

VEREINFACHTE EINWIRKUNGSLASTBILDER FÜR DIE BEMESSUNG VON HALLENKONSTRUKTIONEN

**DIPLOMARBEIT
VON
THOMAS WEBER**

**Eingereicht am
INSTITUT FÜR STAHLBAU
TECHNISCHE UNIVERSITÄT GRAZ**

**Betreuer: o.Univ.-Prof. DI Dr.techn. Harald Unterweger,
DI Dr.techn. Markus Kettler**

ERKLÄRUNG

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

Graz, im Januar 2012

Thomas Weber

KURZFASSUNG

VEREINFACHTE EINWIRKUNGSLASTBILDER FÜR DIE BEMESSUNG VON HALLENKONSTRUKTIONEN

In der heutigen Bemessungspraxis nach Eurocode sind für Hallenkonstruktionen zum Teil sehr umfangreiche Windlastberechnungen notwendig, da sie sich unter anderem an der Hallengeometrie, der Geländekategorie sowie der Windanströmrichtung orientieren. Dies hat zur Folge, dass auch bei geringfügigen Änderungen der Gebäudeabmessungen neue Windlastberechnungen durchzuführen sind.

Für die Entwurfsphase einer Halle bzw. für erste Abschätzungen oder Kontrollen von Schnittkräften ist es daher unverhältnismäßig aufwendig, diese umfangreichen Windlastberechnungen durchzuführen. Vielmehr ist es in der Praxis erwünscht durch Aufbereitung vereinfachter Lastansätze, hinreichend genaue Schnittkräfte aus der Windbelastung zu erhalten, um diese dann mit anderen Einwirkungen zu kombinieren und dadurch auf eine Gesamtbelastung schließen zu können.

Diese Diplomarbeit zeigt die Auswirkungen von Windbelastungen auf Hallenkonstruktionen nach ÖNORM B 1991-1-4 sowie nach DIN EN 1991-1-4/NA und welche vereinfachten Windlastbilder mit Ersatzdruckbeiwerten stattdessen angesetzt werden können.

Wesentliches Gesamtergebnis der Arbeit ist, dass die zum Teil sehr umfangreichen und unübersichtlichen Windlastberechnungen durch wenige bemessungsbestimmende Windlastfälle ersetzt werden können und dadurch die Windlastberechnung deutlich vereinfachen.

ABSTRACT

SIMPLIFIED LOAD - CONFIGURATIONS FOR THE DESIGN OF INDUSTRIAL BUILDINGS

In current design practice, according to the Eurocode, for industrial buildings an extensive wind load calculation is necessary, depending on geometry, ground category and wind direction. As a consequence minor changes of geometry lead to new wind load calculations. For design, first assessment or checks of internal forces this wind load calculations are too time consuming. In practice it is desired, to get sufficiently precise forces by simplified design wind loads and combine these with other loads to end up with the design loads.

This master thesis shows the effects of wind loads on industrial buildings, based on ÖNORM B 1991-1-4 and DIN EN 1991-1-4/NA in addition simplified wind load configurations with modified coefficients are presented.

The main objective of this thesis is, that the extensive wind load calculation can be replaced by simplified wind load configurations.

INHALTSVERZEICHNIS

ERKLÄRUNG	2
KURZFASSUNG	3
ABSTRACT	3
INHALTSVERZEICHNIS	4
1. EINLEITUNG UND MOTIVATION	6
2. ZIEL DER ARBEIT UND GÜLTIGKEITSBEREICH	8
3. EINWIRKUNGEN IM EUROCODE	9
3.1 Einleitung	9
3.2 Windeinwirkung auf Hallen	10
3.2.1 Basiswindgeschwindigkeit v_b	10
3.2.2 Basisgeschwindigkeitsdruck q_b	12
3.2.3 Geländekategorie	12
3.2.4 Böengeschwindigkeitsdruck q_p	14
3.2.5 Außendruckbeiwerte	17
3.2.6 Innendruckbeiwerte	27
3.3 Kombination der Einwirkungen	28
3.3.1 Kombination der Einwirkungen	29
3.3.2 Kombinationsbeiwerte ψ im Hochbau	32
3.3.3 Teilsicherheitsbeiwerte γ im Hochbau	34
3.3.4 Anwendung auf Hallen	37
4. AUFBEREITETER BEMESSUNGSBEHELFBELF	42
4.1 Systemübersicht und Gültigkeitsbereich	42
4.1.1 Entkoppelte Systeme	43
4.1.2 Gekoppelte Systeme	45
4.2 Maßgebende Windlastfälle für die einzelnen Systeme	48
4.2.1 Böengeschwindigkeitsdruck q_p	48

4.2.2	Ersatzdruckbeiwerte für entkoppelte Dachträger	50
4.2.3	Ermittlung der resultierenden Windbelastung für Stützen	57
4.3	Maßgebende Einwirkungskombinationen - ULS	64
4.4	Schlussfolgerungen	66
	LITERATURVERZEICHNIS	67
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	68
	TABELLENVERZEICHNIS	69

1. EINLEITUNG UND MOTIVATION

In der heutigen Bemessungspraxis nach Eurocode sind für Hallenkonstruktionen (bzw. für Gebäude) zum Teil sehr umfangreiche Windlastberechnungen notwendig, da sie sich unter anderem an der Hallengeometrie, der Geländekategorie sowie der Windanströmrichtung orientieren. Dies hat zur Folge, dass auch bei geringfügigen Änderungen der Gebäudeabmessungen neue Windlastberechnungen und neue Zoneneinteilungen (Regionen mit konstanter Windbelastung) durchzuführen sind.

Beispielhaft zeigt die Abbildung 1 die Verteilung der außenseitigen, aerodynamischen Beiwerte für Dach- und Wandflächen.

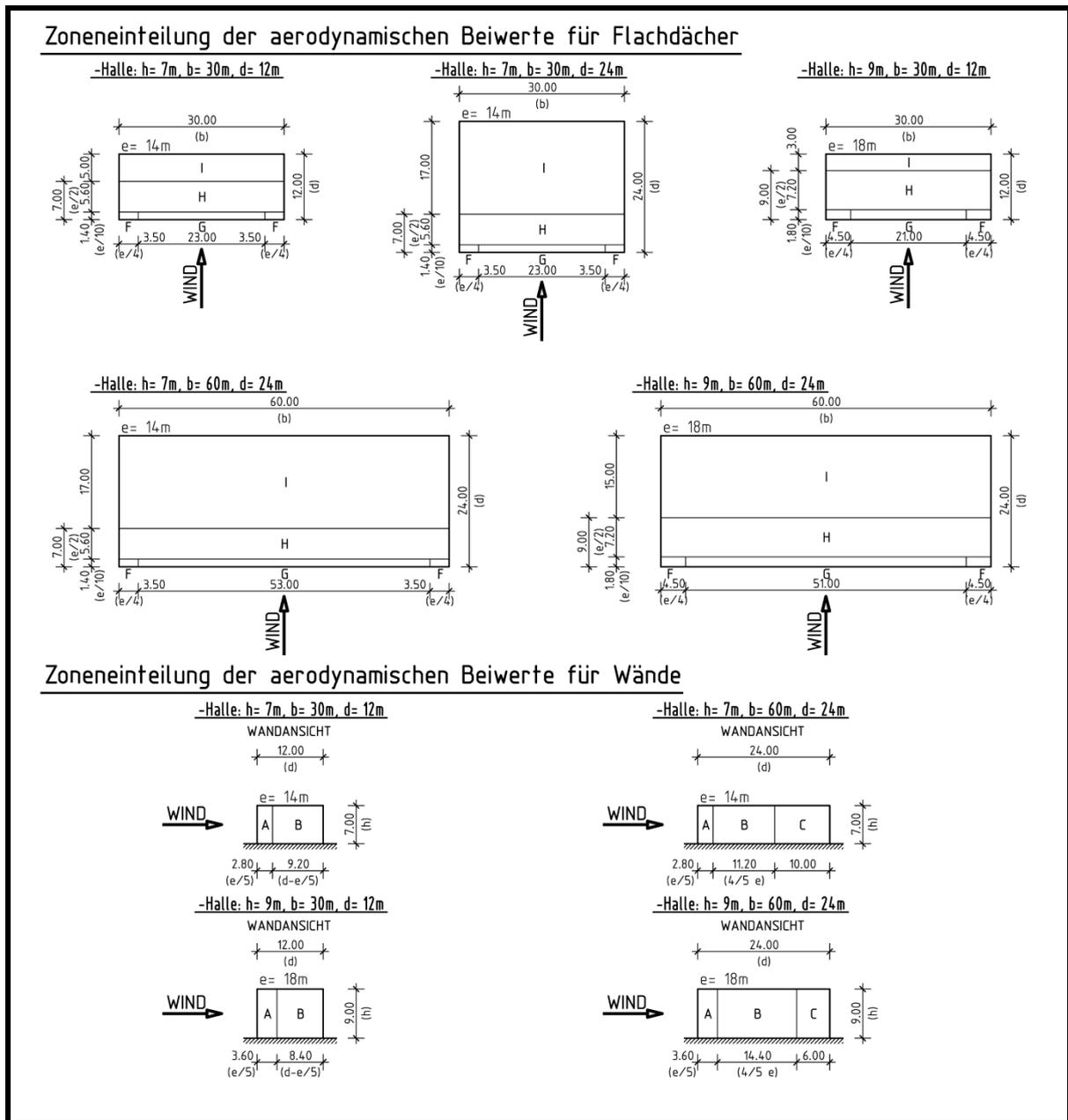


Abbildung 1: Zoneneinteilung der aerodynamischen Beiwerte

Daraus folgen auch ungleichmäßige Lastbilder für die einzelnen Dachträger, wie beispielhaft in Abbildung 2 dargestellt.

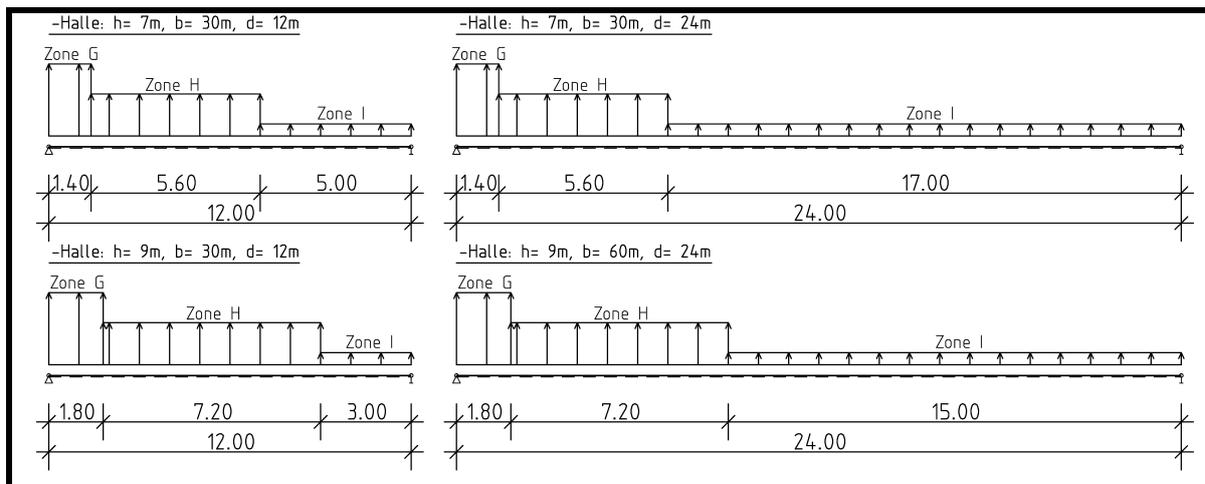


Abbildung 2: Lastbilder für einzelne Dachträger

Für die Entwurfsphase einer Halle bzw. für erste Abschätzungen oder Kontrollen von Schnittkräften ist es daher unverhältnismäßig aufwendig, diese umfangreichen Windlastberechnungen durchzuführen. Vielmehr ist es in der Praxis erwünscht durch Aufbereitung vereinfachter Lastansätze, hinreichend genaue Schnittkräfte aus der Windbelastung zu erhalten, um diese dann mit anderen Einwirkungen (wie z.B. Eigengewichte; Schnee usw.) kombinieren und dadurch auf eine Gesamtbelastung schließen zu können.

Genau hier setzt diese Diplomarbeit an, welche die zum Teil aufwendigen Windlastberechnungen durch Verwendung von vereinfachten Windlastbildern mit Ersatzdruckbeiwerten deutlich erleichtert.

2. ZIEL DER ARBEIT UND GÜLTIGKEITSBEREICH

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist die zum Teil sehr umfangreichen und unübersichtlichen Windlastberechnung für Hallenkonstruktionen durch einen Bemessungsbehelf zu vereinfachen, in welchem erforderliche Ersatzdruckbeiwerte und bemessungsbestimmenden Lastfälle bzw. Lastfallkombinationen angeführt werden. Diese Aufbereitung bezieht sich auf die Haupttragkonstruktion von Hallen - dies sind Stützen und Dachträger. Übliche Hallen weisen dabei ebene Haupttragkonstruktionen in Hallenquerrichtung auf - die sogenannten "Regelbinder". Da mittlerweile - wie später nach genau erläutert - unterschiedliche ergänzende nationale Vorgaben zum Eurocode [1] (NAD Österreich [2] & NAD Deutschland [3]) vorliegen und dieser Bemessungsbehelf sowohl für Hallen in Österreich als auch für Hallen in Deutschland anwendbar sein soll, ist es notwendig, zwischen diesen beiden nationalen Anhängen zu unterscheiden. Die in diesem Behelf angeführten Ersatzbeiwerte, Lastfälle bzw. Lastfallkombinationen gelten in erster Linie für einen innenliegenden Regelbinder und stellen eine Vereinfachung dar, weshalb es zum Teil zu konservativen Ergebnissen kommen kann. Im Zuge dieser Diplomarbeit wurden nur Hallen mit einer Länge von 30, 60 und 90m; einer Breite von 12, 18 und 24m sowie einer Höhe von 7 und 9m untersucht, dies deckt den üblichen Parameterbereich von Hallen ab. Die vorgegebenen detaillierten Windlastangaben (z.B. Zoneneinteilungen) und Berechnungen zur Ermittlung der vereinfachten Lastbilder sind dem Anhang A dieser Diplomarbeit zu entnehmen. Bei den statischen Systemen der Regelbinder wurde zwischen sogenannten entkoppelten und gekoppelten Systemen unterschieden. Entkoppelt in diesem Zusammenhang bedeutet, dass die Bauteilbeanspruchungen nur von der örtlichen Windlast auf diesen Bauteil abhängen (z.B. beidseitig gelenkig gelagerte Stütze). Des weiteren teilen sich die gekoppelten Regelbindersysteme in a) Rahmen mit nur einem eingespannten Stützenfuß und gelenkig aufgelagertem Dachträger b) Rahmen mit eingespannten Stützenfüßen und gelenkig aufgelagertem Dachträger; und c) Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken (Zweigelenkbinder). Des weiteren ist die Hallenkonstruktion in einzelne entkoppelte Haupttragelemente (Dachträger und Einzelstützen) aufgeteilt worden, welche gelenkig gelagert sind und nur lokal belastet wurden.

3. EINWIRKUNGEN IM EUROCODE

3.1 Einleitung

Laut Eurocode EN 1990:2010-12 [4] ist ein Bauwerk so zu planen und auszuführen, dass es während der Errichtung und in der vorgesehenen Nutzungszeit mit angemessener Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit den möglichen Einwirkungen und Einflüssen standhält und die geforderten Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit eines Bauwerks oder eines Bauteils erfüllt. Dabei können die Einwirkungen nach ihrer zeitlichen Veränderung wie folgt unterteilt werden:

- in ständige Einwirkungen (G), dies sind vor allem Eigengewichte von Tragwerken und Baumaterialien sowie indirekte Einwirkungen aus Schwinden oder ungleichmäßigen Setzungen;
- in veränderlichen Einwirkungen (Q), z.B. Nutzlasten, Wind- und Schneelasten;
- in außergewöhnliche Einwirkungen (A), z.B. Explosionen oder Fahrzeuganprall.

Vor allem hinsichtlich der Windbelastung liegen mit dem Eurocode gegenüber den alten nationalen Normenwerke sehr heterogene und umfangreiche Lastbilder vor.

Während einige Einwirkungen (wie z.B. die Eigengewichte, Nutzlasten) in der Regel einen Träger konstant über die Länge belasten, trifft dies für die Windeinwirkung nicht zu. Deswegen wird in den nachfolgenden Kapiteln auf die Problematik der Windberechnung näher eingegangen und es werden die zum Teil großen Unterschiede zwischen dem Eurocode EN 1991-1-4 [1] und dem dazugehörigen Nationalen Anhang für Österreich [2] und Deutschland [3] angeführt. Des Weiteren werden die Kombinationsregeln im Falle des Auftretens mehrerer Einwirkungen erläutert und deren Besonderheiten dargestellt. Die Kombinationen der unterschiedlichen Einwirkungen (z.B. ständige mit veränderlichen) führt auf die maßgebende Belastung der einzelnen Bauteile (Bemessungsschnittkräfte).

3.2 Windeinwirkung auf Hallen

Der Eurocode EN 1991-1-4 [1] liefert Regeln zur Bestimmung der Windeinwirkung auf Gebäude und ist für die Windlastberechnung anzuwenden. Grundsätzlich ist die Berechnung nach diesem Grunddokument durchzuführen, jedoch gibt es länderspezifische Nationale Anhänge. Der Nationale Anhang darf nur Hinweise zu den Parametern geben, die im Eurocode für nationale Entscheidungen offengelassen wurde und beinhaltet länderspezifische Verfahren, Werte und Empfehlungen, sofern diese nicht dem Grunddokument widersprechen. Wie schon in der Einleitung erwähnt, werden nachfolgend die wichtigsten Punkte für die Windlastberechnung und die Unterschiede zwischen dem Grunddokument (EN 1991-1-4 [1]) und dem Nationalen Anhang für Österreich (ÖNORM B 1991-1-4 [2]) und Deutschland (DIN EN 1991-1-4/NA [3]) angegeben und miteinander verglichen. Zu beachten ist, dass aktuell im Eurocode Korrekturen und Ergänzungen durchgeführt werden, sodass die Eurocode - "Grundnorm" EN 1991-1-4 [1] im Literaturverzeichnis für die DIN - Ausgabe referenziert ist, da die aktuelle gleichlautende ÖNORM - Ausgabe zum Zeitpunkt der Bearbeitung dieser Arbeit noch nicht vorliegt.

3.2.1 Basiswindgeschwindigkeit v_b

3.2.1.1 Basiswindgeschwindigkeit v_b laut EN 1991-1-4 [1]

Die Basiswindgeschwindigkeit v_b wird definiert als Funktion der Windrichtung und Jahreszeit, in 10 m Höhe über Bodenniveau für die Geländekategorie II und ist vom dem Grundwert $v_{b,0}$, dem Richtungsfaktor c_{dir} und dem Jahreszeitenbeiwert c_{season} abhängig. Der empfohlene Wert für c_{dir} und c_{season} ist 1,0, sodass Windrichtung und Jahreszeitenbeiwert ohne Einfluss bleiben.

$$v_b = v_{b,0} * c_{dir} * c_{season} \rightarrow v_b = v_{b,0}$$

Die für Österreich zutreffende örtliche Basiswindgeschwindigkeit ist im Anwendungsdokument festgelegt.

Die Geländekategorie bestimmt das Geschwindigkeits- bzw. Staudruckprofil über Geländenniveau und ist den örtlichen Gegebenheiten aus Tabelle 2 (Seite 12) zu entnehmen.

3.2.1.2 Basiswindgeschwindigkeit v_b laut ÖNORM B 1991-1-4 [2]

Im Nationalen Anhang für Österreich ein Ortsverzeichnis angegeben. Diesem Ortsverzeichnis ist der dem Standort des Bauwerkes geographisch nächstgelegene Ort aufzusuchen und dessen Grundwert für die Basiswindgeschwindigkeit bzw. den Basisgeschwindigkeitsdruck heranzuziehen. Die empfohlenen Werte für c_{dir} und c_{season} aus dem Grunddokument werden mit 1,0 übernommen, daraus folgt: $v_b = v_{b,0}$. Nachfolgend ist ein kurzer Auszug diese Ortsverzeichnisses für die Stadt Wien dargestellt:

Ort	Seehöhe	Grundwerte von	
		Basiswindgeschwindigkeit	Basisgeschwindigkeitsdruck
		$v_{b,0}$	$q_{b,0}$
	m	m/s	kPa = kN/m ²
Wien			
Bezirke 10, 11, 21, 22	standortabh. 151 bis 338	27,0	0,46
alle übrigen Bezirke	standortabh. 151 bis 542	25,1	0,39

Tabelle 1: Grundwerte von Basiswindgeschwindigkeit und Basisgeschwindigkeitsdruck (ÖNORM) [2]

3.2.1.3 Basiswindgeschwindigkeit v_b laut DIN EN 1991-1-4 [3]

Im Nationale Anhang für Deutschland kann der Grundwert der Basiswindgeschwindigkeit $v_{b,0}$ bzw. des Basiswindgeschwindigkeitsdruckes $q_{b,0}$ aus einer Windzonenkarte abgelesen werden. Diese Windzonenkarte beinhaltet vier unterschiedliche Windzonen deren Werte $v_{b,0}$ bzw. $q_{b,0}$ für die Geländekategorie II gelten.

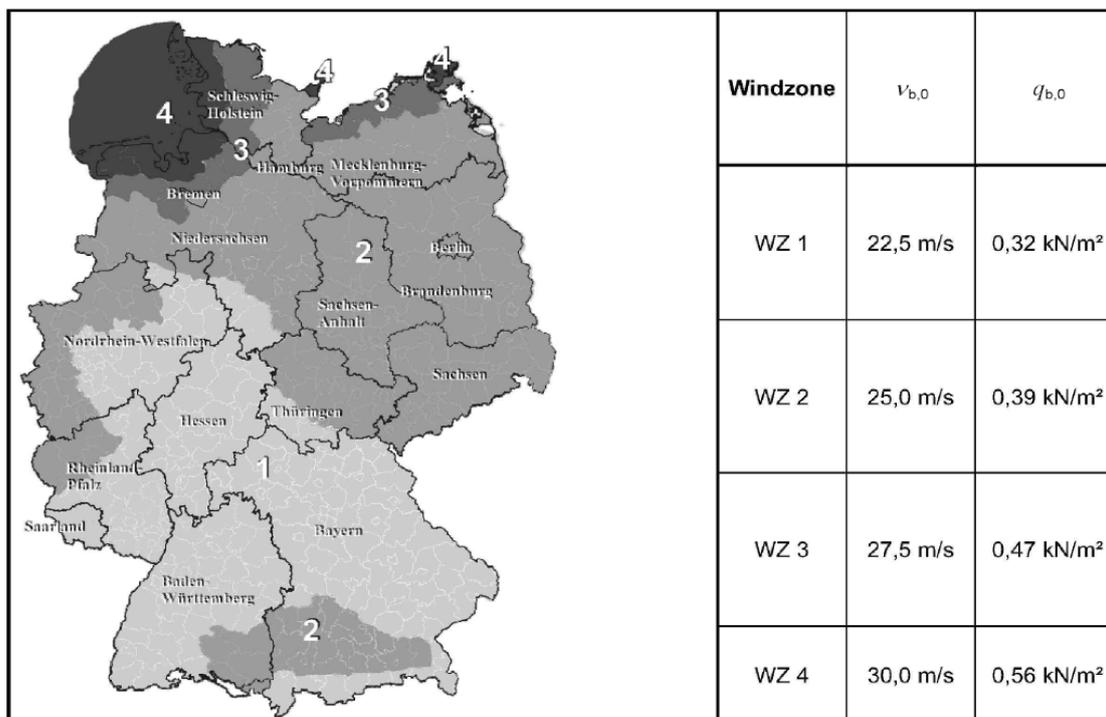


Abbildung 3: Windzonenkarte für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland (DIN) [3]

3.2.2 Basisgeschwindigkeitsdruck q_b

3.2.2.1 Basisgeschwindigkeitsdruck q_b laut EN 1991-1-4 [1]

Der Basisgeschwindigkeitsdruck (Staudruck) ist von der Luftdichte ρ und von der Basiswindgeschwindigkeit abhängig. Dabei beträgt der empfohlene Wert für die Luftdichte $1,25 \text{ kg/m}^3$.

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (1)$$

Die Gleichung (1) stellt den grundlegenden Zusammenhang zwischen der örtlicher Windgeschwindigkeit und dem Staudruck dar und gilt ganz allgemein.

3.2.2.2 Basisgeschwindigkeitsdruck q_b laut ÖNORM B1991-1-4 [2]

Der Basisgeschwindigkeitsdruck ist wie die Basiswindgeschwindigkeit, dem Ortsverzeichnis zu entnehmen (Tabelle 1, Seite 11) - es gilt der Zusammenhang nach Gleichung (1).

3.2.2.3 Basisgeschwindigkeitsdruck q_b laut DIN EN 1991-1-4 [3]

Wie schon in Punkt 3.2.1.3 (Seite 11) erwähnt, kann der Basisgeschwindigkeitsdruck direkt der Windzonenkarte des Nationalen Anhanges entnommen werden (vgl. Abbildung 3, Seite 11) - auch hier gilt der Zusammenhang nach Gleichung (1).

3.2.3 Geländekategorie

3.2.3.1 Geländekategorie laut EN 1991-1-4 [1]

Das Gelände wird laut Eurocode EN 1991-1-4 [1] in fünf verschiedenen Kategorien eingeteilt und unterscheidet sich durch die Rauigkeitslänge z_0 und die Mindesthöhe z_{\min} . Diese beiden Parameter bestimmen das Geschwindigkeits- bzw. Staudruckprofil über Geländeneiveau und damit die Windbelastung in verschiedenen Höhen an Gebäuden.

Geländekategorie		z_0 m	z_{\min} m
0	See, Küstengebiete, die der offenen See ausgesetzt sind	0,003	1
I	Seen oder Gebiete mit niedriger Vegetation und ohne Hindernisse	0,01	1
II	Gebiete mit niedriger Vegetation wie Gras und einzelne Hindernisse (Bäume, Gebäude) mit Abständen von min. 20-facher Hindernishöhe	0,05	2
III	Gebiete mit gleichmäßiger Vegetation oder Bebauung oder mit einzelnen Objekten mit Abständen von weniger als der 20-fachen Hindernishöhe (z. B. Dörfer, vorstädtische Bebauung, Waldgebiete)	0,3	5
IV	Gebiete, in denen mindestens 15 % der Oberfläche mit Gebäuden mit einer mittleren Höhe größer als 15 m bebaut sind.	1,0	10

Die Geländekategorien sind in Anhang A.1 illustriert.

Tabelle 2: Geländekategorie und Geländeparameter (EN) [1]

3.2.3.2 Geländekategorie laut ÖNORM B 1991-1-4 [2]

Im Unterschied zum Grunddokument treten in Österreich die Geländekategorien 0 und I nicht auf und es gibt Unterschiede bei den Mindesthöhen z_{\min} . Damit ergeben sich auch vom Eurocode [1] abweichende Geschwindigkeits- und Staudruckprofile. Darauf wird später in Tabelle 4 (Seite 14) im Punkt 3.2.4.2 näher eingegangen. Zum Beispiel beträgt die Mindesthöhe in Österreich [2] für die Geländekategorie II 5 m, im Grunddokument [1] jedoch nur 2 m.

3.2.3.3 Geländekategorie laut DIN EN 1991-1-4/NA [3]

Der Nationale Anhang für Deutschland berücksichtigt nur vier Geländekategorien (I bis IV) sowie zwei Mischprofile (Küste bzw. Binnenland). Gleich wie für Österreich gibt es Unterschiede bei den Mindesthöhen z_{\min} , wie die nachfolgende Tabelle erläutert.

Geländekategorie	I	II	III	IV
Mindesthöhe z_{\min}	2,00 m	4,00 m	8,00 m	16,00 m
Mittlere Windgeschwindigkeit v_m für $z > z_{\min}$	$1,18 \times v_b (z/10)^{0,12}$	$1,00 \times v_b (z/10)^{0,16}$	$0,77 \times v_b (z/10)^{0,22}$	$0,56 \times v_b (z/10)^{0,30}$
v_m / v_b für $z < z_{\min}$	0,97	0,86	0,73	0,64
Turbulenzintensität I_v für $z > z_{\min}$	$0,14 \times (z/10)^{-0,12}$	$0,19 \times (z/10)^{-0,16}$	$0,28 \times (z/10)^{-0,22}$	$0,43 \times (z/10)^{-0,30}$
I_v für $z < z_{\min}$	0,17	0,22	0,29	0,37
Böengeschwindigkeitsdruck q_p für $z > z_{\min}$	$2,6 \times q_b (z/10)^{0,19}$	$2,1 \times q_b (z/10)^{0,24}$	$1,6 \times q_b (z/10)^{0,31}$	$1,1 \times q_b (z/10)^{0,40}$
q_p / q_b für $z < z_{\min}$	1,9	1,7	1,5	1,3
Böengeschwindigkeit v_p für $z > z_{\min}$	$1,61 \times v_b (z/10)^{0,095}$	$1,45 \times v_b (z/10)^{0,120}$	$1,27 \times v_b (z/10)^{0,155}$	$1,05 \times v_b (z/10)^{0,200}$
v_p / v_b für $z < z_{\min}$	1,38	1,30	1,23	1,15

Tabelle 3: Profile der mittleren Windgeschwindigkeit, der Turbulenzintensität, des Böengeschwindigkeitsdrucks und der Böengeschwindigkeit in ebenen Gelände (DIN) [3]

Der auch in Tabelle 3 angeführte Böengeschwindigkeitsdruck q_p ist letztlich die Basisgröße zur Ermittlung der örtlichen Windbelastung an der Gebäudeaußenseite.

3.2.4 Böengeschwindigkeitsdruck q_p

3.2.4.1 Böengeschwindigkeitsdruck q_p laut EN 1991-1-4 [1]

Der Böengeschwindigkeitsdruck q_p welcher die mittleren und kurzzeitigen Geschwindigkeitsänderungen mit beinhaltet, stellt die maßgebende Windbeanspruchung des Gebäudes dar - daraus leitet sich die örtliche Windbelastung an der Gebäudeaußenseite ab. Dieser Wert q_p - ist vom Geländefaktor $c_e(z)$ und vom Basisgeschwindigkeitsdruck q_b abhängig und wird im Grunddokument [1] wie folgt berechnet:

$$q_p = [1 + 7 * I_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2(z) = c_e(z) * q_b \quad (2)$$

Der Eurocode EN 1991-1-4 [1] sieht eine Staffelung für den Geschwindigkeitsdruck über die Gebäudehöhe vor. Dabei erfolgt die Staffelung in Abhängigkeit des Verhältnisses Baukörperhöhe zu Baukörperbreite h/b in folgender Weise:

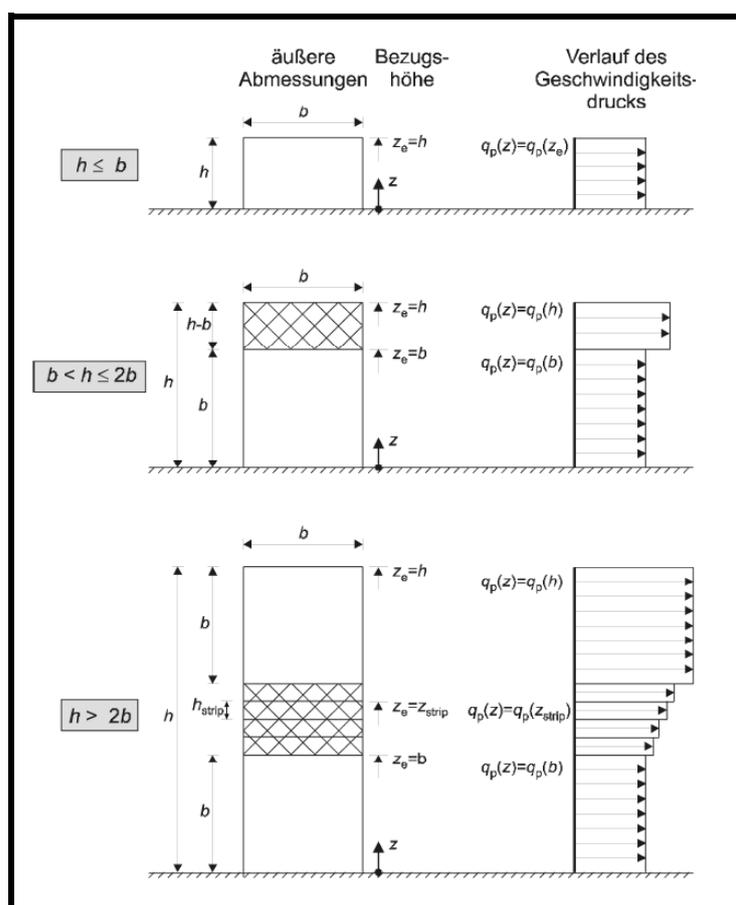


Abbildung 4: Bezugshöhe z_e in Abhängigkeit von h , b und Winddruckverteilung (EN) [1]

Für Hallen bedeutet dies, dass für die Windbelastung auf Wand- und Dachflächen immer der Böengeschwindigkeitsdruck q_p für die Hallenhöhe h maßgebend wird. Bei Satteldächern entspricht h der Höhe des Firstes.

3.2.4.2 Böengeschwindigkeitsdruck q_p laut ÖNORM B 1991-1-4 [2]

Auf Grund des in Österreich gültigen Windprofils, ist die in Punkt 3.2.4.1 (Seite 14) angeführte Gleichung (2) zur Berechnung des Böengeschwindigkeitsdrucks q_p nicht anwendbar. Stattdessen wird dieser Wert q_p unter Zuhilfenahme der Tabelle 4 (Seite 15) je nach Geländekategorie und Gebäudehöhe berechnet. Nachfolgend wird die Berechnung des Böengeschwindigkeitsdrucks q_p nach der ÖNORM B 1991-1-4 [2] kurz durch zwei Berechnungsbeispiele erläutert und mit dem Nationalen Anhang für Deutschland [3] verglichen. Hierfür wurden folgende Annahmen getroffen:

a) - Geländekategorie II, - Basiswindgeschwindigkeitsdruck $q_b = 0,39 \text{ kN/m}^2$

- Gebäudehöhe $z = 7\text{m} \rightarrow z(7) > z_{\min}(5)$ (\rightarrow Berechnung hat mit $z = 7\text{m}$ zu erfolgen)

$$q_{p(7)} = 2,1 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,24} \cdot q_b = 2,1 \cdot \left(\frac{7}{10}\right)^{0,24} \cdot 0,39 = \underline{0,75 \text{ kN/m}^2} \text{ (DIN [3] } \rightarrow q_p = 0,75 \text{ kN/m}^2, \text{ Detailberechnung siehe Abschnitt 3.2.4.3, Seite 16)}$$

Für das Berechnungsbeispiel a) gibt es keinen Unterschied zum Nationalen Anhang für Deutschland [3], da für die Geländekategorie II die Formeln zur Bestimmung des Böengeschwindigkeitsdrucks q_p (vgl. Tabelle 3; Seite 13 und Tabelle 4; Seite 15) ident sind. Außerdem ist die Gebäudehöhe h ($h = 7\text{m}$) größer als die jeweilig geforderte Mindesthöhe z_{\min} (ÖNORM [2] $z_{\min}=5\text{m}$; DIN [3] $z_{\min}=4\text{m}$).

b) - Geländekategorie III, - Basiswindgeschwindigkeitsdruck $q_b = 0,39 \text{ kN/m}^2$

- Gebäudehöhe $z = 9\text{m} \rightarrow z(9) < z_{\min}(10)$ (\rightarrow Berechnung hat mit $z_{\min}= 10\text{m}$ zu erfolgen)

$$q_{p(10)} = 1,75 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,29} \cdot q_b = 1,75 \cdot \left(\frac{10}{10}\right)^{0,29} \cdot 0,39 = \underline{0,68 \text{ kN/m}^2} \text{ (DIN [3] } \rightarrow q_p = 0,60 \text{ kN/m}^2, \text{ Detailberechnung siehe Abschnitt 3.2.4.3, Seite 16)}$$

Für die Geländekategorie III gibt es unterschiedliche Formeln zur Bestimmung des Böengeschwindigkeitsdrucks q_p (vgl. Tabelle 3; Seite 13 und Tabelle 4; Seite 15). Es unterscheiden sich auch die Mindesthöhen z_{\min} . Das hat zur Folge, dass für die Berechnung nach der ÖNORM [2] die Mindesthöhe maßgebend wird, hingegen für Deutschland noch mit der Gebäudehöhe h gerechnet werden kann.

Gelände	$\frac{q_p}{q_b} = \frac{q_p}{q_{b,0}}$	$c_r^2(z) = \frac{q_m}{q_b} = \frac{q_m}{q_{b,0}}$	$I_v(z)$	z_{\min}
				m
II	$2,1 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,24}$	$\left(\frac{z}{10}\right)^{0,3}$	$0,18 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{-0,15}$	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

Tabelle 4: Profile des Böengeschwindigkeitsdruckes und Parameter z_{\min} in Österreich [2]

3.2.4.3 Böengeschwindigkeitsdruck q_p laut DIN EN 1991-1-4/NA [3]

Gleich wie für Österreich, ist die Gleichung (2) im Eurocode [1] für den Böengeschwindigkeitsdruck q_p aufgrund des in Deutschland gültigen Windprofils nicht anwendbar. Stattdessen ist der Böengeschwindigkeitsdruck q_p nach Tabelle 3 (Seite 13) zu berechnen. Für die beiden in Abschnitt 3.2.4.2 angeführten Beispiele wurden die gleichen Annahmen wie für den Nationalen Anhang für Österreich [2] getroffen. Damit ergeben sich folgende Ergebnisse:

a) - Geländekategorie II

- Gebäudehöhe $z = 7\text{m} \rightarrow z(7) > z_{\min}(4)$ (\rightarrow Berechnung hat mit $z = 7\text{m}$ zu erfolgen)
- Basiswindgeschwindigkeitsdruck $q_b = 0,39\text{ kN/m}^2$

$$q_{p(7)} = 2,1 * \left(\frac{z}{10}\right)^{0,24} * q_b = 2,1 * \left(\frac{7}{10}\right)^{0,24} * 0,39 = \underline{0,75\text{ kN/m}^2}$$

Wie schon in Punkt 3.2.4.2 (Seite 15) erklärt, gibt es keinen Unterschied im Ergebnis, da für die Geländekategorie II die Formeln für den Wert q_p gleich sind.

b) - Geländekategorie III

- Gebäudehöhe $z = 9\text{m} \rightarrow z(9) > z_{\min}(8)$ (\rightarrow Berechnung hat mit $z = 9\text{m}$ zu erfolgen)
- Basiswindgeschwindigkeitsdruck $q_b = 0,39\text{ kN/m}^2$

$$q_{p(9)} = 1,6 * \left(\frac{z}{10}\right)^{0,31} * q_b = 1,6 * \left(\frac{9}{10}\right)^{0,31} * 0,39 = \underline{0,60\text{ kN/m}^2} \text{ (ÖNORM [2])} \rightarrow q_p = 0,68\text{ kN/m}^2$$

Die Formel für den Böengeschwindigkeitsdruck q_p unterscheidet sich zu jener Formel für den Nationalen Anhang für Österreich [2]. Außerdem gibt es unterschiedliche Grenzen für die Mindesthöhe z_{\min} , - für Deutschland 8 m und für Österreich 10 m (vgl. Tabelle 3; Seite 13 und Tabelle 4; Seite 15), wodurch die Unterschiede von $q_p = 0,60$ (Deutschland) gegen über 0,68 (Österreich) resultieren.

3.2.5 Außendruckbeiwerte

Grundsätzlich sind aerodynamische Beiwerte von der Bauwerksform abhängig und werden unterschieden in:

- Innen- und Außendruckbeiwerte
- Gesamtdruckbeiwerte
- Reibungsbeiwerte
- Kraftbeiwerte

Da im Anhang A nur Innen- und Außendruckbeiwerte zur Anwendung kommen, wird auf die anderen Beiwerte nicht näher eingegangen. Die Höhe der Außendruckbeiwerte c_{pe} hängt von der Größe der Lasteinflussfläche A ab, dabei ist zwischen $c_{pe,1}$ für eine Fläche $\leq 1 \text{ m}^2$ und $c_{pe,10}$ für eine Fläche $\geq 10 \text{ m}^2$ zu unterscheiden. Für die Bemessung der Hauptbauteile eines Tragwerkes - nur diese werden in dieser Arbeit erfasst - sind nur die $c_{pe,10}$ -Werte von Bedeutung, weswegen nicht näher auf $c_{pe,1}$ -Werte eingegangen wird. Des Weiteren werden nur die Außendruckbeiwerte für Wände, Flachdächer, Sattel- und Trogdächer angeführt.

3.2.5.1 Außendruckbeiwerte $c_{pe,10}$ für Wände

a) $c_{pe,10}$ - Beiwerte für Wände laut EN 1991-1-4 [1]

Die Einteilung der Wandflächen hat in einzelne Zonen A bis E nach Abbildung 5 (Seite 18) zu erfolgen. Dabei sind die verschiedenen Zonen (A-E) von der Windanströmrichtung (quer zur Hallenlängsrichtung oder in Hallenlängsrichtung) und dem Randabstand e abhängig. Der Randabstand e ist definiert als der kleinere Wert aus b (Abmessung quer zum Wind) oder $2h$ (zweifache Gebäudehöhe) und wird für die Einteilung der Zonen A bis C verwendet. Bei der Zoneneinteilung A-C ist außerdem darauf zu achten, ob - 1) $e < d$ (Gebäudetiefe); 2) $e \geq d$ oder 3) $e \geq 5d$ ist. Dies hat zur Folge, dass eine Wandfläche für $e < d$ in die Zonen A, B und C eingeteilt werden muss. Gilt hingegen $e \geq d$, so besteht die gleiche Wandfläche nur aus den Zonen A und B bzw. gilt $e \geq 5d$ wird die gesamte Wandfläche zur Zone A. Hingegen ist die Zone D und E vom Randabstand e unabhängig und über die gesamte lee- oder luvseitige Wandfläche anzusetzen. Wie schon in Punkt 3.2.4.1 (Seite 14) erwähnt, entspricht für Satteldächer die Gebäudehöhe h der Höhe des Firstes. Jeder Zone wird nach Tabelle 5 (Seite 18) ein einheitlicher Staudruck q_p zugeordnet, wobei nachfolgend - wie bereits erläutert - nur die Werte $c_{pe,10}$ in dieser Arbeit behandelt werden. Die Werte aus dieser Tabelle 5 sind vom Verhältnis h/d (Gebäudehöhe zu Gebäudetiefe) abhängig, wobei Zwischenwerte linear interpoliert werden dürfen. Positive Werte bedeuten eine Druckbeanspruchung, negative Werte eine Sogbeanspruchung auf die Wand.

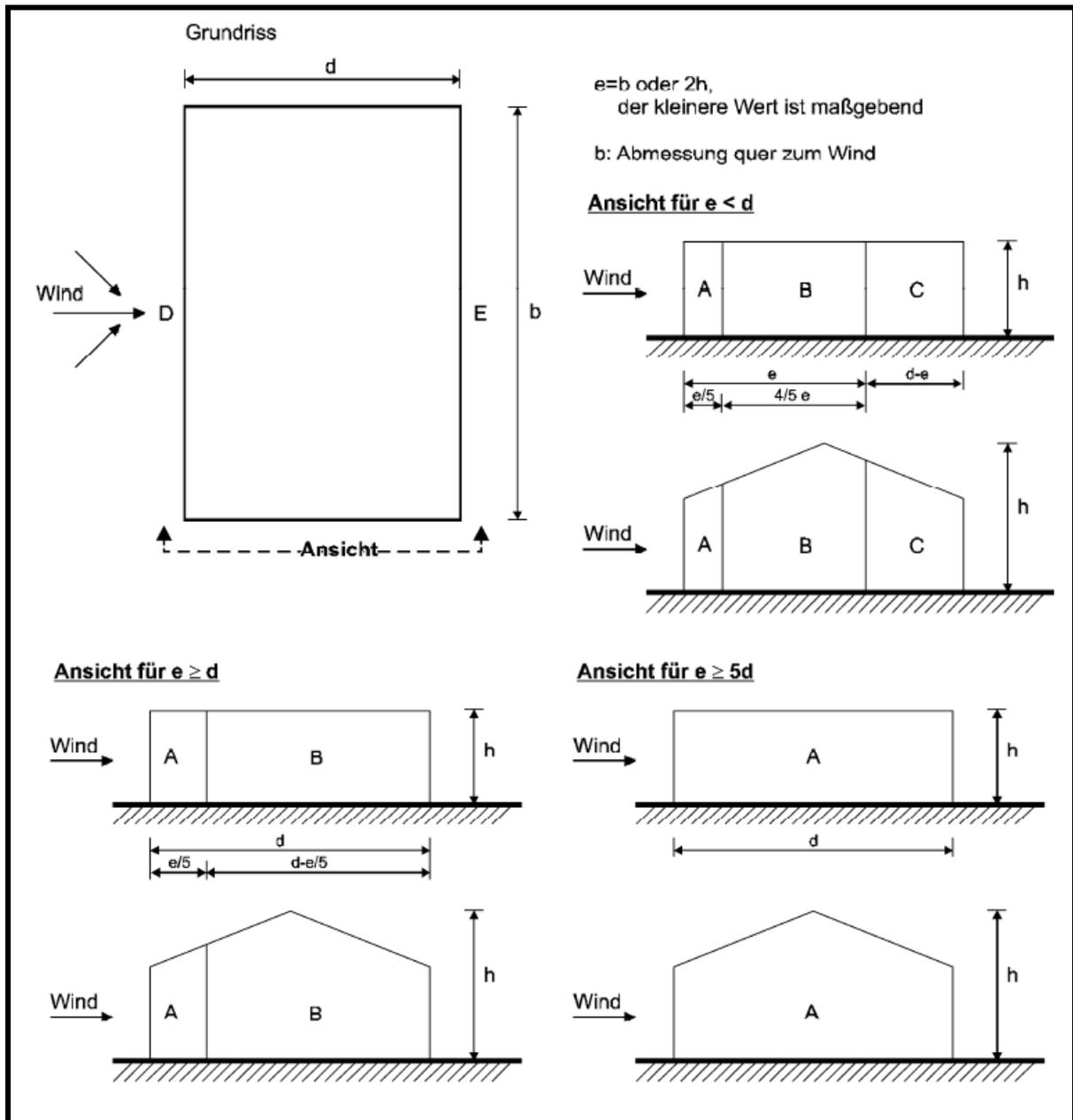


Abbildung 5: Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden (EN) [1]

Bereich	A		B		C		D		E	
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$								
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Tabelle 5: Empfohlene Außendruckbeiwerte für vertikale Wände (EN) [1]

b) $c_{pe,10}$ - Beiwerte für Wände laut ÖNORM B 1991-1-4 [2]

Die Einteilung der Wandflächen in die Zonen A bis E hat analog zum Grunddokument EN 1991-1-4 [1] Abbildung 5 (Seite 18) zu erfolgen. Im Unterschied zur EN [1] (Tabelle 5) hängen die Außendruckbeiwerte nicht vom Verhältnis h/d (Gebäudehöhe zu Gebäudetiefe) ab, sondern sind vom Verhältnis h/b (Gebäudehöhe zu Gebäudebreite) und d/b (Gebäudetiefe zu Gebäudebreite) abhängig. Dadurch ist ein erhöhter Rechenaufwand im Nationalen Anhang für Österreich [2] gegeben, wie aus den nachfolgenden Tabellen 6 und 7 ersichtlich ist. Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden, wobei dies für die Zone D (Tabelle 7) nicht notwendig ist, da dieser Wert unabhängig von den Gebäudeabmessungen immer mit 0,8 angenommen werden kann. Die Zoneneinteilung (A-E) sowie die dazugehörigen Außendruckbeiwerte sind im Anhang A (Kapitel A.3.1.1, Seite 69 ff. und Kapitel 3.1.2, Seite 73 ff.) für unterschiedliche Hallenabmessungen ermittelt und detailliert dargestellt worden. Dies erfolgte für Hallen -mit einer Höhe von 7 und 9m, -mit einer Länge von 30, 60 und 90m und - einer Breite von 12, 18 und 24m. Des weiteren wurde beim Dachtyp zwischen Flach- und Satteldach unterschieden.

h/b	A, B, C für d/b								
	$\leq 0,2$			0,7			1,0		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
$\leq 0,5$	-1,00	-0,70	-0,40	-1,00	-0,70	-0,40	-1,00	-0,70	-0,40
2	-1,20	-0,80	-	-1,20	-0,90	-	-1,20	-0,80	-0,45
5	-1,35	-1,00	-	-1,45	-1,10	-	-1,30	-0,90	-0,50
10	-1,50	-1,20	-	-1,65	-1,30	-	-1,40	-1,00	-0,60
20	-1,65	-1,40	-	-1,80	-1,50	-	-1,50	-1,15	-0,70
≥ 50	-1,75	-1,50	-	-1,90	-1,70	-	-1,60	-1,35	-0,85

h/b	A, B, C für d/b								
	2,0			5,0			≥ 10		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
$\leq 0,5$	-1,00	-0,70	-0,40	-1,00	-0,70	-0,40	-1,00	-0,70	-0,40
2	-1,10	-0,75	-0,40	-1,10	-0,70	-0,40	-1,10	-0,70	-0,40
5	-1,25	-0,85	-0,45	-1,20	-0,75	-0,40	-1,20	-0,70	-0,40
10	-1,35	-0,90	-0,50	-1,30	-0,80	-0,45	-1,30	-0,70	-0,40
20	-1,45	-0,95	-0,55	-1,35	-0,85	-0,50	-1,35	-0,75	-0,40
≥ 50	-1,50	-1,00	-0,60	-1,40	-0,90	-0,50	-1,40	-0,75	-0,40

Tabelle 6: Außendruckbeiwert $c_{pe,10}$ für die Wandflächen A, B, C (ÖNORM) [2]

h/b	D	E für d/b					
		$\leq 0,2$	0,7	1,0	2,0	5,0	10,0
$\leq 0,5$	0,8	-0,25	-0,35	-0,30	-0,15	-0,15	-0,15
2	0,8	-0,35	-0,45	-0,35	-0,20	-0,15	-0,15
5	0,8	-0,50	-0,75	-0,55	-0,30	-0,15	-0,15
10	0,8	-0,75	-1,10	-0,85	-0,50	-0,20	-0,15
20	0,8	-1,00	-1,35	-1,10	-0,65	-0,20	-0,15
≥ 50	0,8	-1,20	-1,60	-1,30	-0,85	-0,20	-0,15

Tabelle 7: Außendruckbeiwert $c_{pe,10}$ für die Wandflächen D und E (ÖNORM) [2]

c) $c_{pe,10}$ - Beiwerte für Wände laut DIN EN 1991-1-4/NA [3]

Gleich wie für Österreich gibt es keine Unterschiede bei der Einteilung der Wandflächen in Zonen A bis E mit konstanter Winddruckverteilung. Die Außendruckbeiwerte sind wie im Eurocode Grunddokument [1] (Tabelle 5, Seite 18) vom Verhältnis h/d (Gebäudehöhe zu Gebäudetiefe) abhängig, wie die Tabelle 8 zeigt, unterscheiden sich jedoch teilweise (Bereich A und E bei einem Verhältnis $h/d \geq 5$) in ihren Beträgen. Das bedeutet, dass die Gebäudebreite b , wie im Grunddokument [1], keinen Einfluss auf die Außendruckbeiwerte hat. So ist zum Beispiel im Grunddokument [1] der Wert $c_{pe,10}$ für den Bereich A bei einem Verhältnis $h/d \geq 5$ mit -1,2 angegeben, laut DIN EN 1991-1-4/NA [3] jedoch mit -1,4 anzusetzen. Ebenfalls ist ein Unterschied für den Bereich E für ein Verhältnis Gebäudehöhe zu Gebäudetiefe $h/d \geq 5$ erkennbar (laut EN [1] = -0,7 ; laut DIN [3] = -0,5). Beide angeführten Beispiele sind für Hallen unbedeutsam ($h/d < 1$). Ein direkter Vergleich zwischen den Außendruckbeiwerten im Nationalen Anhang für Deutschland [3] und den Außendruckbeiwerten im Nationalen Anhang für Österreich [2] ist nicht möglich, da wie bereits in Punkt b) (Seite 19) erwähnt, in der ÖNORM B 1991-1-4 [2] die Werte $c_{pe,10}$ vom Verhältnis h/b (Gebäudehöhe zu Gebäudebreite) und d/b (Gebäudetiefe zu Gebäudebreite) abhängig sind. Lediglich der Druckbeiwert für die Zone D ist annähernd ident, so beträgt dieser Beiwert generell in Österreich [2] 0,8 und variiert in Deutschland [3] zwischen 0,7 und 0,8. Wie auch für Österreich ist im Anhang A eine Zoneneinteilung (inklusive der dazugehörigen Außendruckbeiwerte) für Hallen durchgeführt worden. Dabei wurden wieder die gleichen Hallenabmessungen ($h= 7$ und $9m$; $l= 30,60$ und $90m$; $b= 12,18$ und $24m$) bzw. Dachtypen (Flach- und Satteldach) gewählt, um einen direkten Vergleich zu erhalten (siehe Kapitel A.3.2.1, Seite 79 ff. und Kapitel 3.2.2, Seite 81 ff). An dieser Stelle sei nochmals angemerkt, dass bei der Zoneneinteilung nach der DIN [3] die Gebäudebreite b nicht berücksichtigt werden muss. Dadurch ist es möglich, unterschiedlichen Hallenbreiten zusammen zu fassen (vgl. Anhang A, Abbildung 85, Seite 79 ff.).

Bereich	A		B		C		D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$								
$h/d \geq 5$	-1,4	-1,7	-0,8	-1,1	-0,5	-0,7	+0,8	+1,0	-0,5	-0,7
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	-0,5

Tabelle 8: Außendruckbeiwerte für vertikale Wände rechteckiger Gebäude (DIN) [3]

3.2.5.2 Außendruckbeiwerte $c_{pe,10}$ für Flachdächer

a) $c_{pe,10}$ - Beiwerte für Flachdächer laut EN 1991-1-4 [1]

Laut EN [1] sind Flachdächer jene Dächer, die weniger als $\pm 5^\circ$ geneigt sind und diese sollten in die Zonen F bis I eingeteilt werden. Dabei erfolgt die Zoneneinteilung nach Abbildung 6 (Seite 22) und hat für zwei verschiedene Windrichtungen zu erfolgen. Mit Hilfe des Randabstandes e , welcher definiert ist als kleinerer Wert von b (Abmessung senkrecht zur Windrichtung) oder $2h$ (zweifache Gebäudehöhe), werden die Zonenabmessungen festgelegt. Die anzusetzenden Außendruckbeiwerte $c_{pe,10}$ sind in Tabelle 9 (Seite 23) zusammengefasst. In Fällen mit Attika sowie abgerundeten oder abgeschrägten Traufbereichen fließen zusätzlich die Geometrieabmessungen h_p/h , r/h bzw. der Winkel α mit ein. Für die Berechnungen im Anhang A wurde als Dachtyp "scharfkantiger Traufbereich" angenommen (1. Zeile der Tabelle 9), da dieser hinsichtlich der Außendruckbeiwerte als ungünstigster Fall angesehen werden kann. Für die Außendruckbeiwerte des "scharfkantigen Traufbereichs" ist -für die Zone F -1,8; -für die Zone G -1,2; -für die Zone H -0,7 und für die Zone I $\pm 0,2$ anzusetzen. Positive Werte bedeuten eine Druckbeanspruchung, negative Werte eine Sogbeanspruchung auf das Dach. Daraus ist ersichtlich, dass die Zonen F-H einer "reinen" Sogbeanspruchung ausgesetzt werden, wogegen die Zone I sowohl eine Druck- als auch eine Sogbeanspruchung erfährt. Durch diese verschiedenen Außendruckbeiwerte ergeben sich unterschiedliche Lastbilder für einzelne Dachträger (vgl. Abbildung 2, Seite 7). Im Anhang A wurden die unterschiedlichen Lastbilder für verschiedene Hallenkonstruktionen (Höhe= 7 und 9m; Länge= 30, 60 und 90m und einer Breite von 12, 18 und 24m) aufbereitet und dargestellt. (vgl. Anhang A Kapitel A.2.2.1, Seite 10 ff. für die ÖNORM [2] bzw. Kapitel A.2.2.2, Seite 43 ff. für die DIN [3]).

Wie bereits erwähnt, ist die Zoneneinteilung vom Randabstand e und der Windrichtung (quer zur Hallenlängsrichtung oder in Hallenlängsrichtung) abhängig und hat nach der folgenden Abbildung 6 zu erfolgen.

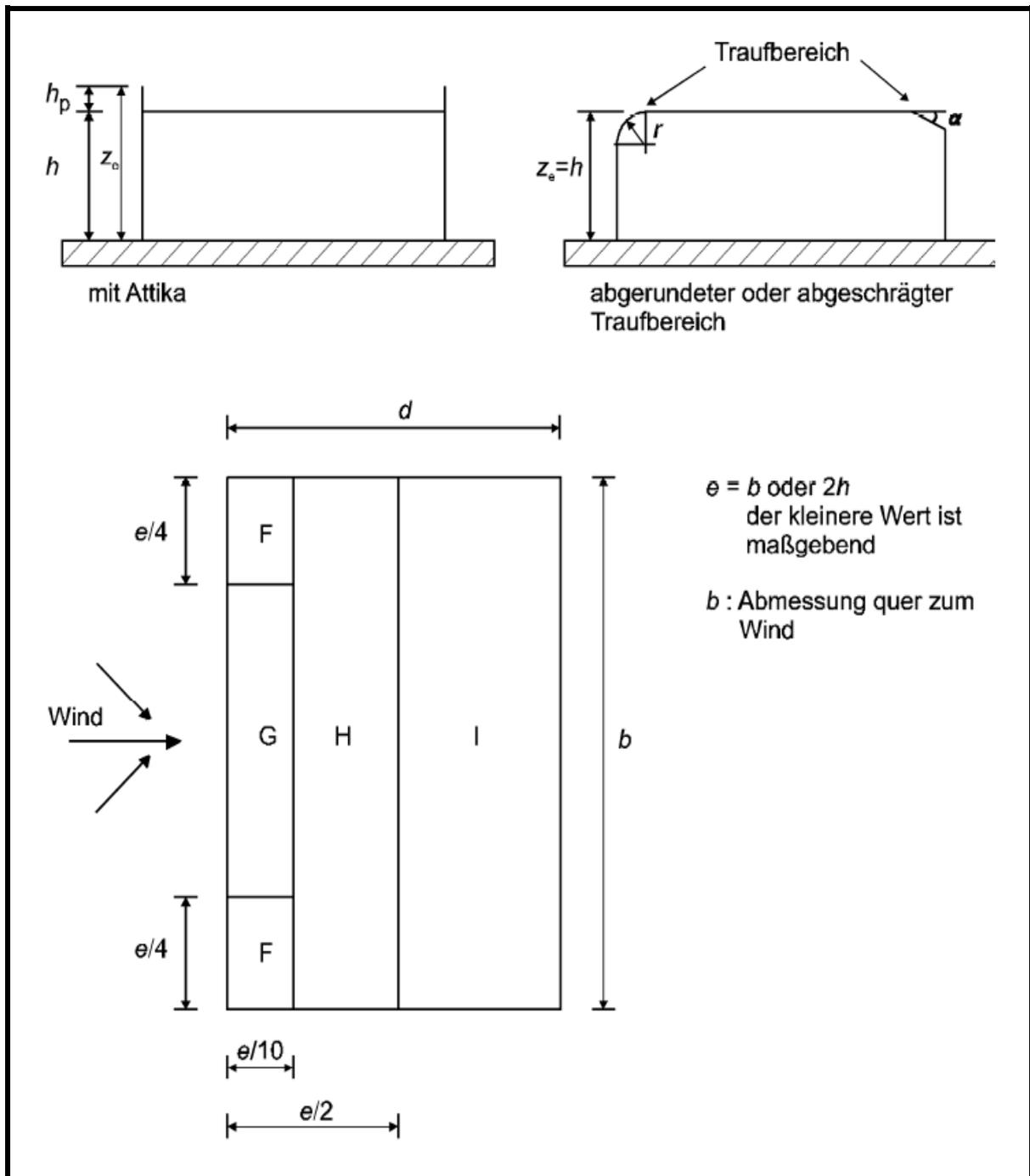


Abbildung 6: Einteilung der Dachflächen bei Flachdächern (EN) [1]

Dachtyp		Bereich							
		F		G		H		I	
		C _{pe,10}	C _{pe,1}						
scharfkantiger Traufbereich		-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
mit Attika	$h_p/h=0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
	$h_p/h=0,05$	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
	$h_p/h=0,10$	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
Abgerundeter Traufbereich	$r/h = 0,05$	-1,0	-1,5	-1,2	-1,8	-0,4		+0,2	-0,2
	$r/h = 0,10$	-0,7	-1,2	-0,8	-1,4	-0,3		+0,2	-0,2
	$r/h = 0,20$	-0,5	-0,8	-0,5	-0,8	-0,3		+0,2	-0,2
mansarden- artig abgeschrägter Traufbereich	$\alpha = 30^\circ$	-1,0	-1,5	-1,0	-1,5	-0,3		+0,2	-0,2
	$\alpha = 45^\circ$	-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4		+0,2	-0,2
	$\alpha = 60^\circ$	-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5		+0,2	-0,2

ANMERKUNG 1 Bei Dächern mit Attika oder abgerundetem Traufbereich darf für Zwischenwerte h_p/h und r/h linear interpoliert werden.

ANMERKUNG 2 Bei Dächern mit mansardendachartigem Traufbereich darf für Zwischenwerte von α zwischen $\alpha = 30^\circ$, 45° und 60° linear interpoliert werden. Für $\alpha > 60^\circ$ darf zwischen den Werten für $\alpha = 60^\circ$ und den Werten für Flachdächer mit scharfkantigem Traufbereich linear interpoliert werden.

ANMERKUNG 3 Im Bereich I, für den positive und negative Werte angegeben werden, EN sollten EN beide Werte berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 4 Für die Schräge des mansardendachartigen Traufbereichs selbst werden die Außendruckbeiwerte in Tabelle 7.4a "Außendruckbeiwerte für Satteldächer und Trogdächer" Anströmrichtung $\theta = 0^\circ$, Bereich F und G, in Abhängigkeit von dem Neigungswinkel des mansardendachartigen Traufbereichs angegeben.

ANMERKUNG 5 Für den abgerundeten Traufbereich selbst werden die Außendruckbeiwerte entlang der Krümmung durch lineare Interpolation entlang der Kurve zwischen den Werten der vertikalen Wand und auf dem Dach ermittelt

EN ANMERKUNG 6 Bei mansardenartigen abschrägten Traufbereichen mit einem horizontalen Maß weniger als $e/10$ sollten die Werte für scharfkantige Traufbereiche verwendet werden. Für die Definition von e siehe Bild 7.6. EN

Tabelle 9: Empfohlene Werte für Außendruckbeiwerte für Flachdächer (EN) [1]

b) $C_{pe,10}$ - Beiwerte für Flachdächer laut ÖNORM B 1991-1-4 [2]

Im Nationalen Anhang für Österreich gibt es keine Unterschiede zur EN 1991-1-4 [1]. Die Angaben nach Abbildung 6 (Seite 22) und Tabelle 9 können direkt übernommen werden.

c) $C_{pe,10}$ - Beiwerte für Flachdächer laut DIN EN 1991-1-4/NA [3]

Die Zoneneinteilung sowie die Außendruckbeiwerte sind nach dem Eurocode anzuwenden, jedoch ist bei den Dachtypen "scharfkantiger Traufbereich" und "mit Attika" der negative Außendruckbeiwert der Zone I mit -0,6 statt -0,2 anzusetzen. Dies führt - wie später noch gezeigt - zu groben Auswirkungen auf die Windbelastung von Dachträgern. Der Wert -0,6 kann auch als Anpassung an flach geneigte Dächer gesehen werden (vgl. Tabelle 10, $\alpha = 5^\circ$, Seite 26).

3.2.5.3 Außendruckbeiwerte $c_{pe,10}$ für Sattel- und Trogdächer

a) $c_{pe,10}$ - Beiwerte für Sattel- und Trogdächer laut EN 1991-1-4 [1]

Im Gegenteil zu Flachdächern ist bei der Zoneneinteilung nach Abbildung 7 (Seite 25) eine Unterscheidung der Windrichtung notwendig, da für die Dachzonen unterschiedliche Außendruckbeiwerte je Windrichtung (quer zur Hallenlängsrichtung $\theta=0^\circ$ oder in Hallenlängsrichtung $\theta=90^\circ$) anzusetzen sind. Des weiteren gibt es für die Windanströmrichtung $\theta=0^\circ$ (quer zur Hallenlängsrichtung) eine zusätzliche Zone J, die an der Leeseite des Daches nach dem First oder der Kehle mit $e/10$ zu berücksichtigen ist (vgl. Abbildung 7, Punkt (b) Anströmrichtung $\theta=0^\circ$, Seite 25). Diese Zone J tritt bei der Windanströmrichtung $\theta=90^\circ$ (in Hallenlängsrichtung) nicht auf. Die Außendruckbeiwerte für die einzelnen Zonen sind abhängig von der Windanströmrichtung und werden in den Tabellen 10 und 11 (Seite 26) zusammengefasst. In diesem Zusammenhang bedeutet ein positiver Neigungswinkel α , dass es sich um ein Satteldach handelt, ein negativer Neigungswinkel α bezieht sich auf ein Trogdach. Für Dachneigungen zwischen den Werten $\alpha = +5^\circ$ und $\alpha = -5^\circ$ darf nicht interpoliert werden, stattdessen sind die Außendruckbeiwerte für Flachdächer (Tabelle 5, Seite 18) zu benutzen. Der Randabstand e zur Zoneneinteilung ist wie für Flachdächer vom kleineren Wert aus b (Abmessung senkrecht zur Windrichtung) oder $2h$ (zweifache Gebäudehöhe) abhängig. Für Satteldächer bezieht sich die Gebäudehöhe h bis zum First. Im Anhang A erfolgte für Satteldächer mit einer Neigung von 1:10 ($\sim 6^\circ$) eine Einteilung der Zonen F bis G. Dieser Zoneneinteilung wurden auch die dementsprechenden Außendruckbeiwerte zugeordnet (vgl. Anhang A Kapitel A.2.1.3, Seite 22 ff. sowie A.2.2.3, Seite 55 ff.). Es wird hier bereits angemerkt, dass es keine Ergänzungen oder Änderungen für die jeweiligen Nationalen Anhänge (Österreich [2] oder Deutschland [3]) gegenüber dem Grunddokument [1] gibt. Dies bedeutet, dass sowohl die Zoneneinteilung wie auch die dazugehörigen Außendruckbeiwerte für beide Nationalen Anhänge ident und dem Grunddokument [1] zu entnehmen sind.

Wie bereits auf Seite 24 erwähnt, hat die Zoneneinteilung für Satteldächer nach folgender Abbildung 7 zu erfolgen:

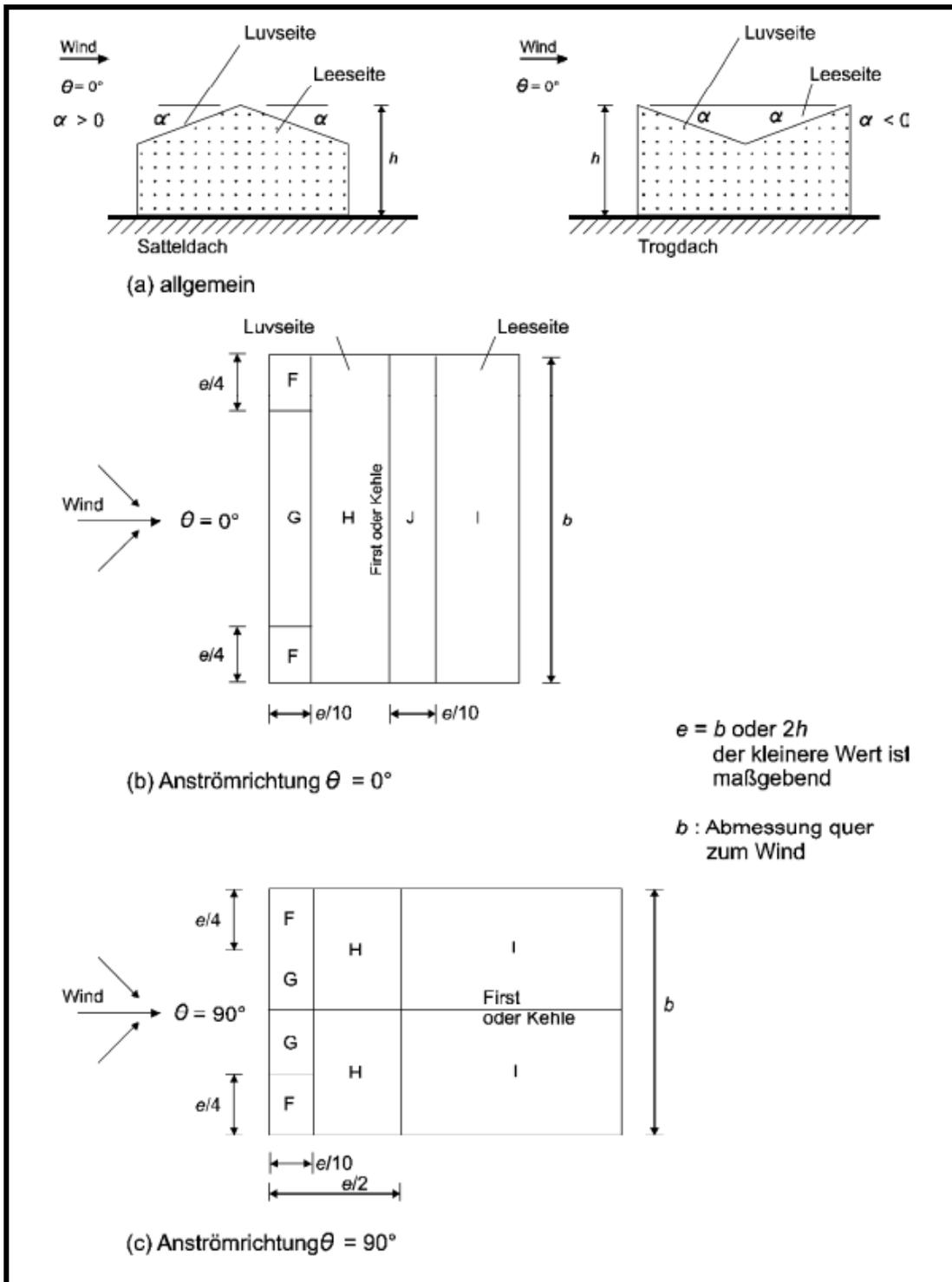


Abbildung 7: Einteilung der Dachflächen bei Sattel- und Trogdächern (EN) [1]

Neigungswinkel α	Bereich für die Anströmrichtung $\Theta = 0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2	
							-0,6		-0,6	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0				-0,6	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	+0,0
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0	
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

ANMERKUNG 1 Für die Anströmrichtung $\theta = 0^\circ$ und einen Neigungswinkel von $\alpha = -5^\circ$ bis $+45^\circ$ ändert sich der Druck schnell zwischen positiven und negativen Werten; daher werden sowohl der positive als auch der negative Wert angegeben. Bei solchen Dächern sind vier Fälle zu berücksichtigen, bei denen jeweils der kleinste bzw. größte Werte für die Bereiche F, G und H mit den kleinsten bzw. größten Werten der Bereiche I und J kombiniert werden. Das Mischen von positiven und negativen Werten auf einer Dachfläche ist nicht zulässig.

ANMERKUNG 2 Für Dachneigungen zwischen den angegebenen Werten darf linear interpoliert werden, sofern nicht das Vorzeichen der Druckbeiwerte wechselt (Zwischen den Werten $\alpha = +5^\circ$ und $\alpha = -5^\circ$ darf nicht interpoliert werden, stattdessen sind die Werte für Flachdächer nach 7.2.3 zu benutzen) Der Wert Null ist für Interpolationszwecke angegeben.

Tabelle 10: Empfohlene Werte für Außendruckbeiwerte Sattel- und Trogdächer $\theta=0^\circ$ (EN) [1]

Neigungswinkel α	Bereich für die Anströmrichtung $\Theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

Tabelle 11: Empfohlene Werte für Außendruckbeiwerte Sattel- und Trogdächer $\theta=90^\circ$ (EN) [1]

b) $c_{pe,10}$ - Beiwerte für Sattel- und Trogdächer laut ÖNORM B 1991-1-4 [2]

Wie bereits in Punkt a) (Seite 24) erwähnt, gibt es keine Ergänzungen oder Änderungen bezüglich des Grunddokumentes [1].

c) $c_{pe,10}$ - Beiwerte für Sattel- und Trogdächer laut DIN EN 1991-1-4/NA [3]

Wie bereits in Punkt a) (Seite 24) erwähnt, gibt es keine Ergänzungen oder Änderungen bezüglich des Grunddokumentes [1].

3.2.6 Innendruckbeiwerte

Der Nationale Anhang für Österreich [2] und Deutschland [3] verweist jeweils auf die Berechnung bzw. die Vereinfachung im Grunddokument [1], weshalb diesbezüglich nicht unterschieden wird.

Der Innendruck ist bei üblichen durchlässigen Außenwänden (nicht luftdicht) mit ungünstiger Wirkung zu berücksichtigen und wirkt dabei auf alle Raumabschlüsse gleichzeitig mit dem selben Vorzeichen. Grundsätzlich ist der Innendruckbeiwert c_{pi} von der Größe und der Verteilung der Öffnungen in der Gebäudehülle abhängig und wird mit Hilfe des Flächenparameter μ berechnet. Vereinfacht darf als Innendruckbeiwert der ungünstigere Wert aus **-0,3 (Innensog)** oder **+0,2 (Innendruck)** angesetzt werden. Genau diese Annahmen erfolgten für die Berechnungen im Anhang A, da bei einer Entwurfs- bzw. Vorstatik meistens noch keine genaueren Angaben bezüglich Gebäudeöffnungen (Fenster, Türen usw.) bestehen.

3.3 Kombination der Einwirkungen

Grundsätzlich ist bei der Bemessung von Bauwerken zwischen dem Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) und dem Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) zu unterscheiden. Während der ULS-Nachweis die Sicherheit von Personen und des Tragwerks garantieren soll, deckt der SLS-Nachweis die Funktion des Tragwerks oder eines seiner Teile unter normalen Gebrauchsbedingungen, das Wohlbefinden der Nutzer oder das Erscheinungsbild des Bauwerkes ab. Die EN 1990 [4] unterscheidet in verschiedenen Gruppen (A-F) für Grenzzustände der Tragfähigkeit (ULS). In dieser Diplomarbeit wird nur auf den für Hallen relevanten Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) der Gruppe B (STR/GEO) und die daraus folgenden Teilsicherheitsbeiwerte und Kombinationsbeiwerte eingegangen. Bei dem ULS-Nachweis der Gruppe B wird sichergestellt, dass es zu keinem Versagen oder einer übermäßigen Verformung des Tragwerks oder seiner Teile kommt, wobei die Tragfähigkeit von Baustoffen und Bauteilen entscheidend ist. Des Weiteren wurde - wie bei Hallenkonstruktionen üblich - angenommen, dass Schnittkräfte aus Temperaturzwängen vernachlässigbar klein sind, das Tragwerk linear-elastisch berechnet wird und das Superpositionsprinzip somit gültig ist.

Die Kombination von Einwirkungen wird in EN 1990, Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung [4] geregelt. Für dieses Grunddokument [4] gibt es wieder einen Nationalen Anhang für Österreich (ÖNORM B 1990-1 [5]) und einen Nationalen Anhang für Deutschland (DIN EN 1990/NA [6]).

Wie schon in der Einleitung des Kapitels 3 (Seite 9) erwähnt, ist es notwendig verschiedene Einwirkungen miteinander zu kombinieren, um auf die maßgebende Belastung (Bemessungswerte) schließen zu können. Hierfür sind die Einwirkungen mit Teilsicherheitsbeiwerten und Kombinationsbeiwerten zu versehen. Dieses Kapitel ist nach dem gleichen Schema aufgebaut, wie jenes für die Windbelastung. Zuerst wird das Grunddokument (EN 1990 [4]) mit seinen Regeln und Verfahren vorgestellt, diesem folgen dann die Nationale Anhänge für Österreich [5] und Deutschland [6].

