



Wolfgang Jehl, Norbert Sack, Benno Eierle

**Erarbeitung einer Handlungsanleitung  
zur Bewertung der Absturzsicherung  
von Fenstern in der Gebäudehülle und  
deren Einbau sowie einer Erläuterung  
zur Anwendung der ETB-Richtlinie**

Wolfgang Jehl, Norbert Sack, Benno Eierle

**T 3387**

**Erarbeitung einer Handlungsanleitung  
zur Bewertung der Absturzsicherung  
von Fenstern in der Gebäudehülle und  
deren Einbau sowie einer Erläuterung zur  
Anwendung der ETB-Richtlinie**

T 3387

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

2021

ISBN 978-3-7388-0648-9

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

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

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

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

---

## Erarbeitung einer Handlungsanleitung zur Bewertung der Absturzsicherung von Fenstern in der Gebäudehülle und deren Einbau sowie einer Erläuterung zur Anwendung der ETB-Richtlinie

---







## Abschlussbericht

<b>Thema</b>	<b>Erarbeitung einer Handlungsanleitung zur Bewertung der Absturzsicherung von Fenstern in der Gebäudehülle und deren Einbau sowie einer Erläuterung zur Anwendung der ETB-Richtlinie</b>
<b>Kurztitel</b>	Nachweis der Absturzsicherung eingebauter Fenster
<b>Gefördert durch</b>	Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin  (Aktenzeichen: P 52-5-3.120-2016/18)
<b>Forschungsstelle</b>	ift gemeinnützige Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH Theodor-Gietl-Straße 7-9  83026 Rosenheim
<b>Bearbeiter</b>	Wolfgang Jehl Norbert Sack  Prof. Dr. Benno Eierle, Technische Hochschule Rosenheim
<b>Projektleiter</b>	Wolfgang Jehl
<b>Institutsleitung</b>	Prof. Jörn P. Lass

Rosenheim, Oktober 2020





## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Projektziel</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Arbeitsplan</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Analyse der aktuellen Anforderungen</b>	<b>9</b>
3.1	Konstruktionstypen von absturzsichernden Fenstern und Bauteilen am Fenster	9
3.2	Ermittlung der entsprechenden statischen Anforderungen	11
3.2.1	Normative Grundlagen	11
3.2.2	Nachweise entlang der Nachweiskette	14
3.2.3	Analyse der normativen Regelungen für absturzsichernde Fenster	18
<b>4</b>	<b>Theoretische Erläuterungen zum weichen Stoß</b>	<b>23</b>
4.1	Herleitung von Gl. (11) der ETB-Richtlinie	23
4.1.1	Energieerhaltung zweier Federn in Reihenschaltung	24
4.1.2	Annahmen und Voraussetzungen von Gl. (11) der ETB-Richtlinie	25
4.1.3	Herleitung	25
4.1.4	Diskussion	26
4.2	Herleitung einer Obergrenze für die statische Ersatzlast	26
4.3	Erweiterung von Gl. (11) der ETB-Richtlinie	27
4.3.1	Besonderheit bei Fensterelementen	27
4.3.2	Erweiterter Ansatz für Fensterbefestigungen	27
4.3.3	Die Steifigkeit des Befestigungselementes $c_{2,BE}$	28
4.3.4	Die Steifigkeit des Systems $c_{2,SY}$	28
4.3.5	Aufteilung der Stoßlast auf System und Befestigungselement	29
4.3.6	Einfluss der Parameter	30
4.3.7	Energieaufnahme bei nichtlinearem Verhalten des Befestigungselements	30
<b>5</b>	<b>Experimentelle Untersuchungen</b>	<b>37</b>
5.1	Generell	37
5.2	Beschreibung der Probekörperaufbauten	37
5.3	Durchführung der Untersuchungen und Ergebnisse	40
5.3.1	Statische Versuche	40
5.3.2	Dynamische Versuche	45
<b>6</b>	<b>Rechnerische Untersuchungen</b>	<b>51</b>
6.1	Vorgehensweise	51
6.1.1	Ziel	51
6.1.2	Methodik und Validierung	51
6.1.3	Rechenmodell	51
6.2	Nachrechnung der Bauteilversuche	53
6.2.1	Parameter des Rechenmodells	53
6.2.2	Vergleich der rechnerischen und gemessenen Verformungen	54
6.2.3	Vergleich der rechnerischen und gemessenen Lastverteilung	55
6.2.4	Bewertung des Simulationsmodells	58
6.3	Parameterstudie	58

6.3.1	Parameter	58
6.3.2	Simulationsmodelle	60
6.3.3	Ergebnisse der Parameterstudie	62
6.3.4	Schlussfolgerungen aus der Parameterstudie	66
<b>7</b>	<b>Empfehlung zur Umsetzung der Forschungsergebnisse</b>	<b>69</b>
7.1	Regelungslücken sowie Lösungsvorschlag	69
7.2	Anwendbarkeits- und Verwendbarkeitsnachweise	72
7.3	Statischer Nachweis unter Ausnutzung der Lastweiterleitung (Mehrfachbefestigung)	73
7.3.1	Nachweis auf Basis der ETB-Richtlinie, Abschnitt 3.2.2.2.3	73
7.3.2	Erläuterungen zum Nachweis nach Abschnitt 3.2.2.2.3 der ETB-Richtlinie	74
7.3.3	Ergänzendes Nachweisverfahren unter Ausnutzung der Lastweiterleitung	77
7.3.4	Ergänzendes Nachweisverfahren des Bauteilwiderstandes über einen Energieansatz	79
7.3.5	Objektbezogener Nachweis der Lastweiterleitung durch eine Simulation	79
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>81</b>
<b>9</b>	<b>Danksagung</b>	<b>83</b>



## Zusammenfassung

Bauteile der Gebäudehülle mit absturzsichernden Eigenschaften sind gegenüber statischen und stoßartigen Belastungen bezüglich der ausreichenden Tragfähigkeit des Bauteils einschließlich der Verankerung im tragenden Untergrund nachzuweisen. Die anzuwendenden Regelwerke wurden zu deutlich unterschiedlichen Zeitpunkten erarbeitet und veröffentlicht. Insbesondere die ETB Richtlinie stammt aus dem Jahr 1985 und entspricht nicht mehr den heutigen Sicherheitskonzepten. Daher war es das Ziel des beantragten Vorhabens eine Anleitung zu erarbeiten, die die notwendige Nachweisführung für absturzsichernde Fenster sowie die hierfür möglichen Nachweiswege eindeutig festlegt. Des Weiteren sollte analysiert werden, wie und unter welchen Randbedingungen beim Nachweis der Fensterbefestigung die statische Ersatzlast für den Anprall auf mehrere Befestigungspunkte verteilt werden kann.

Um das Forschungsziel zu erreichen wurden die aktuellen Anforderungen bzgl. der Nachweiswege und Nachweisverfahren für absturzsichernde Fenster analysiert und auf Konsistenz hinsichtlich der unterschiedlichen zu verwendenden Regelwerke überprüft. Ebenso erfolgte eine Analyse der Definitionslücken in den Regelwerken sowie Anforderungen, die von den möglichen Beteiligten (z.B. Statiker, Baubehörden, Prüfinstitute) unterschiedlich interpretiert und angewendet werden. Basierend auf dieser Analyse wurden entsprechende Vorschläge erarbeitet, wie mit den offenen Punkten zukünftig umgegangen werden sollte.

Ein wesentlicher Teil der Untersuchungen beschäftigte sich mit dem rechnerischen Nachweis des weichen Stoßes, insbesondere mit der Frage der Lastweiterleitung der lokalen Stoßbeanspruchung auf benachbarte Befestigungspunkte. Um diese Fragestellung zu beantworten, wurden die wesentlichen Parameter, die die Lastweiterleitung beeinflussen, in FEM-Berechnungen variiert. Das Berechnungsmodell wurde zuvor durch experimentelle Untersuchungen validiert. Aus der Parameterstudie wurde ein Vorschlag erarbeitet, unter welchen konstruktiven Randbedingungen eine Lastweiterleitung an benachbarte Befestigungspunkte angesetzt und hierdurch die Last am direkt beanspruchten Befestigungspunkt reduziert werden kann.

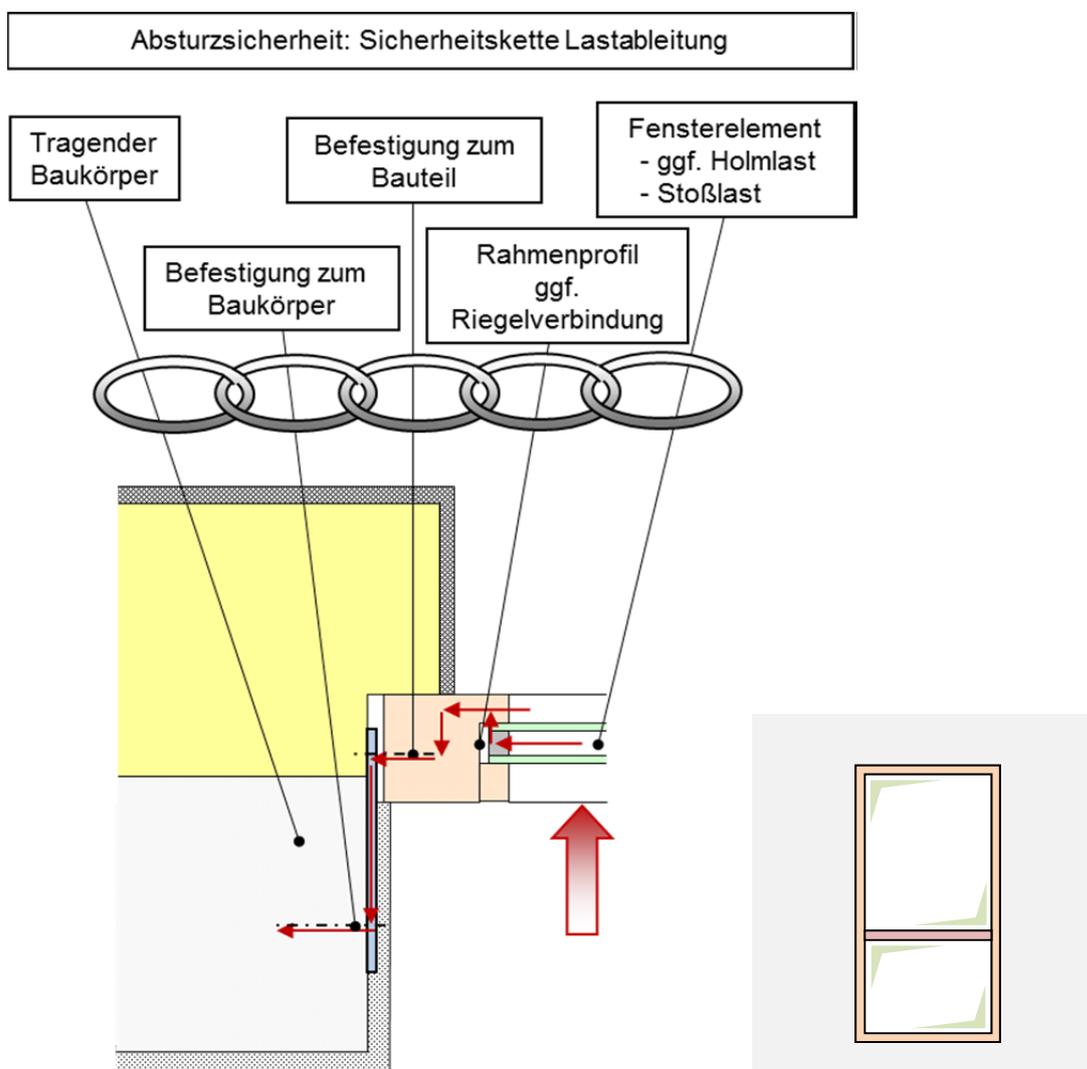
Zudem wurde neben dem bisherigen Ansatz, den Anprall durch eine statische Ersatzlast nachzuweisen, ein Vorschlag für ein Bemessungsverfahren erarbeitet, bei dem die Aufnahme der Anprallenergie in den Befestigungsmitteln nachgewiesen wird.



## 1 Einleitung und Projektziel

Werden Bauteile unterhalb der Brüstungshöhe und ab einem bestimmten Höhenunterschied gegenüber der zu sichernden Verkehrsfläche (z.B. Fußboden innen und angrenzender Geländeoberkante außen) eingebaut, werden baurechtliche Anforderungen an die Absturzsicherung gestellt. Die maßgeblichen Brüstungshöhen (zwischen 0,8 m und 1,1 m) und Höhenunterschiede (zwischen 0,5 m und 1,0 m) sind in den Landesbauordnungen der Länder geregelt.

Bauteile mit absturzsichernden Eigenschaften sind gegenüber statischen und stoßartigen Belastungen bezüglich der ausreichenden Tragfähigkeit des Bauteils einschließlich der Verankerung im tragenden Untergrund nachzuweisen.



**Abbildung 1** Zu beachtende Kette für den Nachweis von absturzsichernden Bauelementen.

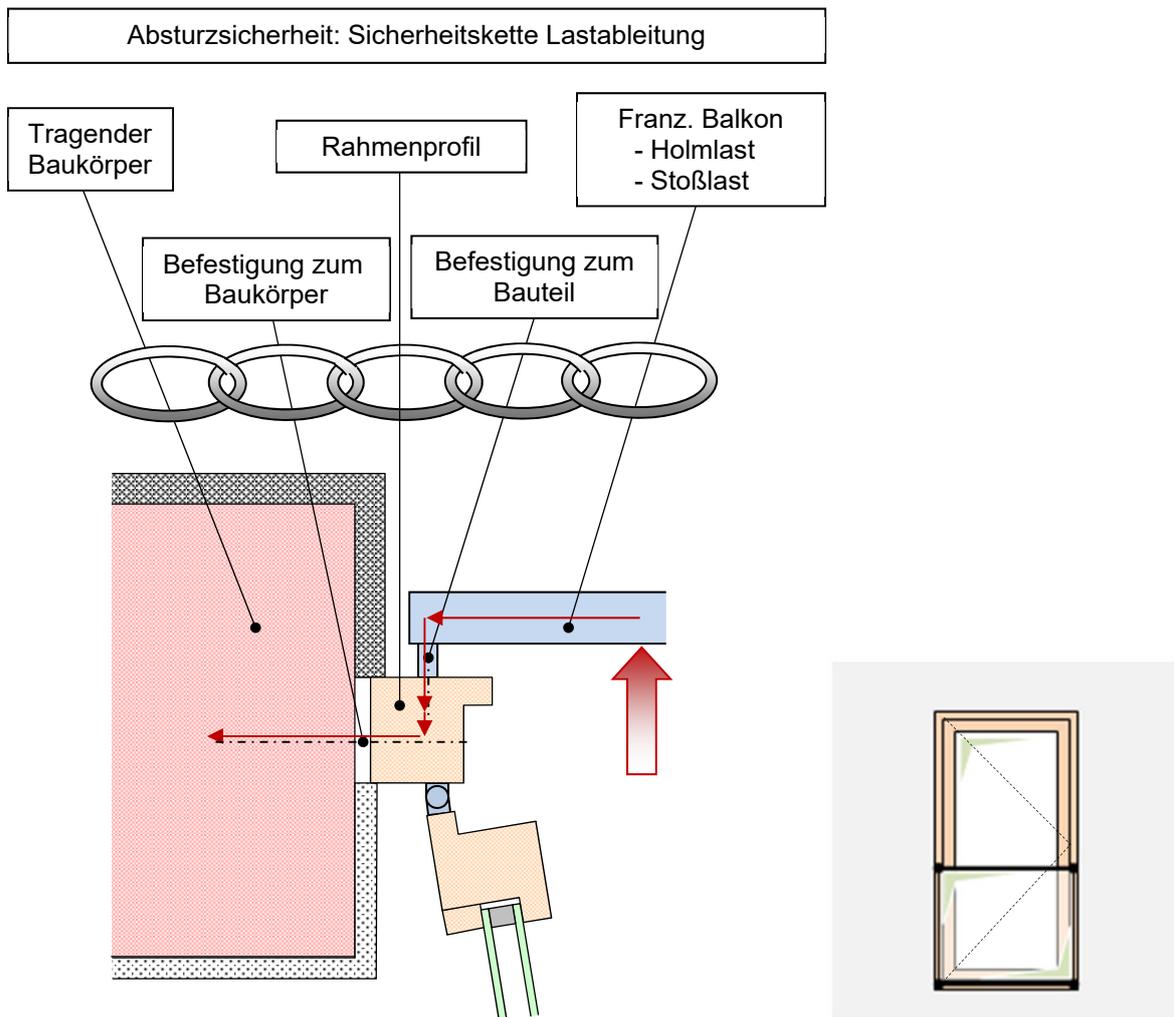
Der Nachweis der Absturzsicherung von Bauelementen der Gebäudehülle wie Fenster und Fenstertüren sowie deren Befestigung im tragenden Untergrund erfolgt aktuell nach unterschiedlichen Regelwerken wie DIN 18008-4 [1]; DIN EN 1991-1 (Eurocode 1) [2], [3], ETB-Richtlinie „Bauteile, die gegen Absturz sichern“ [4].

Der Nachweis für das **Bauteil Fenster**, im Besonderen die Verglasung und die unmittelbare Glasanbindung (Lagerung der Scheibe durch Klemmleisten, Glasfalzanschlag) erfolgt dabei nach DIN 18008-4. Entsprechend der DIN 18008-1 müssen die tragenden Teile der Konstruktion einschließlich der Verankerung im Baukörper den einschlägigen Technischen Baubestimmungen entsprechen. Eine ggf. zu berücksichtigende Holmlast nach DIN EN 1991-1-1/NA (Verglasung Kategorie A und C2) ist mit der Windlast nach DIN EN 1991-1-4/NA zu überlagern. Die Befestigung des Bauteils Fenster wird jedoch nicht in der DIN 18008-4 explizit behandelt, sondern es wird auf einschlägige technische Baubestimmungen verwiesen. Allgemein wird darunter aktuell die o.g. ETB Richtlinie verstanden.

Die statischen Anforderungen an **Geländer (u.a. franz. Balkone)** regelt zunächst einmal der Eurocode 1. Allerdings sind dort nur statische Lasten (keine Stoßlasten) und nur der Geländerholm (und damit indirekt die Pfosten) enthalten. Die Geländerfüllung ist (sofern nicht aus Glas) nach ETB-Richtlinie auszuführen. Bei Glasfüllungen greift wiederum DIN 18008-4. Die Bemessung sowie der Nachweis der Befestigung des Geländers bzw. des franz. Balkons erfolgt nach ETB Richtlinie.

Entsprechend der Nachweisführung der Einzelbauteile ergibt sich für die Kombination einer Fenstertüre mit aufgesetztem französischem Balkon mit Glasfüllung folgende Nachweiskette.

1. Verglasung des französischen Balkons: 18008-4 sowie Eurocode 1
2. Tragkonstruktion des französischen Balkons: ETB Richtlinie sowie Eurocode 1
3. Befestigung des französischen Balkons am Fensterelement: ETB Richtlinie sowie Eurocode 1
4. Befestigung des Fensterelementes im Baukörper: ETB Richtlinie sowie Eurocode 1



**Abbildung 2** Zu beachtende Kette für den Nachweis von absturzsichernden Bauelementen am Beispiel einer Fenstertüre mit französischem Balkon.

An dem in Abbildung 2 dargestellten Bauelement wird nochmals deutlich, dass für den kompletten Nachweis der Lastkette vom Bauteil selbst, über entsprechende Befestigungen bis in den tragenden Untergrund unterschiedlichste Regelwerke sowie Richtlinien anzuwenden sind.

Die anzuwendenden Regelwerke wurden zu deutlich unterschiedlichen Zeitpunkten erarbeitet und veröffentlicht. Insbesondere die ETB Richtlinie stammt aus dem Jahr 1985 und entspricht nicht mehr den heutigen Sicherheitskonzepten. Die ETB-Richtlinie basiert noch auf dem globalen Sicherheitskonzept und ist daher nicht kompatibel zum Teilsicherheitskonzept des Eurocodes und der DIN 18008.

Die Abgrenzung des Anwendungsbereichs der ETB-Richtlinie gegenüber DIN 18008-4 bzw. Eurocode 1 ist in der Praxis unter Statikern und Prüfengeuren oft nicht bekannt. Beispiel: Es wird fälschlicherweise gefordert, dass eine Unterkonstruktion auf eine Linienlast von 10 kN/m bemessen wird. Dies ist jedoch nach DIN 18008-4 nur für die unmittelba-

re Glashalterung bei linienförmiger Lagerung gefordert. Dieser Wert tritt nie über die gesamte Länge sondern nur lokal als Blocklast an der Stoßstelle auf!

Folgende weitere Problemstellungen sind beim Nachweis der Absturzsicherung aufzuführen:

- Die Randbedingungen für den Nachweis absturzsichernder Fensterelemente sind unpräzise angegeben. Der Wortlaut von Abschnitt 4 der ETB-Richtlinie lässt für den rechnerischen Nachweis den Ansatz von Eigenschaften zu, die entweder aus „Normen oder Zulassungen“ stammen oder durch „Materialuntersuchungen bestätigt“ sind. Weiterhin sind als Nachweismöglichkeit „Versuche“ (gemeint sind wohl Bauteilversuche im Labor oder am Objekt) zulässig. Für die Durchführung und Auswertung der Versuche wird auf die inzwischen überholte Ausgabe 1984 der DIN 4103-1 [5] für nichttragende innere Trennwände verwiesen.
- Die Nachweismethoden „Materialuntersuchung“ und „Versuch“ der ETB-Richtlinie müssen daher genau definiert und erläutert werden.
- Die Anforderung an französische Balkone und vorgesetzte Holmstangen hinsichtlich der dynamischen Belastung ist in der Praxis oft unbekannt bzw. wird falsch ausgelegt.
- Die Nachweismöglichkeit über Versuche ist unklar.
- Die folgenden typischen Problempunkte von Fensterelementen sind momentan weitgehend unklar in Bezug auf den Nachweis für die Absturzsicherung (einerseits Überlagerung Wind- + Holmlast, andererseits Stoß). Dies führt insbesondere in Verbindung mit Verbreiterungen zu nicht nachweisbaren Konstruktionen in der Praxis:
  - Anschluss Pfosten an Blendrahmen der nicht gerechnet werden kann (T-Verbinder vertikal)
  - Anschluss Riegel (Holm) an Blendrahmen bzw. an Pfosten (T-Verbinder horizontal)

Die dargestellten Sachverhalte beim Nachweis von absturzsichernden Bauelementen in der Gebäudehülle führen zu einer hohen Rechtsunsicherheit bei den Bauschaffenden bzw. den nachweisenden und anerkennenden Stellen.

Des Weiteren führen diese Unklarheiten sowie unterschiedliche Auslegungen zu Wettbewerbsverzerrungen sowie u.U. dazu, dass die Sicherheit im Anwendungsfall nicht gewährleistet sein könnte (ungeeignete (Prüf-) Nachweise).

Aus Erfahrungen des Antragstellers, wird zusätzlich die Thematik der Nachweisführung von absturzsichernden Fenstern bei unterschiedlichen Prüfstatikern und zuständigen Baubehörden der Länder unterschiedlich interpretiert und gehandhabt.

Ferner ist festzustellen, dass der Trend des transparenten Bauens zu einer erhöhten Verwendung von raumhohen bzw. bodentiefen Fenstern geführt hat und noch führen wird. Nach Auskunft des Verbandes Fenster und Fassade ist davon auszugehen, dass mittler-



weile fast. 20% aller ausgeführten Fenster Anforderungen an die Absturzsicherheit zu erfüllen haben. Der Thematik Absturzsicherheit wird daher in der Zukunft ein noch höherer Stellenwert bei der Planung und Umsetzung zukommen. Entsprechend eindeutig sollten daher die bauaufsichtlich zu regelnden Nachweis- und Bemessungswege sein.

Daher war es das **Ziel des beantragten Vorhabens** eine Handlungsanleitung zu erarbeiten, die, die **notwendige Nachweisführung sowie die hierfür möglichen Nachweiswege eindeutig festlegt**. In der Handlungsanleitung sind beide Lastfälle, d.h. stoßartige sowie statische Lasten, zu berücksichtigen.

Ein weiteres Ziel im Rahmen des vorgeschlagenen Forschungsvorhabens war die **Präzisierung der Anforderungskriterien** an die Befestigung des absturzsichernden Bauelementes in den tragenden Untergrund auf Basis der ETB-Richtlinie.

Nach ETB-Richtlinie „Bauteile, die gegen Absturz sichern“ kann der Nachweis der ausreichenden Befestigung bei stoßartiger Belastung u.a. durch statische Versuche (Tragfähigkeit) geführt werden. Beim statischen Versuch wird für die Befestigung zum Baukörper eine Tragfähigkeit von  $\geq 2,8$  kN (Bruchlast) je Befestigungspunkt in der maßgeblichen Belastungsrichtung gefordert. Gleiches gilt sinngemäß für die Befestigung einer absturzsichernden Brüstung (z. B. Geländer) am Fensterelement oder am Baukörper. Diese Regelung der ETB-Richtlinie für punktförmige Befestigungsmittel (Stichwort 2,8 kN Bruchlast) ist sinnvoll, wird jedoch in der Praxis oft falsch ausgelegt oder nicht beachtet.

Je nach Auslegung der Anforderung kommt es dazu, dass der Nachweis der geforderten Tragfähigkeit des einzelnen Befestigungspunktes von  $\geq 2,8$  kN schwierig bis unmöglich ist.

In den letzten Jahren wurden Mauerwerksbildner mit hochwärmedämmenden Eigenschaften entwickelt um den, entsprechend EnEV erforderlichen Wärmeschutz zu gewährleisten. Die Reduzierung der Wärmeleitfähigkeit der Mauersteine hatte als Konsequenz eine gleichzeitige Verminderung der mechanischen Eigenschaften wie z.B. der Druckfestigkeit zur Folge. Aufgrund dessen kann die geforderte Tragfähigkeit des einzelnen Befestigungspunktes von 2,8 kN im Regelfall für solch moderne Mauerwerksbildner nicht mehr nachgewiesen werden. In der Realität bzw. im konkreten Bauteilversuch zeigt sich jedoch, dass die entsprechende Aufpralllast auf ein Fenster auch in solche Untergründe abgeleitet werden kann. Dies liegt daran, dass ein Fenster im Regelfall umlaufend oder mindestens mit 4 Befestigungspunkten befestigt ist (Mehrfachbefestigung). Durch die „Steifigkeit“ des Fensters wird die Aufpralllast auf mehrere Befestigungsmittel verteilt bzw. bei Ausfall eines Befestigungspunktes wird die Last auf die benachbarten Befestigungspunkte umgelagert (redundante Befestigung), so dass die absturzsichernde Eigenschaft trotzdem noch gegeben sein kann.

Bei der Angabe der ETB-Richtlinie / 3.2.2.2.3 von 2,8 kN handelt es sich um eine einwirkende Kraft, die eine direkte Stoßbeanspruchung auf das Befestigungselement unter-

stellt. Die Größe von 2,8 kN ergibt sich auf der sicheren Seite aus der Annahme einer starren, d.h. unnachgiebigen Befestigung (Herleitung siehe [16], Abschnitt 2.6). Die ETB-Richtlinie geht in diesem Zusammenhang von einer Einzelbefestigung (wiederum sichere Seite) aus.

Da Fenster in der Regel nachgiebige Auflager aufweisen (bei Stoßbeanspruchung günstiger als starr, Federkonstante  $c_2$ ) und zudem eine Lastverteilung auf mehrere Punkte möglich ist (Mehrfachbefestigung), ist eine Reduzierung der Anforderung je Befestigungspunkt bzw. die Verteilung der Last auf mehrere Punkte denkbar. Dies soll im Rahmen des Projektes bestätigt werden.

Daher ist zu untersuchen, ob neben der momentanen Anforderung an eine reine Punktlast auf jedes Befestigungselement (Ansatz: die Aufpralllast wird nur durch ein Befestigungsmittel abgetragen, versagt der Befestigungspunkt, ist auch die absturzsichernde Eigenschaft nicht mehr gegeben) auch ein Nachweis über eine Verteilung der Aufpralllast auf mehrere Befestigungsmittel bzw. über eine Streckenlast möglich ist oder, welche Bedingungen für eine Mehrfachbefestigung erfüllt werden müssen, um eine ausreichende Lastumlagerung bei Ausfall eines Befestigungspunktes sicher zu stellen. Die beiden parallelen Möglichkeiten - Nachweis einer Punktlast oder einer Streckenlast - sind heute schon Bestandteil der DIN 18008-4. So ist in Anhang D der DIN 18008-4 der Nachweis der Stoßsicherheit von Lagerungskonstruktionen festgelegt, der durch Berücksichtigung einer Punktlast (3 kN) bzw. einer Streckenlast (10 kN/m) erfolgen kann. Wichtig ist hierbei, dass die Länge dieser Blocklast unabhängig von der Glasanforderung in DIN 18008-4 (10 kN/m) definiert wird.

