

Diploma Thesis

## **Curtain walls under accidental actions**

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of  
Diplom-Ingenieur  
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

---

DIPLOMARBEIT

## **Vorgehängte Fassaden unter außergewöhnlicher Belastung**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines  
Diplom-Ingenieurs  
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

**Patrick Pelvay**

Matr.Nr.: 01025559

unter der Anleitung von

**Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Andreas Kolbitsch**

Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik  
Forschungsbereich Hochbaukonstruktionen und Bauwerkserhaltung  
Technische Universität Wien,  
Karlsplatz 13/208-02, A-1040 Wien

Wien, im Mai 2020

---

## Kurzfassung

Außergewöhnliche Lasten stellen für den Anwender oft große Herausforderungen dar, weil die Bemessungssituation wie der Name schon suggeriert außergewöhnlich und somit nicht alltäglich ist. Unsicherheit gepaart mit undurchsichtigen normativen Regelungen und Verweisen sind dafür verantwortlich, dass diese Lasten oftmals vernachlässigt werden. Dies gilt besonders für vorgehängte Fassaden, welche noch dazu als nicht tragende Elemente zu sehen sind.

In der vorliegenden Arbeit wurden die Einwirkungen Erdbeben, Anprall und Explosion hinsichtlich der normativ vorhandenen Lastansätze für vorgehängte Fassaden untersucht. Es hat sich gezeigt, dass grundlegend die Begrifflichkeit „vorgehängte Fassade“ in den Literaturquellen unterschiedliche Verwendung findet. Vielfach wurde dieser Begriff dem System der vorgehängten hinterlüfteten Fassade zugeordnet. In den anderen Fällen dem System der Vorhangfassade. Ebenso kann man als Erkenntnis aus dieser Arbeit gewinnen, dass für jede Einwirkung ein Lastansatz experimentell und oder analytisch besteht. Für den weichen Stoß sollte aber ein praxistauglicher, rechnerischer Belastungsansatz erarbeitet werden. Auch die Anpralllasten aus KFZ sollten auf die beliebte Fahrzeuggattung der SUVs adaptiert werden und das Thema Terrorismus und deren Folgen für die außergewöhnlichen Lasten (Anprall und Explosion) normativ erfasst werden.

## Abstract

Accidental loads often pose great challenges for the structural engineer, because the design situation, as the name suggests, is unusual and therefore rare. Uncertainty paired with unclear normative regulations and references are responsible for the fact that these loads are often neglected. This applies particularly to curtain walls, which are non-load bearing elements.

In this thesis, the effects of earthquakes, impacts and explosions were examined with regards to the normative existing load approaches for curtain walls. It has been shown that the concept of “curtain wall” is used differently in the literature. This term was often assigned to the system of the rear-ventilated facade. In the other cases the system of the curtain wall. This thesis also shows that there is an experimental and or analytical approach to the load for each action. For the soft impact, however, a practical, arithmetical load approach should be developed. The impact loads from vehicles should also be adapted to the popular vehicle category of SUVs and the topic of terrorism and its consequences for the extraordinary loads (impact and explosion) should be logged normatively.

## Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung .....	ii
Abstract .....	iii
Inhaltsverzeichnis .....	- 1 -
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>- 4 -</b>
1.1 Motiv der Arbeit.....	- 4 -
1.2 Ziel der Arbeit.....	- 4 -
1.3 Abgrenzungen der Arbeit.....	- 4 -
<b>2 Grundlagen Fassaden.....</b>	<b>- 5 -</b>
2.1 Allgemeines.....	- 5 -
2.2 Funktionen einer Fassade .....	- 5 -
2.3 Fassadenkonstruktionen.....	- 6 -
2.3.1 Vorhangfassaden .....	- 6 -
2.3.2 Vorgehängte hinterlüftete Fassaden (VHF).....	- 7 -
2.3.3 Doppelfassaden .....	- 8 -
<b>3 Grundlagen – Vorgehängte hinterlüftete Fassade.....</b>	<b>- 10 -</b>
3.1 Allgemeines.....	- 10 -
3.2 Historie.....	- 10 -
3.3 Vor- und Nachteile der VHF .....	- 11 -
3.3.1.1 Wärmeschutz.....	- 11 -
3.3.1.2 Feuchteschutz .....	- 12 -
3.3.1.3 Schlagregenschutz .....	- 13 -
3.3.1.4 Schallschutz .....	- 14 -
3.3.1.5 Brandschutz .....	- 14 -
3.3.1.6 Blitzschutz.....	- 15 -
3.3.1.7 Wirtschaftlichkeit.....	- 15 -
3.4 Normative Regelungen .....	- 17 -
3.5 Bestandteile einer VHF .....	- 19 -
3.5.1 Bekleidungselemente.....	- 19 -
3.5.2 Hinterlüftungsraum .....	- 20 -
3.5.3 Befestigungsmittel .....	- 21 -
3.5.4 Dämmstoffe.....	- 22 -
3.5.5 Unterkonstruktionen .....	- 22 -
3.5.5.1 Vertikalschienensystem .....	- 23 -
3.5.5.2 Horizontalschienensystem .....	- 24 -

3.5.5.3	Kassettensystem .....	- 25 -
3.5.6	Verankerungen .....	- 26 -
3.5.6.1	Einmörtelanker .....	- 26 -
3.5.6.2	Schnellmontageanker .....	- 27 -
4	Einwirkungen auf die VHF .....	- 28 -
4.1	Sicherheitskonzept Eurocode.....	- 28 -
4.1.1	Bemessungswerte Tragfähigkeitsnachweis.....	- 29 -
4.2	Einwirkung Eigengewicht .....	- 33 -
4.3	Einwirkung Windlast.....	- 34 -
4.4	Einwirkung Schnee und Eislasten .....	- 36 -
4.5	Einwirkungen durch Zwängungen .....	- 36 -
4.6	Einwirkungen aus Erdbeben .....	- 37 -
4.6.1	Bemessungskonzept .....	- 38 -
4.7	Einwirkung aus Anprall .....	- 42 -
4.7.1	Allgemeines .....	- 42 -
4.7.2	Weicher Stoß – Anprall von Personen .....	- 44 -
4.7.2.1	Pendelschlagversuch nach ÖNORM EN 12600:2003 (82) .....	- 44 -
4.7.2.2	Bemessung nach DIN 4103-1:2015 (80) .....	- 46 -
4.7.2.3	Bemessung nach ETB Richtlinie „Bauteile, die nach Absturz sichern“ (81) .....	- 51 -
4.7.2.4	Bemessung nach TRAV „Technische Regeln für die Verwendung von absturzsichernden Verglasungen“ (85) .....	- 52 -
4.7.2.5	Bemessung nach ÖNORM B 3716-3:2015 (89) .....	- 53 -
4.7.2.6	Bemessung nach ÖNORM EN 14019:2016 (83) .....	- 55 -
4.7.3	Harter Stoß - Anpralllasten durch Fahrzeuge und kleine Gegenstände .....	- 56 -
4.7.3.1	Allgemeines .....	- 57 -
4.7.3.2	Strategienanalyse.....	- 57 -
4.7.3.3	Äquivalente statische Ersatzlasten .....	- 60 -
4.7.3.4	Dynamische Anpralllasten .....	- 62 -
4.7.3.5	Bemessung nach DIN 4103-1:2015 (80) .....	- 65 -
4.8	Einwirkung aus Explosion.....	- 66 -
4.8.1	Allgemeines .....	- 66 -
4.8.2	Einwirkungen aus terroristisch induzierten Explosionen.....	- 68 -
4.8.3	Einwirkungen aus Innenraumexplosionen nach ÖN EN 1991-1-7 (44).....	- 70 -
4.8.4	Einwirkungen aus Erdgasexplosionen nach ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) .....	- 71 -
5	Zusammenfassung und Ausblick.....	- 72 -
5.1	Zusammenfassung.....	- 72 -
5.2	Ausblick.....	- 73 -

6	Literaturverzeichnis.....	- 75 -
7	Tabellenverzeichnis.....	- 82 -
8	Abbildungsverzeichnis.....	- 83 -
9	Anhang A – Einverständniserklärungen Verwendung geschützte Abbildungen .....	- 84 -
9.1	Einverständniserklärung Abbildung 2-1.....	- 84 -
9.2	Einverständniserklärung Abbildung 3-1.....	- 85 -
9.3	Einverständniserklärung Abbildung 3-2 und 3-3.....	- 86 -
9.4	Einverständniserklärung Abbildung 3-4 und 3-6.....	- 88 -
9.5	Einverständniserklärung Abbildung 3-5.....	- 89 -
9.6	Einverständniserklärung Abbildung 3-7.....	- 91 -
9.7	Einverständniserklärung Abbildung 3-8 und 3-10.....	- 92 -
9.8	Einverständniserklärung Abbildung 3-9 und 3-12.....	- 94 -
9.9	Einverständniserklärung Abbildung 3-11.....	- 95 -
9.10	Einverständniserklärung Abbildung 4-1.....	- 96 -
9.11	Einverständniserklärung Abbildung 4-2.....	- 97 -
9.12	Einverständniserklärung Abbildung 4-6 und 4-7.....	- 98 -
9.13	Einverständniserklärung Abbildung 4-8.....	- 99 -

# 1 Einleitung

## 1.1 Motiv der Arbeit

Die Problematik der immer größer werdenden Anforderungen durch die Bauphysik, aber auch durch die gestalterischen Ansprüche unserer Gesellschaft, gehen an den derzeit existierenden Fassadensystemen nicht spurlos vorüber. Homogene Wandaufbauten wie Lehm und Ziegelwände, welche die bauphysikalischen Eigenschaften durch Ihre Mauerstärke beeinflussen können, wurden durch die immer strengeren bauphysikalischen Anforderungen der verschiedenen nationalen und internationalen Richtlinien sukzessive durch Systeme ersetzt, bei denen die Tragschale und die Wärmedämmschicht voneinander getrennt sind, wie es auch bei hinterlüfteten Fassaden der Fall ist. Wachsende Dämmstärken und immer größere werdende Bekleidungs-elemente bedeuteten im Umkehrschluss Entwicklungsbedarf der Fassadenhersteller. Insbesondere bei Herstellern hinterlüfteter Fassadensystem, um die Bauteile an das größere Eigengewicht und den Dämmstärken bedingt größeren Hebelsarm anpassen zu können. Außerdem kam schließlich auch noch die Einführung der Eurocodes hinzu und die damit angestrebte Harmonisierung der Lastansätze. Während Eigengewichts-, Nutz-, Schnee- und Windlasten eindeutig geregelt sind und problemlos vom Planer auf das statische System der hinterlüftete Fassade aufgebracht werden kann, kommt es bei den Lastansätzen für außergewöhnliche Belastungen, im speziellen bei Erdbeben, Anprall und Explosionslasten zu Missverständnissen und Unverständnissen, weil Regelungen und Hinweise in den Normen teilweise nicht eindeutig sind bzw. Querverweise zwischen den einzelnen Normen bzw. Normenabschnitten die Verständlichkeit der Norm nicht fördern.

## 1.2 Ziel der Arbeit

Als primäres Ziel dieser Arbeit wird die Ausarbeitung von Lastansätzen für die Einwirkungen durch Erdbeben, Anprall und Explosion bei hinterlüfteten Fassadensystemen angestrebt. Diese Diplomarbeit soll zukünftig als ergänzender Leitfaden für die Ermittlung der Einwirkungen auf eine vorgehängte hinterlüftete Fassade (VHF) dienen um den Planer und Ausführenden eine schnelleren und effektiveren Überblick für die korrekte Anwendung der Bemessungsnormen gewähren.

## 1.3 Abgrenzungen der Arbeit

Es sei hier darauf hingewiesen, dass sich diese Arbeit nur mit der Ermittlung der Lastansätze für die Bemessung der hinterlüfteten Fassadensysteme beschäftigt. Eine konkrete und vollständige Bemessung erfolgt nicht, da dies den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde und die Bemessung aufgrund der Dünnwandigkeit der zu bemessenden Bauteile und der teilweisen Komplexität der

Systeme heutzutage ausschließlich über FE-Programme erfolgt. Der außergewöhnliche Lastfall „Brand“ ist ebenfalls nicht Thema dieser Arbeit. Für detaillierte Informationen zu dieser Thematik wird auf die zahlreich vorhandene Literatur verwiesen.

## **2 Grundlagen Fassaden**

### **2.1 Allgemeines**

Die Gebäudehülle, mit der Fassade als Teil davon, stellt seit jeher die Schnittstelle zwischen dem Außenklima und dem Innenklima dar. Neben den unveränderten Hauptaufgaben der Fassade:

- der Schutz vor äußerlicher Witterung,
- der Schutz vor ungebetenen Gästen/Feinden,
- die Zugänglichkeit in das Innere muss gewährleistet sein,
- ausreichende Belüftung und Belichtung.

Gilt diese auch als gestalterisches Ausdruckselement in der Architektur. Mit dem technischen Fortschritt der Zeit, erlangte die Fassade weitere Funktionen, die in Tab. 2.1 ersichtlich sind. (1; 2; 3)

### **2.2 Funktionen einer Fassade**

Während die konstruktiven Aspekte in der Planungs- und Ausführungsphase eine Rolle spielen, begleiten die Funktionen einer Fassade bestehend aus Schutz-, Nutz- und Sicherheitsfunktionen die zukünftigen Bauherren für die jeweilige voraussichtliche Lebenszeit der Gebäudehüllenbestandteile hindurch, die bei Außenputzen bei ca. 40-70 Jahren liegt. (1; 3)



**Tabelle 2-1: Funktionen einer Fassade nach (3)**

<b>Funktionen</b>	<b>Gewährleistet durch</b>
<i>Schutzfunktion</i>	
Winddichtigkeit	Steifigkeit des Fassadenaufbaus
Schlagregenschutz	Fugenausbildung
Wärme und Feuchteschutz	entsprechende Fassadenaufbauten, die Kondensatbildung verhindern, Heizkosten senken und Temperaturdehnungen aufnehmen können
Schallschutz	wird in den meisten Fällen durch die tragende Wand übernommen,
<i>Nutzfunktion</i>	
Raumbelichtung	durchdachte Anzahl und Anordnung von Fenstern in der Fassade
Solare Nutzung	Transparente/Transluzente Fenster bzw. Photovoltaikmodule in der Fassade eingebettet
Mechanische Lüftung	Fassadenlüfter dadurch Verbesserung des Raumklimas
<i>Sicherheitsfunktion</i>	
Brandschutz	Rauchdichte Abschlüsse zwischen Rohbau und Fassade; Feuerwiderstandsklasse Fassade
Einbruchschutz	Einbruchhemmende Fenster und Türen in der Fassade
Blitzschutz	Blitzschutzanlage; bei einer VHF über die metallische Unterkonstruktion
Radarwelleneignung	geeignete Werkstoffauswahl mit geringer Reflexionseigenschaft
Beschussschutz	Einsatz und Ausbildung entsprechend starker Bauteil/Werkstoffe

## 2.3 Fassadenkonstruktionen

Lassen sich bei den Funktionen der Fassade im Kapitel 2.2 einheitliche Ziele erkennen, da jedes Fassadensystem in Österreich durch europäische und nationale Vorschriften diese Kriterien erfüllen muss, so gibt es bei den ausgeführten Fassadenkonstruktionen große Unterschiede bei den verfügbaren Konstruktionsprinzipien (3). Im Skriptum Hochbaukonstruktionen 1 Teil B (1) findet man zum Nachschlagen der Grundlagen der grundsätzlichen Ausführungen hierzu eine tabellarische Auflistung mit Anmerkungen zu Besonderheiten, Problemen und Untergruppen. Die Vielzahl an Konstruktionsprinzipien macht es notwendig die verschiedenen Typen von vorgehängten Fassaden kurz zu erläutern.

### 2.3.1 Vorhangfassaden

Vorhangfassaden gehören zu den mehrschichtigen, einschaligen Fassadenkonstruktionen (3). Die vorgehängte Fassade wird punktuell an die Geschosdecken des Gebäudes montiert und ist somit nicht tragender Bestandteil der Fassade. Sie wird ausschließlich für die Erbringung der Schutzfunktionen, siehe Kap. 2.2 und als architektonisches Gestaltungselement eingesetzt. Die Grundterminologie und Prinzipskizzen zu den Typen der Vorhangfassaden sind der ÖNORM EN 13119:2016 (4) zu entnehmen. Merkmale, Anforderungen, Überprüfungen und Widerstände

finden sich in der Produktnorm ÖNORM EN 13830:2015 (5) zum Nachschlagen. Grundlegend sind bei der konstruktiven Ausbildung zwei Systeme zu unterscheiden:

- Die *Pfosten-Riegel Bauweise* ist dadurch gekennzeichnet, dass vertikale Hauptsprossen zwischen den Geschossdecken gespannt und befestigt werden. An diesen Hauptsprossen werden anschließend Quersprossen montiert und abschließend Fenster und Paneele befestigt,
- Die *Elementbauweise* zeichnet sich durch einen hohen Vorfertigungsgrad aus. Hierbei werden Fenster und Brüstungen an Rahmen befestigt und diese vormontierten Rahmen ohne weitere Sprossen an den Decken befestigt. (6)

### 2.3.2 Vorgehängte hinterlüftete Fassaden (VHF)

Die vorgehängte hinterlüftete Fassade besteht im wesentlichen aus vier Hauptbestandteilen, die im besten Fall derart aufeinander abgestimmt sind, dass Sie ein technisch-wirtschaftliches Optimum für den Verwender herausholt. Diese sind:

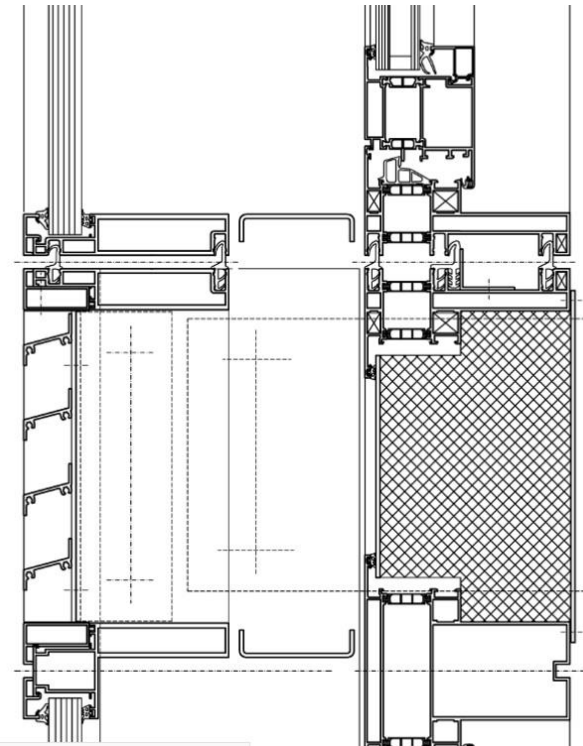
- das Bekleidungselement,
- der Hinterlüftungsraum,
- die Unterkonstruktion mit optionaler Wärmedämmschicht,
- die Verankerungseinheit. (7)

Ein Prinzipaufbau einer VHF findet sich in der Richtlinie für die Planung und Ausführung von vorgehängten hinterlüfteten Fassaden (8). Essenziell für diesen Fassadentyp ist der Belüftungsraum, welcher verantwortlich ist für den Feuchteschutz der Fassade. Über diesen wird die von Innen herrührende Feuchtigkeit abtransportiert und der Wärmeschutz über das ganze Jahr hinweg gesteuert. Die Lastweitergabe von den Bekleidungselementen ausgehend, erfolgt in weiterer Folge über die Unterkonstruktion und die Verankerungselemente im tragfähigen Untergrund. (6; 7)

Neben den oberhalb genannten bauphysikalischen Vorteilen und dem architektonischen Freiraum, der sich durch die Bekleidungselemente bietet, sind bei einer VHF geringere Wartungs- und Recyclingkosten als bei anderen Konstruktionen zu erwarten (7). Dem gegenüber steht ein wesentlich höherer Herstellungsaufwand und folglich auch höhere Herstellungskosten (1). Näheres siehe Kap. 3.

### 2.3.3 Doppelfassaden

Doppelfassaden haben sich ursprünglich aus der Idee entwickelt, alte geschützte Fassaden durch Vorsetzen einer Glasfront zu sanieren, bei gleichzeitiger Erhaltung des Bestands (1). Nach heutiger Sicht lassen sich Doppelfassaden als Fassadenkonstruktion charakterisieren, welche aus zwei Fassadenschalen bestehen. Dies ist einerseits die Innenfassade, welche auch als Primärfassade bezeichnet wird und zumeist aus einer Zweischiebenisolierverglasung besteht und andererseits die Außenfassade, auch Sekundärfassade genannt, die aus einem Einschiebensicherheitsglas gebildet wird. Dazwischen wird ein Luftraum ausgebildet, der je nach Ausbildung zwischen einigen Zentimetern und Metern variieren kann.



**Abbildung 2-1: Detailausführung einer Doppelfassade (9)**

Um den wirtschaftlichen Rahmen nicht zu sprengen und die Zugänglichkeit für Wartungsarbeiten zu gewährleisten, findet sich oftmals ein Luftraum zwischen 50-100 cm. (10)

Tab. 2-2 zeigt den Diskussionsbedarf auf, der sich aufgrund des Konstruktionsprinzips ergibt.

**Tabelle 2-2: Argumente für und gegen ein Doppelfassade nach (10)**

Themenpunkt	Vorteile	Nachteile
Schallschutz	Erhöhter Schallschutz bei Schallemissionen von Außen	Öffnung der Fassade zum Lüften verringert die Schallschutzwirkung. Luftspalt zwischen den Scheiben steigert die Schallübertragung.
Heizwärmebedarf	Energieeffizient, weil solare Einträge durch die Fassadenfläche, welche die Aufgabe eines Kollektors übernimmt, aufgenommen werden.	Gebäude mit Doppelfassaden besitzen große innere Wärmelasten. Energieeinsparung durch solare Einträge nicht von Relevanz.
Kühlbedarf	Warme Luft kann über den Luftspalt entweichen.	Fassadenseitige Räume werden durch die Erwärmung des Luftspalts, besonders thermisch belastet.
Luftwechsel	Verbesserung des Raumklimas durch natürliche Lüftung.	Angenehmes Raumklima nur durch Klimaanlage möglich. Geruchsaustausch über den Luftspalt.
Brandschutz	Verhinderung des Brandübergreifens durch horizontale- und vertikale Schotten.	Rauchabzug durch äußere Glasscheibe nicht möglich. Luftspalt erhöht das Risiko des Brandüberschlags.
Feuchtehaushalt	Eine gute Zirkulation vermeidet Tauwasseranfall in der Konstruktion.	Die Innenseite der Außenschale ist stets von Tauwasser betroffen und erfordert erhöhten Reinigungsaufwand.
Belichtung	Natürliche Belichtung über spezielle lichtlenkende Elemente steuerbar. Die Verschattung ist vor äußeren Einflüssen im Luftspalt geschützt anbringbar.	Andere Fassadentypen (Lochfassade) ebenfalls lichtlenkend und mit windsicheren Verschattungsmöglichkeiten konstruierbar. Die Außenschale verringert die natürliche Lichtausbeute.
Fassadenöffnungen und Staudrücke	Öffnen der Fenster auch in großen Höhen möglich. Reduktion des Staudrucks und somit des Anpressdrucks bei Innentüren.	Wenn Arretierungen vorhanden dann ist ein Fenster öffnen auch bei anderen Typen möglich. Technische Möglichkeit der Staudruckreduktion durch Prallscheiben bei Lochfassaden ebenfalls möglich.
Kosten	Senkung der Energiekosten	Herstellungs- und Wartungskosten (Reinigung) hoch.

## 3 Grundlagen – Vorgehängte hinterlüftete Fassade

### 3.1 Allgemeines

Die VHF kurz für vorgehängte hinterlüftete Fassade wird in der jeweiligen Richtlinie des österreichischen und deutschen Fachverbandes für hinterlüftete Fassaden (ÖFHF und FVHF) definiert, als Fassade, welche einen Hinterlüftungsraum zwischen Wärmedämmung und Bekleidungselement bzw. bei Aufbauten ohne Wärmedämmung oder Holzbauten zwischen Tragwand und Bekleidungselement besitzt. Wichtig hierbei ist, dass der Luftraum eine Zuluftöffnung im Sockelbereich und eine Abluftöffnung am oberen Ende der Wand besitzt, um eine ständige Luftzirkulation überhaupt zu ermöglichen. Ist hingegen nur die untere Luftöffnung vorhanden, spricht man von einer belüfteten Fassade.

Anzumerken hinsichtlich der Begrifflichkeit sind die verschiedensten Synonyme, die für den Begriff „vorgehängte hinterlüftete Fassade“ verwendet werden:

- Hinterlüftete Außenwand,
- Hinterlüftete Fassadenbekleidung,
- Fassaden mit einem Lüftungspalt,
- Vorgehängte Fassade. (8; 11)

### 3.2 Historie

Die Ursprünge der vorgehängten hinterlüfteten Fassade reichen mehrere Jahrhunderte zurück und finden sich im alpinen Raum in Form von Schindelfassaden wieder. Die technische Optimierung der Komponenten erfolgte allmählich über die Jahrzehnte und Jahrhunderte. Am konstruktiven Grundaufbau der VHF änderte sich aber nichts. (12; 13)



Abbildung 3-1: Schindelfassade (13)

### 3.3 Vor- und Nachteile der VHF

Die Vorteile spielen VHF im Bereich der Bauphysik aus, welche wiederum auch Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit und Langlebigkeit haben. Zu guter Letzt werden auch Nutzungsvorteile lukriert wie ein Blitzschutzsystem und die Reinigung der Fassade. Dem gegenüber stehen höhere Herstellungskosten im Vergleich zu dem weitverbreiteten WDVS. (8; 14)

#### 3.3.1.1 Wärmeschutz

In Österreich erfolgt die Anforderung an den Wärmeschutz über den Energieausweis, welcher in der OIB Richtlinie 6 (15) geregelt ist. Die Vorteile hinsichtlich des Wärmeschutzes bei einer VHF liegen hier klar auf der Hand. Der erwärmte Hinterlüftungsraum sorgt im Winter für eine Reduktion des Transmissionswärmeverlust um 8%. Im Sommer wirkt dieser im Umkehrprinzip als Kühlpuffer. In Kombination mit dem Bekleidungselement, welche die Strahlungsenergie aufnimmt, erwärmt sich die Rohbauwand bei einer VHF nur sehr langsam. (2)

Die Wärmedämmung, welche diffusionsoffen sein sollte, wie es auf die Typen MW-W und MW-WF nach ÖNORM B 6000:2018 (16) zutrifft, kann vollflächig auf die Außenseite der Tragwand befestigt werden (1). Die Wärmebrücken, welche durch die punktuellen und linienförmigen Durchdringungen (Einmörtelanker, Unterkonstruktionen und dergleichen) der Wärmedämmung entstehen müssen gemäß DIN 18516-1:2010 (17) bzw. ÖNORM EN ISO 10211:2018 (18) bei der Ermittlung des U-Werts berücksichtigt werden (12; 17). Mittlerweile haben die Hersteller dieses Problem erkannt und innovative Konsolen entwickelt, welche z.B. wie bei der Fa. Hilti aus glasfaserverstärkten Kunststoff, Aluminium-Verbundstoff oder Edelstahl bestehen oder die Konsole wird über ein thermisches Trennelement mit der Rohbauwand verbunden. Somit wird die Wärmeleitfähigkeit gesenkt und der Wärmeverlust, infolge der Verankerungen und Unterkonstruktionen auf < 3 % bei den Konsolen MFT-Fox VTR und MFT-Fox VT reduziert. Bei der Aluminiumkonsole MFT MF kann der Wärmeverlust trotz thermischer Trennlage > 3 % betragen. Siehe Abbildung 3-2 und 3-3. (19)

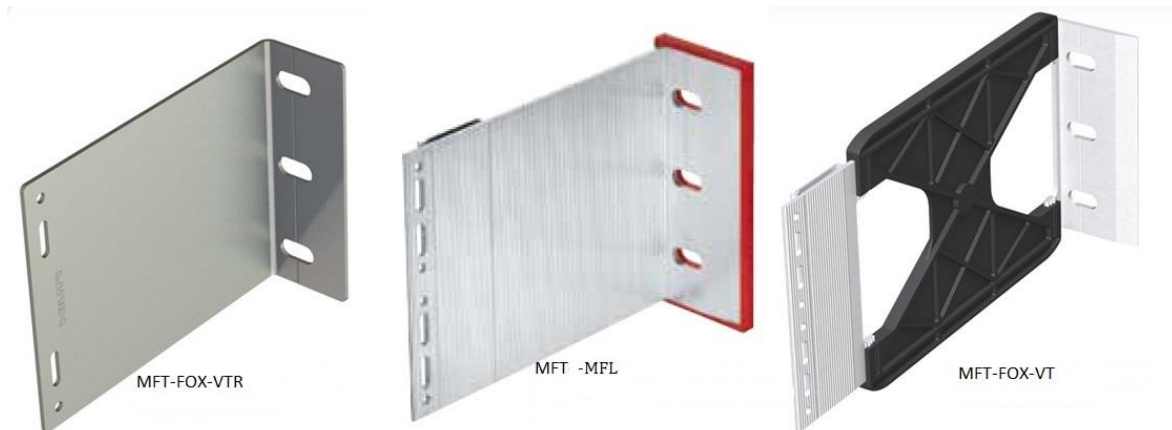


Abbildung 3-2: Wärmebrückenreduzierte und wärmebrückenfreie Konsolen Fa. Hilti nach (19)

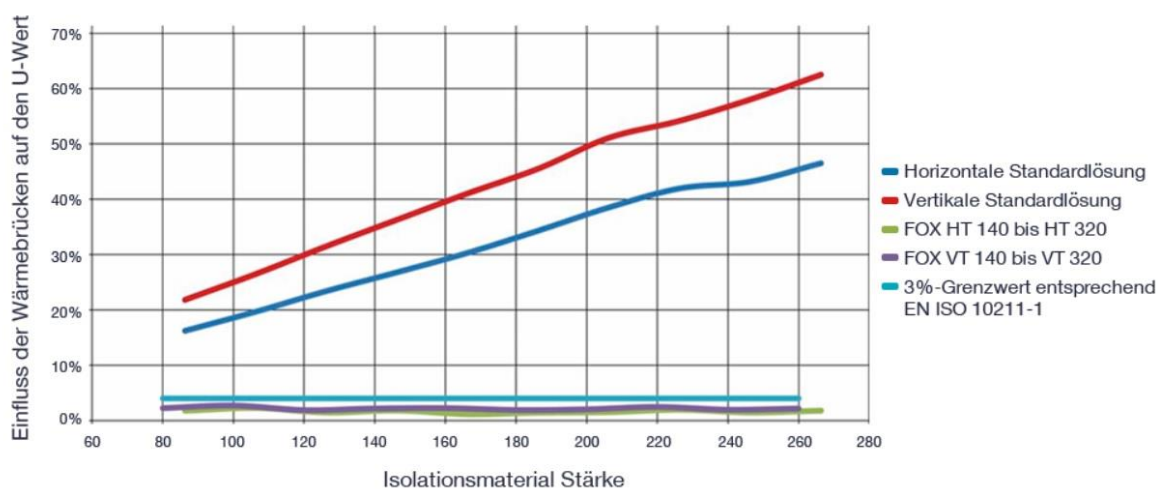


Abbildung 3-3: Vergleich Einfluss Unterkonstruktion auf den U-Wert (19)

Bei der Fa. Hilti werden für jeden Verankerungstyp Tabellen ausgewiesen, welche den Wärmebrückenverlustkoeffizient in Abhängigkeit der Dämmstärke und des Untergrunds darstellen. Die Wärmebrückenverluste liegen je Dämmung der Wand und Typ des Einmörtelankers zwischen 0,001 W/K und 0,046 W/K und sind in (20) einzusehen. (20)

### 3.3.1.2 Feuchteschutz

Geschuldet durch den Hinterlüftungsraum ist die VHF eine diffusionsoffene Konstruktion. Dies bedeutet, dass die Wasserdampfdiffusion, welche aufgrund der Partialdruckunterschiede zwischen Innenraum und Außenbereich abläuft und die Wassermoleküle durch die Fugen, luftgefüllten Poren und Kapillaren durchwandern lässt in der Regel ohne Wasserdampfkondensation auskommt. Das Anbringen einer Dampfsperre zum Schutz der Konstruktion kann bei der VHF entfallen. Nichtsdestotrotz ist auch bei belüfteten Konstruktionen der Tauwasseranfall unter gewissen Umständen möglich und kann an folgenden Stellen auftreten:

- Oberflächentauwasser an der Innenseite der Außenwand,
- innerer Tauwasseranfall ausgelöst durch die Schichtreihenfolge,

- Tauwasseranfall im Belüftungsraum aufgrund eines zu klein dimensionierten Luftraum oder zu großer Wasserdampfmenge,
- Tauwasseranfall an der Bekleidungsrückseite, infolge von Wärmeabstrahlung in kalten, klaren Nächten.

