

The screenshot shows the 'Befestigungsplaner' software interface. At the top, it says 'Version 1.0'. Below the title bar, a message states: 'Diese Darstellung zeigt Ihnen, anhand welcher Werte die Einteilung in Fälle erfolgt'. The main area is divided into two columns: 'Standardfall' and 'Sonderfall 1'. Each column has a grid of icons and text describing different mounting scenarios. The 'Standardfall' column includes options for 'Außenwand' (≥ C12/15, DFK ≥ 12, DFK ≥ 4), 'Einbausituation' (Montage in der Leibung, Befestigung umlaufend), 'Fensterkonstruktion' (b/h ≤ 1 stehendes bis quadratisches Flügelformat MIG ≤ 35kg/m²), and 'Leistungseigenschaften' (≤ B4, ≤ B3). The 'Sonderfall 1' column includes options for 'Außenwand' (Hochwärmedämmende fillgrane/gefüllte Steine), 'Einbausituation' (Vorwandmontage, Befestigung nicht umlaufend), 'Fensterkonstruktion' (b/h > 1 liegendes Flügelformat MIG > 35kg/m²), and 'Leistungseigenschaften' (> B4, > B3, Klasse 1-4). At the bottom, there are 'Zurück' and 'Weiter' buttons.

Abbildung 125 Beschreibung des Standardfalls sowie des Sonderfalls 1 im Befestigungsplaner

The screenshot shows the input mask for determining the 'Fall' (case) in the Befestigungsplaner software. It contains several sections with radio buttons and dropdown menus. The first section asks 'Tragfähigkeit vom Mauerwerk?' with options 'ausreichend tragfähig' and 'nicht ausreichend tragfähig'. The second section asks 'Befestigungsart' with options '4-seitig in Laibung befestigt' and '2-seitig in Laibung befestigt'. The third section asks 'Anzahl Flügel:' with a dropdown menu set to '1'. The fourth section asks 'Flügelfläche:' with options '≤ 2,2 m²' and '> 2,2 m²'. The fifth section asks 'Flügelformat:' with a dropdown menu set to 'stehend (b/h < 1)'. The sixth section asks 'Glasflächengewicht:' with options '≤ 35 kg/m² (≤ 14 mm Gesamtdicke)' and '> 35 kg/m² (> 14 mm Gesamtdicke)'. The seventh section asks 'Anforderungen an Windwiderstand:' with a dropdown menu set to 'B4 (1600Pa)' and a button 'Fall berechnen'. The eighth section asks 'Anforderungen an vertikale Nutzlasten:' with options 'nein' and 'ja'. The ninth section asks 'Bestehen Anforderungen an eine der folgenden Beanspruchungen? (Einbruchschutz, Brandschutz, Absurzsicherung, Montage im Hochhaus-Bereich)' with options 'nein' and 'ja'. At the bottom, there are 'Zurück' and 'Fall bestimmen' buttons.

Abbildung 126 Eingabemaske zur Bestimmung des „Falls“

Zur Ermittlung der auftretenden Lasten am Befestigungspunkt müssen folgende Größen in eine Maske eingegeben werden (siehe auch Abbildung 127):

- Außenabmessung des Fensters (Breite x Höhe)
- Rahmenwerkstoff
- Art des Fensters (Festfeld, 1-flügelig, mehrflügelig, Stulp etc.)
- Das Gewicht des Fensters bzw. die Gesamtglassdicke zur näherungsweisen Berechnung des Gewichts des Fensters
- Die geplante Anzahl der Befestigungspunkte (seitlich, oben und unten); Hier erfolgt nach Eingabe der oberen Größen ein Vorschlag, der jedoch noch abgeändert werden kann
- Die Bemessungswindlast nach DIN 18055
- Vertikale Nutzlasten P

Ihr Fenster befindet sich im Sonderfall 1

Um die Kräfte, die auf Ihr Fenster wirken, berechnen zu können, müssen Sie noch ein paar zusätzliche Werte in das folgende Formular eingeben

