



\*\*\* Diplomarbeit \*\*\*  
Master's Thesis

Windlasten auf feingliedrige Fassadenteile  
Qualitatives Bewertungsmodell der Sturmsicherheit von  
Gebäuden, Checklisten, normative Ansätze, erweiterter Ansatz,  
numerische Simulation, Windkanalexperiment

*ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines  
Diplom-Ingenieurs unter der Leitung von*

Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr.techn. Andreas Kolbitsch &  
Univ.Ass.Dipl.-Ing. Marie Luise Stalf-Lenhardt  
Technische Universität Wien  
Institut für Hochbau und Technologie E206/4  
Zentrum für Hochbaukonstruktionen und Bauwerkserhaltung

*eingereicht an der Technischen Universität Wien  
Fakultät für Bauingenieurwesen  
von*

Stud.Ass. Emanuel Bombasaro  
Mat. 0425766 E610  
Technische Universität Wien  
Institut für Hochbau und Technologie E206/4  
Zentrum für Hochbaukonstruktionen und Bauwerkserhaltung

Wien im Mai 2008



# Abstract

**dt:** Auf Grund der vermehrten Schäden durch Windbelastungen an Gebäuden wurde in dieser Arbeit ein qualitatives Bewertungsmodell zur Beurteilung von Gebäuden auf ihre Sturmsicherheit geschaffen. Dieses 7 Parameter umfassende Bewertungsmodell betrachtet jedes Bauteil einzeln und mittels einer Bewertungsmatrix wird dieses einer der vier sturmtechnischen Kategorien zugewiesen. Die 7 Bewertungsparameter erfassen auch immer den globalen Kontext des Bauteils. Im Anhang befinden sich exemplarisch nach diesem Bewertungsmodell beurteilte Gebäude.

Ein weiterer Bestandteil der vorliegenden Arbeit ist eine Berechnung ausgewählter Bauteile nach dem derzeit gültigen Normenstand, weiters wird eine Erweiterung des normativen Belastungsansatzes angegeben, der mittels einer numerischen Simulation und Windkanalversuchen untermauert wird.

**en:** Because of the increasing number of damage on buildings on account of wind a qualitative evaluation system according to buildings was developed in this paper. This evaluation system consists of 7 parameters which validates every single structural element. The parameters are combined with the help of an evaluation matrix. In this way every element can be categorized in one of four storm resistance safety categories. Furthermore the 7 parameters mind the global context of the structural element. In the appendix some evaluated buildings are shown as example.

In the second part of the paper selected structural elements are designed following the currently design codes. In advance an enhanced design model for wind loads is shown and verified with a numerical simulation and a wind tunnel experiment.

**Schlagwörter/Keywords:**

**dt:** Bewertungsmatrix, Gebäude, Parameter, qualitatives Bewertungsmodell, Sturmsicherheit, Windbelastung, Windkanalversuche

**en:** building, evaluation matrix, parameter, qualitative evaluation system, storm resistance safety, wind load, wind tunnel experiment

# Acknowledgements

*... Eile heißt der Wind, der das Baugerüst umweht ...*

*Bertold Brecht*

Die Arbeit entstand in enger Zusammenarbeit und mit Unterstützung der Magistratsabteilung 34 - Planung der Stadt Wien, namentlich Herrn Arch. Dipl.-Ing. Karl Heinz Huber und Herrn Dr.techn. Franz Kleindel. Der Windkanalversuch wurde in Zusammenarbeit mit Herrn Dipl.-Ing. Dr.techn. Ingo Krönke am Institut für Strömungsmechanik und Wärmeübertragung der TU Wien durchgeführt.

Allen Beteiligten sei ein Wort des Dankes ausgesprochen.



# Inhaltsverzeichnis

Abstract	i
Acknowledgements	iii
<b>I Qualitatives Bewertungsmodell</b>	<b>1</b>
<b>1 Allgemeines, Grundlagen</b>	<b>3</b>
1.1 Einführung in die Thematik . . . . .	3
1.2 Rechtlicher Hintergrund . . . . .	4
1.2.1 Auszug aus den hierfür relevanten Gesetzen . . . . .	4
1.2.2 Interpretation der Gesetze und Auslegung für die hier relevanten Fälle . . . . .	5
1.3 Sachspezifische OGH Urteile . . . . .	7
<b>2 Einleitung zur Beurteilung des Bestandes</b>	<b>11</b>
2.1 Aufgabe der sturmtechnischen Aufnahme von Gebäuden . . . . .	11
2.2 Einleitung in die sturmtechnische Aufnahme von Gebäuden . . . . .	12
2.3 Die sturmtechnischen Inspektionen von Gebäuden . . . . .	13
2.3.1 5-jährliche Hauptprüfung . . . . .	13
2.3.2 Jährliche Inspektion . . . . .	13
2.3.3 Sonderinspektion nach außergewöhnlichen Ereignissen . . . . .	14
2.4 Inspektionsunterlagen . . . . .	14
2.4.1 Protokoll . . . . .	14
2.4.2 Planunterlagen . . . . .	15
<b>3 Aufnahme des Bestandes</b>	<b>17</b>
3.1 Kategoriefarbskala . . . . .	17
3.2 Matrixauswertung . . . . .	18
3.3 Exposition der Bauteile <i>e</i> . . . . .	19
3.3.1 Einteilung vertikaler Wandflächen . . . . .	19

3.3.2	Einteilung bei Flachdächern . . . . .	20
3.3.3	Einteilung bei Pultdächern . . . . .	21
3.3.4	Einteilung bei Sattel- und Trogdächern . . . . .	22
3.3.5	Einteilung bei Walmdächern . . . . .	23
3.3.6	Einteilung bei Sheddächern . . . . .	24
3.3.7	Einteilung gekrümmter Dächer und Baukörper mit rechteckigem Grundriss . . . . .	25
3.3.8	Einteilung freistehender Wände und Brüstungen . . . . .	25
3.3.9	Einteilung von Anzeigetafeln . . . . .	26
3.3.10	Vordächer . . . . .	26
3.3.11	Sonderformen . . . . .	27
3.4	Gefährdungspotential $g$ . . . . .	28
3.5	Materialkennwert $m$ . . . . .	28
3.6	Langzeitverhalten $l$ . . . . .	29
3.7	Mechanische Bewertung $a$ . . . . .	30
3.8	Sonderbewertung des Bauteils $s$ . . . . .	32
3.9	Liste für den Bauteilfaktor $f$ . . . . .	32
<b>4</b>	<b>Zusammenstellung der relevanten Aussagen</b>	<b>37</b>
4.1	Neuerrichtung von Gebäuden . . . . .	37
4.2	Anbringung und Adaptionen an bestehenden Gebäuden . . . . .	38
4.3	Vorbeugemaßnahmen vor Sturmereignissen . . . . .	38
<b>II</b>	<b>Belastungsermittlung</b>	<b>41</b>
<b>5</b>	<b>Einleitung zur Berechnung und Modellierung</b>	<b>43</b>
5.1	Eigenschaften des Windes und der Luft . . . . .	43
5.1.1	Einfluss von Regen auf die Windlastgröße . . . . .	44
5.2	Strömungstechnische Betrachtungen . . . . .	46
5.2.1	Grundgleichung der Strömung . . . . .	46
5.2.2	Behandlung mittels Dimensionenanalyse . . . . .	47
5.3	Einleitung zur numerischen Simulierung . . . . .	50
<b>6</b>	<b>Bemessung nach ÖNORM EN 1991-1-4</b>	<b>51</b>
6.1	Einführung in die ÖNORM EN 1991-1-4 . . . . .	51
6.2	Ermittlung $A_{ref}$ für im Eurocode 1-4 nicht erfasste Bauteile . . . . .	57
6.2.1	Verifizierung des Ansatzes . . . . .	59
6.2.2	Beispiel . . . . .	65

---

<b>7</b>	<b>Beispiele mit erweitertem Bemessungsansatz</b>	<b>69</b>
7.1	Einführung in die Beispiele . . . . .	69
7.2	Zierelement . . . . .	69
7.2.1	Angabe . . . . .	69
7.2.2	Belastung laut ÖNORM EN 1991-1-4 [8] . . . . .	71
7.2.3	Belastung aus numerischer Simulation . . . . .	77
7.2.4	Zusammenstellung der Ergebnisse . . . . .	81
7.3	Dachsolarkollektor . . . . .	84
7.3.1	Belastung laut ÖNORM EN 1991-1-4 [8] . . . . .	85
7.3.2	Belastung nach Literatur [1] . . . . .	85
7.3.3	Belastung nach numerischer Simulation . . . . .	86
7.3.4	Zusammenstellung der Ergebnisse . . . . .	89
<b>III</b>	<b>Anhang</b>	<b>91</b>
<b>A</b>	<b>Aufnahme des Wiener Rathauses</b>	<b>93</b>
A.1	Ostfassade Ecke Feldererstraße . . . . .	93
A.1.1	Expositionsbeiwert . . . . .	95
A.1.2	Gefährdungspotential . . . . .	95
A.1.3	Materialkennwert . . . . .	95
A.1.4	Langzeitverhalten . . . . .	95
A.1.5	Mechanische Bewertung . . . . .	95
A.1.6	Sonderbewertung des Bauteils . . . . .	96
A.1.7	Bauteilfaktor . . . . .	96
A.1.8	Matrixauswertung . . . . .	97
A.1.9	Planliche Darstellung . . . . .	98
A.2	Mittelturm über den Zentralrisalit an der Ostfassade . . . . .	99
A.2.1	Expositionsbeiwert . . . . .	99
A.2.2	Gefährdungspotential . . . . .	100
A.2.3	Materialkennwert . . . . .	100
A.2.4	Langzeitverhalten . . . . .	100
A.2.5	Mechanische Bewertung . . . . .	100
A.2.6	Sonderbewertung des Bauteils . . . . .	100
A.2.7	Bauteilfaktor . . . . .	100
A.2.8	Matrixauswertung . . . . .	101
A.2.9	Planliche Darstellung . . . . .	102
<b>B</b>	<b>Aufnahme des Sonderbauwerks Urania</b>	<b>103</b>
B.1	Oberer Teil der Frontfassade . . . . .	103
B.1.1	Expositionsbeiwert . . . . .	104

B.1.2	Gefährdungspotential . . . . .	104
B.1.3	Materialkennwert . . . . .	105
B.1.4	Langzeitverhalten . . . . .	105
B.1.5	Mechanische Bewertung . . . . .	105
B.1.6	Sonderbewertung des Bauteils . . . . .	107
B.1.7	Bauteilfaktor . . . . .	107
B.1.8	Matrixauswertung . . . . .	108
B.1.9	Planliche Darstellung . . . . .	109
<b>C</b>	<b>Aufnahme des Amtshauses Währing</b>	<b>111</b>
C.1	Gesims . . . . .	111
C.2	Dach, Sat-Antenne . . . . .	113
C.3	Blechdach, Sirenenmasten . . . . .	115
<b>D</b>	<b>Aufnahme des Kindergartengebäudes</b>	<b>117</b>
D.1	Hauptgebäude . . . . .	117
D.1.1	Ermittlung des Expositionsbeiwerts . . . . .	117
D.1.2	Gefährdungspotential . . . . .	120
D.1.3	Materialkennwert . . . . .	121
D.1.4	Langzeitverhalten . . . . .	121
D.1.5	Mechanische Bewertung . . . . .	121
D.1.6	Sonderbewertung des Bauteils . . . . .	122
D.1.7	Bauteilfaktor . . . . .	122
D.1.8	Matrixauswertung . . . . .	122
D.2	Umgebende Bauteile . . . . .	123
D.2.1	Containergarage . . . . .	123
D.2.2	Müllcontainerüberdachung . . . . .	125
D.3	Problempunkte . . . . .	127
<b>E</b>	<b>Aufnahme des Schulgebäudes</b>	<b>129</b>
E.1	Aufnahme der Bauteile . . . . .	129
E.2	Analyse der Bauteile . . . . .	131
E.2.1	Attikaaufbau . . . . .	131
E.2.2	Fassade, Verschattungselemente . . . . .	131
E.2.3	Terrassenüberdachung . . . . .	131
<b>F</b>	<b>Die windgerechte Errichtung von Gebäuden</b>	<b>133</b>
F.1	Müllcontainer . . . . .	134
F.2	Attika . . . . .	135
F.3	Wind und Kamineinzug . . . . .	136

# Teil I

## Qualitatives Bewertungsmodell



# Kapitel 1

## Allgemeines, Grundlagen

### 1.1 Einführung in die Thematik

Der Grundgedanke diese Arbeit besteht darin, Gebäude, aber auch einzelne Bauteile, qualitativ auf ihre sturmtechnische Tauglichkeit zu bewerten. Das Bewertungsmodell soll umfassend sein und dennoch auch von einem nicht spezialisierten technischen Personal anwendbar bleiben.

Den geneigten Leser sind wohl die immer wieder auftretenden, teils sehr heftigen Stürme noch feucht und kalt in den Gliedern, bei näherer Betrachtung zeigt sich auch eine steigende Tendenz bei den Sturmereignissen. So gibt die *Münchner Rück, Munich Re Group* in ihrer Statistik<sup>1</sup> für 2005 an, dass die Naturkatastrophen nahezu konstant, Monat für Monat stiegen, wobei von 650 Schadensfällen 42% (273) auf Stürme entfallen, die die Hauptverursacher von Schäden mit 87% volkswirtschaftlichen Schäden und 96% versicherten Schäden sind. Hieraus sieht man sofort, welche ungeheure Menge an Kapital und Ressourcen durch gezielte Qualitätssicherung der Gebäude auf ihre sturmtechnische Konformität erzielt werden können. Ein weiterer und wohl noch etwas bedeutenderer Punkt ist die rechtliche Absicherung im Schadensfall.

Die rechtliche Lage soll auch gleich in Kapitel 1 behandelt werden, in den Kapiteln 2 & 3 wird das Bewertungsmodell erarbeitet, in Kapitel 4 erfolgt eine kurze Zusammenstellung der relevanten Aussagen. In den darauf folgenden Kapiteln wird noch die aktuelle Normenlage vorgestellt und mit ausgewählten Beispielen ergänzt, die auch mittels numerischen Simulationen gelöst wurden, um die Güte der normativen Ansätze aufzuzeigen. Des Weiteren wird ein Windkanalversuch durchgeführt, um das Verhalten unter realen Bedingungen eines Bauteiles zu untersuchen. Im Anhang finden sich noch fünf ausgewählte Gebäude, wo die Vorgehensweise bei der sturmtechnischen

---

<sup>1</sup>Die Statistik ist auf Homepage der *Münchner Rück, Munich Re Group* veröffentlicht.

Bewertung exemplarisch gezeigt werden soll.

## 1.2 Rechtlicher Hintergrund

Die rechtliche Problematik entsteht, wenn ein Bauteil oder ein Teil eines Gebäudes nach der Belastung durch Anströmen<sup>2</sup>, Schaden an Dritte verursacht. Dieser Schaden kann durch Umstürzen und Herabstürzen von Bauteilen oder Gebäudeteilen an Personen oder Gegenständen entstehen. Auch eine vorübergehende Sperrung oder Nichtbenutzbarkeit von Gebäuden oder Gebäudeteilen ist als Schaden anzusehen.

### 1.2.1 Auszug aus den hierfür relevanten Gesetzen

Es finden sich im ABGB [2] folgende für die sturmtechnische Bewertung relevante Paragraphen:

*§1297. Es wird aber auch vermuthet, daß jeder den Verstandesgebrauch besitzt, eines solchen Grades des Fleißes und der Aufmerksamkeit fähig sey, welcher bey gewöhnlichen Fähigkeiten angewendet werden kann. Wer bey Handlungen, woraus eine Verkürzung der Rechte eines Andern entsteht, diesen Grad des Fleißes oder der Aufmerksamkeit unterläßt, macht sich eines Versehens schuldig.*

*§1299. Wer sich zu einem Amte, zu einer Kunst, zu einem Gewerbe oder Handwerke öffentlich bekennet; oder wer ohne Noth freywillig ein Geschäft übernimmt, dessen Ausführung eigene Kunstkenntnisse, oder einen nicht gewöhnlichen Fleiß erfordert, gibt dadurch zu erkennen, daß er sich den nothwendigen Fleiß und die erforderlichen, nicht gewöhnlichen, Kenntnisse zutraue; er muß daher den Mangel derselben vertreten. Hat aber derjenige, welcher ihm das Geschäft überließ, die Unerfahrenheit desselben gewußt; oder bey gewöhnlicher Aufmerksamkeit wissen können, so fällt zugleich dem Letzteren ein Versehen zur Last.*

*§1319. Wird durch Einsturz oder Ablösung von Teilen eines Gebäudes oder eines anderen auf einem Grundstück aufgeführten Werkes jemand verletzt oder sonst ein Schaden verursacht, so ist der Besitzer des Gebäudes oder Werkes zum Ersatze verpflichtet, wenn die*

---

<sup>2</sup>Beispielhaft; normaler Wind, Stürme, Nachlaufwirbel von Flugzeugen

*Ereignung die Folge der mangelhaften Beschaffenheit des Werkes ist und er nicht beweist, daß er alle zur Abwendung der Gefahr erforderliche Sorgfalt angewendet habe.*

Weiters regelt die Bauordnung für Wien [4] die Haftungsübertragung an den Benützer unter den Absatz „*Benützung und Erhaltung der Gebäude; vorschriftswidrige Bauten*“ im Punkt (1).

Im Punkt (2) wird der Eigentümer (jeder Miteigentümer) zu Instandhaltungspflicht gemahnt.

*§129. (1) Für die bewilligungsgemäße Benützung der Räume ist der Eigentümer (jeder Miteigentümer) des Gebäudes oder der baulichen Anlage verantwortlich. Im Falle der Benützung der Räume durch einen anderen geht die Haftung auf diesen über, wenn er vom Eigentümer über die bewilligte Benützungsort in Kenntnis gesetzt worden ist. Im Falle der Benützung von Räumen als Heim oder wie Unterkunftsräume in einem Heim haftet jedenfalls nur der Eigentümer.*

*(2) Der Eigentümer (jeder Miteigentümer) hat dafür zu sorgen, daß die Gebäude und die baulichen Anlagen (Gärten, Hofanlagen, Einfriedungen u. dgl.) in gutem, der Baubewilligung und den Vorschriften dieser Bauordnung entsprechendem Zustand erhalten werden. Für Gebäude in Schutzzonen besteht darüber hinaus die Verpflichtung, das Gebäude, die dazugehörigen Anlagen und die baulichen Ziergegenstände in stilgerechtem Zustand und nach den Bestimmungen des Bebauungsplanes zu erhalten.*

### 1.2.2 Interpretation der Gesetze und Auslegung für die hier relevanten Fälle

Im §1319 des ABGBs wird eindeutig das Herabfallen oder Einstürzen eines Gebäudes mit Schadensfolge definiert, eindeutig wird auch die alleinige Verantwortlichkeit des Eigentümers, bei Vernachlässigung seiner Sorgfaltspflicht zur Abwendung der Gefahr, geregelt.

Die weiters hier anzuwendende Bauordnung für Wien überträgt die Verantwortung des Eigentümers, im §129 (1), auf den jeweiligen Benützer.

Betrachtet man den §1319 des ABGBs zusammen mit dem §129 (2) in der Bauordnung für Wien, so verpflichten beide zur ständigen Instandhaltung des Gebäudes bzw. des Bauwerks. Die Bauordnung für Wien verlangt, dass der Zustand des Gebäudes bzw. Bauwerks der Bewilligung und den Vorschriften

der Bauordnung entspricht. Das ABGB geht in §1319 noch weiter und mahnt auch noch die Sorgfaltspflicht ein.

Bei Schäden durch Wind an Gebäuden und Bauwerken würde der Autor folgendermaßen vorgehen: Die Instandhaltungspflicht des Gebäudes bzw. Bauwerkes wie sie in der Bauordnung für Wien geregelt ist, ist dem fachkundigen Leser weitestgehend bekannt und umfasst das allgemeine technische Wissen des Ingenieurs.

Die Sorgfaltspflicht wie sie das ABGB verlangt, geht über die in den einschlägigen Normen angegebenen bzw. in den Bauordnungen geregelte technischen Bedingungen hinaus, da die dort angegebenen Bedingungen vorwiegend für die Errichtung des Gebäudes oder Bauteils relevant sind, jedoch nicht die Instandhaltung und Wartung über den Lebenszyklus des Gebäudes regeln. Rechtlich würde in den Augen des Autors genügen, wenn durch genau geregelte Kontrollintervalle und technische Verfahren der Zustand des Gebäudes bzw. Bauwerks festgehalten und beurteilt wird.<sup>3</sup> So kann auch schwerlich von einer Vernachlässigung der Sorgfaltspflicht im Sinne von §1297 des ABGBs durch den Verantwortlichen gesprochen werden, da rechtlich auch der vertretbare Aufwand berücksichtigt wird. Weiters bietet so ein Verfahren die Möglichkeit, bei Gefahr den Gefährdungsbereich bewusst eingrenzen zu können und gegebenenfalls, zur Abwendung der Gefahr für Dritte, diesen Bereich gezielt zu sperren und so die geforderte Sorgfaltspflicht zu erfüllen. Auch kann so die Standsicherheit des Gebäudes oder Bauwerks gegenüber außergewöhnlichen Ereignissen angegeben und abgegrenzt werden. Bei Auftreten solcher außergewöhnlicher Ereignisse kann dann je nach Erfordernis, das Gebäude, Bauwerk und der Gefährdungsbereich gesperrt werden oder zusätzliche temporäre Sicherungsmaßnahmen angebracht werden.

---

<sup>3</sup>Hier sei auch an die geforderte Inspektion von Brücken erinnert.

## 1.3 Sachspezifische OGH Urteile

Hier werden noch zu der sturmtechnischen Bewertung relevante OGH Urteile angeführt, um den Leser in die derzeitige Rechtspraxis einzuführen.

Als Randnotiz wir bei den wichtigsten Urteilen eine schlagwortartige Zusammenfassung angeben.

### OGH 1998-03-26, 7 Ob 83/98a

*Zu einem Sturm gehören auch die Anlaufphasen und Zwischenphasen, in denen die Windstärke von mehr als 60 km/h noch nicht erreicht ist.*

Beschreibung  
Sturm und Mindestgeschwindigkeit

*Sturm wirkt dann unmittelbar ein, wenn er die zeitlich letzte Ursache des Sachschadens ist. „Unmittelbare Einwirkung“ ist es zum Beispiel, wenn versicherte Sachen durch den Druck oder den Sog aufprallender Luft beschädigt oder zerstört werden oder abhanden kommen, insbesondere wenn bewegliche Sachen umgeworfen oder aus erhöhter Position auf eine tiefergelegene Fläche heruntergeworfen werden und dadurch zerbrechen oder sonstwie beschädigt werden.*

Einwirkung eines Sturms

OGH 1964-10-20, 4 Ob569/64; 7 Ob811/76; 7 Ob545/78; 6 Ob670/78; 6 Ob588/82; 2 Ob564/83; 8 Ob66/84; 4 Ob2334/96f; 7 Ob2404/96x; 2 Ob90/98v; 7 Ob215/98p; 2 Ob281/01i; 7 Ob38/05x

*Ein „Werk“ ist nicht nur ein Gebäude, sondern jeder künstliche Aufbau, wie ein Gerüst, ein Dachgarten, eine Tribüne, ein Landungssteg, eine Baugrube, eine elektrische Leitung. Teil eines Werkes ist, was mit diesem in organischer oder mechanischer fester Verbindung steht.*

OGH 1977-03-16, 1 Ob533/77; 1 Ob41/80; 7 Ob50/88; 5 Ob515/90; 8 Ob99/99p; 1 Ob93/00h; 1 Ob257/01b; 9 Ob42/04y

*Höhere Gewalt ist ein von außen her auf den Betrieb (hier einen Förderungsbetrieb) einwirkendes außergewöhnliches Ereignis, das nicht in einer gewissen Häufigkeit und Regelmäßigkeit vorkommt und zu erwarten ist und durch äußerste zumutbare Sorgfalt weder abgewendet noch in seinen Folgen unschädlich gemacht werden kann.*

Definition höhere Gewalt

OGH 1970-03-31, 1 Ob50/70; 2 Ob128/71; 6 Ob251/74; 6 Ob737/76; 6 Ob626/80; 7 Ob757/82; 5 Ob564/85; 1 Ob93/00h; 9 Ob44/02i; 2 Ob137/05v

Hinweis auf die  
Diligenzpflicht;  
aber Achtung:  
siehe folgenden  
Absatz

*Der für Schäden durch Ablösung von Bäumen analog den Bestimmungen des §1319 ABGB Haftende muß keine über seine Diligenzpflicht nach §1297 ABGB hinausgehende besondere Vorsichtsmaßnahmen (wie Überprüfung der Windbruchfestigkeit durch Sachverständigen) treffen.*

**aber Achtung TE OGH 2002-04-17, 9 Ob44/02i**

Diligenzpflicht  
Erweiterung bei  
Fachkenntnissen

*Beisatz: Eine besondere Fachkenntnis bewirkt einen höheren Grad der Haftung (vgl. §1299 ABGB). (T5)*

**TE OGH 1996-11-26, 4 Ob 2334/96f**

*Auch; nur: Eine sinngemäße Anwendung des §1319 ABGB auf ähnliche Fälle ist zulässig. Das gilt nicht nur für Fälle des „Einsturzes“ oder der „Ablösung“ von Bäumen und dergleichen, sondern auch dann, wenn die Gefahrenquelle ein Gebäude oder ein anderes auf dem Grundstück aufgeführtes Werk ist, aber nicht gerade ein Einsturz oder eine Ablösung von Bestandteilen den Schaden konkret verursacht. (T10); Beisatz: Nach dem Gesetzeszweck sollten mit dem Begriff „Einsturz oder Ablösung“ auch alle anderen Gefahren, die sich aus Statik und Dynamik eines Werkes ergeben, umfasst werden. (T11);*

**TE OGH 1998-04-23 2 Ob 90/98v**

Beschreibung der  
Gefahr, die von  
einem Werk aus-  
geht

*Vgl auch; Beisatz: Die Begriffe „Einsturz“ oder „Ablösen“ erfassen aber nur solche Gefahren, die sich aus der Statik und Dynamik eines Werkes ergeben, die also eine typische Gefahr des Werkes darstellen. (T16)*

**TE OGH 2000-02-28 3 Ob 119/99t**

*Vgl auch; Beisatz wie T16; Beisatz: Die gegenüber der allgemeinen deliktischen verschärfte Schadenshaftung beruht im Wesentlichen auf der Höhe des Werks gegenüber der Erdoberfläche. (T17) Beisatz: Es kann, wie sich aus der zweiten Alternative des §1319 ABGB ergibt, keinen Unterschied machen, ob nur ein Teil des*

*Werks oder das ganze zu Boden fällt (nicht anders kann wohl der Begriff „Ablösung“ verstanden werden). (T18)*

**TE OGH 2004-03-30 4 Ob 56/04w**

*Vgl auch; Beisatz: Das Haftungserfordernis „Einsturz oder Ablösung von Teilen eines Gebäudes“ ist weit auszulegen. Gehaftet wird nach §1319 ABGB für jeden Schaden, der durch die auf der Höhe des Gebäudes oder des Werkes beruhende Gefahr herbeigeführt wurde. (Hier: Nicht ausreichend beleuchteter oder sonst gesicherter Kellerabgang.) (T25)*

**TE OGH 2007-08-08 9 Ob 79/06t**

*Vgl auch; Beisatz: Der Begriff des „Werks“ im Sinn des §1319 ABGB wird einerseits weit interpretiert (Baugruben, Schächte, Kanaldeckel, Schranken, Absperrungen etc, und analog sogar auf Bäume ausgedehnt; doch hat die Rechtsprechung - dem Gesetzeswortlaut folgend - immer auch betont, dass Schadensursache eine mangelhafte Beschaffenheit des Werkes sein muss. (T29)*

Betonung dass Schadensursache mangelhafte Beschaffenheit des Werkes sein muss

**OGH 1998-04-21, 11 Os35/98 (11 Os36/98)**

*Die Vorschrift des §106 Abs 11 der Wiener Bauordnung, wonach Stiegenläufe mit mehr als drei Stufen bei einer Stiegenbreite von einhundertzwanzig Zentimeter und mehr mit Handläufen an beiden Seiten zu versehen sind, ist ungeachtet dessen, daß sie zum Zeitpunkt der Errichtung des Gebäudes noch nicht bestanden hat und auch nicht in Art III Abs 6 der Wiener Bauordnung als rückwirkende Bestimmung genannt ist, als Sorgfaltsmaßstab heranzuziehen.*

Angabe der derzeit gültigen Bauordnung als Sorgfaltsmaßstab.



# Kapitel 2

## Einleitung zur Beurteilung des Bestandes

### 2.1 Aufgabe der sturmtechnischen Aufnahme von Gebäuden

Um den in Kapitel 1 Punkt 1.2.2 dargelegten rechtlichen Sachverhalt nachzukommen, wird nun im Folgenden eine technische Vorgangsweise zur Erfüllung der Sorgfaltspflicht erarbeitet. Diese umfasst eine **gesamtumfassende qualitative Dokumentation und Begutachtung** des zu untersuchenden Gebäudes, um so nicht nur den aktuellen Zustand des Gebäudes zu erfassen, sondern auch die Möglichkeit einer Prognose und einer Risikoabschätzung zu erreichen. Weiters dient die Aufnahme im Schadensfall zur rechtlichen Absicherung bzw. zur Schadensvermeidung durch Absperrungen vor/bei Extremereignissen.

Des Weiteren dient die Aufnahme bestehender Bauwerke zur Erfahrungssammlung und im Fall von Neubauten zur Evaluierung der vorangegangenen sturmtechnischen Beurteilung der Entwürfe. Hierin findet sich ein ungeheures Potential, um bereits in der Entwurfsphase gezielt sturmtechnisch problematische Bereiche<sup>1</sup> zu erkennen und zu vermeiden. Aber auch um noch nicht erkannte oder erfasste Bauteile in ihrer sturmtechnischen Relevanz zu erfassen und zu dokumentieren oder schon eine Abschätzung für noch nicht erfasste Bauteile<sup>2</sup> in der Planungsphase zu ermöglichen. Die Dokumentation und Bewertung der Gebäude wird mittels eines Bewertungssystems realisiert. Dieses System wird in Kapitel 3 entwickelt und umfasst die folgenden vier Kategorien, **Konform**, **Akzeptabel**, **Beobachten** und **Nicht Konform**.

---

<sup>1</sup>Man denke hier zum Beispiel an Jalousiesysteme.

<sup>2</sup>Zum Beispiel bei einem Neubau angebrachte Fassadenteile.

## 2.2 Einleitung in die sturmtechnische Aufnahme von Gebäuden

Das Ziel der **qualitativen** sturmtechnischen Aufnahme von Gebäuden ist es, die in Kapitel 2, Punkt 2.4 beschriebenen Inspektionsunterlagen zu erstellen. Diese dienen als Dokumentation des Zustandes der untersuchten Gebäude. Weiters erhält man nach jeder Kontrolle eine Auflistung der genauer zu untersuchenden Bauteile. Diese Auflistung dient dann zur Risikobewertung und fließt direkt in das Sanierungsprogramm und in die Sanierungszeitplanung ein.

Wird ein Neubauentwurf bewertet, so soll dieser einer Hauptprüfung im Sinne von Punkt 2.3.1 unterzogen werden, wobei nur die Kategorie **Konform** erlaubt ist. Siehe hierzu Kapitel 3 Punkt 3.1.

Um eine Erfüllung der Sorgfaltspflicht im Sinne von Kapitel 1 Punkt 1.2.2 in einem vertretbarem Aufwand nachzukommen, sind folgende Inspektionsintervalle angedacht.

<b>5-jährliche Hauptprüfung</b>
<b>Jährliche Inspektion</b>
<b>Sonderinspektion nach außergewöhnlichen Ereignissen</b>

Ein bestehendes Gebäude erfüllt die Sturmsicherheitskriterien und somit die in Kapitel 1 Punkt 1.2.2 rechtlichen Kriterien, wenn nur Bereiche der Kategorie **Konform** und **Akzeptabel** vorhanden sind.

Tritt die Kategorie **Beobachten** auf, so ist umgehend ein Beobachtungsplan auszuarbeiten und möglichst rasch<sup>3</sup> eine Kategorieverbesserung auf zumindestens die Kategorie **Akzeptabel** herbeizuführen. Ausgenommen sind bewegliche Bauteile wie Blumenkisten, Fahnen, Plakate, etc., die genau beobachtet werden, deren Montage wird überwacht und gewissenhaft ausgeführt.