Im Rahmen des durchgeführten Forschungsvorhabens sollte daher überprüft werden, ob dieser Ansatz auf die Befestigung von Fenster übertragen werden kann. Durch entsprechende numerische Berechnungen sollte die Lastverteilung einer Stoßeinwirkung auf eine Bezugslänge (Blocklast) bzw. auf mehrere punktförmige Befestigungsmittel in Abhängigkeit des Rahmenwerkstoffes untersucht werden. Die durchgeführten Berechnungen wurden durch ausgewählte Bauteilversuche unterstützt.

Ziel war es, zu analysieren, wie und unter welchen Randbedingungen die Einzellast von 2,8 kN auf mehrere Befestigungspunkte verteilt werden kann. Randbedingungen sind nach derzeitigem Kenntnisstand der maximale Befestigungsabstand, die Art der Befestigung (umlaufend, nicht umlaufend) sowie die Steifigkeit des Bauelementes.



## 2 Arbeitsplan

### AP 1 Analyse der aktuellen „Anforderungen“

- Aufschlüsselung der unterschiedlichen Konstruktionstypen von absturzsichernden Fenstern
- Ermittlung der entsprechenden Anforderungen

### AP 2 Analyse der möglichen Nachweiswege und Nachweisverfahren

Für die in AP1 ermittelten Konstruktionstypen sowie die hieraus abzuleitenden Anforderungen werden die jeweils möglichen Nachweiswege dargestellt.

### AP 3 Rechnerischer Untersuchung

Rechnerische Untersuchung zur Ableitung einer alternativen Anforderung an die Stoßsicherheit der Befestigungsmittel von absturzsichernden Fenstern. Ziel ist es, zu analysieren, wie und unter welchen Randbedingungen die Einzellast von 2,8 kN auf mehrere Befestigungspunkte verteilt werden kann.

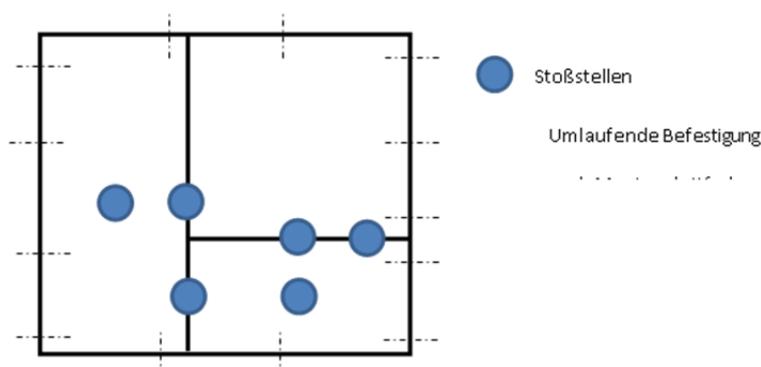
### AP 4 Experimentelle Untersuchungen

Experimentelle Untersuchungen zur Validierung der rechnerischen Untersuchungen entsprechend AP3 anhand einer Beispielkonfiguration sowie dem Nachweis der Lastverteilung durch den Rahmen auf mehrere Befestigungspunkte. Folgende Versuche werden hierfür durchgeführt.

#### 1. Versuche an einem typischen Fensterelement:

An einem Fensterelement werden Belastungsversuche (stoßartige und statische Belastung) durchgeführt. Das Fensterelement soll hierbei in einem starren Umfassungsrahmen entsprechend den Empfehlungen des Leitfadens zur Montage der RAL-Gütegemeinschaft Fenster, Fassaden und H[5] montiert werden. Während der jeweiligen Belastung wird die max. Verformung an allen Befestigungspunkten gemessen. Der Versuch ist nicht zerstörend.

Der konkrete Aufbau des zu untersuchenden Elementes wird anhand der Ergebnisse der AP1 bis AP3 festgelegt. Abbildung 3 zeigt einen möglichen Aufbau eines Elementes.



**Abbildung 3** Ansicht Prüfaufbau Fensterelement mit Angabe der Belastungsstellen

## 2. Kleinversuche:

Durch vergleichende Kleinversuche mit den gleichen Befestigungsmitteln sowie dem identischen Rahmen wird eine Last-Verformungskennlinie ermittelt.

Aus der ermittelten maximalen Verformung an dem kompletten Fensterelement (siehe 1.) sowie den in 2. ermittelten Last-Verformungskennlinien kann somit auf die Kraft in jedem einzelnen Befestigungspunkt beim Stoßversuch geschlossen werden. Als Ergebnis erhält man somit die Lastverteilung auf die Befestigungspunkte während des Stoßes für unterschiedliche Stoßstellen.

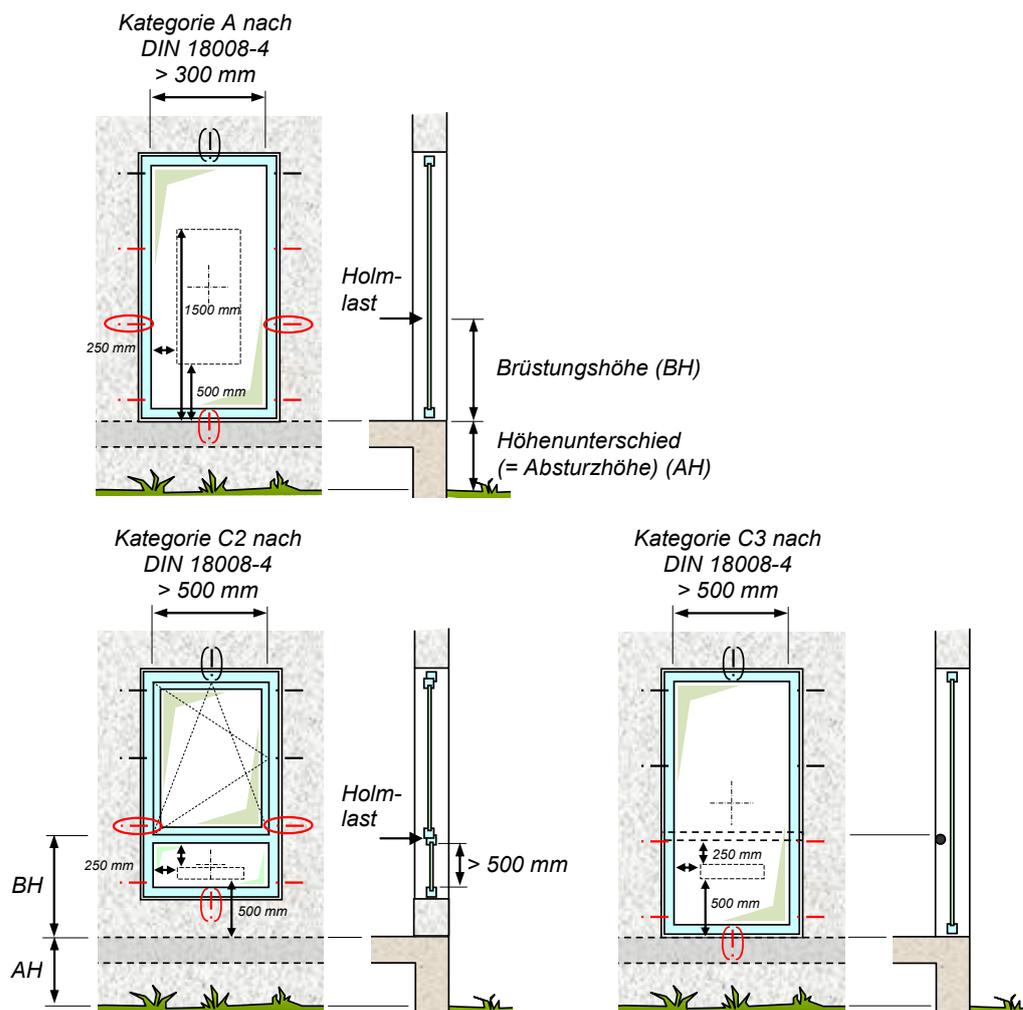
### **AP 5 Dokumentation**

Über das durchgeführte Vorhaben wird eine ausführliche Dokumentation sowie die Handlungsanleitung zum vollständigen Nachweis der Absturzsicherung von Fenstern und deren Befestigung zum tragenden Untergrund erstellt.

### 3 Analyse der aktuellen Anforderungen

#### 3.1 Konstruktionstypen von absturzsichernden Fenstern und Bauteilen am Fenster

Absturzsichernde Fenster können anhand der Kategorien der Verglasung nach DIN 18008-4 eingeteilt werden (Abbildung 4).

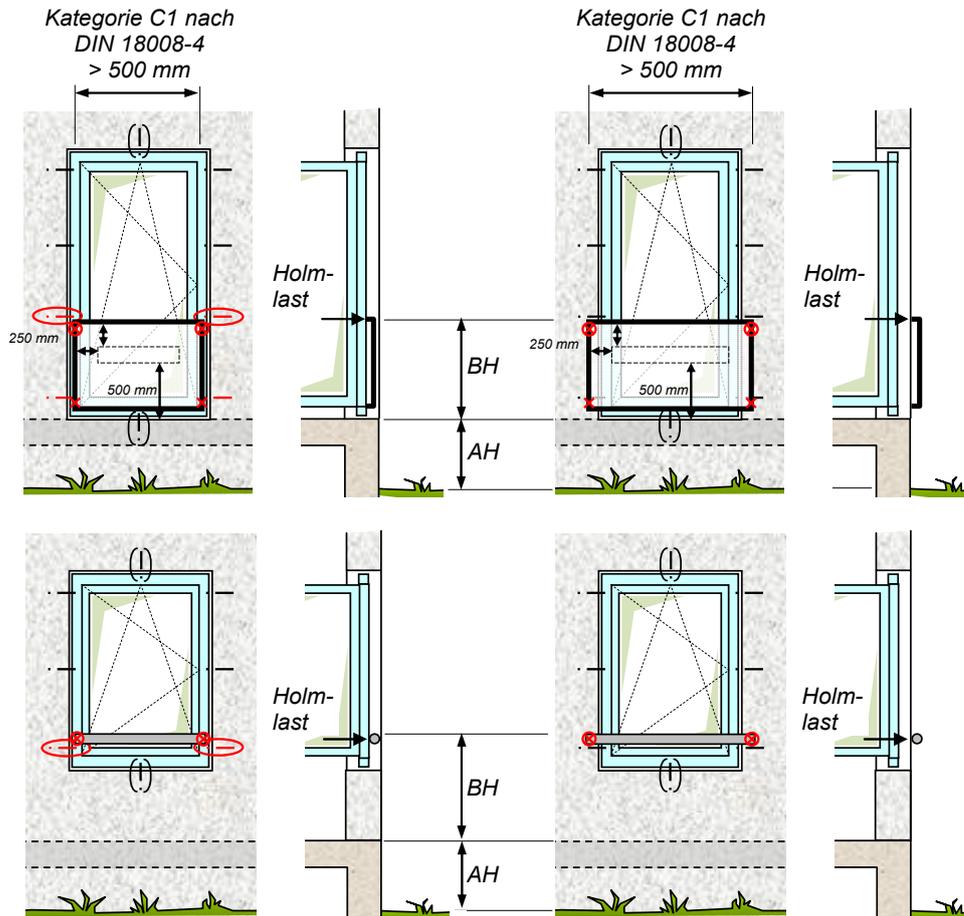


Legende:

- Anforderung an das Element mit Verglasung entsprechend der Kategorie nach DIN 18008-4
- Bereich Pendelschlag (bei experimentellem Nachweis)
- Holmlast
- Befestigung (Winddruck / -sog / Nutzung) ohne Anforderungen an Absturzsicherheit
- Befestigung zusätzlich mit Anforderungen nach ETB-Richtlinie (getrennt nach Winddruck / -sog und Anpralllast), im definierten Pendelschlagbereich
- Befestigung mit zusätzlichen Anforderungen nach EC 1 (Eurocode 1, DIN EN 1991-1-1 und nationalen Anhang NA) und ETB (getrennt nach Winddruck / -sog überlagert mit Holmlast und Anpralllast)
- Optionale Befestigungspunkte (wenn erforderlich, z.B. aufgrund der Elementbreite)

**Abbildung 4** Absturzsichernde Fenster mit Bezug zu den Verglasungskategorien nach DIN 18008-4 (Quelle: [6])

Darüber hinaus können (öffenbare) Fenster auch im gegen Absturz zu sichernden Brüstungsbereich mit Holmen oder Umwehungen (französischer Balkon) ausgestattet sein. Diese absturzsichernden Bauteile können am Fenster oder direkt an der tragenden Außenwand befestigt sein (Abbildung 5).



Legende:

Anforderung an das Element und die absturzsichernden Bauteile (Bsp. oben mit verglasten Umwehungen entsprechend der Kategorie C 1 nach DIN 18008-4)

- Bereich Pendelschlag (bei experimentellem Nachweis)
- Holmlast
- Befestigung (Winddruck/-sog / Nutzung) ohne Anforderungen an Absturzsicherheit
- Befestigung zusätzlich mit Anforderungen nach ETB-Richtlinie (getrennt nach Winddruck/-sog / Nutzung / Anpralllast), im definierten Pendelschlagbereich
- Befestigung mit zusätzlichen Anforderungen nach EC 1 (Eurocode 1, DIN EN 1991-1-1 und nationalen Anhang NA) und ETB (getrennt nach Winddruck/-sog überlagert mit Holmlast und Anpralllast)
- Optionale Befestigungspunkte (wenn erforderlich, z.B. aufgrund der Elementbreite)

**Abbildung 5** Öffnbare Fenster mit gegen Absturz sicherndem Holm oder französischem Balkon am Element oder an der tragenden Wand befestigt

Bei den Kategorien nach Abbildung 5 sind bzgl. der Ausführung der absturzsichernden Bauteile die maßlichen Festlegungen zu maximalen Abstandsmaßen (lichte Öffnungsweiten) nach DIN 18065 [7] bzw. Geländer-Richtlinie [8] zu beachten.

Eine weitere Unterscheidung erfolgt unabhängig von der Eigenschaft als Absturzsicherung nach dem Werkstoff des Rahmenmaterials. In Deutschland kommen im Wesentlichen Kunststoff (ca. 58%), Holz (inkl. Holz-Aluminium, ca. 24%) und Metall (inkl. Aluminium, ca. 18%) zum Einsatz. In Kombination mit den verschiedenen wandbildenden Baustoffen des Rohbaus ergibt sich folgende Häufigkeitsverteilung der Rahmenwerkstoffe in verschiedenen Wandbaustoffen. Die Daten basieren auf Zahlen des statistischen Bundesamtes von 2014 bis 2017 sowie auf einer Studie des VFF aus dem Jahr 2017.

**Tabelle 1** Materialmix der am deutschen Markt verwendeten Baustoffe für Gebäude und Fenster [7]

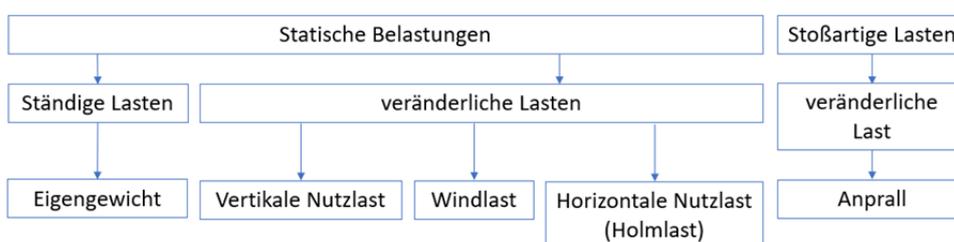
Verwendete Baustoffe im Wohnbau und Nichtwohnbau		Stahl	Stalbeton	Ziegel	Kalksandstein	Porenbeton	Leichtbeton	Holz	sonstige
Rahmenmaterial	Marktrelvanz	5%	12%	27%	15%	19%	3%	17%	2%
Holz	15%	0,8%	1,8%	4,0%	2,2%	2,9%	0,4%	2,5%	0,3%
Holz- Metall	9%	0,5%	1,1%	2,4%	1,3%	1,8%	0,3%	1,5%	0,2%
Metall (Aluminium)	18%	0,9%	2,2%	4,8%	2,7%	3,5%	0,5%	3,0%	0,4%
Kunststoff	58%	3,0%	7,0%	15,4%	8,6%	11,3%	1,7%	9,7%	1,3%
		<1%	1-3%	3-5%	5-10%	>10%			

Die Einschätzung der Marktrelevanz dient zur Auswahl der vorrangig zu untersuchenden Anwendungsfälle.

## 3.2 Ermittlung der entsprechenden statischen Anforderungen

### 3.2.1 Normative Grundlagen

Bei absturzsichernden Fensterelementen ist eine Vielzahl von Regelwerken zu berücksichtigen. Dabei muss zwischen den unterschiedlichen Lastarten, die einwirken können, differenziert werden:



**Abbildung 6** Übersicht Einwirkungen auf absturzsichernde Fenster

Die Anforderungen ergeben sich je nach Lastfall und Werkstoff aus den folgenden Regelwerken:

- DIN EN 1990 (EC 0) [10]
- DIN EN 1991 Teil 1-1 und Teil 1-4 (EC 1) [2], [3]
- ETB- Richtlinie „Bauteile, die gegen Absturz sichern“[4]
- DIN EN 13115 [11]
- DIN 18008-4 für Glasflächen [1]

Auf die Nachweise für die Glasflächen wird im Folgenden nur am Rande eingegangen. Die Glasbemessung ist nicht Gegenstand des Forschungsvorhabens, da hier sowohl die technischen als auch die baurechtlichen Randbedingungen für den Fensterbau klar geregelt und branchenweit bekannt sind.

Für die Rahmenbauteile von absturzsichernden Fenstern sind die in Tabelle 2 dargestellten Lastfallkombinationen relevant. Tabelle 3 stellt die für den jeweiligen Lastfall anzusetzenden Lastannahmen und die hierfür anzuwendenden Regelwerke dar.

**Tabelle 2** Lastfallkombinationen unter Angabe von Kombinations- und Sicherheitsbeiwerten

LFK	G ↓ *	GoF ↓	P ↓	w →	q →	ETB →
1	1,0 x 1,35	-	-	1,0 x 1,5	0,7 x 1,5	-
2	1,0 x 1,35	-	-	0,6 x 1,5	1,0 x 1,5	-
3 ***	-	1,0 x 1,35	-	-	1,0 x 1,5 **	-
4	1,0	-	-	-	-	1,0
5 ***		1,0	1,0	-	-	-
Erläuterungen	Kombinationsbeiwert $\psi$ x Sicherheitsbeiwert $\gamma$ * Das Eigengewicht des geschlossenen Fensters ist nur in Sonderfällen – z.B. bei Vorwandmontage - beim Nachweis zu berücksichtigen ** Nur bei Fensterelementen mit Holm auf Brüstungshöhe (Kat. C2) *** Eine vertikale Nutzlast am offenen Flügel wird nicht gleichzeitig mit Absturzlasten angesetzt.					
Abkürzungen	LFK Lastfallkombination G Eigengewicht GoF Eigengewicht offener Flügel P Vertikale Nutzlast nach DIN EN 13115 w Windlast (i.d.R. Windsog) q Holmlast (i.d.R. in Windsogrichtung) ETB Anpralllast nach ETB- Richtlinie					

**Tabelle 3** Zusammenstellung der Lastannahmen für Fensterelemente mit absturzsichernder Funktion (ohne Glas)

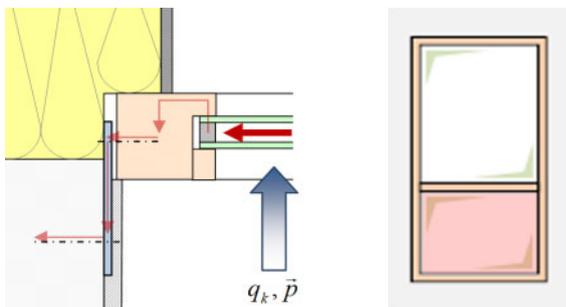
einwirkende Kräfte	statische Belastungen				stoßartige Lasten veränderliche Lasten
	ständige Last Zusatzlast	veränderliche Lasten		horizontale Nutzlast (= Holmlast)	
Regelwerk	vertikale Nutzlast	Windlast		ETB- Richtlinie: 1985-06 Absatz 3.1	Anprall
DIN EN 1991-1-1: 2010-12 Absatz 5	DIN EN 13115: 2001-11 Absatz 3.2	DIN EN 1991-1-4/ NA:2010-12	DIN 18055: 2014-11 Absatz 4.2	DIN EN 1991-1-1:2010-12 Absatz 6.4 bzw. DIN EN 1991-1-1/NA:2010-12 Tab. 6.12DE	ETB- Richtlinie: 1985-06 Absatz 3.2.2
gültig für	alle BT	alle BT	alle BT	BT mit Absturzicherung	nichttragende Bauteile mit Sicherungsfunktion gegen Absturz
Ansatz	eigenständig	kombiniert nach EC0	kombiniert nach EC0	kombiniert nach EC0	eigenständig
Last	Tabelle 2: je nach Leistungsstufe/ Nutzungskategorie (Nutzungskategorie nach Tabelle A.1 der DIN EN 1192: 2000-06)	je nach Windzone und Gelände --> div. Einflüsse, sind ggf. durch Planung vorzugeben	vgl. Anhang A bzw. Beanspruchungs- klassen nach Tabelle A.1	ohne nennenswerten Publikumsverkehr 0,5 kN/m mit nennenswerten Publikumsverkehr 1,0 kN/m mit Menschen- ansammlungen (Sondernutzung) 2,0 kN/m --> in Absturzrichtung in voller Höhe, in Gegenrichtung mit 50% aber mind. 0,5 kN/m	nach 3.2 bzw. vereinfachend für Befestigungselemente nach Abschnitt 3.2.2.2.3 mit 2,8 kN Bruchlast
Nachweis- führung	Rechnerisch	Rechnerisch	Versuche zur Klassifizierung	Rechnerisch	Versuch oder rechnerisch
Sicherheits- beiwerte	nach DIN EN 1990: 2012-12 Anhang A	nach DIN EN 1990: 2010-12 Anhang A	nach DIN EN 1990: 2010-12 Anhang A	nach DIN EN 1990: 2010-12 Anhang A	nicht direkt (Bruchlast aus dem Versuch muss um 1,5 höher sein als die Gebrauchslast)

### 3.2.2 Nachweise entlang der Nachweiskette

Der statische Nachweis für absturzsichernde Fensterelemente besteht aus mehreren Einzelnachweisen der Komponenten, die oft als Nachweiskette dargestellt werden (vgl. Abbildung 2). Durch die Betrachtung der Nachweise der einzelnen Komponenten lassen sich Regelungslücken identifizieren.

Die Anforderungen an die einzelnen „Kettenglieder“ werden in Tabellenform aufbereitet, beginnend mit der Ausfachung bis zum Dübel im tragenden Baukörper. Die Eigengewichtslast wird nachfolgend nicht extra erwähnt, da sie stets zu berücksichtigen ist.

#### 3.2.2.1 Ausfachung



**Tabelle 4** Zusammenstellung aktueller Anforderungen bzgl. des Nachweises für Ausfachungen

Kettenglied/ Baustoff	Klimalast	Windlast	Absturz	
			statische Last $q_k$	weicher Stoß $\bar{p}$
Glas	DIN 18008-1 DIN 18008-2	EC1, Teil 1-4/NA	EC1, Teil 1-1/NA	DIN 18008-4
	Überlagerung mit Kombinationsbeiwerten			Keine Überlagerung mit statischen Lasten
	Nachweis rechnerisch			Nachweise: Versuch (Zwillingsreifen, DIN 18008-4 Anhang A) Gepr. Konstruktion (DIN 18008-4 Anhang B) Rechnerisch (DIN 18008-4 Anhang C)

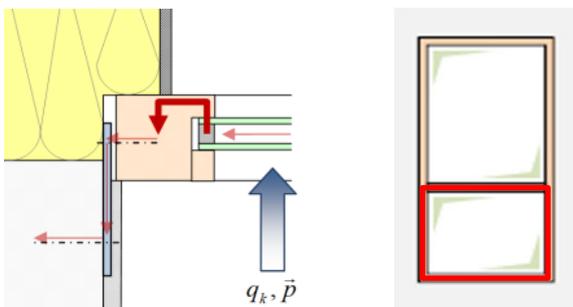
Kettenglied/ Baustoff	Klimalast	Windlast	Absturz	
			statische Last $q_k$	weicher Stoß $\vec{p}$
Opake Aus- fachung	- entfällt -	EC1, Teil 1-4	ETB-Richtlinie, Ab- schnitte 3.1 und 3.3	ETB-Richtlinie, Abschnitt 3.2
		Keine Lastfallüberlagerung für Flächen nach ETB, 3.1		Keine Überlagerung mit statischen Lasten
		Nachweismethode materialabhängig	Nachweis rechnerisch oder im Versuch nach ETB, 3.3. Die statisti- sche Auswertung von Versuchen (ETB, 4) ist nicht mehr aktuell.	Nachweis im Versuch (Glaskugelsack), selten rechnerisch

Auswertung:

Für Ausfachungsflächen aus Glas sind die Anforderungen und Nachweise vollständig und nachvollziehbar geregelt.

Für Ausfachungsflächen aus anderen Werkstoffen besteht im Detail Klärungsbedarf bei der Lastfallüberlagerung und den Nachweismethoden der ETB-Richtlinie (siehe Kap. 7).

### 3.2.2.2 Lagerung der Ausfachung



Kettenglied/ Baustoff	Windlast	Absturz	
		statische Last $q_k$	weicher Stoß $\vec{p}$
Lagerung für Glasflächen	Auflagerkraft der Ausfachung	Auflagerkraft der Aus- fachung	DIN 18008 Teil 4, Anhang D
			3 kN je Schraube bzw. 10 kN/m
	Überlagerung mit Kombinationsbeiwerten	Keine Überlagerung mit statischen Las- ten	
Versuch nach EN 12211	Nicht im Detail geregelt	Rechnerisch oder Versuch	

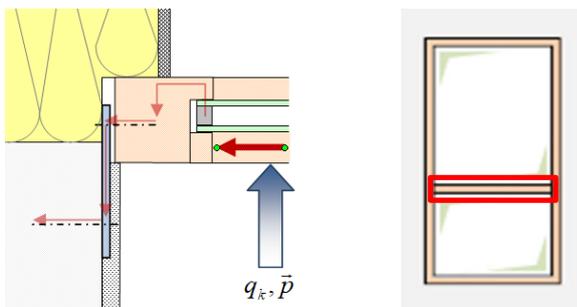
Kettenglied/ Baustoff	Windlast	Absturz	
		statische Last $q_k$	weicher Stoß $\bar{p}$
Lagerung für opake Flächen	Auflagerkraft der Ausfachung	ETB-Richtlinie, Abschnitt 3.1	ETB-Richtlinie, Abschnitt 3.2
	Nach ETB, Abschnitt 3.1, Überlagerung notwendig, jedoch ohne Angabe von Beiwerten.		Keine Überlagerung mit statischen Lasten
	Nachweis nicht im Detail geregelt		Nach ETB im Rahmen eines Bauteilversuches möglich. Rechnerisch für punktförmige Lager nach ETB/3.2.2.2.3. Rechnerisch für linienförmige Lager in ETB nicht geregelt.

Auswertung:

Es ist nicht eindeutig geregelt, wie der Nachweis für die Einleitung der statischen Lasten (Holmlast) zu führen ist. In der Praxis erfolgt aktuell nur der Nachweis weicher Stoß.

Für die Lagerung von Ausfachungsflächen aus anderen Werkstoffen besteht im Detail Klärungsbedarf. Sinnvoll erscheint eine Regelung in Anlehnung an DIN 18008-4 (Vorschlag siehe Kap. 7).