Gewichtsangaben

Ich kenne das Gewicht meines Fensters: ☐

Blendrahmenbreite mm

Blendrahmenhöhe mm

Rahmenwerkstoff ☐

Fensterart ☐

Gesamtglassdicke: mm

Befestigungspunkte

Anzahl Befestigungspunkte seitlich stk

max. Befestigungsabstand seitlich mm

Anzahl Befestigungspunkte oben/unten stk

max. Befestigungsabstand oben/unten mm

Mein Rahmen hat Zusatzlasten: ☐

Windlasten

Vertikale Nutzlasten: ☐

Bemessungswindlast (nach DIN 18055) kN/m² ☐

Abbildung 127 Eingabemaske im Sonderfall 1 mit den notwendigen Größen

Nach Eingabe der entsprechenden Daten, werden die entsprechenden Auflagerkräfte berechnet und in einer Ergebnisübersicht dargestellt (Abbildung 128). Die Ergebnisse können auch zu Dokumentationszwecken heruntergeladen werden. Angegeben werden die Auflagerkräfte in Fensterebene, die aus der Abtragung des Eigengewichts des Fensters entstehen, die Kräfte in Flügelebene, die durch einen leicht geöffneten Flügel entste-



hen sowie die Kräfte rechtwinklig zur Fensterebene, die durch Windlasten oder einen um 90° geöffneten Flügel entstehen. Hierbei wird als Ergebnis das Maximum aus den beiden Fällen Wind bzw. geöffneter Flügel angegeben.

Im Formular zur Berechnung der Kräfte haben Sie folgende Angaben gemacht:

Blendrahmenbreite:	1230 mm	Blendrahmenhöhe:	1480 mm
Fensterart:	1-flügelig	Gesamtglasdicke:	16 mm
Rahmenwerkstoff:	PVC-hart mit Stahlarmierung		
Gewicht Blendrahmen:	19.0 kg	Gewicht Flügel:	70.3 kg
Flügelbreite:	1130 mm	Flügelhöhe:	1380 mm
Bemessungswindlast:	1.60 kN/m ²	vertikale Nutzlast:	0.60 kN
Gesamtgewicht:	89.3 kg	Flügelformat (b/h):	0.82
Anzahl Befestigungspunkte seitlich:	3	max. Befestigungsabstand seitlich	590 mm
Anzahl Befestigungspunkte oben/unten:	1	max. Befestigungsabstand oben/unten:	620 mm

Anhand der von Ihnen eingegebenen Daten wurden folgende Kräfte berechnet:

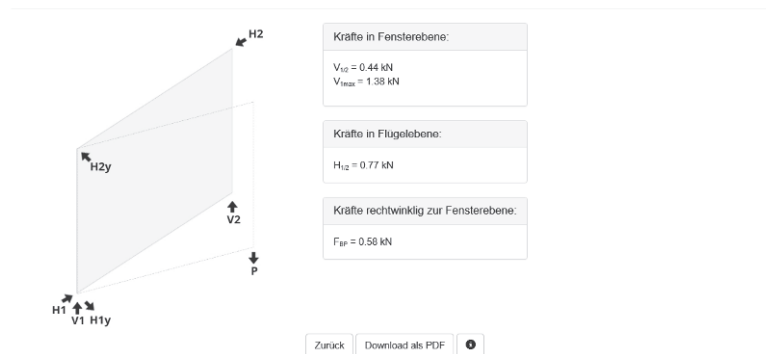


Abbildung 128 Berechnete Kräfte an den Befestigungsmitteln

Zukünftig wird die Planung der Montage von Fenstern auf der Internetseite www.ift-montageplaner.de weitergeführt.



