

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

AFFIDAVIT

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly indicated all material which has been quoted either literally or by content from the sources used. The text document uploaded to TUGRAZonline is identical to the present master's thesis.

Datum / Date

Unterschrift / Signature

Kurzfassung

Systemberechnungen von Hallenrahmen mit Bauteilnachweisen nach Eurocode 3

Diese Arbeit beschäftigt sich mit den anerkannten, unterschiedlichen Nachweisverfahren zur Bauteilstabilität von Rahmentragwerken nach Eurocode 3 (EN 1993-1-1). Es werden anhand einer umfassender Parameterstudie für übliche Hallenrahmen sämtliche Schritte der einzelnen Nachweisverfahren analysiert und verglichen. Anhand dieser gewonnenen Erkenntnisse bekommt man einen Einblick über den Aufwand der Berechnungen und den Ergebnisunterschieden der einzelnen Verfahren. Für das untersuchte System (Portalrahmen) stellt sich heraus, dass Effekte II. Ordnung in der Tragwerkshauptebene von relativ geringer Bedeutung sind.

Abstract

System calculation of portal frames with member buckling verification according to Eurocode 3

This thesis deals with the accepted, different methods of the stability analysis of frame structures according to Eurocode 3 (EN 1993-1-1). Based on a comprehensive parameter study where the individual steps of the different methods are presented and compared. Based on these results one gets an insight into the complexity of the calculation procedures and the differences in results of each method. For the analysed system (portal frame) it turns out that second degree effects on the main level of the supporting framework are of rather minor importance.

Danksagung

Meine Masterarbeit entstand am Institut für Stahlbau der Technischen Universität unter der Betreuung von Univ. Prof. DI Dr. Harald Unterweger und DI Dr. Andreas Taras, bei denen ich mich für die Hilfestellungen und Korrekturen sowie das angenehme Arbeitsklima bedanken möchte.

Ein herzlicher Dank gilt meinen beiden Eltern, die mich nicht nur finanziell, sondern auch moralisch unterstützt haben.

Großer Dank gebührt auch meiner Verlobten Anna, die während des letzten halben Jahres auf viel gemeinsame Zeit verzichten musste und stets ein offenes Ohr für mich hatte.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	3
1.1	Einleitung	3
1.2	Umfang der Arbeit und untersuchte Systeme	5
1.2.1	Grundsätzliche Festlegungen für die untersuchten Systeme	5
1.2.2	Anlageverhältnisse zu den untersuchten Systemen	7
2	Grundlagen zu den einzelnen Nachweisverfahren	9
2.1	Stabilitätsnachweise für Bauteile gemäß Eurocode EN 1993-1-1	9
2.1.1	Nachweisverfahren I: Globale 3D- Tragwerksberechnung	9
2.1.2	Nachweisverfahren II: Globale Tragwerksberechnung nach Theorie II. Ordnung mit allen Imperfektionen in der Ebene und zusätzliche Bauteilnachweise aus der Ebene	10
2.1.3	Nachweisverfahren III: Globale Tragwerksberechnung nach Theorie II. Ordnung und Nachweise am herausgelösten Stab (BK_{yy} und BDK)	10
2.1.4	Nachweisverfahren IV: Globale Nachweise am Ersatzstab	11
2.2	Theorie I. Ordnung / Theorie II. Ordnung	11
2.3	Imperfektionen in EN 1993-1-1	13
2.4	Erfassung der plastischen Tragreserven in EN 1993-1-1	14
2.5	α_{cr} - Vergrößerungsbeiwert der idealen Verzweigungslast	15
2.6	In dieser Arbeit angewandte Verfahren	16
3	Methodik und Vorgehensweise bei der Berechnung	17
3.1	Vorgehensweise	17
3.2	Hilfsmittel bei der Berechnung	17
3.3	Lasten und maßgebende Lastfallkombinationen	18
3.3.1	Lastaufstellung	18
3.3.2	Lastfallkombinationen	25
3.4	Aufbau und Beschreibung der Auswertungs-Tabellen	29
3.4.1	Querschnittswerte	29
3.4.2	Biegedrillknicken – Verfahren nach Anhang B - Alternative	29
3.4.3	Querschnittsnachweis	30
3.5	Beispiel System 1.2 Ort A	31
3.6	Berechnungsformeln in den Tabellen	34
3.6.1	Querschnittswiderstände	34
3.6.2	Stabilitätsnachweise für Bauteile, [6.3], EN 1993-1-1	34
3.6.3	Beanspruchbarkeit von Querschnitten, [6.2], EN 1993-1-1	39
3.7	RSTAB Analyse - Zusatzmodul RSKNICK	40
4	Vorbemessung – gewählte Systeme	42
4.1	Vorbemessung	42
4.1.1	Grenzzustand der Tragfähigkeit ULS	42
4.1.2	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit SLS	43
4.1.3	Ergebnisse der Vorbemessung	43
4.2	Leicht modifizierte, endgültige Systeme	45
5	Zusammenfassende Ergebnisse	46
5.1	Maßgebende Lastfallkombinationen	46
5.1.1	Maßgebende Lastfallkombination – ULS	47
5.1.2	Maßgebende Lastfallkombination – SLS	48
5.2	Auslegung der Hallenrahmen – Einfluss der SLS - Nachweise	50
5.3	Bemessungsbestimmende Nachweise - ULS	52
5.4	Stabilitätsverhalten der Rahmen in der Ebene	54
5.5	Nachweisverfahren im Vergleich	55
6	Exemplarische Ergebnisdarstellung für einzelne Systeme	56

6.1	Aufbau des Auswertungsdokument	57
6.2	Zusätzliche Eingangswerte für das Nachweisverfahren IV	58
6.2.1	α_{cr} Vergrößerungsbeiwert / β_y Knicklängenbeiwert	58
6.2.2	Moment TH. II Ordnung	59
6.3	System 1.1 Ort A.....	60
6.4	System 2.3 Ort A.....	67
6.5	System 3.1 Ort B.....	74
6.6	System 3.2 Ort A.....	81
6.7	System 4.3 Ort B.....	88
6.8	System 5.1 Ort A.....	95
6.9	System 6.2 Ort B.....	102
A	Anhang A Lasten	109
A.1	Lastaufstellung.....	109
A.1.1	Eigengewicht.....	109
	A.1.1.1 Dachkonstruktion leicht	109
	A.1.1.2 Dachkonstruktion schwer	109
A.1.2	Schneelasten	110
	A.1.2.1 Schneelast Ort A	110
	A.1.2.2 Schneelast Ort B	110
A.1.3	Windlasten	111
	A.1.3.1 Windlast Ort A	111
	A.1.3.2 Windlast Ort B	113
	A.1.3.3 Geometrischen Randbedingungen - Windeinwirkung auf die Breitseite:	117
	A.1.3.4 Geometrischen Randbedingungen - Windeinwirkung auf die Längsseite:.....	131
	A.1.3.5 Zusammenfassung der Windeinwirkungen:	146
	A.1.3.6 maßgebenden Windlasten	150
A.2	Lastfälle.....	163
A.2.1	Systeme 1 & 2.....	163
	A.2.1.1 Tragwerk, Aufbau & Schneelast.....	163
	A.2.1.2 Windlasten.....	164
A.2.2	Imperfektionslastfälle	165
A.2.3	Systeme 3 – 6	167
	A.2.3.1 Tragwerk, Aufbau & Schneelast.....	167
	A.2.3.2 Windlasten.....	168
	A.2.3.3 Imperfektionslastfälle.....	169
A.3	Lastfallkombinationen	171
A.3.1	Lastfallkombinationen Grenzzustände der Tragfähigkeit.....	171
A.3.2	Lastfallkombinationen Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit SLS	173
A.3.3	Maßgebende Lastfallkombinationen	174
	A.3.3.1 Systeme 1 & 2 maßgebende LK4 ULS	175
	A.3.3.2 Systeme 3 -6 maßgebende LK2 ULS.....	175
	A.3.3.3 Systeme 1 & 2 maßgebende LK SLS.....	176
	A.3.3.4 Systeme 3 - 6 maßgebende LK SLS.....	177
	Anhang B Auswertung	178
	Verweise	179

1 Einführung

1.1 Einleitung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit dem Systemverhalten von am Fußpunkt gelenkig gelagerten Rahmentragwerken ("Zweigelenkrahmen") und den zugehörigen Nachweisverfahren nach Eurocode EN 1993-1-1.

Sie untersucht die Unterschiede anhand einer vergleichenden Studie für übliche Rahmenabmessungen zwischen den in der Norm vorhandenen und möglichen Nachweisverfahren:

- Nachweisverfahren I: Globale 3D- Tragwerksberechnung II. Ordnung mit Imperfektionen inkl. Abbildung aller Tragfähigkeits- und Stabilitätseffekte (in dieser Arbeit nicht behandelt)
- Nachweisverfahren II: Tragwerksberechnung II. Ordnung mit äquivalenten Ersatzimperfektionen; Querschnittsnachweise für Knicken in der Ebene; Biegedrillknicknachweis aus der Ebene und Stabilitätsanalyse am Stab
- Nachweisverfahren III: Tragwerksberechnung II. Ordnung mit Systemschiefstellung; Knicknachweis in der Ebene am Einzelstab; Biegedrillknicknachweis aus der Ebene
- Nachweisverfahren IV: Tragwerksberechnung I. Ordnung; Knicken in der Ebene am Ersatzstab; Biegedrillknicknachweis aus der Ebene

Die in dieser Arbeit behandelten Nachweisverfahren II, III, IV beziehen sich alle auf das Knickversagen in der Rahmenebene. Aus der Ebene wird in allen Fällen ein zusätzlicher Biegedrillknicknachweis erforderlich.

Das am weitverbreitetste Haupttragsystem im Stahlhallenbau ist das Rahmentragwerk. Es unterscheidet sich zu den Tragstrukturen aus Stützen und gelenkig aufgelagerten Trägern durch die biegesteife Eckverbindung.

Die Stütze des Rahmens hat zusätzlich zur Normalkraftbeanspruchung Biegemomente aufzunehmen, dies führt zu erhöhten Steifigkeiten in der Rahmenebene. Aufgrund der biegesteifen Eckverbindung wird die freie Verdrehbarkeit des Trägers behindert, was zu einer Umlagerung des Biegemomentes im Feld zu den Rahmenecken führt. Bei der Ableitung horizontaler Kräfte (Wind) beteiligen sich Träger und Stütze gleichermaßen.

Ein besonderes konstruktives Augenmerk muss man auf die Ausbildung der Rahmenecken legen, da die Kraftumlenkung hohe lokale Spannungen hervorruft, denen man mit Vouten oder Steifen entgegenkommt.

In der Ebene aller Rahmen benötigen Rahmentragwerke keine zusätzliche Aussteifung, diese werden lediglich in Quer- bzw. Hallenlängsrichtung benötigt. Horizontal- und Vertikalverbände (in Dach- und Wandebene) in Form von K- oder Kreuzverbänden sind hierfür vorzusehen.

Der Systemberechnung von einschiffigen Rahmen bei Stahlhallen wird in der Literatur und im Normenwesen viel Beachtung gegeben, da dieser Hallentyp ein sehr gängiger ist und häufig zur Anwendung kommt.

Das reale Tragwerk wird im Rechenmodell durch ein statisches ebenes Ersatzsystem dargestellt, dessen Elemente (Stäbe, Knoten & Fundamente) spezifische Steifigkeiten und spezifische Tragfähigkeiten (M_{el} , M_{pl}) besitzen.

Die Berechnung der Schnittkräfte wird wie folgt beeinflusst:

- Je nach Systemverhalten (Verformungen) ist der Effekt der Theorie II. Ordnung (Stabilitätseffekte) zu vernachlässigen oder zu berücksichtigen
- Je nach Rotationskapazität der Stäbe und Anschlüsse kann die Schnittkraftberechnung auf elastischer oder plastischer Basis durchgeführt werden
 - in dieser Arbeit wird nur die elastische Systemberechnung untersucht
- Je nach Lastverformungsverhalten der Knoten und Anschlüsse kann deren Steifigkeit auf die Schnittkraftberechnung vernachlässigt werden oder ist zu berücksichtigen
 - in dieser Arbeit werden starre Anschlüsse vorausgesetzt

Die Ziele dieser Arbeit sind:

1. die Unterschiede der in der Norm EN 1993-1-1 gestatteten Nachweisverfahren anhand einer umfangreichen Parameterstudie für übliche Hallengeometrien zu analysieren und auszuwerten
2. wenn Unterschiede bestehen diese aufzuzeigen
3. und eine Empfehlung abzugeben, welches der genannten Nachweisverfahren II, III und IV für die praktische Anwendung am sinnvollsten ist.

1.2 Umfang der Arbeit und untersuchte Systeme

Nach einer kurzen Darstellung der zurzeit anerkannten Nachweisverfahren der aktuellen Norm Eurocode EN 1993-1-1 sowie deren Grundlagen, -Systemberechnung nach Theorie I. Ordnung bzw. II. Ordnung, -Vergrößerungsbeiwert für die Einwirkungen, -Systemverhalten von Tragwerken bzw. Querschnitten und -der Imperfektionen, wird die eigentliche Kernaufgabe der Vergleich für verschiedene Rahmentragwerke behandelt.

Das Kapitel 3 gibt einen Überblick über die Vorgehensweise der Berechnung und die eigens für diese Arbeit erstellten Auswertungstabellen für die Nachweisverfahren II, III & IV. Im Anschluss folgt die Auswertung sämtlicher Rechenschritte von der Vorbemessung und Schnittkraftermittlung, mit Hilfe des Programm RSTAB, bis hin zur Auswertung signifikanter Systeme.

Die detaillierte Lastaufstellung und Lastfallkombinationen aller Systeme, sowie deren Analyse finden sich in den Anhängen dieser Arbeit wieder. Der Anhang A beschäftigt sich mit den Lastaufstellungen und Lastfallkombinationen, im digitalen Anhang B werden sämtliche Systeme entsprechend den Nachweisverfahren ausgewertet.

1.2.1 Grundsätzliche Festlegungen für die untersuchten Systeme

Es werden zwei Systemtypen (Sattel- bzw. Flachdach) an zwei verschiedenen Standorten A & B, welche jeweils eine deutlich unterschiedliche Wind- und Schneebelastung aufweisen, betrachtet.

Die ersten beiden Systeme 1 & 2 sind Rahmentragwerke mit Satteldach und einem "leichten" Dachaufbau (Sandwichplatten auf Pfetten).

Die Flachdachsysteme 3 - 6 sind nochmals unterteilt in jene mit einem "leichten" (Systeme 3 & 4) und jene mit einem "schweren" Dachaufbau (Hohldielen & bekiestes Flachdach; System 5 & 6).

Weiters ist zu erwähnen, dass die Systeme mit den Nummern 1, 3 & 5 eine Stützenkopfhöhe $[h]$ von 6,0m und die Systeme 2, 4 & 6 eine Höhe von 8,0m besitzen. (vgl. Bild 1.1)

Die in dieser Arbeit untersuchten Systeme besitzen eine Breite von $b=12,0\text{m}$, $b=18,0\text{m}$ und $b=24,0\text{m}$. Dabei ist das Maß b ident zum Achsabstand der Stützen.

Für die Lastaufstellung der Windlasten wird angenommen, dass die Länge der Hallen dem 10 fachen der Höhe entspricht. Analysiert werden im Windlastfall die Rahmen in Hallenmitte.

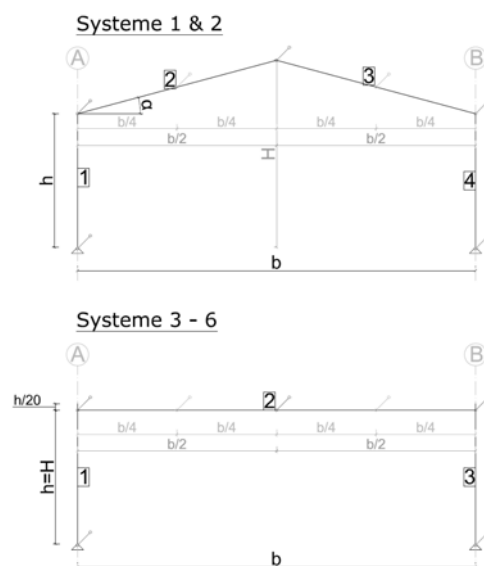


Bild 1.1 allgemeine Systemskizzen

Standort A: "geringe" Wind- und Schneelasten

Windlasten: EN 1991-1-4

Windgeschwindigkeit: 100km/h

Schneelasten: EN 1991-1-3

Schneelast: 1,0kN/m²

Standort B: "hohe" Wind- und Schneelasten

Windlasten: EN 1991-1-4

Windgeschwindigkeit: 125km/h

Schneelasten: EN 1991-1-3

Schneelast: 3,0kN/m²

Systemfestlegungen (vgl. Bild 1.1)

Stützweite [b] bzw. Achsabstand der Stützen: 12,0m, 18,0m, 24,0m

-zusätzliche seitliche Zwischenhalterung der Träger (für beide Gurte): b=12,0m in Trägermitte / b=18,0m in Trägermitte / b=24,0m 3 äquidistante Abstützungen

Stützenkopfhöhe bis Trägerachse [h]: 6,0m (Systeme 1, 3 & 5), 8,0m (Systeme 2, 4 & 6)

-keine seitliche Zwischenhalterung über die gesamte Höhe

Länge [l]: $10 * h$

Dachneigung Satteldachsysteme: [α]: 15°

Achsabstand der Rahmen: $e_1 = 8,0m$ bzw. $e_2 = 6,0m$ (Lasteinflussbreite)

Stahlsorten: S235 bzw. S355

Eigengewichte:Wand bzw. Dach

Dachkonstruktion: "leicht": 0,5kN/m² (Systeme: 1 - 4)

Dachkonstruktion: "schwer": 4,0kN/m² (Systeme: 5 & 6)

Wandkonstruktion: 0,25kN/m²

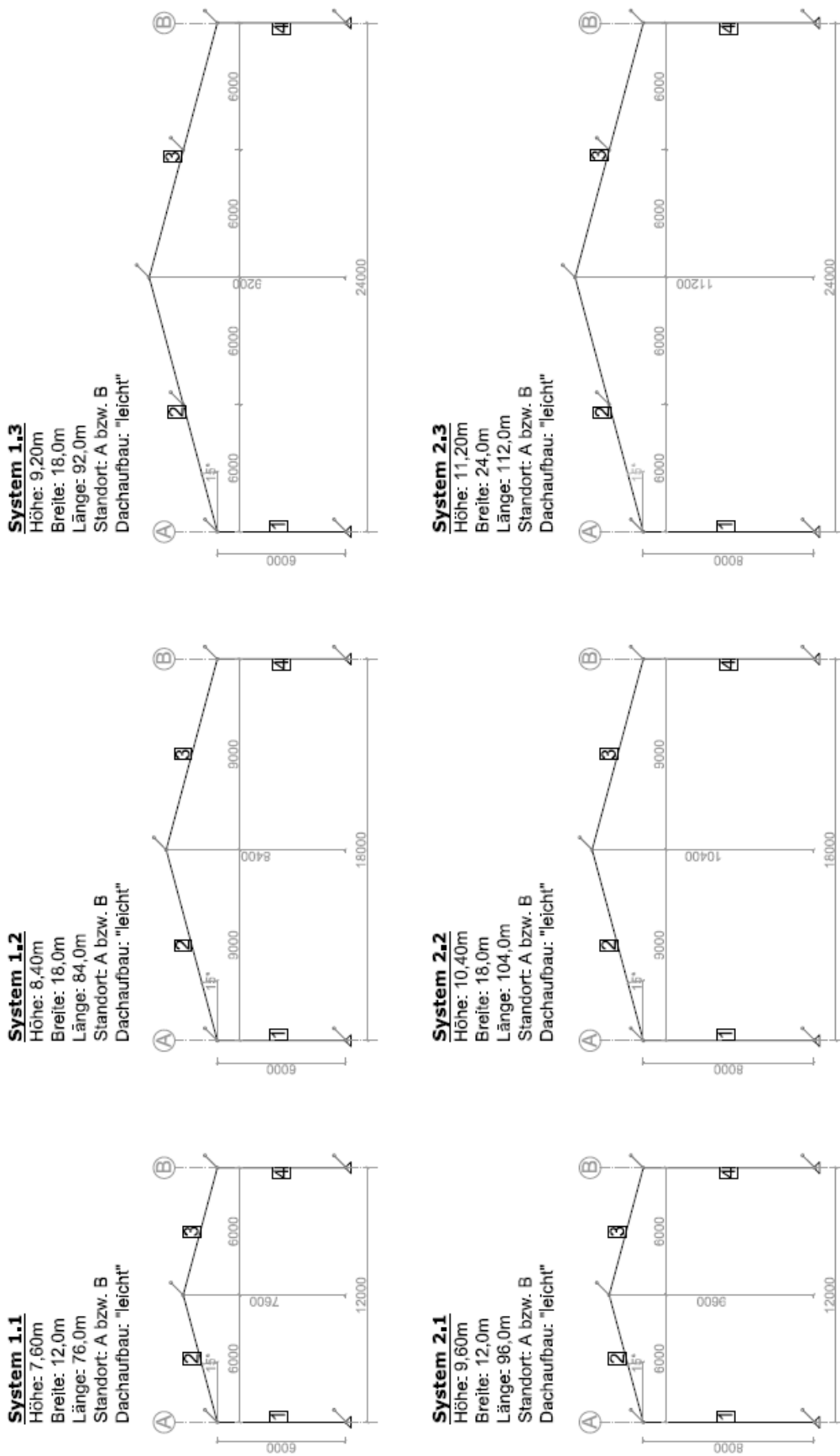
Träger: IPE / HEA / HEB Profile

Stützen: HEB Profile

Anm.: Die Stegebene von Stützen und Träger liegen in der Rahmenebene, sodass für alle Bauteile eine Biegebeanspruchung M_y um die Starke Achse vorliegt. Das Knicken in der Rahmenebene stellt ebenfalls ein Knicken um die y-Achse dar.

Insgesamt ergeben diese Randbedingungen eine Anzahl von 36 verschiedenen Systemen, siehe nachfolgende Bilder.

1.2.2 Anlageverhältnisse zu den untersuchten Systemen

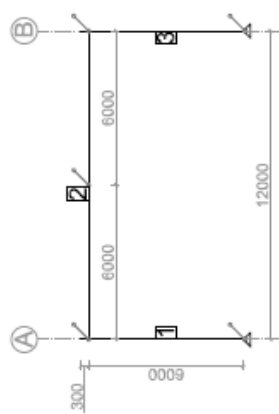


Anm.: Die Halterungen aus der Ebene stellen Stützungen beider Gurte dar (Gabellager)

Bild 1.2 Systemskizzen Satteldach

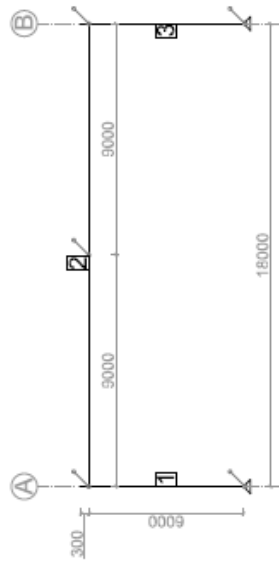
System 3.1 & 5.1

Höhe: 6,0m
 Breite: 12,0m
 Länge: 60,0m
 Standort: A bzw. B
 Dachaufbau: "leicht" bzw. "schwer"



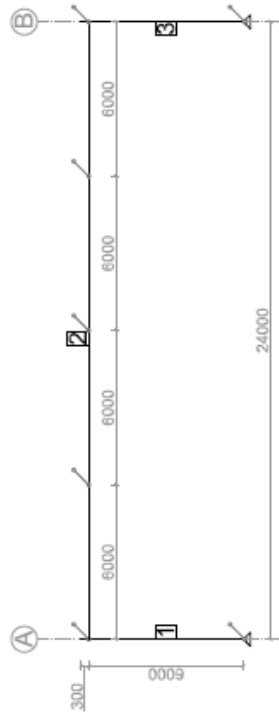
System 3.2 & 5.2

Höhe: 6,0m
 Breite: 18,0m
 Länge: 60,0m
 Standort: A bzw. B
 Dachaufbau: "leicht" bzw. "schwer"



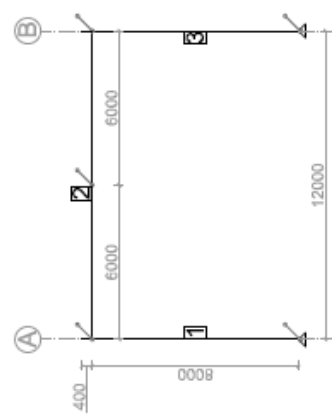
System 3.3 & 5.3

Höhe: 6,0m
 Breite: 24,0m
 Länge: 60,0m
 Standort: A bzw. B
 Dachaufbau: "leicht" bzw. "schwer"



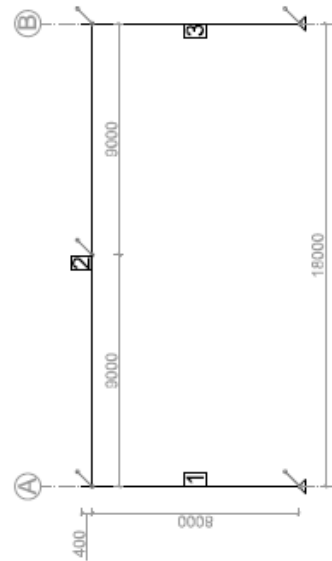
System 4.1 & 6.1

Höhe: 8,0m
 Breite: 12,0m
 Länge: 80,0m
 Standort: A bzw. B
 Dachaufbau: "leicht" bzw. "schwer"



System 4.2 & 6.2

Höhe: 8,0m
 Breite: 18,0m
 Länge: 80,0m
 Standort: A bzw. B
 Dachaufbau: "leicht" bzw. "schwer"



System 4.3 & 6.3

Höhe: 8,0m
 Breite: 24,0m
 Länge: 80,0m
 Standort: A bzw. B
 Dachaufbau: "leicht" bzw. "schwer"

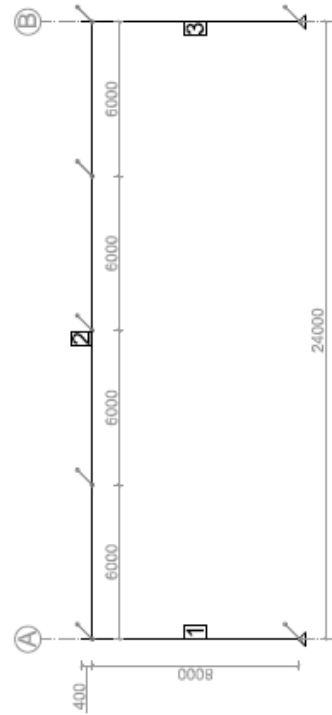


Bild 1.3 Systemskizzen Flachdach

Anm.: Die Halterungen aus der Ebene stellen Stützungen beider Gurte dar (Gabellager)

2 Grundlagen zu den einzelnen Nachweisverfahren

2.1 Stabilitätsnachweise für Bauteile gemäß Eurocode EN 1993-1-1

Der Eurocode EN 1993-1-1 bietet mehrere Möglichkeiten zur Stabilitätsanalyse von Tragwerken. Die Verfahren reichen von einer globalen Systemberechnung nach Theorie II. Ordnung bis hin zum Ersatzstabverfahren, das auf einer Systemberechnung nach Theorie I. Ordnung aufbaut.

“Die einzelnen Verfahren unterscheiden sich im Ausmaß, in dem die Effekte der Stabilität durch die Schnittkraftberechnung abgedeckt werden oder diese durch die Stabnachweise erfasst werden. Beim Verfahren I ist ersteres der Fall, bei Verfahren IV dagegen letzteres. Die Zwischenstufen decken die Stabilitätseffekte teilweise in der Systemberechnung und teilweise durch Stabnachweise.“¹

2.1.1 Nachweisverfahren I: Globale 3D- Tragwerksberechnung

Räumliche Systemberechnung nach Theorie II. Ordnung inklusive aller Imperfektionen (auch der räumlichen Effekte). Als Nachweise sind nur mehr die Querschnittsnachweise an den maßgebenden Stellen zu führen. Aufgrund der genauen Modellierung des Systems sind keine ergänzenden Bauteilnachweise erforderlich.

Die Berechnung erfolgt über ein Rechenprogramm, welches auch die Wölbkrafttorsion erfasst und diese in den Querschnittsnachweisen berücksichtigt.

Der hohe Modellierungsaufwand und die Komplexität der Eingabeparameter setzt ein hochwertiges 3D-Finite Elemente Programm voraus.

Weiters ist es von Vorteil, vor Systemeingabe das endgültige System zu kennen, da nachträgliche Systemänderungen des Tragwerks einen hohen Änderungsaufwand besitzen.

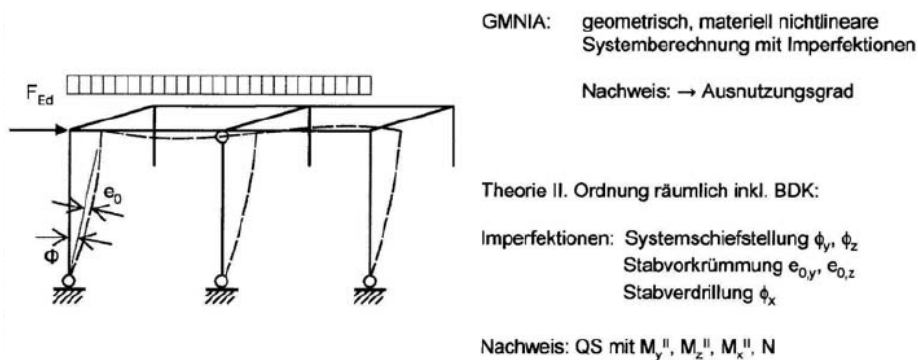


Bild 2.1 Nachweisverfahren I²

¹ SKRIPTUM Stahlbau_VU Technische Universität Graz / Tragwerksberechnung – Stabilität von Systemen Seite 5-12 / Ausgabe: S-5-20-2008

² SKRIPTUM Stahlbau_VU Technische Universität Graz / Tragwerksberechnung – Stabilität von Systemen Seite 5-14 / Ausgabe: S-5-20-2008

2.1.2 Nachweisverfahren II: Globale Tragwerksberechnung nach Theorie II. Ordnung mit allen Imperfektionen in der Ebene und zusätzliche Bauteilnachweise aus der Ebene

Ebene Systemberechnung nach Theorie II. Ordnung inklusive aller Imperfektionen (globale Anfangsschiefstellung und Stabvorkrümmung in der Tragwerksebene). Der Nachweis in der Ebene erfolgt über einen Querschnittsnachweis mit M_{yE}^{II} , aus der Ebene erfolgt der Stabilitätsnachweis mit der Knicklänge $L_{k,z}$ (Nachweis Biegedrillknicken – BDK) in Abhängigkeit der Lage von Abstützungen beider Gurte aus der Rahmenebene, mit dem Randmoment M_{yE}^{II} .

Die Systemeingabe erfordert einen viel geringeren Aufwand als beim Nachweisverfahren I, wodurch nachträgliche Änderungen schneller durchgeführt werden können.

Die Berechnung der Schnittkräfte kann über "2D-Statikprogramme" erfolgen, welche über die Eingabe von geometrischen Imperfektionen und Rechenmethoden nach Theorie II. Ordnung verfügen.

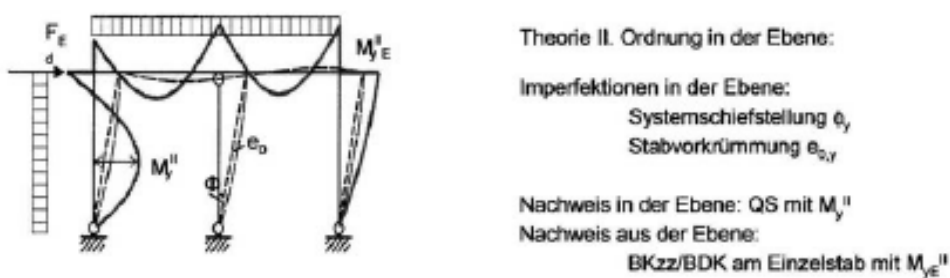


Bild 2.2 Nachweisverfahren II³

2.1.3 Nachweisverfahren III: Globale Tragwerksberechnung nach Theorie II. Ordnung und Nachweise am herausgelösten Stab (BK_{yy} und BDK)

Ebene Systemberechnung nach Theorie II. Ordnung inklusive entsprechender Imperfektionen (nur globale Anfangsschiefstellung). Der Nachweis in der Ebene erfolgt über einen Stabilitätsnachweis mit der Knicklänge $L_{k,y} = L$ und dem Randmoment M_{yE}^{II} , aus der Ebene (BDK) erfolgt der Stabilitätsnachweis mit der Knicklänge $L_{k,z}$ in Abhängigkeit allfälliger Zwischenhalterungen (Stützung aus der Rahmenebene) und dem Randmoment M_{yE}^{II} (BDK).

Der Vorteil dieser Methode ist die voneinander getrennte Betrachtung von Systemberechnung und Stabnachweisen (Festlegung von seitlichen Abstützungen).

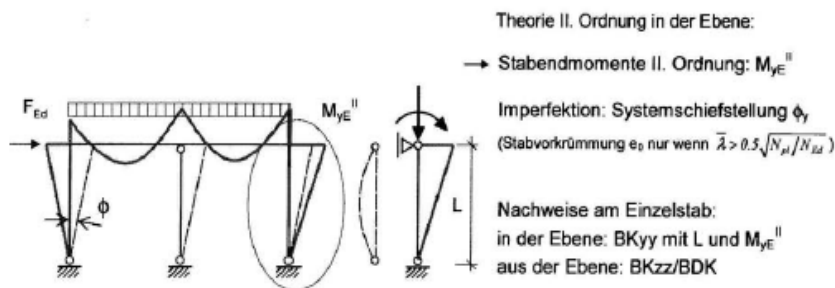


Bild 2.3 Nachweisverfahren III⁴

³ SKRIPTUM Stahlbau_VU Technische Universität Graz / Tragwerksberechnung – Stabilität von Systemen Seite 5-15 / Ausgabe: S-5-20-2008

⁴ SKRIPTUM Stahlbau_VU Technische Universität Graz / Tragwerksberechnung – Stabilität von Systemen Seite 5-16 / Ausgabe: S-5-20-2008

2.1.4 Nachweisverfahren IV: Globale Nachweise am Ersatzstab

Ebene Systemberechnung nach Theorie I. Ordnung inklusive entsprechender Imperfektionen (nur globale Anfangsschiefstellung). Der Nachweis in der Ebene erfolgt über einen Stabilitätsnachweis mit der erhöhten Knicklänge $L_{k,y} = \beta^*L$ und dem Randmoment M_{yE}^I , aus der Ebene erfolgt der Stabilitätsnachweis mit der Knicklänge $L_{k,z}$ in Abhängigkeit allfälliger Zwischenhalterungen und dem Randmoment M_{yE}^{II} .