### 3.2.2.3 Riegel / Kämpfer / T-Verbinder



Kettenglied/ Baustoff	Windlast	Absturz	
		statische Last $q_k$	weicher Stoß $\bar{p}$
Riegel	Auflagerkraft der Ausfachungen	EC1-1-1/NA	ETB, Abschnitt 3.2, jedoch keine detaillierte Regelung für „Fenster“.
	Überlagerung mit Kombinationsbeiwerten im GZT. Nur Windlasten im GZG.		Keine Überlagerung mit statischen Lasten
	Rechnerisch nach relevanten Eurocodes		ETB, Abschnitt 3.2, jedoch keine detaillierte Regelung für „Fenster“. In der Regel wird in der Praxis auf den Nachweis verzichtet (biegeweiches Bauteil).

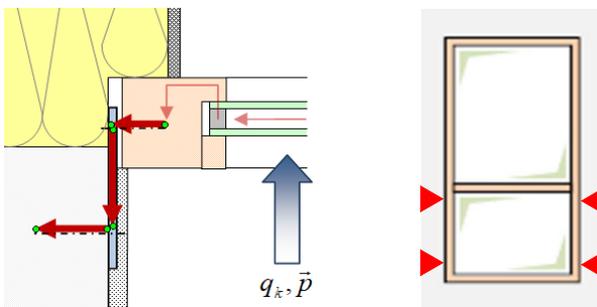
Kettenglied/ Baustoff	Windlast	Absturz	
		statische Last $q_k$	weicher Stoß $\vec{p}$
T-Verbinder	Auflagerkraft des Riegels		ETB-Richtlinie, Abschnitt 3.2, jedoch keine detaillierte Regelung
	Überlagerung mit Kombinationsbeiwerten		Keine Überlagerung mit statischen Lasten
	Ingenieurmäßiger Nachweis		Ingenieurmäßiger Nachweis

Auswertung:

Für biegeweiche Bauteile wie Pfosten und Riegel müsste der Nachweis nach ETB Abschnitt 3.2. erfolgen. Es ist jedoch festzustellen dass für Fenster keine detaillierten Regelungen vorhanden sind. Auf den Nachweis des weichen Stoßes kann bei üblichen Fensterkonstruktionen verzichtet werden siehe Kapitel 7.

Kritisch sind die Anschlüsse an den Blendrahmen (T-Verbinder). Ein ingenieurmäßiger Nachweis für T-Verbinder bei Kunststofffenstern kann aktuell auf Basis der ift Richtlinie FE-06/2 geführt werden. (siehe Kap. 7).

### 3.2.2.4 Befestigungselement



Kettenglied/ Baustoff	Windlast	Absturz	
		statische Last $q_k$	Weicher Stoß $\vec{p}$
Befestigungselement	EC1-1-4/NA, Lastverteilung nach RAL Leitfa-den zur Montage	EC1-1-1/NA, Lastkonzentration auf Holmhöhe	ETB, Abschnitt 3.2.2.2.3
	Überlagerung mit Kombinationsbeiwerten im GZT. Nur Windlasten im GZG.		Keine Überlagerung mit statischen Lasten
	Ingenieurmäßiger Nachweis auf Basis Prüfbericht*) und ZiE/vBG oder Zulassung		Rechnerisch auf Basis Prüfbericht*) und ZiE/vBG oder Zulassung. Alternativ Versuch (Labor oder in-situ)

Auswertung:

Für die Befestigung am Baukörper besteht im Detail Klärungsbedarf bei den Nachweismethoden der ETB-Richtlinie.

\*) Für die Prüfung der Tragfähigkeit der Anbindung des Befestigungsmittels an den Fensterrahmen existiert kein vereinheitlichtes Verfahren. Ein entsprechendes Verfahren wäre zu definieren. Für die Ermittlung der Tragfähigkeit von Befestigungssystemen für die Fenstermontage existiert seit 2015 die ift-Richtlinie MO-02/1 [12], in der Prüfverfahren zur Ermittlung der Tragfähigkeit in Abhängigkeit der Beanspruchung definiert sind. Diese könnte als Basis für ein Verfahren dienen.

### 3.2.3 Analyse der normativen Regelungen für absturzsichernde Fenster

Wie die Analyse der Nachweiskette zeigt, beruht die Nachweisproblematik bei absturzsichernden Fenstern im Wesentlichen auf vier Ursachen:

- a) Die Anforderungen und Nachweismethoden der einzelnen Bauprodukte, die im Anwendungsfall zu einer Bauart verbunden werden, sind historisch gewachsen in einer Vielzahl unterschiedlicher und zum Teil inkompatibler Regelwerke enthalten. Daher ist eine Handlungsanleitung mit vereinheitlichten und nachvollziehbaren Regelungen ein wichtiger Schritt zur Qualitätssteigerung und Fehlervermeidung.
- b) Die ETB-Richtlinie ist im Hinblick auf das Sicherheitskonzept und auf die statistische Auswertung von Versuchen nicht mehr kompatibel zu den aktuellen Nachweismethoden im Bauwesen. Daher wird ein wesentlicher Bestandteil der Handlungsanleitung eine Erläuterung zur ETB-Richtlinie sein, welche eine weitgehende Angleichung an den Eurocode bei gleichbleibendem Sicherheitsniveau darstellt.
- c) Da die verschiedenen Fachnormen nicht lückenlos ineinandergreifen, entstehen Regelungslücken. Die Handlungsanleitung soll für diese Lücken Vorschläge unterbreiten, die sich wiederum soweit als möglich an vergleichbaren Regelungen in anderen Bereichen orientieren.
- d) Einige Regelwerke wie die Eurocodes zielen auf die Planung und Ausführung von tragenden Bauteilen des Rohbaus ab. Es erscheint sachgerecht, bei der Anwendung auf nichttragende Bauteile des Ausbaus die Anforderungen anzupassen. Dies gilt u.a. für die im Fensterbau jahrzehntelang bewährten Verbindungs- und Befestigungsmittel. Die Handlungsanleitung soll auch hier Vorschläge für Nachweiserleichterungen enthalten, wenn z.B. eine Konstruktion nach handwerklichen Regeln ohne Nachweis ausgeführt werden kann.



Nachfolgend werden die identifizierten Problempunkte nach den Ursachen gruppiert. In Kapitel 7 werden aufbauend auf den durchgeführten Untersuchungen Lösungsvorschläge für die Problempunkte vorgestellt.

a) Vereinheitlichung und Erläuterungen entlang der Nachweiskette

Problem	Ansatz zur Verbesserung
Abgrenzung im Anwendungsbereich zwischen DIN 18008-4 und ETB-Richtlinie	Klarstellung: DIN 18008-4 gilt für Glas und die unmittelbare Glshalterung
Unterschiedliche Regelungen zur Überlagerung von Wind- und Holmlasten entlang der Nachweiskette.	Klarstellung der Lastfallüberlagerung für Bauteile im Geltungsbereich der ETB-Richtlinie.
Unterschiedliche Überlagerungsregeln im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	Klarstellung, dass für Lasten aus Absturzsicherung keine Anforderungen an die Verformungen bestehen (Ausnahme Glas).
Unklarheiten, welche Ver- bzw. Anwendbarkeitsnachweise entlang der Nachweiskette benötigt werden	Klarstellung. Neben Zulassungen sollten vermehrt AbP oder Bauart-AbP ermöglicht werden, was für nichttragende Bauteile angemessen erscheint.

b) Erläuterung zur Anwendung der ETB-Richtlinie im Fensterbau

Problem	Ansatz zur Verbesserung
Statistische Auswertung von Versuchen (ETB/4) nicht mehr aktuell	Angleichung an übliche Verfahren
Beurteilung von Stoßversuchen (ETB/3.2.1 a)	Angleichung an DIN 18008-4/A.1.9
Unklarer Begriff Widerstandskraft im rechnerischen Nachweis (ETB/3.2.2.2.3)	Klarstellung mit konkreten Angaben für die Nachweisverfahren nach Eurocode
Unklare Versuchsbedingungen für Stoßversuche in Bezug auf das Klima	Klarstellung
Unklarer Begriff des Befestigungselementes nach ETB/3.2.2.2.3 für die Anwendung im Fensterbau	Klarstellung unter Bezug auf die theoretischen Hintergründe von ETB/3.2.2.2.3 (siehe Kap. 4). Differenzierung zum Begriff des Befestigungsmittels.
Keine Angaben zu Lage und Anzahl der Befestigungspunkte.	Anforderungen hinsichtlich Lage und Befestigungsabstände festlegen (siehe Kap. 7).
Unklarer Angriffspunkt der statischen Ersatzlast nach ETB/3.2.2.2.3 für Befestigungen im Fensterbau, insbesondere beim Einsatz von Verbreiterungsprofilen.	Klarstellung, dass die Ersatzlast in der Achse des Blendrahmens bzw. der Stahlverstärkung im Blendrahmen anzusetzen ist und entsprechende Hebelarme beim Nachweis zu berücksichtigen sind.

## c) Schließen von Regelungslücken

Problem	Ansatz zur Verbesserung
<p>In größeren, durch Pfosten und/oder Riegel unterteilten Fensteranlagen werden typischerweise T-Verbinder eingesetzt. Die Regelungslücke wurde bereits (für Kunststofffenster) durch die ift-Richtlinie FE-06/2 geschlossen.</p>	<p>Einbindung der ift-Richtlinie FE-06/2 in die Handlungsanleitung, auch als Basis für Verwendbarkeitsnachweise dieser Bauteile.</p>
<p>Nachweis der unmittelbaren Halterung der Füllung – sofern nicht aus Glas</p>	<p>Nachweis in Anlehnung an DIN 18008-4, Anhang D. Verzicht auf den Nachweis für statische Lasten als Nachweiserleichterung analog zur Praxis im Glasbau.</p>
<p>Nachweis von Fensterbeschlägen</p>	<p>Im Regelfall leisten Fensterbeschläge keinen Beitrag zur Lastabtragung in Absturzrichtung → Kein Nachweis erforderlich. Klarstellung, dass in davon abweichenden Sonderfällen (z.B. Flügel nach außen öffnend) Nachweise erforderlich sein können.</p>
<p>Nachweis der Befestigung zum Baukörper und zum Fenster außerhalb von Zulassungen. In der Praxis treten sehr viele Situationen auf, die über Zulassungen nicht abgedeckt sind.</p>	<p>Erarbeitung eines Verfahrens für die Anbindung zum Fenster notwendig. Die ift-Richtlinie MO-02/1 kann als Basis dienen.</p> <p>Der Nachweis der Anbindung zum Baukörper könnte prinzipiell durch Versuche entsprechend der Technischen Regel des DIBt zur „Durchführung und Auswertung von Versuchen am Bau“ erfolgen</p>



## d) Nachweiserleichterungen

Problem	Ansatz zur Verbesserung
Die Nachweise der ETB-Richtlinie gehen von Einzelbefestigungen aus. Beim Fensterrahmen liegt dagegen eine redundante Mehrfachbefestigung vor.	Günstiger Ansatz der Lastweiterleitung auf andere Befestigungsmittel (siehe Kap. 6).
ETB/3.2.2.2.3 geht von einer direkten Stoßbelastung auf das Befestigungselement aus. Beim Fenster liegt dagegen im Regelfall eine Lastverteilung vor.	Alternativer Ansatz einer Linienlast mit definierter Ausdehnung auf die Unterkonstruktion in Anlehnung an DIN 18008-4.
Die ETB-Richtlinie geht davon aus, dass alle Befestigungselemente der Konstruktion einer direkten Stoßbelastung ausgesetzt sein können. Beim Fenster ist dies nicht der Fall.	Definition von Auftreffbereichen am Fenster in Anlehnung an DIN 18008-4, so dass z.B. die obere Befestigung nicht für direkte Stoßbelastungen auszulegen ist.
Biegeeweiche Bauteile verhalten sich im Stoßversuch sehr gutmütig indem sie die Stoßenergie in Verformungsenergie umsetzen. In der Praxis werden diese Bauteile üblicherweise nur auf die statischen Lasten ausgelegt (vgl. auch Metallgeländer).	Definition von Voraussetzungen, unter denen freitragende Rahmenbauteile, nicht für den weichen Stoß nachgewiesen werden müssen.
Fehlende Ver- bzw. Anwendbarkeitsnachweise als Basis für objektspezifische statische Nachweise im Fensterbau für bewährte handwerkliche Konstruktionen.	Einführung eines Verwendbarkeitsnachweises (z.B. AbP, Zulassung) für die Anbindung von Befestigungsmitteln an den Fensterrahmen von absturzsichernden Fensterkonstruktionen.
Auf den Nachweis von Blendrahmen kann bei üblichen Einbaubedingungen verzichtet werden.	Klarstellung, dass Blendrahmen die nach den Regelabständen des Leitfadens zur Montage befestigt werden, keinen Nachweis benötigen.





## 4 Theoretische Erläuterungen zum weichen Stoß

### 4.1 Herleitung von Gl. (11) der ETB-Richtlinie

In Gl. (11) der ETB-Richtlinie [4] wird eine statische Ersatzlast für die „Abschätzung einer ausreichenden Tragsicherheit ... beim Auftreffen eines menschlichen Körpers auf die Befestigungsstelle“ angegeben:

$$F_{\text{Stoß}} = v_a \cdot \sqrt{\frac{m_1 \cdot c_1}{1 + \frac{c_1}{c_2}}}$$

Die Schreibweise der Formel wurde hier etwas anders gewählt als im Originaltext.

Die einzelnen Parameter sind in der ETB-Richtlinie folgendermaßen erläutert:

- $v_a$  = Aufprallgeschwindigkeit [m/s]
- $m_1$  = Körpermasse (30 kg)
- $c_1$  = Federkonstante des stoßenden Körpers in N/m
- $c_2$  = Federkonstante des gestoßenen Bauteils in N/m

Den Autoren des Berichts ist keine zugängliche Literaturquelle bekannt, welche die Hintergründe, die Parameter und die Anwendung von Gl. (11) erklärt. Daher ergeben sich im Umgang mit dieser Formel in der Praxis mehrere Schwierigkeiten:

1. Der physikalische Hintergrund der Formel ist nicht unmittelbar ersichtlich. Dies erschwert das Verständnis des Nachweises und die Interpretation der Ergebnisse.
2. Es ist unklar, welche Voraussetzungen oder Vereinfachungen für die Herleitung der Formel getroffen wurden.
3. Die Federkonstante des stoßenden Körpers (menschliches Körperteil)  $c_1$  ist nicht angegeben. Es fehlt der Hinweis auf Literatur ([14]) bzw. die direkte Angabe des Wertes, um Gl. (11) anwenden zu können.
4. Es wird nicht erläutert, weshalb die Körpermasse hier (nur) mit 30 kg angesetzt wird.
5. Die Aufprallgeschwindigkeit ist nicht definiert. Es kann vermutet werden, dass diese wie in Abschnitt 3.2.2.1 der ETB Richtlinie mit 2 m/s anzusetzen ist.

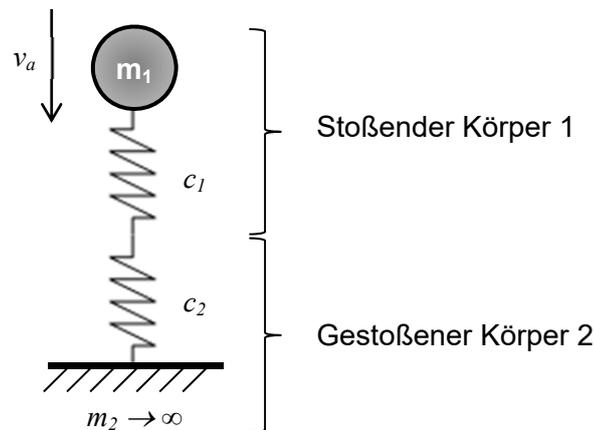
Ein wichtiger Baustein der Erarbeitung von Handlungsempfehlungen für die Befestigung von Fenstern ist es daher, die physikalischen Hintergründe des Abschnittes 3.2.2.2.3 der ETB-Richtlinie zu klären.

#### 4.1.1 Energieerhaltung zweier Federn in Reihenschaltung

Die Basis von Gl. (11) ist die Energieerhaltung.

$$\text{Kinetische Energie des stoßenden Körpers 1: } E_{Basis,1} = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_a^2$$

Diese Energie wird umgewandelt in potentielle Energie eines Systems zweier Massen und zweier Federn:



**Abbildung 7** Darstellung des mechanischen Systems als Grundlage von Gl. (11) der ETB-Richtlinie

Bei einem Befestigungselement geht man davon aus, dass die Masse des Befestigungsgrundes  $m_2$  viel größer als die Masse des stoßenden Körpers  $m_1$  ist.

In dem Moment, in dem die Bewegung der Masse  $m_1$  vollständig abgebremst ist, sind die beiden Federn maximal zusammengedrückt. Es wirkt die maximale Kraft  $F_{Stoß}$ , die dann für einen Nachweis als statische Ersatzkraft verwendet wird.

Die gespeicherte potentielle Energie ist dann:

$$E_{pot} = \frac{1}{2} \cdot F_{Stoß} \cdot w$$

wobei  $w$  die Gesamtverformung der beiden Federn in Summe ist, also:

$$E_{pot} = \frac{1}{2} \cdot F_{Stoß} \cdot (w_1 + w_2)$$

Durch Gleichsetzen von  $E_{pot} = E_{Basis,1}$  erhält man Gl. (11). Die Herleitung ist in Abschnitt 4.1.3 wiedergegeben.



#### 4.1.2 Annahmen und Voraussetzungen von Gl. (11) der ETB-Richtlinie

1. Es wird von einem ideal elastischen Stoß ausgegangen (Energieerhaltung).
2. Es wird unterstellt, dass der stoßende Körper direkt auf den Befestigungspunkt auftrifft. Dies ist der denkbar ungünstigste Fall, wenn – wie hier vorausgesetzt – der gestoßene Körper starr gelagert ist (bzw.  $m_2$  viel größer als  $m_1$  ist).
3. Die Körpermasse wird reduziert mit 30 kg statt mit 50 kg angesetzt. Der Grund ist unbekannt. Es kann jedoch vermutet werden, dass damit berücksichtigt wird, dass ein direktes Auftreffen des gesamten menschlichen Körpers auf ein Befestigungselement ausgeschlossen ist. In der Literatur [14] wird entsprechend auch von Körperteil gesprochen.

#### 4.1.3 Herleitung

Die Verformung des Systems ergibt sich aus

$$w = w_1 + w_2 = \frac{F_{\text{Stoß}}}{c_1} + \frac{F_{\text{Stoß}}}{c_2}$$

Damit ist

$$E_{\text{pot}} = \frac{1}{2} \cdot F_{\text{Stoß}} \cdot \left( \frac{F_{\text{Stoß}}}{c_1} + \frac{F_{\text{Stoß}}}{c_2} \right) = \frac{1}{2} \cdot (F_{\text{Stoß}})^2 \cdot \frac{c_1 + c_2}{c_1 \cdot c_2}$$

Durch Gleichsetzen mit der kinetischen Energie des stoßenden Körpers folgt:

$$\frac{1}{2} \cdot (F_{\text{Stoß}})^2 \cdot \frac{c_1 + c_2}{c_1 \cdot c_2} = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_a^2$$

$$(F_{\text{Stoß}})^2 = m_1 \cdot v_a^2 \cdot \frac{c_1 \cdot c_2}{c_1 + c_2}$$

$$F_{\text{Stoß}} = v_a \cdot \sqrt{m_1 \cdot \frac{c_1 \cdot c_2}{c_1 + c_2}}$$

Mit

$$\frac{c_1 \cdot c_2}{c_1 + c_2} = \frac{c_1}{\frac{c_1 + c_2}{c_2}} = \frac{c_1}{1 + \frac{c_1}{c_2}}$$

ergibt sich schließlich Gl. (11) in der oben gezeigten Schreibweise.

#### 4.1.4 Diskussion

Der Ansatz geht von der Energieerhaltung, also einem ideal elastischen Stoß aus. Der reale inelastische Stoß vernichtet einen Teil der Stoßenergie und erzeugt dadurch deutlich geringere Stoßkräfte [16]. Die Annahme des elastischen Stoßes liegt daher für die Stoßkraft  $F_{Stoß}$  auf der sicheren Seite, wobei die Stoßkraft teilweise stark überschätzt wird.

Wesentliche Voraussetzung ist, dass sich beide Massen  $m_1$  und  $m_2$  zum Zeitpunkt der maximalen Annäherung nicht bewegen. Ansonsten müsste die Bewegungsenergie mit erfasst werden. Diese Voraussetzung ist zwar nicht allgemeingültig (vgl. z.B. den Stoß auf eine Glasscheibe), bei der hier betrachteten Befestigung ( $m_2 \rightarrow \infty$ ) ist die Voraussetzung jedoch zutreffend bzw. liegt sie auf der sicheren Seite.

#### 4.2 Herleitung einer Obergrenze für die statische Ersatzlast

Für die in Abschnitt 3.2.2.2.3 der ETB-Richtlinie angegebene pauschale Widerstandskraft von 2,8 kN gilt im Prinzip das oben Gesagte: Die zugrunde liegenden Annahmen sind nicht bekannt. Sie ergeben sich erst durch das Verständnis von Gl. (11) sowie die folgenden zusätzlichen Annahmen:

1. Starres Befestigungselement, d.h.  $c_2 \rightarrow \infty$ .  
Man kann leicht feststellen, dass diese Annahme für das Ergebnis von Gl. (11) auf der sicheren Seite liegt.
2. Die Federkonstante des stoßenden Körpers nach [14] für  $m_1 = 30$  kg und  $v_a = 2$  m/s.

In [14] wird in einer Fußnote eine auf Basis von zahlreichen Versuchen gefundene, empirische Formel für die Federkonstante des menschlichen Schulterstoßes angegeben:

$$c_1 = m_{1,Mensch} \cdot (1144 \cdot v_a - 141)$$

Dies führt für die Anwendung von Gl. (11) auf einen Wert von

$$c_1 = 30 \text{ kg} \cdot \left( 1144 \cdot 2 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 141 \right) = 64\,410 \text{ N/m}$$

Damit ergibt sich mit Gl. (11):

$$\max F_{Stoß} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \sqrt{\frac{30 \text{ kg} \cdot 64410 \frac{\text{N}}{\text{m}}}{1 + \frac{64410}{\infty}}} = 2780 \text{ N}$$

Dieser Wert wurde in der ETB-Richtlinie auf 2,8 kN gerundet.



### 4.3 Erweiterung von Gl. (11) der ETB-Richtlinie

#### 4.3.1 Besonderheit bei Fensterelementen

Bei Fenstern ergeben sich bei einem Stoß in der Nähe eines Befestigungselementes zwei parallele Lastabtragungswege:

- BE: Lastabtragung über das **B**efestigungselement in den Untergrund
- SY: Lastweiterleitung des statischen **S**ystems auf benachbarte Befestigungselemente

Für den Grenzfall unendlich steifer Befestigungselemente geht die gesamte Stoßlast in das direkt belastete Befestigungselement (BE). Typischerweise sind die Befestigungselemente bei Fenstern jedoch nachgiebig. Diese Nachgiebigkeit wird verursacht durch

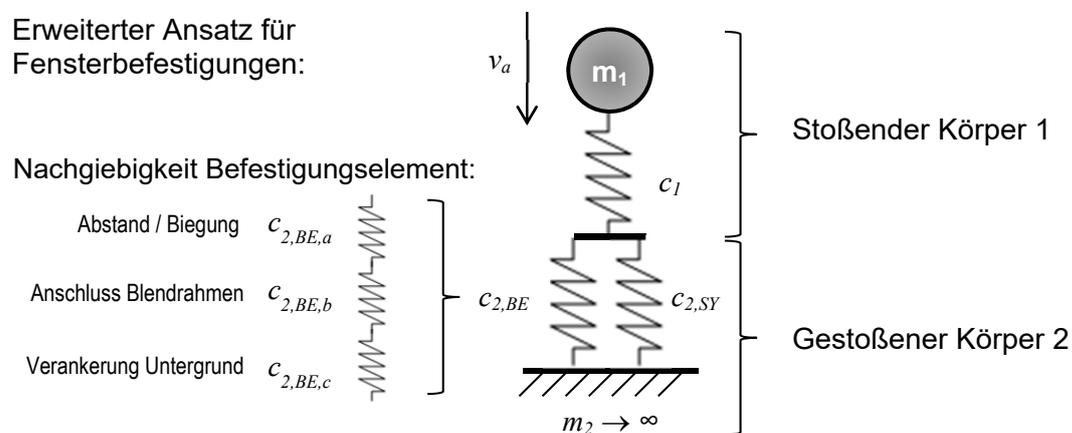
- Abstandsmontage (Biegeverformung im Anschluss)
- Nachgiebige Verschraubung im Blendrahmen
- Nachgiebige Lastaufnahme im Untergrund

Diese drei in Serie geschalteten Nachgiebigkeiten sind abhängig von

- dem Abstand zwischen Blendrahmen und Leibung,
- dem Rahmenmaterial und
- der Konstruktion des Befestigungselementes

#### 4.3.2 Erweiterter Ansatz für Fensterbefestigungen

Als Erweiterung des Ansatzes nach Gl. (11) der ETB-Richtlinie kann dies als gekoppeltes Federsystem abgebildet werden, wobei die einzelnen Federn ein weitgehend lineares oder auch ein nichtlineares Verhalten aufweisen können.



**Abbildung 8** Erweitertes Modell für die Energieeinleitung in das Befestigungselement bei Fenstern

Die Stoßenergie verteilt sich auf die drei Teilsysteme Mensch – Befestigungselement – Rahmen. Entsprechend ergibt sich die Erweiterung von Gl. (11) der ETB-Richtlinie, zunächst unter der Annahme linear elastischer Federkennlinien:

$$F_{Stoß} = v_a \cdot \sqrt{\frac{m_1 \cdot c_1}{1 + \frac{c_1}{c_{2,BE} + c_{2,SY}}}}$$

#### 4.3.3 Die Steifigkeit des Befestigungselementes $c_{2,BE}$

Die Steifigkeit des Befestigungselements setzt sich zusammen aus drei Anteilen:

$$c_{2,BE} = \frac{1}{\frac{1}{c_{2,BE,a}} + \frac{1}{c_{2,BE,b}} + \frac{1}{c_{2,BE,c}}}$$

Hierbei berücksichtigen die einzelnen Steifigkeiten:

$c_{2,BE,a}$	Abstandsmontage (Biegeverformung im Anschluss)
$c_{2,BE,b}$	Nachgiebige Verschraubung im Blendrahmen
$c_{2,BE,c}$	Nachgiebige Lastaufnahme im Untergrund

Bei der Serienschaltung von Federn ist die Gesamtsteifigkeit immer geringer als der kleinste Einzelwert. Ist eine Teilfeder deutlich weicher als die anderen, kann Ersatzweise diese Feder für  $c_{2,BE}$  angesetzt werden. Typischerweise ist dies bei einer Abstandsmontage das auf Biegung beanspruchte Bauteil  $c_{2,BE,a}$ .

#### 4.3.4 Die Steifigkeit des Systems $c_{2,SY}$

Die Feder  $c_{2,SY}$  beschreibt die Nachgiebigkeit des Rahmens ohne das betrachtete Befestigungselement. Im Versuch oder in der Simulation kann diese Nachgiebigkeit ermittelt werden, wenn ein Einzelaufleger entfernt wird und eine Punktlast an der Stelle auf den Rahmen aufgebracht wird. Die Punktlast geteilt durch die gemessene oder berechnete Verformung ist dann die Federkonstante  $c_{2,SY}$ .



#### 4.3.5 Aufteilung der Stoßlast auf System und Befestigungselement

Die Parallelschaltung der Federn ist statisch unbestimmt. Die Stoßkraft verteilt sich entsprechend der Steifigkeiten, wobei zunächst wiederum linear elastische Federkennlinien vorausgesetzt werden:

$$F_{2,SY} = \frac{c_{2,SY}}{c_{2,BE} + c_{2,SY}} F_{Stoß}$$

$$F_{2,BE} = \frac{c_{2,BE}}{c_{2,BE} + c_{2,SY}} F_{Stoß}$$

Bei Versuch und Simulation kann die Auswertung auch auf Basis der gemessenen oder berechneten Verformungen erfolgen:

$w_2 =$  Verformung des Gesamtsystems mit Befestigungselement am Ort des Lastangriffs.

$w_{2,SY} =$  Verformung des Systems ohne Befestigungselement am Ort des Lastangriffs.