Bauteile, die der Kategorie **Nicht Konform** zuzuordnen sind, sind sofort (binnen einer Woche) zu sichern um Kategorie **Beobachten** zu erreichen und innerhalb zweier Monate<sup>4</sup> so weit zu sanieren, dass sie der Kategorie **Konform** entsprechen.

<sup>3</sup>Innerhalb eines Monats muss mit den Arbeiten begonnen werden.

<sup>4</sup>Innerhalb der zwei Monate muss mit den Arbeiten begonnen werden.

## 2.3 Die sturmtechnischen Inspektionen von Gebäuden

### 2.3.1 5-jährliche Hauptprüfung

<b>Aufgabe:</b>	Bei der Erstprüfung gilt es, die Inspektionsunterlagen zu erstellen. Bei den weiteren Folgeprüfungen sind die bestehenden Unterlagen zu vervollständigen und zu aktualisieren sowie auf ihre Richtigkeit zu prüfen.
<b>Durchführender:</b>	Durch einen für die Berufsausübung maßgeblichen Vorschriften Berechtigten. Die Ausbildungskennnisse eines HTL-Ingenieurs oder Baumeisters sind als ausreichend anzusehen.
<b>Resultat:</b>	Inspektionsunterlagen bzw. Aktualisierung der Inspektionsunterlagen und Auflistung der stark gefährdeten Bauteile, die einer genaueren Untersuchung zu unterziehen sind.
<b>Intervall:</b>	Alle 5 Jahre, Entwurfsbewertung; nach Neuerrichtung eines Gebäudes und bei großflächiger Sanierung der Gebäudehülle.

### 2.3.2 Jährliche Inspektion

<b>Aufgabe:</b>	Überprüfung, ob der Bestand noch den Inspektionsunterlagen entspricht oder ob sich bei gefährdenden Bauteilen eine Verschlechterung eingestellt hat.
<b>Durchführender:</b>	Guteingeschultes Personal ist als ausreichend anzusehen, wichtig ist aber, dass bei ungelösten Fragestellungen Fachpersonal (siehe 5-jährliche Hauptprüfung) beigezogen wird.
<b>Resultat:</b>	Aktualisierte Inspektionsunterlagen und gegebenenfalls Auflistung der genauer zu untersuchenden Bauteile.
<b>Intervall:</b>	Einmal jährlich, bevorzugterweise in den Frühjahrsmonaten nach der Schneeschmelze.

### 2.3.3 Sonderinspektion nach außergewöhnlichen Ereignissen

<b>Aufgabe:</b>	Begutachtung eventueller Folgeschäden durch das außergewöhnliche Ereignis, sowie Aufnahme der beschädigten Bauteile.
<b>Durchführender:</b>	Guteingeschultes Personal ist als ausreichend anzusehen, wichtig ist aber, dass bei ungelösten Fragestellungen Fachpersonal (siehe 5-jährliche Hauptprüfung) bei gezogen wird.
<b>Resultat:</b>	Schadensprotokoll und Auflistung der genauer zu untersuchenden Bauteile und Elemente.
<b>Intervall:</b>	Nach jedem heftigeren Sturmereignis mit Windgeschwindigkeiten über $60 \text{ km/h}$ , siehe OGH Urteil 1.3. Diese Windgeschwindigkeit ist für das gesamte Wiener Stadtgebiet anzusetzen. Die Werte können bei den staatlich beeideten meteorologischen Instituten eingeholt werden. Es wird empfohlen, sich auch vor den Sturmereignissen einen Kontrollgang durchzuführen, wo vor allem die als zu <b>Beobachten</b> eingestuften Bereiche und Bauteile inspiziert und gegebenenfalls gesichert werden.

## 2.4 Inspektionsunterlagen

### 2.4.1 Protokoll

Das Inspektionsprotokoll dient zur Festhaltung aller nicht graphisch erfassten Daten in den Inspektionsplänen. Folgenden Daten müssen erfasst werden.

<b>Protokollkopf</b>	Datum und Witterung während der Inspektion; Art der Inspektion
<b>Gebäudebezeichnung</b>	Anschrift und Art des Gebäudes sowie besondere Bezeichnungen, Verwendungen oder Exposition.
<b>Aufnahmeleiter</b>	Name und Kontaktdaten der mit der Inspektion beauftragten Person, sowie alle beteiligten Personen, vor allem das beigezogene Fachpersonal.
<b>Fassadenteil- und Bauteilliste</b>	Alle an dem Gebäude begutachteten und bewerteten Bauteile mit ihrer Bewertung.
<b>Protokoll</b>	Verbale Beschreibung des Gebäudezustandes auf Grund der erhobenen Daten in Kurzform, bis zu 100 Wörter.
<b>Listen</b>	<p>Kategorie <b>Beobachten</b>  Liste der zu beobachtenden Bauteile mit angegebenen Beobachtungsintervallen und eine Liste der beweglichen Bauteile mit Kategorie und Sicherungsmaßnahmen bei Sturm.</p> <p>Kategorie <b>Nicht Konform</b>  Liste der nicht konformen Bauteile mit Angabe der Sicherungsmaßnahmen und Sanierungsvorschlag sowie ein Sanierungszeitplan.</p>
<b>Planunterlagen</b>	Die nach Kapitel 3 Punkt 2.4.2 angefertigten Planunterlagen.
<b>Enderklärung</b>	Auflistung aller zu dem Protokoll zählenden Unterlagen mit Seitenanzahl und Unterschriften aller beteiligten Personen mit Datum.

### 2.4.2 Planunterlagen

Die Planunterlagen sind im Maßstab 1:100, insofern alle Bauteile ausreichend darstellbar sind, anzufertigen. Einzelne Planausschnitte in kleineren Maßstäben sind auszuführen, wenn sonst die feingliedrigen Bauteile nicht ausreichend differenziert darstellbar sind.

Der Grundgedanke der planlichen Darstellung besteht darin, dass eine schnelle Übersicht des Gebäudezustandes gewonnen werden kann. So werden in den Plänen die einzelnen Kategorien dem Farbschema wie in Kapitel 3 Punkt 3.1 angegeben unterlegt. Des Weiteren sollten auch etwaige Sicherungsmaßnahmen in den Plänen eingetragen werden. In Abbildung 2.1 ist exemplarisch ein Planausschnitt zur Verdeutlichung der Vorgangsweise dargestellt.

Die Kategorien **Konform** und **Akzeptabel** können auch nur durch eine Schraffur in der Kategoriefarbe eingezeichnet werden, so soll das Überquellen der Farben auf den Plan vermieden werden.

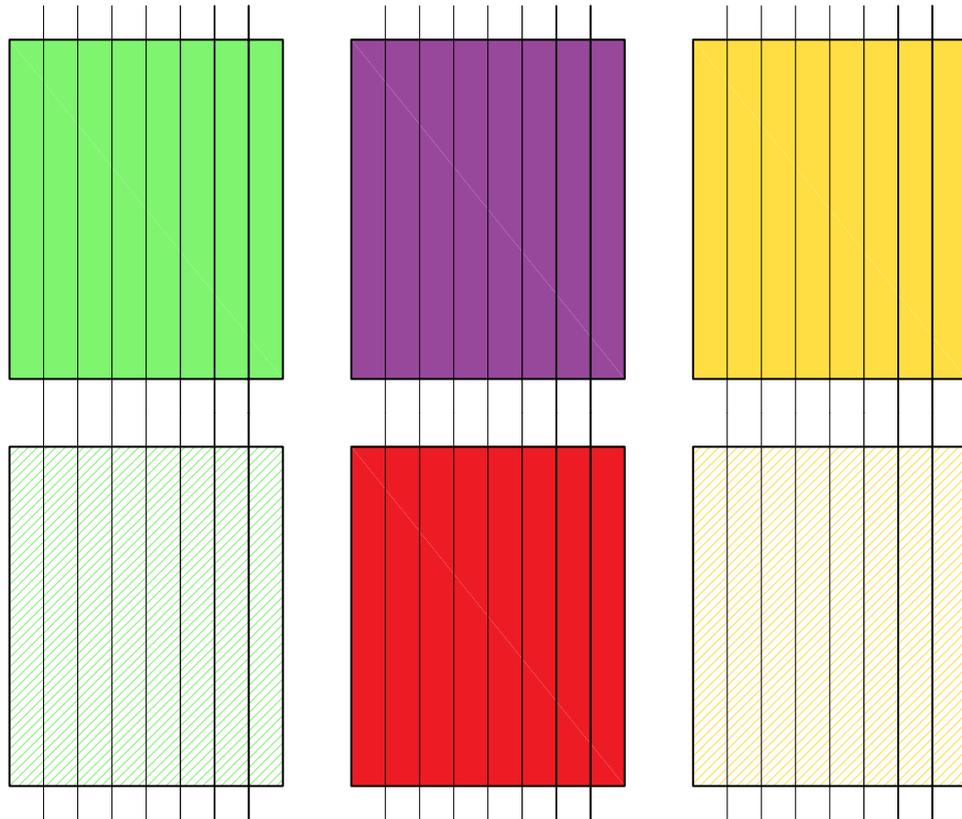


Abbildung 2.1: Darstellung der Kategoriefarben und Darstellungsmöglichkeit

# Kapitel 3

## Aufnahme des Bestandes

### 3.1 Kategoriefarbskala

Die einzelnen Kategorien werden mit folgendem Farbcode bezeichnet, die Findung der einzelnen Kategorien erfolgt durch Auswerten der Matrix, mit welcher man den Klassifikationswert, siehe im Kapitel 3 Punkt 3.2, erhält. In der Fußnote ist noch der CMYK<sup>1</sup> und RGB<sup>2</sup> Farbcode angegeben, um ein einheitliches Erscheinungsbild zu gewährleisten. Werden die Pläne mit der Hand angefertigt, empfiehlt es sich, zumindest sehr ähnliche Farben zu verwenden. Werden die Farben in den Plänen eingetragen, kann auch die Deckungsintensität verringert werden, weiters sollten die Farbflächen immer in den Hintergrund gelegt werden.

---

<sup>1</sup>Grün C 46%M 0% Y 79% K 0%, Gelb C 0% M 10% Y 84% K 0%, Violett C 45% M 86% Y 0% K 0%, Rot C 0% M 100% Y 100% K 0%

<sup>2</sup>Grün 127/244/111, Gelb 255/222/67, Violett 152/72/155, Rot 237/28/36

Farbe/Bezeichnung	Klassifikationsintervall	Beschreibung
Konform	$K \leq 14$	Bauteil erfüllt alle Kriterien der Sturmsicherheit.
Akzeptabel	$14 < K \leq 19$	Für bestehende Gebäude ausreichende Kategorie.
Beobachten	$19 < K \leq 24$	Kurzfristig vertretbares Risiko besteht.
Nicht Konform	$24 < K$	Bauteil ist sofort zu sichern!

### 3.2 Matrixauswertung

Um die einzelnen Bewertungen zusammenzufassen und so eine Kategoriezuweisung vornehmen zu können, werden die einzelnen Parameter in der Bewertungsmatrix eingetragen und anschließend wird laut Formel 3.1 der Klassifikationswert errechnet. Aus dem so erhaltenen Klassifikationswert und der Kategoriefarbskala folgt direkt die Kategorie des betrachtenden Bauteils.

Bauteil	Exposition	Gefährdungspotential	Materialkennwert	Langzeitverhalten	mechanische Bewertung	Sonderbewertung	Bauteilfaktor	Klassifikationswert
...	...	...	...	...	...	...	...	...
Bauteil A	$e$	$g$	$m$	$l$	$a$	$s$	$f$	$K$
...	...	...	...	...	...	...	...	...

mit

$$K = (e + g + m + l + a + s) \cdot f \quad (3.1)$$

$K$  ist auf die nächste positive ganze Zahl nach den üblichen Rundungsregeln zu runden. Ergibt Formel 3.1 9.5, so ist  $K = 10$ , ergibt Formel 3.1 8.4, so ist  $K = 8$ .

### 3.3 Exposition der Bauteile $e$

Der Expositionsbeiwert  $e$  verknüpft die Lage des Objektes am Gebäude mit den Anströmungsverhältnissen. Die grundsätzlichen Ansätze sind aus [8] und [11] entnommen.

Die Einteilung der Flächen erfolgt mit Hilfe der charakteristischen Länge  $w$ , diese ist entweder die Breite  $b$  des betrachteten Gebäudes oder die doppelte lotrechte Höhe  $2h$  des Gebäudes bis zur Dachkante, wobei der kleinere der erhaltenen Werte maßgebend ist. In gleicher Weise wird für die Dachflächen vorgegangen, wobei  $w$  entweder die Gebäudebreite  $b$  des betrachteten Gebäudes ist oder die doppelte lotrechte Höhe  $2h$  des Gebäudes bis zur Dachkante, auch hier ist wieder der kleinere der beiden Werte zu verwenden. Bei Giebelwänden ist die mittlere Höhe der Wand anzusetzen.

Bei der Bewertung eines Bauteils wird je nach Lage am Gebäude und Dachform des Gebäudes der richtige Beiwert gefunden. Liegt das zu bewertende Bauteil nicht direkt in der Ebene, so ist bis zu einer Höhe  $\leq 2.00\text{ m}$  der Expositionsbeiwert mit  $+1$  zu addieren. Ist das Bauteil größer, so ist der Expositionsbeiwert nicht zu verändern.

#### 3.3.1 Einteilung vertikaler Wandflächen

Betrachtet wird die Breite  $b$  der jeweiligen Wandfläche, ausgenommen bei den traufenparallelen Flächen<sup>3</sup>, hier ist der größere Wert maßgebend. Vor- und Rücksprünge der Fassade, die kleiner als  $w/5$  sind, müssen nicht berücksichtigt werden, andernfalls ist der Vorsprung abzutrennen und der Expositionsfaktor eigens für diesen Teilbereich zu bestimmen, das restliche Gebäude ist wie an der Stelle des Vorsprungs endend zu betrachten, dies gilt auch für unterschiedliche aneinanderfolgende Dachflächen.

---

<sup>3</sup>Blauer Bereich

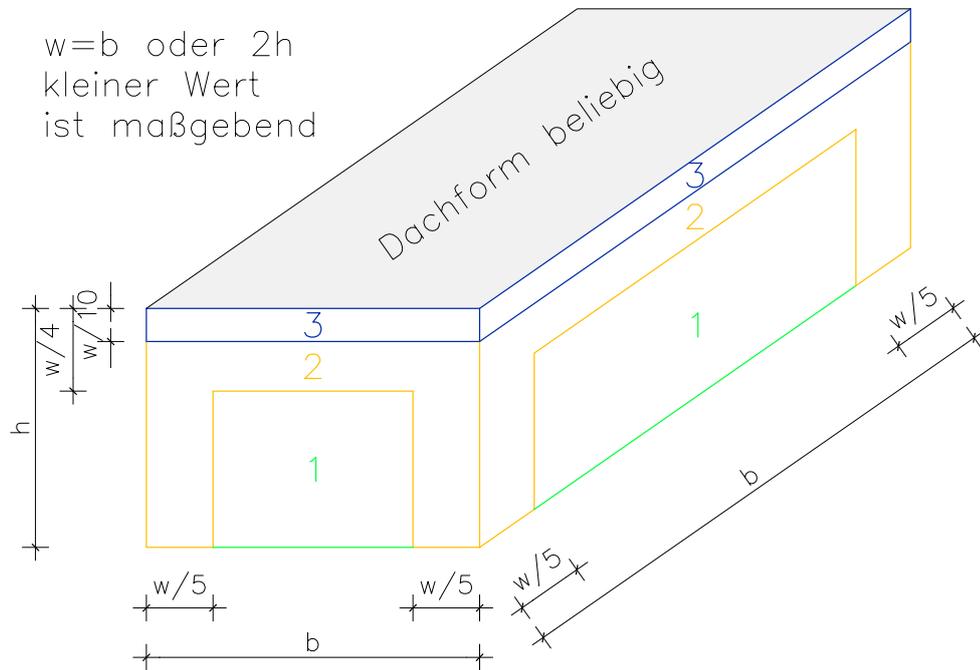


Abbildung 3.1: Einteilung vertikaler Wandflächen

### 3.3.2 Einteilung bei Flachdächern

Bei einer Dachneigung von weniger als  $\pm 5^\circ$  sind Dächer als Flachdächer anzusehen.

$w=b$  oder  $2h$   
 kleiner Wert  
 ist maßgebend

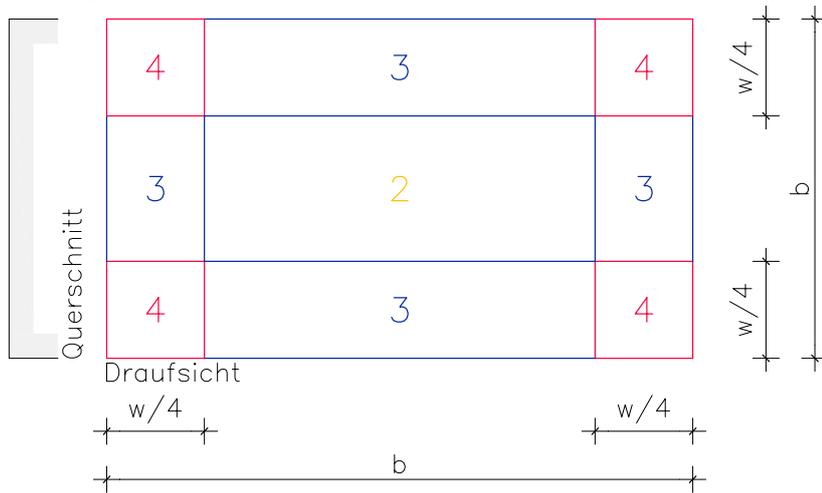


Abbildung 3.2: Einteilung bei Flachdächern

### 3.3.3 Einteilung bei Pultdächern

Neigungs- winkel $\alpha$	A	B	C	D
$5^\circ$	4	4	3	1
$15^\circ$	5	3	2	1
$30^\circ$	5	3	2	1
$45^\circ$	3	2	1	1
$60^\circ$	2	1	1	1
$75^\circ$	2	1	1	1

Zwischenwerte können linear interpoliert werden.

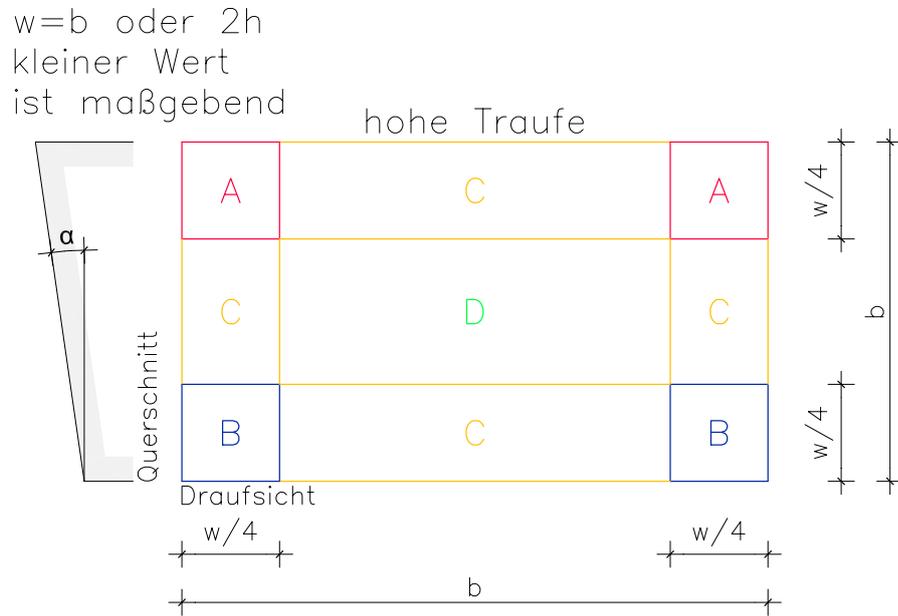


Abbildung 3.3: Einteilung bei Pultdächern

### 3.3.4 Einteilung bei Sattel- und Trogdächern

Neigungswinkel $\alpha$	A	B	C
$-45^\circ$	3	2	1
$-30^\circ$	3	2	1
$-15^\circ$	3	3	2
$-5^\circ$	4	3	2
$5^\circ$	3	3	2
$15^\circ$	2	2	1
$30^\circ$	2	2	1
$45^\circ$	2	2	1
$60^\circ$	2	1	1
$75^\circ$	1	1	1

Zwischenwerte können linear interpoliert werden.

$w=b$  oder  $2h$   
 kleiner Wert  
 ist maßgebend

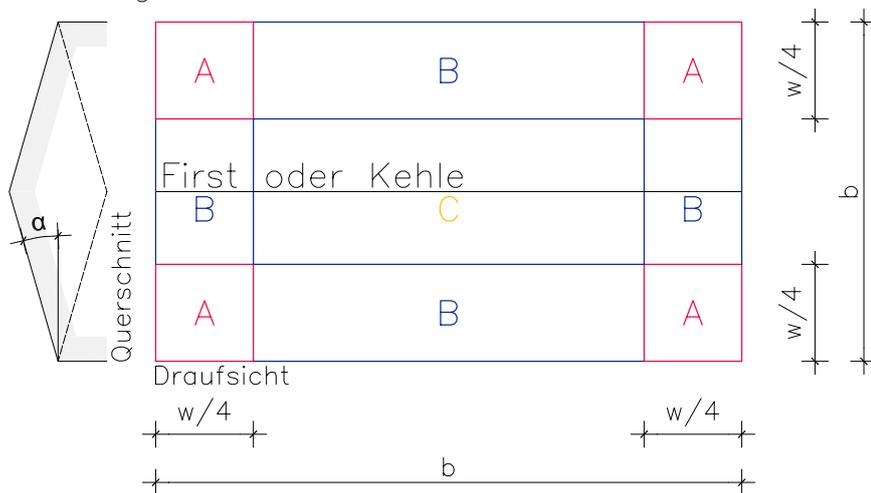


Abbildung 3.4: Einteilung bei Sattel- und Trogdächern

### 3.3.5 Einteilung bei Walmdächern

Neigungs- winkel $\alpha$	A	B	C
5°	4	4	3
15°	4	3	3
30°	3	3	2
45°	3	2	2
60°	2	1	1
75°	2	1	1

Zwischenwerte können linear interpoliert werden.

$w=b$  oder  $2h$   
 kleiner Wert  
 ist maßgebend

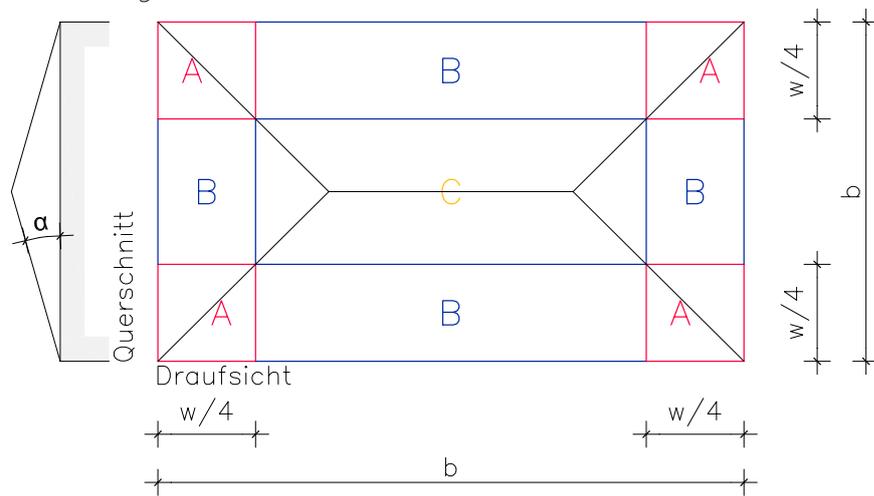


Abbildung 3.5: Einteilung bei Walmdächern

### 3.3.6 Einteilung bei Sheddächern

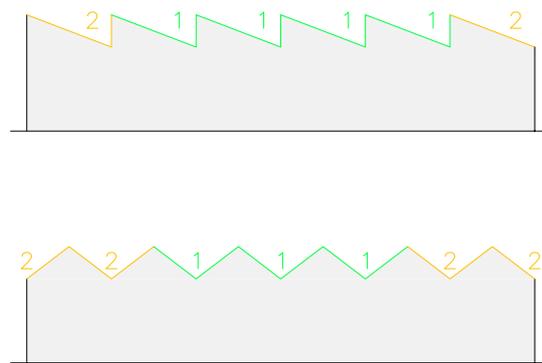


Abbildung 3.6: Einteilung bei Sheddächern

### 3.3.7 Einteilung gekrümmter Dächer und Baukörper mit rechteckigem Grundriss

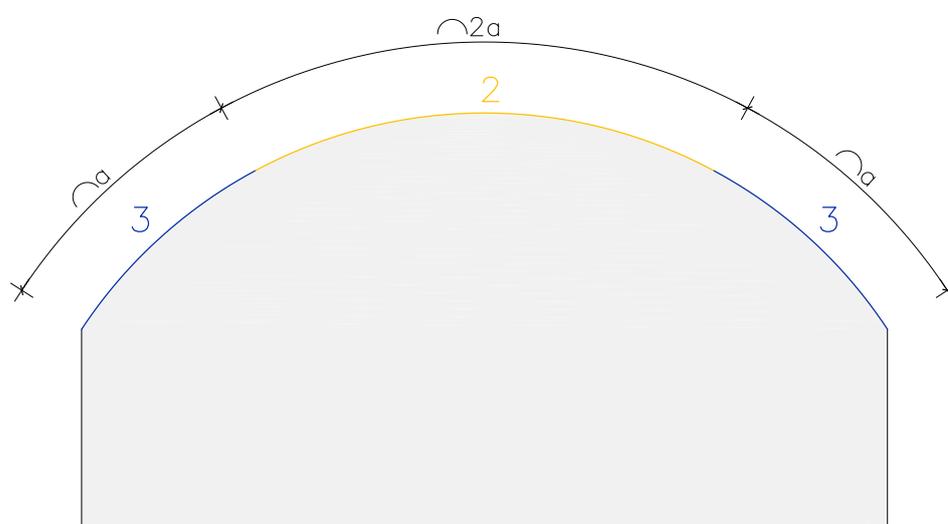


Abbildung 3.7: Einteilung bei gekrümmten Dächern und Baukörpern mit rechteckigem Grundriss

### 3.3.8 Einteilung freistehender Wände und Brüstungen

Die hier angegebenen Werte gelten auch für Wände und Brüstungen mit abgewinkelttem Verlauf.

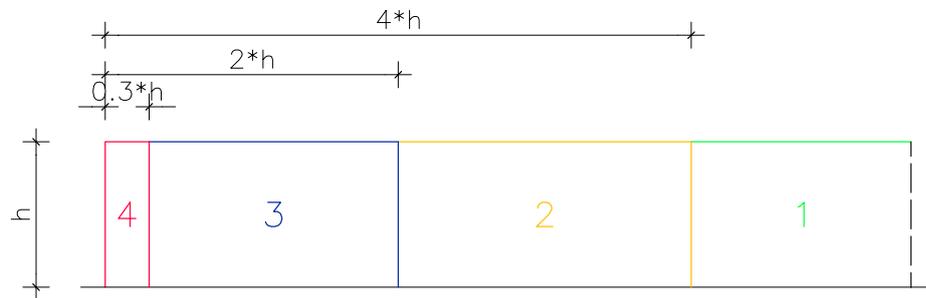


Abbildung 3.8: Einteilung bei freistehenden Wänden und Brüstungen

### 3.3.9 Einteilung von Anzeigetafeln

Bei Anzeigetafeln, Hinweisschildern, Werbeschildern, etc. ist der Expositionsbeiwert  $e$  mit 2 anzusetzen.

### 3.3.10 Vordächer

Höhen- verhältnis $h/H$	A		B	
	$h/d \leq 1.0$	$h/d \geq 3.5$	$h/d \leq 1.0$	$h/d \geq 3.5$
$\leq 0.1$	2	2	1	2
0.2	2	2	1	2
0.3	2	2	1	2
0.4	2	3	1	2
0.5	3	3	1	2
0.6	3	3	1	2
0.7	3	3	2	2
0.8	3	4	2	3
0.9	3	4	3	3
1.0	3	4	3	3

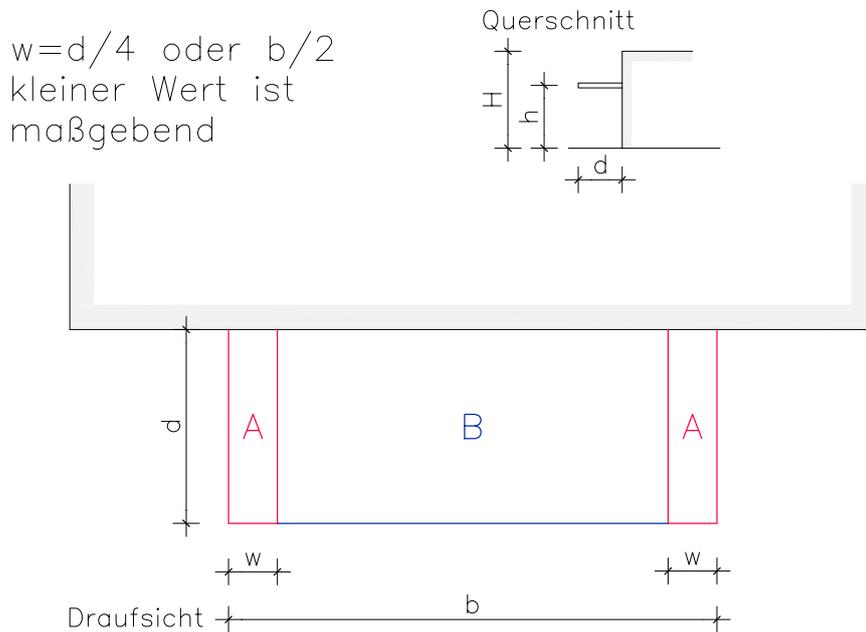


Abbildung 3.9: Einteilung bei Vordächern

### 3.3.11 Sonderformen

Bei der Bewertung aller übrigen Sonderformen kann folgendermaßen vorgegangen werden. Es wird der Staudruck an der Form für jede einzelne Anströmrichtung ermittelt und die ermittelten Werte sinnvoll<sup>4</sup> addiert. Die so erhaltenen Staudruckwerte können mittels folgenden Schemas in Expositionsbeiwerte für die Bewertung übergeführt werden.

Expositionsbeiwert $e$	Staudruck $q$
1	$q \leq 1.0$
2	$1.0 < q \leq 1.5$
3	$1.5 < q \leq 2.0$
4	$2.0 < q \leq 2.5$
5	$2.5 < q \leq 3.0$
6	$3.0 < q$

<sup>4</sup>Nur mögliche Lastfälle gleichzeitig berücksichtigen.

### 3.4 Gefährdungspotential $g$

Das Gefährdungspotential  $g$  spiegelt die entstehende Gefahr durch das Herabstürzen des Bauteils wieder. So erfolgt die Einteilung ausschließlich über den Gefahrenbereich.

Gefahrenbereich	$g$
Nicht direkt betretbare Bereiche oder am Boden stehende Objekte z.B. Müllbehälter, Einfriedungen, Containergaragen	1
Nur zur Instandsetzung oder Wartung begangene Bereiche, wo ein weiteres Abstürzen nicht möglich ist. z.B. Dächer, Vordächer, Schmuckbalkone, Gesimse mit einer Mindestbreite von 1.50 m, Dachabflachungen mit Dachneigung $\leq 10^\circ$ und mindestens 2.00 m Länge bis zur Traufe, Dachspiegel	2
Bereiche, die nur durch das Gebäude zugänglich sind und bei Sturmereignissen in der Regel nicht betreten werden. z.B. Terrassen, Balkone, Dachterrassen	3
Geringe Menschenansammlung z.B. Gehwege mit geringer Personenfrequenz, Fahrbahnen, Parkstreifen, Grünanlagen	4
Bereich mit hoher Menschenansammlung und einer Fallhöhe $\leq 5.00$ m. z.B. Eingangsbereiche, Gehwege in Verkaufstraßen, Plätzen	5
Bereich mit hoher Menschenansammlung und einer Fallhöhe $> 5.00$ m sowie auch Haltestellenbereiche. z.B. Eingangsbereiche, Gehwege in Verkaufstraßen, Plätzen	6

### 3.5 Materialkennwert $m$

Der Materialkennwert  $m$  dient der Berücksichtigung des verwendeten Werkstoffes und seiner Festigkeitseigenschaften sowie den aktuellen Zustand des Materials mittels eines zusätzlichen Faktors  $v$ .