Ergänzend sei noch erwähnt, dass für hinterlüftete Konstruktionen wie die VHF der rechnerische Nachweis hinsichtlich Wasserdampfdiffusion gemäß ÖNORM B 8110-2:2018 (21) bei normierten Innenluft- und Außenluftbedingungen nicht zu erbringen ist. (2)

### 3.3.1.3 Schlagregenschutz

Um die Fassaden vor Schlagregen zu schützen, werden diese in Beanspruchungsgruppen gemäß ÖNORM EN 12154:2000 (22) eingeordnet. Die VHF hat nach der ÖNORM EN 12154:2000 (22) die Anforderungen für eine starke Schlagregenbeanspruchung zu erfüllen (Klasse III) und gilt aufgrund ihrer Ausbildung als schlagregendicht. Der Hinterlüftungsraum dient bei Schlagregenereignissen als Druckausgleichsraum und die anfallende Feuchtigkeit kann über diesen Raum abgeführt werden. Bei besonders heftigen Ereignissen kommt es zu einem Abrinnen des Schlagregens an der Bekleidungsrückseite. (2; 23)

In Abb. 3-4 ist die eindringende Feuchtigkeitsmenge in Abhängigkeit der Fugenausbildung bei der VHF dargestellt. Der triviale Zusammenhang zeigt, dass je mehr Fugenfläche vorhanden ist umso mehr Feuchtigkeit tritt auch in den Hinterlüftungsraum ein.

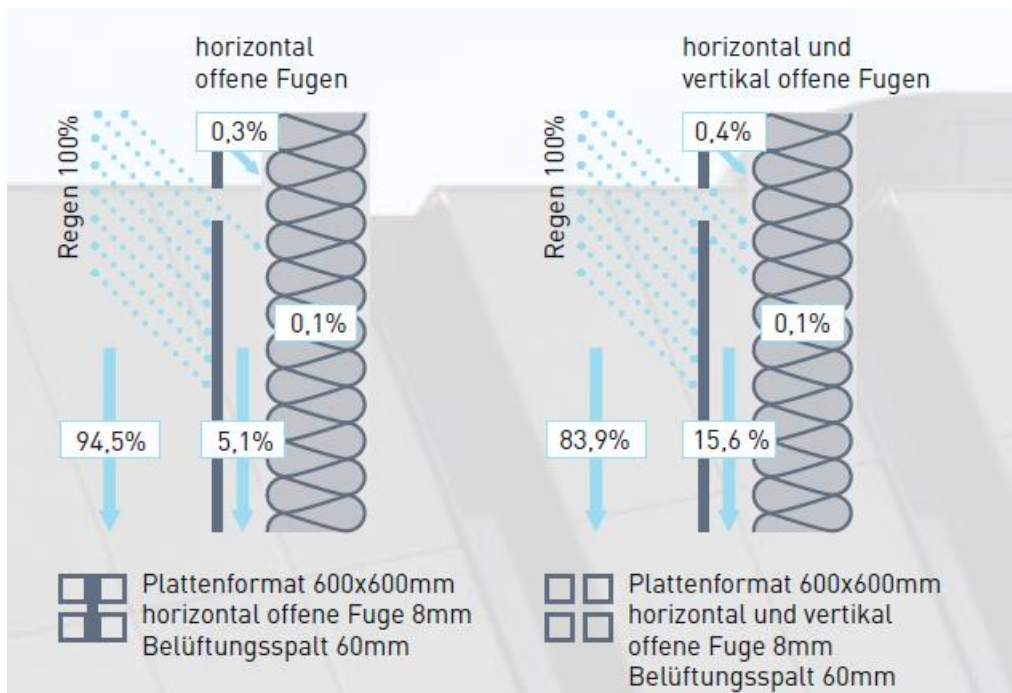


Abbildung 3-4: Schlagregenschutz-Fugenausbildung © www.oefhf.at (23)



### 3.3.1.4 Schallschutz

Durch das mehrschalige System erfolgt der Schallschutz einerseits durch die massive Tragwand (Beton, Ziegel), welche ein großes Absorptionsvermögen aufweist und andererseits durch die Wärmedämmung und die Bekleidungs-elemente selbst (2). Die Systemabbildung kann wie bei als Masse-Feder Modell erfolgen. Dabei ist die Schallschutzverbesserung bei der VHF von einigen Faktoren abhängig. Je nachdem welche Dämmstoffart und Dicke das System aufweist verändert sich auch die dynamische Steifigkeit, die ein Aussage über das Federungsvermögen der Dämmschicht macht. Des Weiteren ist zu klären wie biegeweich die Vorsatzschale ist und wie die Fugenausbildung erfolgt. Die Abb. 3-5 zeigt die Verbesserung der Luftschalldämmung für eine VHF aus Asbestzementplatten mit einer Holzkonterlattung und Stülpdeckung im Vergleich mit einer unverputzten Kalksandlochsteinwand. Das bewertete Schalldämmmaß bei der VHF steigert sich um 8 dB von 53 dB auf 61 dB. (24)

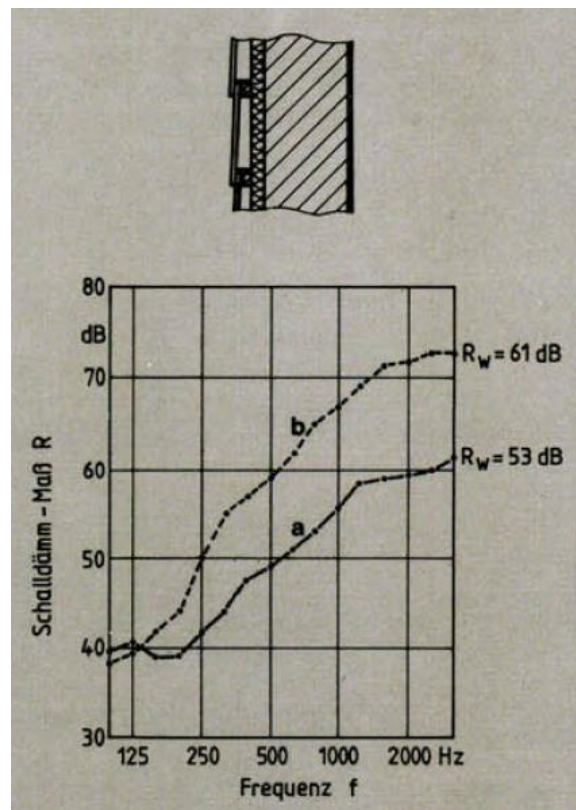


Abbildung 3-5: Verbesserung der Luftschalldämmung durch eine VHF © Fraunhofer IBP (24)

### 3.3.1.5 Brandschutz

Die Brandschutzanforderungen erfolgen in Österreich über die OIB Richtlinien 2, 2.1, 2.2 und 2.3 (25; 26; 27; 28). Prinzipiell ist die VHF dafür geeignet, höchste Brandschutzanforderungen zu erfüllen. Brandeinwirkungen vor der Fassade sind eher unkritisch zu sehen. Durch geeignete Wahl des Dämmstoffs, des Bekleidungs-elementes, der Unterkonstruktion und durch Anbringen von Brandschotten, kann dies ermöglicht werden. Die Förderung des Brands durch die

Kaminwirkung des Hinterlüftungsraums kann durch diverse konstruktive Ausbildungen unterbunden werden.

- separate Hinterlüftungsräume für verschiedene Etagen,
- Anbringen von selbstschließenden Brandsperren im Hinterlüftungsraum,
- Anbringen von speziellen Hinterlüftungsgittern, welche den Flammeneintritt verhindern sollen,
- flammengeschützte Anordnung von Hinterlüftungsöffnungen,
- Abweisung von Flammen durch Gesimse oder Kragplatten. (2)

### 3.3.1.6 Blitzschutz

Einen weiteren Vorteil bringt die VHF im Zusammenhang mit dem Blitzschutz mit sich. Bei Verwendung von metallischen Unterkonstruktionen kann ein konventionelles Blitzschutzkonzept entfallen, welches Blitzableiter beinhaltet. Stattdessen wird eine elektromagnetische Schirmung durch das Ausnutzen der metallischen Unterkonstruktionen hergestellt. (23)

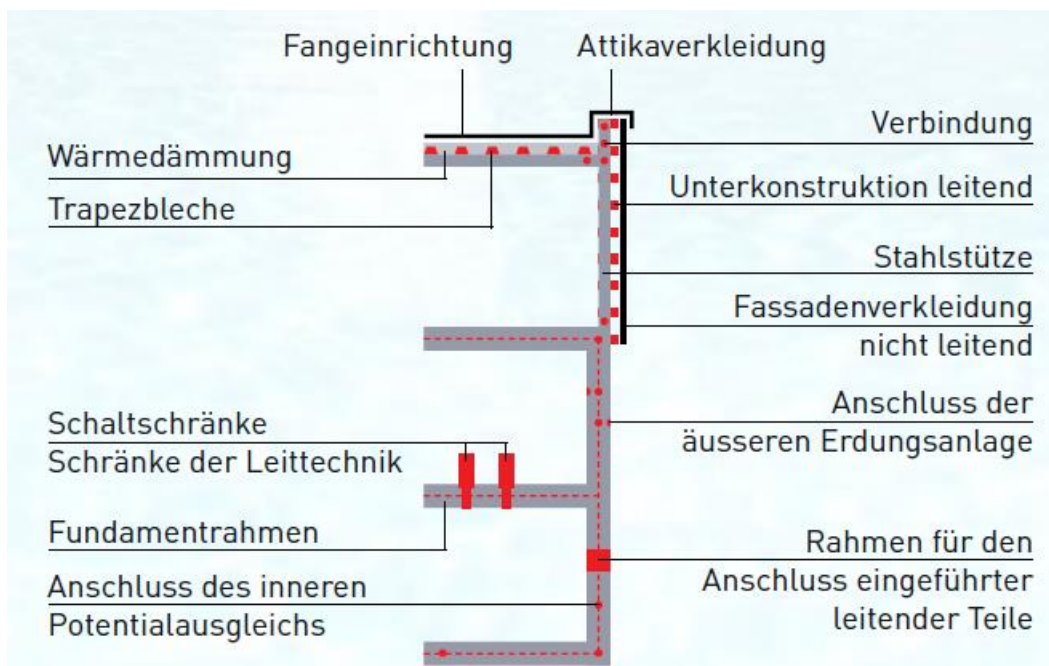


Abbildung 3-6: VHF- Blitzschutz © www.oefhf.at (23)

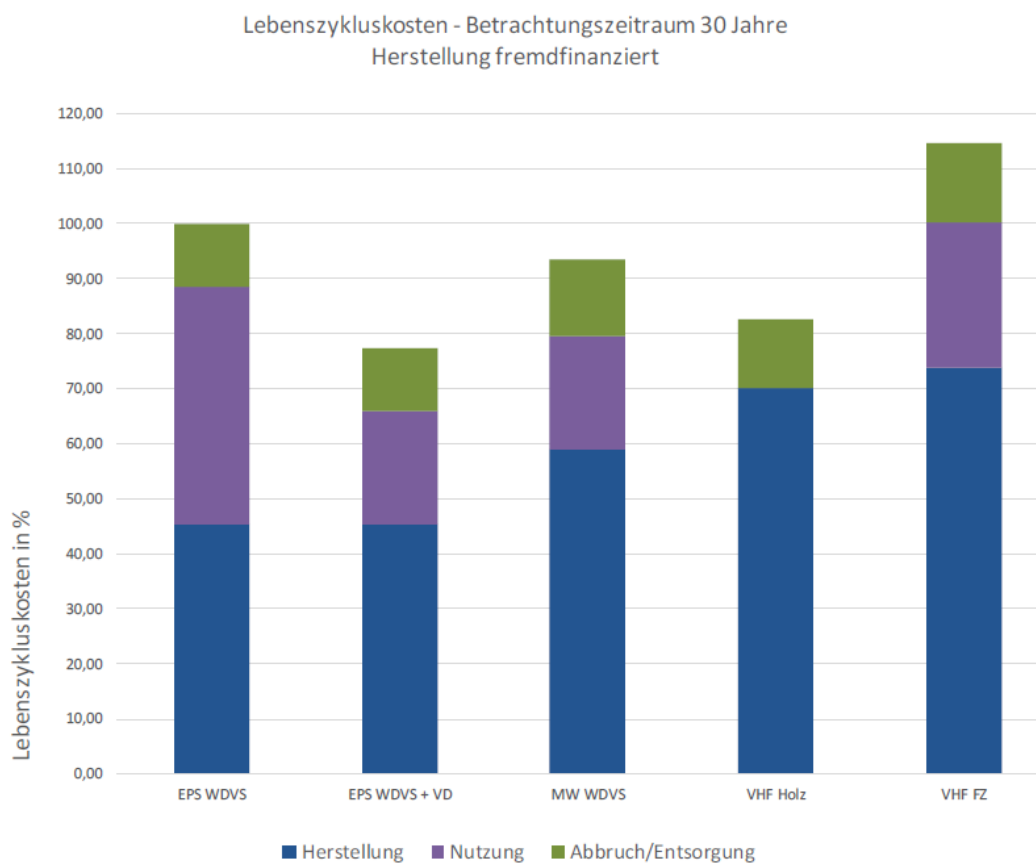
### 3.3.1.7 Wirtschaftlichkeit

Da im Regelfall die Entscheidung hinsichtlich der Wahl eines Fassadensystems nicht durch deren technische Eigenschaften und dem Aufbau allein bestimmt wird, sondern maßgeblich durch deren Herstellungskosten, liegt der Trend ganz klar im Einsatz von WDVS Fassaden mit EPS Dämmung. Die Studie (14) verglich 2016 verschiedene Fassadensystemen im Hinblick auf die Lebenszykluskosten. Basis war jeweils ein 25 cm Hochlochziegelmauerwerk mit Innenputz. Der U-Wert des Gesamtaufbaus lag bei  $0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ . (14)

**Tabelle 3-1: Kostenübersicht Fassadensystem nach (14)**

Fassadentyp	Herstellungskosten [€]	Reinigungskosten mit Hubsteiger [€]	Reinigungskosten mit Gerüst [€]	Reinigungskosten inkl. Neuanstrich [€]	Abbruch- und Entsorgungskosten [€]
WDVS EPS	65,78	12,15	19,83	35,95	14,83
WDVS EPS + Vordach	65,78	/	/	35,95	14,83
WDVS MW	85,75	/	/	35,95	18,12
VHF Holz	136,12	/	/	/	17,55
VHF Faserzement	179,23	7,20	15,37	/	21,06

Zusammenfassend kann anhand der Tab. 3-2 und der Abb. 3-7 gesagt werden, dass sich Bauherren nicht durch die günstigeren Herstellungskosten eines WDVS täuschen lassen sollen. Betrachtet man die Lebenszykluskosten der Fassadensysteme entfallen hohe Anteile bei WDVS auf die Reinigungs -und Beschichtungsarbeiten. Sodass VHF nicht zwangsläufig über die Lebenszeit gesehen teurer sein müssen. (14)



**Abbildung 3-7: Diagramm Lebenszykluskosten Fassadensysteme (14)**

### 3.4 Normative Regelungen

Die VHF hat in den letzten Jahren in Österreich, aber auch in einigen Ländern Mitteleuropas enorme Fortschritte bei der normativen Regelung bzw. bei deren Inhalten gemacht. Im speziellen in Österreich sind und waren die vorhandenen zutreffenden Normen ÖNORM B 2219:2011 (29), ÖNORM B 3419:2018 (30) und die ÖNORM B 3521-1:2012 (31), welche für das Gewerbe des Dachdeckers und des Bauspenglers gedacht sind, nur wenig aussagekräftig hinsichtlich der Planung und Ausführung von VHF. (11)

Die ÖNORM B 3419:2018 (30) regelt hierbei die Anordnung von Fugen bei klein- und großformatigen Faserzementplatten und deren Befestigung an der jeweiligen Unterkonstruktion (30). Durch stetig wachsende Anforderungen an das Fassadensystem, wegen des Brandschutzes und der Windlastanforderungen, entschloss man sich die normative Situation durch Entwicklung einer Richtlinie für hinterlüftete Fassadensysteme (8) neu darzustellen. Herausgeber dieser Richtlinien ist der 2007 gegründete Fachverband für hinterlüftete Fassaden in Österreich (ÖFHF). Der Geltungsbereich dieser Richtlinie erstreckt sich somit sowohl auf die Planungs- als auch auf die Ausführungsphase von VHF inkl. sämtlicher Bestandteile wie Verkleidung, Unterkonstruktion und Befestigungsmaterial. Die kleinformatigen Fassadenverkleidungen werden nicht in dieser Richtlinie behandelt und werden weiterhin ausschließlich über die Werkvertragsnormen wie die ÖNORM B 2219:2011 (29) behandelt. (11; 23)

Hinsichtlich der Lasteinwirkungen und der Tragwerksbemessung gelten für die VHF die europaweit eingeführten EUROCODES (EN 1990-1998). Die außergewöhnlichen Einwirkungen aus Erdbeben, Anprall und Explosion, welche den Hauptteil dieser Arbeit bilden, sind für die Anwendung in Österreich in der ÖNORM B 1998-1:2017 (32) und der ÖNORM B 1991-1-7:2007 (33) zu finden. Zusammenfassend finden folgende Normen und Richtlinien bei der Planung und Ausführung von VHF in Österreich ihre Anwendung (8):

- ÖNORM B 2219:2011 – Dachdeckerarbeiten, Werkvertragsnorm (29),
- ÖNORM B 3419:2018 - Planung und Ausführung von Dacheindeckungen und Wandverkleidungen (30),
- ÖNORM B 3521-1:2012 – Planung und Ausführung von Dacheindeckungen und Wandverkleidungen aus Metall, Teil 1: Bauspenglerarbeiten - handwerklich gefertigt (31),
- ÖNORM B 1990-1:2013 – Grundlagen der Tragwerksplanung, Teil 1: Hochbau (34),
- ÖNORM EN 1990:2013: Grundlagen der Tragwerksplanung (35)
- ÖNORM B 1991-1-1:2017 - Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen-Wichten, Eigengewicht, Nutzlasten im Hochbau (36),

- ÖNORM EN 1991-1-1:2011 - Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen-Wichten, Eigengewicht, Nutzlasten im Hochbau (37)
- ÖNORM B 1991-1-2:2003 - Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen-Brandeinwirkungen auf Tragwerke (38),
- ÖNORM EN 1991-1-2:2013 - Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen-Brandeinwirkungen auf Tragwerke (39),
- ÖNORM B 1991-1-4:2019 - Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen-Windlasten (40),
- ÖNORM EN 1991-1-4:2011 - Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen-Windlasten (41),
- ÖNORM B 1991-1-5:2012 - Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen-Temperatureinwirkungen (42),
- ÖNORM EN 1991-1-5:2012 - Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen-Temperatureinwirkungen (43),
- ÖNORM B 1991-1-7:2007 - Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-7: Allgemeine Einwirkungen-Außergewöhnliche Einwirkungen (33),
- ÖNORM EN 1991-1-7:2014 - Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-7: Allgemeine Einwirkungen-Außergewöhnliche Einwirkungen (44),
- ÖNORM B 1992-1-1:2018 - Eurocode 2 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau (45),
- ÖNORM EN 1992-1-1:2015 - Eurocode 2 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau (46),
- ÖNORM B 1995-1-1:2015 – Eurocode 5 - Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau (47),
- ÖNORM EN 1995-1-1:2019 – Eurocode 5 - Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau (konsolidierte Fassung) (48),
- ÖNORM B 1998-1:2017 - Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben, Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten (32),
- ÖNORM EN 1998-1:2013 - Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben, Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten (49),
- ÖNORM B 1999-1-1:2017 – Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln (50),

- ÖNORM EN 1999-1-1:2014 – Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln (51),
- ÖFHF - Planung und Ausführung von vorgehängten hinterlüfteten Fassaden (8),
- ÖFHF – Brandschutz bei hinterlüfteten Fassaden (52),
- ÖFHF – Merkblatt Klebetechnik (53),
- ÖFHF – Merkblatt für VHF auf Holzunterkonstruktionen (54),
- Bundesinnung der Dachdecker, Glaser und Spengler – Fachregel für Bauspenglerarbeiten (55),
- OIB-Richtlinie 2 Brandschutz:2019 (25),
- OIB-Richtlinie 2.1 Brandschutz bei Betriebsbauten:2019 (26),
- OIB-Richtlinie 2.2 Brandschutz bei Garagen, überdachten Stellplätzen und Parkdecks:2019 (27),
- OIB-Richtlinie 2.3 Brandschutz bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von mehr als 22m:2019 (28),
- OIB-Richtlinie 5 Schallschutz:2019 (56),
- OIB-Richtlinie 6 Energieeinsparung und Wärmeschutz:2019 (15).

Des Weiteren werden für die Auslegung von Naturwerkstein- und Betonwerksteinfassaden in Österreich die DIN 18516-3:2018 (57) und die DIN 18516-5:2013 (58) in Verbindung mit der DIN 18516-1:2010 (17) herangezogen, obwohl es sich hierbei um deutsche Normen handelt. Ein österreichisches Pendant ist nicht vorhanden.

### **3.5 Bestandteile einer VHF**

Die Definition einer VHF erfolgt über das Merkmal des Hinterlüftungsraums. Dieser ist bei jeder VHF vorhanden und bildet die Schicht zwischen Bekleidungselement und Wärmedämmung bzw. tragender Wand bei ungedämmten Verhältnissen. Um eine ständige Zirkulation zu gewährleisten muss ein weiteres Merkmal der VHF vorhanden sein. Der Hinterlüftungsraum muss sowohl über eine Zuluftöffnung an der Unterseite als auch eine Abluftöffnung an der Oberseite besitzen. (8)

Auf die primären Bestandteile wurde in ein paar Schlagworten schon im Kapitel 2.3.3.1 eingegangen. In diesem Unterkapitel werden die Bestandteile passend zum Grundlagenkapitel 3 dem Leser näher gebracht.

#### **3.5.1 Bekleidungselemente**

Bekleidungselemente haben bei der VHF zwei Funktionen zu erfüllen. Dies ist einerseits der Schutz vor Witterungseinflüssen wie z.B. Sonneneinstrahlung, Regen und Schnee - eine Dauerhaftigkeit und Frostbeständigkeit der Elemente ist somit obligat. Andererseits dienen die

Bekleidungs-elemente als Gestaltungselement für Planer und Bauherr. Neben diesen zwei Hauptfunktionen gibt es noch eine Reihe weiterer Punkte, die es bei der Planung der Bekleidung zu beachten gibt.

- Fugenausbildung,
- Farbechtheit, Farbunterschiede bzw. Farbtoleranzen,
- Materialreflexionen und -spiegelungen,
- Befestigungsmittel bzw. -art,
- statische Bemessung der Bekleidungs-elemente. (8)

Als Werkstoffe für die Bekleidungs-elemente bietet der Baustoffmarkt eine Vielzahl an Möglichkeiten, wobei in der Literatur zwischen leichten und schweren hinterlüfteten Fassadenverkleidungen unterschieden wird. Grundsätzlich können diese Kategorien nochmals in klein- und großformatige Elemente unterschieden werden. Von kleinformatigen Elementen spricht man, wenn die Elementfläche  $< 0,4 \text{ m}^2$  und/oder das Stückgewicht weniger als 5 kg beträgt. Wird zumindest eine dieser Grenzen überschritten, so ist sowohl für das Bekleidungs-element als auch für dessen Verbindungsmittel zur Unterkonstruktion eine statische Bemessung oder bauaufsichtliche Zulassung erforderlich. (12; 59; 60; 6)

**Tabelle 3-2: Arten und Einteilung von Bekleidungs-elementen nach (6; 8)**

Bekleidungs-elemente		
	<i>Leichte Elemente</i>	<i>Schwere Elemente</i>
Holzschindeln/Holzwerkstoffe	x	
Faserzement	x	
Dachziegel	x	
Metalle	x	
Kunststoffe	x	
High pressure laminate (HPL)	x	
Glas		x
Zweischaliges Mauerwerk		x
Naturwerkstein		x
Keramik		x
Beton		x

### 3.5.2 Hinterlüftungsraum

Der Hinterlüftungsraum ist das Herzstück jeder Fassade. Dieser trennt das Bekleidungs-element von der übrigen Konstruktion, wie der Unterkonstruktion, der Tragwand und einer eventuellen Wärmedämmung. Die Aufgaben des Luftspalts liegen dabei in der Regulierung des Feuchtehaushalts und in der Wirkung als Temperaturpuffer sowohl im Winter als auch im Sommer. Die anfallende und abzuführende Feuchte stammt dabei aus folgenden Quellen:

- *Baufeuchte bei Neubauten* bei Baustoffen denen ein Wassergehalt von Natur aus gegeben ist, wie Holz oder deren Herstellung eine Wasserzugabe verlangt (Mörtel, Beton),
- *Eindringende Feuchte aus Schlagregenereignissen* – Die VHF zählt nach ÖNORM EN 12154:2000 (22) zur Belastungsgruppe III und gilt als schlagregendicht. Durch die Konstruktionsweise mit offenen Fugen kann es dennoch der Fall sein, dass es zu einem Feuchteeintrag kommt, da der Hinterlüftungsraum als Druckausgleichsraum arbeitet und der Schlagregen an der Rückseite des Bekleidungselements abrinnen kann,
- *Tauwasserbildung* infolge der Kombination aus hoher Luftfeuchtigkeit untertags und einen Temperaturabfall in den Nachtstunden. (8; 12; 23)

Damit der Hinterlüftungsraum seine Funktion erfüllen kann, muss dieser ausreichend konstruktiv ausgebildet sein. Genaueres hierzu findet sich in der Richtlinie des ÖFHF (8) wieder.

### 3.5.3 Befestigungsmittel

Von Befestigungsmittel ist die Rede bei Verbindungsmittel zwischen den Bekleidungselemente mit der Unterkonstruktion einer VHF. Diese wird in den meisten Fällen durch metallische Komponenten gewährleistet, kann aber auch durch Kleben der Bekleidungselemente an die metallischen Profile der Unterkonstruktion erfolgen. (8)

Die einzusetzenden Baustähle haben dabei aus nichtrostenden Stählen gemäß der ÖNORM EN 10088-3:2014 (61) gefertigt zu sein und der Korrosionsbeständigkeitsklasse III der bauaufsichtlichen Zulassung Z-30.3-6 (62) zu entsprechen (57). Prinzipiell gilt, dass jedes Verbindungselement in der jeweiligen nationalen bzw. internationalen Norm geregelt sein muss bzw. über Zulassungen oder Prüfzeugnisse den Anwendungsfall der VHF abdecken. Dies kann über eine Gesamtzulassung der kompletten VHF, über die Zulassung des Bekleidungselements oder selbstständig als Einzelzulassung erfolgen. (12)

Grob unterscheiden kann man die Befestigungsmittel in sichtbare und unsichtbare Befestigungsmittel. Die Auflistung unterhalb gibt ebenfalls die Anwendungsnorm an wo die einzelnen Befestigungsmittel geregelt sind (falls vorhanden). Hinsichtlich einer Vertiefung zu den konstruktiven Durchbildungen und Prinzipzeichnungen der einzelnen Befestigungsmitteln sei an dieser Stelle auf die aufgelisteten Dokumente unterhalb verwiesen.

- sichtbare Befestigungsmittel
  - Schraubanker – DIN 18516-3:2018 (57),
  - Blindnieten – Bauaufsichtliche Zulassung Z-14.1-4 (63),



- Klammern – sind bauaufsichtlich zugelassen und beispielsweise für Fabrikate der Fa. AGROB BUCHTAL auf (64) einsehbar
- Ankerdorne – DIN 18516-3:2018 (57).
- unsichtbare Befestigungsmittel
  - Hinterschnittanker – sind bauaufsichtlich zugelassen und beispielsweise für Fabrikate der Fa.Keil auf (65) einsehbar,
  - Steckdorne – DIN 18516-3:2018 (57),
  - Nutlagerungen – DIN 18516-3:2018 (57),
  - Klammern - sind bauaufsichtlich zugelassen und beispielsweise für Fabrikate der Fa. AGROB BUCHTAL auf (64) einsehbar,
  - Klebefestigung - sind bauaufsichtlich zugelassen und werden beispielsweise für angebotene Komplettsysteme der Fa. Hilti verwendet (19); die Produkt- und Sicherheitsdatenblätter des speziell ausgelegten Klebstoffs kann beispielsweise für die Fa. Sika auf (66) nachgeschlagen werden.

#### **3.5.4 Dämmstoffe**

In aller Regel werden hinterlüftete Fassadensysteme mit Dämmstoffen ausgestattet, welche als nicht brennbar klassifiziert werden. In den einschlägigen Fachnormen ÖNORM B 6000:2018 (16) und ÖNORM B 3806:2012 (67) sind die zulässigen Dämmstoffe einer VHF zum nachschlagen. Um die Dämmstoffe vor UV-Strahlung und Feuchteinwirkungen zu schützen ist unter gewissen Umständen das Anbringen einer Unterdeckbahn bzw. Vlieskaschierung notwendig. Die Unterdeckbahn hat dabei den Anforderungen der ÖN B 3661:2018 (68) zu genügen und vom Typ UD do-s bzw. DU do-k zu sein. (6)

#### **3.5.5 Unterkonstruktionen**

Die Unterkonstruktion einer VHF stellt das Bindeglied zwischen Bekleidungs-element und Rohbauwand statt. Durch die Unterkonstruktion werden sowohl die Eigengewichtslasten aus dem Bekleidungs-element und des Konstruktionsgewichts der Unterkonstruktion abgetragen, als auch die veränderlichen Einwirkungen aus Wind-, Nutz-, Anprall- oder Erdbebenlasten. (6)

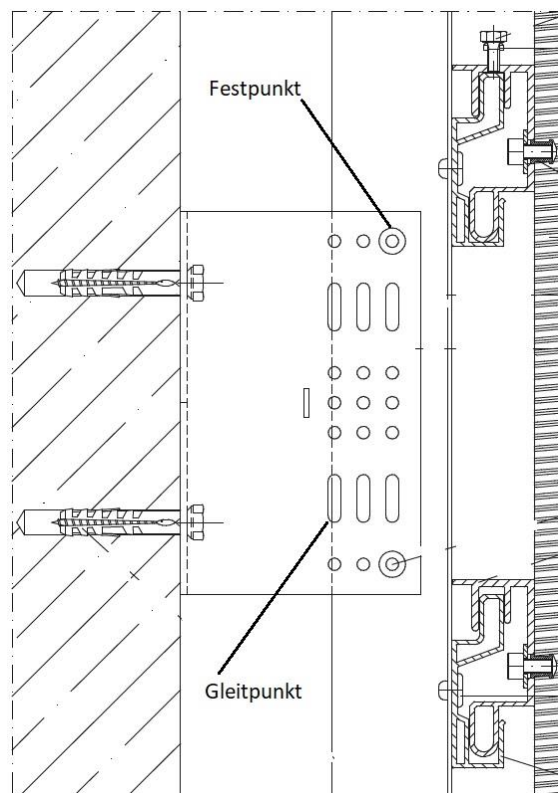
Prinzipiell kann die Ausführung einer VHF mit Unterkonstruktion mit jedem Befestigungsmittel aus dem Kap. 3.5.3 erfolgen. Das statische System und somit auch die Lagerungsbedingungen sind aber grundlegend unterschiedlich gegenüber einer VHF mit Dornlagerung und Einmörtelanker (Kap. 3.4.6). Aufgrund dessen, dass bei einem System mit Unterkonstruktion die Befestigungspunkte der Bekleidungs-elemente und die Verankerungspunkte der Unterkonstruktion die idente Position aufweisen, kommt es zu einer gegenseitigen Beeinflussung dieser zwei Elemente. Hinsichtlich der Berücksichtigung der entstehenden Zwangskräfte sei auf

die DIN 18516-1:2010 (17) verwiesen. Unabhängig von Zwängungen ist die Materialauswahl, welche für die Herstellung von Unterkonstruktionen herangezogen wird. Folgende Materialien sind derzeit am Markt erhältlich:

- Metallunterkonstruktionen,
- Holzunterkonstruktion,
- Materialkombinationen,
  - Kombination aus Stahl, Holz und faserverstärkten Kunststoff. (8)

Die Bemessung der Unterkonstruktion erfolgt nach den geltenden Normen aus Kap. 3.4. Um der geringen Systemsteifigkeit entgegenzuwirken, ist es ratsam eine Verformungsbegrenzung von  $L/300$  bei Windbelastungen zu definieren. (7)

Als Vorteile bringen Unterkonstruktionen eine schnelle Montagezeit und je nach System einen hohen Vorfertigungsgrad mit. Des Weiteren können Lasten etagenweise eingeleitet werden und somit statisch kritische Stellen wie Mauerwerkswände umgangen werden. (69)

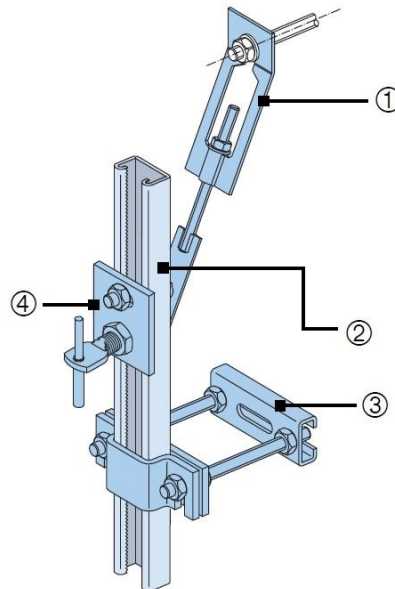


**Abbildung 3-8: Verhinderung von Zwängungen - Ausführung Fest und Gleitpunkte VHF nach (70)**

### 3.5.5.1 Vertikalschienensystem

Vertikalschienensysteme sind im Gegensatz zu den Horizontalschienensystemen aus Kap. 3.5.5.2. die statisch effektiveren Lösungen. Die Schienen werden in diesem Fall hauptsächlich auf Zug belastet und müssen lediglich ein Versatzmoment, resultierend aus dem Plattengewicht und dem

Abstand von der Platte bis zum Schwerpunkt der Schienen, aufnehmen. Im unterhalb ersichtlichen Vertikalschienensystem der Firma Halfen, welches für Natursteine ausgelegt ist, werden die Platten über einen Traganker, welcher als Dornlager ausgebildet ist, mit der Schiene verbunden. Die Position 3 ist in der Höhe verstellbar und für die horizontale Abstützung der Zahnschiene verantwortlich. Über die Pos. 1 wird das Schienenelement über einen entsprechenden Dübel mit bauaufsichtlicher Zulassung an der tragenden Wand befestigt. (20)



- ① Abhänger befestigt mit Dübel
- ② Schiene
- ③ Druck-Zug-Abstützung
- ④ SUK-TSG Design 1 inkl. Befestigungsgarnitur

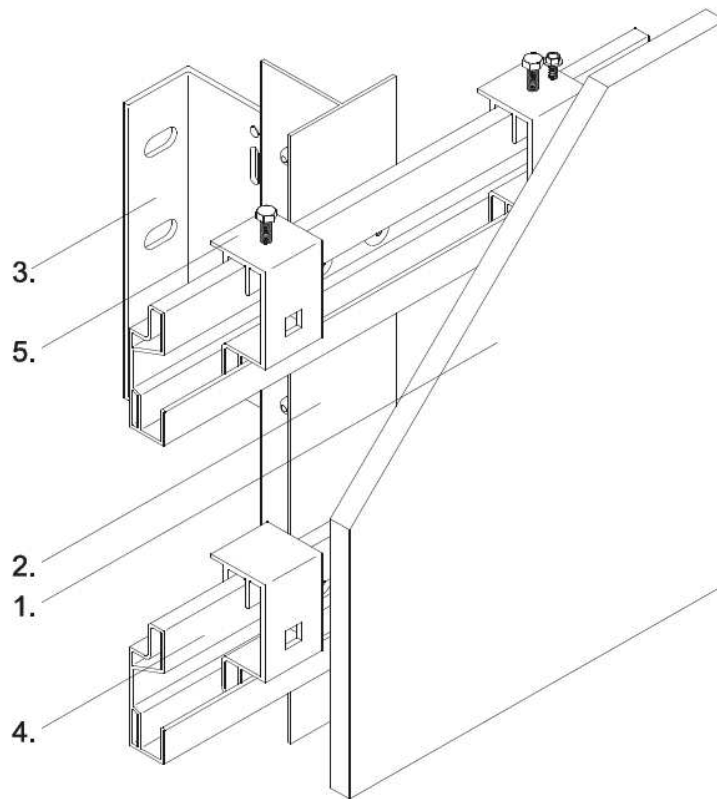
**Abbildung 3-9: Vertikalschienensystem Fa. Halfen (20)**

### 3.5.5.2 Horizontalschienensystem

Bei einem Horizontalschienensystem erfolgt die Lastabgabe komplexer als beim Vertikalschienensystem. (7) Die Beschreibung erfolgt für das System der Fa. Systema. Das Bekleidungs-element [1] ist in Abb. 3-10 über den Hinterschnittanker mit den sogenannten Agraffen [5] verbunden. Anschließend wird die Platte samt Agraffen in die Horizontalschienen [4] eingehängt und mittels Stellschraube befestigt. Durch diese Befestigungsmethode bleibt bei der Montage ein gewisser horizontaler Toleranzbereich für die Feinjustierung verfügbar. Die Horizontalschienen werden wiederum über Niete an die Vertikalschienen [2] angeschlossen. Zum Abschluss wird nun das komplette System über Niete an einer L-förmigen Konsole befestigt. Die Konsole ist ihrerseits an der Tragwand mittels Dübel befestigt. (70)

Aufgrund der verfügbaren C-Profile, deren zulässige Spannweite und den am Markt erhältlichen großen Plattengrößen, müssen die Agraffen aber in der Nähe der Vertikalschienen positioniert

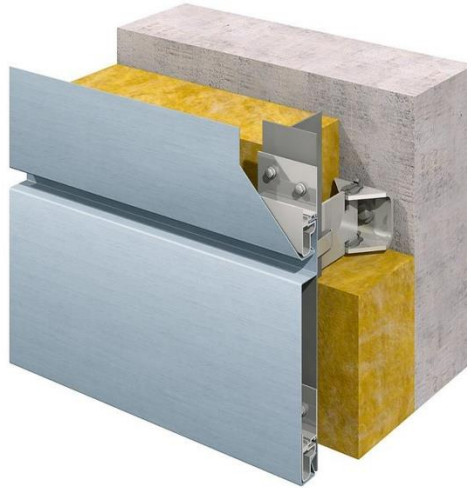
werden und aus dem eigentlichen Horizontalschienensystem wird wiederum ein Vertikalschienensystem (7).