Dann ergibt sich:

$$F_{2,SY} = \frac{w_2}{w_{2,SY}} F_{Stoß}$$

$$F_{2,BE} = \left(1 - \frac{w_2}{w_{2,SY}}\right) F_{Stoß}$$

Kombiniert man diesen Zusammenhang mit der grundlegenden Gl. (11) erhält man:

$$F_{2,SY} = \frac{c_{2,SY}}{c_{2,BE} + c_{2,SY}} \cdot v_a \cdot \sqrt{\frac{m_1 \cdot c_1}{1 + \frac{c_1}{c_{2,BE} + c_{2,SY}}}} = c_{2,SY} \cdot v_a \cdot \sqrt{\frac{m_1 \cdot c_1}{c_2(c_1 + c_2)}} = c_{2,SY} \cdot w_2$$

$$F_{2,BE} = \frac{c_{2,BE}}{c_{2,BE} + c_{2,SY}} \cdot v_a \cdot \sqrt{\frac{m_1 \cdot c_1}{1 + \frac{c_1}{c_{2,BE} + c_{2,SY}}}} = c_{2,BE} \cdot v_a \cdot \sqrt{\frac{m_1 \cdot c_1}{c_2(c_1 + c_2)}} = c_{2,BE} \cdot w_2$$

$$\text{mit } w_2 = v_a \cdot \sqrt{\frac{m_1 \cdot c_1}{c_2(c_1 + c_2)}}.$$

#### 4.3.6 Einfluss der Parameter

Folgende Schlussfolgerungen ergeben sich aus den hergeleiteten Zusammenhängen auf Basis von linear elastischem Verhalten:

- Der Maximalwert der Kraft auf ein Befestigungselement ergibt sich für den Fall „System weich – Befestigungselement steif“.
- Der Maximalwert der Lastumlagerung, d.h. der Kraft auf den Blendrahmen ergibt sich aus dem Fall „System steif – Befestigungselement weich“.
- Der Fall „System steif- Befestigungselement steif“ erzeugt zwar absolut gesehen die größte Stoßkraft (Maximalwert von  $c_2$ ), ist jedoch weder für das Befestigungselement noch für den Rahmen maßgebend.

Schlussfolgerungen für das plastische Verhalten der Elemente:

Verhalten sich Einzelelemente nichtlinear, so führt dies zu einer zunehmenden Energieaufnahme bei gleichbleibender bzw. weniger stark ansteigender Kraft. Dieses duktile Verhalten ist im Sinne des Ansatzes einer vorgegebenen Stoßenergie positiv zu bewerten.

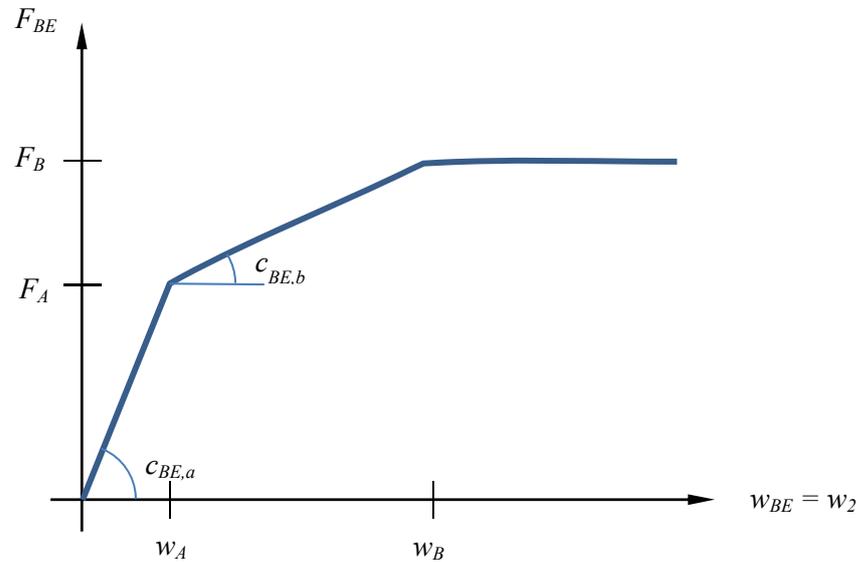
Für das nichtlineare, im Wesentlichen plastische Verhalten einzelner Elemente gelten folgende qualitative Aussagen:

- Das nichtlineare Verhalten einzelner Komponenten führt dazu, dass die Stoßkraft bei vorgegebener Energie geringer ausfällt.
- Die nichtlineare Komponente wird im Vergleich zum linearen Verhalten mit einer geringeren Kraft beansprucht.
- Der parallele, lineare Lastweg erhält einen prozentual höheren Lastanteil.

#### 4.3.7 Energieaufnahme bei nichtlinearem Verhalten des Befestigungselements

Um qualitative Aussagen zu ermöglichen, wurde eine Excel-Tabelle zur Berechnung der Energieaufnahme unter folgenden Voraussetzungen erstellt:

- Linear-elastisches Verhalten des stoßenden Körpers nach [14]
- Linear-elastisches Verhalten des Fenstersystems ( $c_{2,SY} = \text{const.}$ )
- Nichtlineares Verhalten des Befestigungselementes auf Basis einer trilinearen Kraft-Verformungslinie entsprechend nachfolgender Abbildung:



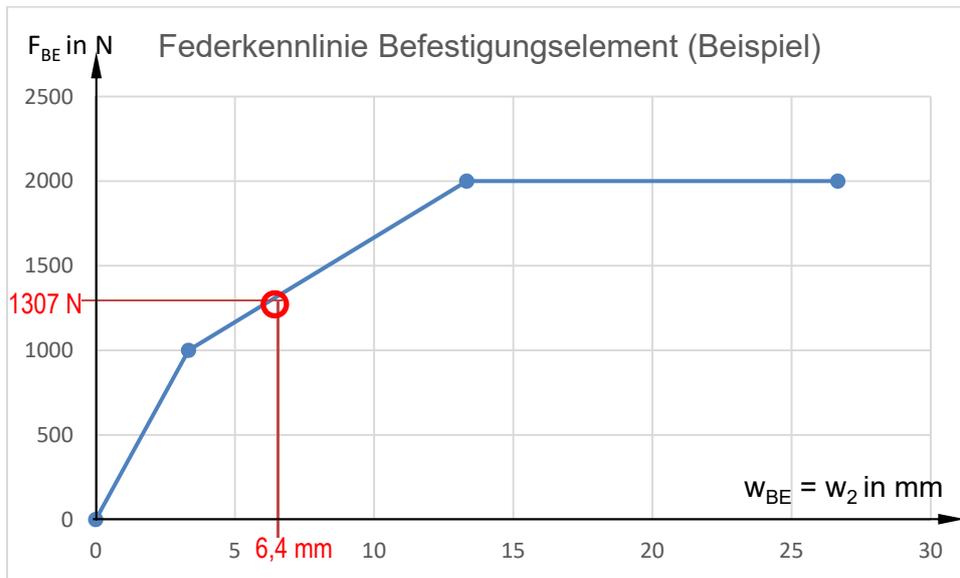
**Abbildung 9** Nichtlineare Federkennlinie für Befestigungselemente

Die Steifigkeit des Systems ohne Befestigungselement  $c_{2,SY}$  wird entweder experimentell oder durch Simulation mit einem Stabwerksprogramm ermittelt.

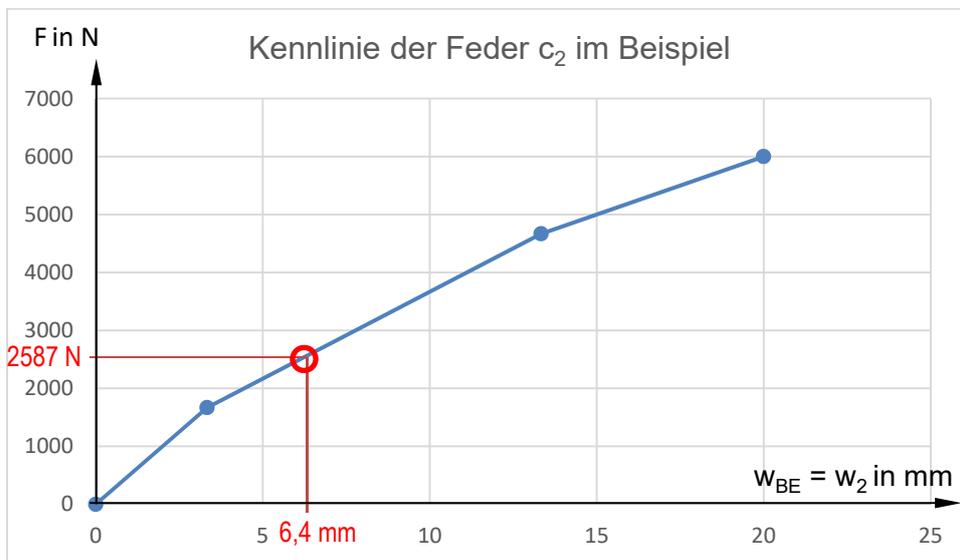
Mit der Excel-Tabelle kann darauf aufbauend die Energieaufnahme der Konstruktion und der Kraftanteil im Befestigungselement ermittelt werden, wie nachfolgend an einem Beispiel gezeigt wird. Die Eingabeparameter sind gelb hinterlegt.

Energieaufnahme an einem Befestigungspunkt bei nichtlinearem Verhalten des Befestigungselementes			
B. Eierle, 02.10.2018			
<b>1. Stoßkörper (menschliches Körperteil)</b>			
Wirksame Masse	$m_1 =$	30 kg	
Aufprallgeschwindigkeit	$v_a =$	2 m/s	
Federsteifigkeit nach Mitteilungen IfBt 5/1978			
$c_1 =$	$m_1 * (1144 v_a - 141) =$	64410 N/m	
<b>2. Befestigungselement</b>			
Trilineare Federkennlinie, Bereiche a-b-c			
Anfangssteifigkeit $c_{21} =$	$c_{BE,a} =$	300000 N/m	
reduzierte Steifigkeit	$c_{BE,b} =$	100000 N/m	
1. Knick bei	$F_a =$	1000 N	
Maximalkraft	$F_b =$	2000 N	
<b>3. Steifigkeit Rahmen ohne BE</b>			
System ohne BE $c_{22} =$	$c_{SY} =$	200000 N/m	
<b>4. Kennwerte der Gesamtsteifigkeit</b>			
<b>4.1 Linear-elastischer Bereich</b>			
Anfangssteifigkeit	$c_a =$	57060 N/m	
Elastische Grenzkraft	$F_a =$	1667 N	
Verformung bei $F_a$	$w_a =$	29 mm	inkl. Verformung Stoßkörper
davon Verformung BE	$w_{2a} =$	3 mm	
<b>4.2 Abgeminderte Steifigkeit</b>			
Reduzierte Steifigkeit	$c_b =$	53025 N/m	
Grenzkraft (BE plastifiziert)	$F_b =$	4667 N	am Lastangriffspunkt. Falls über 2800N: Punkt wird nicht erreicht.
Verformung bei $F_b$	$w_b =$	86 mm	inkl. Verformung Stoßkörper
davon Verformung BE	$w_{2b} =$	13 mm	
<b>4.3 BE plastifiziert</b>			
Reststeifigkeit	$c_c =$	48720 N/m	
<b>5. Energieaufnahme (inkl. Energieaufnahme im menschlichen Stoßkörper)</b>			
Anteil a: Linear elastisch	$E_{A,max} =$	24 Nm	Vollständiger Bereich A
Anteil b: mit Plastifizierung	$E_{B,max} =$	179 Nm	Vollständiger Bereich B
Max. Energieaufnahme a+b	$E = E_a + E_b$	204 Nm	Falls > 60 Nm -> Verformungskriterien prüfen
<b>Verformung BE vorgeben:</b>	$w_2 =$	6,4 mm	Anpassen bis Energieaufnahme mind. 60 Nm
Lösung liegt im Bereich		B	
Kraft bei $w_2$	$F_{w2} =$	2587 N	Plausibilität: Kleiner als 2,8 kN, sonst $w_2$ reduzieren.
Kraft im BE bei $w_2$	$F_{BE,w2} =$	1307 N	Plausibilität: Kann maximal $F_b$ sein!
Energieaufnahme Bereich A	$E_A =$	24 Nm	
Energieaufnahme Bereich B	$E_B =$	37 Nm	
Energieaufnahme Bereich C	$E_C =$	0 Nm	
Energieaufnahme bis $w_2$	$E_{W2} =$	61 Nm	Soll-Wert $\geq 60$ Nm

**Abbildung 10** Beispielberechnung der Energieaufnahme auf Basis einer nichtlinearen Federkennlinie für das Befestigungselement

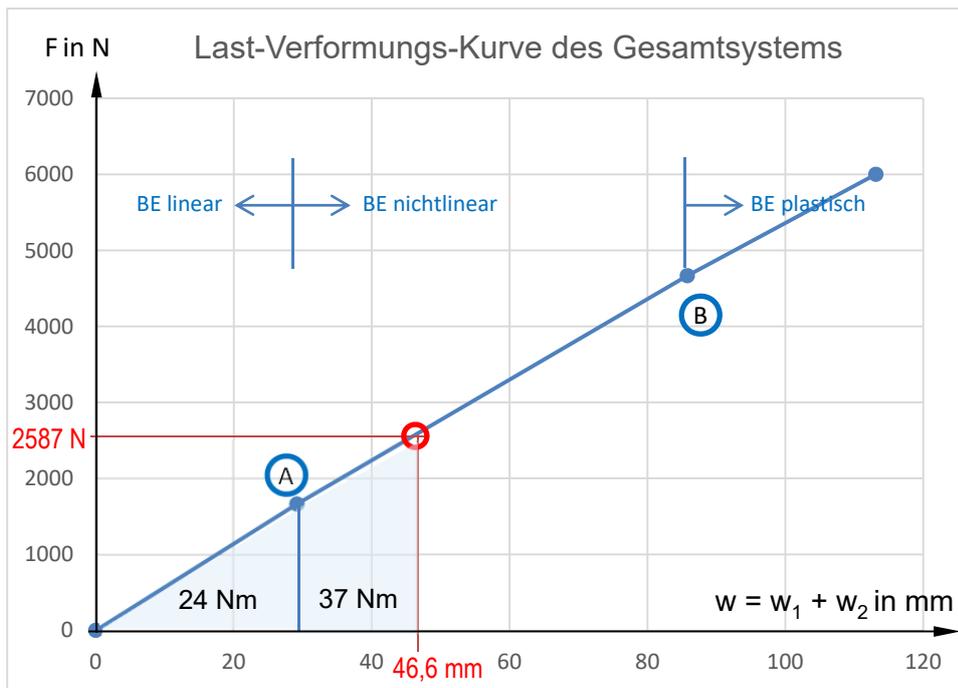


**Abbildung 11** Nichtlineare Kennlinie des Befestigungselements im Berechnungsbeispiel. Rot: Ergebnispunkt



**Abbildung 12** Kennlinie der Parallelschaltung von BE und SY mit nichtlinearem Befestigungselement im Berechnungsbeispiel. Rot: Ergebnispunkt

Wie die nachfolgende Darstellung zeigt, wird das Verhalten des Gesamtsystems aus stoßendem und gestoßenem Körper durch die nichtlineare Federkennlinie kaum beeinflusst. Hintergrund ist, dass die Federsteifigkeit des stoßenden Körpers (Mensch) im Vergleich sehr weich ist und dadurch die Gesamtsteifigkeit dominiert.



**Abbildung 13** Verhalten des Gesamtsystems (Verformung inkl. Stauchung Stoßkörper). Rot: Ergebnispunkt. Blau hinterlegt: Aufnahme der Stoßenergie

Rechnet man vereinfacht auf der sicheren Seite direkt mit der reduzierten Steifigkeit des Befestigungsmittels, ergibt sich folgende Näherungslösung:

$$E = \frac{1}{2} \cdot F \cdot w = \frac{1}{2} \cdot \frac{F^2}{c_b} = 60 \text{ Nm}$$

$$c_b = \frac{1}{\frac{1}{64410} + \frac{1}{100000 + 200000}} = 53025 \text{ N/m}$$

$$F_{\text{Stoß}} = \sqrt{2 \cdot 60 \text{ Nm} \cdot c_b} = \frac{1}{2} \cdot \frac{F^2}{c_b} = \sqrt{2 \cdot 60 \text{ Nm} \cdot 53025 \frac{\text{N}}{\text{m}}} = 2522 \text{ N}$$

Der Kraftanteil des Befestigungselementes müsste dann näherungsweise mit der Anfangssteifigkeit (sichere Seite) ermittelt werden:

$$F_{BE} = \frac{c_{BE,a}}{c_{BE,a} + c_{SY}} F_{\text{Stoß}} = \frac{300000}{300000 + 200000} 2522 \text{ N} = 1513 \text{ N}$$



Zum Vergleich:

Die genaue Rechnung ergibt

$F_{\text{Stoß}} = 2587 \text{ N}$  und

$F_{\text{BE}} = 1307 \text{ N}$ , also einen Anteil der Stoßlast von  $1307 / 2587 = 50\%$  auf das Befestigungselement.

Die restliche Last von  $2587 \text{ N} - 1307 \text{ N} = 1280 \text{ N}$  wird durch das System auf die benachbarten Befestigungspunkte weitergeleitet.





## 5 Experimentelle Untersuchungen

### 5.1 Generell

Ziel der experimentellen Untersuchungen war es Erkenntnisse zu erlangen, die es erlauben das Simulationsmodell umzusetzen und zu validieren. Die hierfür notwendigen Zwischenziele der experimentellen Untersuchung wurden wie folgt definiert:

- Ermittlung der Verformungen  $w_2$  und  $w_{2,SY}$  durch Lasteinwirkung
- Ermittlung der Verformungen an benachbarten Befestigungsstellen und hieraus Bestimmung des Anteils der Lastweiterleitung
- Federkonstante  $c_2$  für das gesamte Element, sowie die Federkonstante des Systems  $c_{2,SY}$  als Eingangskenndaten für die Simulation.
- Abschätzung der Lastweiterleitung beim weichen Stoß, sowie dazugehörige Erkenntnisse

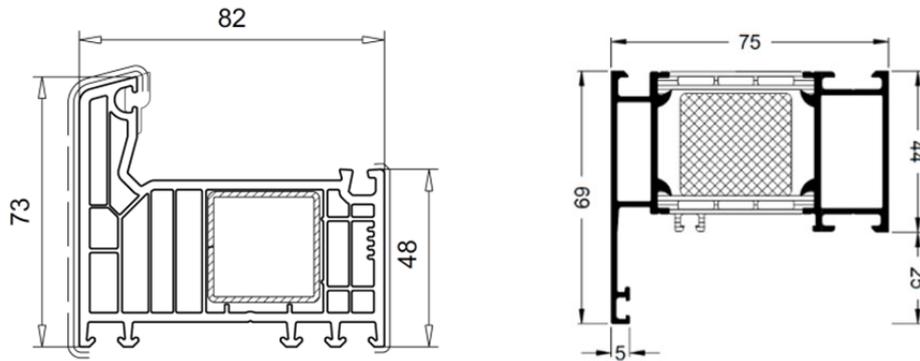
Die Versuche sollten nach Möglichkeit den in der Praxis auftretenden Parameterraum abdecken. Die Versuche wurden daher an folgenden Probekörpern durchgeführt:

1. Fenster aus PVC als Vertreter eines „weichen Rahmensystems“.
2. Fenster aus wärmegeprägten Aluminium-Verbundprofilen als Vertreter eines „steifen Rahmensystems“.

Ebenso wurden zwei unterschiedliche Befestigungssysteme untersucht. Das Befestigungssystem 1 wurde mit dem PVC Fenster kombiniert, das Befestigungssystem 2 mit dem Aluminium Fenster.

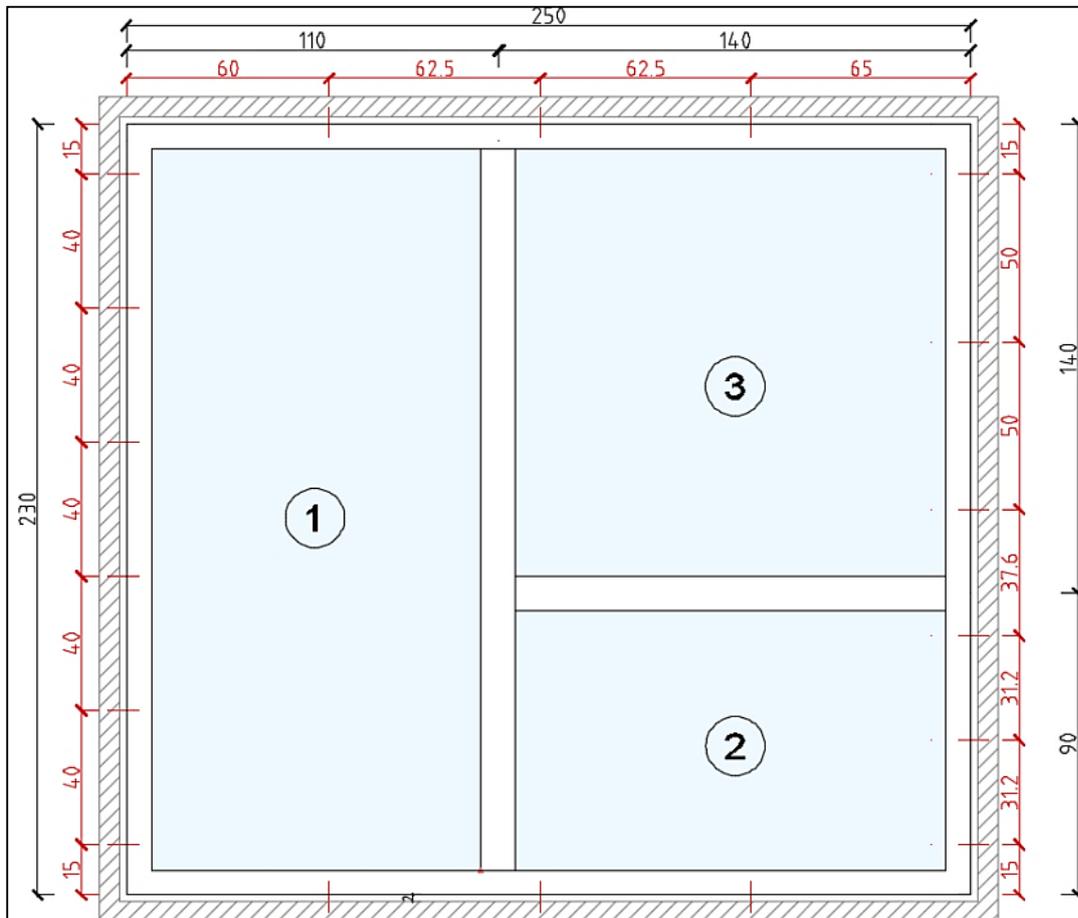
### 5.2 Beschreibung der Probekörperaufbauten

Die für die Untersuchungen verwendeten Fenster bestanden zum einen aus PVC Hohlkammerprofilen mit Stahlarmierung der Fa. VEKA, zum anderen aus wärmegeprägten Aluminium Verbundprofilen der Fa. Schüco. Die verwendeten Profile können als typisch bzw. repräsentativ für die bei Fenstern verwendeten Profile angesehen werden. Die Querschnitte der beiden verwendeten Blendrahmen - Profilsysteme sind in Abbildung 14 dargestellt.



**Abbildung 14** Querschnitte der bei den Probekörpern verwendeten Profilsysteme  
 Links: Profil aus PVC, Veka Softline 82 mit Stahlarmierung (30 x 30 x 1,5) mm  
 Rechts: Profil aus Aluminium, Schüco AWS 75.SI (EN-AW 6060)

Für die Untersuchungen wurden aus den Profilen Fenster hergestellt. Beide hatten eine Abmessung von 2500 mm x 2300 mm (B x H). Abbildung 15 zeigt den schematischen Aufbau des Elementes. Die Elementabmessungen sind hierbei in schwarz eingezeichnet, die Lage der Befestigungspunkte in rot. Ebenfalls ist in der Zeichnung der Umfassungsrahmen berücksichtigt.



**Abbildung 15** Schematischer Aufbau des untersuchten Fensterelements. Die Abmessungen sind in cm angegeben.

Das Fenster war mit einem Pfosten (Abstand 140 cm) und einem Riegel (Holm) in Höhe von 90 cm in insgesamt drei Felder geteilt. Alle Felder waren als Festfelder, d.h. nicht öffenbar ausgeführt. Als Ausfachung wurden bei allen drei Feldern Mehrscheiben-Isoliergläser eingebaut. Die eingebauten Gläser erfüllten hierbei die Anforderungen entsprechend DIN 18008-4. Die Aufbauten der einzelnen Felder können Tabelle 5 entnommen werden.

**Tabelle 5** Aufbauten der Mehrscheiben-Isoliergläser für die einzelnen Felder 1-3 (Abbildung 15)

Feld Nr.	Aufbau in mm (von außen nach innen)	Anforderung nach DIN 18008-4
1	<u>VSG8/16/ESG8</u>	Absturzsicherung Kategorie A
2	<u>VSG8/16/ESG8</u>	Absturzsicherung Kategorie C2
3	<u>6/16/4</u>	Keine Anforderung an die Absturzsicherung

Für die Untersuchungen wurden die Fensterelemente in einem umlaufenden Stahlrahmen befestigt. Die Lage der Befestigungspunkte für die Untersuchungen kann Abbildung 15 entnommen werden.

Als Befestigungssystem 1 (in Kombination mit dem PVC Fenster) wurde die AMO<sup>®</sup>-Combi 7,5/11,5 Schraube des Projektpartners Adolf Würth GmbH & Co. KG gewählt; als Befestigungssystem 2 (in Kombination mit dem Aluminium Fenster) Montageschienen des Typs „JB-D/FA-100“ des Projektpartners Fa. SFS. Um die Montageschiene auf den Stahlumfassungsrahmen bzw. den Aluminiumrahmen zu montieren, wurden Schrauben mit der Bezeichnung „FB-FK-T30-7,5x42“ bzw. „SLG-S-S14-4,8x20“ eingesetzt.

Die verwendeten Befestigungsmittel sind in Abbildung 16 sowie Abbildung 17 dargestellt.

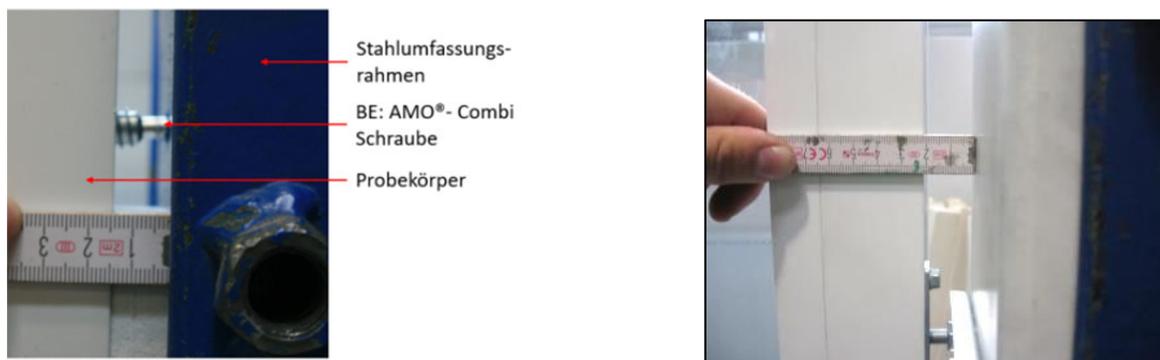


**Abbildung 16** Befestigungssystem 1: AMO<sup>®</sup>-Combi 7,5/11,5



**Abbildung 17** Befestigungssystem 2: JB-D/FA-100

Die Einbaufuge zwischen PVC Fenster und Stahlrahmen betrug umlaufend 15 mm (siehe hierzu auch Abbildung 18) zwischen Aluminium Fenster und Stahlrahmen 20 mm.