Material Werkstoff Komposition	$m$
Metallische Werkstoffe <i>z.B. Dachbahnen, Dachrinnen, Traufenbleche, Attika-Verkleidungen, Antennenmasten, Verankerungen, Gerüstelemente, Fahnenmasten</i>	2
Holz <i>Holz als konstruktives Element oder Verschalungen aus Brettern, wenn Holzplatten verwendet werden, z.B. Plakatwände, die direkt dem Windangriff/Witterung aus- geliefert sind. Dann ist der Materialwert <math>m</math> mit +1 zu addieren.</i>	2
Glas <i>Verglaste Fläche, Fenster, Eingangstüren oder Windfänge aus Glas</i>	2
Synthetische Werkstoffe <i>z.B. Pressbetonverbundplatten, Faserplatten</i>	2
Stein Naturstein und keramische Werkstoffe, Beton <i>Homogen oder auch als Mauerwerk</i>	2
Sonstige Werkstoffe sowie für Stuckarbeiten verwendete Werkstoffe, geschüttete Werkstoffe <i>z.B. Stoffe, Kunststoffe, sanierte Flächen, Gesimse, Werkstoffe, die für sonstige Elemente/Zierelement die nicht aus Stein gehauen sind, verwendet werden. Bzw. Kiese, Sande.</i>	3
Bei angewitterten Bauteilen ist der Beiwert $m$ mit dem Faktor $v$ zwischen 1 und 4 zu multiplizieren, um den Verwitterungsgrad zu berücksichtigen. <i>z.B. Blechdach intakt <math>v = 1</math>, flächige Rostspuren <math>v = 2</math>, starke flächige Rostspuren <math>v = 3</math>, durchgerostet <math>v = 4</math>; z.B. bei Holz, intakt <math>v = 1</math>, leichte Anwitterung <math>v = 2</math>, bei leichter Querschnittserminderung durch Verwitterung <math>v = 3</math>, bedeutende Querschnittsverringering durch Verwitterung <math>v = 4</math>.</i>	

### 3.6 Langzeitverhalten $l$

Der Langzeitverhaltensfaktor ergibt sich aus dem aktuellen Zustand des Bauteils und aus dem Alter und Gesamtzustand des Gebäudes.

Prinzipiell empfiehlt es sich, für großflächige Bereiche des Gebäudes oder für

das gesamte Gebäude den gleichen Langzeitverhaltensfaktor anzusetzen.

Langzeitverhalten	$l$
Neu errichtete oder sanierte Bauteile <i>Gilt nur wenn großflächige Sanierungen vorgenommen wurden, kleinflächige Ausbesserungen entsprechen nicht den Anforderungen dieses Langzeitverhaltensfaktors.</i>	1
Gebäude, die nicht älter als 10 Jahre sind oder vor nicht länger als 10 Jahren generalsaniert wurden. <i>Bei Sanierung reicht auch nur die Sanierung der Fassade und Dachbereiche aus.</i>	2
Gebäude, die älter als 10 Jahre sind oder vor mehr als 10 Jahren generalsaniert wurden, aber noch innerhalb von 40 Jahren. <i>Es reicht auch nur die Sanierung der Fassaden und Dachbereiche aus. Wird das Gebäude regelmäßig, mindestens 1-mal jährlich inspiziert, so darf der Langzeitverhaltensfaktor um 1 erniedrigt werden.</i>	3
Gebäude, die älter als 40 Jahre sind. <i>Bei historischen Gebäuden darf der Langzeitverhaltensfaktor um 1 verringert werden, wenn regelmäßige Inspektionen, mindestens 2-mal jährlich, durchgeführt werden.</i>	4
Gebäude in sehr schlechtem Zustand <i>Gebäude, die sich in schlechtem Zustand befinden oder leerstehen sowie Gebäude, die starke Baumängel aufzeigen.</i>	5

Bei der Bestimmung des Alters von Gebäuden ist der Benützungsbeginn maßgebend.

### 3.7 Mechanische Bewertung $a$

Der mechanische Bewertungsfaktor  $a$  ergibt sich aus dem strömungstechnischen Verhalten, Turbulenzanfälligkeit des Bauteils, seiner konstruktiven Ausbildung und der Verwendung des Bauteils.

<b>mechanische Bewertung</b>	<i>a</i>
Flächige Bauteile mit einer Fläche von $\geq 10 \text{ m}^2$ <i>Dächer, Wände</i>	0
Kleinflächige Bauteile mit einer Fläche $\leq 10 \text{ m}^2$ . <i>Ist die Fläche <math>\leq 1 \text{ m}^2</math>, so ist der mechanische Bewertungsfaktor um 1 zu erhöhen.</i>	1
Fenster, Türen <i>Bei Fenstern, die nur mit Steckscharnieren versehen sind, ist der mechanische Bewertungsfaktor um 1 zu erhöhen. Wenn die Fläche eines Einzelfensters <math>2.5 \text{ m}^2</math> Flügelmaß übersteigt, ist der mechanische Bewertungsfaktor ebenfalls mit 1 zu addieren. Können die Fenster individuell geöffnet werden, besteht die Gefahr, dass die Fenster während eines Sturms geöffnet sind, so ist der mechanische Bewertungsfaktor um 2 zu erhöhen, dies ist nicht maßgebend, wenn überprüft wird, ob die Fenster/Türen geschlossen sind.</i>	2
Aerodynamisch günstig geformte Bauteile <i>Vordächer mit einer Auskrägung <math>\geq 3.00 \text{ m}</math>, Flugdächer, aerodynamisch geformte Verschattungselemente oder Verkleidungen. Bei Vordächern mit einer Auskrägung <math>&lt; 3.00 \text{ m}</math> ist der Beiwert um 1 zu verringern.</i>	3
Durchlässe im Gebäude mit einer Fläche $\leq 15\%$ der betrachteten Gebäudefläche. <i>Wenn die Fläche <math>\leq 30\%</math> ist, kann der mechanische Bewertungsfaktor um 1 reduziert werden. Sinn dieser Vorgabe ist es, zu kleine Durchlässe zu vermeiden, wo sehr hohe Windgeschwindigkeiten entstehen.</i>	4
Schlanke Bauteile mit einem Längen/Dickenverhältnis $\lambda \geq 20$ <i>Für polygonale, rechteckig und scharfkantige Querschnitte mit <math>l \geq 50 \text{ m}</math> ist <math>\lambda = 1.4 \text{ l/d}</math>; mit <math>l &lt; 15 \text{ m}</math> ist <math>\lambda = 2 \text{ l/d}</math>. Für Kreiszyylinder mit <math>l \geq 50 \text{ m}</math> ist <math>\lambda = 0.7 \text{ l/d}</math>; mit <math>l &lt; 15 \text{ m}</math> ist <math>\lambda = \text{l/d}</math>.</i>	4
Sehr schlanke Bauteile mit einem Längen/Dickenverhältnis $\lambda \geq 50$ <i><math>\lambda</math> wird wie oben bestimmt.</i>	5

### 3.8 Sonderbewertung des Bauteils $s$

Die Sonderbewertung von Bauteilen erfasst noch zusätzlich durchgeführte Berechnungen und Versuche sowie eben nicht genau betrachtete Bauteile.

Sonderbewertung	$s$
Bauteile, die einer genauen Betrachtung unterzogen wurden. <i>Wurden zusätzlich Versuche durchgeführt, die die örtlichen Strömungsverhältnisse berücksichtigen, kann der Beiwert zusätzlich um 1 reduziert werden.</i>	-2
Bauteile, die durch Warnmelder eingefahren oder in besonders günstige Positionen gebracht werden. <i>Jalousien, Rollos aber auch Bauteile, man denke hier an Figuren, die durch ständiges Monitoring überwacht werden.</i>	-1
In allen anderen Fällen <i>Wenn jedoch erweiternd hier nicht angeführte Maßnahmen ergriffen wurden, oder grobe Fahrlässigkeit herrscht, kann selbst ein Beiwert zwischen -3 und +3 gefunden werden.</i>	0
Bauteile, die nach Bemessungsansätzen berechnet wurden, die älter als 10 Jahre sind und/oder nur mittels empirischer Formeln, Erfahrungswerte bemessen wurden. <i>Bei nicht genauer Zuordenbarkeit eines Bauteils empfiehlt es sich, diesen Sonderbewertungsbeiwert zu verwenden.</i>	1
Nicht berechnete, nur durch Montagearbeiter montierte Elemente. <i>Fernsehtanten, Plakatständer, kleine Hinweisschilder</i>	2

### 3.9 Liste für den Bauteilfaktor $f$

Für alle nicht in der Liste angeführten Bauteile ist der Bauteilfaktor  $f = 0.90$  anzusetzen, in Ausnahmefällen kann eine sinnvolle Annahme für  $f$  getroffen werden.  $f$  sollte aber nicht  $< 0.50$  angenommen werden.

Bauteil	$f$
Abdeckblech (Attika)	0.95
Antenne, SAT Anlage, Sirenenmasten, Haustelefonanschlussmasten, Hausstromanschlussmasten	1.00
Arkade	0.90
Attika	0.90
Aufzug, außen liegend	0.80
Balkon	0.60
Balkon, Unterbau	0.70
Balustrade	0.80
Behälter	0.70
Beleuchtungskörper	1.00
Betondecke	0.50
Betonkonstruktion	0.50
Betonwand	0.50
Bitumendeckung, mit oder ohne Besandung	0.60
Blechdach	0.90
Blitzschutzanlagen	0.90
Blumenkisten, hängend oder im Fenster	1.25
Blumenkisten, stehend	1.15

Brüstung	0.95
Containergaragen	1.50
Dach, begrünt	0.60
Dach, mit Beschüttung	0.70
Dach, mit Industrieabdichtung	0.80
Dachklimaanlagen	0.65
Dachrinne (hängend)	1.00
Dach, mit Schindel- Ziegel- Rautendeckung	0.80
Einfriedungen	0.90
Fahnen, Flaggen	1.00
Fahnenmasten	0.95
Fassadenplatten $\geq 10 \text{ m}^2$	0.60
Fassadenplatten $< 10 \text{ m}^2$	0.65
Fassadenplatten $< 1 \text{ m}^2$	0.70
Fenster	0.85
Fensterläden	0.95
Fiale	0.95
Figuren bis $1 \text{ m}^2$ Windschattenfläche	0.80
Figuren bis $10 \text{ m}^2$ Windschattenfläche	0.75

Figuren über 10 $m^2$ Windschattenfläche	0.70
Fluchtstiegen	0.60
Fluchtleitern	0.60
Flugdächer	0.90
Gaupen	0.95
Gebäudebrücken	0.55
Gebäudereinigungsaufzug	0.70
Gesimse	1.00
Glasflächen	1.10
Glashäuser	0.65
Hinweisschilder	1.00
Holzkonstruktion	0.55
Holzverschalung	0.90
Hütten	0.80
Jalousie	1.20
Kamin	0.90
Loggia	0.80
Lüftungskamin	1.20
Markise	1.10

Metallverkleidungen	0.70
Müllcontainer, befestigt	1.00
Müllcontainer, lose	2.00
Pavillon, Lauben, Pergolen	0.60
Rollos	0.80
Säule	0.70
Stahlkonstruktion	0.70
Stuckaturen	1.20
Terrassenbelag	0.65
Türen	0.80
Überragende Türme, Dach	0.70
Verschattungselement Breite $\geq 10\text{ cm}$	1.10
Verschattungselement Breite $< 10\text{ cm}$	1.00
Vordächer	1.00
Wand, freistehend	0.60

# Kapitel 4

## Zusammenstellung der relevanten Aussagen

### 4.1 Neuerrichtung von Gebäuden

Diese Zusammenstellung ist ein Versuch, die wesentlichen Gefahrenpunkte bei Neuplanungen im Bezug auf ihre sturmtechnische Eignung anzugeben. Diese soll aber nicht unbedingt als Verbotsliste verstanden werden, sondern viel mehr der Anregung zum sturmtechnischen bewussten Planen von Gebäuden dienen, aber auch manch all zu leicht unterschätzte Sachverhalte aufzeigen und das Bewusstsein des Planers hierfür zu schärfen. Der Leser sei auch auf Anhang F hingewiesen.

- Vermeiden von zu schlanken Bauteilen, dynamische Belastungen sind wesentlich ungünstiger als statische Belastung.
- Auch bei Verkleidungen auf Redundanz achten, mehrere Befestigungspunkte vorsehen, Lastfall-Sog beachten.
- Bei Flachdächern das Überwehen der Beschüttung durch ausreichend hohe Attika vermeiden.
- Befestigung von Dacheindeckungen dauerhaft sicherstellen, bei Blecheindeckungen empfiehlt es sich, 8 mm Bleche zu verwenden, um lokales Flattern zu vermeiden, die Befestigungselemente verschrauben. Dachziegel sind mit ausreichend langen Nägeln zu befestigen.

## 4.2 Anbringung und Adaptionen an bestehenden Gebäuden

Prinzipiell gilt auf für später angebrachte Bauteile, dass sie allen Anforderungen der Normen und Richtlinien entsprechen müssen. Vorsicht ist vor allem bei kleineren Bauteilen geboten. Um etwaigen Schäden vorzubeugen, sind folgende Punkte zwingend zu beachten:

- Bauteile bis zu einer Größe von  $\leq 2.0 \text{ m}^2$  sind durch einen HTL-Ingenieur oder Baumeister auf ihre ausreichende Dimensionierung und Befestigung zu prüfen. Hierunter fallen auch etwaig angebrachte Antennen, Fahnen, Hinweisschilder oder Plakate bis zu einer Fläche von  $\leq 10 \text{ m}^2$ .
- Großflächigere Bauteile sind durch einen beeideten Ziviltechniker statisch nachzuweisen. Hier sei vor allem auf die globale Stabilität des Gebäudes hingewiesen.
- Bei temporären Applikationen  $\geq 2 \text{ m}^2$  sind ebenso alle Nachweise durch einen beeideten Ziviltechniker zu führen und zusätzlich Vorbeugemaßnahmen für Sturmereignisse auszuarbeiteten.
- Regelmäßig wieder verwendete Montagehilfen wie Fahnenhalter, Ösen, etc. sind bei jeder Verwendung auf ihren Ursprungszustand zu prüfen und gegebenenfalls den aktuellen Anforderungen anzupassen.
- Stark aerodynamisch beanspruchte Bauteile sind zu vermeiden, da die daraus folgenden dynamischen Beanspruchungen weiter größer und ungünstiger sind. Daraus folgt auch, dass eine mechanisch starre Befestigung vorzuziehen und über den Lebenszyklus sicherzustellen ist.

## 4.3 Vorbeugemaßnahmen vor Sturmereignissen

Hier sei noch eine Liste der vor Eintreffen eines Sturmes zu setzenden Maßnahmen angegeben. Wichtig und unumgänglich ist es, hier gezielt auf die Beschaffenheit des Gebäudes zu reagieren.

- Alle Fenster, Türen sind verschlossen zu halten. Kippen ist zu wenig!
- Wenn Rollläden oder Fensterläden vorhanden sind, sind diese zu schließen, Tore sind zu verriegeln und Tore  $\geq 6 \text{ m}^2$  sind zusätzlich zu blockieren.

- Jalousien, Markisen etc. sind einzufahren.
- Lose Elemente, wie Blumenkisten, Gartenmöbel, temporäre Plakate, Partyzelte und Hinweisschilder sowie alle nicht fest mit dem Gebäude oder Untergrund verbundenen Bauteile haben entweder entfernt oder gesichert zu werden.
- Befinden sich am Gebäude Bauteile, die der Kategorie **Beobachten** zuzuordnen sind, sind diese ausreichend gegen Abstürzen und Zerstörung zu sichern.
- Müllcontainer sind auf ausreichende Befestigung zu prüfen, bei exponierten Lagen empfiehlt es sich, die Müllcontainer mit Draht zusätzlich zu befestigen, die vorhandenen Haken öffnen sich leicht. Die Radbremsen sind als nicht ausreichend anzusehen, da ein Umkippen nicht vermieden werden kann.
- Bäume sind durch regelmäßigen Baumschnitt sturmsicher zu halten, nötigenfalls können Bäume durch Abspannen gesichert werden.



## Teil II

# Belastungsermittlung



# Kapitel 5

## Einleitung zur Berechnung und Modellierung

### 5.1 Eigenschaften des Windes und der Luft

Wind wird als Bewegung der atmosphärischen Luft wahrgenommen und entsteht durch Druckdifferenzen in der Atmosphäre, die durch unterschiedliche Erwärmung der Luftmassen entstehen. Die Luftbewegungen können auch kleinräumig, nach [11] horizontal  $100\text{ km}$ , vertikal  $1\text{ km}$ , auftreten, welche aber meist nicht für die Bauwerksbelastung relevant sind.

Der Wind gilt als turbulente Strömung, Betrag und Richtung der Geschwindigkeit ändert sich mit der Zeit, so gilt es, sich genauere Gedanken über die Maximalwerte und ihre Zeitspannen sowie über die vertikale Verteilung der Geschwindigkeiten zu machen.

Die vertikale Verteilung der Geschwindigkeit ist von ausschlaggebender Bedeutung bei der aerodynamischen Bemessung von Bauwerken und findet daher direkten Eingang in die ÖNORM EN 1991-1-4 [8], in Kapitel 6 findet sich eine genauere Ausführung dazu.

In diesem Aufgabenbereich wird die Luft als strömendes Medium betrachtet, die bei scherender Beanspruchung unendlich nachgibt. Somit sind die Schubverformungen eine Funktion der Deformationsgeschwindigkeit und treten daher nur in bewegten Medien auf. Diese als Zähigkeit bekannte Eigenschaft ist bei Luft sehr gering und tritt daher nur in unmittelbare Nähe von festen Wänden auf.

Da Gase kompressibel sind, ist die Dichte nicht konstant, welches auch für die Luft gilt. Der Einfluss auf die Dichte zufolge Strömung des Mediums ist gering, wenn die Strömungsgeschwindigkeit weit unter der Schallgeschwin-

digkeit des Gases liegt. Erlaubt man eine Schwankung  $\Delta\rho = 0.01 \rho$  [11], so sind Windgeschwindigkeiten bis 50  $m/s$  tolerierbar, auch die höhenabhängige Dichtenabnahme ist bis 100  $m$  unter diesem Wert. Andernfalls gelte es die Dichte [ $kg/m^3$ ] wie folgt zu berechnen:

$$\rho = \frac{p}{R T} \quad (5.1)$$

Mit  $p$  Luftdruck [ $N/m^2$ ],  $R = 287 Jkg^{-1}K^{-1}$  Gaskonstante und  $T$  Temperatur in [ $K$ ], die Luftfeuchtigkeit hat nur einen geringen Effekt auf die Dichte. Der Regen wird im folgendem Punkt behandelt.

Die ÖNORM EN 1991-1-4 [8] setzt generell  $\rho = 1.25 kg/m^3$  an, aber gibt den Hinweis *Der Wert ist regional für ein Sturmereignis zu bestimmen.* [8], in der folgenden Tabelle ist die Dichte  $\rho = \text{Tabellenwert} \cdot 1.25 kg/m^3$  angegeben, bewusst wurde eine sehr große Spannweite gewählt, um die Abweichungen aufzuzeigen.

$T [^{\circ}C] \rightarrow$ $\downarrow p [hPa]$	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30
965	1.063	1.043	1.023	1.004	0.985	0.968	0.950	0.934	0.918	0.903	0.888
969	1.068	1.047	1.027	1.008	0.989	0.972	0.954	0.938	0.922	0.906	0.891
973	1.072	1.051	1.031	1.012	0.993	0.976	0.958	0.942	0.926	0.910	0.895
977	1.076	1.056	1.035	1.016	0.998	0.980	0.962	0.946	0.929	0.914	0.899
981	1.081	1.060	1.040	1.020	1.002	0.984	0.966	0.949	0.933	0.918	0.902
985	1.085	1.064	1.044	1.024	1.006	0.988	0.970	0.953	0.937	0.921	0.906
989	1.090	1.069	1.048	1.029	1.010	0.992	0.974	0.957	0.941	0.925	0.910
993	1.094	1.073	1.052	1.033	1.014	0.996	0.978	0.961	0.945	0.929	0.914
997	1.098	1.077	1.057	1.037	1.018	1.000	0.982	0.965	0.948	0.933	0.917
1001	1.103	1.081	1.061	1.041	1.022	1.004	0.986	0.969	0.952	0.936	0.921
1005	1.107	1.086	1.065	1.045	1.026	1.008	0.990	0.973	0.956	0.940	0.925
1009	1.112	1.090	1.069	1.049	1.030	1.012	0.994	0.977	0.960	0.944	0.928
1013	1.116	1.094	1.074	1.054	1.034	1.016	0.998	0.980	0.964	0.948	0.932
1017	1.120	1.099	1.078	1.058	1.038	1.020	1.002	0.984	0.968	0.951	0.936
1021	1.125	1.103	1.082	1.062	1.042	1.024	1.006	0.988	0.971	0.955	0.939
1025	1.129	1.107	1.086	1.066	1.047	1.028	1.010	0.992	0.975	0.959	0.943

So ergeben sich ein Extremwert von  $\rho_{max} = 1.41 kg/m^3$  und ein Minimalwert von  $\rho_{min} = 1.11 kg/m^3$ , rechnet man den Staudruck nach Formel (5.12) mit den Extremalwerten und  $v_0 = 27.0 m/s$  aus, so erhält man  $q_{max} = 0.51 kN/m^2$  und  $q_{min} = 0.40 kN/m^2$ , was einen maximalen Unterschätzungsfehler gegenüber  $q_{\rho=1.25kg/m^3} = 0.46 kN/m^2$  von meist vernachlässigbaren 11% bedeuten würde.

### 5.1.1 Einfluss von Regen auf die Windlastgröße

Für die Abschätzung der Zunahme der Belastung an einem Gebäude durch Regen wurde folgende Vorgangsweise gewählt:

## Verwendete Variablen mit Größen

$[\rho_L]$	$1.25 \text{ kg/m}^3$	... Dichte Luft
$[\rho_W]$	$1000 \text{ kg/m}^3$	... Dichte Wasser
$[v_0]$	$\text{m/s}$	... Fluidgeschwindigkeit
$[v_{T,0}]$	$\text{m/s}$	... Tropfengeschwindigkeit zufolge Fluidströmung
$[d]$	$\text{m}$	... Durchmesser Wassertropfen
$[V]$	$\text{m}^3$	... Volumen
$[a]$	$\text{m/s}^2$	... Beschleunigung zufolge Fluidströmung
$[g]$	$9.81 \text{ m/s}^2$	... Gravitationskonstante
$[m_0]$	–	... Tropfenanzahl im Volumen

Ausgegangen wird von einem kugelförmigen Wassertropfen, der mittlere Durchmesser wird mit  $\bar{d} = 3.5 \text{ mm}$  angesetzt. Die kinetische Energie durch den Luftstrom ergibt sich nach [1] wie folgt

$$T_L = \frac{V_L \rho_L v_0^2}{2}. \quad (5.2)$$

Die kinetische Energie des fliegenden Wassertropfens folgt nach [10]

$$T_W = \frac{\bar{d}^3 \pi}{6} \cdot \frac{\rho_W v_{T,0}^2}{2}. \quad (5.3)$$

Somit ergibt sich das Verhältnis  $T_W$  zu  $T_L$

$$T_W = \frac{\bar{d}^3 \pi}{6} \cdot \frac{m_0}{V_L} \cdot \frac{\rho_W}{\rho_L} \cdot \frac{v_{T,0}^2}{v_0^2} \cdot T_L. \quad (5.4)$$

Die Geschwindigkeit  $v_{T,0}$  und Beschleunigung  $a$  zufolge der Fluidsströmung kann durch Gleichgewichtsbetrachtung am einzelnen Tropfen ermittelt werden

$$\frac{\rho_L (v_0 - v_{T,0}(t))^2}{2} \cdot \frac{\bar{d}^2 \pi}{4} = a(t) \cdot \frac{\bar{d}^3 \pi}{6} \cdot \rho_W \quad (5.5)$$

Diese Gleichung zu lösen würde etwas Mühe kosten, der Informationsgewinn ist gering, da leicht einsichtig  $v_0 = v_{T,0}$  als Extremalwert gesetzt werden kann, so vereinfacht sich Gleichung (5.4) zu

Ein möglicher Ansatz wäre  $v_{T,0} = C \tanh(t)$

$$T_W = \frac{\bar{d}^3 \pi}{6} \cdot \frac{m_0}{V_L} \cdot \frac{\rho_W}{\rho_L} \cdot T_L \quad (5.6)$$

In [3] ist die Theorie zur Bestimmung von Tropfenanzahl und Tropfengröße gegeben, in [16] wurden Angaben zu Starkregenereignissen,  $150 \text{ mm/h}$ , gefunden und so ergibt sich ein

$$m_0 = \int D^0 N(D) dD = 350\,070 \text{ m}^{-3} \quad (5.7)$$

Alle Werte in (5.6) eingesetzt

$$T_W = \frac{(3.5 \cdot 10^{-3} \text{ m})^3 \pi}{6} \cdot \frac{350\,070 \text{ m}^{-3} \cdot 1 \text{ m}^3}{1 \text{ m}^3} \cdot \frac{1000 \text{ kg/m}^3}{1.25 \text{ kg/m}^3} \cdot T_L \quad (5.8)$$

ergibt

$$T_W = 6.29 \cdot T_L. \quad (5.9)$$

Für ein Regenereignis mit 50 mm/h erhielte man

$$T_W = 3.39 \cdot T_L \quad (5.10)$$

Hier sieht der Leser zwar den relativ hohen Einfluss der Regentropfen auf die lokale Belastung (Erosion), gegenüber den gesamten Abmessungen des Gebäudes ist aber die Korrelation (bei jedem heftigerem Regenereignis leicht zu beobachten) zu gering.

Mit der oben angegebenen Funktion müsste der Tropfen 1.5 s der Strömung ausgesetzt sein.

Bei näherer Betrachtung von Gleichung (5.4) sieht man auch den quadratischen Einfluss der Geschwindigkeitsverhältnisse, wäre  $v_{T,0}$  nur 90% von  $v_0$ , so würde das Verhältnis  $T_W$  zu  $T_L$  um den Faktor  $0.90^2 = 0.81$  verringert.

Hier sei aber darauf hingewiesen, dass der Wind in der Lage ist, Wasser auch durch Spalten in das Gebäude zu drücken, wodurch Schäden entstehen können.

## 5.2 Strömungstechnische Betrachtungen

### 5.2.1 Grundgleichung der Strömung

Ohne hier eine all zu ausschweifende Einführung in die Strömungsmechanik zu geben, wird doch versucht, einführend wenige einfache hier verwendete Grundgleichungen anzugeben, der Leser sei auf [1], [11] und [14] verwiesen.

Über die Kontinuitätsgleichung und mit Hilfe der Bernoullischen Gleichung kann der höhenabhängige Staudruck  $q(z)$  wie folgt angegeben werden

$$q(z) = \frac{\rho v_0(z)^2}{2}. \quad (5.11)$$

Da meist nur Druckdifferenzen gemessen werden, und diese ja im Ende das Gebäude belasten, ist es interessant, auch den Druckbeiwert  $c_p$  nach [11] anzugeben

$$c_p = \frac{p(x, y, z) - p_A(z)}{q(z)}. \quad (5.12)$$

Mit  $p(x, y, z)$  als gemessener Druck,  $p_A(z)$  als statischer Referenzdruck und  $q(z)$  als zu  $p(x, y, z)$  gehöriger Staudruck.

### 5.2.2 Behandlung mittels Dimensionenanalyse

#### Einleitung

Hier sei noch anhand der Dimensionenanalyse gezeigt, dass keine Reduktion der Variablen bei strömungstechnischen Problemen möglich ist, das gewählte Beispiel steht in Analogie mit dem später mit Hilfe von numerischen Simulationen gerechneten Beispiel.

Hier wird vereinfacht ein auf einen Quader stehender Zylinder durch eine stationäre uniforme Anströmung belastet, Abbildung 5.1 zeigt das behandelte Problem.

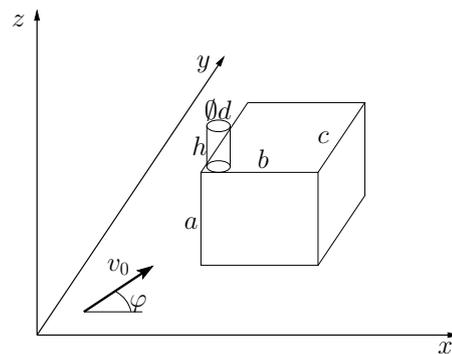


Abbildung 5.1: Das mittels Dimensionenanalyse behandelte Problem

Bewusst wenden wir das bereits vorhandene strömungstechnische Wissen an, um die Parameter geschickt zu wählen. Weiters führen wir die kinematische Viskosität  $\nu$  wie folgt ein.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (5.13)$$

mit  $\mu$  als dynamische Viskosität.

**Verwendete Variablen mit Dimensionen**

$[F]$	$L^1 M^1 T^{-2}$	... Kraft am Zylinder
$[v_0]$	$L^1 M^0 T^{-1}$	... Fluidgeschwindigkeit
$[\varphi]$	$L^0 M^0 T^0$	... Winkel in der x-y Ebene
$[a]$	$L^1 M^0 T^0$	... Gebäudehöhe
$[b]$	$L^1 M^0 T^0$	... Gebäudelänge
$[c]$	$L^1 M^0 T^0$	... Gebäudetiefe
$[h]$	$L^1 M^0 T^0$	... Zylinderhöhe
$[d]$	$L^1 M^0 T^0$	... Zylinderdurchmesser
$[\rho]$	$L^{-3} M^1 T^0$	... Dichte des Fluids
$[\nu]$	$L^2 M^0 T^{-1}$	... kinematische Viskosität

**Dimensionenanalyse**

Die Dimensionenanalyse-Matrix kann wie folgt angegeben werden:

	$F$	$v_0$	$\varphi$	$a$	$b$	$c$	$h$	$d$	$\rho$	$\nu$
L	1	1	0	1	1	1	1	1	-3	2
M	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
T	-2	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1

Der Rang der Matrix ist mit  $k = 3$  gegeben, so existieren 3 unabhängige Variable und  $N - k = 9 - 3 = 6$  abhängige Variable. Wir wählen geschickt die Geschwindigkeit  $v_0$ , die Dichte  $\rho$  und die kinematische Viskosität  $\nu$  als die unabhängigen Variablen.

**Verknüpfung der  $N - k$  dimensionsabhängigen Variablen mit den  $k$  unabhängigen Variablen****Dimensionsabhängige Variable  $a, b, c, h, d$** 

$$\pi_a = \frac{a}{v_0^{a_{a,1}} \rho^{a_{a,2}} \nu^{a_{a,3}}} \quad (5.14)$$

Wir lösen das Problem und erhalten

$$\begin{bmatrix} 1 & -3 & 2 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_{a,1} \\ a_{a,2} \\ a_{a,3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5.15)$$

mit

$$\begin{bmatrix} a_{a,1} \\ a_{a,2} \\ a_{a,3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5.16)$$

und somit

$$\pi_a = \frac{a}{v_0^{-1} \rho^0 \nu^1}. \quad (5.17)$$

Gleich kann mit den anderen dimensionsabhängigen Variablen  $b, c, h$  und  $d$  verfahren werden, und wir erhalten:

$$\pi_b = \frac{b}{v_0^{-1} \rho^0 \nu^1} \quad (5.18)$$

$$\pi_c = \frac{c}{v_0^{-1} \rho^0 \nu^1} \quad (5.19)$$

$$\pi_h = \frac{h}{v_0^{-1} \rho^0 \nu^1} \quad (5.20)$$

$$\pi_d = \frac{d}{v_0^{-1} \rho^0 \nu^1} \quad (5.21)$$

**Dimensionsabhängige Variable  $\varphi$**

$$\pi_\varphi = \frac{\varphi}{v_0^{a_{\varphi,1}} \rho^{a_{\varphi,2}} \nu^{a_{\varphi,3}}} \quad (5.22)$$

Wir lösen das Problem und erhalten

$$\begin{bmatrix} 1 & -3 & 2 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_{\varphi,1} \\ a_{\varphi,2} \\ a_{\varphi,3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5.23)$$

mit

$$\begin{bmatrix} a_{\varphi,1} \\ a_{\varphi,2} \\ a_{\varphi,3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5.24)$$

und somit

$$\pi_\varphi = \frac{\varphi}{v_0^0 \rho^0 \nu^0}. \quad (5.25)$$

**Verknüpfung von  $F$  mit den unabhängigen Variablen**

$$\pi = \frac{F}{v_0^{a_1} \rho^{a_2} \nu^{a_3}} \quad (5.26)$$

Wir lösen das Problem und erhalten

$$\begin{bmatrix} 1 & -3 & 2 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ -2 \end{bmatrix} \quad (5.27)$$

mit

$$\begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \end{bmatrix} \quad (5.28)$$

und somit

$$\pi = \frac{F}{v_0^0 \rho^1 \nu^2}. \quad (5.29)$$

### Ergebnis

$$\pi = \bar{f}(v_0, \rho, \nu, \pi_a, \pi_b, \pi_c, \pi_h, \pi_d, \pi_\varphi) \quad (5.30)$$

Mit Hilfe de Pi-Theorems erhalten wir direkt

$$\pi = \frac{F}{\rho^1 \nu^2} \mathfrak{F} \left( \frac{a}{v_0^{-1} \nu^1}, \frac{b}{v_0^{-1} \nu^1}, \frac{c}{v_0^{-1} \nu^1}, \frac{h}{v_0^{-1} \nu^1}, \frac{d}{v_0^{-1} \nu^1}, \varphi \right) \quad (5.31)$$

### Konklusion

Anhand der Dimensionenanalyse konnte gezeigt werden, dass keine der gewählten Variablen überflüssig ist, durch die geschickte Wahl der unabhängigen Variablen, Geschwindigkeit  $v_0$ , Dichte  $\rho$  und kinematische Viskosität  $\nu$ , haben wir die sehr wohl bekannte (und erwartete) Reynold-Zahl erhalten.