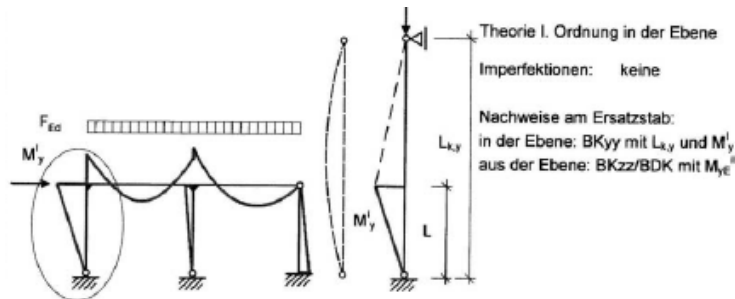


Bild 2.4 Nachweisverfahren IV⁵

2.2 Theorie I. Ordnung / Theorie II. Ordnung

Theorie I. Ordnung

Die Berechnung der Schnittkräfte an unverformten Tragwerken nennt man eine Berechnung nach Theorie I. Ordnung. Dies hat zur Folge, dass die Änderung der Geometrie des Tragwerks durch die Belastung vernachlässigt wird. Eine Berechnung nach Theorie I. Ordnung ist nur dann zulässig, wenn die Verformungen so klein sind, dass sie die Ergebnisse der Berechnung nicht beeinflussen.

Beispiel Kragarm: Am unverformten System dürfen die Grundgleichungen nach Theorie I. Ordnung aufgestellt werden. Die Horizontalverschiebung w_0 und das daraus entstehende Versatzmoment am Stützenfuß aus der Normalkraft P am Kragarmende hat keinen Einfluss auf den Momentenverlauf.

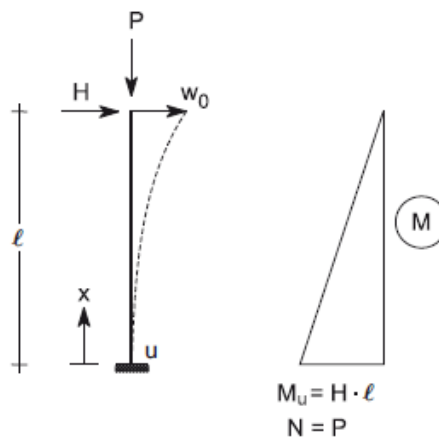


Bild 2.5 Beispiel Kragarm Theorie I. Ordnung⁶

⁵ SKRIPTUM Stahlbau_VU Technische Universität Graz / Tragwerksberechnung – Stabilität von Systemen Seite 5-17 / Ausgabe: S-5-20-2008

⁶ Grundlagen der Baustatik Modelle und Berechnungsmethoden für ebene Stabtragwerke Seite 277 / Dieter Dinkler / 2.Auflage 2012 / Springer Vieweg

Theorie II. Ordnung

Die Berechnung nach Theorie II. Ordnung beschreibt das Gleichgewicht am verformten System, meist unter Ansatz zusätzlicher geometrischer Ersatzimperfektionen (Schiefstellungen und Krümmungen).

Bei der Theorie II. Ordnung wird nach wie vor angenommen, dass die Verformungen eines Bauteils klein sind. Dies stellt im Bauwesen die Regel dar, denn große Verformungen führen dazu, dass die Gebrauchstauglichkeit nicht mehr gegeben ist. Aus der Annahme kleiner Verdrehungen (φ) folgen die Vereinfachungen zur Kinematik mit $\sin \varphi = \varphi$ und $\cos \varphi = 1$.

Beispiel Kragarm: Gibt es Verformungen am Tragwerk, müssen die Grundgleichungen am verformten System aufgestellt werden.

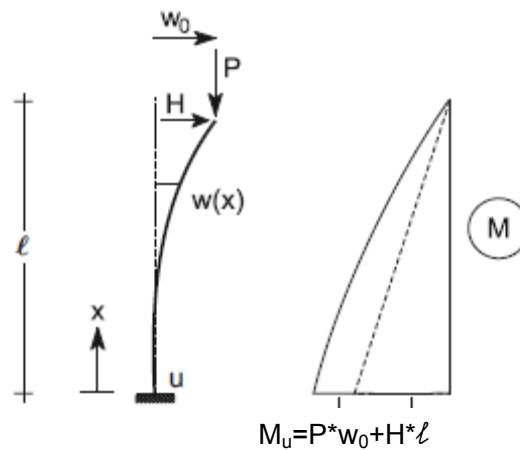


Bild 2.6 Beispiel Kragarm Theorie II. Ordnung⁷

Last-Weg-Diagramme dienen zur Veranschaulichung des Tragverhaltens, da sie den Zusammenhang von Verformungen und Grenzlasten darstellen.

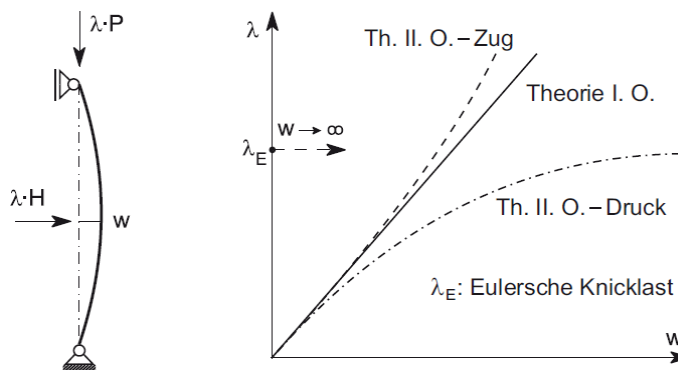


Bild 2.7 Geometrisch nichtlineares Tragverhalten von Knickstäben⁸

⁷ Grundlagen der Baustatik Modelle und Berechnungsmethoden für ebene Stabtragwerke Seite 277 / Dieter Dinkler / 2.Auflage 2012 / Springer Vieweg

⁸ Grundlagen der Baustatik Modelle und Berechnungsmethoden für ebene Stabtragwerke Seite 275 / Dieter Dinkler / 2.Auflage 2012 / Springer Vieweg

2.3 Imperfektionen in EN 1993-1-1

Der Herstellungsprozess von realen Stäben ist niemals perfekt, diese Toleranzen werden als geometrische Imperfektionen bezeichnet und sind in der EN 1090-2 (Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken, Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken) geregelt.

Geometrische Ersatzimperfektionen können alle Arten von Imperfektionen abbilden:

- Eigenspannungen
- Geometrische Imperfektionen: Schiefstellungen und Abweichungen von der Geradheit
- Ebenheit und Passung
- Exzentrizität

In der Berechnung müssen diese realen Imperfektionen mittels äquivalenter Ersatzimperfektionen am Gesamtsystem oder an lokalen Bauteilen berücksichtigt werden.

- **Folgende geometrischen Ersatzimperfektionen sind in der Regel anzusetzen:**

Anfangsschiefstellungen:

$$\Phi = \Phi_o * \alpha_h * \alpha_m \quad \text{mit} \quad \Phi_o = \frac{1}{200} \quad ; \quad \alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} \quad ; \quad \alpha_m = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{m}\right)} \quad [5.5]$$

Φ_o der Ausgangswert

α_h der Abminderungsfaktor für die Höhe h [m] von Stützen

α_m der Abminderungsfaktor für die Anzahl m der Lastabtragenden Stützen in einer Reihe, die mehr als 50% der durchschnittlichen Stützenlast in vertikaler Richtung übernehmen

Vorkrümmung von Bauteilen:

$e_{0,d}/L$ dabei ist L die Bauteillänge [5.6]

Knicklinie nach Tabelle 6.1	elastische Berechnung	plastische Berechnung
	$e_{0,d}/L$	$e_{0,d}/L$
a ₀	1/350	1/300
a	1/300	1/250
b	1/250	1/200
c	1/200	1/150
d	1/150	1/100

Tabelle 2.1 [5.1] Bemessungswerte der Vorkrümmung $e_{0,d}/L$ von Bauteilen⁹

⁹ EN 1993-1-1 Ausgabe 2012-03-01: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Teil1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau Seite 36

2.4 Erfassung der plastischen Tragreserven in EN 1993-1-1

Die Schnittgrößen und Querschnittsbeanspruchbarkeiten dürfen entweder elastisch (E) oder plastisch (P) ermittelt werden, so die entsprechende Querschnittsklasse (QK) gegeben ist. Dies führt zu 4 verschiedenen Verfahren:

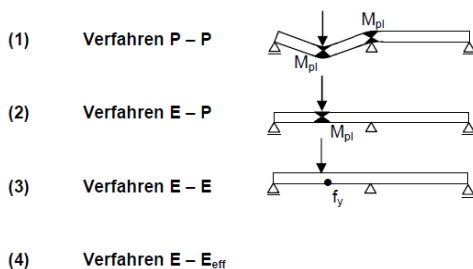


Bild 2.8 Berechnungsverfahren¹⁰

1. P-P: Plastische Berechnungen berücksichtigen die Einflüsse aus nichtlinearen Werkstoffverhalten und dürfen nur angewandt werden, wenn die Bauteile in der Lage sind genügend Rotationskapazität zu entwickeln, um eine Momentenumlagerung zu gewährleisten und die Stabilität der Bauteile an diesen Gelenken gesichert ist. [Profile QK 1]
2. E-P: Schnittgrößen werden elastisch ermittelt, auch wenn die Querschnittsbeanspruchbarkeiten plastisch ermittelt werden [Profile QK 1 & 2]
3. E-E: Schnittgrößen und Querschnittsbeanspruchbarkeiten werden elastisch ermittelt [Profile QK 1-3]
4. E-E_{eff}: Eine elastische Tragwerksberechnung darf auch für Querschnitte verwendet werden, deren Beanspruchbarkeit durch lokales Beulen begrenzt wird. Beim Querschnittsnachweis wird das Beulen berücksichtigt.

Da die Anforderungen an die Querschnitte je nach zugrunde gelegtem Verfahren sehr unterschiedlich sind, ist eine Zuordnung zum Berechnungsverfahren (elastische oder plastische Schnittkraftermittlung) und eine Einteilung in Querschnittsklassen notwendig.

Berechnungs- methode	Querschnittsklasse			
	1	2	3	4
am SYSTEM	plastisch 	elastisch ΔM bis 15% 	elastisch 	elastisch
am QUER- SCHNITT	 plastisch	 plastisch	 elastisch	 reduz. QS
	b/t = 72 c/t _f = 9	83 10	124 14	> 124 > 14 } -> b _{eff}
Verfahren	P - P	E - P	E - E	E - E _{red}

Bild 2.9 Zuordnung der Berechnungsverfahren zur Querschnittsklasse; Beispiel für alleinige Biegung M_y und Baustahl S235¹¹

Anm.: In dieser Arbeit wird in der Regel das Verfahren E-P zugrunde gelegt.

¹⁰ SKRIPTUM Stahlbau_GL Technische Universität Graz / Querschnittsbemessung Seite 3a-5 / Ausgabe: S-5-36-2012

¹¹ SKRIPTUM Stahlbau_GL Technische Universität Graz / Querschnittsbemessung Seite 3a-6 / Ausgabe: S-5-36-2012

2.5 α_{cr} - Vergrößerungsbeiwert der idealen Verzweigungslast

Die Berechnung der Schnittkräfte werden im Allgemeinen entweder nach Theorie I. Ordnung, unter Ansatz der Ausgangsgeometrie des Tragwerks, oder nach Theorie II. Ordnung, unter Berücksichtigung des verformten Tragwerks, berechnet.

Mit dem Vergrößerungsfaktor α_{cr} können die Bemessungswerte der Belastung erhöht werden, um die ideale Verzweigungslast des Gesamttragwerks zu erreichen.

Der Vergrößerungsfaktor ist ein Indikator zur Bestimmung nach welcher Berechnungstheorie (Theorie I. Ordnung oder Theorie II. Ordnung) die Systemberechnung durchzuführen ist.

Eine Berechnung nach Theorie I. Ordnung ist nur dann zulässig, wenn die durch Verformungen herbeigeführten Erhöhungen der Systemschnittkräfte vernachlässigt werden können (Zunahme der Momente unter 10%), oder andere Änderungen des Tragverhalten vernachlässigbar klein sind. Diese Anforderung gilt als erfüllt, wenn:

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10 \quad \text{elastische Berechnung nach Theorie I. Ordnung zulässig}$$

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 15 \quad \text{plastische Berechnung nach Theorie I. Ordnung zulässig}$$

F_{cr} ist die ideale Verzweigungslast des Gesamttragwerks, bezogen auf die Gesamtbelastung F_{Ed}

F_{Ed} ist die Gesamtbelastung der Einwirkungen (Bemessungswert) auf das Tragwerk

2.6 In dieser Arbeit angewandte Verfahren

Diese Arbeit beschäftigt sich mit den Nachweisverfahren II, III und IV hinsichtlich der Stabilität von Rahmen in der Rahmenebene. Auch im Verfahren IV werden Systemschiefstellungen in Rechnung gestellt (siehe. Abschnitt 2.3), da diese nie auszuschließen sind. Die Berechnung der Schnittkräfte erfolgt auf elastischer Ebene. Ebenfalls werden bei jedem Nachweisverfahren die plastischen Querschnittsnachweise nach EN 1993-1-1 geführt. Dies bedeutet, dass für alle Querschnitte Querschnittsklasse 2 vorliegt. Im Nachweisverfahren IV wird das Moment I. Ordnung mit dem Vergrößerungsfaktor α_{cr} erhöht, um M_y^{II} am Stützenkopf zu erhalten und damit den Nachweis aus der Ebene (Biegedrillknicken) zu führen.

Bei allen gewählten Systemen wurden wie schon erwähnt Querschnitte der Klasse 1 oder 2 gewählt, wodurch das das Verfahren E-P verwendet werden kann. Für eine wirtschaftliche Bemessung ist es von Vorteil die plastischen Tragreserven im Stahlbau auszunutzen.

Nachweisverfahren II

Berechnung nach Theorie II. Ordnung

Imperfektionen: Systemschiefstellung Φ

Stabvorkrümmung $e_{0,d}/L$ (plastische Berechnung)

Berechnungsmethode: Schnittkräfte elastisch

- a.) Biegeknicken in der Ebene: Querschnittsnachweise plastisch
- b.) Biegedrillknicknachweise an den Einzelstäben (Stütze, Träger)

Nachweisverfahren III

Berechnung nach Theorie II. Ordnung

Imperfektionen: Systemschiefstellung Φ

Berechnungsmethode: Schnittkräfte elastisch

- a.) Biegeknicken in der Ebene: Nachweis am Einzelstab (Stütze)
- b.) Biegedrillknicknachweise an den Einzelstäben (Stütze, Träger)

Nachweisverfahren IV

Berechnung nach Theorie I. Ordnung

Imperfektionen: Systemschiefstellung Φ (werden in dieser Arbeit angesetzt)

Berechnungsmethode: Schnittkräfte elastisch

- a.) Biegeknicken in der Ebene: Ersatzstabverfahren für Stütze mit $l_{ky} = \beta * l$
- b.) Biegedrillknicknachweise an den Einzelstäben (Stütze, Träger) mit $M_y^{II} = M_y^I * \alpha_{cr}$

3 Methodik und Vorgehensweise bei der Berechnung

In diesem Kapitel wird die Vorgehensweise der Berechnungen näher erläutert. Außerdem gibt es einen Überblick der verwendeten Hilfsmittel bei der Berechnung und es beschreibt den Aufbau und die Rechenschritte der Auswertungstabellen.

3.1 Vorgehensweise

Für jedes System und jeden Standort wurden folgende Berechnungen bzw. Bemessungen durchgeführt:

1. Lastaufstellung abhängig von Standort, Schneelast, Windlast und Dachaufbau (detaillierte Lastaufstellung aller Systeme siehe Anhang A)
2. Vorbemessung ($e=8,0\text{m}$ / S 235) & Optimierung ($e_1=8,0\text{m}$ & $e_2=6,0\text{m}$ / S235 & S355) mittels der Statik-Software RSTAB
3. Systemberechnungen der zu untersuchenden Nachweisverfahren (NWV II, III & IV) um Schnittkräfte, Verformungen, Knicklängen und Verzweigungslastfaktoren zu ermitteln mittels der Statik-Software RSTAB
4. Führen folgender Nachweise:
 - Querschnittsnachweise (Stützenkopf; Träger im Feld und bei Stützenanschluss)
 - Biegeknicknachweis Stütze in der Rahmenebene (NWV III, IV)
 - Biegedrillknicknachweis Stütze (NWV II, III, IV) bzw. Träger

Excel- Auswertung der Ergebnisse der computergestützten Systemberechnungen des maßgebenden Bauteils für das jeweilige Nachweisverfahren (die detaillierte Auswertung aller Systeme findet sich im digitalen Anhang B)

3.2 Hilfsmittel bei der Berechnung

Zur Unterstützung der zeitaufwendigen Arbeitsschritte standen folgende Hilfsmittel in Form von Software bzw. Bemessungsbehelfen zur Verfügung:

- Die Berechnung der Systemschnittkräfte, Verformungen, Verzweigungslastfaktoren und Knicklängen erfolgte mit der Statik-Software "RSTAB 8" und dem Zusatzmodul "RSKNICK" der Firma Dlubal.
- "LTBeam" der Firma cticm zur Vergleichsrechnung des idealen Verzweigungsmomentes bei Biegedrillknicken
- Die Auswertung der Nachweisverfahren erfolgte mit einem eigens weiterentwickelten Excel-Blatt basierend auf einer Profiltabellenliste der Firma convex, nach der aktuellen "EN 1993-1-1" Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln für den Hochbau
- Skripten: Stahlbau GL / VU der Technischen Universität Graz des Institut für Stahlbau
- Skript: Baustatik 2 der Technischen Universität Graz des Institut für Baustatik
- "Stahlbau Formeln und Tabellen" Gerald Luza, Michael Plaka

3.3 Lasten und maßgebende Lastfallkombinationen

Anhand des Systems 3.1_Ort A wird in diesem Abschnitt eine exemplarische Lastaufstellung und Lastfallkombination erstellt. Dieses Schema der Lastaufstellung ist auf alle anderen Systeme übertragbar. Die gesamte Lastaufstellung findet sich in Anhang A Lasten wieder.

Allgemein gilt für jede Lastaufstellung:

$$..., kN/m^2 * e = ..., kN/m$$

mit: e...Achsabstand der Hallenrahmen in [m]

3.3.1 Lastaufstellung

System 3.1:

Achsabstand e=8,0m

- Eigengewicht (A.1.1) $\sum G_k$

Tragwerk: wird in der Berechnung des Statikprogramms berücksichtigt

Dachaufbau "leicht": $0,5kN/m^2 * 8m = 4,0kN/m$ Streckenlast am Träger

Wandkonstruktion $0,25kN/m^2 * 8m = 2,0kN/m$ Vertikalkraft in der Stütze

- Schneelast nach EN 1991-1-3 (A.1.2)

Die Ermittlung der Schneelast gliedert sich im Anhang A in Schneelast Ort A und in Schneelast Ort B.

Ort:	A
Lastzone:	2
Dachneigung:	15°
Umgebungskoeffizient:	$c_e = 1,0$
Temperaturkoeffizient:	$c_t = 1,0$
Formbeiwert für Schneelasten:	$\mu_1 = 0,8$
Charakteristischer Wert:	$s_{kA} = 1,25kN/m^2$

$$s_{Ak} = s_{kA} * c_e * c_t * \mu_1 = 1,25 * 1,0 * 1,0 * 0,8 = 1,00 kN/m^2 * 8,0m = 8kN/m$$

LF3: Schnee_LF 1

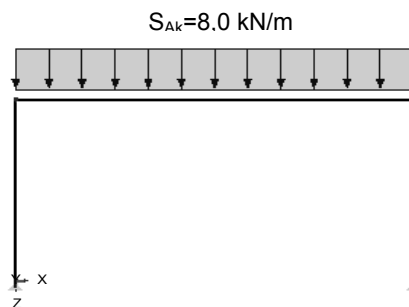


Bild 3.1 maßgebende Schneelast, System 3.1.Ort A

- **Windlast nach EN 1991-1-4 (A.1.3)**

Die Windlasten werden für einen Rahmen in Hallenmitte ermittelt, da die Randbereiche gesondert betrachtet werden müssen.

Allgemein:

Geländekategorie: IV
 Basiswindgeschwindigkeit: $v_{b,0} = 27,78 \text{ m/s}$ (100km/h)
 Basisdruck: $q_{b,0} = 0,483 \text{ kN/m}^2$
 Gebäudehöhen: 6,0m

Windgeschwindigkeit und Geschwindigkeitsdruck:

Basisgeschwindigkeitswerte: c_{dir} und c_{season} sind lt. österreichischen NAD 1,0
 Bauhöhe: $z < 15,0\text{m}$
 Geländekategorie IV: $z_{min} = 15,0\text{m}$

$$c_{e(z)} = \frac{q_p}{q_b} = 1,20 * \left(\frac{z}{10}\right)^{0,38} = 1,20 * \left(\frac{15,0}{10}\right)^{0,38} = 1,40$$

$$c_{r(z)}^2 = 0,263 * \left(\frac{z}{10}\right)^{0,64} = 0,263 * \left(\frac{15,0}{10}\right)^{0,64} = 0,34$$

Basisgeschwindigkeit

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} = 1,0 * 1,0 * 27,78 = 27,78\text{m/s}$$

Basisdruck

$$q_b = c_{dir} * c_{season} * q_{b,0} = 1,0 * 1,0 * 0,483 = 0,483\text{m/s}$$

Mittlerer Winddruck

$$q_{m(z)} = c_{r(z)}^2 * q_b = 0,34 * 0,483 = 0,165\text{kN/m}^2$$

Böengeschwindigkeitsdruck

$$q_{p(z)} = c_{e(z)} * q_b = 1,40 * 0,483 = 0,676\text{kN/m}^2$$

Außendruckbeiwert

$$A > 10\text{m}^2 \rightarrow c_{pe}, 10$$

Geschwindigkeitsdruckverlauf

Konstanter Verlauf:

$$h \leq b \quad z_e = h \quad q_{b(z)} = q_{b(z_e)}$$

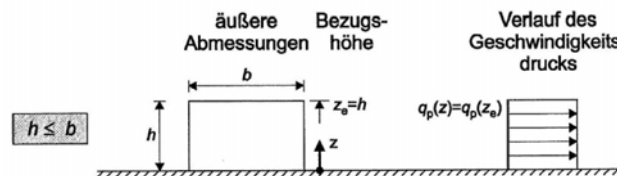
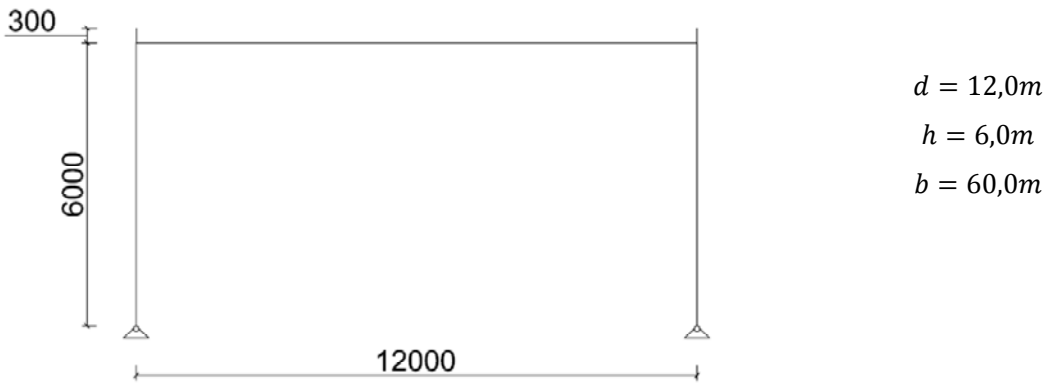


Bild 3.2 Bezugshöhe z_e in Abhängigkeit von h und b und Winddruckverteilung_Ort A¹²

¹² EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 34

Außendruckbeiwerte für die Breitseite: System 3.1



$e = b$ oder $2h$ (der kleinere Wert ist maßgebend)

$$\left. \begin{matrix} e = 12,0m \\ b = 60,0m \\ d = 12,0m \end{matrix} \right\} \text{gewählte Ansicht: } e \geq d \quad \frac{e}{5} = 2,40m$$

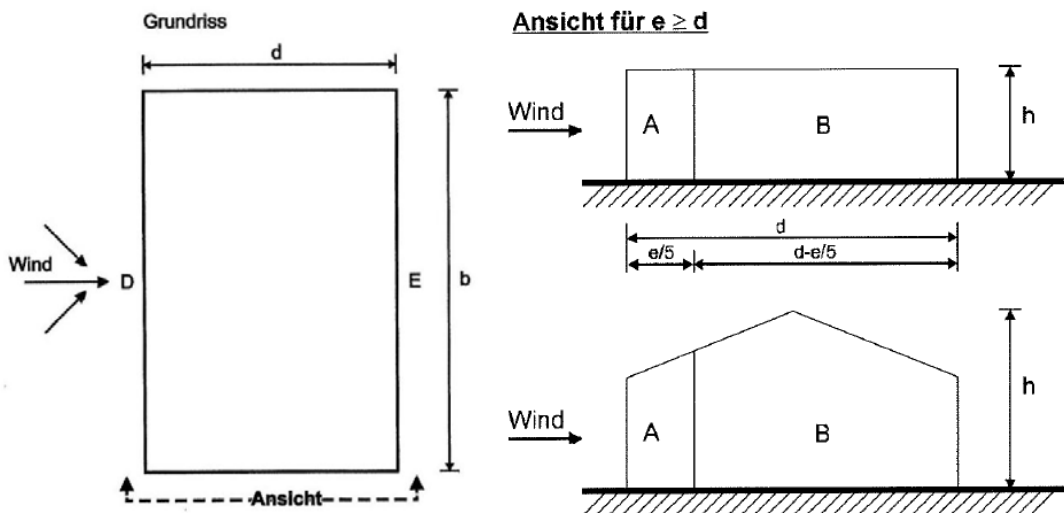


Bild 3.3 Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Breitseite_System 3.1¹³

$$h/b = 6,0/60,0 = 0,100$$

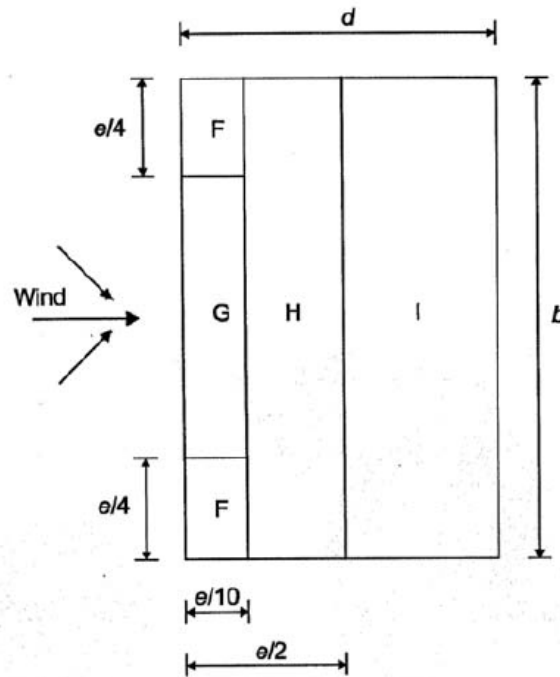
$$d/b = 12,0/60,0 = 0,200$$

Bereich A	$C_{pe,10} = -1,00$
Bereich B	$C_{pe,10} = -0,70$
Bereich D	$C_{pe,10} = +0,80$
Bereich E	$C_{pe,10} = -0,25$

¹³ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 35

Außendruckbeiwerte für das Flachdach BreitseiteNeigungswinkel Dach: $< 5^\circ$ Anströmrichtung $\theta = 0^\circ$ bzw. 180° Attikaverhältnis: $h_p/h = 0,05$

$$e = b \text{ oder } 2h \text{ (der kleinere Wert ist maßgebend)}$$

Bild 3.4 Einteilung der Dachflächen bei Flachdächern_Breitseite¹⁴Bereich F $C_{pe,10}$ [positiv] = -1,40Bereich G $C_{pe,10}$ [positiv] = -0,90Bereich H $C_{pe,10}$ [positiv] = -0,70Bereich I $C_{pe,10}$ [positiv] = +0,20Bereich F $C_{pe,10}$ [negativ] = 1,40Bereich G $C_{pe,10}$ [negativ] = -0,90Bereich H $C_{pe,10}$ [negativ] = -0,70Bereich I $C_{pe,10}$ [negativ] = -0,20Innendruckbeiwerte: $c_{p,i} = +0,2 \text{ kN/m}^2$ (nach außen gerichtet – Druck) $c_{p,i} = -0,3 \text{ kN/m}^2$ (nach innen gerichtet – Sog)¹⁴ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 37

Ergebnis der maßgebenden Windbelastung auf die Breitseite

Der Rechenwert der Windlasten für einen Rahmen in Hallenmitte ergibt sich wie folgt:

$$w_{(e;i)} = q_{p(z_e; z_i)} * c_{p(e,10;i)} * e = \dots, \dots \text{ kN/m}$$

Innendruck				
Bereich	c_{pi} [-]	$q_{p,zi}$ [kN/m ²]	e [m]	w_i [kN/m]
Innensog	-0,30	0,676	8,0	-1,62
Innendruck	0,20	0,676	8,0	1,08
Wand-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
D	0,80	0,676	8,0	4,33
E	-0,25	0,676	8,0	-1,35
Dach-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
G	-0,90	0,676	8,0	-4,87
H	-0,70	0,676	8,0	-3,79
I	-0,20 / +0,20	0,676	8,0	-1,08 / +1,08
Wand-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
C	-0,40	0,676	8,0	-2,16
Dach-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
I	-0,20 / +0,20	0,676	8,0	-1,08 / +1,08

Tabelle 3.1 maßgebenden Windlasten, System 3.1 Ort A

In Summe ergeben sich bei den Flachdachsystemen 8 Windlastfälle welche unter Punkt A.2.2.2 abgebildet sind.

maßgebender Windlastfall auf die Breitseite

Die folgende Skizze ist der maßgebende Lastfall (LF2) für die Flachdachsysteme, bei den Satteldachsystemen ist der maßgebende Lastfall der LF4 (Siehe Anhang A.2.1.2)

Anm.: Vereinfacht erfolgte für alle untersuchten Systeme –unabhängig von der Dachträgerhöhe –die Annahme, dass die Dach-OK in der Höhe der Dachachse liegt (darüber hinausreichende Windlasten auf die Stütze werden vernachlässigt)

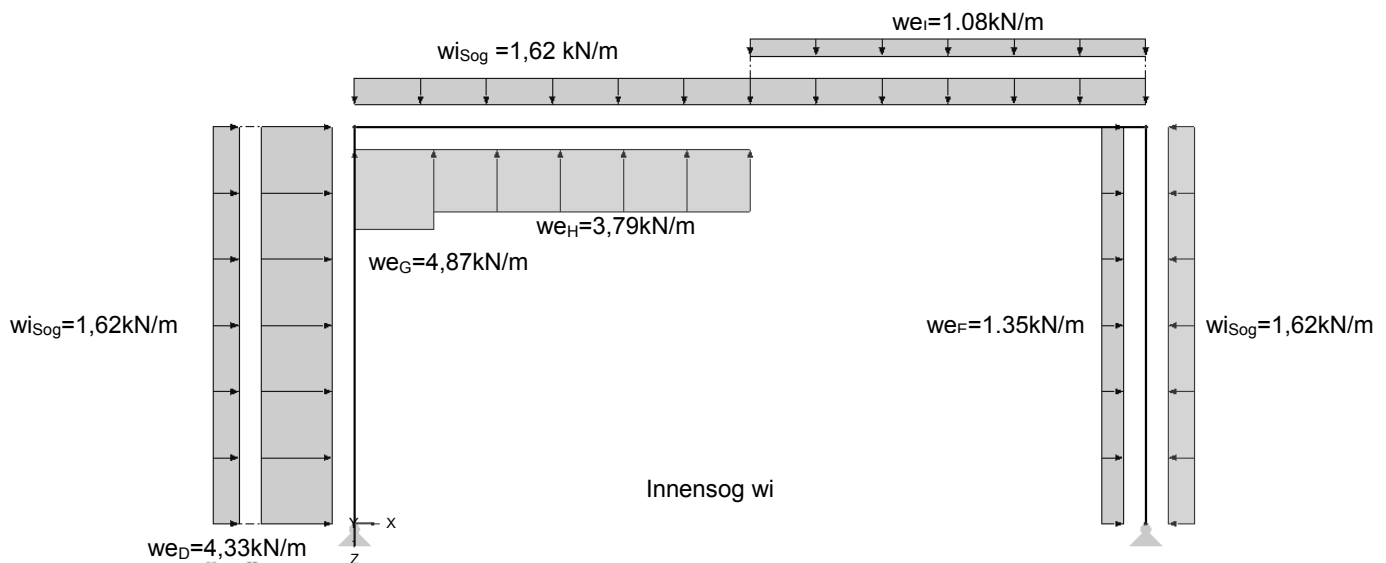


Bild 3.5 maßgebender Windlastfall, LF2 System 3.1 Ort A

w_{ex} ... Wind auf Außenwand & Bereiche Dach außen (x= Zonenbez. Nach EN 1991-1-4)
 w_i ... Innendruck / Innensog & Bereich

- Imperfektionen nach EN 1993-1-1 (A.2.1 bzw. A.2.2)

Die Imperfektionen können in der Statiksoftware als eigenständiger Lastfall wie folgt eingegeben werden:

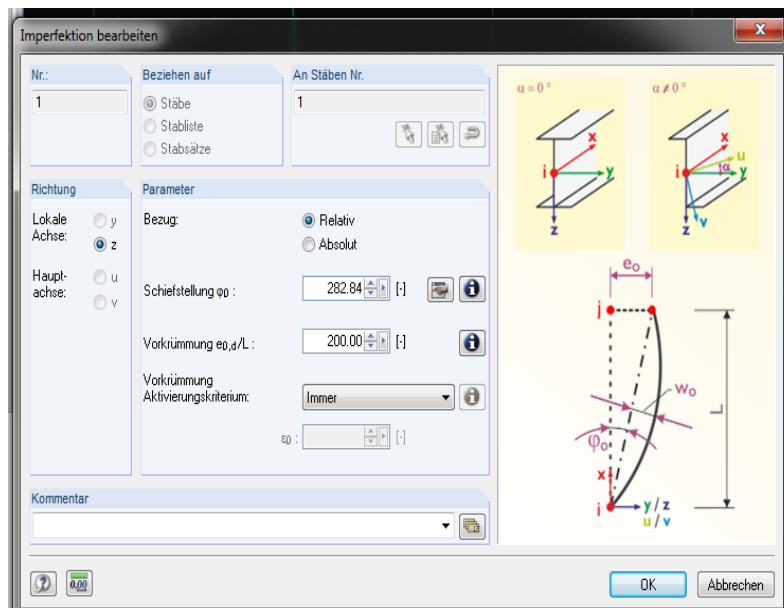


Bild 3.6 Eingabemaske der Imperfektionen im Statikprogramm

Die gesamte Auflistung der Imperfektionen findet sich im Anhang A, der Satteldachsysteme in A.2.1.3 und der Flachdachsysteme in A.2.2.3 wieder.

Anfangsschiefstellung

Die Anfangsschiefstellung berechnet sich für jedes System nach EN 1993-1-1 wie folgt:

$$\Phi = \Phi_o * \alpha_h * \alpha_m \quad \text{mit} \quad \Phi_o = \frac{1}{200} \quad ; \quad \alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} \quad ; \quad \alpha_m = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$$

mit:

Stützhöhe $h=6,0\text{m}$ bzw. $h=8,0\text{m}$ (Systeme: 1, 3 & 5 $h=6,0\text{m}$ / Systeme: 2, 4 & 6 $h=8,0\text{m}$) und $m=2$ ist die Anzahl der Stützen in einer Ebene, die mehr als 50% der durchschnittlichen Stützenlast in vertikaler Richtung übernehmen

für $6,0\text{m}$:

$$\Phi = \frac{1}{200} * \frac{2}{\sqrt{6}} * \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{2}\right)} = 282,84$$

für $8,0\text{m}$:

$$\Phi = \frac{1}{200} * \frac{2}{\sqrt{8}} * \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{2}\right)} = 326,60$$

Stabvorkrümmung

Aufgrund der plastischen Querschnittsnachweise sind aus der Tabelle 3.2 die erhöhten Werte für die plastische Berechnung in Rechnung gestellt worden.