**Abbildung 18** Detailaufnahme der Fuge in der Nähe der Befestigungspunkte  
links: PVC Fenster Fuge 15 mm  
rechts: Aluminium Fenster Fuge 20 mm

### 5.3 Durchführung der Untersuchungen und Ergebnisse

#### 5.3.1 Statische Versuche

Um den Anteil der Kraftweiterleitung in Bezug auf eine statische Ersatzlast an benachbarte Befestigungspunkte zu ermitteln waren zwei Hauptschritte notwendig:

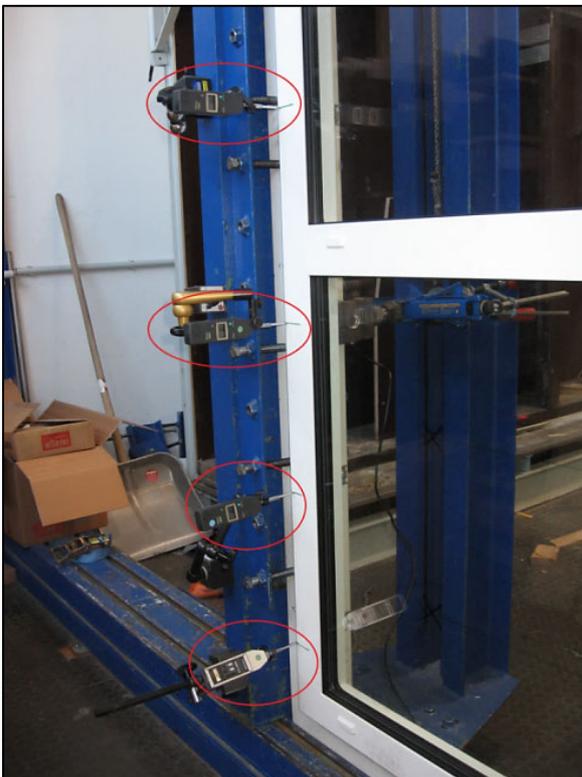
1. Einleitung einer definierten Kraft am zu untersuchenden Befestigungspunkt
2. Messung der Verformung am untersuchten Befestigungspunkt sowie an den benachbarten Befestigungspunkten.

Die Kraft selbst wurde mittels eines Wagenhebers aufgebracht. Diese Vorgehensweise erlaubte eine feine und schnelle Anpassung des Kraftniveaus. Die Messung der Kraft erfolgte mittels einer kalibrierten Kraftmessdose. Über diese wurde die Kraft vom Wagenheber auf den Blendrahmen übertragen und in unmittelbarer Nähe des zu untersuchenden Befestigungspunktes in den Blendrahmen auf der Anprallseite eingeleitet. Der experimen-

telle Aufbau kann Abbildung 19 entnommen werden. Die Ermittlung der „Auslenkung“ des Fensters auf der „Absturzseite“ erfolgte an dem direkt belasteten Befestigungselement sowie an den benachbarten Befestigungsstellen mittels digitaler Messuhr. Abbildung 20 zeigt beispielhaft die experimentelle Umsetzung.



**Abbildung 19** Einleitung der Kraft mit Wagenheber und Messung der Kraft mit Kraftmessdose auf der Anprallseite



**Abbildung 20** Messung der Verformung am direkt belasteten Befestigungselement sowie an den benachbarten Befestigungsstellen mittels digitalen Messuhren

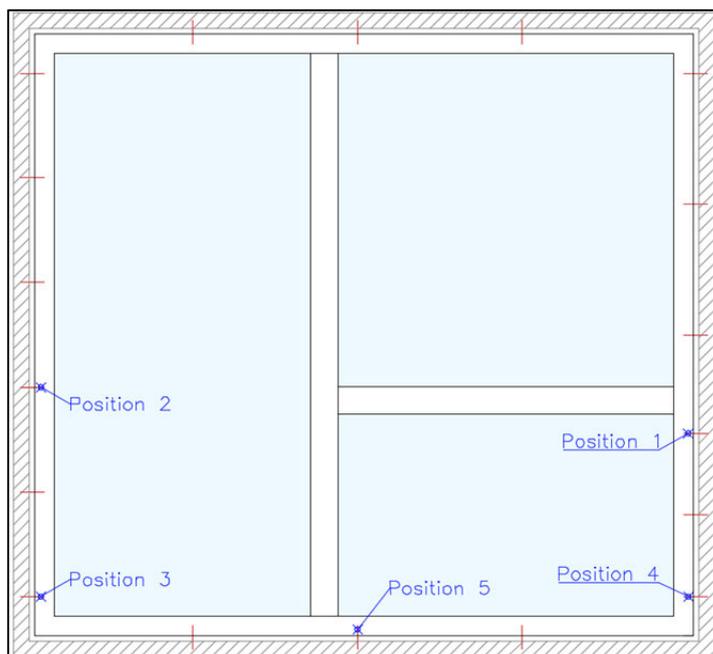
Unter der Annahme, dass die Befestigungselemente die gleiche Federkonstante  $c_{2,BE}$  aufweisen, kann aufgrund der Verformung  $w_2$  am direkt belasteten Befestigungspunkt sowie der Verformung an den benachbarten Befestigungspunkten auf den Anteil der weitergeleiteten Kraft geschlossen werden. Ebenso erlaubt es der Aufbau die Federkonstanten  $c_{2,SY}$  sowie  $c_2$  zu ermitteln.

Zur Ermittlung der Federkonstante  $c_{2,SY}$  wird das direkt belastete Befestigungselement entfernt und an dieser Stelle die Kraft eingeleitet. Durch Messung der Verformung  $w_{2,SY}$  an der Position des entfernten Befestigungselementes kann die Federkonstante  $c_{2,SY}$  ermittelt werden. Zur Bestimmung der Federkonstante  $c_2$  verbleiben alle Befestigungselemente an der Position. Durch Messung der Verformung  $w_2$  in Abhängigkeit der eingeleiteten Last am betroffenen Befestigungselement ergibt sich die Federkonstante  $c_2$ .

Die Definitionen der Federkonstanten  $c_2$  und  $c_{2,SY}$  sowie der Verformungen  $w_2$  sowie  $w_{2,SY}$  entsprechen den Definitionen aus Abschnitt 4.3.

Für die experimentellen Untersuchungen wurde die statische Last im elastischen Bereich der Befestigung gewählt, so dass eine plastische Verformung des Befestigungselementes ausgeschlossen werden konnte. Die eingeleiteten Kräfte betragen maximal 2,5 kN. Die Schrittweite der Kraft in der Regel 500 N.

Die experimentellen Untersuchungen erfolgten an 5 unterschiedlichen Positionen des Fensterelementes die in Abbildung 21 eingezeichnet sind. Nicht für jede Position wurde die gleiche Anzahl an Untersuchungen durchgeführt. Der Schwerpunkt lag auf den Pos. 1 (Holmanschluss), Pos. 2 (Freier Blendrahmen) sowie Pos. 3 und 4 (Ecksituation).



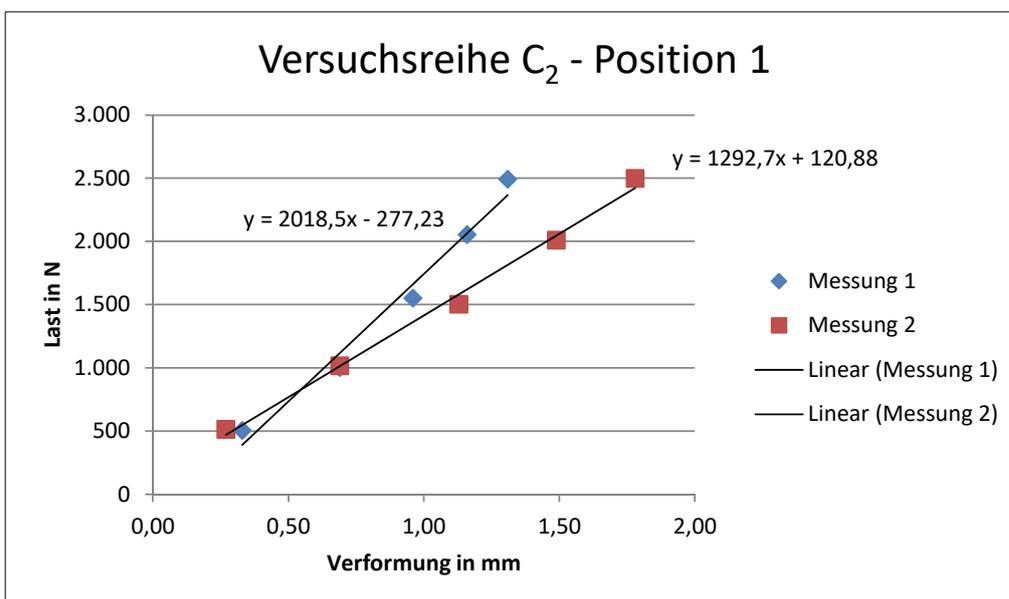
**Abbildung 21** Lage der Befestigungsstellen, an denen die Untersuchungen durchgeführt wurden



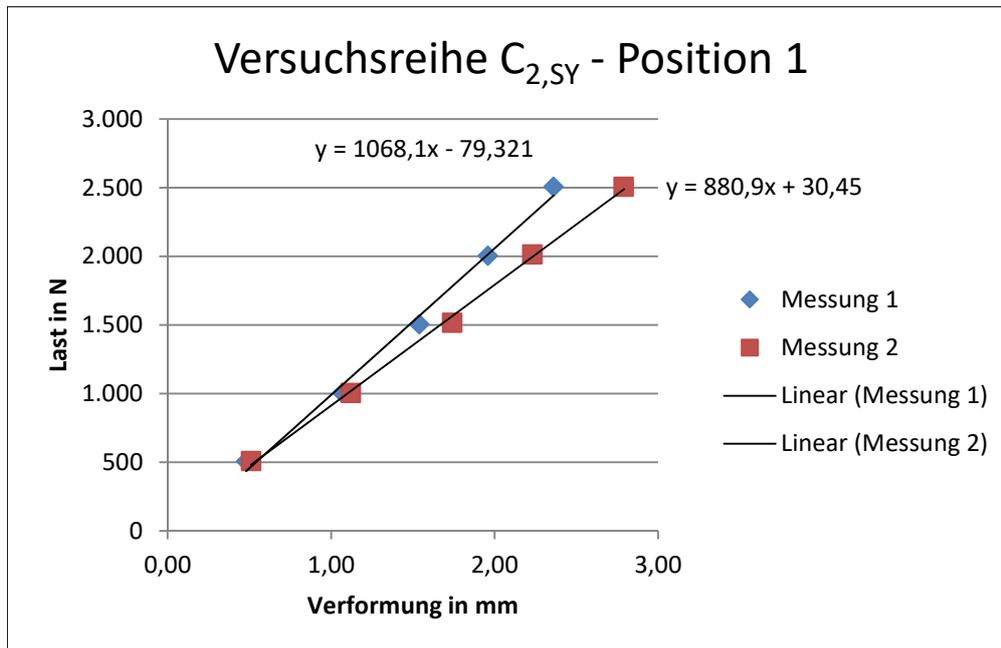
Die Durchführung der experimentellen Untersuchungen erfolgte in mehreren voneinander unabhängigen und zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführten Versuchsreihen. Hierbei zeigte sich, dass bei der Ermittlung der Kraft-Verformungsdiagramme sowie der Ableitung der Federkonstanten mit Unsicherheiten gerechnet werden musste. Als Ursachen für die Unsicherheiten können genannt werden:

- Unsicherheiten bei der Messung der Verformung sowie der Position der Messpunkte
- Unsicherheiten bei der Messung der eingeleiteten Kraft, der exakten Position der Kraftereinleitung sowie der Verformung des Rahmenprofils am Punkt der Kraftereinleitung
- Mögliche Verschiebung des Befestigungselementes auf dem Stahlrahmen z.B. durch Lochspiel
- Sonstige mögliche Zwängungen/Schlupf im Element z.B. T-Verbinder, Glasauflager, Verklotzung des Elementes

Exemplarisch sind in Abbildung 22 und Abbildung 23 typische Kraft Weg Diagramme dargestellt; im konkreten Fall für das Aluminiumfenster für die Belastungsposition 1 (Holmanschluss).



**Abbildung 22** Kraft Weg Diagramm für 2 Messungen zur Ermittlung der Federkonstante  $c_2$  Fenster Aluminium – Position 1



**Abbildung 23** Kraft Weg Diagramm für 2 Messungen zur Ermittlung der Federkonstante  $c_{2,SY}$  Fenster Aluminium – Position 1

Abbildung 22 zeigt die bei zwei unabhängig durchgeführten Versuchen ermittelten Einzel-daten zur Bestimmung der Federkonstante  $c_2$ . Es ergibt sich eine relativ große Bandbreite von 1,3 kN/mm bis 2 kN/mm. Bei der Ermittlung der Federkonstante  $c_{2,SY}$  ergeben sich bei den zwei voneinander unabhängig durchgeführten Messungen Werte von ca. 0,9 kN/mm bis ca. 1,1 kN/mm (Abbildung 23).

Die durch die experimentellen Untersuchungen ermittelten Federkonstanten  $c_2$ ,  $c_{2,SY}$  sowie  $c_{2,BE}$  können der Tabelle 6 sowie Tabelle 7 entnommen werden.

**Tabelle 6** Durch experimentelle Untersuchungen ermittelte Federkonstanten  $c_2$ ,  $c_{2,SY}$  sowie aus der Differenz abgeleitete Federkonstante  $c_{2,BE}$  am PVC Fenster mit Befestigungssystem 1 (AMO®-Combi 7,5/11,5)

Position	$c_2$ in kN/mm	$c_{2,SY}$ in kN/mm	$c_{2,BE}$ in kN/mm
1	1,8 – 2,0	0,75 – 0,8	1,0 - 1,2
2	1,8 – 2,1	0,6	1,2 - 1,5
3	1,5 – 1,6	0,2	1,3 - 1,4
4	0,55 – 0,65	0,25	0,3 - 0,4



**Tabelle 7** Durch experimentelle Untersuchungen ermittelte Federkonstanten  $c_2$ ,  $c_{2,SY}$  sowie aus der Differenz abgeleitete Federkonstante  $c_{2,BE}$  am Aluminium Fenster mit Befestigungssystem 2 (JB-D/FA-100)

Position	$c_2$ in kN/mm	$c_{2,SY}$ in kN/mm	$c_{2,BE}$ in kN/mm
1	1,3 - 2,0	0,9 – 1,0	0,4 – 1,0
2	2,4 – 2,8	0,7 – 0,9	1,6 – 1,9
3	0,8 – 1,4	0,3 – 0,35	0,5 - 1,1
4	1,3 - 2,3	0,35 – 0,45	0,9 – 1,8
5	0,65 – 1,4	0,25 – 0,3	0,4 – 1,1

Die für das Kunststofffenster ermittelten Federkonstanten des Befestigungselementes  $c_{2,BE}$  liegen für die Positionen 1, 2 und 3 alle in der gleichen Größenordnung von im Mittel ca. 1,3 kN/mm. Die Befestigung kann daher als relativ steif angesehen werden; dies ergibt sich im Wesentlichen aus dem hochfesten Untergrund (Stahlprofil) sowie einer Fugenbreite von nur 15 mm. Bei der Position 4 wurde eine deutlich niedrigere Federkonstante  $c_{2,BE}$  ermittelt. Dies fällt auch insbesondere im Vergleich mit der vergleichbaren Ecksituation bei Position 3 auf. Eine Analyse, die nach Auswertung aller Experimente durchgeführt wurde ergab, dass die Rahmenecke an der Pos. 4 gebrochen war. Es war unklar, zu welchem Zeitpunkt der Bruch erfolgt ist. Daher können die für die Position 4 ermittelten Werte als nicht belastbar angesehen werden und wurden für die weitere Auswertung verworfen.

Für das Aluminium Fenster ist eine größer Schwankungsbreite der ermittelten Federkonstanten  $c_{2,BE}$  zu erkennen. Für die Positionen 1, 3 und 5 liegen diese im Bereich von ca. 0,5 – 1 kN/mm. Bei Position 4 sowie 5 wurden höhere Werte von ca. 0,9 – 1,8 kN/mm bzw. 1,6-1,9 kN/mm ermittelt. Die Ursache für die hohe Schwankungsbreite wird in oben genannten Gründen für die Unsicherheiten bei der Messung gesehen. Insbesondere bei der, beim Aluminium Fenster verwendeten Befestigung ergibt sich aufgrund des mehrteiligen Aufbaus eine höhere Anzahl an „Freiheitsgraden“ als bei dem Befestigungselement, das beim PVC Fenster verwendet wurde.

Die bei den Untersuchungen ermittelten relativen Verformungen bzw. die anteiligen Lasten sind im Kapitel 6.2 Vergleich Experiment/Simulation in Abbildung 31 bis Abbildung 33 aufgeführt.

### 5.3.2 Dynamische Versuche

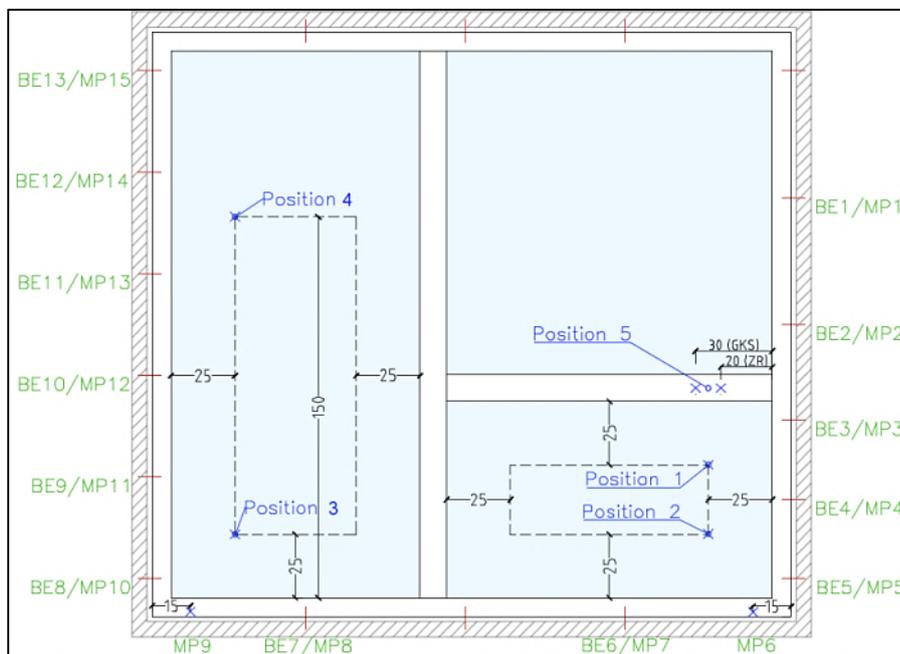
Neben den im obigen Kapitel dargestellten statischen Untersuchungen wurden noch weitere Versuche zur Lastweiterleitung durch dynamische Belastung durchgeführt. Wenn auch das Ziel dieser Untersuchungen nicht der quantitative Vergleich mit dem Rechenmodell war, so sollten die Versuche jedoch qualitativ zeigen, dass auch bei einer dynamischen Last, diese auf mehrere Befestigungspunkte übertragen wird.

Die untersuchten Fenster sind hierbei identisch zu den in den statischen Versuchen verwendeten.

Um qualitativ zu zeigen, dass auch bei der dynamischen Lasteinleitung eine „Lastweiterleitung“ vorhanden ist, waren zwei Hauptschritte notwendig:

1. Einleitung einer definierten dynamischen Last an definierten Lasteinleitungspunkten.
2. Messung der Verformung an den in der Nähe des Lasteinleitungspunktes liegenden Befestigungsstellen.

In der dynamischen Versuchsreihe wurden die Pendelschlagversuche bei umlaufender Befestigung mit einem Glaskugelsack (Gewicht: 50 kg) entsprechend ETB-Richtlinie durchgeführt. Die Positionen der Lasteinleitung unterscheiden sich von denen der statischen Versuchsreihe insofern, dass nicht mehr auf den Blendrahmen, sondern auf die Glasscheiben und den Holm die Last aufgebracht wurde. Die Bereiche auf den Glasscheiben wurden in Anlehnung an DIN 18008-4 ausgewählt. Der untere Abstand des Auftreffbereiches wurde hierbei identisch zum seitlichen mit 250 mm gewählt. Die Auftreffbereiche bzw. die Positionen sowie die Messpunkte können Abbildung 24 entnommen werden.



**Abbildung 24** Auftreffbereiche in Anlehnung an DIN 18008-4 und Messpunkte (MP) für die dynamischen Versuche.



Die Stoßbelastung erfolgte durch pendeln mit einem Glaskugelsack mit einer Masse von 50 kg. Der Stoßkörper war hierbei mit der Pendelvorrichtung auf einem Hubwagen befestigt, so dass die unterschiedlichen Lastpositionen einfach und zeitnah variiert werden konnten (siehe Abbildung 25).

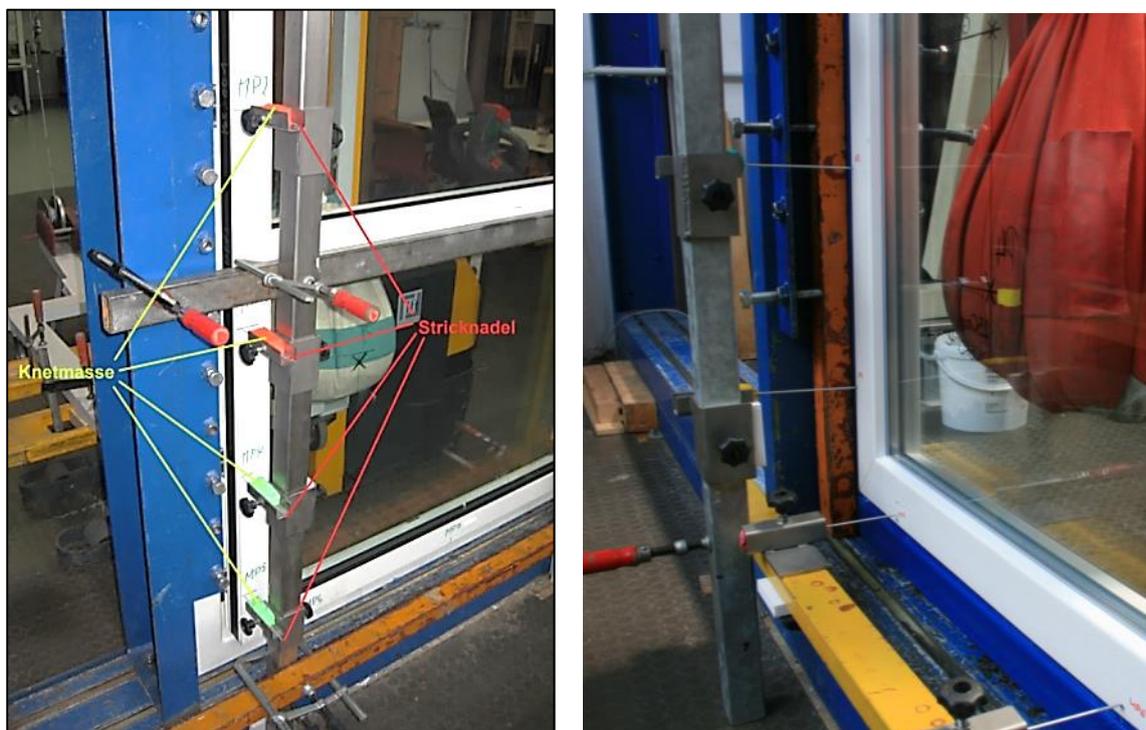


**Abbildung 25** Fotografie der verwendeten Vorrichtung zur Durchführung der dynamischen Belastung.

Nach dem in der ETB Richtlinie beschriebenen Verfahren zur Ermittlung der Fallhöhe des Glaskugelsacks würde sich eine Fallhöhe von ca. 0,9 m ergeben. Ziel der Untersuchungen war es jedoch nicht, einen Nachweis des Stoßes nach ETB-Richtlinie zu führen sondern nach Möglichkeit zu zeigen, dass die bei dynamischer Belastung eingeleitete Stoßenergie über mehrere Befestigungsstellen abgetragen wird. Um Beschädigungen am Element, die u.U. Auswirkungen auf noch durchzuführende Untersuchungen gehabt hätten auszuschließen, wurde die Fallhöhe begrenzt. Die Versuche wurden daher mit Fallhöhen von 300 mm sowie teilweise mit 450 mm durchgeführt. Auch in DIN 18008-4 ist für den Nachweis der Absturzicherung von Verglasungen für die Kategorie C eine Fallhöhe von 450 mm definiert. Allerdings würde entsprechend DIN 18008-4 ein Zwillingstreifen als Stoßkörper verwendet.

Ursprünglich war geplant, die Messung der Auslenkung bzw. Verformung zeitabhängig zu ermitteln. Es zeigte sich aber, dass die hierfür zu Verfügung stehenden Wegaufnehmer sowie der A/D Wandler nicht geeignet waren. Da für das Ziel der dynamischen Untersuchungen die Ermittlung von Maximalauslenkungen ausreichend war, wurde die Verformungsmessung durch einen selbst umgesetzten „Schleppzeiger“ durchgeführt. Die Idee hierfür wurde durch Prof. Eierle eingebracht. Auf der dem Stoß abgewandten Seite wurde eine Halterung angebracht, die Knetmasse aufnehmen konnte. In der Knetmasse wurde

eine Stricknadel fixiert und zwar so, dass die Stricknadel durch Knetmasse längs verschoben werden konnte. Die Spitze der Stricknadel hatte vor dem Stoß Kontakt zum Rahmenprofil in unmittelbarer Nähe des zu untersuchenden Befestigungspunktes. Durch den Stoß und den hierdurch ausgelenkten Prüfkörper wurde die Stricknadel durch die Knetmasse geschoben. Nach Stoßende verblieb ein Abstand zwischen Nadelspitze und Rahmenprofil. Der Abstand zwischen Fensterrahmen und Stricknadelspitze wurde mittels Fühlerlehren gemessen und entspricht der entstandenen maximalen Verformung während des Stoßes. Die Umsetzung der „Messeinrichtung“ mit mehreren gleichzeitig angebrachten „Stricknadelschleppzeigern“ zeigt Abbildung 26.



**Abbildung 26** Umsetzung der „Stricknadelschleppzeiger“ zur Ermittlung der maximalen Elementverformung

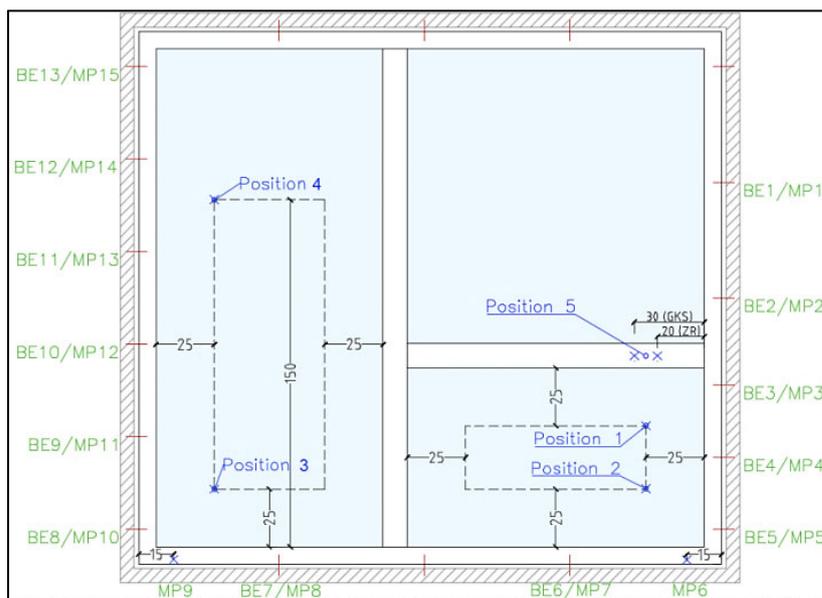
Beim PVC Fenster wurden die dynamischen Untersuchungen an den Positionen 1 und 2 durchgeführt, beim Aluminiumfenster an den Positionen 1 bis 5. Es ist noch darauf hinzuweisen, dass der Auftreffpunkt des Stoßkörpers Glaskugelsack eher als größerer Auftreffbereich gesehen werden muss, da sich der Glaskugelsack durch den Aufprall stark verformt. Die ermittelten Verformungen sind in Tabelle 8 sowie Tabelle 9 angegeben. Es zeigt sich, dass mehrere Befestigungspunkte die über den dynamischen Lastfall eingeleiteten Kräfte bzw. Energien an den Untergrund übertragen.