**Abbildung 3-10: Horizontalschienensystem Fa. Systema (70)**

### 3.5.5.3 Kassettensystem

Kassettensysteme sind nahezu ident aufgebaut wie gewöhnliche Vertikalschienensysteme. Durch den höheren Herstellungsaufwand und den hohen Vorfertigungsgrad unterscheiden sich diese zwei Systeme aber deutlich. Die Fassadenplatten werden bei Kassettenelementen abschließend nur noch eingehängt. Das Befestigungselement entfällt. Die unterhalb ersichtliche Abbildung zeigt das Kassettensystem der Fa. Rheinzink. Hier wird das metallene Fassadenelement an der Befestigungsschiene eingehängt, welche wiederum mittels Nieten an der Vertikalschiene befestigt wird. (71) Seine Vorteile spielt dieses System aus, wenn die Achsabstände der Unterkonstruktion größer werden als die Plattenabmessungen (7).



**Abbildung 3-11: Detail Kassettenelement Fa. Rheinzink (71)**

### 3.5.6 Verankerungen

Die Verankerungen für die VHF werden in drei große Untergruppen eingeteilt:

- Einmörtelanker,
- Schnellmontageanker,
- Unterkonstruktionen. (7)

wobei letztere schon im Kap. 3.5.5 behandelt wurden und hier nur noch aufgelistet werden, weil Unterkonstruktionen als eigener Bestandteil der VHF, aber auch in der Literatur (7; 69) als Verankerungstyp gilt. Die Verankerungselemente unterliegen, wenn überhaupt reguliert, den nationalen und internationalen Normen wie im Falle der Einmörtelanker der DIN 18516-3:2018 (57) und müssen gegebenenfalls über bauaufsichtliche Zulassungen und Herstellervorschriften geregelt werden, wenn keine Norm dafür vorgesehen ist, wie es für die Schnellmontageanker und die Unterkonstruktion zutreffend ist (7; 8). Für die Werkstoffauswahl der Verankerungselemente kommt für Einmörtelanker und Schnellmontageanker ausschließlich nichtrostender Stahl gemäß ÖNORM EN 10088-3:2014 (61) der Korrosionsbeständigkeitsklasse III in Frage (57).

#### 3.5.6.1 Einmörtelanker

Einmörtelanker sind aus Stahl gefertigt und werden wie der Name schon suggeriert, in ein Bohrloch bis zu einer gewissen Einbindetiefe eingeführt und anschließend eingemörtelt (7). Prinzipiell wird bei den Einmörtelanker in Trag- und Halteanker unterschieden, die unterschiedliche Aufgaben bei der Lastabtragung erfüllen. Traganker sind in alle drei Richtungen lastaufnehmend und geben diese auch an die Tragschale ab. Halteanker hingegen können nur Lasten aus Windeinwirkungen und Zwängungen übernehmen und abgeben. (1)

Die DIN 18516-3:2018 (57) definiert hierbei sieben Ankertypen hinsichtlich des Ankerquerschnitts und regelt auch das Bemessungskonzept (57). Eine übersichtliche Zusammenstellung findet sich im Skriptum Hochbaukonstruktion 1 Teil B (1) wieder. Um dem Anwender die Bemessung zu erleichtern werden von den Herstellern Bemessungstabellen zur Verfügung gestellt, welche anhand der benötigten Kraglänge des Ankers und der erforderlichen Tragkraft eine rasche Bemessung und Auswahl ermöglichen. Beispielsweise nachzuschlagen in den Bemessungstabellen der Fa. Halfen (20).

### 3.5.6.2 Schnellmontageanker

Schnellmontageanker erfreuen sich in der heutigen Zeit großer Beliebtheit, weil der Faktor Zeit eine immer größere Rolle spielt. Die Vorteile liegen gegenüber Einmörtelankern klar auf der Hand:

- Entfall der Aushärtezeit und somit sofort belastbar,
- die Bohrlochdimension fällt wesentlich kleiner aus und somit besteht eine kürzere Herstellzeit und ein miniertes Risiko auf die Bewehrung zu stoßen und diese zu beschädigen,
- Entfall von Mörtelmaterial,
- größere Anpassbarkeit durch die Justage in alle drei Richtungen.

Bei diesem Ankertyp werden Trag- und Halteanker mit Dübeln an der Rohbauwand angeschraubt oder an einbetonierten Ankerschienen befestigt. Diese Produkte benötigen stets eine bauaufsichtliche Zulassung. (7)

Im Falle des Schnellmontageankers der Fa. Halfen, dem sogenannten „Body Anker“ erfolgt die Plattenlagerung mittels Dornen. Die vertikalen Lasten werden über den Body Anker an den Bolzenanker weitergeleitet, welcher den kraftschlüssigen Verbund zwischen Schnellmontageanker und Untergrund herstellt. Die Bemessung erfolgt wie schon beim Einmörtelanker über Bemessungstabellen. (20)

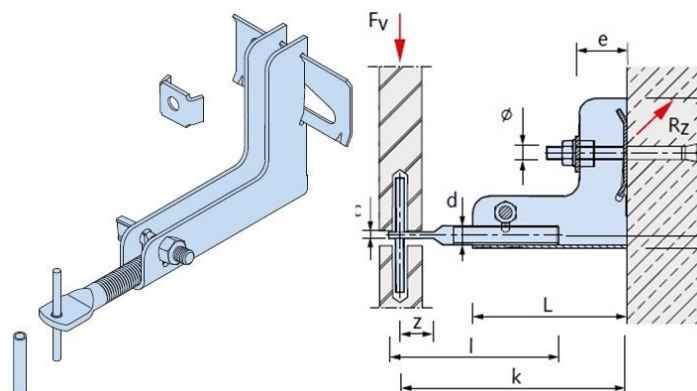


Abbildung 3-12: Schnellmontageanker Fa. Halfen (Body Anker DT) nach (20)

## 4 Einwirkungen auf die VHF

Die Festlegungen der Einwirkungen, welche auf ein Bauwerk oder Bauteil wirken, gestaltet sich in der heutigen Zeit als sehr komplex. Durch die Vielzahl an verfügbaren Normen ist es für den Bauplaner oftmals sehr schwierig, die richtige Norm bzw. Festlegung in der Norm für die jeweilige vorherrschende Situation zu finden. (72)

Querverweise zwischen den Anwendungsdokumenten sind oftmals keine Seltenheit und kommen erschwerend zu der Einwirkungsermittlung dazu. Während die Ermittlung der Eigengewichts-, Wind-, Schnee- und gewöhnlichen Nutzlasten des Hochbaus in der Regel keinen großen Arbeitsaufwand bedeuten und durch diverse Bemessungsprogramme am Markt automatisiert für die jeweilige Gegebenheit erzeugt werden können, sind es außergewöhnliche Einwirkungen wie Anprall und Explosionslasten oder auch Einwirkungen durch Erdbeben, die den Bauplaner aufgrund der nicht alltäglichen Einwirkungssituation und der undurchsichtigen normativen Situation ein hohes Know-How abfordern. Im Hinblick auf die Einwirkungsermittlung der VHF bedeutet das, dass oftmals außergewöhnliche Einwirkungen wie Anprall-, Explosion- oder Erdbebeneinwirkungen aufgrund der oberhalb genannten Gründe nicht, selten, nicht konsequent oder falsch ermittelt und angewendet werden. Erkennbar wird dies beim Betrachten von diversen Bemessungstabellen für die Auslegung der VHF und durch Gespräche mit Herstellern und Planern über diese Thematik. Dieses Kapitel wird sich daher im Besonderen mit der Einwirkungsermittlung von Anprall, Erdbeben und Explosionslasten bei der VHF beschäftigen, um Herstellern und Planern in Zukunft einen besseren Überblick diese Einwirkungsermittlung zu geben. Zuerst werden aber kurz die gewöhnlichen Einwirkungen der VHF beschrieben. Ehe zu den außergewöhnlichen Lasten übergegangen wird. Für die folgenden Kapitel werden ausschließlich die nationalen Anhänge von Österreich herangezogen.

### 4.1 Sicherheitskonzept Eurocode

Seit dem 1.6.2009 müssen für die Tragwerksplanung und somit auch für die Ermittlung der Einwirkungen die sogenannten Eurocode EN 1990ff herangezogen werden und zusätzlich die nationalen Anwendungsdokumente welche an B 1990ff zu erkennen sind (73). Die mathematische Basis mit der das Sicherheitskonzept der Eurocodes arbeitet und welches ein Optimum zwischen ausreichend großer Bauwerkssicherheit und Wirtschaftlichkeit erreichen soll, ist ein semi-probabilistisches Sicherheitskonzept. Dies deckt sämtliche Unsicherheitsfaktoren, die durch Einwirkungen, aber auch Tragwerkswiderstände wie Materialschwachstellen entstehen ab. (72)

Das Berechnungsverfahren der ÖNORM EN 1990:2013 (35) wurde derart ausgelegt, dass Einwirkungen und Baustoffeigenschaften mit charakteristischen Werten dargestellt werden und

die Unsicherheiten durch Multiplikation und Division durch Teilsicherheitsbeiwerte abgedeckt sind. Wobei die charakteristischen Werte, der ständigen Einwirkungen, in der Regel als Mittelwert angegeben werden und für veränderliche Einwirkungen in der Regel der 98 %- Quantilwert dargestellt wird, welche auf eine Bezugsdauer von einem Jahr berechnet wird. Dies bedeutet wiederum, dass es einmal in 50 Jahren zum Erreichen oder Überschreiten dieses Werts kommt. Auf der Widerstandsseite finden sich die charakteristischen Festigkeitswerte von Materialien auf Basis von 5 %- bzw. 95 %-Quantilwerten wieder. Bei Steifigkeitswerten wird hingegen der Mittelwert angegeben. In diesem Zusammenhang spricht man auch vom semi-probabilistischen Sicherheitssystem. Dies bedeutet mathematisch, dass ausschließlich deterministische Größen zur Anwendung kommen, aber probabilistisch kalibrierte Sicherheitselemente berücksichtigt werden, um den geforderten Zuverlässigkeitsindex  $\beta$  zu erreichen. (72; 74)

Dieser liegt im Allgemeinen bei einer Benutzungsdauer von 50 Jahren für den Grenzzustand der Tragfähigkeit bei  $\beta=3,8$  für die Gebrauchstauglichkeit bei  $\beta=1,5$  und für den Grenzzustand, welcher sich mit der Ermüdung beschäftigt, bei  $\beta=1,5-3,8$ . (73)

#### 4.1.1 Bemessungswerte Tragfähigkeitsnachweis

Den Abschluss dieses semi-probabilistischen Sicherheitskonzepts bildet der Vergleich der Bemessungswerte der Einwirkungen mit den entsprechenden Bauwerks-/ Bauteilwiderstands. Für einen positiven Tragfähigkeitsnachweis darf die Einwirkung maximal gleich groß wie der Tragwiderstand sein.

$$E_d \leq R_d \quad (4.1)$$

- $E_d$  ist der Bemessungswert der Auswirkung der Einwirkung,
- $R_d$  ist der Bemessungswert des Tragwiderstand.

Bei der Bildung von  $E_d$  ist auf die Bemessungssituation Rücksicht zu nehmen. Es werden drei Unterscheidungen durch die ÖNORM EN 1990:2013 (35) getätigt. Außerdem ist zur erwähnen, dass sich  $E_d$  in der Regel aus mehreren Einwirkungen wie Eigengewicht, Nutzlast, Schneelast und dergleichen zusammensetzt. Die Kombinationsregeln zur Ermittlung der Beanspruchung  $E_d$  werden in der ÖNORM EN 1990:2013 (35) wie folgt definiert: (72)

#### Ständige und vorübergehende Bemessungssituation

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} * G_{k,j} \text{ "+" } \gamma_p * P \text{ "+" } \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i} \right\} \quad (4.2)$$



### Außergewöhnliche Bemessungssituation

$$E_{dA} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \cdot P + A_d + (\psi_{1,1} \text{ oder } \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\} \quad (4.3)$$

### Bemessungssituation Erdbebeneinwirkung

$$E_{dA} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \cdot P + A_{Ed} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\} \quad (4.4)$$

Die Abkürzungen und Symbole bedeuten dabei folgendes:

- "+" bedeutet, dass die Einwirkungen miteinander kombiniert werden,
- $Y_G, Y_Q, Y_P$  sind die jeweiligen Teilsicherheitsbeiwerte nach ÖNORM EN 1990:2013 (35) - siehe Abb. 4-1,
- $\Psi_0, \Psi_1, \Psi_2$  sind die jeweiligen Kombinationsbeiwerte nach ÖNORM EN 1990:2013 (35). Aufgrund dessen, dass veränderliche Einwirkungen unterschiedlich oft auftreten können werden diese mit verschiedenen Kombinationsbeiwerten beaufschlagt.  $\Psi_0$  findet den Einsatz bei nicht umkehrbaren Auswirkungen. Es kommt zu keiner Unterschreitung der Zuverlässigkeit.  $\Psi_1$  kommt bei umkehrbaren Auswirkungen zum Einsatz. Hinsichtlich der Zuverlässigkeitsüberschreitung wird maximal 1% im Bezugszeitraum toleriert.  $\Psi_2$  ist der Beiwert für den quasi-ständigen Wert  $\Psi_2 \cdot Q_k$ . Hier liegt die Zuverlässigkeitsüberschreitung bei 50 % im Bezugszeitraum.
- $G_{k,j}, P_k$  sind die charakteristischen Werte der ständigen Einwirkungen und Vorspannung, wobei die Vorspannung  $P_k$  in weiterer Folge für die Einwirkungsermittlung von VHF keine Rolle spielt,
- $Q_{k,1}$  ist der charakteristische Wert der veränderlichen, unabhängigen Leiteinwirkung,
- $Q_{k,i}$  ist der charakteristische Wert der weiteren veränderlichen, unabhängigen Einwirkungen,
- $A_d$  ist der Bemessungswert einer außergewöhnlichen Einwirkung wie Anprall, Brand oder Explosion,
- $A_{Ed}$  ist der Bemessungswert der Erdbebeneinwirkung. (72)

Die Teilsicherheitsbeiwerte der ÖNORM EN 1990:2013 (35) für die Einwirkungsseite sind für die Bemessungssituationen wie folgt festgelegt:

- Ständige Bemessungssituation
  - $Y_G : 1,35,$

- $Y_Q : 1,50$ .
- Außergewöhnliche Bemessungssituation
  - $Y_G = Y_Q : 1,00$ . (34; 35)

Die ÖNORM EN 13830:2015 (5) gibt zwar abweichend zur ÖNORM EN 1990:2013 (35) Teilsicherheitsbeiwerte für die Vorhangfassadenstruktur und deren Ausfachungspaneele an. Die ÖNORM EN 13830:2015 (5) stellt aber nur auf die Grundkombination (ständig und vorübergehend) im Grenzzustand der Tragfähigkeit ab und gibt keine Angaben hinsichtlich außergewöhnlicher Kombination. Die Teilsicherheitsbeiwerte aus der ÖNORM EN 13830:2015 (5) lauten wie folgt:

- Vorhangfassadenstruktur,
  - Veränderliche Einwirkung,
    - Günstig wirkend  $Y_{Q,inf} : 0$ ,
    - Ungünstig wirkend  $Y_{Q,sup} : 1,25$ ,
  - Ständige Einwirkung,
    - Günstig wirkend  $Y_{G,inf} : 1,0$ ,
    - Ungünstig wirkend  $Y_{G,sup} : 1,15$ ,
- Ausfachungspaneel,
  - Veränderliche Einwirkung,
    - Günstig wirkend  $Y_{Q,inf} : 0$ ,
    - Ungünstig wirkend  $Y_{Q,sup} : 1,1$ ,
  - Ständige Einwirkung,
    - Günstig wirkend  $Y_{G,inf} : 1,0$ ,
    - Ungünstig wirkend  $Y_{G,sup} : 1,1$ . (5)

Tab. 4-1 stellt die Kombinationsbeiwerte gemäß ÖNORM EN 1990:2013 (35) dar. Hierzu gibt es keine nationalen Ergänzungen in der ÖNORM B 1990-1:2013 (34). (34)

Gegenüber dem Kombinationsbeiwert  $\psi_1 = 0,2$  für Windeinwirkung aus der ÖNORM EN 1990:2013 (35) gibt die DIN 18516-3:2018 (57) hierfür  $\psi_1 = 0,5$  an (57). Für die weitere Vertiefung hinsichtlich Einwirkungsermittlung der VHF unter außergewöhnlicher Belastung werden nun nochmals die drei Bemessungssituationen für die Ermittlung der Einwirkung  $E_d$  unter Berücksichtigung der oberhalb ersichtlichen Teilsicherheitsbeiwerte, dargestellt.

**Tabelle 4-1: Kombinationsbeiwerte nach (35)**

Einwirkungstyp	Kombinationsbeiwert		
	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
Hochbaunutzlasten gemäß ÖNORM EN 1991-1-1:2011 [39] bzw. ÖNORM B 1991-1-1:2017 [119]			
<i>Kategorie A: Wohngebäude</i>	0,7	0,5	0,3
<i>Kategorie B: Bürogebäude</i>	0,7	0,5	0,3
<i>Kategorie C: Versammlungsbereiche</i>	0,7	0,7	0,6
<i>Kategorie D: Verkaufsflächen</i>	0,7	0,7	0,6
<i>Kategorie E: Lagerflächen</i>	1,0	0,9	0,8
<i>Kategorie F: Wanderlasten (Fahrzeuge bis 30 kN)</i>	0,7	0,7	0,6
<i>Kategorie G: Wanderlasten (Fahrzeuge zwischen 30 und 160 kN)</i>	0,7	0,5	0,3
<i>Kategorie H: Dachlasten</i>	0,0	0	0
Schneelasten gemäß ÖNORM EN 1991-1-3:2016 [132] bzw. ÖNORM B 1991-1-3:2018 [131]			
<i>Ortschaften in CEN Ländern ≤ 1000m über NN</i>	0,5	0,2	0,2
<i>Ortschaften in CEN Ländern &gt; 1000m über NN</i>	0,7	0,5	0,2
<i>Norwegen, Schweden, Finnland, Island</i>	0,7	0,5	0
Windlasten gemäß ÖNORM EN 1991-1-4:2011 [41] bzw. ÖNORM B 1991-1-4:2019 [120]	0,6	0,2	0
Gewöhnliche Temperaturlasten gemäß ÖNORM EN 1991-1-5:2012 [133] bzw. ÖNORM B 1991-1-5:2012 [134]	0,6	0,5	0

**Ständige und vorübergehende Bemessungssituation**

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} 1,35 * G_{k,j} + 1,50 * Q_{k,1} + \sum_{i > 1} 1,50 * \psi_{0,i} * Q_{k,i} \right\} \quad (4.5)$$

**Außergewöhnliche Bemessungssituation**

$$E_{dA} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} 1,00 * G_{k,j} + A_d + (\psi_{1,1} \text{ oder } \psi_{2,1}) * Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} * Q_{k,i} \right\} \quad (4.6)$$

**Bemessungssituation Erdbebeneinwirkung**

$$E_{dA} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} 1,00 * G_{k,j} + A_{Ed} + \sum_{i > 1} 0,00 * Q_{k,i} \right\} \quad (4.7)$$

Für die Bemessungssituation bei Erdbebeneinwirkung werden für die Einwirkungsermittlung keine veränderlichen, unabhängigen Einwirkungen berücksichtigt, weil die einzig möglichen Einwirkungen wären Windlasten und Temperatureinwirkungen, welche gemäß ÖNORM EN 1990:2013 (35) mit einem Kombinationsbeiwert  $\Psi_2=0,00$  multipliziert werden.

## 4.2 Einwirkung Eigengewicht

Die Einwirkung aus den Eigengewichtslasten für die VHF wird hauptsächlich durch das Bekleidungs-element bestimmt. Die zusätzlichen geringen Eigengewichtslasten durch Befestigungselemente (Nieten, Hinterschnittdübel, Dorne etc.) und Profile der Unterkonstruktionen werden in den Bemessungsbeispielen der Fachliteratur (7; 69; 75) aufgrund des geringen Einflusses nicht berücksichtigt. Die Ermittlung der Eigengewichtslasten der Bekleidungs-elemente ist durch folgende Möglichkeiten bestimmbar:

- Wichten- und Flächenlasttabellen aus der ÖNORM B 1991-1-1:2017 (36),
- aus Prüfprotokollen bei Materialprüfungen. (7)

In der Tab. 4-2 sind die Wichten jener Baustoffe dargestellt, welche für die Bekleidungs-elemente in Frage kommen. Die Werte für die Wichten wurden größtenteils aus der ÖNORM B 1991-1-1:2017 (36) übernommen und fehlende Wichten für Baustoffe, wie Keramik oder HPL wurden durch entsprechende Fachliteratur ergänzt.

**Tabelle 4-2: Zusammenstellung Baustoffwichten von Bekleidungs-elemente nach (76; 77; 78; 36)**

Baustoff	Wichte [kN/m <sup>3</sup> ]
Stahlbeton	25
Naturstein	
<i>Granit, Syenit, Porphy</i>	27-30
<i>Basalt, Diorit, Gabbro</i>	27-31
<i>Trachyt</i>	26
<i>Grauwacke, Sandstein</i>	21-27
<i>Dichter Sandstein</i>	20-29
<i>Kalksandstein</i>	20
<i>Tuffstein</i>	20
<i>Gneis</i>	30
<i>Schiefer</i>	28
Keramik	13-23
HPL	14
Einfache Schieferdeckung	0,50
Doppelte Schieferdeckung	0,60
Faserzementplatten inkl. Schalung	0,25-0,40
Faserzementplatten-Wellplatten	0,20
Dachziegeln	0,45-0,90
Metallfassade	0,025-0,07

### 4.3 Einwirkung Windlast

Die Windeinwirkung gilt unter der Vielzahl an möglichen Einwirkungen als zeitlich veränderliche Einwirkung. Die normative Regelung der Windlastermittlung erfolgt in Österreich durch die ÖNORM B 1991-1-4:2019 (40). Die resultierenden Winddrücke werden nach Norm in Außen- und Innendruck unterschieden. Wobei bei einer dichten Außenwand ohne Öffnungen kein Innendruck anzusetzen ist. (72)

Die VHF ist in dieser Hinsicht speziell zu betrachten, denn je nach vorliegendem System kann durch den Fugenteil und die Größe des Hinterlüftungsraums ein Ansetzen des Innendrucks notwendig werden. Die DIN 18516-1:2010 (17) regelt hierzu folgende Kriterien, um schlussendlich den Druckbeiwert  $c_{p,net} = \pm 0,5$  sowohl für den Außen- als auch für den Innendruck ansetzen zu dürfen:

- eine Windsperre muss an den vertikalen Gebäudekanten vorhanden sein, um Verwirbelungen im Eckbereich zu vermeiden - siehe Abb. 4-1,
- das Verhältnis von Fläche der Öffnungen ( $A_F$ ) zur Fläche der Außenwandbekleidung ( $A_{AW}$ ) muss  $\geq 0,75 \%$  sein,
- die Öffnungen müssen über die komplette Fassadenfläche gleichmäßig verteilt sein
- der Hinterlüftungsraum muss  $\leq 100 \text{ mm}$  sein. (17)

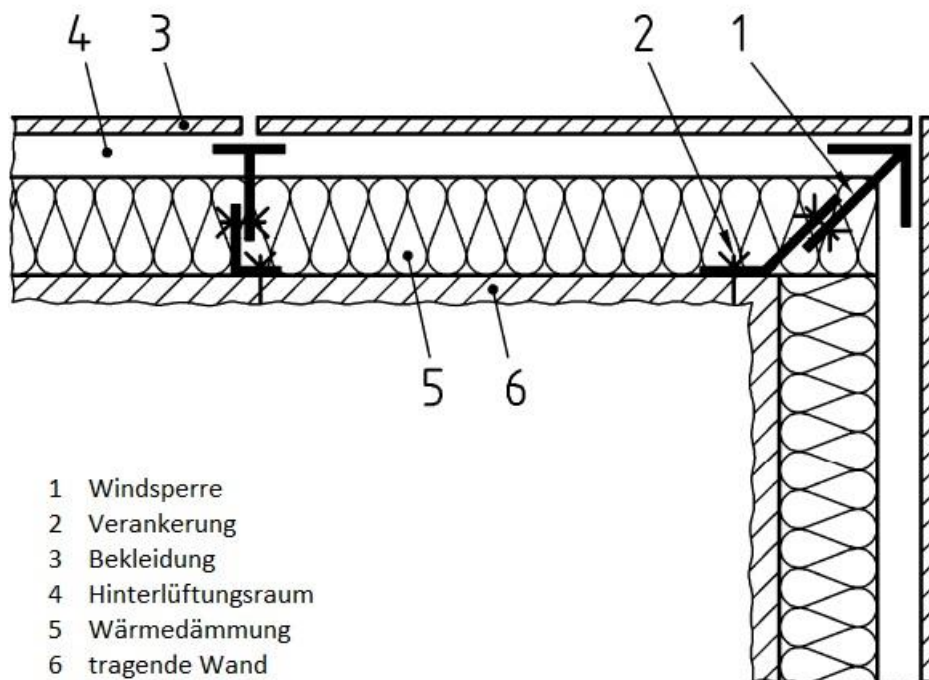


Abbildung 4-1: Prinzipskizze Windsperre (17) - „Wiedergegeben mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Maßgebend für das Anwenden der DIN-Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum.“

Somit gelten unter Berücksichtigung der Winddichtheit der VHF folgende formellen Zusammenhänge:

$$w_e = c_{pe} * q_p(z_e) \quad (4.8)$$

$$w_i = c_{pi} * q_p(z_i) \quad (4.9)$$

Die Abkürzungen stehen dabei für folgendes:

- $w_e, w_i$  sind die resultierenden Winddrücke auf die Außen- und Innenflächen,
- $c_{pe}, c_{pi}$  sind die Winddruckbeiwerte für die Windbereiche eines Gebäudes (Druckwand, Sogwand, Seitenwand, Dachbereiche),
- $q_p(z_e), q_p(z_i)$  sind die Böengeschwindigkeitsdrücke.

Im Hinblick auf die Ermittlung der Winddrücke für die VHF sind nur die Winddruckbeiwerte für vertikale Wände gemäß Tabelle 7.1 aus der ÖNORM B 1991-1-4:2019 (40) von Relevanz. Bei den Winddruckbeiwerten wird normativ zwischen kleinen ( $A \leq 1,0 \text{ m}^2$ ), mittleren ( $1 \text{ m}^2 \leq A \leq 10 \text{ m}^2$ ) und großen ( $A \geq 10 \text{ m}^2$ ) vertikalen Flächen unterschieden. Somit sind bei der Ermittlung die Größen der Bekleidungs-elemente zu beachten. Die ÖNORM B 1991-1-4:2019 (40) macht hierzu folgende Angaben:

**Tabelle 4-3: Außendruckbeiwerte Wände nach (40; 41)**

	Verhältnisse der Gebäudeabmessungen $h/d$					
	5		1		$\leq 0,25$	
Außendruckbeiwerte	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
Außenwandbereich						
A	-1,2	-1,4	-1,2	-1,4	-1,2	-1,4
B	-0,8	-1,1	-0,8	-1,1	-0,8	-1,1
C	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
D	0,8	1,0	0,8	1,0	0,8	1,0
E	-0,7	-0,7	-0,5	-0,5	-0,3	-0,3

- Bereich A-E gibt die Position einer Gebäudewand an, bei der aufgrund der Verhältnisse der Gebäudeabmessungen eine bestimmte Windkraft auftritt,
- $C_{pe,10}$  ist der Außendruckbeiwert für große Gebäudewandflächen ( $\geq 10 \text{ m}^2$ ),
- $C_{pe,1}$  ist der Außendruckbeiwert für kleine Gebäudewandflächen ( $\leq 1 \text{ m}^2$ ),
- $h$  stellt die Gebäudehöhe dar,
- $d$  ist die Gebäudeabmessung in Windrichtung. (40; 41)

#### 4.4 Einwirkung Schnee und Eislasten

Das Einwirken von Schnee- und Eislasten auf die VHF wird für gewöhnlich nicht berücksichtigt. Die DIN 18516-1:2010 (17) fordert die Berücksichtigung nur bei besonderen klimatischen Verhältnissen, bei Ablagerungsmöglichkeiten von Schnee und Eis an der Fassadenfläche und im Besonderen bei Außenwandbegrünungen wie es z.B. durch Kletterpflanzen gegeben ist. (17)

#### 4.5 Einwirkungen durch Zwängungen

Unter Zwangslasten bei einer VHF versteht man Einwirkungen, welche temperaturbedingt und materialbedingt (Quellen und Schwinden) entstehen und das Einstellen einer freien Verformung behindern. Das Ergebnis von Zwängungen sind stets Verformungen oder Verwölbungen des Bekleidungselements. Wie auch schon im Kap. 3.5.5 erwähnt sind VHF systembedingt durch die Verbindungsmittel nicht zwängungsfrei herzustellen, sondern sind je nach Konstruktionsaufbau als zwängungsarm zu bezeichnen. Bekleidungselemente, die an drei oder vier kreisförmig angeordneten Ankerdornen befestigt sind, sind ein Beispiel für zwängungsarme Konstruktionen. Können eben diese oben genannten entstehenden Zwänge nicht konstruktiv kompensiert werden, so müssen diese gemäß DIN 18516-1:2010 (17) bei der statischen Berechnung berücksichtigt werden. (7)

Die DIN 18516-1:2010 (17) gibt folgende Temperaturen für die Bemessung der VHF an:

- maximale Oberflächentemperatur: +80 °C,
- minimale Oberflächentemperatur: -20 °C,
- Montagetemperatur: +10 °C. (17)

Die daraus entstehenden anzusetzenden Temperaturdifferenzen sind folgende:

- Max.  $\Delta T$ : +70 °C,
- Min.  $\Delta T$ : -30 °C.