Knicklinie nach Tabelle 6.1	elastische Berechnung	plastische Berechnung
	$e_{0,d}/L$	$e_{0,d}/L$
a ₀	1/350	1/300
a	1/300	1/250
b	1/250	1/200
c	1/200	1/150
d	1/150	1/100

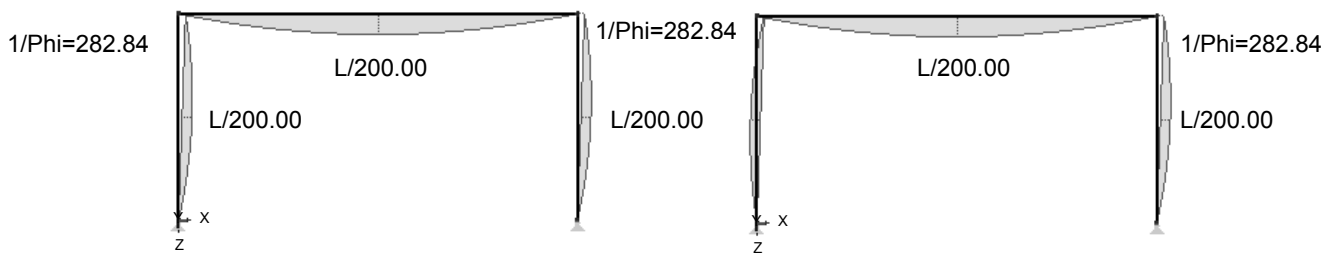
Tabelle 3.2 [5.1] Bemessungswert der Vorkrümmung e_0/L von Bauteilen ¹⁵

Lastbilder der Imperfektionen

Die Imperfektionen der Lastfälle 12 und 13 (siehe nachfolgendes Bild 3.7) werden für das Nachweisverfahren II benötigt, wobei der maßgebende Lastfall der LF 12 ist. Bei den Verfahren III & IV ist es jeweils der LF 14 (nur Schiefstellung)

LF12: Schiefstellung & Vorkrümmung_LF 1

LF13: Schiefstellung & Vorkrümmung_LF 2



LF14: Schiefstellung



Bild 3.7 Imperfektionslastfälle, Systeme 3 - 6

¹⁵ EN 1993-1-1 Ausgabe 2012-03-01: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau Seite 36

3.3.2 Lastfallkombinationen

Sämtliche Lastfallkombinationen wurden vor der Eingabe in das Statikprogramm in Tabellenform aufgestellt und per "Hand" (keine automatische Kombination der Lastfälle des Programms) eingegeben. Diese Auflistungen finden sich im Anhang A.3 wieder.

Die Bildung der Lastfallkombination erfolgt nach Eurocode 0 (EN 1990) in den Bereichen Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS: STR/GEO) und Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS: quasi ständige Kombination; Häufige Kombination und Charakteristische Kombination)

Bei der Bildung der Lastfallkombinationen wurde in Leiteinwirkungen und Begleiteinwirkungen unterschieden.

Die Imperfektionslastfälle sind von den jeweiligen Nachweisverfahren abhängig, das gerade geführt wird. In diesen Tabellen sind keine Imperfektionslastfälle enthalten, diese gehen mit einem Faktor von 1,0 in die Berechnung ein, je nach Nachweisverfahren kann die Anzahl der Lastfallkombinationen verdoppelt werden.

- **LK Grenzzustand der Tragfähigkeit ULS:**

Die dunkelgrau hinterlegte Lastfallkombination (Schnee LF1 / Wind LF2) ist die maßgebende Lastfallkombination für die Flachdachsysteme für den Grenzzustand der Tragfähigkeit. Dies ist in Bild 3.8 dargestellt.

SYSTEME 3 - 6 STR/GEO											
Schnee Leiteinwirkung											
Beschreibung	LK	G _k	S _{1k}	ψ _{0,i} *W _{1k}	ψ _{0,i} *W _{2k}	ψ _{0,i} *W _{3k}	ψ _{0,i} *W _{4k}	ψ _{0,i} *W _{5k}	ψ _{0,i} *W _{6k}	ψ _{0,i} *W _{7k}	ψ _{0,i} *W _{8k}
Schnee LF1 / Wind LF1	LK1	1,35	1,50	0,60*1,50	–	–	–	–	–	–	–
Schnee LF1 / Wind LF2	LK2	1,35	1,50	–	0,60*1,50	–	–	–	–	–	–
Schnee LF1 / Wind LF3	LK3	1,35	1,50	–	–	0,60*1,50	–	–	–	–	–
Schnee LF1 / Wind LF4	LK4	1,35	1,50	–	–	–	0,60*1,50	–	–	–	–
Schnee LF1 / Wind LF5	LK5	1,35	1,50	–	–	–	–	0,60*1,50	–	–	–
Schnee LF1 / Wind LF6	LK6	1,35	1,50	–	–	–	–	–	0,60*1,50	–	–
Schnee LF1 / Wind LF7	LK7	1,35	1,50	–	–	–	–	–	–	0,60*1,50	–
Schnee LF1 / Wind LF8	LK8	1,35	1,50	–	–	–	–	–	–	–	0,60*1,50
Schnee LF1	LK25	1,35	1,50	–	–	–	–	–	–	–	–
Wind Leiteinwirkung											
Beschreibung	LK	G _k	W _{1k}	W _{2k}	W _{3k}	W _{4k}	W _{5k}	W _{6k}	W _{7k}	W _{8k}	ψ _{0,i} *S _{1k}
Wind LF1 / Schnee LF1	LK9	1,35	1,50	–	–	–	–	–	–	–	0,50*1,50
Wind LF2 / Schnee LF1	LK10	1,35	–	1,50	–	–	–	–	–	–	0,50*1,50
Wind LF3 / Schnee LF1	LK11	1,35	–	–	1,50	–	–	–	–	–	0,50*1,50
Wind LF4 / Schnee LF1	LK12	1,35	–	–	–	1,50	–	–	–	–	0,50*1,50
Wind LF5 / Schnee LF1	LK13	1,35	–	–	–	–	1,50	–	–	–	0,50*1,50
Wind LF6 / Schnee LF1	LK14	1,35	–	–	–	–	–	1,50	–	–	0,50*1,50
Wind LF7 / Schnee LF1	LK15	1,35	–	–	–	–	–	–	1,50	–	0,50*1,50
Wind LF8 / Schnee LF1	LK16	1,35	–	–	–	–	–	–	–	1,50	0,50*1,50
Wind LF1	LK17	1,35	1,50	–	–	–	–	–	–	–	–
Wind LF2	LK18	1,35	–	1,50	–	–	–	–	–	–	–
Wind LF3	LK19	1,35	–	–	1,50	–	–	–	–	–	–
Wind LF4	LK20	1,35	–	–	–	1,50	–	–	–	–	–
Wind LF5	LK21	1,35	–	–	–	–	1,50	–	–	–	–
Wind LF6	LK22	1,35	–	–	–	–	–	1,50	–	–	–
Wind LF7	LK23	1,35	–	–	–	–	–	–	1,50	–	–
Wind LF8	LK24	1,35	–	–	–	–	–	–	–	1,50	–

Tabelle 3.3

Lastfallkombinationen ULS STR/GEO, Systeme 3 - 6

maßgebende Lastfallkombination LK2 ULS

Folgende Beschriftungen wurden für die nachfolgenden Systemskizzen gewählt:

w_{ex} ...Wind auf Außenwand & Bereiche Dach außen (x=Zonenbezeichnung nach EN 1991-1-4)

w_i ...Innendruck / Innensog auf Außenwand und Dach

S...Schneelast

G...Eigengewicht / Aufbau

e_0/L ...Vorkrümmungen

Φ ...Schiefstellungen

In den Darstellungen sind ebenfalls die Teilsicherheitsbeiwerte γ und Kombinationsbeiwerte ψ der Leit- und Begleiteinwirkungen der jeweiligen Lastfallkombination angeführt.

Die Bezeichnungen der Lastfallkombinationen besitzen folgenden Aufbau:

Kombinationsnummer: Leiteinwirkung_Begleiteinwirkung_Imperfektionen

LK2: Schnee LF1_Wind LF 2_Schiefstellung / Vorkrümmung

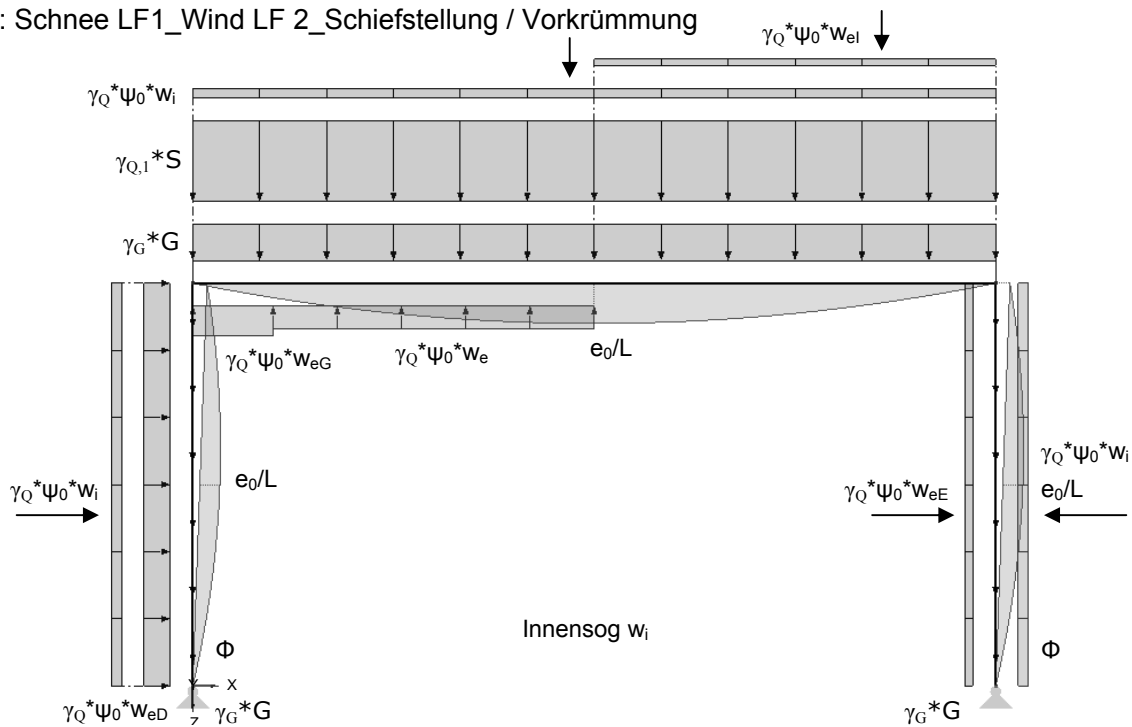


Bild 3.8 maßgebende Lastfallkombination Flachdachsysteme, LK2 ULS

Die maßgebende Lastfallkombination für einschiffige Portalrahmen mit Flach- oder Satteldach setzt sich aus den Belastungen des Eigengewichts, der führenden symmetrischen Schneelast, der begleitenden Windlast auf die Breitseite und den je nach Nachweisverfahren dazugehörigen Imperfektionen zusammen.

- **LK Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit SLS:**

Entgegen der Vorgehensweise nach EN 1990 wird, orientiert an der praktischen Vorgehensweise im Stahlbau der Vergangenheit, von der charakteristischen Lastkombination ausgegangen.

Die dunkelgrau hinterlegten Lastfallkombinationen sind die maßgebenden Lastfallkombinationen der Flachdachsysteme für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.

Diese sind die maximale Horizontalverschiebung $[u_x]$ des Stützenkopfs und die maximale Durchbiegung $[u_z]$ des Trägers.

Anm.: für die beiliegenden Schneelasten wurde in dieser Arbeit von Standorten unter 1000m Seehöhe ausgegangen.

Quasi-ständige Kombination													
Systeme 3 - 6													
Beschreibung	LK	G_k	$\Psi_{2,i} * S_{1k}$	$\Psi_{2,i} * S_{2k}$	$\Psi_{2,i} * S_{3k}$	$\Psi_{2,i} * W_{1k}$	$\Psi_{2,i} * W_{2k}$	$\Psi_{2,i} * W_{3k}$	$\Psi_{2,i} * W_{4k}$	$\Psi_{2,i} * W_{5k}$	$\Psi_{2,i} * W_{6k}$	$\Psi_{2,i} * W_{7k}$	$\Psi_{2,i} * W_{8k}$
Tragwerk / Schnee / Wind	LK46 / LK26	1,0	0,00*1,0	0,00*1,0	0,00*1,0	0,00*1,0	0,00*1,0	0,00*1,0	0,00*1,0	0,00*1,0	0,00*1,0	0,00*1,0	0,00*1,0

Tabelle 3.4 Lastfallkombinationen SLS Quasi-ständig Kombination, System 3 – 6

Häufige Kombination: Systeme 3 - 6											
Schnee Leiteinwirkung											
Beschreibung	LK	G_k	$\Psi_{2,i} * S_{1k}$	$\Psi_{2,i} * S_{2k}$	$\Psi_{2,i} * S_{3k}$	$\Psi_{2,i} * W_{1k}$	$\Psi_{2,i} * W_{2k}$	$\Psi_{2,i} * W_{3k}$	$\Psi_{2,i} * W_{4k}$	$\Psi_{2,i} * W_{5k}$	$\Psi_{2,i} * W_{6k}$
Schnee LF1	LK27	1,00	0,20*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,20*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00
Wind Leiteinwirkung											
Beschreibung	LK	G_k	$\Psi_{1,i} * W_{1k}$	$\Psi_{1,i} * W_{2k}$	$\Psi_{1,i} * W_{3k}$	$\Psi_{1,i} * W_{4k}$	$\Psi_{1,i} * W_{5k}$	$\Psi_{1,i} * W_{6k}$	$\Psi_{1,i} * W_{7k}$	$\Psi_{1,i} * W_{8k}$	$\Psi_{2,i} * S_{1k}$
Wind LF1	LK28	1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,00*1,00
Wind LF2	LK29	1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,00*1,00
Wind LF3	LK30	1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,00*1,00
Wind LF4	LK31	1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,00*1,00
Wind LF5	LK32	1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,00*1,00
Wind LF6	LK33	1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,00*1,00
Wind LF7	LK34	1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,00*1,00
Wind LF8	LK35	1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,00*1,00

Tabelle 3.5 Lastfallkombinationen SLS Häufige Kombination, Systeme 3 – 6

Charakteristische (seltene) Kombination: Systeme 3 - 6											
Schnee Leiteinwirkung											
Beschreibung	LK	G _k	S _{1k}	ψ _{0,i} *W _{1k}	ψ _{0,i} *W _{2k}	ψ _{0,i} *W _{3k}	ψ _{0,i} *W _{4k}	ψ _{0,i} *W _{5k}	ψ _{0,i} *W _{6k}	ψ _{0,i} *W _{7k}	ψ _{0,i} *W _{8k}
Schnee LF1 / Wind LF1-8	LK36 - LK43	1,00	1,00	0,60*1,00	0,60*1,00	0,60*1,00	0,60*1,00	0,60*1,00	0,60*1,00	0,60*1,00	0,60*1,00
Wind Leiteinwirkung											
Beschreibung	LK	G _k	W _{1k}	W _{2k}	W _{3k}	W _{4k}	W _{5k}	W _{6k}	W _{7k}	W _{8k}	ψ _{0,i} *S _{1k}
Wind LF1-8 / Schnee LF1	LK44 - LK51	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50*1,00

Tabelle 3.6 Lastfallkombinationen SLS Charakteristische Kombination, Systeme 3 - 6

Flachdachsysteme: siehe Anhang A.3

Die LK41: Vollast Schnee LF1 (Leiteinwirkung) & Wind auf die Längsseite LF6 (Begleiteinwirkung) ergibt den Maximalwert der Durchbiegung [u_z] des Trägers.

Die LK47: Wind von der Breitseite LF4 (Leiteinwirkung) & Vollast Schnee LF1 (Begleiteinwirkung) ergibt den Maximalwert der horizontalen Stützenkopferschiebung [u_x].

Satteldachsysteme: siehe Anhang A.3

Die LK59: Vollast Schnee LF1 (Leiteinwirkung) & Wind von der Breitseite LF4 (Begleiteinwirkung) ergibt den Maximalwert der Durchbiegung [u_z] des Trägers.

Die LK83: Wind von der Breitseite LF4 (Leiteinwirkung) & antimetrischer Schnee LF2 (Begleiteinwirkung) ergibt den Maximalwert der horizontalen Stützenkopferschiebung [u_x].

3.4 Aufbau und Beschreibung der Auswertungs-Tabellen

Auf den folgenden Seiten werden der Aufbau und die Auswertung der einzelnen Tabellen für das jeweilige Nachweisverfahren beschrieben. Als Grundlage der Auswertung dient der Eurocode 3, Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-1, Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.

3.4.1 Querschnittswerte

Im ersten Teil der Tabelle befinden sich sämtliche Querschnittswerte, Teilsicherheitsbeiwerte und Werkstoffkennwerte für das ausgewählte Profil, welche für die nachfolgenden Berechnungen benötigt werden.

Die Streckgrenze f_y (gelb hinterlegtes Feld) ist händisch in kN/cm^2 einzugeben. Dies ermöglicht Berechnungen mit verschiedenen Werkstoffnormen.

Mittels Dropdownliste kann man das zu untersuchende Profil auswählen. Die Profildatenbank beinhaltet die Querschnittswerte der Dimensionen IPE (nach Euronorm 19-27 bzw. DIN 1025-5), HEA (nach Euronorm 53-62 DIN 1025-3), HEB (nach Euronorm 53-62 bzw. DIN 1025-2) & HEM (nach Euronorm 53-62 bzw. DIN 1025-4).

3.4.2 Biegedrillknicken – Verfahren nach Anhang B - Alternative

In den ersten drei gelb hinterlegten Eingabefeldern sind die Ergebnisse (Normalkraft [kN], Querkraft [kN] und Moment M_y [kNm]) der elastischen Systemberechnung einzugeben. Bei der Berechnung nach Nachweisverfahren IV ist ebenfalls das händisch ermittelte Moment nach Theorie II. Ordnung (aus $M^I \cdot \alpha_{cr}$, wobei aus M^I nur die antimetrischen Momentenanteile des Rahmens vergrößert werden) einzutragen.

Die plastischen Querschnittswiderstände werden automatisch nach der Auswahl des Profils berechnet.

Bei der Berechnung der Knicklänge der zu bemessenden Stützen sind die Stützenkopfhöhe ($h=6,0\text{m}$ / $h=8,0\text{m}$) und der Knicklängenbeiwert $\beta_{y,z}$ einzugeben: (Anm.: β_y für Knicken um y-Achse; β_z für Biegedrillknicken)

NWV II: $\beta_z=1,0$ / NWV III: $\beta_{y,z}=1,0$ / NWV IV: β_y =Knicklänge aus RSKNICK; $\beta_z=1,0$

Die Imperfektionsbeiwerte α der Knicklinien und die Schlankheit zur Bestimmung des Schlankheitsgrads λ_1 werden nach der Auswahl des Profils automatisch angezeigt.

Die idealen Verzweigungslasten $N_{cr(y;z)}$ werden ebenfalls bei der Auswahl des Profils berechnet.

Ebenfalls werden die Schlankheitsgrade $\bar{\lambda}_{y;z;LT}$, die Bestimmungsfunktionen $\Phi_{y;z;LT}$, die Abminderungsbeiwerte $\chi_{y;z;LT;LTmod}$ und die Beiwerte k_ψ ; k_ψ ; ψ ; f nach Auswahl des Profils automatisch berechnet.

Für die Nachweisverfahren II & III muss man zur Berechnung der Momentenbeiwerte $c_{m_y; z; L_T}$ für die Stütze lediglich das Moment M_s in Stützenmitte eingeben. Der Verhältnisbeiwert $\psi=0$, da der Stützenfuß gelenkig gelagert ist. Anhand der Funktion M_s/M_h wird der Beiwert α_s berechnet.

Der Momentenbeiwert c_{m_y} für das Nachweisverfahren IV ist lt. EN 1993-1-1, Anhang B, Tabelle B.3 mit $c_m = 0,90$ anzusetzen, der Momentenbeiwert c_{mLT} berechnet sich gleich wie oben angeführt.

Die Interaktionsbeiwerte k_{yy} und k_{zy} werden anhand der bereits eingegebenen Parameter nach EN 1993-1-1 Anhang B "Interaktionsbeiwerte für verdrehweiche Bauteile" für plastische Querschnittswerte der Klassen 1 & 2 ermittelt.

Der Nachweis der Stabilität erfolgt nach erfolgreicher oben angeführter Eingabe automatisch nach der im Eurocode 3 angeführten Berechnung "Auf Biegung und Druck beanspruchte gleichförmige Bauteile" und zeigt den Ausnutzungsgrad in der Ebene und aus der Ebene jeweils in % an.

3.4.3 Querschnittsnachweis

In den ersten drei gelb hinterlegten Eingabefeldern sind die Ergebnisse (Normalkraft [kN], Querkraft [kN] und Moment M_y [kNm]) der elastischen Systemberechnung für die Stütze einzugeben.

Die plastischen Querschnittswiderstände werden automatisch nach der Auswahl des Profils berechnet. Die Klasse 1- oder 2- Profile werden mittels der nichtlinearen plastischen N+M Interaktion bemessen.

Der Verhältnisbeiwert n berücksichtigt den Normalkraftanteil, a das Verhältnis der Stegfläche zur Bruttoquerschnittsfläche. Der Querkraftanteil wird über das Verhältnis $V_{Ed}/(V_{Rd} \cdot 0,5)$ ermittelt und zeigt mit "JA" oder "NEIN" an ob der Querkraftanteil berücksichtigt werden muss (Reduktion der Momententragfähigkeit). Falls der Anteil berücksichtigt werden muss, werden automatisch neue Querschnittswiderstände in Abhängigkeit der neuen reduzierten Fließgrenze $f_{y, Querkraft}$ für den Steg ermittelt. Bei der Anwendung zeigte sich, dass der Querkraftseinfluss nie maßgebend wird. Daraus berechnet sich die Momententragfähigkeit $M_{N_y, Rd}$.

Der Nachweis bei einachsiger Biegung berechnet sich aus dem Verhältnis von $M_{y, Ed}/M_{N_y, Rd}$

3.5 Beispiel System 1.2 Ort A

Auf den nachfolgenden Seiten wird das Analysedokument anhand eines Beispiels in einer "kurzen" Fassung für das Nachweisverfahren IV gezeigt, da die Vorgehensweise der anderen Verfahren gleich ist.

Systembeschreibung & Skizze

Baustahl:	S235
Breite:	b=18,0m
Höhe:	h=6,0m
Achsabstand:	e=8,0m
Stützen:	HEB 320
Träger:	HEA 400
α_{cr} :	11,423

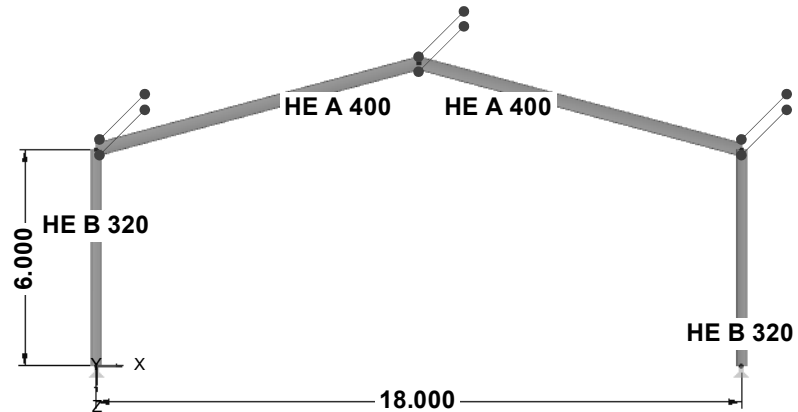
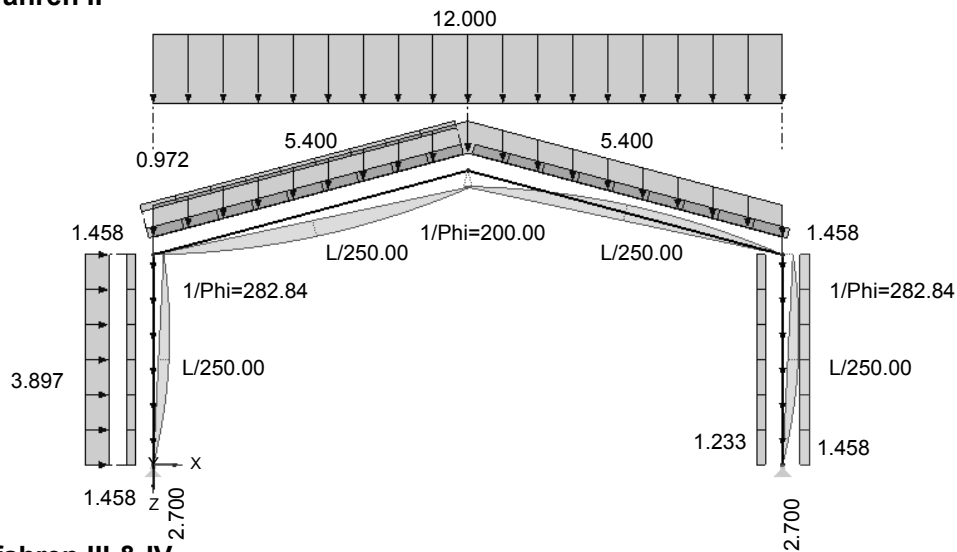


Bild 3.9 Beispiel, Systemskizze 1.2 Ort A

maßgebende Lastfallkombination LK4 [Lasten in kN/m]

Nachweisverfahren II



Nachweisverfahren III & IV

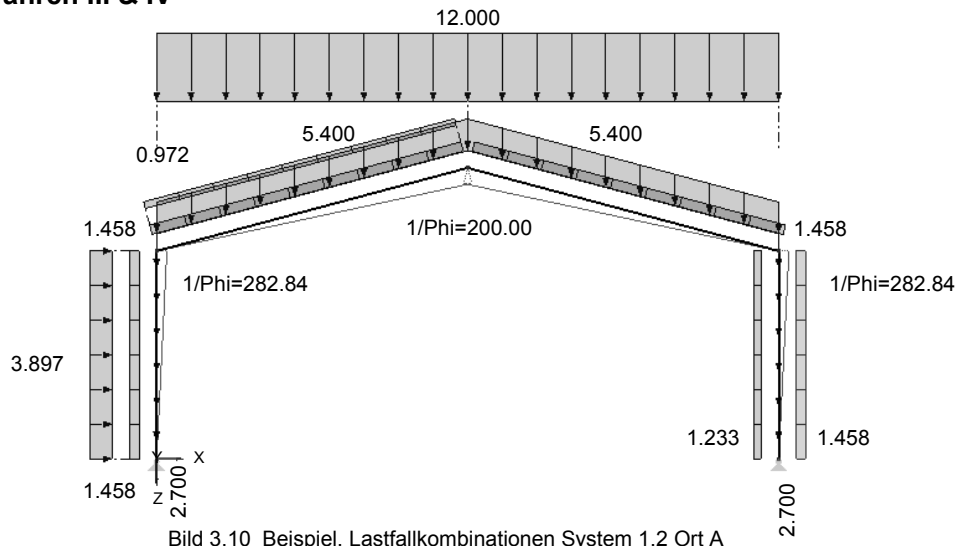


Bild 3.10 Beispiel, Lastfallkombinationen System 1.2 Ort A

Nachweisverfahren IV

Schnittkraftverlauf (Theorie I. Ordnung) Gesamtsystem und herausgelöster Stab 4, LK4

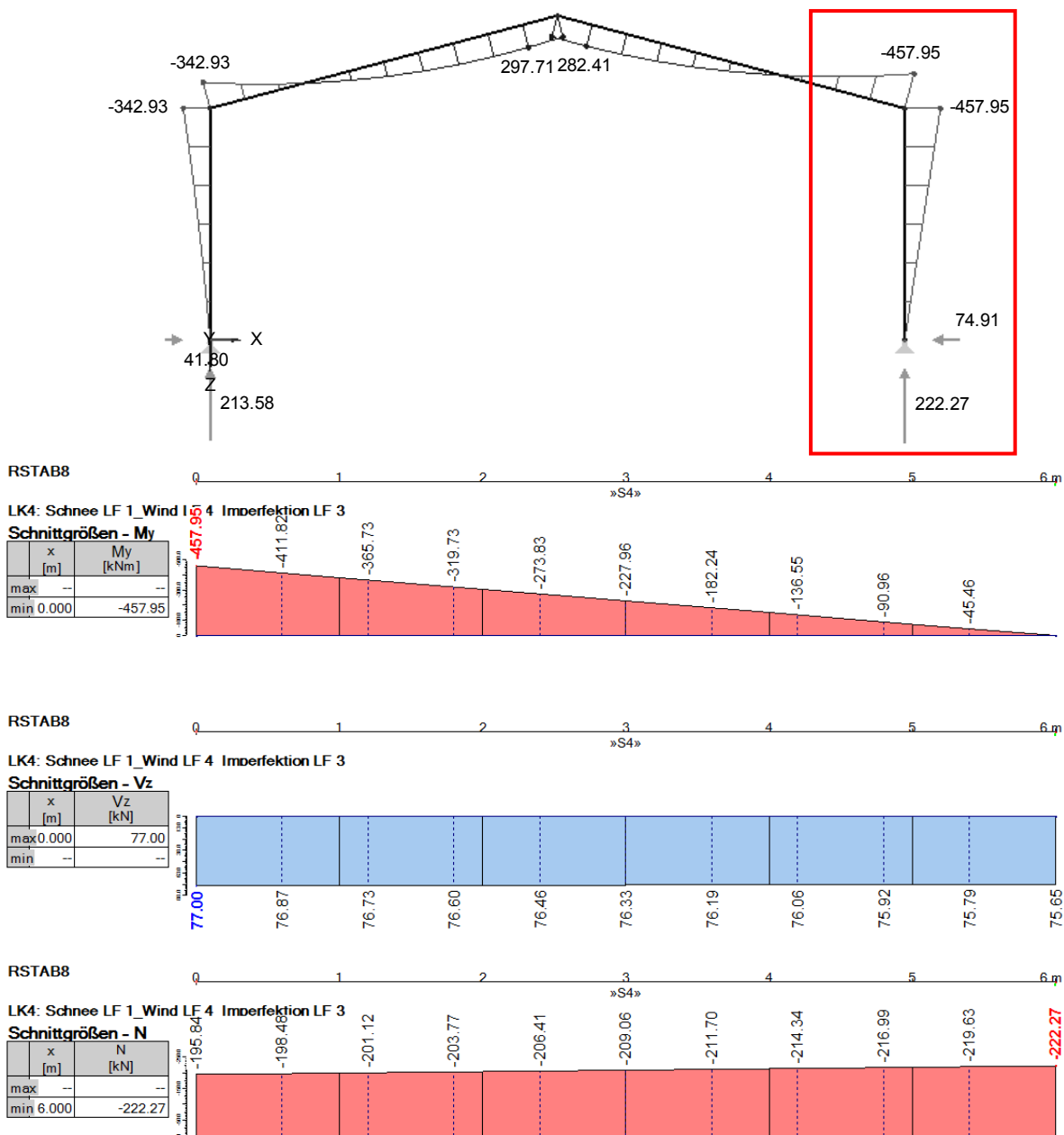


Bild 3.11 Beispiel, Schnittkraftverlauf NW IV System 1.2 Ort A

Moment TH II. Ordnung für Biegedrillknicknachweis

$$\Delta M^I = \frac{M_{Re}^I - M_{Li}^I}{2} = \frac{457,95 - 343,93}{2} = 57,01 \text{ kNm}$$

$$\alpha_{cr} = 11,423$$

$$\Delta M^{II} = \Delta M^I * \frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}} = 57,01 * \frac{1}{1 - \frac{1}{11,423}} = 62,48 \text{ kNm}$$

$$M^{II} = \frac{M_{Re}^I + M_{Li}^I}{2} + \Delta M^{II} = \frac{457,95 + 343,93}{2} + 62,48 = 463,42 \text{ kNm}$$

QS-WERTE			
Teilsicherheitsbeiwerte	$\gamma_M =$	γ_{M0} 1,00	γ_{M1} 1,00 γ_{M2} 1,25 [-]
Streckgrenze S235 / S355	$f_y =$	23,50	[kN/cm ²]
Elastizitätsmodul	$E =$	21.000,00	[kN/cm ²]
Poissonsche Zahl	$\nu =$	0,30	[-]
Schubmodul	$G =$	8.076,92	[kN/cm ²]
Profilauswahl mittels Dropdown		HE-B 320	Profil
Biegedrillknicken - Verfahren Anhang B - Alternative			
Eingangswerte aus RSTAB		M^I	M^{II}
	$N_{Ed} =$	-195,84	[kN]
	$V_{Ed} =$	77,00	[kN]
	$M_{y,Ed} =$	457,95	463,42 [kNm]
plastische QS-Widerstände	$N_{pl,Rk} =$	3.790,55	[kN]
	$M_{y,pl,Rk} =$	505,02	[kNm]
	$V_{Rd} =$	701,82	[kN]
Stützenkopfhöhe	$h =$	6,000	[m]
Knicklängenbeiwert	$\beta =$	2,726	1,0 [-]
		y	z LT
Knicklänge	$L_{cr} =$	16,356	6,000 6,000 [m]
Knicklinien	$\alpha =$	0,34	0,49 0,34 [-]
Schlankheitsgradbeiwert	$\lambda_1 =$	93,913	[-]
Verzweigungslasten		y	z
	$N_{cr} =$	2.387,95	5.317,99 [kN]
Schlankheitsgrade	$\lambda =$	1,260	0,844 [-]
Funktion zu Abminderung von χ	$\Phi =$	1,474	1,014 [-]
Abminderungsbeiwert	$\chi =$	0,447	0,634 [-]
Beiwert	$k_p =$	0,732	[-]
Verhältnisbeiwert	$\psi =$	0,0	[-]
Korrekturbeiwert	$k_c =$	0,752	[-]
Schlankheitsgrad	$\lambda_{LT} =$	0,464	[-]
Funktion zu Abminderung von χ	$\Phi_{LT} =$	0,592	[-]
Abminderungsbeiwert	$\chi_{LT} =$	0,975	
modif. Abminderungsbeiwert	$\chi_{LTmod} =$	f 0,904	χ_{LT} 0,975 χ_{LTmod} 1,000 [-]
Randmoment	$M_h =$	457,95	[kNm]
Moment in Stabmitte	$M_s =$	227,96	[kNm]
Verhältnisbeiwert	$\psi =$	0,0	[-]
Verhältnisbeiwert	$\alpha_s =$	0,498	[-]
Momentenbeiwerte (NW IV $c_{my}=0,90$)	$C_{my,LT} =$	y 0,900	LT 0,598 [-]
Interaktionsbeiwerte	$k_{yy} =$	0,983	[-]
verdrehweiche plastische QS	$k_{zy} =$	0,977	[-]
Nachweis	$y =$	100,7%	[-] in der Ebene M^I
	$z =$	97,8%	[-] aus der Ebene M^{II}
QS-Nachweis in der Ebene M^I (NW IV) ; M^{II} (NW II & III)			
Eingangswerte aus RSTAB	$N_{Ed} =$	-195,84	[kN]
	$V_{Ed} =$	77,00	[kN]
	$M_{y,Ed} =$	457,95	[kNm] $f_{y,OS-NW}$:
plastische QS-Widerstände	$N_{pl,Rd} =$	3.790,55	[kN] 1.481,00 [kN]
	$M_{y,pl,Rd} =$	505,02	[kNm] 197,31 [kNm]
	$V_{Rd} =$	701,82	[kN] 274,21 [kN]
Verhältnisbeiwert	$n =$	0,052	[-]
Verhältnisbeiwert	$a =$	0,237	[-] $f_{y,Querkraft}$
Querkraftkontrolle	Querkraft =	NEIN	[-] 9,18 [kN/cm ²]
Momententragfähigkeit	$M_{Ny,Rd} =$	505,02	[kNm]
Nachweis		90,7%	[-]