3.3.1 Kombination der Einwirkungen

3.3.1.1 Kombination der Einwirkungen laut Eurocode EN 1990 [4]

Für jeden Bauteil sind die Bemessungswerte E_d der Auswirkungen der Kombination der Einwirkungen zu bestimmen. Dies erfolgt durch die Kombination von verschiedenen Einwirkungen bzw. zugehörigen Einzellastfällen. Für den Nachweis der Tragsicherheit (ULS) einer ständigen oder vorübergehenden Bemessungssituation sollten die Einwirkungskombinationen nach (6.9a) bis (6.10b) (vgl. Abbildung 8, Seite 30) verwendet werden. Üblicherweise wird jedoch mit der Formel (6.10) aus Abbildung 8 gerechnet, weshalb die in dieser Formel vorkommenden Symbole näher beschrieben werden.

$$E_d = E \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10)$$

mit

- E_d Bemessungswert einer Auswirkung,
- G_k Charakteristischer Wert einer ständigen Einwirkung,
- P Maßgebender repräsentativer Wert einer Vorspannung (siehe EN 1992 bis EN 1996 und EN 1998 bis EN 1999),
- Q_k Charakteristischer Wert einer einzelnen veränderlichen Einwirkung ,
- γ_G Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen unter Berücksichtigung von Modellunsicherheiten und Größenabweichungen (vgl. 3.3.3, Seite 34),
- γ_P Teilsicherheitsbeiwert für Einwirkungen aus Vorspannen (siehe EN 1992 bis EN 1996 und EN 1998 bis EN 1999),
- γ_Q Teilsicherheitsbeiwert für veränderliche Einwirkungen unter Berücksichtigung von Modellunsicherheiten und Größenabweichungen (vgl. 3.3.3, Seite 34),
- $\psi_{0,i}$ Kombinationsbeiwerte für veränderliche Einwirkungen (vgl. 3.3.2, Seite 32).

Auf Dächern der Nutzungskategorie H (nicht zugängliche Dächer außer für übliche Unterhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen) müssen Nutzlasten nicht als gleichzeitig wirkend mit Schneelasten oder Windeinwirkung angenommen werden (laut EN 1991-1-1 [7], Punkt 3.3.2(1), Seite 11). Diese Annahme kommt aus der Überlegung, dass bei einer vorhandenen Schneedecke auf dem Dach, in der Regel keine Wartungsarbeiten bzw. Instandsetzungsarbeiten durchgeführt werden. Dies trifft für die in dieser Diplomarbeit behandelten Hallen zu.

Eine Einwirkungskombination besteht in der Regel aus - der Summe von ständigen Einwirkungen $G_{k,j}$ (verschiedene Eigengewichte, z.B. Dachträger, Pfetten und Dachelemen-

ten), - einer dominierenden veränderlichen Einwirkung $Q_{k,1}$ (Leiteinwirkung) und - begleitenden veränderlichen Einwirkungen $Q_{k,i}$ (Begleiteinwirkungen). Der Term $\sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$ in Formel (6.10) kann nur auftreten, wenn es zumindest zwei unterschiedliche veränderliche Einwirkungen ($Q_{k,i}$) (z.B. Wind und Schnee) gibt. Trifft dies zu, so sind zwei unterschiedliche Einwirkungskombinationen durchzuführen. Bei der ersten Einwirkungskombination ist neben der ständigen Einwirkung G die veränderliche Einwirkung $Q_{k,1}$ Wind als Leiteinwirkung und Schnee als Begleiteinwirkung ($Q_{k,i}$) anzusetzen; bei der zweiten Einwirkungskombination ist hingegen Schnee die Leiteinwirkung und Wind die Begleiteinwirkung. Durch den Vergleich der daraus resultierenden Ergebnisse kann auf die maßgebende Beanspruchung (Bemessungswerte) geschlossen werden. Der nachfolgende Auszug aus der EN 1990 [4] (in Abb. 8) soll einen kurzen Überblick über die anzuwendenden Formeln geben.

6.4.3.2 Kombinationen von Einwirkungen bei ständigen oder vorübergehenden Bemessungssituationen (Grundkombinationen)

(1) Zur Bestimmung der Auswirkung der Einwirkungen sollte die allgemeine Kombination

$$E_d = \gamma_{sd} E \{ \gamma_{G,j} G_{k,j}; \gamma_P P; \gamma_{Q,1} Q_{k,1}; \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \} \quad j \geq 1; i > 1 \quad (6.9a)$$

angewendet werden.

(2) Die Kombinationen der Auswirkung sollte aus dem

- der Bemessungswert der dominierenden veränderlichen Einwirkung (Leiteinwirkung) und
- den Bemessungswerten der Kombinationswerte der begleitenden veränderlichen Einwirkungen (Begleiteinwirkungen) ist wie folgt ermittelt werden:

$$E_d = E \{ \gamma_{G,j} G_{k,j}; \gamma_P P; \gamma_{Q,1} Q_{k,1}; \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \} \quad j \geq 1; i > 1 \quad (6.9b)$$

ANMERKUNG siehe auch 6.4.3.2(4).

(3) Die Kombination der Einwirkungen in Klammern $\{ \}$ in (6.9b) darf entweder durch

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10)$$

ausgedrückt werden oder für Nachweise STR und GEO durch die ungünstigere der beiden Kombinationen

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \\ \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \end{array} \right. \quad (6.10a)/(6.10b)$$

Dabei bedeuten:

„+“ „ist zu kombinieren“

\sum „gemeinsame Auswirkung von“

ξ der Reduktionsbeiwert für ungünstig wirkende ständige Einwirkungen G .

ANMERKUNG Weitere Angaben zur Wahl der Methode sind im Anhang A zu finden.

(4) Wenn die Beziehung zwischen den Einwirkungen und den Auswirkungen der Einwirkungen nicht linear ist, sollten die Beziehungen (6.9a) oder (6.9b) je nach Typ der Nichtlinearität (unterlinearer oder überlinearer Anstieg der Schnittgrößen) direkt angewendet werden (siehe auch 6.3.2.(4)).

Abbildung 8: Kombinationen von Einwirkungen (EN) [4]

3.3.1.2 Kombination der Einwirkungen laut ÖNORM B 1990-1 [5]

Im Nationalen Anhang für Österreich [5] gibt es keine Unterschiede für die in Punkt 3.3.1.1 (Seite 29) vorgestellten Formeln.

3.3.1.3 Kombination der Einwirkungen laut DIN EN 1990/NA [6]

Im Unterschied zum Nationalen Anhang für Österreich [5], sieht die DIN EN 1990/NA [6] für die Kombination von Einwirkungen nur die Formel (6.10) (Abbildung 8, Seite 30) vor. Die Verwendung der Formeln (6.10a und 6.10b; Abbildung 8, Seite 30) ist nicht zulässig. Des weiteren gibt es folgende Anmerkungen bei den Kombinationsregeln im Zusammenhang mit der Anwendung von Hallen:

- Treten Schnee und Wind als Begleiteinwirkung neben einer nicht klimatischen Leiteinwirkung auf, braucht bei Orten bis NN + 1000m nur eine der beiden klimatischen Einwirkungen als Begleiteinwirkung angesetzt werden (diese Regelung trifft auf übliche Hallen nicht zu). Ist jedoch eine der klimatischen Einwirkungen (Wind oder Schnee) eine Leiteinwirkung, ist die andere als Begleiteinwirkung zu berücksichtigen.
- Für die Windzonen III und IV darf bei der Kombination von Wind und Schnee - mit Wind als Leiteinwirkung - auf die Kombination mit Schnee als Begleiteinwirkung verzichtet werden. Hingegen ist mit Schnee als Leiteinwirkung der Wind als Begleiteinwirkung immer zu berücksichtigen.

3.3.2 Kombinationsbeiwerte ψ im Hochbau

Da die Wahrscheinlichkeit gering ist, dass verschiedenen veränderliche Einwirkungen (z.B. Nutzlasten, Schnee oder Wind) gleichzeitig und mit voller Höhe auftreten, wurden Kombinationsbeiwerte ψ eingeführt. Üblicherweise sind sämtliche Kombinationsbeiwerte kleiner als "1" (ausgenommen ψ_0 in der Kategorie E, vgl. Tabelle 12, Seite 33), dadurch entsteht eine verminderte veränderliche Begleiteinwirkung bei den Einwirkungskombinationen nach Formel (6.10) (Seite 29).

3.3.2.1 Kombinationsbeiwerte ψ im Hochbau laut EN 1990 [4]

Wie aus Formel (6.10) in Punkt 3.3.1.1 (Seite 29) ersichtlich, ist bei Auftreten von unterschiedlichen veränderlichen Einwirkung, die Begleiteinwirkung mit einem Kombinationsbeiwert ψ_0 zu versehen. Hierfür schlägt die EN [4] verschiedenen Zahlenwerte vor (vgl. Tabelle 12, Seite 33). Die auch in dieser Tabelle 12 vorkommenden Kombinationsbeiwerte ψ_1 und ψ_2 werden für Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) benötigt. Wie bereits erwähnt, beschäftigt sich diese Diplomarbeit nur mit dem Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit, weshalb auf diese Beiwerte (ψ_1 und ψ_2) nicht näher eingegangen wird.

Wie schon in Punkt 3.3.1.1 (Seite 29) angemerkt, sind Nutzlasten für Hallendächer (Kategorie H) bei gleichzeitiger Wirkung nicht mit Schnee- bzw. Windlasten zu überlagern. Dadurch ist auch der Kombinationsbeiwert ψ_0 für Nutzlasten in Tabelle 12 (Seite 33) mit 0 (Null) angegeben.

Veränderlichen Einwirkungen werden verschiedene Kombinationsbeiwerte ψ_0 zugeordnet. Das bedeutet zum Beispiel, dass dem Wind (wenn dieser als Begleiteinwirkung auftritt) ein Kombinationsbeiwert von $\psi_0 = 0,6$ zuzuordnen ist. Hingegen gibt es für Schneelasten im Hochbau unterschiedliche Kombinationsbeiwerte von ψ_0 , welche abhängig von der Höhe des Gebäudes über Normalnull (NN) sind. Für Orte mit einer Höhe über 1000 m ü. NN gilt als Beiwert $\psi_0 = 0,7$; für Orte unter 1000 m ü. NN ist der Kombinationsbeiwert $\psi_0 = 0,5$ (vgl. Tabelle 12, Seite 33, Zeile: Schneelasten im Hochbau).

Einwirkung	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Nutzlasten im Hochbau (siehe EN 1991-1-1)			
Kategorie A: Wohngebäude	0,7	0,5	0,3
Kategorie B: Bürogebäude	0,7	0,5	0,3
Kategorie C: Versammlungsbereiche	0,7	0,7	0,6
Kategorie D: Verkaufsflächen	0,7	0,7	0,6
Kategorie E: Lagerflächen	1,0	0,9	0,8
Fahrzeugverkehr im Hochbau Kategorie F: Fahrzeuggewicht $\leq 30\text{kN}$	0,7	0,7	0,6
Kategorie G: $30\text{kN} < \text{Fahrzeuggewicht} \leq 160\text{kN}$	0,7	0,5	0,3
Kategorie H: Dächer	0	0	0
Schneelasten im Hochbau (siehe EN 1991-1-3) ^a			
— Finnland, Island, Norwegen, Schweden	0,7	0,5	0,2
— Für Orte in CEN-Mitgliedsstaaten mit einer Höhe über 1000 m ü. NN	0,7	0,5	0,2
— Für Orte in CEN-Mitgliedsstaaten mit einer Höhe niedriger als 1000 m ü. NN	0,5	0,2	0
Windlasten im Hochbau (siehe EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Temperaturanwendungen (ohne Brand) im Hochbau, siehe EN 1991-1-5	0,6	0,5	0
ANMERKUNG Die Festlegung der Kombinationsbeiwerte erfolgt im Nationalen Anhang.			
^a Bei nicht ausdrücklich genannten Ländern sollten die maßgebenden örtlichen Bedingungen betrachtet werden.			

Tabelle 12: Empfehlungen für Zahlenwerte für Kombinationsbeiwerte im Hochbau (EN) [4]

3.3.2.2 Kombinationsbeiwerte ψ im Hochbau laut ÖNORM B 1990-1 [5]

Im Nationalen Anhang für Österreich [5] gibt es keine Unterschiede zu den Kombinationsbeiwerten in Tabelle 12.

3.3.2.3 Kombinationsbeiwerte ψ im Hochbau laut DIN EN 1990/NA [6]

Die Kombinationsbeiwerte entsprechen jenen aus dem Grunddokument [4]. Die im Grunddokument [4] verwendete Tabelle 12 ist umstrukturiert und mit den zusätzlichen Anmerkungen b und c versehen worden. Deswegen wird diese vollständigshalber in Tabelle 13 angeführt.

Einwirkung	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Nutzlasten im Hochbau (Kategorien siehe EN 1991-1-1) ^a			
— Kategorie A: Wohn- und Aufenthaltsräume	0,7	0,5	0,3
— Kategorie B: Büros	0,7	0,5	0,3
— Kategorie C: Versammlungsräume	0,7	0,7	0,6
— Kategorie D: Verkaufsräume	0,7	0,7	0,6
— Kategorie E: Lagerräume	1,0	0,9	0,8
— Kategorie F: Verkehrsflächen, Fahrzeuglast $\leq 30\text{ kN}$	0,7	0,7	0,6
— Kategorie G: Verkehrsflächen, $30\text{ kN} \leq \text{Fahrzeuglast} \leq 160\text{ kN}$	0,7	0,5	0,3
— Kategorie H: Dächer	0	0	0
Schnee- und Eislasten, siehe DIN EN 1991-1-3			
— Orte bis zu NN + 1 000 m	0,5	0,2	0
— Orte über NN + 1 000 m	0,7	0,5	0,2
Windlasten, siehe DIN EN 1991-1-4	0,6	0,2	0
Temperatureinwirkungen (nicht Brand), siehe DIN EN 1991-1-5	0,6	0,5	0
Baugrundsetzungen, siehe DIN EN 1997	1,0	1,0	1,0
Sonstige Einwirkungen ^{b,c}	0,8	0,7	0,5
^a Abminderungsbeiwerte für Nutzlasten in mehrgeschossigen Hochbauten siehe DIN EN 1991-1-1.			
^b Flüssigkeitsdruck ist im allgemeinen als eine veränderliche Einwirkung zu behandeln, für die die ψ -Beiwerte standortbedingt festzulegen sind. Flüssigkeitsdruck, dessen Größe durch geometrische Verhältnisse begrenzt ist, darf als eine ständige Einwirkung behandelt werden, wobei alle ψ -Beiwerte gleich 1,0 zu setzen sind.			
^c ψ -Beiwerte für Maschinenlasten sind betriebsbedingt festzulegen.			

Tabelle 13: Zahlenwerte für Kombinationsbeiwerte im Hochbau (DIN) [6]

3.3.3 Teilsicherheitsbeiwerte γ im Hochbau

Der Bemessungswert einer Einwirkung (z.B. G_d) ergibt sich durch die Multiplikation des charakteristischen Wertes dieser Einwirkung (z.B. G_k) mit dem dazugehörigen Teilsicherheitsbeiwert (z.B. γ_G). Dabei muss bei einer Kombination verschiedener Einwirkungen unterschieden werden, ob eine Einwirkung günstig oder ungünstig wirkt. Günstig bedeutet in diesem Zusammenhang, dass verschiedene Einwirkungen entgegengesetzte Wirkungsrichtungen aufweisen bzw. die Einwirkung die Konstruktion entlastet. Dies tritt zum Beispiel bei einer Dachkonstruktion bei Windsogbelastung auf, wo nun das Eigengewicht günstig wirkt. Für diesen Fall wurden im Anhang A (auf Seite 93, 99 bzw. 109 und 115) Berechnungsbeispiele durchgeführt. Für Bemessungswerte der Einwirkungen der Gruppe B (STR/GEO) gilt: Wirkt eine ständige Einwirkung bei einer Kombination günstig, so ist als Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_G = 1,0$ anzusetzen; für eine veränderliche Einwirkung beträgt dieser Beiwert $\gamma_Q = 0$. Das bedeutet, dass eine "günstig" (entgegengesetzt) wirkende veränderliche Einwirkung bei der Kombination nicht zu berücksichtigen ist.

3.3.3.1 Teilsicherheitsbeiwerte γ im Hochbau laut EN 1990 [4]

Wie bereits erwähnt wird hier nur auf die Teilsicherheitsbeiwerte der Gruppe B (STR/GEO) und auf die Formel (6.10) (Seite 29) eingegangen.

In Tabelle 14 (Seite 35) sind die verschiedenen Teilsicherheitsbeiwerte für ständige bzw. veränderliche Einwirkungen angegeben. Dabei bezieht sich der Index eines Teilsicherheitsbeiwertes auf die Art der Einwirkung bzw. ob diese günstig oder ungünstig wirkt. So bedeutet zum Beispiel der Buchstabe G, dass der Teilsicherheitsbeiwert mit einer ständigen Einwirkung (z.B. Eigengewicht) zu multiplizieren ist, der Buchstabe Q bezieht sich auf eine veränderliche Einwirkung (z.B. Wind oder Schnee).

Daraus folgt: für "günstige" ständige Einwirkungen ist der Teilsicherheitsbeiwert mit $\gamma_G = 1,0$; für "ungünstige" ständige Einwirkungen mit $\gamma_G = 1,35$ anzunehmen. Im Gegensatz dazu, gibt es für "ungünstig" wirkende veränderliche Einwirkungen einen Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_Q = 1,5$. Bei "günstiger" Wirkung von veränderlichen Einwirkungen ist dieser Beiwert 0 (Null), d.h. diese veränderliche Einwirkung bleibt unberücksichtigt.

3.3.3.2 Teilsicherheitsbeiwerte γ im Hochbau laut ÖNORM B 1990-1 [5]

Keine Nationalen Ergänzungen oder Änderungen zum Grunddokument EN 1990 [4].

3.3.3.3 Teilsicherheitsbeiwerte γ im Hochbau laut DIN EN 1990/NA [6]

Im Nationalen Anhang für Deutschland [6] wird die Tabelle 14 (Seite 35) durch die Tabelle 15 ersetzt. Es gibt jedoch keine Unterschiede bezüglich der Teilsicherheitsbeiwerte. Auch für ständige Einwirkungen gilt bei ungünstiger Wirkung 1,35 und bei günstiger Wirkung 1,0. Des Weiteren ist der Teilsicherheitsbeiwert γ_Q für veränderliche Einwirkungen mit 1,50 (ungünstig) bzw. 0 (günstig), gleich wie im Grunddokument [4], anzusetzen.

Einwirkung	Symbol	Situationen	
		P/T	A/E
unabhängige ständige Einwirkungen			
Auswirkung ungünstig ^{a, b}	$\gamma_{G,sup}$	1,35	1,00
Auswirkung günstig ^{a, b}	$\gamma_{G,inf}$	1,00	1,00
unabhängige veränderliche Einwirkungen			
Auswirkung ungünstig ^{b, c}	γ_Q	1,50	1,00
außergewöhnliche Einwirkungen	γ_A	—	1,00
<p>^a Beim Nachweis des Grenzzustands für das Versagen des Tragwerks werden alle charakteristischen Werte einer unabhängigen ständigen Einwirkung (d. h. die charakteristischen Werte aller ständigen Einwirkungen aus dem gleichen Ursprung) mit dem Faktor $\gamma_{G,sup}$ multipliziert, wenn die insgesamt resultierende Auswirkung auf die betrachtete Beanspruchung ungünstig ist, jedoch mit dem Faktor $\gamma_{G,inf}$, wenn die insgesamt resultierende Auswirkung günstig ist.</p> <p>^b Zur Wahl der Teilsicherheitsbeiwerte beim Nachweis von geotechnischen Grenzzuständen siehe DIN 1054-101:2009-02, Tabellen A 2-1, A 2-2 und A 2-3.</p> <p>^c Bei günstiger Auswirkung ist $\gamma_Q = 0$.</p> <p>^d Die Werte γ_G und γ_Q dürfen nur im Einzelfall und nur in Abstimmung mit der zuständigen Bauaufsichtsbehörde in Faktoren γ_g und γ_q für die Unsicherheiten der repräsentativen Werte der Einwirkungen und in einen Faktor γ_{Ed} für die Modellunsicherheit der Einwirkungen und Beanspruchungen aufgeteilt werden.</p>			

Tabelle 15: Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen (STR/GEO) (Gruppe B) (DIN) [6]

3.3.4 Anwendung auf Hallen

Für die Anwendung auf Hallen ergeben sich nun folgende maßgebende Kombinationen im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS). Die Kombination erfolgt nach Formel (6.10) (Seite 29). Für die in den Kombinationen vorkommenden Kombinations- und Teilsicherheitsbeiwerte wird auf die Kapitel 3.3.2 (Seite 32) und 3.3.3 (Seite 34) verwiesen.

3.3.4.1 Anwendung auf Hallen nach ÖNÖRM B 1990-1 [5]

Wie bereits erwähnt, gibt es im Nationalen Anhang für Österreich [5] keine Unterschiede zu der Formel (6.10), den Kombinationsbeiwerten ψ_0 und den Teilsicherheitsbeiwerten γ im Grunddokument [4].

Die nachfolgenden Kombinationen werden mit der Formel (6.10) aufgestellt, wobei aufgezeigt wird, wie sich die Formel (6.10) in Abhängigkeit von der maßgebenden veränderlichen Einwirkung (Schnee oder Wind) bzw. günstigen oder ungünstigen Teilsicherheitsbeiwerten verändert. Hierfür wird ein gelenkig gelagerter Dachträger angenommen, welcher ständige und veränderliche Einwirkungen (Wind und Schnee) erfährt. Des weiteren wird unterschieden, ob der Träger mit Winddruck (Wirkungsrichtung nach unten) oder Windsog (Wirkungsrichtung nach oben) belastet wird. Für die ständige Einwirkung (Eigengewicht Träger + Dachkonstruktion) und die veränderliche Einwirkung Schnee ist die Wirkungsrichtung immer nach unten. Die Teilsicherheitsbeiwerte und Kombinationsbeiwerte werden der Tabelle 16 entnommen. Zum leichteren Verständnis wird der charakteristische Wert der veränderlichen Einwirkung Wind mit w_k jener für Schnee mit s_k bezeichnet, und nicht mit $Q_{k,1}$ und $Q_{k,2}$. Da in der Regel keine Vorspannung auftritt, entfällt der Term $\gamma_P P$ in Formel (6.10).

Die allgemeine Formel (6.10) lautet:

$$E_d = E \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10)$$

Einwirkung	Teilsicherheitsbeiwert γ		Kombinationsbeiwert ψ_0
	günstig	ungünstig	
ständige (G_k)	1,0	1,35	---
Wind (w_k)	0	1,5	0,6
Schnee (s_k) über 1000m ü. NN	0	1,5	0,7
Schnee (s_k) unter 1000m ü. NN	0	1,5	0,5

Tabelle 16: Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte für Einwirkungen (ÖNORM)

- Lastfallkombination 1:

Eigengewicht mit Schnee (Leiteinwirkung) und Winddruck (Begleiteinwirkung).

$$E_d = E \sum Y_{G,sup} * G_k + Y_{Q,1} * s_k + \sum Y_{Q,2} * \psi_0 * w_k$$

$$E_d = E \sum 1,35 * G_k + 1,5 * s_k + \sum 1,5 * 0,6 * w_k$$

Die nachfolgenden Lastfallkombinationen 2a und 2b stellen in Wirklichkeit nur eine anzusetzende Lastfallkombination 2 dar, da ein Gebäude entweder über oder unter 1000 m ü. Normalnull (NN) liegt. Es wurden hier nur beide Varianten angeführt, um den Unterschied im Kombinationsbeiwert ψ_0 darzustellen.

- Lastfallkombination 2a:

Eigengewicht mit Winddruck (Leiteinwirkung) und Schnee über 1000m ü. NN (Begleiteinwirkung).

$$E_d = E \sum Y_{G,sup} * G_k + Y_{Q,1} * w_k + \sum Y_{Q,2} * \psi_0 * s_k$$

$$E_d = E \sum 1,35 * G_k + 1,5 * w_k + \sum 1,5 * 0,7 * s_k$$

oder

- Lastfallkombination 2b:

Eigengewicht mit Winddruck (Leiteinwirkung) und Schnee unter 1000m ü. NN (Begleiteinwirkung).

$$E_d = E \sum Y_{G,sup} * G_k + Y_{Q,1} * w_k + \sum Y_{Q,2} * \psi_0 * s_k$$

$$E_d = E \sum 1,35 * G_k + 1,5 * w_k + \sum 1,5 * 0,5 * s_k$$

- Lastfallkombination 3:

Eigengewicht mit Windsog (Leiteinwirkung) und Schnee (Begleiteinwirkung).

$$E_d = E \sum Y_{G,inf} * G_k + Y_{Q,1} * w_k + \sum Y_{Q,2} * \psi_0 * s_k$$

$$E_d = E \sum 1,0 * G_k + 1,5 * w_k + \sum 0 * 0,7 * s_k \rightarrow E_d = E \sum 1,0 * G_k + 1,5 * w_k$$

Da das Eigengewicht in der Lastfallkombination 3 eine günstige Wirkung in Bezug auf eine Windsogbeanspruchung bewirkt, ist hier der Teilsicherheitsbeiwert mit 1,0 anzusetzen. Die veränderliche Begleiteinwirkung Schnee wirkt ebenfalls günstig in Bezug auf eine Windsogbelastung, somit ist dieser Teilsicherheitsbeiwert 0.

Zusammenfassung:

Für die hier behandelten üblichen Hallen müssen nur drei unterschiedliche Lastkombinationen (LK 1; LK 2a oder 2b und LK 3) durchgeführt werden, um auf die maßgebende Belastung des Bauteiles (Bemessungswerte) schließen zu können. Es ist nicht möglich nur eine Lastfallkombination als bemessungsbestimmend anzugeben (LK1 oder 2), da dies von den charakteristischen Werten der einzelnen Einwirkungen abhängt und somit starken Einfluss auf das Ergebnis haben.

3.3.4.2 Anwendung auf Hallen nach DIN EN 1990/NA [6]

Für die Kombinationen gelten wieder die gleichen Annahmen wie für den Nationalen Anhang für Österreich [5]. Jedoch ist bei der Kombination nach dem Nationalen Anhang für Deutschland [6] darauf zu achten, ob sich das Gebäude in Windzone III oder IV befindet und eine zusätzliche nicht klimatische Leiteinwirkung (in der Regel nicht der Fall) auftritt (vgl. Punkt 3.3.1.3, Seite 31). Für die Festlegung der Windzonen III oder IV gilt die Abbildung 3 (Seite 11).

Die nachfolgenden Kombinationen werden wieder mit der Formel (6.10) aufgestellt. Hierfür wird ein gelenkig gelagerter Dachträger angenommen, welcher ständige und veränderliche Einwirkungen (Wind und Schnee) erfährt. Des Weiteren wird unterschieden, ob der Träger mit Winddruck (Wirkungsrichtung nach unten) oder Windsog (Wirkungsrichtung nach oben) belastet wird. Für die ständige Einwirkung (Eigengewicht Träger + Dachkonstruktion) und die veränderliche Einwirkung Schnee ist die Wirkungsrichtung immer nach unten. Des Weiteren wird unterschieden, ob das Gebäude sich in Windzone I, II, III oder IV befindet. Die Teilsicherheitsbeiwerte und Kombinationsbeiwerte werden der Tabelle 17 entnommen. Zum leichteren Verständnis wird der charakteristische Wert der veränderlichen Einwirkung Wind mit w_k und jener für Schnee mit s_k bezeichnet, und nicht mit $Q_{k,1}$ und $Q_{k,2}$. Da wieder keine Vorspannung auftritt, entfällt der Term $\gamma_P P$ in Formel (6.10).

Die allgemeine Formel (6.10) lautet:

$$E_d = E \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10)$$

Einwirkung	Teilsicherheitsbeiwert γ		Kombinationsbeiwert ψ_0
	günstig	ungünstig	
ständige (G_k)	1,0	1,35	---
Wind (w_k)	0	1,5	0,6
Schnee (s_k) über 1000m ü. NN	0	1,5	0,7
Schnee (s_k) unter 1000m ü. NN	0	1,5	0,5

Tabelle 17: Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte für Einwirkungen (DIN)

- Lastfallkombination 1:

Eigengewicht mit Schnee (Leiteinwirkung) und Winddruck (Begleiteinwirkung); Windzone I bis IV.

$$E_d = E \sum \gamma_{G,sup} * G_k + \gamma_{Q,1} * s_k + \sum \gamma_{Q,2} * \psi_0 * w_k$$

$$E_d = E \sum 1,35 * G_k + 1,5 * s_k + \sum 1,5 * 0,6 * w_k$$

Die nachfolgenden Lastfallkombinationen 2a, 2b und 2c stellen in Wirklichkeit jeweils nur eine anzuwendende Lastfallkombination 2 dar, da ein Gebäude entweder über oder unter 1000 m ü. Normalnull (NN) und nur in einer Windzone (I, II, III oder IV) liegt. Es wurden hier dennoch alle drei Varianten (2a - 2c) angeführt, um den Unterschied der einzelnen Beiwerte darzustellen.

- Lastfallkombination 2a:

Eigengewicht mit Winddruck (Leiteinwirkung) und Schnee über 1000m ü. NN (Begleiteinwirkung) für die Windzone I oder II.

$$E_d = E \sum \gamma_{G,sup} * G_k + \gamma_{Q,1} * w_k + \sum \gamma_{Q,2} * \psi_0 * s_k$$

$$E_d = E \sum 1,35 * G_k + 1,5 * w_k + \sum 1,5 * 0,7 * s_k$$

oder

-Lastfallkombination 2b:

Eigengewicht mit Winddruck (Leiteinwirkung) und Schnee unter 1000m ü. NN (Begleiteinwirkung) für die Windzone I oder II

$$E_d = E \sum \gamma_{G,sup} * G_k + \gamma_{Q,1} * w_k + \sum \gamma_{Q,2} * \psi_0 * s_k$$

$$E_d = E \sum 1,35 * G_k + 1,5 * w_k + \sum 1,5 * 0,5 * s_k$$

oder

-Lastfallkombination 2c:

Eigengewicht mit Winddruck (Leiteinwirkung) und Schnee für die Windzone III oder IV.

$$E_d = E \sum \gamma_{G,sup} * G_k + \gamma_{Q,1} * w_k + \sum \gamma_{Q,2} * \psi_0 * s_k$$

$$E_d = E \sum 1,35 * G_k + 1,5 * w_k + \sum 0 * 0,5 * s_k \rightarrow E_d = E \sum 1,35 * G_k + 1,5 * w_k$$

- Lastfallkombination 3:

Eigengewicht mit Windsog (Leiteinwirkung) und Schnee (Begleiteinwirkung).

$$E_d = E \sum \gamma_{G,inf} * G_k + \gamma_{Q,1} * w_k + \sum \gamma_{Q,2} * \psi_0 * s_k$$

$$E_d = E \sum 1,0 * G_k + 1,5 * w_k + \sum 0 * 0,7 * s_k \rightarrow E_d = E \sum 1,0 * G_k + 1,5 * w_k$$

Da das Eigengewicht in der Lastfallkombination 3 eine günstige Wirkung in Bezug auf eine Windsogbeanspruchung bewirkt, ist hier der Teilsicherheitsbeiwert mit 1,0 anzusetzen. Die veränderliche Begleiteinwirkung Schnee wirkt ebenfalls günstig in Bezug auf eine Windsogbelastung, somit ist dieser Teilsicherheitsbeiwert 0.

Zusammenfassung:

Für die hier behandelten Hallen müssen bei der vorhandenen Wind- und Schneebelastung für ein Gebäude in der Windzone I oder II drei unterschiedliche Lastkombinationen (LK 1; LK 2a oder 2b und LK 3) durchgeführt und miteinander verglichen werden, um auf die maßgebende Belastung (Bemessungswerte) schließen zu können.

Befindet sich hingegen das Gebäude in Windzone III oder IV so kann auf die Auswirkung der Begleiteinwirkung (Schnee) für die Kombination 2c verzichtet werden. Es ist nicht möglich die tatsächlich maßgebende Lastfallkombination als bemessungsbestimmend anzugeben, da dies von den charakteristischen Werten der Einwirkungen abhängt.

4. AUFBEREITETER BEMESSUNGSBEHELFB

Wie anfangs schon erwähnt, sind zum Teil sehr umfangreiche und unübersichtliche Windlastberechnungen für Hallenkonstruktionen (bzw. für Gebäude) nach Eurocode [1] bzw. den dazugehörigen Nationalen Anhängen ([2] oder [3]) notwendig, da unter anderem Hallengeometrie, -Geländekategorie sowie -Windanströmrichtung die Windlastberechnung beeinflussen. Das Ziel dieses Bemessungsbehelfs ist, die zum Teil sehr umfangreichen Windlastberechnungen für Hauptbauteile (dies sind Stützen und Träger) von Hallen zu vereinfachen. Dies erfolgt mit Hilfe von Ersatzdruckbeiwerten und vereinfachte Windlastbildern, welche im Anhang A berechnet, dargestellt und mit dem Eurocode verglichen wurden. Dabei wurde so vorgegangen, dass immer konservative Werte gegenüber dem Eurocode erhalten werden. Des weiteren kann dieser Bemessungsbehelf auch als Leitfaden für eine schnelle Abschätzung der zu erwartenden Schnittkräfte aus der Windbelastung dienen.

4.1 Systemübersicht und Gültigkeitsbereich

Dieser Bemessungsbehelf gilt für innenliegende Regelbinder (dies sind ebene Haupttragkonstruktionen in Hallenquerrichtung) von Hallen mit einer Höhe h von 7 oder 9 m; einer Breite (Hallenquerrichtung) b von 12, 18 oder 24 m sowie einer Länge L von 30, 60 oder 90 m. Außerhalb dieses für Hallen typischen Parameterbereichs wurde er nicht überprüft. Bei den statischen Systemen der Regelbinder wurde zwischen sogenannten entkoppelten und gekoppelten Systemen unterschieden. Entkoppelt in diesem Zusammenhang bedeutet, dass die Bauteilbeanspruchungen nur von der örtlichen Windlast auf diesen Bauteil abhängen (z.B. beidseitig gelenkig gelagerte Stütze, vgl. Abbildung 10, Seite 44). Des weiteren teilen sich die gekoppelten Regelbindersysteme in a) Rahmen mit nur einem eingespannten Stützenfuß und gelenkig aufgelagertem Dachträger (vgl. Abbildung 11, Seite 46) b) Rahmen mit eingespannten Stützenfüßen und gelenkig aufgelagertem Dachträger (vgl. Abbildung 12, Seite 46) und c) Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken (Zweigenkinder, vgl. Abbildung 13, Seite 47). Des weiteren ist die Hallenkonstruktion in einzelne entkoppelte Haupttragelemente (Dachträger und Einzelstützen, vgl. Abbildung 10, Seite 44) aufgeteilt worden, welche gelenkig gelagert sind.

In Abbildung 9 ist ein schematischer Grundriss (GR) einer Halle dargestellt. In diesem GR sind die Regelbinder (Achse B - H) und die Randbinder (Achse A und I) angedeutet. Dabei bedeutet - L = Hallenlänge; - b = Hallenbreite und e_{RB} = Regelbinderabstand. Dieser Regelbinderabstand liegt üblicherweise für Hallen zwischen 6 und 10 m. Der Schnitt A-A gilt sowohl für die entkoppelten wie auch für die gekoppelten Systeme.

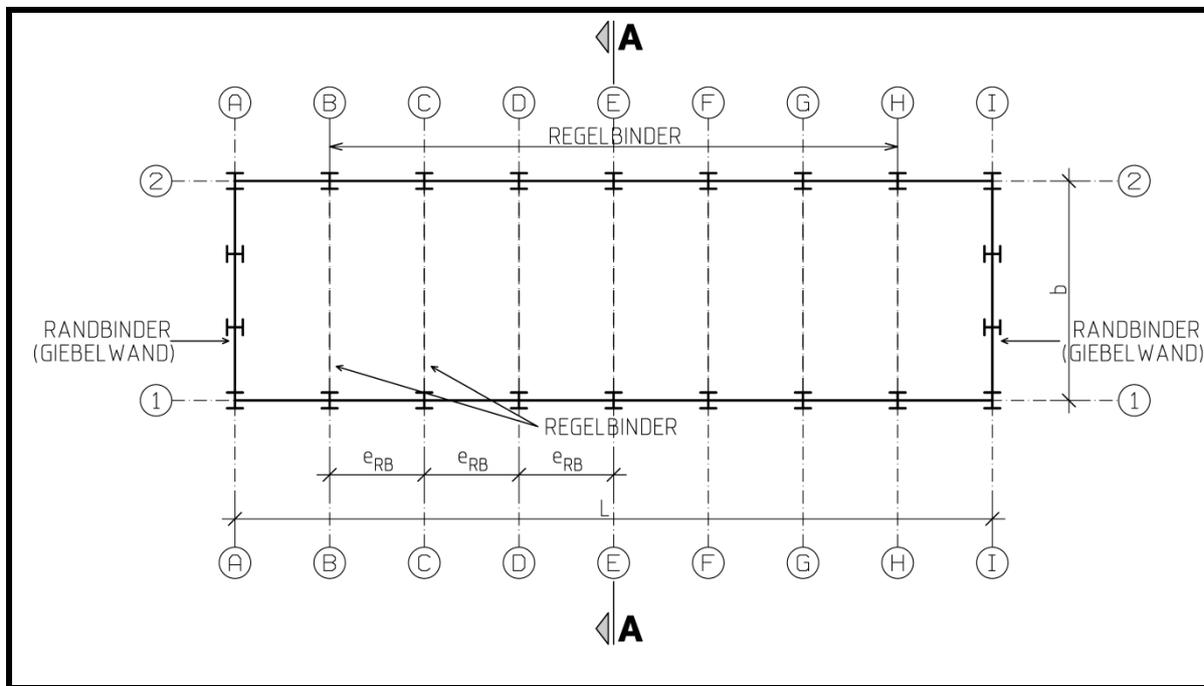


Abbildung 9: schematischer Grundriss einer Halle

4.1.1 Entkoppelte Systeme

Bei entkoppelten Systemen hängen die Bauteilbeanspruchungen nur von der örtlichen Windlast auf diesen Bauteil ab (z.B. beidseitig gelenkig gelagerte Stütze). Dadurch ist es möglich, den Regelbinder in seine einzelnen Haupttragkonstruktionen (dies sind Stützen und Träger) zu zerlegen und unabhängig voneinander zu betrachten (vgl. Abbildung 10, Seite 44). Diese Zerlegung ist deshalb möglich, da sowohl die Stützen wie auch der Träger beidseitig gelenkig gelagert sind. Im Anhang A sind diese Haupttragkonstruktionen unabhängig voneinander mit Wind belastet und die daraus folgenden Schnittgrößen (Querkraft V_z und Moment M_y) dargestellt worden (vgl. Kapitel A.2 Dachträger, Seite 5 ff. und Kapitel A.3 Einzelstützen, Seite 68 ff.).

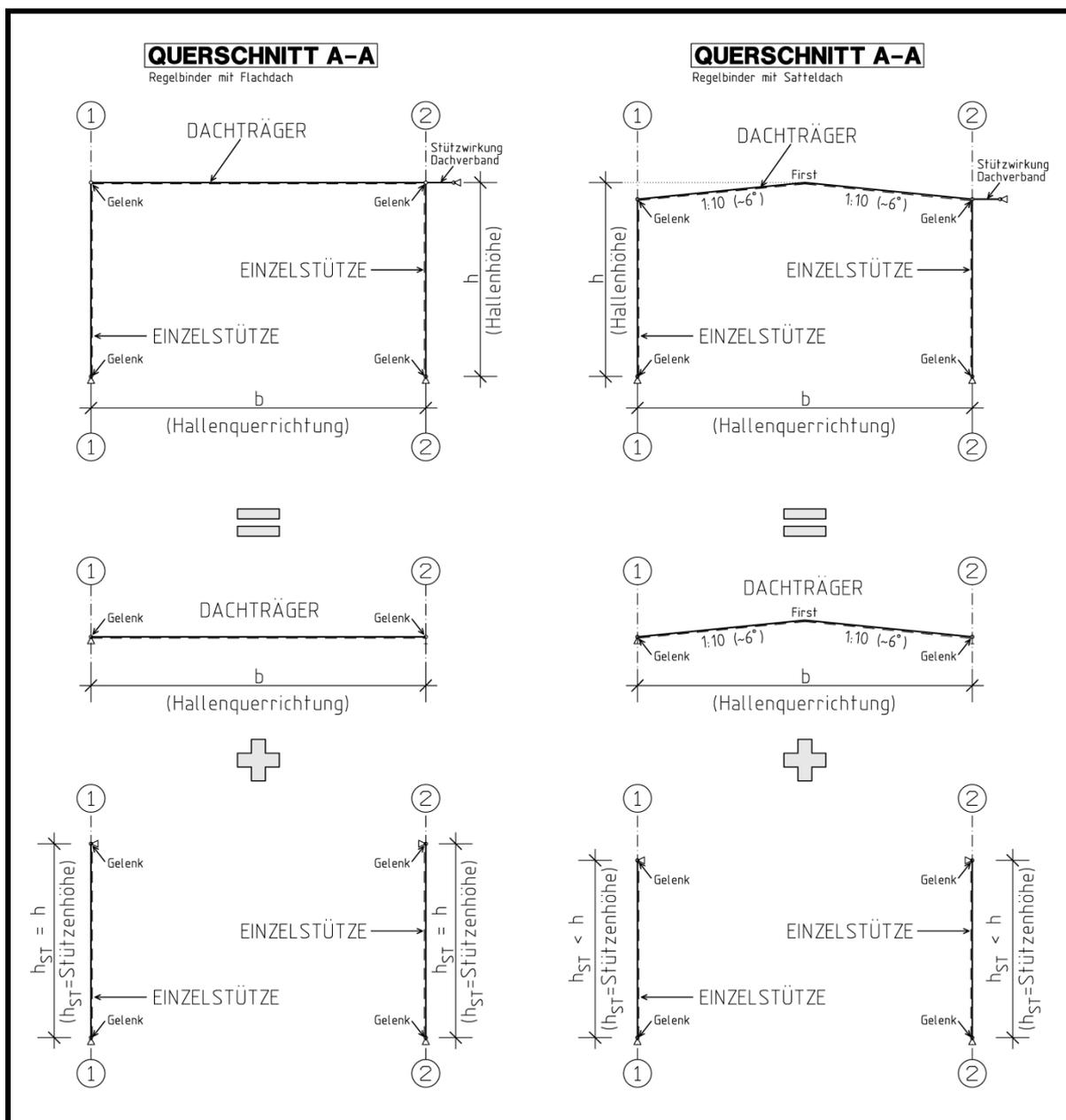


Abbildung 10: Querschnitt A-A für entkoppelte Systeme (Dachträger und Einzelstützen)

a) Beidseitig gelenkig gelagerter Dachträger

Wie bereits erwähnt, kann ein beidseitig gelenkig gelagerter Dachträger aus dem Regelbinder (dies ist eine ebene Haupttragkonstruktion in Hallenquerrichtung) herausgelöst und für die Bauteilnachweise isoliert betrachtet werden (vgl. Abbildung 10). Dabei entspricht das statische System jenem eines Einfeldträgers. Im Anhang A wurden diese zwei unterschiedlichen Einfeldträger (Flachdach oder Satteldach) mit Winddruck oder Windsog belastet und die daraus folgenden Schnittkräfte dargestellt (vgl. Anhang A, Seite 5 ff.). Dies erfolgte für Hallen mit einer Höhe h von 7 oder 9 m, einer Breite (Hallenquerrichtung) von 12, 18 oder 24m und einer Länge von 30, 60 oder 90m.

b) Beidseitig gelenkig gelagerte Einzelstütze

Gleich wie der Dachträger können auch die beidseitig gelenkig gelagerten Stützen in Achse 1 und 2 aus einem Regelbinder herausgelöst und isoliert betrachtet werden (vgl. Abbildung 10, Seite 44). Diese Einzelstützen wurden im Anhang A, Kapitel A.3 (Seite 68 ff.) ebenfalls mit Winddruck und Windsog belastet und die daraus folgenden Schnittkräfte dargestellt. Dies geschah wieder für die Hallenabmessungen:

- Höhe: 7 oder 9 m,
- Breite (Hallenquerrichtung): 12, 18 oder 24 m,
- Länge: 30, 60 oder 90 m.

4.1.2 Gekoppelte Systeme

In dieser Diplomarbeit wird auf folgende gekoppelte Systeme (Regelbindersysteme) eingegangen:

- a) Rahmen mit nur einem eingespannten Stützenfuß und gelenkig aufgelagertem Dachträger, Abbildung 11 (Seite 46) - System S1,
- b) Rahmen mit eingespannten Stützenfüßen und gelenkig aufgelagertem Dachträger, Abbildung 12 (Seite 46) - System S2,
- c) Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken (Zweigelenkbinder), Abbildung 13 (Seite 47) - System S3.

Im Unterschied zu entkoppelten Systemen ist eine isolierte Betrachtung der Stützen eines der genannten Regelbinder nicht möglich, da die Schnittkräfte einer Stütze sowohl von der direkten (luvseitig) wie auch von der indirekten (leeseitig) Windbelastung abhängen. In diesem Zusammenhang bedeutet luvseitig, die der Windrichtung zugewandte Wandfläche und leeseitig, die der Windrichtung abgewandte Wandfläche. Dies, auf den Schnitt A-A angewandt, bedeutet: Strömt der Wind von links (\rightarrow), ist die Luvseite entlang der Achse 1 und die Leeseite der Hallenkonstruktion entlang der Achse 2. Dreht die Windrichtung und strömt somit von rechts nach links (\leftarrow), wird die Achse 2 zur Luvseite und die Achse 1 zur Leeseite. Auf diese Unterscheidung bzw. die daraus entstehenden Schnittkräfte wird im Anhang A, A.4 Gekoppelte System (Seite 85 ff.) eingegangen. Darüberhinaus ist auch der Innendruck bzw. -sog in der Halle zu beachten. Für die unterschiedlichen gekoppelten Systeme wurden wieder folgende Hallenabmessungen festgelegt: - Höhe 7 oder 9 m, Breite (Hallenquerrichtung) 12, 18 oder 24 m und Länge 30, 60 und 90 m. Der Querschnitt A-A eines gekoppelten Systems bezieht sich wieder auf die Abbildung 9 (Seite 43).

a) Rahmen mit nur einem eingespannten Stützenfuß und gelenkig aufgelagertem Dachträger - System S1

In Abbildung 11 wird dieses gekoppelte System dargestellt. Dabei ist der Stützenfuß in Achse 1 eingespannt und in Achse 2 gelenkig. Der Dachträger für ein Flachdach oder Satteldach wird beidseitig gelenkig aufgelagert und kann wieder als entkoppeltes Teilsystem betrachtet werden. Dieses gekoppelte System wurde im Anhang A für den Nationalen Anhang für Österreich [2] unter Punkt A.4.1.1 (Seite 85 ff.) und für den Nationalen Anhang für Deutschland [3] unter Punkt A.4.2.1 (Seite 101 ff.) behandelt.

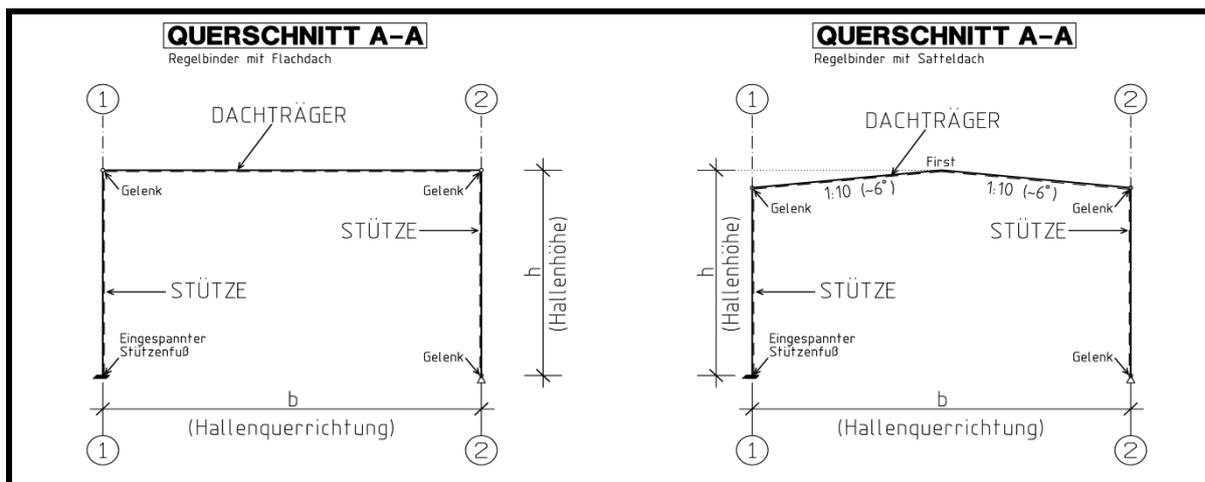


Abbildung 11: Querschnitt A-A (gekoppeltes System S1)

b) Rahmen mit eingespannten Stützenfüßen und gelenkig aufgelagertem Dachträger - System S2

Im Unterschied zu dem gekoppelten System S1 ist nun jede Stütze (Achse 1 und 2) eingespannt. Der Dachträger ist wie im System S1 beidseitig gelenkig aufgelagert. Diese Systeme wurde im Anhang A, Punkt A.4.1.2 (Seite 87 ff.) für Österreich und Punkt A.4.2.2 (Seite 103 ff.) für Deutschland untersucht.

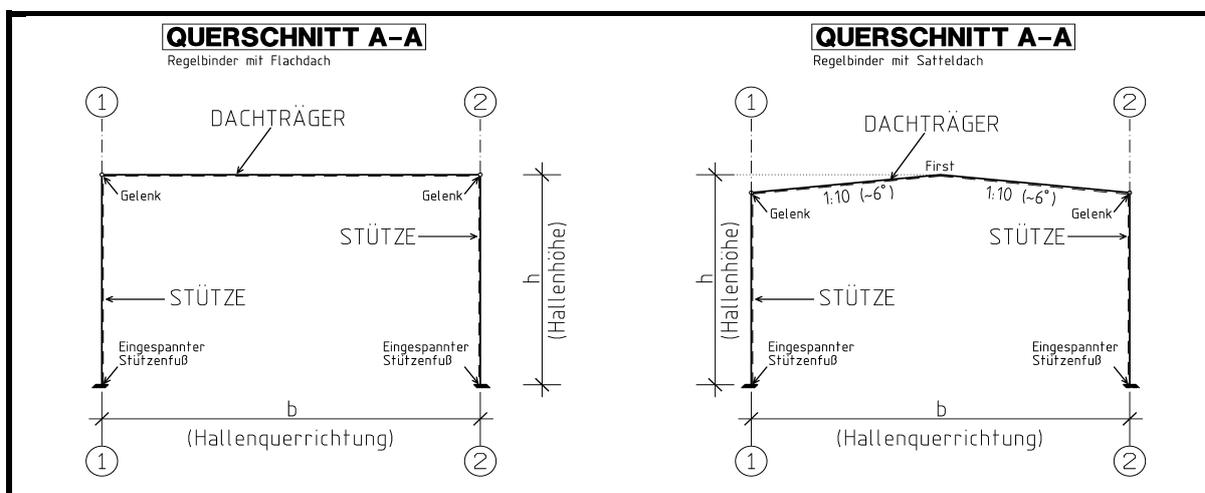


Abbildung 12: Querschnitt A-A (gekoppeltes System S2)

c) Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken (Zweigelenkbinder) - System S3

In Abbildung 13 ist ein Zweigelenkbinder bildlich dargestellt. Ein Zweigelenkbinder ist 1-fach statisch unbestimmt. Die Schnittgrößen sind in der statischen Berechnung von Querschnitten und Steifigkeiten der einzelnen Haupttragelemente (Dachträger, Stützen) abhängig.

Der Zweigelenkbinder weist, im Gegenteil zu den gekoppelten Systemen S1 und S2 (Seite 46) biegesteife Rahmenecken im Bereich Dachträger - Stütze auf. Dies hat zur Folge, dass in den Rahmenecken das Moment M_y nicht null ist, wie es bei einer gelenkigen Lagerung der Fall ist. Die Stützenfüße in den Achsen 1 und 2 sind hingegen gelenkig gelagert. Dieses gekoppelte System wird unter Punkt A.4.1.3 (Seite 89 ff.) für den Nationalen Anhang für Österreich [2] und unter Punkt A.4.2.3 (Seite 105 ff.) für den Nationalen Anhang für Deutschland [3] behandelt.

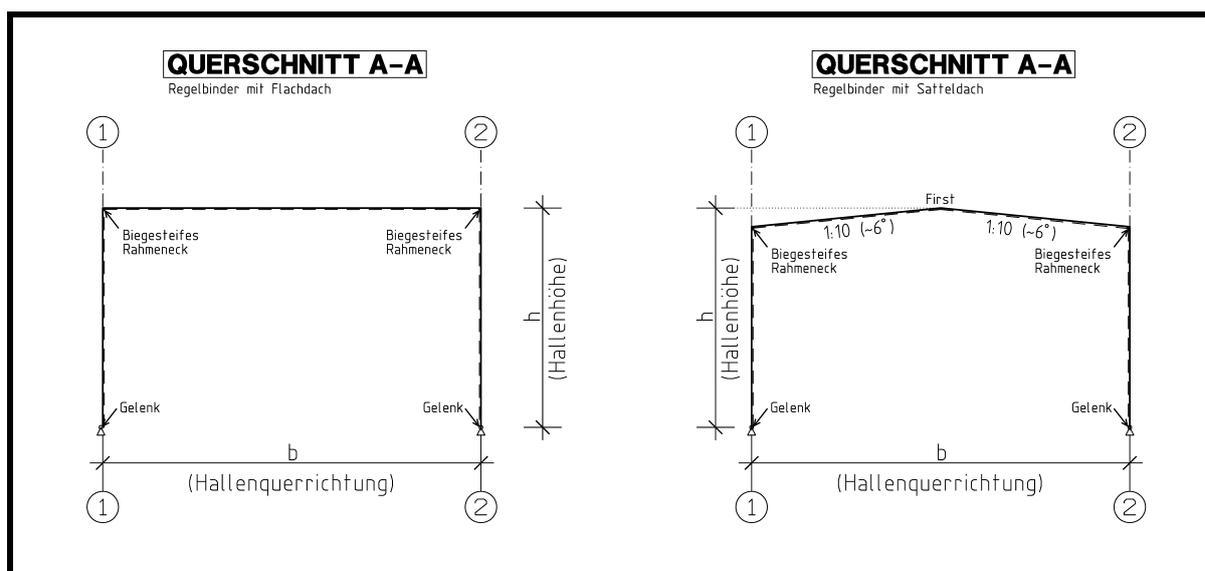


Abbildung 13: Querschnitt A-A (gekoppeltes System S3, Zweigelenkbinder)

4.2 Maßgebende Windlastfälle für die einzelnen Systeme

4.2.1 Böengeschwindigkeitsdruck q_p

Der Böengeschwindigkeitsdruck q_p ist als maßgebende Windbelastung auf ein Gebäude anzusehen. Dieser Wert q_p ist vom Basisgeschwindigkeitsdruck q_b , der Geländekategorie (I-IV) und der Höhe des Gebäudes abhängig. Wie bereits unter Punkt 3.2.4 (Seite 14 ff.) erwähnt, gibt es auf Grund des länderspezifischen Windprofils sowohl für Österreich wie auch für Deutschland eigene Formelapparate (vgl. Tabelle 4, Seite 15 mit Tabelle 3, Seite 13) zur Berechnung des Böengeschwindigkeitsdrucks. Durch diese verschiedenen Formelapparate (Ausnahme: GK II) und den dazugehörigen Mindesthöhen z_{\min} ist zwischen dem Nationalen Anhang für Österreich [2] und Deutschland [3] zu differenzieren. In Tabelle 18 sind nochmals die Geländekategorien I bis IV definiert und mit den dazugehörigen Mindesthöhen z_{\min} versehen worden.

In Abbildung 14 (Seite 49) wird das Verhältnis q_p zu q_b (q_p/q_b) in Abhängigkeit von Geländekategorie (I-IV) und Gebäudehöhe h (bis 20 m) unter Berücksichtigung des jeweiligen Nationalen Anhangs (NAD Ö [2] und NAD D [3]) dargestellt. Bei Kenntnis der Gebäudehöhe h sowie der Geländekategorie, kann somit das Verhältnis q_p/q_b an der Abszissenachse abgelesen werden. Durch Multiplikation des abgelesenen Wertes mit dem Basisgeschwindigkeitsdruck q_b für den Standort des Gebäudes kann der Böengeschwindigkeitsdruck q_p berechnet werden: $q_p = (q_p/q_b) \cdot q_b$. Dies wird auf Seite 50 durch ein Beispiel erklärt.

GELÄNDEKATEGORIE	MINDESTHÖHE z_{\min} [m]	
	NAD Ö [2]	NAD D [3]
Geländekategorie I (Anm.: existiert nicht in Österreich) Offene See, Seen mit mindestens 5 km freier Fläche in Windrichtung; glattes Land ohne Hindernisse	-----	2,0
Geländekategorie II Gebiete mit niedriger Vegetation wie Gras und einzelnen Hindernissen (Bäume, Gebäude, landwirtschaftliches Gebiet)	5,0	4,0
Geländekategorie III Dörfer, Vorstädte, Industrie- oder Gewerbegebiete, Wälder oder dgl.	10,0	8,0
Geländekategorie IV Gebiete, in denen mindestens 15 % der Oberfläche mit Gebäuden mit einer mittleren Höhe von 15 m bebaut ist (Städte)	15,0	16,0

Tabelle 18: Geländekategorien mit dazugehörigen Mindesthöhen z_{\min}

Nachfolgend wird kurz erklärt, wie die Abbildung 14 anzuwenden ist.

Wie bereits erwähnt, wird die Gebäudehöhe h sowie die Geländekategorie (I-IV) benötigt. Auf der Ordinatenachse (Gebäudehöhe h [m]) wird die Gebäudehöhe eingetragen und eine waagrechte Linie nach rechts (\rightarrow) bis zur jeweiligen Geländekategorie (I-IV) gezeichnet. Dadurch entsteht ein Schnittpunkt zwischen der Gebäudehöhe und der Geländekategorie. Von diesem Punkt (x) ausgehend, folgt eine senkrechte Linie nach unten (\downarrow), welche an der Abszissenachse den anzusetzenden Wert q_p/q_b liefert. Diese Vorgehensweise ist schematisch in Abbildung 14 für eine 9 m hohe Halle, Geländekategorie II, dargestellt.

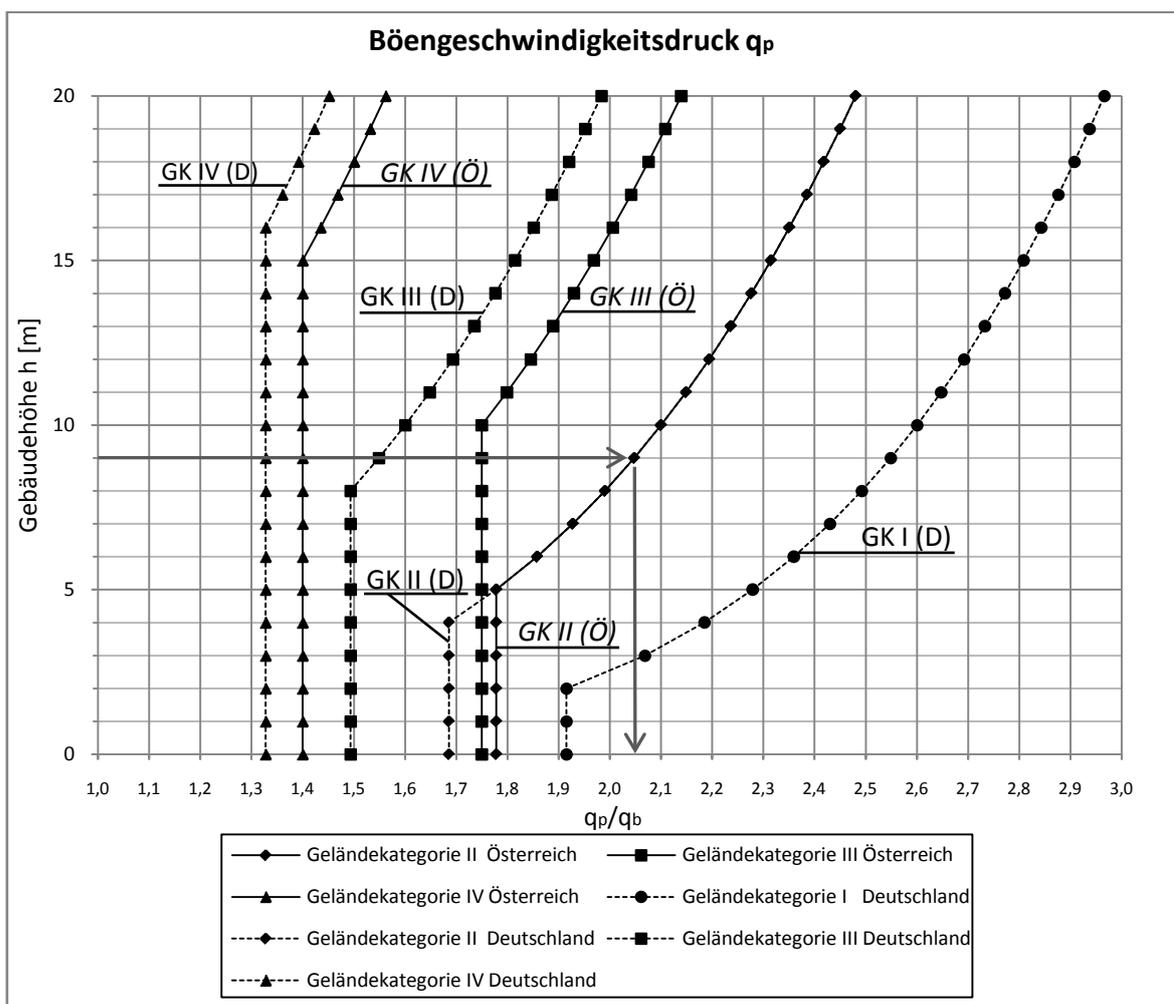


Abbildung 14: Böengeschwindigkeitsdruck q_p

Aus Abbildung 14 ist erkennbar, dass - bei gleicher Höhe eines Gebäudes - höhere Böengeschwindigkeitsdrücke nach dem Nationale Anhang für Österreich [2] entstehen (Ausnahme GK I, da in Österreich nicht vorhanden und GK II, bei Gebäudehöhe 5 - 20 m). Dieser Unterschied entsteht durch die verschiedenen Formelapparate für das Profil der Windgeschwindigkeit der jeweiligen Geländekategorien in Österreich und Deutschland (vgl. Tab. 4, Seite 15 mit Tab. 3, Seite 13).

Berechnungsbeispiel Böengeschwindigkeitsdruck:

Bei diesem Berechnungsbeispiel wird zwischen Österreich (Punkt a) und Deutschland (Punkt b) unterschieden. Für beide Länder gelten die gleichen Annahmen. Diese sind:

- Geländekategorie III,
- Gebäudehöhe $h = 9 \text{ m}$,
- Basiswindgeschwindigkeitsdruck $q_b = 0,39 \text{ kN/m}^2$ (dies entspricht einer Windgeschwindigkeit $v_b = 25 \text{ m/s} = 90 \text{ km/h}$)

a) NAD Österreich

-Gebäudehöhe $h = 9 \text{ m} \rightarrow h(9) < z_{\min}(10)$ (\rightarrow Ablesung für $h = 10 \text{ m}$)

Verhältnis $q_p/q_b (\downarrow) = \sim 1,75 \rightarrow q_p = 1,75 * q_b = 1,75 * 0,39 = \underline{0,68 \text{ kN/m}^2}$

a) NAD Deutschland

-Gebäudehöhe $h = 9 \text{ m} \rightarrow h(9) > z_{\min}(8)$ (\rightarrow Ablesung für $h = 9 \text{ m}$)

Verhältnis $q_p/q_b (\downarrow) = \sim 1,55 \rightarrow q_p = 1,55 * q_b = 1,55 * 0,39 = \underline{0,61 \text{ kN/m}^2}$

4.2.2 Ersatzdruckbeiwerte für entkoppelte Dachträger

4.2.2.1 Resultierende Wirkung nach oben

Wie schon in Punkt 3.2.5 (Seite 17 ff.) erklärt, sind laut EN 1991-1-4 [1] die Außenflächen von Gebäuden in Zonen (A-E für Wände und F-J für Dachflächen) einzuteilen (vgl. Abb. 5 Seite 18, Abb. 6 Seite 22 und Abb. 7 Seite 25) und verschiedenen hohen Außendruckbeiwerten zuzuordnen. Dabei hängt sowohl die Zoneneinteilung wie auch die Außendruckbeiwerte von den Gebäudeabmessungen (Höhe, Länge, Breite) bzw. den daraus resultierenden Randabstand e ab. Das bedeutet, dass bei Änderungen von Gebäudeabmessungen sich auch der Randabstand e ändert und eine neue Zonenteilung sämtlicher Gebäudeflächen sowie eine neue Windlastberechnung erforderlich ist.

Darüberhinaus ist für die Festlegung der resultierenden Windbelastung auf den Bauteil auch der Innendruck bzw. Innensog im Halleninneren zu beachten.

Die im Zuge dieser Diplomarbeit ermittelten verschiedenen Ersatzdruckbeiwerte - wie später noch genau erklärt - für die Windbelastung (Windwirkung nach oben) für einen beidseitig gelenkig aufgelagerten Dachträger eines Regelbinders vereinfachen diesen zum Teil umfangreichen Aufwand erheblich. Eine Ermittlung von Ersatzdruckbeiwerten für Stützen eines Regelbinders ist nicht erforderlich, da die Windbelastung für die hier untersuchten Hallen ($h \leq b$) immer konstant über die Stützhöhe wirkt.

Um auf die maßgebende Windbelastung für einen beidseitig gelenkig aufgelagerten Dachträger eines Regelbinders schließen zu können, ist es erforderlich die Dachfläche je nach Windanströmrichtung in die Zonen F bis I (J für Satteldächer) einzuteilen und mit Außen- und Innendruckbeiwerten (Innensog oder Innendruck) zu versehen. Diesbezüglich wird bei der Windanströmrichtung zwischen der Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) und der Windrichtung II (in Hallenlängsrichtung) unterschieden (vgl. Abbildung 15). Im Anhang A dieser Diplomarbeit wurde diese Zoneneinteilung für Hallen mit einer Höhe von 7 oder 9 m, einer Länge von 30, 60 oder 90 m und einer Breite (Hallenquerschnitt) von 12, 18 und 24 m durchgeführt. Bei der Dachform wurde zwischen einem Flach- oder Satteldach unterschieden.

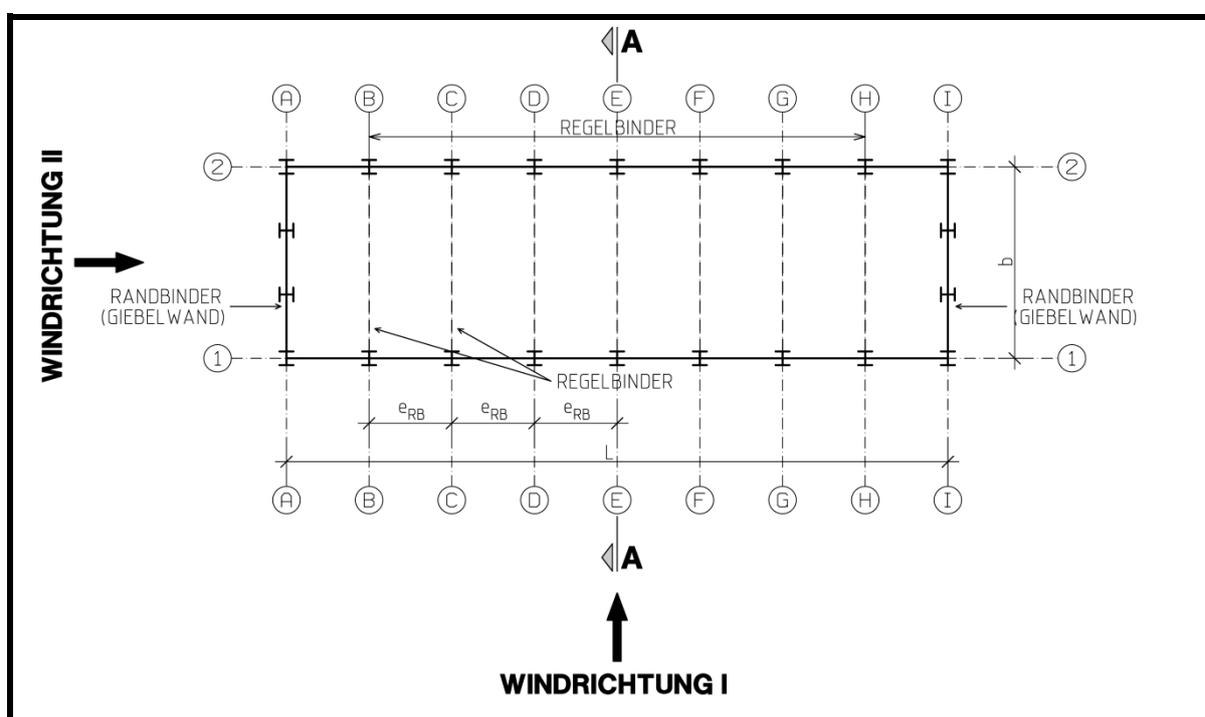


Abbildung 15: Unterschied Windrichtungen I und II

Aus diesen Zoneneinteilungen im Anhang A ist erkennbar, dass üblicherweise die maßgebende ungünstigste Windbelastung auf einen beidseitig gelenkig gelagerten Dachträger (Flach- oder Satteldach) eines Regelbinders durch Windsog (Windeinwirkung nach oben) an der Außenseite und begleitend Innendruck (Windeinwirkung nach unten), infolge der Windrichtung quer zur Hallenlängsrichtung (Windrichtung I) entsteht. Es kann jedoch vorkommen, dass bei einem geringen Regelbinderabstand (e_{RB} bzw. $b_i < 8\text{m}$) mit einer gleichzeitigen Hallenhöhe $h > 7\text{m}$ der erste innenliegende Regelbinder nach dem Randbinder eine erhöhte Windbelastung aus Windrichtung II (vgl. Anhang A Seite 16 ff) erfährt. Tritt dieser Fall ein, so ist an diesem ersten innenliegenden Dachträger nahe der Giebelwand der Druckbeiwert $c_{Wind II}$ anzusetzen.

Um die abgetrepte Windbelastung aus der Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) zu vereinfachen, wurden Ersatzdruckbeiwerte ermittelt (vgl. Abbildung 16). Diese Ersatzdruckbeiwerte weisen einen konstanten Wert über die Dachträgerlänge auf und decken je nach Erfordernis die Auflagerreaktionen und Querkräfte bzw. die Momente des Dachträgers ab (vgl. Anhang A, Abb. 5, Seite 10). Bei der Berechnung wurde darauf geachtet, maximal 2% vom tatsächlichen Wert abzuweichen. Im Anhang A Punkt A.5.1 (Seite 117 ff.) sind die Schnittgrößen (V_z und M_y) sowie die prozentualen Unterschiede der in dieser Diplomarbeit untersuchten innenliegenden, beidseitig gelenkig aufgelagerten Dachträger zusammengefasst worden.

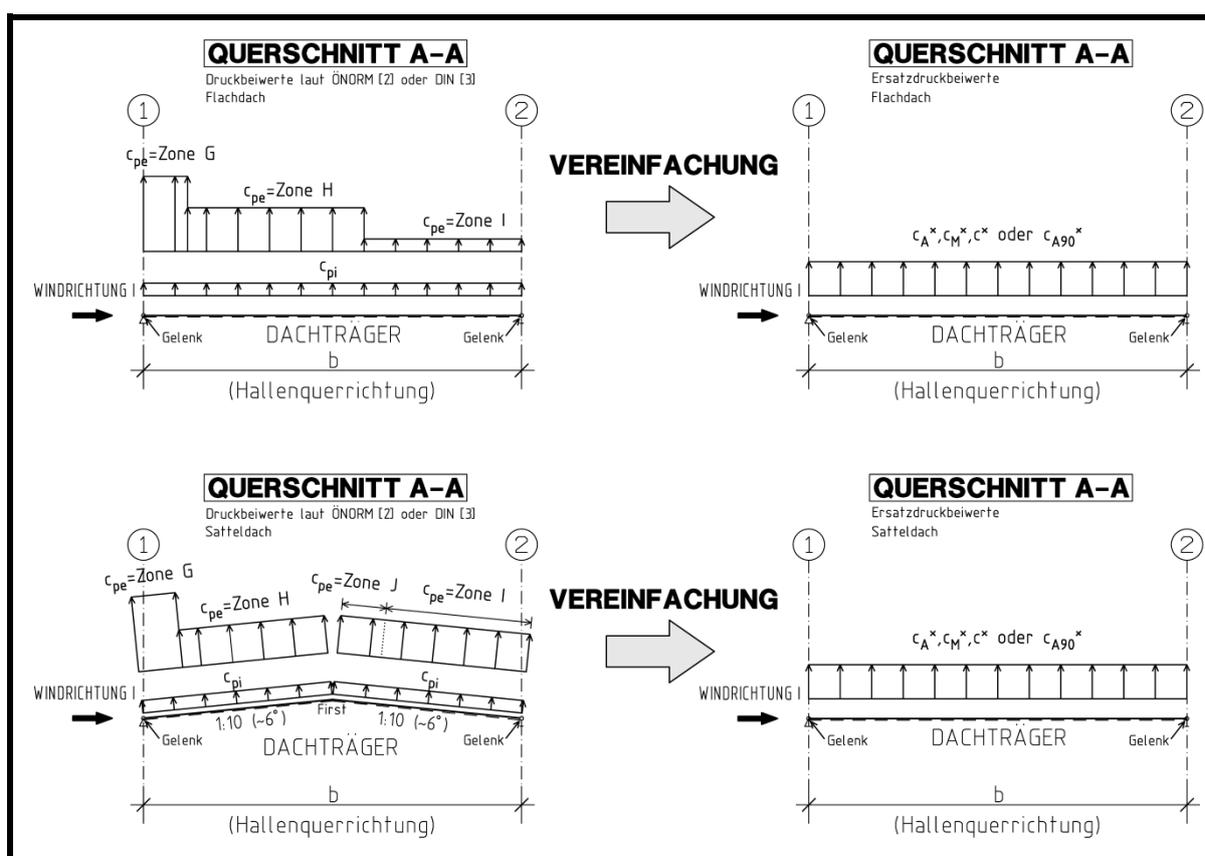


Abbildung 16: Vereinfachung der Druckbeiwerte

Die ermittelten Ersatzdruckbeiwerte wurden nur für Hallenkonstruktionen mit einer Höhe von 7 oder 9 m, einer Länge von 30, 60 oder 90 m, einer Breite (Hallenquerrichtung) von 12, 18 und 24 m und bei Ausführung mit Flachdach oder Satteldach (Neigung 1:10, $\sim 6^\circ$) überprüft. Wie bereits in Punkt 3.2.5.2 (Seite 21 ff.) erwähnt, gibt es zwischen dem Nationalen Anhang für Österreich [2] und Deutschland [3] Unterschiede für den Außendruckbeiwert der Zone I bei Flachdächern. Nach dem NAD Österreich [2] ist dieser mit -0,2 anzunehmen, im NAD Deutschland beträgt dieser Wert -0,6. Dadurch ist es notwendig bei den Ersatzdruckbeiwerten für Flachdächer zwischen Österreich und Deutschland zu un-

terscheiden. Im Gegensatz dazu gibt es für Satteldächer (Neigung 1:10, $\sim 6^\circ$) keine Unterschiede zwischen der ÖNORM [2] und der DIN [3] (vgl. Punkt 3.2.5.3, Seite 24). Deshalb gelten die angeführten Ersatzbeiwerte sowohl für Österreich, wie auch für Deutschland.

Die ausgewiesenen Ersatzdruckbeiwerte gliedern sich in:

- Ersatzdruckbeiwert c_A^*

Dieser Beiwert c_A^* wurde entwickelt, um die maximale Auflagerreaktion und damit auch den Querkraftverlauf bei einer Windeinwirkung nach oben (Windsog) abzudecken. Dieser Beiwert kann z.B. angesetzt werden, um bei leichten Dachkonstruktionen die Verbindungsmitteln zwischen Dachträger und Stütze zu dimensionieren.

- Ersatzdruckbeiwert c_M^*

Um nur das maximale auftretende Moment M_y des Dachträgers abzudecken, kann der kleinere Ersatzdruckbeiwert c_M^* gewählt werden. Es ist zu beachten, dass dadurch eine Unterschätzung der Auflagerreaktion von bis zu $\sim 45\%$ möglich ist (vgl. Anhang A, Abbildung 7 Seite 12).