Für diese Temperaturdifferenzen sind die Bauteile einer VHF, im Besonderen die Verankerung und die Fugenausbildung auszulegen. Im Gegensatz zu den temperaturinduzierten Längenänderungen, ist die Aussagekraft der DIN 18516-1:2010 (17) bei temperaturinduzierten Verwölbungen sehr gering. Normativ wird geregelt, dass die Verwölbungen bei Leibungs- und Mutterplatten aufgrund ihrer Anordnung und ihrer unverschieblichen Befestigung untereinander zu berücksichtigen sind. Gewöhnliche Plattenformen und Verankerungen sind davon unberücksichtigt zu betrachten. (7)

Der Ansatz für die Ermittlung der Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Innenseite des mineralischen Bekleidungselements wird in der DIN 18516-1:2010 (17) folgendermaßen festgehalten:

$$\Delta T = 1,5 * d \quad (4.10)$$

Wobei  $\Delta T$  die Temperaturdifferenz in Kelvin ist und  $d$  die Plattenstärke in cm darstellt (17). Die daraus resultierenden Spannungen in der Platte ergeben sich wie folgt:

$$\sigma = \frac{1}{2} * \Delta T * \alpha T * E \quad (4.11)$$

Die einzelnen Komponenten haben dabei folgende Größenordnung:

- $\Delta T=1,5*d$ ,
- $\alpha T$ = Wärmeausdehnungskoeffizient 0,00001 mm/K gemäß DIN 18516-3:2018 (57),
- $E$ = E-Modul. (17)

Somit lässt sich obige Formel mit den erklärten Substitutionen folgendermaßen umschreiben:

$$\sigma = 0,75 * d * E * 10^{-5} \quad (4.12)$$

Für gebräuchliche Naturwerksteinmaterialien ergeben sich folgende Plattenspannungen:

**Tabelle 4-4: Plattenspannungen infolge Temperatur nach (7)**

Baustoff	Plattenspannung $\sigma$ [N/mm <sup>2</sup> ] Plattenstärke d=3 cm	Plattenspannung $\sigma$ [N/mm <sup>2</sup> ] Plattenstärke d=4 cm
Naturstein		
<i>Sandstein</i>	0,18-0,40	0,24-0,54
<i>Basalt</i>	1,31-2,32	1,71-3,09
<i>Gabbro</i>	2,52-2,81	3,36-3,75
<i>Granit, Syenit</i>	0,86-1,71	1,14-2,28
<i>Kalkstein</i>	0,90-2,07	1,20-2,76
<i>Quarzit</i>	1,67-1,73	2,22-2,31
<i>Diabas</i>	1,76-2,59	2,34-3,45

Da die maximalen Plattenspannungen in der Plattenmitte auftreten und die Eigen- und Windlasten eher randlastig sind, wird eine Lastüberlagerung für gewöhnlich nicht bemessungsrelevant sein (7).

#### 4.6 Einwirkungen aus Erdbeben

Die Einwirkung von Erdbebenlasten in Form von Bodenbeschleunigungen ist eine von drei außergewöhnlichen Belastungen mit denen sich diese Arbeit beschäftigt. Die Einwirkung wird in der Regel durch den Planer und/oder Hersteller berücksichtigt. Die Literaturrecherche hat aber



gezeigt, dass der vereinfachte Ansatz zur Ermittlung der Erdbebenkraft gemäß ÖNORM B 1998-1:2017 (32) auf ein Bekleidungs-element und folglich auch auf das dahinter befindliche Unterkonstruktions- und Verankerungssystem nur in die Bemessungsrichtung normal zur Fassadenebene angesetzt wird und das Pendant dazu parallel zur Fassadenebene vernachlässigt wird. Folgend wird kurz das Bemessungskonzept vorgestellt, um dem Leser dieser Arbeit einen kompakten und einfachen Zugang für die Bemessung zu ermöglichen.

#### 4.6.1 Bemessungskonzept

Aufgrund dessen, dass die entstehende Bauwerksschwingung nicht alleine durch die Bodenbeschleunigung beschreibbar ist, sondern Faktoren wie die Bauwerkssteifigkeit, Bauwerksmasse, die Bauwerksdämpfung und der Konstruktionsaufbau die Schwingungsform des Bauwerks und schlussendlich die entstehende, einwirkende Erdbebenkraft maßgebend beeinflusst, werden all diese Faktoren zu dynamischen Antwort zusammengeführt. Der theoretisch rechnerische Zusammenhang zwischen auftretender Energie, durch die seismischen Wellen, den resultierenden Schwingungen und den daraus entstehenden Massenkräften erfolgt über die sogenannten Antwortspektrenanalyse. Dies stellt heutzutage die gängigste Methode für die Darstellung der seismischen Einwirkung dar. (72)

Auch in ÖNORM B 1998-1:2017 (32) bildet das Antwortspektrenverfahren die Basis für die Bemessung mittels Bemessungsspektren (74). Aufgrund dessen, dass es sich bei einer VHF um ein nichttragendes Bauteil handelt, sieht die ÖNORM B 1998-1:2017 (32) die Bemessung gemäß Unterpunkt 4.3.5 vor. Hierbei wird auf die Berechnung eines entsprechenden Bemessungsspektrums verzichtet, wie es für eine globale Tragwerksberechnung notwendig wäre, sondern es wird ein vereinfachter Berechnungsansatz verwendet, der als Resultat ebenfalls - wie die komplexeren Berechnungen in der ÖNORM B 1998-1:2017 (32) eine horizontale Erdbebenkraft ausweist.

Dabei ergibt sich die horizontale Erdbebenkraft und somit die Erdbebeneinwirkung für nichttragende Bauteile aus folgender Formel:

$$F_a = \frac{(S_a * W_a * \gamma_a)}{q_a} \quad (4.13)$$

Während  $W_a$ ,  $\gamma_a$ , und  $q_a$  direkt durch Zahlen ausgedrückt werden, muss  $S_a$  durch weitere Formeln ermittelt werden. Dabei stehen die Abkürzungen in obiger Formel für folgendes:

- $S_a$  ist der Erdbebenbeiwert, in welchen die Bodenbeschleunigung, der geologische Untergrund, die Gebäudehöhe, die Höhe des betrachtenden Fassadenpunkts und die Grundschwingzeit des Bauwerks und des betrachteten Bekleidungs-elemente eingeht,

- $W_a$  steht für das Gewicht des Bekleidungselements,
- $\gamma_a$  stellt den Bedeutungsbeiwert für nichttragende Elemente dar - dieser liegt für Bekleidungs-elemente bei  $\gamma_a=1,0$ , (32; 49)
- $q_a$  ist der Verhaltensbeiwert für nichttragende Bauteile - generell gibt dieser Beiwert an wie groß das Dissipationsvermögen des jeweiligen Baustoffs bzw. der Bauteilkonstruktion ist, um die entstehende Energie durch Erdbebeneinwirkung durch Plastifizieren des Baustoffs aufzunehmen und abzubauen - umso größer der Beiwert gewählt ist umso höher muss auch das Dissipationsvermögen des Baustoffs sein. Für die angesprochenen Bekleidungs-elemente liegt dieser mit  $q_a=2,0$  relativ niedrig, dies ist begründet durch die Bekleidungs-materialien wie Naturstein oder Keramik, welche kein plastisches Verhalten aufweisen. (72)

**Tabelle 4-5: Verhaltensbeiwerte  $q_a$  für nichttragende Bauteile nach (32; 49)**

Typ des nichttragenden Bauteils	Verhaltensbeiwert $q_a$
Auskragende Brüstungen und Verzierungen	1,0
Zeichen und Werbetafeln	1,0
Turmartige Bauwerke (Kamine, Masten und Tankbauwerke auf Stützen), wobei die Bauwerke auf einer Länge, welche mindestens der halben Gesamthöhe als unverteifte Kragträger wirken.	1,0
Außen und Innenwände	2,0
Trennwände und <b>Fassadenteile</b>	2,0
Turmartige Bauwerke ( Kamine, Masten und Tankbauwerke auf Stützen), wobei die Bauwerke auf einer Länge, welche zumindest weniger als die halbe Gesamthöhe ist als unverteifte Kragträger wirken. Abgespannte oder ausgesteifte Konstruktion, die auf Höhe des Massenschwerpunkts oder darüber derartige Konstruktionsprinzipien aufweisen	2,0
Verankerungen für permanent vorhanden Schränke oder Bücherstapel	2,0
Verankerungen für abgehängte Decken und Leuchten	2,0

Der letzte Baustein in obiger Formel ist der Erdbebenbeiwert  $S_a$ , welcher sich mit folgender Formel ermitteln lässt:

$$S_a = \alpha * S * \left[ 3 * \frac{1 + \frac{z}{H}}{1 + \left(1 - \frac{T_a}{T_1}\right)^2} - 0,5 \right] \quad (4.14)$$

Anzumerken ist an dieser Stelle, dass als normatives Zusatzkriterium gefordert ist, dass  $S_a$  nicht kleiner als  $\alpha * S$  sein darf. Die Parameter der Formel stehen dabei für folgendes:

- $\alpha$  gibt das Verhältnis zwischen der Bodenbemessungsbeschleunigung für die Baugrundklasse A und der Erdbeschleunigung  $g$  an. Die Bodenbeschleunigung  $a_g$  für

den gesuchten Ort ist dabei aus der ÖNORM B 1998-1:2017 (32) Tabelle A.1. abzulesen oder anhand der Bilder A.1. und A.2., welche die Zoneneinteilung und Isolinien der Referenzbodenbeschleunigungen für Österreich darstellen. Die Erdbeschleunigung wird für Berechnungszwecke mit  $g = 9,81\text{m/s}^2$  angenommen.

$$\alpha = \frac{a_g}{g} \quad (4.15)$$

- $z$  gibt die Höhe des betrachteten Bekleidungselements an. Gemessen von der Fundament bzw. Kellerdeckenoberkante ausgehend.
- $H$  gibt die Bauwerkshöhe an, an der das Fassadensystem montiert ist. Gemessen von der Fundament bzw. Kellerdeckenoberkante ausgehend.
- $T_1$  steht für die Grundschwingzeit des Bauwerks in maßgebender Richtung. Für Hochbauten bis 40m Höhe mit geometrischer Regelmäßigkeit im Aufriss gemäß ÖNORM B 1998-1:2017 (32) Punkt 4.2.3.3, erlaubt es die ÖNORM B 1998-1:2017 (32) die Grundschwingzeit mit folgender Formel abzuschätzen.

$$T_1 = C_t * H^{3/4} \quad (4.16)$$

Wobei für  $H$  obige Bedeutung weiterhin gilt und  $C_t$  je nach Baustoff und Tragwerksprinzip folgende Werte annehmen kann:

$$C_t = \begin{cases} 0,085, & \text{biegesteife räumliche Stahlrahmen} \\ 0,075, & \text{biegesteife räumliche Stahlbetonrahmen} \\ 0,050, & \text{alle anderen Tragwerke} \end{cases} \quad (4.17)$$

- $T_a$  steht für die Grundschwingzeit des nichttragenden Bauteils (32; 49)
- $S$  steht für den Bodenparameter und variiert je nach vorherrschendem geologischem Untergrund. Jeder Bodentyp hat aufgrund seines geologischen Aufbaus eine andere Steifigkeit. So werden sich bei Felsuntergründen große dynamische Tragwerksantworten ergeben, da die Bodenbeschleunigungen gut übertragen werden können. Die Eigenschwingdauer ist aber wesentlich kürzer als beispielsweise bei einem Bauwerk, welches auf einem Sedimentbecken gegründet ist. Untermauert wird dies durch die unterschiedlich hohe Scherwellengeschwindigkeit  $v_{s,30}$  in den genannten Untergründen wie es in der Abbildung unterhalb ersichtlich ist. Respektive sind die Bodenschwingungen im Sedimentgestein länger für Mensch und Bauwerk spürbar und der Bereich der konstanten Spektralbeschleunigungen ist vergleichsweise groß. (72) Nachdem der vorliegende Baugrund einen der sieben Baugründe aus der ÖNORM B 1998-1:2017 (32) zugeordnet werden konnte, wird der Parameter  $S$  ausgelesen. Anzumerken ist hierbei, dass in Österreich gemäß ÖNORM B 1998-1:2017 (32)

ausschließlich das Bemessungsspektrum vom Typ A Anwendung findet. Die zugehörigen Tabellen aus der ÖN EN 1998-1 (32) zu eben besprochenen Sachverhalt finden sich unterhalb. (32; 49)

**Tabelle 4-6: Baugrundklassen nach (32; 49)**

Baugrund-klasse	Geologischer Bodenaufbau	Kennwerte		
		Schlagzahl beim Standard Penetration Test ( $N_{SPT}$ [Schläge/30 cm])	Durchschnittliche Scherwellengeschwindigkeit im Boden im Tiefenbereich von GOK bis - 30m ( $v_{s,30}$ [m/s])	undrainierte Scherfestigkeit des Bodens $c_u$ [kPa]
<b>A</b>	Überwiegend Fels oder felsähnliches, ausgenommen sind hiervon die ersten 5 m ab GOK	/	> 800	/
<b>B</b>	Dichte Packungen von Sand, Kies oder Ton über mehrere zehnmeterige Tiefenschichten; Kennzeichnend ist ebenfalls ein Anstieg der mechanischen Eigenschaften mit der Tiefe	> 50	360 - 800	> 250
<b>C</b>	Dicht - mitteldichte Sande, Kiese und Tone, Tiefenhorizont im zwei bis dreistelligen Bereich	15 - 50	180 - 360	70 - 250
<b>D</b>	Locker - mitteldichte kohäsionslose Böden mit der Möglichkeit auf mehrere kohäsive, weiche Schichten oder kohäsive Böden mit weicher - steifer Konsistenz	< 15	< 180	< 70
<b>E</b>	Bodenschicht mit einer 5 - 20 m tiefen Schwemmbodenschicht und $v_{s,30}$ - Werten aus C oder D und darunter äußerst steife Böden mit $v_{s,30}$ - Werten aus A			
<b>S<sub>1</sub></b>	Bodenschicht aus oder mit Tonen und Schluffen, welche ein hohe Plastizitätszahl ( $PI > 40$ ) und einen hohen Wassergehalt aufweisen	/	< 100 (nicht verbindlich)	10 - 20
<b>S<sub>2</sub></b>	Böden, welche sich verflüssigen lassen und/oder sehr empfindlich sind. Keine Zuordnung in die Klassen A - S <sub>1</sub>			

**Tabelle 4-7: Parameterwerte zur Beschreibung der empfohlenen elastischen Antwortspektren vom Typ 1 nach (32; 49)**

Baugrundklasse	A	B	C	D	E
$S$	1,0	1,2	1,2	1,4	1,4
$T_B$ [s]	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
$T_C$ [s]	0,4	0,5	0,6	0,8	0,5
$T_D$ [s]	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

Nach Ermittlung aller notwendigen Parameter werden diese in die Formel (4.14) eingesetzt und die horizontale Erdbebenkraft ermittelt. Die ermittelte Erdbebenkraft ist gemäß Kap. 4.1.1 mit anderen Einwirkungen zu überlagern.

Eine Kombination der Erdbebenkräfte normal und parallel zur Fassadenebene hat bei Erfüllung der geometrischen Regelmäßigkeit gemäß ÖNORM B 1998-1:2017 (32) Punkt 7.2.7 nicht zu erfolgen. Diese sind somit getrennt voneinander mit den anderen Einwirkungen zu kombinieren (32; 49).

## 4.7 Einwirkung aus Anprall

Das letzte Unterkapitel der Einwirkungen auf die VHF beschäftigt sich mit den Einwirkungen von Anprallen auf das Fassadensystem. Aufgrund dessen, dass Anpralllasten nicht zu den tagtäglichen Begleitern eines Tragwerksplaners gehören, fristet diese Einwirkungsart für gewöhnlich ein Schattendasein in den Normen. Außergewöhnliche Belastungen, wie der Anprall kategorisiert wird, werden allzu oft aufgrund von Nichtwissen bezüglich Einwirkungsermittlung wegen der Häufigkeit der Anwendung pauschal als nicht bemessungsrelevant bezeichnet und somit in die statische Berechnung nicht aufgenommen. Dies ist oftmals ein Trugschluss. Die folgenden Kapitel sollen das Thema sensibilisieren und dem Planer einen erleichterten Einstieg in die Materie bieten.

### 4.7.1 Allgemeines

Anpralllasten sind aus mechanischer Sichtweise als Prallstöße zu verstehen, welche je nach Energiedissipation der anprallenden Masse in Form von einer Verformung in einen harten und weichen Prallstoß unterschieden werden kann. Beim harten Prallstoß sind die Verformungsgrößen der anprallenden Masse derart gering, dass die gesamte kinetische Energie durch die Tragkonstruktion aufgenommen werden, dass dementsprechend elastisch ausgebildet sein muss, um dem Prallstoß ohne globales Tragwerksversagen bzw. lokale Schädigung je nach Sicherheitsniveau standzuhalten. Klassische Beispiele hierfür wären Anpralllasten durch KFZ, Schiffe und Gabelstapler. Beim weichen Prallstoß hingegen kommt es zu einer großen elastisch-plastischen Verformung der Anprallmasse und somit zu einer Zerstreung der vorhandenen

kinetischen Energie. Als tragisches Beispiel kann hier ein zerschellendes Flugzeug an der Schutzhülle eines Atomkraftwerks genannt werden. Anzumerken ist an dieser Stelle ebenfalls, dass die Begriffe harter und weicher Stoß in der Literatur inkonsequente Bedeutungen haben. Während mit obiger Erläuterung in *Dynamik der Baukonstruktionen* (79) gearbeitet und beschrieben wird, ist die Bedeutung des harten und weichen Stoßes in der ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) umgekehrt definiert (44; 79).

Für die Ermittlung der Einwirkung aus Anpralllasten wird die Definition des harten Stoßes aus der ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) übernommen. Normativ werden der harte und weiche Stoß und respektive Einwirkungen aus Anpralllasten auf Fassaden in folgenden Normen, Richtlinien und Regelwerken behandelt:

- Harter Stoß
  - ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) - Anpralllasten durch Fahrzeuge,
  - ÖNORM B 1991-1-7:2007 (33) - Anpralllasten durch Fahrzeuge,
  - DIN 4103-1:2015 (80) - Anpralllasten durch kleine, kompakte Gegenstände,
  - ETB-Richtlinie „Bauteile, die gegen Absturz sichern“ (81) - Anpralllasten durch kleine, kompakte Gegenstände.
- Weicher Stoß
  - ÖNORM EN 12600:2003 (82) - Anpralllasten durch einen menschlichen Körper (Pendelschlagversuch Zwillingstreifen),
  - ÖNORM EN 14019:2016 (83) - Anpralllasten durch einen menschlichen Körper (Pendelschlagversuch Zwillingstreifen),
  - DIN 4103-1:2015 (80) - Anpralllasten durch einen menschlichen Körper (Pendelschlagversuch Glaskugelsack),
  - ÖNORM EN 949:1999 (84) - Anpralllasten durch einen menschlichen Körper (Pendelschlagversuch Sandsack),
  - ETB-Richtlinie „Bauteile, die gegen Absturz sichern“ (81),
  - Technische Regeln für die Verwendung von absturzsichernden Verglasungen (TRAV) (85).

Die ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) bzw. ÖNORM B 1991-1-7:2007 (33) regelt dabei noch weitere außergewöhnliche Einwirkungen wie z.B. Einwirkungen aus Innenraumexplosionen, welche im Kapitel 4.8 behandelt werden. Die DIN 4103-1:2015 (80) und die ETB-Richtlinie (81) beschäftigen sich zwar mit den Anforderungen und Nachweisen von nichttragenden inneren Trennwänden, welche unter anderem auch einen Körperstoß eines stürzenden Menschen mit einer Schultermasse von 50kg aufnehmen müssen und die TRAV (85) mit den Anforderungen von absturzsichernden Verglasungen mittels Pendelschlag-Zwillingstreifenversuch. (79; 86) Diese

Rechenverfahren können aber laut Hagelstein R. (86) „auch auf Naturwerkstein-Fassadenplatten übertragen werden“. (86) Somit respektive auch für die VHF herangezogen werden.

#### **4.7.2 Weicher Stoß – Anprall von Personen**

Der weiche Stoß tritt gemäß ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) dann auf, wenn die vorhandene kinetische Energie des Anprallobjekts durch elasto-plastisches Verhalten des gestoßenen Objekts aufgenommen werden kann. Für die Einwirkungsermittlung aus anprallenden KFZ wird die Energiedissipation von gestoßenen Bauteilen ignoriert und Energiedissipation nur dem Anprallobjekt zugeschrieben, um in weiterer Folge die statischen Ersatzlasten aus der ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) anwenden zu dürfen. (44)

Somit beschränkt man sich bei der Bemessung von vorgehängten Fassaden durch weiche Stöße auf Stoßeinwirkungen durch anprallende Menschen. Die Entstehung der Anpralllasten aus Personenlasten können unterschiedliche Gründe haben. Einerseits kann eine stürzende oder gestoßene Person für diese Anpralllastgattung verantwortlich sein, andererseits kann auch Vandalismus (Tritte, Schläge) der Grund für eine personeninduzierte Anpralllast sein.

Als bemessungsrelevante Stoßposition stellt sich hierbei der Schulterstoß heraus. Aufgrund der hohen Federsteifigkeit dieses Körperteils ist folgend die Beanspruchung für das gestoßene Bauteil ebenso hoch. Zwar werden mit einem reinen Kopfstoß aufgrund der größten Federkonstante, die höchsten Beanspruchungen erzielt, diese sind aber für die alltägliche Nutzung unrealistisch, weil ein Anprall aus einer Kombination von Schulter und Kopf wahrscheinlicher ist. Um nun diese von Menschen induzierte Anprallart wissenschaftlich zu fundieren und versuchstechnisch abbilden zu können, um in weitere Folge die Bauteile entsprechend bemessen zu können, wurde der Pendelschlagversuch gemäß ÖNORM EN 12600:2003 (82) entwickelt. (79)

Für die auf diesen Versuch darauf aufbauenden Bemessungsnormen wie die DIN 4103-1:2015 (80), die ETB Richtlinie (81) und die TRAV (85) wurden die Werte für die Fallhöhe, Fallgewicht und aufnehmbare Energie  $E_{\text{Basis}}$  entsprechend adaptiert.

##### **4.7.2.1 Pendelschlagversuch nach ÖNORM EN 12600:2003 (82)**

Die ÖNORM EN 12600:2003 (82) mit Ihren darin enthaltenen Pendelschlagversuch stellt im europäischen Raum jene harmonisierte Norm dar, welche die Tragfähigkeit von Glasscheiben unter stoßartiger Belastung mittels einen experimentellen Prüfverfahren regelt. Die nachfolgenden Kap. 4.7.2.2 bis 4.7.2.4 greifen unter anderem bei deren Prüfungen auf den Pendelschlagversuch zurück. Die Prüfung gilt für die jeweilige Fallhöhe bestanden, wenn eine der folgenden Anforderungen erfüllt ist:

- es tritt kein Bruch bei der getesteten Probe auf,
- auf der Glasscheibe entstehen viele Risse, welche aber derart klein sind, dass eine Prüfkugel mit  $\varnothing 76$  mm und einer Prüfkraft von 25 N gemäß ÖNORM EN 12600:2003 Anhang A (82) nicht durchgedrückt werden kann; weiters gilt es 3 Minuten nach dem Versuch die Bruchstücke zu wiegen und dem rechnerisch ermittelten Gewicht von  $10.000 \text{ mm}^2$  Glasfläche des Prüfkörpers bzw. das größte Bruchstück dem ermittelten Glasgewicht von  $4000 \text{ mm}^2$  des Prüfkörpers gegenüberstellen - eine Überschreitung ist nicht zulässig,
- die Glasscheibe zerfällt in Bruchstücke - es sind im Zeitraum vom Aufprallende bis 3 Minuten danach die zehn größten Bruchstücke für eine gemeinsame Wiegung zu sammeln; diese dürfen nicht schwerer sein als  $6500 \text{ mm}^2$  der Glasfläche des Prüfkörpers.

Die getesteten Glasscheiben werden je nach Fallhöhe und den daraus resultierenden Stoß und eventuell vorkommenden Bruchverhalten in drei Gruppen eingeteilt:

- Klasse 3: Glasscheiben die eine der oberhalb ersichtlichen Anforderungen bei einer Fallhöhe von 190 mm erfüllen,
- Klasse 2: Glasscheiben die eine der oberhalb ersichtlichen Anforderungen bei Fallhöhen von 190 mm und 450 mm erfüllen,
- Klasse 1: Glasscheiben die eine der oberhalb ersichtlichen Anforderungen bei Fallhöhen von 190 mm, 450 mm und 1200 mm erfüllen,

Grob skizziert kann der Pendelschlagversuch folgend beschrieben werden. Für Details zum Versuchsaufbau und zur Versuchskalibrierung sei auf die ÖNORM EN 12600:2003 (82) verwiesen. Der Versuchsaufbau besteht im Wesentlichen aus 4 Bestandteilen:

- Der aus warmgewalzten Stahlprofilen gefertigte *Hauptrahmen* mit den lichten Abmessungen von  $847 \pm 5$  mm (Breite) und  $1910 \pm 5$  mm (Höhe) dient als steife Auflagerfläche für den Klemmrahmen,
- Der *Klemmrahmen* hat dieselben Abmessungen wie der Hauptrahmen und dient zur Arretierung der zu prüfenden Glasscheibe während des Versuchs. Der Prüfkörper ist zwischen den beiden Teilen des Klemmrahmens eingespannt. Direkter Kontakt zum Rahmen besteht nicht, sondern wird über einen Elastomerstreifen sichergestellt,
- Der *Stoßkörper* besteht aus 2 Gummireifen der Dimension R8 4PR mit einem Prüfdruck von  $3,5 \pm 0,2$  bar. Jeder Reifen wird auf eine Stahlfelge aufgezogen und Stahlgewichte werden daran gleichmäßig befestigt, sodass der Stoßkörper auf ein Prüfgewicht von  $50 \pm 0,1$  kg kommt. An diesen Stoßkörper wird an einem Ende ein 5mm starkes Stahlseil befestigt, welches das Aufhängeseil darstellt,



- Der *Prüfkörper* selbst besteht aus einfachen Glasscheiben der Dimension  $876\pm 2$  mm (Breite) und  $1938\pm 2$  mm (Höhe). Die am Ende des Versuchs festgelegte Klasse (1 bis 3) gilt unabhängig von der Größe für dieses getestete Glasprodukt.

Die Prüfungsvorbereitung und die Prüfung selbst ist ebenfalls in der ÖNORM EN 12600:2003 (82) normiert und kann folgend zusammengefasst werden:

- die Prüfkörper sind vor der eigentlichen Prüfung 12 Stunden lang bei  $+20 \pm 5$  °C zu lagern; dieser Temperaturbereich ist ebenfalls bei der Prüfung einzuhalten,
- der Reifendruck des Stoßkörpers ist vor jedem Versuch zu überprüfen,
- es ist stets mit der niedrigsten Fallhöhe zu beginnen,
- der Stoßkörper und das Aufhängeseil sind derart zu positionieren bzw. zu spannen, dass der Stoßkörper beim Stoß in der Mitte des Prüfkörpers auftrifft,
- der Versuch ist ungültig, wenn der Stoßkörper mehr als einmal während des Stoßvorgangs auf den Prüfkörper auftrifft oder ein anderer Teil des Stoßkörper - als der Zwillingsreifen - den Prüfkörper trifft,
- es sind 4 Prüfungen von derselben Fallhöhe und demselben Glastype durchzuführen.

Nach diesen 4 Prüfungen sind die Prüfkörper auf die Anforderungen, welche am Anfang des Kapitels festgehalten wurden zu prüfen. Ist eine der 4 Anforderungen nicht erfüllt, so ist die Prüfung zu beenden, ansonsten kann mit einer höheren Fallhöhe weiterfortgefahren werden. (82)

#### **4.7.2.2 Bemessung nach DIN 4103-1:2015 (80)**

Das Rechenverfahren der DIN 4103-1:2015 (80), welche sich eigentlich mit den Anforderungen für nichttragende innere Trennwände beschäftigt, kann nach Hagelstein R. (86) „auch auf *Naturwerkstein-Fassadenplatten übertragen werden*“. (86) Die DIN 4103-1:2015 (80) sieht hinsichtlich den Anforderungen vor, dass bei einer Anpralllast in Form von Personenlasten, auch als „weicher Stoß“ bezeichnet die Trennwand zwar Schaden nehmen darf, aber die Wanddicke nicht gänzlich durchstoßen werden bzw. die Trennwand nicht aus ihren Befestigungen herausgerissen werden darf. Ebenso gelten diese Anforderungen für die Auslegung der Trennwände für einen harten Stoß gemäß DIN 4103-1:2015 (80). (80)

Da Hagelstein R. (86) keine detaillierten Aussagen über die vollständige Umlegung dieser Norm auf vorgehängte Fassaden macht, kann angenommen werden, dass diese Forderungen in angewandelter Form für vorgehängte Fassaden auch gelten. Hier sollten logischerweise die Bekleidungs-elemente nicht vollständig durchbrochen werden und die Befestigungs- und Verankerungselemente der Fassade nicht ausgerissen werden.

Für die Nachweiserbringung hinsichtlich des weichen Stoßes können vier verschiedene Verfahren aus dieser Norm entnommen werden:

- Nachweisverfahren A: Pendelversuch mit einem Glaskugelsack mit Berücksichtigung der mitschwingenden Wandmasse,
- Nachweisverfahren B1: mittels einer hydraulischen Prüfeinrichtung (Presse) wird eine Einzelkraft aufgebracht und über diesen Versuch die aufnehmbare Energie berechnet,
- Nachweisverfahren B2: ähnlich zu B1 - nur wird hier gänzlich auf einen Versuch verzichtet und der Nachweis rechnerisch erbracht, falls die erforderliche Verformungsenergie wegen der Wandsteifigkeit rechnerisch ermittelt werden kann,
- Nachweisverfahren C: Pendelversuch nach ETAG 003.

Es sind insgesamt drei Versuche an gleichen oder gleichartigen Probekörpern durchzuführen. Die Probekörper müssen dabei derart in den Versuchsstand eingebaut werden, dass die auftreffende Belastung möglichst ungünstig wirkt. Die Anpralllast hat hierbei in einer Höhe von kleiner oder gleich 1,50m zu wirken. (80)

Die einwirkende Energie  $E_{\text{BASIS}}$  aus personeninduzierten Anpralllasten ist für die Nachweisverfahren A bis B2 ident und rührt aus der Schultermasse eines stürzenden Menschen her, der mit Anprallgeschwindigkeit von 2 m/s auftritt. Die kinetische Energie ( $E_{\text{BASIS}}$ ) berechnet sich zu (79; 80):

$$E = E_{\text{BASIS}} = \frac{mv^2}{2} = \frac{50 \text{ kg} * (2,0 \text{ m/s})^2}{2} = 100 \text{ Nm} \quad (4.18)$$

Das Nachweiskonzept ist hierbei analog zu den Eurocodes aufgebaut und geht nach dem Prinzip vor, dass die Einwirkungen kleiner oder gleich groß wie die Widerstände sein dürfen. Im Falle der DIN 4103-1:2015 (80) bedeutet dies verfahrensunabhängig, dass die einwirkende Energie  $E_{\text{BASIS}}$  kleiner oder gleich groß sein muss wie die Widerstandsenergie des Bauteils.

$$E_R \geq \alpha' * E_{\text{BASIS}} \quad (4.19)$$

Hierbei steht  $\alpha'$  für den Stoßübertragungsfaktor, welcher abhängig von der mitschwingenden Masse der Wand  $m$  ist und dementsprechend variiert (80).