Tabelle 3.7 Beispieltabelle mit Erklärung NWV IV System 1.2 Ort A

3.6 Berechnungsformeln in den Tabellen

Auf den folgenden Seiten werden sämtliche Rechenschritte und Eingangswerte aus diverser Literatur, Norm und Statikprogramm angeführt. Die Reihenfolge entspricht der der Auswertungstabellen. (vgl. Tabelle 3.7)

3.6.1 Querschnittswiderstände

$$N_{pL,Rk} = A * f_y$$

$$V_{pL,Rk} = A * (f_y / \sqrt{3})$$

$$M_{y,pL,Rk} = w_{pL,y} * f_y$$

3.6.2 Stabilitätsnachweise für Bauteile, [6.3], EN 1993-1-1

Knicklängen

in der Ebene: $L_{cr,y} = \beta * h$

β -Wert aus RSTAB Modul: RSKNICK-Stabilitätsanalyse berechnet mit der maßgebenden Lastfallkombination (Systeme 1 & 2 LK4 / Systeme 3 – 6 LK2)

aus der Ebene: $L_{cr,z} = \beta * h$

$\beta=1,0$ d.h. keine Zwischenhalterung der Stütze

- **Gleichförmige Bauteile mit planmäßig zentrischem Druck, [6.3.1], EN 1993-1-1**

Imperfektionsbeiwert für die maßgebende Knicklinie $\alpha_{(y;z)}$

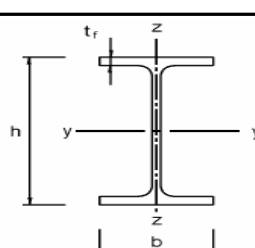
Querschnitt	Begrenzungen	Ausweichen rechtwinklig zur Achse	Knicklinie	
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y: a z-z: b	a ₀ a ₀
		$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y-y: b z-z: c	a a
	$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y: b z-z: c	a a
		$t_f > 100 \text{ mm}$	y-y: d z-z: d	c c

Tabelle 3.8 [6.2] Auswahl der Knicklinie eines Querschnitts¹⁶

Knicklinie	a ₀	a	b	c	d
Imperfektionsbeiwert α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Tabelle 3.9 [6.1] Imperfektionsbeiwerte der Knicklinien¹⁷

¹⁶ EN 1993-1-1 Ausgabe 2012-03-01: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau Seite 64

¹⁷ EN 1993-1-1 Ausgabe 2012-03-01: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau Seite 63

Ideale Verzweigungslast für den maßgebenden Knickfall N_{cr}

$$N_{cr,(y;z)} = \frac{\pi^2 * E * I_{(y;z)}}{L_{cr,(y;z)}^2}$$

Schlankheitsgrad für die maßgebende Knicklinie $\bar{\lambda}_{(y;z)}$

$$\lambda_1 = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,y}}} = \frac{L_{cr,y}}{\lambda_1 * i_y} \quad \bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,z}}} = \frac{L_{cr,z}}{\lambda_1 * i_z} \text{ für Querschnitte der Klasse 1, 2 und 3}$$

Funktion zur Bestimmung des Abminderungsbeiwertes $\chi_{(y;z)}$

$$\Phi_{(y;z)} = 0,5 * [1 + \alpha_{(y;z)} * (\bar{\lambda}_{(y;z)} - 0,2) + \bar{\lambda}_{(y;z)}^2]$$

Abminderungsbeiwert $\chi_{(y;z)}$

$$\chi_{(y;z)} = \frac{1}{\Phi_{(y;z)} + \sqrt{\Phi_{(y;z)}^2 - \bar{\lambda}_{(y;z)}^2}} \quad \text{aber} \quad \chi_{(y;z)} \leq 1,0 \quad [6.49]$$

- **Biegedrillknicken gewalzter Querschnitte [6.3.2.3] EN 1993-1-1**

Imperfektionsbeiwert für die maßgebende Knicklinie für das Biegedrillknicken α_{LT}

Querschnitt	Grenzen	Biegedrillknicklinien
gewalztes I-Profil	$h/b \leq 2$	b
	$h/b > 2$	c
geschweißtes I-Profil	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d

Tabelle 3.10 [6.5] Empfohlene Biegedrillknicklinien nach Gleichung [6.57]¹⁸

Knicklinie	a	b	c	d
Imperfektionsbeiwert α_{LT}	0,21	0,34	0,49	0,76

Tabelle 3.11 [6.3] Empfohlene Imperfektionsbeiwerte der Knicklinien für das Biegedrillknicken¹⁹

¹⁸ EN 1993-1-1 Ausgabe 2012-03-01: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau Seite 69

¹⁹ EN 1993-1-1 Ausgabe 2012-03-01: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau Seite 68

Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_{LT}$ aus der maßgebenden Biegedrillknicklinie

In dieser Arbeit wurde ein kurzer Vergleich zur Bestimmung des Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_{LT}$ geführt; dafür wurden 3 Verfahren gegenübergestellt:

Verfahren 1: Programmunterstützte Berechnung von M_{cr} mittels "LTBeam"

Verfahren 2: Direkte Bestimmung der Schlankheit $\bar{\lambda}_{LT} = k_p * k_c * \bar{\lambda}_z$

Verfahren 3: Handrechnung von M_{cr}









Die Verfahren liefern ähnliche Ergebnisse, aber aufgrund Übersichtlichkeit und Klarheit der Programmierung der Tabelle hat das Verfahren 2 in dieser Arbeit den Vorzug bekommen.

Verfahren 2: Direkte Bestimmung der Schlankheit $\bar{\lambda}_{LT}$

Beiwert k_p

$$k_p = \frac{0,9}{\left[1 + \frac{1}{20} * \left(\frac{\bar{\lambda}_z * \lambda_1}{h/t_f} \right)^2 \right]^{0,25}}$$

Korrekturbeiwert zur Berücksichtigung der Momentenverteilung k_c

Momentenverteilung	k_c
 $\psi = 1$	1,0
 $-1 \leq \psi \leq 1$	$\frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$
	0,94
	0,90
	0,91
	0,86
	0,77
	0,82

$\Psi=0 \Rightarrow k_c=0,752$

Tabelle 3.12 [6.6] Empfohlene Korrekturbeiwerte k_c ²⁰

Schlankheitsgrad für Biegedrillknicken $\bar{\lambda}_{LT}$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{cr}}} = k_p * k_c * \bar{\lambda}_z$$

²⁰ EN 1993-1-1 Ausgabe 2012-03-01: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau Seite 69

Funktion zur Bestimmung des Abminderungsbeiwertes χ_{LT}

$$\Phi_{LT} = 0,5 * [1 + \alpha_{LT} * (\overline{\lambda}_{LT} - \overline{\lambda}_{LT,0}) + \beta * \overline{\lambda}_{LT}^2] \quad \text{mit} \quad \lambda_{LT,0} = 0,4 \quad \beta = 0,75$$

Abminderungsbeiwert χ_{LT}

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta * \overline{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{mit} \quad \beta = 0,75 \quad \text{jedoch} \quad \begin{cases} \chi_{LT} \leq 1,0 \\ \chi_{LT} \leq \frac{1}{\overline{\lambda}_{LT}^2} \end{cases} \quad [6.57]$$

Modifikationsfaktor f (Erfassung Momentenverlauf)

$$f = 1 - 0,5 * (1 - k_c) * [1 - 2,0 * (\overline{\lambda}_{LT} - 0,8)^2] \quad \text{jedoch} \quad f \leq 1,0$$

Modifizierter Abminderungsbeiwert für Biegedrillknicken $\chi_{LT,mod}$

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} \quad \text{jedoch} \quad \chi_{LT,mod} \leq 1,0$$

- **Interaktionsbeiwerte, [Anhang B], EN 1993-1-1**

Zur Bestimmung der Interaktionsbeiwerte wurde der Anhang B, Verfahren 2, Interaktionsbeiwerte für verdrehweiche Bauteile für plastische Querschnittswerte der EN 1993-1-1, verwendet.

Momentenbeiwerte c_m


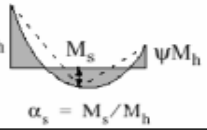
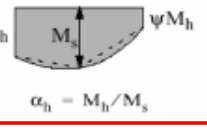
Momentenverlauf	Bereich	C_{my} und C_{mz} und C_{mLT}	
		Gleichlast	Einzellast
	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$	
	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$0 \leq \alpha_b \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_b$
		$0 \leq \psi \leq 1$	$0,90 + 0,10\alpha_b$
	$-1 \leq \alpha_b < 0$	$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05\alpha_b(1 + 2\psi)$
Für Bauteile mit Knicken in Form seitlichen Ausweichens sollte der äquivalente Momentenbeiwert als $C_{my} = 0,9$ bzw. $C_{mz} = 0,9$ angenommen werden.			
C_{my} , C_{mz} und C_{mLT} sind in der Regel unter Berücksichtigung der Momentenverteilung zwischen den maßgebenden seitlich gehaltenen Punkten wie folgt zu ermitteln:			
Momentenbeiwert	Biegeachse	In der Ebene gehalten	
C_{my}	y-y	z-z	
C_{mz}	z-z	y-y	
C_{mLT}	y-y	y-y	

Tabelle 3.13 [B.3] Äquivalente Momentenbeiwerte C_m^{21}

²¹ EN 1993-1-1 Ausgabe 2012-03-01: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau Seite 89

Interaktionsbeiwerte für verdrehweiche Bauteile k_{ij}

Da es sich um eine plastische Bemessung handelt, wurde die Bemessungsannahme "Plastische Querschnittswerte der Klasse 1, Klasse 2" bei den Interaktionsbeiwerten gewählt.

$$k_{yy} = c_{my} * \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right) \leq c_{my} * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 * \bar{\lambda}_z}{(c_{m,LT} - 0,25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right] \geq \left[1 - \frac{0,1}{(c_{m,LT} - 0,25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right]$$

- **Stabilitätsnachweise am Einzelstab**

Die Stabilitätsnachweise wurden nach EN 1993-1-1 6.3.3 (4) "Auf Biegung und Druck beanspruchte gleichförmige Bauteile geführt"

Da es sich hierbei um eine Systemanalyse in der Ebene handelt, gehen nur die Normalkraftanteile N_{Ed} und die Momentenanteile $M_{y,Ed}$ in die Rechnung ein.

y-y-Achse: (Knicken in der Rahmenebene)

$$y - y = \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}/\gamma_{M1}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rk}/\gamma_{M1}} \leq 1,0 \quad [6.61]$$

z-z-Achse: (Biegedrillknicken)

$$z - z = \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}/\gamma_{M1}} + k_{zy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rk}/\gamma_{M1}} \leq 1,0 \quad [6.62]$$

3.6.3 Beanspruchbarkeit von Querschnitten, [6.2], EN 1993-1-1

Der Bemessungswert der Beanspruchung darf in keinem Querschnitt den zugehörigen Bemessungswert der Beanspruchbarkeit überschreiten

- Beanspruchung aus Biegung und Normalkraft, [6.2.9 (5)], EN 1993-1-1

“Bei gleichzeitiger Beanspruchung durch Biegung und Normalkraft ist in der Regel der Einfluss der einwirkenden Normalkraft auf die plastische Momentenbeanspruchbarkeit zu berücksichtigen.“²²

Querkraftanteil, [6.2.10], EN 1993-1-1

Wenn der Bemessungswert der einwirkenden Querkraft V_{Ed} die Hälfte der plastischen Querkrafttragfähigkeit $V_{pl,Rd}$ nicht überschreitet, braucht keine Abminderung der Momentenbeanspruchbarkeit durchgeführt werden.

$$\text{Abminderung wenn: } V_{Ed} > \frac{V_{pl,Rd}}{2} \quad \text{dann} \quad f_{y,Querkraft} = f_y * \left(1 - \left(\frac{2 * V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 \right)$$

- Reduktion des Steganteils am M_{pl} für die reduzierte Fließgrenze $f_{y,Querkraft}$

Verhältnis von $N_{Ed}/N_{pl,Rd}$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$

Verhältnis der Stegfläche zur Bruttoquerschnittsfläche

$$a = \frac{(A - 2 * b * t_f)}{A} \leq 0,5$$

Momenten Tragfähigkeit $M_{N,y,Rd}$

$$M_{N,y,Rd} = \frac{M_{pl,y,Rd} * (1 - n)}{(1 - 0,5 * a)} \quad \text{jedoch} \quad M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd} \quad [6.36]$$

Nachweis

$$M_{y,Ed} \leq M_{N,y,Rd} \quad [6.31]$$

²² EN 1993-1-1 Ausgabe 2012-03-01: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau Seite 59

3.7 RSTAB Analyse - Zusatzmodul RSKNICK

“Knicklänge $L_{cr,y}$ / $L_{cr,z}$ “

Die Knicklänge $L_{cr,y}$ beschreibt das Knickverhalten rechtwinklig zur “starken“ Stabachse y , $L_{cr,z}$ entsprechend das Ausweichen rechtwinklig zur “schwachen“ Stabachse z .

Die Knicklängen L_{cr} basieren auf den in Spalte I (Bild 3.12) ausgewiesenen stabspezifischen Knicklasten, die wiederum auf die Verzweigungslast des Gesamtmodells bezogen sind. Die Knicklängen sind somit auf das Verhältnis der Stabnormalkräfte zur Gesamtverzweigungslast bezogen. Für einfache Fälle sind die Knicklängen als EULER-Fälle 1 bis 4 bekannt.

Knicklängenbeiwert β

Die auf die lokalen Stabachsen y und z bezogenen Knicklängenbeiwerte beschreiben das Verhältnis zwischen Knick- und Stablänge.

$$\beta = \frac{L_{cr}}{L}$$

Knicklast N_{cr}

In dieser Spalte wird für jeden Stab die kritische Normalkraft N_{cr} ausgewiesen, die in Bezug auf die jeweilige Eigenform vorliegt. Die einzelnen Knicklasten und zugehörigen Knicklängen sind daher stets im Kontext der jeweiligen Gesamtsystem-Verzweigungslast zu betrachten.

Verzweigungslastfaktor α_{cr}

Für jeden Eigenwert wird der Lastverzweigungsfaktor angegeben. Bei Faktoren kleiner 1,00 ist das System instabil. Ein Verzweigungsfaktor größer 1,00 bedeutet, dass die Belastung aus den vorgegebenen Normalkräften multipliziert mit diesem Faktor zum Knickversagen des Systems führt.

Verzweigungslastfaktoren kleiner 10 erfordern gemäß DIN 18800 Teil 2 die Berechnung nach Theorie II. Ordnung.²³

²³ Auszüge aus Dlubal Programm-Beschreibung RSKNICK Knicklängen, Knickfiguren, Verzweigungslasten Seiten 17 & 20 / Fassung: März 2013

Vergrößerungsfaktor δ

Der Vergrößerungsfaktor ermittelt sich wie folgt:

$$\delta = \frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}}$$

Der Vergrößerungsfaktor beschreibt die Beziehung zwischen den Momenten nach Theorie I. und II. Ordnung.

$$\Delta M^{II} = \Delta M^I * \delta$$

mit ΔM^I "abtreibender", d.h. antisymmetrischer Anteil der Biegemomente

Moment nach Theorie II. Ordnung, siehe Kapitel 6.2.2

$$M^{II} = M_{sym}^I + \Delta M^{II}$$

Ergebnismaske des Zusatzmoduls RSKNICK

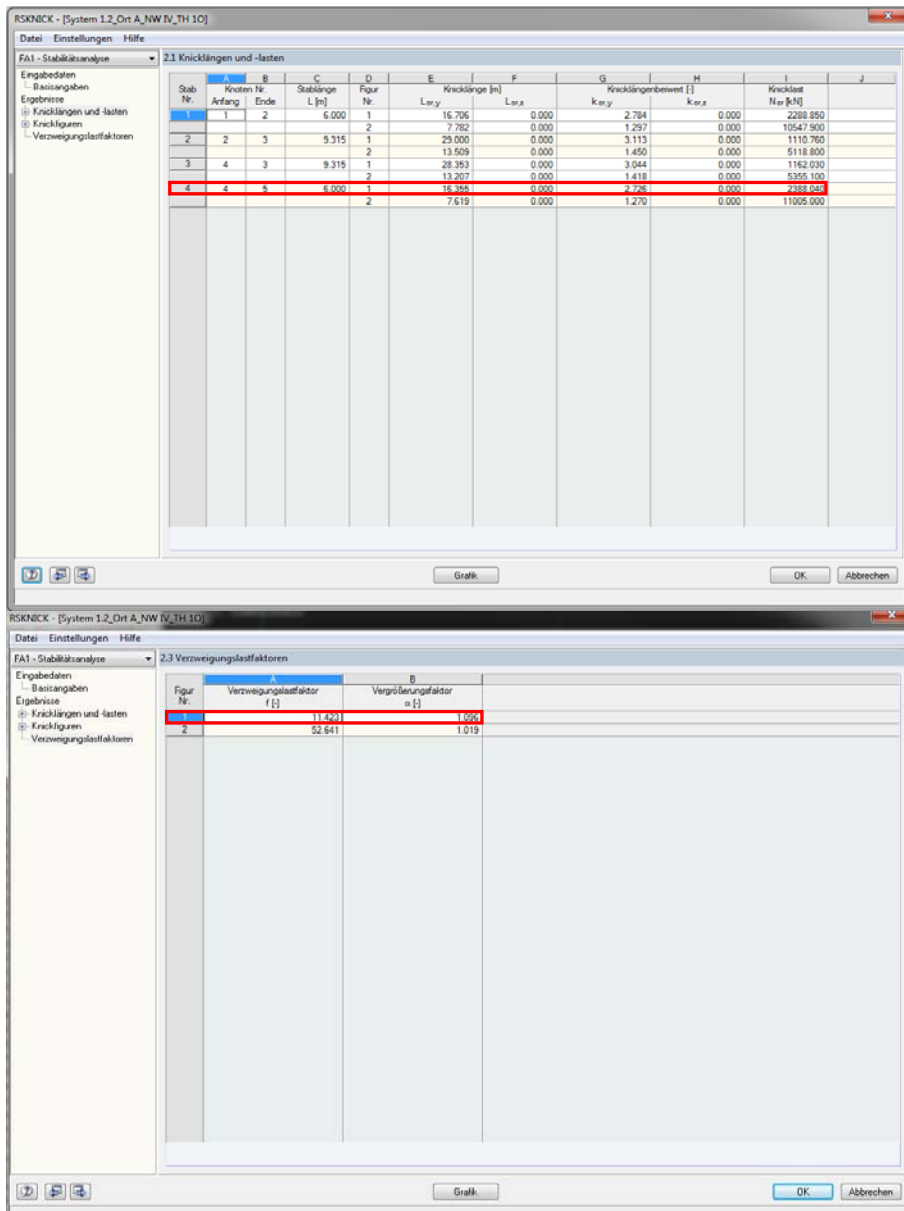


Bild 3.12 RSKNICK Ergebnismaske (oben: Knicklängenbeiwerte; unten: Verzweigungslastfaktoren)

4 Vorbemessung – gewählte Systeme

4.1 Vorbemessung

Für die Vorbemessung wurden die Lastaufstellungen und Lastfallkombinationen aus dem Anhang A in die Statik-Software RSTAB eingegeben. Die Berechnung erfolgt nach Theorie I. Ordnung, dem Verfahren IV und einer geschätzten Knicklänge von $2,0 \cdot L$ ($\beta=2,0$) bzw. $2,5 \cdot L$ ($\beta=2,5$).

In der Vorbemessung werden die Kriterien der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit analysiert und in Tabellenform ausgewertet.

Die verwendeten Materialien Baustahl S235 & S355 entsprechen dem Regelwerk der EN 10025-2 und die Profile den Euronormen 19-27 / 53-62 bzw. DIN 1025-Teil 1 bis 5.

4.1.1 Grenzzustand der Tragfähigkeit ULS

Mittels des Zusatzmoduls Stahl EC3 – Bemessung nach Eurocode 3 wurden die Nachweise der Stabilitätsanalyse und Querschnittstragfähigkeit geführt.

Eingangswerte der Stabilitätsanalyse:

Knicken um die y-Achse mit den Knicklängenfaktoren $\beta=2,0$ für Systeme mit einer Stützenkopfhöhe mit 6,0m und $\beta=2,5$ bei einer Höhe von 8,0m.

Knicken um die z-Achse bzw. Biegedrillknicknachweis mit dem Faktor $\beta=1,0$ (Stützenhöhe)

Seitliche Zwischenhalterung am Träger lt. Systemskizzen, Kapitel 1

maßgebende Lastfallkombination

Nach stabweiser Auswertung der Ergebnisse aller Systeme ergaben sich auch die maßgebenden Lastfallkombinationen für den Tragfähigkeitsnachweis folgendermaßen (immer die gleichen LK maßgebend).

Folgende Beschriftungen wurden für die nachfolgenden Systemskizzen gewählt:

w_{ex} ...Wind auf Außenwand & Bereiche Dach außen (x=Zonenbezeichnung nach EN 1991-1-4)

w_i ...Innendruck / Innensog auf Außenwand und Dach

S...Schneelast

G...Eigengewicht / Aufbau

In den Darstellungen sind ebenfalls die Teilsicherheitsbeiwerte γ und Kombinationsbeiwerte ψ der Leit- und Begleiteinwirkungen der jeweiligen Lastfallkombination angeführt.

Kombinationsnummer: Leiteinwirkung_Begleiteinwirkung

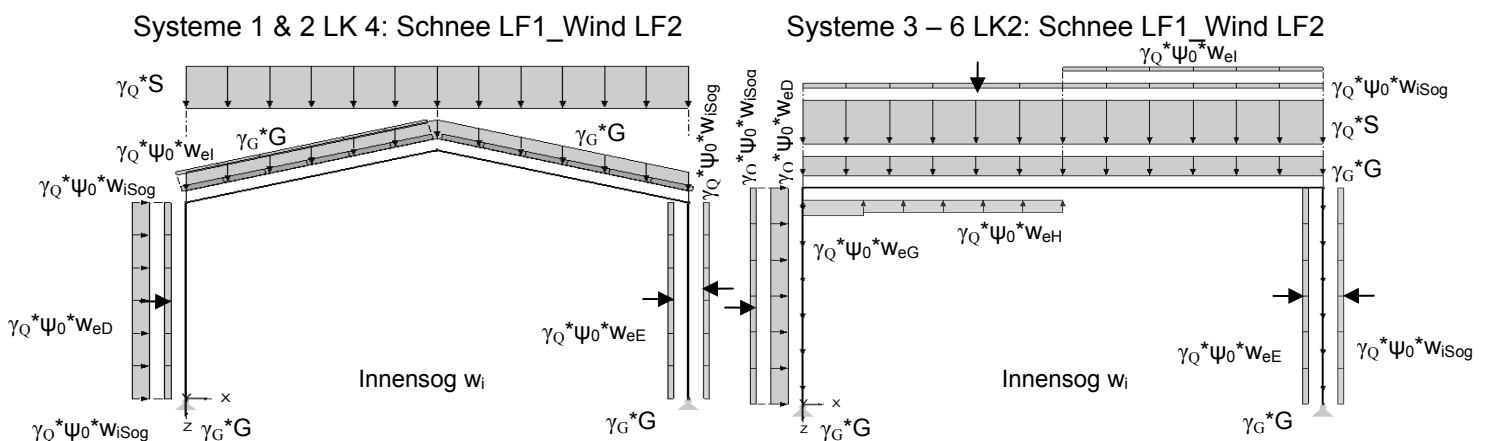


Bild 4.1 maßgebende Lastfallkombinationen, ULS der Vorbemessung

4.1.2 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit SLS

Für die Nachweise der Gebrauchstauglichkeit sind folgende Kriterien der Systemverformungen einzuhalten unter Grundlage der charakteristischen Kombination.

- max Horizontalverschiebung $u_x = h/150$ des Stützenkopfs
- max Durchbiegung $u_z = l/250$ des Trägers

maßgebende Lastfallkombination

Systeme 1 & 2:

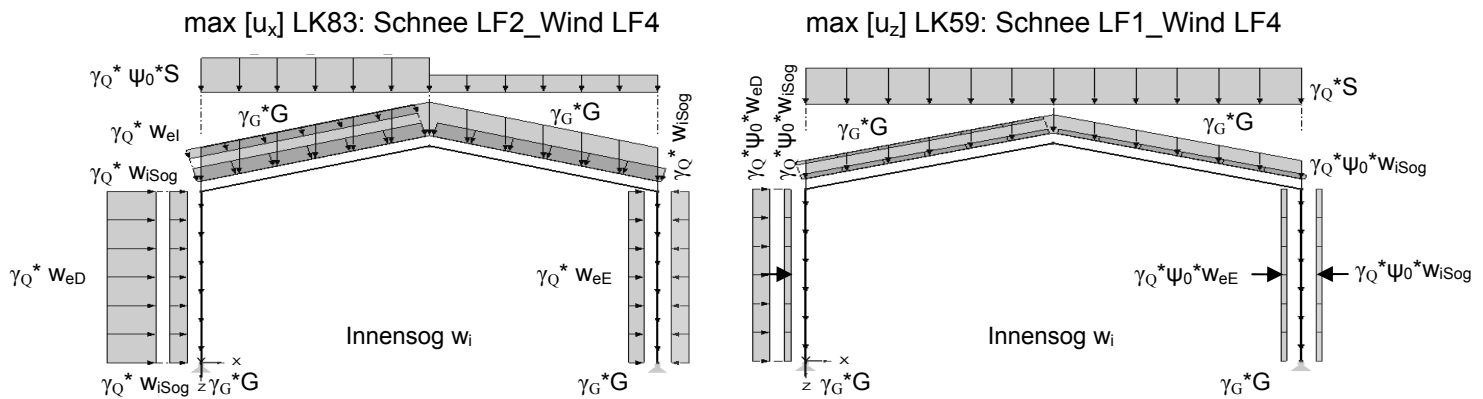


Bild 4.2 maßgebende Lastfallkombinationen, SLS der Vorbemessung, System1 & 2

Systeme 3 – 6:

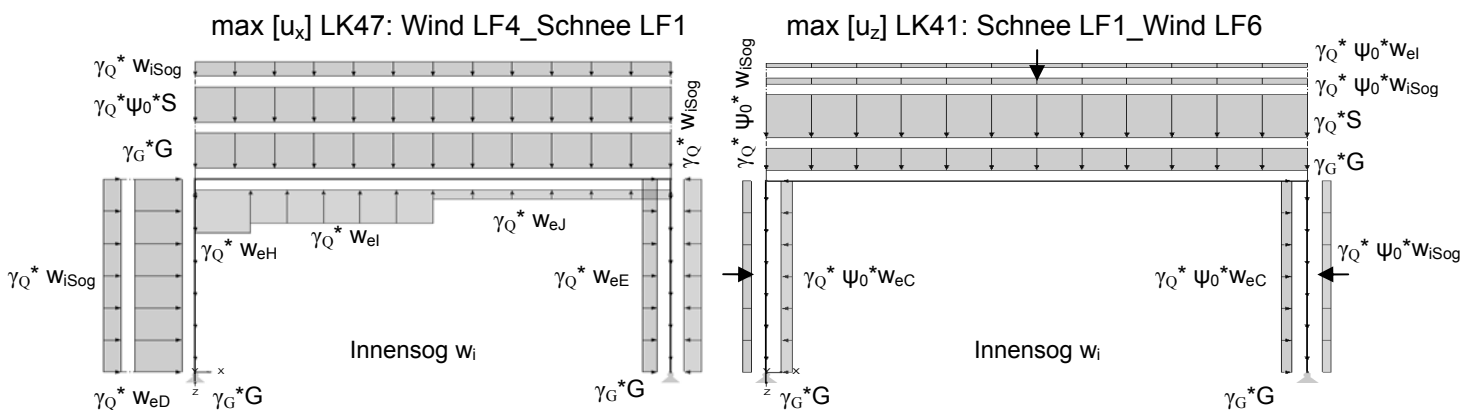


Bild 4.3 maßgebende Lastfallkombinationen, SLS der Vorbemessung, Systeme 3 - 6

4.1.3 Ergebnisse der Vorbemessung

Die nachfolgende Tabelle 4.1 gibt einen Überblick der ausgewerteten Ergebnisse hinsichtlich der Vorbemessung für alle untersuchten Systeme.

Im ersten Teil der Tabelle (hellgrau hinterlegt) gibt es eine kurze Zusammenfassung des Systems, der Belastung, Systembezeichnung, Breite, Höhe, Stützenkopfhöhe, Achsabstand und Stahlgüte.

Der zweite Teil zeigt die ausgewählten Profile mit den dazugehörigen Nachweisen der Tragfähigkeit ULS und der Gebrauchstauglichkeit SLS nach EN 1993-1-1.

Auf den ersten Blick ist gleich ersichtlich, dass die Horizontalverschiebungen in Kombination mit dem Stabilitätsnachweis die maßgebenden Kriterien bei der Auswahl der Profile sind.

Es ergab sich in der Vorbemessung, dass immer die rechte Stütze: -beim Satteldachsystem ist dies Stab Nr.4 bzw. -beim Flachdachsystem ist dies Stab Nr.3 maßgebend sind!

Ort A																					
System																					
Dachaufbau leicht (Systeme 1.1-4.3): 0,50kN/m ² ; Dachaufbau schwer (Systeme 5.1-6.3): 4,0kN/m ² ; Wandkonstruktion: 0,25kN/m ² Schnee 1,0kN/m ² ; Wind: 100km/h																					
Bezeichnung	Breite	Höhe	Stützenkopf	Achsabstand	Stahlgüte	Profile			ULS			SLS									
						Stützen	Träger	Stütze Achse B	EC3 Stabilität TH I.O β=2,0 ; β=2,5 Ausnutzung in [%]	Träger	Stütze Achse B	EC3 QS-NW TH I.O Ausnutzung in [%]	Horizontalverschiebung h/150 des Stützenkopfs [μx]	zul. [mm]	vor. [mm]	Horizontalschiebung h/150 des Stützenkopfs [μx]	zul. [mm]	vor. [mm]	Durchbiegung des Trägers [μz]	zul. [mm]	vor. [mm]
System 1.1	b=12,0m	H=7,6m	h=6,0m	e=8,0m	S 235	HEB 300	IPE 400	86%	60%	86%	54%	74%	40,0	36,4	91,0%	48,0	24,5	51,0%	48,0	24,5	51,0%
System 1.2	b=18,0m	H=8,4m	h=6,0m	e=8,0m	S 235	HEB 340	IPE 500	100%	90%	100%	83%	87%	40,0	34,8	87,0%	72,0	54,1	75,1%	72,0	54,1	75,1%
System 1.3	b=24,0m	H=9,2m	h=6,0m	e=6,0m	S 235	HEB 400	HEA 450	85%	90%	85%	85%	85%	40,0	32,6	81,5%	96,0	77,3	80,5%	96,0	77,3	80,5%
System 2.1	b=12,0m	H=9,6m	h=8,0m	e=8,0m	S 235	HEB 340	HEA 450	37%	56%	37%	49%	37%	53,0	48,0	90,6%	48,0	14,4	30,0%	48,0	14,4	30,0%
System 2.2	b=18,0m	H=10,4m	h=8,0m	e=8,0m	S 235	HEB 400	IPE 600	98%	72%	98%	64%	58%	53,0	43,9	82,8%	72,0	38,2	53,1%	72,0	38,2	53,1%
System 2.3	b=24,0m	H=11,2m	h=8,0m	e=6,0m	S 235	HEB 400	IPE 600	91%	82%	91%	84%	77%	53,0	50,6	95,5%	96,0	76,6	79,8%	96,0	76,6	79,8%
System 3.1	b=12,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=8,0m	S 235	HEB 280	IPE 400	90%	75%	90%	68%	69%	40,0	36,1	90,3%	48,0	39,1	81,5%	48,0	39,1	81,5%
System 3.2	b=18,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=8,0m	S 235	HEB 300	HEA 500	65%	95%	65%	87%	62%	40,0	21,8	54,5%	72,0	64,5	89,6%	72,0	64,5	89,6%
System 3.3	b=24,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=6,0m	S 235	HEB 360	HEB 600	59%	98%	59%	92%	59%	40,0	13,0	32,5%	96,0	86,9	90,5%	96,0	86,9	90,5%
System 4.1	b=12,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=8,0m	S 235	HEB 320	HEA 400	41%	55%	41%	49%	41%	53,0	52,7	99,4%	48,0	23,2	48,3%	48,0	23,2	48,3%
System 4.2	b=18,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=8,0m	S 235	HEB 320	HEA 500	66%	90%	66%	80%	64%	53,0	50,0	94,3%	72,0	66,4	92,2%	72,0	66,4	92,2%
System 4.3	b=24,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=6,0m	S 235	HEB 360	HEB 650	63%	89%	63%	80%	59%	53,0	29,6	55,8%	96,0	84,7	88,2%	96,0	84,7	88,2%
System 5.1	b=12,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=8,0m	S 235	HEB 360	HEA 450	92%	95%	92%	84%	82%	40,0	17,0	42,5%	48,0	43,2	90,0%	48,0	43,2	90,0%
System 5.2	b=18,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=6,0m	S 235	HEB 550	HEA 550	100%	91%	100%	83%	100%	40,0	8,2	20,5%	72,0	65,8	91,4%	72,0	65,8	91,4%
System 5.3	b=24,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=6,0m	S 355	HEB 550	HEB 800	64%	90%	64%	80%	52%	40,0	9,9	24,8%	96,0	90,3	94,1%	96,0	90,3	94,1%
System 6.1	b=12,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=8,0m	S 235	HEB 360	HEB 450	76%	94%	76%	79%	76%	53,0	39,7	74,9%	48,0	41,7	86,9%	48,0	41,7	86,9%
System 6.2	b=18,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=6,0m	S 235	HEB 550	HEA 550	97%	92%	97%	80%	97%	53,0	17,7	33,4%	72,0	71,9	99,9%	72,0	71,9	99,9%
System 6.3	b=24,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=6,0m	S 355	HEB 550	HEA 900	74%	88%	74%	70%	54%	53,0	18,0	34,0%	96,0	90,1	93,9%	96,0	90,1	93,9%

Ort B																					
System																					
Dachaufbau leicht (Systeme 1.1-4.3): 0,50kN/m ² ; Dachaufbau schwer (Systeme 5.1-6.3): 4,0kN/m ² ; Wandkonstruktion: 0,25kN/m ² Schnee 3,0kN/m ² ; Wind: 125km/h																					
Bezeichnung	Breite	Höhe	Stützenkopf	Achsabstand	Stahlgüte	Profile			ULS			SLS									
						Stützen	Träger	Stütze Achse B	EC3 Stabilität TH I.O β=2,0 ; β=2,5 Ausnutzung in [%]	Träger	Stütze Achse B	EC3 QS-NW TH I.O Ausnutzung in [%]	Horizontalverschiebung h/150 des Stützenkopfs [μx]	zul. [mm]	vor. [mm]	Horizontalschiebung h/150 des Stützenkopfs [μx]	zul. [mm]	vor. [mm]	Durchbiegung des Trägers [μz]	zul. [mm]	vor. [mm]
System 1.1	b=12,0m	H=7,6m	h=6,0m	e=8,0m	S 235	HEB 400	HEA 400	92%	81%	92%	73%	92%	40,0	38,2	95,5%	48,0	27,9	58,1%	48,0	27,9	58,1%
System 1.2	b=18,0m	H=8,4m	h=6,0m	e=6,0m	S 235	HEB 450	HEA 450	91%	99%	91%	91%	91%	40,0	31,2	78,0%	72,0	51,5	71,5%	72,0	51,5	71,5%
System 1.3	b=24,0m	H=9,2m	h=6,0m	e=6,0m	S 355	HEB 500	HEA 600	86%	89%	86%	81%	73%	40,0	38,1	95,3%	96,0	82,9	86,4%	96,0	82,9	86,4%
System 2.1	b=12,0m	H=9,6m	h=8,0m	e=8,0m	S 235	HEB 500	HEA 500	67%	67%	69%	57%	69%	53,0	52,2	98,5%	48,0	17,5	36,5%	48,0	17,5	36,5%
System 2.2	b=18,0m	H=10,4m	h=8,0m	e=6,0m	S 235	HEB 500	HEA 550	84%	91%	84%	80%	84%	53,0	50,4	95,1%	72,0	45,3	62,9%	72,0	45,3	62,9%
System 2.3	b=24,0m	H=11,2m	h=8,0m	e=6,0m	S 355	HEB 600	HEB 600	92%	92%	79%	67%	67%	53,0	48,6	91,7%	96,0	77,0	80,2%	96,0	77,0	80,2%
System 3.1	b=12,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=8,0m	S 235	HEB 340	HEA 400	81%	97%	81%	87%	81%	40,0	33,2	83,0%	48,0	43,0	89,6%	48,0	43,0	89,6%
System 3.2	b=18,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=6,0m	S 235	HEB 360	HEA 650	99%	100%	99%	96%	71%	40,0	18,8	47,0%	72,0	57,3	79,6%	72,0	57,3	79,6%
System 3.3	b=24,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=6,0m	S 355	HEB 450	HEA 800	69%	92%	69%	83%	54%	40,0	13,3	33,3%	96,0	51,4	53,5%	96,0	51,4	53,5%
System 4.1	b=12,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=8,0m	S 235	HEB 450	HEA 450	71%	71%	60%	60%	60%	53,0	51,3	96,8%	48,0	26,0	54,2%	48,0	26,0	54,2%
System 4.2	b=18,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=6,0m	S 235	HEB 500	HEA 600	85%	85%	68%	74%	67%	53,0	29,1	54,9%	72,0	52,6	73,1%	72,0	52,6	73,1%
System 4.3	b=24,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=6,0m	S 355	HEB 550	HEA 800	82%	82%	64%	64%	51%	53,0	23,0	43,4%	96,0	85,2	88,8%	96,0	85,2	88,8%
System 5.1	b=12,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=8,0m	S 235	HEB 450	HEA 550	98%	98%	78%	85%	78%	40,0	16,5	41,3%	48,0	35,0	72,9%	48,0	35,0	72,9%
System 5.2	b=18,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=6,0m	S 355	HEB 450	HEB 700	90%	92%	92%	79%	58%	40,0	14,7	36,8%	72,0	67,0	93,1%	72,0	67,0	93,1%
System 5.3	b=24,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=6,0m	S 355	HEB 800	HEA 900	99%	99%	86%	76%	71%	40,0	6,4	16,0%	96,0	81,5	84,9%	96,0	81,5	84,9%
System 6.1	b=12,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=8,0m	S 235	HEB 500	HEA 500	97%	97%	100%	82%	100%	53,0	42,0	79,2%	48,0	40,8	85,0%	48,0	40,8	85,0%
System 6.2	b=18,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=6,0m	S 355	HEB 550	HEB 650	86%	86%	76%	68%	58%	53,0	25,7	48,5%	72,0	69,2	96,1%	72,0	69,2	96,1%
System 6.3	b=24,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=6,0m	S 355	HEB 900	HEB 900	100%	100%	74%	62%	62%	53,0	11,0	20,8%	96,0	73,0	76,0%	96,0	73,0	76,0%

Tabelle 4.1

Ergebnistabelle der Vorbemessung

4.2 Leicht modifizierte, endgültige Systeme

In der Bemessung werden die gewonnenen Daten der Vorbemessung einer genaueren Analyse unterzogen. Hierfür werden die Systeme der Vorbemessung mit Imperfektionen des jeweiligen Nachweisverfahrens kombiniert, optimiert und erneut ausgewertet. Die Optimierung ergab, dass in einigen Systemen noch Reserven vorhanden sind, sodass letztendlich kleiner Profile gewählt werden konnten

In der nachfolgenden Tabelle 4.2 werden nun alle untersuchten Systeme mit den endgültig gewählten Profilen angeführt.