- Ersatzdruckbeiwert c_{A90}^*

Dieser Beiwert entspricht 90% des Ersatzdruckbeiwerts c_A^* und kann als eine wirtschaftliche Näherung angesehen werden, um sowohl die Auflagerreaktion wie auch das Moment abzudecken. Dieser Beiwert unterschätzt üblicherweise die Auflagerreaktion um ca. 10% und überschätzt das Moment um ca. 3%. Für Flachdächer in Österreich ist die Verwendung von c_{A90}^* nicht sinnvoll, da der Außendruckbeiwert der Zone I nur 0,2 beträgt und es somit zu einer deutlichen Überschätzung des Momentes kommt (ähnlich hoch als bei der Verwendung von c_A^*). Deswegen wurde der Ersatzdruckbeiwert c^* für Flachdächer entwickelt.

- Ersatzdruckbeiwert c^*

Der Ersatzdruckbeiwert c^* wird nur für Flachdächer in Österreich angewendet und lautet:

$$c^* = c_A^* \times (0,85 - (b-12)/12 \times 0,15)$$

Der Wert b stellt dabei die Hallenbreite dar.

Mit Hilfe dieses Ersatzbeiwertes c^* wurde versucht, eine gleichzeitige Näherung für die Auflagerreaktionen wie auch für das maximale Moment zu erhalten. Für Hallen mit einer Breite bis zu 12 m ist diese Annäherung akzeptabel, für 18 oder 24 m breite Hallen werden die Auflagerreaktionen wieder deutlich unterschätzt (vgl. Anhang A, Seite 118 -119).

Die verschiedenen Ersatzdruckbeiwerte sind in den Tabellen 19 -21, Seite 55 zusammengefasst. Sie beziehen sich auf einen fiktiven Böengeschwindigkeitsdruck q_p von $1,0 \text{ kN/m}^2$ und einem fiktiven Regelbinderabstand von $1,0 \text{ m}$. Die daraus resultierenden Schnittkräfte (V_z und M_y) und die Abweichungen zum jeweiligen Nationalen Anhang (ÖNORM [2] oder DIN [3]) können dem Anhang A, Punkt. A.5.1 (Seite 118) entnommen werden.

Wie bereits erwähnt, kann es durch einen geringen Regelbinderabstand (z.B. 6 m) bei einer gleichzeitigen großen Hallenhöhe (z.B. 9 m) vorkommen, dass der erste innenliegende Regeldachbinder nach dem Randdachbinder "voll" in der Zone H liegt. Diese Beanspruchung entsteht durch die Windrichtung II. Deshalb werden in den Tabellen die Druckbeiwerte $c_{\text{Wind II}}$ ausgewiesen, welche für den ersten innenliegenden Dachträger gelten. Ist der Druckbeiwert $c_{\text{Wind II}}$ größer als c_A^* bzw. c_M^* , so ist dieser auf den ersten innenliegenden Dachträger anzusetzen. Sind keine Werte in den Zeilen angegeben, so sind beide Ersatzdruckbeiwerte c_A^* und c_M^* auch für den ersten innenliegenden Dachträger ausreichend (größer als der Druckbeiwert $c_{\text{Wind II}}$). Die Ermittlung der Beiwerte c_i bzw. die genauen Abweichungen zu c_A^* bzw. c_M^* können dem Anhang A (Seite 16 ff.) entnommen werden.

a) Ersatzdruckbeiwerte für Flachdächer nach

-ÖNORM:

Hallenhöhe h, Hallbreite b	Abdeckung Auflagerkräfte	Abdeckung Momente	c^*	$c_{Wind II}$ $e_{RB}=6m$	$c_{Wind II}$ $e_{RB}=8m$	$c_{Wind II}$ $e_{RB}=10m$
h7/b12:	$c_A^* = 0,92$	$c_M^* = 0,75$	$c^*=0,78$	---	---	---
h7/b18	$c_A^* = 0,79$	$c_M^* = 0,57$	$c^*=0,61$	0,73	0,59	---
h7/b24	$c_A^* = 0,71$	$c_M^* = 0,49$	$c^*=0,50$	0,73	0,59	0,50
h9/b12	$c_A^* = 1,00$	$c_M^* = 0,86$	$c^*=0,85$	---	---	---
h9/b18	$c_A^* = 0,87$	$c_M^* = 0,68$	$c^*=0,67$	0,90	0,71	---
h9/b24	$c_A^* = 0,78$	$c_M^* = 0,56$	$c^*=0,55$	0,90	0,71	0,60

Tabelle 19: Ersatzbeiwerte für Windeinwirkung nach oben (ÖNORM, Flachdach)

-DIN:

Hallenhöhe h, Hallbreite b	Abdeckung Auflagerkräfte	Abdeckung Momente	c_{A90}^*	$c_{Wind II}$ $e_{RB}=6m$	$c_{Wind II}$ $e_{RB}=8m$	$c_{Wind II}$ $e_{RB}=10m$
h7/b12:	$c_A^* = 1,00$	$c_M^* = 0,88$	0,90	---	---	---
h7/b18	$c_A^* = 0,94$	$c_M^* = 0,84$	0,84	0,87	---	---
h7/b24	$c_A^* = 0,91$	$c_M^* = 0,82$	0,82	0,87	0,84	---
h9/b12	$c_A^* = 1,03$	$c_M^* = 0,91$	0,93	---	---	---
h9/b18	$c_A^* = 0,97$	$c_M^* = 0,86$	0,87	0,90	---	---
h9/b24	$c_A^* = 0,93$	$c_M^* = 0,84$	0,84	0,90	---	---

Tabelle 20: Ersatzbeiwerte für Windeinwirkung nach oben (DIN, Flachdach)

b) Ersatzdruckbeiwerte für Satteldächer (Neigung 1:10 bzw. $\sim 6^\circ$) nach:

-ÖNORM und DIN:

Hallenhöhe h, Hallbreite b	Abdeckung Auflagerkräfte	Abdeckung Momente	c_{A90}^*	$c_{Wind II}$ $e_{RB}=6m$	$c_{Wind II}$ $e_{RB}=8m$	$c_{Wind II}$ $e_{RB}=10m$
h7/b12:	$c_A^* = 0,93$	$c_M^* = 0,81$	0,84	0,85	0,83	---
h7/b18	$c_A^* = 0,89$	$c_M^* = 0,80$	0,80	0,87	0,84	0,82
h7/b24	$c_A^* = 0,87$	$c_M^* = 0,80$	0,79	0,87	0,84	0,82
h9/b12	$c_A^* = 0,97$	$c_M^* = 0,82$	0,88	0,85	0,83	---
h9/b18	$c_A^* = 0,92$	$c_M^* = 0,81$	0,83	0,90	0,86	0,84
h9/b24	$c_A^* = 0,89$	$c_M^* = 0,80$	0,80	0,90	0,86	0,84

Tabelle 21: Ersatzbeiwerte für Windeinwirkung nach oben (ÖNORM, DIN, Satteldach)

4.2.2.2 Resultierende Wirkung nach unten

Für Flachdächer tritt die maßgebende Windeinwirkung nach unten (Winddruck) durch Windrichtung II (in Hallenlängsrichtung) in der Zone I (-0,3) und gleichzeitig wirkendem Innensog (0,2) auf (vgl. Anhang A, Seite 21). Da sowohl der Winddruck an der Außenseite wie auch der Innensog über die Trägerlänge konstant und nach unten wirken, können diese zusammengefasst werden.

Die maßgebende Windeinwirkung nach unten entsteht für ein Satteldach (Neigung 1:10, $\sim 6^\circ$) anders als für Flachdächer durch die Windrichtung I. Dabei ist für die Zonen F, G und H $\pm 0,0$, für die Zone I -0,6 und für die Zone J +0,2 als Außendruckbeiwert und für den Innensog -0,3 anzusetzen. Daraus ist ersichtlich, dass der Innensog (-0,3) als maßgebender Wert angesehen werden kann. Deshalb wurde für die Vereinfachung jene Werte des Flachdaches herangezogen, dadurch erhält man aber zum Teil konservative Werte (vgl. Anhang A, Seite 37). Somit beträgt die anzusetzende Einwirkung nach unten wie für Flachdächer 0,5 kN/m (bei einem Böengeschwindigkeitsdruck von 1,0 kN/m² und einem fiktiven Regelbinderabstand von 1,0 m).

In Abbildung 17 werden beide Windeinwirkungen (nach oben oder nach unten) dargestellt. Die unterschiedlichen Ersatzbeiwerte für die Windeinwirkung nach oben können den Tabellen 19 - 21, Seite 55 entnommen werden.

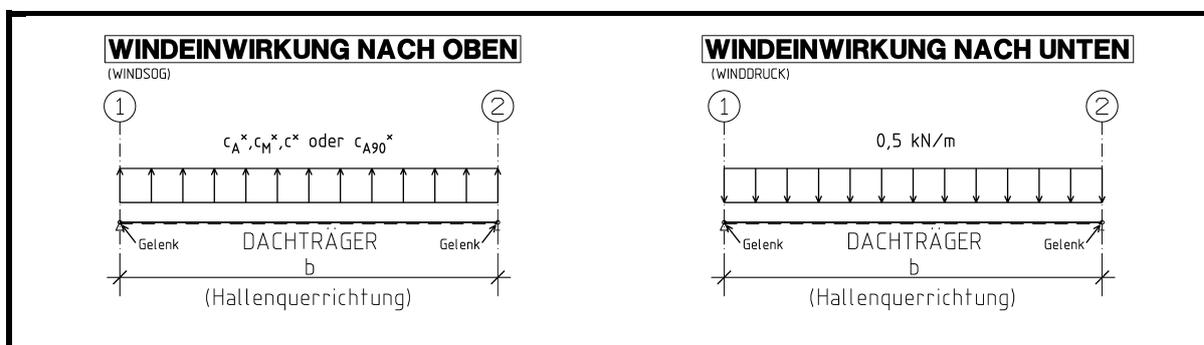


Abbildung 17: Maßgebende Windlastfälle (Flach- und Satteldach mit $q_p = 1,0 \text{ kN/m}^2$ und $e_{RB} = 1,0 \text{ m}$)

4.2.3 Ermittlung der resultierenden Windbelastung für Stützen

Die ungünstigste resultierende Windbelastung auf eine Gebäudefläche (Wand- oder Dachfläche) entsteht entweder durch Außendruck (c_{pe}) bei gleichzeitig wirkendem Innensog (c_{pi}) oder durch Außensog (c_{pe}) mit Innendruck (c_{pi}). Ob an einer Außenfläche eines Gebäudes eine Druck- oder Sogbeanspruchung herrscht, ist von der Windanströmrichtung (quer zur Hallenlängsrichtung oder in Hallenlängsrichtung; vgl. Abbildung 15, Seite 51) und den Außendruckbeiwerten der jeweiligen Wand- oder Dachfläche abhängig (vgl. Punkt 3.2.5, Seite 17 ff.). Der Innendruck oder Innensog muss unabhängig von der Windanströmrichtung an der Innenseite angesetzt werden (vgl. 3.2.6 Seite 27). Schematisch wird dies in Abbildung 18 für eine beidseitig gelenkig gelagerte Einzelstütze dargestellt.

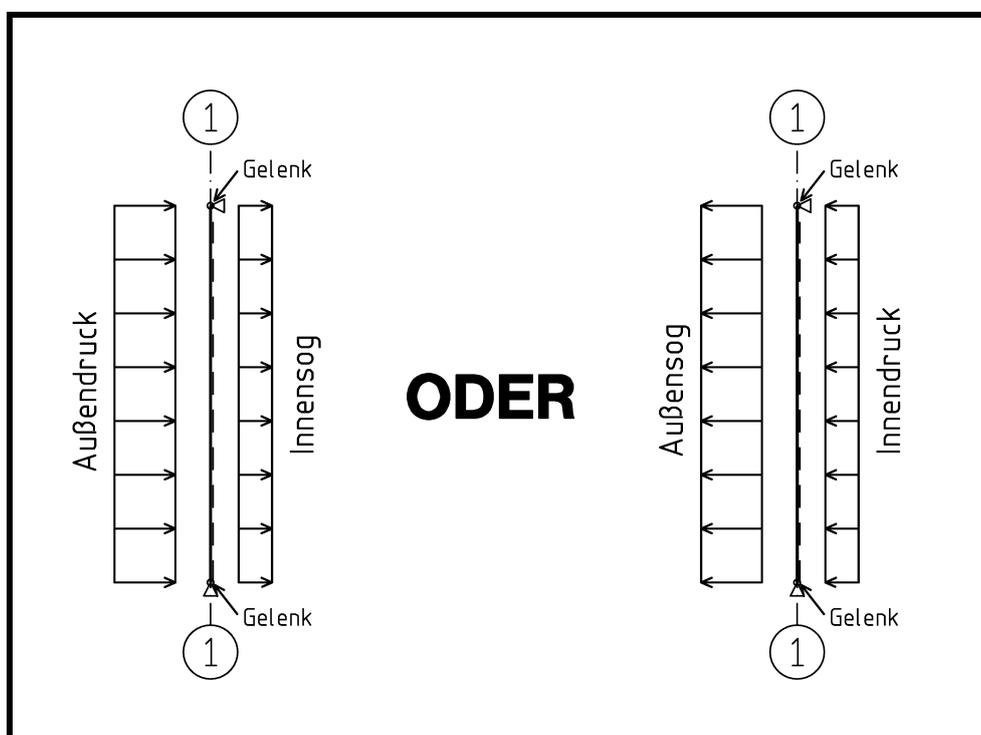


Abbildung 18: Resultierende Windbelastung einer Einzelstütze

4.2.3.1 Beidseitig gelenkig gelagerte Einzelstütze

Für eine beidseitig gelenkig gelagerte Einzelstütze ist, wie für einen beidseitig gelenkig gelagerten Dachträger, zwischen den Windrichtungen I und II zu unterscheiden. Durch die Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) entsteht an der Außenseite eine Druckbelastung, durch die Windrichtung II eine Sogbelastung. Um nun auf eine maßgebende resultierende Windbelastung schließen zu können, ist die Druckbelastung an der Außenseite (durch Windrichtung I) mit Innensog und die Sogbelastung an der Außenseite (durch Windrichtung II) mit Innendruck (vgl. Abbildung 18, Seite 57) zu vergleichen.

Wie bereits in Punkt 3.2.5 (Seite 17) erklärt, gibt es zum Teil Unterschiede zwischen den Nationalen Anhängen (ÖNROM [2] und DIN [3]) und dem Grunddokument [1]. Im Anhang A (Seite 68 ff.) wurden die Wandflächen in die Zonen (A-E) laut EN [1] eingeteilt und mit den länderspezifischen Außendruckbeiwerten (ÖNORM [2] und DIN [3]) sowie mit Innensog oder Innendruck versehen und miteinander verglichen.

Somit ergaben sich für Österreich, wie auch für Deutschland, zwei zu untersuchende Lastfälle:

- **Lastfall 1:** Außendruck Zone D mit Innensog ($|-0,3|$) durch Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung)
- **Lastfall 2:** Außensog Zone B mit Innendruck (+0,2) durch Windrichtung II (in Hallenlängsrichtung)

Anmerkung:

Da der Außendruckbeiwert der Zone D (LF1) im Nationalen Anhang für Deutschland [3] für die hier untersuchten Hallen zwischen 0,71 und 0,77 liegt und ca. der Zone D (0,8) des Nationalen Anhangs für Österreich [2] entspricht, wurde einheitlich mit 0,8 für die Zone D gerechnet.

Der Außendruckbeiwert der Randzone A (LF2) mit gleichzeitig wirkendem Innendruck (+0,2) liefert zwar den höchsten Betrag, jedoch ist die Länge der betroffenen Wandfläche, im Vergleich zu der Fläche zwischen 2 innenliegenden Regelstützen (z.B. Regelstützenabstand = 6m), deutlich kleiner. Das bedeutet, dass nur die Eckstütze der Giebelwand von dieser erhöhten Windbelastung betroffen ist. Bereits die randnahe Regelbinderstütze (vgl. Abbildung 15, Seite 51) liegt, bei üblichen Binderabständen $e_{RB} \geq 6,0$ m, überwiegend in der Einflusszone B, sodass dann wieder die Einflusszone D aus der Windbelastung I (quer zur Hallenlängsrichtung) maßgebend wird.

Der Außendruckbeiwert der Zone B (LF2) beträgt nach ÖNORM [2] 0,7 und nach DIN [3] 0,8.

Die maßgebende resultierende Windbelastung entsteht für eine beidseitig gelenkig gelagerte Einzelstütze durch die Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung; Außendruck Zone D (0,8) mit Innensog ($|-0,3|$) und beträgt somit $c_{ST}^* = 0,8 + 0,3 = 1,10$ kN/m (bei einem angenommen Böengeschwindigkeitsdruck q_p von $1,0$ kN/m² und einem fiktiven Regelbinderabstand von $1,0$ m). Dieser maßgebende Lastfall (LF1) ist in Abbildung 19 dargestellt.

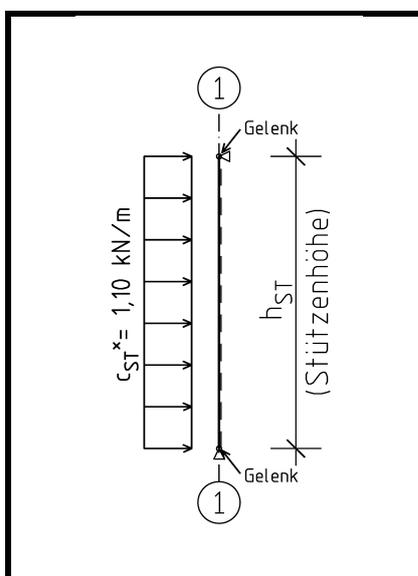


Abbildung 19: Maßgebender Windlastfall für eine Einzelstütze (mit $q_p = 1,0$ kN/m² und $e_{RB} = 1,0$ m)

4.2.3.2 Resultierende Windbelastung für gekoppelte Systeme

Im Unterschied zu entkoppelten Systemen (Punkt 4.2.3.1, Seite 57 und 58), bei denen die Bauteilbeanspruchung nur von der örtlichen Windlast abhängt, ist bei gekoppelten Systemen die Windlast auf den gesamten Regelbinder zu berücksichtigen.

Wie bereits unter Punkt 4.2.3.1 erklärt (S. 58), wird der Außendruckbeiwert der Zone D einheitlich mit $0,8$ angenommen. Der Außendruckbeiwert der Zone B beträgt nach ÖNORM [2] $0,7$ und nach DIN [3] $0,8$. Des weiteren ist aus der Zoneneinteilung der Wandflächen (Anhang A, Punkt A.3.1.1 Seite 69 ff. und Punkt A.3.2.1 Seite 79 ff.) ersichtlich, dass der Außendruckbeiwert der Zone E (=windabgewandte Wandaußenfläche) durch die Windrichtung I nach ÖNORM [2] zwischen $-0,25$ und $-0,33$ beziehungsweise nach DIN [3] zwischen $-0,31$ und $-0,43$ liegt. Dieser Wert ist im maßgebenden ungünstigsten Gesamtergebnis jedoch nicht erkennbar, da bei gekoppelten Systemen dieser Außendruckbeiwert ($\sim -0,3$) noch mit dem zur Zone D kompatiblen Innensog ($+0,3$) zu überlagern ist, und sich dadurch bei Zone E praktisch keine resultierende Windbelastung ergibt.

a) System S1 - Rahmen mit nur einem eingespannten Stützenfuß und gelenkig aufgelagertem Dachträger

Bei Rahmen mit nur einem eingespannten Stützenfuß und gelenkig aufgelagertem Dachträger ist wegen der unterschiedlichen Stützenfußausbildung (Achse 1 eingespannt, Achse 2 gelenkig gelagert) eine zusätzliche Unterscheidung der Windrichtung I erforderlich. Die Windrichtung I strömt in Lastfall 1 von links nach rechts (\rightarrow) und in Lastfall 2 von rechts nach links (\leftarrow). Der Lastfall 3 berücksichtigt die Windrichtung II (in Hallenlängsrichtung). Der beidseitig gelenkig gelagerte Dachträger des Rahmens wurde bei der Untersuchung im Anhang A (Kapitel A.4, Seite 85 ff.) nicht mit Wind belastet, da durch diese gelenkige Lagerung der Wind keinen Einfluss auf Momente und Querkräfte der Stützen bewirkt und die ungünstigste Windbelastung auf die Regelbinderstützen gesucht wird. Es wird angemerkt, dass bei einer Berechnung einer Halle die Windbelastung auf den Dachträger (nach oben und nach unten) mit zu berücksichtigen ist. Als maßgebende Windeinwirkung nach oben können je nach Erfordernis die Ersatzdruckbeiwerte aus den Tabelle 19 - 21, Seite 55 angesetzt werden. Für die maßgebende Windeinwirkung nach unten ergibt sich wieder $0,5 \text{ kN/m}$ bei einem Böengeschwindigkeitsdruck $q_p = 1,0 \text{ kN/m}^2$ und einem fiktiven Regelbinderabstand $e_{RB} = 1,0 \text{ m}$ (vgl. Abbildung 17, Seite 56).

Die Lastfälle für die Stützenbeanspruchung wurden wie folgt unterschieden:

- **Lastfall 1:** Außendruck Zone D ($0,8$) mit Innensog ($|-0,3|$) durch Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) von links nach rechts (\rightarrow)
- **Lastfall 2:** Außendruck Zone D ($0,8$) mit Innensog ($|-0,3|$) durch Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) von rechts nach links (\leftarrow)
- **Lastfall 3:** Außensog Zone B mit Innendruck ($+0,2$) durch Windrichtung II (in Hallenlängsrichtung)

Die Lastfälle 1 und 2 liefern vom Betrag her die gleichen Ergebnisse für das Moment des Stützenfußes in Achse 1 (vgl. Anhang A, Abbildung 90, Seite 89), jedoch fällt beim Lastfall 2 der Momentenverlauf fülliger und somit ungünstiger aus. Aus den Schnittgrößen ist ersichtlich, dass der Lastfall 3 keine maßgebende Beanspruchung auf die Stütze bewirkt.

Die maßgebende resultierende Windbelastung der Regelbinderstützen (Achse 1 und 2) entsteht durch den Lastfall 2 (Windrichtung I von rechts nach links (\leftarrow)) und beträgt $c_{ST}^* = 1,10 \text{ kN/m}$ (bei einem angenommenen Böengeschwindigkeitsdruck q_p von $1,0 \text{ kN/m}^2$ und einem fiktiven Regelbinderabstand von $1,0\text{m}$). Um ein maßgebendes Windlastbild

für das System zu erhalten, muss noch die Windeinwirkung auf den Dachträger berücksichtigt werden. Als Einwirkung nach oben und nach unten können durch die gelenkige Lagerung jene Werte des entkoppelten Dachträgers angenommen werden (vgl. Abbildung 17, Seite 56), deswegen wurden in Abbildung 20 zwei verschiedene Lastfälle dargestellt.

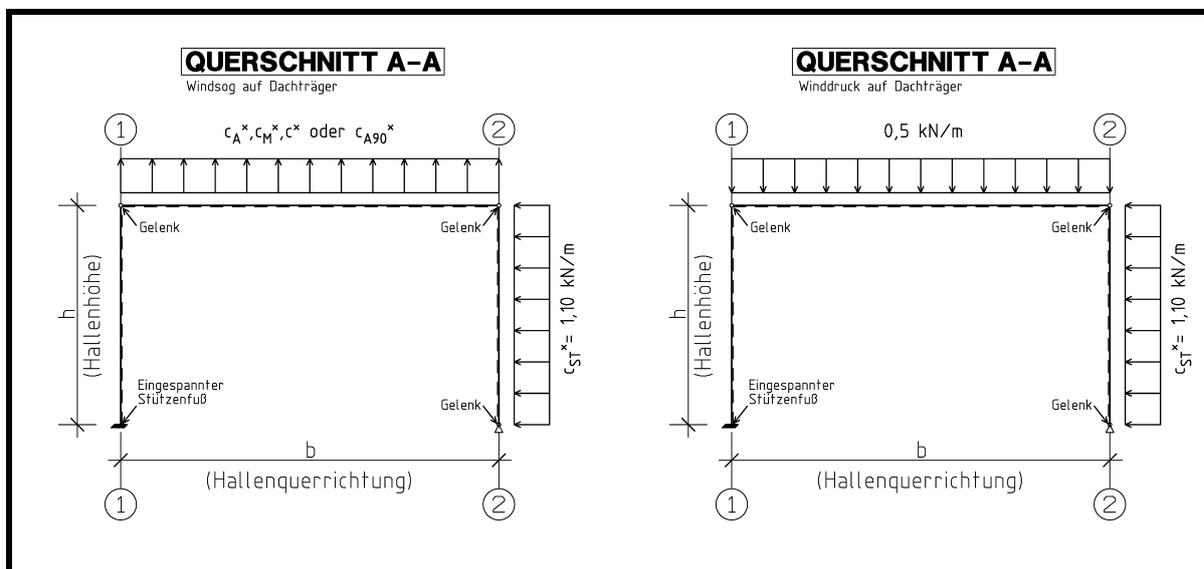


Abbildung 20: Maßgebende Windlastfälle System S1 - für Rahmen mit nur einem eingespannten Stützenfuß und gelenkig aufgelagertem Dachträger (mit $q_p = 1,0 \text{ kN/m}^2$ und $e_{RB} = 1,0 \text{ m}$)

b) System S2 - Rahmen mit eingespannten Stützenfüßen und gelenkig aufgelagertem Dachträger

Für dieses gekoppelte System wurden wieder die drei gleichen Lastfälle wie in Punkt a) (Seite 60) angesetzt. Des weiteren gelten wieder die angenommenen Vereinfachungen für die Zonen D und E. Die Berechnung der drei Lastfälle sowie die daraus folgenden Schnittkräfte sind im Anhang A in Abbildung 91 (Seite 88) und in Abbildung 98 (Seite 104) ersichtlich.

Die Lastfälle werden zwecks der Übersichtlichkeit nochmals dargestellt:

- **Lastfall 1:** Außendruck Zone D (0,8) mit Innensog ($|-0,3|$) durch Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) von links nach rechts (\rightarrow)
- **Lastfall 2:** Außendruck Zone D (0,8) mit Innensog ($|-0,3|$) durch Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) von rechts nach links (\leftarrow)
- **Lastfall 3:** Außensog Zone B mit Innendruck (+0,2) durch Windrichtung II (in Hallenlängsrichtung)

Durch die beidseitige Einspannung der Stützenfüße (Achse 1 und 2) ist keine Unterscheidung zwischen Lastfall 1 und 2 notwendig, da diese die gleichen Beträge liefern und sich nur durch die Windangriffsrichtung unterscheiden (vgl. Anhang A, Abbildung 91, Seite 88). Der Lastfall 3, wird wie für das gekoppelte System mit nur einem eingespannten Stützenfuß, nicht maßgebend. Durch die beidseitig gelenkige Auflagerung des Dachträgers können wieder die Ersatzbeiwerte als Windsogbelastung verwendet werden (Seite 55, Tabelle 19 - 21).

Die maßgebende resultierende Windbelastung für die beiden eingespannten Regelbinderstützen (Achse 1 und 2) entsteht durch die Windrichtung I (unabhängig ob von links (\rightarrow) oder rechts (\leftarrow)) und beträgt $c_{ST}^* = 1,10$ kN/m (bei einem angenommen Böengeschwindigkeitsdruck q_p von $1,0$ kN/m² und einem fiktiven Regelbinderabstand von $1,0$ m). Deswegen wird in Abbildung 21 nur der Lastfall 2 dargestellt. In der Überlagerung mit der ungünstigsten Windbelastung auf das Dach sind insgesamt nur die beiden in Abb. 21 dargestellten Gesamtlastfälle zu beachten.

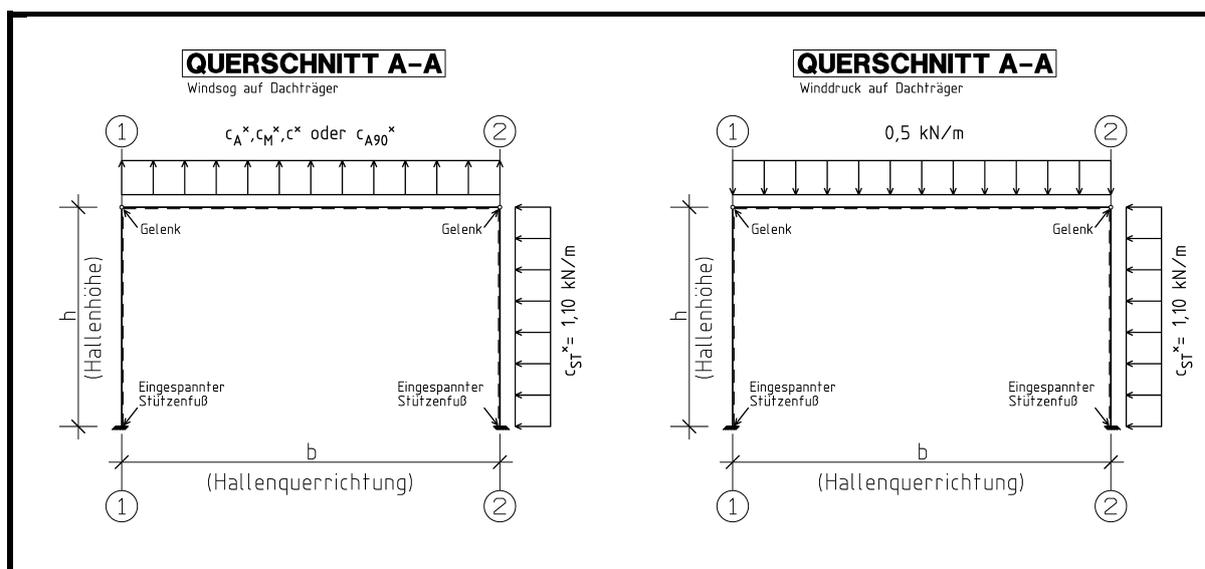


Abbildung 21: Maßgebende Windlastfälle System S2 - für Rahmen mit eingespannten Stützenfüßen und gelenkig aufgelagertem Dachträger (mit $q_p = 1,0$ kN/m² und $e_{RB} = 1,0$ m)

c) System S3 - Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken (Zweigelenkbinder)

Bei einem Zweigelenkrahmen ist es, infolge der biegesteifen Rahmenecken, notwendig die Windbelastung sowohl am Dachträger als auch auf den Stützen zu beachten, um die ungünstigste Wirkung für Dachträger und Stütze zu erhalten. Die maßgebende Windbelastung für die Stützen beträgt wieder $c_{ST}^* = 1,10$ kN/m (bei einem angenommen Böengeschwindigkeitsdruck q_p von $1,0$ kN/m² und einem fiktiven Regelbinderabstand von $1,0$ m). Für die Windbelastung auf den Dachträger wird der Ersatzbeiwert c_A^* vorgeschlagen, da

dieser die maßgebende Zugbeanspruchung in den Rahmenecken (in Hinsicht auf die Verbindungsmittel) liefert und bis auf wenige Ausnahmen, größer als der Druckbeiwert $c_{\text{Wind II}}$ ist.

Für die Berechnung im Anhang A (Seite 89 ff.) wurde der Wind in verschiedene Lastfälle aufgeteilt, um die daraus resultierenden Schnittkräfte übersichtlicher darstellen zu können. Es wird angemerkt, dass die einzelnen Lastfälle niemals alleine auftreten können, da durch Wind immer eine gleichzeitige Beanspruchung auf Stützen und Dachträger erfolgt. Da die Berechnung der Schnittkräfte von den Querschnitten des Dachbinders und der Stützen abhängig ist, wurden diese im Anhang A wie folgt festgelegt:

- Material: S 235
- für die 7m hohe und 12m breite Halle: Stützen HEA 260; Träger HEA 450
- für die 7m hohe und 24m breite Halle: Stützen HEA 450; Träger HEA 600

Ergänzend sollte noch - wie für die isolierten Dachträger - eine resultierende Windbelastung nach unten angesetzt werden (vgl. Abbildung 17, Seite 56).

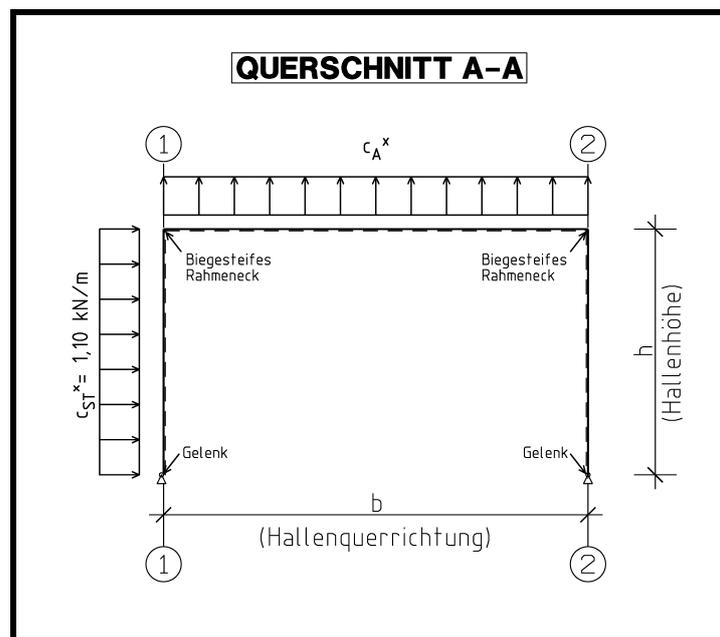


Abbildung 22: Maßgebender Windlastfall System S3 - für Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken (Zweigelenkbinder) (mit $q_p = 1,0 \text{ kN/m}^2$ und $e_{RB} = 1,0 \text{ m}$)

4.3 Maßgebende Einwirkungskombinationen - ULS

Wie bereits in Punkt 3.3 (Seite 28 ff.) erwähnt, sind für jeden Bauteil die Bemessungswerte E_d der Einwirkungen zu bestimmen. Dies erfolgt durch die Kombination von verschiedenen Einwirkungen bzw. zugehörigen Einzellastfällen. Dabei ist zu unterscheiden, ob eine Einwirkung günstig oder ungünstig wirkt. Die Einwirkungskombinationen werden üblicherweise mit der Formel (6.10) aus Abbildung 8 (Seite 30) gerechnet. Diese Formel (6.10) wird hier zwecks der Übersichtlichkeit nochmals angeführt:

$$E_d = E \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10)$$

mit

- E_d Bemessungswert einer Auswirkung,
- G_k Charakteristischer Wert einer ständigen Einwirkung,
- P Maßgebender repräsentativer Wert einer Vorspannung (siehe EN 1992 bis EN 1996 und EN 1998 bis EN 1999),
- Q_k Charakteristischer Wert einer einzelnen veränderlichen Einwirkung ,
- γ_G Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen unter Berücksichtigung von Modellunsicherheiten und Größenabweichungen (vgl. 3.3.3, Seite 34),
- γ_P Teilsicherheitsbeiwert für Einwirkungen aus Vorspannen (siehe EN 1992 bis EN 1996 und EN 1998 bis EN 1999),
- γ_Q Teilsicherheitsbeiwert für veränderliche Einwirkungen unter Berücksichtigung von Modellunsicherheiten und Größenabweichungen (vgl. 3.3.3, Seite 34),
- $\psi_{0,i}$ Kombinationsbeiwerte für veränderliche Einwirkungen (vgl. 3.3.2, Seite 32).

Anmerkung:

Wie bereits in Punkt 3.3.1.1 (Seite 31) erwähnt, ist bei der Kombination von Einwirkungen laut DIN [3] neben einer nicht klimatischen Leiteinwirkung bei Orten bis 1000 m ü. NN nur eine klimatische Einwirkung (Schnee oder Wind) als Begleiteinwirkung anzusetzen (diese Regelung trifft auf übliche Hallen nicht zu). Des Weiteren kann für Hallen in den Windzonen III oder IV auf die Kombination von Wind und Schnee -mit Wind als Leiteinwirkung und Schnee als Begleiteinwirkung - verzichtet werden. Ist Schnee jedoch Leiteinwirkung, ist der Wind als Begleiteinwirkung immer zu berücksichtigen.

Da die Teilsicherheitsbeiwerte γ wie auch die Kombinationsbeiwerte ψ_0 für Österreich [2] und Deutschland [3] ident sind (vgl. Tabelle 14 (Seite 35) mit Tabelle 15 (Seite 36) sowie

Tabelle 12 mit Tabelle 13 (Seite 33)), werden diese in Tabelle 22 zusammengefasst, und sind somit für Österreich und Deutschland gültig.

Einwirkung	Teilsicherheitsbeiwert γ		Kombinationsbeiwert $\psi_{0,i}$
	günstig	ungünstig	
ständige (G_k)	1,0	1,35	---
Wind (w_k)	0	1,5	0,6
Schnee ($s_{k,1}$) über 1000m ü. NN	0	1,5	0,7
Schnee ($s_{k,2}$) unter 1000m ü. NN	0	1,5	0,5

Tabelle 22: Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte für charakteristische Einwirkungen (ÖNORM und DIN)

Nachfolgende Lastfallkombinationen sind in Österreich [2] und Deutschland [3] bei Hallen-tragwerken anzuwenden:

- Lastfallkombination 1:

Eigengewicht mit Schnee (Leiteinwirkung) und Winddruck (Begleiteinwirkung).

$$E_d = E \sum Y_{G,sup} * G_k + Y_{Q,1} * s_{k,i} + \sum Y_{Q,2} * \psi_{0,wk} * w_k$$

$$E_d = E \sum 1,35 * G_k + 1,5 * s_{k,i} + \sum 1,5 * 0,6 * w_k$$

- Lastfallkombination 2:

Eigengewicht mit Winddruck (Leiteinwirkung) und Schnee (Begleiteinwirkung).

$$E_d = E \sum Y_{G,sup} * G_k + Y_{Q,1} * w_k + \sum Y_{Q,2} * \psi_{0,i} * s_{k,i}$$

$$E_d = E \sum 1,35 * G_k + 1,5 * w_k + \sum 1,5 * 0,7 * s_{k,i} \text{ - Standort über 1000m ü. NN}$$

$$E_d = E \sum 1,35 * G_k + 1,5 * w_k + \sum 1,5 * 0,5 * s_{k,i} \text{ - Standort unter 1000m ü. NN}$$

Anmerkung nur für DIN [3]:

- Bei der Berechnung nach DIN [3] entfällt für Gebäude unter 1000m ü. NN in Windzone III oder IV der Term $\sum Y_{Q,2} * \psi_{0,i} * s_{k,i}$.

- Üblicherweise ist diese LF - Kombination nicht erforderlich, da die Windlast w_k kleiner als die Schneelast s_k ist

- Lastfallkombination 3:

Eigengewicht mit Windsog (Leiteinwirkung).

$$E_d = E \sum Y_{G,inf} * G_k + Y_{Q,1} * w_k + \sum Y_{Q,2} * \psi_{0,i} * s_{k,i}$$

$$E_d = E \sum 1,0 * G_k + 1,5 * w_k + \sum 0 * 0,7 * s_k \rightarrow E_d = E \sum 1,0 * G_k + 1,5 * w_k$$

4.4 Schlussfolgerungen

Aus der Vielzahl der in dieser Diplomarbeit und dem dazugehörigen Anhang A untersuchten Hallen können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Die zum Teil sehr umfangreichen und unübersichtlichen Windlastberechnungen können durch wenige bemessungsbestimmende Windlastfälle ersetzt werden.
- Eine Unterscheidung zwischen ÖNORM [2] und DIN [3] ist aufgrund der zum Teil großen Unterschiede der resultierenden Windbelastungen notwendig.
- Die abgetreppte, zonenabhängige Windbelastung nach oben (Windsog) eines beidseitig gelenkig gelagerten Dachträgers kann durch die in dieser Diplomarbeit entwickelten Ersatzbelastungen (c_A^* , c_M^* , c^* oder c_{A90}^*) ersetzt werden.
- Die maßgebende Windbelastung nach unten (Winddruck) für einen beidseitig gelenkig gelagerten Dachträger eines Regelbinders beträgt für die hier untersuchten Hallen immer 0,5 kN/m (mit $q_p = 1,0 \text{ kN/m}^2$ und e_{RB} von 1,0 m).
- Ein Satteldach mit einer Neigung von 1:10 ($\sim 6^\circ$) kann wie ein Flachdach, jedoch mit anderen Ersatzdruckbeiwerten, behandelt werden.
- Die maßgebende Windbelastung auf eine Regelbinderstütze beträgt sowohl für die hier untersuchten entkoppelten Systeme (Einzelstütze) wie auch für die gekoppelten Systeme (z.B. Zweigelenkrahmen) immer 1,10 kN/m (mit $q_p = 1,0 \text{ kN/m}^2$ und e_{RB} von 1,0 m).

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] **DIN EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010**, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten*. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2010.
- [2] **ÖNORM B 1991-1-4**, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten*. Wien : Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2009.
- [3] **DIN EN 1991-1-4/NA**, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten*. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2010.
- [4] **DIN EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010**, *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2010.
- [5] **ÖNORM B 1990-1**, *Eurocode - Grundlagen der Tragwerksplanung; Teil 1: Hochbau*. Wien : Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2004.
- [6] **DIN EN 1990/NA**; *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2010.
- [7] **ÖNORM EN 1991-1-1**, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen - Wichten, Eigengewicht, Nutzlasten im Hochbau*. Wien : Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2003.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Zoneneinteilung der aerodynamischen Beiwerte	6
Abbildung 2: Lastbilder für einzelne Dachträger	7
Abbildung 3: Windzonenkarte für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland (DIN) [3]	11
Abbildung 4: Bezugshöhe z_e in Abhängigkeit von h , b und Winddruckverteilung (EN) [1]	14
Abbildung 5: Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden (EN) [1]	18
Abbildung 6: Einteilung der Dachflächen bei Flachdächern (EN) [1]	22
Abbildung 7: Einteilung der Dachflächen bei Sattel- und Trogdächern (EN) [1]	25
Abbildung 8: Kombinationen von Einwirkungen (EN) [4]	30
Abbildung 9: schematischer Grundriss einer Halle	43
Abbildung 10: Querschnitt A-A für entkoppelte Systeme (Dachträger und Einzelstützen)	44
Abbildung 11: Querschnitt A-A (gekoppeltes System S1)	46
Abbildung 12: Querschnitt A-A (gekoppeltes System S2)	46
Abbildung 13: Querschnitt A-A (gekoppeltes System S3, Zweigelenkbinder)	47
Abbildung 14: Böengeschwindigkeitsdruck q_p	49
Abbildung 15: Unterschied Windrichtungen I und II	51
Abbildung 16: Vereinfachung der Druckbeiwerte	52
Abbildung 17: Maßgebende Windlastfälle (Flach- und Satteldach mit $q_p = 1,0\text{kN/m}^2$ und $e_{RB} = 1,0\text{ m}$)	56
Abbildung 18: Resultierende Windbelastung einer Einzelstütze	57
Abbildung 19: Maßgebender Windlastfall für eine Einzelstütze (mit $q_p = 1,0\text{kN/m}^2$ und $e_{RB} = 1,0\text{ m}$)	59
Abbildung 20: Maßgebende Windlastfälle System S1 - für Rahmen mit nur einem eingespannten Stützenfuß und gelenkig aufgelagertem Dachträger (mit $q_p = 1,0\text{kN/m}^2$ und $e_{RB} = 1,0\text{ m}$)	61
Abbildung 21: Maßgebende Windlastfälle System S2 - für Rahmen mit eingespannten Stützenfüßen und gelenkig aufgelagertem Dachträger (mit $q_p = 1,0\text{kN/m}^2$ und $e_{RB} = 1,0\text{ m}$)	62
Abbildung 22: Maßgebender Windlastfall System S3 - für Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken (Zweigelenkbinder) (mit $q_p = 1,0\text{kN/m}^2$ und $e_{RB} = 1,0\text{ m}$)	63

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Grundwerte von Basiswindgeschwindigkeit und Basisgeschwindigkeitsdruck (ÖNORM) [2]	11
Tabelle 2: Geländekategorie und Geländeparameter (EN) [1]	12
Tabelle 3: Profile der mittleren Windgeschwindigkeit, der Turbulenzintensität, des Böengeschwindigkeitsdrucks und der Böengeschwindigkeit in ebenen Gelände (DIN) [3]	13
Tabelle 4: Profile des Böengeschwindigkeitsdruckes und Parameter z_{min} in Österreich [2]	15
Tabelle 5: Empfohlene Außendruckbeiwerte für vertikale Wände (EN) [1]	18
Tabelle 6: Außendruckbeiwert $c_{pe,10}$ für die Wandflächen A, B, C (ÖNORM) [2]	19
Tabelle 7: Außendruckbeiwert $c_{pe,10}$ für die Wandflächen D und E (ÖNORM) [2]	19
Tabelle 8: Außendruckbeiwerte für vertikale Wände rechteckiger Gebäude (DIN) [3]	20
Tabelle 9: Empfohlene Werte für Außendruckbeiwerte für Flachdächer (EN) [1]	23
Tabelle 10: Empfohlene Werte für Außendruckbeiwerte Sattel- und Trogdächer $\theta=0^\circ$ (EN) [1]	26
Tabelle 11: Empfohlene Werte für Außendruckbeiwerte Sattel- und Trogdächer $\theta=90^\circ$ (EN) [1]	26
Tabelle 12: Empfehlungen für Zahlenwerte für Kombinationsbeiwerte im Hochbau (EN) [4]	33
Tabelle 13: Zahlenwerte für Kombinationsbeiwerte im Hochbau (DIN) [6]	33
Tabelle 14: Bemessungswerte der Einwirkungen (STR/GEO) (Gruppe B) (EN) [4]	35
Tabelle 15: Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen (STR/GEO) (Gruppe B) (DIN) [6]	36
Tabelle 16: Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte für Einwirkungen (ÖNORM)	37
Tabelle 17: Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte für Einwirkungen (DIN)	39
Tabelle 18: Geländekategorien mit dazugehörigen Mindesthöhen z_{min}	48
Tabelle 19: Ersatzbeiwerte für Windeinwirkung nach oben (ÖNORM, Flachdach)	55
Tabelle 20: Ersatzbeiwerte für Windeinwirkung nach oben (DIN, Flachdach)	55
Tabelle 21: Ersatzbeiwerte für Windeinwirkung nach oben (ÖNORM, DIN, Satteldach)	55
Tabelle 22: Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte für charakteristische Einwirkungen (ÖNORM und DIN)	65

ANHANG A

**Aufbereitung vereinfachter Windlastbilder für
Hallenkonstruktionen**

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	2
A.1 EINLEITUNG	4
A.2 DACHTRÄGER	5
A.2.1 Nationaler Anhang für Österreich	6
A.2.1.1 Zoneneinteilung für Flachdächer (ÖNORM B 1991-1-4)	6
A.2.1.2 Vereinfachte Windlastbilder für Dachträger (Flachdach, ÖNORM B 1991-1-4)	10
A.2.1.3 Zoneneinteilung für Satteldächer (ÖNORM B 1991-1-4)	22
A.2.1.4 Vereinfachte Windlastbilder für Dachträger (Satteldach, ÖNORM B 1991-1-4)	26
A.2.2 Nationaler Anhang für Deutschland	39
A.2.2.1 Zoneneinteilung für Flachdächer (DIN EN 1991-1-4/NA)	39
A.2.2.2 Vereinfachte Windlastbilder für Dachträger (Flachdach, DIN EN 1991-1-4/NA)	43
A.2.2.3 Zoneneinteilung für Satteldächer (DIN EN 1991-1-4/NA)	55
A.2.2.4 Vereinfachte Windlastbilder für Dachträger (Satteldach, DIN EN 1991-1-4/NA)	59
A.3 EINZELSTÜTZEN	68
A.3.1 Nationaler Anhang für Österreich	69
A.3.1.1 Zoneneinteilung für Wandflächen mit Flachdach (ÖNORM B 1991-1-4)	69
A.3.1.2 Zoneneinteilung für Wandflächen mit Satteldach (ÖNORM B 1991-1-4)	73
A.3.1.3 Vereinfachte Windlastbilder für lokal belastete Einzelstützen	77
A.3.2 Nationaler Anhang für Deutschland	79
A.3.2.1 Zoneneinteilung für Wandflächen mit Flachdach (DIN EN 1991-1-4/NA)	79
A.3.2.2 Zoneneinteilung für Wandflächen mit Satteldach (DIN EN 1991-1-4/NA)	81
A.3.2.3 Vereinfachte Windlastbilder für lokal belastete Einzelstützen	83
A.4 KOMBINIERTE SYSTEME	85
A.4.1 Nationaler Anhang für Österreich	85
A.4.1.1 Rahmen mit einem eingespannten Stützenfuß und gelenkigen Rahmenecken	85
A.4.1.2 Rahmen mit eingespannten Stützenfüßen und gelenkigen Rahmenecken	87
A.4.1.3 Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken	89

A.4.2 Nationaler Anhang für Deutschland	101
A.4.2.1 Rahmen mit einem eingespannten Stützenfuß und gelenkigen Rahmenecken	101
A.4.2.2 Rahmen mit eingespannten Stützenfüßen und gelenkigen Rahmenecken	103
A.4.2.3 Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken	105
A.5 ZUSAMMENFASSENDE ERGEBNISSE	117
A.5.1 DACHTRÄGER	117
A.5.1.2 Ersatzbeiwerte für Österreich	118
A.5.1.3 Ersatzbeiwerte für Deutschland	124
A.5.2 EINZELSTÜTZEN	130
A.5.3 KOMBINIERTE SYSTEME	131
A.5.3.1 Rahmen mit einem eingespannten Stützenfuß und gelenkigen Rahmenecken	131
A.5.3.2 Rahmen mit eingespannten Stützenfüßen und gelenkigen Rahmenecken	132
A.5.3.3 Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken	133
LITERATURVERZEICHNIS	134
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	135
TABELLENVERZEICHNIS	138

A.1 EINLEITUNG

Im Anhang A sind die vereinfachten Windlastbilder für Hallenkonstruktionen mit einer Höhe von 7 bzw. 9m; einer Breite von 12, 18 bzw. 24m und einer Länge von 30, 60 und 90m aufbereitet und die daraus folgenden Schnittkräfte dargestellt, welche sich auf Grund eines angenommenen Böengeschwindigkeitsdrucks von $q_p = 1,0 \text{ kN/m}^2$ auf einen Meter breiten Streifen einstellen. Dies erfolgte für gelenkig gelagerte Dachträger von Flach- und Satteldächern, Einzelstützen sowie für kombinierte Systeme. Bei den kombinierten Systemen wurde unterschieden zwischen:

- Rahmen mit einem eingespannten Stützenfuß und gelenkigen Rahmenecken,
- Rahmen mit eingespannten Stützenfüßen und gelenkigen Rahmenecken und
- Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken.

Des weiteren wurde bei Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken untersucht, ob das Eigengewicht der Konstruktion die Windbelastung kompensiert.

Hilfsmittel bei der Berechnung

Zur Unterstützung der Arbeitsschritte sind nachfolgende Programme verwendet worden:

- CAD Software: DICAD Systeme GmbH, CAD Software für das Bauwesen

- Statik Software: SCIA Software GmbH

A.2 DACHTRÄGER

Für die Erstellung von vereinfachten Windlastbildern für Dachträger wurde zuerst eine Dachzoneneinteilung für Flach- und Satteldächer laut Eurocode EN 1991-1-4 durchgeführt. Diese Einteilung erfolgte für Hallenkonstruktionen mit folgenden Abmessungen:

- Gebäudelänge 30, 60 und 90m,
- Gebäudebreite 12, 18 und 24m,
- Gebäudehöhe 7 und 9m,

Für die Windanströmrichtung ist zwischen der Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) und der Windrichtung II (in Hallenlängsrichtung) unterschieden worden.

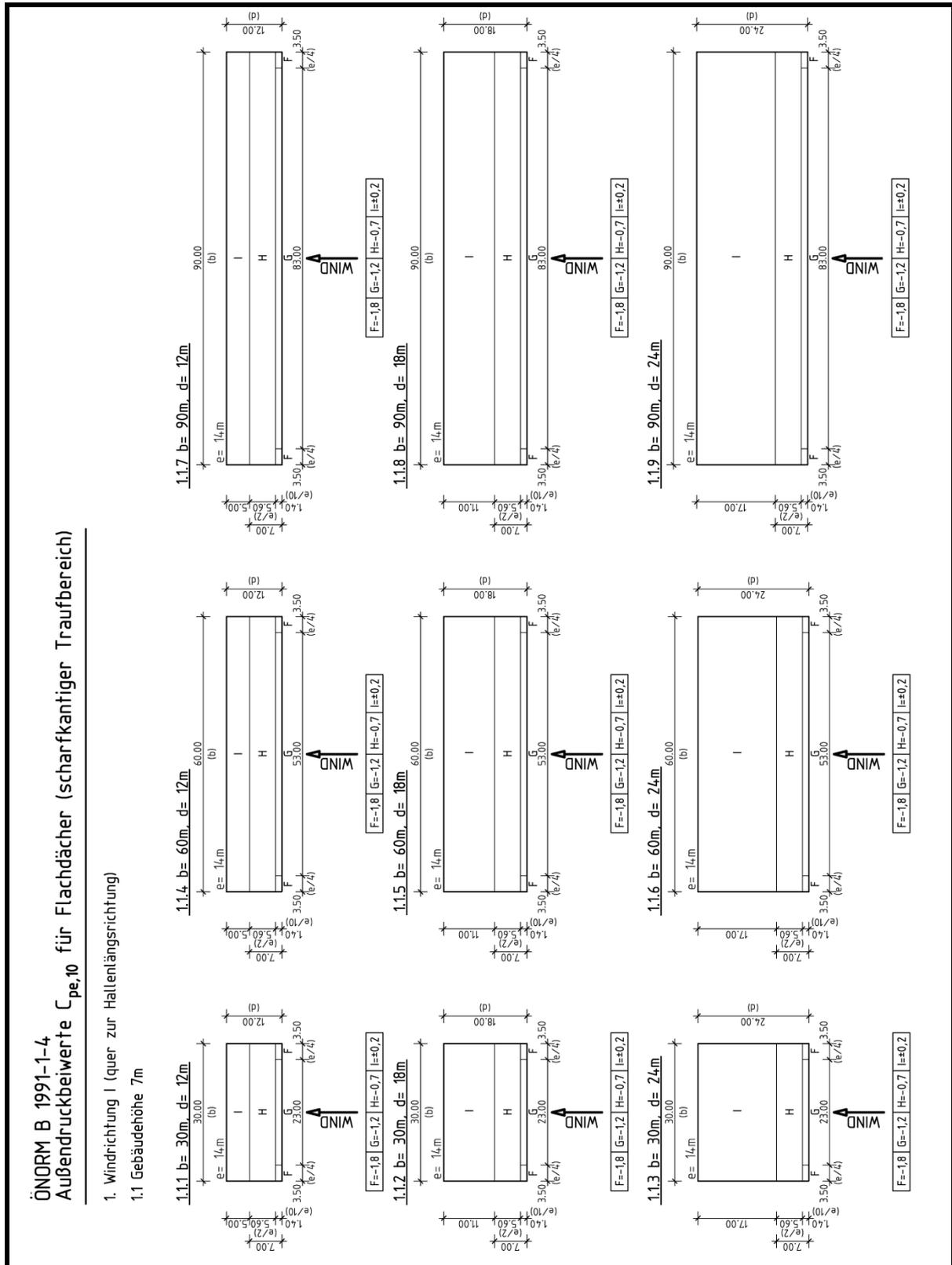
Als Druckbeiwerte wurden nur $c_{pe,10}$ -Werte (für Lasteinflussfläche $>10m^2$) aufgebracht, da diese laut Eurocode EN 1991-1-4 für die Bemessung von gesamten Tragwerken anzusetzen sind. Des Weiteren wurden für Flachdächer nur die Außendruckbeiwerte $c_{pe,10}$ für den „scharfkantiger Traufbereich“ untersucht, da dies als ungünstigster Lastfall angesehen werden kann. Im Gegensatz zum Nationalen Anhang für Österreich ist für Deutschland, der negative Außendruckbeiwert der Dachzone I mit $-0,6$ anzusetzen.

Nach der Zoneneinteilung der Dachflächen wurde nun jene Windanströmrichtung gesucht, welche die ungünstigste Belastung auf einen Regelbinder liefert.

Um auf eine Gesamtbelastung zu kommen, wurden die Außendruckbeiwerte c_{pe} mit zugehörigen Innendruckbeiwerten c_{pi} ergänzt und auf den Regelbinder aufgebracht. Die darauffolgenden Berechnung lieferte die erforderlichen Auflagerreaktionen und Momente, welche durch eine Ersatzbelastung c_A^* bzw. c_M^* abgedeckt werden. Diese Ersatzbelastungen wurden nun als Gleichlast über die gesamte Trägerlänge aufgebracht, um die komplizierte Zoneneinteilung nach Eurocode zu vereinfachen. Es wurde darauf geachtet, maximal 2% vom tatsächlichen Ergebnis abzuweichen.

A.2.1 Nationaler Anhang für Österreich

A.2.1.1 Zoneneinteilung für Flachdächer (ÖNORM B 1991-1-4)



ÖNORM B 1991-1-4
Außendruckbeiwerte $C_{pe,10}$ für Flachdächer (scharfkantiger Traufbereich)

1. Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung)
 1.2. Gebäudehöhe 9m

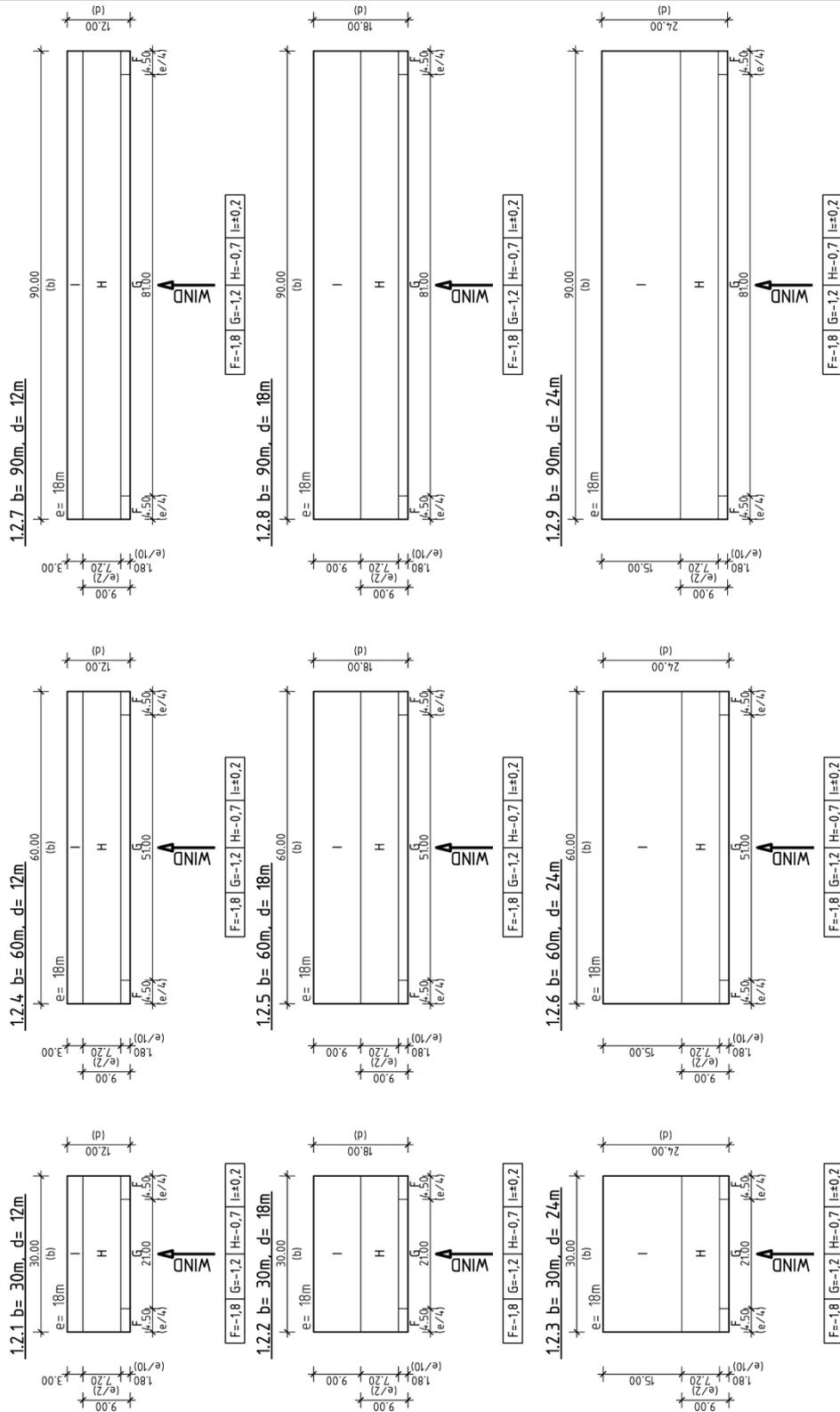


Abbildung 2: Dachzoneneinteilung für Flachdächer h= 9m, Windrichtung I (ÖNORM)

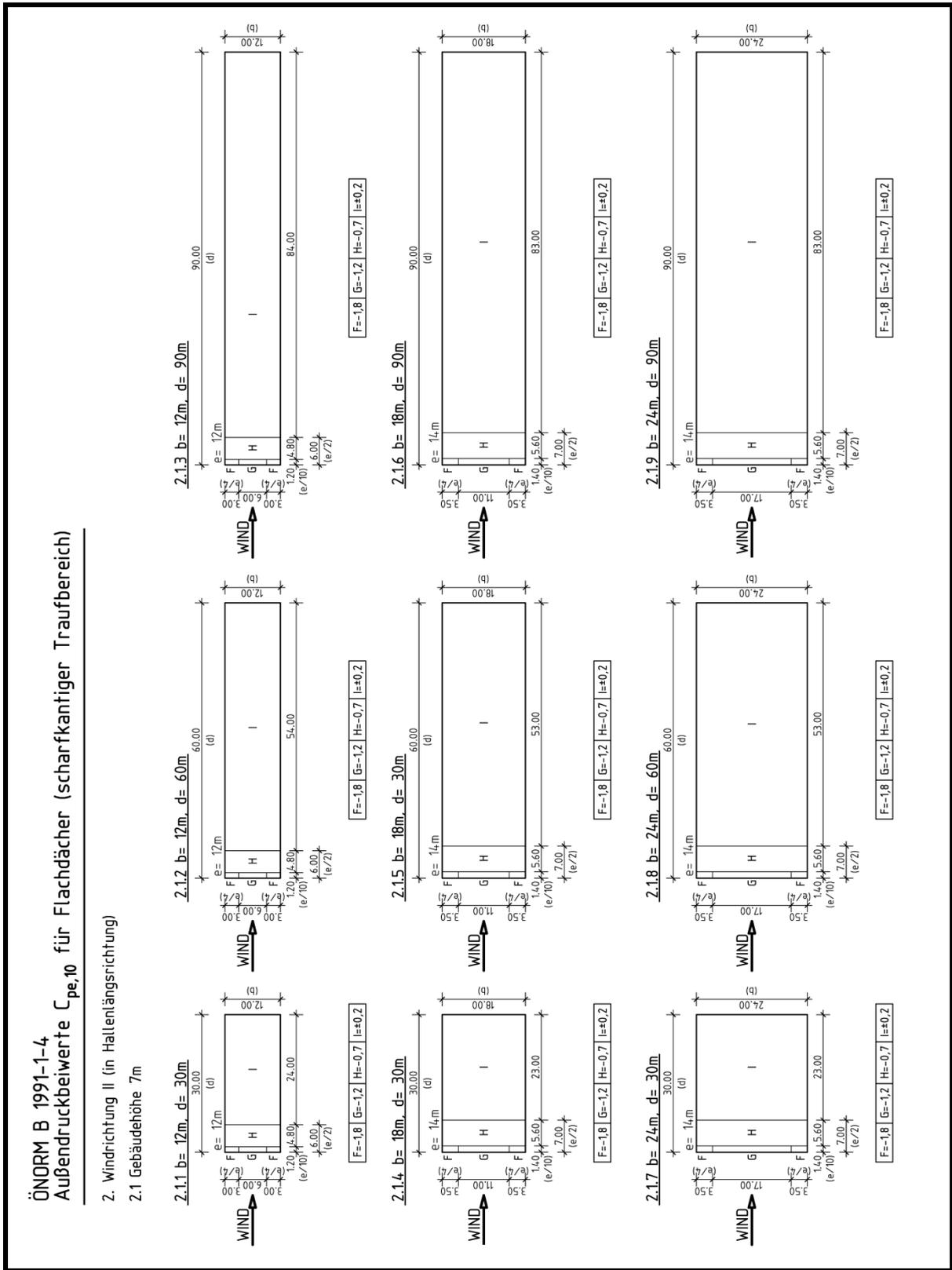


Abbildung 3: Dachzoneneinteilung für Flachdächer $h=7m$, Windrichtung II (ÖNORM)

ÖNORM B 1991-1-4
Außendruckbeiwerte $C_{pe,10}$ für Flachdächer (scharfkantiger Traufbereich)

2. Windrichtung II (in Hallenlängsrichtung)
 2.2 Gebäudehöhe 9m

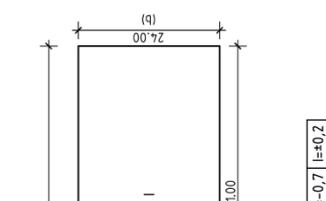
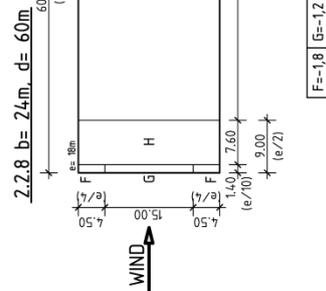
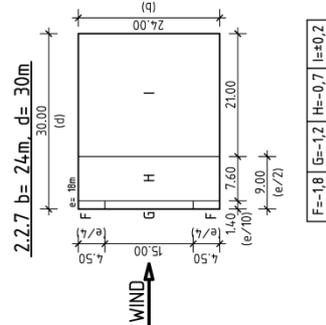
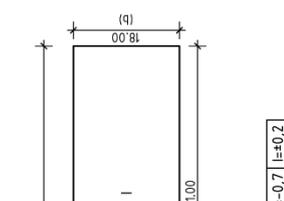
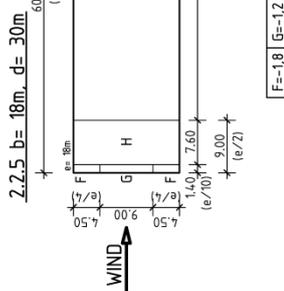
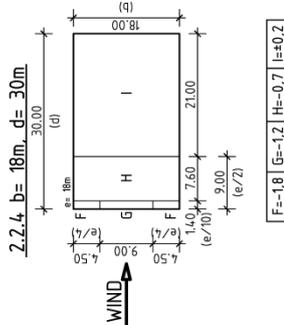
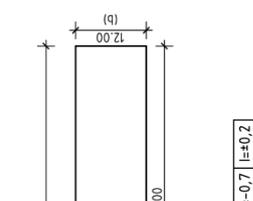
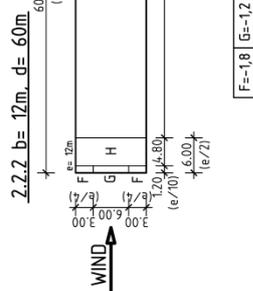
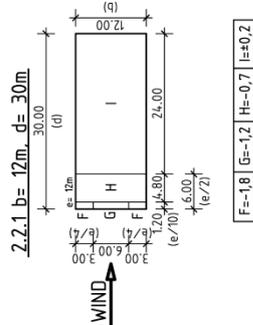


Abbildung 4: Dachzoneneinteilung für Flachdächer h= 9m, Windrichtung II (ÖNORM)

A.2.1.2 Vereinfachte Windlastbilder für Dachträger (Flachdach, ÖNORM B 1991-1-4)

a) Windbeanspruchung quer zur Hallenlängsrichtung (Windrichtung I)

- Windeinwirkung nach oben (Windsog)

Für die nachfolgenden Berechnungen wurde ein Böengeschwindigkeitsdruck von $q_p=1,0\text{kN/m}^2$ und ein Regelbinderabstand e von $1,0\text{ m}$ angenommen. Die hier angeführten Ergebnisse gelten für einen inneren, beidseitig gelenkig gelagerten Dachträger, welcher durch die Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) bzw. einem Ersatzbeiwert beansprucht wird. Dabei berechnet sich die Schnittgröße V_z bzw. das Moment M_y z.B. für die Ersatzbelastung $c_A^*=0,92$ wie folgt: $\max V_z = -0,92 \cdot 12,0/2 = -5,52\text{[kN]}$ und $\max M_y = -0,92 \cdot 12,0^2/8 = -16,56\text{[kNm]}$. Da die Hallenlängsrichtung auf die Dachzoneneinteilung keinen Einfluss hat, ist eine Unterscheidung diesbezüglich nicht notwendig.