Tabelle 4-8: Stoßübertragungsfaktoren  $\alpha'$  und  $\alpha''$  nach DIN 4103-1:2015 (80)

Wandmasse $m$ [kg]	Stoßübertragungsfaktor $\alpha'$	Stoßübertragungsfaktor $\alpha''$
50	1	0,28
75	0,96	0,22
100	0,89	0,18
150	0,75	0,14
200	0,64	0,11
300	0,49	0,08
400	0,4	0,06

Das mechanische Grundmodell für die Überlegungen zur Ermittlung von  $\alpha'$  ist hierbei ein Masse-Feder-Masse-Feder Modell wie es in Abb. 4-2 ersichtlich ist (79).

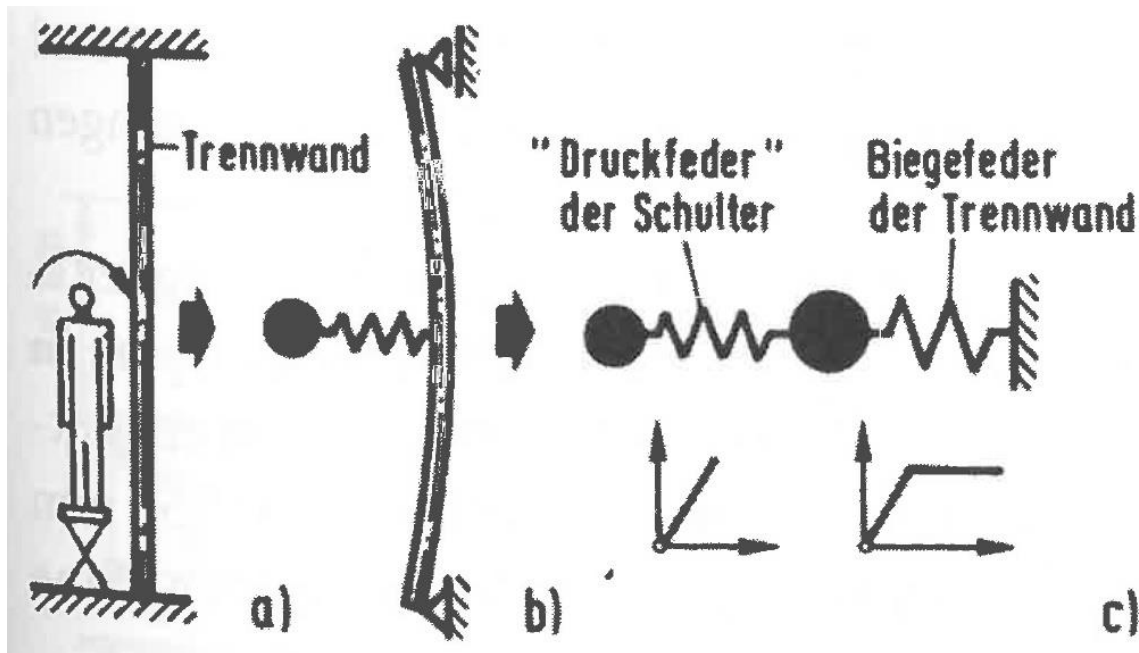


Abbildung 4-2: Modell zur Ermittlung der Stoßlast nichttragender Trennwände (79)

Die Ermittlung von der mitschwingenden Wandmasse  $m$  kann rechnerisch und/oder aus Versuchen abgeleitet werden:

$$m = \begin{cases} \lambda * m_t, & \text{rechnerisch} \\ c * \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2, & \text{versuchsgestützt} \end{cases} \quad (4.20)$$

Die Parameter in der obigen Formel stehen dabei für folgendes:

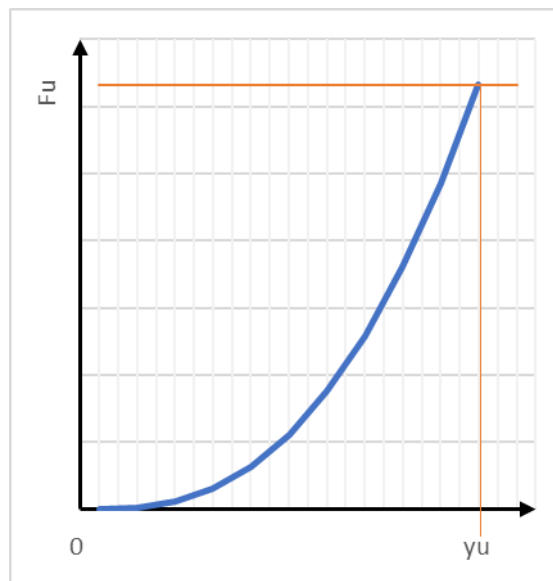
- $\lambda$ : Massenfaktor, welcher je nach Lagerungsart der Wand/Platte zwischen folgenden Werten variiert:
  - Balken auf zwei Stützen: 0,50,
  - Quadratische Platte mit allseitiger gelenkiger Lagerung: 0,20,

- Quadratische Platte mit Ecklagerung: 0,29,
- Quadratische Platte mit allseitiger Einspannung: 0,12,
- Elementausschnitt auf den vis a vis liegenden Seiten: 0,50,
- $m_t$ : ist die Gesamtmasse der Wand in kg,
- $c$ : ist die Anfangssteifigkeit des Probekörpers in N/m ermittelt aus einem Biegeversuch mit einer an der gedachten Stoßstelle wirkenden Einzellast,
- $T$ : gemessene Eigenschwingdauer in Sekunden des ursprünglichen Probekörper (80).

Um das Nachweisformat fertig zu erläutern muss nun die Widerstandsenergie  $E_R$  aus Formel (4.19) noch näher beschrieben werden. Diese wird über die Integration der Rückstellfunktion  $F=F(y)$  des Wandteils mit den zugehörigen Verschiebungen als Integrationsgrenzen ermittelt. Dabei lässt sich der Funktionsverlauf für gewöhnlich nur versuchstechnisch ermitteln.

$$E_R = \int_0^{y_u} F dy \quad (4.21)$$

Abb. 4-3 zeigt einen typischen Verlauf einer Rückstellfunktion mit der Verschiebung  $y_u$  als Ordinate und der Versagenskraft  $F_u$  als Abzisse (79).



**Abbildung 4-3: Rückstellfunktion von einer GK-Trennwand nach (79)**

Für den Fall eines dynamischen Stoßversuchs wie es beim Nachweisverfahren A vorkommt, kommt es zu folgender Adaption des Nachweisformats aus Formel [4.19]:

$$\alpha'' * E_{\text{Aufprall}} \geq \nu * \alpha' * E_{\text{Basis}} \quad (4.22)$$

Die bis jetzt noch nicht erläuterten Parameter stehen bzw. ergeben sich zu folgendem:

- $\alpha''$ : ist wie  $\alpha'$  ein Stoßübertragungsfaktor und somit von den Eigenschaften der Wand abhängig; wird ein Glaskugelsack als Stoßkörper verwendet, so können die Werte aus Tab. 4-1 herangezogen werden, ansonsten müssen über Vorversuche entsprechende Probekörper bestimmt werden, aus denen  $\alpha''$  abgeleitet werden kann,
- $E_{\text{Aufprall}}$ : steht für die Aufprallenergie gemäß Nachweisverfahren A und ist gleichzusetzen mit der Widerstandsenergie  $E_R$  aus dem allgemeinen Nachweisformat der DIN 4103-1:2015 (80),
- $\nu$ : ist ein Sicherheitsfaktor für die Berücksichtigung von Streuungen beim Nachweisformat des weichen Stoßes;  $\nu=1,25$ .

Die Aufprallenergie  $E_{\text{Aufprall}}$  ergibt sich zu:

$$E_{\text{Aufprall}} = \gamma_{S,V,M} * \nu * (\alpha' / \alpha'') * E_{\text{Basis}} \quad (4.23)$$

- $\gamma_{S,V,M}$ : ist ein Streuungsfaktor, welcher die Versuchsbedingungen und die Materialeigenschaften berücksichtigt - dieser Parameter ist abhängig von der oberen Grenze des Variationskoeffizienten  $\nu$ 
  - $\nu_{\text{max}} \leq 0,075 \rightarrow \gamma_{S,V,M}=1,1$ ,
  - $\nu_{\text{max}} \leq 0,15 \rightarrow \gamma_{S,V,M}=1,15$ ,
  - $\nu_{\text{max}} > 0,15 \rightarrow \gamma_{S,V,M}=1,20$ .

Wird statt einer dynamischen Last (Nachweisverfahren A) der Versuch mittels einer Einzellast durchgeführt, welche über eine kreisförmige Stahlplatte ( $\varnothing 200$  mm) und eine 8 mm dicke Gummilage auf die Wand aufgebracht wird, wie es beim Nachweisverfahren B1 vorgesehen ist, so ergibt sich folgendes Nachweisformat:

$$E_{\text{Versuch}} \geq \gamma_{V,B1} * \alpha' * E_{\text{Basis}} \quad (4.24)$$

$\gamma_{V,B1}$  ist wie  $\nu$  aus dem Nachweisformat (4.24) ersichtlich, ein Sicherheitsfaktor, der Streuungen berücksichtigt, welche in Versuchen nicht erfasst werden können;  $\gamma_{V,B1} = 1,25$ . Während des Versuchs ist eine kontinuierliche Messung des Last-Verschiebungszustands nötig um im Anschluss sich aus diesen Diagramm mittels Formel (4.21) die aufnehmbare Energie  $E_R$  zu ermitteln. Über die Anzahl der Versuche wird anschließend der Mittelwert dieser aufnehmbaren Energie  $\overline{E_R}$  gebildet und durch den Abminderungsfaktor  $\gamma_{S,St,B1}$  dividiert.

$$E_{\text{Versuch}} = \overline{E_R} / \gamma_{S,St,B1} \quad (4.25)$$

Für die Ermittlung von  $\gamma_{S,St,B1}$  selbst fließt wiederum der Faktor zur Ermittlung der Streuung bei statischen Versuchen  $K_{S,St,B1} = 0,9$  ein und die Standardabweichung der Versuchsergebnisse  $s_E$  gemäß DIN 53804-1:2002 (87).

$$s_E = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{3-1} \sum_{i=1}^3 (E_{Ri} - \bar{E}_R)^2} \quad (4.26)$$

$$\gamma_{S,St,B1} = \sqrt{1 + (s_E/\bar{E}_R)^2} * \exp(K_{S,St,B1} * s_E/\bar{E}_R) \quad (4.27)$$

Zum Abschluss des Kapitels wird noch kurz das rechnerische Nachweisverfahren B2 erläutert. Um das Nachweisverfahren anwenden zu dürfen, muss der lineare Zusammenhang zwischen Durchbiegung der Wand und der aufgetragenen Einzellast unter Anbetracht der Größe der Widerstandsenergie gegeben sein.

$$\frac{F_V * \delta_V}{2} \geq a' * E_{Basis} \quad (4.28)$$

$F_V$  und  $\delta_V$  stehen für die Einzellast bei der das Versagen eintritt bzw. die zugehörige Verschiebung bei der Versagen eintritt. Diese beiden Parameter sind mit Hilfe der Materialkennwerte der verwendeten Baustoffe und zugehörigen Ingenieurmodellen zu bestimmen. (80)

#### 4.7.2.3 Bemessung nach ETB Richtlinie „Bauteile, die nach Absturz sichern“ (81)

Die ETB Richtlinie „Bauteile, die nach Absturz sichern“ (81) ist 1985 in Deutschland bauaufsichtlich eingeführt worden und beschäftigt sich im eigentlichen Sinne mit Absturzsicherungen und zielt im speziellen auf die Handhabung von Absturzsicherungen aus Glas ab. (81) Im Vorwort und im Allgemeinen Teil der ETB Richtlinie (81) ist unter anderem geregelt, dass bei der Verwendung von Glas als Absturzsicherung eine zusätzliche Sicherung notwendig ist. Nähere Informationen dazu werden nicht preisgegeben und lassen somit Raum für Spekulationen. Ebenfalls findet sich die Aussage, dass Bauteile, welche aus Erfahrung heraus sicher beurteilt können ohne Nachweisverfahren der ETB Richtlinie (81) auskommen. Nähere Details um welche Bauteile es sich hierbei handelt, bleiben dem Leser dieser Richtlinie verwehrt. Es kann gemutmaßt werden, dass Bauteile die Anpralllasten standhalten müssen, nicht dieser Kategorie zugeordnet werden können. Desweiteren wird in der ETB Richtlinie (81) darauf aufmerksam gemacht, dass Bauteile, welcher in der DIN 4103-1:2015 (80) behandelt werden. Also leichte nichttragende Trennwände nicht mit dieser Richtlinie behandelt werden dürfen und das obwohl die Nachweisverfahren und die zugehörigen Parameter nahezu ident sind.

Die Nachweisverfahren ob ein Bauteil genug Widerstandsenergie besitzt, um den definierten Anpralllasten zu widerstehen, sind ident zu den Verfahren A bis B2 aus der DIN 4103-1:2015 (80) und werden nachfolgend nochmals aufgelistet.

- Pendelschlagversuch mit einem Glaskugelsack – vgl. dazu Verfahren A aus der DIN 4103-1:2015 (80),
- Biegeversuch am Prüfstand falls dem Baustoff kein  $\sigma/\varepsilon$  Diagramm zu Grunde liegt – vgl. dazu Verfahren B1 aus der DIN 4103-1:2015 (80),
- Rechnerisches Verfahren wenn dem Baustoff ein  $\sigma/\varepsilon$  Diagramm zu Grunde liegt – vgl. dazu Verfahren B2 aus der DIN 4103-1:2015 (80).

Im Detail sind diese im Kap. 4.7.2.1 nachzulesen. Ebenfalls sind die Eingangsparameter der Stoßkörpermasse, die Aufprallgeschwindigkeit und die einwirkende Energie  $E_{\text{BASIS}}$  ident.

#### 4.7.2.4 Bemessung nach TRAV „Technische Regeln für die Verwendung von absturzsichernden Verglasungen“ (85)

Die TRAV (85) entstand aus der Idee heraus jede Ausführungsform einer absturzsichernden Glasscheibe auf Anpralllasten nachweisen zu können. In der voran gegangenen Norm, der DIN 52337 konnte man zwar bereits 1985 Glasscheiben mit bestimmten Lagerungsbedingungen und Größenverhältnissen mit Hilfe eines Pendelschlagversuchs auf Anprall nachweisen. Aber Glasscheiben, die von diesen „Normparametern“ abwichen, konnten gegen Absturzlasten nicht geprüft werden. (88)

Nach der TRAV (85) kann die Tragfähigkeit des Bauteils gegen eine Absturzlast nach folgenden vier Möglichkeiten nachgewiesen werden:

- *Pendelschlagversuch* gemäß ÖNORM EN 12600:2003 (82) durchgeführt von einer bauaufsichtlich anerkannten Prüfstelle an mindestens zwei Scheiben pro Ausführungstyp und zwei bis vier Pendelschlagtreffern je nach Lagerungsart und Glastype. Die Pendelfallhöhen unterscheiden sich je nach Kategorie (A bis C) der TRAV [116] von 900 mm bei Kategorie A, über 700 mm bei Kategorie B und 450 mm bei Kategorie C. Kategorie A umfasst hierbei die raumhohen Glasscheiben, welche keinen tragenden Brüstungsriegel oder vorgesetzten Holm besitzen. In Kategorie B finden sich Glasbrüstungen wieder und in der Kategorie C jene Glasflächen, welche nicht zur Aufnahme von Horizontallasten in Holmhöhe geeignet sind und entsprechend vorgesetzte Konstruktionen zur Lastaufnahme besitzen, wie z.B. einen Querriegel vor der Scheibe.  
Der Anprallversuch gilt als bestanden, wenn die Scheibe nicht durchschlagen wird, die Verankerung nicht herausgerissen wird und Glasstücke sich nicht lösen. Die Rissbreite von VSG Verglasungen ist mit 76 mm Öffnungsbreite begrenzt,
- *Referenzglasaufbauten mit garantierter Stoßsicherheit*: Werden gewisse Glasabstände, Glaseinstände, Tragfähigkeiten von Halterungen und Verschraubungen gemäß TRAV (85) eingehalten kann mit Hilfe der vorliegenden und ausgewählten Ausführungsvariante

gemäß TRAV (85) von A bis C und den gewünschten Glasabmessungen ein Referenzglasaufbau mit geprüfter Stoßfestigkeit aus den Tabellen 2 bis 4 der TRAV (85) ausgewählt werden,

- *Stoßsicherheit nach Auslegung über Spannungstabellen:* Im Anhang C der TRAV (85) sind für liniengelagerte Einfachverglasungen Kurzzeit- Biegezugspannungen ersichtlich, welche die Maximalwerte darstellen. Diese wurden mit Pendelschlagversuchen gemäß ÖNORM 12600:2003 (82) bei einer Fallhöhe von 450 mm durchgeführt. Die Eingangsparameter sind hierbei die Seitenlängen der Glasfläche und die Glasdicke. Ist es erforderlich die maximalen Kurzzeit-Biegezugspannungen mit einer Fallhöhe von 900 mm darzustellen, so sind die tabellarisch gelisteten Werte mit dem Faktor 1,40 zu multiplizieren. Der positive Nachweis ist erbracht wenn die ermittelten Biegezugspannungen aus Anhang C TRAV (85) maximal gleich groß wie folgende zulässigen Spannungen sind:
  - Spiegelglas (SPG): 80 N/mm<sup>2</sup>,
  - Teilvorgespanntes Glas (TVG): 120 N/mm<sup>2</sup>,
  - Einscheiben-Sicherheitsglas (ESG): 170 N/mm<sup>2</sup>. (85; 88)
- Brendler S.A. nennt in (88) eine 4. Möglichkeit, wie die Tragfähigkeit nachgewiesen werden kann. „Durch „Stellungnahme“ eines Sachverständigen, der auf Erfahrungen bereits durchgeführter vergleichbarer Bauteilversuche zurückgreifen kann“. (88) Nichtsdestotrotz ist ein baurechtliches Prüfzeugnis notwendig. (88)

#### **4.7.2.5 Bemessung nach ÖNORM B 3716-3:2015 (89)**

Die ÖNORM B 3716-3:2015 (89) zielt wie die TRAV (85) aus dem vorigen Kapitel auf die Bemessung von vertikalen Verglasungen mit Absturzsicherung ab und ist in Österreich das anzuwendende Dokument. Als oberstes Zuordnungskriterium, ob überhaupt die ÖNORM B 3716-3:2015 (89) zur Anwendung kommt, kann über die Aussteifung des Gebäudes beantwortet werden. Glaselemente, welche nicht zur Aussteifung herangezogen werden, werden über die ÖNORM B 3716-3:2015 (89) bemessen.

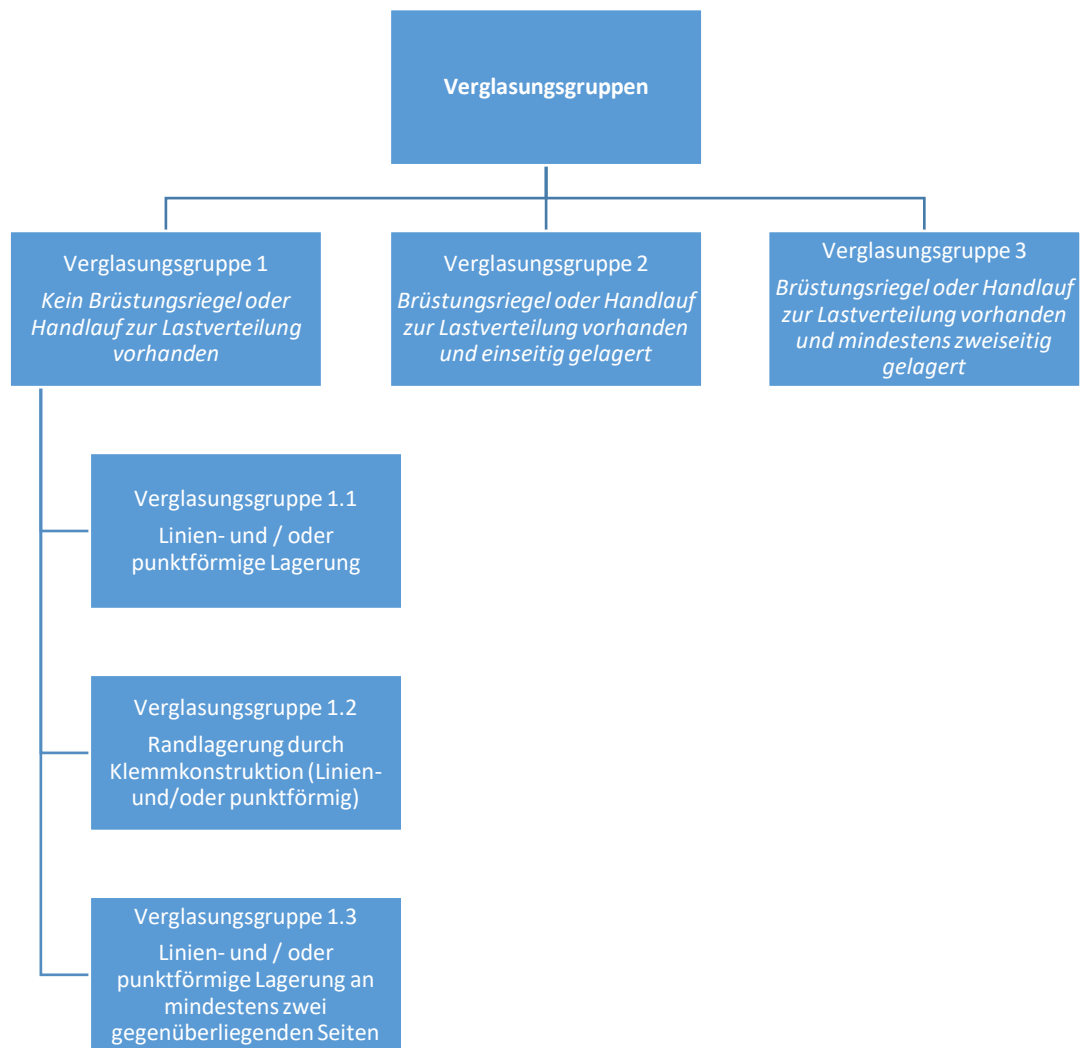
Für die Bemessung lässt die ÖNORM B 3716-3:2015 (89) den Anwender folgende zwei Optionen zur Wahl:

- Experimenteller Nachweis,
- Rechnerischer Nachweis.

Der versuchstechnische Aufbau erfolgt hierbei über den Pendelschlagversuch gemäß ÖNORM EN 12600:2003 (82). Wird hingegen eine Nachweisführung über eine numerische Berechnung angestrebt, so muss gewährleistet sein, dass das Rechenmodell den experimentellen



Pendelschlagversuch abbilden kann wie zum Beispiel die Kraftübertragung der Einbindung der Glasscheibe an die Unterkonstruktion. Bevor überhaupt mit der Nachweisführung begonnen werden kann, muss das zu bemessende Bauteil aufgrund der konstruktiven Durchbildung in eine Verglasungsklasse zugeordnet werden. Anhand der Abb. 4-17 kann die Zuordnung erfolgen. Die Unterscheidungsmerkmale zwischen den drei Verglasungsgruppen ist auf das Vorhandensein von einen lastverteilenden Brüstungsriegel oder vorgelagerten, lastverteilenden Geländer und der Anzahl und Art der Lagerungen grob herunterzubrechen.



**Abbildung 4-4: Einteilung der Verglasungsgruppen nach (89)**

Ist die Zuordnung durch den Anwender erfolgt, kann anschließend die Fallhöhe für den Pendelschlagversuch nach ÖNORM EN 12600:2003 (82) anhand der Nutzungskategorie aus der ÖNORM EN 1991-1-1:2011 (37) und der ÖNORM B 1991-1-1:2017 (36) in Abhängigkeit der Verglasungsgruppe ermittelt werden.

**Tabelle 4-9: Ermittlung der Pendelfallhöhe nach (89)**

Nutzungskategorie gemäß ÖNORM EN 1991-1-1:2011 [39] und ÖNORM B 1991-1-1:2017 [119]	Pendelfallhöhe [mm]		
	Verglasungsgruppe 1	Verglasungsgruppe 2	Verglasungsgruppe 3
A und B1	450	300	300
B2 und C1	700	450	300
C2 bis C4 und D	700	450	300
C5	900	700	450
E	700	450	300

Von der Prüfung ausgenommen sind Bauteile, bei der die lichte Weite des Glaselements 300 mm in Verglasungsgruppe 1 und 500 mm bei Verglasungsgruppe 2 und 3 nicht überschritten wird.

Für den experimentellen Versuch sind hierbei folgende Parameter zu beachten:

- Zwei bis vier Trefferpositionen auswählen, die maximale Belastungen erzeugen,
- Mindestens zwei Scheiben pro Ausführungstyp werden geprüft,
- Prüfung erfolgt bei Raumtemperatur,
- Pro Trefferposition erfolgt mindestens ein Pendelschlagversuch.

Die Prüfung ist positiv wenn die zu prüfende Glasscheibe weder durchschlagen wurde, die Verankerung tragfähig und nicht herausgerissen ist und keine Bruchstücke am Boden liegen welche größer als 20 cm<sup>2</sup> sind. (89)

#### **4.7.2.6 Bemessung nach ÖNORM EN 14019:2016 (83)**

Die ÖNORM EN 14019:2016 (83) wird herangezogen wenn Vorhangfassaden sprich Pfosten-Riegelsysteme oder Elementsysteme auf die Anpralllast eines weichen Stoßes überprüft werden sollen. Die Belastungsgrößen sind hierbei an gewöhnliche menschliche Handlungen adaptiert und werden in Belastungskategorien von Innen und von Außen differenziert. Wobei die Fallhöhen in den Stoßfestigkeitsklassen I1 bis I5 und E1 bis E5 ident sind. Sonderbelastungen aus Verkehrsunfällen, mutwillige Zerstörungen oder Schusswaffen werden nicht abgedeckt. Die zu erreichende Fallhöhe und somit aufzunehmende Stoßenergie ist abhängig, ob zur Vorhangfassade Personen Zugang haben bzw. ob diese fachkundig oder Laien sind. Außerdem spielt die Höhe über Geländeoberkante eine Rolle. Tab. 4-10 stellt diesen Zusammenhang dar.

**Tabelle 4-10: Zusammenhang Prüfklasse-Fallhöhe-Belastungskategorie nach (83)**

Prüfklasse	Fallhöhe [mm]	Belastungskategorie	Erläuterung
I0/E0	nicht anwendbar	C	Bereich nur für ausgewählten Personenkreis zugänglich, welche eine hohe Sorgfalt an den Tag legen. Unfallrisiko gering.
I1/E1	200	keine Aussage	keine Aussage
I2/E2	300	keine Aussage	keine Aussage
I3/E3	450	keine Aussage	keine Aussage
I4/E4	700	B	Bereich für Privatpersonen zugänglich, welche eine erhöhte Sorgfalt an den Tag legen, Unfallrisiko gewöhnlich.
I4/E4	700	D	Bereich liegt über 1,50 m über GOK. Risiko von fallenden und werfenden Objekten. (1,5 m bis 6,0m über der Fußgeherebene in der Belastungskategorie A).
I4/E4	700	E	E- Bereich wie Kategorie D aber ohne fallende und werfende Belastung
I5/E5	950	A, D oder E	Öffentlich zugänglicher Bereich mit geringer Sorgfalt. Hohes Unfallrisiko.

Neben den definierten Fallhöhen sind die Stoßbelastungspunkte ebenfalls in der ÖNORM EN 14019:2016 (83) festgehalten. In Abhängigkeit ob sich bei der Fassade um ein Pfosten-Riegelsystem oder ein Elementsystem handelt, werden vier oder fünf neuralgische Punkte definiert. Abbildungen hierzu finden sich in der ÖNORM EN 14019:2016 (83) zum nachschlagen. Der Prüfversuchsaufbau wird wie auch schon bei den vorigen Kapiteln über den Pendelschlagversuch gemäß ÖNORM EN 12600:2003 (82) sichergestellt. Die Prüfung gilt als bestanden wenn folgende Kriterien erfüllt wurden:

- Herabfallende Teile dürfen einzeln nicht mehr als 50 g wiegen,
- Löcher dürfen eine bestimmte Größe nicht übersteigen, sodass die Schablone E2 aus der ÖNORM EN 1630:2019 (90) durchpasst,
- Verformte Rahmenprofile inkl. Verbindungselemente derart in Ordnung sind, dass Zerschlagen oder Zerreißen eintritt und die Konstruktion in zwei oder mehr Teile zerfällt,
- Die Probekörper müssen in der Versuchsanordnung bleiben und dürfen sich nicht auf- oder loslösen,
- Ausfachungen dürfen sich ebenfalls nicht auf- oder loslösen,
- Glasausfachungen müssen der ÖNORM EN 12600:2003 (82) entsprechen. (83)

#### 4.7.3 Harter Stoß - Anpralllasten durch Fahrzeuge und kleine Gegenstände

Der Anprall aus Fahrzeugen und kleinen harten Gegenständen wird in der ÖNORM EN 1991-7:2014 (44) als harter Stoß bezeichnet. Hierbei wird die Energie beim Anprall durch das anprallende Objekt aufgenommen. (44)

#### 4.7.3.1 Allgemeines

Für die Einwirkungsermittlung aus anprallenden Fahrzeugen, welche die Bahnen des geregelten Straßenverkehrs verlassen haben wird die ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) und in Österreich zusätzlich noch die ÖNORM B 1991-1-7:2007 (33) jeweils in ihrer letztgültigen Fassung herangezogen. Die Einwirkungsermittlung und anschließende Bemessung erfolgt gemäß ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) für gewöhnlich mittels Ansatz horizontaler Ersatzlasten. Es besteht aber auch die Möglichkeit über den Anhang C der ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) eine dynamische Anprallberechnung durchzuführen, welche naturgemäß mehr Know-How des Anwenders und mehr Eingangsparameter erfordert, sowie zeitaufwändiger ist. (33; 44)

Für die Einwirkungsermittlung und Bemessung von Fassadenteilen unter Anprall von kleinen, kompakten Gegenständen (harter Stoß) dienen die DIN 4103-1:2015 (80) und die ETB Richtlinie (81).

#### 4.7.3.2 Strategienanalyse

Bevor aber überhaupt ein Bauwerk/Bauteil mit einer Anpralllast einer außergewöhnlichen Bemessungssituation unterzogen wird, sollte im Sinne der technischen Realisierbarkeit und wirtschaftlichen Konsequenzen die bestmögliche Strategie für die Handhabung dieser außergewöhnlichen Bemessungssituation festgelegt werden. Die ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) gibt hierbei anhand der Abb. 4-5 die Richtung vor und soll die Entscheidungsfindung des Planers erleichtern.



#### **Abbildung 4-5: Strategien zur Behandlung außergewöhnlicher Bemessungssituationen nach (44)**

Dabei ist zu erwähnen, dass jeder dieser Strategien für sich ein gewisses Restrisiko toleriert, welches sich zum Beispiel in Form von lokalen Schäden äußert bis hin zum akzeptierten Einsturz des kompletten Gebäudes. Die ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) gibt hierbei nur Vorschläge für den Anwender vor. Die finalen Festlegungen müssen aber in Absprache mit der Behörde und dem Bauherren erfolgen, weil diese womöglich höhere Anforderungen an den Bauwerkserhalt stellen. (33; 44)

Die grundlegendste Kategorisierung erfolgt aber schon wesentlich früher über die Definition der Versagensfolgeklassen CC1- CC3 der ÖNORM EN 1990:2013 (35) zusammen mit der ÖNORM B 1990:2013 (34) durch diese unter anderem auch die Teilsicherheitsbeiwerte für die ständige Bemessungssituation festgelegt werden. In der ÖNORM EN 1991-1-7:2007 (44) werden die Versagensfolgeklassen ohne vorangestellte Buchstaben bezeichnet. Die Äquivalenz sieht dabei folgendermaßen aus:

- CC1  $\triangleq$  1,
- CC2  $\triangleq$  2a und 2b,
- CC3  $\triangleq$  3 (33; 34; 35; 44).

Anhand der unterhalb ersichtlichen Auflistung kann die Zuordnung des Bauwerks anhand der Größe und Nutzung zu den Versagensfolgeklassen stattfinden. Liegt die Versagensfolgeklasse 1 vor, so kann aufgrund des geringen Risikolevels die Berücksichtigung von außergewöhnlichen Einwirkungen entfallen. Das Gegenstück bildet die Versagensfolgeklasse 3. Hier müssen tieferreichende Analysen getätigt werden wie zum Beispiel eine Risikoanalyse gemäß ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) Anhang B oder eine dynamische Berechnung, nicht linearer Modelle und eine Einwirkung-Bauwerksinteraktion. Beide Versagensfolgeklassen werden in dieser Arbeit nicht tiefergehend behandelt (33; 44).

- 1: Einfamilienhäuser mit bis zu 4 Geschossen, Bauernhöfe, Scheunen, Gebäude, die selten von Menschen betreten werden und die einen Abstand zu anderen Gebäuden von mindestens 1,5 mal der Gebäudehöhe haben (automatisierte Hochregallager),
- 2a: Wohnhäuser, Hotels und Bürobauten mit bis zu 4 Geschossen, Industriegebäude und Einkaufsläden mit bis zu 3 Geschossen, wobei die Geschossfläche bei den Einkaufsläden mit 1000 m<sup>2</sup> begrenzt ist, eingeschossige Schulen, alle anderen Gebäude mit maximal 3 Geschossen und Menschenverkehr, wobei hier die Geschossfläche mit 2000 m<sup>2</sup> begrenzt ist (z.B. Kinos),

- 2b: Wohnhäuser, Hotels und Bürobauten, Einkaufsläden, Schulen mit bis zu 15 Geschossen, Krankenhäuser mit bis zu 3 Geschossen, alle anderen Gebäude mit Menschenverkehr, wobei hier die Geschossfläche mit 5000 m<sup>2</sup> begrenzt ist (z.B. Kinos), Parkgaragen mit bis zu 6 Ebenen,
- 3: Gebäude die, die Geschossanzahlen und/oder -flächen übersteigen (Hochhäuser), Gebäude mit Gefahrgutlagerung, Stadien ab 5000 Personen, Gebäude mit enormen Publikumsandrang.