Ort A "geringe" Lasten							
Systembeschreibungen						Profile	
Bezeichnung	Breite	Höhe	Stützenkopf	Achsabstand	Stahlgüte	Stützen	Träger
System 1.1	b=12,0m	H=7,60m	h=6,0m	e=8,0m	S 235	HEB 280	HEA 340
System 1.2	b=18,0m	H=8,40m	h=6,0m	e=8,0m	S 235	HEB 320	HEA 400
System 1.3	b=24,0m	H=9,20m	h=6,0m	e=6,0m	S 235	HEB 400	HEA 450
System 2.1	b=12,0m	H=7,60m	h=8,0m	e=8,0m	S 235	HEB 340	HEA 450
System 2.2	b=18,0m	H=8,40m	h=8,0m	e=8,0m	S 235	HEB 400	HEA 450
System 2.3	b=24,0m	H=9,20m	h=8,0m	e=6,0m	S 235	HEB 400	HEA 500
System 3.1	b=12,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=8,0m	S 235	HEB 260	HEA 300
System 3.2	b=18,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=8,0m	S 235	HEB 300	HEA 500
System 3.3	b=24,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=6,0m	S 235	HEB 320	HEA 650
System 4.1	b=12,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=8,0m	S 235	HEB 320	HEA 400
System 4.2	b=18,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=8,0m	S 235	HEB 320	HEA 500
System 4.3	b=24,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=6,0m	S 235	HEB 360	HEA 650
System 5.1	b=12,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=8,0m	S 235	HEB 300	HEA 500
System 5.2	b=18,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=6,0m	S 235	HEB 400	HEB 700
System 5.3	b=24,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=6,0m	S 355	HEB 450	HEB 900
System 6.1	b=12,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=8,0m	S 235	HEB 360	HEA 500
System 6.2	b=18,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=6,0m	S 235	HEB 400	HEB 700
System 6.3	b=24,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=6,0m	S 355	HEB 450	HEB 900
Ort B "hohe" Lasten							
Systembeschreibungen						Profile	
Bezeichnung	Breite	Höhe	Stützenkopf	Achsabstand	Stahlgüte	Stützen	Träger
System 1.1	b=12,0m	H=7,60m	h=6,0m	e=8,0m	S 235	HEB 400	HEA 400
System 1.2	b=18,0m	H=8,40m	h=6,0m	e=6,0m	S 235	HEB 450	HEB 450
System 1.3	b=24,0m	H=9,20m	h=6,0m	e=6,0m	S 355	HEB 500	HEA 600
System 2.1	b=12,0m	H=7,60m	h=8,0m	e=8,0m	S 235	HEB 500	HEA 500
System 2.2	b=18,0m	H=8,40m	h=8,0m	e=6,0m	S 235	HEB 500	HEB 500
System 2.3	b=24,0m	H=9,20m	h=8,0m	e=6,0m	S 355	HEB 550	HEA 650
System 3.1	b=12,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=8,0m	S 235	HEB 320	HEA 450
System 3.2	b=18,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=6,0m	S 235	HEB 340	HEA 700
System 3.3	b=24,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=6,0m	S 355	HEB 360	HEA 900
System 4.1	b=12,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=8,0m	S 235	HEB 450	HEB 450
System 4.2	b=18,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=6,0m	S 235	HEB 400	HEA 650
System 4.3	b=24,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=6,0m	S 355	HEB 400	HEB 900
System 5.1	b=12,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=8,0m	S 235	HEB 450	HEA 500
System 5.2	b=18,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=6,0m	S 355	HEB 400	HEB 700
System 5.3	b=24,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=6,0m	S 355	HEB 700	HEB 900
System 6.1	b=12,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=8,0m	S 235	HEB 450	HEB 550
System 6.2	b=18,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=6,0m	S 355	HEB 450	HEB 700
System 6.3	b=24,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=6,0m	S 355	HEB 800	HEB 1000

Tabelle 4.2 Profiltabelle der Bemessung

Anzumerken ist, dass mitunter sehr kräftige Stützen gewählt wurden. Hier wäre auch eine alternative Auslegung mit gedrungeneren Stützen und höheren Dachträgern möglich. Für die Stützen werden in der Praxis auch sehr häufig HEA-Profile verwendet.

5 Zusammenfassende Ergebnisse

5.1 Maßgebende Lastfallkombinationen

Im folgenden Abschnitt werden die maßgebenden Lastfallkombinationen der Tragfähigkeit (ULS) und Gebrauchstauglichkeit (SLS, charakteristische Kombination) der gewählten Systeme dargestellt

Folgende Beschriftungen wurden für die nachfolgenden Systemskizzen gewählt:

w_{ex} ...Wind auf Außenwand & Bereiche Dach außen (x=Zonenbezeichnung nach EN 1991-1-4)

w_i ...Innendruck / Innensog auf Außenwand und Dach

S...Schneelast

G...Eigengewicht / Aufbau

e_0/L ...Vorkrümmungen (geom. Ersatzimperfektionen)

Φ ...Schiefstellungen

In den Darstellungen sind ebenfalls die Teilsicherheitsbeiwerte γ und Kombinationsbeiwerte ψ der Leit- und Begleiteinwirkungen der jeweiligen Lastfallkombination angeführt.

Die Bezeichnung der Lastfallkombinationen besitzt folgenden Aufbau:

Kombinationsnummer: Eigengewicht_Leiteinwirkung_Begleiteinwirkung_Imperfektionen

5.1.1 Maßgebende Lastfallkombination – ULS

Die maßgebende Lastfallkombination für einschiffige Portalrahmen mit Flach- und Satteldach setzt sich aus den Belastungen des Eigengewichts, der führenden symmetrischen Schneelast, der begleitenden Windlast auf die Breitseite mit Sog im Halleninneren und den je nach Nachweisverfahren dazugehörigen Imperfektionen (Schiefstellung der Stützen Φ in Windrichtung) zusammen.

a.) Systeme 1 & 2 - Satteldach

LK4: Eigengewicht_Schnee LF1_Wind LF4_Imperfektionen

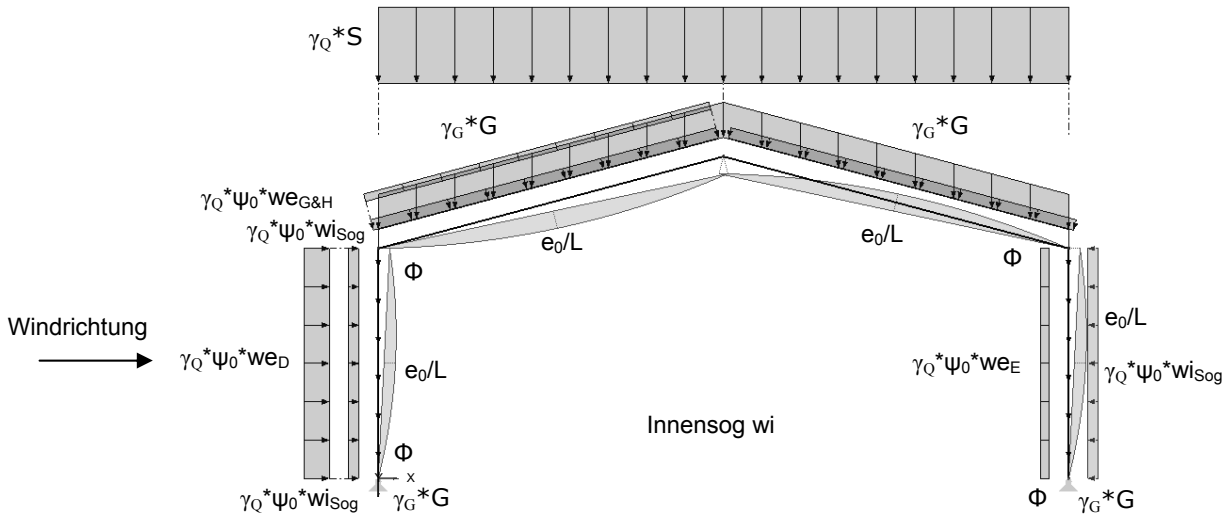


Bild 5.1 maßgebende Lastkombination, LK 4_Systeme 1 & 2 ULS

b.) Systeme 3 - 6 - Flachdach

LK2: Eigengewicht_Schnee LF1_Wind LF 2_Schiefstellung / Vorkrümmung

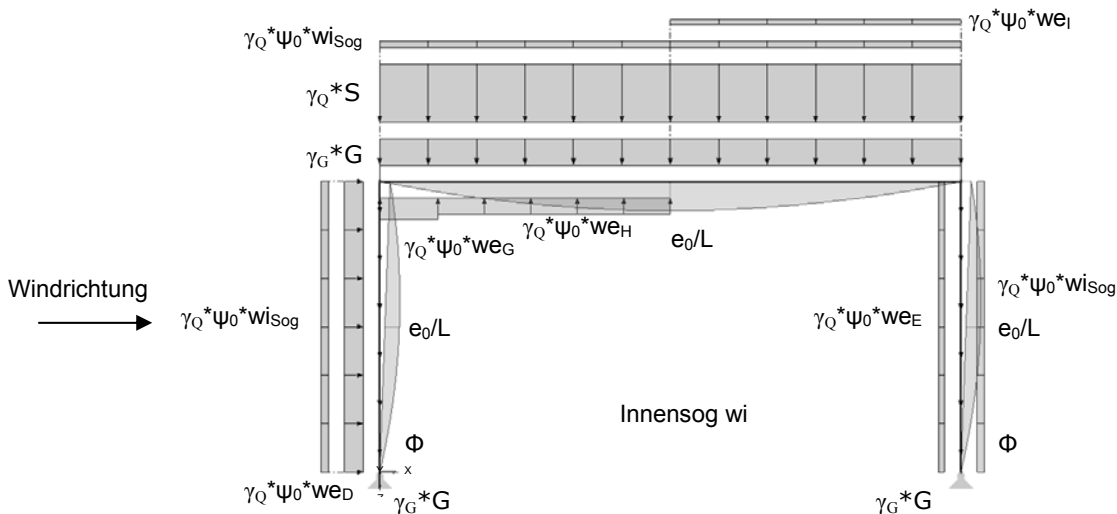


Bild 5.2 maßgebende Lastfallkombination, LK 2_Systeme 3 – 6

5.1.2 Maßgebende Lastfallkombination – SLS

1. Anm.: charakteristische Lastfallkombinationen, entsprechen der traditionellen nationalen Vorgehensweise.
2. Anm.: für die begleitende Schneelast wurde in dieser Arbeit von Standorten unter 1000m Seehöhe ausgegangen.

a.) Systeme 1 & 2 - Satteldach

maximale Durchbiegung [u_z] des Trägers

LK59: Eigengewicht_Schnee LF1_Wind LF4 (auf die Breitseite)_Schiefstellung / Vorkrümmung

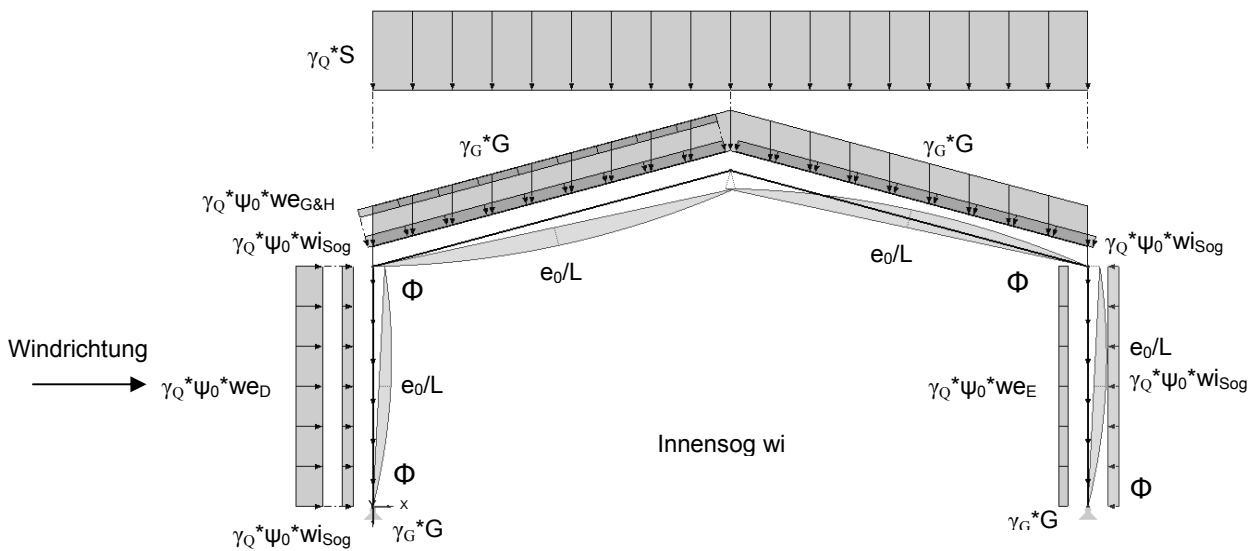


Bild 5.3 maßgebende Lastfallkombination Systeme 1 & 2, LK59 SLS [u_z]

maximale Horizontalverschiebung des Stützenkopfs [u_x]

LK83: Eigengewicht_Wind LF4 (auf die Breitseite)_Schnee LF2 (antimetrisch)_Schiefstellung / Vorkrümmung

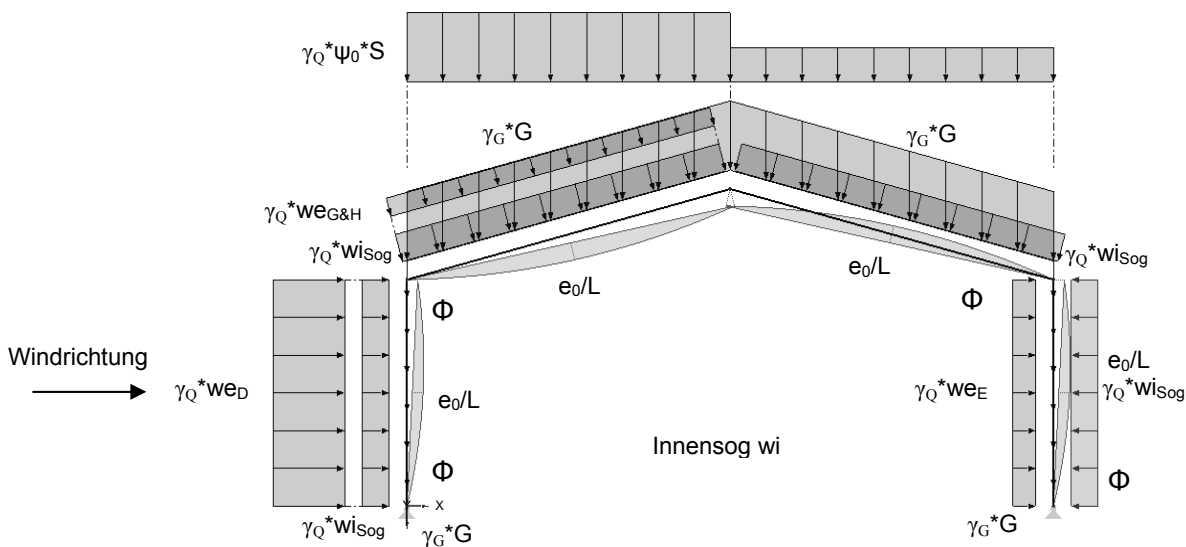


Bild 5.4 maßgebende Lastfallkombination Systeme 1 & 2, LK83 SLS [u_x]

b.) Systeme 3 - 6 - Flachdach

maximale Durchbiegung [u_z] des Trägers

LK41: Eigengewicht_Schnee LF1_Wind LF6 (auf die Längsseite)_Schiefstellung / Vorkrümmung

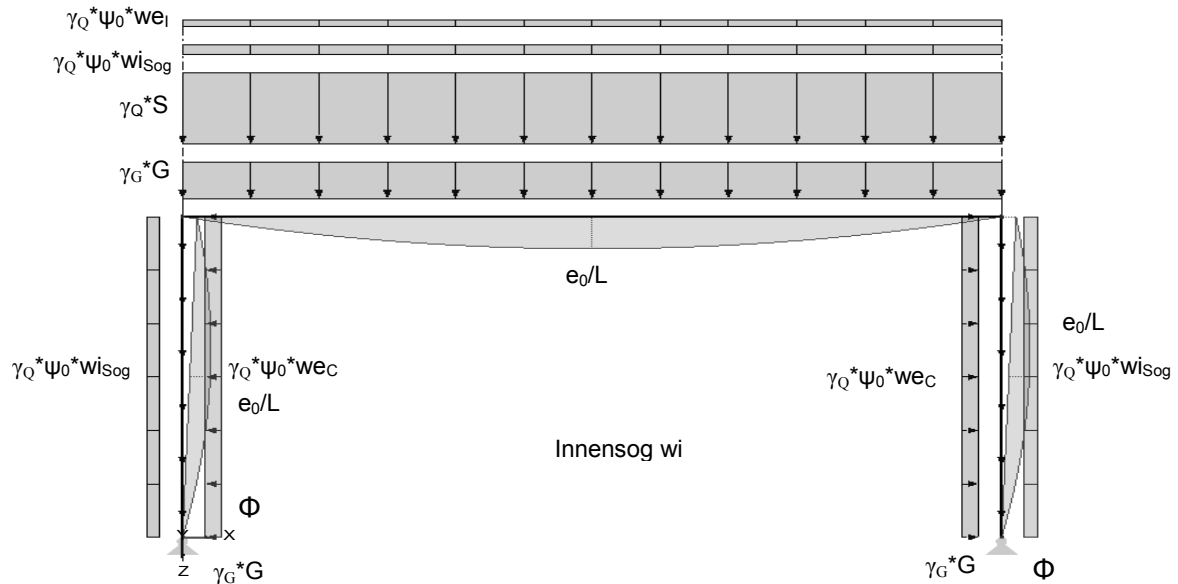


Bild 5.5 maßgebende Lastfallkombination Systeme 3 – 6, LK41 SLS [u_z]

maximale Horizontalverschiebung des Stützenkopfs [u_x]

LK47: Eigengewicht_Wind LF4 (auf die Breitseite)_Schnee LF1_Schiefstellung / Vorkrümmung

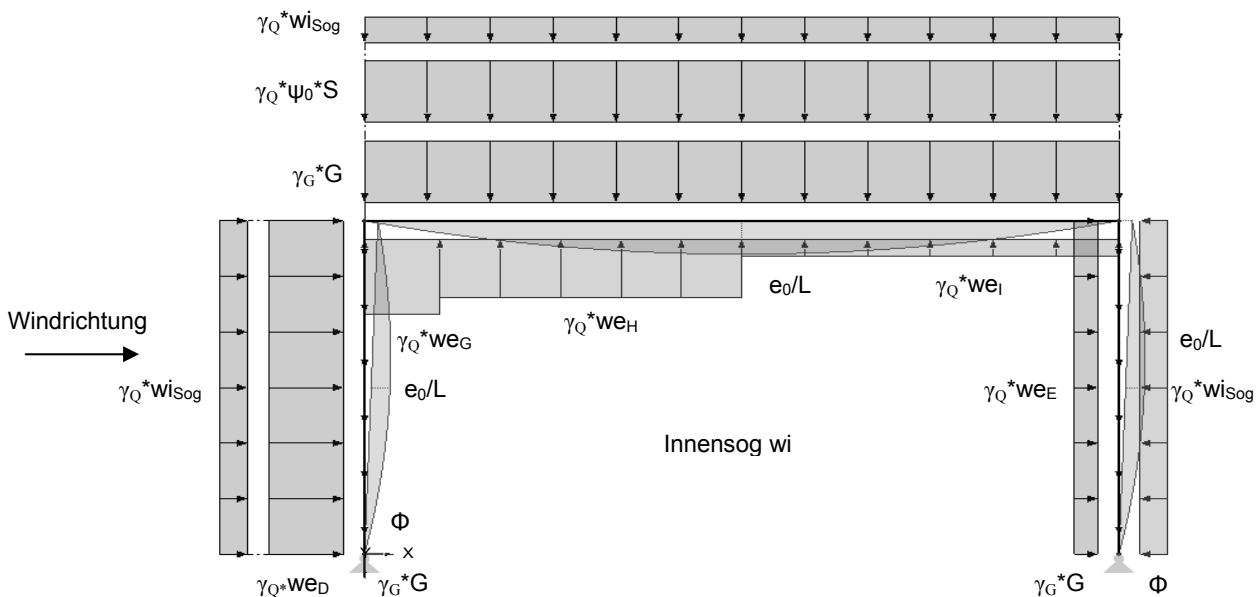


Bild 5.6 maßgebende Lastfallkombination Systeme 3 – 6, LK47 SLS [u_x]

5.2 Auslegung der Hallenrahmen – Einfluss der SLS - Nachweise

Die folgende Tabelle 5.1 zeigt, dass die Gebrauchstauglichkeit generell ein wichtiges Kriterium bei der Bemessung von Hallenrahmen im Stahlbau ist. Bei den für diese Arbeit gewählten Profilen ist meistens die Horizontalverschiebung des Systems maßgebend.

Bei den Satteldachsystemen ist fast immer die Horizontalverschiebung des Stützenkopfes maßgebend, unabhängig von der Belastung.

Generell ist zu sagen, dass bei Systemen mit "geringen" vertikalen Belastungen der Gebrauchstauglichkeitsnachweis der Horizontalverschiebung maßgebend werden kann. Dies hat zur Folge, dass z.B. bei 12m breiten Systemen die Stützen ähnliche Dimensionen besitzen wie die Stützen der 18m breiten Systeme.

Bei den "schwer" belasteten Systemen (Dachaufbau schwer) ist unabhängig von der Hallenbreite entweder die Durchbiegung des Trägers oder der Biegedrillknicknachweis der rechten Stütze maßgebend.

Bei den "niedrigen" Stützenhöhen der Flachdachsysteme ist unabhängig von der Belastung meistens der Nachweis der Tragfähigkeit (Biegedrillknicken aus der Ebene) maßgebend. Hingegen kann bei den "hohen" Stützen wieder der Gebrauchstauglichkeitsnachweis der Horizontalverschiebung tragend werden.

Ort A "geringe" Lasten															
System															
Dachaufbau leicht (Systeme 1.1-4.3): 0,50kN/m ² ; Dachaufbau schwer (Systeme 5.1-6.3): 4,0kN/m ² ; Wandkonstruktion: 0,25kN/m ² Schnee 1,0kN/m ² ; Wind: 100km/h															
Bezeichnung	Breite	Firsthöhe	Stützenkopf	Achsabstand	Stahlgüte	Profile		SLS				ULS NWW II			
						Stützen	Träger	Horizontalverschiebung h/150 des Stützenkopfes ux [mm]	zul.	vor.	zul.	vor.	rechte Stütze BDK aus der Ebene	Träger	
System 1.1	b=12,0m	H=7,60m	h=6,0m	e=8,0m	S 235	HEB 280	HEA 340	40,0	39,7	99,4%	48,0	25,8	53,8%	68,5%	52,0%
System 1.2	b=18,0m	H=8,40m	h=6,0m	e=8,0m	S 235	HEB 320	HEA 400	40,0	40,0	100,0%	72,0	63,2	87,8%	98,7%	81,0%
System 1.3	b=24,0m	H=9,20m	h=6,0m	e=6,0m	S 235	HEB 400	HEA 450	40,0	34,2	85,5%	96,0	78,7	82,0%	89,1%	88,0%
System 2.1	b=12,0m	H=7,60m	h=8,0m	e=8,0m	S 235	HEB 340	HEA 450	53,0	50,0	94,3%	48,0	14,5	30,2%	50,8%	38,0%
System 2.2	b=18,0m	H=8,40m	h=8,0m	e=8,0m	S 235	HEB 400	HEA 450	53,0	52,9	99,8%	72,0	48,3	67,1%	75,6%	71,0%
System 2.3	b=24,0m	H=9,20m	h=8,0m	e=6,0m	S 235	HEB 400	HEA 500	53,0	52,8	99,6%	96,0	83,0	86,5%	91,4%	74,0%
System 3.1	b=12,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=8,0m	S 235	HEB 260	HEA 300	40,0	39,9	99,8%	48,0	46,9	97,7%	79,1%	67,0%
System 3.2	b=18,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=8,0m	S 235	HEB 300	HEA 300	40,0	23,0	57,5%	72,0	64,9	90,1%	92,7%	64,0%
System 3.3	b=24,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=6,0m	S 235	HEB 320	HEA 300	40,0	16,6	41,5%	96,0	86,8	90,4%	98,4%	61,0%
System 4.1	b=12,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=8,0m	S 235	HEB 320	HEA 400	53,0	52,9	99,8%	48,0	23,8	49,6%	52,6%	42,0%
System 4.2	b=18,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=8,0m	S 235	HEB 320	HEA 500	53,0	49,9	94,2%	72,0	67,2	93,3%	88,4%	65,0%
System 4.3	b=24,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=6,0m	S 235	HEB 360	HEA 650	53,0	29,2	55,1%	96,0	85,2	88,8%	87,6%	60,0%
System 5.1	b=12,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=8,0m	S 235	HEB 300	HEA 500	40,0	22,9	57,3%	48,0	43,0	93,5%	100,0%	85,0%
System 5.2	b=18,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=6,0m	S 235	HEB 400	HEB 700	40,0	12,2	30,5%	72,0	53,7	74,6%	97,6%	68,0%
System 5.3	b=24,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=6,0m	S 355	HEB 450	HEB 900	40,0	12,9	32,3%	96,0	90,2	97,0%	91,6%	54,0%
System 6.1	b=12,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=8,0m	S 235	HEB 360	HEA 500	53,0	42,0	79,2%	48,0	40,1	83,5%	89,5%	80,0%
System 6.2	b=18,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=6,0m	S 235	HEB 400	HEB 700	53,0	25,4	47,9%	72,0	58,3	81,0%	94,4%	73,0%
System 6.3	b=24,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=6,0m	S 355	HEB 450	HEB 900	53,0	24,2	45,7%	96,0	96,0	100,0%	90,4%	57,0%

Ort B "hohe" Lasten															
System															
Dachaufbau leicht (Systeme 1.1-4.3): 0,50kN/m ² ; Dachaufbau schwer (Systeme 5.1-6.3): 4,0kN/m ² ; Wandkonstruktion: 0,25kN/m ² Schnee 3,0kN/m ² ; Wind: 125km/h															
Bezeichnung	Breite	Firsthöhe	Stützenkopf	Achsabstand	Stahlgüte	Profile		SLS				ULS NWW II			
						Stützen	Träger	Horizontalverschiebung h/150 des Stützenkopfes ux [mm]	zul.	vor.	zul.	vor.	rechte Stütze BDK aus der Ebene	Träger	
System 1.1	b=12,0m	H=7,60m	h=6,0m	e=8,0m	S 235	HEB 400	HEA 400	40,0	38,9	97,3%	48,0	28,0	58,3%	80,8%	96,0%
System 1.2	b=18,0m	H=8,40m	h=6,0m	e=6,0m	S 235	HEB 450	HEB 450	40,0	32,7	81,8%	72,0	52,3	72,6%	97,7%	94,0%
System 1.3	b=24,0m	H=9,20m	h=6,0m	e=6,0m	S 355	HEB 500	HEA 600	40,0	39,9	99,8%	96,0	84,5	88,0%	89,6%	76,0%
System 2.1	b=12,0m	H=7,60m	h=8,0m	e=8,0m	S 235	HEB 500	HEA 500	53,0	52,9	99,8%	48,0	17,7	36,9%	66,5%	72,0%
System 2.2	b=18,0m	H=8,40m	h=8,0m	e=8,0m	S 235	HEB 500	HEB 500	53,0	52,6	99,2%	72,0	47,3	65,7%	91,0%	84,0%
System 2.3	b=24,0m	H=9,20m	h=8,0m	e=6,0m	S 355	HEB 550	HEA 650	53,0	52,4	98,9%	96,0	84,0	87,5%	82,7%	70,0%
System 3.1	b=12,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=8,0m	S 235	HEB 320	HEA 450	40,0	35,4	88,5%	48,0	37,4	77,9%	94,6%	74,0%
System 3.2	b=18,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=6,0m	S 235	HEB 340	HEA 700	40,0	21,6	54,0%	72,0	53,0	73,6%	100,0%	69,0%
System 3.3	b=24,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=6,0m	S 355	HEB 360	HEA 900	40,0	20,4	51,0%	96,0	91,8	95,6%	92,1%	56,0%
System 4.1	b=12,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=8,0m	S 235	HEB 450	HEB 450	53,0	52,7	99,4%	48,0	26,6	55,4%	70,1%	63,0%
System 4.2	b=18,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=6,0m	S 235	HEB 400	HEA 650	53,0	44,6	84,2%	72,0	58,6	81,4%	98,8%	73,0%
System 4.3	b=24,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=6,0m	S 355	HEB 400	HEB 900	53,0	42,3	79,8%	96,0	83,9	87,4%	85,7%	51,0%
System 5.1	b=12,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=8,0m	S 235	HEB 450	HEA 500	40,0	16,7	41,8%	48,0	36,1	75,2%	97,1%	79,0%
System 5.2	b=18,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=6,0m	S 355	HEB 400	HEB 700	40,0	18,2	45,5%	72,0	72,0	100,0%	96,6%	64,0%
System 5.3	b=24,0m	H=6,0m	h=6,0m	e=6,0m	S 355	HEB 700	HEB 900	40,0	8,1	20,3%	96,0	83,5	87,0%	99,3%	58,0%
System 6.1	b=12,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=8,0m	S 235	HEB 450	HEB 550	53,0	44,8	84,5%	48,0	34,6	72,1%	99,6%	79,0%
System 6.2	b=18,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=6,0m	S 355	HEB 450	HEB 700	53,0	37,7	71,1%	72,0	72,0	100,0%	94,1%	63,0%
System 6.3	b=24,0m	H=8,0m	h=8,0m	e=6,0m	S 355	HEB 800	HEB 1000	53,0	12,9	24,34%	96,0	69,8	72,7%	98,2%	51,0%

Tabelle 5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse der Gebrauchtauglichkeit

5.3 Bemessungsbestimmende Nachweise - ULS

Vorab ist zu erwähnen, dass die Bemessung bzw. der Nachweis der Tragfähigkeit des Trägers mittels des Statikprogramms RSTAB, nach allen drei Nachweisverfahren erfolgte. Da die drei untersuchten Nachweisverfahren primär Auswirkungen auf die Stützenbemessung haben, wurde in dieser Arbeit auf die Analyse des Trägers in den Auswertungstabellen verzichtet. Es ist zu erwähnen, dass für die Träger der Querschnittsnachweis der maßgebende Nachweis ist, in Ausnahmefällen erreicht der Biegedrillknicknachweis ähnliche Werte.