## 5.3 Einleitung zur numerischen Simulierung

Die numerischen Simulationen wurden mit den Programm *PowerFlow 4.0* von *Exa Coperations* durchgeführt, welches strömungstechnische Probleme mittels der *Digitalen Physik* löst. Der Unterschied der *Digitalen Physik* gegenüber der traditionellen CFD Methode besteht darin, dass das Problem nicht anhand der Navier-Stoke Gleichungen gelöst wird, sondern dass es anhand *Digitaler Partikel im diskreten Raum*, zuerst diskretisiert und dann numerisch gelöst wird. Dieses Verfahren beinhaltet eine diskrete Form der Kinematik, welche es ermöglicht von makroskopischen Fluidgleichungen auf das mikroskopische Verhalten zu schließen. Eine genauere Beschreibung des Verfahrens und seiner Implementierung ist im Benutzerhandbuch des Softwarepaketes angeführt.

Eine genauere Beschreibung der simulierten Beispiele befindet sich jeweils direkt bei den angeführten Ergebnissen.

# Kapitel 6

## Bemessung nach ÖNORM EN 1991-1-4

### 6.1 Einführung in die ÖNORM EN 1991-1-4

Zur Ermittlung der Windlasten auf Bauwerke liegt derzeit die ÖNORM EN 1991-1-4 [8] vor, sie wird durch die nationale Festlegung und Ergänzung [6] für den Gebrauch in Österreich erweitert. Ein sehr hilfreiches Beiblatt [7] wurde im Dezember 2007 herausgegeben. Weiters geben eine Reihe von Normen Sonderbestimmungen für die Windlastermittlung an, hier sei vor allem die Norm *Fassadengerüste aus vorgefertigten Bauteilen* [9] und *Temporäre Konstruktionen für Bauwerke* [15] erwähnt.

Da die ÖNORM EN 1991-1-4 [8] nur sehr bedingt auf die Bemessung feingliedriger Fassadenteile eingeht<sup>1</sup>, wird nachfolgend eine schlüssige Vorgangsweise zur Bemessung angegeben.

Hier seien einführend die wesentlichsten Punkte zur Bemessung feingliedriger Fassadenteile aus der ÖNORM EN 1991-1-4 [8] und aus der nationalen Festlegung und Ergänzung [6] entnommen, angeführt und wenn notwendig kommentiert. Die Grundkenntnisse über die ÖNORM EN 1991-1-4 [8] werden als dem Leser bekannt vorausgesetzt.

Alle hier angeführten Punkte sind direkt aus ÖNORM EN 1991-1-4 [8] entnommen und hier zur Gänze oder Auszugsweise wiedergegeben.

---

<sup>1</sup>Die Norm beinhaltet zwar eine Reihe von Anmerkungen und Hinweisen zu diesem Thema, eine durchgehende Bemessung wird nicht angegeben.

### Punkt 1.1 Geltungsbereich

(1) EN 1991-1-4 liefert Regeln zur Bestimmung der Einwirkungen aus natürlichem Wind auf für die Bemessung von Gebäuden und ingenieurtechnischen Anlagen betrachteten Lasteinzugsflächen. Damit werden ganze Tragwerke oder Teile davon oder Bauelemente, die mit dem Tragwerk verbunden sind, erfasst, z. B. Komponenten, Fassadenteile und deren Verankerungen, Anprallschutz und Lärmschutzwände.

...

### Punkt 1.5 Belastungsansätze basierend auf Versuchen und Messungen

Hinweis zu Windkanalversuchen und numerischen Verfahren

(1) In Ergänzung zu dieser Norm können Windkanalversuche und bewährte und/oder anerkannte numerische Verfahren zur Bestimmung von Lasten und Systemreaktionen angewandt werden, wenn die Struktur und der natürliche Wind zutreffend modelliert werden.

(2) Lasten, Systemantworten und Geländeparameter können auch durch Originalmessungen ermittelt werden.

*ANMERKUNG* Zu weiteren Informationen zu Windkanalversuchen und Messungen siehe Nationaler Anhang

Im nationalen Anhang sind keine weiteren Informationen gegeben.

### Punkt 2 Bemessungssituationen

(1)P Die maßgebenden Windeinwirkungen sind entsprechend der Bemessungssituation nach EN 1990, 3.2 für jeden belasteten Bereich zu ermitteln.

(1) In Übereinstimmung mit EN 1990, 3.2 (3)P sind die Folgen anderer Einwirkungen (wie Schnee, Verkehr oder Eis), die sich auf die Bezugsfläche oder die aerodynamischen Beiwerte erheblich auswirken, zu berücksichtigen.

*ANMERKUNG* Siehe auch EN 1991-1-3, EN 1991-2 und ISO FDIS12494

(2) In Übereinstimmung mit EN 1990, 3.2 (3)P sind Veränderungen des Bauwerks während der Bauausführung (wie z.B. unterschiedliche Bauwerksformen während verschiedener Bauzustände, unterschiedliche dynamische Eigenschaften, etc.), welche die Windeinwirkungen beeinflussen können, zu berücksichtigen.

*ANMERKUNG* Siehe auch EN 1991-1-6

(3) Fenster und Türen sind im Fall von Sturmereignissen als geschlossen anzunehmen. Die Wirkung geöffneter Fenster und Türen ist als außergewöhnliche Bemessungssituation zu berücksichtigen.  
*ANMERKUNG Siehe auch EN 1990, 3.2 (2) (P)*

...

### Punkt 3.2 Erfassung von Windeinwirkungen

(1) Die Windeinwirkungen werden durch eine vereinfachte Anordnung von Winddrücken oder Windkräften erfasst, deren Wirkungen äquivalent zu den maximalen Wirkungen des turbulenten Windes sind.

### Punkt 3.4 Charakteristische Werte

(1) Die mit den Regeln dieser Norm ermittelten Windeinwirkungen sind charakteristische Werte (siehe EN 1990, 4.1.2). Sie werden mit der Basiswindgeschwindigkeit oder dem entsprechenden Geschwindigkeitsdruck bestimmt. Die Basiswerte sind charakteristische Größen mit einer jährlichen Überschreitenswahrscheinlichkeit von 2 %, die einer mittleren Wiederkehrperiode von 50 Jahren entspricht.

*ANMERKUNG Alle Beiwerte oder Modelle zur Herleitung von Windeinwirkungen aus Basiswerten sind derart gewählt, dass die Wahrscheinlichkeit der berechneten Windeinwirkungen die Wahrscheinlichkeit der Basiswerte nicht überschreitet.*

### Punkt 4.5 Böengeschwindigkeitsdruck (Spitzengeschwindigkeitsdruck)

(1) Der Böengeschwindigkeitsdruck  $q_p(z)$  in der Höhe  $z$ , der die mittleren und kurzzeitigen Geschwindigkeitsänderungen beinhaltet, ist zu berücksichtigen.

*ANMERKUNG 1 Der Nationale Anhang kann Regeln zur Bestimmung von  $q_p(z)$  angeben. Die empfohlene Regel ist...*

Hier wird die im nationalen Anhang [6] angegebene Tabelle 1 angeführt

Gelände	$\frac{q_p}{q_b} = \frac{q_p}{q_{b,0}}$	$c_r^2(z) = \frac{q_m}{q_b} = \frac{q_m}{q_{b,0}}$	$I_v(z)$	$\frac{z_{min}}{m}$
II	$2.1 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0.24}$	$\left(\frac{z}{10}\right)^{0.30}$	$0.18 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{-0.15}$	5
III	$1.75 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0.29}$	$0.593 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0.42}$	$0.29 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{-0.21}$	10
IV	$1.2 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0.38}$	$0.263 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0.64}$	$0.46 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{-0.32}$	15

Es bedeuteten:

$c_r$	Rauhigkeitsbeiwert
$q_p$	Spitzengeschwindigkeitsdruck
$q_m$	Mittlere Geschwindigkeitsdruck (10 min–Mittel), wobei: $q_m(z) = c_r^2(z) \cdot q_b$
$q_b = q_{b,0}$	Referenzwert des Geschwindigkeitsdruckes (10 min – Mittel in 10 m Höhe, Gelände II)
$I_v(z)$	Turbulenzintensität
$z_{min}$	Minimale Höhe, bis zu der das jeweilige Profil gilt; darunter ist der Wert für $z_{min}$ zu nehmen

### Anhang A (normativ): Grundwerte von Basiswindgeschwindigkeit und Basisgeschwindigkeitsdruck in [6]

Ort	Seehöhe <i>m</i>	Grundwerte von	
		Basiswindgeschwindigkeit $v_{b,0}$ <i>m/s</i>	Basisgeschwindigkeitsdruck $q_{b,0}$ <i>kPa = kN/m<sup>2</sup></i>
		<b>Wien</b>	
Bezirke 10, 11, 21, 22	standortabh. 151 bis 338	27.0	0.46
alle übrigen Bezirke	standortabh. 151 bis 542	25.1	0.39

### Punkt 5.3 Windkräfte

- (1) Die Gesamtwindkraft, die auf einen Baukörper oder Körperteil einwirkt, wird wie folgt berechnet:
  - aus Kräften ermittelt mit Kraftbeiwerten (siehe (2))

- aus Kräften ermittelt mit Winddrücken und Reibungsbeiwerten (siehe (3))

(2) Die Windkraft  $F_w$ , die mit Kraftbeiwerten berechnet wird, kann durch

$$F_W = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (5.3)$$

...

### Punkt 7.1.1 Bestimmung der aerodynamischen Beiwerte

(1) Druckbeiwerte werden angegeben für:

- Baukörper als Innen- und Außendruckbeiwerte in Abschnitt 7.2
- Kreiszyylinder als Innendruckbeiwerte in Abschnitt 7.2.9 und Außendruckbeiwerte in Abschnitt 7.9.1.

*ANMERKUNG 1 Außendruckbeiwerte beschreiben die Windeinwirkung auf außenliegende Gebäudeflächen, Innendruckbeiwerte beschreiben die Windeinwirkung auf innenliegende Gebäudeflächen.*

*ANMERKUNG 2 Die Außendruckbeiwerte werden als globale und lokale Druckbeiwerte angegeben. Die lokalen Beiwerte beschreiben die Windeinwirkung auf eine 1 m<sup>2</sup> große Lasteinflussfläche und können zur Bemessung kleiner Bauteile oder Verankerungen herangezogen werden. Die globalen Druckbeiwerte beschreiben die Windeinwirkung auf Lasteinflussflächen von 10 m<sup>2</sup>. Diese können auch für Lasteinflussflächen genutzt werden, die größer als 10 m<sup>2</sup> sind.*

Angabe über die Bemessung feingliedriger Bauteile

### Punkt 7.1.3 Auswirkungen von Eis und Schnee

(1) Bewirken Eis oder Schnee eine Änderung der Abmessungen eines Bauteils, so dass sich dessen Bezugsfläche oder Umriss ändert, so ist dies zu berücksichtigen.

*ANMERKUNG: Weitere Informationen können dem Nationalen Anhang entnommen werden.*

Siehe folgenden Absatz

### Der Nationale Anhang [6] im Punkt 4.5.2 Auswirkungen von Eis und Schnee

Zur Berücksichtigung der statischen Windwirkungen müssen nur Veränderungen der Windangriffsfläche über 30% berücksichtigt werden; dies trifft üblicherweise bei schlanken Bauteilen wie beispielsweise Seilen oder stabförmigen Bauteilen auf. Querschnitts-

Veränderungen können aber zu dynamischen Windwirkungen führen, welche gesondert zu berücksichtigen sind.

### Punkt 7.2.10 Druck auf mehrschalige Wand- und Dachflächen

(1) Die Windlast ist für jede Schale getrennt zu berechnen.  
 (2) Die Porosität  $\mu$  einer Schale ist definiert als das Verhältnis der Summe aller Öffnungsflächen zur Gesamtfläche der Seite. Eine Schale ist als dicht anzusehen, wenn deren Porosität  $\mu$  kleiner 0,1% ist.

(3) Ist nur eine Schale porös, ist die Windlast auf die dichte Schale nach Abschnitt 5.2 (3) als Differenz der Innen- und Außendrucke zu berechnen. Ist mehr als eine Schale porös, ist die Windlast abhängig von:

- den relativen Steifigkeiten der Schalen,
- den Außen- und Innendrucke,
- dem Schalenabstand,
- der Porosität der Schalen,
- den Öffnungen in seitlichen Begrenzungswänden der Schicht zwischen den Schalen.

Im nationalen Anhang sind keine weiteren Informationen gegeben.

*ANMERKUNG 1 Der Nationale Anhang kann Angaben zu der Windeinwirkung auf mehrschalige Außenwände und Dächer machen. Als erste Näherung wird empfohlen, die Windeinwirkung auf die Schale mit der größten Steifigkeit als Differenz der Innen- und Außendrucke zu berechnen.*

Im nationalen Anhang sind keine weiteren Informationen gegeben.

*ANMERKUNG 2 Der Nationale Anhang kann Werte für Fälle vorgeben, bei denen die seitlichen Begrenzungswände der Zwischenschicht luftdicht ausgebildet sind (siehe Bild 7.14(a)) und bei denen der lichte Abstand der Schalen kleiner als 100 mm ist (Wärmedämmungen eingeschlossen, wenn diese nicht belüftet sind). Als Näherung können folgende Regeln angewendet werden:*

- Bei Wänden und Dächern mit dichter Innenschale und poröser Außenschale mit gleichmäßig verteilten Öffnungen wird die Windeinwirkung auf die Außenschale mit  $c_{p,net} = 2/3 \cdot c_{pe}$  für den Überdruck und mit  $c_{p,net} = 1/3 \cdot c_{pe}$  für den Unterdruck (Sog) berechnet. Die Windeinwirkung auf die Innenschale wird mit  $c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi}$  ermittelt.
- Bei Wänden und Dächern mit einer dichten Innenschale und einer dichten, steiferen Außenschale wird die Windeinwirkung auf die Außenschale mit  $c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi}$  berechnet.

## 6.2 Ermittlung $A_{ref}$ für im Eurocode 1-4 nicht erfasste Bauteile 57

- Bei Wänden und Dächern mit poröser Innenschale mit gleichmäßig verteilten Öffnungen und dichter Außenschale wird die Windeinwirkung auf die Außenschale mit  $c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi}$  und die Windeinwirkung auf die Innenschale mit  $c_{p,net} = 1/3 \cdot c_{pi}$  berechnet.
  - Bei Wänden und Dächern mit einer dichten Außenschale und einer dichten, steiferen Innenschale wird die Windeinwirkung auf die Außenschale mit  $c_{p,net} = c_{pe}$  und die Windeinwirkung auf die Innenschale mit  $c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi}$  berechnet.
- Bewirken Öffnungen eine Interaktion der Luftschichten mit denen hinter anderen Gebäudeoberflächen, als den hier betrachteten Wandflächen (siehe Bild 7.14 (b)), sind diese Regeln nicht anwendbar.

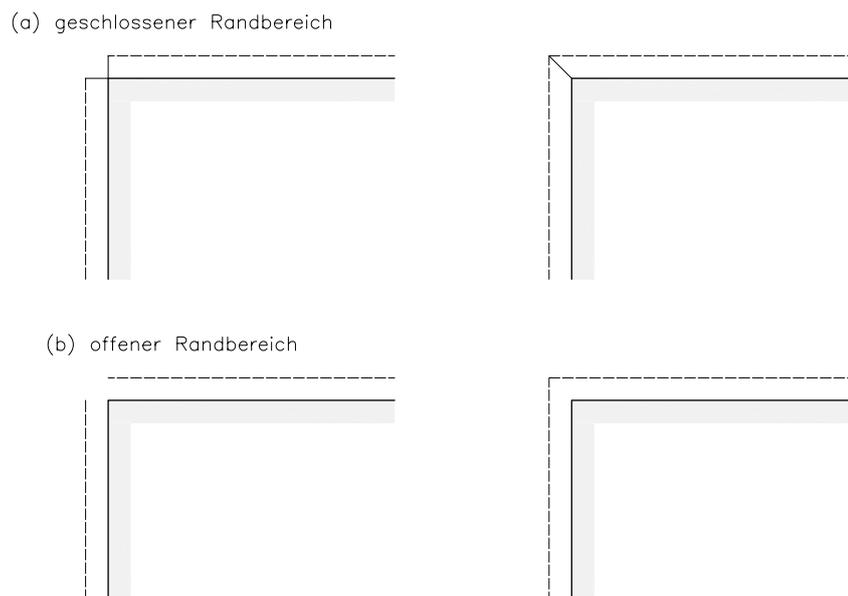


Bild 7.14 – Eckdetails von mehrschaligen Außenwänden.

## 6.2 Ermittlung $A_{ref}$ für im Eurocode 1-4 nicht erfasste Bauteile

Hier wird gezeigt, wie vor allem für Zierelemente dennoch eine sinnvolle Annahme für  $A_{ref}$  zur Belastungsermittlung durchgeführt werden kann. Ausgangspunkt wird von einem ähnlichen Verhalten der Einzelemente der Figuren,

wie ähnliche stumpfe Körper, die alleine angeströmt werden. Die Figur wird in Teilflächen<sup>2</sup>  $A_i$  und  $A_j$  unterteilt, die mit den Widerstandsbeiwert, nach Abbildung 6.1 nach Formel (6.1) gewichtet werden. Diese Vorgehensweise liegt immer auf der sicheren Seite, da ja noch zusätzlich ein Kraftbeiwert nach der Norm angesetzt wird.

$$A_{ref} = \sum A_i \cdot \frac{1}{n_i} \cdot c_{w,i} + A_j \quad (6.1)$$

$n$  stellt dabei die Ebene des betrachteten Elements dar, für direkt das anschließende Bauteil ist  $n$  mit +2 zu addieren. Flächenanteile  $A_j$ , die durch den normativen Ansatz abgedeckt werden, werden ohne Gewichtung addiert.

*Hier sei ein kurzer Vergleich der Ergebnisse angeführt.*

– numerische Simulation  $F = 42.5 \text{ N}$

– nach Formel (6.1)  $F = \left(1.20 + \frac{1}{2+2} \cdot 2.30\right) \cdot A \cdot q = 80.0 \text{ N}$

– besser hier als Kreisprofil  $F = 1.17 \cdot A \cdot q = 52.7 \text{ N}$

*Betrachtet wurde ein Halbkreisprofil I und direkt dahinter ein Halbkreisprofil II.*

Die Figur wird dann als Körper behandelt, der dem umschriebenen Volumen am nächsten kommt. Die Abmessungen sind die Höhe  $h$  und die Breite/Durchmesser  $b$  oder  $d$ , die wie folgt zu ermitteln sind:

$$b \text{ bzw. } d = \frac{A_{proj}}{h} \quad (6.2)$$

$A_{ref}$  ist wie beschrieben anzusetzen.

---

<sup>2</sup>Die Teilflächen sind aus einer Normalprojektion der Figur auf eine zur Windrichtung normal stehenden Ebene zu ermitteln.

## 6.2 Ermittlung $A_{ref}$ für im Eurocode 1-4 nicht erfasste Bauteile 59

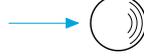
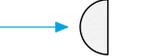
Kugel  0.47	Kreisscheibe  1.17	Halbkreisscheibe  1.19	Lochscheibe  1.22
Halbkugel geschlossen  0.42	Halbkugel geschlossen  1.17	Halbkreisprofil I geschl.  1.16	Halbkreisprofil II geschl.  1.17
Halbkugel offen  0.38	Halbkugel offen  1.42	Halbkreisprofil I  1.20	Halbkreisprofil II  2.30
Ellipsoid  0.59	Ellipsoid offen  1.38	Elliptischesprofil  1.60	Kreisprofil  1.17
Würfel verdreht  0.80	Würfel  1.05	Quadratprofil verdreht  1.55	Quadratprofil  1.05
Kegel offen  0.47	Dreiecksprofil I  1.55	Dreiecksprofil II  2.00	Dreiecksprofil offen  2.20

Abbildung 6.1: Widerstandsbeiwerte  $c_{w,i}$  für stumpfe Körper  $10^4 < Re < 10^5$  nach [1] und [12]

Die Kraft jeder Teilfläche kann wie folgt ermittelt werden,  $F_W$  ist die auf die gesamte Figur wirkende Kraft

$$F_{W,i} = \frac{F_W}{A_{ref}} \cdot A_i \cdot \frac{1}{n_i} \cdot c_{w,i} \quad (6.3)$$

Diese Kraft soll als im Schwerpunkt der realen Projektionsfläche wirkend angesetzt werden.

### 6.2.1 Verifizierung des Ansatzes

Um den Ansatz zu verifizieren, wird für eine fiktive Form, in diesem Fall eine Vase, die Belastung laut ÖNORM EN 1991-1-4 [8] ohne und mit erweiterten Ansatz ermittelt und mit den Werten aus der numerischen Simulation und der Windkanalmessung verglichen.

### Belastung laut ÖNORM EN 1991-1-4 [8] und Anwendung des Ansatzes



Abmessungen

$$A_{proj} = 374 \text{ cm}^2$$

$$A_{Kelch} = 227 \text{ cm}^2$$

$$A_{Fu\beta} = 147 \text{ cm}^2$$

$$h = 29 \text{ cm}$$

$$\bar{b} = \frac{A_{proj}}{h} = 13 \text{ cm}$$

Schwerpunktsabstand für  $A_{proj}$

$$z_{unten} = 15 \text{ cm}$$

Die Windkraft wird nach *Punkt 5.3* in der ÖNORM EN 1991-1-4 [8] ermittelt

$$F_W = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_s) \cdot A_{ref} \quad (6.4)$$

mit  $c_s c_d = 1.0$  nach *Punkt 6.2 b)*, da die Eigenfrequenz eines unten eingespannten Stabes nach [13]

$$f = \frac{\varepsilon^2}{h^2} \cdot \sqrt{\frac{EJ}{\mu}} \quad (6.5)$$

$$f = \frac{1.875^2}{0.29^2} \cdot \sqrt{\frac{1.47 \text{ kNm}^2}{0.64 \text{ kN/m}}} = 63 \text{ Hz} \quad (6.6)$$

$J$  wurde an der schwächsten Stelle ermittelt,  $\mu$  wurde über die Höhe gemittelt und als konstant angenommen,  $E = 2500 \text{ N/mm}^2$ .

ergibt (man könnte auch die in *Anhang F* [8] angegebenen Formeln verwenden), sicherlich ist dieser Wert eine Überschätzung, aber  $f > 5 \text{ Hz}$  kann mit Sicherheit gesagt werden. Weiters folgt nach *Punkt 7.9.2*

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda, \quad (6.7)$$

Ab hier rechnet der Autor, als ob die Vase ein Zylinder wäre.  $\psi_\lambda$  errechnet sich aus  $\lambda$  nach *Tabelle 7* in [6],

$$\lambda = \frac{2h}{\bar{b}} = \frac{2 \cdot 29 \text{ cm}}{13 \text{ cm}} = 4.46, \quad (6.8)$$

nach *Bild 3* in [6]  $\psi_{\lambda_s} = 0.66$  und da  $\varphi = 1$  ist  $\psi_\lambda = \psi_{\lambda_s} = 0.66$ .  $c_{f,0}$  wird mit *Bild 7.28* in [8] und *Formel (7.15)*

$$Re = \frac{b \cdot v(z_e)}{\nu} = \frac{0.13 \text{ m} \cdot 27.0 \text{ m/s}}{15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 2.34 \cdot 10^5 \quad (6.9)$$

## 6.2 Ermittlung $A_{ref}$ für im Eurocode 1-4 nicht erfasste Bauteile 61

ermittelt, es ergibt sich mit  $k = 0.5 \text{ mm}$  nach *Tabelle 7.13*

$$c_{f,0} = 1.2 + \frac{0.18 \cdot \log(10 \cdot k/\bar{b})}{1 + 0.4 \cdot \log(Re/10^6)} = 0.86, \quad (6.10)$$

so folgt

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 0.86 \cdot 0.66 = 0.57. \quad (6.11)$$

Die Geschwindigkeit wird gleich wie in der Simulation angesetzt

$$q_p(z_e) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_0^2 = \frac{1}{2} \cdot 1.25 \text{ kg/m}^3 \cdot (27.0 \text{ m/s})^2 = 0.46 \text{ kN/m}^2, \quad (6.12)$$

so folgt als Kraft im Bezugsflächenschwerpunkt mit nach Punkt 6.2 errechnetem  $A_{ref}$  zu

$$A_{ref,A} = A_{Kelch} \frac{1}{1} \cdot c_{w,Halbkreisprofil I} + A_{Kelch} \frac{1}{2+2} \cdot c_{w,Halbkreisprofil II} + A_{Fu\beta} \quad (6.13)$$

$$A_{ref,A} = 227 \text{ cm}^2 \frac{1}{1} \cdot 1.2 + 227 \text{ cm}^2 \frac{1}{2+2} \cdot 2.30 + 147 \text{ cm}^2 = 550 \text{ cm}^2 \quad (6.14)$$

Nach ÖNORM EN 1991-1-4 [8] ist  $A_{ref,N} = A_{proj} = 374 \text{ cm}^2$ .

$$F_{W,i} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref,i} \quad (6.15)$$

$$F_{W,A} = 1.0 \cdot 0.57 \cdot 0.46 \text{ kN/m}^2 \cdot 0.055 \text{ m}^2 = 14 \text{ N} \quad (6.16)$$

$$F_{W,N} = 1.0 \cdot 0.57 \cdot 0.46 \text{ kN/m}^2 \cdot 0.037 \text{ m}^2 = 10 \text{ N} \quad (6.17)$$

Das Moment und die Kraft im Fußpunkt, mit welchen die Befestigung und die Vase bemessen werden muss, ergibt sich wie folgt

$$\begin{array}{l} W_{F,A,Fu\beta punkt} = 14 \text{ N} \\ W_{F,N,Fu\beta punkt} = 10 \text{ N} \end{array} \left\| \begin{array}{l} W_{M,A,Fu\beta punkt} = -2.2 \text{ Nm} \\ W_{M,N,Fu\beta punkt} = -1.6 \text{ Nm} \end{array} \right.$$

### Numerische Simulation

Die numerische Simulation wurde in einem Windkanal mit einer Breite, Höhe und Tiefe von  $1.0 \text{ m}$  simuliert, die Wände wurden reibungsfrei, die Vase wurde mit einer Rauigkeit von  $0.5 \text{ mm}$  angesetzt. Anströmung aus der x-Richtung mit  $v_0 = 27.0 \text{ m/s}$ . Folgende Werte resultierten aus der numerischen Simulation

$$\begin{array}{l} S_{F,Fu\beta punkt,x} = 13.8 \text{ N} \\ S_{F,Fu\beta punkt,y} = 0.3 \text{ N} \\ S_{F,Fu\beta punkt,z} = 2.5 \text{ N} \end{array} \left\| \begin{array}{l} S_{M,Fu\beta punkt,x} = -0.1 \text{ Nm} \\ S_{M,Fu\beta punkt,y} = -2.7 \text{ Nm} \\ S_{M,Fu\beta punkt,z} = 0.0 \text{ Nm} \end{array} \right.$$

Um der Norm Folge zu leisten, müsste man hier  $q_p(z_e)$  als Funktion der Höhe ansetzen. Um den Vergleich mit der numerischen Simulation zu ermöglichen, wurde hier darauf verzichtet.

## Abbildungen aus der numerischen Simulation

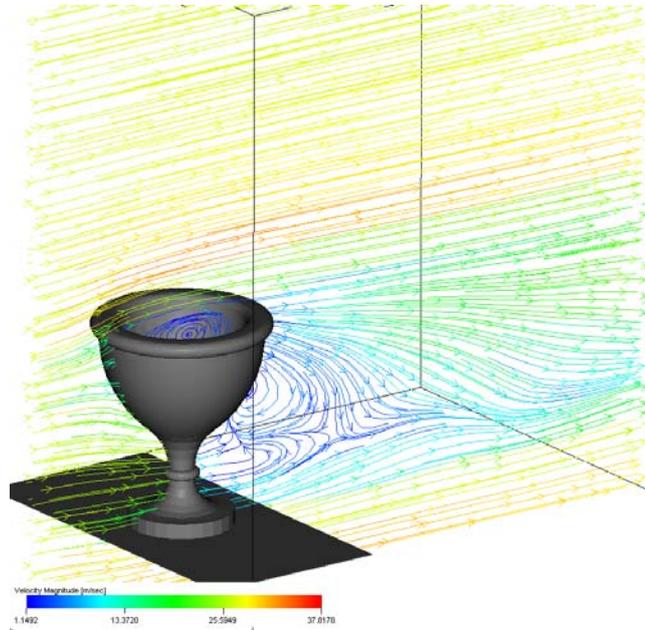


Abbildung 6.2: Simulationsbild Anströmung, gezeigt ist die Geschwindigkeitsmagnitude

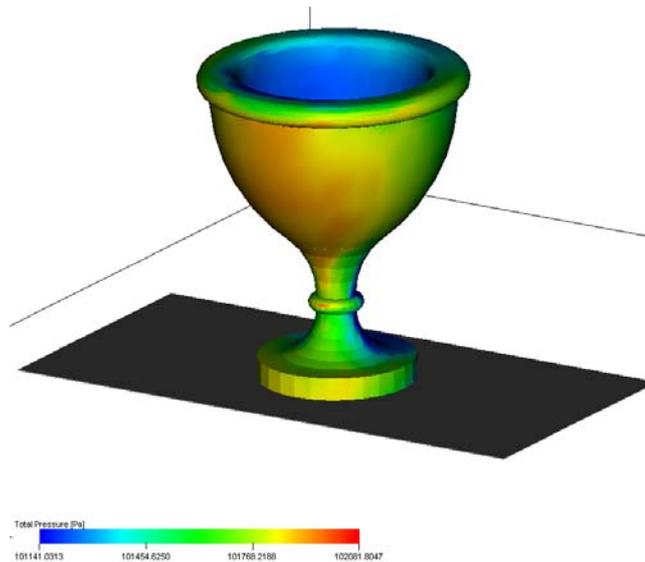


Abbildung 6.3: Simulationsbild Anströmung, gezeigt ist der totale Druck auf die Oberfläche

## 6.2 Ermittlung $A_{ref}$ für im Eurocode 1-4 nicht erfasste Bauteile 63

### Windkanalexperiment

Die Windkanalversuche wurden am Windkanal der TU Wien des Instituts für Strömungsmechanik und Wärmeübertragung durchgeführt. Der dortige Windkanal ist 1.20 m Breit und 1.00 m Hoch. Das Modell aus Styropor mit einer geschätzten Rauigkeit von 0.5 mm wurde berührungslos über einer Holzkiste schwebend montiert. Die Fixierung des Modells mit der Piezowaage erfolgt mit Hilfe einer M16 Gewindestange.



Abbildung 6.4: Styropormodell im Windkanal montiert

Um mögliche modellbedingte Phänomene zu erkennen, wurden die Messungen bei drei verschiedenen Geschwindigkeiten durchgeführt und zusätzlich der anteilige Kraftbeiwert der Gewindestange ermittelt.

Aus den Messergebnissen wurden mit Hilfe des Korrekturbeiwertes die Kraft und das Moment im Vasenfußpunkt für die wahre Geschwindigkeit errechnet und dann diese Werte für eine Geschwindigkeit von 27.0 m/s extrapoliert.  $\rho = 1.186 \text{ kg/m}^3$  wurde als Dichte der Luft angesetzt.