**Tabelle 8** Ermittelte relative Verformung bei den dynamischen Untersuchungen am PVC Fenster  
Die grau hinterlegten Messpunkte sind keine Befestigungspunkte, die Messpunkte sowie die Auftreffpositionen sind nochmals in Abbildung 27 angegeben

Probekörper	Position	Fallhöhe in mm	relative Verformung je Messpunkt														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
PVC Fenster	1	300		0,4	1,0	0,8	0,8										
		450		0,4	1,0	0,8	0,8										
	2	300			0,2	0,3	0,5	1,0	0,5								
		450			0,2	0,3	0,5	1,0	0,7								

**Tabelle 9** Ermittelte relative Verformung bei den dynamischen Untersuchungen am Alu-Fenster  
Die grau hinterlegten Messpunkte sind keine Befestigungspunkte, die Messpunkte sowie die Auftreffpositionen sind nochmals in Abbildung 27 angegeben

Probekörper	Anprall Position	Fallhöhe in mm	relative Verformung je Messpunkt														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Aluminium Fenster	1	300		0,3	1,0	0,8	0,3										
		450		0,3	1,0	0,6	0,3										
	2	300			0,4	0,7	0,9	1,0	0,9								
		450			0,5	0,5	0,6	1,0	0,7								
	3	300								0,8	1,0	1,0	0,8	0,2			
		450								0,8	1,0	1,0	0,9	0,3			
	4	300											0,1	0,1	0,4	0,8	1,0
		450											0,3	0,1	0,4	0,7	1,0
	5	300	0,3	0,8	1,0	0,3	0,1										
		450	0,4	0,7	1,0	0,3	0,1										



**Abbildung 27** Auftreffbereiche in Anlehnung an DIN 18008-4 und Messpunkte (MP) für die dynamischen Versuche.





## 6 Rechnerische Untersuchungen

### 6.1 Vorgehensweise

#### 6.1.1 Ziel

Ziel der rechnerischen Untersuchungen ist es zu analysieren, wie und unter welchen Randbedingungen die Einzellast von 2,8 kN auf mehrere Befestigungspunkte verteilt werden kann.

#### 6.1.2 Methodik und Validierung

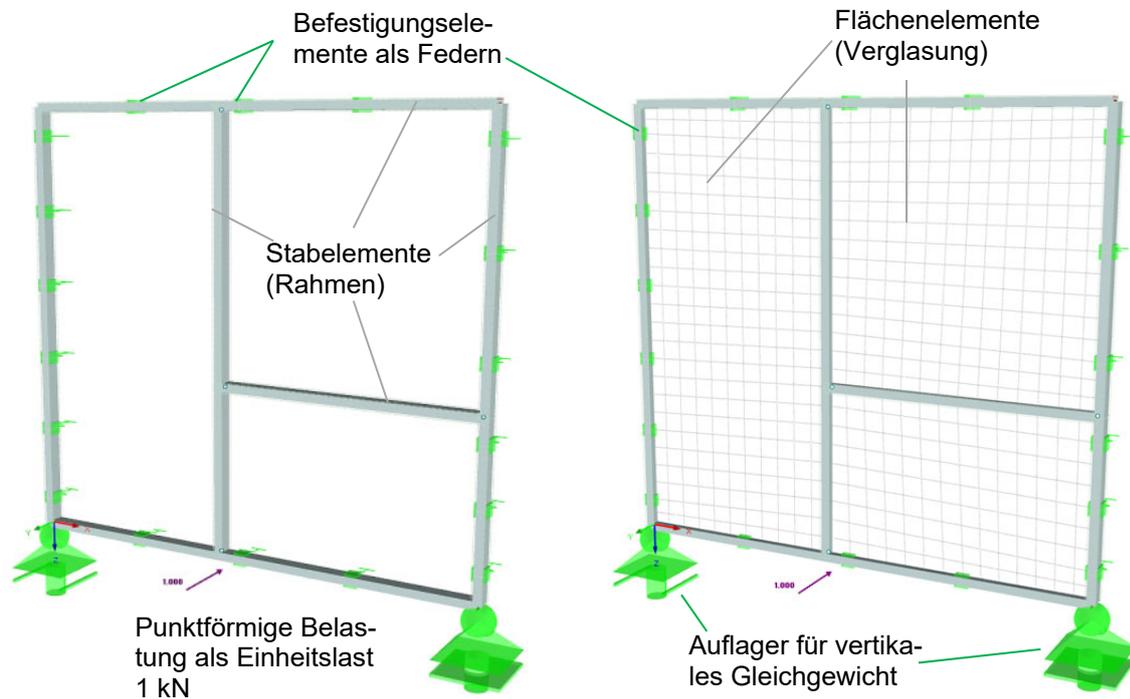
Die rechnerischen Untersuchungen erfolgen mit einem Simulationsmodell als Stabtragwerk (Software Dlubal RSTAB) bzw. als Stabtragwerk mit Flächenelementen für die Verglasung (Software Dlubal RFEM). Die Berechnungen wurden u.a. im Rahmen von zwei Bachelorarbeiten [7], [13] an der TH Rosenheim durchgeführt.

Der Ablauf der rechnerischen Untersuchung gliedert sich in folgende Schritte:

1. Erstellen des Rechenmodells
2. Nachrechnung der durchgeführten Versuche im Stahlrahmen (vgl. Kap. 5)
3. Validierung des Rechenmodells durch Vergleich der rechnerischen Verformungen mit den gemessenen Verformungen.
4. Parameterstudie am validierten Modell für eine große Bandbreite realer Einbausituationen.
5. Auswertung der Verteilung der Auflagerkräfte in Abhängigkeit der Parameter.
6. Schlussfolgerung für die Lastweiterleitung

#### 6.1.3 Rechenmodell

Es handelt sich prinzipiell um ein relativ einfaches Stabtragwerk, wobei der Fokus auf die realistische Modellierung der Steifigkeiten von Stäben und Auflagern liegt.



**Abbildung 28** Simulationsmodelle (Links RSTAB ohne Verglasung, rechts RFEM mit Verglasung)

Auf einige Besonderheiten der Modellbildung soll hier kurz eingegangen werden:

- Die Anschlüsse von Pfosten und Kämpfer wurden gelenkig angenommen (sichere Seite).
- Die beiden unteren Auflager an den Eckpunkten dienen lediglich dazu, ein vertikal in Fensterebene statisch bestimmt gelagertes System zu erzeugen. Sie haben keinen Einfluss auf die horizontale Lastabtragung.
- Die Eckverbindungen wurden zum Vergleich sowohl gelenkig als auch biegesteif modelliert.
- Die Steifigkeit der Stäbe bildet bei Kunststofffenstern nur die Stahlarmierung ab.
- Bei Aluminium-Fenstern entspricht die Steifigkeit dem effektiven Flächenträgheitsmoment des Verbundquerschnitts nach Angaben des Herstellers.

Die Ermittlung der Federsteifigkeiten der Auflagerpunkte basiert auf den Überlegungen in Abschnitt 4.3 und den Auswertungen der Bauteilversuche (Kapitel Experimentelle Untersuchungen<sup>5</sup>). Die Federsteifigkeit enthält Einflüsse aus der nachgiebigen Verbindung mit dem Blendrahmen, aus der Verformung des Befestigungsmittels selbst (Biegung) und aus einer evtl. vorhandenen Nachgiebigkeit im Untergrund.

## 6.2 Nachrechnung der Bauteilversuche

### 6.2.1 Parameter des Rechenmodells

Mit dem Simulationsmodell werden zur Validierung die Verformungen berechnet und mit den Verformungsergebnissen der Bauteilversuche verglichen. Die Federelemente entsprechen den Steifigkeiten  $c_{2,BE}$ , die am Versuchskörper durch das in Kap. 5 geschilderte Verfahren bestimmt wurden.

Abbildung 29 zeigt die für die Nachrechnung der experimentellen Untersuchungen ange-setzte Steifigkeit der Stäbe (Profile).

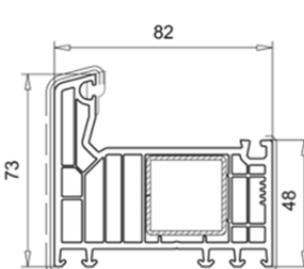
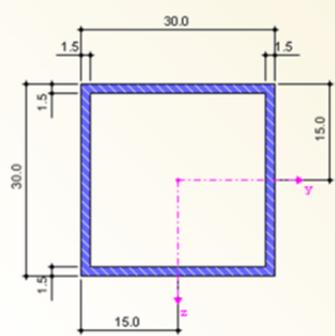
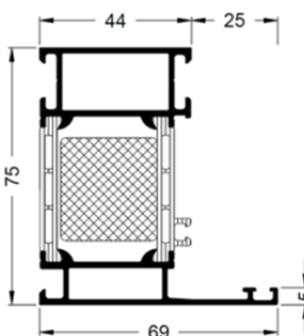
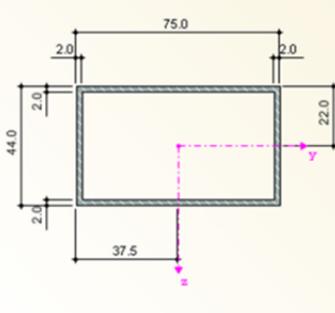
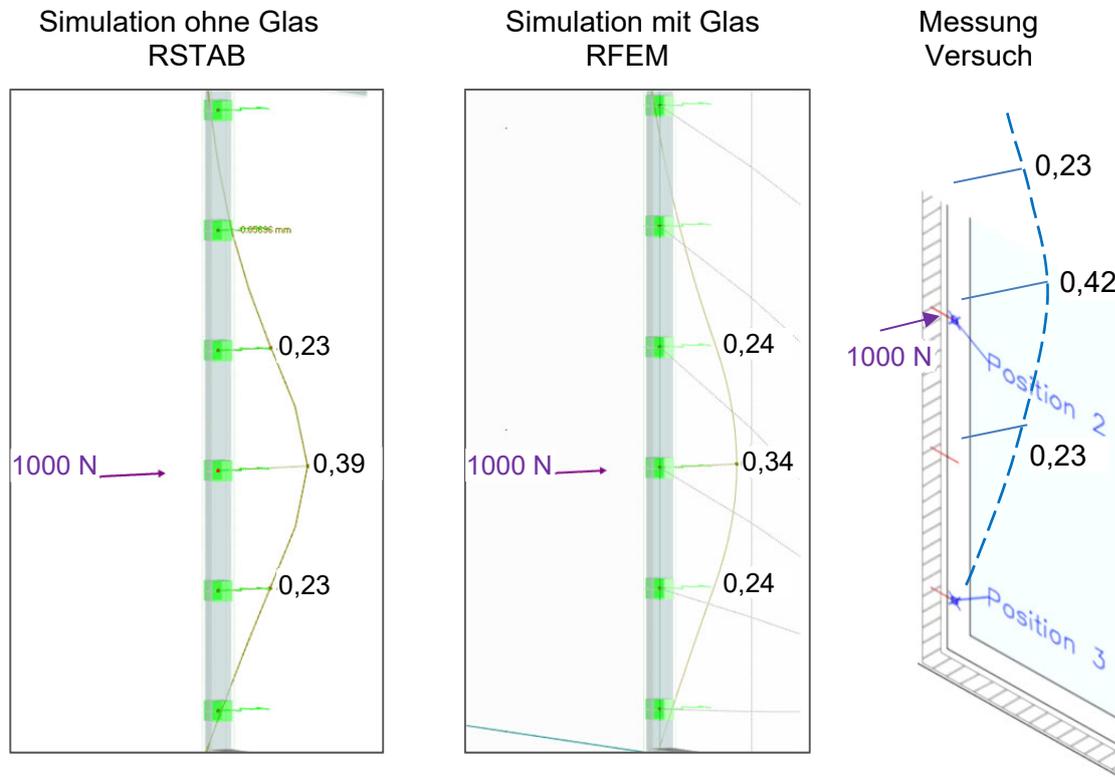
Ausführung	Realer Querschnitt	Virtueller Querschnitt	E-Modul in kN/cm <sup>2</sup>	$I_{z,(eff)}$ in cm <sup>4</sup>
Kunststoff mit Armierung 30x30x1,5 mm (Baustahl S 235): VEKA Softline 82, Blendrahmen		TO 30/30/1.5/1.5/1.5/1.5  [mm]	21.000	2,25
Aluminium (EN-AW 6060): Schüco AWS 75.SI, Blendrahmen		TO 44/75/2/2/2/2  [mm]	7.000	32,91- 34,32

Abbildung 29 Modellierung der Stabquerschnitte

- Die umlaufende Befestigung des Fensters wird mit Federelementen abgebildet, die sowohl lineare wie auch nichtlineare Kennlinien aufweisen können. Es handelt sich hierbei um die Feder  $c_{2,BE}$  (vgl. Abschnitt 4.3.2).
- Abmessungen und Lage der Befestigungspunkte stimmen mit der Versuchsanordnung überein.

## 6.2.2 Vergleich der rechnerischen und gemessenen Verformungen

Beispielhafter Vergleich der rechnerischen Verformungen mit den gemessenen Werten:

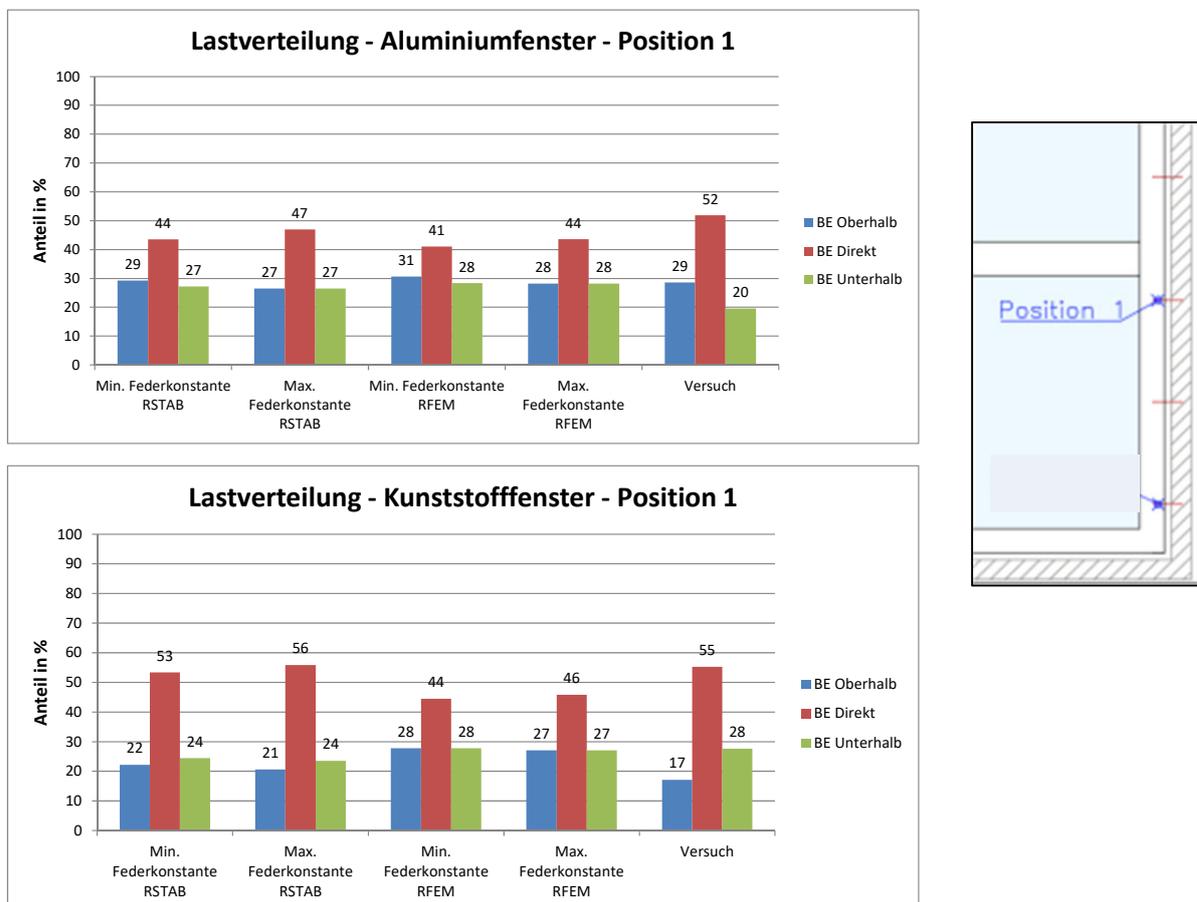


**Abbildung 30** Vergleich der Verformung in mm am Lasteinleitungspunkt Position 2 in der Simulation (links und Mitte) sowie im Versuch (rechts) für das Aluminium-Fenster

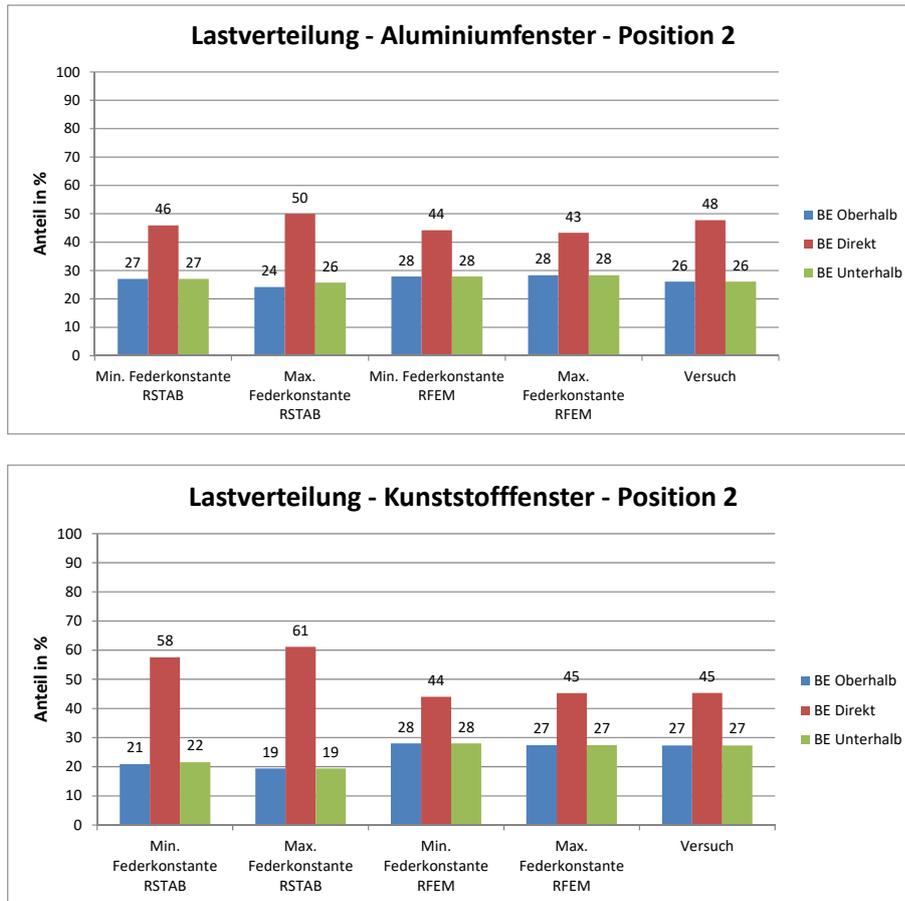
Anhand der Verformungen lässt sich eine gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Versuch feststellen. Die Abweichungen der Absolutwerte liegen einerseits im Rahmen der Messgenauigkeiten, andererseits auch im Bereich der Modellierungsgenauigkeit (mit / ohne Glas, linear elastisches Verhalten).

### 6.2.3 Vergleich der rechnerischen und gemessenen Lastverteilung

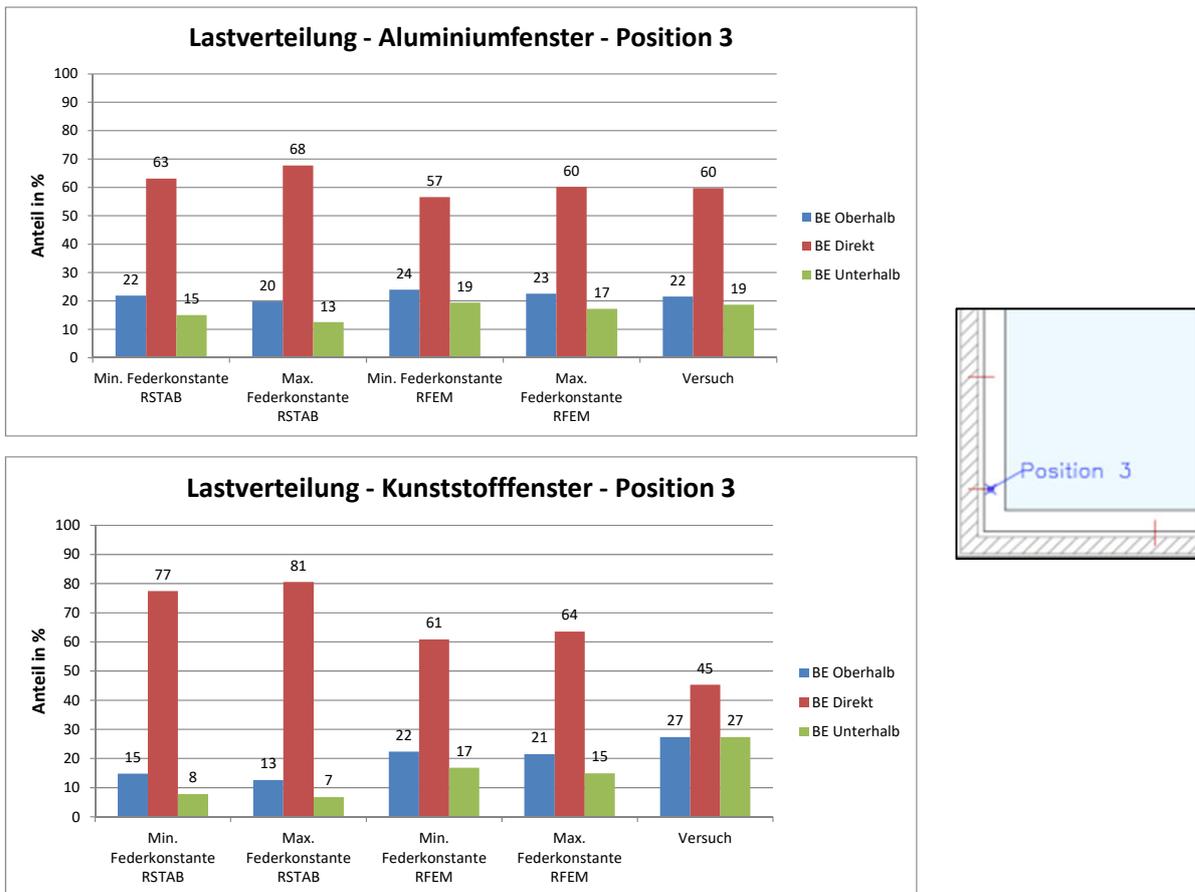
Die Verformungen sind in ihrer absoluten Größe nicht relevant. Sie werden als Maß für die Lastverteilung zwischen den Befestigungspunkten herangezogen. Unterstellt man ein linear elastisches Tragverhalten, so kann man aus den Verformungen ein Verhältnis der Lastabtragung zwischen den Auflagerpunkten ableiten. Diese Lastverteilung wird nachfolgend in Diagrammen für verschiedene Positionen dargestellt. Dabei werden jeweils die Simulationsergebnisse für die angesetzte Bandbreite der Federkonstanten sowie die Messung im Versuch gegenübergestellt. Die Darstellung ist in % der Lastsumme der drei Befestigungspunkte angegeben. Der rote Balken in der Mitte stellt jeweils den Lastanteil des direkt belasteten Befestigungspunktes dar, die blauen und grünen Balken den Lastanteil, der zu den beiden nächstgelegenen Befestigungspunkten abgetragen wird.



**Abbildung 31** Lastverteilung bei einer punktuellen Last an Position 1 in Prozent. Vergleich der Simulationen mit den Messungen im Versuch



**Abbildung 32** Lastverteilung bei einer punktuellen Last an Position 2 in Prozent. Vergleich der Simulationen mit den Messungen im Versuch



**Abbildung 33** Lastverteilung bei einer punktuellen Last an Position 3 in Prozent. Vergleich der Simulationen mit den Messungen im Versuch

Die in Abbildung 31 bis Abbildung 33 dargestellten Vergleiche zeigen, dass die Simulationen in der Lage sind, die Lastumlagerung richtig abzubilden. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass sowohl die Messgenauigkeit der Verformungen im Experiment als auch die Annahmen in der Simulation (z.B. linear elastisches Verhalten aller Komponenten) die Genauigkeit begrenzen.

Das Simulationsmodell mit Berücksichtigung der Glassteifigkeit (RFEM) zeigt eine bessere Übereinstimmung mit den Messungen, als das reine Stabtragwerk (RSTAB). Beide Simulationen liegen tendenziell eher auf der sicheren Seite, d.h. sie liefern höhere Kräfte am direkt belasteten Befestigungspunkt als das Experiment.

Größere Abweichungen zeigen sich nur bei der Ecksituation (Position 3) des Kunststofffensters. Dort liegen die Ergebnisse des Stabtragwerks sehr deutlich über den Messungen. Das Modell mit Berücksichtigung der Glassteifigkeit liefert bessere Ergebnisse. Der Grund dürfte darin liegen, dass beim Kunststofffenster (geringe Steifigkeit der Rahmenbauteile) am Eck die Glasscheibe den Rahmen signifikant versteift.

## 6.2.4 Bewertung des Simulationsmodells

Die Simulationsmodelle sind in der Lage, das Tragverhalten im Experiment (Bauteilversuch) mit einer ausreichenden Genauigkeit abzubilden. Für die weiteren Berechnungen mit realen Befestigungsgründen wird das Simulationsmodell mit Glasscheiben (RFEM) verwendet, da es tendenziell näher an den Versuchsergebnissen liegt und insbesondere auch die Situation bei Kunststofffenstern im Eckbereich besser abbilden kann.

## 6.3 Parameterstudie

### 6.3.1 Parameter

In der Parameterstudie werden ausgehend vom Versuchskörper verschiedene Geometrie- und Materialparameter variiert. Die Federsteifigkeiten der Befestigungselemente orientieren sich nun an den Kennlinien von Fensterbefestigungsmitteln im realen Befestigungsgrund.

Der Parameterraum wurde von der Projektgruppe weit gefasst, um möglichst alle üblichen Fensterkonstruktionen abzudecken und ist in Tabelle 10 angegeben.

**Tabelle 10** Variation der Parameter für die Parameterstudie

Parameter	Untergrenze	Obergrenze
Abstand der Befestigungselemente	20 cm	70 cm
Biegesteifigkeit des Blendrahmens	40.000 kNcm <sup>2</sup>	440.000 kNcm <sup>2</sup>
Federsteifigkeit des Befestigungsmittels $C_{2,BE}$	1,5 kN/cm (entspr. 150 N/mm)	15 kN/cm (entspr. 1500 N/mm)

Die Bandbreite der Biegesteifigkeit des Blendrahmens deckt den gesamten Bereich der üblichen Fensterkonstruktionen ab. Eine Zuordnung der Biegesteifigkeiten zu den Rahmenmaterialien PVC, Aluminium sowie Holz kann Tabelle 11 entnommen werden.

**Tabelle 11** Bandbreite der Biegesteifigkeiten des Blendrahmens mit Zuordnung zu den Fenstermaterialien

Biegesteifigkeit des Rahmens $EI_z$ in $\text{kNcm}^2$	Entsprechendes Material		
40.000	Kunststoff ( $E = 21.000 \text{ kN/cm}^2$ , $I_z = 2-8 \text{ cm}^4$ )		
80.000			
120.000			
160.000			
200.000		Aluminium ( $E = 7.000 \text{ kN/cm}^2$ , $I_z = 20-70 \text{ cm}^4$ )	
240.000			Holz ( $E = 1.100 \text{ kN/cm}^2$ , $I_z = 130-400 \text{ cm}^4$ )
280.000			
320.000			
360.000			
400.000			
440.000			

Die Bandbreite der Federsteifigkeit des Befestigungsmittels wurde auf Basis von Kennlinien verschiedener Befestigungsmittel und Einbausituationen (z.B. Breite der Montagefuge, unterschiedliche Untergründe) festgelegt. Die Daten wurden hierbei durch die Projektpartner SFS und Würth zur Verfügung gestellt. Da sich beim Befestigungsmittel eine hohe Steifigkeit ungünstig auf die Lastweiterleitung auswirkt, wurde der Parameterraum nach oben von ca. 11  $\text{kN/cm}$  (max. Steifigkeit aufgrund der übermittelten Daten) auf 15  $\text{kN/cm}$  erweitert, um ungünstigere Situationen abzudecken (Worst-Case-Szenario).