- **Halle: Höhe = 7m, Breite = 12m**

<p>Druckbeiwerte nach ÖNORM B 1991-1-4</p>	<p>Ersatzbeiwert c_A^* für Auflager</p>	<p>Ersatzbeiwert c_M^* für Momente</p>
<p>Schnittgröße V_z [kN] für $q_p=1,0\text{ kN/m}^2$; $e=1,0\text{ m}$</p>	<p>Schnittgröße V_z [kN] für $q_p=1,0\text{ kN/m}^2$; $e=1,0\text{ m}$</p> <p>Abweichung = ~0%</p>	<p>Schnittgröße V_z [kN] für $q_p=1,0\text{ kN/m}^2$; $e=1,0\text{ m}$</p> <p>Abweichung = -23%</p>
<p>Moment M_y [kNm] für $q_p=1,0\text{ kN/m}^2$; $e=1,0\text{ m}$</p>	<p>Moment M_y [kNm] für $q_p=1,0\text{ kN/m}^2$; $e=1,0\text{ m}$</p> <p>Abweichung = +23%</p>	<p>Moment M_y [kNm] für $q_p=1,0\text{ kN/m}^2$; $e=1,0\text{ m}$</p> <p>Abweichung = ~0%</p>

Abbildung 5: Schnittkräfte für Dachträger (Flachdach, Halle $h=7\text{ m}$, $b=12\text{ m}$)

- **Halle: Höhe = 7m, Breite = 18m**

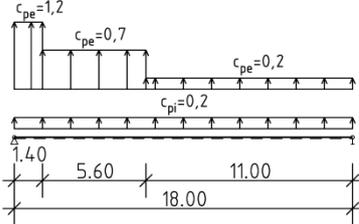
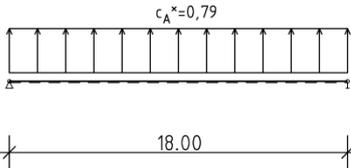
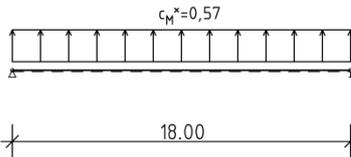
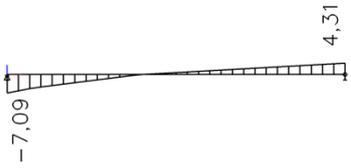
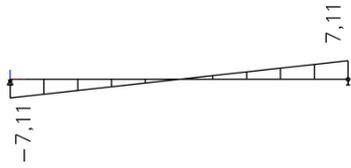
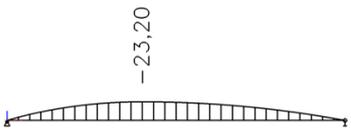
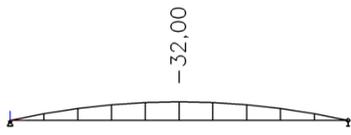
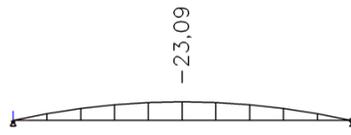
<p>Druckbeiwerte nach ÖNORM B 1991-1-4</p> 	<p>Ersatzbeiwert c_A^* für Auflager</p> 	<p>Ersatzbeiwert c_M^* für Momente</p> 
<p>Schnittgröße V_z [kN] für $q_p=1,0 \text{ kN/m}^2$; $e=1,0 \text{ m}$</p> 	<p>Schnittgröße V_z [kN] für $q_p=1,0 \text{ kN/m}^2$; $e=1,0 \text{ m}$</p>  <p>Abweichung = ~0%</p>	<p>Schnittgröße V_z [kN] für $q_p=1,0 \text{ kN/m}^2$; $e=1,0 \text{ m}$</p>  <p>Abweichung = -38%</p>
<p>Moment M_y [kNm] für $q_p=1,0 \text{ kN/m}^2$; $e=1,0 \text{ m}$</p> 	<p>Moment M_y [kNm] für $q_p=1,0 \text{ kN/m}^2$; $e=1,0 \text{ m}$</p>  <p>Abweichung = +38%</p>	<p>Moment M_y [kNm] für $q_p=1,0 \text{ kN/m}^2$; $e=1,0 \text{ m}$</p>  <p>Abweichung = ~0%</p>

Abbildung 6: Schnittkräfte für Dachträger (Flachdach, Halle h= 7m, b= 18m)

- **Halle: Höhe = 7m, Breite = 24m**

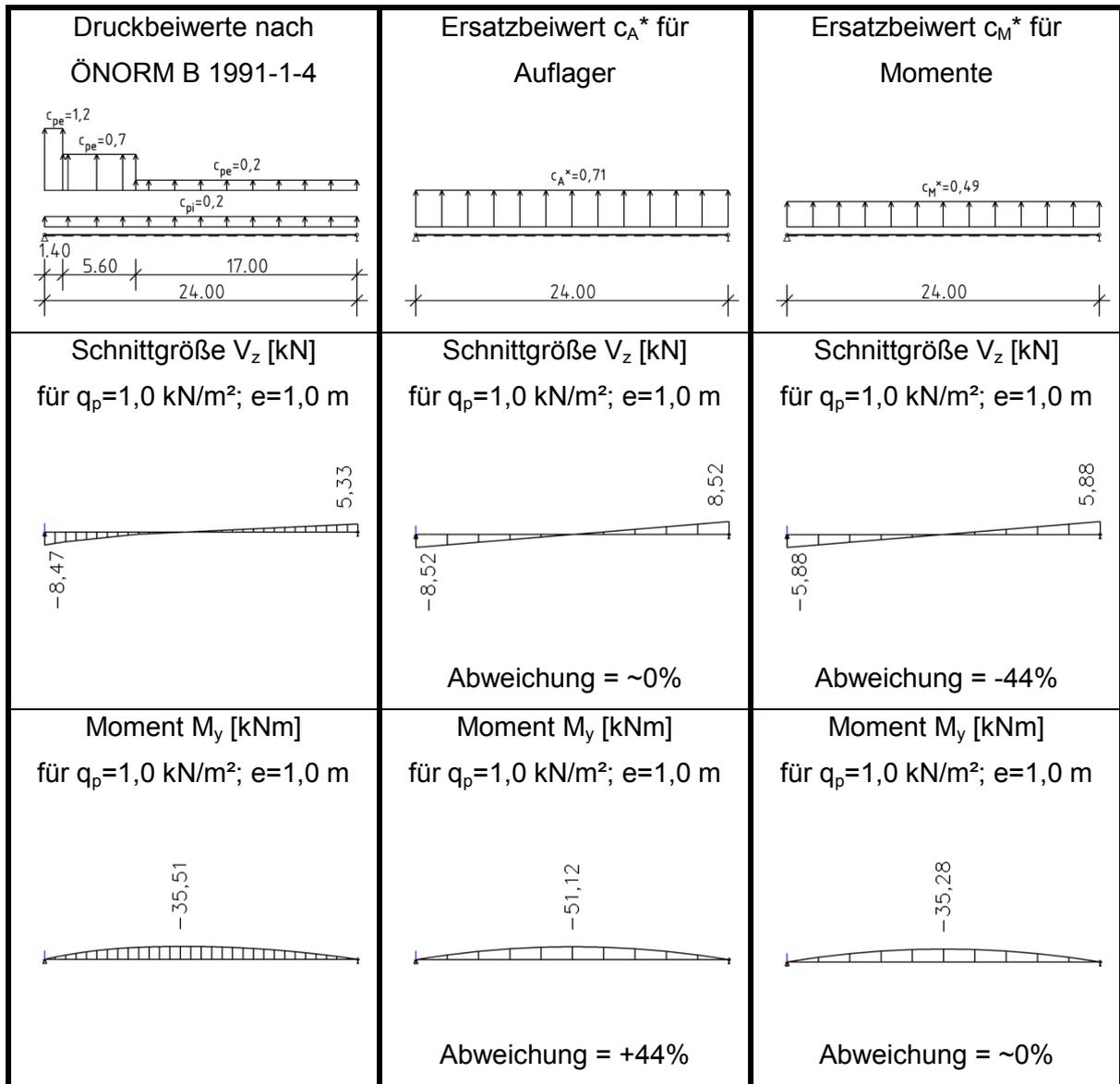


Abbildung 7: Schnittkräfte für Dachträger (Flachdach, Halle h= 7m, b= 24m)

- **Halle: Höhe = 9m, Breite = 12m**

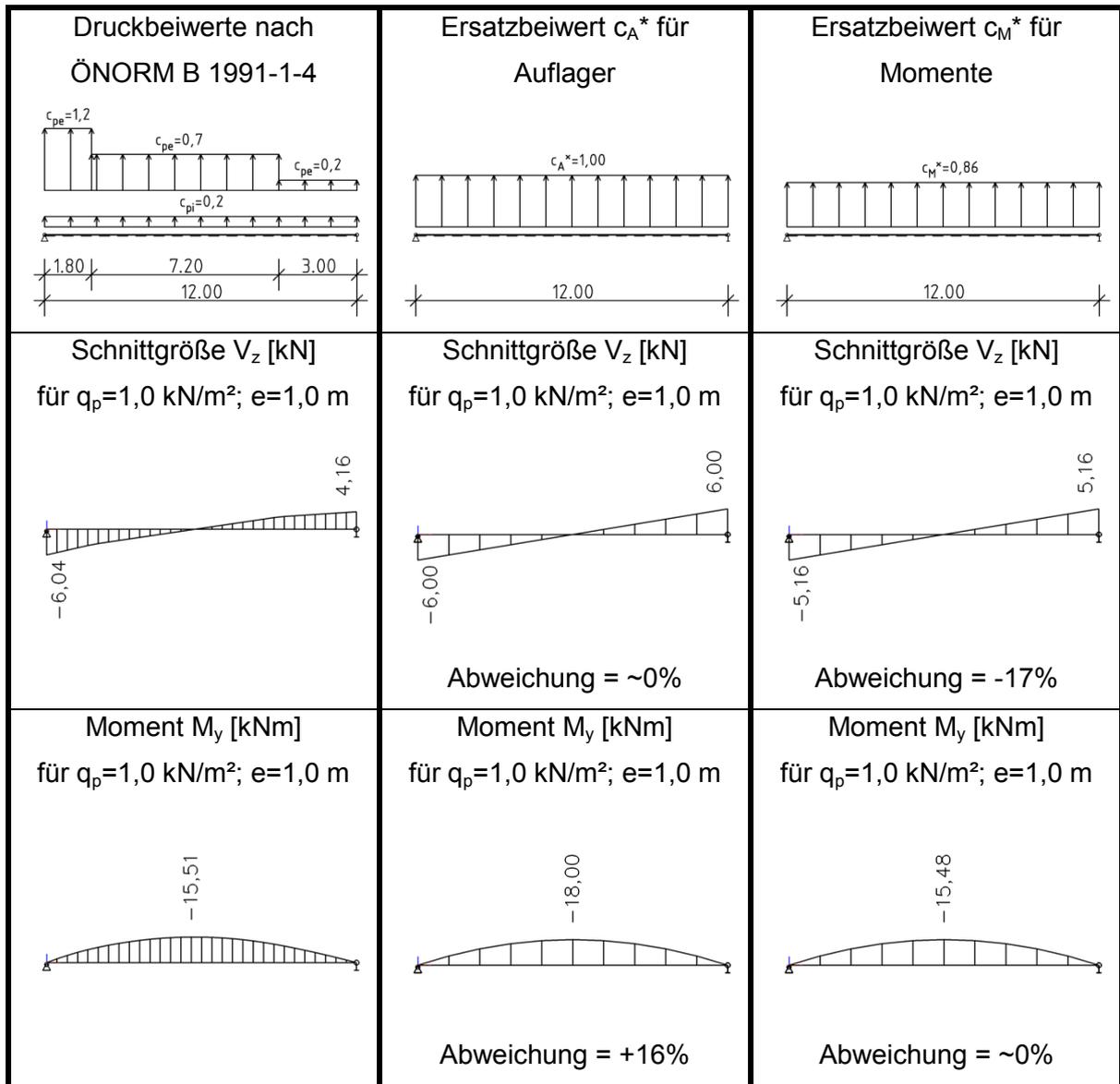


Abbildung 8: Schnittkräfte für Dachträger (Flachdach, Halle h= 9m, b= 12m)

- **Halle: Höhe = 9m, Breite = 18m**

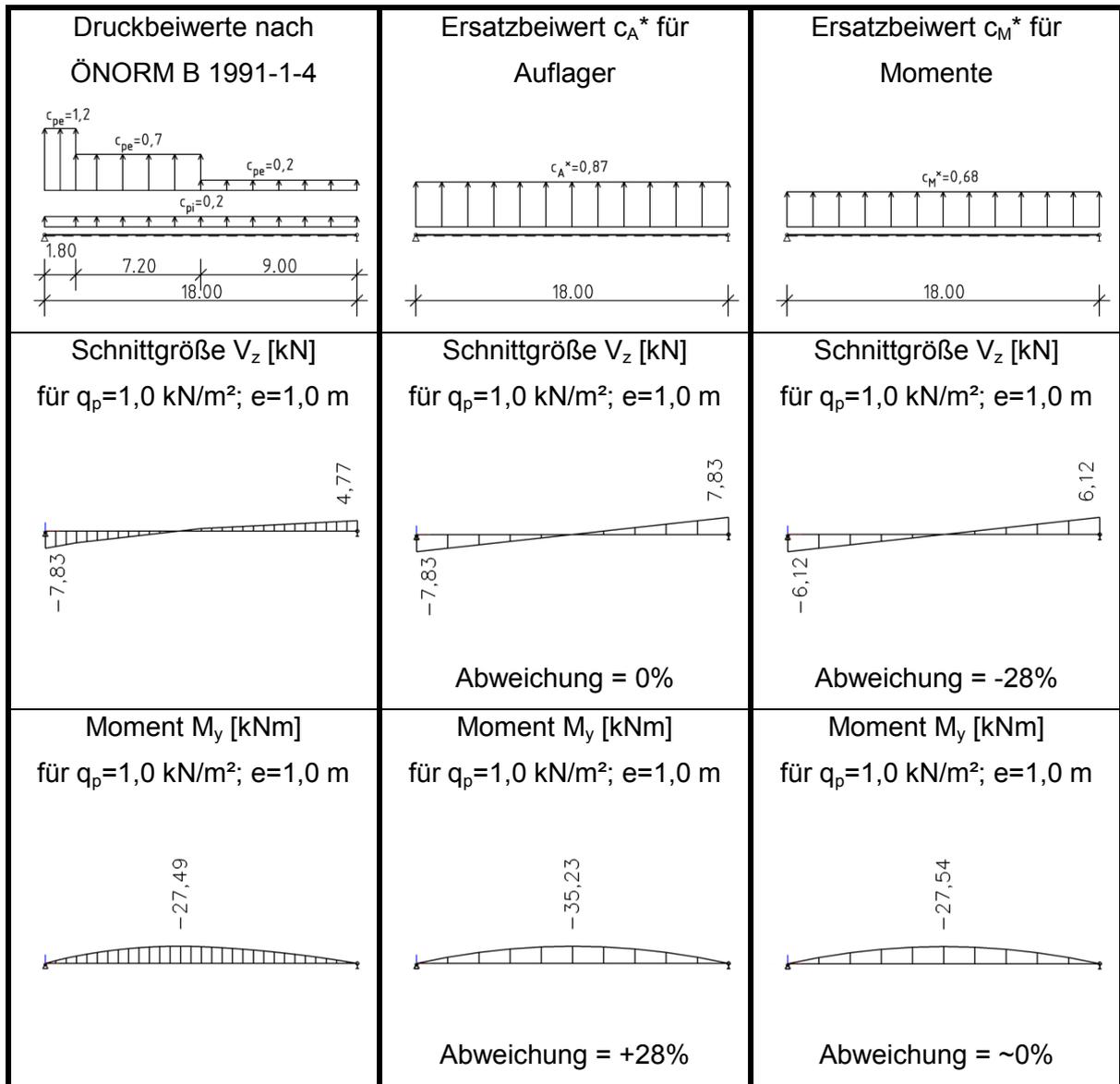


Abbildung 9: Schnittkräfte für Dachträger (Flachdach, Halle h= 9m, b= 18m)

- **Halle: Höhe = 9m, Breite = 24m**

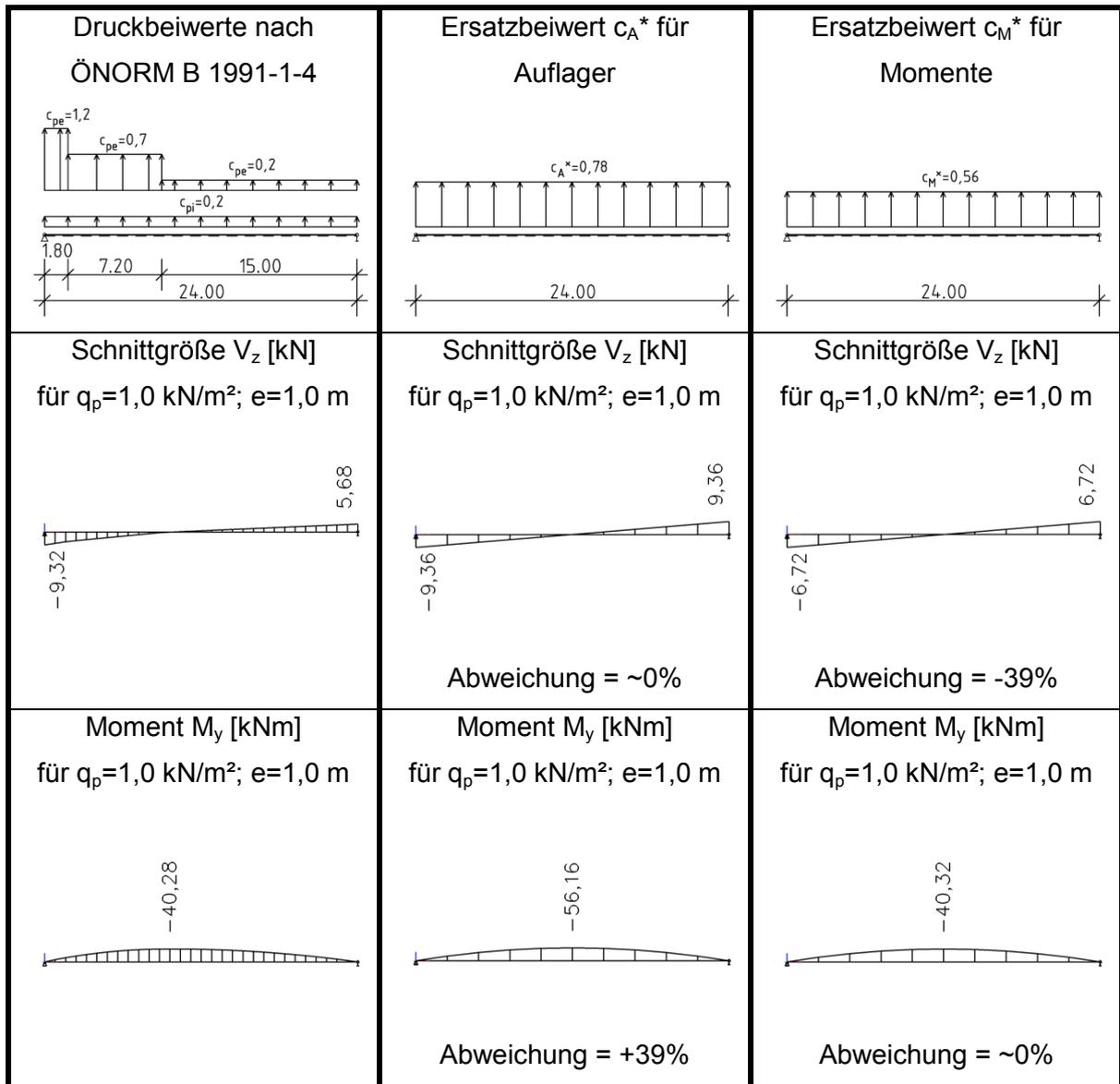


Abbildung 10: Schnittkräfte für Dachträger (Flachdach, Halle $h=9\text{m}$, $b=24\text{m}$)

b) Windbeanspruchung in Hallenlängsrichtung (Windrichtung II)

- Windeinwirkung nach oben (Windsog)

Aus der Zoneneinteilung ist ersichtlich, dass durch die Windrichtung II (in Hallenlängsrichtung) der erste innenliegende Regeldachbinder nach dem Randdachbinder, je nach Regelbinderabstand, "voll" in der Zone H liegen kann. Deswegen wurde nachfolgend untersucht, wie sich die Belastung für den ersten innenliegenden Regelbinder durch Variation des Regelbinderabstandes verändert. Diese Ergebnisse wurden dann mit der erforderliche Ersatzbeiwerten aus der Windrichtung I verglichen, um auf eine maßgebenden Belastung schließen zu können. Da die Außendruckbeiwerte der Zone H bzw. I schon konstant über die Trägerlänge anzusetzen sind, ist dafür keine Vereinfachung notwendig. Desweiteren wurde auf die Darstellung der Randzonen F und G verzichtet, da diese nur einen Einfluss auf den Randträger bewirken.

Es wurde unterschieden zwischen:

- Hallenhöhe h : 7 bzw. 9m
- Hallenbreite b : 12, 18 und 24m,
- Regelbinderabstand b_i : 6, 8 und 10m

Eine Unterscheidung zwischen der Hallenlänge ist nicht notwendig, da der Randabstand e entweder von der Hallenhöhe oder der Hallenbreite abhängt.

- **Halle: $h=7$ bzw. 9m , $b=12\text{m}$, $b_i=6\text{m}$**

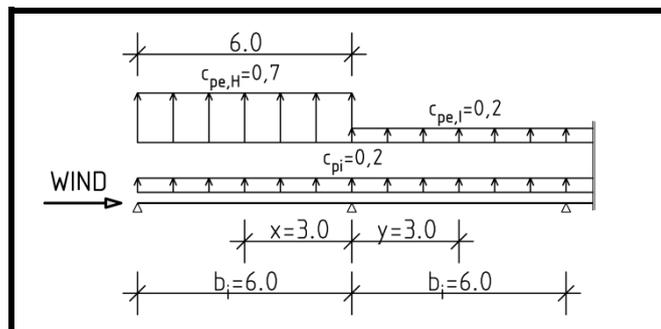


Abbildung 11: Längsschnitt Flachdach (ÖNORM, $h=7$ bzw. 9m , $b=12\text{m}$, $b_i=6\text{m}$)

$$c_{pe} = \frac{x \cdot c_{pe,H} + y \cdot c_{pe,I}}{b_i} = \frac{3 \cdot 0,7 + 3 \cdot 0,2}{6} = 0,45 \quad \rightarrow \quad c_{Wind II} = c_{pe} + c_{pi} = 0,45 + 0,20 = \underline{0,65}$$

- **Halle: h= 7 bzw. 9m, b= 12m, b_i= 8m**

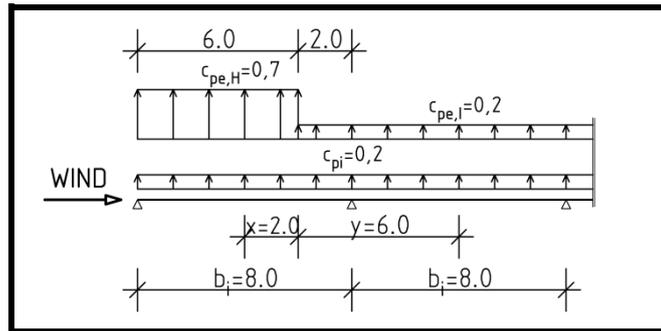


Abbildung 12: Längsschnitt Flachdach (ÖNORM, h= 7 bzw. 9m, b=12m, b_i=8m)

$$C_{pe} = \frac{x \cdot c_{pe,H} + y \cdot c_{pe,I}}{b_i} = \frac{2 \cdot 0,7 + 6 \cdot 0,2}{8} = 0,33 \quad \rightarrow \quad C_{Wind II} = C_{pe} + C_{pi} = 0,33 + 0,20 = \underline{0,53}$$

- **Halle: h= 7 bzw. 9m, b= 12m, b_i= 10m**

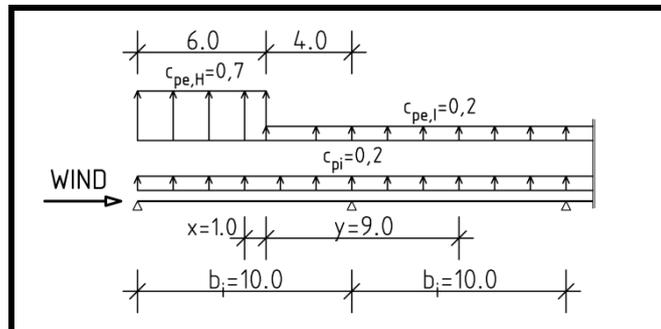


Abbildung 13: Längsschnitt Flachdach (ÖNORM, h= 7 bzw. 9m, b=12m, b_i=10m)

$$C_{pe} = \frac{x \cdot c_{pe,H} + y \cdot c_{pe,I}}{b_i} = \frac{1 \cdot 0,7 + 9 \cdot 0,2}{10} = 0,25 \quad \rightarrow \quad C_{Wind II} = C_{pe} + C_{pi} = 0,25 + 0,20 = \underline{0,45}$$

- **Halle: h= 7m, b= 18 bzw. 24m, b_i= 6m**

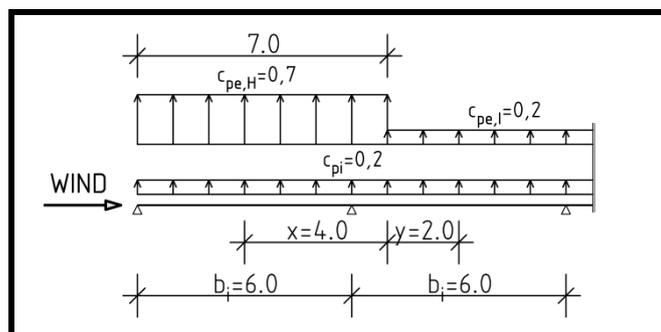


Abbildung 14: Längsschnitt Flachdach (ÖNORM, h= 7m, b=18 bzw. 24m, b_i=6m)

$$C_{pe} = \frac{x \cdot c_{pe,H} + y \cdot c_{pe,I}}{b_i} = \frac{4 \cdot 0,7 + 2 \cdot 0,2}{6} = 0,53 \quad \rightarrow \quad C_{Wind II} = C_{pe} + C_{pi} = 0,53 + 0,20 = \underline{0,73}$$

- **Halle: h= 7m, b= 18 bzw. 24m, b_i= 8m**

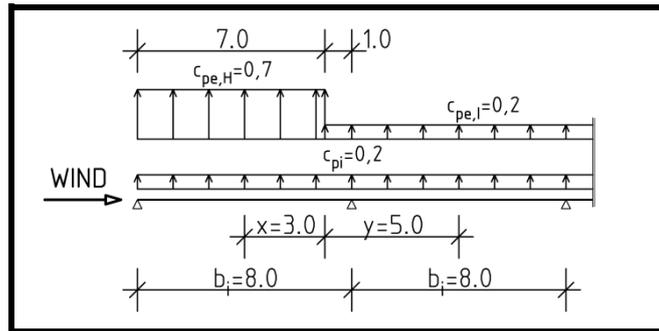


Abbildung 15: Längsschnitt Flachdach (ÖNORM, h= 7m, b=18 bzw. 24m, b_i=8m)

$$C_{pe} = \frac{x \cdot c_{pe,H} + y \cdot c_{pe,l}}{b_i} = \frac{3 \cdot 0,7 + 5 \cdot 0,2}{8} = 0,39 \quad \rightarrow \quad \underline{C_{Wind II}} = C_{pe} + C_{pi} = 0,39 + 0,20 = \underline{0,59}$$

- **Halle: h= 7m, b= 18 bzw. 24m, b_i= 10m**

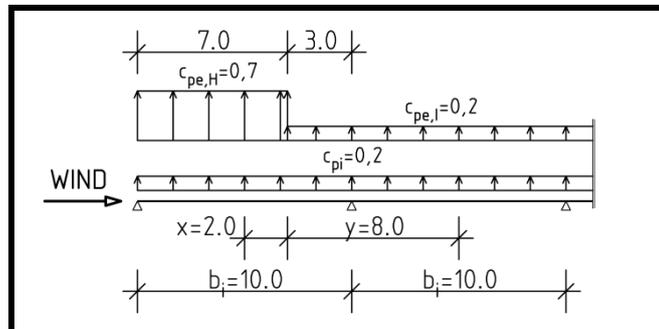


Abbildung 16: Längsschnitt Flachdach (ÖNORM, h= 7m, b=18 bzw. 24m, b_i=10m)

$$C_{pe} = \frac{x \cdot c_{pe,H} + y \cdot c_{pe,l}}{b_i} = \frac{2 \cdot 0,7 + 8 \cdot 0,2}{10} = 0,30 \quad \rightarrow \quad \underline{C_{Wind II}} = C_{pe} + C_{pi} = 0,30 + 0,20 = \underline{0,50}$$

- **Halle: h= 9m, b= 18 bzw. 24m, b_i= 6m**

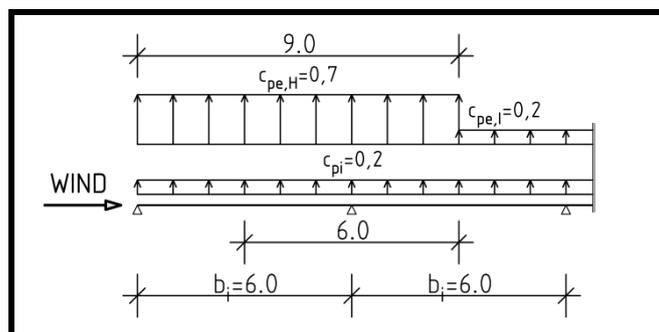


Abbildung 17: Längsschnitt Flachdach (ÖNORM, h= 9m, b=18 bzw. 24m, b_i=6m)

$$C_{pe} = 0,70 \quad \rightarrow \quad \underline{C_{Wind II}} = C_{pe} + C_{pi} = 0,70 + 0,20 = \underline{0,90}$$

- **Halle: h= 9m, b= 18 bzw. 24m, b_i= 8m**

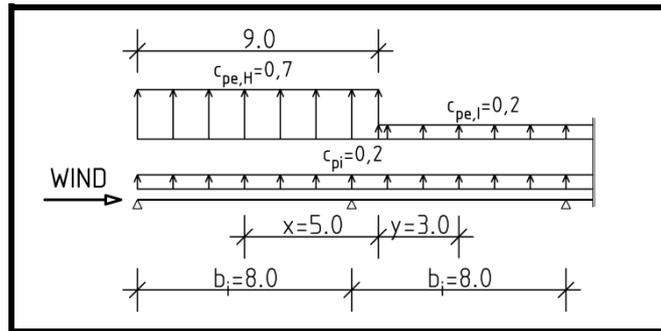


Abbildung 18: Längsschnitt Flachdach (ÖNORM, h= 9m, b=18 bzw. 24m, b_i=8m)

$$C_{pe} = \frac{x \cdot c_{pe,H} + y \cdot c_{pe,l}}{b_i} = \frac{5 \cdot 0,7 + 3 \cdot 0,2}{8} = 0,51 \quad \rightarrow \quad \underline{C_{Wind II}} = C_{pe} + C_{pi} = 0,51 + 0,20 = \underline{0,71}$$

- **Halle: h= 9m, b= 18 bzw. 24m, b_i= 10m**

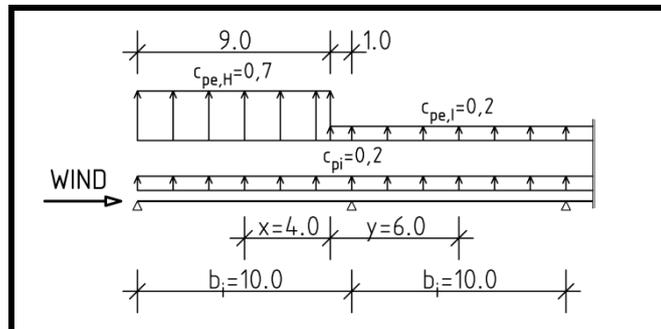


Abbildung 19: Längsschnitt Flachdach (ÖNORM, h= 9m, b=18 bzw. 24m, b_i=10m)

$$C_{pe} = \frac{x \cdot c_{pe,H} + y \cdot c_{pe,l}}{b_i} = \frac{4 \cdot 0,7 + 6 \cdot 0,2}{10} = 0,40 \quad \rightarrow \quad \underline{C_{Wind II}} = C_{pe} + C_{pi} = 0,40 + 0,20 = \underline{0,60}$$

In den nachfolgenden Tabellen werden die vorher ausgewerteten Druckbeiwerte $c_{\text{Wind II}}$ mit jenen Ersatzbeiwerten (c_A^* und c_M^*) verglichen, die aus Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) entstehen. Dabei repräsentiert die Zahl in der Klammer, den prozentualen Unterschied zwischen $c_{\text{Wind II}}$ und c_A^* bzw. c_M^* .

Höhe h [m]	Breite b [m]	b_i [m]	$c_{\text{Wind II}}$	c_A^*	c_M^*
7,0	12,0	6,0	0,65	0,92 (+42%)	0,75 (+15%)
7,0	12,0	8,0	0,53	0,92 (+74%)	0,75 (+42%)
7,0	12,0	10,0	0,45	0,92 (+100%)	0,75 (+67%)
7,0	18,0	6,0	0,73	0,79 (+8%)	0,57 (-28%)
7,0	18,0	8,0	0,59	0,79 (+34%)	0,57 (-1%)
7,0	18,0	10,0	0,50	0,79 (+58%)	0,57 (+14%)
7,0	24,0	6,0	0,73	0,71 (-3%)	0,49 (-49%)
7,0	24,0	8,0	0,59	0,71 (+20%)	0,49 (-20%)
7,0	24,0	10,0	0,50	0,71 (+42%)	0,49 (-2%)

Tabelle 1: Druckbeiwerte $c_{\text{Wind II}}$ und c_A^* bzw. c_M^* (ÖNORM, Flachdach, Halle $h=7\text{m}$)

Höhe h [m]	Breite b [m]	b_i [m]	$c_{\text{Wind II}}$	c_A^*	c_M^*
9,0	12,0	6,0	0,65	1,0 (+54%)	0,86 (+32%)
9,0	12,0	8,0	0,53	1,0 (+89%)	0,86 (+62%)
9,0	12,0	10,0	0,45	1,0 (+122%)	0,86 (+91%)
9,0	18,0	6,0	0,90	0,87 (-4%)	0,68 (-32%)
9,0	18,0	8,0	0,71	0,87 (+23%)	0,68 (-4%)
9,0	18,0	10,0	0,60	0,87 (+45%)	0,68 (+13%)
9,0	24,0	6,0	0,90	0,78 (-16%)	0,56 (-61%)
9,0	24,0	8,0	0,71	0,78 (+10%)	0,56 (-27%)
9,0	24,0	10,0	0,60	0,78 (+30%)	0,56 (-7%)

Tabelle 2: Druckbeiwerte $c_{\text{Wind II}}$ und c_A^* bzw. c_M^* (ÖNORM, Flachdach, Halle $h=9\text{m}$)

Durch den Vergleich von $c_{\text{Wind II}}$ mit c_A^* bzw. c_M^* ist erkennbar, dass mit zunehmender Hallenhöhe h bzw. Hallenbreite b und abnehmendem Regelbinderabstand b_i , der erste innenliegende Regelbinder nach dem Giebelwandbinder immer stärker vom Druckbeiwert $c_{\text{Wind II}}$ abhängig wird. In der Regel deckt der Druckbeiwert c_A^* auch die Belastung (infolge Windrichtung II) auf den ersten innenliegenden Dachbinder ab, dies gilt jedoch nicht für die Halle mit $h=9\text{m}$, $b=18$ bzw. 24m und einem Regelbinderabstand b_i von 6m . Bei der alleinigen Berechnung mit c_M^* ist jedoch Vorsicht geboten, da es zu einer Unterschätzung bis 61% kommen kann.

c) Windeinwirkung nach unten (Winddruck)

Die maßgebende Windbelastung nach unten tritt in der Zone I durch die Windrichtung II (in Hallenlängsrichtung) und gleichzeitigem Innensog auf. Die Ergebnisse gelten für einen beidseitig gelenkig gelagerten Innenträger einer 7m bzw. 9m hohen Halle, mit einem Böengeschwindigkeitsdruck von 1,0 kN/m² und einem fiktiven Trägerabstand e von 1,0 m. Da der Außendruckbeiwert für die Zone I bereits in der EN 1991-1-4 konstant über die gesamte Trägerlänge angesetzt wird, ist diesem nur mehr der Innensog beizufügen und erfordert daher keine Vereinfachung.

• **7m und 9m hohe Halle**

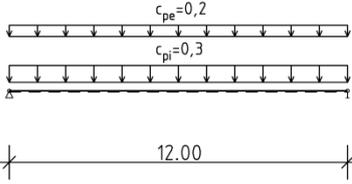
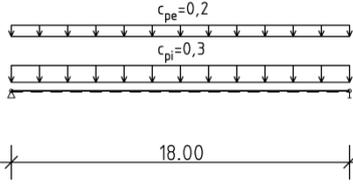
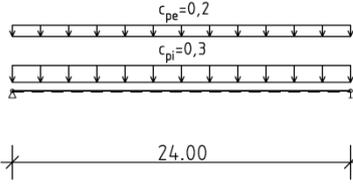
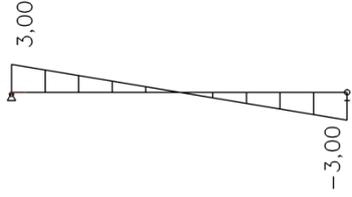
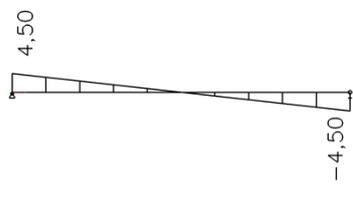
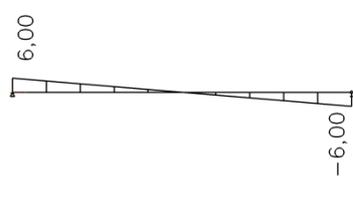
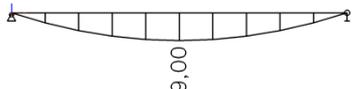
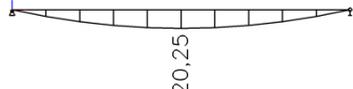
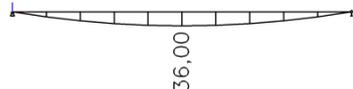
<p>Druckbeiwerte nach EN 1991-1-4, b = 12m</p> 	<p>Druckbeiwerte nach EN 1991-1-4, b = 18m</p> 	<p>Druckbeiwerte nach EN 1991-1-4, b = 24m</p> 
<p>Schnittgröße V_z [kN] für q_p=1,0 kN/m²; e=1,0 m</p> 	<p>Schnittgröße V_z [kN] für q_p=1,0 kN/m²; e=1,0 m</p> 	<p>Schnittgröße V_z [kN] für q_p=1,0 kN/m²; e=1,0 m</p> 
<p>Moment M_y [kNm] für q_p=1,0 kN/m²; e=1,0 m</p> 	<p>Moment M_y [kNm] für q_p=1,0 kN/m²; e=1,0 m</p> 	<p>Moment M_y [kNm] für q_p=1,0 kN/m²; e=1,0 m</p> 

Abbildung 20: Schnittkräfte für Dachträger bei Windeinwirkung nach unten

A.2.1.3 Zoneneinteilung für Satteldächer (ÖNORM B 1991-1-4)

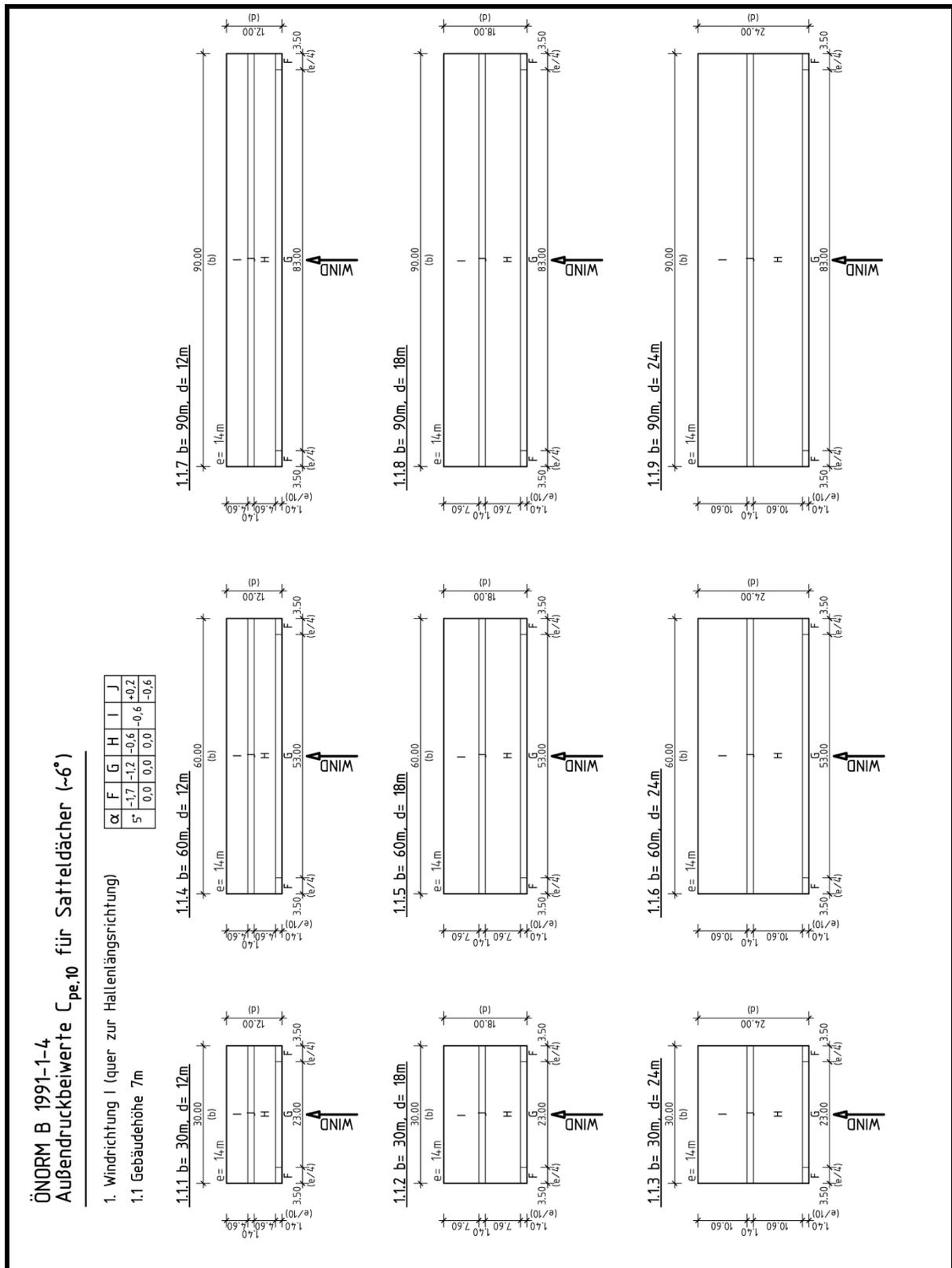


Abbildung 21: Dachzoneneinteilung für Satteldächer $h=7m$, Windrichtung I (ÖNORM)

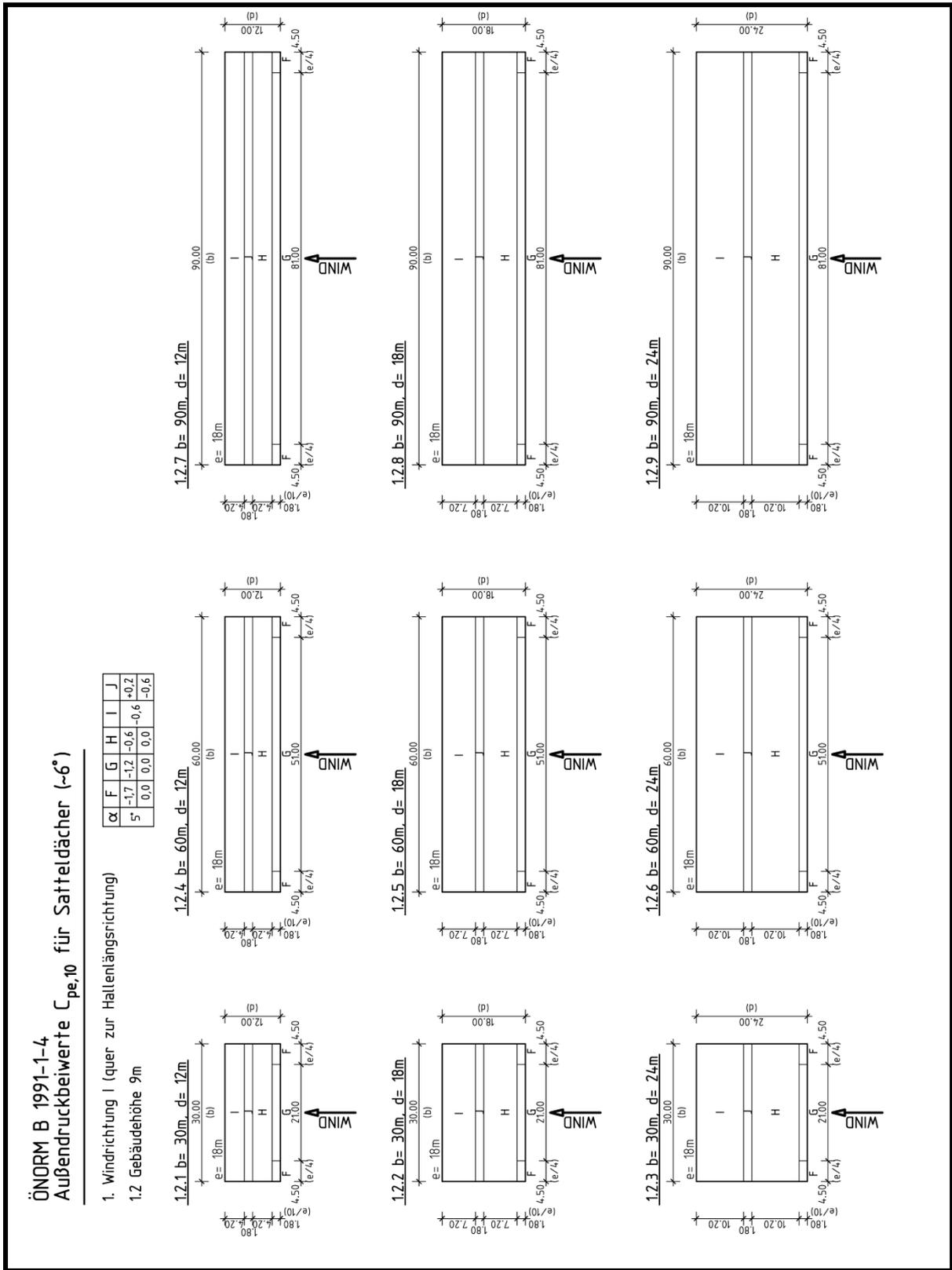


Abbildung 22: Dachzoneneinteilung für Satteldächer $h=9m$, Windrichtung I (ÖNORM)

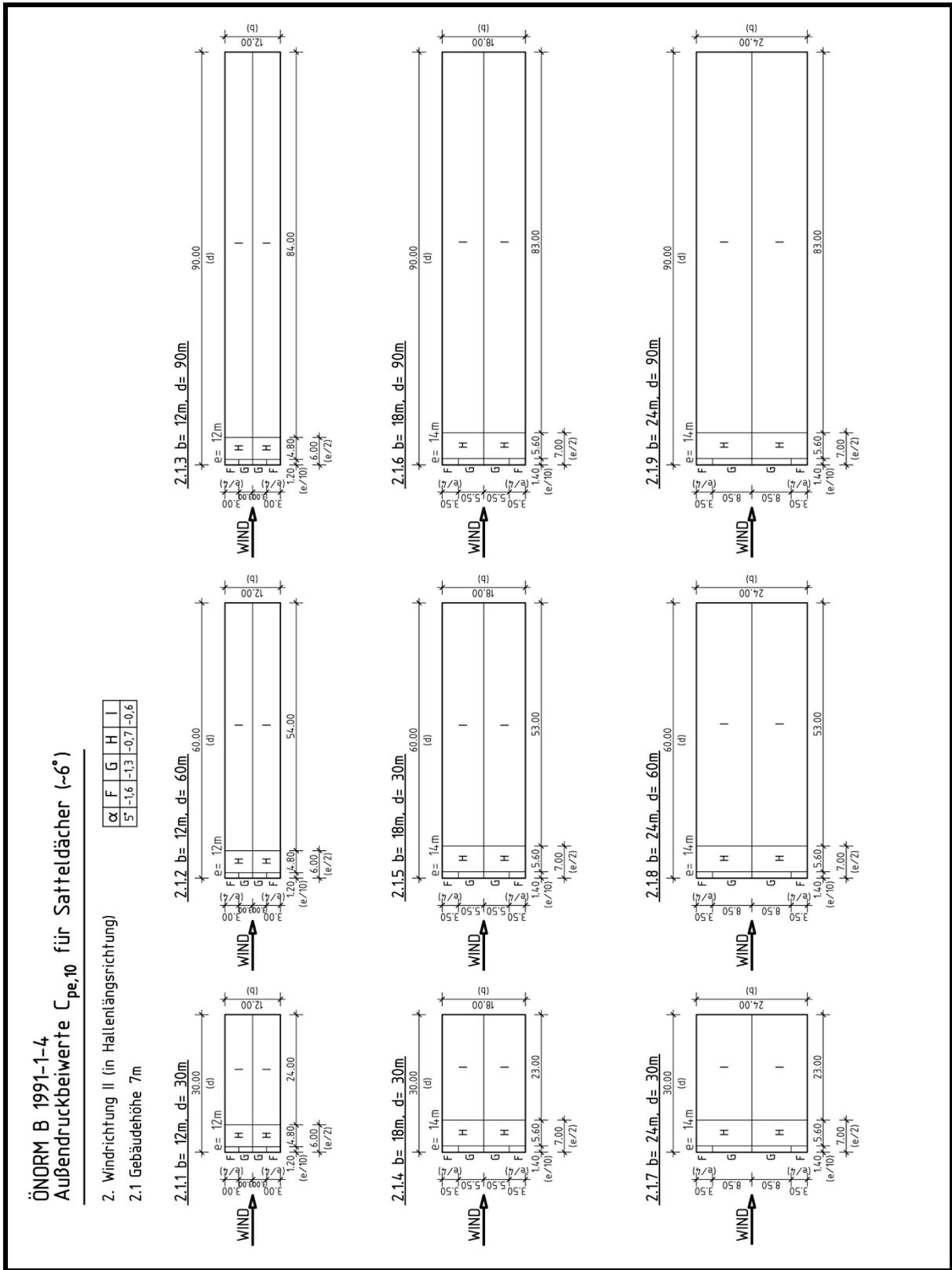


Abbildung 23: Dachzoneneinteilung für Satteldächer $h = 7\text{m}$, Windrichtung II (ÖNORM)

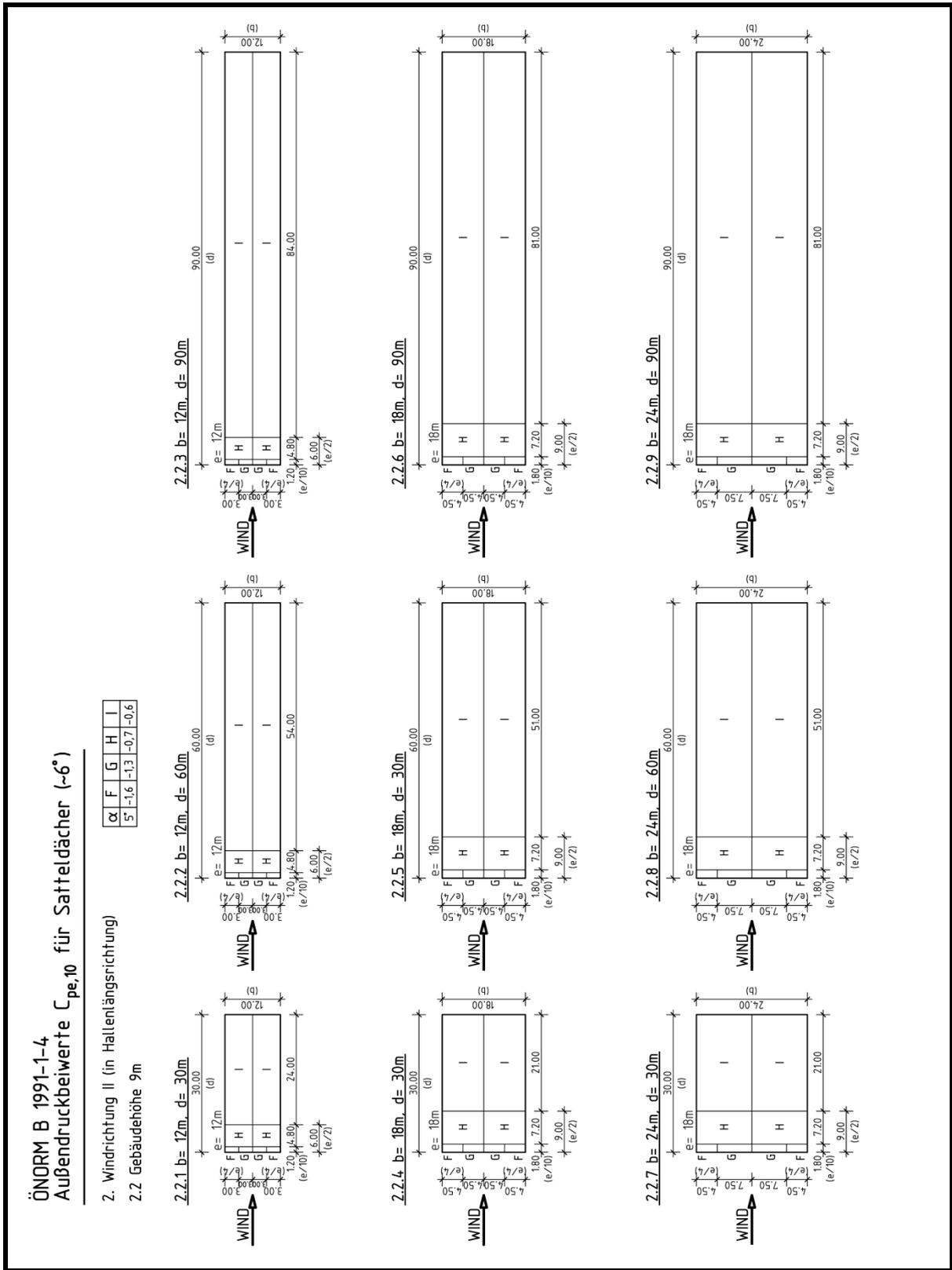


Abbildung 24: Dachzoneneinteilung für Satteldächer $h = 9\text{m}$, Windrichtung II (ÖNORM)

- **Halle: Höhe = 7m, Breite = 18m**

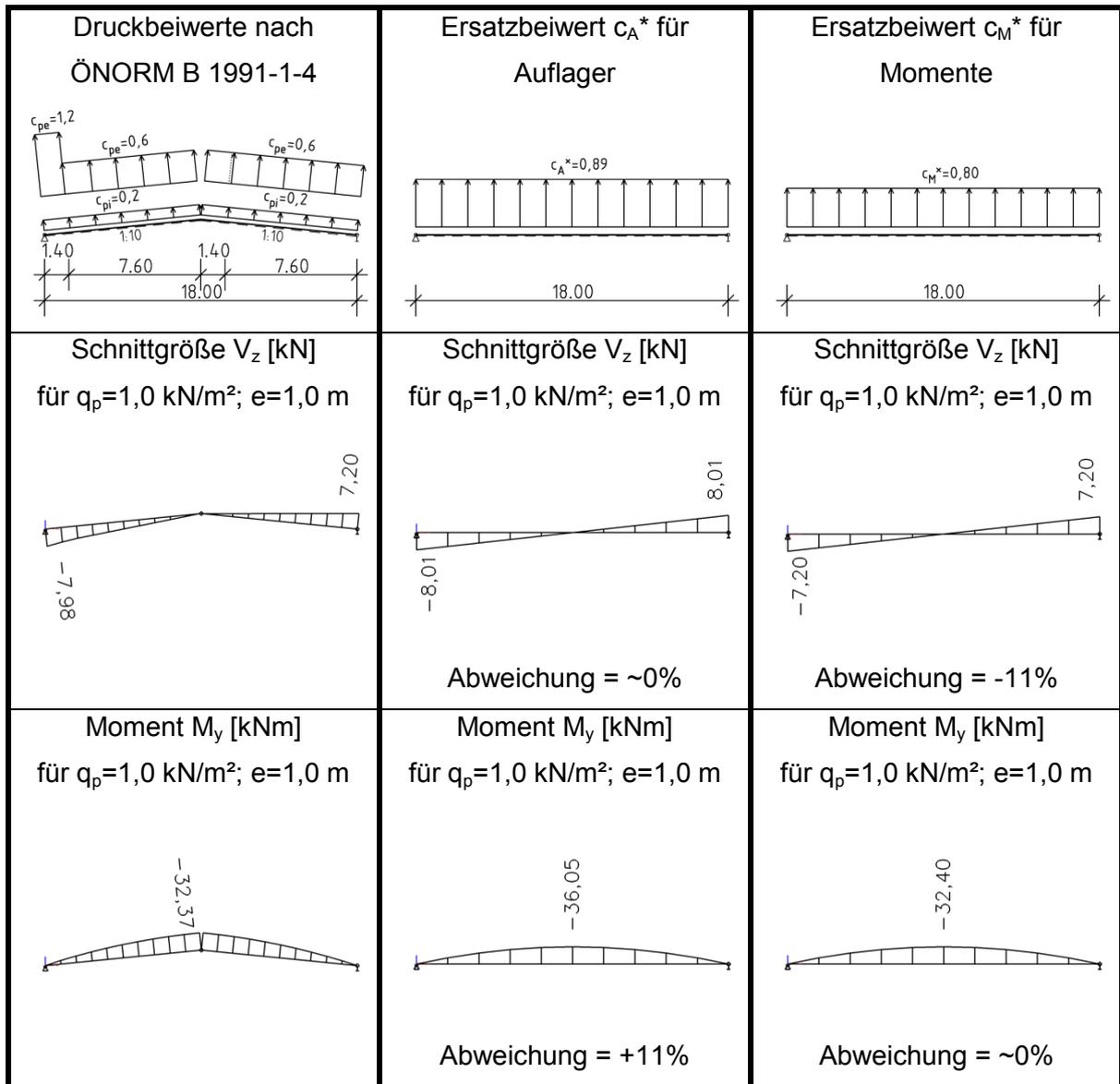


Abbildung 26: Schnittkräfte für Dachträger (Satteldach, Halle h= 7m, b= 18m)

- **Halle: Höhe = 7m, Breite = 24m**

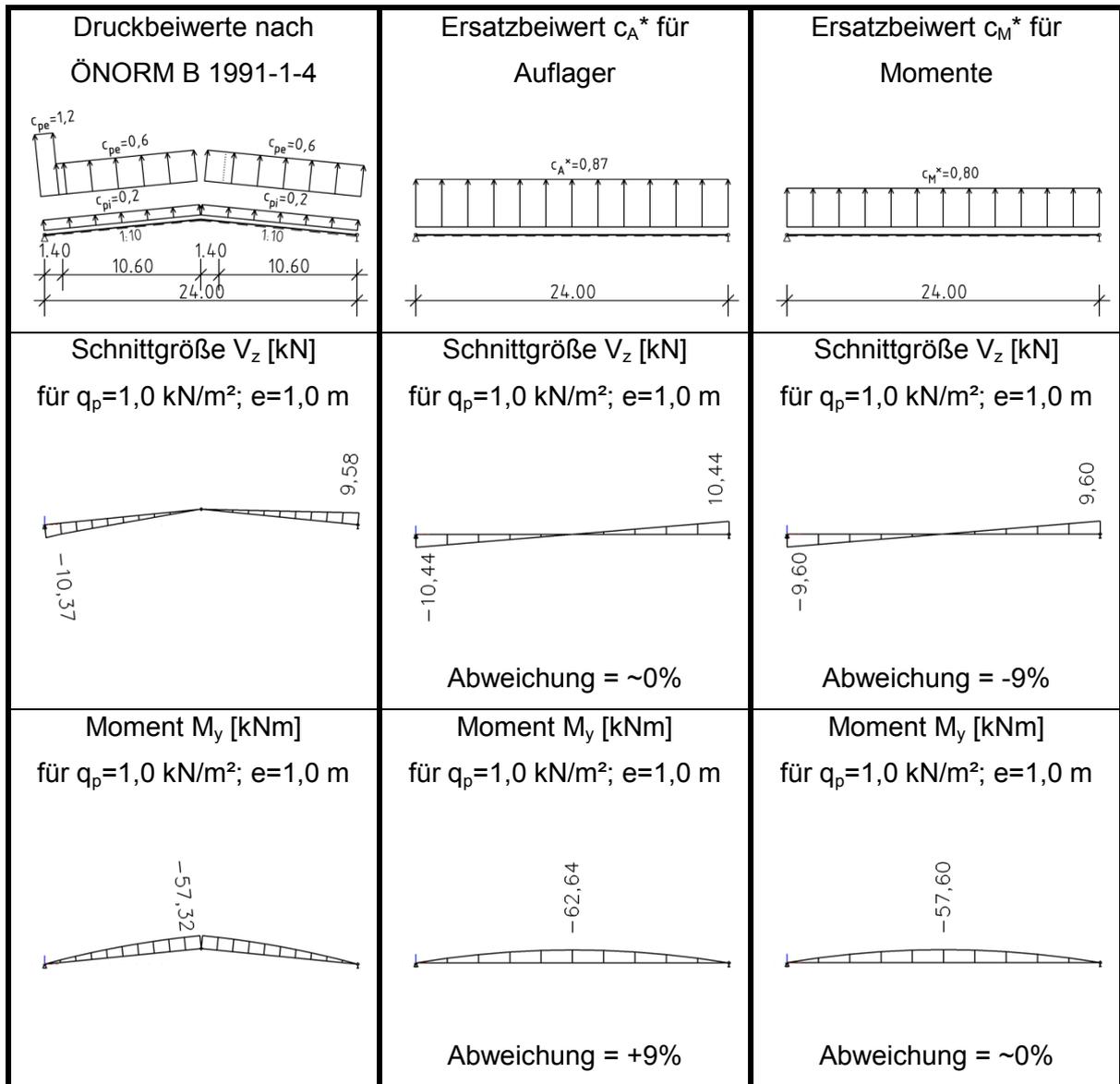


Abbildung 27: Schnittkräfte für Dachträger (Satteldach, Halle $h=7\text{m}$, $b=24\text{m}$)

- **Halle: Höhe = 9m, Breite = 12m**

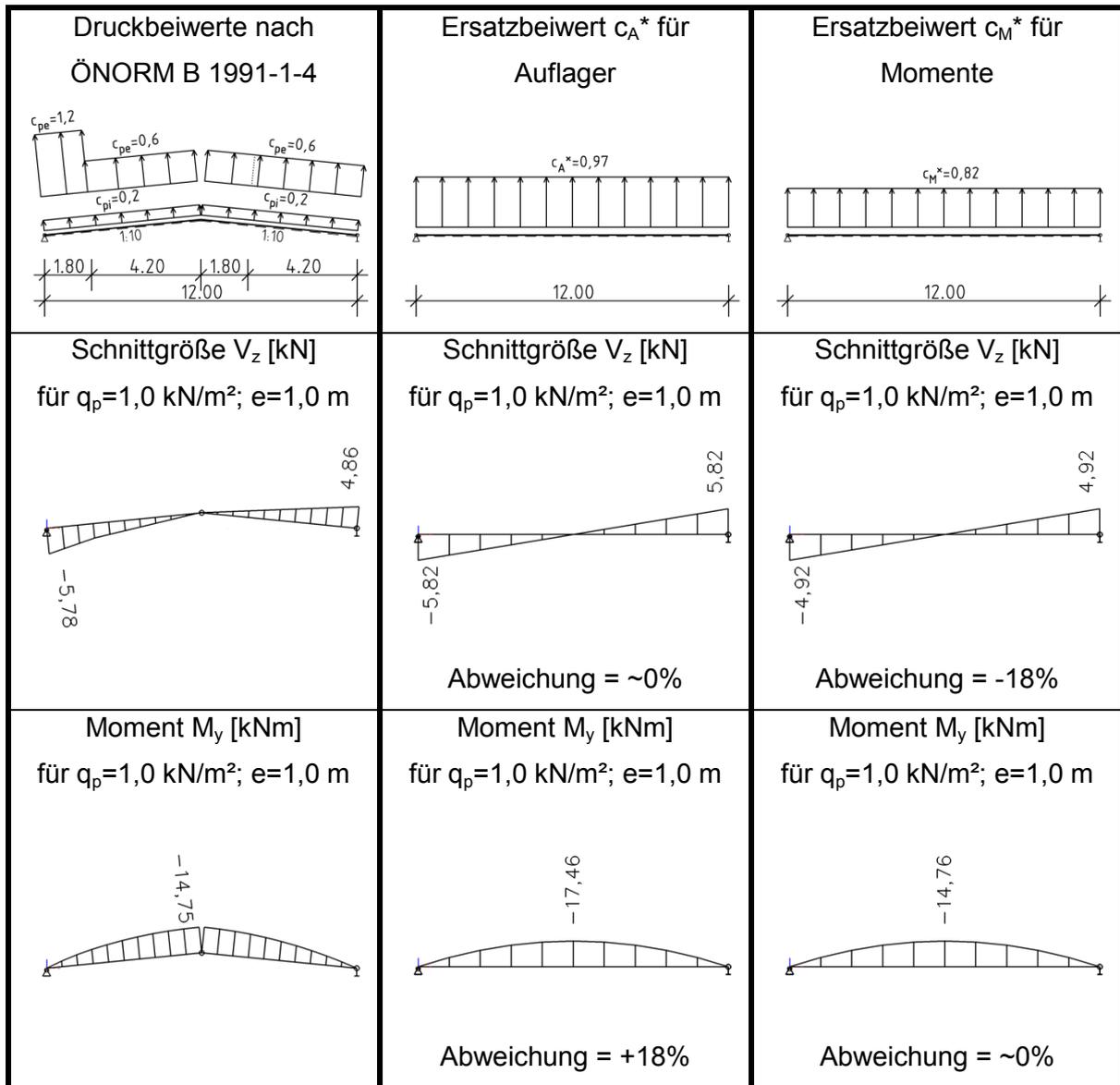


Abbildung 28: Schnittkräfte für Dachträger (Satteldach, Halle h= 9m, b= 12m)

- **Halle: Höhe = 9m, Breite = 18m**

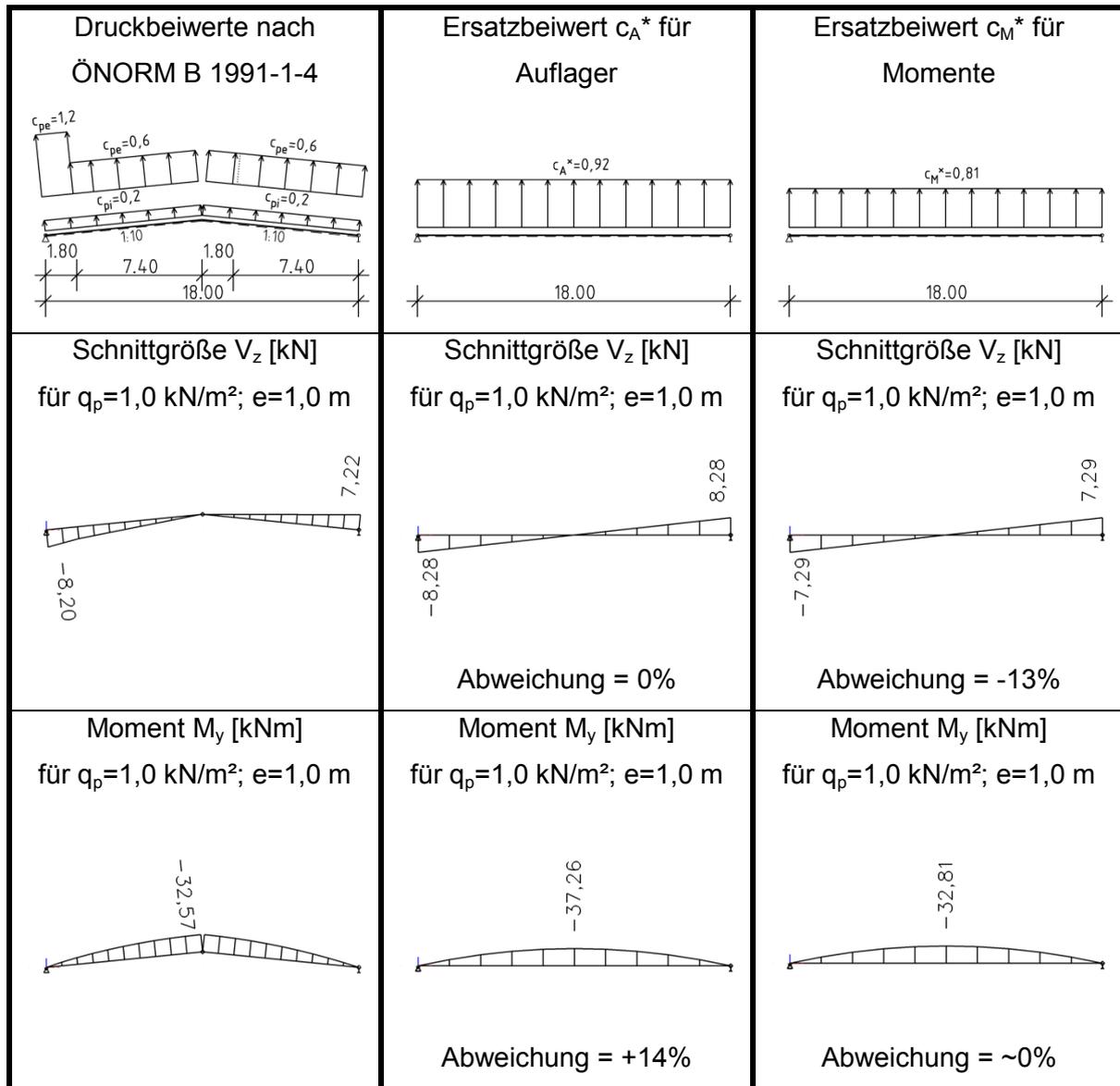


Abbildung 29: Schnittkräfte für Dachträger (Satteldach, Halle $h=9\text{m}$, $b=18\text{m}$)

- **Halle: Höhe = 9m, Breite = 24m**

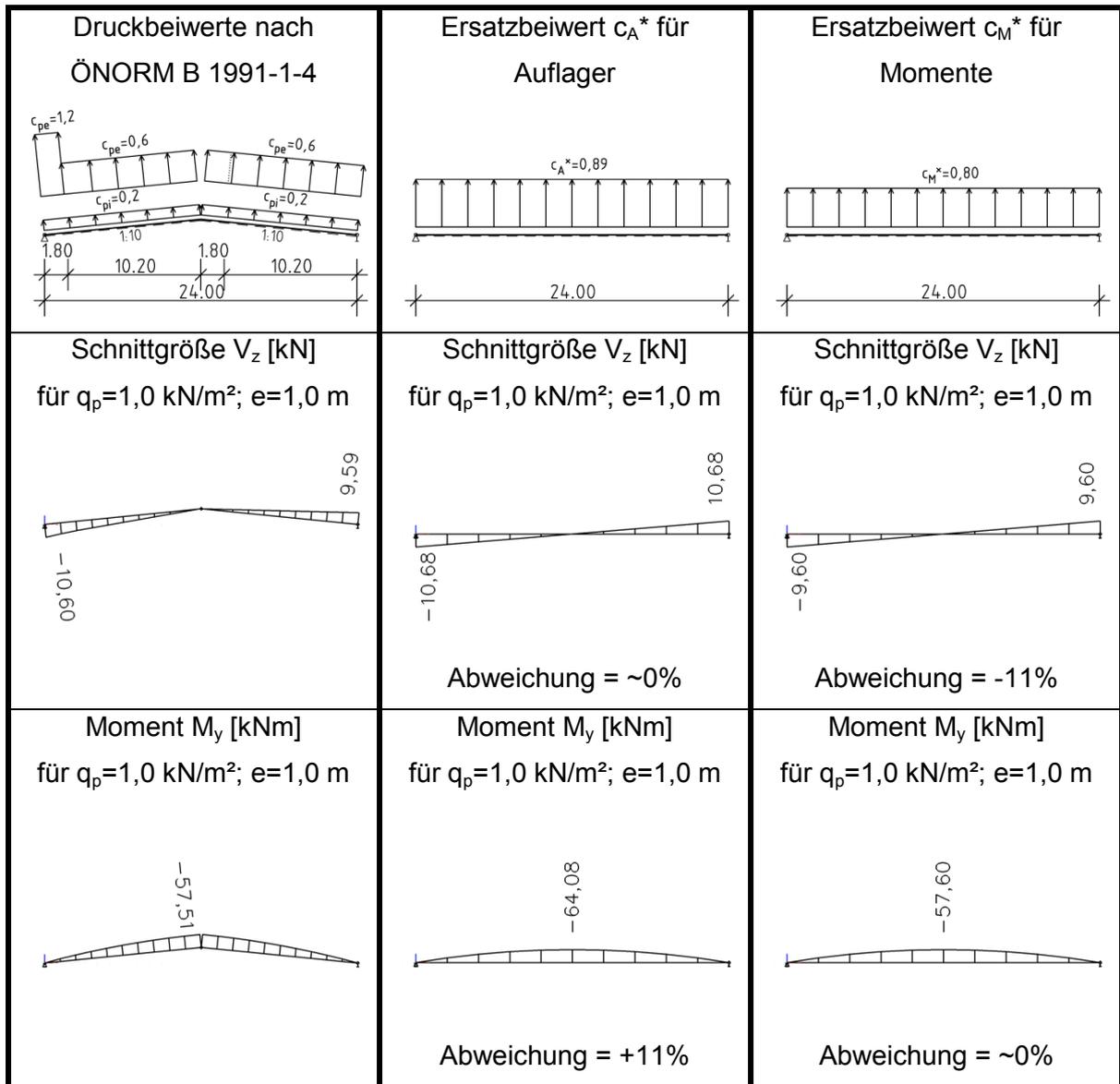


Abbildung 30: Schnittkräfte für Dachträger (Satteldach, Halle $h=9\text{m}$, $b=24\text{m}$)

b) Windbeanspruchung in Hallenlängsrichtung (Windrichtung II)

- Windeinwirkung nach oben (Windsog)

Gleich wie für Flachdächer kann der erste innenliegende Dachträger nach dem Randdachträger eine erhöhte Beanspruchung durch die Windrichtung II (in Hallenlängsrichtung) erhalten. Nachfolgend wurden die selben Untersuchungen wie für das Flachdach durchgeführt, jedoch ist bei Satteldächern der negative Druckbeiwert der Zone I mit $-0,6$ anzusetzen. Desweiteren wurde auf die Darstellung der Randzonen (Windsog) F und G verzichtet, da diese nur einen Einfluss auf den Randträger bewirken.

Dabei wurde wieder unterschieden zwischen:

- Hallenhöhe h : 7 bzw. 9m
- Hallenbreite b : 12, 18 und 24m,
- Regelbinderabstand b_i : 6, 8 und 10m

Eine Unterscheidung zwischen der Hallenlänge ist nicht notwendig, da der Randabstand e entweder von der Hallenhöhe oder der Hallenbreite abhängt.

- **Halle: $h = 7$ bzw. 9m , $b = 12\text{m}$, $b_i = 6\text{m}$**

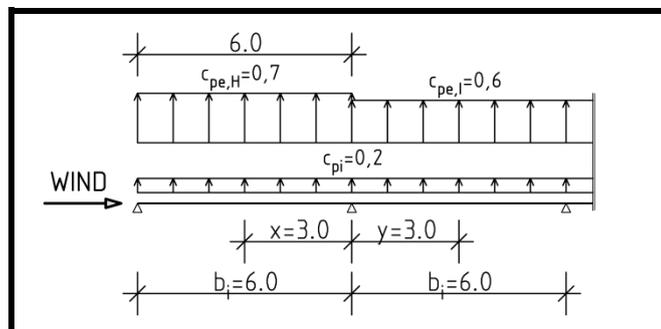


Abbildung 31: Längsschnitt Satteldach (ÖNORM, $h = 7$ bzw. 9m , $b = 12\text{m}$, $b_i = 6\text{m}$)

$$c_{pe} = \frac{x \cdot c_{pe,H} + y \cdot c_{pe,I}}{b_i} = \frac{3 \cdot 0,7 + 3 \cdot 0,6}{6} = 0,65 \quad \rightarrow \quad c_{Wind,II} = c_{pe} + c_{pi} = 0,65 + 0,20 = \underline{0,85}$$

- **Halle: h= 7 bzw. 9m, b= 12m, b_i= 8m**

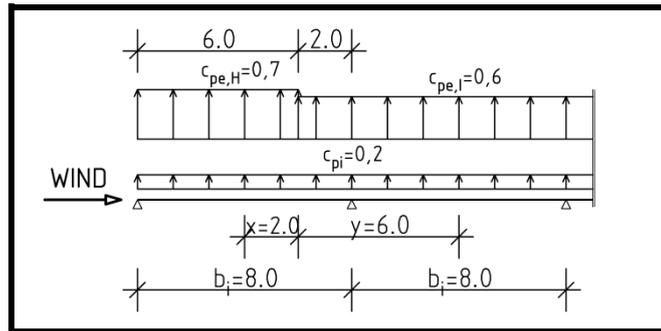


Abbildung 32: Längsschnitt Satteldach (ÖNORM, h= 7 bzw. 9m, b=12m, b_i=8m)

$$C_{pe} = \frac{x \cdot c_{pe,H} + y \cdot c_{pe,I}}{b_i} = \frac{2 \cdot 0,7 + 6 \cdot 0,6}{8} = 0,63 \quad \rightarrow \quad C_{Wind II} = C_{pe} + C_{pi} = 0,63 + 0,20 = \underline{0,83}$$

- **Halle: h= 7 bzw. 9m, b= 12m, b_i= 10m**

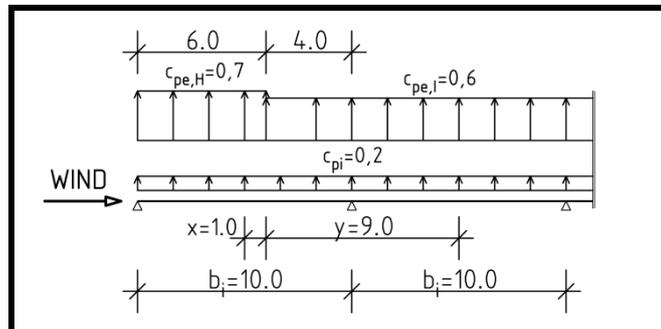


Abbildung 33: Längsschnitt Satteldach (ÖNORM, h= 7 bzw. 9m, b=12m, b_i=10m)

$$C_{pe} = \frac{x \cdot c_{pe,H} + y \cdot c_{pe,I}}{b_i} = \frac{1 \cdot 0,7 + 9 \cdot 0,6}{10} = 0,61 \quad \rightarrow \quad C_{Wind II} = C_{pe} + C_{pi} = 0,61 + 0,20 = \underline{0,81}$$

- **Halle: h= 7m, b= 18 bzw. 24m, b_i= 6m**

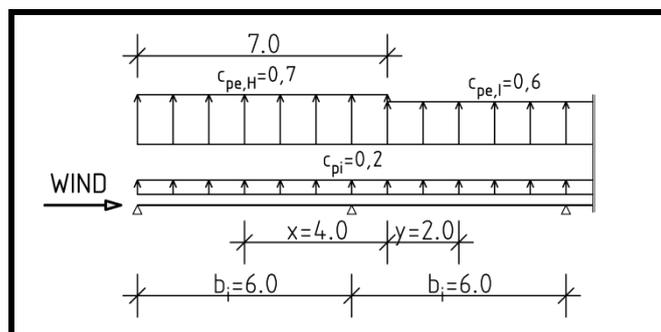


Abbildung 34: Längsschnitt Satteldach (ÖNORM, h= 7m, b=18 bzw. 24m, b_i=6m)

$$C_{pe} = \frac{x \cdot c_{pe,H} + y \cdot c_{pe,I}}{b_i} = \frac{4 \cdot 0,7 + 2 \cdot 0,6}{6} = 0,67 \quad \rightarrow \quad C_{Wind II} = C_{pe} + C_{pi} = 0,67 + 0,20 = \underline{0,87}$$

- **Halle: h= 9m, b= 18 bzw. 24m, b_i= 8m**

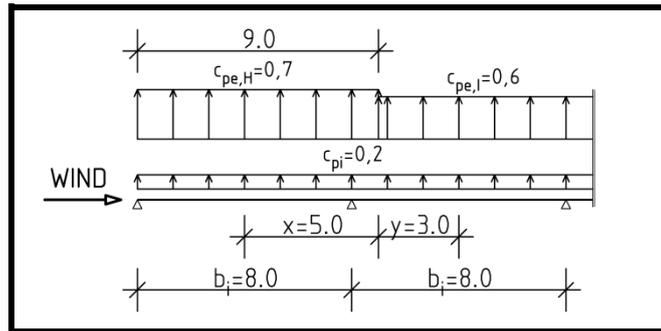


Abbildung 38: Längsschnitt Satteldach (ÖNORM, h= 9m, b=18 bzw. 24m, b_i=8m)

$$C_{pe} = \frac{x \cdot c_{pe,H} + y \cdot c_{pe,I}}{b_i} = \frac{5 \cdot 0,7 + 3 \cdot 0,6}{8} = 0,66 \quad \rightarrow \quad \underline{C_{Wind II}} = C_{pe} + C_{pi} = 0,66 + 0,20 = \underline{0,86}$$

- **Halle: h= 9m, b= 18 bzw. 24m, b_i= 10m**

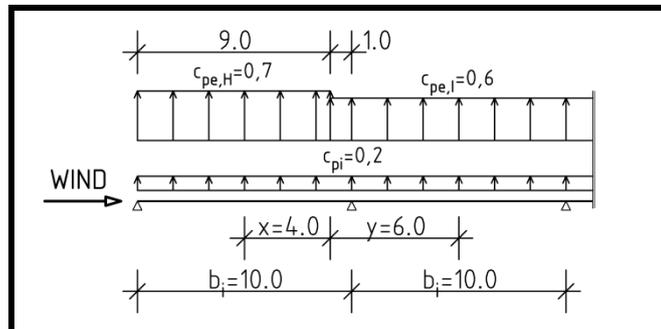


Abbildung 39: Längsschnitt Satteldach (ÖNORM, h= 9m, b=18 bzw. 24m, b_i=10m)

$$C_{pe} = \frac{x \cdot c_{pe,H} + y \cdot c_{pe,I}}{b_i} = \frac{4 \cdot 0,7 + 6 \cdot 0,6}{10} = 0,64 \quad \rightarrow \quad \underline{C_{Wind II}} = C_{pe} + C_{pi} = 0,64 + 0,20 = \underline{0,84}$$

In den nachfolgenden Tabellen werden wieder die vorher ausgewerteten Druckbeiwerte $c_{\text{Wind II}}$ mit jenen Ersatzbeiwerten (c_A^* und c_M^*) verglichen, die aus Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) entstehen. Dabei repräsentiert die Zahl in der Klammer, den prozentualen Unterschied zwischen $c_{\text{Wind II}}$ und c_A^* bzw. c_M^* .