Messung 1; Vase, Kiste und Gewindestange									
Zyklus	Messwerte				Berechnung			Extrapolation	
	Druck [Pa]	$C_w$ [-]	Angpkt [m]	Kraft [N]	$v$ [m/s]	$E_F$ [N]	$E_M$ [Nm]	$E_F$ [N]	$E_M$ [Nm]
1	58.61	0.833	0.4514	1.8244	9.94	1.59	0.3	11.71	2.4
2	57.99	0.831	0.4540	1.8017	9.89	1.57	0.3	11.69	2.4
3	58.43	0.848	0.4431	1.8513	9.93	1.61	0.3	11.92	2.4
4	58.43	0.840	0.4465	1.8402	9.93	1.60	0.3	11.85	2.4
5	58.52	0.836	0.4499	1.8280	9.93	1.59	0.3	11.75	2.4
Mean	58.40	0.838	0.4490	1.8291	9.92	1.59	0.3	11.78	2.4

Messung 2; Vase, Kiste und Gewindestange									
Zyklus	Messwerte				Berechnung			Extrapolation	
	Druck [Pa]	$C_w$ [-]	Angpkt [m]	Kraft [N]	$v$ [m/s]	$E_F$ [N]	$E_M$ [Nm]	$E_F$ [N]	$E_M$ [Nm]
1	134.41	0.856	0.4412	4.3010	15.06	3.74	0.7	12.04	2.4
2	134.06	0.847	0.4482	4.2424	15.04	3.69	0.8	11.90	2.4
3	134.02	0.864	0.4358	4.3259	15.03	3.76	0.7	12.14	2.3
4	133.60	0.856	0.4414	4.2710	15.01	3.72	0.7	12.03	2.4
5	134.34	0.845	0.4496	4.2411	15.05	3.69	0.8	11.88	2.4
Mean	134.09	0.854	0.4432	4.2763	15.04	3.72	0.7	12.00	2.4

Messung 3; Vase, Kiste und Gewindestange									
Zyklus	Messwerte				Berechnung			Extrapolation	
	Druck [Pa]	$C_w$ [-]	Angpkt [m]	Kraft [N]	$v$ [m/s]	$E_F$ [N]	$E_M$ [Nm]	$E_F$ [N]	$E_M$ [Nm]
1	57.16	0.855	0.4375	1.8252	9.82	1.59	0.3	12.01	2.3
2	57.31	0.845	0.4467	1.8099	9.83	1.57	0.3	11.88	2.4
3	57.44	0.840	0.4455	1.8035	9.84	1.57	0.3	11.81	2.4
4	57.44	0.842	0.4475	1.8062	9.84	1.57	0.3	11.83	2.4
5	57.22	0.827	0.4578	1.7688	9.82	1.54	0.3	11.63	2.5
Mean	57.31	0.842	0.4470	1.8027	9.83	1.57	0.3	11.83	2.4

Messung 4; Vase, Kiste und Gewindestange									
Zyklus	Messwerte				Berechnung			Extrapolation	
	Druck [Pa]	$C_w$ [-]	Angpkt [m]	Kraft [N]	$v$ [m/s]	$E_F$ [N]	$E_M$ [Nm]	$E_F$ [N]	$E_M$ [Nm]
1	172.47	0.847	0.4445	5.4560	17.05	4.75	0.9	11.90	2.4
2	171.67	0.860	0.4386	5.5130	17.01	4.80	0.9	12.08	2.3
3	172.51	0.846	0.4452	5.4560	17.06	4.75	1.0	11.90	2.4
4	172.05	0.853	0.4415	5.4803	17.03	4.77	0.9	11.98	2.4
5	172.08	0.862	0.4352	5.5439	17.03	4.82	0.9	12.12	2.3
Mean	172.16	0.853	0.4410	5.4898	17.04	4.78	0.9	12.00	2.4

Messung 5; nur Gewindestange und Kiste									
Zyklus	Messwerte				Berechnung			Extrapolation	
	Druck [Pa]	$C_w$ [-]	Angpkt [m]	Kraft [N]	$v$ [m/s]	$E_F$ [N]	$E_M$ [Nm]	$E_F$ [N]	$E_M$ [Nm]
1	172.72	-	-	0.7468	17.07	-	-	-	-
2	173.50	-	-	0.7357	17.10	-	-	-	-
3	172.99	-	-	0.7113	17.08	-	-	-	-
4	173.00	-	-	0.6907	17.08	-	-	-	-
5	172.95	-	-	0.6791	17.08	-	-	-	-
Mean	173.03	-	-	0.7127	17.08	-	-	-	-

## 6.2 Ermittlung $A_{ref}$ für im Eurocode 1-4 nicht erfasste Bauteile 65

Der Korrekturbeiwert, um den Einfluss der Gewindestange zu eliminieren, errechnet sich wie folgt

$$\eta = \frac{\overline{Kraft}_{Messung4} - \overline{Kraft}_{Messung5}}{\overline{Kraft}_{Messung4}} = \frac{5.4898 - 0.7127}{5.4898} = 0.8702 \quad (6.18)$$

### Gegenüberstellung der Ergebnisse

$W_{F,A,Fußpunkt} = 14 \text{ N}$	$+17 \%$	$W_{M,A,Fußpunkt} = -2.2 \text{ Nm}$	$-8 \%$
$W_{F,N,Fußpunkt} = 10 \text{ N}$	$-17 \%$	$W_{M,N,Fußpunkt} = -1.6 \text{ Nm}$	$-33 \%$
$S_{F,Fußpunkt} = 14 \text{ N}$	$+17 \%$	$S_{M,Fußpunkt} = -2.7 \text{ Nm}$	$+13 \%$
$E_{F,Fußpunkt} = 12 \text{ N}$	$\pm 0 \%$	$E_{M,Fußpunkt} = -2.4 \text{ Nm}$	$\pm 0 \%$

Wird der Windkanalversuch als Referenzwert herangezogen, wird ersichtlich, dass der normative Ansatz die Belastung doch nicht unwesentlich unterschätzt. Der erweiterte Ansatz überschätzt die Belastung etwas, aber die maximal +17 % Überschätzung bestätigt den Ansatz als auf der sicheren Seite liegend. Die Unterschätzung bei dem Moment liegt daran, dass in der Berechnung der Staudruck konstant angenommen wurde und somit stimmt der Schwerpunktsabstand bzw. Kraftangriffspunkt nicht mit dem Windkanalversuch überein.

Den Windkanalversuch mit der numerischen Simulation verglichen, zeigt die erwartete gute Übereinstimmung der erhaltenen Ergebnisse, der Unterschied liegt im unterschiedlichen Turbulenzgrad in der numerischen Simulation und im Windkanal.

### 6.2.2 Beispiel

Um die Vorgehensweise bei einer komplexeren Figur genauer zu erläutern wird  $A_{ref}$  für den rechten Engel vor der Karlskirche in Wien ermittelt.



Abbildung 6.5: Flächenauswertung und Ansichten des rechten Engels vor der Wiener Karlskirche

Fläche	$A_{proj,i}$ [m <sup>2</sup> ]	$c_{w,i}$ [-]	$A_{proj,i} \cdot c_{w,i}$ [m <sup>2</sup> ]
A1	0.505	2.30	1.160
A2	0.121	2.20	0.267
A3	0.637	1.16	0.739
A4	0.823	2.20	1.811
A5	0.253	2.20	0.557
A6	0.400	1.05	0.420
A7	0.100	2.20	0.220
A8	0.058	2.30	0.134
A9	0.096	1.17	0.112
A10	0.276	2.30	0.635
A11	0.291	1.05	0.306
A12	0.047	0.42	0.020
A13	0.047	2.30	0.107
$A_{ref}$			6.489

Die Auswertung erfolgt tabellarisch, da die Verdeckung der Flächen so gering ist, wird der Verschattungsfaktor  $\frac{1}{n}$  nicht berücksichtigt, die reale Projektions-

## **6.2 Ermittlung $A_{ref}$ für im Eurocode 1-4 nicht erfasste Bauteile 67**

onsfläche beträgt  $A_{proj} = 3.314 \text{ m}^2$ .

Nun wäre der Engel als Zylinder mit dem Durchmesser

$$d = \frac{A_{prof}}{h} = \frac{3.314 \text{ m}^2}{2.62 \text{ m}} = 1.26 \text{ m} \quad (6.19)$$

weiter nach Eurocode 1-4 zu behandeln,  $A_{ref} = 6.489 \text{ m}^2$  ist natürlich nach dem erweiterten Verfahren anzusetzen.



# Kapitel 7

## Beispiele mit erweitertem Bemessungsansatz

### 7.1 Einführung in die Beispiele

Hier werden noch zwei Beispiele exemplarisch vorgezeigt, bewusst wurden zwei sehr unterschiedliche Aufgabenstellungen gewählt, um die ganze Bandbreite der Planungsaufgaben abzudecken. Die erste Aufgabe befasst sich mit der Belastung auf Verzierungselementen und Brüstungen an Gebäuden sowie mit dem Einfluss von Gesimsen. Weiters wurde eine nicht direkt in der Norm angegebene Anströmrichtung gewählt.

Das zweite und weit einfachere Beispiel zeigt einen Dachkollektor und dient primär, dem Leser die starken aerodynamischen Auftriebskräfte zu zeigen, sowie auch im ersten Exempel die Vorteile einer aerodynamischen Modellierung zur wirtschaftlichen Dimensionierung der Bauteile.

Bei beiden Aufgaben wird nur die Belastung zufolge Wind ermittelt, eine weitere Verfolgung der Lasten und somit eine Dimensionierung wurde nicht vorgenommen, da dies keine weitere Information über das aerodynamische Verhalten des Bauteils gibt.

### 7.2 Zierelement

#### 7.2.1 Angabe

In Abbildung 7.1 findet sich die perspektivische Darstellung des Problems, der Pfeil stellt die Anströmrichtung dar, es wurde Wind mit der Geschwindigkeit  $v_0 = 27.0 \text{ m/s}$  gewählt, der Verlauf über die Höhe ist konstant angesetzt.

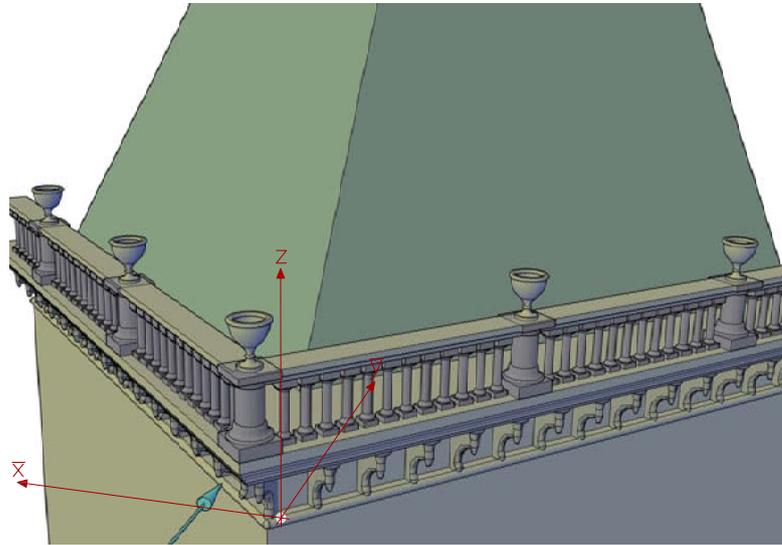


Abbildung 7.1: Perspektive, Pfeil zeigt die Anströmrichtung

Die einzelnen Abmessungen der betrachteten Bauteile finden sich direkt bei der Lastermittlung, in Abbildung 7.2 sind die wesentlichsten Dimensionen angegeben.

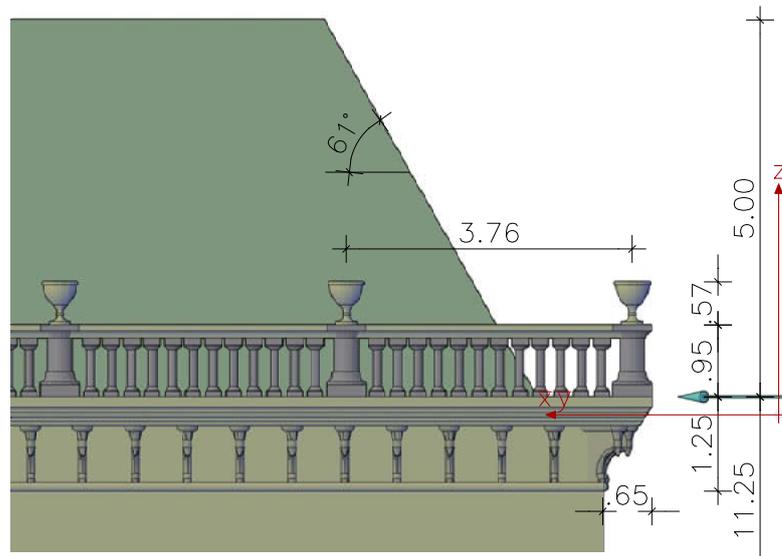


Abbildung 7.2: Ansicht mit den wichtigsten Abmessungen

### 7.2.2 Belastung laut ÖNORM EN 1991-1-4 [8]

#### Vase

Da alle Vasen gleiche Abmessungen aufzeigen, wurde keine bestimmte Vase gewählt, folgend ist die Vase mit Koordinatensystem im Schwerpunkt abgebildet, zusätzlich sind die notwendigen Abmessungen angegeben.



Abmessungen

$$\begin{aligned} A_{proj} &= 1495 \text{ cm}^2 \\ A_{Kelch} &= 1149 \text{ cm}^2 \\ A_{Fuß} &= 346 \text{ cm}^2 \\ h &= 57 \text{ cm} \\ \bar{b} &= \frac{A_{proj}}{h} = 26 \text{ cm} \end{aligned}$$

Schwerpunktsabstand für  $A_{proj}$

$$z_{unten} = 36 \text{ cm}$$

Die Windkraft wird nach *Punkt 5.3* in der ÖNORM EN 1991-1-4 [8] ermittelt

$$F_W = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (7.1)$$

mit  $c_s c_d = 1.0$  nach *Punkt 6.2 b*), da die Eigenfrequenz eines unten eingespannten Stabes nach [13]

$$f = \frac{\varepsilon^2}{h^2} \cdot \sqrt{\frac{EJ}{\mu}} \quad (7.2)$$

$$f = \frac{1.875^2}{0.57^2} \cdot \sqrt{\frac{5.89 \text{ kNm}^2}{1.27 \text{ kN/m}}} = 23 \text{ Hz} \quad (7.3)$$

ergibt (man könnte auch die in *Anhang F* [8] angegebenen Formeln verwenden), sicherlich ist dieser Wert eine Überschätzung, aber  $f > 5 \text{ Hz}$  kann mit Sicherheit gesagt werden, weiter folgt nach *Punkt 7.9.2*

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \quad (7.4)$$

$\psi_\lambda$  wird errechnet aus  $\lambda$  nach *Tabelle 7* in [6]

$J$  wurde an der schwächsten Stelle ermittelt,  $\mu$  wurde über die Höhe gemittelt und als konstant angenommen,  $E = 2500 \text{ N/mm}^2$ .

Ab hier rechnet der Autor, als ob die Vase ein Zylinder wäre.

$$\lambda = \frac{2 h}{\bar{b}} = \frac{2 \cdot 57 \text{ cm}}{26 \text{ cm}} = 4.38 \quad (7.5)$$

nach *Bild 3* in [6]  $\psi_{\lambda_s} = 0.65$  und da  $\varphi = 1$  ist  $\psi_\lambda = \psi_{\lambda_s} = 0.65$ .  $c_{f,0}$  wird mit *Bild 7.28* in [8] und *Formel (7.15)*

$$Re = \frac{b \cdot v(z_e)}{\nu} = \frac{0.26 \text{ m} \cdot 27.0 \text{ m/s}}{15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 4.68 \cdot 10^5 \quad (7.6)$$

ermittelt, es ergibt sich mit  $k = 1.0 \text{ mm}$  nach *Tabelle 7.13*

$$c_{f,0} = 1.2 + \frac{0.18 \cdot \log(10 \cdot k/\bar{b})}{1 + 0.4 \cdot \log(Re/10^6)} = 0.91 \quad (7.7)$$

so folgt

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 0.91 \cdot 0.65 = 0.59 \quad (7.8)$$

Um der Norm Folge zu leisten, müsste man hier  $q_p(z_e)$  als Funktion der Höhe ansetzen. Um den Vergleich mit der numerischen Simulation zu ermöglichen, wurde hier darauf verzichtet.

Die Geschwindigkeit wird gleich wie in der Simulation angesetzt

$$q_p(z_e) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_0^2 = \frac{1}{2} \cdot 1.25 \text{ kg/m}^3 \cdot (27.0 \text{ m/s})^2 = 0.46 \text{ kN/m}^2, \quad (7.9)$$

so folgt als Kraft im Bezugsflächenschwerpunkt mit nach Punkt 6.2 errechnetem  $A_{ref}$  zu

$$A_{ref} = A_{Kelch} \frac{1}{1} \cdot c_{w, Halbkreisprofil I} + A_{Kelch} \frac{1}{2+2} \cdot c_{w, Halbkreisprofil II} + A_{Fu\beta} \quad (7.10)$$

$$A_{ref} = 1149 \text{ cm}^2 \frac{1}{1} \cdot 1.2 + 1149 \text{ cm}^2 \frac{1}{2+2} \cdot 2.30 + 346 \text{ cm}^2 = 2385 \text{ cm}^2 \quad (7.11)$$

$$F_W = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (7.12)$$

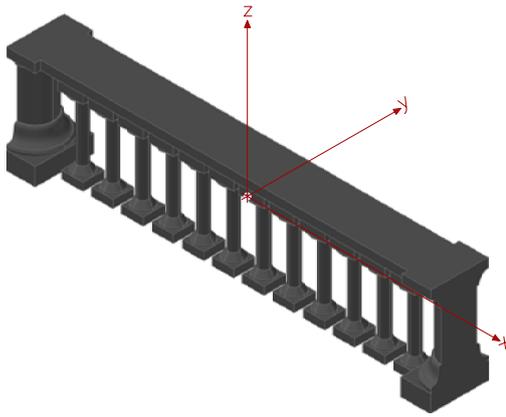
$$F_W = 1.0 \cdot 0.59 \cdot 0.46 \text{ kN/m}^2 \cdot 0.2385 \text{ m}^2 = 65 \text{ N} \quad (7.13)$$

Das Moment und die Kraft im Fußpunkt, mit welchem die Befestigung und die Vase bemessen werden muss, ergibt sich wie folgt

$$W_{F, Vase, Fußpunkt} = 65 \text{ N} \quad || \quad W_{M, Vase, Fußpunkt} = 23 \text{ Nm}$$

### Brüstung

Betrachtet wird ein mathematisch herausgelöster Teil der Brüstung, aerodynamisch wirkt natürlich die gesamte Brüstung. Durch den geringen Völligkeitsgrad  $\varphi = 0.60$  wird hier die Bemessung wie bei einem Fachwerk durchgeführt, dies wird in *Punkt 7.4* in [8] verlangt.



Abmessungen

$$h = 0.95 \text{ m}$$

$$l = 3.78 \text{ m}$$

$$A_x = 0.20 \text{ m}^2$$

$$A_{brutto} = 3.60 \text{ m}^2$$

$$A_{netto} = 2.16 \text{ m}^2$$

$$\varphi = \frac{A_{netto}}{A_{brutto}} = 0.60$$

Schwerpunktsabstand

$$y_s = 1.89 \text{ m}$$

$$z_{unten} = 0.61 \text{ m}$$

Der Winddruck auf die einzelnen Abschnitte wird mit

$$F_W = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (7.14)$$

$c_s c_d = 1.0$  wird nach *Punkt 6.2* in [8] angesetzt, Begründung siehe folgende Berechnung.  $c_f$  errechnet sich nach *Formel (7.25)* in [8]

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \quad (7.15)$$

$c_{f,0}$  wird mit Hilfe der Re-Zahl und *Bild 7.35* ermittelt,  $\bar{d} = 0.13 \text{ m}$  ist der mittlere Durchmesser der innen liegenden Säulen

$$Re = \frac{\bar{d} \cdot v(z_e)}{\nu} = \frac{0.13 \text{ m} \cdot 27.0 \text{ m/s}}{15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 2.34 \cdot 10^5, \quad (7.16)$$

es folgt  $c_{f,0,x} = 0.5$  und  $c_{f,0,y} = 1.1$ ,  $\psi_\lambda$  wird wie oben ermittelt, nur

$$\lambda = \frac{2 h_{Stab}}{\bar{d}} = \frac{2 \cdot 78 \text{ cm}}{13 \text{ cm}} = 12 \quad (7.17)$$

nach *Bild 3* in [6]  $\psi_{\lambda_s} = 0.70$  und  $\varphi = 0.60$  ist

$$\psi_\lambda = \psi_{\lambda_s} \left[ 1 + \left( \frac{1}{\psi_{\lambda_s}} - 1 \right) (1 - \varphi)^{1/3} \right] = 0.92 \quad (7.18)$$

$$c_{f,x} = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 0.5 \cdot 0.92 = 0.46 \quad (7.19)$$

Ab hier rechnet der Autor, als ob die Säule ein Zylinder wäre.

$$c_{f,y} = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 1.1 \cdot 0.92 = 1.01 \quad (7.20)$$

$q_p(z_e)$  wird wie oben angesetzt,  $A_{ref} = A_{netto}$  nach Formel (7.27) in [8], so ergibt sich:

$$F_W = c_s c_d \cdot c_{f,i} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (7.21)$$

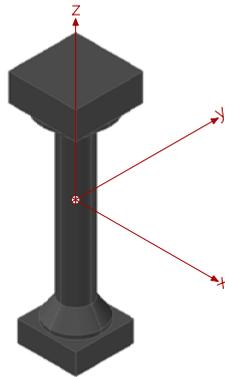
$$F_{W,x} = 1.0 \cdot 0.46 \cdot 0.46 \text{ kN/m}^2 \cdot 0.20 \text{ m}^2 = 0.04 \text{ kN} \quad (7.22)$$

$$F_{W,y} = 1.0 \cdot 1.01 \cdot 0.46 \text{ kN/m}^2 \cdot 2.16 \text{ m}^2 = 1.00 \text{ kN} \quad (7.23)$$

Die Momente und die Kräfte im Fußpunkt, mit welchen die Befestigung und die Brüstung bemessen werden muss, ergibt sich wie folgt

$$\begin{aligned} W_{F,Bruestung,x} &= 0.04 \text{ kN} & \parallel & & W_{M,Bruestung,x} &= 0.61 \text{ kNm} \\ W_{F,Bruestung,y} &= 1.00 \text{ kN} & \parallel & & W_{M,Bruestung,y} &= 0.02 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Hier wird noch die Belastung auf die Einzelsäule nachgewiesen, da diese für den Einzelementnachweis notwendig ist.



Abmessungen

$$A_{proj} = 1004 \text{ cm}^2$$

$$h = 78 \text{ cm}$$

$$a = 27 \text{ cm}$$

$$\bar{b} = \frac{A_{proj}}{h} = 13 \text{ cm}$$

Schwerpunktsabstand für  $A_{proj}$

$$z_{unten} = 41 \text{ cm}$$

Die Windkraft wird nach Punkt 5.3, in der ÖNORM EN 1991-1-4 [8] ermittelt

$$F_W = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (7.24)$$

mit  $c_s c_d = 1.0$  nach Punkt 6.2 b), da die Eigenfrequenz eines beidseitig gelenkig gelagertem Stab nach [13]

$$f = \frac{\pi^2}{h^2} \cdot \sqrt{\frac{EJ}{\mu}} \quad (7.25)$$

$$f = \frac{3.142^2}{0.78^2} \cdot \sqrt{\frac{35.05 \text{ kNm}^2}{0.32 \text{ kN/m}}} = 170 \text{ Hz} \quad (7.26)$$

$J$  wurde an der schwächsten Stelle ermittelt,  $\mu$  wurde über die Höhe gemittelt und als konstant angenommen,  $E = 2500 \text{ N/mm}^2$ .

ergibt (man könnte auch die in Anhang F [8] angegebenen Formeln verwenden), sicherlich ist dieser Wert eine Überschätzung, aber  $f > 5 \text{ Hz}$  kann mit Sicherheit gesagt werden, weiter folgt nach Punkt 7.9.3

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \cdot \kappa \quad (7.27)$$

$\psi_\lambda$  errechnet sich aus  $\lambda$  nach Tabelle 7 in [6]

$$\lambda = \frac{2h}{\bar{b}} = \frac{2 \cdot 78 \text{ cm}}{13 \text{ cm}} = 12 \quad (7.28)$$

nach *Bild 3* in [6]  $\psi_{\lambda_s} = 0.70$  und da  $\varphi = 1$  ist  $\psi_\lambda = \psi_{\lambda_s} = 0.70$ .  $c_{f,0}$  wird mit *Bild 7.28* in [8] und *Formel (7.15)*

$$Re = \frac{b \cdot v(z_e)}{\nu} = \frac{0.13 \text{ m} \cdot 27.0 \text{ m/s}}{15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 2.34 \cdot 10^5 \quad (7.29)$$

ermittelt, es ergibt sich mit  $k = 1.0 \text{ mm}$  nach *Tabelle 7.13* in [8]

$$c_{f,0} = 1.2 + \frac{0.18 \cdot \log(10 \cdot k/\bar{b})}{1 + 0.4 \cdot \log(Re/10^6)} = 0.93 \quad (7.30)$$

$\kappa = 1.15$  ergibt sich aus *Tabelle 7.14* in [8] so folgt

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \cdot \kappa = 0.93 \cdot 0.70 \cdot 1.15 = 0.75 \quad (7.31)$$

Die Geschwindigkeit wird gleich wie in der Simulation angesetzt

$$q_p(z_e) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_0^2 = \frac{1}{2} \cdot 1.25 \text{ kg/m}^3 \cdot (27.0 \text{ m/s})^2 = 0.46 \text{ kN/m}^2, \quad (7.32)$$

so folgt als Kraft im Bezugsflächenschwerpunkt

$$F_W = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (7.33)$$

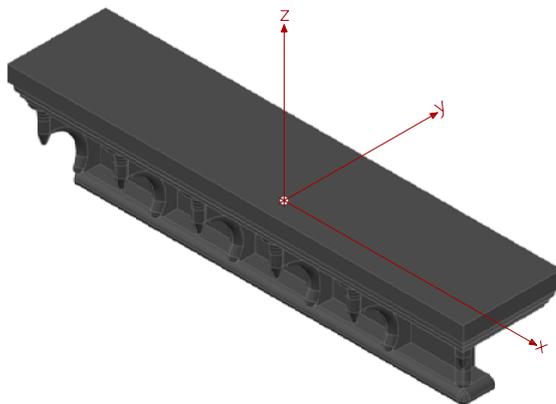
$$F_W = 1.0 \cdot 0.75 \cdot 0.46 \text{ kN/m}^2 \cdot 0.1004 \text{ m}^2 = 35 \text{ N} \quad (7.34)$$

Mit dieser im Bezugsflächenschwerpunkt angreifenden Kraft ist die Einzelsäule auf Biegung nachzuweisen, sowie die Anschlusskräfte bei den Auflagern. Sinnvoller wäre es, diese Last über die Höhe als Linienlast anzusetzen, da dies eher dem realen Lastbild entspricht.

Ab hier rechnet der Autor, als ob die Säule ein Zylinder wäre.

Um der Norm Folge zu leisten, müsste man hier  $q_p(z_e)$  als Funktion der Höhe ansetzen. Um den Vergleich mit der numerischen Simulation zu ermöglichen, wurde hier darauf verzichtet.

## Gesimse



### Abmessungen

$$A_{+x} = 0.98 \text{ m}^2$$

$$A_{-x} = 0.98 \text{ m}^2$$

$$A_{+y} = 4.40 \text{ m}^2$$

$$A_{+z} = 3.12 \text{ m}^2$$

$$A_{-z} = 0.63 \text{ m}^2$$

### Schwerpunktsabstand

$$x_{hinten} = 0.33 \text{ m}$$

$$y_s = 2.13 \text{ m}$$

$$z_{oben} = 0.37 \text{ m}$$

Die Bemessung des Gesimses erfolgt wie in *Punkt 7.2.1 (3)* in [8] angegeben, hierzu wird *Formel (5.1) Punkt 5.2* in [8] benötigt

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad (7.35)$$

Nun müssten folgende Lastfälle für das Gesimse behandelt werden: Anströmung des Gebäudes von vorne, Gesimse liegt im Luv, seitliche Anströmung des Gebäudes und Anströmung des Gebäudes von hinten, Gesimse liegt im Lee. Da alle Lastermittlungen in gleicher Weise zu führen sind, und sich in [7] ein sehr ausführliches Beispiel dazu findet, wird hier nur der *Lastfall Gesimse liegt im Luv* behandelt.

Der Druckbeiwert für die Wand kann aus *Tabelle 3* in [6] mit  $h/b = 11.25 \text{ m}/10 \text{ m} = 1.13$  und  $d/b = 10 \text{ m}/10 \text{ m} = 1.0$

$$c_{pe,1,Wand} = 1.25 \cdot c_{pe,10,D} = 1.25 \cdot +0.80 = +1.0 \quad (7.36)$$

entnommen werden.

Für das Dach wird ein Flachdach mit scharfkantiger Traufe angenommen, da das Gesimse über die Brüstung hinausragt. Der  $c_{pe,1}$  ergibt sich nach *Tabelle 7.2* in [8] mit

$$c_{pe,1,Dach} = c_{pe,1,F} = -2.5, \quad (7.37)$$

so ergibt sich mit  $q_p(z_e)$  analog wie oben

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 0.46 \text{ kN/m}^2 \cdot - [1.0 - (-2.5)] = -1.61 \text{ kN/m}^2. \quad (7.38)$$

Nicht zu unterschätzen ist die doch relativ große vertikale Komponente  $+z$ , die, wenn das Gesimse auch noch nicht fest sitzt und so dynamische Effekte auftreten, mitunter zum Absturz desselben führen kann.

Die absoluten Lasten in die einzelnen Richtungen wie folgt:

$A_{ref}$	$F_w =  w_e  \cdot A_{ref}$
$A_{+x} = 0.98 \text{ m}^2$	$1.58 \text{ kN}$
$A_{-x} = 0.98 \text{ m}^2$	$1.58 \text{ kN}$
$A_{+y} = 4.40 \text{ m}^2$	$7.08 \text{ kN}$
$A_{+z} = 3.12 \text{ m}^2$	$5.02 \text{ kN}$
$A_{-z} = 0.63 \text{ m}^2$	$1.01 \text{ kN}$

Hier sei aber angemerkt, dass jedes Element des Gesimses für sich alleine mit dem ungünstigsten Lastfall zu belasten ist, um eine richtige Bemessung durchführen zu können. Da ein direkter Vergleich mit der numerischen Simulation nicht möglich ist, da die Lasten sehr stark vom Strömungsbild abhängen, wird nur die Größenordnung verglichen.

Hier sei aber angemerkt, dass jedes Element des Gesimses für sich alleine mit dem ungünstigsten Lastfall zu belasten ist, um eine richtige Bemessung durchführen zu können. Da ein direkter Vergleich mit der numerischen Simulation nicht möglich ist, da die Lasten sehr stark vom Strömungsbild abhängen, wird nur die Größenordnung verglichen.

$$\begin{array}{l} W_{F,Gesimse,x} = \pm 1.58 \text{ kN} \\ W_{F,Gesimse,y} = 7.08 \text{ kN} \\ W_{F,Gesimse,z} = \sim 4.01 \text{ kN} \end{array} \left\| \begin{array}{l} W_{M,Gesimse,x} = \sim 0.94 \text{ kNm} \\ W_{M,Gesimse,y} = \sim 0.00 \text{ kNm} \\ W_{M,Gesimse,z} = \sim 0.00 \text{ kNm} \end{array} \right.$$

### 7.2.3 Belastung aus numerischer Simulation

Die numerische Simulation wurde in einem Windkanal mit einer Breite, Höhe und Tiefe von 40.0 m simuliert, die Rauigkeit des Bodens wurde reibungsfrei, die anderen Objekte mit  $k = 1.0 \text{ mm}$  angesetzt.

Da die Koordinatensysteme  $xyz$  und  $\bar{x}\bar{y}\bar{z}$  um  $45^\circ$  in der  $xy$  – Ebene verdreht sind, wurden die Werte aus der Simulation,  $\bar{x}\bar{y}\bar{z}$  – System, in das  $xyz$  – System umgerechnet, alleinig bei der Vase wurden die Werte nicht transformiert, da auf Grund der Rotationsymmetrie der Vase nur der maximale Wert ausschlaggebend ist.