Weiterhin wurden folgende Einflussgrößen verglichen:

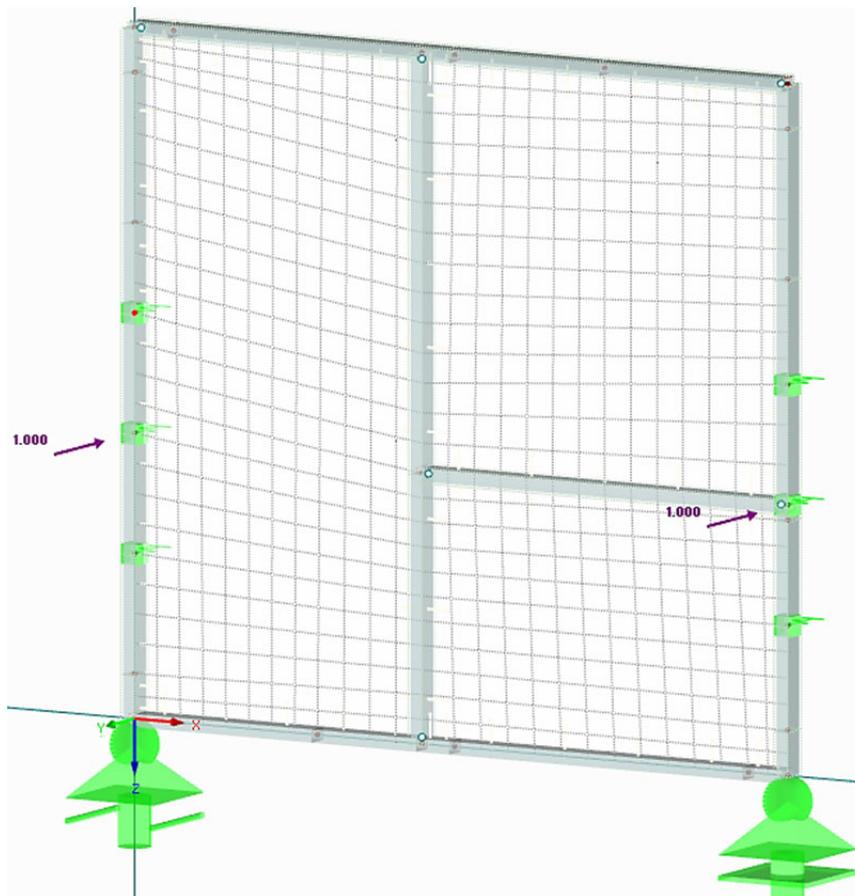
- Eckverbindung des Blendrahmens im Simulationsmodell: gelenkig bzw. biegesteif
- Befestigungspunkte an den Ecken: Symmetrische Anordnung bzw. unsymmetrische Anordnung)
- Mit bzw. ohne Anschluss eines Riegels auf Holmhöhe.

Die absolute Größe des Fensterelementes wurde nicht variiert. Dies war nicht notwendig, da sich in den Voruntersuchungen gezeigt hatte, dass die Lastverteilung ein lokales Problem ist, das im Wesentlichen nur den direkt belasteten Befestigungspunkt sowie die beiden direkt benachbarten Befestigungspunkte betrifft. Die Lastverteilung kann also unabhängig von der absoluten Größe des Fensters untersucht werden.

### 6.3.2 Simulationsmodelle

Die Parameterstudie erfolgte an zwei statischen Systemen:

Das erste System diente zur Untersuchung der Lastweiterleitung im seitlichen, geraden Blendrahmen. Dabei wurde auf einer Seite die Situation mit einem gelenkig angeschlossenen Kämpfer auf Holmhöhe abgebildet, auf der anderen Seite die Situation einer Verglasung (Kategorie A) ohne Holm. Die Einleitung der statischen Ersatzlast erfolgte jeweils auf Holmhöhe (Abbildung 34).



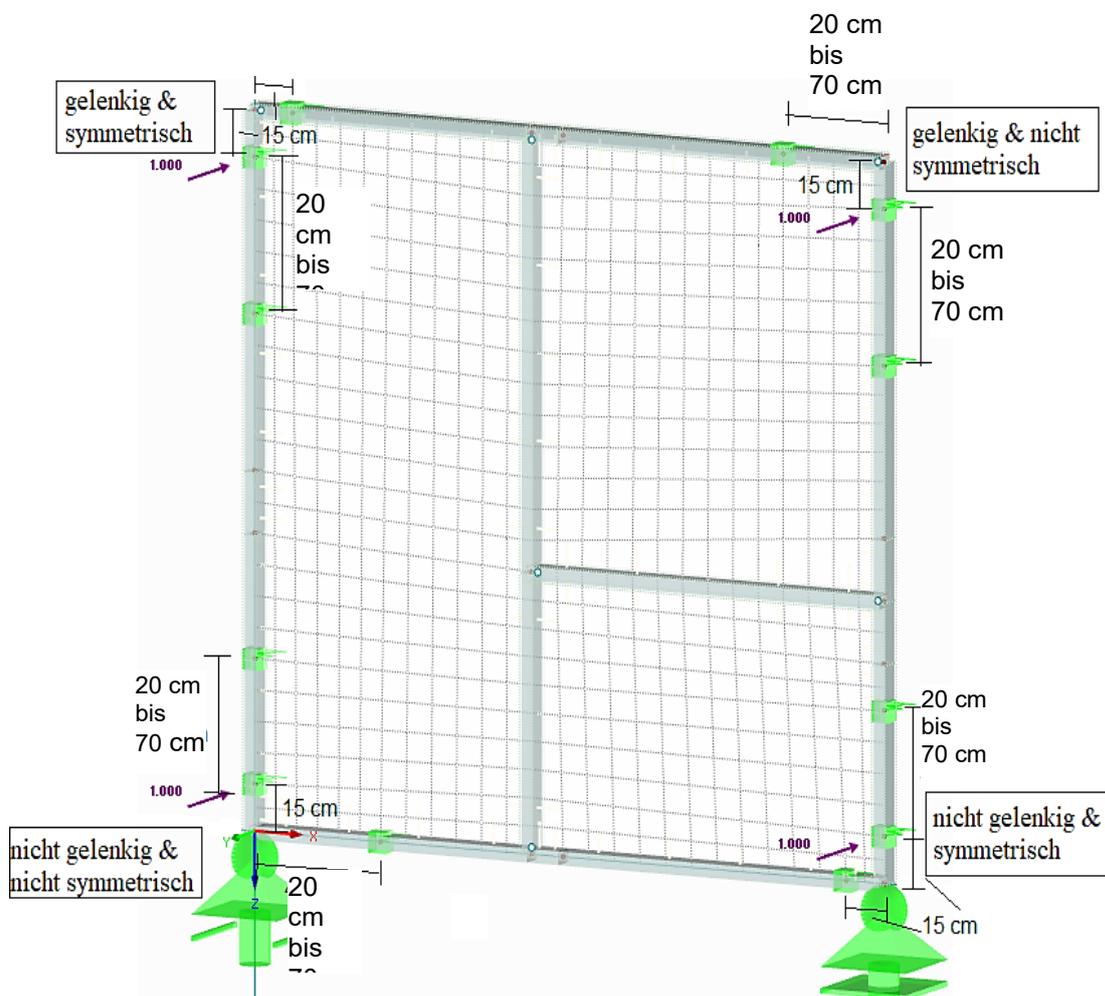
**Abbildung 34** Statisches System zur Untersuchung der Lastweiterleitung auf Holmhöhe (links ohne Riegelanschluss, rechts mit Riegelanschluss)

Das zweite System diente zur Untersuchung der Ecksituation. Aus den Voruntersuchungen war bekannt, dass sich die Lastverteilung an der Blendrahmenecke anders verhält als im geraden Bereich. Bei diesem System wurden an den vier Ecken vier verschiedene Ausführungen untersucht, um diese zu vergleichen:

- Links-oben: Gelenkige Rahmenverbindung, Befestigungselemente symmetrisch (15 cm von der Ecke)
- Links-unten: Biegesteife Rahmenverbindung, Befestigungselemente symmetrisch (15 cm von der Ecke)

- Rechts-oben: Gelenkige Rahmenverbindung, Befestigungselemente unsymmetrisch (15 cm bzw. von der Ecke)
- Rechts-unten: Biegesteife Rahmenverbindung, Befestigungselemente unsymmetrisch (15 cm bzw. im Befestigungsabstand von der Ecke)

Die Einleitung der statischen Ersatzlast erfolgt jeweils ecknah auf den ersten Befestigungspunkt des seitlichen Blendrahmens (Abbildung 35).



**Abbildung 35** Statisches System zur Untersuchung der Lastweiterleitung im Eckbereich

### 6.3.3 Ergebnisse der Parameterstudie

Die umfangreichen Ergebnisse der Parameterstudie werden hier in komprimierter Form wiedergegeben. Maßgebend ist jeweils der Lastanteil der angesetzten statischen Ersatzlast (100%), der am direkt belasteten Befestigungsmittel verbleibt (X%). Der restliche Kraftanteil (100% - X%) verteilt sich auf die umliegenden Befestigungselemente.

Im besten Fall (starrer Rahmen, weiches Befestigungsmittel) erfolgt eine annähernd gleichmäßige Verteilung der einwirkenden Kraft auf die drei benachbarten Befestigungselemente (jeweils 33%). Im ungünstigsten Fall erfolgt nur eine geringe Lastverteilung und es verbleibt der Großteil der statischen Ersatzlast am direkt belasteten Punkt.

Die Parameterstudie zeigte, dass folgende Einflüsse untergeordnet sind. Sie werden nachfolgend nicht weiter betrachtet:

- Es hat einen vernachlässigbaren Einfluss, ob seitlich ein Kämpfer anschließt (Der Kämpfer ist im Modell gelenkig angeschlossen und nimmt daher keine Last aus dem Blendrahmen auf).
- Die Biegesteifigkeit der Rahmenecke hat einen positiven Einfluss auf die Lastweiterleitung. Auf der sicheren Seite liegend werden die Ergebnisse für eine gelenkige Rahmenecke ausgewertet.

Die Ergebnisse sind nachfolgend in Tabelle 12 bis Tabelle 14 dargestellt. Die Hinterlegung der letzten Spalte mit rot und grün wurde gewählt, um eine schnelle Einschätzung zu erhalten, ob die verbleibende Last größer als 60% (rot) oder kleiner als 60% (grün) der einwirkenden Lastgröße ist. Bei der Auswertung ist zu berücksichtigen, dass die als Obergrenze betrachtete Federsteifigkeit des Befestigungselements von 15 kN/cm ein theoretischer Wert ist, der in der Praxis nicht erreicht wird.

**Tabelle 12** Verbleibender Lastanteil am direkt belasteten Befestigungselement  
Blendrahmen mit Holmanschluss

Position	BE Abstand in cm	Federsteifigkeit $C_{2, BE}$ in kN/cm	Biegesteifigkeit des Rahmens $EI_z$ in kNcm <sup>2</sup>	Verbleibender Lastanteil in %
Blendrahmen mit Holmanschluss	20,0	1,5	40.000	35
			200.000	34
			440.000	34
		7,5	40.000	43
			200.000	36
			440.000	35
		15,0	40.000	50
			200.000	38
			440.000	36
	40,0	1,5	40.000	46
			200.000	37
			440.000	35
		7,5	40.000	69
			200.000	47
			440.000	41
		15,0	40.000	80
			200.000	57
			440.000	47
	70,0	1,5	40.000	71
			200.000	49
			440.000	42
		7,5	40.000	91
			200.000	73
			440.000	61
15,0		40.000	95	
		200.000	83	
		440.000	73	

**Tabelle 13** Verbleibender Lastanteil am direkt belasteten Befestigungselement  
 Gelenkige Ecke bei asymmetrischer Befestigung

Position	BE Abstand in cm	Federsteifigkeit $C_{2, BE}$ in kN/cm	Biegesteifigkeit des Systems $EI_z$ in kNcm <sup>2</sup>	Verbleibender Lastanteil in %
Ecke (gelenkig, nicht symmetrisch)	20,0	1,5	40.000	47
			200.000	37
			440.000	35
		7,5	40.000	70
			200.000	48
			440.000	41
		15,0	40.000	81
			200.000	57
			440.000	47
	40,0	1,5	40.000	69
			200.000	47
			440.000	41
		7,5	40.000	91
			200.000	70
			440.000	57
		15,0	40.000	96
			200.000	81
			440.000	68
	70,0	1,5	40.000	84
			200.000	62
			440.000	52
		7,5	40.000	97
			200.000	85
			440.000	74
15,0		40.000	99	
		200.000	92	
		440.000	84	

**Tabelle 14** Verbleibender Lastanteil am direkt belasteten Befestigungselement  
Gelenkige Ecke bei symmetrischer Befestigung

Position	BE Abstand in cm	Federsteifigkeit $c_{2, BE}$ in kN/cm	Biegesteifigkeit des Systems $EI_z$ in kNcm <sup>2</sup>	Verbleibender Lastanteil in %
Ecke (gelenkig, symmetrisch)	20,0	1,5	40.000	42
			200.000	36
			440.000	34
		7,5	40.000	61
			200.000	44
			440.000	39
		15,0	40.000	72
			200.000	51
			440.000	43
	40,0	1,5	40.000	48
			200.000	37
			440.000	35
		7,5	40.000	69
			200.000	50
			440.000	43
		15,0	40.000	78
			200.000	59
			440.000	50
	70,0	1,5	40.000	52
			200.000	39
			440.000	35
		7,5	40.000	72
			200.000	54
			440.000	47
15,0		40.000	81	
		200.000	62	
		440.000	54	

gelenkig & symmetrisch

15 cm

1.000

20 cm  
40 cm  
70 cm

### 6.3.4 Schlussfolgerungen aus der Parameterstudie

Das Ziel der Parameterstudie war es darzustellen welche Einflussgrößen die Lastweiterleitung einer punktuellen Last am Fensterrahmen auf mehrere Befestigungselemente beeinflussen. Die wesentlichen qualitativen Ergebnisse sind:

- Eine Lastverteilung bzw. Lastweiterleitung findet statt, und zwar im Wesentlichen auf die beiden benachbarten Befestigungspunkte.
- Günstig für die Lastverteilung wirken sich aus:
  - Geringe Federsteifigkeit des Befestigungselementes
  - Hohe Biegesteifigkeit des Rahmenquerschnitts
  - Geringer Abstand der Befestigungspunkte
- Die Lastverteilung bei der Eckbefestigung ist ungünstiger als am geraden Rahmenelement. Allerdings muss hier kritisch hinterfragt werden, ob ein Stoß auf das Eck eines Fensters, das in der Laibung eingebaut ist, in der Praxis überhaupt auftreten kann.

Qualitativ variiert die verbleibende Last in der Parameterstudie zwischen 34% (günstigster Fall) und 99% (ungünstigster Fall), wobei der Parameterbereich sehr weit gewählt ist.

Um die Lastübertragung über die Rahmenecke sicherzustellen, ist konstruktiv eine ausreichend tragfähige Eckverbindung auszubilden. Geht man von der bestmöglichen Lastverteilung nach Tabelle 14 aus, beträgt die Lastweiterleitung auf die beiden benachbarten Befestigungspunkte etwa  $(100\% - 34\%) : 2 = 33\%$ . Bezogen auf die Stoßlast von 2736 N (siehe unten) entspricht dies einer Scherbeanspruchung senkrecht zur Fensterebene von rund 900 N (charakteristische Kurzzeitfestigkeit).

Wenn man den Parameterbereich durch gezielte konstruktive Maßnahmen einschränkt, kann die verbleibende Kraft auf etwa 50 - 60% begrenzt werden. Dies erfolgt durch:

- Mindestbiegesteifigkeit des Rahmenprofils von 75.000 kNcm<sup>2</sup>. Holz- und Aluminiumfenster überschreiten diesen Wert ohne weitere Maßnahmen. Bei Kunststofffenstern ist mindestens eine Stahlverstärkung im Blendrahmen von 3,5 cm<sup>4</sup> erforderlich, z.B. in Form eines Hohlprofils 30x30x3 mm.
- Befestigungsabstand von max. 40 cm
- Symmetrische Eckbefestigung mit zwei Befestigungspunkten pro Eckpunkt, jeweils im Abstand 15 cm von der Innenecke.
- Konstruktive Ausbildung der Rahmenecke, so dass eine Lastüberleitung von 900 N möglich ist. Bei Holz- und Metallfenstern kann dies bei üblichen Eckausbildungen als erfüllt angesehen werden.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass sich bei genauer Auswertung der statischen Ersatzlast nach ETB-Richtlinie ein etwas geringerer Wert als 2,8 kN ergibt. Mit Ansatz eines oberen Grenzwertes von  $c_2 = c_{2,BE} + c_{2,SY} = 2000 \text{ N/mm}$  ergibt sich mit Gl. (11) der ETB-Richtlinie:

$$\max F_{Sto\beta, Gl.11} = v_a \cdot \sqrt{\frac{m_1 \cdot c_1}{1 + \frac{c_1}{c_2}}} = 2 \frac{m}{s} \cdot \sqrt{\frac{30 \text{kg} \cdot 64410 \frac{N}{m}}{1 + \frac{64410 \text{ N/m}}{2 \cdot 10^6 \text{ N/m}}} = 2736 \text{ N}$$

Auf Basis dieser statischen Ersatzlast und einer Abminderung auf 60% bei Vorliegen der o.g. konstruktiven Randbedingungen erhält man eine Bemessungslast für den Befestigungspunkt von

$$F_{BE} = 60\% \cdot 2736 \text{ N} = 1642 \text{ N}$$

Hierbei handelt es sich – wie beim Lastansatz 2,8 kN – um eine Bruchlast. Die Bemessung erfolgt ohne den Ansatz weiterer Last- oder Material Sicherheitsbeiwerte (außererwöhnlicher Lastfall).





## 7 Empfehlung zur Umsetzung der Forschungsergebnisse

### 7.1 Regelungslücken sowie Lösungsvorschlag

In den nachfolgenden Tabellen werden die auf Grundlage der in Kapitel 3 durchgeführten Analyse zum aktuellen Sachstand der Anforderungen sowie weitere identifizierten Problemstellen bzw. Regelungslücken dargestellt und Vorschläge für eine eindeutige Behebung dieser erkannten Unklarheiten unterbreitet. Hierbei werden folgende „Stufen“ adressiert:

- 1) Vereinheitlichung und Erläuterungen entlang der Nachweiskette (Tabelle 15)
- 2) Erläuterung zur Anwendung der ETB-Richtlinie im Fensterbau (Tabelle 16)
- 3) Schließen von Regelungslücken (Tabelle 17)
- 4) Nachweiserleichterungen (Tabelle 18)

**Tabelle 15** Vereinheitlichung und Erläuterungen entlang der Nachweiskette

Problem	Vorschlag zur Lösung
Abgrenzung im Anwendungsbe- reich zwischen DIN 18008-4 und ETB-Richtlinie	Die DIN 18008-4 gilt für Glas und die unmittelbare Glashalterung. Für opake Füllungen, Rahmenbauteile und Befestigungen gilt die ETB-Richtlinie in Verbindung mit den Eurocodes und ggf. weiterer materialspezifischer Regelwerke.
Unterschiedliche Regelungen zur Überlagerung von Wind- und Holmlasten entlang der Nach- weiskette.	Für Glas gilt die Lastfallüberlagerung nach DIN 18008. Für Bauteile im Geltungsbereich der ETB-Richtlinie erfolgt die Lastfallüberlagerung nach Eurocode 0. Keine Überlagerung von Lasten aus Anprall (weicher Stoß) mit Wind- oder Holmlasten.
Unterschiedliche Überlage- rungsregeln im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	Für Bauteile im Geltungsbereich der ETB-Richtlinie gibt es keine Anforderung an die Verformung (Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit) für Lastfallkombinationen, die Einwirkungen aus der Absturzsicherung enthalten.

**Tabelle 16** Erläuterung zur Anwendung der ETB-Richtlinie im Fensterbau

Problem	Vorschlag zur Lösung
Statistische Auswertung von Versuchen (ETB/4) nicht mehr aktuell	Die statistische Auswertung des Bauteilwiderstands in Versuchen soll abweichend von ETB, Abschnitt 4, als charakteristischer Wert (5 %-Quantil, Aussagewahrscheinlichkeit 75 %) erfolgen. Hinweis: Im Rahmen der Zulassung von Dübeln erfolgt die statistische Auswertung mit einer Aussagewahrscheinlichkeit von 90%
Beurteilung von Stoßversuchen (ETB/3.2.1 a)	Für die Beurteilung der Standsicherheit im Stoßversuch nach ETB, 3.2.1a kann durch das Prüfinstitut in Anlehnung an DIN 18008-4/A.1.9 erfolgen.
Unklarer Begriff Widerstandskraft im rechnerischen Nachweis (ETB/ 3.2.1 und 3.2.2)	Die Begriffe „Widerstandskraft“ und „Bauteilwiderstand“ in der ETB-Richtlinie entsprechen der Versagenslast im Bruchzustand. Der rechnerische Nachweis der Widerstandskraft kann auf Basis folgender Parameter nach den technischen Baubestimmungen geführt werden: charakt. Festigkeit $R_k$ (5%-Quantil, Aussagewahrscheinlichkeit 75%) Teilsicherheitsbeiwert für Einwirkungen $\gamma_F = 1$ Teilsicherheitsbeiwert für Material (Widerstand) $\gamma_M = 1$ Lasteinwirkungsdauer sehr kurz
Unklare Versuchsbedingungen für Stoßversuche in Bezug auf das Klima	Stoßversuche im Labor und in situ sollen unter dem auch in DIN 18008-4; Anhang A1.7 festgelegten Klima durchgeführt werden: Umgebungstemperatur zwischen 15 °C und 25 °C.
Unklarer Begriff des Befestigungselementes nach ETB 3.2.2.2.3 für die Anwendung im Fensterbau	Der Begriff „Befestigungselement“ in ETB, 3.2.2.2.3, bezieht sich auf eine punktförmige Halterung des Blendrahmens, der einer direkten Stoßbelastung ausgesetzt sein kann. Ein Befestigungselement (z.B. eine Lasche oder Konsole) kann mit mehreren Befestigungsmitteln (Dübel, Schrauben etc.) am Rohbau und/oder am Rahmen fixiert werden. Haben diese Befestigungsmittel die gleichen Verformungseigenschaften, kann von einer gleichmäßigen Lastaufteilung ausgegangen werden.
Unklarer Angriffspunkt der statischen Ersatzlast nach ETB 3.2.2.2.3 für Befestigungen im Fensterbau, insbesondere beim Einsatz von Verbreiterungsprofilen.	Wird ein Befestigungselement nach ETB 3.2.2.2.3 nachgewiesen, soll der Angriffspunkt der Stoßkraft in der Schwerpunkts-Achse des Blendrahmens bzw. der Stahlverstärkung im Blendrahmen angenommen werden. Der ungünstige Einfluss des Hebelarmes in Bezug auf den Verankerungsgrund ist zu berücksichtigen.

**Tabelle 17** Schließen von Regelungslücken

Problem	Vorschlag zur Lösung
Regelungslücke für T-Verbinder bei Fenster	Einbindung der Richtlinie FE-06/2 für Kunststofffenster in die Handlungsanleitung. Erweiterung der Richtlinie auf Rahmenmaterial Metall und Holz Verwendbarkeitsnacheis: Siehe Abschnitt 7.2
Nachweis der unmittelbaren Halterung der Füllung – sofern nicht aus Glas	Der Nachweis für die unmittelbare Halterung von opaken Füllen kann in Anlehnung an DIN 18008-4, Anhang D geführt werden. Bestehende Nachweise nach DIN 18008-4, Anhang D sind auf opake Füllungen übertragbar.
Nachweis von Fensterbeschlägen	Im Regelfall leisten Fensterbeschläge keinen Beitrag zur Lastabtragung in Absturzrichtung. Daher ist kein Nachweis erforderlich. In Sonderfällen (z.B. Flügel nach außen öffnend oder Absturzrichtung von außen nach innen) können Nachweise für die Beschläge erforderlich sein.

**Tabelle 18** Nachweiserleichterungen

Problem	Vorschlag zur Lösung
Die Nachweise der ETB-Richtlinie gehen von Einzelbefestigungen aus. Der Fensterrahmen ist redundant mehrfach-befestigt.	Die Lastweiterleitung auf benachbarte Befestigungsmittel darf unter definierten konstruktiven Voraussetzungen günstig wirkend angesetzt werden (siehe 7.3). Der Umfang der Lastweiterleitung hängt von bestimmten geometrischen und konstruktiven Randbedingungen ab und beträgt maximal 50% der statischen Ersatzlast von 2,8 kN. Bei Anschlüssen von Pfosten und Riegeln an den Blendrahmen ist eine gleichmäßige Lastaufteilung auf zwei Befestigungspunkte im Abstand von max. 20 cm vom T-Verbinder zulässig. Kapitel 7.3 enthält konkrete Vorgaben und Nachweismethoden.
Die ETB-Richtlinie, 3.2.2.2.3, geht von punktförmiger Lagerung aus. Beim Fensterrahmen liegt dagegen oft eine linienförmige Lagerung vor.	Die statische Ersatzlast (Stoßlast) kann bei linienförmiger Lagerung durch eine Linienlast 10 kN/m (Bruchlast) mit einer Ausdehnung von 0,28 m angesetzt werden (Resultierende = 2,8 kN). Die Last ist an der ungünstigsten Stelle im Auftreffbereich (siehe nächster Punkt) anzusetzen.

Problem	Vorschlag zur Lösung
Die ETB-Richtlinie geht davon aus, dass alle Befestigungselemente der Konstruktion einer direkten Stoßbelastung ausgesetzt sein können. Beim Fenster ist dies nicht der Fall.	Die Handlungsanleitung definiert ausgehend von den Auftreffstellen in DIN 18008-4, Bild A.3, Befestigungsbereiche, die für eine direkte Stoßbelastung auszulegen sind. Andere Bereiche, in der Regel die obere Befestigung, müssen nicht für direkte Stoßbelastungen ausgelegt werden.
Biegeeweiche Bauteile verhalten sich im Stoßversuch sehr gutmütig indem sie die Stoßenergie in Verformungsenergie umsetzen. In der Praxis werden diese Bauteile üblicherweise nur für die statischen Lasten ausgelegt (vgl. auch Metallgeländer)	Der Nachweis freitragender Rahmenbauteile für die Stoßbelastung kann für Holz- und Metallfenster entfallen, wenn der Nachweis für statische Lasten (Überlagerung Holm- und Windlast) erbracht ist. Für Kunststofffenster gilt dies ebenfalls, wenn folgende konstruktive Randbedingungen erfüllt sind: - Stahlverstärkung $I \geq 2 \text{ cm}^4$ - T-Verbinder nach FE-06/2 geprüft
Auf den Nachweis von Blendrahmen kann bei üblichen Einbaubedingungen verzichtet werden.	Blendrahmen von Holz- und Metallfenstern, die im Abstand von maximal 800 mm befestigt sind, benötigen keinen statischen Nachweis, wenn die Befestigungsmittel statisch nachgewiesen sind. Für Kunststofffenster gilt dies ebenfalls, wenn folgende konstruktive Randbedingungen erfüllt sind: - Stahlverstärkung $I \geq 2 \text{ cm}^4$ - Befestigungsabstand $\leq 700 \text{ mm}$

Kap. 7.3 enthält zur Thematik redundante Mehrfachbefestigungen weitere Ausführungen.

## 7.2 Anwendbarkeits- und Verwendbarkeitsnachweise

Nach bauaufsichtlicher Auslegung ist für Bauteile mit absturzsichernder Funktion ein qualifizierter Standsicherheitsnachweis zu führen. Dieser umfasst neben dem absturzsichernden Bauteil auch dessen Befestigung an angrenzende Bauteile (z.B. französischer Balkon am Fensterrahmen) sowie die gesicherte Lastweiterleitung in den tragenden Baugrund. Hierfür kommen nur geregelte Bauprodukte/Bauarten oder Bauprodukte/Bauarten mit Verbzw. Anwendbarkeitsnachweis in Betracht.

Europäisch geregelte Bauprodukte oder Bausätze nach harmonisierten Produktnormen oder EAD/ETA haben ausschließlich eine CE-Kennzeichnung mit Leistungserklärung. Werden damit nicht alle baurechtlichen Anforderungen abgedeckt, können zusätzliche Leistungen über eine freiwillige, technische Dokumentation (entsprechend MVV TB Abschnitt D.3) nachgewiesen werden, oder es können ggf. zusätzliche Anwendungsregeln für Planung, Bemessung und Ausführung aufgestellt werden.

National geregelte Bauprodukte sind Bauprodukte, die den technischen Regeln/Baubestimmungen gemäß der in jeweiliges Landesrecht umgesetzten MVV TB (Mus-



terverwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen) entsprechen. Als unregelte Bauprodukte werden Bauprodukte bezeichnet, die abweichend zu den technischen Regeln/Baubestimmungen ausgeführt sind oder für die es keine technischen Regeln gibt. Als eingeführte Verwendbarkeitsnachweise sind hier die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ), das allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnis (abP) oder die Zustimmung im Einzelfall (ZiE) zu nennen. Nationale Bauprodukte sind durch den Hersteller mit dem Ü-Zeichen zu kennzeichnen.