Höhe h [m]	Breite b [m]	b_i [m]	$c_{\text{Wind II}}$	c_A^*	c_M^*
7,0	12,0	6,0	0,85	0,93 (+9%)	0,81 (-5%)
7,0	12,0	8,0	0,83	0,93 (+12%)	0,81 (-3%)
7,0	12,0	10,0	0,81	0,93 (+15%)	0,81 (0%)
7,0	18,0	6,0	0,87	0,89 (+3%)	0,80 (-9%)
7,0	18,0	8,0	0,84	0,89 (+6%)	0,80 (-5%)
7,0	18,0	10,0	0,82	0,89 (+9%)	0,80 (-3%)
7,0	24,0	6,0	0,87	0,87 (0%)	0,80 (-9%)
7,0	24,0	8,0	0,84	0,87 (+4%)	0,80 (-5%)
7,0	24,0	10,0	0,82	0,87 (+6%)	0,80 (-3%)

Tabelle 3: Druckbeiwerte $c_{\text{Wind II}}$ und c_A^* bzw. c_M^* (ÖNORM, Satteldach, Halle $h=7\text{m}$)

Höhe h [m]	Breite b [m]	b_i [m]	$c_{\text{Wind II}}$	c_A^*	c_M^*
9,0	12,0	6,0	0,85	0,97 (+14%)	0,82 (-4%)
9,0	12,0	8,0	0,83	0,97 (+17%)	0,82 (-1%)
9,0	12,0	10,0	0,81	0,97 (+20%)	0,82 (+1%)
9,0	18,0	6,0	0,90	0,92 (+2%)	0,81 (-11%)
9,0	18,0	8,0	0,86	0,92 (+7%)	0,81 (-6%)
9,0	18,0	10,0	0,84	0,92 (+10%)	0,81 (-4%)
9,0	24,0	6,0	0,90	0,89 (~0%)	0,80 (-13%)
9,0	24,0	8,0	0,86	0,89 (+4%)	0,80 (-8%)
9,0	24,0	10,0	0,84	0,89 (+6%)	0,80 (-5%)

Tabelle 4: Druckbeiwerte $c_{\text{Wind II}}$ und c_A^* bzw. c_M^* (ÖNORM, Satteldach, Halle $h=9\text{m}$)

Durch den Vergleich von $c_{\text{Wind II}}$ mit c_A^* bzw. c_M^* ist erkennbar, dass mit zunehmender Hallenhöhe h bzw. Hallenbreite b und abnehmendem Regelbinderabstand b_i , der erste innenliegende Regelbinder nach dem Randdachbinder immer stärker vom Druckbeiwert $c_{\text{Wind II}}$ abhängig wird. Im Unterschied zum Flachdach, deckt hier der Ersatzbeiwert c_A^* , sämtliche $c_{\text{Wind II}}$ -Beiwerte ab. Aus den Tabellen ist ersichtlich, dass der Ersatzbeiwert c_M^* im Durchschnitt die Belastung aus $c_{\text{Wind II}}$ um 10% unterschätzt.

c) Windeinwirkung nach unten (Winddruck)

Die maßgebende Windeinwirkung nach unten entsteht für Satteldächer mit einer Neigung von ca. 6° , anders als für Flachdächer, durch die Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) und Innensog. Dabei ist für die Zonen F, G und H $\pm 0,0$, für die Zone I $-0,6$ und für die Zone J $+0,2$ als Außendruckbeiwert anzusetzen. Daraus ist ersichtlich, dass der Innensog ($-0,3$) als maßgebender Wert angesehen werden kann. Da sich die Zone J nur geringfügig zwischen der 7m und 9m hohen Halle ändert ($\Delta=0,4\text{m}$), wurde dies nicht gesondert berücksichtigt. Für den Innensog gilt wie bei Flachdächern der Wert von $-0,3$. Deshalb wurde für die Vereinfachung jene Werte des Flachdaches herangezogen, dadurch erhält man aber zum Teil konservative Werte. Die nachfolgenden Abbildungen sollen dies veranschaulichen.

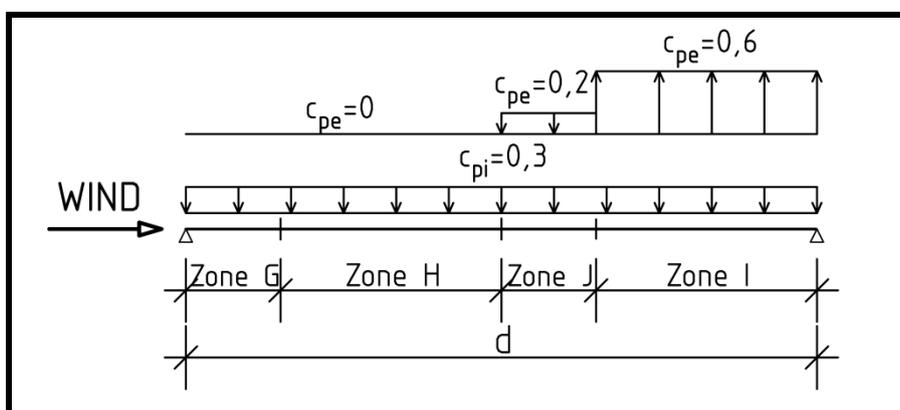


Abbildung 40: Windeinwirkung nach unten (ÖNORM, Satteldach)

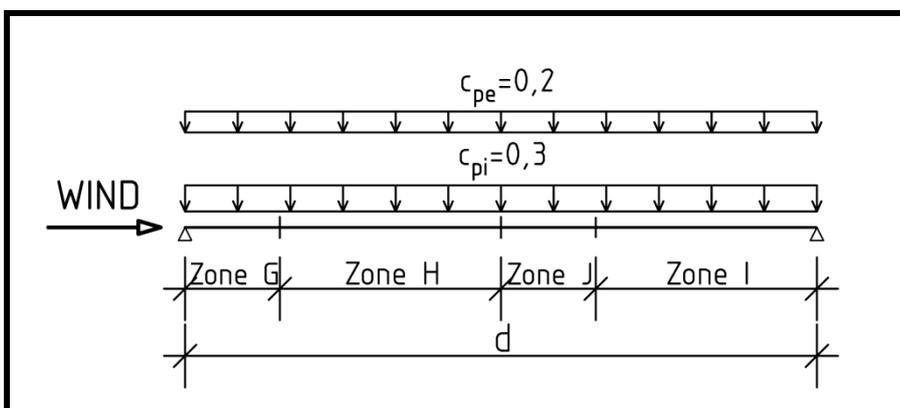


Abbildung 41: Konservative Windeinwirkung nach unten (Satteldach)

- 7m und 9m hohe Halle

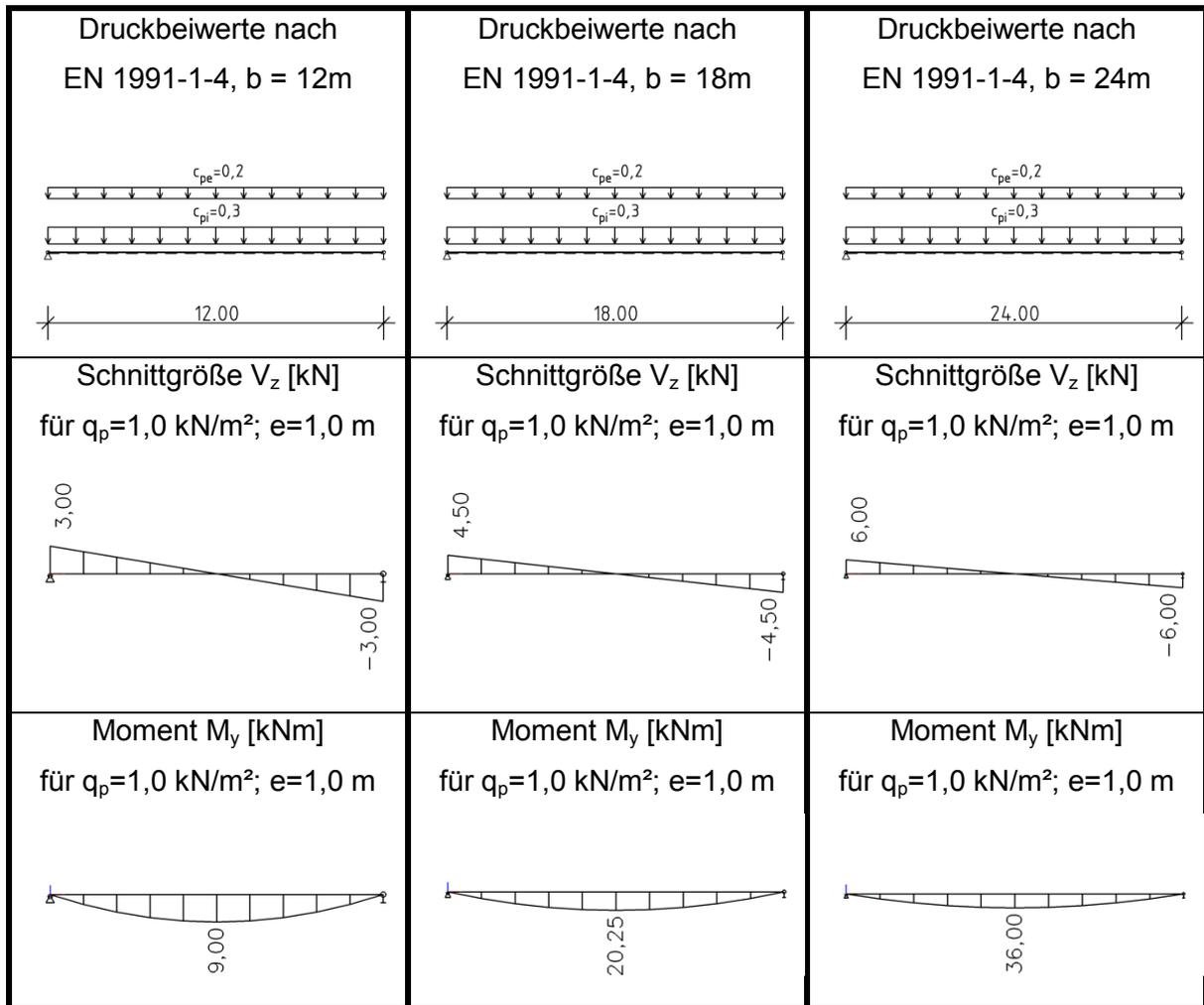
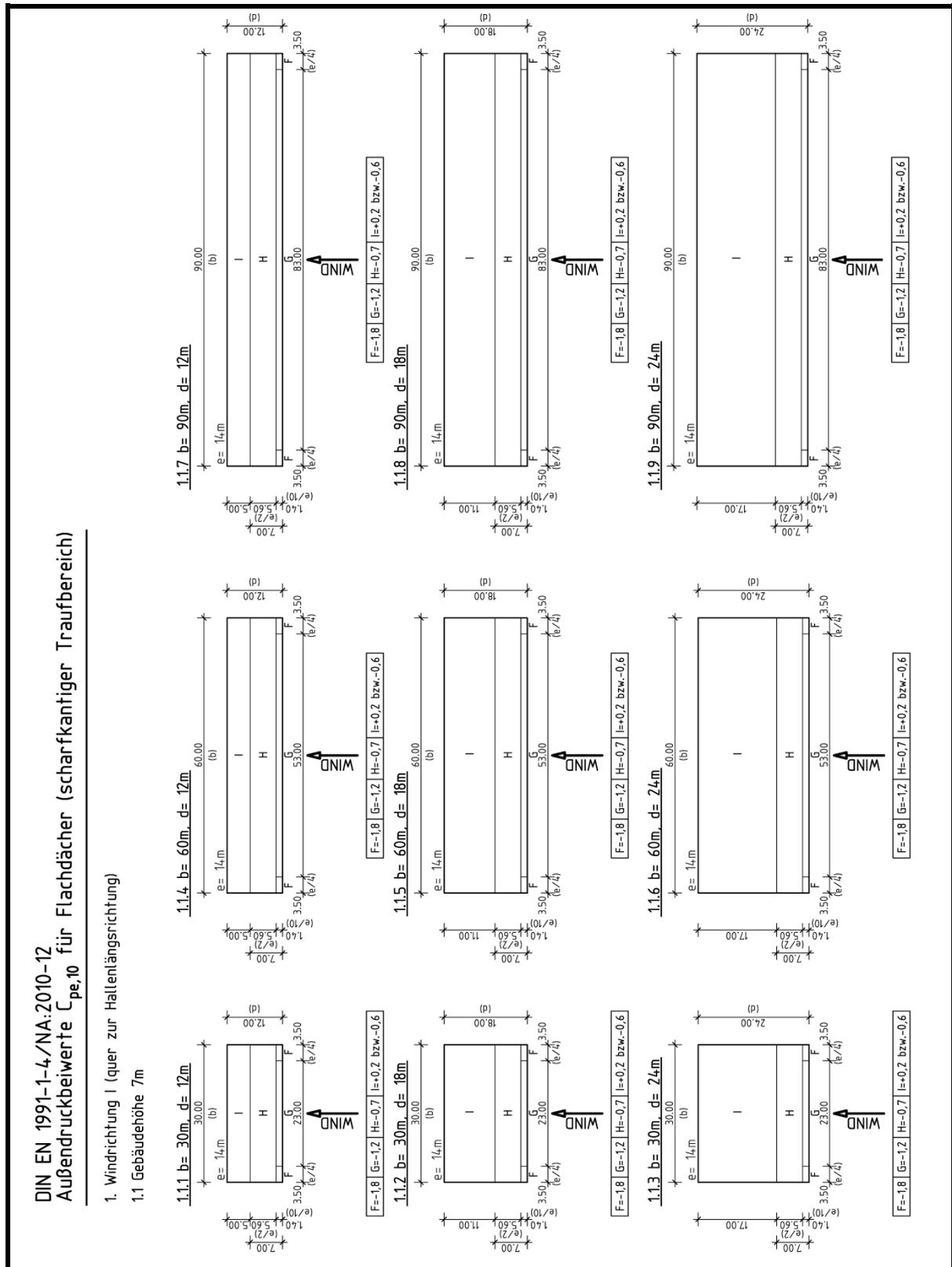


Abbildung 42: Schnittkräfte für Dachträger bei Windeinwirkung nach unten

A.2.2 Nationaler Anhang für Deutschland

A.2.2.1 Zoneneinteilung für Flachdächer (DIN EN 1991-1-4/NA)



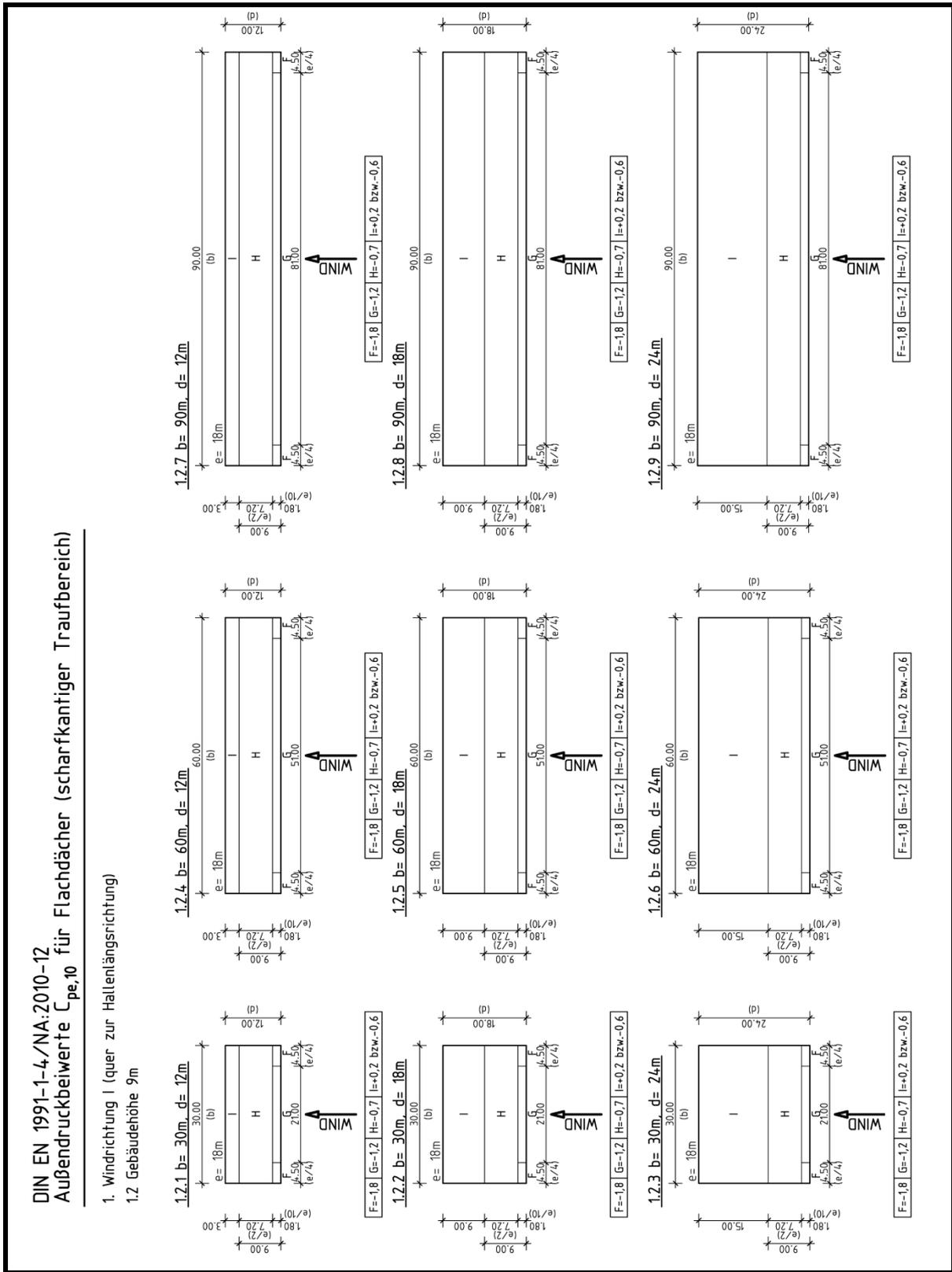


Abbildung 44: Dachzoneneinteilung für Flachdächer $h=9m$, Windrichtung I (DIN)

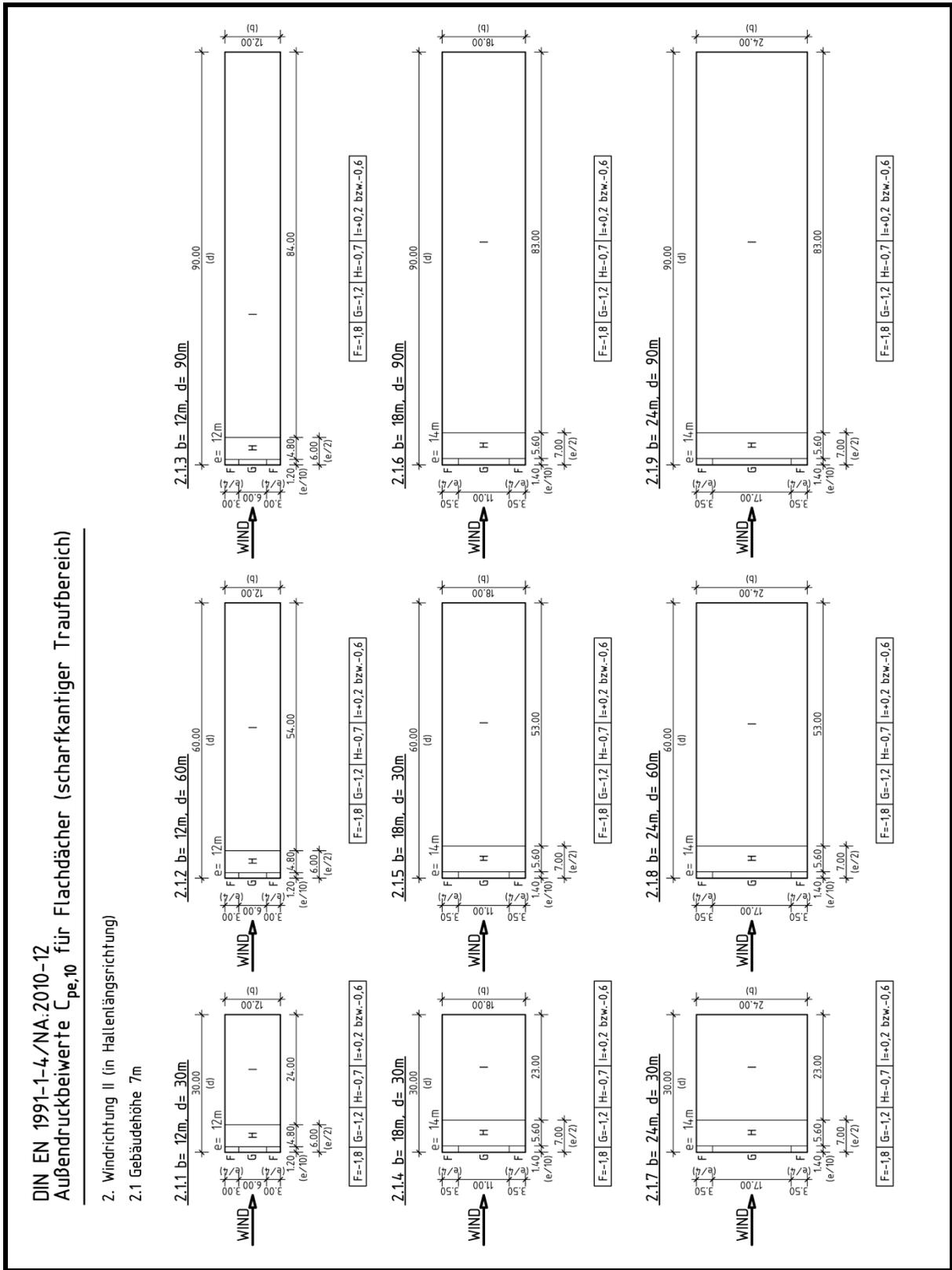
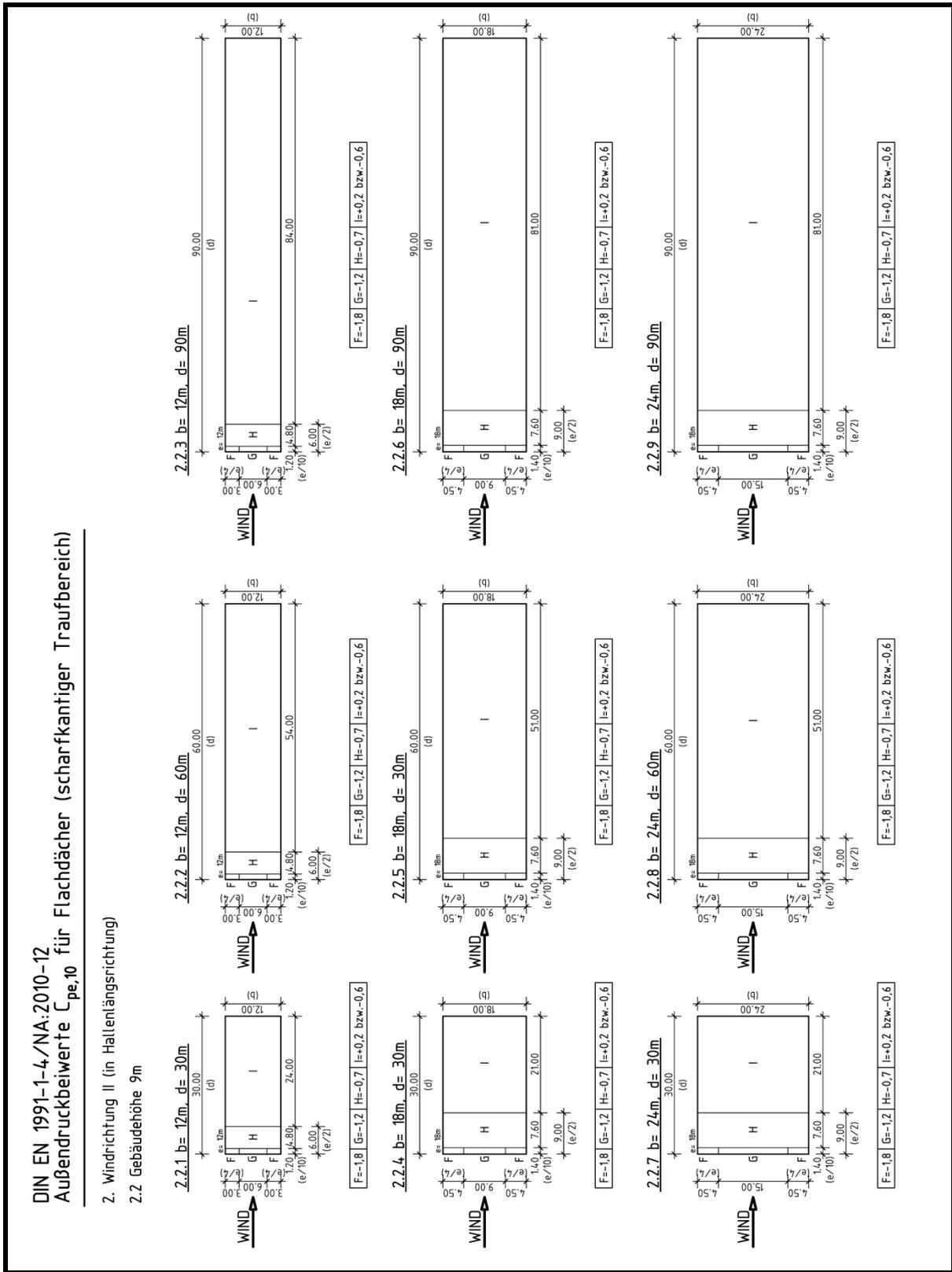


Abbildung 45: Dachzoneneinteilung für Flachdächer $h=7m$, Windrichtung II (DIN)



A.2.2.2 Vereinfachte Windlastbilder für Dachträger (Flachdach, DIN EN 1991-1-4/NA)

a) Windbeanspruchung quer zur Hallenlängsrichtung (Windrichtung I)

- Windeinwirkung nach oben (Windsog)

Die Zoneneinteilung erfolgt wie für Österreich laut EN 1991-1-4, jedoch ist für den Außen-druckbeiwert der Zone I -0,6 statt -0,2 anzusetzen. Dadurch ist es nicht möglich, dieselben Vereinfachungen wie für Österreich zu verwenden. Für die nachfolgenden Berechnungen wurde ein Böengeschwindigkeitsdruck q_p von 1,0 kN/m² und ein fiktiver Binderabstand e von 1,0 m angenommen. Die hier angeführten Ergebnisse gelten für einen inneren, beidseitig gelenkig gelagerten Dachträger, welcher durch die Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) bzw. einem Ersatzbeiwert beansprucht wird. Die Hallenlängsrichtung hat auf die Dachzoneneinteilung keinen Einfluss, deshalb ist eine Unterscheidung nicht notwendig.

- **Halle: Höhe = 7m, Breite = 12m**

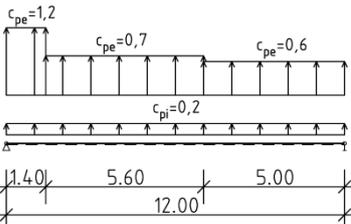
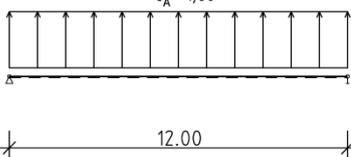
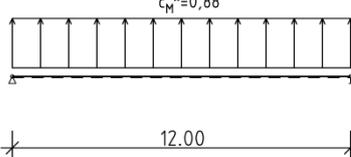
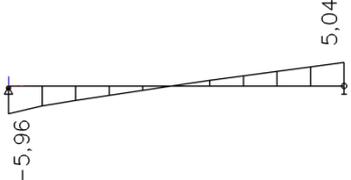
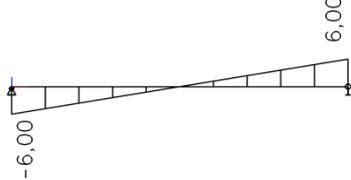
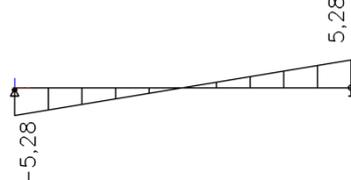
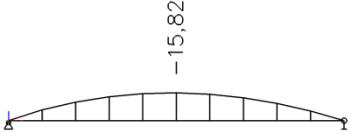
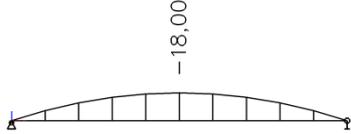
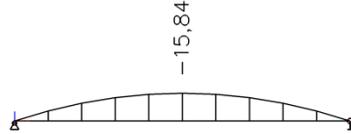
Druckbeiwerte nach DIN EN 1991-1-4/NA 	Ersatzbeiwert c_A^* für Auflager 	Ersatzbeiwert c_M^* für Momente 
Schnittgröße V_z [kN] für $q_p=1,0$ kN/m ² ; $e=1,0$ m 	Schnittgröße V_z [kN] für $q_p=1,0$ kN/m ² ; $e=1,0$ m  Abweichung = ~0%	Schnittgröße V_z [kN] für $q_p=1,0$ kN/m ² ; $e=1,0$ m  Abweichung = -12%
Moment M_y [kNm] für $q_p=1,0$ kN/m ² ; $e=1,0$ m 	Moment M_y [kNm] für $q_p=1,0$ kN/m ² ; $e=1,0$ m  Abweichung = +14%	Moment M_y [kNm] für $q_p=1,0$ kN/m ² ; $e=1,0$ m  Abweichung = ~0%

Abbildung 47: Schnittkräfte für Dachträger (Flachdach, Halle h= 7m, b= 12m)

- **Halle: Höhe = 7m, Breite = 18m**

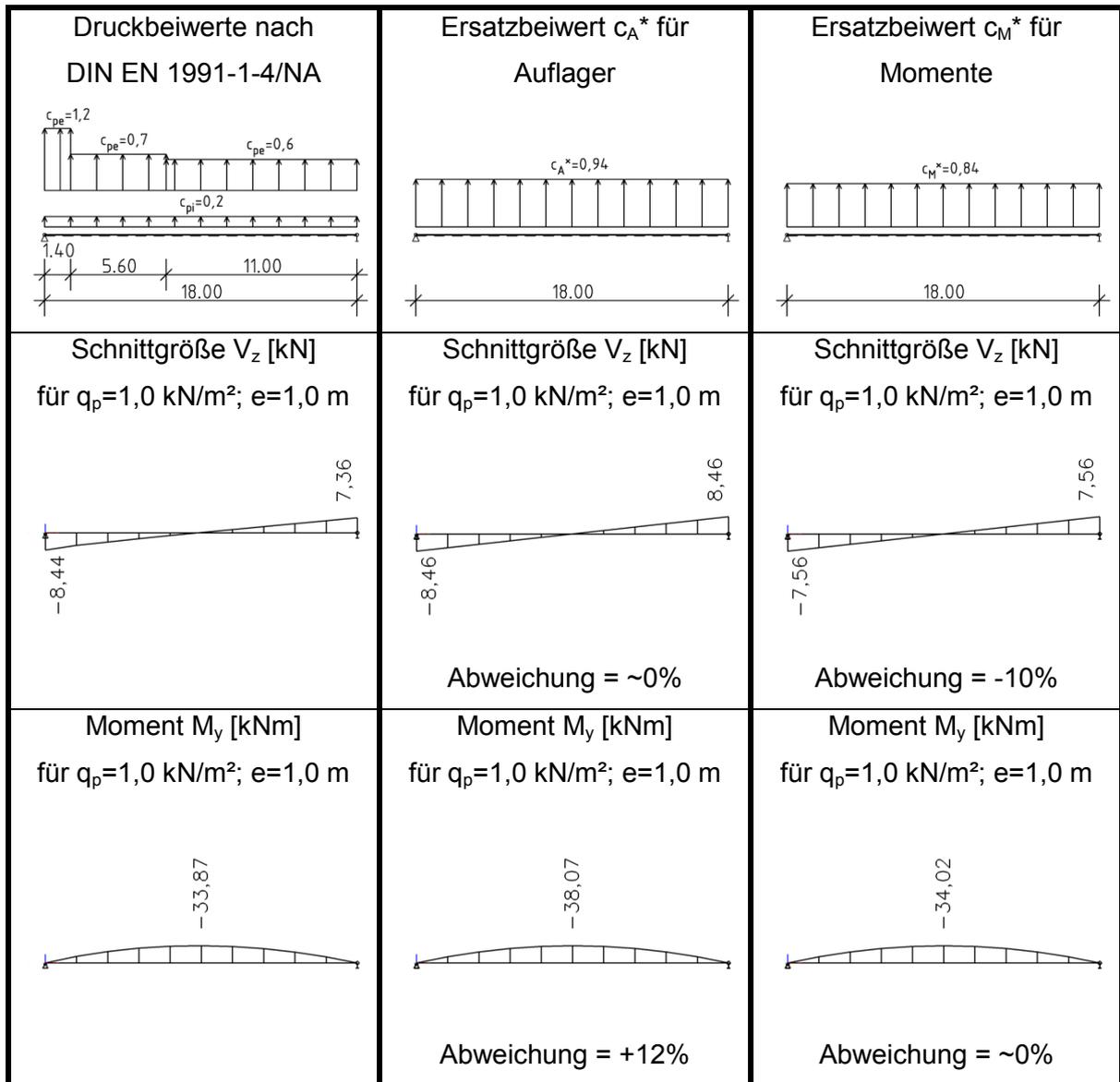


Abbildung 48: Schnittkräfte für Dachträger (Flachdach, Halle h= 7m, b= 18m)

- **Halle: Höhe = 7m, Breite = 24m**

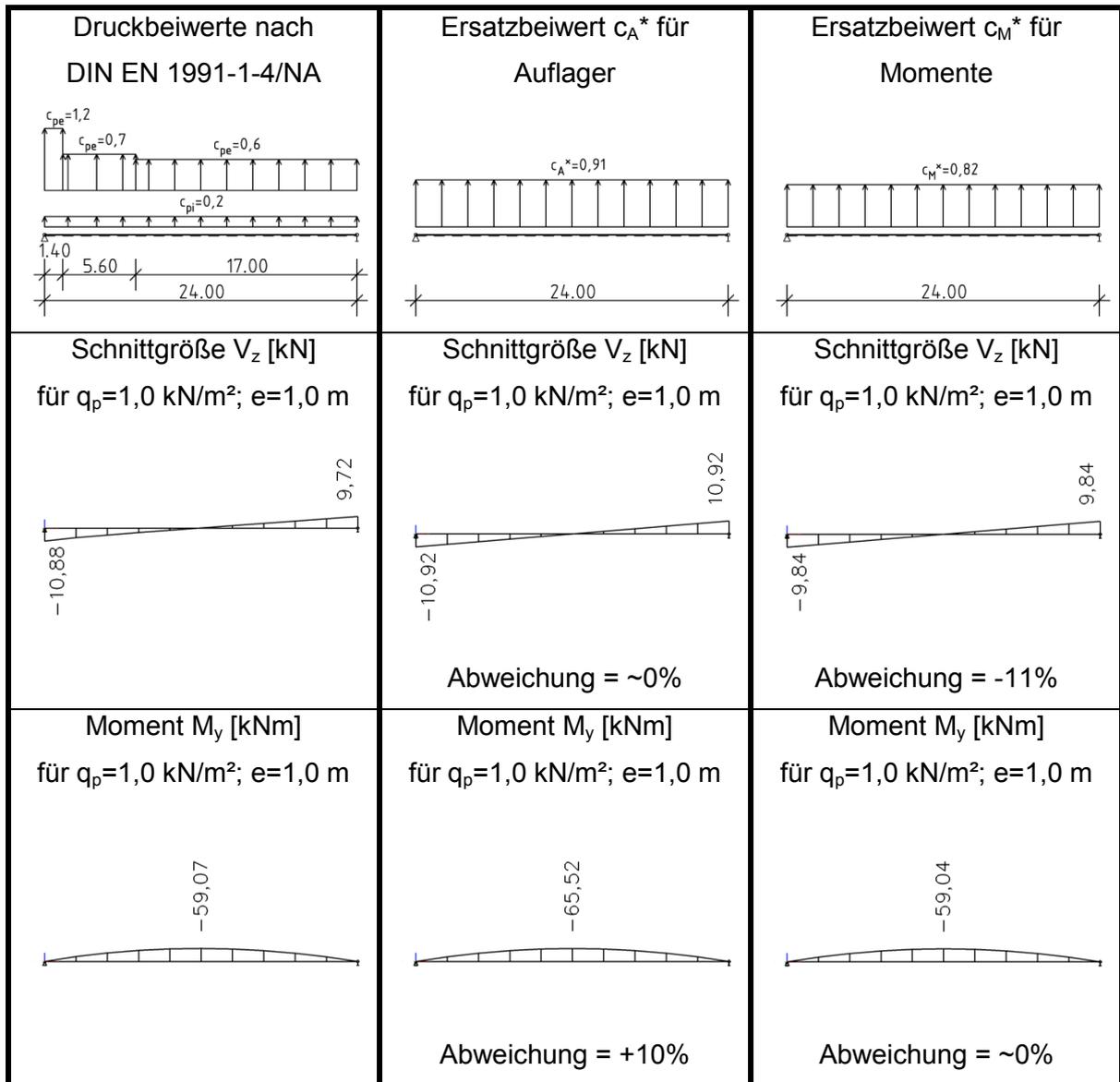


Abbildung 49: Schnittkräfte für Dachträger (Flachdach, Halle h= 7m, b= 24m)

- **Halle: Höhe = 9m, Breite = 12m**

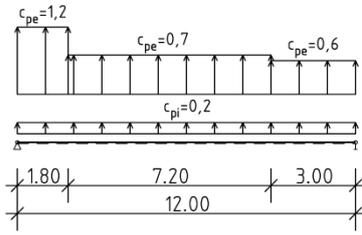
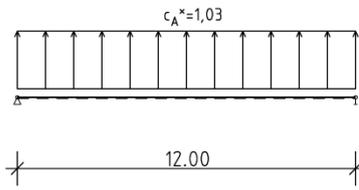
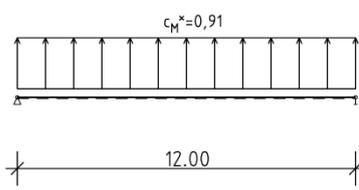
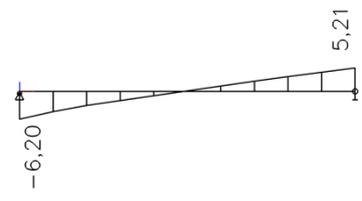
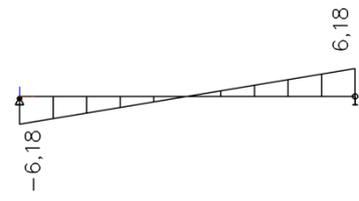
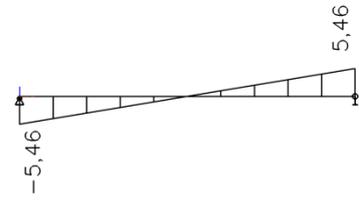
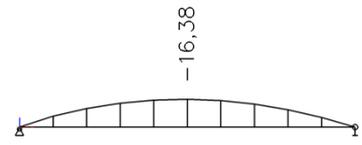
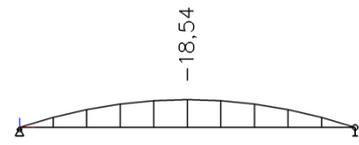
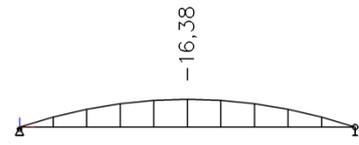
<p>Druckbeiwerte nach DIN EN 1991-1-4/NA</p> 	<p>Ersatzbeiwert c_A^* für Auflager</p> 	<p>Ersatzbeiwert c_M^* für Momente</p> 
<p>Schnittgröße V_z [kN] für $q_p=1,0$ kN/m²; $e=1,0$ m</p> 	<p>Schnittgröße V_z [kN] für $q_p=1,0$ kN/m²; $e=1,0$ m</p>  <p>Abweichung = ~0%</p>	<p>Schnittgröße V_z [kN] für $q_p=1,0$ kN/m²; $e=1,0$ m</p>  <p>Abweichung = -14%</p>
<p>Moment M_y [kNm] für $q_p=1,0$ kN/m²; $e=1,0$ m</p> 	<p>Moment M_y [kNm] für $q_p=1,0$ kN/m²; $e=1,0$ m</p>  <p>Abweichung = +13%</p>	<p>Moment M_y [kNm] für $q_p=1,0$ kN/m²; $e=1,0$ m</p>  <p>Abweichung = 0%</p>

Abbildung 50: Schnittkräfte für Dachträger (Flachdach, Halle h= 9m, b= 12m)

- **Halle: Höhe = 9m, Breite = 18m**

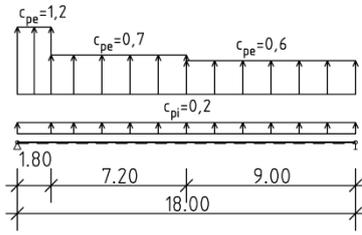
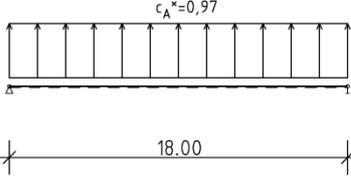
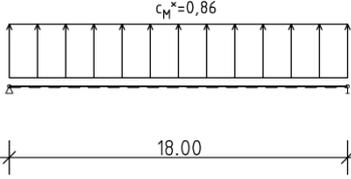
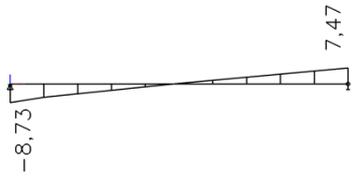
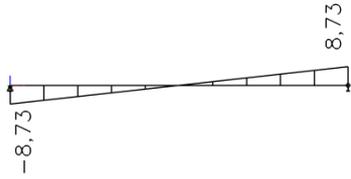
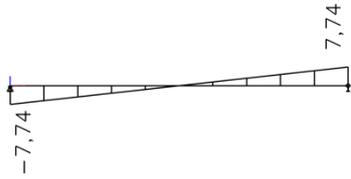
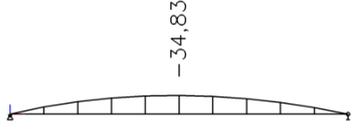
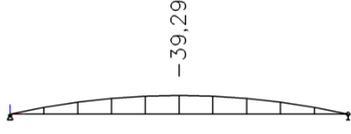
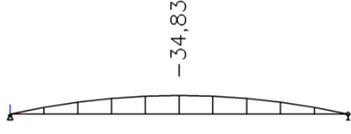
<p>Druckbeiwerte nach DIN EN 1991-1-4/NA</p> 	<p>Ersatzbeiwert c_A^* für Auflager</p> 	<p>Ersatzbeiwert c_M^* für Momente</p> 
<p>Schnittgröße V_z [kN] für $q_p=1,0 \text{ kN/m}^2$; $e=1,0 \text{ m}$</p> 	<p>Schnittgröße V_z [kN] für $q_p=1,0 \text{ kN/m}^2$; $e=1,0 \text{ m}$</p>  <p>Abweichung = 0%</p>	<p>Schnittgröße V_z [kN] für $q_p=1,0 \text{ kN/m}^2$; $e=1,0 \text{ m}$</p>  <p>Abweichung = -13%</p>
<p>Moment M_y [kNm] für $q_p=1,0 \text{ kN/m}^2$; $e=1,0 \text{ m}$</p> 	<p>Moment M_y [kNm] für $q_p=1,0 \text{ kN/m}^2$; $e=1,0 \text{ m}$</p>  <p>Abweichung = +13%</p>	<p>Moment M_y [kNm] für $q_p=1,0 \text{ kN/m}^2$; $e=1,0 \text{ m}$</p>  <p>Abweichung = 0%</p>

Abbildung 51: Schnittkräfte für Dachträger (Flachdach, Halle $h=9\text{m}$, $b=18\text{m}$)

- **Halle: Höhe = 9m, Breite = 24m**

<p>Druckbeiwerte nach DIN EN 1991-1-4/NA</p>	<p>Ersatzbeiwert c_A^* für Auflager</p>	<p>Ersatzbeiwert c_M^* für Momente</p>
<p>Schnittgröße V_z [kN] für $q_p=1,0$ kN/m²; $e=1,0$ m</p>	<p>Schnittgröße V_z [kN] für $q_p=1,0$ kN/m²; $e=1,0$ m</p> <p>Abweichung = ~0%</p>	<p>Schnittgröße V_z [kN] für $q_p=1,0$ kN/m²; $e=1,0$ m</p> <p>Abweichung = -11%</p>
<p>Moment M_y [kNm] für $q_p=1,0$ kN/m²; $e=1,0$ m</p>	<p>Moment M_y [kNm] für $q_p=1,0$ kN/m²; $e=1,0$ m</p> <p>Abweichung = +11%</p>	<p>Moment M_y [kNm] für $q_p=1,0$ kN/m²; $e=1,0$ m</p> <p>Abweichung = ~0%</p>

Abbildung 52: Schnittkräfte für Dachträger (Flachdach, Halle $h=9$ m, $b=24$ m)

b) Windbeanspruchung in Hallenlängsrichtung (Windrichtung II)

- Windeinwirkung nach oben (Windsog)

Aus der Zoneneinteilung ist ersichtlich, dass wie für Österreich durch die Windrichtung II (in Hallenlängsrichtung) der erste innenliegende Regeldachbinder nach dem Randdachbinder, je nach Regebinderabstand, "voll" in der Zone *H* liegen kann. Da aber der Druckbeiwert der Zone I für Deutschland mit -0,6 anzusetzen ist, sind die Ergebnisse aus dem Kapitel A. 2.1.2 nicht verwendbar. Deswegen wurde nachfolgend wie für Österreich untersucht, wie sich die Belastung für den ersten innenliegenden Regelbinder durch Variation des Regelbinderabstandes verändert, jedoch mit einem Beiwert der Zone I mit -0,6. Diese Ergebnisse wurden dann mit der erforderliche Ersatzbeiwerten aus der Windrichtung I verglichen, um auf eine maßgebenden Belastung schließen zu können. Da die Außen-druckbeiwerte der Zone *H* bzw. *I* schon konstant über die Trägerlänge anzusetzen sind, ist dafür keine Vereinfachung notwendig. Desweiteren wurde wieder auf die Darstellung der Randzonen (Windsog) *F* und *G* verzichtet, da diese nur einen Einfluss auf den Rand-träger bewirken.

Es wurde unterschieden zwischen:

- Hallenhöhe *h*: 7 bzw. 9m
- Hallenbreite *b*: 12, 18 und 24m,
- Regelbinderabstand *b_i*: 6, 8 und 10m

Eine Unterscheidung zwischen der Hallenlänge ist nicht notwendig, da der Randabstand *e* entweder von der Hallenhöhe oder der Hallenbreite abhängt.

- **Halle: h= 7 bzw. 9m, b= 12m, b_i= 6m**

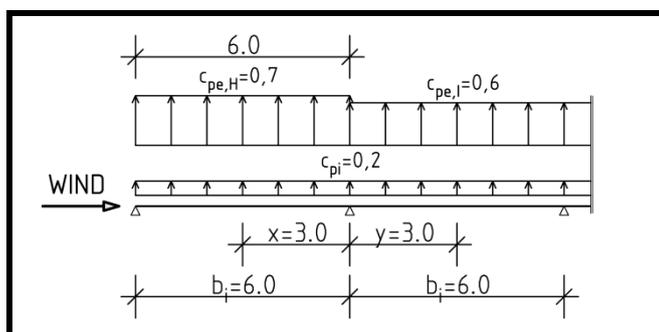


Abbildung 53: Längsschnitt Flachdach (DIN, h= 7 bzw. 9m, b=12m, b_i=6m)

$$c_{pe} = \frac{x \cdot c_{pe,H} + y \cdot c_{pe,I}}{b_i} = \frac{3 \cdot 0,7 + 3 \cdot 0,6}{6} = 0,65 \quad \rightarrow \quad c_{Wind II} = c_{pe} + c_{pi} = 0,65 + 0,20 = \underline{0,85}$$

- **Halle: h= 7 bzw. 9m, b= 12m, b_i= 8m**

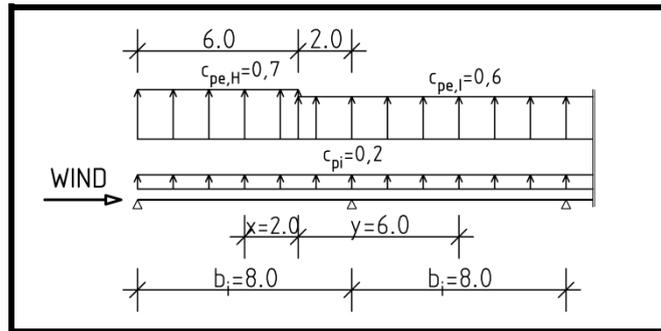


Abbildung 54: Längsschnitt Flachdach (DIN, h= 7 bzw. 9m, b=12m, b_i=8m)

$$C_{pe} = \frac{x \cdot c_{pe,H} + y \cdot c_{pe,I}}{b_i} = \frac{2 \cdot 0,7 + 6 \cdot 0,6}{8} = 0,63 \quad \rightarrow \quad C_{Wind II} = C_{pe} + C_{pi} = 0,63 + 0,20 = \underline{0,83}$$

- **Halle: h= 7 bzw. 9m, b= 12m, b_i= 10m**

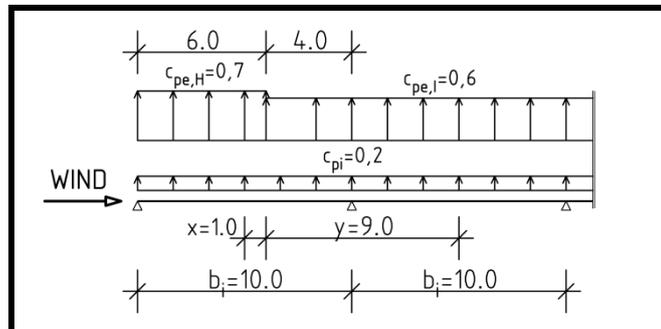


Abbildung 55: Längsschnitt Flachdach (DIN, h= 7 bzw. 9m, b=12m, b_i=10m)

$$C_{pe} = \frac{x \cdot c_{pe,H} + y \cdot c_{pe,I}}{b_i} = \frac{1 \cdot 0,7 + 9 \cdot 0,6}{10} = 0,61 \quad \rightarrow \quad C_{Wind II} = C_{pe} + C_{pi} = 0,61 + 0,20 = \underline{0,81}$$

- **Halle: h= 7m, b= 18 bzw. 24m, b_i= 6m**

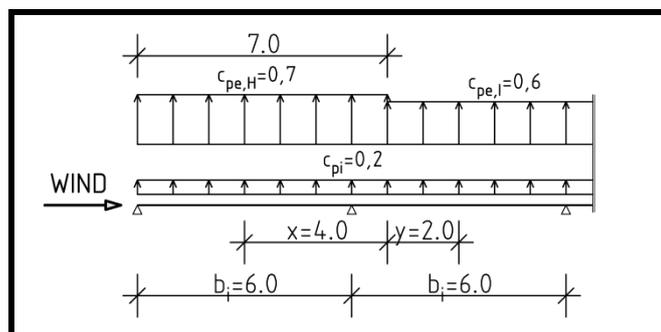


Abbildung 56: Längsschnitt Flachdach (DIN, h= 7m, b=18 bzw. 24m, b_i=6m)

$$C_{pe} = \frac{x \cdot c_{pe,H} + y \cdot c_{pe,I}}{b_i} = \frac{4 \cdot 0,7 + 2 \cdot 0,6}{6} = 0,67 \quad \rightarrow \quad C_{Wind II} = C_{pe} + C_{pi} = 0,67 + 0,20 = \underline{0,87}$$

- **Halle: h= 7m, b= 18 bzw. 24m, b_i= 8m**

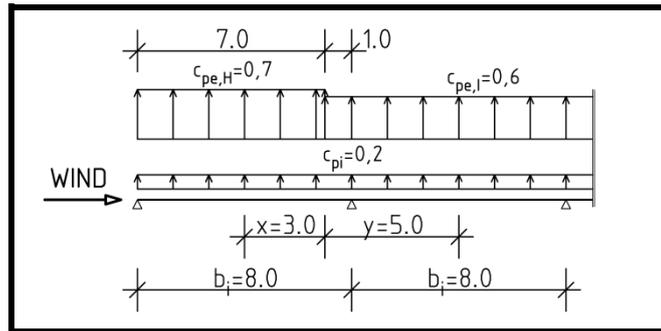


Abbildung 57: Längsschnitt Flachdach (DIN, h= 7m, b=18 bzw. 24m, b_i=8m)

$$C_{pe} = \frac{x \cdot c_{pe,H} + y \cdot c_{pe,I}}{b_i} = \frac{3 \cdot 0,7 + 5 \cdot 0,6}{8} = 0,64 \quad \rightarrow \quad \underline{C_{Wind II}} = C_{pe} + C_{pi} = 0,64 + 0,20 = \underline{0,84}$$

- **Halle: h= 7m, b= 18 bzw. 24m, b_i= 10m**

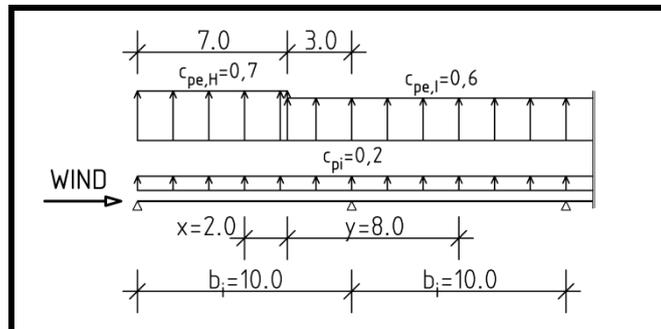


Abbildung 58: Längsschnitt Flachdach (DIN, h= 7m, b=18 bzw. 24m, b_i=10m)

$$C_{pe} = \frac{x \cdot c_{pe,H} + y \cdot c_{pe,I}}{b_i} = \frac{2 \cdot 0,7 + 8 \cdot 0,6}{10} = 0,62 \quad \rightarrow \quad \underline{C_{Wind II}} = C_{pe} + C_{pi} = 0,62 + 0,20 = \underline{0,82}$$

- **Halle: h= 9m, b= 18 bzw. 24m, b_i= 6m**

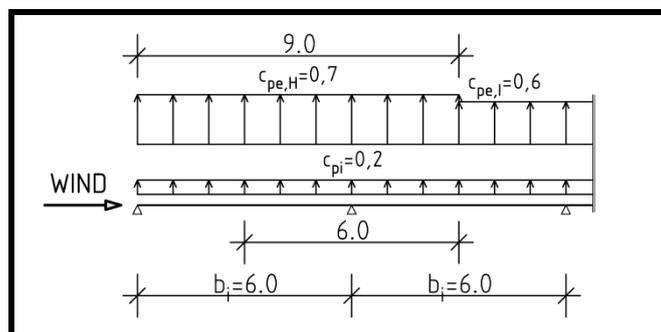


Abbildung 59: Längsschnitt Flachdach (DIN, h= 9m, b=18 bzw. 24m, b_i=6m)

$$C_{pe} = 0,70 \quad \rightarrow \quad \underline{C_{Wind II}} = C_{pe} + C_{pi} = 0,70 + 0,20 = \underline{0,90}$$

- **Halle: h= 9m, b= 18 bzw. 24m, b_i= 8m**

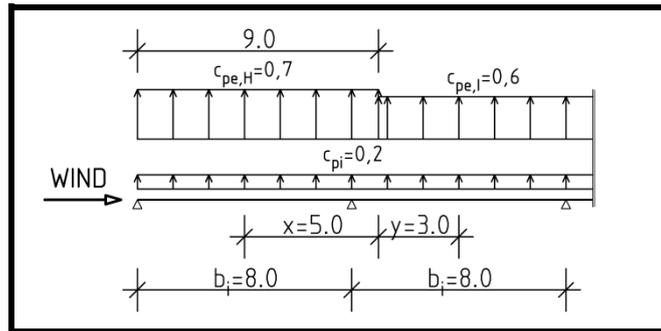


Abbildung 60: Längsschnitt Flachdach (DIN, h= 9m, b=18 bzw. 24m, b_i=8m)

$$C_{pe} = \frac{x \cdot c_{pe,H} + y \cdot c_{pe,l}}{b_i} = \frac{5 \cdot 0,7 + 3 \cdot 0,6}{8} = 0,66 \quad \rightarrow \quad \underline{C_{Wind,II}} = C_{pe} + C_{pi} = 0,66 + 0,20 = \underline{0,86}$$

- **Halle: h= 9m, b= 18 bzw. 24m, b_i= 10m**

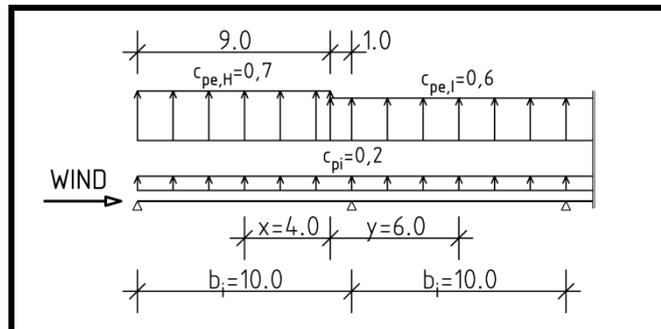


Abbildung 61: Längsschnitt Flachdach (DIN, h= 9m, b=18 bzw. 24m, b_i=10m)

$$C_{pe} = \frac{x \cdot c_{pe,H} + y \cdot c_{pe,l}}{b_i} = \frac{4 \cdot 0,7 + 6 \cdot 0,6}{10} = 0,64 \quad \rightarrow \quad \underline{C_{Wind,II}} = C_{pe} + C_{pi} = 0,64 + 0,20 = \underline{0,84}$$

In den nachfolgenden Tabellen werden wieder die vorher ausgewerteten Druckbeiwerte $c_{\text{Wind II}}$ mit jenen Ersatzbeiwerten (c_A^* und c_M^*) verglichen, die aus Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) entstehen. Dabei repräsentiert die Zahl in der Klammer, den prozentualen Unterschied zwischen $c_{\text{Wind II}}$ und c_A^* bzw. c_M^* .

Höhe h [m]	Breite b [m]	b_i [m]	$c_{\text{Wind II}}$	c_A^*	c_M^*
7,0	12,0	6,0	0,85	1,0 (+18%)	0,88 (+4%)
7,0	12,0	8,0	0,83	1,0 (+20%)	0,88 (+6%)
7,0	12,0	10,0	0,81	1,0 (+24%)	0,88 (+9%)
7,0	18,0	6,0	0,87	0,94 (+8%)	0,84 (-4%)
7,0	18,0	8,0	0,84	0,94 (+12%)	0,84 (0%)
7,0	18,0	10,0	0,82	0,94 (+15%)	0,84 (+2%)
7,0	24,0	6,0	0,87	0,91 (5%)	0,82 (-7%)
7,0	24,0	8,0	0,84	0,91 (+8%)	0,82 (-2%)
7,0	24,0	10,0	0,82	0,91 (+11%)	0,82 (0%)

Tabelle 5: Druckbeiwerte $c_{\text{Wind II}}$ und c_A^* bzw. c_M^* (DIN, Flachdach, Halle $h=7\text{m}$)

Höhe h [m]	Breite b [m]	b_i [m]	$c_{\text{Wind II}}$	c_A^*	c_M^*
9,0	12,0	6,0	0,85	1,03 (+21%)	0,91 (+7%)
9,0	12,0	8,0	0,83	1,03 (+24%)	0,91 (+10%)
9,0	12,0	10,0	0,81	1,03 (+27%)	0,91 (+12%)
9,0	18,0	6,0	0,90	0,97 (+8%)	0,86 (-5%)
9,0	18,0	8,0	0,86	0,97 (+13%)	0,86 (0%)
9,0	18,0	10,0	0,84	0,97 (+16%)	0,86 (+2%)
9,0	24,0	6,0	0,90	0,93 (+3%)	0,84 (-11%)
9,0	24,0	8,0	0,86	0,93 (+8%)	0,84 (-2%)
9,0	24,0	10,0	0,84	0,93 (+11%)	0,84 (0%)

Tabelle 6: Druckbeiwerte $c_{\text{Wind II}}$ und c_A^* bzw. c_M^* (DIN, Flachdach, Halle $h=9\text{m}$)

Durch den Vergleich von $c_{\text{Wind II}}$ mit c_A^* bzw. c_M^* ist erkennbar, dass mit zunehmender Hallenhöhe h bzw. Hallenbreite b und abnehmendem Regelbinderabstand b_i , der erste innenliegende Regelbinder nach dem Randdachbinder immer stärker vom Druckbeiwert $c_{\text{Wind II}}$ abhängig wird. Im Unterschied zu Österreich, deckt hier der Ersatzbeiwert c_A^* , sämtliche $c_{\text{Wind II}}$ -Beiwerte ab. Aus den Tabellen ist ersichtlich, dass der Ersatzbeiwert c_M^* die Belastung aus $c_{\text{Wind II}}$ bei engem Regelbinderabstand und breiter Halle unterschätzt.

c) Windeinwirkung nach unten (Winddruck)

Die maßgebende Windbelastung nach unten tritt wie für Österreich in der Zone I durch die Windrichtung II (in Hallenlängsrichtung) und gleichzeitigem Innensog auf. Somit besteht für die Windeinwirkung nach unten kein Unterschied zu Österreich (vgl. Abbildung 20 auf Seite 21). Die Berechnung unterliegt der Annahme von $q_p = 1,0 \text{ kN/m}^2$ und $e = 1,0 \text{ m}$.

• **7m und 9m hohe Halle**

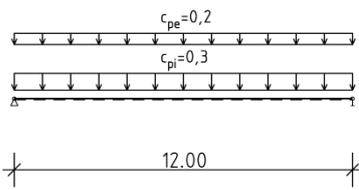
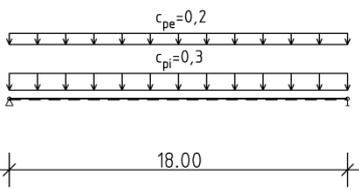
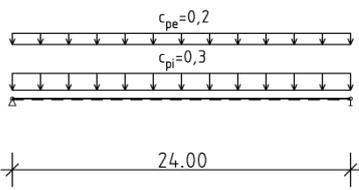
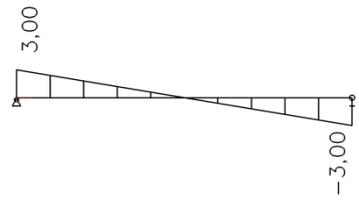
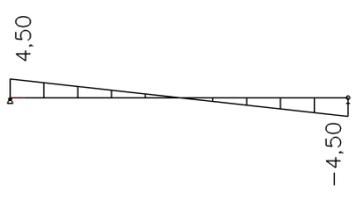
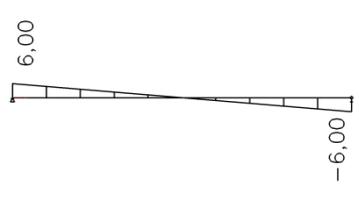
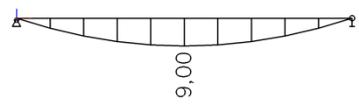
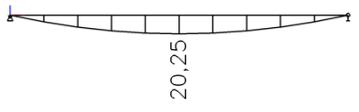
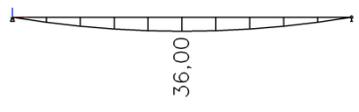
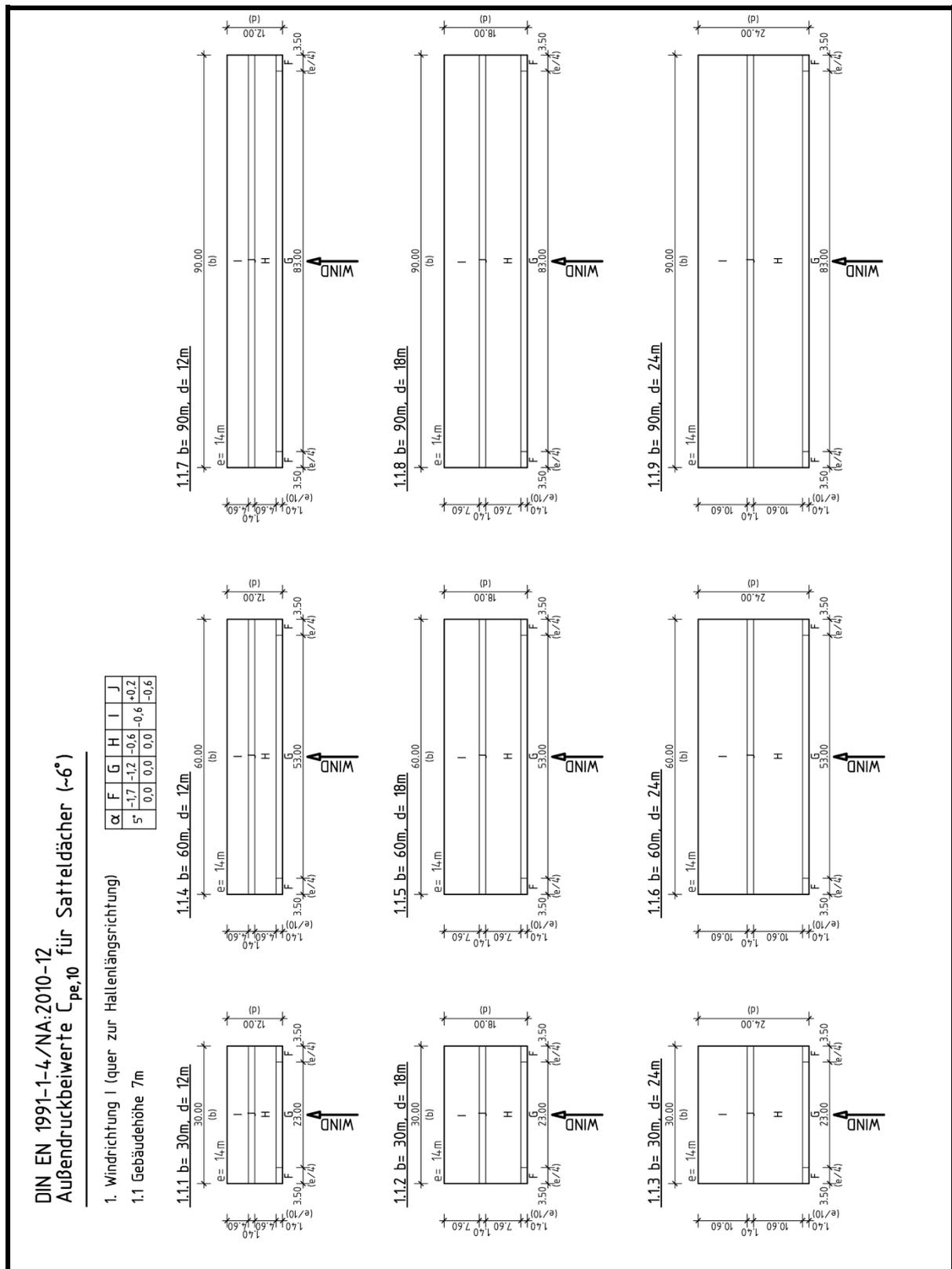
Druckbeiwerte nach EN 1991-1-4, $b = 12\text{m}$	Druckbeiwerte nach EN 1991-1-4, $b = 18\text{m}$	Druckbeiwerte nach EN 1991-1-4, $b = 24\text{m}$
		
Schnittgröße V_z [kN] für $q_p = 1,0 \text{ kN/m}^2$; $e = 1,0 \text{ m}$ 	Schnittgröße V_z [kN] für $q_p = 1,0 \text{ kN/m}^2$; $e = 1,0 \text{ m}$ 	Schnittgröße V_z [kN] für $q_p = 1,0 \text{ kN/m}^2$; $e = 1,0 \text{ m}$ 
Moment M_y [kNm] für $q_p = 1,0 \text{ kN/m}^2$; $e = 1,0 \text{ m}$ 	Moment M_y [kNm] für $q_p = 1,0 \text{ kN/m}^2$; $e = 1,0 \text{ m}$ 	Moment M_y [kNm] für $q_p = 1,0 \text{ kN/m}^2$; $e = 1,0 \text{ m}$ 

Abbildung 62: Schnittkräfte für Dachträger bei Windeinwirkung nach unten

A.2.2.3 Zoneneinteilung für Satteldächer (DIN EN 1991-1-4/NA)

Bei der Zoneneinteilung für Satteldächer besteht kein Unterschied zwischen dem Nationalen Anhang für Österreich, und sind somit ident mit jenen aus Kapitel A. 2.1.3.



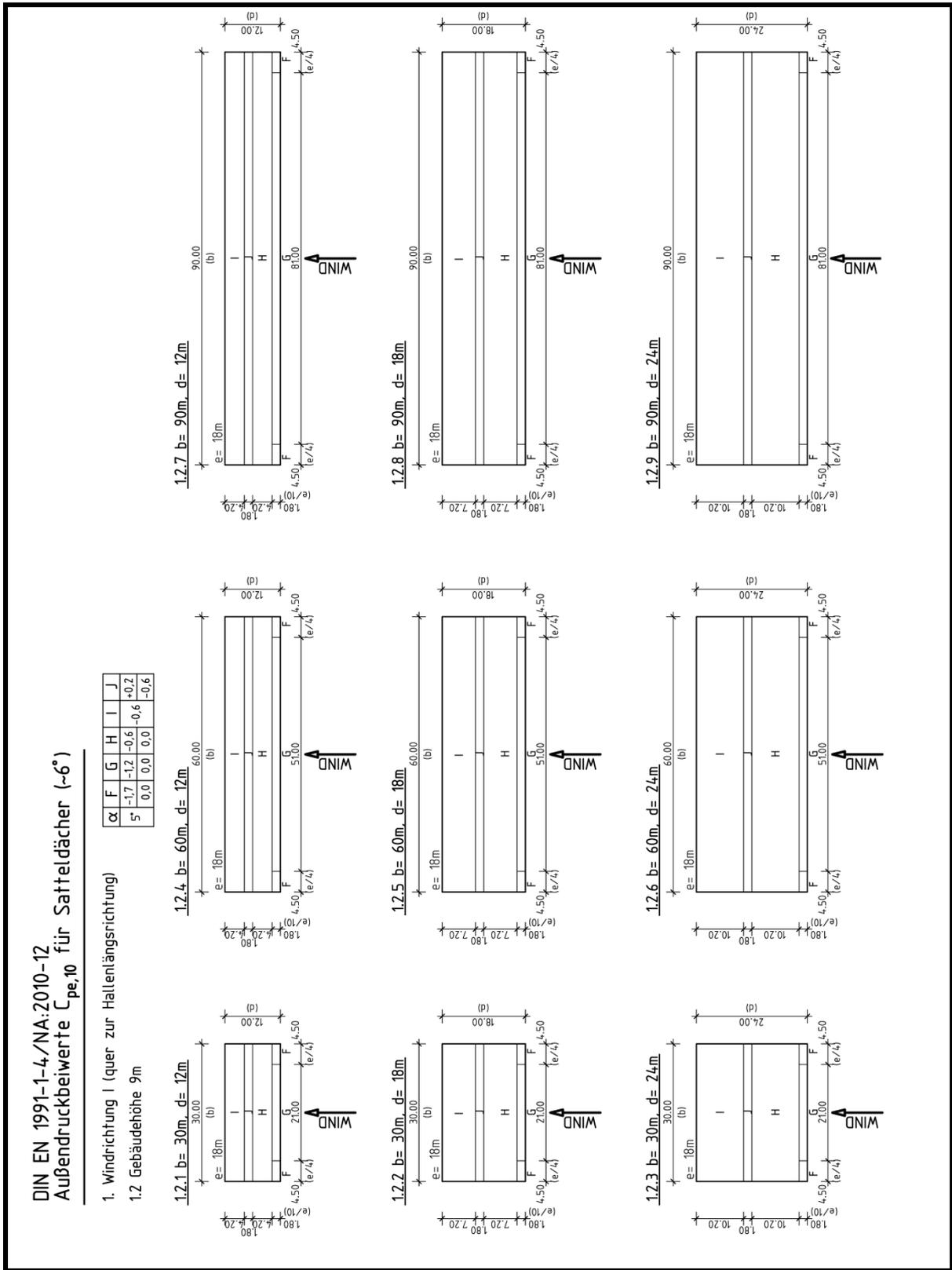


Abbildung 64: Dachzoneneinteilung für Satteldächer $h=9m$, Windrichtung I (DIN)

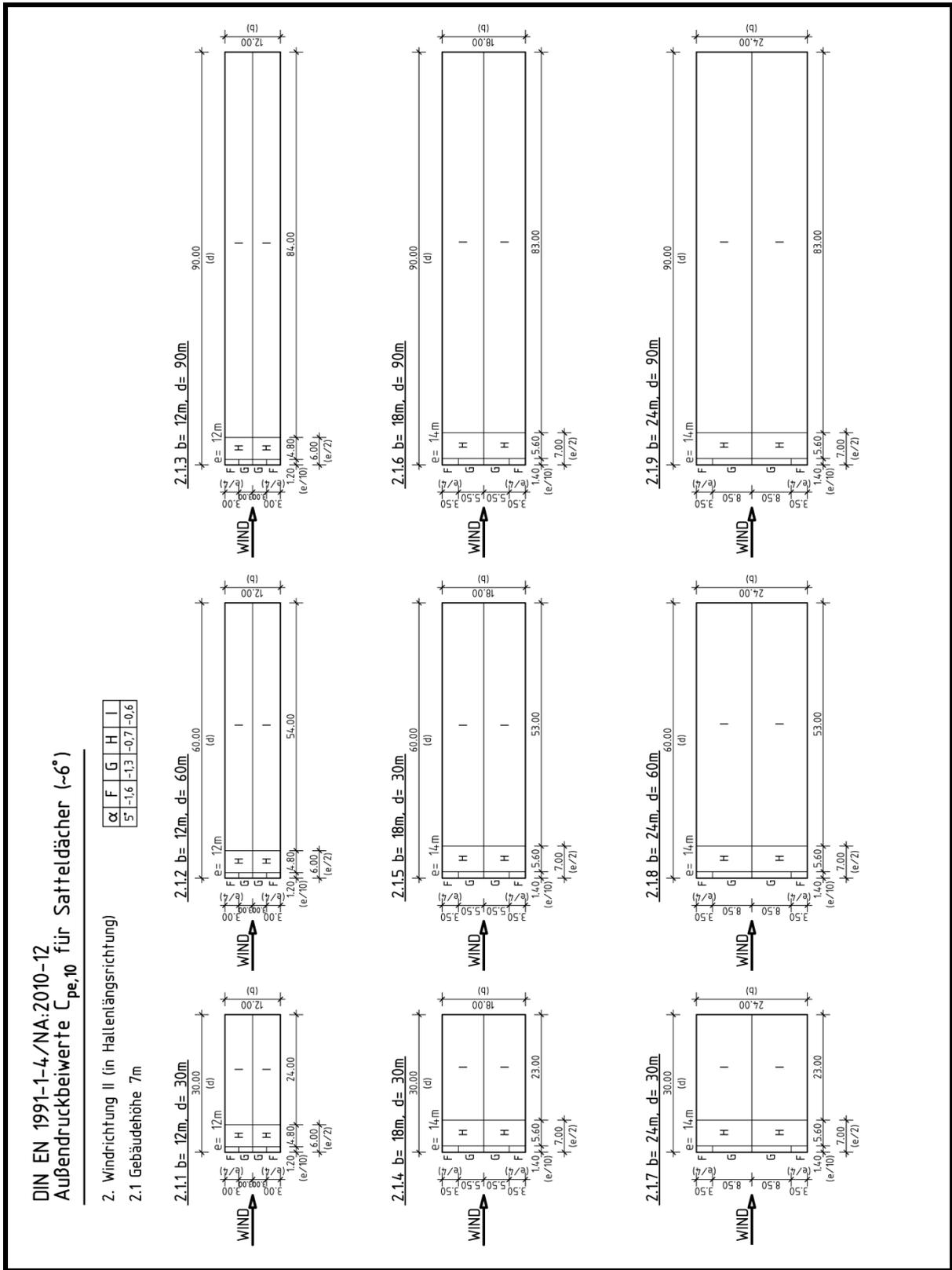


Abbildung 65: Dachzoneneinteilung für Satteldächer $h=7m$, Windrichtung II (DIN)

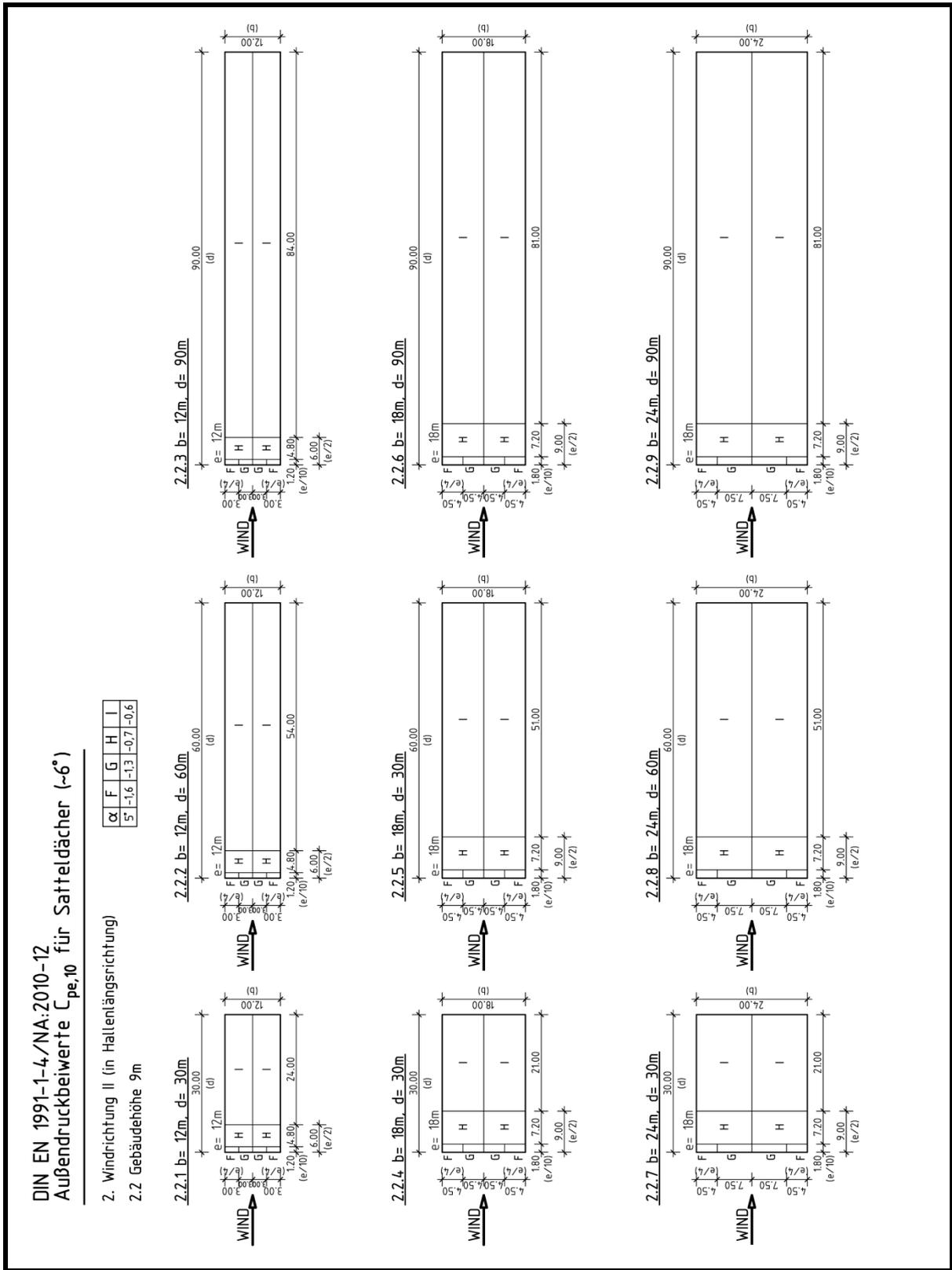


Abbildung 66: Dachzoneneinteilung für Satteldächer $h=9m$, Windrichtung II (DIN)

A.2.2.4 Vereinfachte Windlastbilder für Dachträger (Satteldach, DIN EN 1991-1-4/NA)

a) Windbeanspruchung quer zur Hallenlängsrichtung (Windrichtung I)

-Windeinwirkung nach oben (Windsog)

Da die Zoneneinteilung sowie die anzusetzenden Druckbeiwerte ident dem Nationalen Anhang für Österreich sind, entsprechen die nachfolgenden Abbildungen und Ergebnisse jenen von Österreich (vgl. Kapitel A. 2.1.4; Seite 26). Die nachfolgenden Ergebnisse gelten für einen Rahmen mit einer Neigung von ca. 6° und wurden mit einem angenommen Böengeschwindigkeitsdruck q_p von 1,0 kN/m² und einem fiktiven Trägerabstand von $e=1,0m$ berechnet. Für die Vereinfachung wurde wieder ein beidseitig gelenkig gelagerter Dachträger mit einem Ersatzdruckbeiwert angenommen, um die Auflagerreaktionen und Momente abzudecken.