Zurückkommend auf die Strategien zur Behandlung der außergewöhnlichen Belastung mit zugehöriger Abb. 4-5 werden die einzelnen Strategien für identifizierte außergewöhnliche Einwirkungen, wie Anprall eine ist, nun kurz erläutert und in Hinblick auf die vorgehängte Fassade bewertet.

- *Tragwerksentwurf mit genügender Mindestrobustheit:* Hiermit ist laut ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) gemeint, die Haupttragelemente - das sind jene Elemente bei dessen Versagen sich ein Kompletterversagen des Systems einstellt - derart massiv auszuführen, dass es zu diesem Szenario des kompletten Tragwerksversagens nicht kommen kann. (33; 44)

Für die VHF würde dies bedeuten, dass dünnwandige Unterkonstruktionen und Bekleidungselemente mit Dickenstärken im Zentimeterbereich nicht mehr ausreichen. Um ein komplettes Lösen der VHF zu vermeiden, schiebt die DIN 18516-1:2010 (17) mit der Anforderung die Außenwandbekleidung aus Naturwerkstein in maximale Größen von 50 m<sup>2</sup> zu unterteilen einen Riegel vor (17). Bei Bekleidungselementen mit Spröbruchversagen ist diese Forderung nicht umzusetzen. Für Bekleidungselemente anderer Materialien gibt es diese Forderung nicht. Eine weitere Maßnahme unter dem Punkt Robustheit ist gemäß ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) die Auswahl und Bemessung bestimmter Baustoffe, welche eine ausreichende Duktilität besitzen, um die Energie des Anpralls aufzunehmen und den Bruch zu verhindern (44). Hinsichtlich der VHF werden durch Stein A. (75) und Hagelstein R. (86) nachgiebige Unterkonstruktionen vorgestellt und deren Wirkung unter Anpralllasten mit gewöhnlichen Unterkonstruktionen verglichen.

- *Vermeidung oder Minderung der Einwirkung:* Als weitere Strategie schlägt die ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) vor das Risiko einer anprallenden Last durch Sicherungseinrichtungen wie Poller oder Leitschutzschienen zu minimieren oder zu vermeiden (44). Wobei ein Restrisiko auch bei vorgestellten Pollern oder Leitschutzschienen bestehen bleibt. Am System der VHF ändert sich bei dieser

Strategieauswahl nichts. Für neuralgische Verkehrspunkte mit Gebäuden, welche eine VHF besitzen ist diese Option zumindest aus technischer Sicht eine sinnvolle Lösung. Kritisch hinterfragen sollte man diese Lösung hinsichtlich der Ortsbildgestaltung und der möglichen Behinderung des Verkehrsflusses der Fußgeher und Radfahrer.

- *Bemessung des Tragwerks für die spezifizierte Einwirkung:* Hier macht die ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) keine weiteren Erläuterungen. Es kann angenommen werden, dass dem betroffenen Bauteil/Bauwerk ohne Reduktion durch die zwei obigen Ansätze die Anpralllast entweder ohne globales Tragwerkversagen widersteht oder eben nicht.

#### 4.7.3.3 Äquivalente statische Ersatzlasten

Wie schon im Einführungskapitel 4.7.3.1 kurz angesprochen werden die Anpralllasten aus der ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) in aller Regel über horizontale statische Ersatzlasten angegeben. Die angegebenen Werte aus der ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) für Anpralllasten aus Fahrzeugen können sowohl für die Stützen und Wände von Hochbauten und Brücken herangezogen werden. Die Unterteilung der Einwirkungen erfolgt dabei vorrangig über den Straßentypus. Der triviale Zusammenhang zwischen der zulässigen Geschwindigkeit auf dem vorliegenden Straßentyp und der Größe der Anpralllast ist leicht erkennbar. Doch nicht nur die Anfangsgeschwindigkeit beim Verlassen des Straßenkurses spielt eine Rolle, sondern auch der Abstand der jeweiligen Straße zum möglichen Anprallobjekt und der Winkel, in welchem das Fahrzeug auf die Wand oder Stütze trifft, welche bei den Ersatzlasten aber als direkter Parameter nicht ersichtlich ist. (33; 44)

Im Hinblick auf die vorgehängten Fassaden kann nicht davon ausgegangen werden, dass im näheren Umfeld einer Autobahn oder Schnellstraße Wände mit einer vorgehängten Fassade ein mögliches Risikopotenzial darstellt. Für die weiteren Zwecke werden diese horizontalen Ersatzlasten unberücksichtigt bleiben.

Die Tab. 4-11 zeigt ebenfalls, dass die ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) eine Unterteilung der einwirkenden Kräfte in Fahrtrichtung ( $F_{dx}$ ) und quer zur Fahrtrichtung ( $F_{dy}$ ) vornimmt. Der Energieeintrag ist wie erwartet bei einem Frontalaufprall am größten und spiegelt sich auch in der Tab. 4-11 wieder. Für die außergewöhnliche Bemessungssituation werden somit anhand des vorliegenden örtlich nächsten Straßentypus die horizontalen Ersatzlasten  $F_{dx}$  und  $F_{dy}$  aus der Abb. 4-11 ausgelesen und jeweils getrennt voneinander in zwei außergewöhnlichen Einwirkungskombinationen als Bemessungslast angesetzt. Ein gleichzeitiger Ansatz beider Anprallkräfte ist laut ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) und ÖNORM B 1991-1-7:2007 (33) nicht empfohlen. (33; 44)

**Tabelle 4-11: Anhaltswerte für äquivalente statische Anprallkräfte aus dem Straßenverkehr auf Fassaden nach (44)**

Straßentypus	Anpralllast in Fahrtrichtung ( $F_{dx}$ )	Anpralllast normal zur Fahrtrichtung ( $F_{dy}$ )
Hochrangiges Straßennetz (Autobahn und Schnellstraßen)	1000 kN	500 kN
Landstraßen/Freilandstraßen	750 kN	375 kN
Ortgebiet	500 kN	250 kN
Privatstraßen und Parkgaragen	50 kN (PKW)	25 kN (PKW)
	150 kN (LKW)	75 kN (LKW)

### Statische PKW Anpralllasten

Anpralllasten aus PKWs sind gemäß ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) und ÖNORM B 1991-1-7:2007 (33) in einer Angriffshöhe von  $H=25$  cm ab Straßenoberkante anzusetzen. Die Angriffshöhe ist bei PKW Anpralllasten mit 50 cm beschränkt. Als Lastbreite ist die Bauteilbreite heranzuziehen. Maximal dürfen 1,50 m für die Berechnung herangezogen werden. (33; 44)

In Hinblick auf die Bemessung von Fassaden, welche per se wandartige Bauteile darstellen, wird eine Lastbreite von 1,50m als sinnvoll erachtet. Die statische, horizontale Einzelkraft wird für die Bemessung in eine gleichwertige Flächenlast umgerechnet.

Die ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) und die ÖNORM B 1991-1-7:2007 (33) macht ausschließlich im langsameren Geschwindigkeitsbereich eine Unterscheidung zwischen einer PKW und LKW Anpralllast. (33; 44) Im höheren Geschwindigkeitsbereich (ab 50 km/h; Ortsgebiet), wirkt sich der große Massenunterschied von 1,50 to. für den PKW und 20-30 to. für den LKW (Gewichtsangaben aus der ÖNORM EN 1991-1-7:2014 Anhang C (44)) zu stark aus, sodass eine Unterscheidung nicht sinnvoll wäre.

Maßgebend ist für die Ermittlung der Anpralllasten im Ortgebiet, auf Freilandstraßen oder auf hochrangigen Straßen (Autobahn und Schnellstraßen) somit immer der LKW Verkehr. PKW Anpralllasten in Parkgaragen, Privatstraßen oder auch Einfahrten, bei welchen die Anprallgeschwindigkeit zwischen 5 und 20 km/h gering ausfällt (Geschwindigkeitsangaben aus der ÖNORM EN 1991-1-7:2014 Anhang C (44)) werden hingegen von der ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) gesondert ausgewiesen und sind gemäß Tab. 4-11 in Fahrtrichtung  $F_{dx}$  mit 50kN anzusetzen und normal zur Fahrtrichtung ( $F_{dy}$ ) mit 25 kN. (33; 44)



## Statische LKW Anpralllasten

Wie schon im oberen Absatz erwähnt, erfolgt bei der Einwirkungsermittlung über den Ansatz horizontaler, statischer Ersatzlasten über weite Teile keine Differenzierung zwischen PKW- und LKW-Last. Die Lasten können gemäß Tab. 4-11 für die unterschiedlichen Straßentypen angesetzt werden. Die ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) macht bei Einwirkungsermittlung keine Aussagen über KFZ Gewichte. Bei PKWs fällt dies nicht so stark ins Gewicht, weil die Schwankungsbreite wesentlich geringer ist als bei LKWs.

Es wird lediglich in einer Fußnote angemerkt, dass die Anpralllast ein LKW Leergewicht von größer 3,50to beinhaltet. Im Anhang C der ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) wird das Gewicht für die dynamische Anpralllast näher spezifiziert und liegt zwischen 20 bis 30 Tonnen. (33; 44)

Es ist außerdem zu hinterfragen, warum Anpralllasten für LKWs bei der Parkgaragenkategorie angeführt sind. Aufgrund der geringen Einfahrtshöhe ist LKWs eine Einfahrt in Parkhäusern in aller Regel nicht möglich. Der Ansatz der Anprallgeschwindigkeit in Privatstraßen oder bei Einfahrten wird für LKWs gemäß ÖNORM EN 1991-1-7:2014 Anhang C (44) mit 15km/h empfohlen. (33; 44)

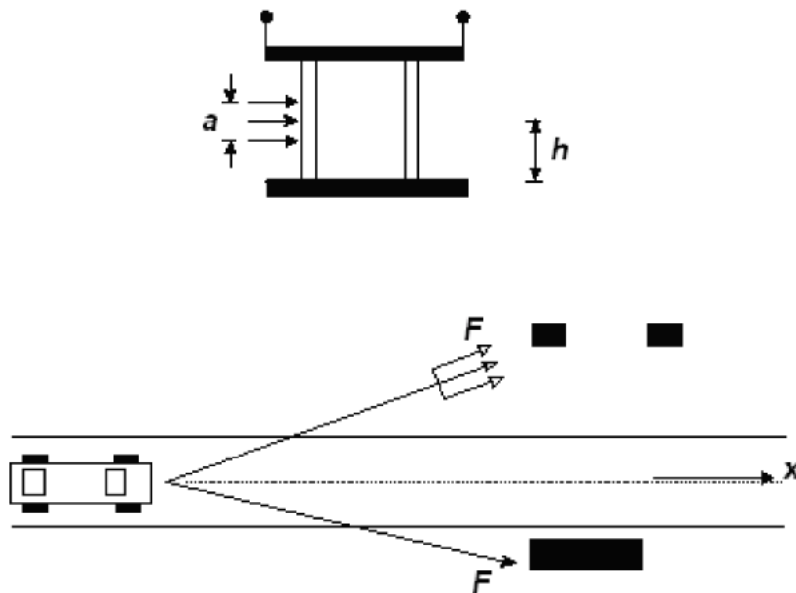


Abbildung 4-6: Anprallkraft auf Stützkonstruktionen und Wände neben Fahrspuren (44)

### 4.7.3.4 Dynamische Anpralllasten

In aller Regel erfolgt die Einwirkungsermittlung aus anprallenden Fahrzeugen mit statischen Ersatzlasten wie in Kap. 4.7.3.3 erläutert. Für tiefergehende Betrachtungen besteht seitens der ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) die Möglichkeit den Anprallvorgang, bei welchen die kinetische

Energie des Anprallobjekts vom Tragwerk und dem Anprallobjekt selbst, in Deformationsenergie aufgenommen werden muss, durch dynamische Anprallkräfte darzustellen. Die Einwirkungsermittlung und Bemessungssituation erfordert aber vom Tragwerksplaner tiefgreifendes Know-How in der ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) und allgemein beim Thema (Bau-)Dynamik.

Die ÖNORM B 1991-1-7:2007 (33) gibt zu diesem Verfahren keine weiteren nationalen Festlegungen. Der angesprochene Anhang C bleibt somit informativ. Grundlage der weiteren Überlegungen ist die konservative Annahme des Anpralls als harter Stoß. Somit wird das Tragwerk (z.B. die Fassade) als starr und unbeweglich angesehen und die komplette Energieumwandlung vom anprallenden Objekt übernommen. Als Eingangsparameter für die Ermittlung der maximalen dynamischen Kraft gehen die Anprallgeschwindigkeit  $v_R$ , die Masse  $m$  des Anprallobjekt und die Steifigkeit  $k$  des Anprallobjekts ein. Letztere ist über das Verhältnis der Kraft zur Objektsverformung ermittelbar. Die maximale dynamische Kraft ergibt sich somit zu:

$$F = v_r \sqrt{km} \quad (4.29)$$

Für die Anprallgeschwindigkeiten von LKWs sollte folgender Ausdruck herangezogen werden, um im Anschluss realistische Anpralllasten zu erhalten:

$$v_r = \sqrt{v_0^2 - 2as} = v_0 \sqrt{1 - \frac{d}{d_b}} \quad (4.30)$$

Die Erläuterung der Parameter im oberhalb ersichtlichen Ausdruck wird auf der nächsten Seite erläutert bzw. grafisch ersichtlich gemacht.

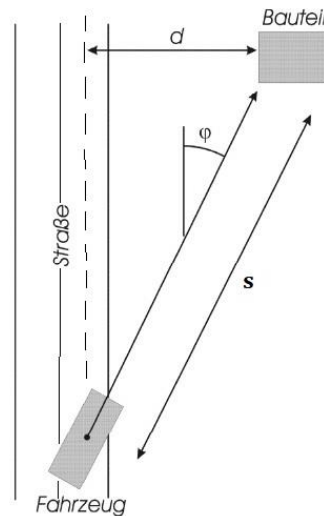
Falls es für Berechnungen notwendig ist, das Anprallszenario als weicher Stoß zu berechnen, so entspricht die Steifigkeit  $k$  jener des Tragwerks, welches sich in diesem Falle elastisch verhält. Ist eine entsprechende Tragwerksduktilität gewünscht bzw. erforderlich, so sind weitere Randbedingungen erforderlich welche in der ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) Anhang C ersichtlich sind. Um schlussendlich die dynamische Anpralllast  $F_d$  als außergewöhnliche Einwirkung zu erhalten, welche sich zu folgenden ergibt:

$$F_d = F_0 \sqrt{1 - \frac{d}{d_b}} \quad (4.31)$$

Ist einerseits die ermittelte Anprallkraft  $F = F_0$  aus Gleichung (4.29) notwendig und andererseits der Wissensstand über die negative Beschleunigung  $a$  bei Verlassen der Fahrspur, der Abstand  $d$  von der Fahrspurmittellinie zum Anprallziel und dem Bremsabstand  $d_b$ , welcher sich aus dem

Verhältnis zwischen Momentangeschwindigkeit beim Verlassen der Fahrspur  $v_0$  und der doppelten negativen Beschleunigung zusammensetzt in Verbindung mit dem Winkel zwischen Fahrstreifen und der Richtung des abkommenden KFZ.

$$d_b = \left( \frac{v_0^2}{2a} \right) \sin \varphi \quad (4.32)$$



**Abbildung 4-7: Situationsskizze Fahrzeuganprall nach (44)**

Um die Einwirkungsermittlung der dynamischen Anpralllast  $F_d$  zu erleichtern, sind in der ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) für die Fahrzeugmasse  $m$ , die Momentangeschwindigkeit beim Verlassen der Fahrspur  $v_0$  für den jeweiligen Straßentyp, die negative Beschleunigung und den Bremsabstand  $d_b$  Erfahrungswerte mit einer gewissen Schwankungsbreite angegeben. In der **Tab. 4-12**, sind jene Werte **rot** geschrieben, welche in der ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) gewählt wurden, um die Anprallkraft  $F_0$  zu ermitteln. Beim Straßentyp Einfahrten PKW und Parkhäuser gibt es bei der Fahrzeugmasse keinen Schwankungsbereich, deshalb sind diese auch nicht extra rot geschrieben. Wie auch schon bei den statischen Ersatzlasten aus Kap. 4.7.3.3 und 4.7.3.4 erläutert, ist in den meisten Fällen der LKW die maßgebende Anprallmasse. Falls projektspezifischen Werten zur Ermittlung der Einwirkung vorliegen, sind selbstverständlich diese heranzuziehen. (33; 44)

**Tabelle 4-12: Anhaltswerte zur Ermittlung der Anprallkraft  $F_d$  adaptiert nach ÖN EN 1991-1-7:2014 (44)**

Straßentyp	Geschwindigkeit $v_0$ [km/h]	Negative Beschleunigung $a$ [ $m/s^2$ ]	Fahrzeugmasse PKW [kg]	Fahrzeugmasse LKW [kg]	Steifigkeit $k$ [kN/m]	Bremsabstand $d_b$ [m]
Autobahn	80±10 (gew. 90)	4±1,3 (gew. 3,0)	1500±0	20000±12000 (gew. 30000)	300	20
Ortsgebiet	40±8 (gew. 50)	4±1,3 (gew. 3,0)	1500±0	20000±12000 (gew. 30000)	300	10
Einfahrten	15±5	4±1,3	1500±0	20000±12000	300	/
Einfahrten PKW	20	4±1,3 (gew. 3,0)	1500	/	300	2
Einfahrten restliche KFZ	15	4±1,3 (gew. 3,0)	/	30000	300	2
Parkhäuser	5±5 (gew. 10)	4±1,3 (gew. 3,0)	1500	/	300	1

Unter Einsatz der Formel XY ergeben sich mit den Anhaltswerten aus Tab. 4-18 die folgenden Anprallkräfte  $F_0$ :

- Autobahn: 2400 kN,
- Ortsgebiet: 1300 kN,
- Einfahrten PKW: 120 kN,
- Einfahrten restliche KFZ: 500 kN,
- Parkhäuser: 50 kN.

Setzt man nun die oberhalb ersichtlichen Anprallkräfte  $F_0$  mit den jeweiligen Werten für  $d$  und  $d_b$  in die Formel (31) ein, so ergibt sich eine dynamische Anpralllast  $F_d$ , welche in ihrer Größe reduziert ist, weil der Ausdruck unter der Wurzel maximal den Wert 1 erreichen kann. (33; 44)

#### 4.7.3.5 Bemessung nach DIN 4103-1:2015 (80)

Neben der umfassenden Regelungen von weichen Stößen an nicht tragende Trennwände regelt die DIN 4103-1:2015 (80) auch in einer kurzen Abhandlung den Anprall einer kleinen, kompakten Masse auf die Trennwand in Form eines harten Stoßes. Hinsichtlich des harten Stoßes schreibt die DIN 4103-1:2015 (80) folgende Versuchsparameter vor um die Trennwand auf lokale Beschädigungen zu testen:

- Stoßenergie  $E_{\text{Versuch}}$  10 Nm,
- Stoßkörpermasse 1,0 kg (1030 g) – Stahkugel  $\varnothing$  63,5 mm oder Stahlzylinder  $r=35$  mm,
- Fallhöhe 1,0 m – pendelartige oder vertikale Fallbewegung.

Die geforderte Stoßenergie ist wiederum über die Formel für die kinetische Energie verifizierbar:

$$E_{\text{Versuch}} = \frac{mv^2}{2} = \frac{1\text{kg} * (4,47 \text{ m/s})^2}{2} = 10 \text{ Nm} \quad (4.33)$$

Der Nachweis der Widerstandsfähigkeit an einer Stelle der Trennwand ist erbracht, wenn bei 15 Versuchen mit je einem hartem Stoß kein Versagen eintritt. Dabei ist ein besonderes Augenmerk auf jene Stellen zu legen, welche in der Nähe von Befestigungen und Auflagerungen liegen. (80)

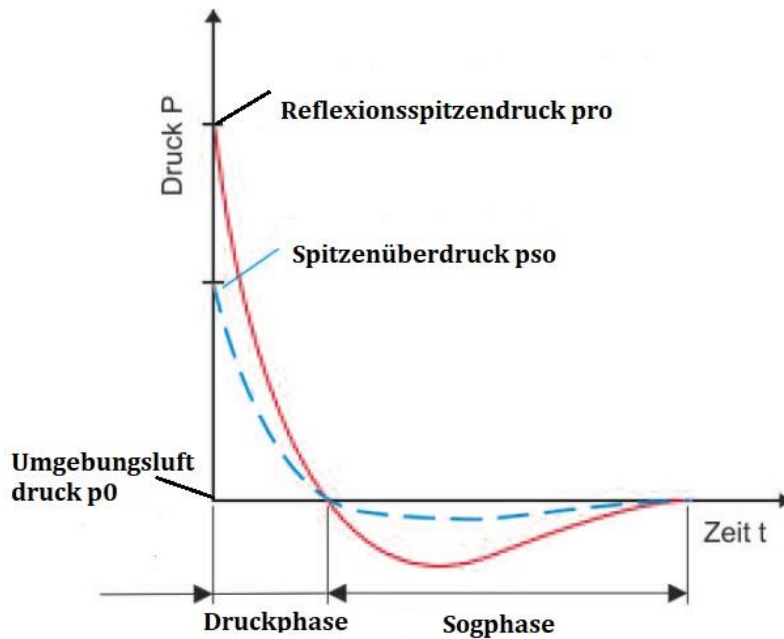
Die Anforderungen an die Tragfähigkeit gelten unabhängig von der Stoßart und sind im Kap. 4.7.2.2 beschrieben. Die ETB-Richtlinie (81) regelt wie auch schon den weichen Stoß aus Kap. 4.7.2.3 ident zur DIN 4103-1:2015 (80) und wird darum hier nicht nochmals erläutert.

## **4.8 Einwirkung aus Explosion**

### **4.8.1 Allgemeines**

Die Explosionseinwirkung ist die letzte außergewöhnliche Einwirkung, welche im Zuge dieser Arbeit näher betrachtet wird. Chemisch betrachtet ist eine Explosion eine Reaktion, welche durch das Zusammenwirken von Luft mit Staub, Dampf oder Gas entsteht und sehr schnell abläuft und durch die nachfolgende hohe Temperaturentwicklung und die entstehende Druckwelle als außergewöhnliche Einwirkung großen Schaden anrichten kann. Explosionsdrücke bei Innenraumexplosionen von bis zu  $10^3 \text{ kN/m}^2$  sind je nach Staubmedium möglich. (91)

Um die Druckwellen mathematisch beschreiben zu können, werden diese als Stoßfunktionen  $p(t)$  formuliert. Vorzugsweise werden dreieck-, rechteck- oder parabelförmige Funktionen verwendet, um es nicht unnötig zu komplizieren. Anhand dieser lässt sich der dynamische Erhöhungsfaktor ermitteln. (92) Um die semi-empirischen Formeln im Kap. 4.8.2 zu verstehen, ist es notwendig das Druck-Zeitverlaufdiagramm, auch Friedländerfunktion genannt, näher zu betrachten.



**Abbildung 4-8: Friedländerfunktion adaptiert nach Bemessung von Baustrukturen in Stahl - und Verbundbauweise für Anprall- und Explosionslasten nach (93)**

Infolge der Druckwellenausbildung bei einer Explosion, kommt es innerhalb von Millisekunden zu einem erheblichen Anstieg gegenüber dem Umgebungsluftdruck  $p_0$  bis der Spitzendruck  $p_s$  erreicht wird. Die Größe des Spitzendrucks ist dabei einerseits abhängig von der Masse und Art des Sprengmittels, andererseits auch von der Entfernung vom Explosionsherd. Der Spitzendruck nimmt hierbei mit der 3. Potenz des Abstands vom Explosionsherd ab. Diese kurze positive Druckdauer  $t_d$  (Überdruckphase), wechselt wiederum innerhalb von Millisekunden in die länger dauernde negative Druckphase, welche geprägt ist von einer Sogbelastung, welche aber aufgrund der geringeren Amplitude nicht bemessungsrelevant ist. Prinzipiell kann gesagt werden, dass eine Freifeldexplosion ungefährlich ist, solange die Druckwelle auf kein Hindernis trifft. Ist dies doch der Fall, kommt es zu einer Anstauung des Spitzendrucks  $p_{so}$ , welcher anschließend von der Oberfläche des Hindernisses reflektiert wird. Dieser Reflexionsspitzendruck  $p_{ro}$  ist jener Druck, welcher für die Bauteilbemessung herangezogen wird und in Abhängigkeit von der Hindernisorientierung gegenüber der Druckwelle deutlich größer sein kann als der Spitzendruck  $p_{so}$ . Grund hierfür ist einerseits die Überlagerung aus einfallenden und reflektierten Wellen und andererseits der dynamische Staudruck. Die Größe von  $p_{ro}$  ist dabei abhängig vom Reflexionskoeffizienten  $C_r$ , welcher wiederum durch die Variation des Auftreffwinkels und dem Druckverhältnis zwischen Spitzendruck und Umgebungsdruck bestimmt wird. Für einfache Betrachtungen gibt Kramer H. (92) einen konservativen Ansatz von  $C_r=3$  an bzw. können die Parameter auch über die semi-empirischen Formeln aus Kap. 8.4.2 abgeleitet werden. Für genauere Betrachtungen werden das Druck-Zeitverlaufdiagramm und dessen Parameter versuchstechnisch oder aus Simulationen ermittelt. (91; 92)

Wie auch die Einwirkung aus Anprall fristet die Explosionseinwirkung leider immer noch ein Schattendasein bei den Planern und Bauherren. Einerseits gibt es seitens der ÖNORM EN 1991-7-1:2014 (44) keine Regelung hinsichtlich mutwillig herbeigeführte Explosionen, welche von außen auf das Gebäude einwirken und andererseits ist die Beurteilung der möglichen Gefahrensituation und die Auslegung des Schutzbedürfnisses nicht einfach zu definieren, obwohl die Schutzfunktion der Gebäude bzw. Gebäudehülle in den letzten Jahren durch terroristische Angriffe immer mehr in den Fokus der Öffentlichkeit gerückt ist. Explosionseinwirkungen von außen, durch Sprengladungen ausgelöst, sind leider heutzutage aus vielen Städten nicht mehr wegzudenken und sollten in Zukunft stärker bei den Planungen berücksichtigt werden. (93)

Im Zuge dieses Kapitel werden semi-empirische Gleichungen für die Einwirkungsermittlung von mutwillig-ablaufenden Explosionen (Terrorismus) vorgestellt, welche eine triviale Anwendung bei der Tragwerksplanung ermöglichen. Außerdem werden die in der ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) geregelten Einwirkungen für Innenraumexplosionen vorgestellt, welche induziert durch Staub, brennbare Flüssigkeiten oder einen Gasanschluss ebenfalls eine außergewöhnliche Einwirkung darstellen.

#### **4.8.2 Einwirkungen aus terroristisch induzierten Explosionen**

Wie schon im Kap. 4.8.1 erwähnt ist die Bedrohung eines terroristischen Angriffs in den letzten Jahren angewachsen. Ein Umdenken bzw. Weiterdenken der Projektbeteiligten zum Zwecke einer ausreichenden Schutzfunktion des Gebäudes ist unumgänglich geworden. Um aber den planerischen Aufwand nicht unnötig in die Höhe zu treiben, sollte während der Planungsphase intensiv über die zu schützenden Güter und mögliche Gefahren Gedanken gemacht werden. Je nach Gebäudeart und Komplexität empfiehlt die ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) und die Publikation „Bemessung von Baustrukturen in Stahl und Verbundbauweise für Anprall- und Explosionslasten“ (93) die Anwendung einer Strategien- und Risikoanalyse, welche in ihren Grundzügen im Kap. 4.7.3.2 grob beschrieben ist. Ist aufgrund der Gebäudenutzung und Schadensfolgeklasse eine Risikoanalyse notwendig, werden mögliche Gefahrenszenarios in Abstimmung mit dem Bauherren durchgesprochen (z.B. das Platzieren einer Autobombe, Kofferbombe, Mörserangriff etc.). Für diese definierten Szenarien werden anschließend die Einwirkungen ermittelt. Da sich diese Arbeit ausschließlich mit den Einwirkungen beschäftigt, bildet dieser Punkt die Ausgangslage für die folgenden Formeln und Überlegungen. Die Grundparameter für die Ermittlung der Druckwellenbelastung aus einer terroristisch induzierten Explosion bilden dabei stets der Abstand  $R$ , welcher zwischen dem Explosionsherd und dem Ziel der terroristischen Aktion, dem Gebäude geschaffen werden kann und die Masse und Art des eingesetzten Sprengstoffs. Die in Kap 4.8.1 vorgestellt Friedländerfunktion hat eigentlich nur Gültigkeit wenn sich die Druckwelle kugelförmig in alle Himmelsrichtungen ungestört ausbreiten

kann. Da dies für gewöhnlich in Bodennähe nicht der Fall ist, kommt es durch die Reflexion der Druckwelle am Boden zu einer Abänderung der Explosionsmasse  $m$ . Der Boden ist zwar nicht als starre Reflexionsebene anzusehen. Es kommt aber durch den Formfaktor  $k=1,80$  dennoch zu einer rechnerisch fast doppelt so großen TNT Explosionsmasse  $m_{eff}$ .

$$m_{eff} = m \cdot k \text{ [kg]} \quad (4.34)$$

Um die semi-empirischen Formeln erläutern zu können bedarf es noch der Einführung des sogenannten skalierten Abstandsp Parameters  $z$ , welcher ebenfalls bei Friedländerfunktion gilt und die übrigen Parameter der semi-empirischen Formeln sich durch diesen Parameter ausdrücken lassen.

$$z = \frac{R}{m_{eff}^{\frac{1}{3}}} [-] \quad (4.35)$$

Bis zu  $z=0,5$  spricht man von Explosionen im Nahbereich, welche durch die folgenden Formeln nicht abgedeckt werden. Hier kommt es zu lokalen Beanspruchungen, welche sich z.B. mit dem Durchstanzen von Bauteilen kennzeichnen. Der Fernbereich mit  $z > 0,5$  wird hingegen von den Formeln abgedeckt.

**Tabelle 4-13: Abhängigkeit des Abstandsp Parameters vom Völligkeitsparameter nach (93)**

Abstandsp Parameter $z$ [-]	1	1,5	2	3	4	5	10	20	30	40	50
Völligkeitsparameter $\alpha$ [-]	3,71	2,05	1,34	0,79	0,6	0,5	0,34	0,25	0,22	0,2	0,18

Für die in Kap 4.8.1 ersichtliche Friedländerfunktion (Abb. 4-8) werden nun der Spitzenüberdruck  $p_{so}$ , die Dauer der Überdruckphase  $t_d$  und der flächenbezogene Impuls der Überdruckphase  $i_r$  in einen mathematischen Zusammenhang gebracht.  $P_0$  ist dabei der Umgebungsluftdruck von 101,3 kPa bei einer Temperatur von 15°C auf Meeresniveau.

$$p_{so} = p_0 \cdot \frac{808 \cdot \left(1 + \left(\frac{z}{4,5}\right)^2\right)}{\sqrt{1 + \left(\frac{z}{0,048}\right)^2} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{z}{0,032}\right)^2} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{z}{1,35}\right)^2}} \text{ [kPa]} \quad (4.36)$$

$$t_d = m_{eff}^{1/3} \cdot \frac{980 \cdot \left(1 + \left(\frac{z}{0,54}\right)^{10}\right)}{\left(1 + \left(\frac{z}{0,02}\right)^3\right) \cdot \left(1 + \left(\frac{z}{0,74}\right)^6\right) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{z}{6,9}\right)^2}} \text{ [ms]} \quad (4.37)$$

$$i_r = p_{so} \cdot t_d \left(\frac{1}{\alpha} - \frac{1 - e^{-\alpha}}{\alpha^2}\right) \quad (4.38)$$



Der ermittelte Spitzendruck  $p_{so}$  stellt hierbei den Kennwert für die Einwirkung aus terroristisch induzierten Explosionen. Die Überdruckphase  $t_d$  und der flächenbezogene Impuls der Überdruckphase  $i_r$  sind Kennwerte, welche zur Ermittlung der dynamischen Bauteilantwort dienen. Die Ermittlung der Bauteilwiderstände ist nicht Thema dieser Arbeit und kann in der Publikation „Bemessung von Baustrukturen in Stahl - und Verbundbauweise für Anprall- und Explosionslasten“ (93) nachgelesen werden (93).