Eine Bauart kennt nur das nationale Baurecht und wird als Zusammenfügen von Bauprodukten zu baulichen Anlagen oder Teilen von baulichen Anlagen verstanden. Geregelter Bauarten entsprechen wiederum den technischen Regeln/Baubestimmungen nach VV TB der Länder. Ungeregelte Bauarten weichen davon ab, oder es gibt keine technischen Regeln. Als Anwendbarkeitsnachweise sind hier die allgemeine Bauartgenehmigung (aBG), das allgemeine bauaufsichtliche (Bauart-) Prüfzeugnis (abP) oder die vorhabenbezogene Bauartgenehmigung (vBG) zu nennen. Die Anwendbarkeit ist durch den Ausführenden über eine Übereinstimmungsbestätigung zu erklären.

In Anlehnung an DIN 18008-4 sowie unter baupraktischen Gesichtspunkten wird vorgeschlagen, die Anwendbarkeit T-Verbinder und Befestigung zum Fensterprofil über einen entsprechenden Verwendbarkeitsnachweis nachzuweisen. Geeignete Prüfverfahren für T-Verbinder sind in der ift-Richtlinie FE-06/2 beschrieben. Für die Befestigung des Fensters zum Baukörper und hier insbesondere die Anbindung zum Fenster enthält die ift Richtlinie MO-02/1 Prüfverfahren. Diese können als Basis für das Verfahren dienen.

### **7.3 Statischer Nachweis unter Ausnutzung der Lastweiterleitung (Mehrfachbefestigung)**

#### **7.3.1 Nachweis auf Basis der ETB-Richtlinie, Abschnitt 3.2.2.2.3**

Die bisher in der Praxis üblichen Nachweiswege für Befestigungen von Fenstern nach der ETB-Richtlinie sind:

- Stoßversuch (im Labor oder in situ) nach ETB-Richtlinie mit dem Glaskugelsack oder teilweise auch mit dem Zwillingstreifen (sichere Seite)  
Anmerkung: Beim Stoßversuch wird automatisch die Lastumlagerung auf mehrere Befestigungselemente aktiviert.
- Statischer Belastungsversuch (2,8 kN) am Probekörper mit einem Befestigungselement im Labor (ohne Lastumlagerung)
- Rechnerischer Nachweis mit statischer Ersatzlast (2,8 kN) ohne Lastumlagerung

Die Hintergründe der statischen Ersatzlast nach Gleichung (11) sind im Abschnitt 4 dieses Berichts ausführlich erläutert.

Unter Berücksichtigung der besonderen Randbedingungen im Fensterbau werden in den nächsten Abschnitten Erläuterungen zu den bestehenden Nachweisverfahren (Abschnitt 7.3.2), Vorschläge für Nachweiserleichterungen (Abschnitt 0) und für neue Nachweisverfahren (Abschnitt 7.3.4) vorgestellt.

### 7.3.2 Erläuterungen zum Nachweis nach Abschnitt 3.2.2.2.3 der ETB-Richtlinie

Es wird vorgeschlagen, folgende Erläuterungen zur Anwendung von Abschnitt 3.2.2.2.3 der ETB Richtlinie zu veröffentlichen. Diese sind notwendig, weil der Text bisher unterschiedlich interpretiert wird und weil sich seit der Veröffentlichung der ETB-Richtlinie durch die Veränderung der eingeführten technischen Baubestimmungen Inkompatibilitäten ergeben haben.

#### 7.3.2.1 Sicherheitskonzept für den Nachweis des weichen Stoßes

Beim Nachweis des weichen Stoßes handelt es sich um einen außergewöhnlichen Lastfall. Das bedeutet:

Einwirkung: Teilsicherheitsbeiwert für Lasten  $\gamma_F = 1$   
Keine Überlagerung mit Nutzlasten

Bauteilwiderstand: Teilsicherheitsbeiwert für Material  $\gamma_M = 1$   
Lasteinwirkungsdauer „sehr kurz“ (für Holz und Kunststoff)  
Charakteristische Festigkeit  $R_k$  (5%-Quantil, Aussagewahrscheinlichkeit 75%)  
Hinweis: Im Rahmen der Zulassung von Dübeln erfolgt die statistische Auswertung mit einer Aussagewahrscheinlichkeit von 90%  
Die Ausnutzung des nichtlinearen Materialverhaltens (Plastifizierung) ist zulässig (vgl. hierzu ETB-Richtlinie, 3.2.2.2.3: „Als Widerstandskraft darf die Kraft eingesetzt werden, bei der ein Versagen gerade noch nicht eintritt“).

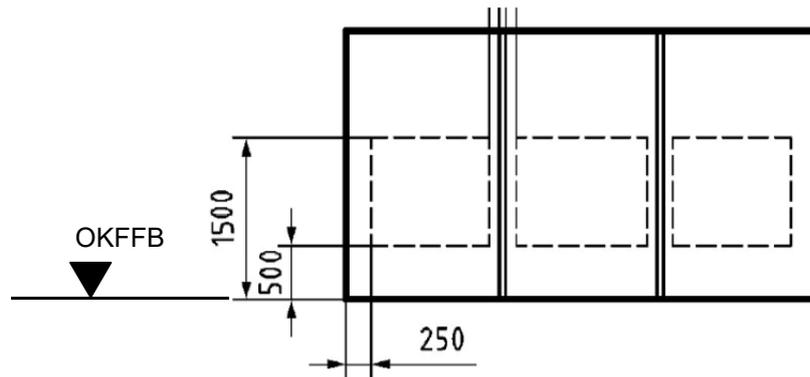
#### 7.3.2.2 Begriff Befestigungselement

Die ETB-Richtlinie verwendet den Begriff „Befestigungselement“. Dieses Befestigungselement (z.B. eine Stahllasche), welches die Last aus dem Fensterrahmen aufnimmt, kann mit einem oder mehreren Befestigungsmitteln (Schrauben, Dübel etc.) zum Rahmen und am Rohbau verankert werden.



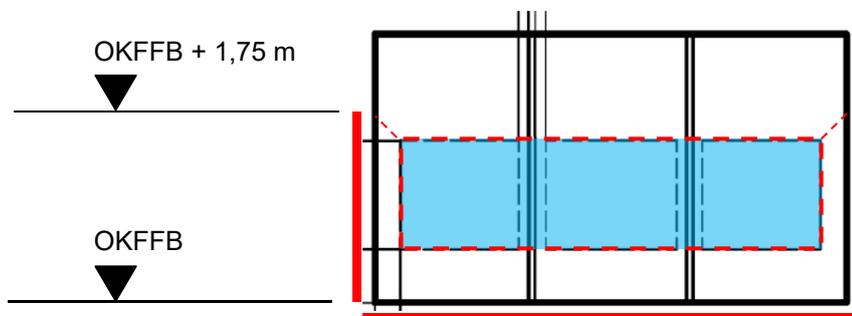
### 7.3.2.3 Auftreffbereiche

Die Anforderung der ETB-Richtlinie geht davon aus, dass es zu einem Stoß unmittelbar auf das Befestigungselement kommen kann (Gl (11)). Beim Fenster gibt es Bereiche, für die eine direkte Stoßbelastung ausgeschlossen werden kann. Die DIN 18008-4 trägt dem durch definierte Auftreffbereiche Rechnung:



**Abbildung 36** Auftreffbereiche nach DIN 18008-4, Bild A.3

Entsprechend soll auch für die Anwendung der ETB-Richtlinie auf die Befestigung von Fenstern folgende Einschränkung gelten:



**Abbildung 37** Vorschlag Auftreffbereiche für Fensterbefestigungen

Die Befestigungselemente oberhalb 1,75 m über Fußboden werden nicht für direkte Stoßbelastung bemessen. Hier genügt eine Bemessung für die statischen Lasten (Windlast bzw. Überlagerung Wind- und Holmlast bei Pfostenanschlüssen).

#### 7.3.2.4 Statische Ersatzlast für Befestigungselemente

Zur Anwendung von Gl (11) der ETB-Richtlinie ist die Kenntnis der Federkonstanten  $c_1$  erforderlich. Diese soll mit  $c_1 = 64410 \text{ N/m}$  angesetzt werden (vgl. Struck, W.; Limberger, E. in „Mitteilungen des Instituts für Bautechnik“ 1978 [14]).

Statt einer Einzellast ist bei kontinuierlicher Lagerung der Ansatz einer Blocklast (Streckenlast mit begrenzter Länge) sinnvoller. Eine entsprechende Regelung sieht auch DIN 18008-4 für Glaslagerungen vor. Es wird empfohlen, dass die statische Ersatzlast punktförmig oder alternativ als konstante Streckenlast über eine Länge von 28 cm angesetzt werden darf. Dies entspricht dem Lastansatz von 10 kN/m der DIN 18008-4 bei einer resultierenden Kraft von 2,8 kN.

#### 7.3.2.5 Sicherheitskonzept und Lastfallüberlagerungen

Für die Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit sollen das Sicherheitskonzept und die Kombinationsbeiwerte nach DIN EN 1990 [10] zugrunde gelegt werden. Auf einen Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit kann für die Lasten aus Absturzsicherung (Anpralllasten) verzichtet werden (es bestehen dafür normativ keine Anforderungen).

#### 7.3.2.6 Biegeweiche Bauteile (Pfosten und Riegel)

Für biegeweiche Bauteile (freitragende Pfosten und Riegel) kann auf einen Nachweis des weichen Stoßes verzichtet werden. Aus zahlreichen Stoßversuchen auf Rahmenbauteile ist bekannt, dass sich diese Bauteile durch die Verformbarkeit bei Stoßbelastung gutmütig verhalten und die Stoßenergie meist sogar ohne plastische Verformungen aufnehmen können. Ein rechnerischer Nachweis nach ETB-Richtlinie (Abschnitt 3.2.2.2) wäre zwar möglich, jedoch für die Praxis sehr aufwändig. Wenn die Bauteile für die Lastkombination von Wind- und Holmlasten im Grenzzustand der Tragfähigkeit sowie für die Durchbiegungsbegrenzung im Lastfall Wind dimensioniert sind, ist auch eine ausreichende Tragfähigkeit für den weichen Stoß gegeben. Diese Vereinfachung ist aktuell gängige Praxis bei Geländern, Brüstungen und Fassaden, und kann daher auch bei Fenstern angewendet werden.

Die T-Verbindungen bei Kunststofffenstern (Anschluss Riegel an Pfosten bzw. Anschluss an Blendrahmen) sollten einen Prüfnachweis auf Basis der Richtlinie FE-06/2 [18] des ift Rosenheim aufweisen. Damit kann die Eignung für den weichen Stoß auf Basis der statischen Ersatzlast nachgewiesen werden. T-Verbindungen im Holz- und Aluminiumfenster erfüllen normalerweise diese Anforderungen, können aber analog zur Richtlinie FE06/2 (unter Verzicht auf die Klimaprüfungen) geprüft werden, falls dies notwendig erscheint.



### 7.3.3 Ergänzendes Nachweisverfahren unter Ausnutzung der Lastweiterleitung

#### 7.3.3.1 Reduzierte statische Ersatzlast

Im Anwendungsfall lagert sich die Ersatzlast für den weichen Stoß bei Ausfall eines Befestigungspunktes komplett auf die beiden benachbarten Befestigungspunkte um. Bei einem Befestigungsabstand von max. 40 cm ist dies für den Blendrahmen ohne statischen Nachweis möglich, der bei Ausfall eines Befestigungselementes eine freie Spannweite von maximal 80 cm aufweist. Im günstigsten Fall verteilt sich die Last zu jeweils 50% auf die benachbarten Befestigungspunkte. Um eine nicht genau gleichmäßige Lastverteilung abzudecken, ist ein Ansatz von 60% der Ersatzlast als Bemessungsgröße sinnvoll. Diese Überlegung führt somit zum gleichen Lastansatz wie die Lastweiterleitung auf die benachbarten Befestigungspunkte (vgl. Abschnitte 6.3.4) mit ähnlichen konstruktiven Voraussetzungen.

Aus der Parameterstudie kann abgeleitet werden, dass eine Reduzierung des Lastansatzes auf 60% unter den angegebenen konstruktiven Randbedingungen gerechtfertigt ist (vgl. Abschnitt 6.3.4):

$$\begin{aligned}
 F_{BE} &= 60\% \cdot v_a \cdot \sqrt{\frac{m_1 \cdot c_1}{1 + \frac{c_1}{c_2}}} = 60\% \cdot 2 \frac{m}{s} \cdot \sqrt{\frac{30\text{kg} \cdot 64410 \frac{N}{m}}{1 + \frac{64410 \frac{N}{m}}{2 \cdot 10^6 \frac{N}{m}}}} = 60\% \cdot 2736 N = 1642 N \\
 &= 1,6 kN
 \end{aligned}$$

Die konstruktiven Voraussetzungen sind:

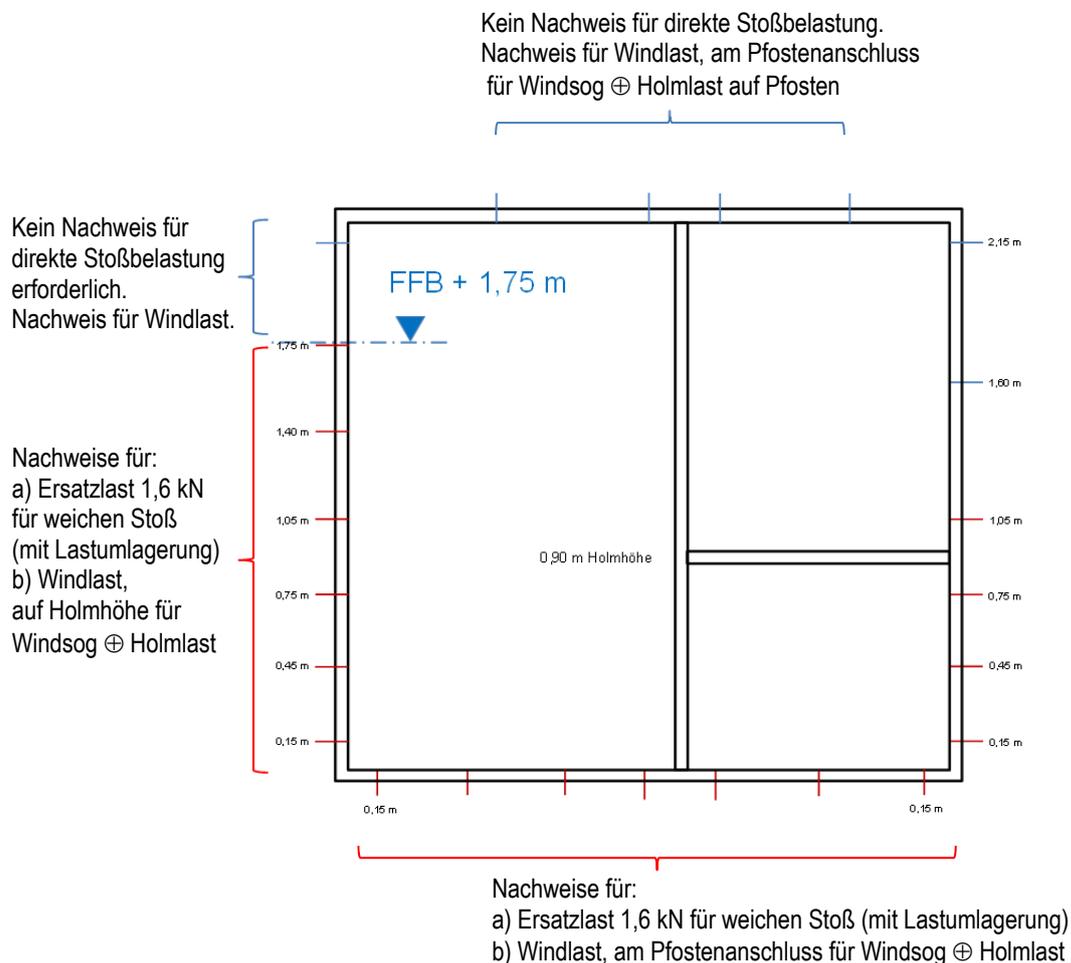
1. Mindestbiegesteifigkeit des Rahmenprofils von 75.000 kNcm<sup>2</sup>. Holz- und Aluminiumfenster überschreiten diesen Wert ohne weitere Maßnahmen. Bei Kunststofffenstern ist mindestens eine Stahlverstärkung im Blendrahmen von 3,5 cm<sup>4</sup> erforderlich, z.B. in Form eines Hohlprofils 30x30x3 mm.
2. Befestigungsabstand von max. 40 cm.
3. Symmetrische Eckbefestigung mit zwei Befestigungspunkten pro Eckpunkt, jeweils im Abstand 15 cm von der Innenecke.
4. Konstruktive Ausbildung der Rahmenecke, so dass eine Lastüberleitung von 900 N möglich ist. Bei Holz- und Aluminiumfenstern kann dies bei üblichen Eckausbildungen als erfüllt angesehen werden.

Sind die genannten Voraussetzungen nicht erfüllt, so ist der Befestigungspunkt für die volle statische Ersatzlast nach Gl. (11) der ETB-Richtlinie nachzuweisen.

Ein Nachweis für die Lastfallüberlagerung der statischen Lasten (Windlast, Holmlast) ist unabhängig von der Stoßlast zu führen. Für punktuelle Lastenleitungen (z. B. aus einem Holmanschluss oder aus einem Pfostenanschluss) kann eine vergleichbare Lastumlagerung wie für die Stoßlast angesetzt werden.

### 7.3.3.2 Beispiel Musterfenster

Für das im Rahmen des Forschungsvorhabens untersuchte Musterfenster wird die Umsetzung der Vorschläge in Abbildung 38 dargestellt.



**Abbildung 38** Vorschlag für die reduzierten Lastansätze am Beispiel des untersuchten Musterfensters



### 7.3.4 Ergänzendes Nachweisverfahren des Bauteilwiderstandes über einen Energieansatz

Das Nachweisverfahren aus Abschnitt 4.3 über die Widerstandsenergie des Befestigungselementes entspricht dem Nachweis nach Abschnitt 3.2.2.2 der ETB-Richtlinie. Es kann daher als genaueres Rechenverfahren eingesetzt werden, wenn die (ggf. nichtlineare) Kraft-Verformungs-Kennlinie des Befestigungselementes bekannt ist. Dabei darf die Kennlinie durch einen bi- oder trilinearen Verlauf angenähert werden, sofern dies auf der sicheren Seite liegt, d.h. wenn die rechnerische Energieaufnahme geringer ist als der Wert im Versuch. Basis für die Kennlinie sollen mindestens fünf Versuchskurven an verschiedenen Probekörpern sein, deren Kennlinien zunächst gemittelt und dann so gestaucht werden, dass die maximale Kraft dem 5%-Quantil der gemessenen Maximalwerte entspricht. Die maximale Verschiebung  $\delta$  soll dem kleinsten Verformungswert der Einzelversuche entsprechen, bei dem die Last auf unter 90% der Maximallast in diesem Versuch abgefallen ist.

Dieses Verfahren ist v.a. für biegeeweiche, duktile Befestigungslösungen als Nachweisweg interessant.

### 7.3.5 Objektbezogener Nachweis der Lastweiterleitung durch eine Simulation

Die Simulationsmethoden, die in der Parameterstudie zur Anwendung kamen, haben sich grundsätzlich als geeignet erwiesen, um die Lastverteilung in den Befestigungselementen von Fensterelementen zu ermitteln. Mit den üblichen Softwarelösungen der Baustatik können entsprechende Berechnungen durchgeführt werden, wenn die folgenden Hinweise beachtet werden:

#### a) Modellbildung

Die Rahmenbauteile werden mit Stabelementen abgebildet. Eck- und T-Verbindungen werden auf der sicheren Seite als Gelenke modelliert. Die Steifigkeit der Stäbe soll realitätsnah gewählt werden, wobei eine geringere Biegesteifigkeit auf der sicheren Seite liegt. Deshalb sollen bei Kunststofffenstern nur die Steifigkeiten der Stahlarmierung angesetzt werden.

Im Regelfall ist ein Stabtragwerk ohne Ansatz der Glasflächen ausreichend. Es liegt auf der sicheren Seite. Optional können die Glasflächen über gelenkig angeschlossene Plattenelemente berücksichtigt werden. Die Steifigkeit der Glasflächen verbessert die Lastverteilung jedoch nur geringfügig. Bei Mehrscheibenisolierverglasung wird empfohlen, nur die Steifigkeit einer Einzelscheibe anzusetzen. Bei Verbundglas kann voller Verbund unterstellt werden, da es sich um eine stoßartige Belastung handelt.

Die Randbedingungen für die Lastverteilung sollen tendenziell auf der sicheren Seite liegen. Zusammenfassend heißt das:

- Kein Ansatz der Glasflächen bzw. geringe Biegesteifigkeit der Plattenelemente
- Geringe Biegesteifigkeit der Rahmenbauteile (bei Kunststofffenstern nur Stahlquerschnitt)
- Gelenkige Knotenverbindung der Rahmenbauteile
- Großer Abstand der Befestigungspunkte
- Hohe Federsteifigkeiten der Befestigungselemente (siehe b)

Hinweis: Das gleiche Modell kann auch verwendet werden, um die Lastverteilung auf die Befestigungselemente unter statischen Lasten (Überlagerung aus Wind- und Holmlast) zu ermitteln.

b) Ansatz der Federsteifigkeiten der Befestigungselemente  $c_{BE}$

Die Angaben zu den Federsteifigkeiten sollen basierend auf Kleinversuchen ermittelt werden. Die Prüfungen könnten in Anlehnung an DIN EN 26891 [21] durchgeführt und ausgewertet werden. Auf eine weitgehende Übereinstimmung mit der Einbausituation im Hinblick auf Wandbaustoff, Fugenbreite, Randabstand des Befestigungselements und Rahmenwerkstoff ist zu achten. Abschätzungen auf der sicheren Seite sind möglich, wobei die sichere Seite für die Berechnung der Lastverteilung eine höhere Federsteifigkeit darstellt.

Im Regelfall erfolgt die Ermittlung der Lastverteilung auf Basis der linearen Steifigkeit  $c_{BE,a}$  (vgl. Abbildung 9).

Hinweis: Falls im Modell nichtlineare Federkennlinien verwendet werden, ist darauf zu achten, dass das nichtlineare Verhalten Ergebnisse auf der unsicheren Seite erzeugen kann, wenn die Federkennlinien im Vergleich zur Einbausituation geringere Traglasten aufweisen. Falls von der nichtlinearen Lastumlagerung Gebrauch gemacht wird, ist ggf. ein Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit für den Blendrahmenquerschnitt und für die Eckverbindungen zu führen, was bei linearen Federsteifigkeiten und üblichen Befestigungsabständen nicht erforderlich ist.

c) Lastansatz

Als Belastung wird die Stoßersatzlast (z.B. 2800 N) direkt auf einen Befestigungspunkt angesetzt. Maßgebend sind nach den bisherigen Erfahrungen die Befestigungspunkte an den unteren Ecken des Blendrahmens sowie andere ungünstige Befestigungssituationen seitlich.

Eine Überlagerung mit statischen Lasten ist nicht notwendig.

d) Auswertung und Nachweis

Die Berechnung liefert als Ergebnis die Kraft im Befestigungsmittel an der Stoßstelle. Es handelt sich um eine Bruchlast. Sie wird ohne weitere Sicherheiten auf der Last- oder Materialseite durch Vergleich mit der charakteristischen Tragfähigkeit des Befestigungselementes nachgewiesen.



## 8 Literaturverzeichnis

- [1] DIN 18008-4:2013-07  
Glas im Bauwesen - Bemessungs- und Konstruktionsregeln - Teil 4: Zusatzanforderungen an absturzsichernde Verglasungen  
Beuth Verlag, Berlin
- [2] DIN EN 1991-1-1:2010-12  
Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau  
Beuth Verlag, Berlin
- [3] DIN EN 1991-1-1 /NA:2010-12  
Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau  
Beuth Verlag, Berlin
- [4] ETB Richtlinie „Bauteile, die gegen Absturz sichern“  
Ausgabe Juni 1985  
DIBt, Berlin
- [5] DIN 4103-1:1984-06  
Nichttragende innere Trennwände – Anforderungen, Nachweise  
Beuth Verlag, Berlin
- [6] Leitfaden zur Planung und Ausführung der Montage von Fenstern und Haustüren für Neubau und Renovierung : 2020-03  
Gütegemeinschaft Fenster, Fassaden und Haustüren e.V., Frankfurt am Main
- [7] DIN 18065:2020-08  
Gebäudetreppen - Begriffe, Messregeln, Hauptmaße  
Beuth Verlag, Berlin
- [8] BVM-GelRiLi::2020-08  
Geländer-Richtlinie - Geländer und Umwehungen aus Metall  
Technische Richtlinie des Metallhandwerks, Bundesverband Metall
- [9] Sepp, Marlene  
Untersuchung der Nachweismöglichkeiten von Fenstern mit absturzsichernden Eigenschaften im eingebauten Zustand  
Bachelorarbeit, TH Rosenheim, 2018
- [10] DIN EN 1990:2010-12  
Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung  
Beuth Verlag, Berlin
- [11] DIN EN 13115:2001-11  
Fenster – Klassifizierung mechanischer Eigenschaften- Vertikallasten, Verwindung und Bedienkräfte  
Beuth Verlag, Berlin
- [12] ift Richtlinie MO 02/1 Juni 2015  
Baukörper Anschluss von Fenstern Teil 2 – Verfahren zur Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit von Befestigungssystemen  
ift Rosenheim
- [13] Dämmer, David  
Untersuchungen zum Nachweis von Absturzsicherungen in der Gebäudehülle  
Bachelorarbeit, TH Rosenheim, 2019
- [14] Struck, W., Limberger, E  
Die Energieübertragung auf leichte, nichttragende Bauteile beim Stoß mit einem Glaskugelsack im

- Vergleich zum Schulterstoß  
Mitteilungen Institut für Bautechnik 5 (1978). S. 129/136.
- [15] Rimböck, R.; Eierle, B.  
Statische Lastannahmen für absturzsichernde Bauteile im Hochbau  
Bautechnik 89 (2012), H. 4, S. 249-256.
- [16] Eierle, B.; Rimböck, R.  
Dynamische Einwirkungen auf absturzsichernde Bauteile im Hochbau  
Bautechnik 89 (2012), H. 4, S. 238-248.
- [17] MVV-TB:2019/1  
Veröffentlichung der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen Ausgabe 2019/1  
Amtliche Mitteilungen des Deutschen Institut für Bautechnik
- [18] ift Richtlinie FE 06/2 Februar 2017  
Prüfung von mechanischen und stumpf geschweißten T-Verbindungen bei Kunststofffenstern  
ift Rosenheim
- [19] DIN EN 1992-4:2019-04  
Eurocode 2 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 4:  
Bemessung der Verankerung von Befestigungen in Beton  
Beuth Verlag, Berlin
- [20] DIN CEN/TR 17079:2019-04  
Bemessung der Verankerung von Befestigungen in Beton - Redundante nicht tragende Systeme  
Beuth Verlag, Berlin
- [21] DIN EN 26891:1991-07  
Holzbauwerke; Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln; Allgemeine Grundsätze für die  
Ermittlung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens  
Beuth Verlag, Berlin

## 9 Danksagung

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Deutschen Instituts für Bautechnik gefördert (Aktenzeichen: P 52-5-3.120-2016/18).

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

 <b>WÜRTH</b>	Adolf Würth GmbH & Co. KG Reinhold-Würth-Straße 12–17 74653 Künzelsau
<b>ZIEGEL</b>	Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel e. V. Reinhardtstraße 12-16 10117 Berlin
	SFS Intec GmbH In der Schwarzwiesen 2 61440 Oberursel
 <b>Verband Fenster + Fassade</b>	Verband Fenster und Fassade Walter Kolb Str. 1-7 60594 Frankfurt am Main
	Xella Technologie und Forschungsgesellschaft mbH Hohes Steinfeld 1 14797 Kloster Lehnin/Emstal

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

	Anders Metallbau GmbH Geismarstraße 28a D-34560 Fritzlar
	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](mailto:info@ift-rosenheim.de)  
[www.ift-rosenheim.de](http://www.ift-rosenheim.de)

© ift Rosenheim 2020