- **Halle: Höhe = 7m, Breite = 12m**

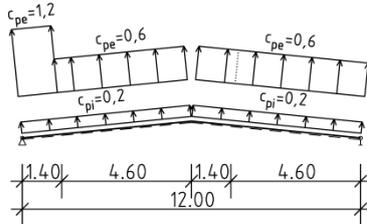
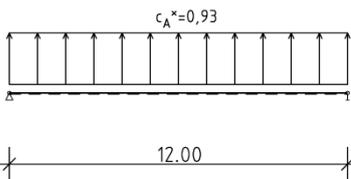
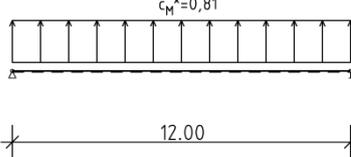
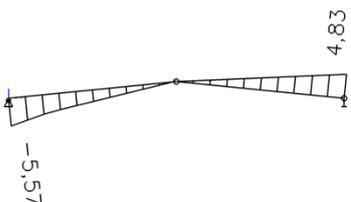
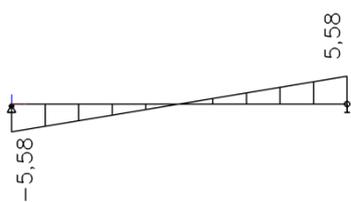
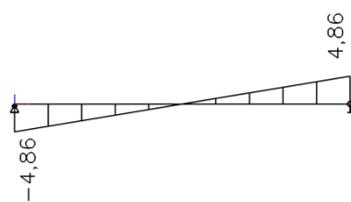
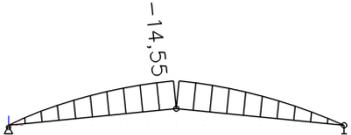
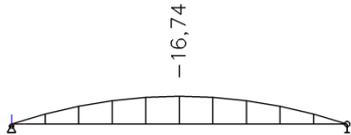
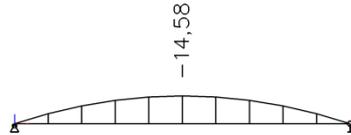
Druckbeiwerte nach DIN EN 1991-1-4/NA 	Ersatzbeiwert c_A^* für Auflager 	Ersatzbeiwert c_M^* für Momente 
Schnittgröße V_z [kN] für $q_p=1,0$ kN/m ² ; $e=1,0$ m 	Schnittgröße V_z [kN] für $q_p=1,0$ kN/m ² ; $e=1,0$ m  Abweichung = ~0%	Schnittgröße V_z [kN] für $q_p=1,0$ kN/m ² ; $e=1,0$ m  Abweichung = -15%
Moment M_y [kNm] für $q_p=1,0$ kN/m ² ; $e=1,0$ m 	Moment M_y [kNm] für $q_p=1,0$ kN/m ² ; $e=1,0$ m  Abweichung = +15%	Moment M_y [kNm] für $q_p=1,0$ kN/m ² ; $e=1,0$ m  Abweichung = ~0%

Abbildung 67: Schnittkräfte für Dachträger (Satteldach, Halle $h=7m$, $b=12m$)

- **Halle: Höhe = 7m, Breite = 18m**

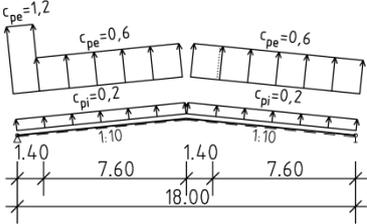
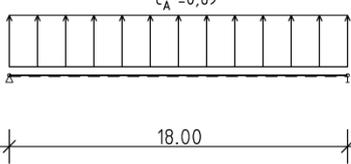
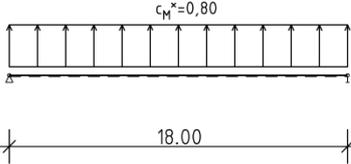
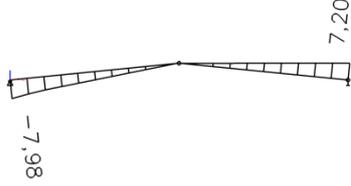
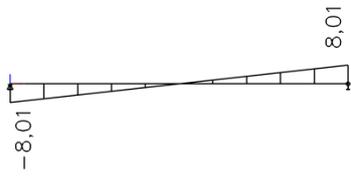
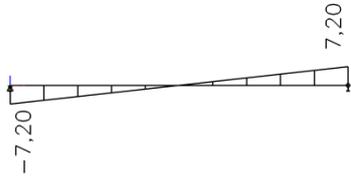
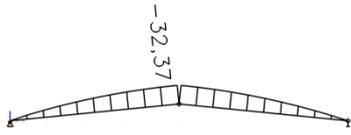
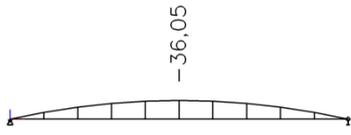
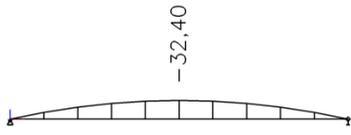
<p>Druckbeiwerte nach DIN EN 1991-1-4/NA</p> 	<p>Ersatzbeiwert c_A^* für Auflager</p> 	<p>Ersatzbeiwert c_M^* für Momente</p> 
<p>Schnittgröße V_z [kN] für $q_p=1,0 \text{ kN/m}^2$; $e=1,0 \text{ m}$</p> 	<p>Schnittgröße V_z [kN] für $q_p=1,0 \text{ kN/m}^2$; $e=1,0 \text{ m}$</p>  <p>Abweichung = ~0%</p>	<p>Schnittgröße V_z [kN] für $q_p=1,0 \text{ kN/m}^2$; $e=1,0 \text{ m}$</p>  <p>Abweichung = -11%</p>
<p>Moment M_y [kNm] für $q_p=1,0 \text{ kN/m}^2$; $e=1,0 \text{ m}$</p> 	<p>Moment M_y [kNm] für $q_p=1,0 \text{ kN/m}^2$; $e=1,0 \text{ m}$</p>  <p>Abweichung = +11%</p>	<p>Moment M_y [kNm] für $q_p=1,0 \text{ kN/m}^2$; $e=1,0 \text{ m}$</p>  <p>Abweichung = ~0%</p>

Abbildung 68: Schnittkräfte für Dachträger (Satteldach, Halle h= 7m, b= 18m)

- **Halle: Höhe = 7m, Breite = 24m**

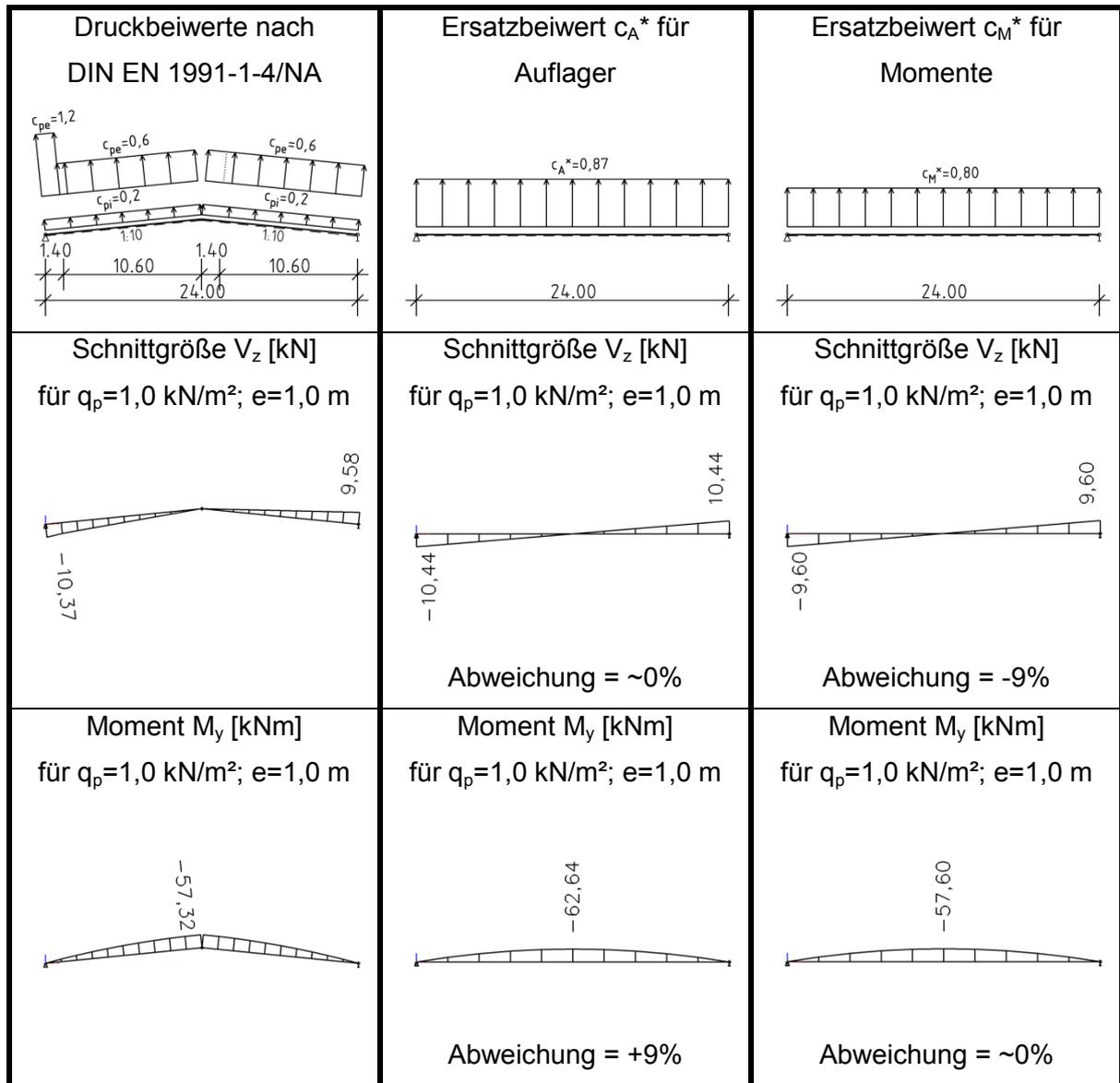


Abbildung 69: Schnittkräfte für Dachträger (Satteldach, Halle h= 7m, b= 24m)

- **Halle: Höhe = 9m, Breite = 12m**

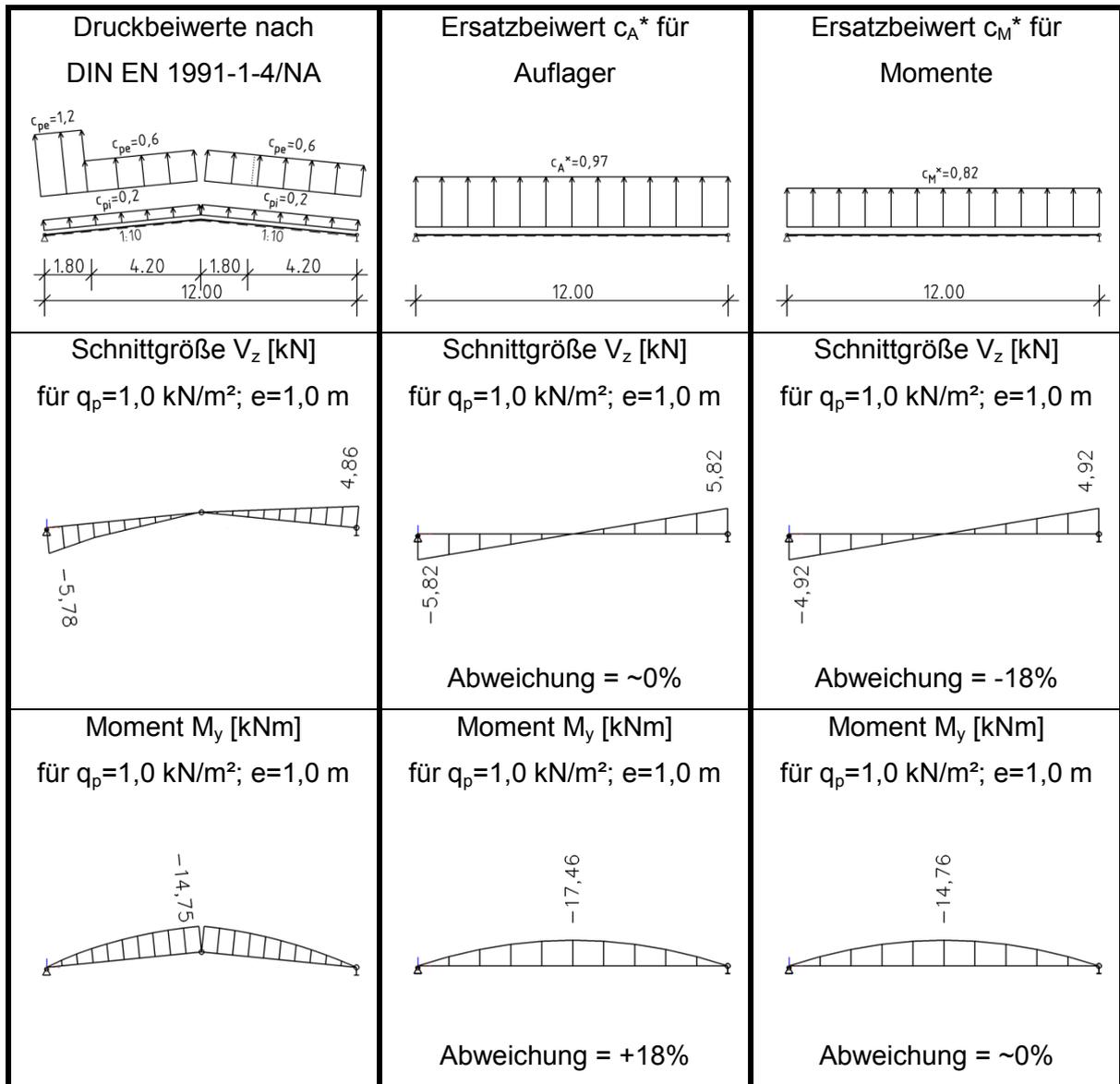


Abbildung 70: Schnittkräfte für Dachträger (Satteldach, Halle $h=9\text{m}$, $b=12\text{m}$)

- **Halle: Höhe = 9m, Breite = 18m**

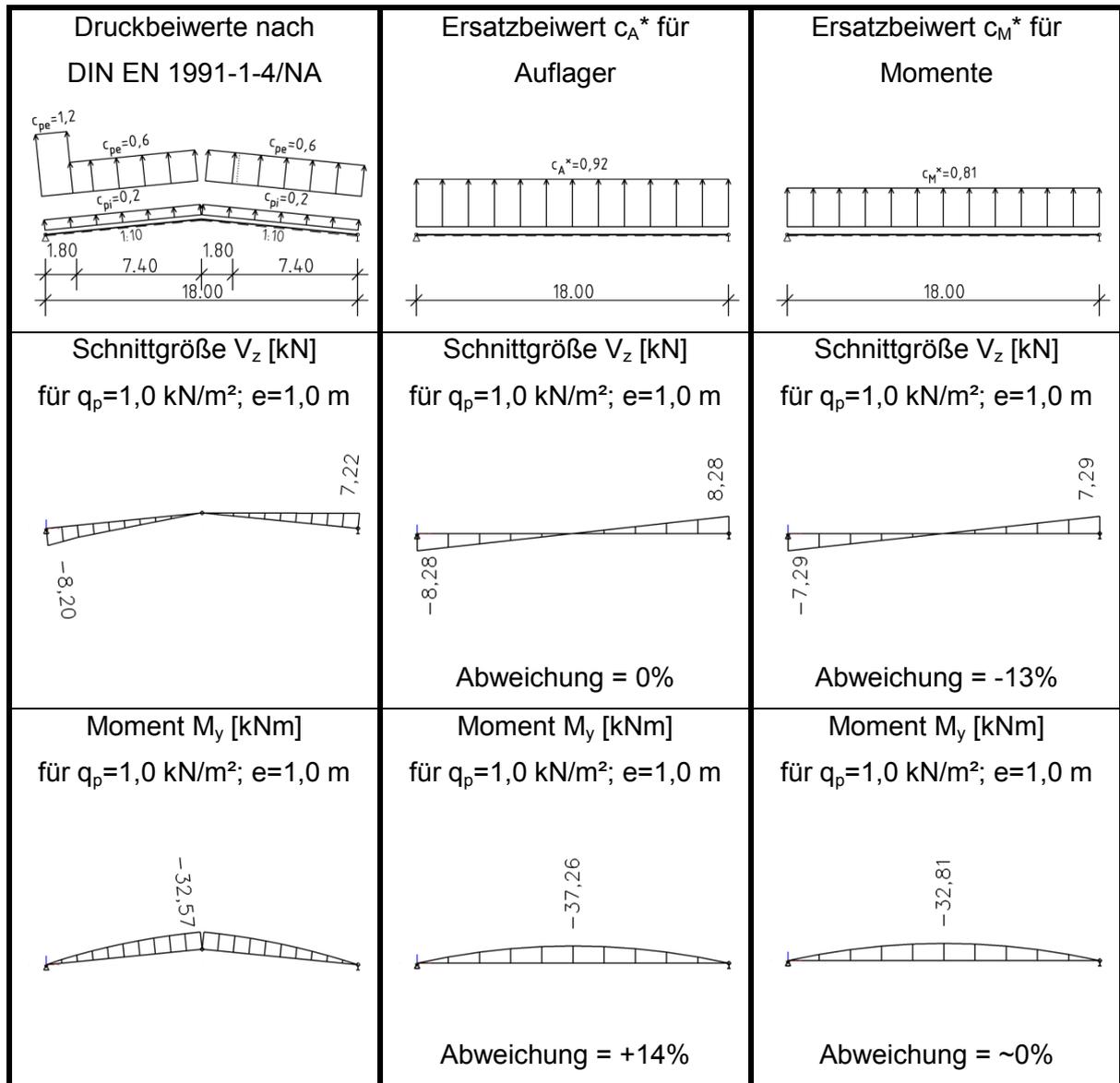


Abbildung 71: Schnittkräfte für Dachträger (Satteldach, Halle h= 9m, b= 18m)

- **Halle: Höhe = 9m, Breite = 24m**

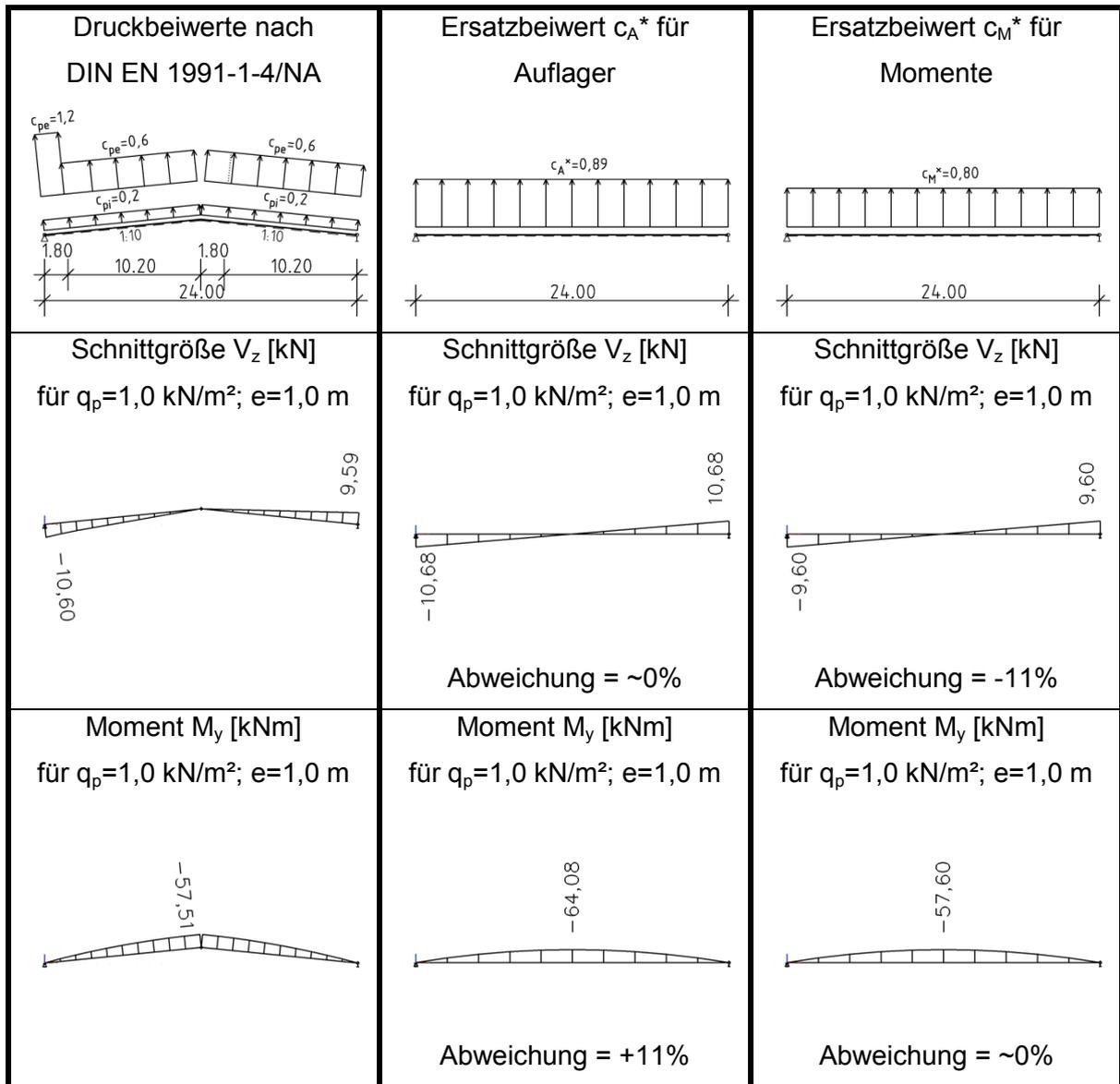


Abbildung 72: Schnittkräfte für Dachträger (Satteldach, Halle h= 9m, b= 24m)

b) Windbeanspruchung in Hallenlängsrichtung (Windrichtung II)

- Windeinwirkung nach oben (Windsog)

Auch für die Windeinwirkung nach oben bei einer Windbeanspruchung in Hallenlängsrichtung gibt es keinen Unterschied zu Österreich. Deswegen wird an dieser Stelle auf die Darstellung bzw. die Berechnung von $c_{Wind II}$ verzichtet und auf Kapitel A.2.1.4 verwiesen. Nachfolgend werden nur die Ergebnisse dargestellt.

In den nachfolgenden Tabellen werden wieder die vorher ausgewerteten Druckbeiwerte $c_{Wind II}$ mit jenen Ersatzbeiwerten (c_A^* und c_M^*) verglichen, die aus Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) entstehen. Dabei repräsentiert die Zahl in der Klammer, den prozentualen Unterschied zwischen $c_{Wind II}$ und c_A^* bzw. c_M^* .

Höhe h [m]	Breite b [m]	b_i [m]	$c_{Wind II}$	c_A^*	c_M^*
7,0	12,0	6,0	0,85	0,93 (+9%)	0,81 (-5%)
7,0	12,0	8,0	0,83	0,93 (+12%)	0,81 (-3%)
7,0	12,0	10,0	0,81	0,93 (+15%)	0,81 (0%)
7,0	18,0	6,0	0,87	0,89 (+3%)	0,80 (-9%)
7,0	18,0	8,0	0,84	0,89 (+6%)	0,80 (-5%)
7,0	18,0	10,0	0,82	0,89 (+9%)	0,80 (-3%)
7,0	24,0	6,0	0,87	0,87 (0%)	0,80 (-9%)
7,0	24,0	8,0	0,84	0,87 (+4%)	0,80 (-5%)
7,0	24,0	10,0	0,82	0,87 (+6%)	0,80 (-3%)

Tabelle 7: Druckbeiwerte $c_{Wind II}$ und c_A^* bzw. c_M^* (DIN, Satteldach, Halle h= 7m)

Höhe h [m]	Breite b [m]	b_i [m]	$c_{Wind II}$	c_A^*	c_M^*
9,0	12,0	6,0	0,85	0,97 (+14%)	0,82 (-4%)
9,0	12,0	8,0	0,83	0,97 (+17%)	0,82 (-1%)
9,0	12,0	10,0	0,81	0,97 (+20%)	0,82 (+1%)
9,0	18,0	6,0	0,90	0,92 (+2%)	0,81 (-11%)
9,0	18,0	8,0	0,86	0,92 (+7%)	0,81 (-6%)
9,0	18,0	10,0	0,84	0,92 (+10%)	0,81 (-4%)
9,0	24,0	6,0	0,90	0,89 (~0%)	0,80 (-13%)
9,0	24,0	8,0	0,86	0,89 (+4%)	0,80 (-8%)
9,0	24,0	10,0	0,84	0,89 (+6%)	0,80 (-5%)

Tabelle 8: Druckbeiwerte $c_{Wind II}$ und c_A^* bzw. c_M^* (DIN, Satteldach, Halle h= 9m)

c) Windeinwirkung nach unten (Winddruck)

Wie für Österreich entsteht die maßgebende Windeinwirkung nach unten für Satteldächer mit einer Neigung von ca. 6 durch die Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) und Innensog. Durch gleiche Zoneneinteilung und Druckbeiwerte besteht kein Unterschied zum Nationalen Anhang für Österreich (vgl. Kapitel A.2.1.4). Dabei ist für die Zonen F, G und H $\pm 0,0$, für die Zone I $-0,6$ und für die Zone J $+0,2$ als Außendruckbeiwert anzusetzen. Daraus ist ersichtlich, dass der Innensog ($-0,3$) als maßgebender Wert angesehen werden kann. Da sich die Zone J nur geringfügig zwischen der 7m und 9m hohen Halle ändert ($\Delta=0,4\text{m}$), wurde dies nicht gesondert berücksichtigt. Für den Innensog gilt wie bei Flachdächern der Wert von $-0,3$. Deshalb wurde für die Vereinfachung jene Werte des Flachdaches herangezogen, dadurch erhält man aber zum Teil konservative Werte. Die nachfolgenden Abbildungen sollen dies veranschaulichen.

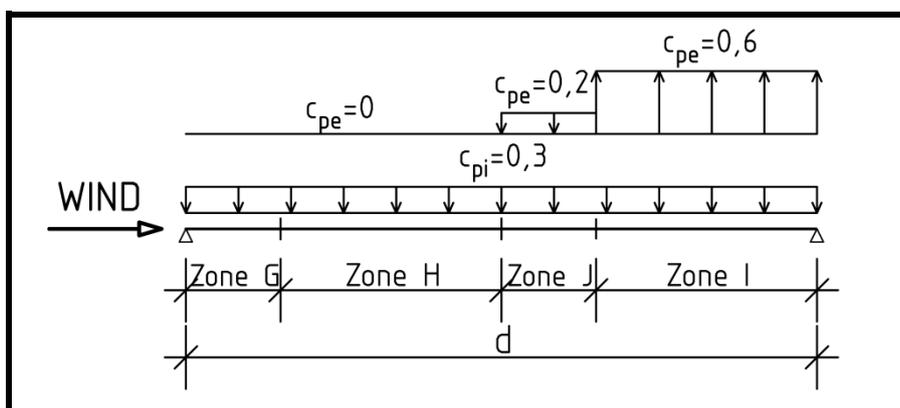


Abbildung 73: Windeinwirkung nach unten (DIN, Satteldach)

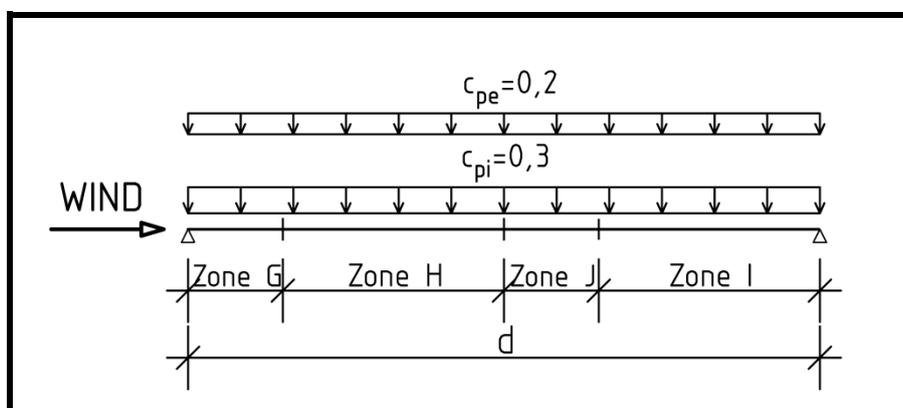


Abbildung 74: Konservative Windeinwirkung nach unten (Satteldach)

• 7m und 9m hohe Halle

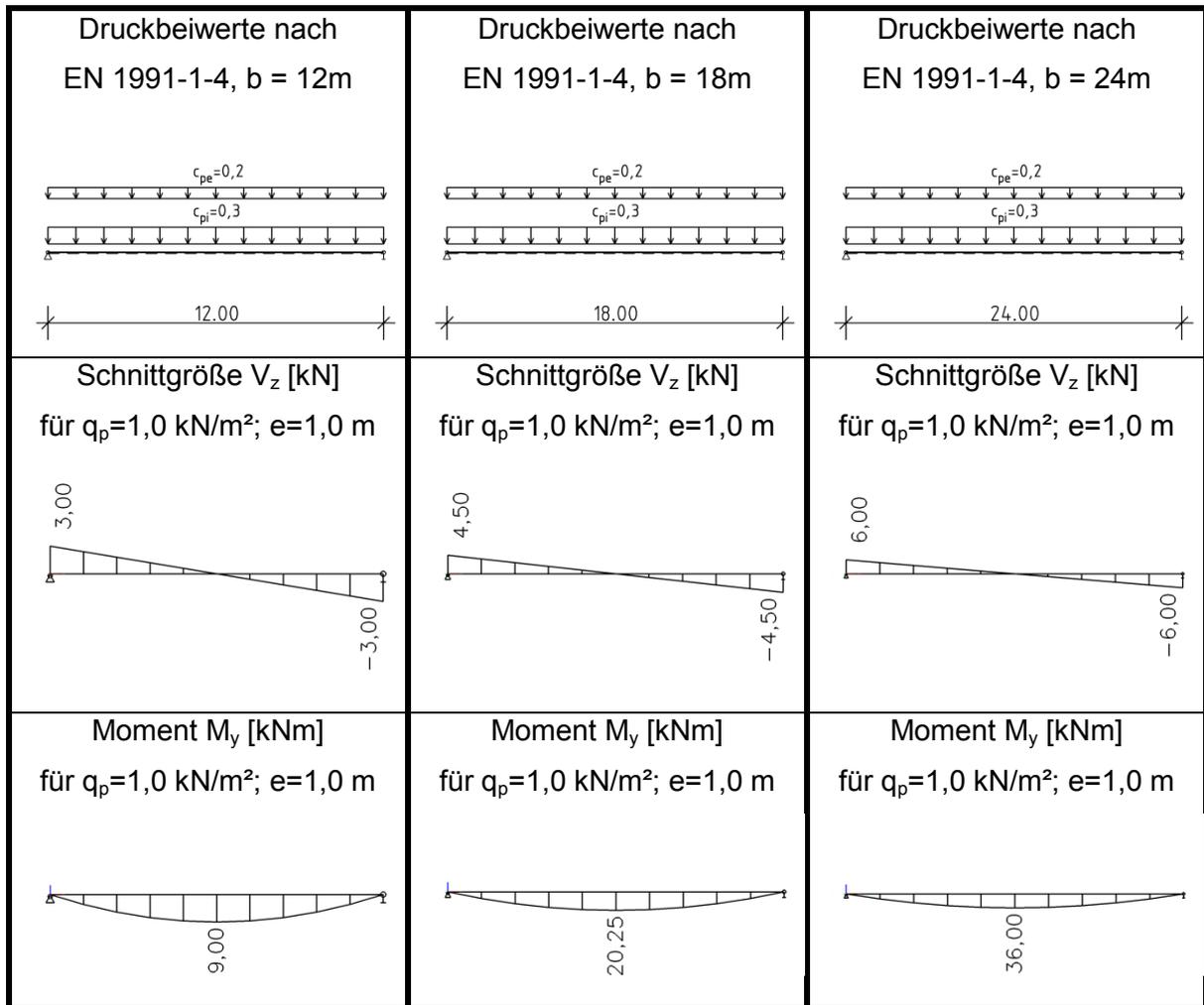


Abbildung 75: Schnittkräfte für Dachträger bei Windeinwirkung nach unten

A.3 EINZELSTÜTZEN

Um auf die maßgebende Windeinwirkung für lokal belastete Einzelstützen zu kommen, wurden die Wandflächen nach EN 1991-1-4 in die Zone A-E eingeteilt. Im Gegensatz zum Grunddokument EN 1991-1-4 hängen die Außendruckbeiwerte im Nationalen Anhang ÖNORM B 1991-1-4 nicht vom Verhältnis h/d ab, sondern sind vom Verhältnis h/b und d/b abhängig. Die Außendruckbeiwerte für Deutschland sind für die hier untersuchten Hallen ident mit jenen aus dem Grunddokument EN 1991-1-4. Für die nachfolgenden Untersuchungen und Berechnungen wurde ein Viergelenkrahmen mit Windverband gewählt.

Die Einteilung der Wandflächen erfolgte für Hallenkonstruktionen mit den Abmessungen:

- Gebäudelänge 30, 60 und 90m,
- Gebäudebreite 12, 18 und 24m,
- Gebäudehöhe 7 und 9m;

Für die Windanströmrichtung ist zwischen der Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) und der Windrichtung II (in Hallenlängsrichtung) unterschieden worden.

Nach der Einteilung der Zonen für Wandflächen wurde eine innere Einzelstütze mit Außen- und Innendruckbeiwerten lokal belastet, um auf die ungünstigste Lasteinwirkung schließen zu können. Da für die hier behandelten Hallenkonstruktionen das Verhältnis $h \leq b$ gilt, ist keine Staffelung des Geschwindigkeitsdruckes über die Höhe notwendig und kann deshalb als Konstant über die Gebäudehöhe verlaufend angenommen werden.

A.3.1 Nationaler Anhang für Österreich

A.3.1.1 Zoneneinteilung für Wandflächen mit Flachdach (ÖNORM B 1991-1-4)

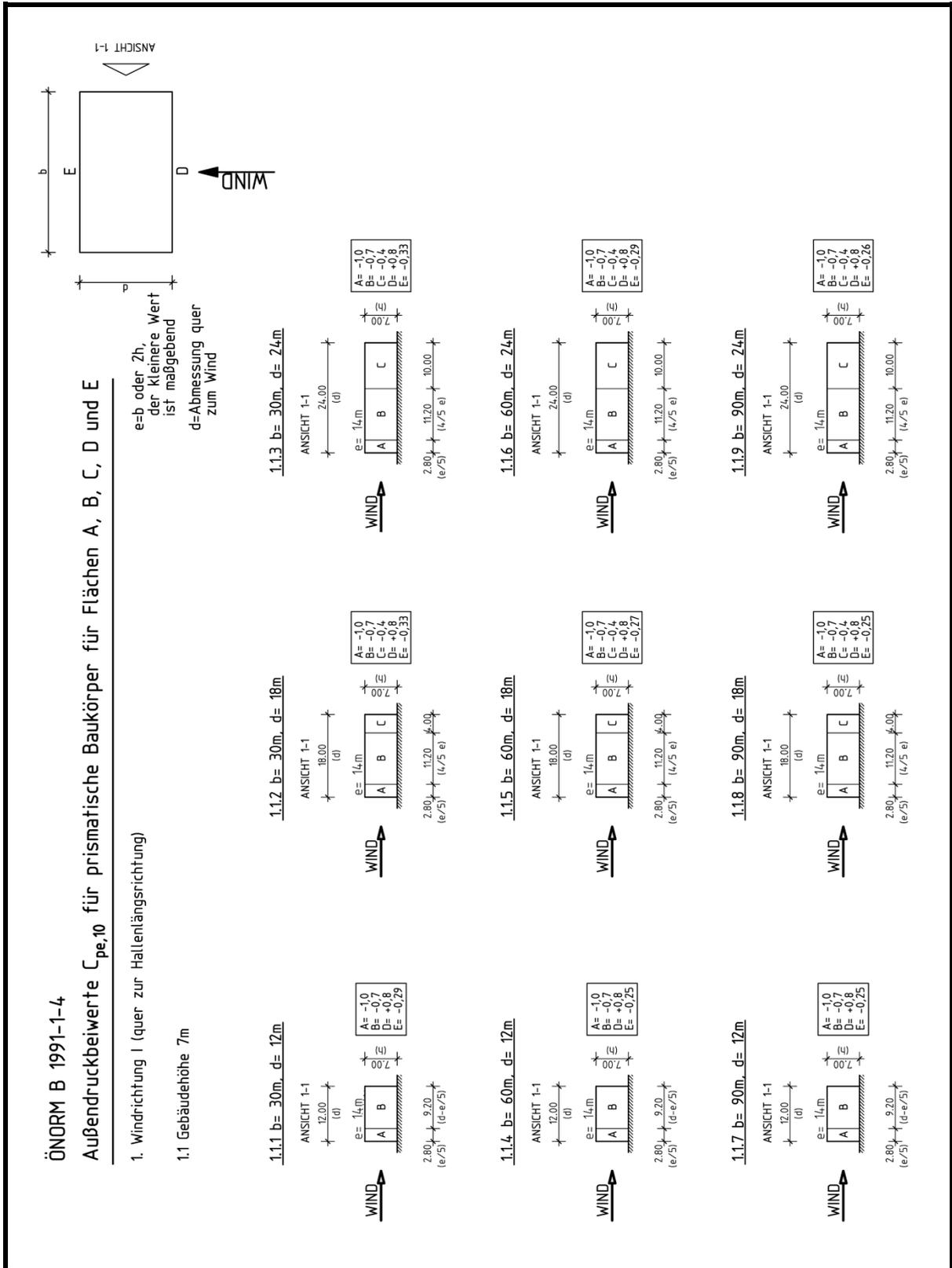


Abbildung 76: Wandzoneneinteilung bei Flachdächer h= 7m, Windrichtung I (ÖNORM)

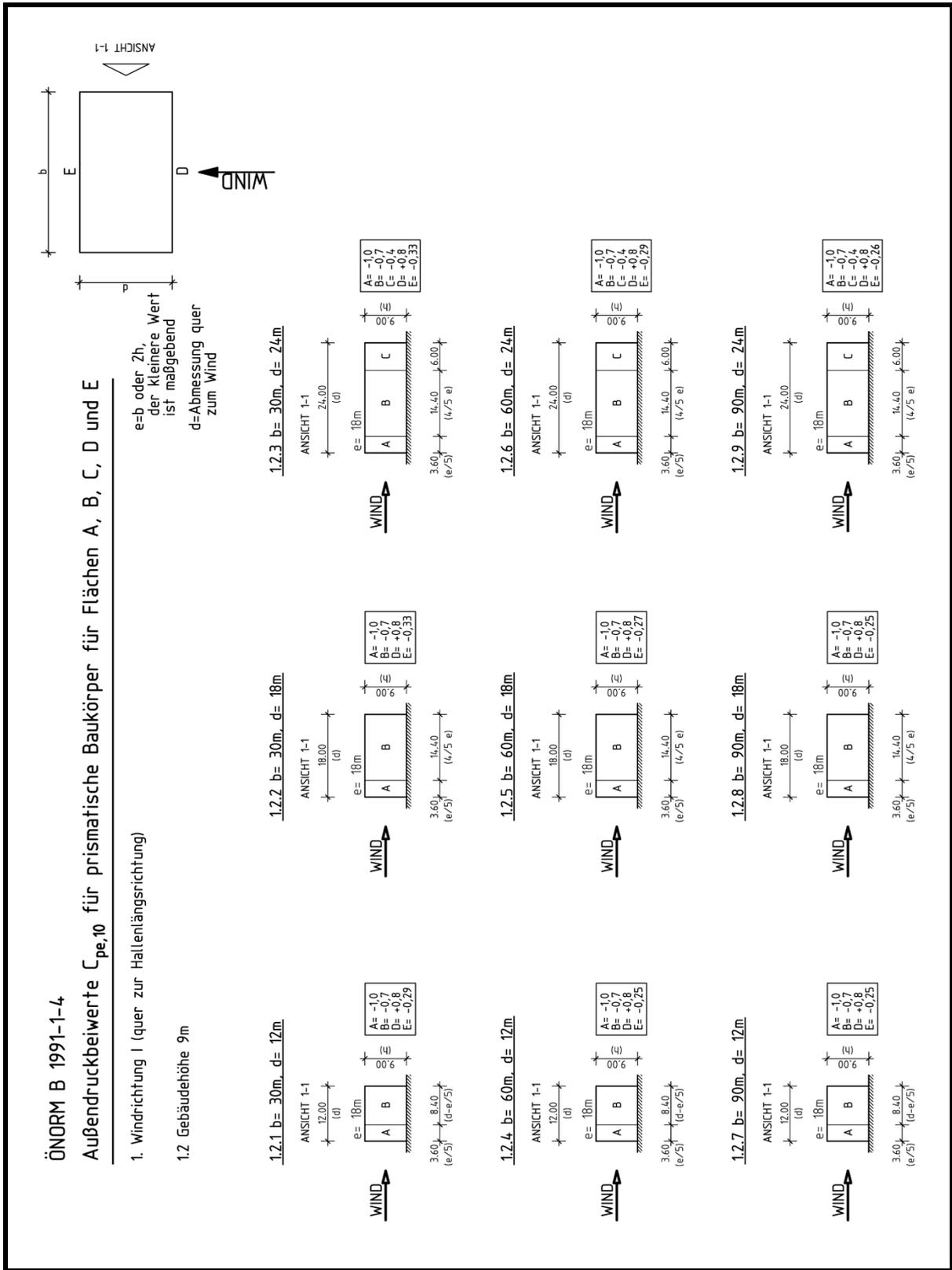


Abbildung 77: Wandzoneneinteilung bei Flachdächer h= 9m, Windrichtung I (ÖNORM)

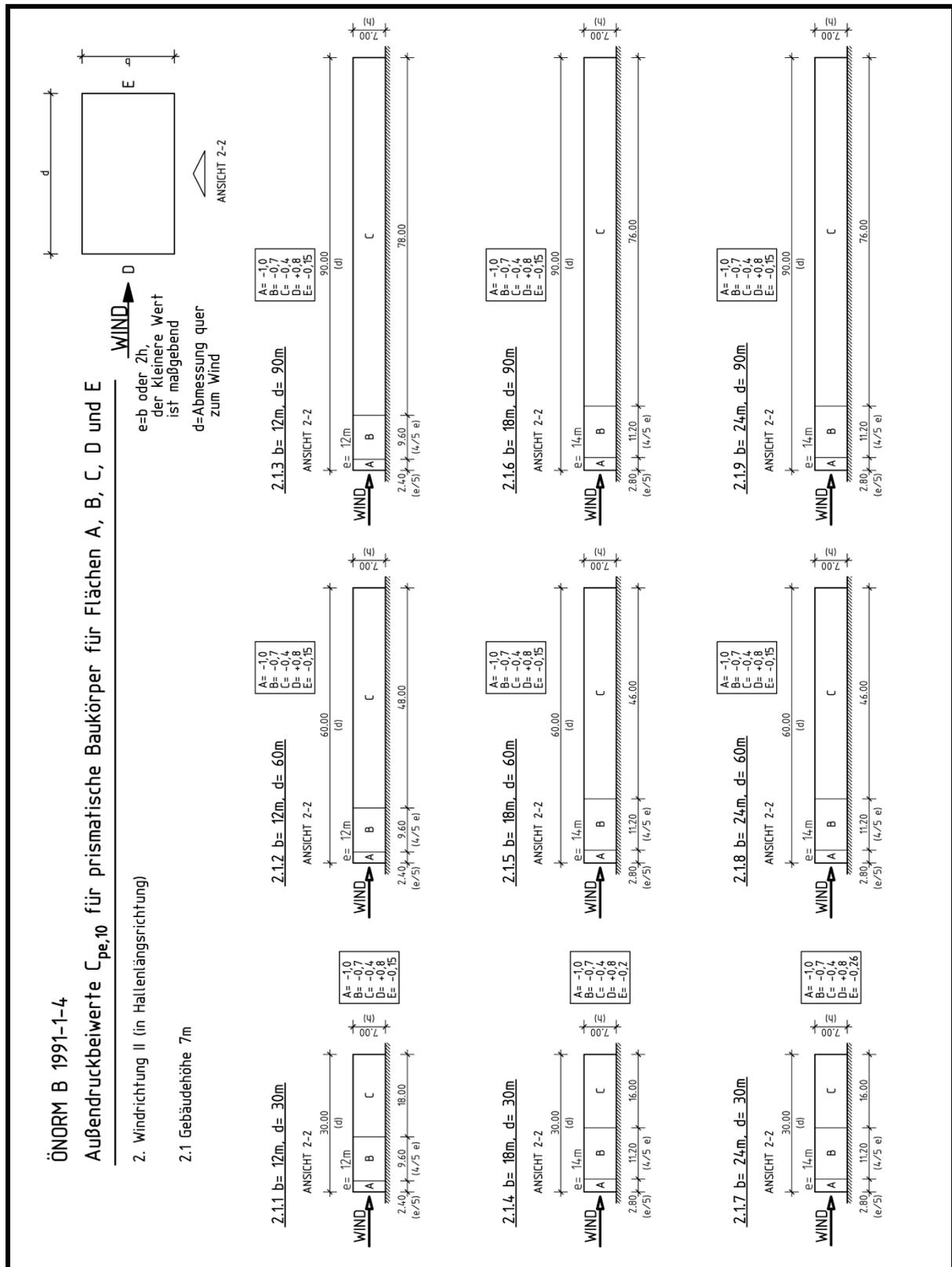


Abbildung 78: Wandzoneneinteilung bei Flachdächer $h = 7m$, Windrichtung II (ÖNORM)

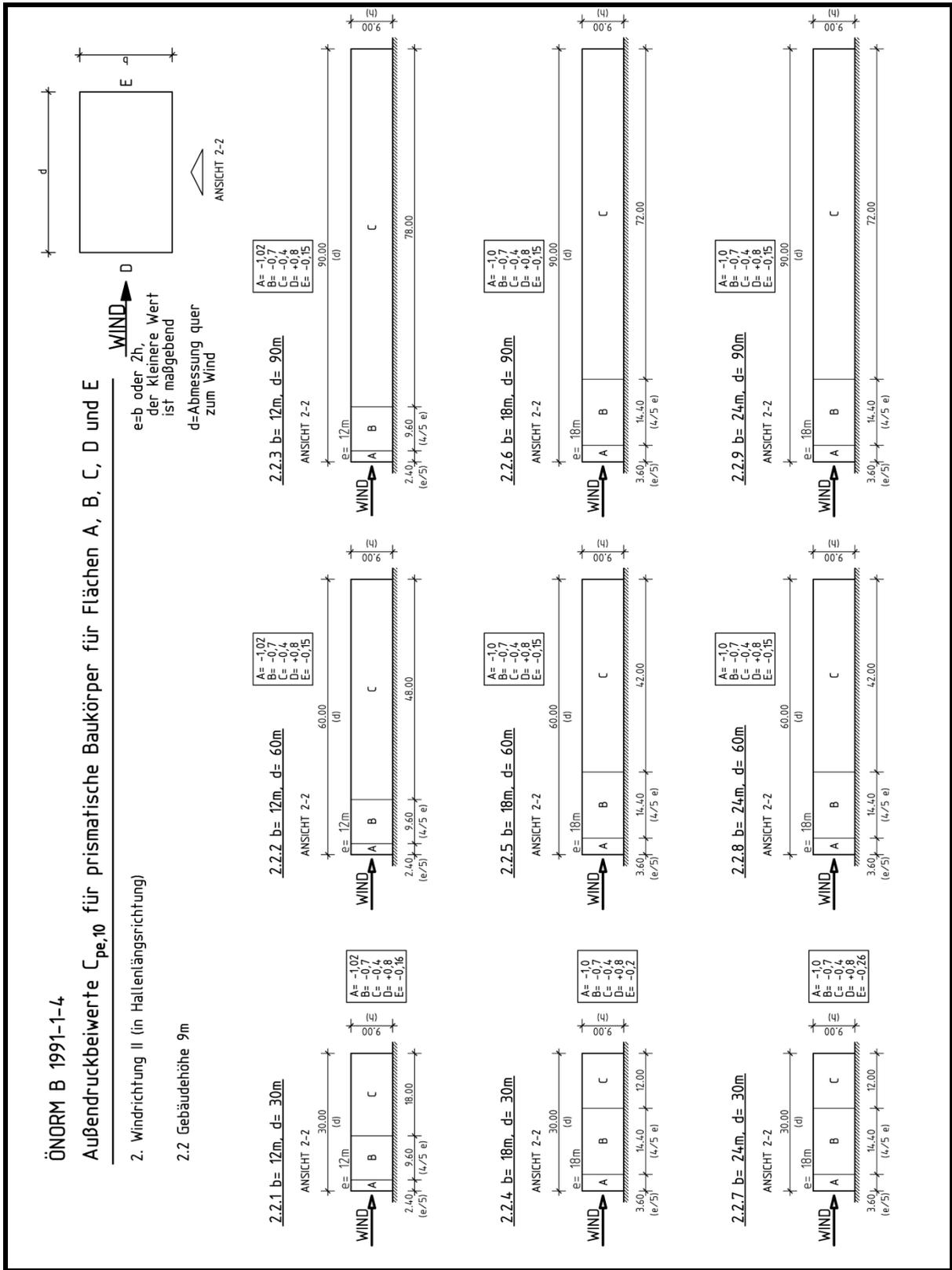


Abbildung 79: Wandzoneneinteilung bei Flachdächer h= 9m, Windrichtung II (ÖNORM)

A.3.1.2 Zoneneinteilung für Wandflächen mit Satteldach (ÖNORM B 1991-1-4)

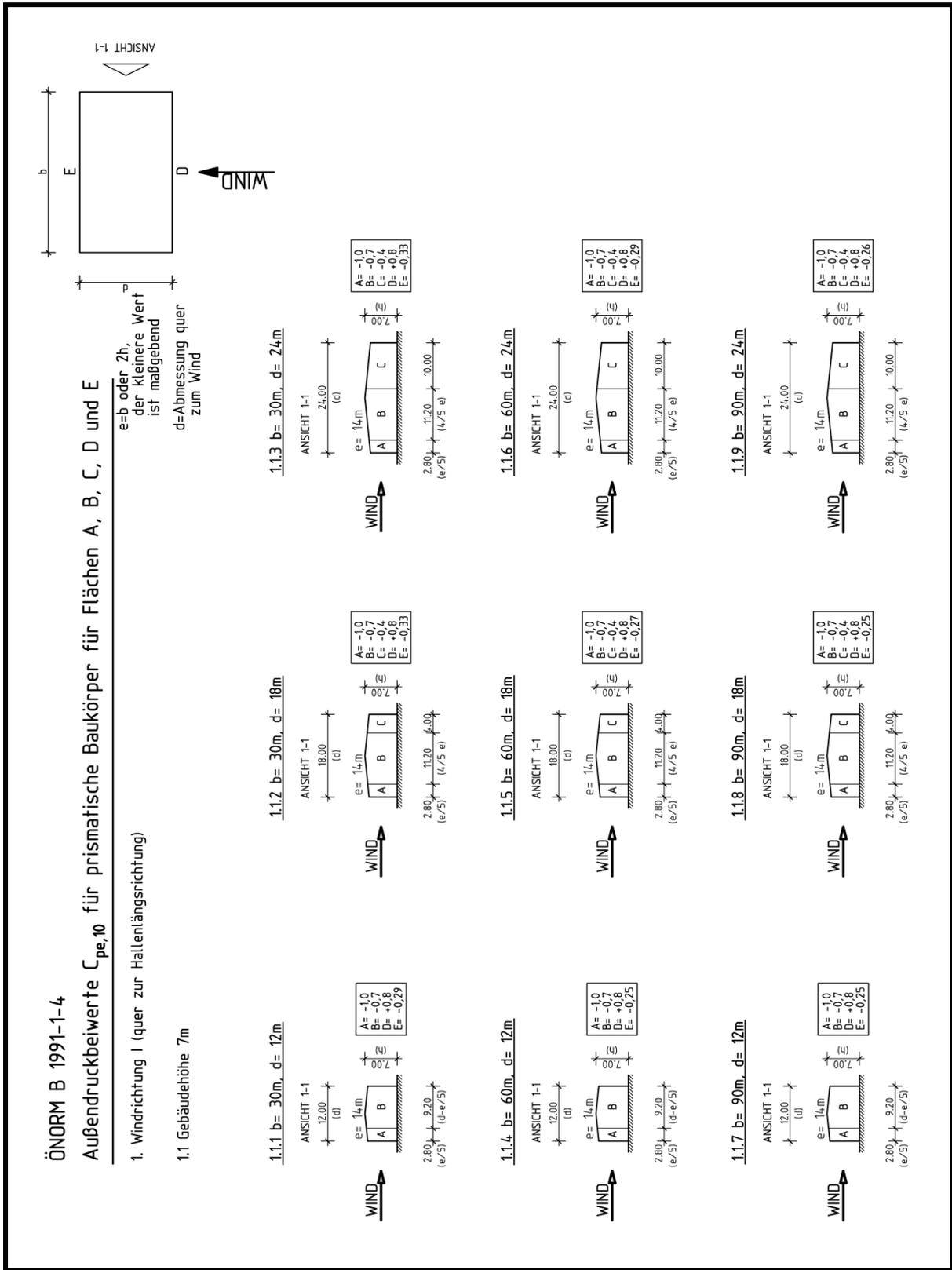


Abbildung 80: Wandzoneneinteilung bei Satteldächer $h = 7m$, Windrichtung I (ÖNORM)

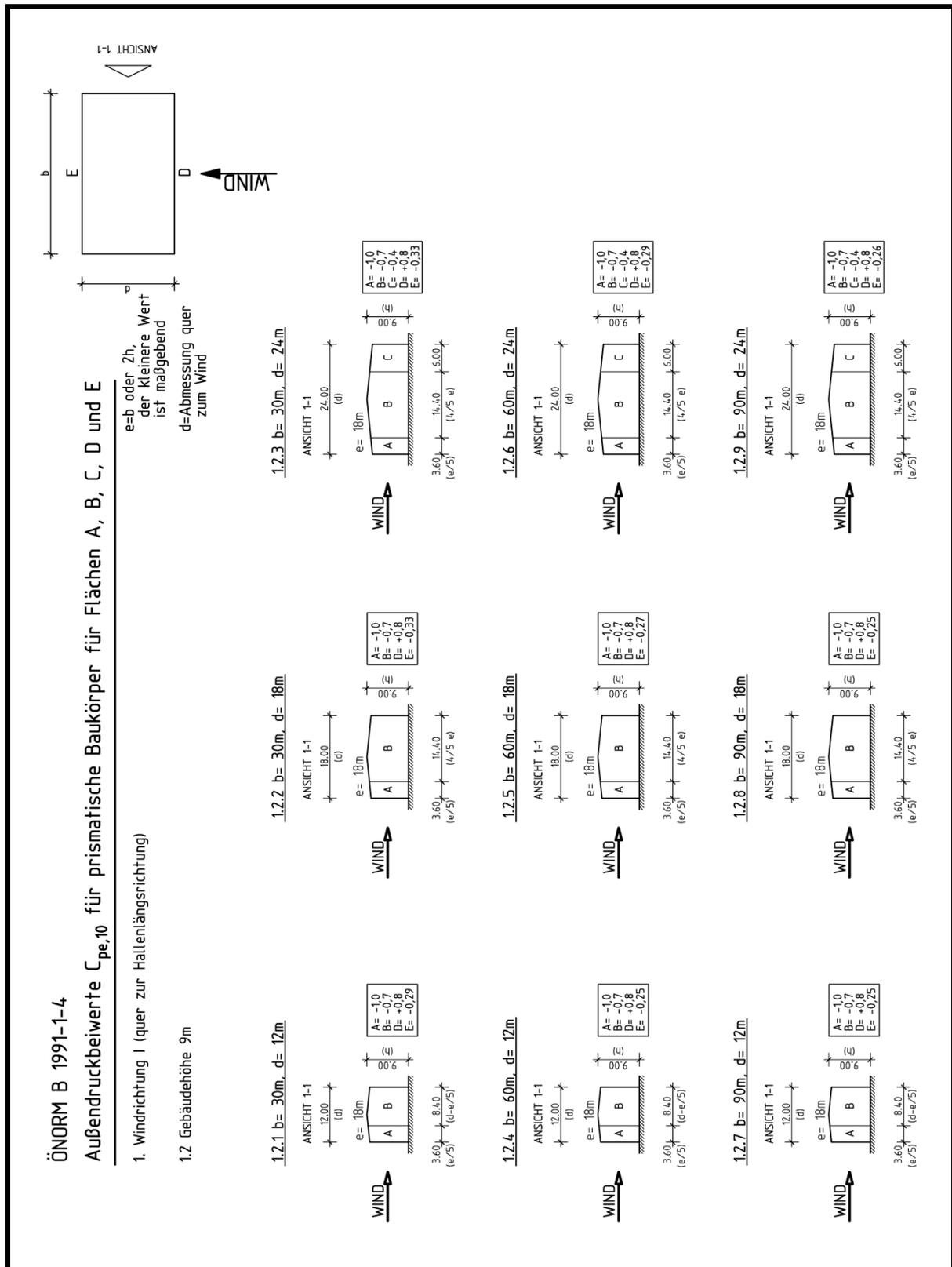


Abbildung 81: Wandzoneneinteilung bei Satteldächer h= 9m, Windrichtung I (ÖNORM)

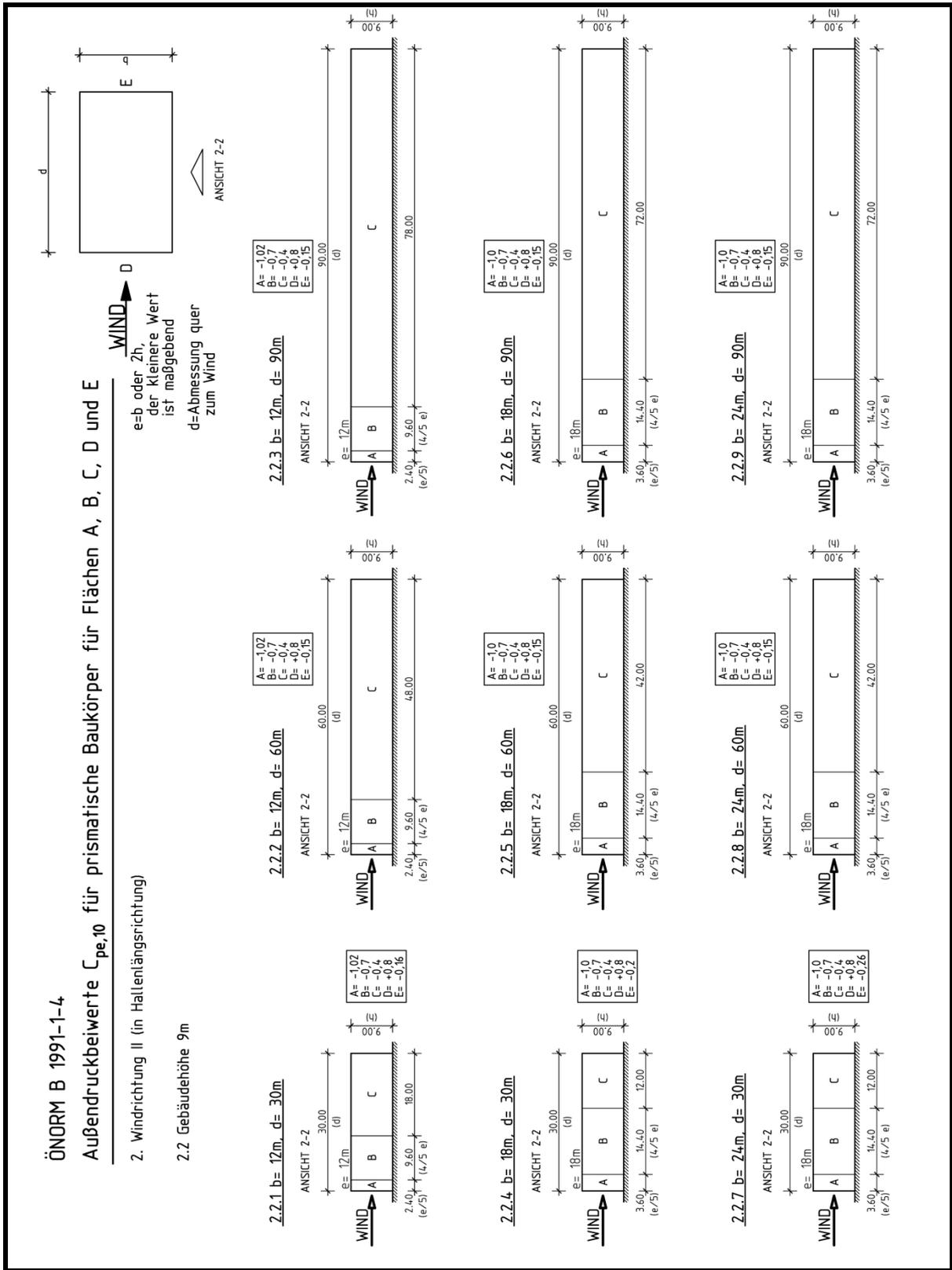


Abbildung 83: Wandzoneneinteilung bei Satteldächer h= 9m, Windrichtung II (ÖNORM)

A.3.1.3 Vereinfachte Windlastbilder für lokal belastete Einzelstützen

Wie schon erwähnt wird von einer beidseitig gelenkig gelagerten Einzelstütze ausgegangen. Bei der Zoneneinteilung von Wandflächen mit Flach- oder Satteldächer durch die Windrichtung I ist der Randabstand e gleich hoch. Jedoch sind die Wandflächen A, B und C bei Flachdächern größer, deswegen wurde bei den Berechnungen auf Hallenkonstruktionen mit Satteldach verzichtet.

Die maßgebende lokale Windbelastung auf eine oben und unten gelenkig gelagerte Stütze entsteht für eine 7m bzw. 9m hohe Halle aus der Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) und setzt sich dabei aus dem Außendruckbeiwert der Zone D (+0,8) und dem Innensog (-0,3) zusammen. Der Außendruckbeiwert der Randzone A (-1,0) mit gleichzeitig wirkendem Innendruck (+0,2) liefert zwar den höchsten Betrag, jedoch ist die Wandfläche, im Vergleich zu der Fläche zwischen 2 innenliegenden Regelstützen (z.B. Regelstützenabstand = 6m), kleiner. Das bedeutet, dass nur die Eckstütze der Giebelwand von dieser erhöhten Windbelastung betroffen ist. Bereits die randnahe Binderstütze liegt, bei üblichen Binderabständen $e \geq 6,0$ m, überwiegend in der Einflusszone B, sodass dann wieder die Einflusszone D aus der Windbelastung I (quer zur Hallenlängsrichtung) maßgebend wird. Für die nachfolgenden Ergebnisse wurde eine innenliegende 7m hohe Stütze nur mit Außen- und Innendruck belastet, wobei hierfür ein Böengeschwindigkeitsdruck q_p von $1,0 \text{ kN/m}^2$ und einer fiktiven Einflussbreite von $e=1,0$ m angenommen wurde. Auf die Berechnung einer 9m hohen Stütze wurde verzichtet, da sich die Ergebnisse nur betragsmäßig unterscheiden. Es sind die Unterschiede zwischen dem Lastfall 1 [Außendruck Zone D (+0,8) mit Innensog ($|-0,3|$)] und dem Lastfall 2 [Außensog Zone B ($|-0,7|$) mit Innendruck (+0,2)] dargestellt.

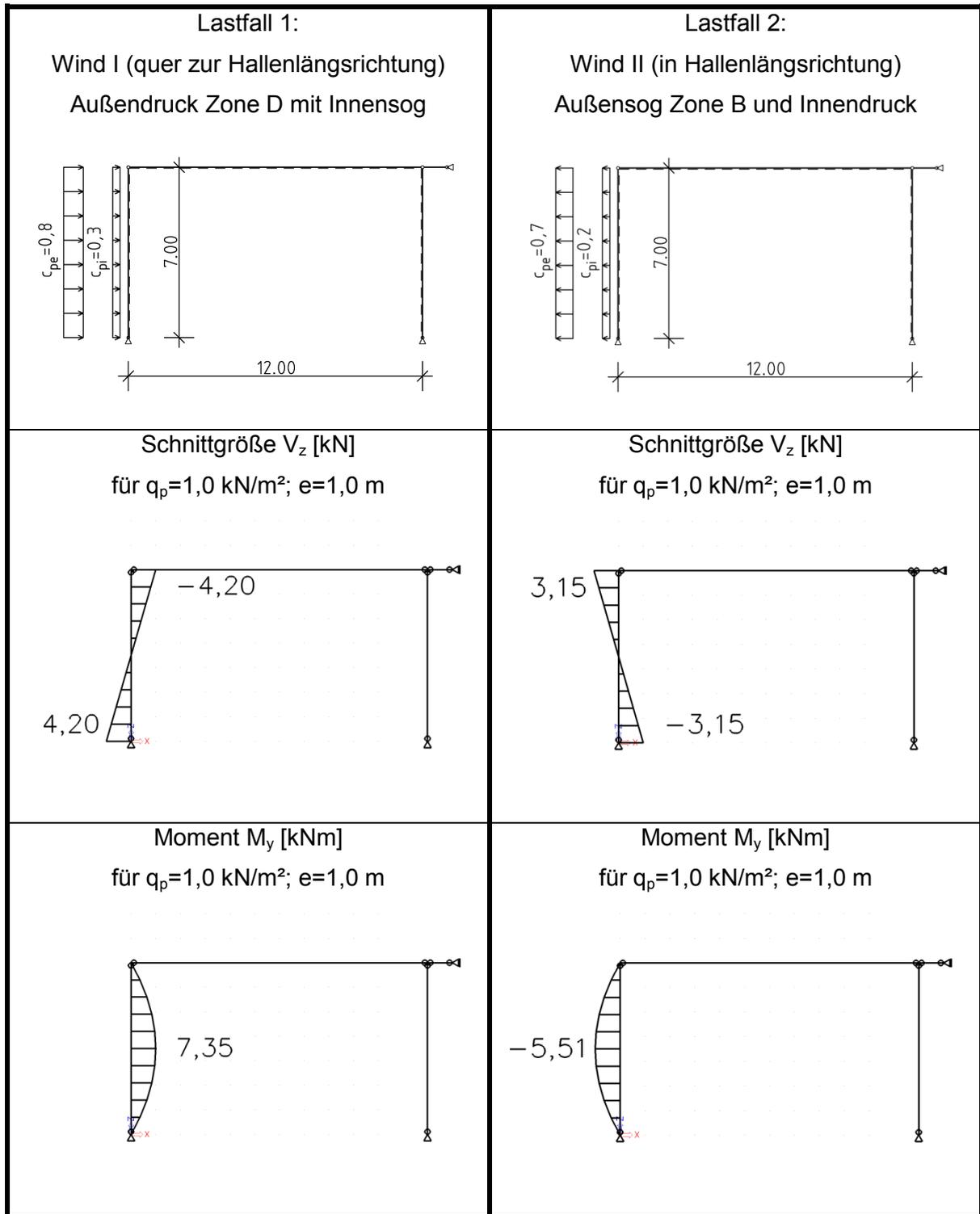


Abbildung 84: Schnittkräfte für Einzelstütze (Flachdach, Halle $h=7\text{m}$, $b=12\text{m}$)

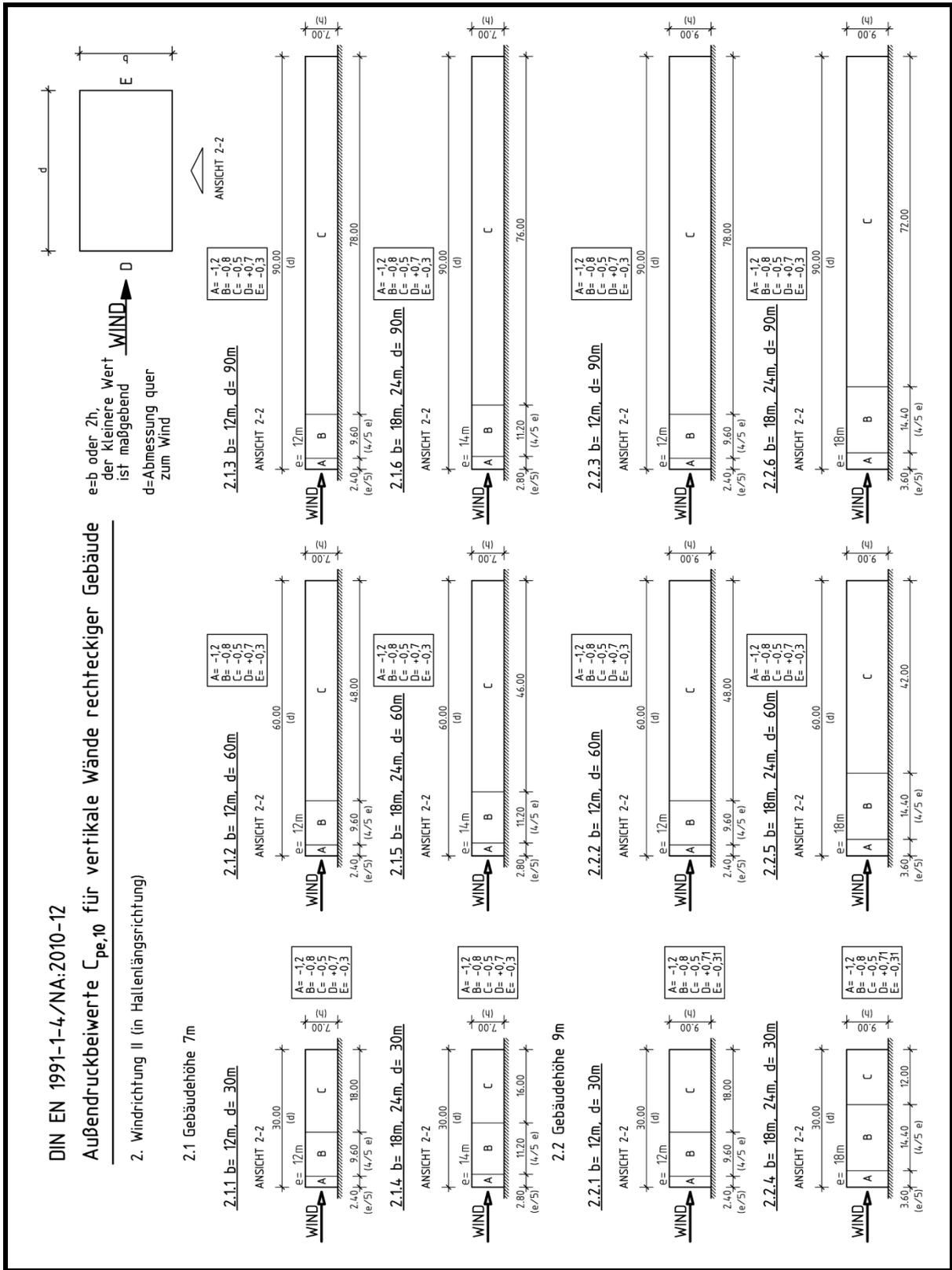


Abbildung 86: Wandzoneneinteilung bei Flachdächer $h = 7$ bzw. $9m$, Windrichtung II (DIN)

A.3.2.2 Zoneneinteilung für Wandflächen mit Satteldach (DIN EN 1991-1-4/NA)

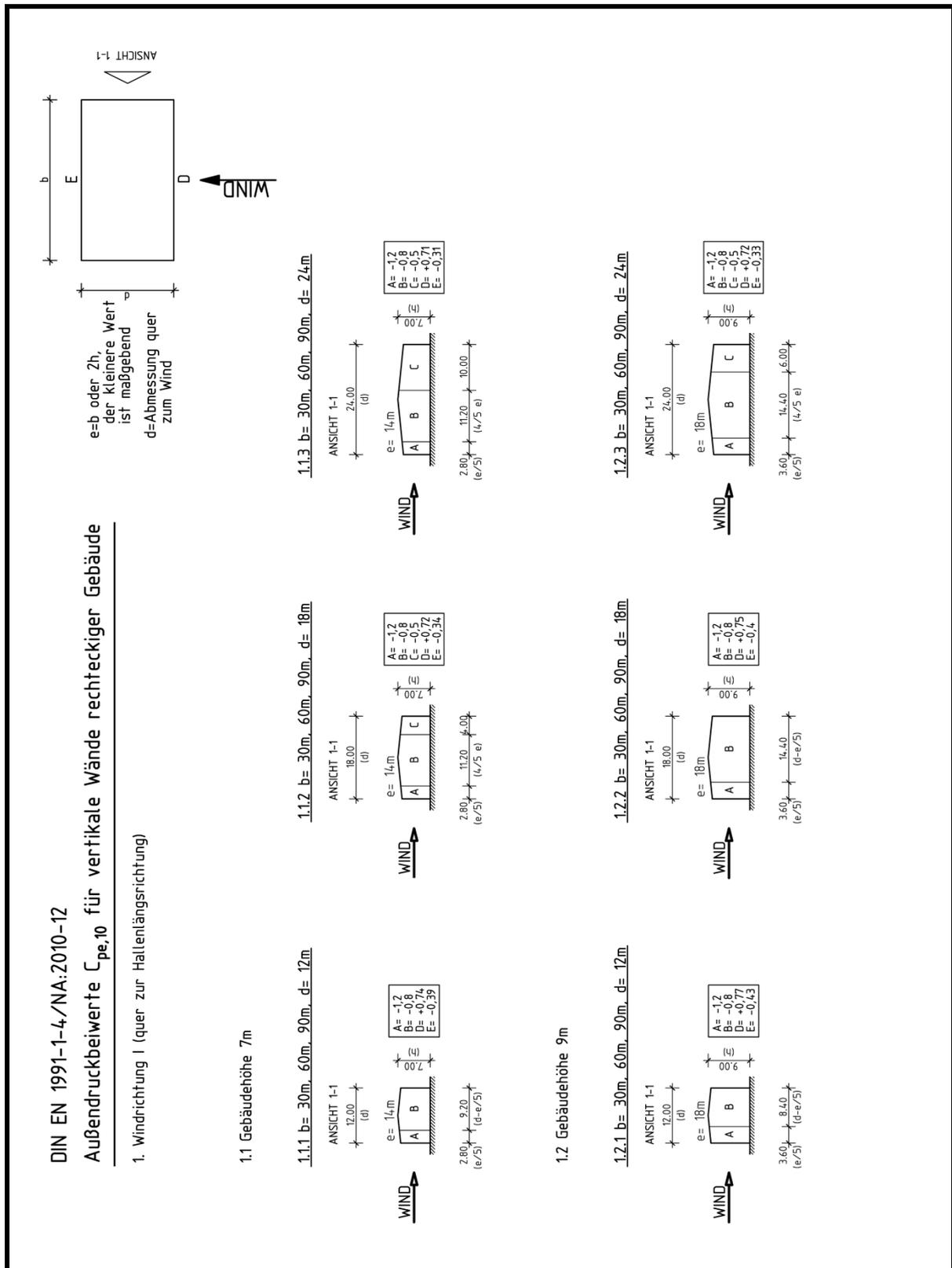


Abbildung 87: Wandzoneneinteilung bei Satteldächer $h=7$ bzw. $9m$, Windrichtung I (DIN)

A.3.2.3 Vereinfachte Windlastbilder für lokal belastete Einzelstützen

Gleich wie im Nationalen Anhang für Österreich, ist im Nationalen Anhang für Deutschland die Zoneneinteilung vom Randabstand e abhängig. Analog zu Kapitel A.3.1.3 wurde auf die Darstellung von Systemen mit Satteldach verzichtet.