#### 4.8.3 Einwirkungen aus Innenraumexplosionen nach ÖN EN 1991-1-7 (44)

Die ÖNORM EN 1991-1-7:2014 [113] regelt die Einwirkungsermittlung von Innenraumexplosionen, welche einerseits durch die Lagerung von explosiven Stoffen in allen drei Aggregatzuständen ausgelöst werden können, andererseits auch durch das Vorhandensein eines Gasanschlusses im Innenraum. Prinzipiell besagt die ÖNORM B 1991-1-7:2007 (33), dass die im Anhang D der ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) dargestellte Einwirkungsermittlung von Innenraumexplosionen informativ zu sehen ist. Besteht trotzdem die projektspezifische Anforderung das Tragwerk auf Innenraumexplosionen auszulegen, so ist dies erst für Versagensfolgeklasse CC2 und CC3 notwendig.

Liegt nun die Gefahr einer Innenraumexplosion durch explosive Stäube vor, liefert die ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) über den unterhalb ersichtlichen formellen Zusammenhang keinen Explosionsspitzenwert zur anschließenden Bemessung, sondern gibt die benötigte Fläche der Öffnungselemente an, welche sich bei einem bestimmten Explosionsdruck öffnen und somit den Schaden durch die Explosion begrenzen.

$$A = [4,485 \cdot 10^{-8} \cdot p_{\max} \cdot K_{st} \cdot p_{Bem}^{-0,569} + 0,027 \cdot (p_{stat} - 10) \cdot p_{Bem}^{-0,5}] \cdot V^{0,753} \quad (4.39)$$

Die Parameter in der Formel stehen dabei für folgendes:

- $A$  ist die Öffnungsfläche der Elemente in  $m^2$ ,
- $p_{\max}$  ist der Maximaldruck des Staubes in  $kN/m^2$ ,
- $p_{Bem}$  ist der Druck, bei dem die Bemessungsfestigkeit des Tragwerks erreicht ist in  $kN/m^2$ ,
- $p_{stat}$  ist der statische Aktivierungsdruck aufgrund der Öffnungsgröße in  $kN/m^2$
- $K_{st}$  ist der Deflagrationsindex der Staubwolke in  $kN/m^2$ ; dieser Wert steht für das Explosionsverhalten des Stoffs und ist abhängig von der chemischen Zusammensetzung, der Partikelgröße und dem Feuchtegehalt - je größer der  $K_{st}$  Wert ist, umso größer ist der Explosionsdruck und die Anstiegszeit reduziert sich.

Die ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) gibt zwar noch Randbedingungen an, zwischen welchen Grenzwerten  $p_{\max}$ ,  $p_{\text{Bem}}$ ,  $p_{\text{stat}}$  und die Raumgröße und Volumina liegen dürfen, um die oberhalb ersichtlich Formel anwenden zu dürfen. (44)

Es gibt aber keine Hinweise oder Empfehlungen hinsichtlich der Ermittlung von  $p_{\max}$ ,  $p_{\text{Bem}}$ ,  $p_{\text{stat}}$ . Desweiteren ist anzumerken, dass die untere Schranke bei den Randbedingungen für  $p_{\max}$  vom  $K_{\text{St}}$  Wert unabhängig ist!

- Raumvolumen  $0,1\text{m}^3 \leq V \leq 10000\text{m}^3$ ,
- $L_3/D_E \leq 2$ , wobei  $L_3$  die größte Raumabmessung ist und  $D_E$  sich aus folgenden Zusammenhang ergibt,

$$D_E = 2 \cdot (L_1 \cdot L_2 / \pi)^{0,5} \quad (4.40)$$

- $10 \text{ kN/m}^2 \leq p_{\text{stat}} \leq 100 \text{ kN/m}^2$ ,
- $500 \text{ kN/m}^2 \leq p_{\max} \leq 1000 \text{ kN/m}^2$  für  $K_{\text{St}}$  Werte zwischen  $1000 \text{ kN/m}^2 \times \text{ms} \leq K_{\text{St}} \leq 30000 \text{ kN/m}^2 \times \text{ms}$ ,
- $500 \text{ kN/m}^2 \leq p_{\max} \leq 1200 \text{ kN/m}^2$  für  $K_{\text{St}}$  Werte zwischen  $30000 \text{ kN/m}^2 \times \text{ms} \leq K_{\text{St}} \leq 80000 \text{ kN/m}^2 \times \text{ms}$ . (44)

#### 4.8.4 Einwirkungen aus Erdgasexplosionen nach ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44)

Bei der Einwirkungsermittlung von Erdgasexplosionen spielen zwar wie bei den Innenraumexplosionen die Größe der Öffnungselemente  $A_V$  und das Raumvolumen  $V$  eine Rolle. Die eigentliche Bemessung erfolgt aber über einen statisch äquivalenten Nenndruck  $p_d$ . Die folgenden Formeln für die Ermittlung von  $p_d$  gelten bis zur einen Raumvolumen von  $V=1000 \text{ m}^3$ .

$$p_d = 3 + p_{\text{stat}} \left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right] \quad (4.41)$$

$$p_d = 3 + \frac{p_{\text{stat}}}{2} + \frac{0,04}{\left(\frac{A_V}{V}\right)^2} \left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right] \quad (4.42)$$

Das Verhältnis zwischen Größe der Öffnungselemente und Raumvolumen ist laut ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) folgendermaßen begrenzt (44):

$$0,05 \cdot \left( \frac{1}{\text{m}} \right) \leq \frac{A_V}{V} \leq 0,15 \quad (4.43)$$

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

### 5.1 Zusammenfassung

In den ersten beiden Kapitel dieser Arbeit wurden die Grundlagen von Fassadensystemen und in speziellen jene von vorgehängten hinterlüfteten Fassaden in aller Kürze zusammengefasst um den Fokus dieser Arbeit auf die Aufbereitung und Zusammenstellung des normativen Status Quo zu den außergewöhnlichen Lastansätzen bei vorgehängten Fassaden zu lenken. Das außergewöhnliche Lastansätze (ausgenommen Erdbebenlasten) bis dato ein Schattendasein in der Tragwerksbemessung fristeten, resultierte aus der Kombination aus der Häufigkeit der Notwendigkeit und der Vielzahl an möglichen anzuwendenden Normen. Generell kann gesagt werden, dass die Teilsicherheitsbeiwerte für außergewöhnliche Lastkombinationen aus der ÖNORM B 1990-1:2013 (34) und ÖNORM EN 1990:2013 (35) heranzuziehen sind. Ausgenommen davon sind die Teilsicherheitsbeiwerten für die Bemessung der Vorhangfassadenstruktur. Bei Erdbebenlasten gibt es hinsichtlich des Bemessungsansatz eine eindeutige Bemessungsregel, welche aus der ÖNORM EN 1998-1:2013 (49) und der ÖNORM B 1998-1:2017 (32) stammt und gewissen Vereinfachungen zu Nutze macht. Die resultierende horizontale Erdbebenkraft muss hierbei nicht in beide Richtungen gleichzeitig bei der Bemessung angesetzt werden, aber sollte auf jeden Fall in beide Richtungen berücksichtigt werden. Bemessungstabellen aus zweier namhafter Hersteller (19; 20) bestätigen diese korrekte Vorgehensweise.

Bei der Ermittlung von Anpralllasten für nichttragende Bauteile, wie vorgehängte Fassaden es sind, wurde eine Differenzierung zwischen harten und weichen Stoß gemacht. Anzumerken ist hier nach ergiebiger Literaturrecherche, dass die Begrifflichkeiten in diversen Quellen vertauscht werden. Der weiche Stoß (Anprall), welcher durch stürzende Personen oder werfende oder fallende Objekte bei Wartungsarbeiten vorkommt, wird in sämtlichen angeführten Normen und Richtlinien, versuchsgestützt über den Pendelschlagversuch nach ÖNORM EN 12600:2002 (82) nachgewiesen. Es besteht zwar normativ die Möglichkeit, den Nachweis rechnerisch zu erbringen. So fordert aber die beispielsweise die ÖNORM B 3716-3:2015 (89), dass die FE-Berechnung den Versuch bestmöglich abbildet und somit es wiederum um den Pendelschlagversuch geht. Ebenfalls ist anzumerken, dass die besprochenen Normen und Richtlinien, welche den weichen Stoß behandeln, sich hauptsächlich mit Glas oder Gipskartonwänden als Baustoff beschäftigen. Einzig Hagelstein R. (86) schreibt, dass die Rechenverfahren aus der DIN 4103-1:2015 (80) und der TRAV (85) „auch auf Naturwerkstein-Fassadenplatten übertragen werden“ können. (86) Bei der Ermittlung von Anpralllasten aus KFZ, welche auch als harter Stoß geführt werden, muss man sich glücklicherweise mit nur einer Bemessungsnorm beschäftigen. Die ÖNORM EN 1997-1-7:2014 (44) und die ÖNORM B 1991-1-7:2007 (33). In dieser werden im Hauptteil die Anpralllasten über horizontale statische Ersatzlasten angegeben. Eine Angabe über die jeweilige

Fahrzeugmasse und die Geschwindigkeit bleiben dem Anwender bei diesen Lastansätzen verwehrt. Erst die die genauere Betrachtung im Anhang C der ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44), bei der dynamische Anpralllasten ermittelt werden geht auf die Parameter Geschwindigkeit, Fahrzeugmasse und den Bremsabstand ein. In beiden Fällen sind die Lastansätze rasch feststellbar. Die die darauffolgende dynamische Berechnung erfordert vom Anwender aber fundiertes Wissen in der dynamischen Berechnung von Bauteilen und mehr Bearbeitungszeit als der Ansatz von horizontalen statischen Ersatzlasten. Anzumerken ist hier auch, dass die Popularität der Sport Utility Vehicle (SUV) mit großer Fahrzeugmasse keine Berücksichtigung findet. Ebenso werden mutwillig herbeigeführte Fahrzeuganpralllasten durch Amokfahrten mit KFZ, die in jüngerer Vergangenheit vorgekommen sind, nicht behandelt.

Als letzte außergewöhnliche Einwirkung in dieser Arbeit wurde die Einwirkungsermittlung aus Explosionen betrachtet. In der ÖNORM EN 1991-1-7:2014 (44) und der ÖNORM B 1991-1-7:2007 (33). Prinzipiell kann neben einer Staubexplosion im Innenraum, auch die Lagerung von gefährlichen Stoffen jeglichen Aggregatzustand, der Gasanschluss oder die Zündung von Sprengstoff zu Explosionen führen. Einzig ersteres wird über einen Bemessungsansatz in der ÖNORM EN 1991-1-7 (44) behandelt. Sprengstoff wird in dieser Norm ausgeklammert und zu den anderen möglichen Zündquellen wird lediglich die angemerkt, dass diese beim Entwurf zu berücksichtigen sind. Für den Fall von terroristischen induzierten Explosionen wurde anhand der Publikation „Bemessung von Baustrukturen in Stahl und Verbundbauweise für Anprall und Explosionslasten“ (93) ein Bemessungskonzept überliefert, welches als Grundgedanke die Friedländerfunktion hat und schlussendlich in Abhängigkeit des Abstand vom Gebäude und der Masse an eingesetzten Sprengstoff, einen bemessungsrelevanten Spitzendruck  $p_{so}$  liefert.

## 5.2 Ausblick

Die Literaturrecherche brachte abgesehen von der teils schwierigen Ermittlung der Lastansätze für die verschiedenen Einwirkungen, die Erkenntnis dass, die Begrifflichkeiten in den untersuchten Literaturquellen nicht eindeutig definiert sind und somit oft Missverständnisse für den Anwender entstehen. Als vorgehängte Fassaden sind oftmals vorgehängte hinterlüftete Fassaden gemeint, obwohl es auf der anderen Seite die Vorhangfassaden gibt, welche unter Umständen ebenfalls als vorgehängt bezeichnet werden. Selbst als Verfasser dieser Arbeit beschäftigte ich mich vermehrt mit vorgehängten hinterlüfteten Fassaden, da dieses Missverständnis erst ausgeräumt wurde als die Arbeit nahezu fertiggestellt war. Dahingehend sollten Mischbegriffe aus künftigen Quellen gestrichen werden und es nur noch zwei Begrifflichkeiten geben dürfen. Den der Vorhangfassaden und jenen der vorgehängten hinterlüfteten Fassade. Hinsichtlich Lastansätze sollten folgende Punkte erforscht werden und schlussendlich in die Norm aufgenommen werden.

- Analytisches Nachweiskonzept für den Anprall von Personen,
- Anpralllasten für Radfahrer und E-Scooterfahrer,
- Statische Ersatzanpralllasten an die Fahrzeugkategorie der SUVs adaptieren,
- Anpralllasten durch Amokfahrten mit KFZ,
- Terroristische induzierte Explosionslasten normativ aufnehmen.

## 6 Literaturverzeichnis

1. **Kolbitsch, Andreas.** *Hochbaukonstruktionen 1 Teil B.* April 2015. Wien : E 208 Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik, Forschungsbereich Hochbaukonstruktionen und Bauwerkserhaltung, Technische Universität Wien, 2015.
2. **Gamerith, Horst und Maydl, Peter.** *Ökonomisch-ökologische Optimierung vorgehängter Fassaden : Planungsgrundsätze ; Schlussbericht zum 1. Forschungsjahr.* Wien : ZT-ARGE "Gamerith-Maydl", 2003.
3. **Fouad, Nabil A.** *Bauphysik-Kalender 2017 : Gebäudehülle und Fassaden.* Berlin : Wilhelm Ernst und Sohn, 2017. ISBN 3-433-60780-X.
4. **Austrian Standards International.** *ÖNORM EN 13119, Ausgabe:2016-09-15, Vorhangfassaden - Terminologie.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2016.
5. **Austrian Standards International.** *ÖNORM EN 13830, Ausgabe:2015-06-15, Vorhangfassaden - Produktnorm.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2015.
6. **Pech, Anton, Pommer, Georg und Zeininger, Johannes.** *Fassaden.* Wien : Ambra |V, 2014. Bd. 13. ISBN 978-3990430866.
7. **Stein, Alfred.** *Fassaden aus Natur- und Betonwerkstein : Konstruktion und Bemessung nach DIN 18516.* München : Callwey, 2000. ISBN 3766714074.
8. **Österreichischer Fachverband für hinterlüftete Fassaden.** *Richtlinie für die Planung und Ausführung von vorgehängten hinterlüfteten Fassaden.* [PDF]. Brunn am Gebirge : Österreichischer Fachverband für hinterlüftete Fassaden, 2018. 2018-10.
9. **Hydro Building Systems Austria GmbH.** [Online] [Zitat vom: 27. 03 2019.] <https://www.wicona.com/de/at/WICONA-Produkte/Fassaden/Doppelfassade/>.
10. **Kautsch, Peter, et al.** *Thermisch-hygrisches Verhalten von GlasDoppelFassaden unter solarer Einwirkung : Theorieevaluierung durch Vorort-Messung .* Wien : Bundesministerium für Verkehr, Innovation u. Technologie, 2002.
11. **Concenta GmbH.** *Planung und Ausführung von vorgehängten hinterlüfteten Fassaden.* Linz : Concenta GmbH, 2015. 2015-06.
12. **Fachverband Baustoffe und Bauteile für vorgehängte hinterlüftete Fassaden.** *VHF Planung und Ausführung. FVHF-Leitlinie; Planung und Ausführung von Vorgehängten Hinterlüfteten Fassaden (VHF).* [PDF]. Berlin : Fachverband Baustoffe und Bauteile für vorgehängte hinterlüftete Fassaden e.V. (FVHF), 2017. 2017-11.
13. **Schreiber, Stephan.** *P&A von VHF nach DIN 18516-1.* [Powerpointpräsentation PDF] s.l. : Fachverband für Baustoffe und Bauteile für vorgehängte hinterlüftete Fassaden e.V. (FVHF), 2018.
14. **FH JOHANNEUM GmbH.** *Fassadensysteme im Fokus der Lebenszyklusbetrachtung.* Graz : WKO Steiermark, Landesinnung Bau, 2016.
15. **Österreichisches Institut für Bautechnik.** *OIB-Richtlinie 6, Energieeinsparung und Wärmeschutz (OIB-330.6-026/19).* Wien : Österreichisches Institut für Bautechnik, 2019. 2019-04.
16. **Austrian Standards International.** *ÖNORM B 6000, Ausgabe:2018-08-01, Werkmäßig hergestellte Dämmstoffe für den Wärme- und/oder Schallschutz im Hochbau, Produktarten,*

*Leistungsanforderungen und Verwendungsbestimmungen.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2018.

17. **Deutsches Institut für Normung e.V.** *DIN 18516-1, Ausgabe:2010-06, Außenwandbekleidungen, hinterlüftet - Teil 1: Anforderungen, Prüfgrundsätze.* Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2010.

18. **Austrian Standards International.** *ÖNORM EN ISO 10211, Ausgabe:2018-02-01, Wärmebrücken im Hochbau - Wärmeströme und Oberflächentemperaturen - Detaillierte Berechnungen (ISO 10211:2017).* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2018.

19. **EUROFOX GmbH.** [Online] [Zitat vom: 23. 02 2019.] <http://www.eurofox.at/de/>.

20. **HALFEN Vertriebsgesellschaft mbH.** *HALFEN Natursteinanker, Verankerungssysteme für Naturstein, Produktinformation Technik.* [PDF]. Langenfeld : HALFEN Vertriebsgesellschaft mbH, 2017. 2017-12.

21. **Austrian Standards International.** *ÖNORM B 8110-2, Ausgabe:2018-09-01, Wärmeschutz im Hochbau, Teil 2: Wasserdampfdiffusion, -konvektion und Kondensationsschutz.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2018.

22. **Austrian Standards International.** *ÖNORM EN 12154, Ausgabe:2000-03-01, Vorhangfassaden - Schlagregendichtheit - Leistungsanforderungen und Klassifizierung.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2000.

23. **Österreichischer Fachverband für hinterlüftete Fassaden.** *Die Mehr-Fassade.* [PDF]. Brunn am Gebirge : Österreichischer Fachverband für hinterlüftete Fassaden, 2014.

24. **Schumacher, R und Mechel, F. P.** *Schallschutz von hinterlüfteten Fassaden.* Stuttgart : Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 1981.

25. **Österreichisches Institut für Bautechnik.** *OIB-Richtlinie 2, Brandschutz (OIB-330.2-012/19).* [PDF]. Wien : Österreichisches Institut für Bautechnik, 2019. 2019-04.

26. **Österreichisches Institut für Bautechnik.** *OIB-Richtlinie 2.1, Brandschutz bei Betriebsbauten (OIB-330.2-013/19).* [PDF]. Wien : Österreichisches Institut für Bautechnik, 2019. 2019-04.

27. **Österreichisches Institut für Bautechnik.** *OIB-Richtlinie 2.2, Brandschutz bei Garagen, überdachten Stellplätzen und Parkdecks (OIB-330.2-014/19).* [PDF]. Wien : Österreichisches Institut für Bautechnik, 2019. 2019-04.

28. **Österreichisches Institut für Bautechnik.** *OIB-Richtlinie 2.3, Brandschutz bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von mehr als 22m (OIB-330.2-015/19).* [PDF]. Wien : Österreichisches Institut für Bautechnik, 2019. 2019-04.

29. **Austrian Standards International.** *ÖNORM B 2219, Ausgabe:2011-04-15, Dachdeckerarbeiten, Werkvertragsnorm.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2011.

30. **Austrian Standards International.** *ÖNORM B 3419, Ausgabe:2018-04-01, Planung und Ausführungen von Dacheindeckungen und Wandverkleidungen.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2018.

31. **Austrian Standards International.** *ÖNORM B 3521-1, Ausgabe:2012-08-01, Planung und Ausführung von Dacheindeckungen und Wandverkleidungen aus Metall.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2012.

32. **Austrian Standards International.** *ÖNORM B 1998-1, Ausgabe:2017-07-01, Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben, Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2017.
33. **Austrian Standards International.** *ÖNORM B 1991-1-7, Ausgabe:2007-04-01, Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-7: Allgemeine Einwirkungen - Außergewöhnliche Einwirkungen.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2007.
34. **Austrian Standards International.** *ÖNORM B 1990-1, Ausgabe:2013-01-01, Eurocode - Grundlagen der Tragwerksplanung, Teil 1: Hochbau.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2013.
35. **Austrian Standards International.** *ÖNORM EN 1990, Ausgabe:2013-03-15, Eurocode - Grundlagen der Tragwerksplanung.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2013.
36. **Austrian Standards International.** *ÖNORM B 1991-1-1, Ausgabe:2017-02-01, Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen - Wichten, Eigengewicht, Nutzlasten im Hochbau.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2017.
37. **Austrian Standards International.** *ÖNORM EN 1991-1-1, Ausgabe:2011-09-01, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2011.
38. **Austrian Standards International.** *ÖNORM B 1991-1-2, Ausgabe:2003-12-01, Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2003.
39. **Austrian Standards International.** *ÖNORM EN 1991-1-2, Ausgabe:2013-01-15, Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2013.
40. **Austrian Standards International.** *ÖNORM B 1991-1-4, Ausgabe:2019-07-15, Eurocode 1: Windeinwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2019.
41. **Austrian Standards International.** *ÖNORM EN 1991-1-4, Ausgabe:2011-05-15, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2011.
42. **Austrian Standards International.** *ÖNORM B 1991-1-5, Ausgabe:2012-01-01, Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen - Temperatureinwirkungen.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2012.
43. **Austrian Standards International.** *ÖNORM EN 1991-1-5, Ausgabe:2012-01-01, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen - Temperatureinwirkungen.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2012.
44. **Austrian Standards International.** *ÖNORM EN 1991-1-7, Ausgabe:2014-09-01, Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-7: Allgemeine Einwirkungen - Außergewöhnliche Einwirkungen.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2014.
45. **Austrian Standards International.** *ÖNORM B 1992-1-1, Ausgabe:2018-01-01, Eurocode 2 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2018.



46. **Austrian Standards International.** *ÖNORM EN 1992-1-1, Ausgabe:2015-02-15, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetonwerken, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2015.
47. **Austrian Standards International.** *ÖNORM B 1995-1-1, Ausgabe:2019-06-01, Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2019.
48. **Austrian Standards International.** *ÖNORM EN 1995-1-1, Ausgabe:2019-06-01, Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2019.
49. **Austrian Standards International.** *ÖNORM EN 1998-1, Ausgabe:2013-06-15, Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben, Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten.* Wien : Austrian Standards Institute, 2013.
50. **Austrian Standards International.** *ÖNORM B 1999-1-1, Ausgabe:2017-11-01, Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2017.
51. **Austrian Standards International.** *ÖNORM EN 1999-1-1, Ausgabe:2014-04-01, Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2014.
52. **Österreichischer Fachverband für hinterlüftete Fassaden.** *Brandschutz bei hinterlüfteten Fassaden.* [PDF]. Brunn am Gebirge : Österreichischer Fachverband für hinterlüftete Fassaden, 2018. 2018-03.
53. **Österreichischer Fachverband für hinterlüftete Fassaden.** *Klebetchnik, Merkblatt für vorgehängte hinterlüftete Fassaden.* Brunn am Gebirge : Österreichischer Fachverband für hinterlüftete Fassaden, 2015. 2015-07-15.
54. **Österreichischer Fachverband für hinterlüftete Fassaden.** *Merkblatt für vorgehängte, hinterlüftete Fassaden auf Holz-Unterkonstruktionen.* Brunn am Gebirge : Österreichischer Fachverband für hinterlüftete Fassaden, 2014. 2014-03-10.
55. **Bundesinnung der Dachdecker, Glaser und Spengler.** *Fachregel für Bauspenglerarbeiten.* Wien : Bundesinnung der Dachdecker, Glaser und Spengler, 2014. 2014-09-01.
56. **Österreichisches Institut für Bautechnik.** *OIB-Richtlinie 5, Schallschutz (OIB-330.5-002/19).* [PDF]. Wien : Österreichisches Institut für Bautechnik, 2019. 2019-04.
57. **Deutsches Institut für Normung e.V.** *DIN 18516-3, Ausgabe:2018-03, Außenwandbekleidungen, hinterlüftet - Teil 3: Naturwerkstein - Anforderungen, Bemessung.* Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2018.
58. **Deutsches Institut für Normung e.V.** *DIN 18516-5, Ausgabe:2013-09, Außenwandbekleidungen, hinterlüftet - Teil 5: Betonwerkstein; Anforderungen, Bemessung.* Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2013.
59. **Schrepfer, Thomas.** *Hinterlüftete Außenwandbekleidungen, Einwirkungen, Bemessung, Dauerhaftigkeit.* [Powerpointpräsentation PDF]. Berlin : CRP Ingenieurgesellschaft Cziesielski, Ruhnau + Partner GmbH, 2013. 2013-11-06.
60. **Holl, Christian und Siegele, Klaus.** *Metallfassaden: vom Entwurf bis zur Ausführung.* München : Deutsche Verlags-Anstalt, 2007. ISBN 9783421035837.

61. **Austrian Standards International.** *ÖNORM EN 10088-3, Ausgabe:2014-12-01, Nichtrostende Stähle, Teil 3: Technische Lieferbedingungen für Halbzeug, Stäbe, Walzdraht, gezogenen Draht, Profile und Blankstahlerzeugnisse aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2014.
62. **Informationsstelle Edelstahl Rostfrei.** *Sonderdruck 862, Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-30.3-6 vom 5. März 2018, "Erzeugnisse, Bauteile und Verbindungsmittel aus nichtrostenden Stählen".* Düsseldorf : Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, 2018. 2018-03-05.
63. **Deutsches Institut für Bautechnik.** *Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-14.1-4: Verbindungselemente zur Verbindung von Bauteilen im Metallleichtbau.* Berlin : Deutsches Institut für Bautechnik, 2016. 29.04.2016.
64. **Deutsche Steinzeug Cremer & Breuer AG.** [Online] [Zitat vom: 05. 03 2019.] <https://facade.agrob-buchtal.de/de/downloads>.
65. **KEIL Befestigungstechnik GmbH.** [Online] [Zitat vom: 15. 03 2020.] <https://keil-fixing.de/>.
66. **Sika Österreich GmbH.** [Online] [Zitat vom: 15. 03 2020.] <https://aut.sika.com/de/group.html>.
67. **Austrian Standards International.** *ÖNORM B 3806, Ausgabe: 2012-10-01, Anforderungen an das Brandverhalten von Bauprodukten (Baustoffen) für Luftführende Schächte und Lüftungsleitungen, Gebäudetrennfugen, Doppel- und Hohlraumböden.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2012.
68. **Austrian Standards International.** *ÖNORM B 3661, Ausgabe:2018-05-01, Abdichtungsbahnen - Unterdeckbahnen und Unterspannbahnen für Dachdeckungen.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2018.
69. **Stein, Alfred.** *Bemessung von Natursteinfassaden.* Köln : Rudolf Müller GmbH, 1993. ISBN: 3481003609 .
70. **Systema Pohl GmbH.** *UBE NG2: Unterkonstruktionen für ebene Fassadenplatten, UBE für Naturstein.* [PDF]. Henstedt-Ulzburg : Systema Pohl GmbH, 2015. 2015-10.
71. **RHEINZINK AUSTRIA GMBH.** [Online] [Zitat vom: 16. 02 2019.] <https://www.rheinzink.at/produkte/kassette/#c9947>.
72. **Holschemacher, Klaus, Klug, Yvette und Widjaja, Eddy.** *Lastannahmen im Bauwesen : Grundlagen, Erläuterungen, Praxisbeispiele : Sicherheitskonzept, Einwirkungen auf Tragwerke nach Eurocode 1 und 8: Eigen- und Nutzlasten, Wind- und Schneelasten, Erdbebenlasten.* 2. Berlin, Wien, Zürich : Beuth Verlag GmbH, 2016. ISBN 9783410217329.
73. **Kolbitsch, Andreas.** *Hochbaukonstruktion 1 Teil A.* März 2013. Wien : E 208 Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik, Forschungsbereich Hochbaukonstruktionen und Bauwerkserhaltung, Technische Universität Wien, 2013.
74. **Kolbitsch, Andreas.** *Tragwerke-Baukonstruktionen.* Wien : E 208 Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik, Forschungsbereich Hochbaukonstruktionen und Bauwerkserhaltung, Technische Universität Wien, 2011.
75. **Stein, Alfred.** *Fassadenplatten auf nachgiebiger Unterkonstruktion : kunststoffgebundene Mineralstoffplatten, Faserzementplatten, Pressschichtstoffplatten, Platten aus Feinsteinzeug, Platten aus Betonwerkstein, Platten aus Naturwerkstein.* 1. Ulm : Ebner Verlag, 2016. ISBN 9783871882630.
76. **Resopal GmbH.** *RESOPLAN Technisches Datenblatt.* [PDF]. s.l. : Resopal GmbH. 04.04.2018.

77. **Wienerberger GmbH.** *Argeton, Fassadenlösungen, Technische Informationen.* [PDF]. Hannover : Wienerberger GmbH, 2014. 01/2014.
78. **Deutsche Steinzeug Cremer & Breuer AG.** [Online] [Zitat vom: 05. 03 2019.] <https://www.agrobuchtal.de/>.
79. **Petersen, Christian und Werkle , Horst.** *Dynamik der Baukonstruktionen.* 2. Wiesbaden : Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2018. ISBN 9783834814593.
80. **Deutsches Institut für Normung e.V.** *DIN 4103-1, Ausgabe:2015-06, Nichttragende innere Trennwände - Teil 1: Anforderungen und Nachweise.* Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2015.
81. **Ausschuß für Einheitliche Technische Baubestimmungen (ETB).** *ETB Absturzsicherung, Ausgabe:1985-06, ETB-Richtlinie "Bauteile, die gegen Absturz sichern".* Berlin : Beuth Verlag GmbH, 1985.
82. **Austrian Standards International.** *ÖNORM EN 12600, Ausgabe:2003-05-01, Glas im Bauwesen - Pendelschlagversuch, Verfahren für die Stoßprüfung und die Klassifizierung von Flachglas.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2003.
83. **Austrian Standards International.** *ÖNORM EN 14019, Ausgabe:2016-10-01, Vorhangfassaden - Stoßfestigkeit - Leistungsanforderungen, Prüfverfahren und Klassifizierung.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2016.
84. **Austrian Standards International.** *ÖNORM EN 949, Ausgabe:1999-03-01, Fenster, Türen, Dreh- und Rollläden, Vorhangfassaden - Ermittlung der Widerstandsfähigkeit von Türen gegen Anprall eines weichen und schweren Stoßkörpers.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 1999.
85. **Deutsches Institut für Bautechnik e.V.** *DIBt-Mitteilung, Ausgabe:2003-02, Technische Regeln für die Verwendung von absturzsichernden Verglasungen (TRAV).* Berlin : Deutsches Institut für Bautechnik e.V., 2003.
86. **Hagelstein, Roger.** *Bemessung von Naturstein-Fassadenplatten, Besondere Beanspruchungen von Naturwerkstein-Fassadenplatten.* [Powerpointpräsentation PDF]. Würzburg : Landesgewerbsanstalt Bayern (LGA), Zweigstelle Würzburg, 2005. 2005-01-26.
87. **Deutsches Institut für Normung e.V.** *DIN 53804-1, Ausgabe:2002-04, Statistische Auswertung - Teil 1: Kontinuierliche Merkmale.* Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2002.
88. **Brendler, Stefan Alexander.** *Rechnerisches Bemessungskonzept für absturzsichernde Glastafeln.* Dissertation : Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, 2007.
89. **Austrian Standards International.** *ÖNORM B 3716-3, Ausgabe:2015-01-01, Glas im Bauwesen - Konstruktiver Glasbau, Teil 3: Vertikale Verglasung mit absturzsichernder Funktion.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2015.
90. **Austrian Standards International.** *ÖNORM EN 1630, Ausgabe:2019-06-01, Türen, Fenster, Vorhangfassaden, Gitterelemente und Abschlüsse - Einbruchhemmung - Prüfverfahren für die Ermittlung der Widerstandsfähigkeit gegen manuelle Einbruchsversuche.* Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2019.
91. **Schmidt, Peter.** *Lastannahmen - Einwirkungen auf Tragwerke : Grundlagen und Anwendung nach EC 1.* Wiesbaden : Springer Vieweg, 2019. ISBN 9783834807533.
92. **Kramer, Helmut.** *Angewandte Baudynamik : Grundlagen und Praxisbeispiele.* 2. Berlin : Wilhelm Ernst & Sohn, 2013. ISBN 9783433030288.

93. **Gündel, Max, Hoffmeister, Benno und Bangert, Falko.** *Bemessung von Baustrukturen in Stahl- und Verbundbauweise für Anprall- und Explosionslasten.* Düsseldorf : >>bauforumstahl e.V., 2010.