Vase

$$\begin{array}{l} S_{F,Vase,\bar{x}} = 3 \text{ N} \\ S_{F,Vase,\bar{y}} = 73 \text{ N} \\ S_{F,Vase,\bar{z}} = 22 \text{ N} \end{array} \left\| \begin{array}{l} S_{M,Vase,\bar{x}} = 30 \text{ Nm} \\ S_{M,Vase,\bar{y}} = 1 \text{ Nm} \\ S_{M,Vase,\bar{z}} = 0 \text{ Nm} \end{array} \right.$$

Abbildungen aus der numerischen Simulation, Vase

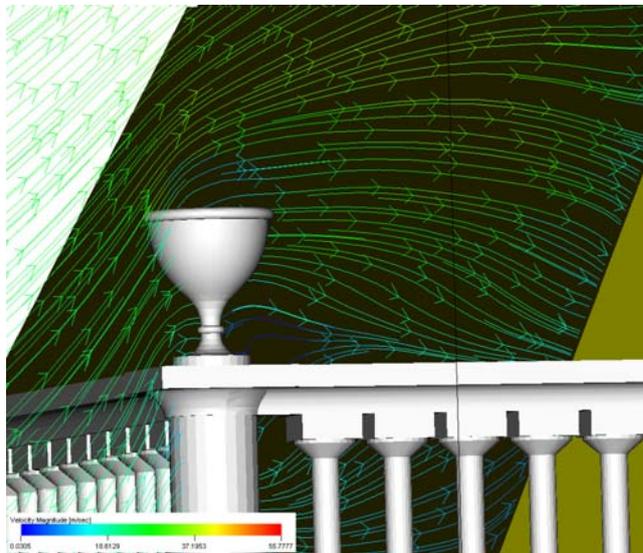


Abbildung 7.3: Simulationsbild, gezeigt ist die Umströmung der Vase als Geschwindigkeitsmagnitude

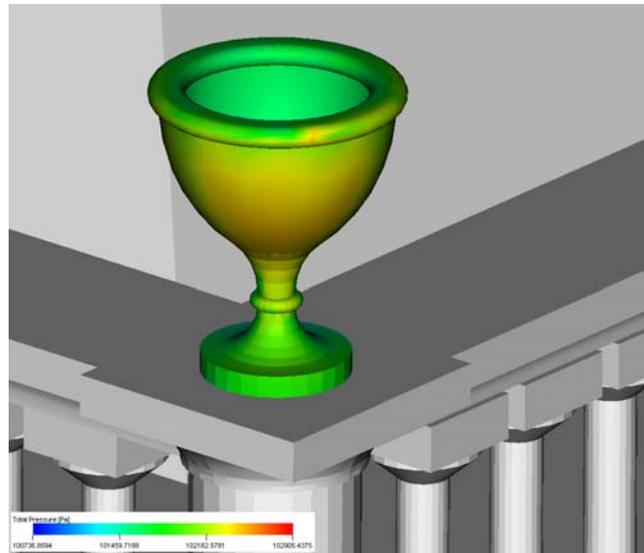


Abbildung 7.4: Simulationsbild, gezeigt ist der totale Druck auf die Vase

## Brüstung

$$\begin{array}{l}
 S_{F,Brüstung,\bar{x}} = 0.75 \text{ kN} \\
 S_{F,Brüstung,\bar{y}} = 0.84 \text{ kN} \\
 S_{F,Brüstung,\bar{z}} = 0.29 \text{ kN}
 \end{array}
 \left\|
 \begin{array}{l}
 S_{M,Brüstung,\bar{x}} = 0.59 \text{ kNm} \\
 S_{M,Brüstung,\bar{y}} = 0.44 \text{ kNm} \\
 S_{M,Brüstung,\bar{z}} = 0.05 \text{ kNm}
 \end{array}
 \right.$$

## Abbildungen aus der numerischen Simulation, Brüstung

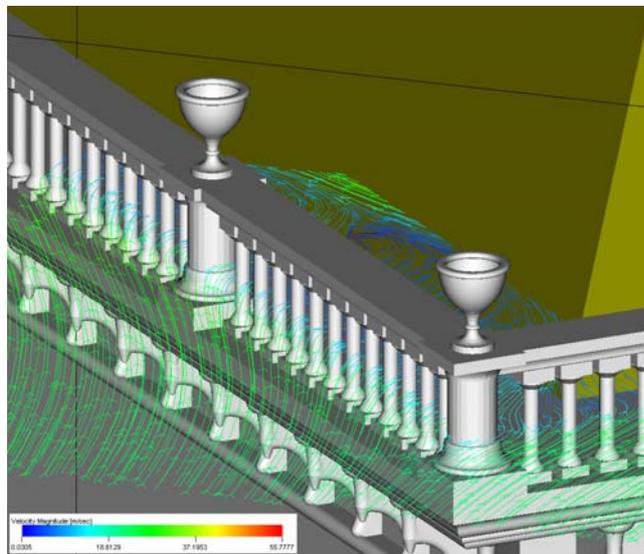


Abbildung 7.5: Simulationsbild, gezeigt ist die Umströmung der Brüstung als Geschwindigkeitsmagnitude

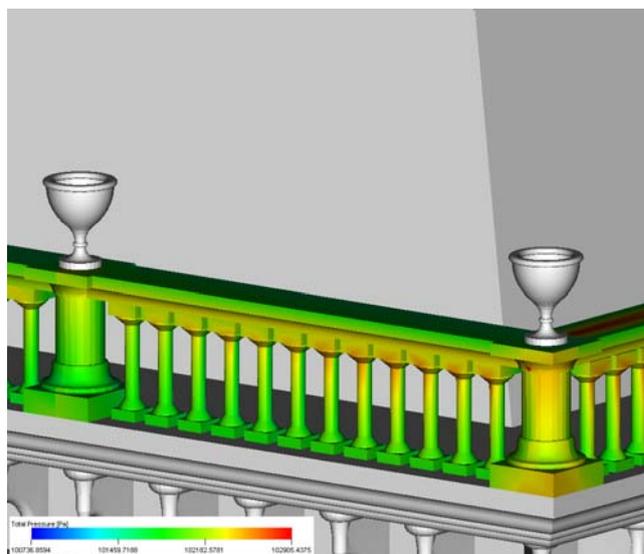


Abbildung 7.6: Simulationsbild, gezeigt ist der totale Druck auf die Brüstung

## Gesimse

$$\begin{array}{l} S_{F,Gesimse,\bar{x}} = 2.50 \text{ kN} \\ S_{F,Gesimse,\bar{y}} = 3.62 \text{ kN} \\ S_{F,Gesimse,\bar{z}} = 1.97 \text{ kN} \end{array} \parallel \begin{array}{l} S_{M,Gesimse,\bar{x}} = -0.69 \text{ kNm} \\ S_{M,Gesimse,\bar{y}} = -0.59 \text{ kNm} \\ S_{M,Gesimse,\bar{z}} = -0.12 \text{ kNm} \end{array}$$

## Abbildungen aus der numerischen Simulation, Gesimse

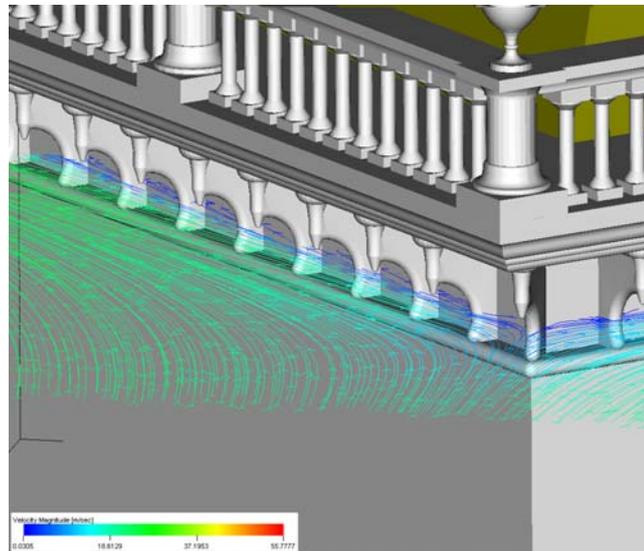


Abbildung 7.7: Simulationsbild, gezeigt ist die Umströmung des Gesimses als Geschwindigkeitsmagnitude

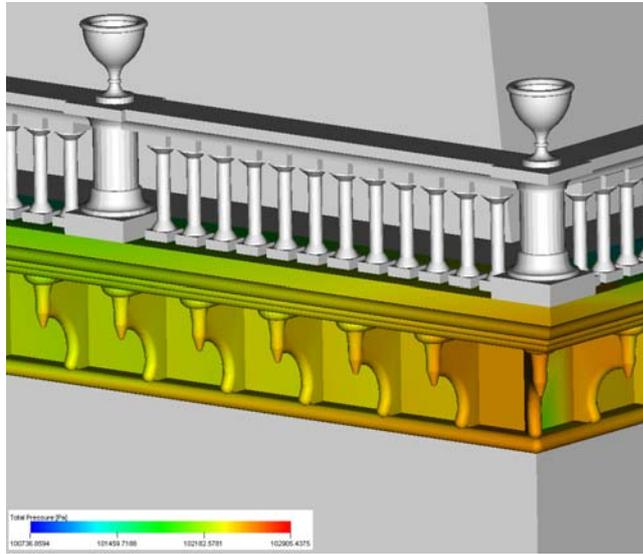


Abbildung 7.8: Simulationsbild, gezeigt ist der totale Druck auf das Gesimse

### 7.2.4 Zusammenstellung der Ergebnisse

#### Vase

$W_{F,Vase,Fußpunkt} =$	$65 \text{ N}$	$S_{F,Vase,Fußpunkt} =$	$73 \text{ N}$
$W_{F,Vase,Fußpunkt,z} =$	$-$	$S_{F,Vase,Fußpunkt,\bar{z}} =$	$22 \text{ N}$
$W_{M,Vase,Fußpunkt} =$	$23 \text{ Nm}$	$S_{M,Vase,Fußpunkt} =$	$30 \text{ Nm}$

#### Brüstung

$W_{F,Bruestung,x} =$	$0.04 \text{ kN}$	$S_{F,Bruestung,x} =$	$0.06 \text{ kN}$
$W_{F,Bruestung,y} =$	$1.00 \text{ kN}$	$S_{F,Bruestung,y} =$	$1.13 \text{ kN}$
$W_{F,Bruestung,z} =$	$-$	$S_{F,Bruestung,\bar{z}} =$	$0.29 \text{ kN}$
$W_{M,Bruestung,x} =$	$0.61 \text{ kNm}$	$S_{M,Bruestung,x} =$	$0.73 \text{ kNm}$
$W_{M,Bruestung,y} =$	$0.02 \text{ kNm}$	$S_{M,Bruestung,y} =$	$-0.11 \text{ kNm}$
$W_{M,Bruestung,z} =$	$-$	$S_{M,Bruestung,\bar{z}} =$	$0.05 \text{ kNm}$

#### Gesimse

$W_{F,Gesimse,x} =$	$\pm 1.58 \text{ kN}$	$S_{F,Gesimse,x} =$	$0.79 \text{ kN}$
$W_{F,Gesimse,y} =$	$7.08 \text{ kN}$	$S_{F,Gesimse,y} =$	$4.33 \text{ kN}$
$W_{F,Gesimse,z} =$	$\sim 4.16 \text{ kN}$	$S_{F,Gesimse,\bar{z}} =$	$1.97 \text{ kN}$
$W_{M,Gesimse,x} =$	$\sim 0.94 \text{ kNm}$	$S_{M,Gesimse,x} =$	$0.91 \text{ kNm}$
$W_{M,Gesimse,y} =$	$\sim 0.00 \text{ kNm}$	$S_{M,Gesimse,y} =$	$0.07 \text{ kNm}$
$W_{M,Gesimse,z} =$	$\sim 0.00 \text{ kNm}$	$S_{M,Gesimse,\bar{z}} =$	$-0.12 \text{ kNm}$

Betrachtet man die Werte, so wird die nicht ganz exakte Berücksichtigung des Strömungsbildes in der normativen Belastungsermittlung spürbar.

Bei der Vase ist dies durch die höhere Anströmgeschwindigkeit bedingt, siehe Abbildung 7.9, welches durch die Verwendung von Druckbeiwerten sicherlich exakter abgebildet werden würde, weiters bewährt sich wiederum der erweiterte Bemessungsansatz. Ganz besonders ist die Zusatzinformation durch die numerische Simulation ersichtlich, eine Komponente in  $z$ -Richtung, Abheben der Vase und der Brüstung, wie wohl dem erfahrenen Leser sofort ersichtlich ist, sind diese Kräfte eher von geringer Bedeutung.

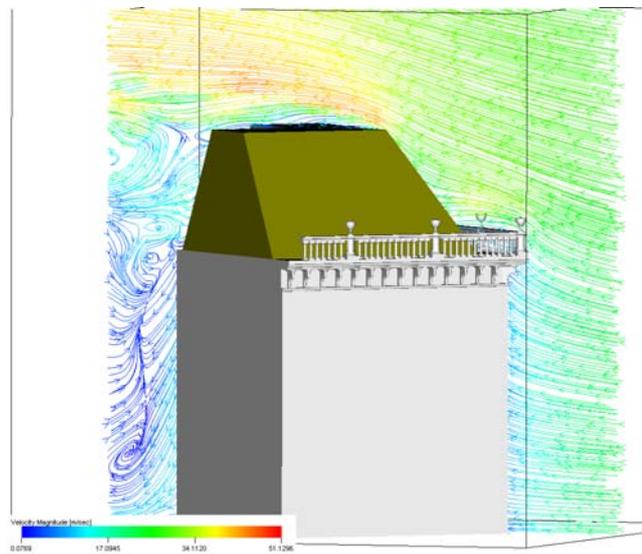


Abbildung 7.9: Simulationsbild Umströmung des Gebäudes von der Seite gesehen, gezeigt ist die Geschwindigkeitsmagnitude

Die ermittelten Werte bei der Brüstung, sind etwas zu gering, maximale Unterschätzung von 50% bei den Kräften, dies liegt sicherlich auch wieder an der höheren Anströmgeschwindigkeit, diese ist wohl auch der Grund für die Abweichungen bei den Momenten, da die Geschwindigkeit sich zusätzlich höhenabhängig ändert.

Bei der Lastermittlung für das Gesimse zeigt sich die sehr gute Eignung der Druckbeiwerte zur Lastermittlung und eben auch, dass diese den Strömungszustand sehr gut abbilden. Die bewusste maximale Überlagerung der Belastungen hat die doch beträchtliche Überschätzung der Belastungen zur Folge, auch hier würde die numerische Simulation helfen.

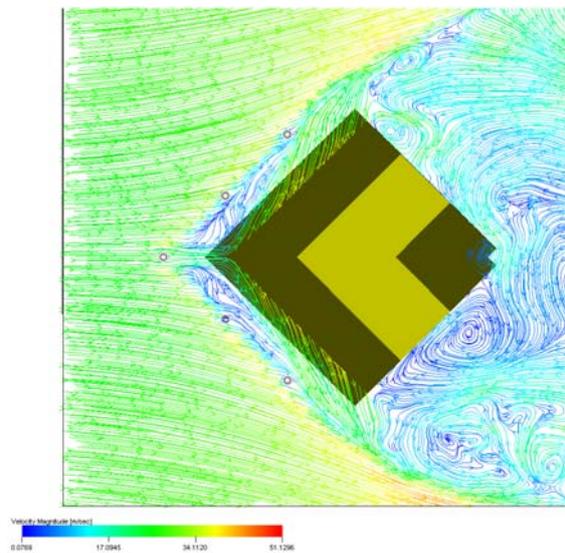


Abbildung 7.10: Simulationsbild Umströmung des Gebäudes von oben gesehen, gezeigt ist die Geschwindigkeitsmagnitude

Generell empfiehlt der Autor, bei numerischen Simulationen immer alle möglichen Strömungsverhältnisse zu simulieren und bewusst Parameterstudien durchzuführen, aber auch immer die Belastungsermittlung nach Norm durchzuführen, um eine Größenordnungsabschätzung zu ermöglichen.

### 7.3 Dachsolarkollektor

Hier sei noch die Belastungsbestimmung eines Dachkollektors angeführt, in Abbildung 7.11 ist eine planliche Darstellung des Kollektors gegeben, es wurde nur eine prinzipielle Form gewählt.

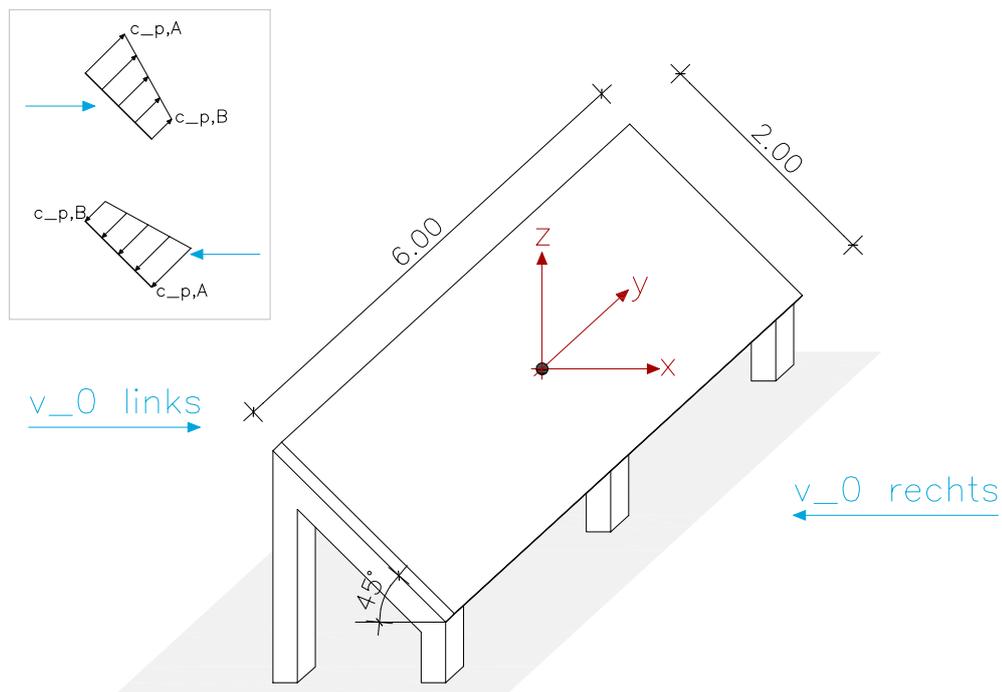


Abbildung 7.11: Betrachteter Kollektor mit Anströmrichtungen

Es wird nur die Anströmung von links und rechts berechnet, bei einem genaueren Nachweis müsste man auch die seitliche Anströmung betrachten, da es hier aber nur um eine Größenaufzeigung geht, wurden diese beiden eher unbedeutenden Lastfälle nicht berücksichtigt.

Um der Norm Folge zu leisten, müsste man hier  $q_p(z_e)$  als Funktion der Höhe ansetzen. Um den Vergleich mit der numerischen Simulation zu ermöglichen, wurde hier darauf verzichtet.

$$q_p(z_e) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_0^2 = \frac{1}{2} \cdot 1.25 \text{ kg/m}^3 \cdot (27.0 \text{ m/s})^2 = 0.46 \text{ kN/m}^2 \quad (7.39)$$

### 7.3.1 Belastung laut ÖNORM EN 1991-1-4 [8]

Da die ÖNORM EN 1991-1-4 [8] in Tabelle 7.6 nur  $c_f$  Werte bis  $30^\circ$  angibt, erlaubt sich der Autor, den Wert für  $45^\circ$  zu extrapolieren. Es wird  $\varphi = 0$  angesetzt.

$$c_{f,45} = c_{f,30} + (c_{f,30} - c_{f,15}) \quad (7.40)$$

$$c_{f,45} = -1.8 + (-1.8 + 1.1) = -2.5 \quad (7.41)$$

So errechnet sich die Windkraft nach Punkt 5.3 und Bild 7.16 in [8]

$$W = c_s c_d \cdot c_{f,45} \cdot q_0 \cdot A_{ref} \quad (7.42)$$

$$W_{links} = 1.0 \cdot +2.5 \cdot 0.46 \text{ kN/m}^2 \cdot 2.00 \text{ m} \cdot 6.00 \text{ m} = 13.8 \text{ kN} \quad (7.43)$$

$$W_{rechts} = 1.0 \cdot -2.5 \cdot 0.46 \text{ kN/m}^2 \cdot 2.00 \text{ m} \cdot 6.00 \text{ m} = -13.8 \text{ kN} \quad (7.44)$$

In die einzelnen Komponenten zerlegt und mit Berücksichtigung der Vorzeichen ergibt sich

$$\begin{array}{l} W_{F,links,x} = 9.76 \text{ kN} \\ W_{F,links,y} = 0.00 \text{ kN} \\ W_{F,links,z} = 9.76 \text{ kN} \end{array} \left\| \begin{array}{l} W_{rechts,x} = -9.76 \text{ kN} \\ W_{rechts,y} = 0.00 \text{ kN} \\ W_{rechts,z} = -9.76 \text{ kN} \end{array} \right.$$

Die Momente sind auf Grund des symmetrischen Lastbildes gleich  $0.00 \text{ kNm}$

### 7.3.2 Belastung nach Literatur [1]

In [1] ist eine Berechnung nach alter *dänischer* und alter *französischen* Norm angegeben, die angegebene, für die französische Norm relevante Schlankheit, stimmt nicht genau mit der aerodynamischen Schlankheit des Kollektors zusammen, dies wurde hier vernachlässigt und die angegebenen Werte der französischen Norm herangezogen.

In Abbildung 7.11 ist die Druckverteilung ersichtlich, die Werte errechnen sich mit dem Diagramm in [1] zu

$$c_{p,A} = 1.7 \quad (7.45)$$

$$c_{p,B} = 0.9 \quad (7.46)$$

$$c_p = \frac{c_{p,A} + c_{p,B}}{2} = 1.3 \quad (7.47)$$

So errechnet sich die Windkraft und das wirkende Moment nach [1]

$$L_F = c_p \cdot q_0 \cdot A_{ref} \quad (7.48)$$

Für direkt am Boden stehende Dachkollektoren sollte  $\varphi = 1$  gesetzt werden.

$$L_F = 1.3 \cdot 0.46 \text{ kN/m}^2 \cdot 2.00 \text{ m} \cdot 6.00 \text{ m} = 7.18 \text{ kN} \quad (7.49)$$

$$L_{M,y} = \frac{b^2}{12} \cdot (c_{p,A} - c_{p,B}) \cdot q_0 \cdot l \quad (7.50)$$

$$L_{M,y} = \frac{(2.00 \text{ m})^2}{12} \cdot (1.7 - 0.9) \cdot 0.46 \text{ kN/m}^2 \cdot 6.00 \text{ m} = 0.74 \text{ kNm} \quad (7.51)$$

In die einzelnen Komponenten zerlegt und mit Berücksichtigung der Vorzeichen ergibt sich

$L_{F,links,x} = 5.08 \text{ kN}$	$L_{F,rechts,x} = -5.08 \text{ kN}$
$L_{F,links,y} = 0.00 \text{ kN}$	$L_{F,rechts,y} = 0.00 \text{ kN}$
$L_{F,links,z} = 5.08 \text{ kN}$	$L_{F,rechts,z} = -5.08 \text{ kN}$
$L_{M,links,x} = 0.00 \text{ kNm}$	$L_{M,rechts,x} = 0.00 \text{ kNm}$
$L_{M,links,y} = 0.74 \text{ kNm}$	$L_{M,rechts,y} = 0.74 \text{ kNm}$
$L_{M,links,z} = 0.00 \text{ kNm}$	$L_{M,rechts,z} = 0.00 \text{ kNm}$

Nach der in [1] angegebenen dänischen Norm wäre  $c_p = 1.5$  und somit nicht wesentlich größer. Die Momente  $L_{M,x}$  und  $L_{M,z}$  sind aus Symmetriegründen gleich  $0.00 \text{ kNm}$ .

### 7.3.3 Belastung nach numerischer Simulation

Die numerische Simulation wurde in einem Windkanal mit einer Breite, Höhe und Tiefe von  $10.0 \text{ m}$  simuliert, die Rauigkeit des Bodens wurde mit  $4 \text{ cm}$ , die des Kollektors und Gestänges mit  $0.5 \text{ cm}$  angesetzt.

Folgende Werte resultierten aus der numerischen Simulation

$S_{F,links,x} = 6.84 \text{ kN}$	$S_{F,rechts,x} = -4.64 \text{ kN}$
$S_{F,links,y} = -0.01 \text{ kN}$	$S_{F,rechts,y} = -0.01 \text{ kN}$
$S_{F,links,z} = 6.57 \text{ kN}$	$S_{F,rechts,z} = -4.03 \text{ kN}$
$S_{M,links,x} = -0.33 \text{ kNm}$	$S_{M,rechts,x} = 0.12 \text{ kNm}$
$S_{M,links,y} = 0.23 \text{ kNm}$	$S_{M,rechts,y} = 0.75 \text{ kNm}$
$S_{M,links,z} = 0.23 \text{ kNm}$	$S_{M,rechts,z} = -0.13 \text{ kNm}$

Abbildungen aus der numerischen Simulation „Anströmung von links“

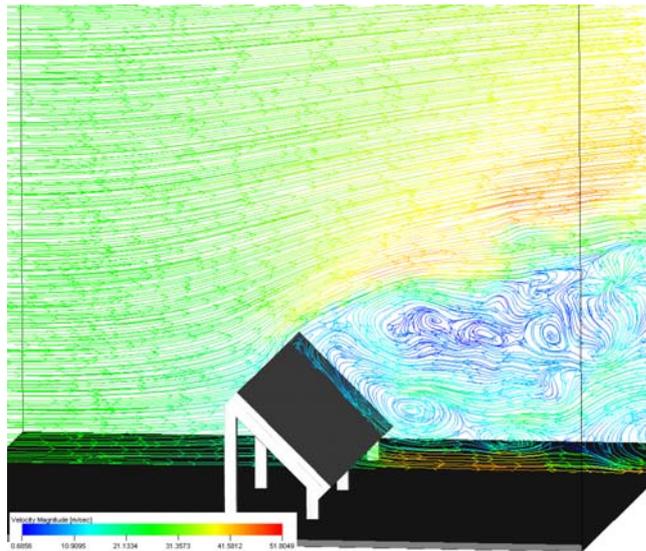


Abbildung 7.12: Simulationsbild „Anströmung von links“, gezeigt ist die Geschwindigkeitsmagnitude

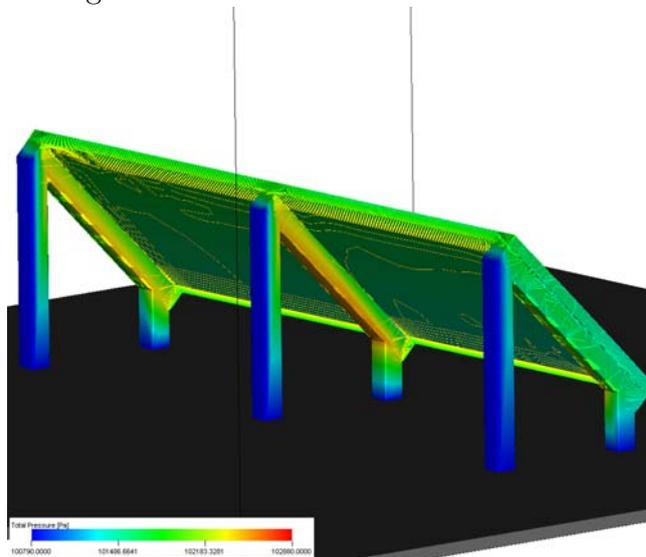


Abbildung 7.13: Simulationsbild „Anströmung von links“, gezeigt ist der totale Druck auf die Kollektorfläche

Abbildungen aus der numerischen Simulation „Anströmung von rechts“

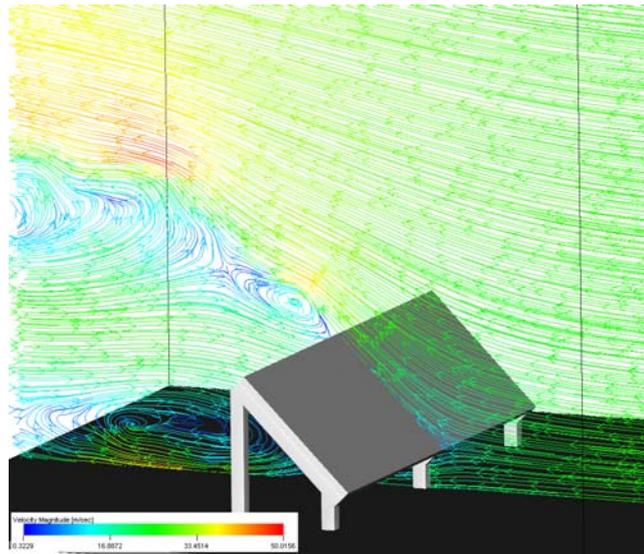


Abbildung 7.14: Simulationsbild „Anströmung von rechts“, gezeigt ist die Geschwindigkeitsmagnitude

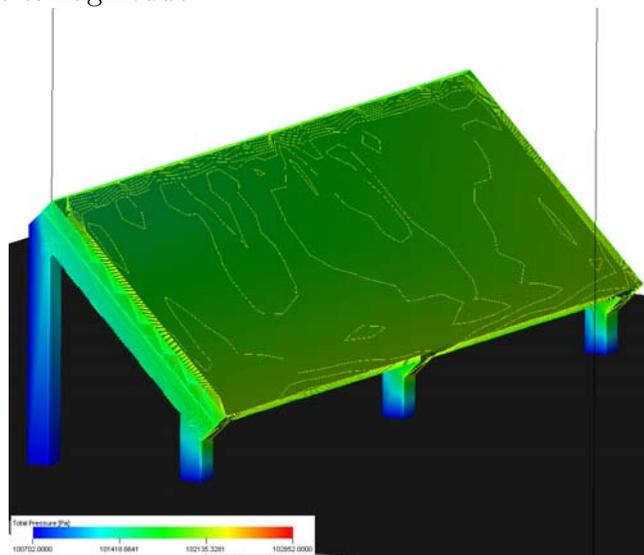


Abbildung 7.15: Simulationsbild „Anströmung von rechts“, gezeigt ist der totale Druck auf die Kollektorfläche

### 7.3.4 Zusammenstellung der Ergebnisse

#### Anströmung von links

$W_{F,links,x} =$	$9.76 \text{ kN}$	$L_{F,links,x} =$	$5.08 \text{ kN}$	$S_{F,links,x} =$	$6.84 \text{ kN}$
$W_{F,links,y} =$	$0.00 \text{ kN}$	$L_{F,links,y} =$	$0.00 \text{ kN}$	$S_{F,links,y} =$	$-0.01 \text{ kN}$
$W_{F,links,z} =$	$9.76 \text{ kN}$	$L_{F,links,z} =$	$5.08 \text{ kN}$	$S_{F,links,z} =$	$6.57 \text{ kN}$
$W_{M,links,x} =$	$0.00 \text{ kNm}$	$L_{M,links,x} =$	$0.00 \text{ kNm}$	$S_{M,links,x} =$	$-0.33 \text{ kNm}$
$W_{M,links,y} =$	$0.00 \text{ kNm}$	$L_{M,links,y} =$	$0.74 \text{ kNm}$	$S_{M,links,y} =$	$0.23 \text{ kNm}$
$W_{M,links,z} =$	$0.00 \text{ kNm}$	$L_{M,links,z} =$	$0.00 \text{ kNm}$	$S_{M,links,z} =$	$0.23 \text{ kNm}$

#### Anströmung von rechts

$W_{F,rechts,x} =$	$-9.76 \text{ kN}$	$L_{F,rechts,x} =$	$-5.08 \text{ kN}$	$S_{F,rechts,x} =$	$-4.64 \text{ kN}$
$W_{F,rechts,y} =$	$0.00 \text{ kN}$	$L_{F,rechts,y} =$	$0.00 \text{ kN}$	$S_{F,rechts,y} =$	$-0.01 \text{ kN}$
$W_{F,rechts,z} =$	$-9.76 \text{ kN}$	$L_{F,rechts,z} =$	$-5.08 \text{ kN}$	$S_{F,rechts,z} =$	$-4.03 \text{ kN}$
$W_{M,rechts,x} =$	$0.00 \text{ kNm}$	$L_{M,rechts,x} =$	$0.00 \text{ kNm}$	$S_{M,rechts,x} =$	$0.12 \text{ kNm}$
$W_{M,rechts,y} =$	$0.00 \text{ kNm}$	$L_{M,rechts,y} =$	$0.74 \text{ kNm}$	$S_{M,rechts,y} =$	$0.75 \text{ kNm}$
$W_{M,rechts,z} =$	$0.00 \text{ kNm}$	$L_{M,rechts,z} =$	$0.00 \text{ kNm}$	$S_{M,rechts,z} =$	$-0.13 \text{ kNm}$

Die Ergebnisse betrachtend erkennt man sofort, dass die nach ÖNORM EN 1991-1-4 [8] errechnete Last zu hoch angesetzt ist, bis zum 2.4-fachen der durch die Simulation erhaltenen Ergebnisse, dies könnte am Fehler der linearen Extrapolation liegen, und/oder sie zeigt nur den in der Norm bewusst erhöhten Ansatz auf, die ÖNORM EN 1991-1-4 [8] geht auch nicht auf die aerodynamische Schlankheit des Bauwerks ein, sowie auf die unterschiedliche Druckverteilung und gibt so keinen Wert für das Moment an.