Aus der Zoneneinteilung ist ersichtlich, dass der Außendruckbeiwert der Zone D für die hier untersuchten Hallen zwischen $+0,71$ und $+0,77$ liegt und vom Verhältnis h/d abhängig ist. Deshalb wurde der Außendruckbeiwert für die Zone D einheitlich mit $+0,8$ festgelegt. Wie für Österreich entsteht die maßgebende lokale Windbelastung für eine oben und unten gelenkig gelagerte Stütze einer 7m bzw. 9m hohe Halle durch die Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) und setzt sich wiederum aus dem Außendruckbeiwert der Zone D ($+0,8$) und dem Innensog ($-0,3$) zusammen. Der Außendruckbeiwert der Randzone A ($-1,2$) mit gleichzeitig wirkendem Innendruck ($+0,2$) liefert den höchsten Betrag, jedoch ist die Wandfläche, im Vergleich zu der Fläche zwischen 2 innenliegenden Regelstützen (z.B. Regelstützenabstand = 6m), deutlich kleiner. Das bedeutet, dass nur die Eckstütze der Giebelwand von dieser erhöhten Windbelastung betroffen ist. Bereits die randnahe Binderstütze liegt, bei üblichen Binderabständen $e \geq 6,0$ m, überwiegend in der Einflusszone B, sodass dann wieder die Einflusszone D aus der Windbelastung I (quer zur Hallenlängsrichtung) maßgebend wird. Für die nachfolgenden Ergebnisse wurde eine innenliegende 7m hohe Stütze nur mit Außen- und Innendruck belastet, wobei hierfür ein Böengeschwindigkeitsdruck q_p von $1,0 \text{ kN/m}^2$ und einer fiktiven Einflussbreite von $e=1,0$ m angenommen wurde. Auf die Berechnung einer 9m hohen Stütze wurde wiederum verzichtet, da sich die Ergebnisse nur betragsmäßig unterscheiden. Es sind wieder die Unterschiede zwischen dem Lastfall 1 [Außendruck Zone D ($\sim +0,8$) mit Innensog ($|-0,3|$)] und dem Lastfall 2 [Außensog Zone B ($|-0,8|$) mit Innendruck ($+0,2$)] dargestellt.

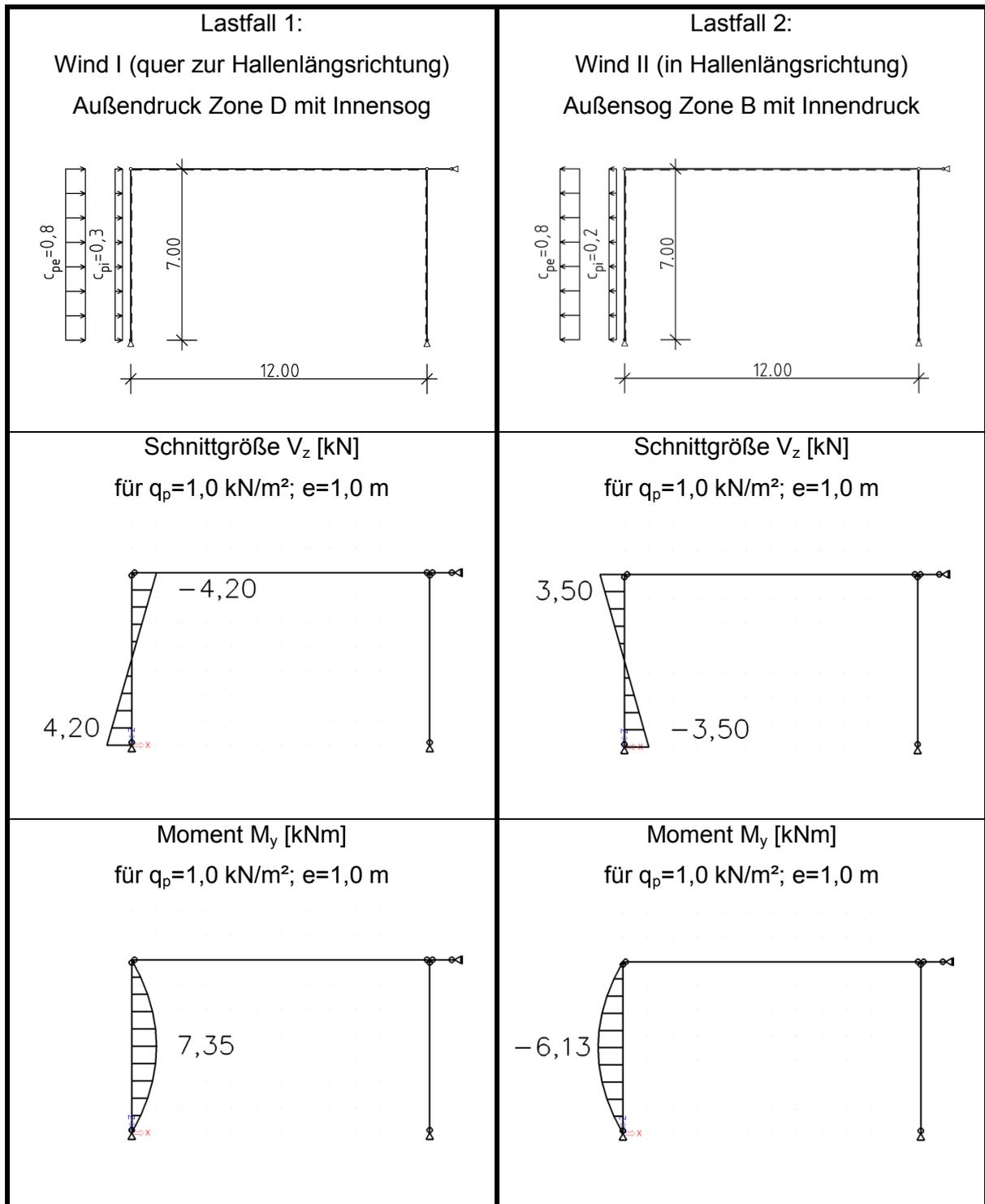


Abbildung 89: Schnittkräfte für Einzelstütze (Flachdach, Halle $h=7\text{m}$, $b=12\text{m}$)

A.4 KOMBINIERTE SYSTEME

A.4.1 Nationaler Anhang für Österreich

A.4.1.1 Rahmen mit einem eingespannten Stützenfuß und gelenkigen Rahmenecken

Um auf die maßgebliche Windeinwirkung für die Stützen zu kommen, wurde dieser Rahmen mit 3 Windlastfällen belastet. Das Dach wurde nicht mit Wind belastet, da diese Windbelastung durch die gelenkige Lagerung des Dachträgers, keinen Einfluss auf Momente und Querkräfte der Stütze bewirkt. Bei der Belastung wurde unterschieden zwischen:

- **Lastfall 1:** Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) von links und Innensog
- **Lastfall 2:** Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) von rechts und Innensog
- **Lastfall 3:** Windrichtung II (in Hallenlängsrichtung) und Innendruck

Für die nachfolgenden Berechnungen wurde wieder ein Böengeschwindigkeitsdruck q_p von $1,0 \text{ kN/m}^2$ mit einer fiktiven Einflussbreite von $1,0 \text{ m}$ angenommen. Die Berechnungen wurden nur für eine 7m hohe und 12m breite Halle durchgeführt, da für eine 9m hohe Halle der gleiche Windlastfall als maßgebend angesehen werden kann. Des Weiteren ist aus der Zoneneinteilung der Wandflächen (siehe A.3.1.1) ersichtlich, dass der Außendruckbeiwert der Zone E durch die Windrichtung I zwischen $-0,25$ und $-0,33$ liegt. Dieser wurde jedoch für die Berechnung nicht berücksichtigt, da dieser Außendruckbeiwert ($\sim -0,3$) noch mit dem Innensog ($+0,3$) zu überlagern ist, und dadurch nahezu zu Null wird. Für den Lastfall 3 wurde als Außendruckbeiwert die Zone B gewählt.

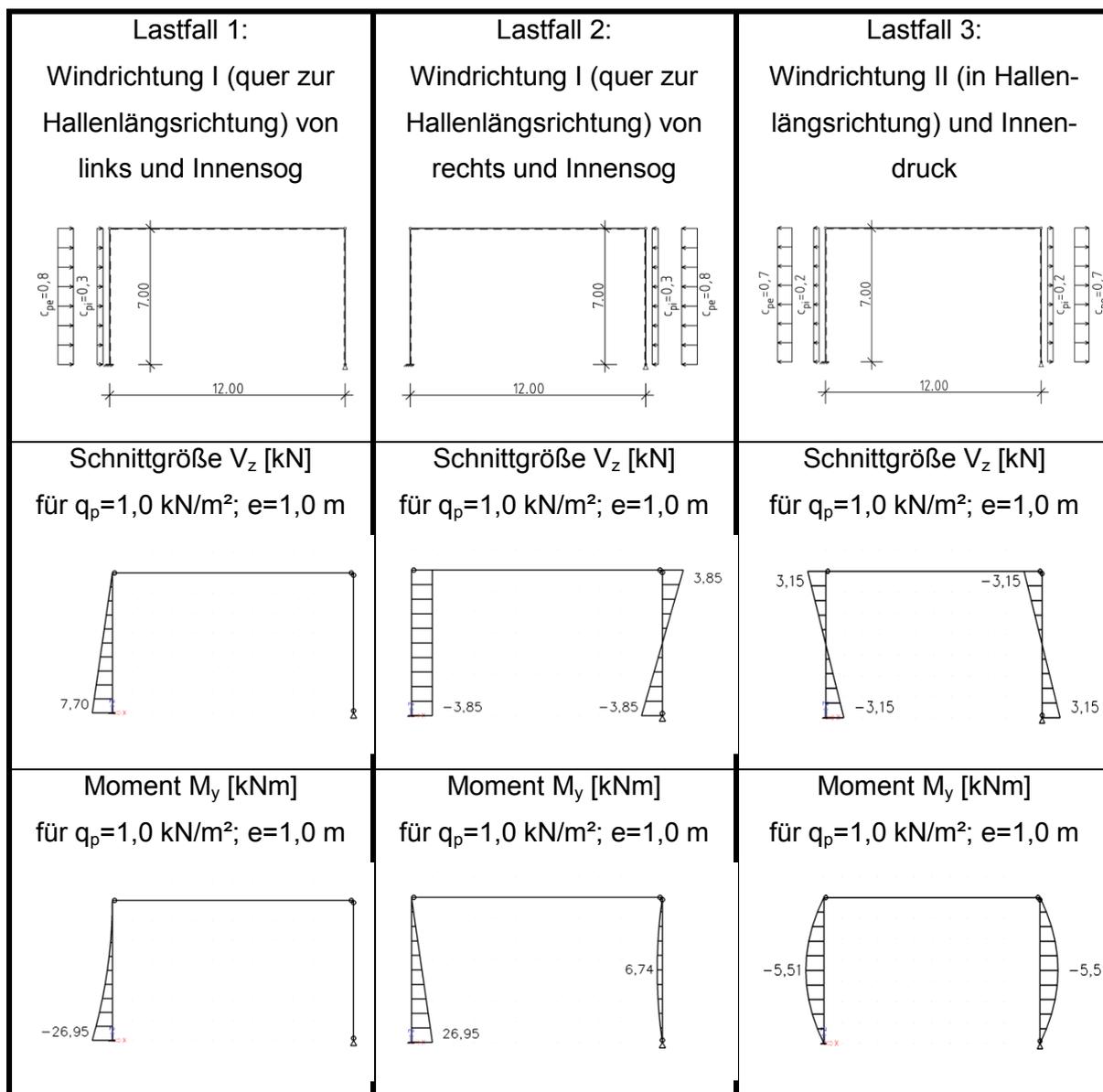


Abbildung 90: Schnittkräfte für Rahmen mit einem eingespannten Stützenfuß und gelenkigen Rahmenecken (ÖNORM, Flachdach, Halle $h=7\text{m}$, $b=12\text{m}$)

Die Lastfälle 1 und 2 liefern vom Betrag her die gleichen Ergebnisse, jedoch fällt beim Lastfall 2 der Momentenverlauf für die Stütze mit eingespannten Stützenfuß fülliger und somit ungünstiger aus. Aus den Schnittgrößen ist ersichtlich, dass der Lastfall 3 keine maßgebende Beanspruchung bewirkt. Somit kann der Lastfall 2 als maßgebend angesehen werden.

A.4.1.2 Rahmen mit eingespannten Stützenfüßen und gelenkigen Rahmenecken

Für dieses System wurden die gleichen Lastfälle wie für den Rahmen mit einem eingespannten Stützenfuß miteinander verglichen. Das Dach wurde nicht mit Wind belastet, da durch die Rahmengelenke des Trägers kein Einfluss auf Momente und Querkräfte der Stütze entsteht. Bei der Belastung wurde unterschieden zwischen:

- **Lastfall 1:** Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) von links und Innensog
- **Lastfall 2:** Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) von rechts und Innensog
- **Lastfall 3:** Windrichtung II (in Hallenlängsrichtung) und Innendruck

Für die nachfolgenden Berechnungen wurde wieder ein Böengeschwindigkeitsdruck q_p von $1,0 \text{ kN/m}^2$ mit einer fiktiven Einflussbreite von $1,0 \text{ m}$ angenommen. Die Berechnungen wurden nur für eine 7m hohe und 12m breite Halle durchgeführt. Des weiteren ist aus der Zoneneinteilung der Wandflächen (siehe A.3.1.1) ersichtlich, dass der Außendruckbeiwert der Zone E durch die Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) zwischen $-0,25$ und $-0,33$ liegt. Dieser wurde jedoch für die Berechnung nicht berücksichtigt, da dieser Außendruckbeiwert ($\sim -0,3$) noch mit dem Innensog ($+0,3$) zu überlagern ist, und dadurch nahezu zu Null wird. Für den Lastfall 3 wurde als maßgebende Wandfläche für den Außendruckbeiwert die Zone B gewählt.

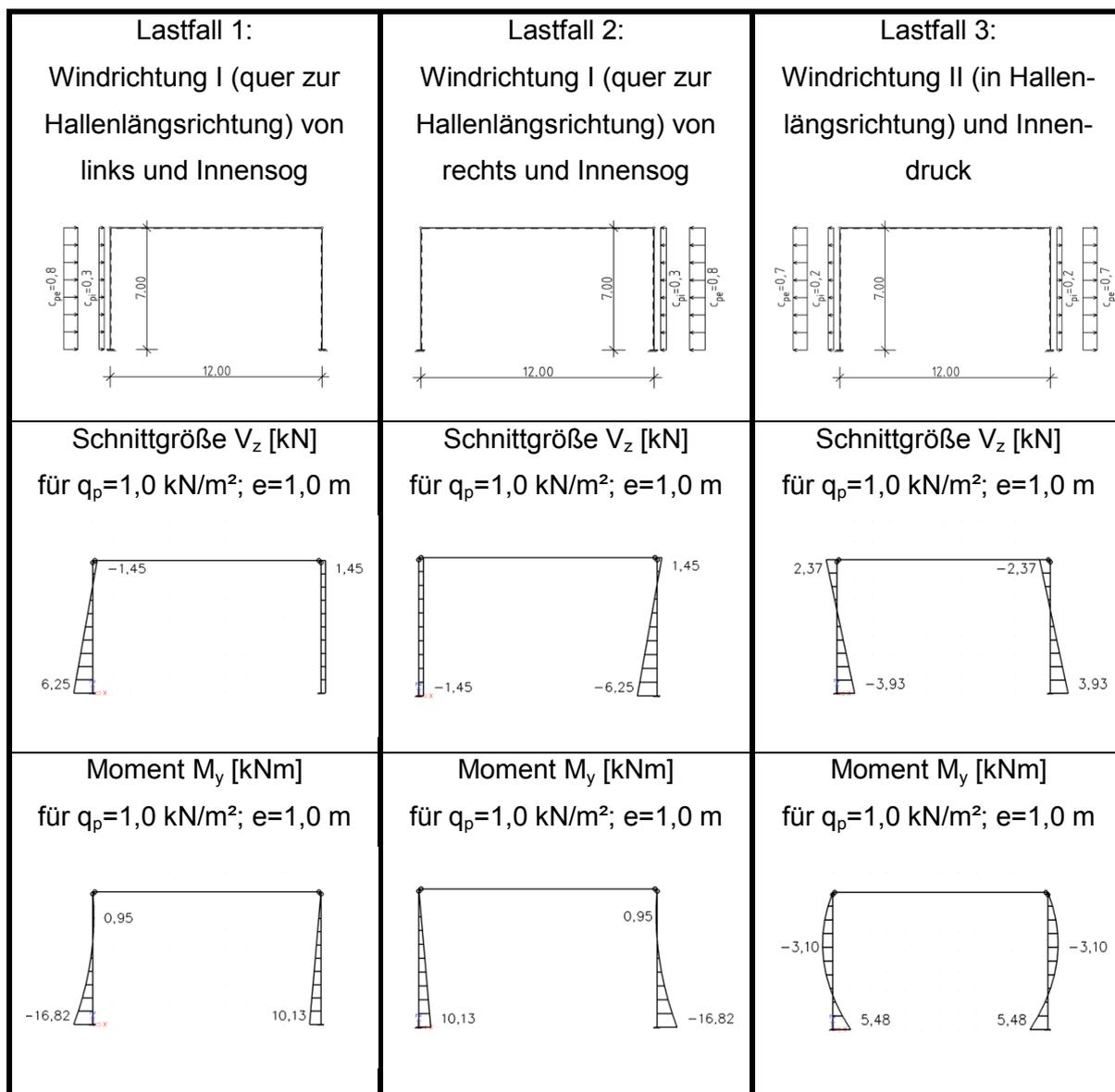


Abbildung 91: Schnittkräfte für Rahmen mit eingespannten Stützenfüßen und gelenkigen Rahmenecken (ÖNORM, Flachdach, Halle $h=7$ m, $b=12$ m)

Bei Rahmen mit eingespannten Stützenfüßen und gelenkigen Rahmenecken ist keine Unterscheidung zwischen Lastfall 1 und 2 notwendig, da diese die gleichen Beträge liefern und sich nur durch die Windangriffsrichtung unterscheiden. Im Vergleich zum Lastfall 1 oder 2 entsteht durch die Windrichtung II (Lastfall 3) für die Stütze kleinere Schnittkräfte, dadurch ist die maßgebende Windrichtung, die Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung).

A.4.1.3 Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken

Im Gegensatz zu den Rahmen in Punkt A.4.1.1 und A.4.1.2 ist es für den Zweigelenkrahmen notwendig, den Wind auf den Dachbinder mit zu berücksichtigen. Dafür wurde der bereits entwickelte Ersatzbeiwert c_A^* aus Punkt A.2.1.2 aufgebracht, da dieser die ungünstigste Sogbeanspruchung widerspiegelt, und für die meisten Hallen auch die erhöhte Beanspruchung durch $c_{Wind II}$ des ersten innenliegenden Rahmen abdeckt (vgl. Tabelle 1 und 2; Seite 20). Deshalb wurde nachfolgend auf eine Unterscheidung bezüglich $c_{Wind II}$ verzichtet. Für die Berechnung wurde der Wind in verschiedene Lastfälle aufgeteilt, um die daraus resultierenden Schnittkräfte übersichtlicher darstellen zu können. Es wird angemerkt, dass die einzelnen Lastfälle niemals alleine auftreten können, da durch Wind immer eine gleichzeitige Beanspruchung auf Stützen und Dachbinder erfolgt. Danach wurden die Rahmenecke $N2$ und $N3$ sowie die Mitte des Dachbinders m miteinander verglichen und kombiniert, um die ungünstigste Lastkombination zu erhalten. Die Ergebnisse der einzelnen Lastfälle sowie der Lastkombinationen gelten für einen innenliegenden Zweigelenkrahmen bei einem Böengeschwindigkeitsdruck q_p von $1,0 \text{ kN/m}^2$ und einer fiktiven Einflussbreite e von $1,0 \text{ m}$.

Es sind folgende Hallenkonstruktionen untersucht worden:

- Hallenhöhe 7m, Hallenbreite 12m
- Hallenhöhe 7m, Hallenbreite 24m

Da die Berechnung der Schnittkräfte von den Querschnitten des Dachbinders und der Stützen abhängig ist, wurden diese wie folgt festgelegt:

- Material: S 235
- für die 7m hohe und 12m breite Halle: Stützen HEA 260; Träger HEA 450
- für die 7m hohe und 24m breite Halle: Stützen HEA 450; Träger HEA 600

Außerdem wurde untersucht, ob die Momente durch Wind auf die Konstruktion maßgebend werden oder durch das Eigengewicht der Konstruktion abgedeckt werden.

Lastfälle Halle: h = 7m, b = 12m

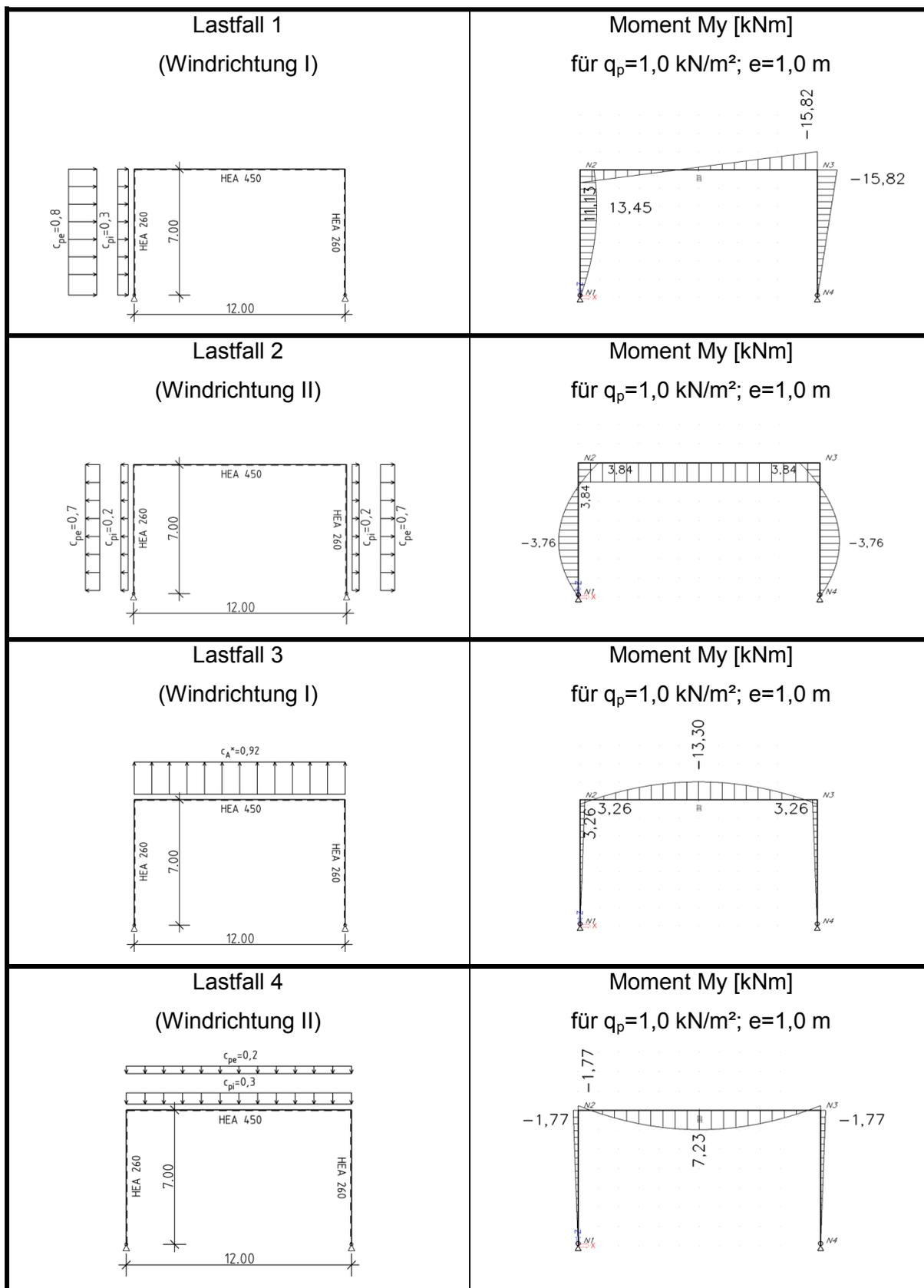


Abbildung 92: Schnittkräfte Lastfälle 1-4 für Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken (ÖNORM, Flachdach, Halle h= 7m, b= 12m)

LASTFALL 1:

Der Lastfall 1 liefert für $q_p = 1,0 \text{ kN/m}^2$; $e = 1,0 \text{ m}$ in der Rahmenecke $N2$ ein positives Moment und in der Rahmenecke $N3$ ein negatives Moment. In der Dachträgermitte m beträgt die Momentenschnittkraft $-2,35[\text{kNm}]$.

LASTFALL 2:

Durch den Lastfall 2 stellt sich ein konstant verlaufendes Moment für die Trägerlänge und eine symmetrische Momentverteilung der Stützen ein.

LASTFALL 3:

Der dritte Lastfall bewirkt in der Trägermitte m ein negatives Moment ($-13,30[\text{kNm}]$), in den Rahmenecken $N2$ und $N3$ ein positives Moment.

LASTFALL 4:

Durch die, im Vergleich zu Lastfall 3, gespiegelte Einwirkung tritt in der Mitte des Dachbinders ein positives und an den Rahmenecken ein negatives Moment auf.

Maßgebende Lastfallkombination Wind:

Das größte positive Moment für die Rahmenecke $N2$ und für den Dachträger entsteht durch die Kombination von Lastfall 1 und 3. Das größte negative Moment für die Rahmenecke $N3$ würde durch alleiniger Wirkung von Lastfall 1 entstehen, dies ist jedoch nicht möglich, da immer eine Windbelastung auf den Dachbinder mit zu berücksichtigen ist. Die Berechnung der nachfolgend angeführten Ergebnisse erfolgten mit einem Böengeschwindigkeitsdruck q_p von $1,0 \text{ kN/m}^2$ und einer fiktiven Einflussbreite von $1,0 \text{ m}$ und gelten wiederum für einen innenliegenden Zweigelenrahmen.

Lastfallkombination 1: Lastfall 1 mit Lastfall 3

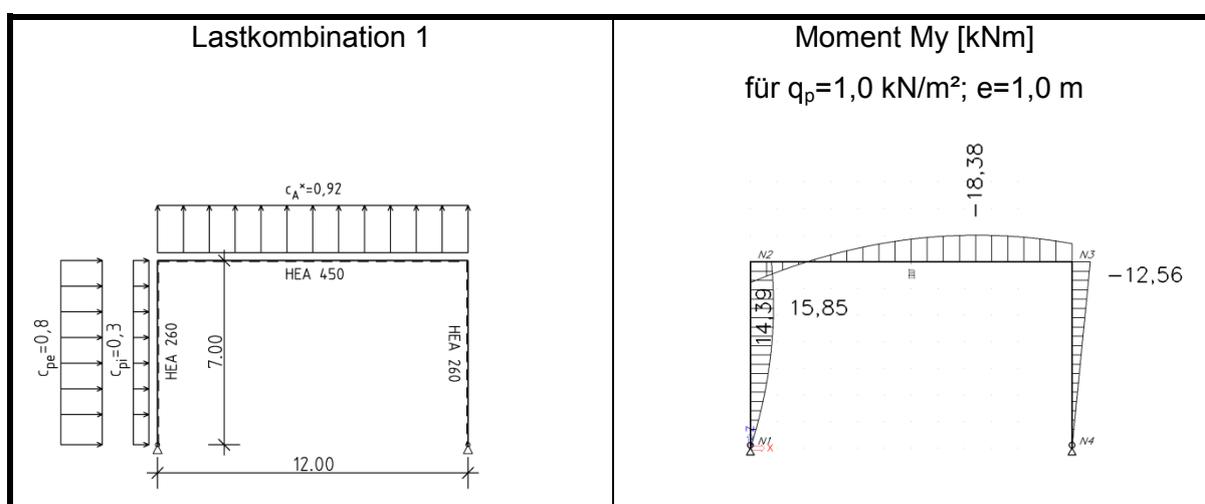


Abbildung 93: Schnittkräfte Lastfallkombination 1 für Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken (ÖNORM, Flachdach, Halle $h=7\text{m}$, $b=12\text{m}$)

Überlagerung der Windeinwirkung mit dem Eigengewicht

Für die Berechnung wurden die Schnittkräfte aus der Lastfallkombination 1 mit dem Eigengewicht überlagert. Die Schnittkräfte des Eigengewichts wurden dem Lastfall 4 entnommen und um den Faktor 2 erhöht, da die Wirkungsrichtung gleich ist, aber mit 0,5 als Einwirkungsgröße berechnet wurde. Bei der Kombination wirkt sich das Eigengewicht günstig aus, daher ist als Beiwert $\gamma = 1,0$ anzusetzen.

Folgende Annahmen wurden für den Vergleich gewählt:

- Hallenhöhe = 7m; Hallenbreite = 12m; Regelbinderabstand = 6m
- Windlast: $v_{b,0} = 25$ [m/s]; Geländekategorie II
- Eigengewicht:
 - Pfetten + Dachhaut..... $g_{k,1} = 0,40$ kN/m² $\rightarrow 0,4 \cdot 6 = 2,40$ kN/m
 - Träger (HEA 450)..... $g_{k,2} = 1,40$ kN/m
- Material: Stahl S 235

BERECHNUNG:

1. Basisgeschwindigkeitsdruck $q_{b,0}$

$$q_{b,0} = 1/2 \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 390 \text{ Pa} = 0,39 \text{ kPa} = 0,39 \text{ kN/m}^2$$

2. Böengeschwindigkeitsdruck q_p für Geländekategorie II

$$z_e = h = 7 \text{ m} > z_{\min} = 5 \text{ m}$$

$$\frac{q_p}{q_{b,0}} = 2,1 * \left(\frac{z}{10}\right)^{0,24}$$

$$\frac{q_p}{0,39} = 2,1 * \left(\frac{7}{10}\right)^{0,24}$$

$$q_p = 0,39 * 1,93 = 0,75 \text{ kN/m}^2 \rightarrow 0,75 * 6 = 4,50 \text{ kN/m}$$

4. Momente aus Lastfall 4 mit Eigengewicht

$$M_{N2,g,k} = M_{N3,g,k} = 2 * [-1,77 * (2,4 + 1,4)] = -13,45 \text{ kNm}$$

$$M_{m,g,k} = 2 * [7,23 * (2,4 + 1,4)] = 54,95 \text{ kNm}$$

5. Momente aus der Lastfallkombination 1 mit Windbelastung q_p

$$M_{N2,qp,k} = 14,39 * 4,5 = 64,76 \text{ kNm}$$

$$M_{m,qp,k} = (-13,30 + -2,35) * 4,5 = -70,43 \text{ kNm}$$

$$M_{N3,qp,k} = -12,56 * 4,5 = -56,52 \text{ kNm}$$

6. Kombination von Wind und Eigengewicht

$$M_{N2,d} = \gamma_{G,inf} * M_{N2,g,k} + \gamma_Q * M_{N2,qp,k}$$

$$M_{N2,d} = 1,0 * -13,45 + 1,5 * 64,76 = +83,69 \text{ kNm}$$

$$M_{m,d} = \gamma_{G,inf} * M_{m,g,k} + \gamma_Q * M_{m,qp,k}$$

$$M_{m,d} = 1,0 * 54,95 + 1,5 * -70,43 = -50,70 \text{ kNm}$$

$$M_{N3,d} = \gamma_{G,inf} * M_{N3,g,k} + \gamma_Q * M_{N3,qp,k}$$

$$M_{N3,d} = 1,0 * -13,45 + 1,5 * -56,52 = -98,23 \text{ kNm}$$

Aus der Kombination ist ersichtlich, dass das Moment in der Rahmenecke *N2* und in der Trägermitte *m* nicht durch das Eigengewicht aufgehoben wird. Für die Rahmenecke *N3* bewirkt das Eigengewicht eine Steigerung, da sowohl die Lastfallkombination 1 wie auch der Lastfall 4 ein negatives Moment bewirken.

Lastfälle für eine Halle: $h = 7\text{m}$, $b = 24\text{m}$

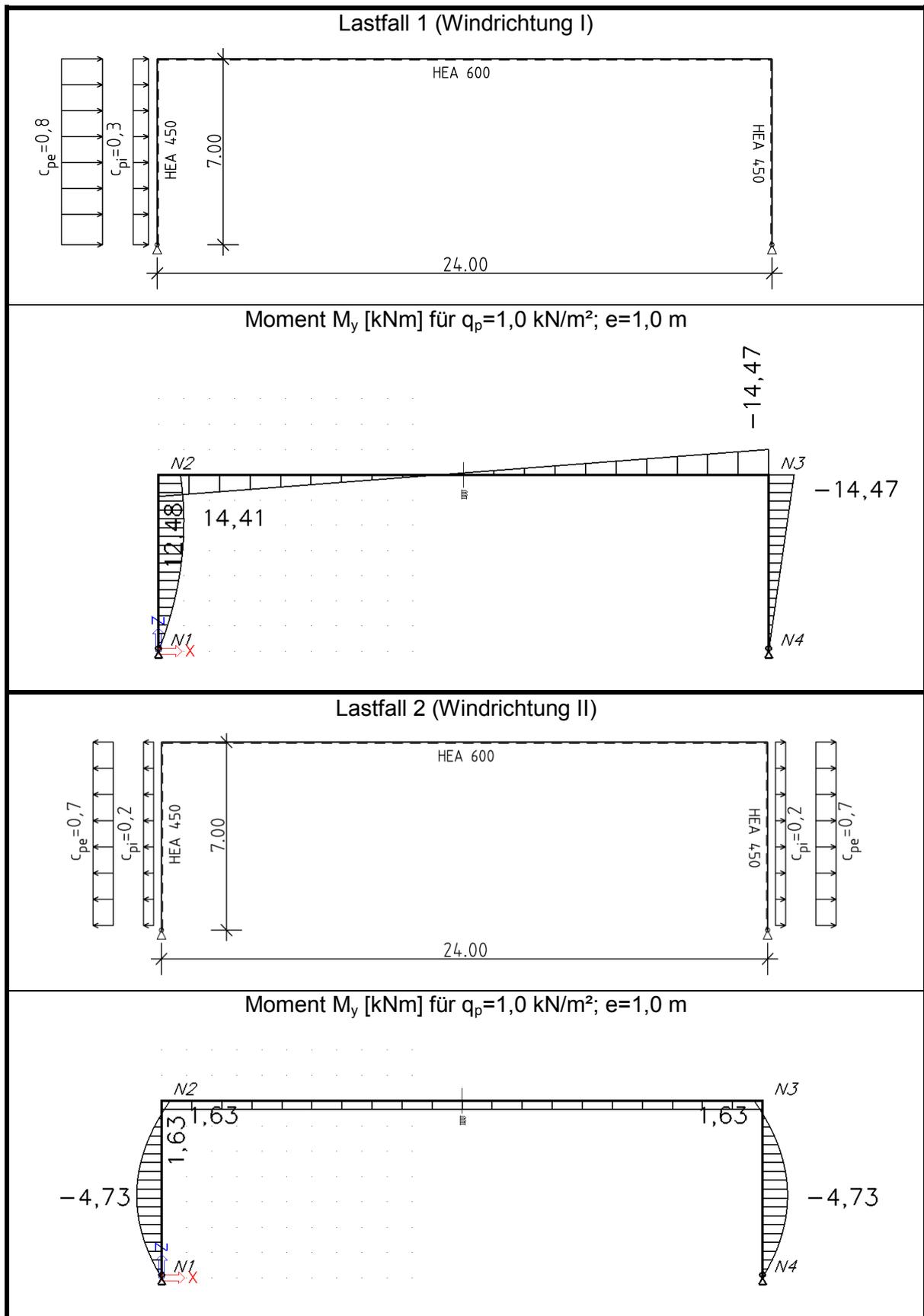


Abbildung 94: Schnittkräfte Lastfälle 1-2 für Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken (ÖNORM, Flachdach, Halle $h = 7\text{m}$, $b = 24\text{m}$)

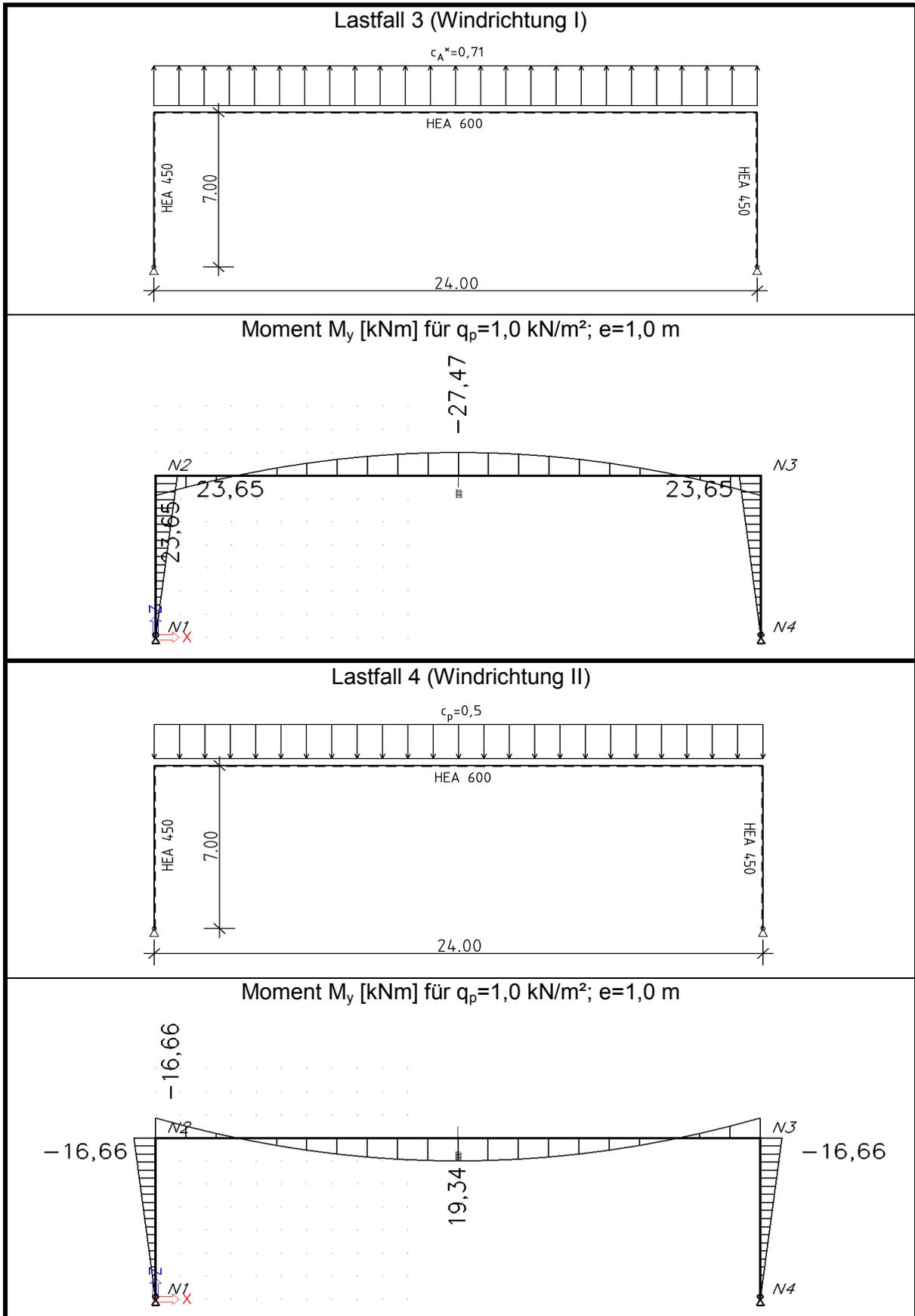


Abbildung 95: Schnittkräfte Lastfälle 3-4 für Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken (ÖNORM, Flachdach, Halle $h=7$ m, $b=24$ m)

LASTFALL 1:

Der Lastfall 1 liefert in der Rahmenecke $N2$ ein positives Moment und in der Rahmenecke $N3$ ein negatives Moment. In der Dachträgermitte m beträgt das Moment $-1,00[\text{kNm}]$.

LASTFALL 2:

Durch den Lastfall 2 stellt sich ein konstant verlaufendes Moment für die Trägerlänge und eine symmetrische Momentverteilung der Stützen ein.

LASTFALL 3:

Der dritte Lastfall bewirkt in der Trägermitte m ein negatives Moment ($-27,47[\text{kNm}]$) und in den Rahmenecken $N2$ und $N3$ ein positives Moment ($23,65[\text{kNm}]$).

LASTFALL 4:

Durch die, im Vergleich zu Lastfall 3, gespiegelte Einwirkung tritt in der Mitte des Dachbinders ein positives und an den Rahmenecken ein negatives Moment auf.

Maßgebende Lastfallkombination:

Die Kombination von Lastfall 1 mit Lastfall 4 bzw. die Kombination von Lastfall 2 mit Lastfall 3 ist wie für die 7m hohe und 12m breite Halle nicht möglich, da sie sich durch die Windangriffsrichtung unterscheiden; dadurch ist nur eine Kombination von Lastfall 1 mit Lastfall 3 bzw. Lastfall 2 mit Lastfall 4 möglich. Auf die Unterscheidung zwischen Innendruck und Innensog wurde verzichtet, da die hier angeführten einzelnen Lastfälle die ungünstigste Einwirkung für einen Bauteil darstellen.

Aus diesen Überlegungen ist ersichtlich, dass das größte positive Moment für die Rahmenecke $N2$ durch den Lastfall 1 mit Lastfall 3 entsteht. Die Berechnung der nachfolgend angeführten Ergebnisse erfolgten mit einem Böengeschwindigkeitsdruck q_p von $1,0 \text{ kN/m}^2$ und einer fiktiven Einflussbreite von $1,0 \text{ m}$ und gelten wiederum für einen innenliegenden Zweigelenrahmen.

Lastfallkombination 1: Lastfall 1 mit Lastfall 3

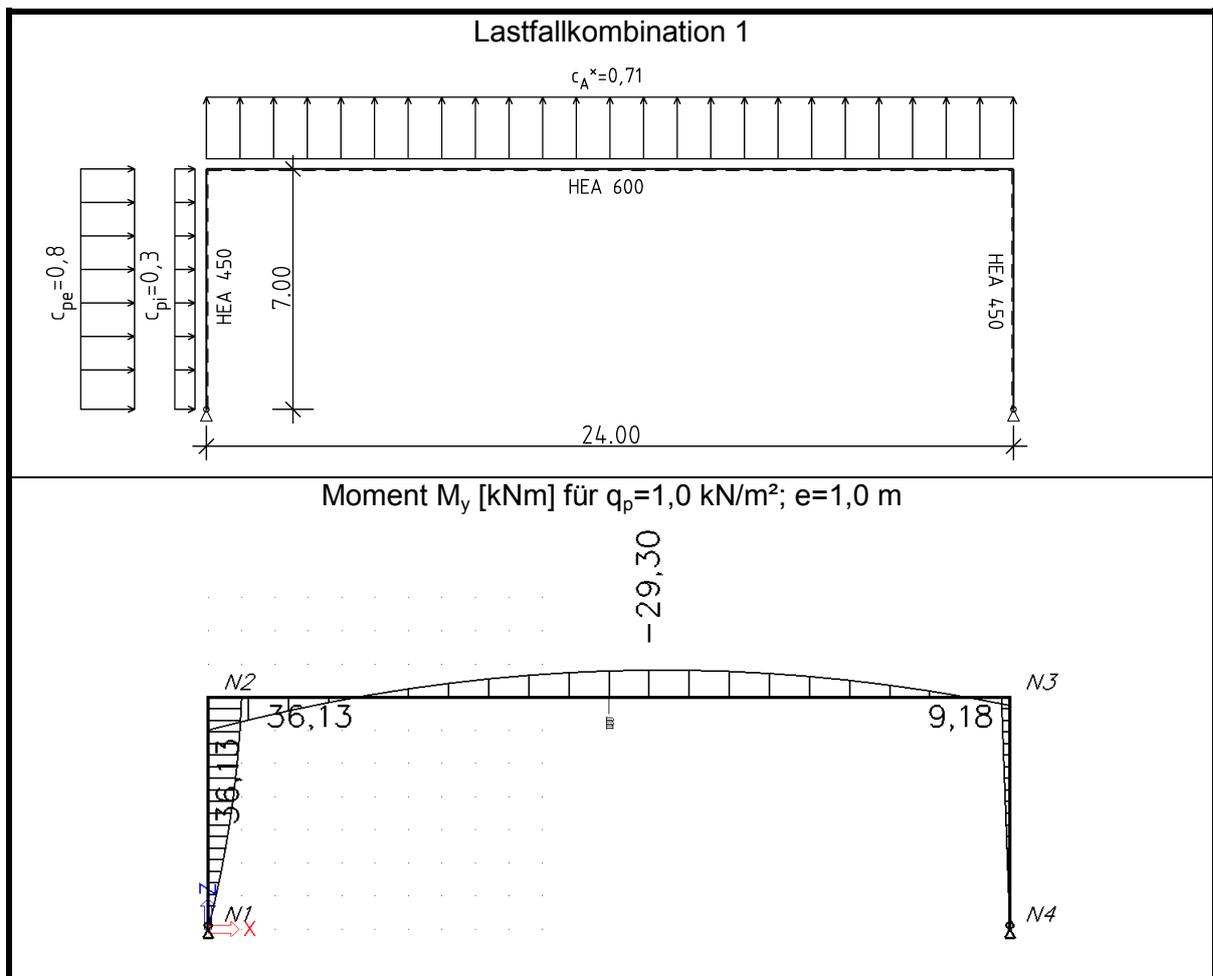


Abbildung 96: Schnittkräfte Lastfallkombination 1 für Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken (ÖNORM, Flachdach, Halle $h = 7 \text{ m}$, $b = 24 \text{ m}$)

Überlagerung der Windeinwirkung mit dem Eigengewicht

Für die Berechnung wurden die Schnittkräfte aus der Lastfallkombination 1 mit dem Eigengewicht überlagert. Die Schnittkräfte des Eigengewichts wurden dem Lastfall 4 entnommen und um den Faktor 2 erhöht, da die Wirkungsrichtung gleich ist, aber mit 0,5 als Einwirkungsgröße berechnet wurde. Bei der Kombination wirkt sich das Eigengewicht günstig aus, daher ist als Beiwert 1,0 anzusetzen.

Folgende Annahmen wurden für den Vergleich gewählt:

- Hallenhöhe = 7m; Hallenbreite = 24m; Regelbinderabstand = 6m
- Windlast: $v_{b,0} = 25$ [m/s] ; Geländekategorie II
- Eigengewicht:
 - Pfetten + Dachhaut..... $g_{k,1} = 0,40$ kN/m² → $0,4 \cdot 6 = 2,40$ kN/m
 - Träger (HEA 600)..... $g_{k,2} = 1,80$ kN/m
- Material: Stahl S 235

BERECHNUNG:

1. Basisgeschwindigkeitsdruck $q_{b,0}$

$$q_{b,0} = 1/2 \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 390 \text{ Pa} = 0,39 \text{ kPa} = 0,39 \text{ kN/m}^2$$

2. Böengeschwindigkeitsdruck q_b für Geländekategorie II

$$z_e = h = 7 \text{ m} > z_{\min} = 5 \text{ m}$$

$$\frac{q_p}{q_{b,0}} = 2,1 * \left(\frac{z}{10}\right)^{0,24}$$

$$\frac{q_p}{0,39} = 2,1 * \left(\frac{7}{10}\right)^{0,24}$$

$$q_p = 0,39 * 1,93 = 0,75 \text{ kN/m}^2 \rightarrow 0,75 * 6 = 4,50 \text{ kN/m}$$

4. Momente aus Lastfall 4 mit Eigengewicht

$$M_{N2,g,k} = M_{N3,g,k} = 2 * [-16,66 * (2,4 + 1,8)] = -139,94 \text{ kNm}$$

$$M_{m,g,k} = 2 * [19,34 * (2,4 + 1,8)] = 162,46 \text{ kNm}$$

5. Momente aus der Lastfallkombination 1 mit Windbelastung q_p

$$M_{N2,qp,k} = 36,13 * 4,5 = 162,59 \text{ kNm}$$

$$M_{m,qp,k} = (-27,47 + -1,0) * 4,5 = -128,12 \text{ kNm}$$

$$M_{N3,qp,k} = 9,18 * 4,5 = 41,31 \text{ kNm}$$

6. Kombination von Wind und Eigengewicht

$$M_{N2,d} = \gamma_{G,inf} * M_{N2,g,k} + \gamma_Q * M_{N2,qp,k}$$

$$M_{N2,d} = 1,0 * -139,94 + 1,5 * 162,59 = +103,95 \text{ kNm}$$

$$M_{m,d} = \gamma_{G,inf} * M_{m,g,k} + \gamma_Q * M_{m,qp,k}$$

$$M_{m,d} = 1,0 * 162,46 + 1,5 * -128,12 = -29,72 \text{ kNm}$$

$$M_{N3,d} = \gamma_{G,inf} * M_{N3,g,k} + \gamma_Q * M_{N3,qp,k}$$

$$M_{N3,d} = 1,0 * -139,94 + 1,5 * 41,31 = -77,98 \text{ kNm}$$

Das Eigengewicht deckt nur das Moment aus Wind in der Rahmenecke *N3* ab. In Trägermitte *m* sowie in der Rahmenecke *N2* bewirkt das Eigengewicht eine Reduzierung der Momentenbelastung.

A.4.2 Nationaler Anhang für Deutschland

A.4.2.1 Rahmen mit einem eingespannten Stützenfuß und gelenkigen Rahmenecken

Um auf die maßgebliche Windeinwirkung für die Stützen zu kommen, wurde dieser Rahmen, wie für Österreich mit 3 Windlastfällen belastet. Das Dach wurde nicht mit Wind belastet, da diese Windbelastung durch die gelenkige Lagerung des Dachträgers, keinen Einfluss auf Momente und Querkräfte der Stütze bewirkt. Bei der Belastung wurde unterschieden zwischen:

- **Lastfall 1:** Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) von links und Innensog
- **Lastfall 2:** Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) von rechts und Innensog
- **Lastfall 3:** Windrichtung II (in Hallenlängsrichtung) und Innendruck

Für die nachfolgenden Berechnungen wurde wieder ein Böengeschwindigkeitsdruck q_p von $1,0 \text{ kN/m}^2$ mit einer fiktiven Einflussbreite von $1,0 \text{ m}$ angenommen. Die Berechnungen wurden nur für eine 7 m hohe und 12 m breite Halle durchgeführt, da für eine 9 m hohe Halle der gleiche Windlastfall als maßgebend angesehen werden kann. Des weiteren ist aus der Zoneneinteilung der Wandflächen (siehe A.3.2.1) ersichtlich, dass der Außendruckbeiwert der Zone E durch die Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) zwischen $-0,31$ und $-0,43$ liegt. Dieser wurde jedoch für die Berechnung nicht berücksichtigt, da dieser Außendruckbeiwert noch mit dem Innensog ($+0,3$) zu überlagern ist, und der Außendruckbeiwert der Zone D mit $+0,8$ angenommen wurde. Für den Lastfall 3 wurde für die Wandfläche der Außendruckbeiwert die Zone B gewählt.

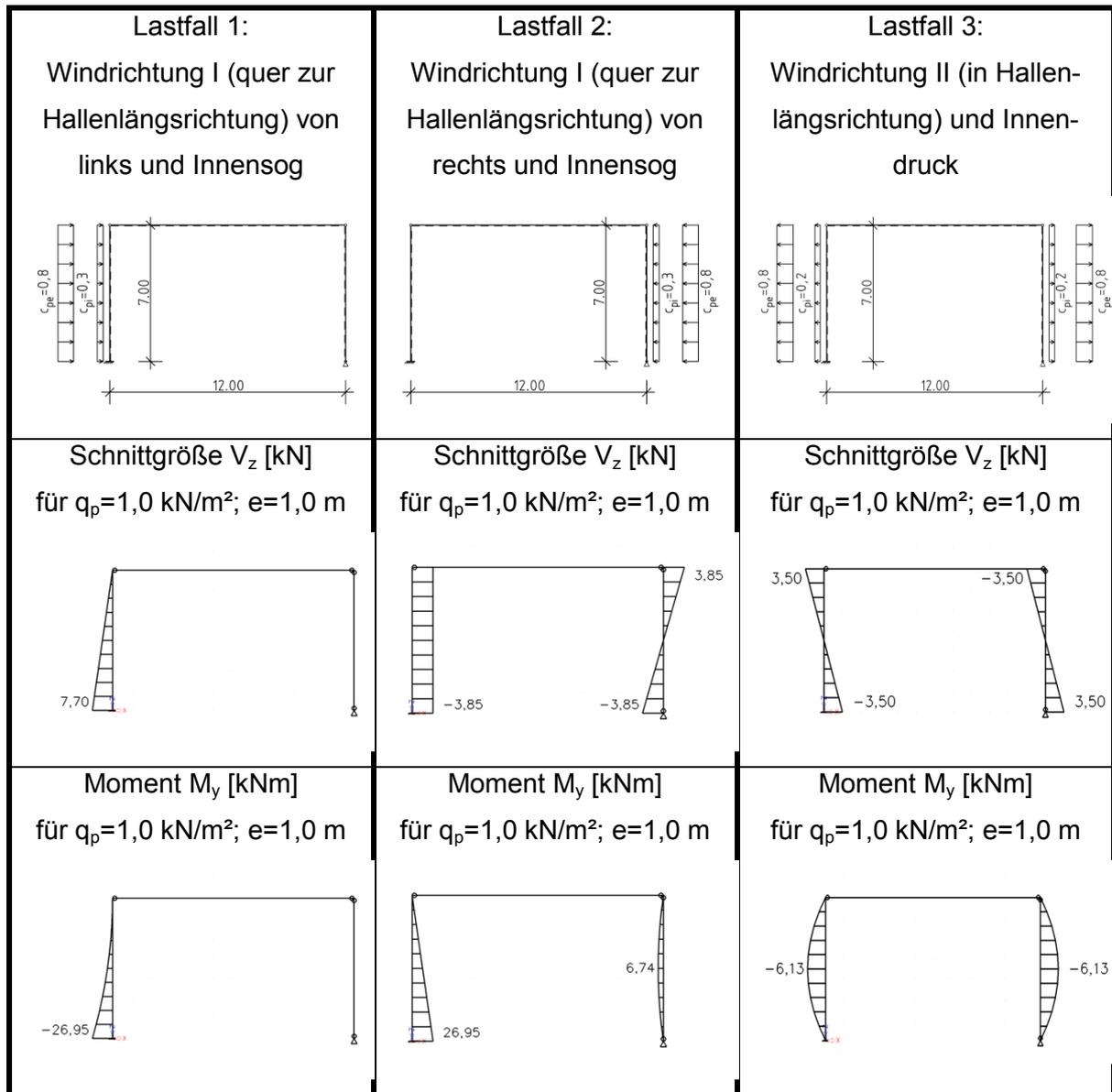


Abbildung 97: Schnittkräfte für Rahmen mit einem eingespannten Stützenfuß und gelenkigen Rahmenecken (DIN, Flachdach, Halle $h=7$ m, $b=12$ m)

Die Lastfälle 1 und 2 liefern vom Betrag her die gleichen Ergebnisse, jedoch fällt beim Lastfall 2 der Momentenverlauf für die Stütze mit eingespannten Stützenfuß fülliger und somit ungünstiger aus. Aus den Schnittgrößen ist ersichtlich, dass der Lastfall 3 keine maßgebende Beanspruchung bewirkt. Somit kann der Lastfall 2 als maßgebend angesehen werden.

A.4.2.2 Rahmen mit eingespannten Stützenfüßen und gelenkigen Rahmenecken

Für dieses System wurden die gleichen Lastfälle wie für den Rahmen mit einem eingespannten Stützenfuß miteinander verglichen. Das Dach wurde nicht mit Wind belastet, da durch die Rahmengelenke des Trägers kein Einfluss auf Momente und Querkräfte der Stütze entsteht. Bei der Belastung wurde unterschieden zwischen:

- **Lastfall 1:** Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) von links und Innensog
- **Lastfall 2:** Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) von rechts und Innensog
- **Lastfall 3:** Windrichtung II (in Hallenlängsrichtung) und Innendruck

Für die nachfolgenden Berechnungen wurde wieder ein Böengeschwindigkeitsdruck q_p von $1,0 \text{ kN/m}^2$ mit einer fiktiven Einflussbreite von $1,0 \text{ m}$ angenommen. Die Berechnungen wurden nur für eine 7m hohe und 12m breite Halle durchgeführt, da für eine 9m hohe Halle der gleiche Windlastfall als maßgebend angesehen werden kann. Des Weiteren ist aus der Zoneneinteilung der Wandflächen (siehe A.3.2.1) ersichtlich, dass der Außendruckbeiwert der Zone E durch die Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) zwischen $-0,31$ und $-0,43$ liegt. Dieser wurde jedoch für die Berechnung nicht berücksichtigt, da dieser Außendruckbeiwert noch mit dem Innensog ($+0,3$) zu überlagern ist, und für den Außendruckbeiwert der Zone D $+0,8$ angenommen wurde. Für den Lastfall 3 wurde als maßgebende Wandfläche für den Außendruckbeiwert die Zone B gewählt.

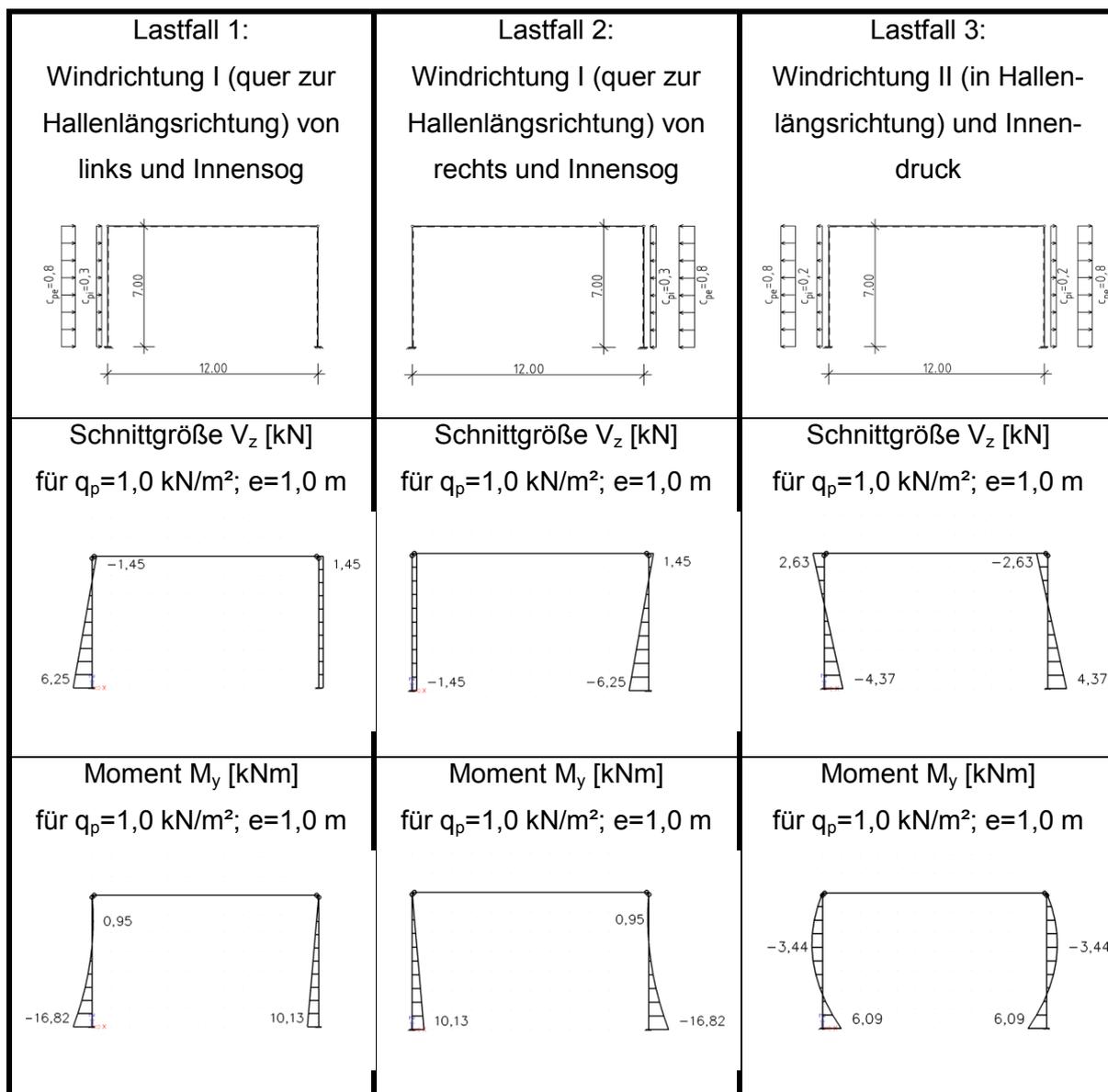


Abbildung 98: Schnittkräfte für Rahmen mit eingespannten Stützenfüßen und gelenkigen Rahmenecken (DIN, Flachdach, Halle $h=7\text{m}$, $b=12\text{m}$)

Bei Rahmen mit eingespannten Stützenfüßen und gelenkigen Rahmenecken ist keine Unterscheidung zwischen Lastfall 1 und 2 notwendig, da diese die gleichen Beträge liefern und sich nur in der Windangriffsrichtung unterscheiden. Im Vergleich zum Lastfall 1 oder 2 entsteht durch die Windrichtung II (Lastfall 3) für die Stütze kleinere Schnittkräfte, dadurch ist die maßgebende Windrichtung die Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung).

A.4.2.3 Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken

Im Gegensatz zu den Rahmen in Punkt A.4.2.1 und A.4.2.2 ist es für den Zweigelenrahmen notwendig, den Wind auf den Dachbinder mit zu berücksichtigen. Dafür wurde der bereits entwickelte Ersatzbeiwert c_A^* aus Punkt A.2.2.1 aufgebracht, da dieser die ungünstigste Sogbeanspruchung widerspiegelt, und für die hieruntersuchten Hallen auch die erhöhte Beanspruchung durch $c_{Wind II}$ des ersten innenliegenden Rahmen abdeckt (vgl. Tabelle 5 und 6; Seite 53). Deshalb wurde nachfolgend auf eine Unterscheidung bezüglich $c_{Wind II}$ verzichtet. Für die Berechnung wurde der Wind in verschiedene Lastfälle aufgeteilt, um die daraus resultierenden Schnittkräfte übersichtlicher darstellen zu können. Es wird angemerkt, dass die einzelnen Lastfälle niemals alleine auftreten können, da durch Wind immer eine gleichzeitige Beanspruchung auf Stützen und Dachbinder erfolgt. Danach wurden die Rahmenecke $N2$ und $N3$ sowie die Mitte des Dachbinders m miteinander verglichen und kombiniert, um die ungünstigste Lastkombination zu erhalten. Die Ergebnisse der einzelnen Lastfälle sowie der Lastkombinationen gelten für einen innenliegenden Zweigelenrahmen bei einem Böengeschwindigkeitsdruck q_p von $1,0 \text{ kN/m}^2$ und einer fiktiven Einflussbreite e von $1,0 \text{ m}$.

Es sind folgende Hallenkonstruktionen untersucht worden:

- Hallenhöhe 7m, Hallenbreite 12m
- Hallenhöhe 7m, Hallenbreite 24m

Da die Berechnung der Schnittkräfte von den Querschnitten des Dachbinders und der Stützen abhängig ist, wurden diese wie folgt festgelegt:

- Material: S 235
- für die 7m hohe und 12m breite Halle: Stützen HEA 260; Träger HEA 450
- für die 7m hohe und 24m breite Halle: Stützen HEA 450 ; Träger HEA 600

Außerdem wurde untersucht, ob die Momente durch Wind auf die Konstruktion maßgebend werden oder durch das Eigengewicht der Konstruktion abgedeckt werden.

Lastfälle für eine Halle: $h = 7\text{m}$, $b = 12\text{m}$

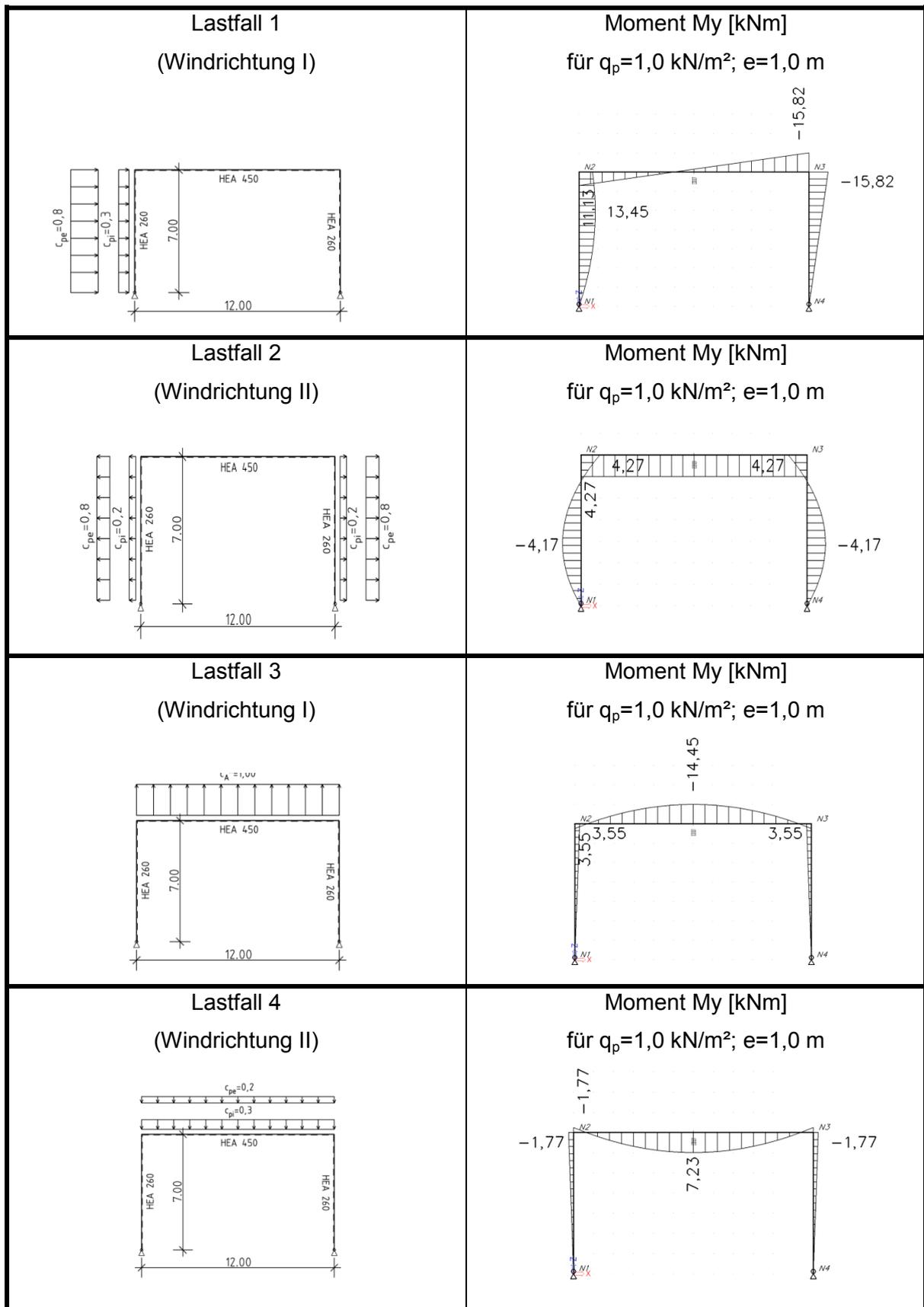


Abbildung 99: Schnittkräfte Lastfälle 1-4 für Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken (DIN, Flachdach, Halle $h = 7\text{m}$, $b = 12\text{m}$)

LASTFALL 1:

Aus den einzelnen Lastfällen ist ersichtlich, dass der Lastfall 1 in der Rahmenecke $N2$ ein positives Moment und in der Rahmenecke $N3$ ein negatives Moment liefert. In der Dachträgermitte m beträgt die Momentenschnittkraft $-2,35[\text{kNm}]$.

LASTFALL 2:

Durch den Lastfall 2 stellt sich ein konstant verlaufendes Moment für die Trägerlänge und eine symmetrische Momentverteilung der Stützen ein.

LASTFALL 3:

Der dritte Lastfall bewirkt in der Trägermitte m ein negatives Moment ($-14,45[\text{kNm}]$) und in den Rahmenecken $N2$ und $N3$ ein positives Moment von $3,55[\text{kNm}]$.

LASTFALL 4:

Durch die, im Vergleich zu Lastfall 3, gespiegelte Einwirkung tritt in der Mitte des Dachbinders ein positives und an den Rahmenecken ein negatives Moment auf.

Maßgebende Lastfallkombination Wind:

Das größte positive Moment für die Rahmenecke $N2$ und für den Dachträger entsteht durch die Kombination von Lastfall 1 und 3. Das größte negative Moment für die Rahmenecke $N3$ würde durch alleiniger Wirkung von Lastfall 1 entstehen, dies ist jedoch nicht möglich, da immer eine Windbelastung auf den Dachbinder mit zu berücksichtigen ist. Die Berechnung der nachfolgend angeführten Ergebnisse erfolgten mit einem Böengeschwindigkeitsdruck q_p von $1,0 \text{ kN/m}^2$ und einer fiktiven Einflussbreite von $1,0 \text{ m}$ und gelten wiederum für einen innenliegenden Zweigelenrahmen

Lastfallkombination 1: Lastfall 1 mit Lastfall 3

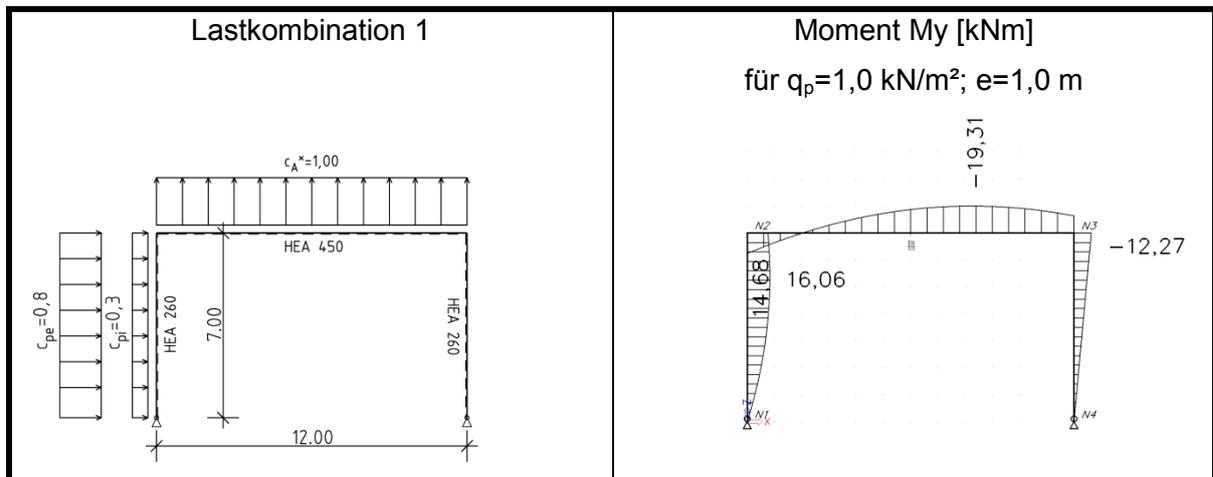


Abbildung 100: Schnittkräfte Lastfallkombination 1 für Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken (DIN, Flachdach, Halle $h= 7\text{m}$, $b= 12\text{m}$)

Überlagerung der Windeinwirkung mit dem Eigengewicht

Für die Berechnung wurden die Schnittkräfte aus der Lastfallkombination 1 mit dem Eigengewicht überlagert. Die Schnittkräfte des Eigengewichts wurden dem Lastfall 4 entnommen und um den Faktor 2 erhöht, da die Wirkungsrichtung gleich ist, aber mit 0,5 als Einwirkungsgröße berechnet wurde. Bei der Kombination wirkt sich das Eigengewicht günstig aus, daher ist als Beiwert $\gamma = 1,0$ anzusetzen.

Folgende Annahmen wurden für den Vergleich gewählt:

- Hallenhöhe = 7m; Hallenbreite = 12m; Regelbinderabstand = 6m
- Windlast: $v_{b,0} = 25$ [m/s] ; Geländekategorie II
- Eigengewicht:
 - Pfetten + Dachhaut..... $g_{k,1} = 0,40$ kN/m² $\rightarrow 0,4 \cdot 6\text{m} = 2,40$ kN/m
 - Träger (HEA 450)..... $g_{k,2} = 1,40$ kN/m
- Material: Stahl S 235

BERECHNUNG:

1. Basisgeschwindigkeitsdruck $q_{b,0}$

$$q_{b,0} = 1/2 \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 390 \text{ Pa} = 0,39 \text{ kPa} = 0,39 \text{ kN/m}^2$$

2. Böengeschwindigkeitsdruck q_p für Geländekategorie II

$$z_e = h = 7\text{m} > z_{\min} = 4\text{m}$$

$$\frac{q_p}{q_{b,0}} = 2,1 * \left(\frac{z}{10}\right)^{0,24}$$

$$\frac{q_p}{0,39} = 2,1 * \left(\frac{7}{10}\right)^{0,24}$$

$$q_p = 0,39 * 1,93 = 0,75 \text{ kN/m}^2 \rightarrow 0,75 * 6\text{m} = 4,50 \text{ kN/m}$$

4. Momente aus Lastfall 4 mit Eigengewicht

$$M_{N2,g,k} = M_{N3,g,k} = 2 * [-1,77 * (2,4 + 1,4)] = -13,45 \text{ kNm}$$

$$M_{m,g,k} = 2 * [7,23 * (2,4 + 1,4)] = 54,95 \text{ kNm}$$

5. Momente aus der Lastfallkombination 1 mit Windbelastung q_p

$$M_{N2,qp,k} = 14,68 * 4,5 = 66,06 \text{ kNm}$$

$$M_{m,qp,k} = (-14,45 + -2,35) * 4,5 = -75,60 \text{ kNm}$$

$$M_{N3,qp,k} = -12,27 * 4,5 = -55,22 \text{ kNm}$$

6. Kombination von Wind und Eigengewicht

$$M_{N2,d} = \gamma_{G,inf} * M_{N2,g,k} + \gamma_Q * M_{N2,qp,k}$$

$$M_{N2,d} = 1,0 * -13,45 + 1,5 * 66,06 = +85,64 \text{ kNm}$$

$$M_{m,d} = \gamma_{G,inf} * M_{m,g,k} + \gamma_Q * M_{m,qp,k}$$

$$M_{m,d} = 1,0 * 54,95 + 1,5 * -75,6 = -58,45 \text{ kNm}$$

$$M_{N3,d} = \gamma_{G,inf} * M_{N3,g,k} + \gamma_Q * M_{N3,qp,k}$$

$$M_{N3,d} = 1,0 * -13,45 + 1,5 * -55,22 = -96,28 \text{ kNm}$$

Trotz Kombination von Wind mit Eigengewicht, wird das Moment in der Rahmenecke $N2$ und in der Trägermitte m nicht durch das Eigengewicht aufgehoben. Für die Rahmenecke $N3$ bewirkt das Eigengewicht eine Steigerung, da sowohl die Lastfallkombination 1 wie auch der Lastfall 4 ein negatives Moment bewirken.