Bei den Nachweisverfahren II & III sind die Bauteilnachweise um die y-Achse in der Ebene der untersuchten Portalrahmen von untergeordneter Bedeutung, d.h., dass der maßgebende Nachweis der Tragfähigkeit der Stabilitätsnachweis der Stütze aus der Ebene (BDK) mit dem Moment nach Theorie II. Ordnung ist.

Anders sieht dies bei dem Nachweisverfahren IV aus, da aufgrund des fast doppelt so großen Momentenbeiwertes $c_{my}=0,90$ (Fixwert, lt. EN 1993-1-1, Anhang B, Tabelle B.3) die Ergebnisse der Nachweise in der Ebene und aus der Ebene (BDK) sich nur geringfügig voneinander unterscheiden.

Bei den gewählten Randbedingungen der Systeme -Gabellagerung am Stützenfuß bzw. Stützenkopf, keine seitliche Zwischenhalterung der Stütze, -ist immer der Biegedrillknicknachweis der rechten Stütze (Stab Nr.3, Achse B Flachdach bzw. Stab Nr.4, Achse B Satteldach) maßgebend.

Die folgende Tabelle 5.2 zeigt die Ergebnisse der Tragfähigkeitsnachweise für den maßgebenden Bauteil der rechten Stütze.

Ort A "geringe" Laste												
Bemessung												
System												
Dachaufbau leicht (Systeme 1.1-4.3); 0,50kN/m ² ; Dachaufbau schwer (Systeme 5.1-6.3); 4,0kN/m ² ; Wandkonstruktion: 0,25kN/m ² Schnee 1,0kN/m ² ; Wind: 100km/h												
ULS: Stütze Achse B												
Nachweisverfahren II			Nachweisverfahren III			Nachweisverfahren IV						
BDK aus der Ebene	QS-NW	Knicken in der Ebene	BDK aus der Ebene	QS-NW	Knicken in der Ebene	BDK aus der Ebene	QS-NW	Knicken in der Ebene	BDK aus der Ebene	QS-NW	Knicken in der Ebene	
[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
Profile												
Stahlgüte	Stützen	Träger										
System 1.1	b=12,0m	H=7,60m	S 235	HEB 280	HEA 340	68,5%	62,5%	43,2%	68,4%	62,4%	69,3%	68,1%
System 1.2	b=18,0m	H=8,40m	S 235	HEB 320	HEA 400	98,7%	92,7%	62,6%	98,7%	92,7%	100,7%	97,9%
System 1.3	b=24,0m	H=9,20m	S 235	HEB 400	HEA 450	89,1%	84,2%	55,6%	89,0%	84,2%	88,0%	82,7%
System 2.1	b=12,0m	H=7,60m	S 235	HEB 340	HEA 450	50,8%	44,1%	31,1%	50,8%	44,1%	49,5%	50,7%
System 2.2	b=18,0m	H=8,40m	S 235	HEB 400	HEA 450	75,6%	68,6%	46,6%	75,5%	68,5%	74,6%	67,0%
System 2.3	b=24,0m	H=9,20m	S 235	HEB 400	HEA 500	91,4%	86,5%	58,1%	93,1%	86,4%	92,2%	84,6%
System 3.1	b=12,0m	H=6,0m	S 235	HEB 260	HEA 300	79,1%	72,4%	49,8%	78,7%	72,0%	81,0%	70,2%
System 3.2	b=18,0m	H=6,0m	S 235	HEB 300	HEA 500	92,7%	85,9%	59,1%	92,3%	85,5%	93,1%	84,4%
System 3.3	b=24,0m	H=6,0m	S 235	HEB 320	HEA 650	98,4%	91,8%	62,4%	97,8%	91,3%	97,2%	97,5%
System 4.1	b=12,0m	H=8,0m	S 235	HEB 320	HEA 400	52,6%	46,1%	32,3%	52,4%	46,0%	51,8%	44,7%
System 4.2	b=18,0m	H=8,0m	S 235	HEB 320	HEA 500	88,4%	79,5%	55,8%	88,0%	79,2%	90,0%	77,4%
System 4.3	b=24,0m	H=8,0m	S 235	HEB 360	HEA 650	87,6%	79,2%	54,5%	87,2%	78,8%	86,6%	77,9%
System 5.1	b=12,0m	H=6,0m	S 235	HEB 300	HEA 500	100,0%	87,6%	66,7%	99,6%	87,2%	107,5%	86,0%
System 5.2	b=18,0m	H=6,0m	S 235	HEB 400	HEB 700	97,6%	87,5%	63,0%	97,1%	87,1%	95,5%	86,8%
System 5.3	b=24,0m	H=6,0m	S 355	HEB 450	HEB 900	91,6%	81,2%	57,7%	91,1%	80,8%	87,7%	80,4%
System 6.1	b=12,0m	H=8,0m	S 235	HEB 360	HEA 500	89,5%	74,6%	56,9%	88,9%	74,3%	92,8%	88,9%
System 6.2	b=18,0m	H=8,0m	S 235	HEB 400	HEB 700	94,4%	80,3%	60,0%	93,9%	80,0%	94,4%	94,1%
System 6.3	b=24,0m	H=8,0m	S 355	HEB 450	HEB 900	90,4%	72,3%	54,5%	89,9%	72,0%	87,0%	90,0%

Ort B "hohe" Lasten												
Bemessung												
System												
Dachaufbau leicht (Systeme 1.1-4.3); 0,50kN/m ² ; Dachaufbau schwer (Systeme 5.1-6.3); 4,0kN/m ² ; Wandkonstruktion: 0,25kN/m ² Schnee 3,0kN/m ² ; Wind: 125km/h												
ULS: Stütze Achse B												
Nachweisverfahren II			Nachweisverfahren III			Nachweisverfahren IV						
BDK aus der Ebene	QS-NW	Knicken in der Ebene	BDK aus der Ebene	QS-NW	Knicken in der Ebene	BDK aus der Ebene	QS-NW	Knicken in der Ebene	BDK aus der Ebene	QS-NW	Knicken in der Ebene	
[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
Profile												
Stahlgüte	Stützen	Träger										
System 1.1	b=12,0m	H=7,60m	S 235	HEB 400	HEA 400	80,8%	73,1%	51,2%	80,6%	73,0%	79,9%	80,1%
System 1.2	b=18,0m	H=8,40m	S 235	HEB 450	HEA 450	97,7%	90,4%	61,7%	97,6%	90,3%	96,4%	96,8%
System 1.3	b=24,0m	H=9,20m	S 355	HEB 500	HEA 600	89,6%	82,1%	55,5%	89,5%	82,1%	87,4%	88,4%
System 2.1	b=12,0m	H=7,60m	S 235	HEB 500	HEA 500	66,5%	56,6%	40,4%	66,4%	56,6%	62,0%	66,1%
System 2.2	b=18,0m	H=8,0m	S 235	HEB 500	HEB 500	91,0%	81,1%	56,1%	90,9%	81,1%	87,9%	90,3%
System 2.3	b=24,0m	H=9,20m	S 355	HEB 550	HEA 650	82,7%	75,1%	53,7%	90,0%	75,1%	85,7%	89,1%
System 3.1	b=12,0m	H=6,0m	S 235	HEB 320	HEA 450	94,6%	85,2%	61,1%	94,2%	84,9%	96,2%	94,1%
System 3.2	b=18,0m	H=6,0m	S 235	HEB 340	HEA 700	100,0%	90,4%	65,1%	99,9%	90,1%	101,1%	100,2%
System 3.3	b=24,0m	H=6,0m	S 355	HEB 360	HEA 900	92,1%	81,1%	58,7%	91,7%	80,8%	92,6%	91,7%
System 4.1	b=12,0m	H=8,0m	S 235	HEB 450	HEA 450	70,1%	60,3%	42,9%	69,9%	60,1%	65,9%	69,8%
System 4.2	b=18,0m	H=8,0m	S 235	HEB 400	HEA 650	98,8%	87,6%	62,0%	98,3%	87,3%	96,5%	98,3%
System 4.3	b=24,0m	H=8,0m	S 355	HEB 400	HEB 900	85,7%	69,6%	52,2%	85,3%	69,3%	83,2%	86,4%
System 5.1	b=12,0m	H=6,0m	S 235	HEB 450	HEA 500	97,1%	85,5%	62,7%	96,7%	85,2%	95,0%	96,5%
System 5.2	b=18,0m	H=6,0m	S 355	HEB 400	HEB 700	96,6%	84,7%	61,6%	96,1%	84,3%	96,2%	96,0%
System 5.3	b=24,0m	H=6,0m	S 355	HEB 700	HEB 900	99,3%	84,7%	60,6%	98,5%	84,0%	90,8%	97,8%
System 6.1	b=12,0m	H=8,0m	S 235	HEB 450	HEB 550	99,6%	83,3%	62,8%	99,1%	83,1%	96,9%	98,9%
System 6.2	b=18,0m	H=8,0m	S 355	HEB 450	HEB 700	94,1%	75,1%	57,1%	93,9%	75,0%	90,9%	93,6%
System 6.3	b=24,0m	H=8,0m	S 355	HEB 800	HEB 1000	98,2%	66,9%	56,3%	97,7%	66,5%	85,0%	97,4%

Tabelle 5.2 Zusammenfassung der Ergebnisse der Tragfähigkeit

5.4 Stabilitätsverhalten der Rahmen in der Ebene

Bei den untersuchten Systemen ergeben sich α_{cr} –Werte nahe 10 bzw. 15 (weil sonst der SLS-Nachweis maßgebend wird), wodurch die Effekte nach Theorie II. Ordnung klein bleiben.

Der Faktor α_{cr} gibt an, wie empfindlich ein System gegenüber Verformungen nach Theorie II. Ordnung ist. Große Werte zeigen eine geringe Empfindlichkeit an, d.h. die Momente nach Theorie I. und II. Ordnung unterscheiden sich kaum.

Einen wesentlichen Einfluss auf den Vergrößerungsfaktor α_{cr} hat das Flächenträgheitsmoment I. Da das Flächenträgheitsmoment von der Geometrie des gewählten Querschnittes abhängig ist, besser gesagt von der Profilhöhe h, lässt sich somit der Wert von α_{cr} steuern.

$$I_y = \frac{h_i^2 * b * t_f}{2} + \frac{t_w * h_i^3}{12} \quad \text{vereinfachtes Flächenträgheitsmoment für I Profile}$$

In dieser Arbeit wurde versucht die Stützen einheitlich mittels HEB-Profilen auszulegen, da z.B. ein HEB 300 die ähnlichen Eigenschaften wie ein HEA 340 besitzt, aber 3cm niedriger ist. Für eine Vielzahl der Systeme ergab diese Randbedingung sehr brauchbare Ergebnisse. Natürlich könnte man versuchen noch diverse Systeme mit HEA-Profilen zu optimieren, die generelle Aussage würde sich jedoch nicht ändern.

Einen weiteren Einfluss auf die Größe α_{cr} hat die eingeleitete Normalkraft F_{Ed} am Stützenkopf. Diesen Zusammenhang sieht man besonders gut bei den Systemen 5 & 6, die zusätzlich zu den Schnee und Windlasten einen schweren Dachaufbau mittels betonierten Hohldielen und Kiesschüttung besitzen.

In der Tabelle 5.3 sieht man nochmal den schon zuvor erwähnten sehr geringen Anstieg der Schnittkräfte bei Berücksichtigung des Gleichgewichts am verformten System (Verhältnis M^{II}/M^I) für die rechte Rahmenecke.

Es wird das Biegemoment bei Nachweisverfahren IV -dies entspricht Momenten I. Ordnung mit dem Nachweisverfahren II –dies entspricht Momenten II. Ordnung verglichen. In der Spalte "Erhöhungsfaktor" sieht man, dass die Erhöhung der Biegemomente für die gewählten Systeme zwischen den beiden Verfahren im Durchschnitt nur bei 2% liegt!

Ort A "geringe" Lasten					Ort B "hohe" Lasten				
Systemdaten			Vergrößerungsbeiwert	Erhöhungsfaktor	Systemdaten			Vergrößerungsbeiwert	Erhöhungsfaktor
System	Profile		α_{cr} LK4: Satteldach LK2: Flachdach	$\frac{M^{II}}{M^I}$	System	Profile		α_{cr} LK4: Satteldach LK2: Flachdach	$\frac{M^{II}}{M^I}$
Bezeichnung	Stützen	Träger	Figur Nr. 1	[-]	Bezeichnung	Stützen	Träger	Figur Nr. 1	[-]
System 1.1	HEB 280	HEA 340	12,598	1,026	System 1.1	HEB 400	HEA 400	13,141	1,025
System 1.2	HEB 320	HEA 400	11,423	1,023	System 1.2	HEB 450	HEB 450	14,189	1,018
System 1.3	HEB 400	HEA 450	14,319	1,018	System 1.3	HEB 500	HEA 600	13,752	1,020
System 2.1	HEB 340	HEA 450	14,613	1,029	System 2.1	HEB 500	HEA 500	15,623	1,026
System 2.2	HEB 400	HEA 450	11,742	1,024	System 2.2	HEB 500	HEB 500	12,511	1,023
System 2.3	HEB 400	HEA 500	11,473	1,022	System 2.3	HEB 550	HEA 650	11,679	1,023
System 3.1	HEB 260	HEA 300	10,383	1,031	System 3.1	HEB 320	HEA 450	11,589	1,026
System 3.2	HEB 300	HEA 500	13,588	1,017	System 3.2	HEB 340	HEA 700	13,242	1,015
System 3.3	HEB 320	HEA 650	16,329	1,014	System 3.3	HEB 360	HEA 900	11,792	1,013
System 4.1	HEB 320	HEA 400	13,541	1,031	System 4.1	HEB 450	HEB 450	14,654	1,028
System 4.2	HEB 320	HEA 500	9,548	1,028	System 4.2	HEB 400	HEA 650	11,066	1,024
System 4.3	HEB 360	HEA 650	12,690	1,016	System 4.3	HEB 400	HEB 900	8,960	1,022
System 5.1	HEB 300	HEA 500	8,188	1,019	System 5.1	HEB 450	HEA 500	14,096	1,015
System 5.2	HEB 400	HEB 700	15,476	1,009	System 5.2	HEB 400	HEB 700	11,069	1,013
System 5.3	HEB 450	HEB 900	15,938	1,010	System 5.3	HEB 700	HEB 900	24,163	1,017
System 6.1	HEB 360	HEA 500	7,495	1,031	System 6.1	HEB 450	HEB 550	9,495	1,032
System 6.2	HEB 400	HEB 700	9,204	1,014	System 6.2	HEB 450	HEB 700	8,630	1,021
System 6.3	HEB 450	HEB 900	9,492	1,010	System 6.3	HEB 800	HEB 1000	21,392	1,012

Tabelle 5.3 Verhältnis der Ausnutzungsgrade der QS-Nachweise der Verfahren II und IV

Der Knicklängenbeiwert β ist ebenfalls von der Geometrie des Systems (Breite & Höhe) und den Flächenträgheitsmomenten von Stützen und Träger abhängig.

Da der Normalkraftverlauf in den Stützen nicht konstant ist, wird mit dem Mittelwert der Normalkraft gerechnet.

Mit der Kenntnis von α_{cr} kann die Größe N_{cr} für die maßgebende rechte Stütze ermittelt werden. Auf Basis von I_y dieser Stütze ergibt sich dann der Knicklängenbeiwert:

$$\text{aus: } N_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I_y}{L_{cr}^2} \quad \text{mit } L_{cr} = \beta * L \Rightarrow L_{cr} = \beta * L = \pi \sqrt{\frac{E * I_y}{N_{cr}}} \quad \text{mit; } L \dots \text{Stützhöhe}$$

Ort A "geringe" Lasten					Ort B "hohe" Lasten				
Systemdaten			Vergrößerungsbeiw.	Knicklängenbeiw.	Systemdaten			Vergrößerungsbeiw.	Knicklängenbeiw.
System	Profile		α_{cr} LK4: Satteldach LK2: Flachdach	β_v Stab 4: Satteldach Stab 3: Flachdach	System	Profile		α_{cr} LK4: Satteldach LK2: Flachdach	β_v Stab 4: Satteldach Stab 3: Flachdach
	Bezeichnung	Stützen	Träger	Figur Nr. 1		[-]	Bezeichnung	Stützen	Träger
System 1.1	HEB 280	HEA 340	12,598	2,458	System 1.1	HEB 400	HEA 400	13,141	2,825
System 1.2	HEB 320	HEA 400	11,423	2,726	System 1.2	HEB 450	HEB 450	14,189	3,034
System 1.3	HEB 400	HEA 450	14,319	3,301	System 1.3	HEB 500	HEA 600	13,752	3,117
System 2.1	HEB 340	HEA 450	14,613	2,247	System 2.1	HEB 500	HEA 500	15,623	2,547
System 2.2	HEB 400	HEA 450	11,742	2,682	System 2.2	HEB 500	HEB 500	12,511	2,743
System 2.3	HEB 400	HEA 500	11,473	2,701	System 2.3	HEB 550	HEA 650	11,679	2,818
System 3.1	HEB 260	HEA 300	10,383	2,436	System 3.1	HEB 320	HEA 450	11,589	2,236
System 3.2	HEB 300	HEA 500	13,588	2,246	System 3.2	HEB 340	HEA 700	13,242	2,129
System 3.3	HEB 320	HEA 650	16,329	2,215	System 3.3	HEB 360	HEA 900	11,792	2,113
System 4.1	HEB 320	HEA 400	13,541	2,224	System 4.1	HEB 450	HEB 450	14,654	2,349
System 4.2	HEB 320	HEA 500	9,548	2,196	System 4.2	HEB 400	HEA 650	11,066	2,17
System 4.3	HEB 360	HEA 650	12,690	2,207	System 4.3	HEB 400	HEB 900	8,960	2,068
System 5.1	HEB 300	HEA 500	8,188	2,177	System 5.1	HEB 450	HEA 500	14,096	2,459
System 5.2	HEB 400	HEB 700	15,476	2,228	System 5.2	HEB 400	HEB 700	11,069	2,213
System 5.3	HEB 450	HEB 900	15,938	2,230	System 5.3	HEB 700	HEB 900	24,163	2,726
System 6.1	HEB 360	HEA 500	7,495	2,216	System 6.1	HEB 450	HEB 550	9,495	2,226
System 6.2	HEB 400	HEB 700	9,204	2,155	System 6.2	HEB 450	HEB 700	8,630	2,197
System 6.3	HEB 450	HEB 900	9,492	2,158	System 6.3	HEB 800	HEB 1000	21,392	2,547

Tabelle 5.4 Systeme, Querschnitte, Vergrößerungsbeiwert und Knicklängenbeiwert

Hervorzuheben ist, dass der Knicklängenbeiwert nicht mit dem Vergrößerungsfaktor α_{cr} korreliert, da nur bei letzterem die aktuelle Belastungshöhe mit einfließt.

5.5 Nachweisverfahren im Vergleich

Auffällig ist, dass der Unterschied der Schnittkräfte (primär Momente M_y) der einzelnen Nachweisverfahren (NWV II, III & IV) sehr gering ausfällt. Dieser Umstand rührt auch daher, dass der Gebrauchstauglichkeitsnachweis (Horizontalverschiebung des Stützenkopfs) die Bemessung bestimmt und daher sehr steife Systeme vorliegen.

Dies führt zur Schlussfolgerung, dass das **Nachweisverfahren III** für die Praxis am sinnvollsten ist. Es beinhaltet alleine die Imperfektionen der Anfangsschiefstellungen und die Schnittkräfte werden nach Theorie II. Ordnung berechnet. Dies sind beides Kriterien, die für die heutige Statiksoftware kein Problem darstellen. Ein weiterer Punkt, der für dieses Verfahren spricht ist, dass die Unterschiede der Ergebnisse der Bauteilnachweise (Knicken um y-Achse bzw. BDK) gegenüber dem Nachweisverfahren II sehr gering ausfallen. Man kann sich also die aufwendigere Eingabe der Vorkrümmungen ersparen und bekommt trotzdem sehr ähnliche Ergebnisse.

6 Exemplarische Ergebnisdarstellung für einzelne Systeme

Auf den folgenden Seiten erfolgt die Auswertung ausgewählter Systeme die nach den Nachweisverfahren II, III und IV berechnet werden. Die Auswertung aller Systeme findet sich im digitalen Anhang B wieder.

Ausgewertet wird der maßgebende Bauteil der Systemberechnung. Dies ist immer die rechte Stütze; bei den Satteldachsystemen ist dies der Stab 4 (Achse B) und bei den Flachdachsystemen der Stab 3 (Achse B)!

Die folgenden Nachweise werden mit den berechneten Schnittkräften am Stützenkopf geführt (größtes Biegemoment in der Stütze + dazugehörige Normalkraft & Querkraft)!

Der für die Auswertung maßgebende Faktor der Systemberechnung ist der Vergrößerungsbeiwert α_{cr} , der bestimmt, ob eine Systemberechnung nach Theorie II. Ordnung gemacht werden muss.

Das Kriterium für elastische Berechnungen nach Theorie II. Ordnung ist laut EN 1993-1-1 wie folgt:

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \leq 10 \quad \text{für elastische Berechnungen} \quad [5.1]$$

F_{cr} ideale Verzweigungslast des Systems für Gesamtbelastung (ULS – Kombination)

F_{Ed} Gesamtbelastung des Systems

Ort A "geringe" Lasten				Ort B "hohe" Lasten			
Systemdaten			Vergrößerungsbeiwert	Systemdaten			Vergrößerungsbeiwert
System	Profile		α_{cr} LK4: Satteldach LK2: Flachdach	System	Profile		α_{cr} LK4: Satteldach LK2: Flachdach
Bezeichnung	Stützen	Träger	Figur Nr. 1	Bezeichnung	Stützen	Träger	Figur Nr. 1
System 1.1	HEB 280	HEA 340	12,598	System 1.1	HEB 400	HEA 400	13,141
System 1.2	HEB 320	HEA 400	11,423	System 1.2	HEB 450	HEB 450	14,189
System 1.3	HEB 400	HEA 450	14,319	System 1.3	HEB 500	HEA 600	13,752
System 2.1	HEB 340	HEA 450	14,613	System 2.1	HEB 500	HEA 500	15,623
System 2.2	HEB 400	HEA 450	11,742	System 2.2	HEB 500	HEB 500	12,511
System 2.3	HEB 400	HEA 500	11,473	System 2.3	HEB 550	HEA 650	11,679
System 3.1	HEB 260	HEA 300	10,383	System 3.1	HEB 320	HEA 450	11,589
System 3.2	HEB 300	HEA 500	13,588	System 3.2	HEB 340	HEA 700	13,242
System 3.3	HEB 320	HEA 650	16,329	System 3.3	HEB 360	HEA 900	11,792
System 4.1	HEB 320	HEA 400	13,541	System 4.1	HEB 450	HEB 450	14,654
System 4.2	HEB 320	HEA 500	9,548	System 4.2	HEB 400	HEA 650	11,066
System 4.3	HEB 360	HEA 650	12,690	System 4.3	HEB 400	HEB 900	8,960
System 5.1	HEB 300	HEA 500	8,188	System 5.1	HEB 450	HEA 500	14,096
System 5.2	HEB 400	HEB 700	15,476	System 5.2	HEB 400	HEB 700	11,069
System 5.3	HEB 450	HEB 900	15,938	System 5.3	HEB 700	HEB 900	24,163
System 6.1	HEB 360	HEA 500	7,495	System 6.1	HEB 450	HEB 550	9,495
System 6.2	HEB 400	HEB 700	9,204	System 6.2	HEB 450	HEB 700	8,630
System 6.3	HEB 450	HEB 900	9,492	System 6.3	HEB 800	HEB 1000	21,392

Tabelle 6.1 Zusammenfassung der Vergrößerungsbeiwerte

GRÜN hinterlegte Systeme entsprechen dem Kriterium $\alpha_{cr} < 10$

6.1 Aufbau des Auswertungsdokument

Das Auswertungsprotokoll für jedes System ist wie folgt aufgebaut und beinhaltet auf 7 Seiten alle Eingangsdaten und Nachweise der jeweiligen Verfahren.

1. Systembezeichnung

Beschreibung & Skizze

2. maßgebende Lastfallkombination (Lastbild)

Nachweisverfahren II

Nachweisverfahren III & IV

3. Nachweisverfahren II

Momentenverlauf & Auflagerkräfte am Gesamtsystem

selektierter Schnittkraftverlauf für die jeweils rechte Stütze, d.h. den Stab 3 Achse B (Flachdachsysteme) bzw. Stab 4 Achse B (Satteldachsysteme)

Stabilitätsnachweise und Querschnittsnachweis Stab 3 bzw. Stab 4 (tabellarische Auswertung) mit den am Stützenkopf berechneten Schnittkräften

4. Nachweisverfahren III

Momentenverlauf & Auflagerkräfte am Gesamtsystem

selektierter Schnittkraftverlauf für die jeweils rechte Stütze, d.h. den Stab 3 Achse B (Flachdachsysteme) bzw. Stab 4 Achse B (Satteldachsysteme)

Stabilitätsnachweise und Querschnittsnachweis Stab 3 bzw. Stab 4 (tabellarische Auswertung) mit den am Stützenkopf berechneten Schnittkräften

5. Nachweisverfahren IV

Momentenverlauf & Auflagerkräfte am Gesamtsystem

selektierter Schnittkraftverlauf für die jeweils rechte Stütze, d.h. den Stab 3 Achse B (Flachdachsysteme) bzw. Stab 4 Achse B (Satteldachsysteme)

Berechnung des Momentes M^{II} , auf Basis des Faktors α_{cr}

Stabilitätsnachweise und Querschnittsnachweis Stab 3 bzw. Stab 4 (tabellarische Auswertung) mit den am Stützenkopf berechneten Schnittkräften

6.2 Zusätzliche Eingangswerte für das Nachweisverfahren IV

Für die Stabilitätsanalyse nach Nachweisverfahren IV werden noch zusätzliche Eingangswerte benötigt, die mittels der Statik-Software RSTAB berechnet werden.

6.2.1 α_{cr} Vergrößerungsbeiwert / β_y Knicklängenbeiwert

Der Vergrößerungsbeiwert α_{cr} für die ideale Verzweigungslast und der Knicklängenbeiwert β_y für die Bestimmung der Knicklänge in y-Richtung werden anhand des Zusatzmoduls RSKNICK-Stabilitätsanalyse ermittelt.

Als maßgebende Lastfallkombination der Tragfähigkeit dient bei den Satteldachsystemen die LK4 und bei den Flachdachsystemen die LK2.

Da der Normalkraftverlauf in den Stützen nicht konstant ist, wird mit dem Mittelwert der Normalkraft gerechnet.

Mit der Kenntnis von α_{cr} kann die Größe N_{cr} für die maßgebende rechte Stütze ermittelt werden. Auf Basis von I_y dieser Stütze ergibt sich:

$$\text{aus: } N_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I_y}{L_{cr}^2} \quad \text{mit } L_{cr} = \beta * L \Rightarrow L_{cr} = \beta * L = \pi \sqrt{\frac{E * I_y}{N_{cr}}} \quad \text{mit; } L \dots \text{Stützenhöhe}$$

Ort A "geringe" Lasten					Ort B "hohe" Lasten				
Systemdaten			Vergrößerungsbeiw.	Knicklängenbeiw.	Systemdaten			Vergrößerungsbeiw.	Knicklängenbeiw.
System	Profile		α_{cr} LK4: Satteldach LK2: Flachdach	β_y Stab 4: Satteld. Stab 3: Flachd.	System	Profile		α_{cr} LK4: Satteldach LK2: Flachdach	β_y Stab 4: Satteld. Stab 3: Flachd.
Bez.	Stützen	Träger	Figur Nr. 1	[-]	Bez.	Stützen	Träger	Figur Nr. 1	[-]
System 1.1	HEB 280	HEA 340	12,598	2,458	System 1.1	HEB 400	HEA 400	13,141	2,825
System 1.2	HEB 320	HEA 400	11,423	2,726	System 1.2	HEB 450	HEB 450	14,189	3,034
System 1.3	HEB 400	HEA 450	14,319	3,301	System 1.3	HEB 500	HEA 600	13,752	3,117
System 2.1	HEB 340	HEA 450	14,613	2,247	System 2.1	HEB 500	HEA 500	15,623	2,547
System 2.2	HEB 400	HEA 450	11,742	2,682	System 2.2	HEB 500	HEB 500	12,511	2,743
System 2.3	HEB 400	HEA 500	11,473	2,701	System 2.3	HEB 550	HEA 650	11,679	2,818
System 3.1	HEB 260	HEA 300	10,383	2,436	System 3.1	HEB 320	HEA 450	11,589	2,236
System 3.2	HEB 300	HEA 500	13,588	2,246	System 3.2	HEB 340	HEA 700	13,242	2,129
System 3.3	HEB 320	HEA 650	16,329	2,215	System 3.3	HEB 360	HEA 900	11,792	2,113
System 4.1	HEB 320	HEA 400	13,541	2,224	System 4.1	HEB 450	HEB 450	14,654	2,349
System 4.2	HEB 320	HEA 500	9,548	2,196	System 4.2	HEB 400	HEA 650	11,066	2,17
System 4.3	HEB 360	HEA 650	12,690	2,207	System 4.3	HEB 400	HEB 900	8,960	2,068
System 5.1	HEB 300	HEA 500	8,188	2,177	System 5.1	HEB 450	HEA 500	14,096	2,459
System 5.2	HEB 400	HEB 700	15,476	2,228	System 5.2	HEB 400	HEB 700	11,069	2,213
System 5.3	HEB 450	HEB 900	15,938	2,230	System 5.3	HEB 700	HEB 900	24,163	2,726
System 6.1	HEB 360	HEA 500	7,495	2,216	System 6.1	HEB 450	HEB 550	9,495	2,226
System 6.2	HEB 400	HEB 700	9,204	2,155	System 6.2	HEB 450	HEB 700	8,630	2,197
System 6.3	HEB 450	HEB 900	9,492	2,158	System 6.3	HEB 800	HEB 1000	21,392	2,547

Tabelle 6.2 Systeme, Querschnitte und Vergrößerungsbeiwert & Knicklängenbeiwert

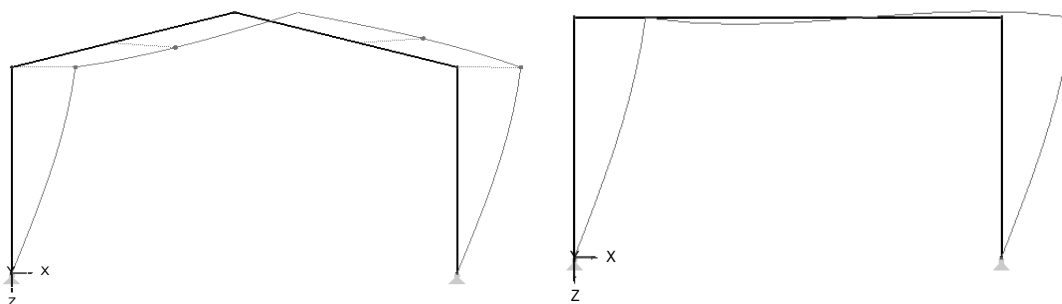


Bild 6.1 maßgebende Knickfigur des Vergrößerungsbeiwert α_{cr}

6.2.2 Moment TH. II Ordnung

Für den Stabilitätsnachweis aus der Ebene wird für das Nachweisverfahren IV das Moment nach Theorie II. Ordnung benötigt, obwohl die Systemberechnung für den Nachweis in der Ebene nach Theorie I. Ordnung durchgeführt wird.

Als praktische Näherung wird hierfür das ermittelte Moment der elastischen Systemberechnung nach Theorie I. Ordnung mit dem Vergrößerungsbeiwert α_{cr} wie folgt skaliert.