Nach der Literatur [1] errechneten Werte treffen das aus der numerischen Simulation erhaltene Ergebnis recht gut, bis zur 1.3-fachen Überschätzung und bis zur 0.7-fachen Unterschätzung, diese könnte mitunter zu Problemen mit dem Bauwerk führen. Die Druckverteilung ist sehr gut angegeben, daher auch die gute Momentenübereinstimmung.

Bei der numerischen Simulation sei nur erwähnt, dass es sich oftmals empfiehlt, Bauteile gezielt zu simulieren, um wirtschaftliche Bemessungen zu ermöglichen, aber auch, um bei nicht normativ erfassten Bauteilen die Belastung zufolge Wind ermitteln zu können. Bei der Momentenermittlung wird die nicht symmetrische Strömung in den Momenten  $S_{M,x}$  und  $S_{M,z}$  bedeutend spürbar, was aber in der Realität aufgrund der geringen Größe kaum zu Problemen führen wird.



**Teil III**

**Anhang**



# Anhang A

## Aufnahme des Wiener Rathauses

Einführend sind Ausschnitte der Ostfassade des Wiener Rathauses bewertet und laut den Vorgaben planlich dargestellt.

### A.1 Ostfassade Ecke Feldererstraße

Um die Aufnahme an historischen Gebäuden exemplarisch vorzuzeigen, wurde die Ecke Feldererstraße der Ostfassade des Wiener Rathauses gewählt.

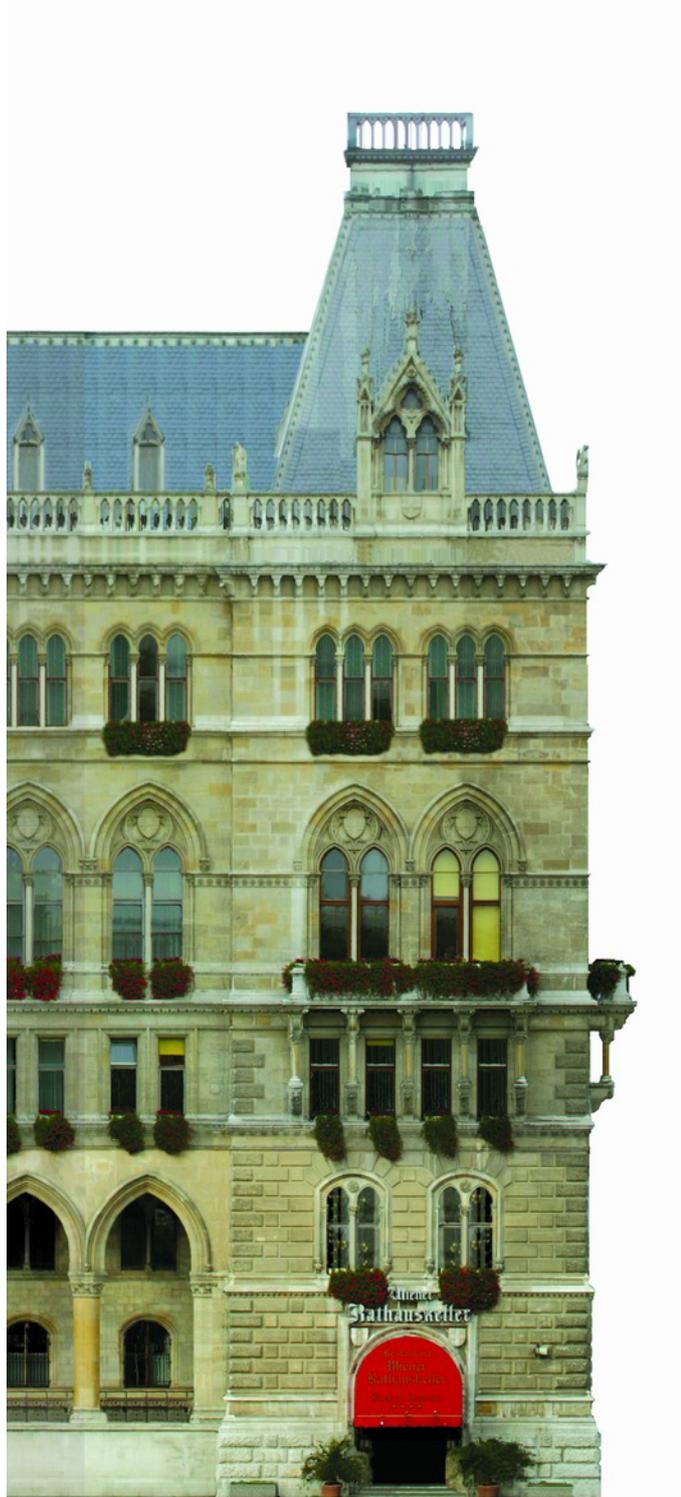


Abbildung A.1: Orthophoto der Ostfassade des Wiener Rathauses, Ecke Feldererstraße

### A.1.1 Expositionsbeiwert

Das Gebäude ist  $b = 154 \text{ m}$  breit und besitzt eine Höhe bis zur Traufe von  $h = 30 \text{ m}$ , somit ergibt sich ein  $w = 2 \cdot h = 60 \text{ m}$ . Da  $w/5 = 12 \text{ m}$  beträgt, sind die Rücksprünge des Gebäudes nicht zu berücksichtigen. Die Einteilungen für die vertikalen Wandflächen errechnen sich zu  $w/5 = 60 \text{ m}$ ,  $w/4 = 15 \text{ m}$  und  $w/10 = 6 \text{ m}$ . So ist wegen  $w/5 = 60 \text{ m}$  dem gesamten Eckbereich der Expositionsbeiwert  $e = 2$  zuzuweisen, ausgenommen die oberen  $w/10 = 6 \text{ m}$ , dort ist der Expositionsbeiwert  $e = 3$  anzusetzen. Die Figuren sind mit einem Expositionsbeiwert von  $e = 2 + 1$  zu bewerten.

Der Dachbereich direkt im Eck wird als Walmdach mit einer Neigung von  $75^\circ$  betrachtet, so ergibt sich der Expositionsbeiwert  $e = 2$  für das gesamte Dach, da  $w/4 = 15 \text{ m}$  ist. Der links anschließende Teil wird als Satteldach mit der Dachneigung  $75^\circ$  betrachtet, woraus der Expositionsbeiwert  $e = 1$  resultiert.

### A.1.2 Gefährdungspotential

Der Gefährdungsbereich bis  $5 \text{ m}$  Höhe ist mit  $g = 5$  anzusetzen, darüber mit  $g = 6$ .

### A.1.3 Materialkennwert

Der Zustand des Bauwerks verlangt den Materialkennwert für Stein und ist mit  $m = 2 * 1.5$  anzusetzen. Der Zustand der Steine ist zwar nicht schlecht, jedoch finden sich Abplatzungen und Forstschäden an dem Bauwerk. Für Glas, die Rautendeckung und Metall wird  $m = 2$  angesetzt.

### A.1.4 Langzeitverhalten

Aufgrund der regelmäßigen Wartung und Instandhaltung des Gebäudes wird  $l = 3$  angesetzt.

### A.1.5 Mechanische Bewertung

Im Folgenden ist für die einzelnen Bauteile der mechanische Bewertungsbeiwert angegeben.

Brüstung, Eckdachbereich	$a = 1$
Rautendeckung, Eckdachbereich	$a = 1 + 1$
Blechdeckung, Dach	$a = 1$
Gaupen	$a = 1$
Figuren auf Brüstung bis $1 m^2$	$a = 1 + 1$
Brüstung, Traufenhöhe	$a = 1$
Gesimse	$a = 1$
Fassade $< 10 m^2$	$a = 1$
Fenster $\leq 2.5 m^2$	$a = 2$
Balkon	$a = 1 + 1$
Unterbau Balkon	$a = 4$
Arkaden	$a = 1$
Markise	$a = 3$
Blumenkisten	$a = 1 + 1$

### A.1.6 Sonderbewertung des Bauteils

Für das gesamte Gebäude wird der Sonderbewertungsbeiwert  $s = 1$  angesetzt, ausgenommen für die Blumenkisten sowie die Markise, dort muss  $s = 3$  angesetzt werden.

### A.1.7 Bauteilfaktor

Der Bauteilfaktor findet sich für die Einzelbauteile zu:

Brüstung, Eckdachbereich	$f = 0.95$
Rautendeckung, Eckdachbereich	$f = 0.80$
Blechdeckung, Dach	$f = 0.90$
Gaupen	$f = 0.95$
Figuren auf Brüstung bis $1 m^2$	$f = 0.80$
Brüstung, Traufenhöhe	$f = 0.95$
Gesimse	$f = 1.00$
Fassade $< 10 m^2$	$f = 0.65$
Fenster $\leq 2.5 m^2$	$f = 0.85$
Balkon	$f = 0.60$
Unterbau Balkon	$f = 0.70$
Arkaden	$f = 0.90$
Markise	$f = 1.10$
Blumenkisten	$f = 1.25$

### A.1.8 Matrixauswertung

Für die einzelnen Bauteile ist immer der ungünstigste Beiwert angegeben und angesetzt.

Bauteil	Exposition	Gefährdungspotential	Materialkennwert	Langzeitverhalten	mechanische Bewertung	Sonderbewertung	Bauteilfaktor	Klassifikationswert
Brüstung, Eckdachbereich	2	6	2	3	1	1	0.95	14
Rautendeckung, Eckdachbereich	2	6	2	3	2	1	0.80	13
Blechdeckung, Dach	1	6	2	3	1	1	0.90	13
Gaupen	2	6	3	3	1	1	0.95	15
Figuren auf Brüstung bis $1 m^2$	3	6	3	3	2	1	0.80	14
Brüstung, Traufenhöhe	2	6	3	3	1	1	0.95	15
Gesimse	3	6	3	3	1	1	1.00	17
Fassade $< 10 m^2$	3	6	3	3	1	1	0.65	11
Fenster $\leq 2.5 m^2$	3	6	3	3	2	1	0.85	15
Balkon	2	6	3	3	2	1	0.60	10
Unterbau Balkon	2	6	3	3	4	1	0.70	13
Arkaden	2	6	3	3	1	1	0.90	14
Markise	2	5	3	3	3	3	1.10	21
Blumenkisten	3	6	3	3	2	3	1.25	25

Folgende Bauteile sind der Kategorie **Konform** zuzuweisen: Brüstung, Eckdachbereich; Rautendeckung, Eckdachbereich; Blechdeckung, Dach; Figuren auf Brüstung bis  $1 m^2$ ; Fassade  $< 10 m^2$ ; Balkon; Unterbau Balkon; Arkaden;

Der Kategorie **Akzeptabel** entsprechen: Gaupen; Brüstung, Traufenhöhe; Gesimse; Fenster  $\leq 2.5 m^2$

Die Markise ist der Kategorie **Beobachten** zuzuweisen und die Blumenkisten der Kategorie **Nicht Konform**. Wobei bei den Blumenkisten eine nicht sachgemäße Befestigung angenommen wurde, wäre eine sachgemäße Befestigung der Fall, wären auch die Blumenkisten der Kategorie **Beobachten** zuzuordnen.

## A.1.9 Planliche Darstellung

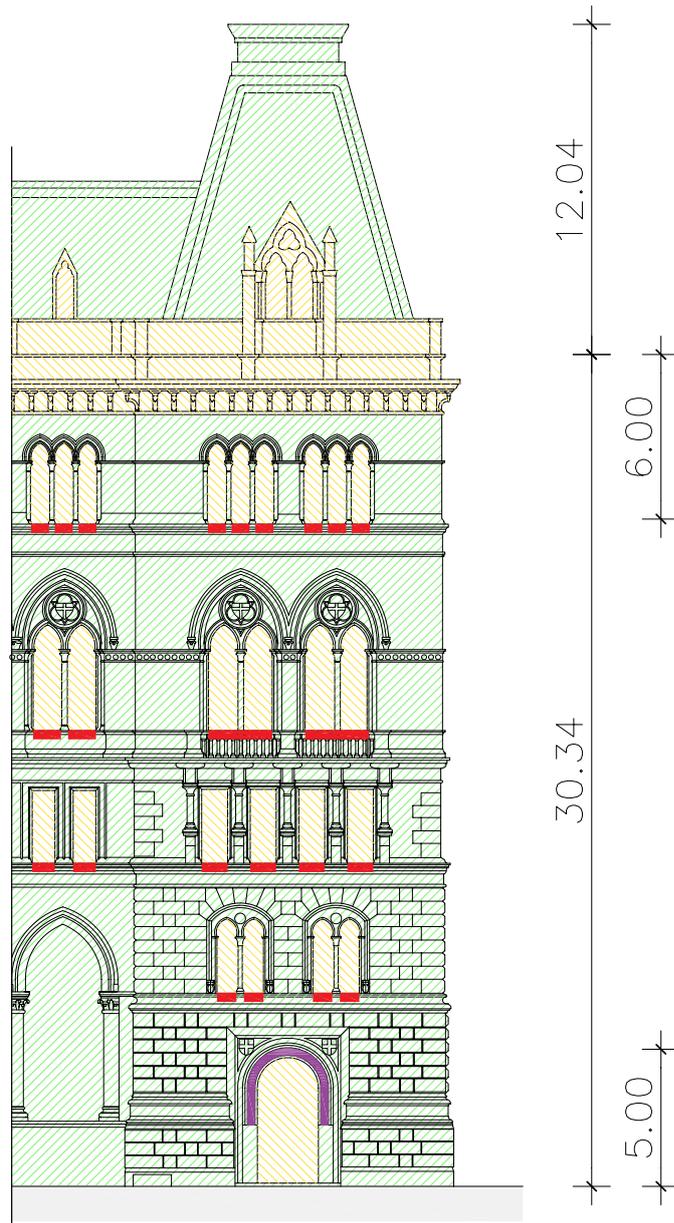


Abbildung A.2: Planliche Darstellung aller Farben über der Ostfassade des Wiener Rathauses

## A.2 Mittelturm über den Zentralrisalit an der Ostfassade

Exemplarisch wurde auch der obere Teil des Mittelturms über dem Zentralrisalit sturmtechnisch bewertet. Eine Besonderheit des Turms sind die Vielzahl an begleitenden Türmchen sowie die sehr intensiven Verzierungen desselben.

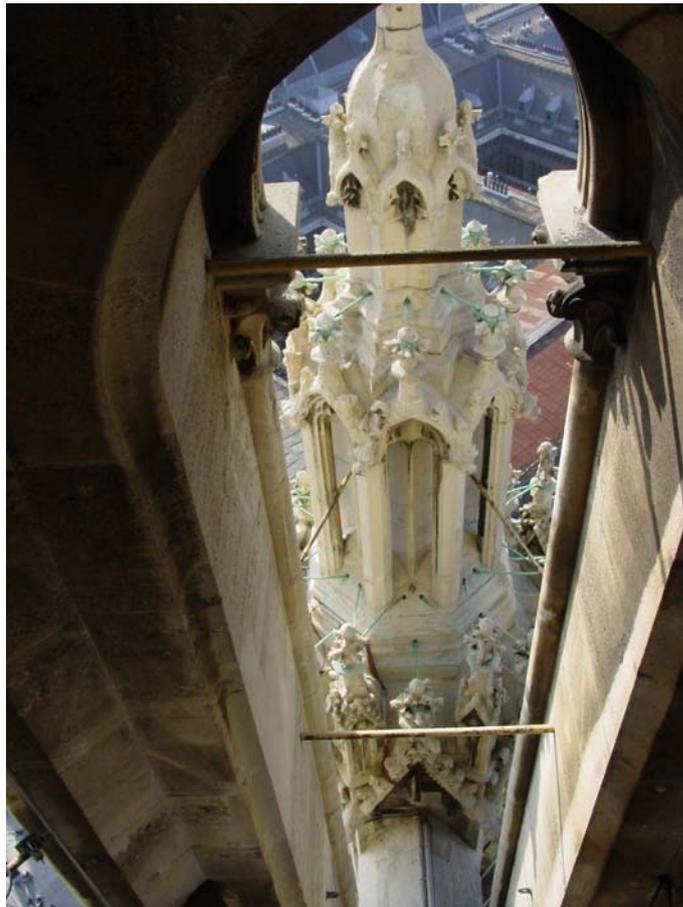


Abbildung A.3: Blick aus dem Mittelturm auf die begleitenden Türmchen, gut zu erkennen, die intensive Verzierung sowie die metallische Befestigung der Steine.

### A.2.1 Expositionsbeiwert

Da sich die Form einer expliziten Ermittlung des Expositionsbeiwertes entzieht, gibt der Autor folgende Vorgehensweise an. Der Turm wird als vertikale

Wandfläche mit dem Expositionsbeiwert  $e = 3$  angenommen, diese Annahme begründet darauf, dass der Turm eine Schlankheit  $\lambda \leq 20$  besitzt, aber dennoch als strömungstechnisch empfindliches Bauwerk angesehen werden soll. Erschwerend kommt hinzu, dass der Turm offen ist und somit der Wind durchströmen kann und so die Einzelbauteile aerodynamisch schlanker wirken.

### A.2.2 Gefährdungspotential

Das Gefährdungspotential ist laut Punkt 3.4 mit  $g = 6$  anzusetzen.

### A.2.3 Materialkennwert

Der Zustand des Bauwerks verlangt den Materialkennwert mit  $m = 2 * 2$ . Der Zustand der Steine ist zwar nicht schlecht, jedoch finden sich etliche Abplatzungen und Forstschäden am Bauwerk. Für den Rathausmann wird  $m = 2$  angesetzt.

### A.2.4 Langzeitverhalten

Aufgrund der regelmäßigen Wartung und Instandhaltung des Gebäudes wird  $l = 3$  angesetzt.

### A.2.5 Mechanische Bewertung

Hier sind erstmals die einzelnen Bauteile unterschiedlich zu bewerten, wobei der mechanische Bewertungsbeiwert minimal eine Größe von  $a = 1$  und maximal eine Größe von  $a = 4$  annimmt.

### A.2.6 Sonderbewertung des Bauteils

Der Sonderbewertungsbeiwert ist laut Punkt 3.8 mit  $s = 1$  anzusetzen.

### A.2.7 Bauteilfaktor

Als Bauteilfaktor wird der Faktor  $f = 0.80$  für *Figuren bis 1 m<sup>2</sup> Windschattenfläche* für die kleinen Bauteile angesetzt. Bauteilfaktor für Fialen  $f = 0.95$  wird für die großflächigen Türmchen angesetzt. Für den Rathausmann wird  $f = 0.75$  angesetzt.

### A.2.8 Matrixauswertung

Für die einzelnen Bauteile ist immer der ungünstigste Beiwert angegeben und angesetzt.

Bauteil	Exposition	Gefährdungspotential	Materialkennwert	Langzeitverhalten	mechanische Bewertung	Sonderbewertung	Bauteilfaktor	Klassifikationswert
Bauteil, minimal	3	6	4	3	1	1	0.95	17
Bauteil, maximal	3	6	4	3	4	1	0.80	17
Rathausmann	3	6	2	3	4	1	0.75	17

Somit sind alle Bauteile am Turm der Kategorie **Akzeptabel** zuzuweisen.

### A.2.9 Planliche Darstellung

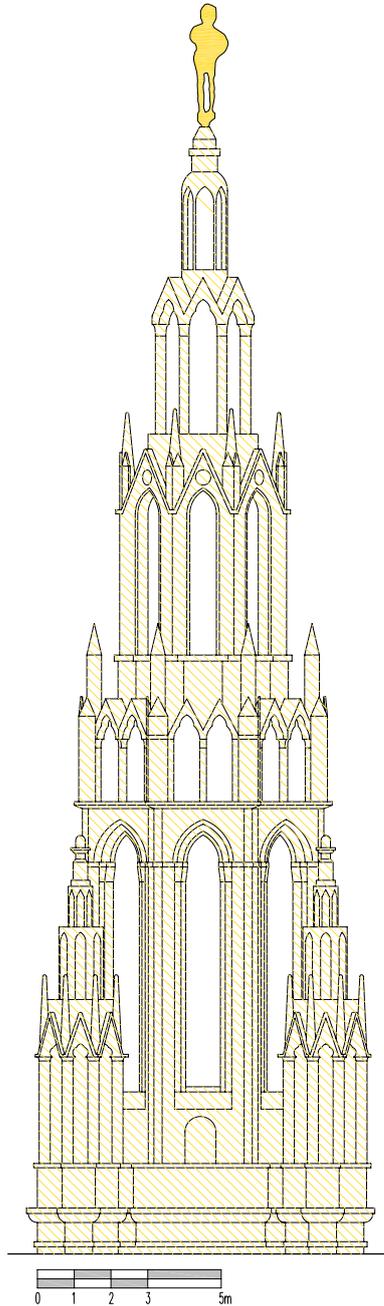


Abbildung A.4: Planliche Darstellung des Mittelturms über dem Zentralrisalit an der Ostfassade des Wiener Rathauses

# Anhang B

## Aufnahme des Sonderbauwerks Urania

Um das Wissen des Lesers für die Bewertung historischer Bauwerke zu vertiefen, wird hier noch der obere Teil der Frontfassade der Wiener Urania sturmtechnisch bewertet.

### B.1 Oberer Teil der Frontfassade

Besonders interessant an diesem Gebäude sind die reichlichen Verzierungen, aber auch die modernen Aufbauten und die Verschattungselemente.



Abbildung B.1: Frontfassade der Wiener Urania

### B.1.1 Expositionsbeiwert

Da die Ermittlung des Expositionsbeiwertes bereits ausführlich beschrieben wurde, werden hier nur die maximalen Ergebnisse angegeben. Für die Kuppel wird in Anlehnung an Punkt 3.3.7 maximal  $e = 3$  angenommen. Die Obeliskens und die Verzierung mit Kugel werden mit  $e = 4$  angesetzt, da diese direkt auf der Brüstung stehen und eine Höhe von  $2.00\text{ m}$  überschreiten. Der Dachbungalow wird als Walmdach mit  $30^\circ$  abgebildet und so ergibt sich ein maximaler Expositionsbeiwert  $e = 3$ . Die Balustrade wird als freistehende Wand betrachtet und so  $e = 4$  als Maximalwert angesetzt. Für die Fassade erhält man den Maximalwert  $e = 3$ .

### B.1.2 Gefährdungspotential

Das Gefährdungspotential ist laut Punkt 3.4 mit  $g = 6$  anzusetzen.

### B.1.3 Materialkennwert

Der Materialkennwert wird für metallische Werkstoff, Glas und synthetische Werkstoffe mit  $m = 2 * 1$  angesetzt, für die Fassade mit  $m = 2 * 1$  und für die Stuckarbeiten mit  $m = 3 * 1$ .

### B.1.4 Langzeitverhalten

Auf Grund der guten Sanierung kann der Langzeitverhaltensbeiwert mit  $l = 2$  angesetzt werden.

### B.1.5 Mechanische Bewertung

Im Folgenden ist für die einzelnen Bauteile der mechanische Bewertungsbeiwert angegeben.

Kuppel Observatorium	$a = 1$
Gesimse	$a = 1$
Fenster $\leq 2.5 m^2$	$a = 2$
Obelisken	$a = 3$
Dachbungalowfassade	$a = 0$
Verschattungselemente	$a = 3$
Verzierung mit Kugel	$a = 1$
Balustrade	$a = 1$
Inschriftgemälde	$a = 1$
Fassade $< 10 m^2$	$a = 1$

Die folgenden Abbildungen zeigen Detailaufnahmen der Bauteile.



Abbildung B.2: Ersichtlich sind die aerodynamisch geformten Verschattungselemente am Dachbungalow



Abbildung B.3: Die Verzierung mit Kugel direkt auf der Brüstung montiert

### B.1.6 Sonderbewertung des Bauteils

Für das gesamte Gebäude wird der Sonderbewertungsbeiwert  $s = 0$  angesetzt, ausgenommen sind die Obelisken, die Verschattungselemente, die Verzierung mit Kugel und das Inschriftgemälde, dort wird  $s = 1$  angesetzt.

### B.1.7 Bauteilfaktor

Der Bauteilfaktor findet sich für die Einzelbauteile zu:

Kuppel Observatorium	$f = 0.90$
Gesimse	$f = 1.00$
Fenster $\leq 2.5 \text{ m}^2$	$f = 0.85$
Obelisken	$f = 0.80$
Dachbungalowfassade	$f = 0.90$
Verschattungselemente	$f = 1.10$
Verzierung mit Kugel	$f = 0.75$
Balustrade	$f = 0.80$
Inschriftgemälde	$f = 0.75$
Fassade $< 10 \text{ m}^2$	$f = 0.65$

### B.1.8 Matrixauswertung

Für die einzelnen Bauteile ist immer der ungünstigste Beiwert angegeben und angesetzt.

Bauteil	Exposition	Gefährdungspotential	Materialkennwert	Langzeitverhalten	mechanische Bewertung	Sonderbewertung	Bauteilfaktor	Klassifikationswert
Kuppel Observatorium	3	6	2	2	1	0	0.90	13
Gesimse	3	6	3	2	1	0	1.00	15
Fenster $\leq 2.5 \text{ m}^2$	3	6	2	2	2	0	0.85	13
Obelisken	4	6	3	2	3	1	0.80	15
Dachbungalowfassade	3	6	2	2	0	0	0.90	12
Verschattungselemente	3	6	2	2	3	1	1.10	19
Verzierung mit Kugel	4	6	2	2	1	1	0.75	12
Balustrade	4	6	3	2	1	1	0.80	14
Inschriftgemälde	3	6	3	2	1	1	0.75	12
Fassade $< 10 \text{ m}^2$	3	6	2	2	1	0	0.65	9

Somit ist das Gebäude in einem sehr guten Zustand, alle Bauteile sind der Kategorie **Konform** zuzuweisen, ausgenommen das Gesimse, die Obelisken und die Verschattungselemente, welche der Kategorie **Akzeptabel** zuzuweisen sind.

B.1.9 Planliche Darstellung

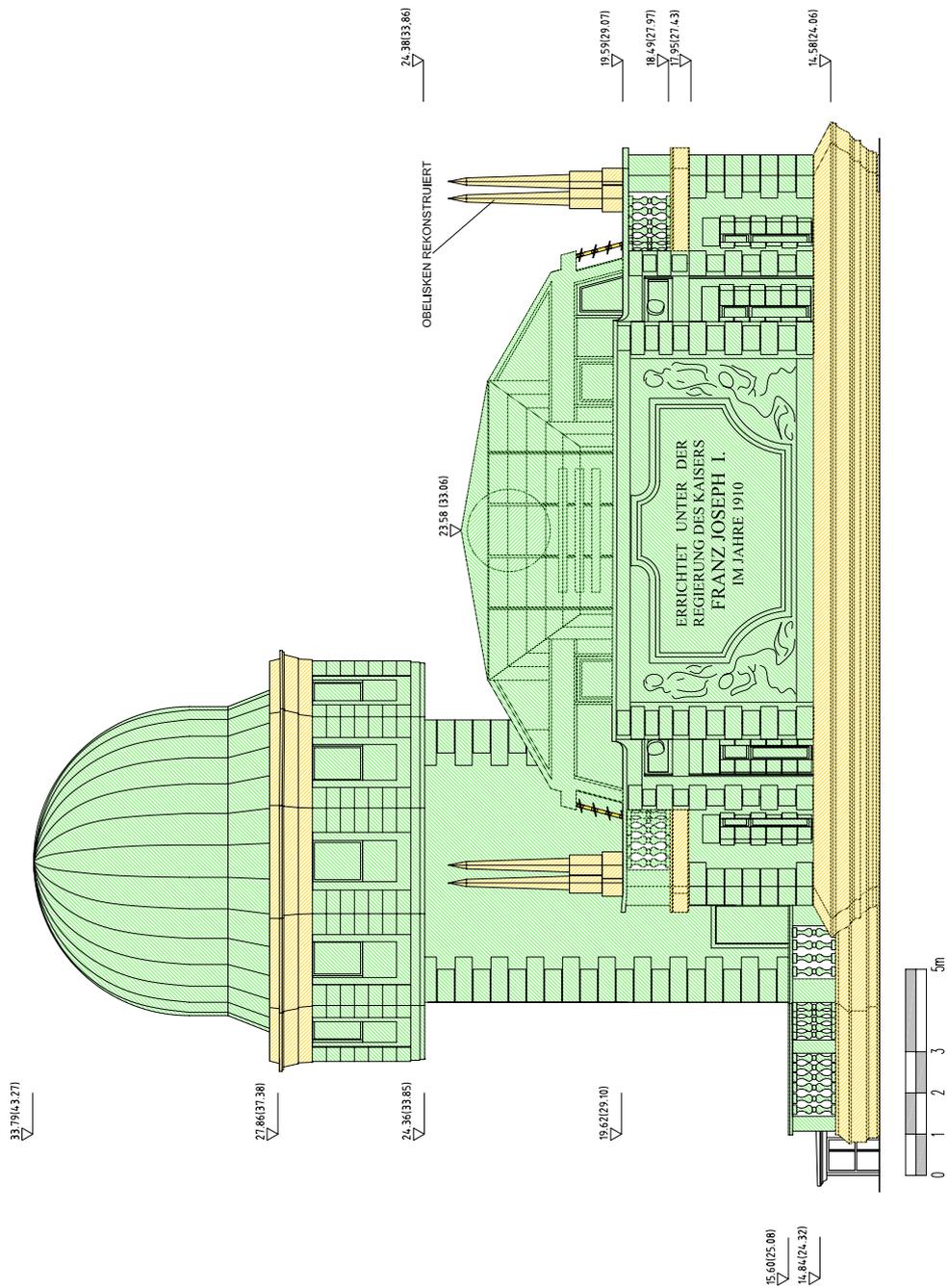


Abbildung B.4: Planliche Darstellung des oberen Teils der Frontfassade



# Anhang C

## Aufnahme des Amtshauses Währing

Um das Verständnis des Lesers noch zu vertiefen, werden hier ausgewählte Bauteile des Amtshauses Währing sturmtechnisch bewertet.

### C.1 Gesims

Einführend wird ein Gesimsteil am Amtshaus bewertet, wie in Abbildung C.1 sichtlich ist das Gesims durch Risse beschädigt. Bedeutung kommt dem Gesims durch seine relativ große Auskragung zu sowie durch den Gefährdungsbereich.



Abbildung C.1: Gesims am Amtshaus Währing, gut sind die Verwitterungsspuren zu erkennen

Für den Expositionsbeiwert wird  $e = 4$  angesetzt, da bei der Fassade  $e = 3$  anzusetzen wäre, für das Dach aber  $e = 4$  nach Kapitel 3 angenommen wird. Der Beiwert für das Gefährdungspotential ist mit  $g = 6$  anzusetzen, der aktuelle Materialkennwert ist mit  $m = 3 * 2$  angegeben, wäre das Bauteil in einem besseren Zustand, könnte  $m = 3 * 1$  angesetzt werden. Der Zustand des Gebäudes verlangt die Annahme des Langzeitverhaltensbeiwerts mit  $l = 3$ . Der mechanische Bewertungsbeiwert ist mit  $a = 2$  anzusetzen, der Sonderbewertungsbeiwert mit  $s = 0$ . Für den Bauteilfaktor findet sich  $f = 1.00$ .

Bauteil	Exposition	Gefährdungspotential	Materialkennwert	Langzeitverhalten	mechanische Bewertung	Sonderbewertung	Bauteilfaktor	Klassifikationswert
Gesims, aktuell	4	6	6	3	2	0	1.00	21
Gesims, saniert	4	6	3	2	2	0	1.00	17

Das Gesims im aktuellen Zustand ist der Kategorie **Beobachten** zuzuweisen, wäre das Gesims saniert, so würde es in der sturmtechnischen Bewertung der Kategorie **Akzeptabel** zuzuweisen sein. So würde das Gesims alle Anforderungen der sturmtechnischen Bewertung für bestehende Gebäude erfüllen.

## C.2 Dach, Sat-Antenne

Weiters wird die Rautendeckung des Dachs und die Sat-Antenne am Amtshaus Währing sturmtechnisch bewertet.