## 7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Funktionen einer Fassade nach (3)	- 6 -
Tabelle 2-2:	Argumente für und gegen ein Doppelfassade nach (10)	- 9 -
Tabelle 3-1:	Kostenübersicht Fassadensystem nach (14)	- 16 -
Tabelle 3-2:	Arten und Einteilung von Bekleidungselementen nach (6; 8)	- 20 -
Tabelle 4-1:	Kombinationsbeiwerte nach (35)	- 32 -
Tabelle 4-2:	Zusammenstellung Baustoffwichten von Bekleidungselemente nach (76; 77; 78; 36)	- 33 -
Tabelle 4-3:	Außendruckbeiwerte Wände nach (40; 41)	- 35 -
Tabelle 4-4:	Plattenspannungen infolge Temperatur nach (7)	- 37 -
Tabelle 4-5:	Verhaltensbeiwerte $q_a$ für nichttragende Bauteile nach (32; 49)	- 39 -
Tabelle 4-6:	Baugrundklassen nach (32; 49)	- 41 -
Tabelle 4-7:	Parameterwerte zur Beschreibung der empfohlenen elastischen Antwortspektren vom Typ 1 nach (32; 49)	- 42 -
Tabelle 4-8:	Stoßübertragungsfaktoren $\alpha'$ und $\alpha''$ nach DIN 4103-1:2015 (80)	- 48 -
Tabelle 4-9:	Ermittlung der Pendelfallhöhe nach (89)	- 55 -
Tabelle 4-10:	Zusammenhang Prüfklasse-Fallhöhe-Belastungskategorie nach (83)	- 56 -
Tabelle 4-11:	Anhaltswerte für äquivalente statische Anprallkräfte aus dem Straßenverkehr auf Fassaden nach (44)	- 60 -
Tabelle 4-12:	Anhaltswerte zur Ermittlung der Anprallkraft $F_d$ adaptiert nach ÖN EN 1991-1-7:2014 (44)	- 65 -
Tabelle 4-13:	Abhängigkeit des Abstandsparameters vom Völligkeitsparameter nach (93)	- 69 -

## 8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Detailausführung einer Doppelfassade (9)	- 8 -
Abbildung 3-1:	Schindelfassade (13)	- 10 -
Abbildung 3-2:	Wärmebrückenreduzierte und wärmebrückenfreie Konsolen Fa. Hilti nach (19)	- 12 -
Abbildung 3-3:	Vergleich Einfluss Unterkonstruktion auf den U-Wert (19)	- 12 -
Abbildung 3-4:	Schlagregenschutz-Fugenausbildung (23)	- 13 -
Abbildung 3-5:	Verbesserung der Luftschalldämmung durch eine VHF (24)	- 14 -
Abbildung 3-6:	VHF- Blitzschutz (23)	- 15 -
Abbildung 3-7:	Diagramm Lebenszykluskosten Fassadensysteme (14)	- 16 -
Abbildung 3-8:	Verhinderung von Zwängungen - Ausführung Fest und Gleitpunkte VHF nach (70)	- 23 -
Abbildung 3-9:	Vertikalschienensystem Fa. Halfen (20)	- 24 -
Abbildung 3-10:	Horizontalschienensystem Fa. Systea (70)	- 25 -
Abbildung 3-11:	Detail Kassettenelement Fa. Rheinzink (71)	- 26 -
Abbildung 3-12:	Schnellmontageanker Fa. Halfen (Body Anker DT) nach (20)	- 27 -
Abbildung 4-1:	Prinzipskizze Windsperre (17) - „Wiedergegeben mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Maßgebend für das Anwenden der DIN-Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum.“	- 34 -
Abbildung 4-2:	Modell zur Ermittlung der Stoßlast nichttragender Trennwände (79)	- 48 -
Abbildung 4-3:	Rückstellfunktion von einer GK-Trennwand nach (79)	- 49 -
Abbildung 4-4:	Einteilung der Verglasungsgruppen nach (89)	- 54 -
Abbildung 4-5:	Strategien zur Behandlung außergewöhnlicher Bemessungssituationen nach (44)	- 58 -
Abbildung 4-6:	Anprallkraft auf Stützkonstruktionen und Wände neben Fahrspuren (44)	- 62 -
Abbildung 4-7:	Situationskizze Fahrzeuganprall nach (44)	- 64 -
Abbildung 4-8:	Friedländerfunktion adaptiert nach Bemessung von Baustrukturen in Stahl - und Verbundbauweise für Anprall- und Explosionslasten nach (93)	- 67 -

## 9 Anhang A - Einverständniserklärungen Verwendung geschützte Abbildungen

### 9.1 Einverständniserklärung Abbildung 2-1

Schnitt Doppelfassade von Homepage

Von: "Koenig, Petra" <petra.koenig@hydro.com>

An: "Patrick.Pelvay@gmx.at" <Patrick.Pelvay@gmx.at>

CC: "Strasser, Ingrid" <ingrid.strasser@sapagroup.com>

Datum: 26.03.2020 16:27:57

Sehr geehrter Herr Pelvay,

gerne darf die Abbildung der Doppelfassade (Schnitt) von unserer Homepage für Ihre Diplomarbeit verwendet werden.

Mit freundlichen Grüßen / Best regards,

Petra König

Assistenz Vertriebsleitung

Wallerseestrasse49

A-5201Seekirchen

T: +4362122000260

E:[petra.koenig@hydro.com](mailto:petra.koenig@hydro.com)

[www.wiconafinder.com](http://www.wiconafinder.com)

[next-studio.de](http://next-studio.de)

Hydro Building Systems Austria GmbH Sitz der Gesellschaft: Seekirchen, FN-NR. 174032f – LG Salzburg, ATU 45486102, Geschäftsführer: Ralf Seufert

**Von:**Patrick.Pelvay@gmx.at<Patrick.Pelvay@gmx.at>

**Gesendet:**Mittwoch,18.März202013:03

**An:**Strasser,Ingrid(NHY)<ingrid.strasser@hydro.com>

**Betreff:** Aw: Ihre Anfrage

*[This email originated from outside of Hydro. Be careful with links and attachments.]*

Sehr geehrte Frau Strasser,

Ich habe die Anfrage gesendet, um zu Fragen ob es möglich ist die Abbildung der Doppelfassade ( Schnitt) auf Ihrer Homepage für meine Diplomarbeit zu verwenden zu können. Wenn dies in Ordnung geht, würde ich nur einen kurzen 2-Zeiler benötigen wegen dem Copyright.

Mit freundlichen Grüßen

Patrick Pelvay

## 9.2 Einverständniserklärung Abbildung 3-1

AW: AW: AW: Literaturempfehlung Vorhangfassade Außergewöhnliche Belastung  
Von: "Stephan Schreiber" [schreiber@fvhf.de](mailto:schreiber@fvhf.de)  
An: "'Patrick Pelvay'" <Patrick.Pelvay@gmx.at>  
Datum: 16.09.2019 08:35:02

Sehr geehrter Herr Pelvay,  
ich freue mich, dass Ihre Arbeit gut voran kommt.

Diese Foto können Sie gerne ohne jegliche Bedenken verwenden. Ich habe es irgendwo in Sachsen einmal selber fotografiert. Meine vollständigen Übertragung aller „Rechte“ oder was immer man geben muss, gebe ich Ihnen gerne.

Ich wünsche Ihnen viel Erfolg und würde mich freuen das Ergebnis Ihrer Arbeit auch mal lesen zu dürfen.

Mit freundlichem Gruß aus Berlin  
Stephan Schreiber  
Dipl.-Ing. (FH)  
Technik

---

Fachverband Baustoffe und Bauteile für  
vorgehängte hinterlüftete Fassaden e.V.  
Kurfürstenstraße 129, 10785 Berlin  
Mobil: +49 (0)173 – 34 010 34  
Telefon: +49 (0)30 – 212 862 88  
Telefax: +49 (0)30 – 212 862 41  
[Schreiber@FVHF.de](mailto:Schreiber@FVHF.de)  
Internet: [www.FVHF.de](http://www.FVHF.de)

**VHF – multifunktional und intelligent**

**VHF - Fassade der Zukunft**

11.09.2019 - 12.09.2019 - Salon & Messe SCHULBAU in Berlin  
14.11.2019 - 16.11.2019 - VHF-Seminar „Planung und Ausführung“ im ABZ in Hamm  
21.11.2019 - 18. Deutscher Fassadentag in Berlin

**Von:**PatrickPelvay<Patrick.Pelvay@gmx.at>

**Gesendet:**Sonntag,15.September201910:59

**An:**StephanSchreiber<schreiber@fvhf.de>

**Betreff:** Aw: AW: AW: Literaturempfehlung Vorhangfassade Außergewöhnliche Belastung

Sehr geehrter Herr Schreiber,

wir hatten vor längerer Zeit Kontakt wegen möglicher Literatur zum Thema "Vorgehängte Fassade unter außergewöhnlicher Belastung" . Ich würde gerne die Abbildung der alten Schindelfassade aus Ihren angehängten PDF-Vortrag in meiner Arbeit verwenden. Selbstverständlich unter korrekter Angabe der Quelle.

Bitte um Rückmeldung, ob dies für Sie in Ordnung geht.  
Mit freundlichen Grüßen

Patrick Pelvay



### 9.3 Einverständniserklärung Abbildung 3-2 und 3-3

FW: RE: Wissenschaftliche Arbeit Abbildungsquelle

Von: "Federspiel, Stefanie" <Stefanie.Federspiel@hilti.com>  
An: "Patrick Pelvay" <Patrick.Pelvay@gmx.at>  
Datum: 30.09.2019 13:15:13

Hallo Herr Pelvay

Danke für die Übermittlung der relevanten Absätze. Anbei die Kommentare seitens unseres technischen Teams. Sofern die Kommentare von Ihnen auch umgesetzt werden, stimmen wir der Verwendung unsers Bildmaterials gerne zu.

Bei Rückfragen stehen wir ihnen gerne zur Verfügung und wünschen ihnen gutes Gelingen für den Abschluss der Arbeit.

Mit besten Grüßen,  
Stefanie Federspie

**From:** PatrickPelvay<[Patrick.Pelvay@gmx.at](mailto:Patrick.Pelvay@gmx.at)>  
**Sent:** Sonntag, 22. September 2019 10:56  
**To:** Federspiel, Stefanie<[Stefanie.Federspiel@hilti.com](mailto:Stefanie.Federspiel@hilti.com)>  
**Subject:** Aw: RE: Wissenschaftliche Arbeit Abbildungsquelle

Sehr geehrte Frau Federspiel,

danke für Ihr Feedback. Anbei finden Sie den Auszug meiner Diplomarbeit, bei dem Ihre Produkte erwähnt werden.

Mit freundlichen Grüßen  
Patrick Pelvay

**Gesendet:** Donnerstag, 19. September 2019 um 09:11 Uhr  
**Von:** "Federspiel, Stefanie" <[Stefanie.Federspiel@hilti.com](mailto:Stefanie.Federspiel@hilti.com)>  
**An:** "Patrick Pelvay" <[Patrick.Pelvay@gmx.at](mailto:Patrick.Pelvay@gmx.at)>  
**Betreff:** RE: Wissenschaftliche Arbeit Abbildungsquelle  
Hallo Herr Pelvay

Danke für ihre Anfrage. Sehr gerne können sie unsere Materialien verwenden, wir behalten uns aber bitte vor den Inhalt vor Publizierung durchzusehen, schliesslich ist uns der Kontext in dem unsere Darstellungen verwendet werden noch unklar. Des weiteren habe ich die Beschriftungen der Bracket-typen ausge bessert. Die Bezeichnung MFT-FOX-VTR bezieht sich auf das Bracket selbst, 2L-Agraffen etc ist nur auf System anwendbar, also bracket, profiles (2 layer system), agraffen, hinterschnittanker.  
Siehe meine Ausbesserungen anbei.

Bei Fragen stehe ich gerne wieder zur Verfügung.

Mit besten Grüßen, Stefanie  
**From:** PatrickPelvay<[Patrick.Pelvay@gmx.at](mailto:Patrick.Pelvay@gmx.at)>  
**Sent:** Sonntag, 15. September 2019 11:10  
**To:** Federspiel, Stefanie<[Stefanie.Federspiel@hilti.com](mailto:Stefanie.Federspiel@hilti.com)>  
**Subject:** Wissenschaftliche Arbeit Abbildungsquelle

Sehr geehrte Frau Federspiel,

wir hatten vor längerer Zeit, Kontakt wegen möglicher Literatur zum Thema " Vorgehängte Fassaden unter außergewöhnlicher Belastung". Ich würde gerne aus Ihren tech. Handbuch (Anhang) 2 Abbildungen für meine Diplomarbeit verwenden. Selbstverständlich unter korrekter Angabe der Quelle.

Bitte um Rückmeldung, ob dies für Sie in Ordnung geht (Thema Copyright etc.)

Mit freundlichen Grüßen  
Patrick Pelvay

## 9.4 Einverständniserklärung Abbildung 3-4 und 3-6

AW: Diplomarbeit Abbildungen Copyright  
Von: "Ruemmele, Simon" <Simon.Ruemmele@hilti.com>  
An: "Patrick Pelvay" <Patrick.Pelvay@gmx.at>  
Datum: 06.04.2020 11:22:35

Guten Tag Herr Pelvay,

gerne können Sie die Abbildungen des Anhangs für Ihre Diplomarbeit verwenden.  
Ich bitte sie um folgenden Fotocredit:  
Bildquelle: [www.oefhf.at](http://www.oefhf.at)

Nach Möglichkeit würden wir uns über Ihre Info ab Verfügbarkeit der Arbeit freuen.

Gutes Gelingen.

Beste Grüße / Kind regards

Simon Rümmele  
Vorstand Kommunikation  
Mobil: 0043 664 8468 322

Campus 21- Europaring F15/303  
2345 Brunn am Gebirge  
[www.oefhf.at](http://www.oefhf.at)

**Von:**PatrickPelvay<Patrick.Pelvay@gmx.at>  
**Gesendet:**Montag,16.März202017:08  
**An:**Ruemmele,Simon<Simon.Ruemmele@hilti.com>  
**Betreff:** Diplomarbeit Abbildungen Copyright

Sehr geehrter Herr Rümmele,

wie heute telefonisch besprochen, schreibe ich gerade meine Diplomarbeit zum Thema "Vorgehängte Fassaden unter außergewöhnlicher Belastung" und würde gerne 3 Abbildungen aus den frei verfügbaren Material des ÖFHF verwenden. Im Anhang finden Sie die 3 Abbildungen.

Um rechtlich abgesichert zu sein, würde ich einen 2-Zeiler benötigen, dass ich im Zuge meiner wissenschaftlichen Arbeit diese Abbildungen verwenden darf.

Mit freundlichen Grüßen  
Patrick Pelvay

## 9.5 Einverständniserklärung Abbildung 3-5

AW: WG: Weiterverwendung Abbildung Diplomarbeit  
Von: "Schwab, Rita" <rita.schwab@ibp.fraunhofer.de>  
An: "Patrick Pelvay" <Patrick.Pelvay@gmx.at>  
Datum: 03.04.2020 12:47:11

Sehr geehrter Herr Pelvay,

danke für die Rückmeldung. Bitte fügen Sie hinter das Diagramm und im Text noch ein:

© Fraunhofer IBP

Mit freundlichen Grüßen

**Rita Schwab**

Unternehmenskommunikation

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP  
Nobelstr. 12 | 70569 Stuttgart | Germany

Telefon: +49 711 970-3301 | Telefax: +49 711 970-7033301  
[rita.schwab@ibp.fraunhofer.de](mailto:rita.schwab@ibp.fraunhofer.de)  
<http://www.ibp.fraunhofer.de>

**Von:** PatrickPelvay<Patrick.Pelvay@gmx.at>

**Gesendet:** Freitag, 3. April 2020 11:21

**An:** Schwab, Rita <rita.schwab@ibp.fraunhofer.de>

**Betreff:** Aw: WG: Weiterverwendung Abbildung Diplomarbeit

Sehr geehrte Frau Schwab,

vielen Dank für die positive Rückmeldung. Im Anhang finden Sie den Auszug meiner Diplomarbeit, welcher sich mit der besagten originalen Abbildung beschäftigt. Wenn ich die Abbildung selbst neu zeichne, wird es schwierig den Verlauf richtig darzustellen, da mir ja die Grunddaten fehlen.

Mit freundlichen Grüßen

Patrick Pelvay

**Gesendet:** Freitag, 03. April 2020 um 10:34 Uhr

**Von:** "Schwab, Rita" <[rita.schwab@ibp.fraunhofer.de](mailto:rita.schwab@ibp.fraunhofer.de)>

**An:** "Patrick.Pelvay@gmx.at" <[Patrick.Pelvay@gmx.at](mailto:Patrick.Pelvay@gmx.at)>

**Betreff:** WG: Weiterverwendung Abbildung Diplomarbeit

Sehr geehrter Herr Pelvay,

Sie dürfen die Abbildung im Rahmen Ihrer Diplomarbeit verwenden. Allerdings können wir Ihnen keine Datei zur Verfügung stellen. Wir bitten Sie, uns das von Ihnen neu erstellte Diagramm nochmals vorzulegen, ebenso den Text und den Kontext, in dem Sie dieses verwenden werden.

Mit freundlichen Grüßen

**Rita Schwab**

## Unternehmenskommunikation

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP  
Nobelstr. 12 | 70569 Stuttgart | Germany

Telefon: +49 711 970-3301 | Telefax: +49 711 970-7033301  
[rita.schwab@ibp.fraunhofer.de](mailto:rita.schwab@ibp.fraunhofer.de)  
<http://www.ibp.fraunhofer.de>

**Von:** Patrick Pelvay <[Patrick.Pelvay@gmx.at](mailto:Patrick.Pelvay@gmx.at)>  
**Gesendet:** Donnerstag, 26. März 2013: 25  
**An:** Fleck, Tanja <[tanja.fleck@ibp.fraunhofer.de](mailto:tanja.fleck@ibp.fraunhofer.de)>  
**Betreff:** Weiterverwendung Abbildung Diplomarbeit

Sehr geehrte Frau Fleck,

ich schreibe gerade meine Diplomarbeit an der TU Wien zum Thema " Vorgehängte Fassaden unter außergewöhnlicher Belastung und wurde im Zuge dessen , gerne die Abbildung "Bild 1" aus der IBP Mitteilung 67 in meine Diplomarbeit aufnehmen. Selbstverständlich unter Angabe der Quelle.

Können Sie mir für diese Abbildung eine Weiterverwendungserlaubnis erteilen (Copyright)?

Mit freundlichen Grüßen

Patrick Pelvay

## 9.6 Einverständniserklärung Abbildung 3-7

WG: Wissenschaftliche Arbeit Abbildungsquelle  
Von: "Gallob Klaus Mag, WKST, SG" <klaus.gallob@wkstmk.at>  
An: "Patrick.Pelvay@gmx.at" <Patrick.Pelvay@gmx.at>  
CC: "Schnepf Sonja, WKST, SG" <Sonja.Schnepf@wkstmk.at>  
Datum: 30.09.2019 09:16:10

Sehr geehrter Herr Pelvay,  
Nach Rücksprache auch mit dem Projektleiter Herr DI.Dr. Hasler von der FH Joanneum darf ich Ihnen mitteilen, dass dies für uns in Ordnung geht. Herr Hasler hat uns nur gebeten Ihnen auch noch mitzuteilen, dass sich die Kosten auf das Jahr 2016 und den Standort Steiermark beziehen.  
Freundliche Grüße  
Klaus Gallob

**Mag. Klaus Gallob**  
*Spartengeschäftsführer Gewerbe und Handwerk*  
*Landesinnungsgeschäftsführer Bau*  
*Landesgeschäftsführer FV Bauindustrie*

WKO Steiermark  
Körblergasse 111-113 | 8010 Graz  
T +43 316/601-439 | F +43 316/601-304  
E [klaus.gallob@wkstmk.at](mailto:klaus.gallob@wkstmk.at)  
W <http://wko.at/stmk/gewerbe>  
[Datenschutzerklärung](#)  
**Von:** PatrickPelvay<[Patrick.Pelvay@gmx.at](mailto:Patrick.Pelvay@gmx.at)>  
**Gesendet:** Sonntag, 29. September 2019 18:59  
**An:** LIBaugewerbe, WKST, SG <[baugewerbe@wkstmk.at](mailto:baugewerbe@wkstmk.at)>  
**Betreff:** Wissenschaftliche Arbeit Abbildungsquelle

Sehr geehrte Damen und Herren,

ich schreibe gerade meine Diplomarbeit an der TU Wien zum Thema " Vorgehängte Fassaden unter außergewöhnlicher Belastung" und würde gerne aus Ihrer im Anhang ersichtlich Publikation (Fassadensysteme im Fokus der Lebenszykluskosten) die Abbildungen auf Seite 82 und 84 für meine Arbeit verwenden. Selbstverständlich unter korrekter Angabe der Quelle.

Bitte um Rückmeldung, ob dies für Sie in Ordnung geht (Thema Copyright)

Mit freundlichen Grüßen

Patrick Pelvay

## 9.7 Einverständniserklärung Abbildung 3-8 und 3-10

AW: Wissenschaftliche Arbeit Abbildungsquelle  
Von: "Liedtke, Doerte" <Doerte.Liedtke@systea.systems>  
An: "Patrick Pelvay" <Patrick.Pelvay@gmx.at>  
Datum: 28.10.2019 14:56:10

Guten Tag Herr Pelvay,

nach Rücksprache mit unserem Geschäftsführer Andreas Reinhardt gestatten wir Ihnen die Abbildungen zu übernehmen.

Mit freundlichen Grüßen / Best Regards

### Dörte Liedtke

Statik + Konstruktion

#### **Systea Pohl GmbH**

Margarete-Steiff-Str.6  
24558 Henstedt-Ulzburg  
Deutschland/ Germany

Phone: +49 4193 9911-40

Fax: +49 4193 9911-49

[Doerte.Liedtke@systea.systems](mailto:Doerte.Liedtke@systea.systems)

[www.systea.systems](http://www.systea.systems)

AG Kiel HRB 14094, St. Nr. 1129209874, GF: Andreas Bertram, Andreas Reinhardt, Heinrich Robert Pohl

P Before printing, think about ENVIRONMENTAL responsibility.

#### Disclaimer:

This email transmission is privileged, confidential and intended solely for the person or organization to which it is addressed. If you are not the intended recipient, you must not copy, distribute or disseminate the information, or take any action in reliance of it. If you have received this message in error, please notify Systea Pohl GmbH immediately. Any views expressed in this message are those of the individual sender. Systea Pohl GmbH is not responsible for any recommendation, solicitation, offer or agreement or any information about any transaction, customer account or account activity contained in this email transmission. All transmissions passing through our systems are checked for viruses, worm- and trojan programs but we strongly recommend that you check all transmissions using your own scanning software as Systea Pohl GmbH will not take responsibility for any damage caused as result of a virus, worm- or trojan program or any other malicious program.

**Von:**PatrickPelvay<Patrick.Pelvay@gmx.at>

**Gesendet:**Sonntag,15.September201911:49

**An:**info@systea.systems

**Betreff:** Wissenschaftliche Arbeit Abbildungsquelle

Sehr geehrte Damen und Herren

ich schreibe gerade an der TU Wien meine Diplomarbeit zum Thema " Vorgehängte Fassade unter außergewöhnlicher Belastung" und würde nun gerne aus Ihrer Broschüre (Anhang) 2 Abbildungen für meine Arbeit übernehmen. Selbstverständlich unter korrekter Angabe der Quelle.

Bitte um Rückmeldung, ob dies für Sie in Ordnung geht (Thema Copyright)

Mit freundlichen Grüßen  
Patrick Pelvay



## 9.8 Einverständniserklärung Abbildung 3-9 und 3-12

AW: Wissenschaftliche Arbeit Abbildungsquelle  
Von: "Sretenovic, Aleksandra" <Aleksandra.Sretenovic@halfen.at>  
An: "Patrick Pelvay" <Patrick.Pelvay@gmx.at>  
Datum: 17.09.2019 15:41:01  
Sewhr geehrter Herr Pelvay,

Natürlich ist das in Ordnung wenn Sie die Auszüge aus unseren Katalogen benützen mit Angaben der korrekten Quelle.

Mit freundlichen Grüßen / Best regards

DI Dr Aleksandra Sretenovic  
Technische Leiterin Halfen Österreich

**Eine Minute für Ihre Meinung und Bewertung?** [Hier geht's zur Umfrage.](#)

---

### **HALFEN Gesellschaft m.b.H.**

Leonard-Bernstein-Straße 10 fon: +43 (0) 1 259 6770 - 15  
1220 Wien mobile: +43 (0) 664 854 63 92  
Austria E-Mail:  
[www.halfen.at](http://www.halfen.at) [Aleksandra.Sretenovic@halfen.at](mailto:Aleksandra.Sretenovic@halfen.at)

HALFEN Gesellschaft m.b.H. / Sitz der Gesellschaft: 1220 Wien, Leonard-Bernstein-Straße 10FN  
101.783g / Handelsgericht Wien / Geschäftsführung: Richard Wachter, Mag. René Riede **YOUR  
BEST CONNECTIONS**

**Von:**PatrickPelvay<Patrick.Pelvay@gmx.at>  
**Gesendet:**Sonntag,15.September201911:19  
**An:**Sretenovic,Aleksandra<Aleksandra.Sretenovic@halfen.at>  
**Betreff:**Wissenschaftliche Arbeit Abbildungsquelle

Sehr geehrte Frau DI. Dr. Sretenovic,

wir hatten vor längerer Zeit Kontakt wegen möglicher Unterlagen zum Thema " Vorgehängte Fassaden unter außergewöhnlicher Belastung". Ich würde nun gerne 2-3 Abbildungen aus Ihren Unterlagen (Anhang) für meine Diplomarbeit verwenden. Selbstverständlich unter Angabe der korrekten Quelle.

Bitte um Rückmeldung, ob dies für Sie in Ordnung geht (Thema Copyright etc.)

Mit freundlichen Grüßen  
Patrick Pelvay

## 9.9 Einverständniserklärung Abbildung 3-11

WG: Wissenschaftliche Arbeit Abbildungsquelle  
Von: "Czimczik, Katrin" <Katrin.Czimczik@rhein-zink.de>  
An: "Patrick.Pelvay@gmx.at" <Patrick.Pelvay@gmx.at>  
Datum: 16.09.2019 14:05:06

Hallo Herr Pelvay,

unter Angabe der Quelle ist dies kein Problem.

Viele Grüße  
Katrin Czimczik

**Von:** InfoRhein-zink <info@rhein-zink.de>  
**Gesendet:** Montag, 6. September 2019 08:40  
**An:** Czimczik, Katrin <Katrin.Czimczik@rhein-zink.de>  
**Betreff:** WG: Wissenschaftliche Arbeit Abbildungsquelle

**Von:** Patrick Pelvay <[Patrick.Pelvay@gmx.at](mailto:Patrick.Pelvay@gmx.at)>  
**Gesendet:** Sonntag, 15. September 2019 11:53  
**An:** InfoRhein-zink <[info@rhein-zink.de](mailto:info@rhein-zink.de)>  
**Betreff:** Wissenschaftliche Arbeit Abbildungsquelle

Sehr geehrte Damen und Herren  
ich schreibe gerade an der TU Wien meine Diplomarbeit zum Thema "Vorgehängte Fassade unter außergewöhnlicher Belastung" und würde nun gerne von Ihrer Homepage (<https://www.rhein-zink.de/PRODUKTE/KASSETTE/#C3160>) die Abbildung des Befestigungsdetails für meine Arbeit übernehmen. Selbstverständlich unter korrekter Angabe der Quelle.

Bitte um Rückmeldung, ob dies für Sie in Ordnung geht (Thema Copyright)

Mit freundlichen Grüßen  
Patrick Pelvay

## 9.10 Einverständniserklärung Abbildung 4-1

Vervielfältigungserlaubnis

Von: "Nguyen, Kim" <Kim.Nguyen@din.de>

An: "patrick.pelvay@gmx.at" <patrick.pelvay@gmx.at>

Datum: 17.03.2020 07:34:09

Sehr geehrter Herr Pelvay,

unter Bezugnahme auf Ihre Anfrage gestatten wir Ihnen die gebührenfreie Vervielfältigung der Abbildung aus der DIN 18516-1

im Rahmen Ihrer **Diplomarbeit** zur **Prüfungsvorlage**.

Bitte kennzeichnen Sie die Vervielfältigung mit der vollständigen DIN-Nummer einschließlich des Ausgabedatums und nehmen Sie an geeigneter Stelle den folgenden Wiedergabevermerk auf:

„Wiedergegeben mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Maßgebend für das Anwenden der DIN-Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum.“

Für jede **andere** Verwendung, sei es eine erneute Auflage, jeder Nachdruck oder jede andere Publikation, ist erneut eine Vervielfältigungserlaubnis für DIN-Normen einzuholen und die dafür vorgesehene Gebühr zu entrichten.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg für Ihre Arbeit und verbleiben mit freundlichen Grüßen.

Kim Nguyen

Bereich Legal DIN-Gruppe

T+49 30 2601 2084

## 9.11 Einverständniserklärung Abbildung 4-2

SPRINGER NATURE LICENSE  
TERMS AND CONDITIONS  
Mar 26, 2020

---

This Agreement between TU WIEN -- Patrick Pelvay ("You") and Springer Nature ("Springer Nature") consists of your license details and the terms and conditions provided by Springer Nature and Copyright Clearance Center.

License Number	4687021159863
License date	Oct 13, 2019
Licensed Content Publisher	Springer Nature
Licensed Content Publication	Springer eBook
Licensed Content Title	Stoßartige Beanspruchungen
Licensed Content Author	Christian Petersen, Horst Werkle
Licensed Content Date	Jan 1, 2017
Type of Use	Thesis/Dissertation
Requestor type	academic/university or research institute
Format	print and electronic
Portion	figures/tables/illustrations
Number of figures/tables/illustrations	1
Will you be translating?	no
Circulation/distribution	200 - 499
Author of this Springer Nature content	no
Title	Vorgehängte Fassaden unter außergewöhnlicher Belastung
Institution name	Institut für Hochbau und Technologie
Expected presentation date	Jul 2020
Order reference number	21.41
Portions	Figure 21.41, page 1265 TU WIEN Dr.Emmerich-Czermakstraße 19
Requestor Location	Stockerau, Niederösterreich 2000 Austria Attn: TU WIEN
Total	0.00 EUR
Terms and Conditions	

## 9.12 Einverständniserklärung Abbildung 4-6 und 4-7

AW: AW: Zitierregeln Normen

Von: "Takats Wilhelm" <w.takats@austrian-standards.at>

An: "Patrick Pelvay" <Patrick.Pelvay@gmx.at>

Datum: 26.03.2020 11:40:54

Danke , Herr Pelvay,

Die beiden Abbildungen gehen in Ordnung.

Mit besten Grüßen

Wilhelm Takats

**Von:**PatrickPelvay<Patrick.Pelvay@gmx.at>

**Gesendet:**Donnerstag,26.März202010:56

**An:**TakatsWilhelm<w.takats@austrian-standards.at>

**Betreff:** Aw: AW: Zitierregeln Normen

Sehr geehrter Herr Takats,

vielen Dank für die Korrektur.

Nun hätte ich noch ein anderes Anliegen. Im Zuge meiner Arbeit würde ich gerne 2 Abbildungen zur besseren Erklärung aus der ÖNORM EN 1991-1-7:2014 übernehmen. Im Anhang finden Sie hierzu den Auszug meiner Diplomarbeit.

Wäre es möglich für diese 2 Abbildungen eine Verwendungserlaubnis seitens Austrian Standards zu bekommen.

Mit freundlichen Grüßen

Patrick Pelvay

### 9.13 Einverständniserklärung Abbildung 4-8

AW: Publikation Bemessung von Baustrukturen in Stahl und Verbundbauweise für Anprall- und Explosionslasten

Von: "Marianne Jurgeit" <sekretariat@bauforumstahl.de>

An: "Patrick Pelvay" <Patrick.Pelvay@gmx.at>

Datum: 31.07.2019 07:27:29

Sehr geehrter Herr Pelvay,

wir freuen uns, dass Ihnen unsere oben genannte Broschüre gefällt.  
Unter Nennung der Quelle dürfen Sie diese gerne für Ihre Doktorarbeit heranziehen.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg.

Mit freundlichen Grüßen  
Marianne Jurgeit

Bauforumstahl e.V.

Assistentin der Geschäftsführung  
Tel.:0211.6707.828,  
Fax:0211.6707.829  
Sohnstraße65,40237Düsseldorf  
sekretariat@bauforumstahl.de

[www.bauforumstahl.de](http://www.bauforumstahl.de)  
[www.facebook.com/bauforumstahl](https://www.facebook.com/bauforumstahl)

bauforumstahl e.V. | Sohnstraße 65 | 40237 Düsseldorf  
Rechtsform: Eingetragener Verein  
Sitz des Vereins (Gerichtsstand): Düsseldorf  
Registergericht: AG Düsseldorf, VR 8508  
Vorstand i.S.d § 26 BGB: Vorsitzender Stephan Lemgen, stv. Vors. Reiner Temme, stv. Vors. Alain Witry  
Geschäftsführung i.S.d. § 30 BGB: Gregor Machura, Dr. Rolf Heddrich  
Steuer-Nr. 105/5892/0260

Ausschlussklärung:

Diese E-Mail begründet keine rechtsverbindliche Willenserklärung, sofern dies nicht vorher mit dem Empfänger vereinbart wurde.

P Bitte denken Sie an die Umwelt, bevor Sie diese E-Mail ausdrucken.

**Von:**PatrickPelvay[mailto:Patrick.Pelvay@gmx.at]

**Gesendet:**Dienstag,30.Juli201918:41

**An:**zentrale@bauforumstahl.de

**Betreff:** Publikation Bemessung von Baustrukturen in Stahl und Verbundbauweise für Anprall- und Explosionslasten

Sehr geehrte Damen und Herren,

ich schreibe gerade meine Diplomarbeit an de TU Wien zum Thema " Vorgehängte Fassaden unter außergewöhnlicher Belastung und würde gerne Ihre Publikation "Bemessung von

Baustrukturen in Stahl und Verbundbauweise für Anprall- und Explosionslasten" als Text- und Bilderquelle heranziehen, weil diese sehr gut auf das Thema zutrifft.

Könnten Sie mir dies genehmigen?

Mit freundlichen Grüßen  
Patrick Pelvay