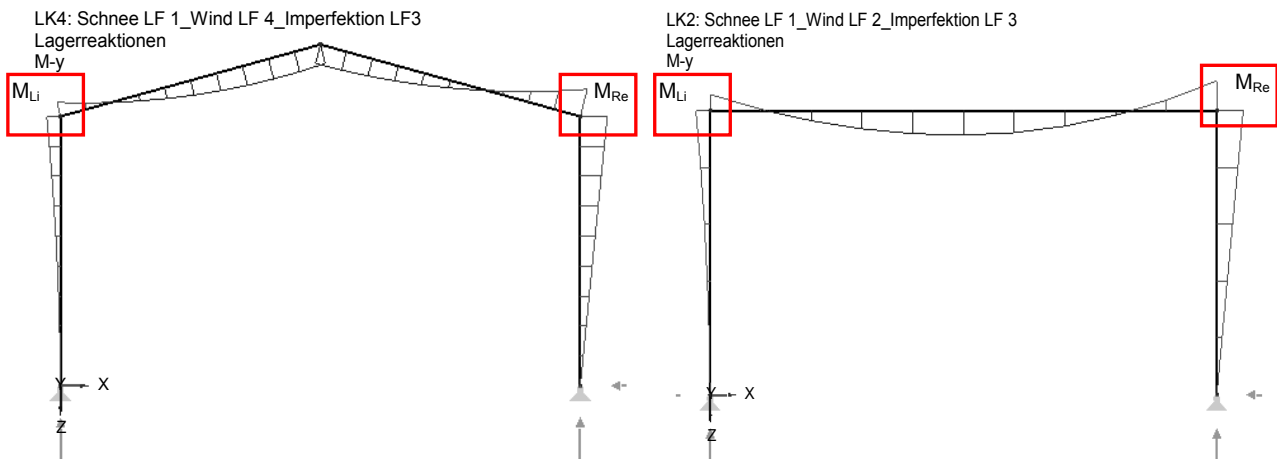


Bild 6.2 maßgebende Lastfallkombination Moment TH II. Ordnung

Berechnung des Momentes M^{II}

Das Moment zweiter Ordnung im Rahmeneck wird mittels des Dischinger-Faktors berechnet

$$\Delta M^I = \frac{M_{Re}^I - M_{Li}^I}{2} = \dots, \dots \text{ kNm}$$

$$\Delta M^{II} = \Delta M^I * \frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}} = \dots, \dots \text{ kNm}$$

$$\mathbf{M}^{II} = \frac{M_{Re}^I + M_{Li}^I}{2} + \Delta M^{II} = \dots, \dots \text{ kNm}$$

6.3 System 1.1 Ort A

Systembeschreibung

Baustahl:	S235
Breite:	b=12,0m
Höhe:	h=6,0m
Achsabstand:	e=8,0m
Stützen:	HEB 280
Träger:	HEA 340
α_{cr} :	12,598

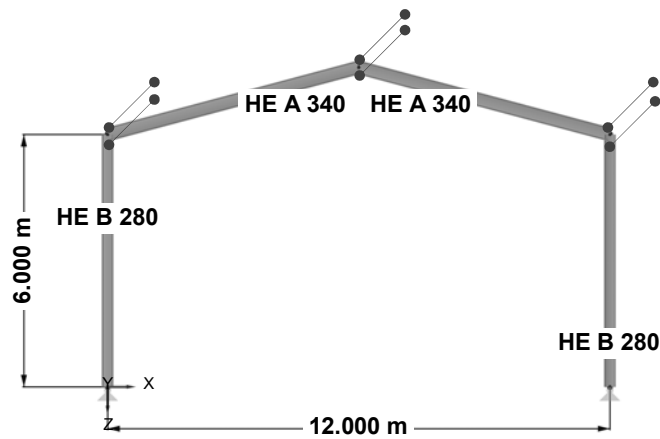
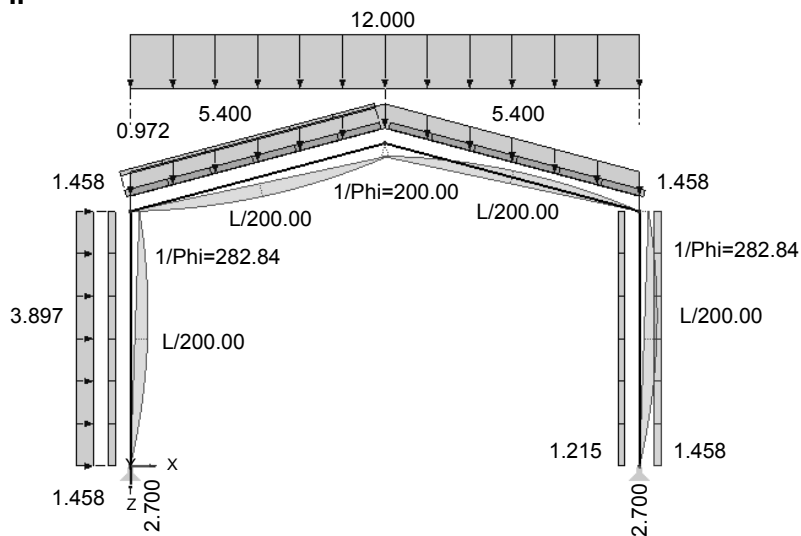


Bild 6.3 Systemskizze 1.1 Ort A

maßgebende Lastfallkombination LK4 [Lasten in kN/m]

Nachweisverfahren II



Nachweisverfahren III & IV

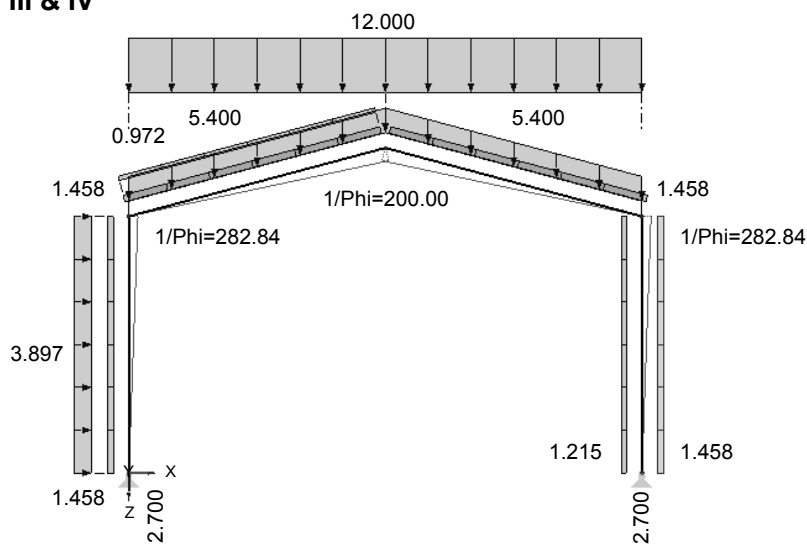
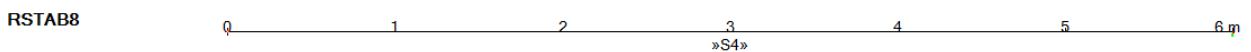
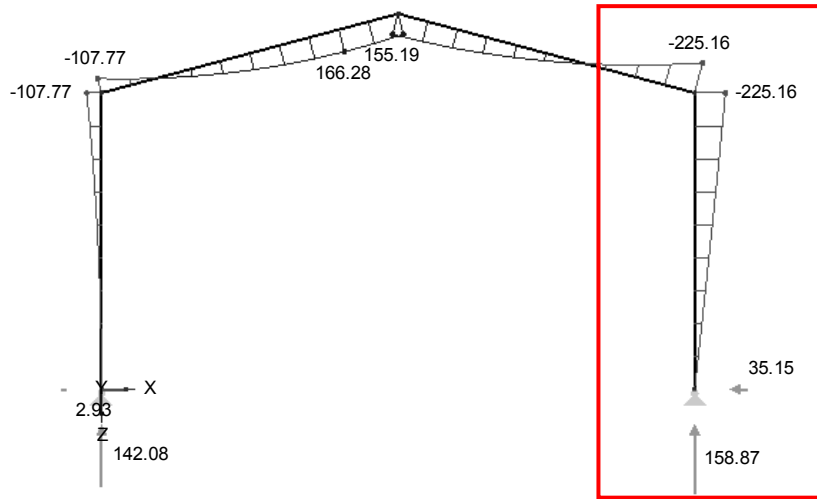


Bild 6.4 Lastfallkombinationen System 1.1 Ort A

Nachweisverfahren II

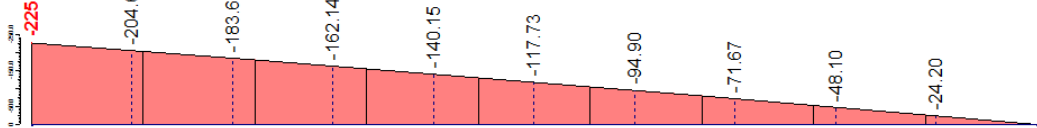
Schnittkraftverlauf Stab 4 LK4



LK4: Schnee LF 1_Wind I 1.4 Imperfektion LF 1

Schnittgrößen - My

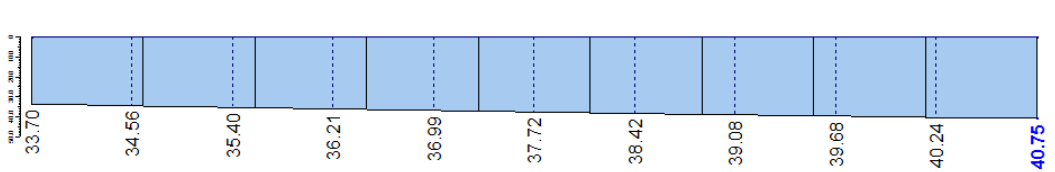
x [m]	My [kNm]
max	--
min	0.000 -225.16



LK4: Schnee LF 1_Wind LF 4 Imperfektion LF 1

Schnittgrößen - Vz

x [m]	Vz [kN]
max	6.000 40.75
min	--



LK4: Schnee LF 1_Wind LF 4 Imperfektion LF 1

Schnittgrößen - N

x [m]	N [kN]
max	--
min	6.000 -158.34

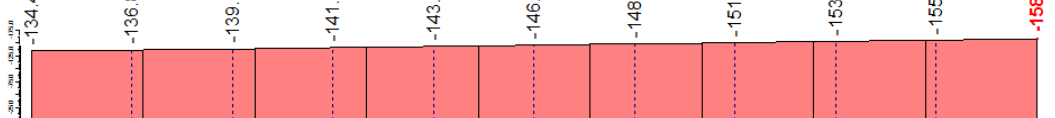


Bild 6.5 Schnittkraftverlauf NWW II System 1.1 Ort A

Stabilitätsnachweis und Querschnittsnachweis Stab 4

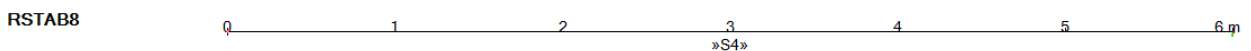
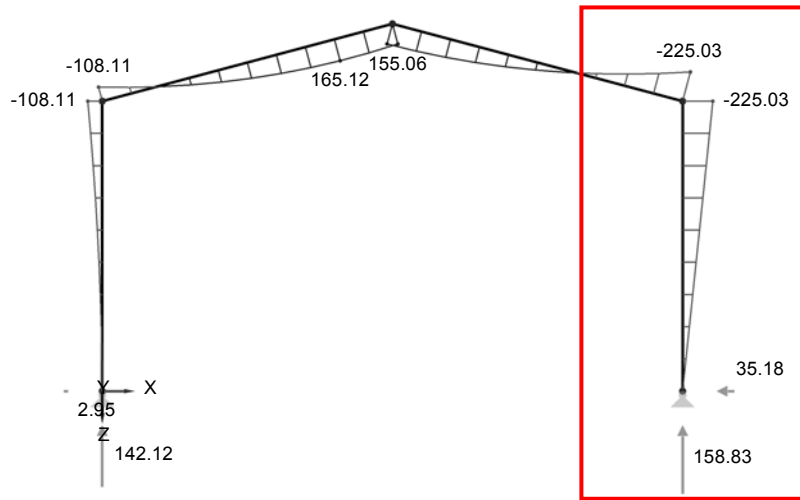
QS-WERTE					
γ_M	=	γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}	[-]
		1,00	1,00	1,25	
f_y	=	23,50	[kN/cm ²]		
E	=	21.000,00	[kN/cm ²]		
ν	=	0,30	[-]		
G	=	8.076,92	[kN/cm ²]		
		HE-B 280	Profil		
Biegedrillknicken - Verfahren Anhang B - Alternative					
Eingangswerte	N_{Ed}	=	-134,47	[kN]	
	V_{Ed}	=	33,70	[kN]	
	$M_{y,Ed}$	=	225,16	[kNm]	
QS-Widerstände	$N_{pl,Rk}$	=	3.087,90	[kN]	
	$M_{y,pl,Rk}$	=	360,49	[kNm]	
	V_{Rd}	=	558,04	[kN]	
Knicklängen			z	LT	
	L_{cr}	=	6,000	6,000	[m]
Knicklinien			z	LT	
	α	=	0,49	0,34	[-]
	λ_1	=	93,913		[-]
Verzweigungslast	N_{crz}	=	3.796,34	[kN]	
Schlankheitsgrade	λ_z	=	0,902	[-]	
	Φ_z	=	1,079	[-]	
	χ_z	=	0,599	[-]	
	k_p	=	0,717	[-]	
	ψ	=	0,0	[-]	
	k_c	=	0,752	[-]	
	λ_{LT}	=	0,486	[-]	
	Φ_{LT}	=	0,603	[-]	
	χ_{LT}	=	0,966	[-]	
			f	χ_{LT}	χ_{LTmod}
	χ_{LTmod}	=	0,900	0,966	1,000
					[-]
Momentenbeiwerte	M_h	=	225,16	[kNm]	
	M_s	=	117,73	[kNm]	
	ψ	=	0,0	[-]	
	α_s	=	0,523	[-]	
	C_{mLT}	=	0,618	[-]	
Interaktionsbeiwerte	k_{zy}	=	0,9802	[-]	
Nachweis	z	=	68,5%	[-]	aus der Ebene
QS-Nachweis - Stützenkopf					
Eingangswerte	N_{Ed}	=	-134,47	[kN]	
	V_{Ed}	=	33,70	[kN]	
	$M_{y,Ed}$	=	225,16	[kNm]	
QS-Widerstände	$N_{pl,Rd}$	=	3.087,90	[kN]	
	$M_{y,pl,Rd}$	=	360,49	[kNm]	
	V_{Rd}	=	558,04	[kN]	
Faktoren	n	=	0,044	[-]	
	a	=	0,233	[-]	
	QK	=	NEIN	[-]	
	$M_{Ny,Rd}$	=	360,49	[kNm]	
Nachweis			62,5%	[-]	

Tabelle 6.3

Berechnungstabelle NWV II System 1.1 Ort A

Nachweisverfahren III

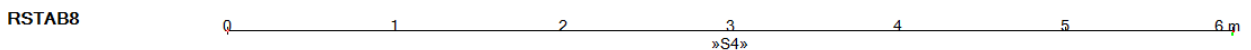
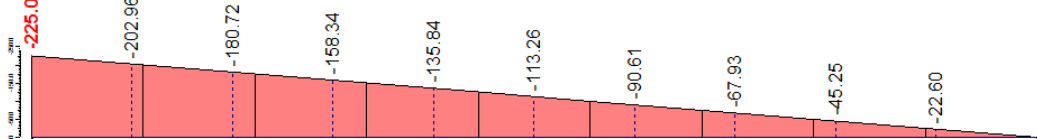
Schnittkraftverlauf Stab 4 LK4



LK4: Schnee LF 1_Wind LF 4 Imperfektion LF3

Schnittgrößen - My

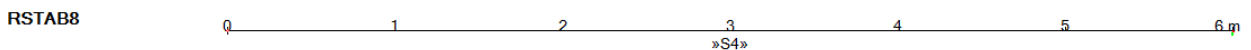
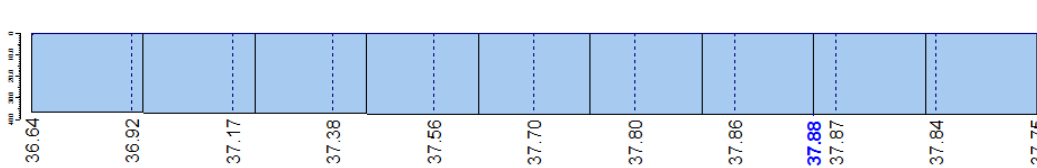
x [m]	My [kNm]
max	--
min	-225.03



LK4: Schnee LF 1_Wind LF 4 Imperfektion LF3

Schnittgrößen - Vz

x [m]	Vz [kN]
max	4.667
min	--



LK4: Schnee LF 1_Wind LF 4 Imperfektion LF3

Schnittgrößen - N

x [m]	N [kN]
max	--
min	-158.36

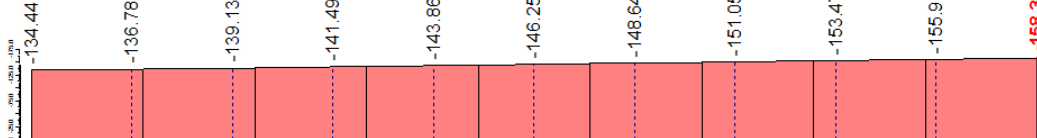


Bild 6.6 Schnittkraftverlauf NWV III System 1.1 Ort A

Stabilitätsnachweis und Querschnittsnachweis Stab 4

QS-WERTE				
γ_M	=	γ_{M0} 1,00	γ_{M1} 1,00	γ_{M2} 1,25 [-]
f_y	=	23,50	[kN/cm ²]	
E	=	21.000,00	[kN/cm ²]	
ν	=	0,30	[-]	
G	=	8.076,92	[kN/cm ²]	
		HE-B 280	Profil	
Biegedrillknicken - Verfahren Anhang B - Alternative				
Eingangswerte	N_{Ed}	=	-134,44	[kN]
	V_{Ed}	=	36,64	[kN]
	$M_{y,Ed}$	=	225,03	[kNm]
QS-Widerstände	$N_{pl,Rk}$	=	3.087,90	[kN]
	$M_{y,pl,Rk}$	=	360,49	[kNm]
	V_{Rd}	=	558,04	[kN]
Knicklängen	h	=	6,000	[m]
	β	=	1,0	[-]
	L_{cr}	=	y: 6,000 z: 6,000 LT: 6,000	[m]
Knicklinien	α	=	y: 0,34 z: 0,49 LT: 0,34	[-]
	λ_1	=	93,913	[-]
Verzweigungslasten	N_{cr}	=	y: 11.093,68 z: 3.796,34	[kN]
Schlankeitsgrade	λ	=	y: 0,528 z: 0,902	[-]
	Φ	=	y: 0,695 z: 1,079	[-]
	χ	=	y: 0,872 z: 0,599	[-]
	k_P	=	0,717	[-]
	ψ	=	0,000	[-]
	k_c	=	0,752	[-]
	λ_{LT}	=	0,486	[-]
	Φ_{LT}	=	0,603	[-]
	χ_{LT}	=	0,966	[-]
	χ_{LTmod}	=	f: 0,900 χ_{LT} : 0,966 χ_{LTmod} : 1,000	[-]
Momentenbeiwerte	M_h	=	225,03	[kNm]
	M_s	=	113,26	[kNm]
	ψ	=	0,0	[-]
	α_s	=	0,503	[-]
	$C_{my,LT}$	=	y: 0,603 LT: 0,603	[-]
Interaktionsbeiwerte	k_{yy}	=	0,6125	[-]
	k_{zy}	=	0,9794	[-]
Nachweise	y	=	43,2%	[-] in der Ebene
	z	=	68,4%	[-] aus der Ebene
QS-Nachweis - Stützenkopf				
Eingangswerte	N_{Ed}	=	-134,44	[kN]
	V_{Ed}	=	36,64	[kN]
	$M_{y,Ed}$	=	225,03	[kNm]
QS-Widerstände	$N_{pl,Rd}$	=	3.087,90	[kN]
	$M_{y,pl,Rd}$	=	360,49	[kNm]
	V_{Rd}	=	558,04	[kN]
Faktoren	n	=	0,044	[-]
	a	=	0,233	[-]
	Querkraft	=	NEIN	[-]
	$M_{Ny,Rd}$	=	360,49	[kNm]
Nachweis		=	62,4%	[-]

Tabelle 6.4

Berechnungstabelle NWV III System 1.1 Ort A

Nachweisverfahren IV

Schnittkraftverlauf Stab 4 LK4

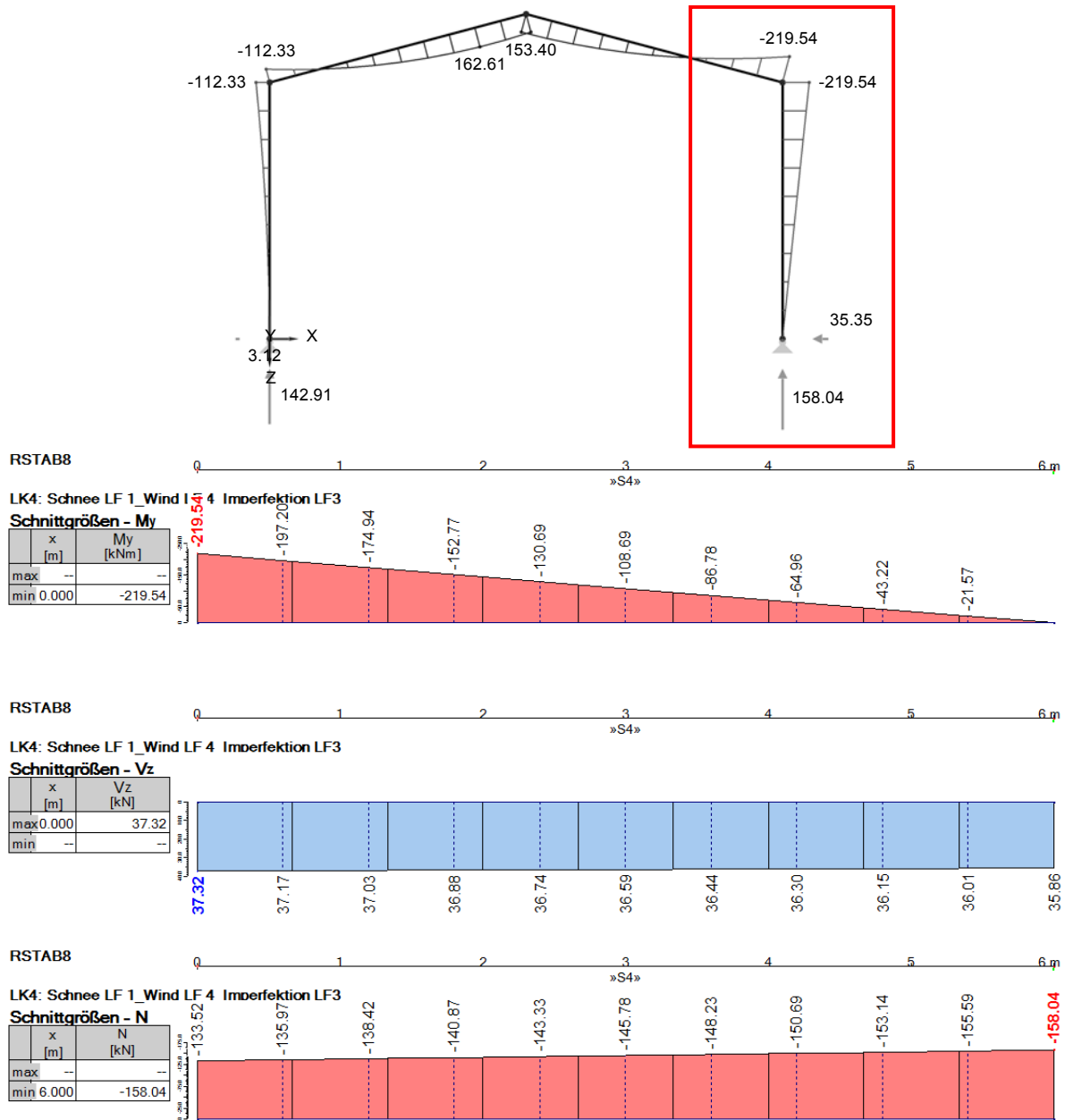


Bild 6.7 Schnittkraftverlauf NWV IV System 1.1 Ort A

Moment TH II O

$$\Delta M^I = \frac{M_{Re}^I - M_{Li}^I}{2} = \frac{219,54 - 112,33}{2} = 53,60 \text{ kNm} \quad (4.11)$$

$$\alpha_{cr} = 12,598$$

$$\Delta M^{II} = \Delta M^I * \frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}} = 53,60 * \frac{1}{1 - \frac{1}{12,598}} = 58,22 \text{ kNm} \quad (4.12)$$

$$M^{II} = \frac{M_{Re}^I + M_{Li}^I}{2} + \Delta M^{II} = \frac{219,54 + 112,33}{2} + 58,22 = 224,15 \text{ kNm} \quad (4.13)$$

Stabilitätsnachweis und Querschnittsnachweis Stab 4

QS-WERTE					
γ_M	=	γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}	[-]
		1,00	1,00	1,25	
f_y	=	23,50			[kN/cm ²]
E	=	21.000,00			[kN/cm ²]
ν	=	0,30			[-]
G	=	8.076,92			[kN/cm ²]
		HE-B 280	Profil		
Biegedrillknicken - Verfahren Anhang B - Alternative					
Eingangswerte		M^I	M^{II}		
N_{Ed}	=	-133,52			[kN]
V_{Ed}	=	37,32			[kN]
$M_{y,Ed}$	=	219,54	224,15		[kNm]
QS-Widerstände	$N_{pl,Rk}$	=	3.087,90		[kN]
	$M_{y,pl,Rk}$	=	360,49		[kNm]
	V_{Rd}	=	558,04		[kN]
Knicklängen	h	=	6,000		[m]
	β	=	2,458	1,0	[-]
			y	z	LT
	L_{cr}	=	14,748	6,000	6,000 [m]
Knicklinien			y	z	LT
	α	=	0,34	0,49	0,34 [-]
	λ_1	=	93,913		[-]
Verzweigungslasten			y	z	
	N_{cr}	=	1.836,17	3.796,34	[kN]
Schlankheitsgrade			y	z	
	λ	=	1,297	0,902	[-]
	Φ	=	1,527	1,079	[-]
	χ	=	0,428	0,599	[-]
	k_P	=	0,717		[-]
	ψ	=	0,0		[-]
	k_C	=	0,752		[-]
	λ_{LT}	=	0,486		[-]
	Φ_{LT}	=	0,603		[-]
	χ_{LT}	=	0,966		
			f	χ_{LT}	χ_{LTmod} [-]
	χ_{LTmod}	=	0,900	0,966	1,000 [-]
Momentenbeiwerte	M_h	=	219,54		[kNm]
	M_s	=	108,69		[kNm]
	ψ	=	0,0		[-]
	α_s	=	0,495		[-]
			y	LT	
	$C_{my,LT}$	=	0,900	0,596	[-]
Interaktionsbeiwerte	k_{yy}	=	0,973		[-]
	k_{zy}	=	0,979		[-]
Nachweis	y	=	69,3%		[-] in der Ebene M^I
	z	=	68,1%		[-] aus der Ebene M^{II}
QS-Nachweis - Stützenkopf					
Eingangswerte		N_{Ed}	=	-133,52	[kN]
		V_{Ed}	=	37,32	[kN]
		$M_{y,Ed}$	=	219,54	[kNm]
QS-Widerstände	$N_{pl,Rd}$	=	3.087,90		[kN]
	$M_{y,pl,Rd}$	=	360,49		[kNm]
	V_{Rd}	=	558,04		[kN]
Faktoren	n	=	0,043		[-]
	a	=	0,233		[-]
	Querkraft	=	NEIN		[-]
	$M_{Ny,Rd}$	=	360,49		[kNm]
Nachweis		=	60,9%		[-]

Tabelle 6.5

Berechnungstabelle NWV IV System 1.1 Ort A

6.4 System 2.3 Ort A

Systembeschreibung

Baustahl:	S235
Breite:	b=24,0m
Höhe:	h=6,0m
Achsabstand:	e=6,0m
Stützen:	HEB 400
Träger:	HEA 500
α_{cr} :	11,473

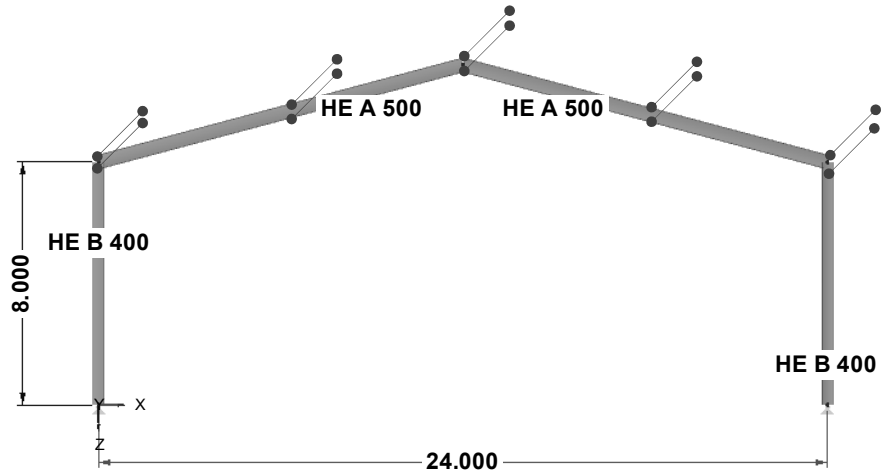
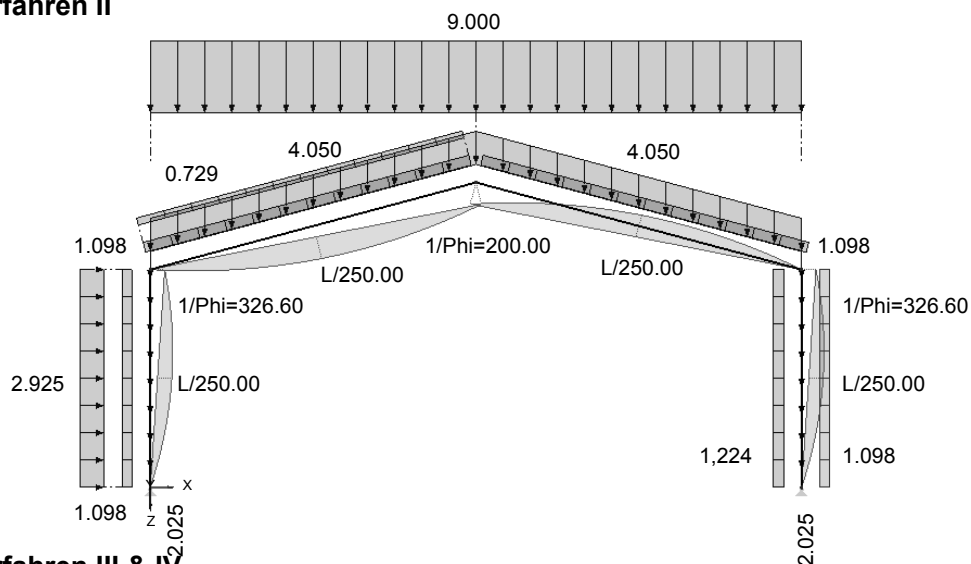


Bild 6.8 Systemskizze 2.3 Ort A

maßgebende Lastfallkombination LK4 [Lasten in kN/m]

Nachweisverfahren II



Nachweisverfahren III & IV

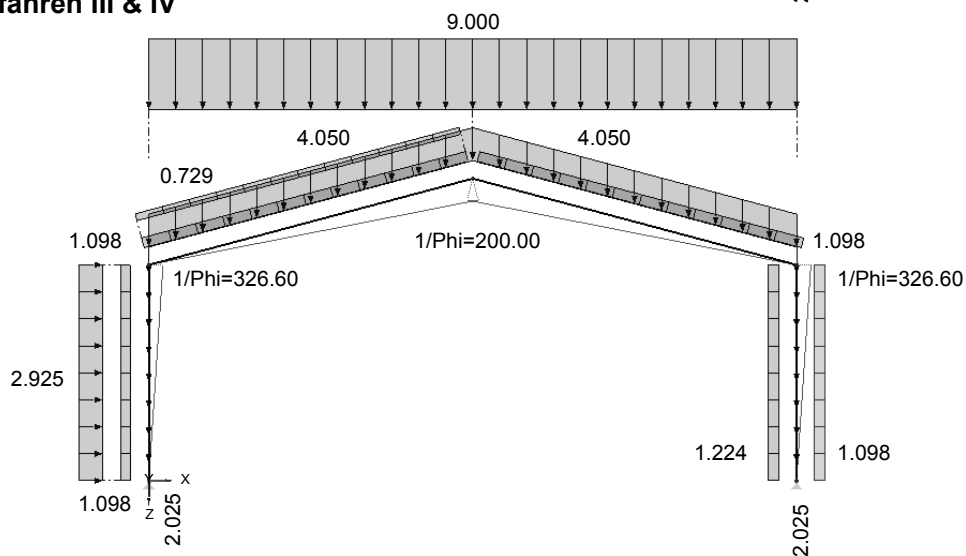


Bild 6.9 Lastfallkombinationen System 2.3 Ort A

Nachweisverfahren II

Schnittkraftverlauf Stab 4 LK4

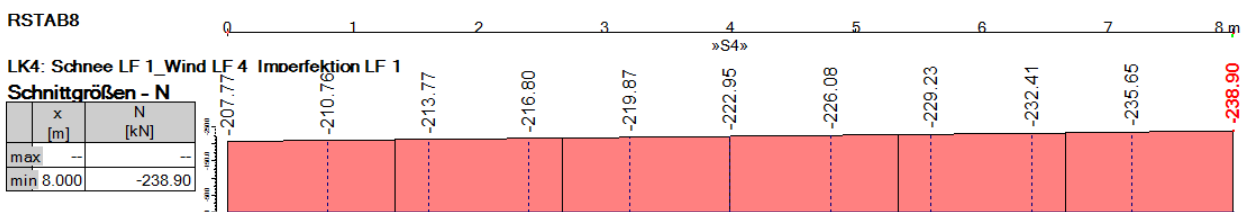
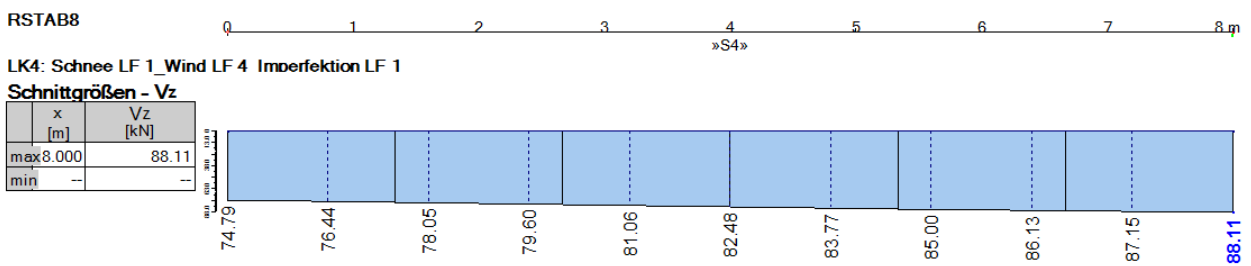
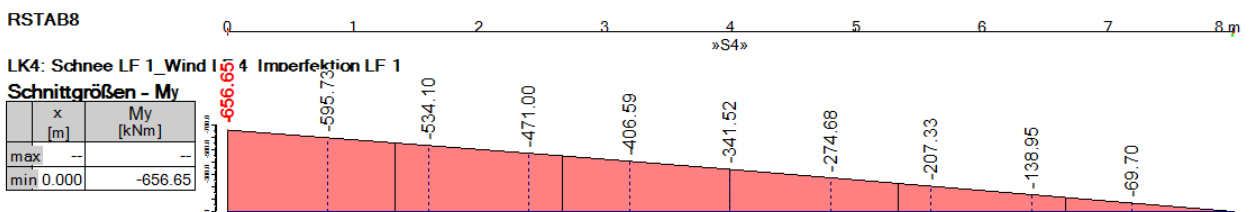
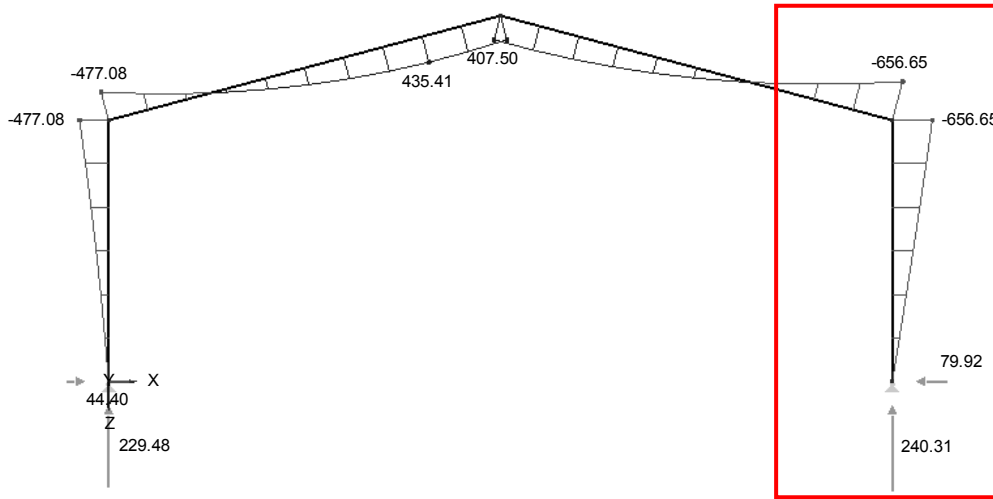


Bild 6.10 Schnittkraftverlauf NWW II System 2.3 Ort A

Stabilitätsnachweis und Querschnittsnachweis Stab 4

QS-WERTE					
γ_M	=	γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}	[-]
		1,00	1,00	1,25	
f_y	=	23,50	[kN/cm ²]		
E	=	21.000,00	[kN/cm ²]		
ν	=	0,30	[-]		
G	=	8.076,92	[kN/cm ²]		
		HE-B 400	Profil		
Biegedrillknicken - Verfahren Anhang B - Alternative					
Eingangswerte	N_{Ed}	=	-207,77	[kN]	
	V_{Ed}	=	74,79	[kN]	
	$M_{y,Ed}$	=	656,65	[kNm]	
QS-Widerstände	$N_{pl,Rk}$	=	4.648,30	[kN]	
	$M_{y,pl,Rk}$	=	759,52	[kNm]	
	V_{Rd}	=	949,74	[kN]	
Knicklängen			z	LT	
	L_{cr}	=	6,000	6,000	[m]
Knicklinien			z	LT	
	α	=	0,34	0,34	[-]
	λ_1	=	93,913		[-]
Verzweigungslast	N_{crz}	=	6.227,64	[kN]	
Schlankheitsgrade	λ_z	=	0,864	[-]	
	Φ_z	=	0,986	[-]	
	χ_z	=	0,684	[-]	
	k_p	=	0,740	[-]	
	ψ	=	0,0	[-]	
	k_c	=	0,752	[-]	
	λ_{LT}	=	0,481	[-]	
	Φ_{LT}	=	0,600	[-]	
	χ_{LT}	=	0,968	[-]	
			f	χ_{LT}	χ_{LTmod}
	χ_{LTmod}	=	0,901	0,968	1,000
					[-]
Momentenbeiwerte	M_h	=	656,65	[kNm]	
	M_s	=	341,52	[kNm]	
	ψ	=	0,0	[-]	
	α_s	=	0,520	[-]	
	C_{mLT}	=	0,616	[-]	
Interaktionsbeiwerte	k_{zy}	=	0,9822	[-]	
Nachweis	z	=	91,4%	[-]	aus der Ebene
QS-Nachweis - Stützenkopf					
Eingangswerte	N_{Ed}	=	-207,77	[kN]	
	V_{Ed}	=	74,79	[kN]	
	$M_{y,Ed}$	=	656,65	[kNm]	
QS-Widerstände	$N_{pl,Rd}$	=	4.648,30	[kN]	
	$M_{y,pl,Rd}$	=	759,52	[kNm]	
	V_{Rd}	=	949,74	[kN]	
Faktoren	n	=	0,045	[-]	
	a	=	0,272	[-]	
	QK	=	NEIN	[-]	
	$M_{Ny,Rd}$	=	759,52	[kNm]	
Nachweis		=	86,5%	[-]	