Lastfälle für eine Halle: $h = 7\text{m}$, $b = 24\text{m}$

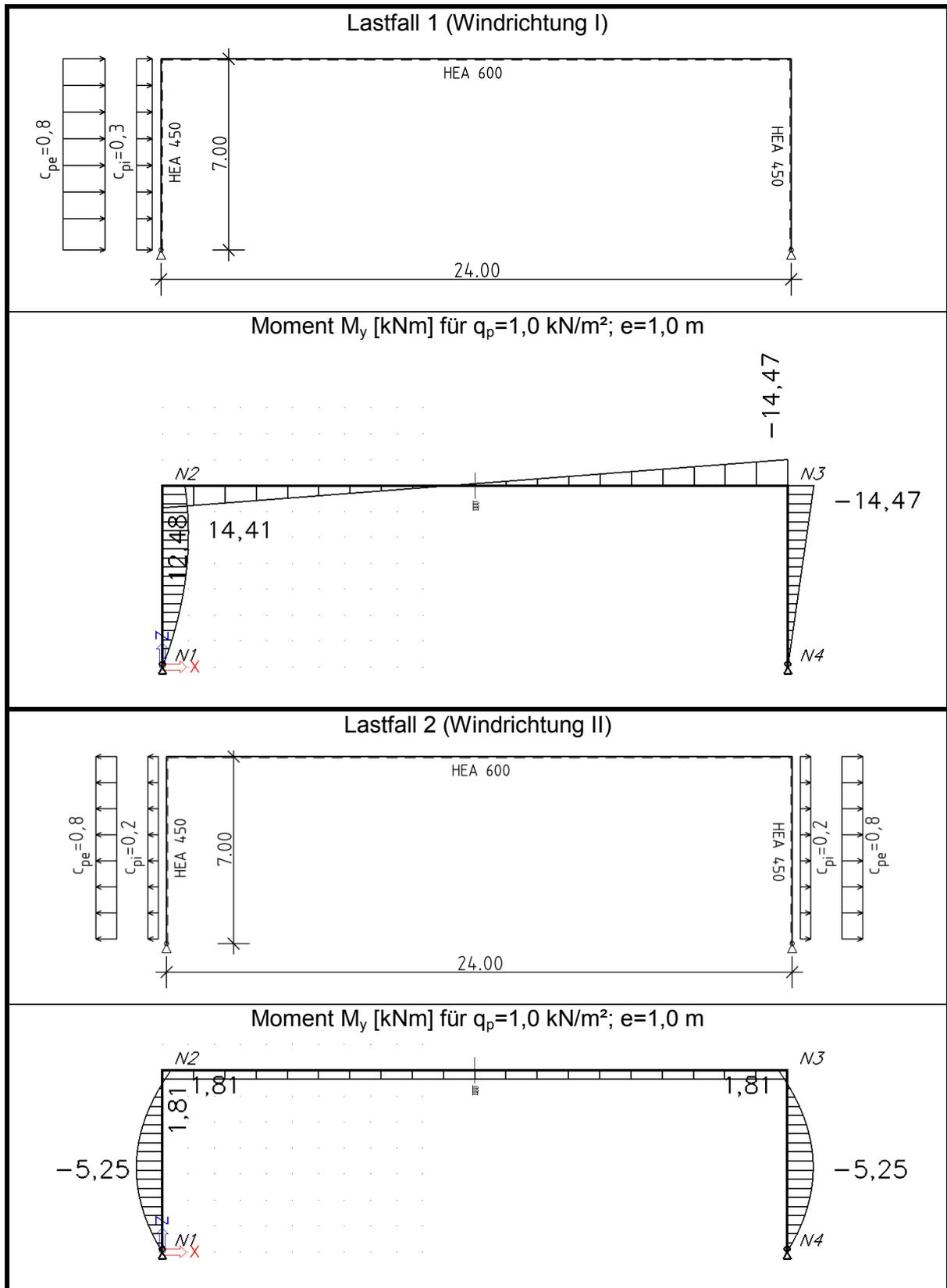


Abbildung 101: Schnittkräfte Lastfälle 1-2 für Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken (DIN, Flachdach, Halle $h = 7\text{m}$, $b = 24\text{m}$)

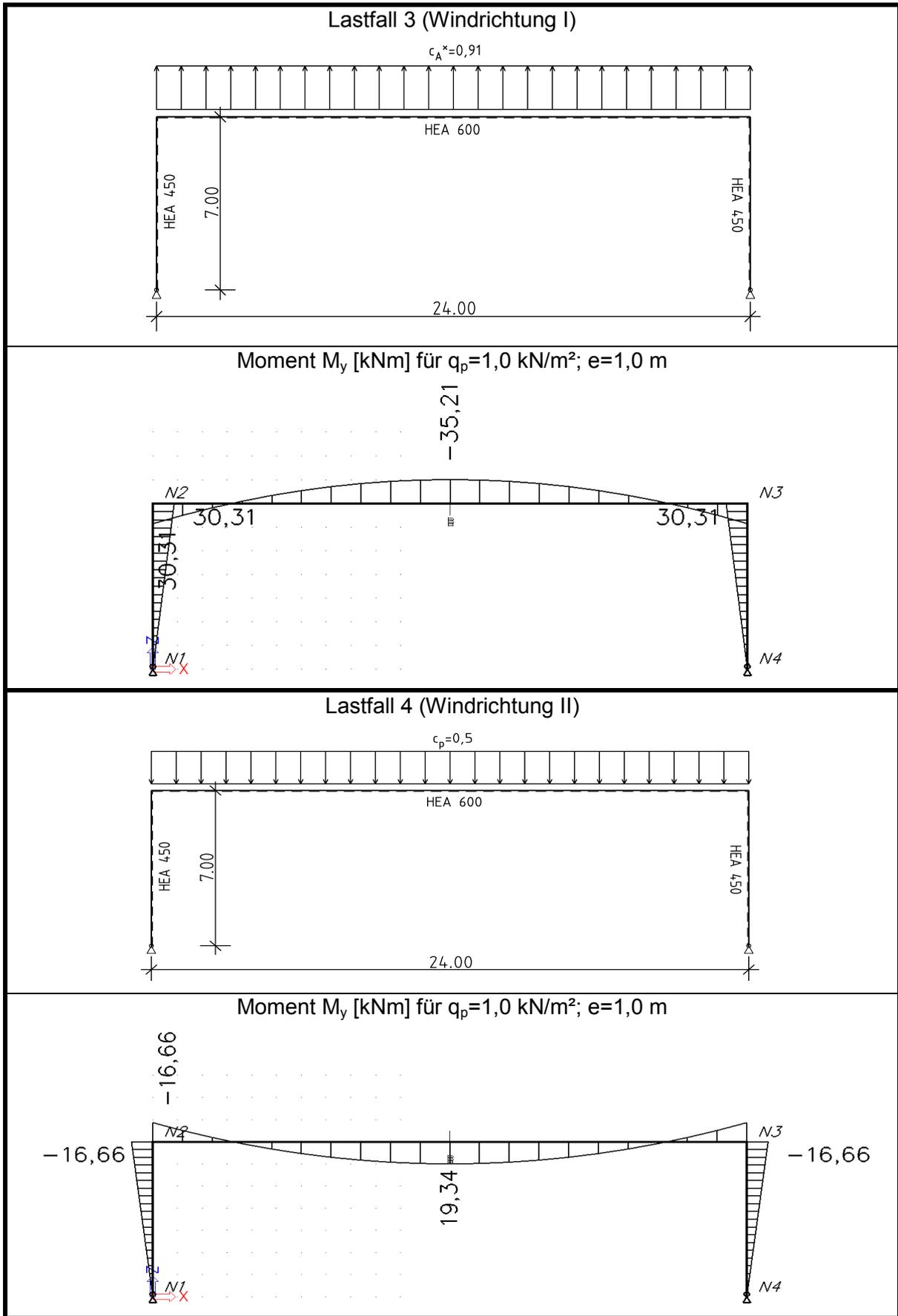


Abbildung 102: Schnittkräfte Lastfälle 3-4 für Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken (DIN, Flachdach, Halle $h = 7 \text{ m}$, $b = 24 \text{ m}$)

LASTFALL 1:

Der Lastfall 1 liefert in der Rahmenecke $N2$ ein positives Moment und in der Rahmenecke $N3$ ein negatives Moment. In der Dachträgermitte m beträgt die Momentenschnittkraft $-1,00[\text{kNm}]$.

LASTFALL 2:

Durch den Lastfall 2 stellt sich ein konstant verlaufendes Moment für die Trägerlänge und eine symmetrische Momentverteilung der Stützen ein.

LASTFALL 3:

Der dritte Lastfall bewirkt in der Trägermitte m ein negatives Moment ($-35,21[\text{kNm}]$) und in den Rahmenecken $N2$ und $N3$ ein positives Moment ($30,31[\text{kNm}]$).

LASTFALL 4:

Durch die, im Vergleich zu Lastfall 3, gespiegelte Einwirkung tritt in der Mitte des Dachbinders ein positives und an den Rahmenecken ein negatives Moment auf.

Maßgebende Lastfallkombination:

Die Kombination von Lastfall 1 mit Lastfall 4 bzw. die Kombination von Lastfall 2 mit Lastfall 3 ist wie für die 7m hohe und 12m breite Halle nicht möglich, da sie sich durch die Windangriffsrichtung unterscheiden, dadurch ist nur eine Kombination von Lastfall 1 mit Lastfall 3 bzw. Lastfall 2 mit Lastfall 4 möglich. Auf die Unterscheidung zwischen Innendruck und Innensog wurde verzichtet, da die hier angeführten einzelnen Lastfälle die ungünstigste Einwirkung für einen Bauteil darstellen, und somit die Ergebnisse auf der sicheren Seite liegen.

Aus diesen zwei Lastfallkombinationen ist ersichtlich, dass das größte positive Moment für die Rahmenecke $N2$ durch den Lastfall 1 mit Lastfall 3 entsteht. Die Berechnung der nachfolgend angeführten Ergebnisse erfolgten mit einem Böengeschwindigkeitsdruck q_p von $1,0 \text{ kN/m}^2$ und einer fiktiven Einflussbreite von $1,0 \text{ m}$ und gelten wiederum für einen innenliegenden Zweigelenrahmen.

Lastfallkombination 1: Lastfall 1 mit Lastfall 3

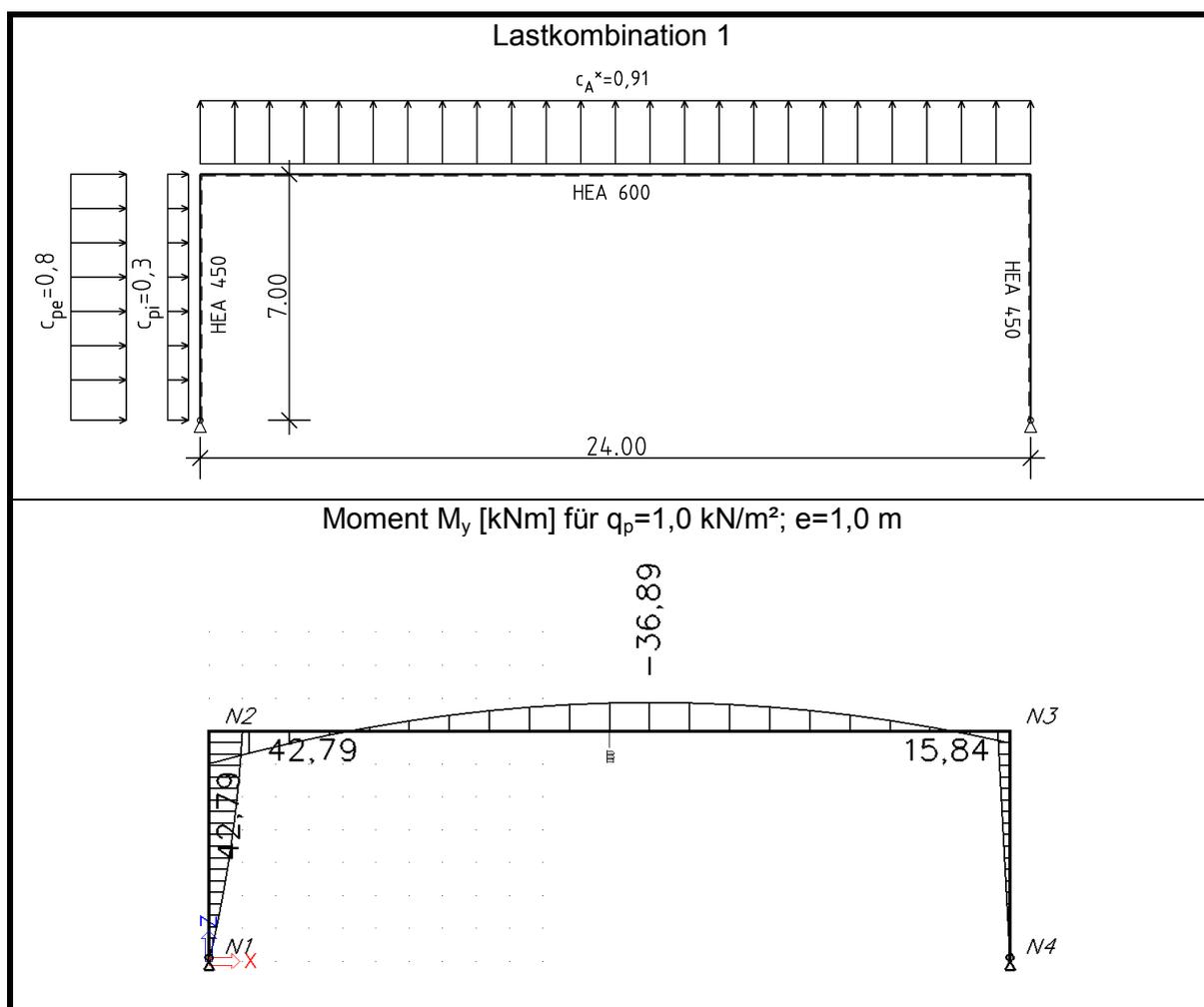


Abbildung 103: Schnittkräfte Lastfallkombination 1 für Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken (DIN, Flachdach, Halle $h = 7 \text{ m}$, $b = 24 \text{ m}$)

Überlagerung der Windeinwirkung mit dem Eigengewicht

Für die Berechnung wurden die Schnittkräfte aus der Lastfallkombination 1 mit dem Eigengewicht überlagert. Die Schnittkräfte des Eigengewichts wurden dem Lastfall 4 entnommen und um den Faktor 2 erhöht, da die Wirkungsrichtung gleich ist, aber mit 0,5 als Einwirkungsgröße berechnet wurde. Bei der Kombination wirkt sich das Eigengewicht günstig aus, daher ist als Beiwert 1,0 anzusetzen.

Folgende Annahmen wurden für den Vergleich gewählt:

- Hallenhöhe = 7m; Hallenbreite = 24m; Regelbinderabstand = 6m
- Windlast: $v_{b,0} = 25$ [m/s] ; Geländekategorie II
- Eigengewicht:
 - Pfetten + Dachhaut..... $g_{k,1} = 0,40$ kN/m² $\rightarrow 0,4 \cdot 6 = 2,40$ kN/m
 - Träger (HEA 600)..... $g_{k,2} = 1,80$ kN/m
- Material: Stahl S 235

BERECHNUNG:

1. Basisgeschwindigkeitsdruck $q_{b,0}$

$$q_{b,0} = 1/2 \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 390 \text{ Pa} = 0,39 \text{ kPa} = 0,39 \text{ kN/m}^2$$

2. Böengeschwindigkeitsdruck q_b für Geländekategorie II

$$z_e = h = 7 \text{ m} > z_{\min} = 4 \text{ m}$$

$$\frac{q_p}{q_{b,0}} = 2,1 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,24}$$

$$\frac{q_p}{0,39} = 2,1 \cdot \left(\frac{7}{10}\right)^{0,24}$$

$$q_p = 0,39 \cdot 1,93 = 0,75 \text{ kN/m}^2 \rightarrow 0,75 \cdot 6 = 4,50 \text{ kN/m}$$

4. Momente aus Lastfall 4 mit Eigengewicht

$$M_{N2,g,k} = M_{N3,g,k} = 2 \cdot [-16,66 \cdot (2,4 + 1,8)] = -139,94 \text{ kNm}$$

$$M_{m,g,k} = 2 \cdot [19,34 \cdot (2,4 + 1,8)] = 162,46 \text{ kNm}$$

5. Momente aus der Lastfallkombination 1 mit Windbelastung q_p

$$M_{N2,qp,k} = 42,79 \cdot 4,5 = 192,55 \text{ kNm}$$

$$M_{m,qp,k} = (-35,21 + -1,0) \cdot 4,5 = -162,95 \text{ kNm}$$

$$M_{N3,qp,k} = 15,84 \cdot 4,5 = 71,28 \text{ kNm}$$

6. Kombination von Wind und Eigengewicht

$$M_{N2,d} = \gamma_{G,inf} * M_{N2,g,k} + \gamma_Q * M_{N2,qp,k}$$

$$M_{N2,d} = 1,0 * -139,94 + 1,5 * 192,55 = +148,89 \text{ kNm}$$

$$M_{m,d} = \gamma_{G,inf} * M_{m,g,k} + \gamma_Q * M_{m,qp,k}$$

$$M_{m,d} = 1,0 * 162,46 + 1,5 * -162,95 = -81,97 \text{ kNm}$$

$$M_{N3,d} = \gamma_{G,inf} * M_{N3,g,k} + \gamma_Q * M_{N3,qp,k}$$

$$M_{N3,d} = 1,0 * -139,94 + 1,5 * 71,28 = -33,02 \text{ kNm}$$

Das Eigengewicht der Konstruktion bewirkt nur in der Rahmenecke *N3* eine Veränderung des Moments. In Trägermitte *m* sowie im Punkt *N2* hebt das Eigengewicht die Windbelastung nicht auf.

A.5 ZUSAMMENFASSENDE ERGEBNISSE

A.5.1 DACHTRÄGER

Aus Punkt A.2 ist ersichtlich, dass die aufwendige Windsogbelastung der EN 1991-1-4 durch einfache Windlastbilder ersetzt werden kann. In der Regel entsteht die maßgebende Windbelastung durch die Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung). Bei geringen Regelbinderabständen ($< 8\text{m}$) bzw. bei größeren Hallenhöhen ($> 7\text{m}$) kann es jedoch vorkommen, dass der erste innenliegende Dachträger eine erhöhte Beanspruchung durch die Windrichtung II erfährt (siehe Kapitel A.2). Hingegen ist für die Windbelastung nach unten (Winddruck) sowohl für Österreich als auch für Deutschland, eine Belastung mit 0,5 anzusetzen und bedarf keine Vereinfachung. Durch unterschiedliche Außendruckbeiwerte für den Windsog ist eine Zusammenfassung für Österreich und Deutschland nicht möglich. Dabei deckt der Ersatzbeiwert c_A^* die Auflagerreaktionen und der Ersatzbeiwert c_M^* die Momente ab. Des Weiteren wurden Ersatzbeiwerte c^* bzw. c_{A90}^* angeführt, welche eine gleichzeitige Näherung sowohl für die Auflagerreaktionen als auch für die Momente darstellen. Die nachfolgenden Ergebnisse in den Tabellen gelten für einen innenliegenden, gelenkig gelagerten Dachträger mit einer Belastung von $q_p = 1,0 \text{ kN/m}^2$ mit einer fiktiven Einflussbreite von 1,0m.

Da sich im Nationalen Anhang für Österreich die Außendruckbeiwerte der Dachzone I für Flachdächer (-0,2) und für Satteldächer (-0,6) unterscheiden, ist ein einheitlicher Ersatzbeiwert c_A^* bzw. c_M^* für beide Dachtypen nicht möglich. Im Gegensatz dazu ist es für den Nationalen Anhang für Deutschland möglich, die vereinfachten Ersatzbelastungen von Flachdächern auch auf Satteldächer mit einer Neigung von 1:10 ($\sim 6^\circ$) anzuwenden, wobei die daraus folgenden Ergebnisse leicht erhöht sind.

A.5.1.2 Ersatzbeiwerte für Österreich

Halle $h=7\text{m}$, $b=12\text{m}$ mit Flachdach für $q_p=1,0\text{ kN/m}^2$; $e=1,0\text{ m}$

	Ausgangs- system	Abdeckung Auflagerkräfte	Abdeckung Momente	$c^*=$ $c_A^* \times (0,85 - (b-12)/12 \times 0,15)$
Einwirkung:	Lt. ÖNORM	$c_A^* = 0,92$	$c_M^* = 0,75$	$c^* = 0,78$
Auflager: [kN]	-5,54	-5,52	-4,5	-4,68
Abweichung:	---	$\sim 0\%$	-23%	-18%
Moment: [kNm]	-13,49	-16,56	-13,5	-14,04
Abweichung:	---	+23%	$\sim 0\%$	+4%

Tabelle 9: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (ÖNORM, Flachdach, Halle $h=7\text{m}$, $b=12\text{m}$)

Halle $h=7\text{m}$, $b=18\text{m}$ mit Flachdach für $q_p=1,0\text{ kN/m}^2$; $e=1,0\text{ m}$

	Ausgangs- system	Abdeckung Auflagerkräfte	Abdeckung Momente	$c^*=$ $c_A^* \times (0,85 - (b-12)/12 \times 0,15)$
Einwirkung:	Lt. ÖNORM	$c_A^* = 0,79$	$c_M^* = 0,57$	$c^* = 0,61$
Auflager: [kN]	-7,09	-7,11	-5,13	-5,49
Abweichung:	---	$\sim 0\%$	-38%	-29%
Moment: [kNm]	-23,19	-32,0	-23,09	-24,71
Abweichung:	---	+38%	$\sim 0\%$	+7%

Tabelle 10: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (ÖNORM, Flachdach, Halle $h=7\text{m}$, $b=18\text{m}$)

Halle $h=7\text{m}$, $b=24\text{m}$ mit Flachdach für $q_p=1,0\text{ kN/m}^2$; $e=1,0\text{ m}$

	Ausgangs- system	Abdeckung Auflagerkräfte	Abdeckung Momente	$c^*=$ $c_A^* \times (0,85 - (b-12)/12 \times 0,15)$
Einwirkung:	Lt. ÖNORM	$c_A^* = 0,71$	$c_M^* = 0,49$	$c^* = 0,50$
Auflager: [kN]	-8,47	-8,52	-5,88	-6,00
Abweichung:	---	$\sim 0\%$	-44%	-41%
Moment: [kNm]	-35,51	-51,12	-35,28	-36,00
Abweichung:	---	+44%	$\sim 0\%$	+1%

Tabelle 11: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (ÖNORM, Flachdach, Halle $h=7\text{m}$, $b=24\text{m}$)

Halle h= 9m, b= 12m mit Flachdach für $q_p=1,0 \text{ kN/m}^2$; e=1,0 m

	Ausgangs- system	Abdeckung Auflagerkräfte	Abdeckung Momente	$c^*=$ $c_A^* \times (0,85 - (b-12)/12 \times 0,15)$
Einwirkung:	Lt. ÖNORM	$c_A^* = 1,0$	$c_M^* = 0,86$	$c^* = 0,85$
Auflager: [kN]	-6,04	-6,0	-5,16	-5,1
Abweichung:	---	~0%	-17%	-18%
Moment: [kNm]	-15,47	-18,0	-15,48	-15,3
Abweichung:	---	+16%	~0%	+1%

Tabelle 12: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (ÖNORM, Flachdach, Halle h= 9m, b= 12m)

Halle h= 9m, b= 18m mit Flachdach für $q_p=1,0 \text{ kN/m}^2$; e=1,0 m

	Ausgangs- system	Abdeckung Auflagerkräfte	Abdeckung Momente	$c^*=$ $c_A^* \times (0,85 - (b-12)/12 \times 0,15)$
Einwirkung:	Lt. ÖNORM	$c_A^* = 0,87$	$c_M^* = 0,68$	$c^* = 0,67$
Auflager: [kN]	-7,83	-7,83	-6,12	-6,03
Abweichung:	---	~0%	-28%	-30%
Moment: [kNm]	-27,48	-35,24	-27,54	-27,14
Abweichung:	---	+28%	~0%	~0%

Tabelle 13: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (ÖNORM, Flachdach, Halle h= 9m, b= 18m)

Halle h= 9m, b= 24m mit Flachdach für $q_p=1,0 \text{ kN/m}^2$; e=1,0 m

	Ausgangs- system	Abdeckung Auflagerkräfte	Abdeckung Momente	$c^*=$ $c_A^* \times (0,85 - (b-12)/12 \times 0,15)$
Einwirkung:	Lt. ÖNORM	$c_A^* = 0,78$	$c_M^* = 0,56$	$c^* = 0,55$
Auflager: [kN]	-9,32	-9,36	-6,72	-6,60
Abweichung:	---	~0%	-39%	-41%
Moment: [kNm]	-40,2	-56,16	-40,32	-39,60
Abweichung:	---	+39%	~0%	~0%

Tabelle 14: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (ÖNORM, Flachdach, Halle h= 9m, b= 24m)

- Vergleich des Druckbeiwertes $c_{\text{Wind II}}$ für Flachdächer (aus Windrichtung in Hallenlängsrichtung) mit den Ersatzbeiwerten c_A^* und c_M^* aus Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung).

Höhe h [m]	Breite b [m]	b_i [m]	$c_{\text{Wind II}}$	c_A^*	c_M^*
7,0	12,0	6,0	0,65	0,92 (+42%)	0,75 (+15%)
7,0	12,0	8,0	0,53	0,92 (+74%)	0,75 (+42%)
7,0	12,0	10,0	0,45	0,92 (+100%)	0,75 (+67%)
7,0	18,0	6,0	0,73	0,79 (+8%)	0,57 (-28%)
7,0	18,0	8,0	0,59	0,79 (+34%)	0,57 (-1%)
7,0	18,0	10,0	0,50	0,79 (+58%)	0,57 (+14%)
7,0	24,0	6,0	0,73	0,71 (-3%)	0,49 (-49%)
7,0	24,0	8,0	0,59	0,71 (+20%)	0,49 (-20%)
7,0	24,0	10,0	0,50	0,71 (+42%)	0,49 (-2%)

Tabelle 15: Druckbeiwerte $c_{\text{Wind II}}$ und c_A^* bzw. c_M^* (ÖNORM, Flachdach, Halle h= 7m)

Höhe h [m]	Breite b [m]	b_i [m]	$c_{\text{Wind II}}$	c_A^*	c_M^*
9,0	12,0	6,0	0,65	1,0 (+54%)	0,86 (+32%)
9,0	12,0	8,0	0,53	1,0 (+89%)	0,86 (+62%)
9,0	12,0	10,0	0,45	1,0 (+122%)	0,86 (+91%)
9,0	18,0	6,0	0,90	0,87 (-4%)	0,68 (-32%)
9,0	18,0	8,0	0,71	0,87 (+23%)	0,68 (-4%)
9,0	18,0	10,0	0,60	0,87 (+45%)	0,68 (+13%)
9,0	24,0	6,0	0,90	0,78 (-16%)	0,56 (-61%)
9,0	24,0	8,0	0,71	0,78 (+10%)	0,56 (-27%)
9,0	24,0	10,0	0,60	0,78 (+30%)	0,56 (-7%)

Tabelle 16: Druckbeiwerte $c_{\text{Wind II}}$ und c_A^* bzw. c_M^* (ÖNORM, Flachdach, Halle h= 9m)

Halle $h = 7\text{m}$, $b = 12\text{m}$ mit Satteldach für $q_p = 1,0\text{ kN/m}^2$; $e = 1,0\text{ m}$

	Ausgangs- system	Abdeckung Auflagerkräfte	Abdeckung Momente	90% von c_A^*
Einwirkung:	Lt. ÖNORM	$c_A^* = 0,93$	$c_M^* = 0,81$	$c_{A90}^* = 0,84$
Auflager: [kN]	-5,54	-5,58	-4,86	-5,04
Abweichung:	---	~0%	-14%	-10%
Moment: [kNm]	-14,55	-16,74	-14,58	-15,12
Abweichung:	---	+15%	~0%	+4%

Tabelle 17: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (ÖNORM, Satteldach, Halle $h = 7\text{m}$, $b = 12\text{m}$)

Halle $h = 7\text{m}$, $b = 18\text{m}$ mit Satteldach für $q_p = 1,0\text{ kN/m}^2$; $e = 1,0\text{ m}$

	Ausgangs- system	Abdeckung Auflagerkräfte	Abdeckung Momente	90% von c_A^*
Einwirkung:	Lt. ÖNORM	$c_A^* = 0,89$	$c_M^* = 0,80$	$c_{A90}^* = 0,80$
Auflager: [kN]	-7,94	-8,01	-7,20	-7,20
Abweichung:	---	~0%	-11%	-10%
Moment: [kNm]	-32,37	-36,05	-32,40	-32,40
Abweichung:	---	+11%	~0%	~0%

Tabelle 18: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (ÖNORM, Satteldach, Halle $h = 7\text{m}$, $b = 18\text{m}$)

Halle $h = 7\text{m}$, $b = 24\text{m}$ mit Satteldach für $q_p = 1,0\text{ kN/m}^2$; $e = 1,0\text{ m}$

	Ausgangs- system	Abdeckung Auflagerkräfte	Abdeckung Momente	90% von c_A^*
Einwirkung:	Lt. ÖNORM	$c_A^* = 0,87$	$c_M^* = 0,80$	$c_{A90}^* = 0,79$
Auflager: [kN]	-10,32	-10,44	-9,60	-9,48
Abweichung:	---	~0%	-8%	-9%
Moment: [kNm]	-57,32	-62,64	-57,60	-56,88
Abweichung:	---	+9%	~0%	~0%

Tabelle 19: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (ÖNORM, Satteldach, Halle $h = 7\text{m}$, $b = 24\text{m}$)

Halle $h=9\text{m}$, $b=12\text{m}$ mit Satteldach für $q_p=1,0\text{ kN/m}^2$; $e=1,0\text{ m}$

	Ausgangs- system	Abdeckung Auflagerkräfte	Abdeckung Momente	90% von c_A^*
Einwirkung:	Lt. ÖNORM	$c_A^*=0,97$	$c_M^*=0,82$	$c_{A90}^*=0,88$
Auflager: [kN]	-5,75	-5,82	-4,92	-5,28
Abweichung:	---	~0%	-18%	-9%
Moment: [kNm]	-14,75	-17,46	-14,76	-15,84
Abweichung:	---	+18%	~0%	+7%

Tabelle 20: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (ÖNORM, Satteldach, Halle $h=9\text{m}$, $b=12\text{m}$)

Halle $h=9\text{m}$, $b=18\text{m}$ mit Satteldach für $q_p=1,0\text{ kN/m}^2$; $e=1,0\text{ m}$

	Ausgangs- system	Abdeckung Auflagerkräfte	Abdeckung Momente	90% von c_A^*
Einwirkung:	Lt. ÖNORM	$c_A^*=0,92$	$c_M^*=0,81$	$c_{A90}^*=0,83$
Auflager: [kN]	-8,16	-8,28	-7,29	-7,47
Abweichung:	---	~0%	-12%	-9%
Moment: [kNm]	-32,57	-37,26	-32,81	-33,62
Abweichung:	---	+14%	~0%	+3%

Tabelle 21: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (ÖNORM, Satteldach, Halle $h=9\text{m}$, $b=18\text{m}$)

Halle $h=9\text{m}$, $b=24\text{m}$ mit Satteldach für $q_p=1,0\text{ kN/m}^2$; $e=1,0\text{ m}$

	Ausgangs- system	Abdeckung Auflagerkräfte	Abdeckung Momente	90% von c_A^*
Einwirkung:	Lt. ÖNORM	$c_A^*=0,89$	$c_M^*=0,80$	$c_{A90}^*=0,80$
Auflager: [kN]	-10,55	-10,68	-9,60	-9,60
Abweichung:	---	~0%	-10%	-10%
Moment: [kNm]	-57,51	-64,08	-57,60	-57,60
Abweichung:	---	+11%	~0%	~0%

Tabelle 22: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (ÖNORM, Satteldach, Halle $h=9\text{m}$, $b=24\text{m}$)

- Vergleich des Druckbeiwertes $c_{\text{Wind II}}$ für Satteldächer (aus Windrichtung in Hallenlängsrichtung) mit den Ersatzbeiwerten c_A^* und c_M^* aus Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung).

Höhe h [m]	Breite b [m]	b_i [m]	$c_{\text{Wind II}}$	c_A^*	c_M^*
7,0	12,0	6,0	0,85	0,93 (+9%)	0,81 (-5%)
7,0	12,0	8,0	0,83	0,93 (+12%)	0,81 (-3%)
7,0	12,0	10,0	0,81	0,93 (+15%)	0,81 (0%)
7,0	18,0	6,0	0,87	0,89 (+3%)	0,80 (-9%)
7,0	18,0	8,0	0,84	0,89 (+6%)	0,80 (-5%)
7,0	18,0	10,0	0,82	0,89 (+9%)	0,80 (-3%)
7,0	24,0	6,0	0,87	0,87 (0%)	0,80 (-9%)
7,0	24,0	8,0	0,84	0,87 (+4%)	0,80 (-5%)
7,0	24,0	10,0	0,82	0,87 (+6%)	0,80 (-3%)

Tabelle 23: Druckbeiwerte $c_{\text{Wind II}}$ und c_A^* bzw. c_M^* (ÖNORM, Satteldach, Halle h= 7m)

Höhe h [m]	Breite b [m]	b_i [m]	$c_{\text{Wind II}}$	c_A^*	c_M^*
9,0	12,0	6,0	0,85	0,97 (+14%)	0,82 (-4%)
9,0	12,0	8,0	0,83	0,97 (+17%)	0,82 (-1%)
9,0	12,0	10,0	0,81	0,97 (+20%)	0,82 (+1%)
9,0	18,0	6,0	0,90	0,92 (+2%)	0,81 (-11%)
9,0	18,0	8,0	0,86	0,92 (+7%)	0,81 (-6%)
9,0	18,0	10,0	0,84	0,92 (+10%)	0,81 (-4%)
9,0	24,0	6,0	0,90	0,89 (~0%)	0,80 (-13%)
9,0	24,0	8,0	0,86	0,89 (+4%)	0,80 (-8%)
9,0	24,0	10,0	0,84	0,89 (+6%)	0,80 (-5%)

Tabelle 24: Druckbeiwerte $c_{\text{Wind II}}$ und c_A^* bzw. c_M^* (ÖNORM, Satteldach, Halle h= 9m)

A.5.1.3 Ersatzbeiwerte für Deutschland

Halle $h = 7\text{m}$, $b = 12\text{m}$ mit Flachdach für $q_p = 1,0\text{ kN/m}^2$; $e = 1,0\text{ m}$

	Ausgangs- system	Abdeckung Auflagerkräfte	Abdeckung Momente	90% von c_A^*
Einwirkung:	Lt. DIN	$c_A^* = 1,00$	$c_M^* = 0,88$	$c_{A90}^* = 0,9$
Auflager: [kN]	-5,96	-6,00	-5,28	-5,40
Abweichung:	---	+0,6%	-12%	-10%
Moment: [kNm]	-15,82	-18,00	-15,84	-16,2
Abweichung:	---	+14%	~0%	+2%

Tabelle 25: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (DIN, Flachdach, Halle $h = 7\text{m}$, $b = 12\text{m}$)

Halle $h = 7\text{m}$, $b = 18\text{m}$ mit Flachdach für $q_p = 1,0\text{ kN/m}^2$; $e = 1,0\text{ m}$

	Ausgangs- system	Abdeckung Auflagerkräfte	Abdeckung Momente	90% von c_A^*
Einwirkung:	Lt. DIN	$c_A^* = 0,94$	$c_M^* = 0,84$	$c_{A90}^* = 0,84$
Auflager: [kN]	-8,44	-8,46	-7,56	-7,56
Abweichung:	---	~0%	-12%	-12%
Moment: [kNm]	-33,87	-38,07	-34,02	-34,02
Abweichung:	---	+12%	~0%	~0%

Tabelle 26: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (DIN, Flachdach, Halle $h = 7\text{m}$, $b = 18\text{m}$)

Halle $h = 7\text{m}$, $b = 24\text{m}$ mit Flachdach für $q_p = 1,0\text{ kN/m}^2$; $e = 1,0\text{ m}$

	Ausgangs- system	Abdeckung Auflagerkräfte	Abdeckung Momente	90% von c_A^*
Einwirkung:	Lt. DIN	$c_A^* = 0,91$	$c_M^* = 0,82$	$c_{A90}^* = 0,82$
Auflager: [kN]	-10,88	-10,92	-9,84	-9,84
Abweichung:	---	~0%	-11%	-11%
Moment: [kNm]	-59,07	-65,22	-59,04	-59,04
Abweichung:	---	+10%	~0%	~0%

Tabelle 27: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (DIN, Flachdach, Halle $h = 7\text{m}$, $b = 24\text{m}$)

Halle $h=9\text{m}$, $b=12\text{m}$ mit Flachdach für $q_p=1,0\text{ kN/m}^2$; $e=1,0\text{ m}$

	Ausgangs- system	Abdeckung Auflagerkräfte	Abdeckung Momente	90% von c_A^*
Einwirkung:	Lt. DIN	$c_A^*=1,03$	$c_M^*=0,91$	$c_{A90}^*=0,93$
Auflager: [kN]	-6,20	-6,18	-5,46	-5,58
Abweichung:	---	$\sim 0\%$	-14%	-11%
Moment: [kNm]	-16,38	-18,54	-16,38	-16,74
Abweichung:	---	+13%	$\sim 0\%$	+2%

Tabelle 28: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (DIN, Flachdach, Halle $h=9\text{m}$, $b=12\text{m}$)

Halle $h=9\text{m}$, $b=18\text{m}$ mit Flachdach für $q_p=1,0\text{ kN/m}^2$; $e=1,0\text{ m}$

	Ausgangs- system	Abdeckung Auflagerkräfte	Abdeckung Momente	90% von c_A^*
Einwirkung:	Lt. DIN	$c_A^*=0,97$	$c_M^*=0,86$	$c_{A90}^*=0,87$
Auflager: [kN]	-8,73	-8,73	-7,74	-7,83
Abweichung:	---	$\sim 0\%$	-13%	-12%
Moment: [kNm]	-34,84	-39,29	-34,84	-35,24
Abweichung:	---	+13%	$\sim 0\%$	+1%

Tabelle 29: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (DIN, Flachdach, Halle $h=9\text{m}$, $b=18\text{m}$)

Halle $h=9\text{m}$, $b=24\text{m}$ mit Flachdach für $q_p=1,0\text{ kN/m}^2$; $e=1,0\text{ m}$

	Ausgangs- system	Abdeckung Auflagerkräfte	Abdeckung Momente	90% von c_A^*
Einwirkung:	Lt. DIN	$c_A^*=0,93$	$c_M^*=0,84$	$c_{A90}^*=0,84$
Auflager: [kN]	-11,20	-11,16	-10,08	-10,08
Abweichung:	---	$\sim 0\%$	-11%	-11%
Moment: [kNm]	-60,03	-66,96	-60,48	-60,48
Abweichung:	---	+11%	$\sim 0\%$	$\sim 0\%$

Tabelle 30: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (DIN, Flachdach, Halle $h=9\text{m}$, $b=24\text{m}$)

- Vergleich des Druckbeiwertes $c_{\text{Wind II}}$ für Flachdächer (aus Windrichtung in Hallenlängsrichtung) mit den Ersatzbeiwerten c_A^* und c_M^* aus Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung).

Höhe h [m]	Breite b [m]	b_i [m]	$c_{\text{Wind II}}$	c_A^*	c_M^*
7,0	12,0	6,0	0,85	1,0 (+18%)	0,88 (+4%)
7,0	12,0	8,0	0,83	1,0 (+20%)	0,88 (+6%)
7,0	12,0	10,0	0,81	1,0 (+24%)	0,88 (+9%)
7,0	18,0	6,0	0,87	0,94 (+8%)	0,84 (-4%)
7,0	18,0	8,0	0,84	0,94 (+12%)	0,84 (0%)
7,0	18,0	10,0	0,82	0,94 (+15%)	0,84 (+2%)
7,0	24,0	6,0	0,87	0,91 (5%)	0,82 (-7%)
7,0	24,0	8,0	0,84	0,91 (+8%)	0,82 (-2%)
7,0	24,0	10,0	0,82	0,91 (+11%)	0,82 (0%)

Tabelle 31: Druckbeiwerte $c_{\text{Wind II}}$ und c_A^* bzw. c_M^* (DIN, Flachdach, Halle h= 7m)

Höhe h [m]	Breite b [m]	b_i [m]	$c_{\text{Wind II}}$	c_A^*	c_M^*
9,0	12,0	6,0	0,85	1,03 (+21%)	0,91 (+7%)
9,0	12,0	8,0	0,83	1,03 (+24%)	0,91 (+10%)
9,0	12,0	10,0	0,81	1,03 (+27%)	0,91 (+12%)
9,0	18,0	6,0	0,90	0,97 (+8%)	0,86 (-5%)
9,0	18,0	8,0	0,86	0,97 (+13%)	0,86 (0%)
9,0	18,0	10,0	0,84	0,97 (+16%)	0,86 (+2%)
9,0	24,0	6,0	0,90	0,93 (+3%)	0,84 (-11%)
9,0	24,0	8,0	0,86	0,93 (+8%)	0,84 (-2%)
9,0	24,0	10,0	0,84	0,93 (+11%)	0,84 (0%)

Tabelle 32: Druckbeiwerte $c_{\text{Wind II}}$ und c_A^* bzw. c_M^* (DIN, Flachdach, Halle h= 9m)

Halle $h = 7\text{m}$, $b = 12\text{m}$ mit Satteldach für $q_p = 1,0\text{ kN/m}^2$; $e = 1,0\text{ m}$

	Ausgangs- system	Abdeckung Auflagerkräfte	Abdeckung Momente	90% von c_A^*
Einwirkung:	Lt. DIN	$c_A^* = 0,93$	$c_M^* = 0,81$	$c_{A90}^* = 0,84$
Auflager: [kN]	-5,54	-5,58	-4,86	-5,04
Abweichung:	---	~0%	-14%	-10%
Moment: [kNm]	-14,55	-16,74	-14,58	-15,12
Abweichung:	---	+15%	~0%	+4%

Tabelle 33: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (DIN, Satteldach, Halle $h = 7\text{m}$, $b = 12\text{m}$)

Halle $h = 7\text{m}$, $b = 18\text{m}$ mit Satteldach für $q_p = 1,0\text{ kN/m}^2$; $e = 1,0\text{ m}$

	Ausgangs- system	Abdeckung Auflagerkräfte	Abdeckung Momente	90% von c_A^*
Einwirkung:	Lt. DIN	$c_A^* = 0,89$	$c_M^* = 0,80$	$c_{A90}^* = 0,80$
Auflager: [kN]	-7,94	-8,01	-7,20	-7,20
Abweichung:	---	~0%	-11%	-10%
Moment: [kNm]	-32,37	-36,05	-32,40	-32,40
Abweichung:	---	+11%	~0%	~0%

Tabelle 34: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (DIN, Satteldach, Halle $h = 7\text{m}$, $b = 18\text{m}$)

Halle $h = 7\text{m}$, $b = 24\text{m}$ mit Satteldach für $q_p = 1,0\text{ kN/m}^2$; $e = 1,0\text{ m}$

	Ausgangs- system	Abdeckung Auflagerkräfte	Abdeckung Momente	90% von c_A^*
Einwirkung:	Lt. DIN	$c_A^* = 0,87$	$c_M^* = 0,80$	$c_{A90}^* = 0,79$
Auflager: [kN]	-10,32	-10,44	-9,60	-9,48
Abweichung:	---	~0%	-8%	-9%
Moment: [kNm]	-57,32	-62,64	-57,60	-56,88
Abweichung:	---	+9%	~0%	~0%

Tabelle 35: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (DIN, Satteldach, Halle $h = 7\text{m}$, $b = 24\text{m}$)

Halle $h = 9\text{m}$, $b = 12\text{m}$ mit Satteldach für $q_p = 1,0\text{ kN/m}^2$; $e = 1,0\text{ m}$

	Ausgangs- system	Abdeckung Auflagerkräfte	Abdeckung Momente	90% von c_A^*
Einwirkung:	Lt. DIN	$c_A^* = 0,97$	$c_M^* = 0,82$	$c_{A90}^* = 0,88$
Auflager: [kN]	-5,75	-5,82	-4,92	-5,28
Abweichung:	---	~0%	-18%	-9%
Moment: [kNm]	-14,75	-17,46	-14,76	-15,84
Abweichung:	---	+18%	~0%	+7%

Tabelle 36: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (DIN, Satteldach, Halle $h = 9\text{m}$, $b = 12\text{m}$)

Halle $h = 9\text{m}$, $b = 18\text{m}$ mit Satteldach für $q_p = 1,0\text{ kN/m}^2$; $e = 1,0\text{ m}$

	Ausgangs- system	Abdeckung Auflagerkräfte	Abdeckung Momente	90% von c_A^*
Einwirkung:	Lt. DIN	$c_A^* = 0,92$	$c_M^* = 0,81$	$c_{A90}^* = 0,83$
Auflager: [kN]	-8,16	-8,28	-7,29	-7,47
Abweichung:	---	~0%	-12%	-9%
Moment: [kNm]	-32,57	-37,26	-32,81	-33,62
Abweichung:	---	+14%	~0%	+3%

Tabelle 37: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (DIN, Satteldach, Halle $h = 9\text{m}$, $b = 18\text{m}$)

Halle $h = 9\text{m}$, $b = 24\text{m}$ mit Satteldach für $q_p = 1,0\text{ kN/m}^2$; $e = 1,0\text{ m}$

	Ausgangs- system	Abdeckung Auflagerkräfte	Abdeckung Momente	90% von c_A^*
Einwirkung:	Lt. DIN	$c_A^* = 0,89$	$c_M^* = 0,80$	$c_{A90}^* = 0,80$
Auflager: [kN]	-10,55	-10,68	-9,60	-9,60
Abweichung:	---	~0%	-10%	-10%
Moment: [kNm]	-57,51	-64,08	-57,60	-57,60
Abweichung:	---	+11%	~0%	~0%

Tabelle 38: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (DIN, Satteldach, Halle $h = 9\text{m}$, $b = 24\text{m}$)

- Vergleich des Druckbeiwertes $c_{\text{Wind II}}$ für Satteldächer (aus Windrichtung in Hallenlängsrichtung) mit den Ersatzbeiwerten c_A^* und c_M^* aus Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung). Diese Tabellen entspricht jener wie für Österreich.

Höhe h [m]	Breite b [m]	b_i [m]	$c_{\text{Wind II}}$	c_A^*	c_M^*
7,0	12,0	6,0	0,85	0,93 (+9%)	0,81 (-5%)
7,0	12,0	8,0	0,83	0,93 (+12%)	0,81 (-3%)
7,0	12,0	10,0	0,81	0,93 (+15%)	0,81 (0%)
7,0	18,0	6,0	0,87	0,89 (+3%)	0,80 (-9%)
7,0	18,0	8,0	0,84	0,89 (+6%)	0,80 (-5%)
7,0	18,0	10,0	0,82	0,89 (+9%)	0,80 (-3%)
7,0	24,0	6,0	0,87	0,87 (0%)	0,80 (-9%)
7,0	24,0	8,0	0,84	0,87 (+4%)	0,80 (-5%)
7,0	24,0	10,0	0,82	0,87 (+6%)	0,80 (-3%)

Tabelle 39: Druckbeiwerte $c_{\text{Wind II}}$ und c_A^* bzw. c_M^* (DIN, Satteldach, Halle h= 7m)

Höhe h [m]	Breite b [m]	b_i [m]	$c_{\text{Wind II}}$	c_A^*	c_M^*
9,0	12,0	6,0	0,85	0,97 (+14%)	0,82 (-4%)
9,0	12,0	8,0	0,83	0,97 (+17%)	0,82 (-1%)
9,0	12,0	10,0	0,81	0,97 (+20%)	0,82 (+1%)
9,0	18,0	6,0	0,90	0,92 (+2%)	0,81 (-11%)
9,0	18,0	8,0	0,86	0,92 (+7%)	0,81 (-6%)
9,0	18,0	10,0	0,84	0,92 (+10%)	0,81 (-4%)
9,0	24,0	6,0	0,90	0,89 (~0%)	0,80 (-13%)
9,0	24,0	8,0	0,86	0,89 (+4%)	0,80 (-8%)
9,0	24,0	10,0	0,84	0,89 (+6%)	0,80 (-5%)

Tabelle 40: Druckbeiwerte $c_{\text{Wind II}}$ und c_A^* bzw. c_M^* (DIN, Satteldach, Halle h= 9m)

A.5.2 EINZELSTÜTZEN

Für innenliegende, oben und unten, gelenkig gelagerte Stützen entsteht sowohl für Österreich als auch für Deutschland die maßgebende Windeinwirkung durch die Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) mit einem Beiwert von +1,10. Daraus folgt, dass nur ein Windlastfall bemessungsbestimmend wird und keine Unterscheidung zwischen Österreich, Deutschland bzw. zwischen den Hallenhöhen und Hallenbreiten notwendig ist. Die Windbelastung c_{sT}^* kann für die hier untersuchten Hallen wie folgt angesetzt:

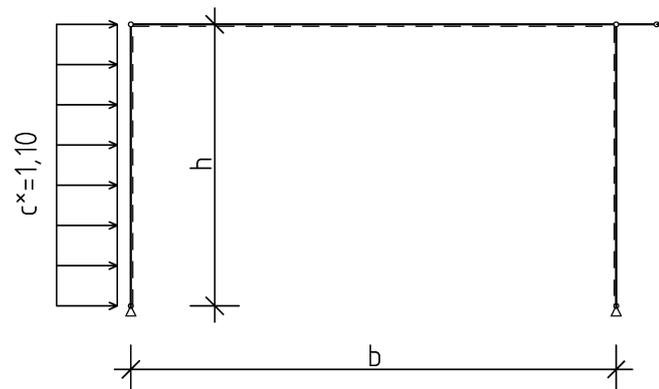


Abbildung 104: Maßgebender Lastfall Einzelstütze

A.5.3 KOMBINIERTE SYSTEME

A.5.3.1 Rahmen mit einem eingespannten Stützenfuß und gelenkigen Rahmenecken

Die maßgebende Windbelastung für innenliegende Stützen entsteht durch die Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung), wobei die Belastung von +1,10 an der oben und unten gelenkig angeschlossenen Stütze anzusetzen ist (siehe A.4 Kombinierte Systeme). Diese Windbelastung gilt sowohl für 7m als auch für 9m hohe Hallen in Österreich und Deutschland. Für die maßgebende Belastung des Dachträgers können nach Bedarf die Ersatzbeiwerte aus A.2 bzw. A.5.1 (Dachträger) herangezogen werden.

Daraus folgt das anzusetzende Systembild für die maßgebende Stützenbelastung:

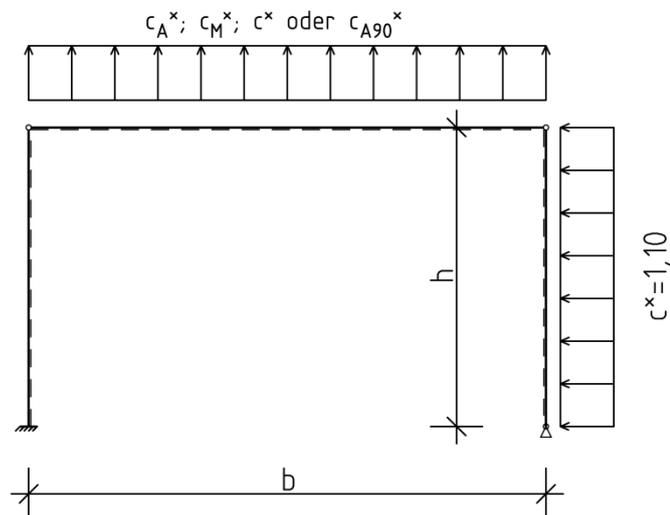


Abbildung 105: Maßgebender Lastfall Rahmen mit einem eingespannten Stützenfuß und gelenkigen Rahmenecken

A.5.3.2 Rahmen mit eingespannten Stützenfüßen und gelenkigen Rahmenecken

Bei Rahmen mit eingespannten Stützenfüßen und gelenkigen Rahmenecken ist die Unterscheidung der Windangriffsrichtung (von links oder rechts) bei der Windrichtung I (quer zur Hallenlängsrichtung) nicht von Bedeutung, da die Stützen jeweils die gleichen Einwirkungen aufnehmen je Windangriffsrichtung müssen. Auch bei diesem System kann die vereinfachte Windbelastung auf den Dachträger aus A.2 bzw. A.5.1 (Dachträger) genommen und mit der seitlichen Einwirkung kombiniert werden. Dieser maßgebende Lastfall gilt sowohl für Österreich als auch für Deutschland.

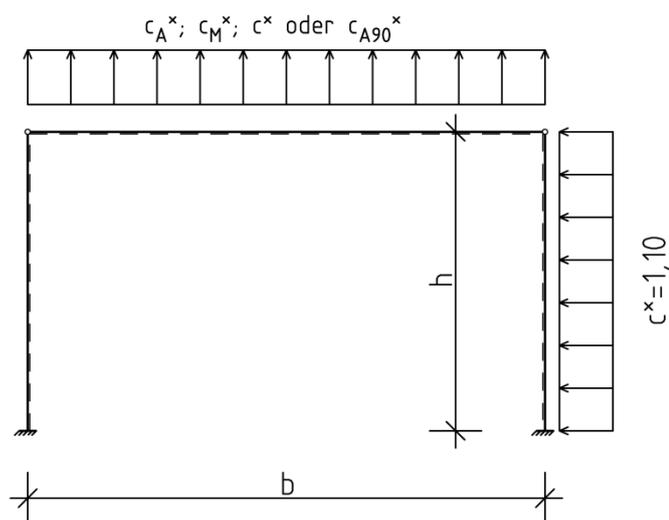


Abbildung 106: Maßgebender Lastfall Rahmen mit eingespannten Stützenfüßen und gelenkigen Rahmenecken

A.5.3.3 Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken

Bei dem Zweigelenrahmen ist es notwendig die Windbelastung gleichzeitig auf Dachträger und Stützen anzusetzen. Dabei ergibt sich die maßgebende Einwirkung auf die biegesteifen Rahmenecken bzw. in Trägermitte aus dem jeweiligen Ersatzbeiwert c_A^* vom Dachträger und der seitlichen Einwirkung von $+1,10$. Es wird der Ersatzbeiwert c_A^* vorgeschlagen, da dieser die maßgebende Zugbeanspruchung in den Rahmenecken (in Hinsicht auf die Verbindungsmittel) liefert und bis auf wenige Ausnahmen, größer als der Druckbeiwert $c_{\text{Wind II}}$ ist. Das nachfolgende Systembild gilt für Hallen mit einer Höhe von 7m und einer Hallenbreite b von 12 bis 24m. Des weiteren ist nach Punkt A.4 Kombinierte Systeme ersichtlich, dass das angenommene Eigengewicht nicht im Stande ist, die Momente aus der Windbelastung vollständig zu überdrücken. Deshalb ist es nicht möglich, die Windbelastung zu vernachlässigen.

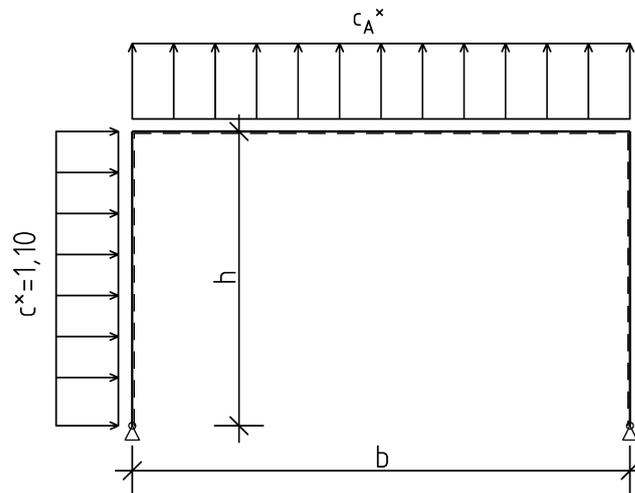


Abbildung 107: Maßgebender Lastfall Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken (Zweigelenrahmen)

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] **DIN EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010**, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten*. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2010.
- [2] **ÖNORM B 1991-1-4**, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten*. Wien : Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2009.
- [3] **DIN EN 1991-1-4/NA**, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten*. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2010.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Dachzoneneinteilung für Flachdächer $h=7\text{m}$, Windrichtung I (ÖNORM)	6
Abbildung 2: Dachzoneneinteilung für Flachdächer $h=9\text{m}$, Windrichtung I (ÖNORM)	7
Abbildung 3: Dachzoneneinteilung für Flachdächer $h=7\text{m}$, Windrichtung II (ÖNORM)	8
Abbildung 4: Dachzoneneinteilung für Flachdächer $h=9\text{m}$, Windrichtung II (ÖNORM)	9
Abbildung 5: Schnittkräfte für Dachträger (Flachdach, Halle $h=7\text{m}$, $b=12\text{m}$)	10
Abbildung 6: Schnittkräfte für Dachträger (Flachdach, Halle $h=7\text{m}$, $b=18\text{m}$)	11
Abbildung 7: Schnittkräfte für Dachträger (Flachdach, Halle $h=7\text{m}$, $b=24\text{m}$)	12
Abbildung 8: Schnittkräfte für Dachträger (Flachdach, Halle $h=9\text{m}$, $b=12\text{m}$)	13
Abbildung 9: Schnittkräfte für Dachträger (Flachdach, Halle $h=9\text{m}$, $b=18\text{m}$)	14
Abbildung 10: Schnittkräfte für Dachträger (Flachdach, Halle $h=9\text{m}$, $b=24\text{m}$)	15
Abbildung 11: Längsschnitt Flachdach (ÖNORM, $h=7$ bzw. 9m , $b=12\text{m}$, $b_1=6\text{m}$)	16
Abbildung 12: Längsschnitt Flachdach (ÖNORM, $h=7$ bzw. 9m , $b=12\text{m}$, $b_1=8\text{m}$)	17
Abbildung 13: Längsschnitt Flachdach (ÖNORM, $h=7$ bzw. 9m , $b=12\text{m}$, $b_1=10\text{m}$)	17
Abbildung 14: Längsschnitt Flachdach (ÖNORM, $h=7\text{m}$, $b=18$ bzw. 24m , $b_1=6\text{m}$)	17
Abbildung 15: Längsschnitt Flachdach (ÖNORM, $h=7\text{m}$, $b=18$ bzw. 24m , $b_1=8\text{m}$)	18
Abbildung 16: Längsschnitt Flachdach (ÖNORM, $h=7\text{m}$, $b=18$ bzw. 24m , $b_1=10\text{m}$)	18
Abbildung 17: Längsschnitt Flachdach (ÖNORM, $h=9\text{m}$, $b=18$ bzw. 24m , $b_1=6\text{m}$)	18
Abbildung 18: Längsschnitt Flachdach (ÖNORM, $h=9\text{m}$, $b=18$ bzw. 24m , $b_1=8\text{m}$)	19
Abbildung 19: Längsschnitt Flachdach (ÖNORM, $h=9\text{m}$, $b=18$ bzw. 24m , $b_1=10\text{m}$)	19
Abbildung 20: Schnittkräfte für Dachträger bei Windeinwirkung nach unten	21
Abbildung 21: Dachzoneneinteilung für Satteldächer $h=7\text{m}$, Windrichtung I (ÖNORM)	22
Abbildung 22: Dachzoneneinteilung für Satteldächer $h=9\text{m}$, Windrichtung I (ÖNORM)	23
Abbildung 23: Dachzoneneinteilung für Satteldächer $h=7\text{m}$, Windrichtung II (ÖNORM)	24
Abbildung 24: Dachzoneneinteilung für Satteldächer $h=9\text{m}$, Windrichtung II (ÖNORM)	25
Abbildung 25: Schnittkräfte für Dachträger (Satteldach, Halle $h=7\text{m}$, $b=12\text{m}$)	26
Abbildung 26: Schnittkräfte für Dachträger (Satteldach, Halle $h=7\text{m}$, $b=18\text{m}$)	27
Abbildung 27: Schnittkräfte für Dachträger (Satteldach, Halle $h=7\text{m}$, $b=24\text{m}$)	28
Abbildung 28: Schnittkräfte für Dachträger (Satteldach, Halle $h=9\text{m}$, $b=12\text{m}$)	29
Abbildung 29: Schnittkräfte für Dachträger (Satteldach, Halle $h=9\text{m}$, $b=18\text{m}$)	30
Abbildung 30: Schnittkräfte für Dachträger (Satteldach, Halle $h=9\text{m}$, $b=24\text{m}$)	31
Abbildung 31: Längsschnitt Satteldach (ÖNORM, $h=7$ bzw. 9m , $b=12\text{m}$, $b_1=6\text{m}$)	32
Abbildung 32: Längsschnitt Satteldach (ÖNORM, $h=7$ bzw. 9m , $b=12\text{m}$, $b_1=8\text{m}$)	33
Abbildung 33: Längsschnitt Satteldach (ÖNORM, $h=7$ bzw. 9m , $b=12\text{m}$, $b_1=10\text{m}$)	33
Abbildung 34: Längsschnitt Satteldach (ÖNORM, $h=7\text{m}$, $b=18$ bzw. 24m , $b_1=6\text{m}$)	33

Abbildung 35: Längsschnitt Satteldach (ÖNORM, $h=7\text{m}$, $b=18$ bzw. 24m , $b_i=8\text{m}$)	34
Abbildung 36: Längsschnitt Satteldach (ÖNORM, $h=7\text{m}$, $b=18$ bzw. 24m , $b_i=10\text{m}$)	34
Abbildung 37: Längsschnitt Satteldach (ÖNORM, $h=9\text{m}$, $b=18$ bzw. 24m , $b_i=6\text{m}$)	34
Abbildung 38: Längsschnitt Satteldach (ÖNORM, $h=9\text{m}$, $b=18$ bzw. 24m , $b_i=8\text{m}$)	35
Abbildung 39: Längsschnitt Satteldach (ÖNORM, $h=9\text{m}$, $b=18$ bzw. 24m , $b_i=10\text{m}$)	35
Abbildung 40: Windeinwirkung nach unten (ÖNORM, Satteldach)	37
Abbildung 41: Konservative Windeinwirkung nach unten (Satteldach)	37
Abbildung 42: Schnittkräfte für Dachträger bei Windeinwirkung nach unten	38
Abbildung 43: Dachzoneneinteilung für Flachdächer $h=7\text{m}$, Windrichtung I (DIN)	39
Abbildung 44: Dachzoneneinteilung für Flachdächer $h=9\text{m}$, Windrichtung I (DIN)	40
Abbildung 45: Dachzoneneinteilung für Flachdächer $h=7\text{m}$, Windrichtung II (DIN)	41
Abbildung 46: Dachzoneneinteilung für Flachdächer $h=9\text{m}$, Windrichtung II (DIN)	42
Abbildung 47: Schnittkräfte für Dachträger (Flachdach, Halle $h=7\text{m}$, $b=12\text{m}$)	43
Abbildung 48: Schnittkräfte für Dachträger (Flachdach, Halle $h=7\text{m}$, $b=18\text{m}$)	44
Abbildung 49: Schnittkräfte für Dachträger (Flachdach, Halle $h=7\text{m}$, $b=24\text{m}$)	45
Abbildung 50: Schnittkräfte für Dachträger (Flachdach, Halle $h=9\text{m}$, $b=12\text{m}$)	46
Abbildung 51: Schnittkräfte für Dachträger (Flachdach, Halle $h=9\text{m}$, $b=18\text{m}$)	47
Abbildung 52: Schnittkräfte für Dachträger (Flachdach, Halle $h=9\text{m}$, $b=24\text{m}$)	48
Abbildung 53: Längsschnitt Flachdach (DIN, $h=7$ bzw. 9m , $b=12\text{m}$, $b_i=6\text{m}$)	49
Abbildung 54: Längsschnitt Flachdach (DIN, $h=7$ bzw. 9m , $b=12\text{m}$, $b_i=8\text{m}$)	50
Abbildung 55: Längsschnitt Flachdach (DIN, $h=7$ bzw. 9m , $b=12\text{m}$, $b_i=10\text{m}$)	50
Abbildung 56: Längsschnitt Flachdach (DIN, $h=7\text{m}$, $b=18$ bzw. 24m , $b_i=6\text{m}$)	50
Abbildung 57: Längsschnitt Flachdach (DIN, $h=7\text{m}$, $b=18$ bzw. 24m , $b_i=8\text{m}$)	51
Abbildung 58: Längsschnitt Flachdach (DIN, $h=7\text{m}$, $b=18$ bzw. 24m , $b_i=10\text{m}$)	51
Abbildung 59: Längsschnitt Flachdach (DIN, $h=9\text{m}$, $b=18$ bzw. 24m , $b_i=6\text{m}$)	51
Abbildung 60: Längsschnitt Flachdach (DIN, $h=9\text{m}$, $b=18$ bzw. 24m , $b_i=8\text{m}$)	52
Abbildung 61: Längsschnitt Flachdach (DIN, $h=9\text{m}$, $b=18$ bzw. 24m , $b_i=10\text{m}$)	52
Abbildung 62: Schnittkräfte für Dachträger bei Windeinwirkung nach unten	54
Abbildung 63: Dachzoneneinteilung für Satteldächer $h=7\text{m}$, Windrichtung I (DIN)	55
Abbildung 64: Dachzoneneinteilung für Satteldächer $h=9\text{m}$, Windrichtung I (DIN)	56
Abbildung 65: Dachzoneneinteilung für Satteldächer $h=7\text{m}$, Windrichtung II (DIN)	57
Abbildung 66: Dachzoneneinteilung für Satteldächer $h=9\text{m}$, Windrichtung II (DIN)	58
Abbildung 67: Schnittkräfte für Dachträger (Satteldach, Halle $h=7\text{m}$, $b=12\text{m}$)	59
Abbildung 68: Schnittkräfte für Dachträger (Satteldach, Halle $h=7\text{m}$, $b=18\text{m}$)	60
Abbildung 69: Schnittkräfte für Dachträger (Satteldach, Halle $h=7\text{m}$, $b=24\text{m}$)	61

Abbildung 70: Schnittkräfte für Dachträger (Satteldach, Halle h= 9m, b= 12m)	62
Abbildung 71: Schnittkräfte für Dachträger (Satteldach, Halle h= 9m, b= 18m)	63
Abbildung 72: Schnittkräfte für Dachträger (Satteldach, Halle h= 9m, b= 24m)	64
Abbildung 73: Windeinwirkung nach unten (DIN, Satteldach)	66
Abbildung 74: Konservative Windeinwirkung nach unten (Satteldach)	66
Abbildung 75: Schnittkräfte für Dachträger bei Windeinwirkung nach unten	67
Abbildung 76: Wandzoneneinteilung bei Flachdächer h= 7m, Windrichtung I (ÖNORM)	69
Abbildung 77: Wandzoneneinteilung bei Flachdächer h= 9m, Windrichtung I (ÖNORM)	70
Abbildung 78: Wandzoneneinteilung bei Flachdächer h= 7m, Windrichtung II (ÖNORM)	71
Abbildung 79: Wandzoneneinteilung bei Flachdächer h= 9m, Windrichtung II (ÖNORM)	72
Abbildung 80: Wandzoneneinteilung bei Satteldächer h= 7m, Windrichtung I (ÖNORM)	73
Abbildung 81: Wandzoneneinteilung bei Satteldächer h= 9m, Windrichtung I (ÖNORM)	74
Abbildung 82: Wandzoneneinteilung bei Satteldächer h= 7m, Windrichtung II (ÖNORM)	75
Abbildung 83: Wandzoneneinteilung bei Satteldächer h= 9m, Windrichtung II (ÖNORM)	76
Abbildung 84: Schnittkräfte für Einzelstütze (Flachdach, Halle h= 7m, b= 12m)	78
Abbildung 85: Wandzoneneinteilung bei Flachdächer h= 7 bzw. 9m, Windrichtung I (DIN)	79
Abbildung 86: Wandzoneneinteilung bei Flachdächer h= 7 bzw. 9m, Windrichtung II (DIN)	80
Abbildung 87: Wandzoneneinteilung bei Satteldächer h= 7 bzw. 9m, Windrichtung I (DIN)	81
Abbildung 88: Wandzoneneinteilung bei Flachdächer h= 7 bzw. 9m, Windrichtung II (DIN)	82
Abbildung 89: Schnittkräfte für Einzelstütze (Flachdach, Halle h= 7m, b= 12m)	84
Abbildung 90: Schnittkräfte für Rahmen mit einem eingespannten Stützenfuß und gelenkigen Rahmenecken (ÖNORM, Flachdach, Halle h= 7m, b= 12m)	86
Abbildung 91: Schnittkräfte für Rahmen mit eingespannten Stützenfüßen und gelenkigen Rahmenecken (ÖNORM, Flachdach, Halle h= 7m, b= 12m)	88
Abbildung 92: Schnittkräfte Lastfälle 1-4 für Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken (ÖNORM, Flachdach, Halle h= 7m, b= 12m)	90
Abbildung 93: Schnittkräfte Lastfallkombination 1 für Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken (ÖNORM, Flachdach, Halle h= 7m, b= 12m)	92
Abbildung 94: Schnittkräfte Lastfälle 1-2 für Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken (ÖNORM, Flachdach, Halle h= 7m, b= 24m)	95
Abbildung 95: Schnittkräfte Lastfälle 3-4 für Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken (ÖNORM, Flachdach, Halle h= 7m, b= 24m)	96
Abbildung 96: Schnittkräfte Lastfallkombination 1 für Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken (ÖNORM, Flachdach, Halle h= 7m, b= 24m)	98
Abbildung 97: Schnittkräfte für Rahmen mit einem eingespannten Stützenfuß und gelenkigen Rahmenecken (DIN, Flachdach, Halle h= 7m, b= 12m)	102
Abbildung 98: Schnittkräfte für Rahmen mit eingespannten Stützenfüßen und gelenkigen Rahmenecken (DIN, Flachdach, Halle h= 7m, b= 12m)	104

Abbildung 99: Schnittkräfte Lastfälle 1-4 für Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken (DIN, Flachdach, Halle h= 7m, b= 12m)	106
Abbildung 100: Schnittkräfte Lastfallkombination 1 für Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken (DIN, Flachdach, Halle h= 7m, b= 12m)	108
Abbildung 101: Schnittkräfte Lastfälle 1-2 für Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken (DIN, Flachdach, Halle h= 7m, b= 24m)	111
Abbildung 102: Schnittkräfte Lastfälle 3-4 für Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken (DIN, Flachdach, Halle h= 7m, b= 24m)	112
Abbildung 103: Schnittkräfte Lastfallkombination 1 für Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken (DIN, Flachdach, Halle h= 7m, b= 24m)	114
Abbildung 104: Maßgebender Lastfall Einzelstütze	130
Abbildung 105: Maßgebender Lastfall Rahmen mit einem eingespannten Stützenfuß und gelenkigen Rahmenecken	131
Abbildung 106: Maßgebender Lastfall Rahmen mit eingespannten Stützenfüßen und gelenkigen Rahmenecken	132
Abbildung 107: Maßgebender Lastfall Rahmen mit gelenkigen Stützenfüßen und biegesteifen Rahmenecken (Zweigelenkrahmen)	133

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Druckbeiwerte $c_{Wind II}$ und c_A^* bzw. c_M^* (ÖNORM, Flachdach, Halle h= 7m)	20
Tabelle 2: Druckbeiwerte $c_{Wind II}$ und c_A^* bzw. c_M^* (ÖNORM, Flachdach, Halle h= 9m)	20
Tabelle 3: Druckbeiwerte $c_{Wind II}$ und c_A^* bzw. c_M^* (ÖNORM, Satteldach, Halle h= 7m)	36
Tabelle 4: Druckbeiwerte $c_{Wind II}$ und c_A^* bzw. c_M^* (ÖNORM, Satteldach, Halle h= 9m)	36
Tabelle 5: Druckbeiwerte $c_{Wind II}$ und c_A^* bzw. c_M^* (DIN, Flachdach, Halle h= 7m)	53
Tabelle 6: Druckbeiwerte $c_{Wind II}$ und c_A^* bzw. c_M^* (DIN, Flachdach, Halle h= 9m)	53
Tabelle 7: Druckbeiwerte $c_{Wind II}$ und c_A^* bzw. c_M^* (DIN, Satteldach, Halle h= 7m)	65
Tabelle 8: Druckbeiwerte $c_{Wind II}$ und c_A^* bzw. c_M^* (DIN, Satteldach, Halle h= 9m)	65
Tabelle 9: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (ÖNORM, Flachdach, Halle h= 7m, b= 12m)	118
Tabelle 10: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (ÖNORM, Flachdach, Halle h= 7m, b= 18m)	118
Tabelle 11: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (ÖNORM, Flachdach, Halle h= 7m, b= 24m)	118
Tabelle 12: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (ÖNORM, Flachdach, Halle h= 9m, b= 12m)	119
Tabelle 13: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (ÖNORM, Flachdach, Halle h= 9m, b= 18m)	119
Tabelle 14: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (ÖNORM, Flachdach, Halle h= 9m, b= 24m)	119
Tabelle 15: Druckbeiwerte $c_{Wind II}$ und c_A^* bzw. c_M^* (ÖNORM, Flachdach, Halle h= 7m)	120
Tabelle 16: Druckbeiwerte $c_{Wind II}$ und c_A^* bzw. c_M^* (ÖNORM, Flachdach, Halle h= 9m)	120
Tabelle 17: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (ÖNORM, Satteldach, Halle h= 7m, b= 12m)	121
Tabelle 18: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (ÖNORM, Satteldach, Halle h= 7m, b= 18m)	121
Tabelle 19: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (ÖNORM, Satteldach, Halle h= 7m, b= 24m)	121
Tabelle 20: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (ÖNORM, Satteldach, Halle h= 9m, b= 12m)	122

Tabelle 21: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (ÖNORM, Satteldach, Halle h= 9m, b= 18m)	122
Tabelle 22: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (ÖNORM, Satteldach, Halle h= 9m, b= 24m)	122
Tabelle 23: Druckbeiwerte $c_{Wind II}$ und c_A^* bzw. c_M^* (ÖNORM, Satteldach, Halle h= 7m)	123
Tabelle 24: Druckbeiwerte $c_{Wind II}$ und c_A^* bzw. c_M^* (ÖNORM, Satteldach, Halle h= 9m)	123
Tabelle 25: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (DIN, Flachdach, Halle h= 7m, b= 12m)	124
Tabelle 26: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (DIN, Flachdach, Halle h= 7m, b= 18m)	124
Tabelle 27: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (DIN, Flachdach, Halle h= 7m, b= 24m)	124
Tabelle 28: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (DIN, Flachdach, Halle h= 9m, b= 12m)	125
Tabelle 29: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (DIN, Flachdach, Halle h= 9m, b= 18m)	125
Tabelle 30: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (DIN, Flachdach, Halle h= 9m, b= 24m)	125
Tabelle 31: Druckbeiwerte $c_{Wind II}$ und c_A^* bzw. c_M^* (DIN, Flachdach, Halle h= 7m)	126
Tabelle 32: Druckbeiwerte $c_{Wind II}$ und c_A^* bzw. c_M^* (DIN, Flachdach, Halle h= 9m)	126
Tabelle 33: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (DIN, Satteldach, Halle h= 7m, b= 12m)	127
Tabelle 34: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (DIN, Satteldach, Halle h= 7m, b= 18m)	127
Tabelle 35: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (DIN, Satteldach, Halle h= 7m, b= 24m)	127
Tabelle 36: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (DIN, Satteldach, Halle h= 9m, b= 12m)	128
Tabelle 37: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (DIN, Satteldach, Halle h= 9m, b= 18m)	128
Tabelle 38: Ersatzbeiwerte auf Dachträger (DIN, Satteldach, Halle h= 9m, b= 24m)	128
Tabelle 39: Druckbeiwerte $c_{Wind II}$ und c_A^* bzw. c_M^* (DIN, Satteldach, Halle h= 7m)	129
Tabelle 40: Druckbeiwerte $c_{Wind II}$ und c_A^* bzw. c_M^* (DIN, Satteldach, Halle h= 9m)	129