11 Literaturverzeichnis

- [1] EnEV 2014
Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 18. November 2013
Bundesgesetzblatt Jahrgang 2013 Teil I Nr. 67
- [2] ETAG 020 Anhang C Fassung 2006-03
Bemessungsverfahren für Verankerungen Leitlinie für die europäische technische Zulassung für Kunststoffdübel als Mehrfachbefestigung von nichttragenden Systemen zur Verankerung im Beton und Mauerwerk
- [3] Leitfaden zur Planung und Ausführung der Montage von Fenstern und Haustüren 2014
Herausgeber: RAL-Gütegemeinschaft Fenster und Haustüren e.V.
ISBN: 978-3-00-045381-6
- [4] ETB Richtlinie „Bauteile die gegen Absturz sichern
Ausgaben Juni 1986
Deutsches Institut für Bautechnik
- [5] DIN EN 1991-1-4
Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten
Beuth Verlag, Berlin
- [6] DIN EN 1991-1-4/NA
Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten
Beuth Verlag, Berlin
- [7] EN 13115:2001
Fenster – Klassifizierung mechanischer Eigenschaften – Vertikallasten, Verwindung und Bedienkräfte
Beuth Verlag
- [8] DIN 18055:2014
Kriterien für die Anwendung von Fenstern und Außentüren nach DIN EN 14351-1
Beuth Verlag, Berlin
- [9] DIN EN 1991-1-4
Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewichte und Nutzlasten im Hochbau
Beuth Verlag, Berlin
- [10] Donate Mayerhöffer
Untersuchungen zur Ermittlung der Belastungsgrenzen von Befestigungslösungen in hochwärmedämmendem Ziegelmauerwerk
Bachelorarbeit an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Rosenheim; 2014
- [11] ETAG 020:2006
Bemessungsverfahren für Verankerungen Leitlinie für die europäische technische Zulassung für Kunststoffdübel als Mehrfachbefestigung von nichttragenden Systemen zur Verankerung im Beton und Mauerwerk
- [12] MO-02/1:2015
Baukörperanschluss von Fenstern - Teil 2 Verfahren zur Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit von Befestigungssystemen
ift Rosenheim
- [13] ETAG029 Edition April 2013
Guideline for European technical Approval of metal injection anchors for use in masonry – Annex A: Details of tests
EOTA

- [14] Tobias Feth
Statische Analyse verschiedener Befestigungskonzepte von Fenstern in hochwärmedämmendem Ziegelmauerwerk
Bachelorarbeit an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Rosenheim; 2015

12 Danksagung

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumordnung gefördert (Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-13.27).

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt bei den Autoren.

Für die administrative Betreuung des Vorhabens durch Hrn. Guido Hagel von der Forschungsinitiative Zukunft Bau vielen Dank.

Besonderer Dank gebührt auch den Industriepartnern, die das gesamte Projekt sowohl ideell, inhaltlich, als auch finanziell unterstützten und somit zum Gelingen beitrugen:

	Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel e. V. Reinhardtstraße 12-16 10117 Berlin
	Adolf Würth GmbH & Co. KG Reinhold-Würth-Straße 12–17 74653 KÜNZELSAU-GAISBACH Hr. Dr. Ing. Jürgen Küenzlen Hr. Thorsten Immel Hr. Thomas Kuhn

Ebenso möchten wir uns bei folgenden Firmen bedanken, die für die Untersuchungen unentgeltlich Fenster zur Verfügung gestellt haben:

	Kneer-Südfenster Horst-Kneer-Straße 1 72589 Westerheim
	heroal - Johann Henkenjohann GmbH & Co. KG Österwieher Str. 80 33415 Verl
	VEKA AG Dieselstraße 8 48324 Sendenhorst



ift Rosenheim
Theodor-Gietl-Straße 7-9
83026 Rosenheim

Tel.: +49 (0) 80 31 / 261-0
Fax: +49 (0) 80 31 / 261-290
E-Mail: info@ift-rosenheim.de
www.ift-rosenheim.de

© ift Rosenheim 2018