Abbildung C.2: Dach und Sat-Antenne am Amtshaus Währing

Da die Beiwertfindung dem Leser sicher kaum mehr Mühe bereitet, wird hier Aufgrund der einfachen Bauteile auf eine genauere Beschreibung verzichtet.

Bauteil	Exposition	Gefährdungspotential	Materialkennwert	Langzeitverhalten	mechanische Bewertung	Sonderbewertung	Bauteilfaktor	Klassifikationswert
Dach	4	6	2	1	2	0	0.80	12
Sat-Antenne	4	6	2	2	2	2	1.00	18

Somit ist das Dach der Kategorie **Konform** und die Sat-Antenne der Kategorie **Akzeptabel** zuzuweisen

## C.3 Blechdach, Sirenenmasten

Abschließend wird noch das Blechdach und der Sirenenmasten bewertet.



Abbildung C.3: Blechdach und Sirenenmasten am Amtshaus Währing

Der Expositionsbeiwert für beide Bauteile ergibt sich mit  $e = 4$ . Das Gefährdungspotential wird mit  $g = 6$  angenommen. Materialkennwert für metallische Werkstoffe ist mit  $m = 2 * 1$  gegeben, zu berücksichtigen ist für das Blechdach der schlechte Materialzustand. Das Langzeitverhalten für das Blechdach sollte mit  $l = 6$  gewählt werden, für den Sirenenmasten ist  $l = 1$  anzusetzen. Der mechanische Bewertungsbeiwert für das Blechdach ist  $a = 1$  und für den Sirenenmasten mit  $20 \leq \lambda \leq 50$  ist  $a = 4$  anzusetzen. Die Sonderbewertung ist mit  $s = 0$  richtig gewählt. Der Bauteilfaktor findet sich im Kapitel 3 unter Punkt 3.9.

Bauteil	Exposition	Gefährdungspotential	Materialkennwert	Langzeitverhalten	mechanische Bewertung	Sonderbewertung	Bauteilfaktor	Klassifikationswert
Blechdach	4	6	4	6	1	0	0.90	19
Sirenenmasten	4	6	2	1	4	0	1.00	17

Das Blechdach ist gerade noch der Kategorie **Akzeptabel** zuzuweisen. Bei dem Sirenenmasten könnte von einer genaueren statischen Berechnung ausgegangen werden, jedoch würde sich die Zuordnung in die Kategorie **Akzeptabel** nicht ändern.

# Anhang D

## Aufnahme des Kindertagegebäudes

### D.1 Hauptgebäude

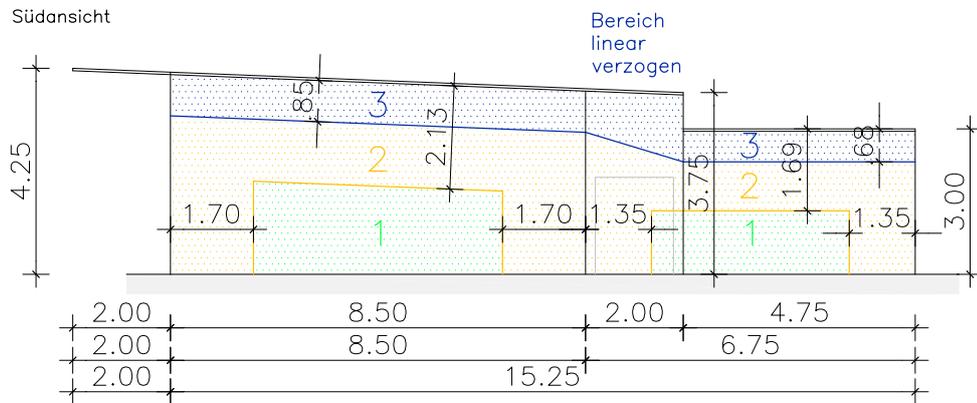
Anhand des Beispiels Kindergarten Anton-Schall-Gasse 9 soll die qualitative sturmtechnische Bewertung an einem Neubau gezeigt werden. Da das Gebäude eine sehr einfache Form hat, wird das gesamte Gebäude mit den umgebenden Bauteilen bewertet, allein auf eine exakte Plandarstellung wird verzichtet.



Abbildung D.1: Bild aus Nordwest des Gebäudes

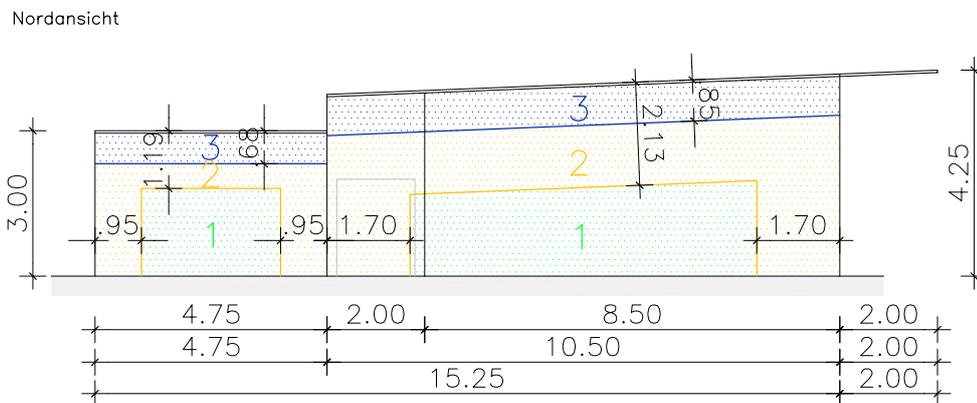
#### D.1.1 Ermittlung des Expositionsbeiwerts

Die Ermittlung des Expositionsbeiwertes erfolgt wie in Punkt 3.3 angegeben.



Gesamtes Gebäude $b=15.25\text{m}$ , $h=4.25\text{m}$ $w=b$ oder $2h$ kleiner Wert ist maßgebend daraus folgt $w=8.50\text{m}$ Rücksprung ist zu berücksichtigen! siehe Dachdraufsicht	Hauptgebäude $b=8.50\text{m}$ , $h=4.25\text{m}$ $w=b$ oder $2h$ kleiner Wert ist maßgebend daraus folgt $w=8.50\text{m}$ $w/4=2.13\text{m}$ ; $w/5=1.70\text{m}$ ; $w/10=0.85\text{m}$	Nebengebäude $b=6.75\text{m}$ , $h=3.75\text{m}$ $w=b$ oder $2h$ kleiner Wert ist maßgebend daraus folgt $w=6.75\text{m}$ $w/4=1.69\text{m}$ ; $w/5=1.35\text{m}$ ; $w/10=0.68\text{m}$
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

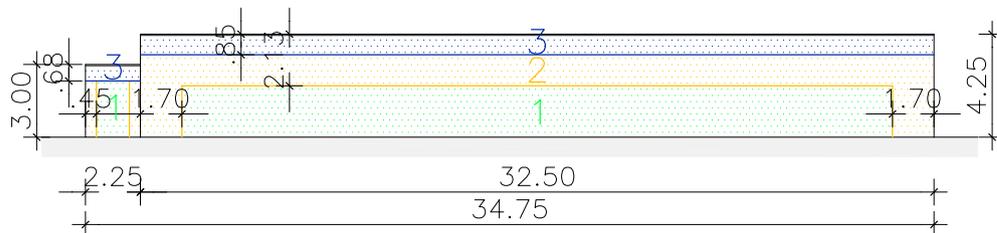
Abbildung D.2: Südansicht des Gebäudes mit eingetragenen Expositionswerten



Gesamtes Gebäude $b=15.25\text{m}$ , $h=4.25\text{m}$ $w=b$ oder $2h$ kleiner Wert ist maßgebend daraus folgt $w=8.50\text{m}$ Rücksprung ist zu berücksichtigen! siehe Dachdraufsicht	Hauptgebäude $b=10.50\text{m}$ , $h=4.25\text{m}$ $w=b$ oder $2h$ kleiner Wert ist maßgebend daraus folgt $w=8.50\text{m}$ $w/4=2.13\text{m}$ ; $w/5=1.70\text{m}$ ; $w/10=0.85\text{m}$	Nebengebäude $b=4.75\text{m}$ , $h=3.00\text{m}$ $w=b$ oder $2h$ kleiner Wert ist maßgebend daraus folgt $w=4.75\text{m}$ $w/4=1.19\text{m}$ ; $w/5=0.95\text{m}$ ; $w/10\approx 0.68\text{m}$ wie zuvor
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Abbildung D.3: Nordansicht des Gebäudes mit eingetragenen Expositionswerten

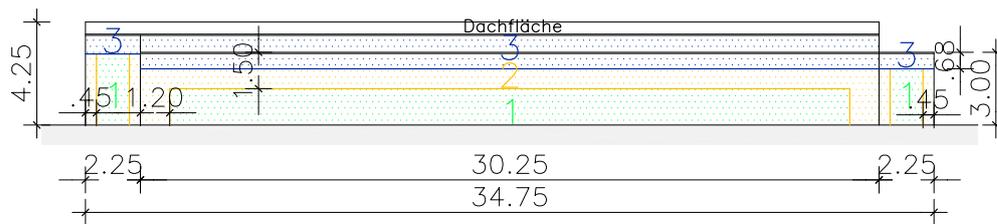
Westansicht



Gesamtes Gebäude $b=34.75\text{m}$ , $h=4.25\text{m}$ $w=b$ oder $2h$ kleiner Wert ist maßgebend daraus folgt $w=8.50\text{m}$ Rücksprung ist zu berücksichtigen! siehe Dachdraufsicht	Hauptgebäude $b=32.50\text{m}$ , $h=4.25\text{m}$ $w=b$ oder $2h$ kleiner Wert ist maßgebend daraus folgt $w=8.50\text{m}$ $w/4=2.13\text{m}$ ; $w/5=1.70\text{m}$ ; $w/10=0.85\text{m}$	Nebengebäude $b=2.25\text{m}$ , $h=3.00\text{m}$ $w=b$ oder $2h$ kleiner Wert ist maßgebend daraus folgt $w=2.25\text{m}$ $w/4=0.56\text{m}$ ; $w/5=0.45\text{m}$ ; $w/10\approx 0.68\text{m}$ wie zuvor
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Abbildung D.4: Westansicht des Gebäudes mit eingetragenen Expositionswerten

Ostansicht



Gesamtes Gebäude $b=34.75\text{m}$ , $h=3.75\text{m}$ $w=b$ oder $2h$ kleiner Wert ist maßgebend daraus folgt $w=7.50\text{m}$ Rücksprung ist zu berücksichtigen! siehe Dachdraufsicht	Nebengebäude $b=30.25\text{m}$ , $h=3.00\text{m}$ $w=b$ oder $2h$ kleiner Wert ist maßgebend daraus folgt $w=6.00\text{m}$ $w/4=1.50\text{m}$ ; $w/5=1.20\text{m}$ ; $w/10\approx 0.68\text{m}$ wie zuvor	Teilbereiche $b=2.25\text{m}$ , $h=3.00\text{m}$ $w=b$ oder $2h$ kleiner Wert ist maßgebend daraus folgt $w=2.25\text{m}$ $w/4=0.56\text{m}$ ; $w/5=0.45\text{m}$ ; $w/10\approx 0.68\text{m}$ wie zuvor
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Abbildung D.5: Ostansicht des Gebäudes mit eingetragenen Expositionswerten

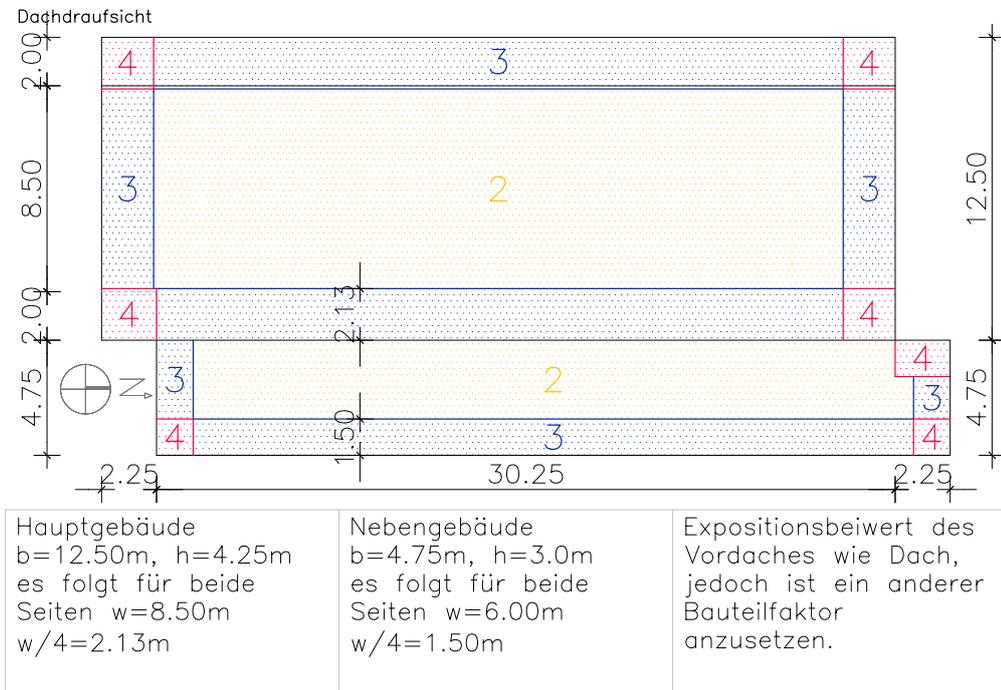


Abbildung D.6: Dachdraufsicht des Gebäudes mit eingetragenen Expositionsbeiwerten

### D.1.2 Gefährdungspotential

Der Eingangsbereich, in der Dachdraufsicht befindet sich dort der Nordpfeil, ist mit  $g = 4$  zu bewerten, die übrigen Flächen sind nur durch das Gebäude betretbar, somit ergibt sich  $g = 3$ .

### D.1.3 Materialkennwert

Abdeckblech, Attika	$m = 2 * 1$
Blitzschutzanlage	$m = 2 * 1$
Dach, beschüttet	$m = 3 * 1$
Fassadenplatte, $< 10 m^2$	$m = 2 * 1$
Fenster, Flügelmaß $\leq 2.5 m^2$	$m = 2 * 1$
Fenster, Flügelmaß $> 2.5 m^2$	$m = 2 * 1$
Glasflächen	$m = 2 * 1$
Holzverschalung	$m = 2 * 1$
Jalousie	$m = 2 * 1$
Lüftungskamin	$m = 2 * 1$
Türen	$m = 2 * 1$
Vordach	$m = 2 * 1$

### D.1.4 Langzeitverhalten

Für das gesamte Gebäude ist  $l = 1$  anzusetzen.

### D.1.5 Mechanische Bewertung

Abdeckblech, Attika	$a = 1$
Blitzschutzanlage	$a = 1$
Dach, beschüttet	$a = 0$
Fassadenplatte, $< 10 m^2$	$a = 1$
Fenster, Flügelmaß $\leq 2.5 m^2$	$a = 2$
Fenster, Flügelmaß $> 2.5 m^2$	$a = 2$
Glasflächen	$a = 2$
Holzverschalung	$a = 2$
Jalousie	$a = 3$
Lüftungskamin	$a = 2$
Türen	$a = 1$
Vordach	$a = 2$

### D.1.6 Sonderbewertung des Bauteils

Abdeckblech, Attika	$s = 0$
Blitzschutzanlage	$s = 0$
Dach, beschüttet	$s = 0$
Fassadenplatte, $< 10 \text{ m}^2$	$s = 0$
Fenster, Flügelmaß $\leq 2.5 \text{ m}^2$	$s = 0$
Fenster, Flügelmaß $> 2.5 \text{ m}^2$	$s = 0$
Glasflächen	$s = 0$
Holzverschalung	$s = 0$
Jalousie	$s = 1$
Lüftungskamin	$s = 0$
Türen	$s = 0$
Vordach	$s = 0$

### D.1.7 Bauteilfaktor

Abdeckblech, Attika	$f = 0.95$
Blitzschutzanlage	$f = 0.90$
Dach, beschüttet	$f = 0.70$
Fassadenplatte, $< 10 \text{ m}^2$	$f = 0.65$
Fenster, Flügelmaß $\leq 2.5 \text{ m}^2$	$f = 0.85$
Fenster, Flügelmaß $> 2.5 \text{ m}^2$	$f = 0.85$
Glasflächen	$f = 1.10$
Holzverschalung	$f = 0.90$
Jalousie	$f = 1.20$
Lüftungskamin	$f = 1.20$
Türen	$f = 0.80$
Vordach	$f = 1.00$

### D.1.8 Matrixauswertung

Für die einzelnen Bauteile ist immer nur der ungünstigste Zustand angegeben.

Bauteil	Exposition	Gefährdungspotential	Materialkennwert	Langzeitverhalten	mechanische Bewertung	Sonderbewertung	Bauteilfaktor	Klassifikationswert
Abdeckblech, Attika	2	4	1	1	1	0	0.95	9
Blitzschutzanlage	2	3	1	1	1	0	0.90	8
Dach, beschüttet	3	4	0	1	0	0	0.70	8
Fassadenplatte, $< 10 \text{ m}^2$	2	4	1	1	1	0	0.65	9
Fenster, Flügelmaß $\leq 2.5 \text{ m}^2$	2	4	2	1	2	0	0.85	11
Fenster, Flügelmaß $> 2.5 \text{ m}^2$	2	4	2	1	2	0	0.85	11
Glasflächen	2	4	2	1	2	0	1.10	11
Holzverschalung	2	4	2	1	2	0	0.90	11
Jalousie	2	4	3	1	3	1	1.20	14
Lüftungskamin	2	4	2	1	2	0	1.20	11
Türen	2	4	1	1	1	0	0.80	9
Vordach	2	4	2	1	2	0	1.00	11

Alle Bauteile sind der Kategorie **Konform** zuzuweisen und somit erfüllt das Gebäude alle Kriterien der sturmtechnischen Sicherheit.

## D.2 Umgebende Bauteile

### D.2.1 Containergarage

Nach Kapitel 3 werden folgenden Werte für die Containergarage gefunden und laut Formel 3.1 der Klassifikationswert  $K$  errechnet.



Abbildung D.7: Neben dem Hauptgebäude befindliche metallische vorproduzierte Containergarage

**Der Expositionsbeiwert  $e$**  ist für die Wandflächen maximal 3 und für eine Satteldach mit einer Neigung von  $10^\circ$  maximal 4, so wird für die gesamte Containergarage  $e = 4$  angesetzt.

**Das Gefährdungspotential  $g$**  wird mit  $g = 1$  angesetzt, da der Bereich bei Sturmereignissen als in der Regel nicht betreten angenommen werden kann.

**Der Materialkennwert  $m$**  für metallische Werkstoffe ist mit  $m = 2 * 1$  gegeben.

**Das Langzeitverhalten  $l$**  ergibt sich zu  $l = 1$ .

**Der mechanische Bewertungsbeiwert  $a$**  ist nach Punkt 3.7 in Kapitel 3 mit  $a = 0$  anzusetzen.

**Der Sonderbewertungsbeiwert  $s$**  ist mit  $s = 1$  anzusetzen, da die Containergarage nicht ausschließlich für diesen Standort konzipiert wurde.

Der Bauteilfaktor  $f$  ist im Kapitel 3 unter Punkt 3.9 mit  $f = 1.50$  gegeben.

### Matrixauswertung

Bauteil	Exposition	Gefährdungspotential	Materialkennwert	Langzeitverhalten	mechanische Bewertung	Sonderbewertung	Bauteilfaktor	Klassifikationswert
Containergarage	4	1	2	1	0	1	1.50	14

Der Klassifikationsbeiwert ergibt sich zu  $K = 14$  und somit ist die gesamte Containergarage der Kategorie **Konform** zuzuweisen.

### D.2.2 Müllcontainerüberdachung

Bei der Müllcontainerüberdachung werden die eigentliche Überdachung und die Müllcontainer separat betrachtet.



Abbildung D.8: Überdachung mit den darunter stehenden Müllcontainern

**Der Expositionsbeiwert  $e$**  ist für die Überdachung mit  $e = 4$  unter zu Hilfenahme der Norm und Punkt 3.3.11 in Kapitel 3 anzusetzen. Für die Müllcontainer wird auch  $e = 4$  angesetzt.

**Das Gefährdungspotential  $g$**  wird mit  $g = 1$  angesetzt, da der Bereich bei Sturmereignissen, als in der Regel nicht betreten angenommen werden kann.

**Der Materialkennwert  $m$**  für metallische Werkstoffe ist mit  $m = 2 * 1$  gegeben, wird hier auch für die Müllcontainer angesetzt.

**Das Langzeitverhalten  $l$**  ergibt sich zu  $l = 1$ .

**Der mechanische Bewertungsbeiwert  $a$**  ist nach Punkt 3.7 in Kapitel 3 mit  $a = 1$  für die Überdachung und die Müllcontainer anzusetzen.

**Der Sonderbewertungsbeiwert  $s$**  ist mit  $s = 0$  für die Überdachung anzusetzen, für die Müllcontainer empfiehlt es sich,  $s = 1$  anzusetzen, da von einer genauen Bemessung nicht ausgegangen werden kann.

Der **Bauteilfaktor**  $f$  ist in Kapitel 3 unter Punkt 3.9 mit  $f = 0.90$  für die Überdachung gegeben, für die Müllcontainer (lose) ist  $f = 2.00$  anzusetzen.

### Matrixauswertung

Bauteil	Exposition	Gefährdungspotential	Materialkennwert	Langzeitverhalten	mechanische Bewertung	Sonderbewertung	Bauteilfaktor	Klassifikationswert
Überdachung	4	1	2	1	0	1	0.90	8
Müllcontainer	4	1	2	1	1	1	2.00	20

Der Klassifikationsbeiwert ergibt sich für die Überdachung zu  $K = 8$  und somit ist diese der Kategorie **Konform** zuzuweisen. Die Müllcontainer sind nur der Kategorie **Beobachten** zuzuweisen, welches aber kein Problem darstellt, da alleine durch Befestigungsmaßnahmen eine wesentliche Kategorieverbesserung möglich ist. Hier sei aber darauf hingewiesen, dass es sicher empfiehlt, die Müllcontainer anzubinden, so würde sich der Bauteilfaktor  $f = 1.00$  ergeben, und so wären auch die Müllcontainer der Kategorie **Konform** zuzuweisen.

## D.3 Problempunkte

Bei der Bewertung des Gebäudes wurden nur Mängel an der Attika festgestellt, diese ist zu wenig hoch. Dadurch besteht die Gefahr der Überwehung der Beschüttung. Siehe Anhang F.

Weiters wäre eine entsprechende Befestigung der Müllcontainer anzubringen.



# Anhang E

## Aufnahme des Schulgebäudes

Die Volksschule Donaucity entspricht den Kriterien der sturmtechnischen Bewertung, deshalb werden hier nur wenige ausgewählte Bauteile exemplarisch bewertet.

### E.1 Aufnahme der Bauteile

Die folgenden Bilder zeigen die Bauteile in Zusammenhang mit dem Gesamtensemble.



Abbildung E.1: Nordostansicht des Gebäudes, gut zu erkennen die außergewöhnliche Attikaform, Verschattungselement und den Freiraum unter dem Gebäude



Abbildung E.2: Aufnahme im Hof des Gebäudes, gut zu erkennen ist die geschwungene Terrassenüberdachung.

## E.2 Analyse der Bauteile

### E.2.1 Attikaaufbau

Die außergewöhnliche Attikaform verlangt den Ansatz des mechanischen Bewertungsbeiwerts mit  $a = 4$ , da es sich um ein schlankes Bauteil  $\lambda \geq 20$  handelt. Der Expositionsbeiwert ist mit  $e = 4$  anzusetzen, da es sich bei der Attika um eine freistehende Wand handelt. Der Sonderbewertungsbeiwert ist mit  $s = 0$  anzunehmen und der Bauteilfaktor  $f = 0.90$  für die Attika ist auch hier anzuwenden.

Bauteil	Exposition	Gefährdungspotential	Materialkennwert	Langzeitverhalten	mechanische Bewertung	Sonderbewertung	Bauteilfaktor	Klassifikationswert
Attikaaufbau	4	6	2	1	4	0	0.90	15

Der Attikaaufbau ist der Kategorie **Konform** zuzuordnen.

### E.2.2 Fassade, Verschattungselemente

Die Wellblechplatten an der Fassade sind mit dem Bauteilfaktor  $f = 0.70$  für Fassadenplatten  $< 1 \text{ m}^2$  anzusetzen. Zu beachten gilt, dass durch den Freiraum unter dem Gebäude der untere Bereich der Fassade wie der Traufenbereich zu behandeln ist und sich so  $e = 3$  ergibt. Die Abmessung  $w$  wird anhand der Abmessungen des Baukörpers ermittelt. Der Bereich unter dem Gebäude wird wie ein Flachdach bewertet. Kurzum wird der Baukörper wie ein in der Luft schwebendes Objekt behandelt, wobei alle strömungsparallele horizontalen Flächen wie Dächer behandelt werden.

Die Verschattungselemente sind wie bereits im vorangegangenen Kapitel gezeigt zu behandeln.

### E.2.3 Terrassenüberdachung

Die Terrassenüberdachung kann wie ein Vordach behandelt werden, wobei das Dach als eben anzunehmen ist, die geschwungene Form kann vernachlässigt werden. Um das Dach aber richtig zu bewerten, ist der Bereich A umlaufend

anzusetzen. Das Verhältnis  $h/H = 1$  ist anzusetzen,  $d$  ist die Breite des Daches. So ergibt sich mit  $h/d = 3.5$  für den Bereich A  $e = 4$  und für den Bereich B  $e = 3$ .

# Anhang F

## Die windgerechte Errichtung von Gebäuden

Diese Zusammenstellung dient zur Veranschaulichung aerodynamischer und sturmtechnischer Probleme. Sie wurde bewusst stark graphisch ausgerichtet, und es wurden existierende Beispiele bevorzugt. Der Leser sei aber bewusst durch diese Zusammenstellung zum Nachdenken angeregt.

## F.1 Müllcontainer



Abbildung F.1: Umgestürzte Müllcontainer, im kleinen Bild ist der gelockerte oder schlampig geschlossene Haltehaken ersichtlich, Windgeschwindigkeit ca.  $30 \text{ km/h}$

## F.2 Attika



Abbildung F.2: Zu geringe Höhe der Attika, somit Gefahr der Überwehung der Beschüttung, Mindestüberstand sollte 2-mal den Größtkorndurchmesser der Beschüttung betragen; Korn ab Korngröße 16 ist zu verwenden

### F.3 Wind und Kamineinzug

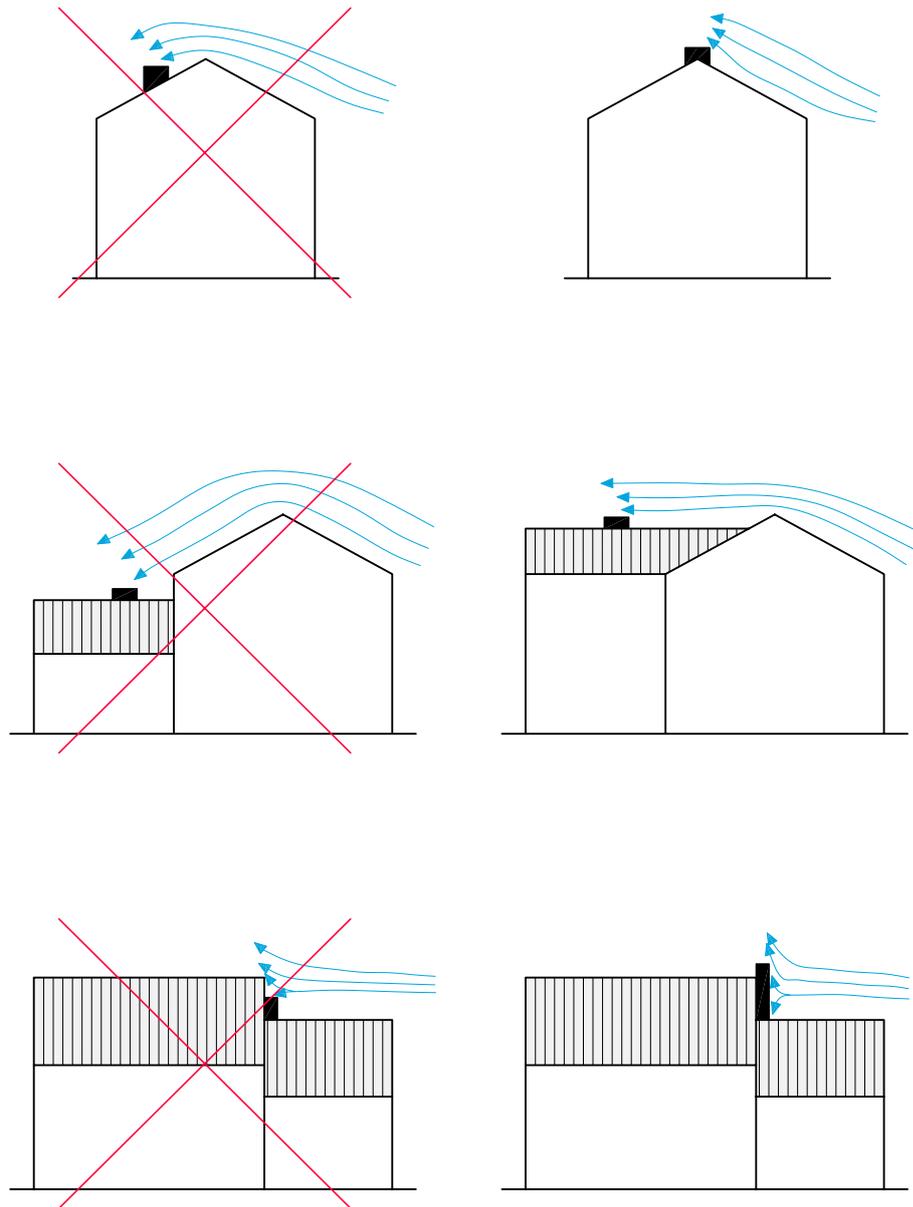


Abbildung F.3: Vermeidung des Kamineinzugs aus [5] entnommen

# Literaturverzeichnis

- [1] Żurański Antoni, *Windeinflüsse auf Baukonstruktionen 2.Auflage*, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln-Braunsfeld, 1978.
- [2] Bundesrecht, *Allgemeines Bürgerliches Gesetzbuch*, Stand 1.10.2007.
- [3] Mätzler Christian, *Radarmeteorologie Vorlesungsunterlagen*, Institut für Angewandte Physik, Universität Bern, 2003.
- [4] Kundmachung des Landeshauptmannes von Wien, *Landesgesetzblatt für Wien*, Ausgegeben am 23. November 2007.
- [5] Neufert Ernst, *Neufert Bauentwurfslehre, 38. Auflage*, Vieweg & Sohn, Wiesbaden, 2005.
- [6] ÖNORM B 1991-1-4; Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke, *Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Nationale Festlegungen zur ÖNORM EN 1991-1-4 und nationale Ergänzungen*, Ausgabe: 2006-12-01.
- [7] ÖNORM B 1991-1-4 Beiblatt 1; Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke, *Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Beiblatt 1: Berechnungsbeispiele*, Ausgabe: 2007-12-01.
- [8] ÖNORM EN 1991-1-4; Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke, *Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten*, Ausgabe: 2005-11-01.
- [9] ÖNORM EN 12810-1; Fassadengerüste aus vorgefertigten Bauteilen, *Teil 1: Produktfestlegung*, Ausgabe: 2004-06-01.
- [10] Ziegler Franz, *Technische Mechanik der festen und flüssigen Körper 2.Auflage*, Springer, Wien, New York, 2006.
- [11] Sockel Helmut, *Aerodynamik der Bauwerke*, Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 1984.

- [12] Oertel Herbert, *Strömungsmechanik*, Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 1999.
- [13] Rubin Helmut; Schneider Klaus-Jürgen, *Baustatik Theorie I. und II. Ordnung, 4. Auflage*, Werner Verlag, Düsseldorf, 2002.
- [14] Spurk Joseph H.; Aksel Nuri, *Strömungslehre 7.Auflage*, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1992.
- [15] ÖNORM EN 12811-1; Temporäre Konstruktionen für Bauwerke, *Teil 1: Arbeitsgerüste - Leistungsanforderungen, Entwurf, Konstruktion und Bemessung*, Ausgabe: 2004-06-01.
- [16] Tasuku Teshirogi; Tsukasa Yoneyama, *Modern Millimeter-Wave Technologies*, Ios Pr Inc, Amsterdam, January 2000.