Tabelle 6.6

Berechnungstabelle NWV II System 2.3 Ort A

Nachweisverfahren III

Schnittkraftverlauf Stab 4 LK4

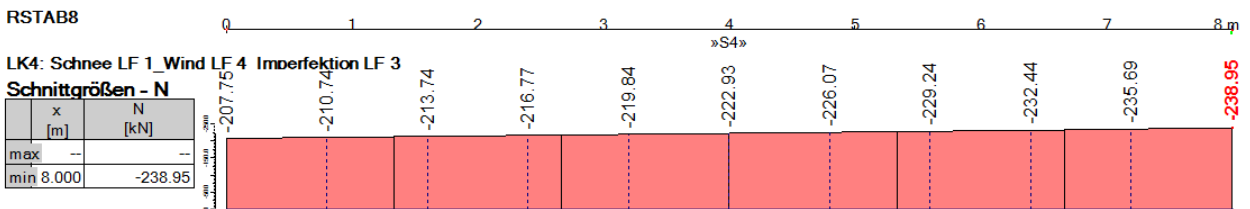
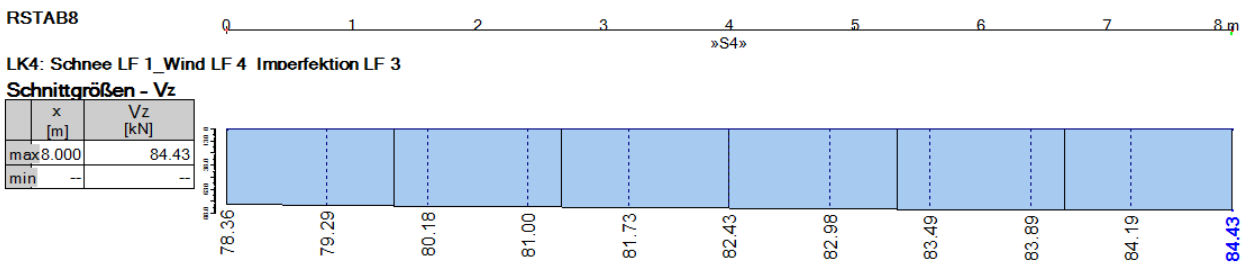
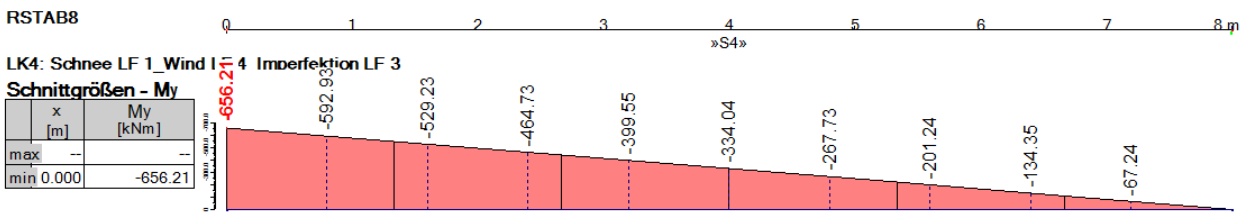
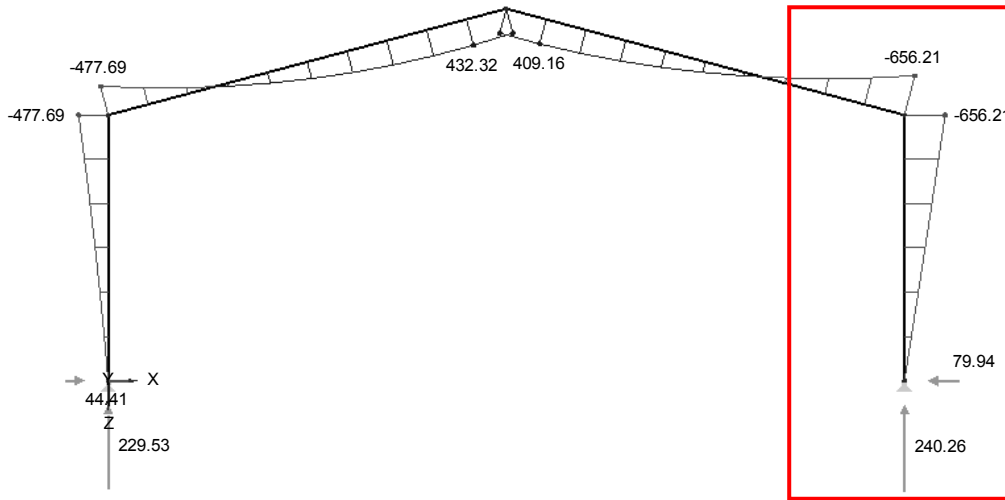


Bild 6.11 Schnittkraftverlauf NWV III System 2.3 Ort A

Stabilitätsnachweis und Querschnittsnachweis Stab 4

QS-WERTE					
γ_M	=	γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}	[-]
f_y	=	23,50	[kN/cm ²]		
E	=	21.000,00	[kN/cm ²]		
ν	=	0,30	[-]		
G	=	8.076,92	[kN/cm ²]		
		HE-B 400	Profil		
Biegedrillknicken - Verfahren Anhang B - Alternative					
Eingangswerte	N_{Ed}	=	-207,75	[kN]	
	V_{Ed}	=	78,36	[kN]	
	$M_{y,Ed}$	=	656,21	[kNm]	
QS-Widerstände	$N_{pl,Rk}$	=	4.648,30	[kN]	
	$M_{y,pl,Rk}$	=	759,52	[kNm]	
	V_{Rd}	=	949,74	[kN]	
Knicklängen	h	=	8,000	[m]	
	β	=	1,0	[-]	
	L_{cr}	=	y	z	LT
			8,000	8,000	8,000 [m]
Knicklinien	α	=	y	z	LT
			0,21	0,34	0,34 [-]
	λ_1	=	93,913	[-]	
Verzweigungslasten	N_{cr}	=	y	z	[kN]
			18.679,14	3.503,05	
Schlankeitsgrade	λ	=	y	z	[-]
			0,499	1,152	
	Φ	=	0,656	1,325	[-]
	χ	=	0,925	0,505	[-]
	k_P	=	0,678	[-]	
	ψ	=	0,000	[-]	
	k_c	=	0,752	[-]	
	λ_{LT}	=	0,587	[-]	
	Φ_{LT}	=	0,661	[-]	
	χ_{LT}	=	0,923	[-]	
	χ_{LTmod}	=	f	χ_{LT}	χ_{LTmod}
			0,887	0,923	1,000 [-]
Momentenbeiwerte	M_h	=	656,21	[kNm]	
	M_s	=	334,04	[kNm]	
	ψ	=	0,0	[-]	
	α_s	=	0,509	[-]	
	$C_{my,z,LT}$	=	z	LT	
			0,607	0,607	[-]
Interaktionsbeiwerte	k_{yy}	=	0,6160	[-]	
	k_{zy}	=	0,9752	[-]	
Nachweise	y	=	58,1%	[-]	in der Ebene
	z	=	93,1%	[-]	aus der Ebene
QS-Nachweis - Stützenkopf					
Eingangswerte	N_{Ed}	=	-207,75	[kN]	
	V_{Ed}	=	78,36	[kN]	
	$M_{y,Ed}$	=	656,21	[kNm]	
QS-Widerstände	$N_{pl,Rd}$	=	4.648,30	[kN]	
	$M_{y,pl,Rd}$	=	759,52	[kNm]	
	V_{Rd}	=	949,74	[kN]	
Faktoren	n	=	0,045	[-]	
	a	=	0,272	[-]	
	Querkraft	=	NEIN	[-]	
	$M_{Ny,Rd}$	=	759,52	[kNm]	
Nachweis		=	86,4%	[-]	

Tabelle 6.7

Berechnungstabelle NWV III System 2.3 Ort A

Nachweisverfahren IV

Schnittkraftverlauf Stab 4 LK4

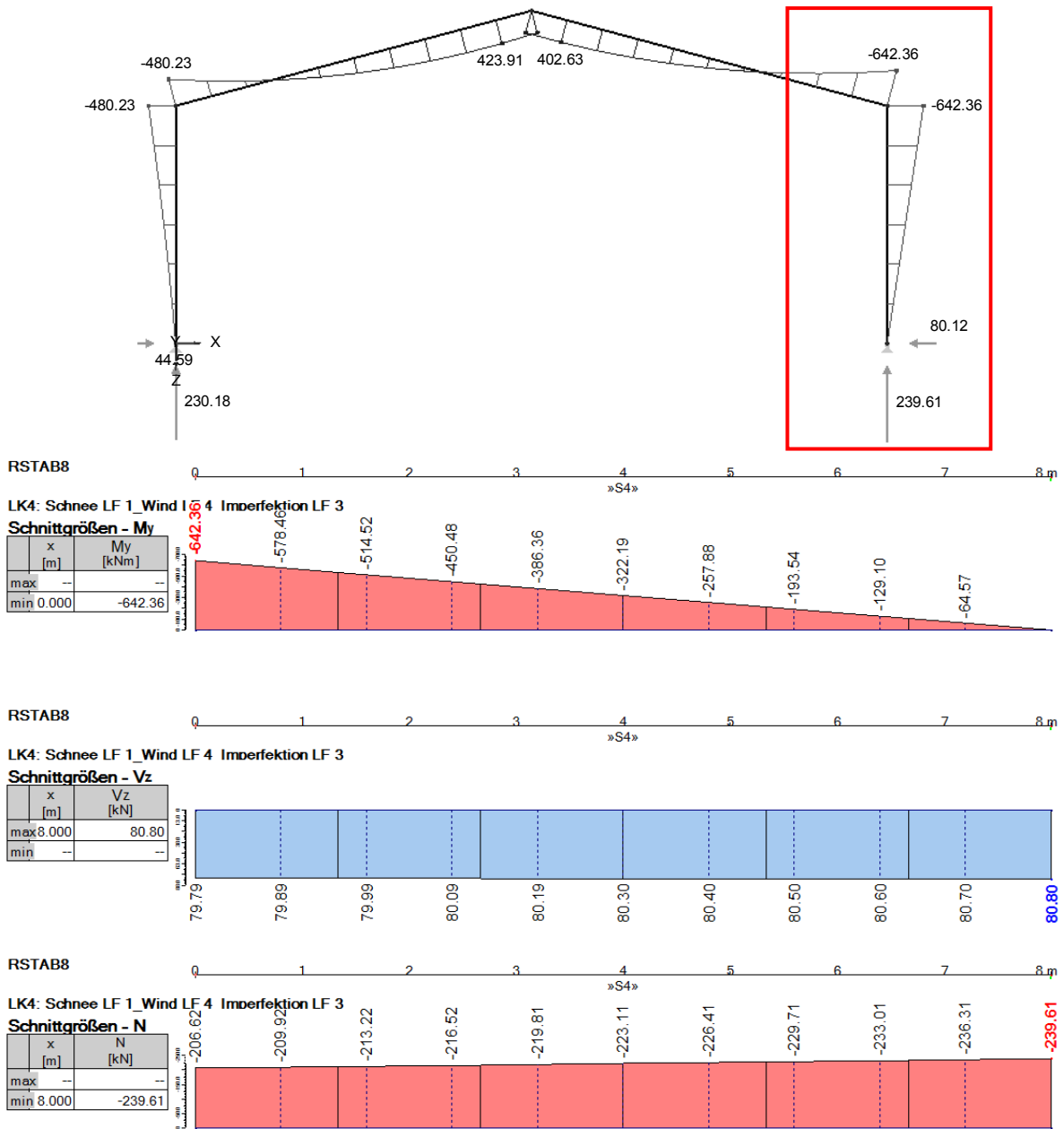


Bild 6.12 Schnittkraftverlauf NWV IV System 2.3 Ort A

Moment TH II O

$$\Delta M^I = \frac{M_{Re}^I - M_{Li}^I}{2} = \frac{642,36 - 480,23}{2} = 81,06 \text{ kNm} \quad (4.17)$$

$$\alpha_{cr} = 11,473$$

$$\Delta M^{II} = \Delta M^I * \frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}} = 81,65 * \frac{1}{1 - \frac{1}{11,473}} = 88,80 \text{ kNm} \quad (4.18)$$

$$M^{II} = \frac{M_{Re}^I + M_{Li}^I}{2} + \Delta M^{II} = \frac{642,36 + 480,23}{2} + 88,80 = 650,10 \text{ kNm} \quad (4.19)$$

Stabilitätsnachweis und Querschnittsnachweis Stab 4

QS-WERTE					
γ_M	=	γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}	[-]
		1,00	1,00	1,25	
f_y	=	23,50			[kN/cm ²]
E	=	21.000,00			[kN/cm ²]
ν	=	0,30			[-]
G	=	8.076,92			[kN/cm ²]
		HE-B 400	Profil		
Biegedrillknicken - Verfahren Anhang B - Alternative					
Eingangswerte		M^I	M^{II}		
N_{Ed}	=	-206,62			[kN]
V_{Ed}	=	79,79			[kN]
$M_{y,Ed}$	=	642,36	650,10		[kNm]
QS-Widerstände	$N_{pl,Rk}$	=	4.648,30		[kN]
	$M_{y,pl,Rk}$	=	759,52		[kNm]
	V_{Rd}	=	949,74		[kN]
Knicklängen	h	=	8,000		[m]
	β	=	2,701	1,0	[-]
			y	z	LT
	L_{cr}	=	21,608	8,000	8,000 [m]
Knicklinien			y	z	LT
	α	=	0,21	0,34	0,34 [-]
	λ_1	=	93,913		[-]
Verzweigungslasten			y	z	
	N_{cr}	=	2.560,40	3.503,05	[kN]
Schlankheitsgrade			y	z	
	λ	=	1,347	1,152	[-]
	Φ	=	1,528	1,325	[-]
	χ	=	0,445	0,505	[-]
	k_p	=	0,678		[-]
	ψ	=	0,0		[-]
	k_c	=	0,752		[-]
	λ_{LT}	=	0,587		[-]
	Φ_{LT}	=	0,661		[-]
	χ_{LT}	=	0,923		
			f	χ_{LT}	χ_{LTmod} [-]
	χ_{LTmod}	=	0,887	0,923	1,000 [-]
Momentenbeiwerte	M_h	=	642,36		[kNm]
	M_s	=	322,19		[kNm]
	ψ	=	0,0		[-]
	α_s	=	0,502		[-]
			y	LT	
	$C_{my,LT}$	=	0,900	0,601	[-]
Interaktionsbeiwerte	k_{yy}	=	0,9720		[-]
	k_{zy}	=	0,9749		[-]
Nachweis	y	=	92,2%		in der Ebene M^I
	z	=	92,3%		aus der Ebene M^{II}
QS-Nachweis - Stützenkopf					
Eingangswerte	N_{Ed}	=	-206,62		[kN]
	V_{Ed}	=	79,79		[kN]
	$M_{y,Ed}$	=	642,36		[kNm]
QS-Widerstände	$N_{pl,Rd}$	=	4.648,30		[kN]
	$M_{y,pl,Rd}$	=	759,52		[kNm]
	V_{Rd}	=	949,74		[kN]
Faktoren	n	=	0,044		[-]
	a	=	0,272		[-]
	Querkraft	=	NEIN		[-]
	$M_{Ny,Rd}$	=	759,52		[kNm]
Nachweis		=	84,6%		[-]

Tabelle 6.8

Berechnungstabelle NWW IV System 2.3 Ort A

6.5 System 3.1 Ort B

Systembeschreibung

Baustahl:	S235
Breite:	b=12,0m
Höhe:	h=6,0m
Achsabstand:	e=8,0m
Stützen:	HEB 320
Träger:	HEA 450
α_{cr} :	11,589

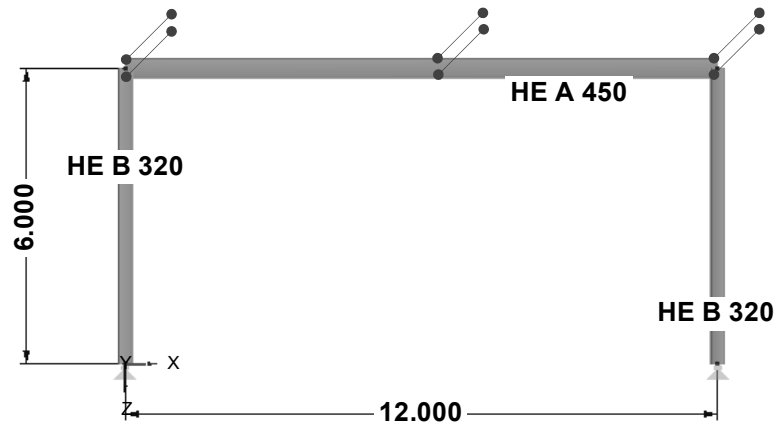
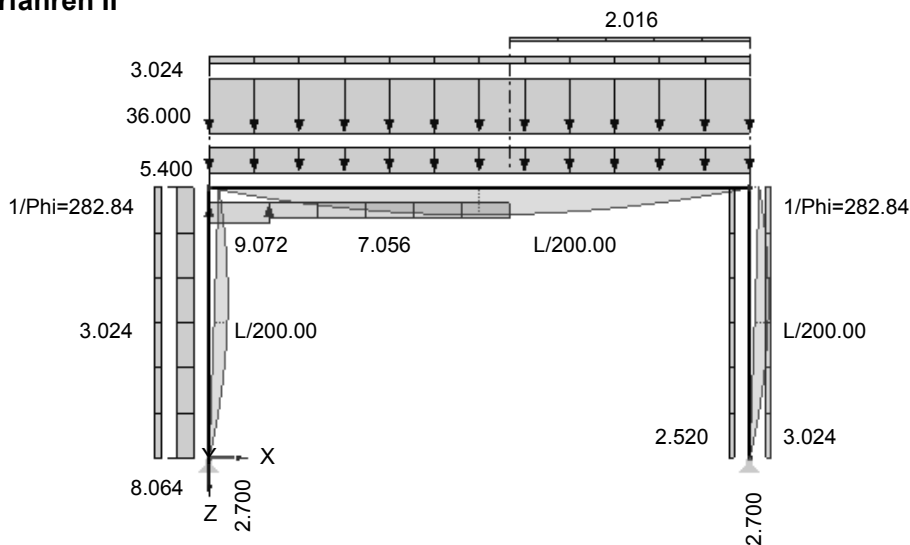


Bild 6.13 Systemskizze 3.1 Ort B

maßgebende Lastfallkombination LK2 [Lasten in kN/m]

Nachweisverfahren II



Nachweisverfahren III & IV

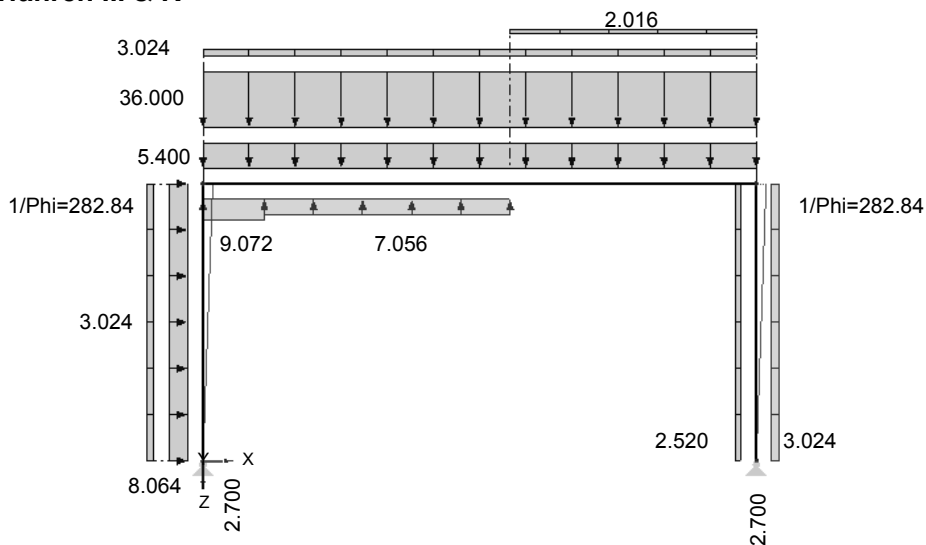


Bild 6.14 Lastfallkombinationen System 3.1 Ort B

Nachweisverfahren II

Schnittkraftverlauf Stab 3 LK2

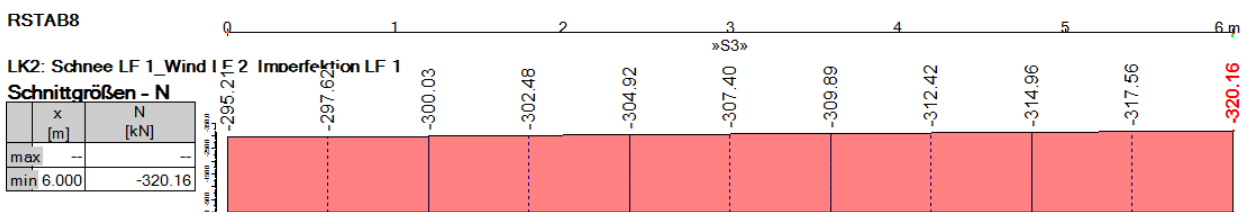
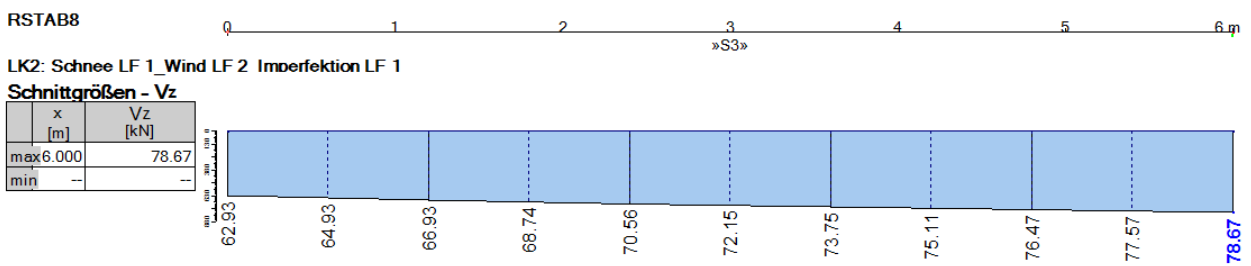
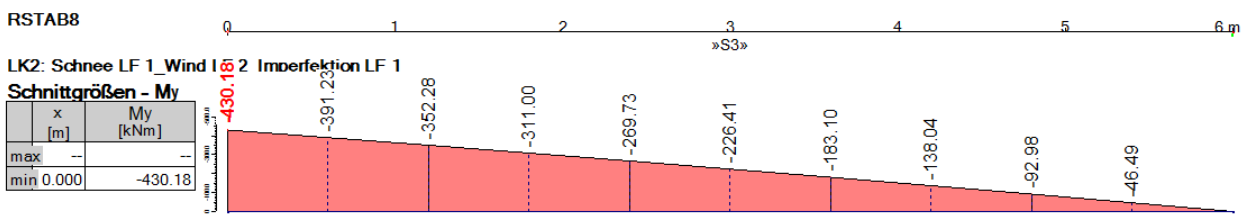
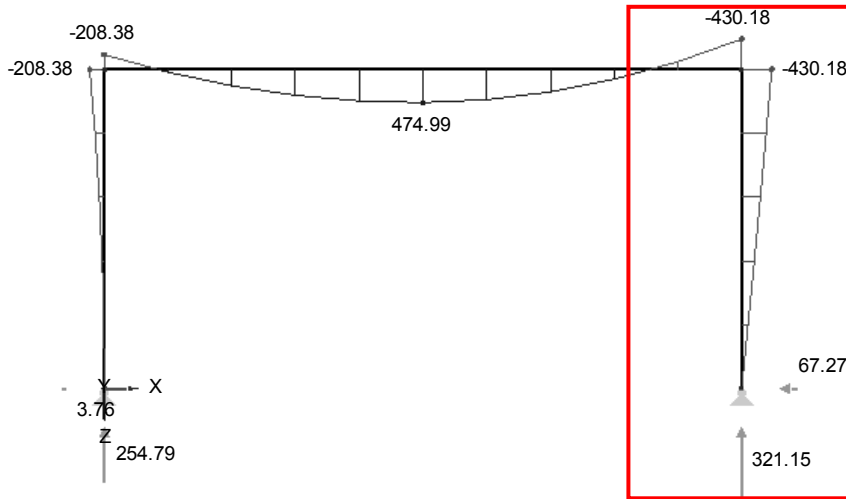


Bild 6.15 Schnittkraftverlauf NWW II System 3.1 Ort B

Stabilitätsnachweis und Querschnittsnachweis Stab 3

QS-WERTE					
γ_M	=	γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}	[-]
		1,00	1,00	1,25	
f_y	=	23,50	[kN/cm ²]		
E	=	21.000,00	[kN/cm ²]		
ν	=	0,30	[-]		
G	=	8.076,92	[kN/cm ²]		
		HE-B 320	Profil		
Biegedrillknicken - Verfahren Anhang B - Alternative					
Eingangswerte	N_{Ed}	=	-295,21	[kN]	
	V_{Ed}	=	62,93	[kN]	
	$M_{y,Ed}$	=	430,18	[kNm]	
QS-Widerstände	$N_{pl,Rk}$	=	3.790,55	[kN]	
	$M_{y,pl,Rk}$	=	505,02	[kNm]	
	V_{Rd}	=	701,82	[kN]	
Knicklängen			z	LT	
	L_{cr}	=	6,000	6,000	[m]
Knicklinien			z	LT	
	α	=	0,49	0,34	[-]
	λ_1	=	93,913	[-]	
Verzweigungslast	N_{crz}	=	5.317,99	[kN]	
Schlankheitsgrade	λ_z	=	0,844	[-]	
	Φ_z	=	1,014	[-]	
	χ_z	=	0,634	[-]	
	k_p	=	0,732	[-]	
	ψ	=	0,0	[-]	
	k_c	=	0,752	[-]	
	λ_{LT}	=	0,464	[-]	
	Φ_{LT}	=	0,592	[-]	
	χ_{LT}	=	0,975	[-]	
			f	χ_{LT}	χ_{LTmod}
	χ_{LTmod}	=	0,904	0,975	1,000
					[-]
Momentenbeiwerte	M_h	=	430,18	[kNm]	
	M_s	=	226,73	[kNm]	
	ψ	=	0,0	[-]	
	α_s	=	0,527	[-]	
	C_{mLT}	=	0,622	[-]	
Interaktionsbeiwerte	k_{zy}	=	0,9670	[-]	
Nachweis	z	=	94,6%	[-] aus der Ebene	
QS-Nachweis - Stützenkopf					
Eingangswerte	N_{Ed}	=	-295,21	[kN]	
	V_{Ed}	=	62,93	[kN]	
	$M_{y,Ed}$	=	430,18	[kNm]	
QS-Widerstände	$N_{pl,Rd}$	=	3.790,55	[kN]	
	$M_{y,pl,Rd}$	=	505,02	[kNm]	
	V_{Rd}	=	701,82	[kN]	
Faktoren	n	=	0,078	[-]	
	a	=	0,237	[-]	
	QK	=	NEIN	[-]	
	$M_{Ny,Rd}$	=	505,02	[kNm]	
Nachweis			85,2%	[-]	

Tabelle 6.9

Berechnungstabelle NWV II System 3.1 Ort B

Nachweisverfahren III

Schnittkraftverlauf Stab 3 LK2

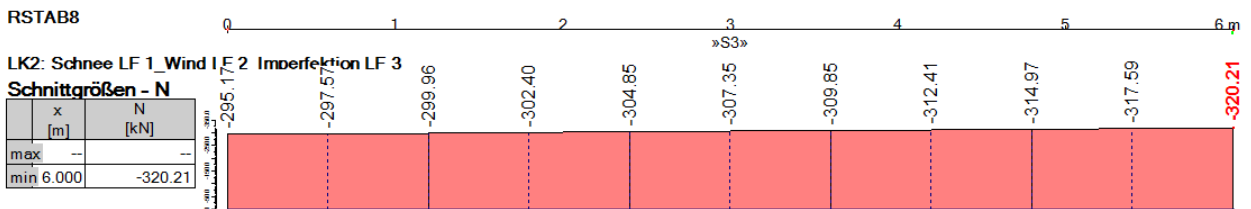
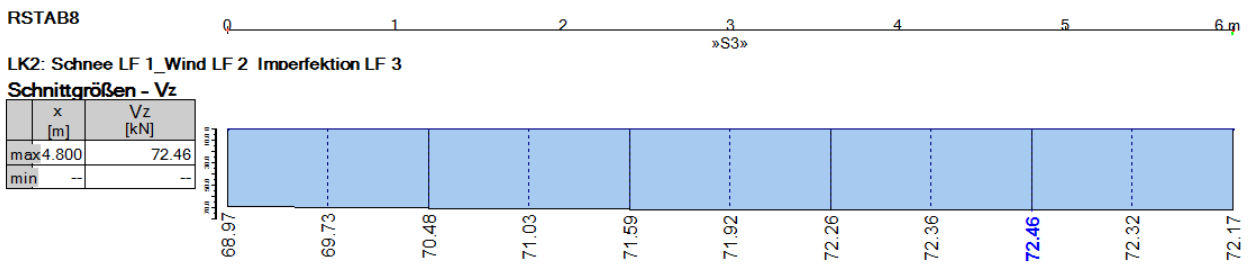
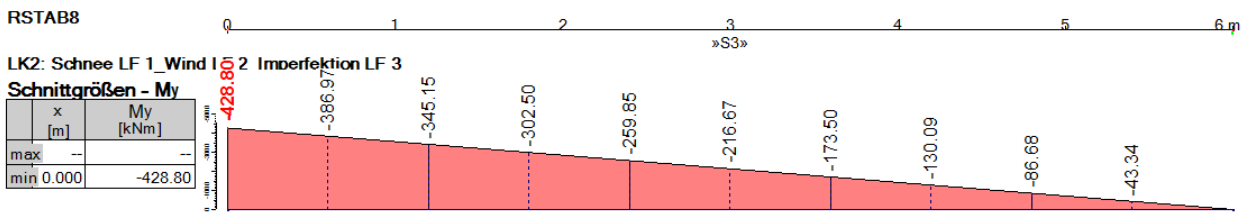
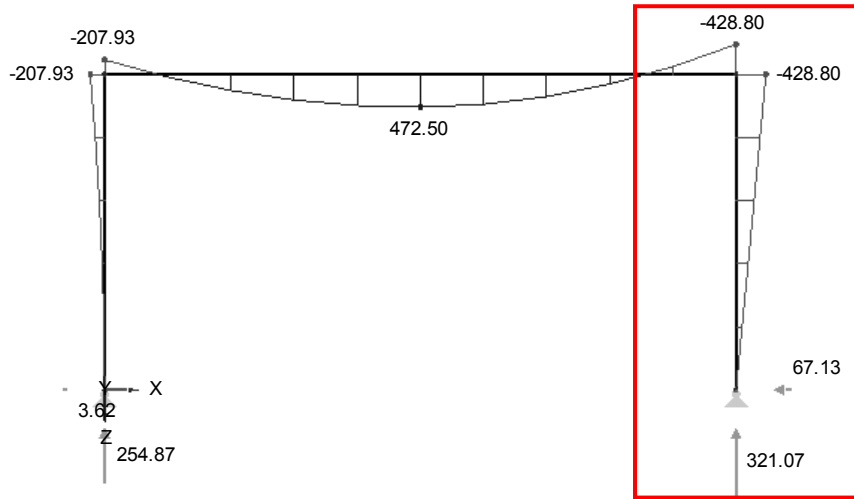


Bild 6.16 Schnittkraftverlauf NWV III System 3.1 Ort B

Stabilitätsnachweis und Querschnittsnachweis Stab 3

QS-WERTE					
γ_M	=	γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}	[-]
f_y	=	23,50	[kN/cm ²]		
E	=	21.000,00	[kN/cm ²]		
ν	=	0,30	[-]		
G	=	8.076,92	[kN/cm ²]		
		HE-B 320	Profil		
Biegedrillknicken - Verfahren Anhang B - Alternative					
Eingangswerte	N_{Ed}	=	-295,17	[kN]	
	V_{Ed}	=	68,97	[kN]	
	$M_{y,Ed}$	=	428,80	[kNm]	
QS-Widerstände	$N_{pl,Rk}$	=	3.790,55	[kN]	
	$M_{y,pl,Rk}$	=	505,02	[kNm]	
	V_{Rd}	=	701,82	[kN]	
Knicklängen	h	=	6,000	[m]	
	β	=	1,0	[-]	
	L_{cr}	=	y	z	LT
			6,000	6,000	6,000
Knicklinien	α	=	y	z	LT
			0,34	0,49	0,34
	λ_1	=	93,913	[-]	
Verzweigungslasten	N_{cr}	=	y	z	[kN]
			17.745,06	5.317,99	
Schlankeitsgrade	λ	=	y	z	[-]
			0,462	0,844	
	Φ	=	0,651	1,014	[-]
	χ	=	0,901	0,634	[-]
	k_P	=	0,732	[-]	
	ψ	=	0,000	[-]	
	k_c	=	0,752	[-]	
	λ_{LT}	=	0,464	[-]	
	Φ_{LT}	=	0,592	[-]	
	χ_{LT}	=	0,975	[-]	
	χ_{LTmod}	=	f	χ_{LT}	χ_{LTmod}
			0,904	0,975	1,000
Momentenbeiwerte	M_h	=	428,80	[kNm]	
	M_s	=	216,67	[kNm]	
	ψ	=	0,0	[-]	
	α_s	=	0,505	[-]	
	$C_{my,LT}$	=	y	LT	[-]
			0,604	0,604	
Interaktionsbeiwerte	k_{yy}	=	0,6179	[-]	
	k_{zy}	=	0,9653	[-]	
Nachweise	y	=	61,1%	[-]	in der Ebene
	z	=	94,2%	[-]	aus der Ebene
QS-Nachweis - Stützenkopf					
Eingangswerte	N_{Ed}	=	-295,17	[kN]	
	V_{Ed}	=	68,97	[kN]	
	$M_{y,Ed}$	=	428,80	[kNm]	
QS-Widerstände	$N_{pl,Rd}$	=	3.790,55	[kN]	
	$M_{y,pl,Rd}$	=	505,02	[kNm]	
	V_{Rd}	=	701,82	[kN]	
Faktoren	n	=	0,078	[-]	
	a	=	0,237	[-]	
	Querkraft	=	NEIN	[-]	
	$M_{Ny,Rd}$	=	505,02	[kNm]	
Nachweis		=	84,9%	[-]	

Tabelle 6.10

Berechnungstabelle NWV III System 3.1 Ort B

Nachweisverfahren IV

Schnittkraftverlauf Stab 3 LK2

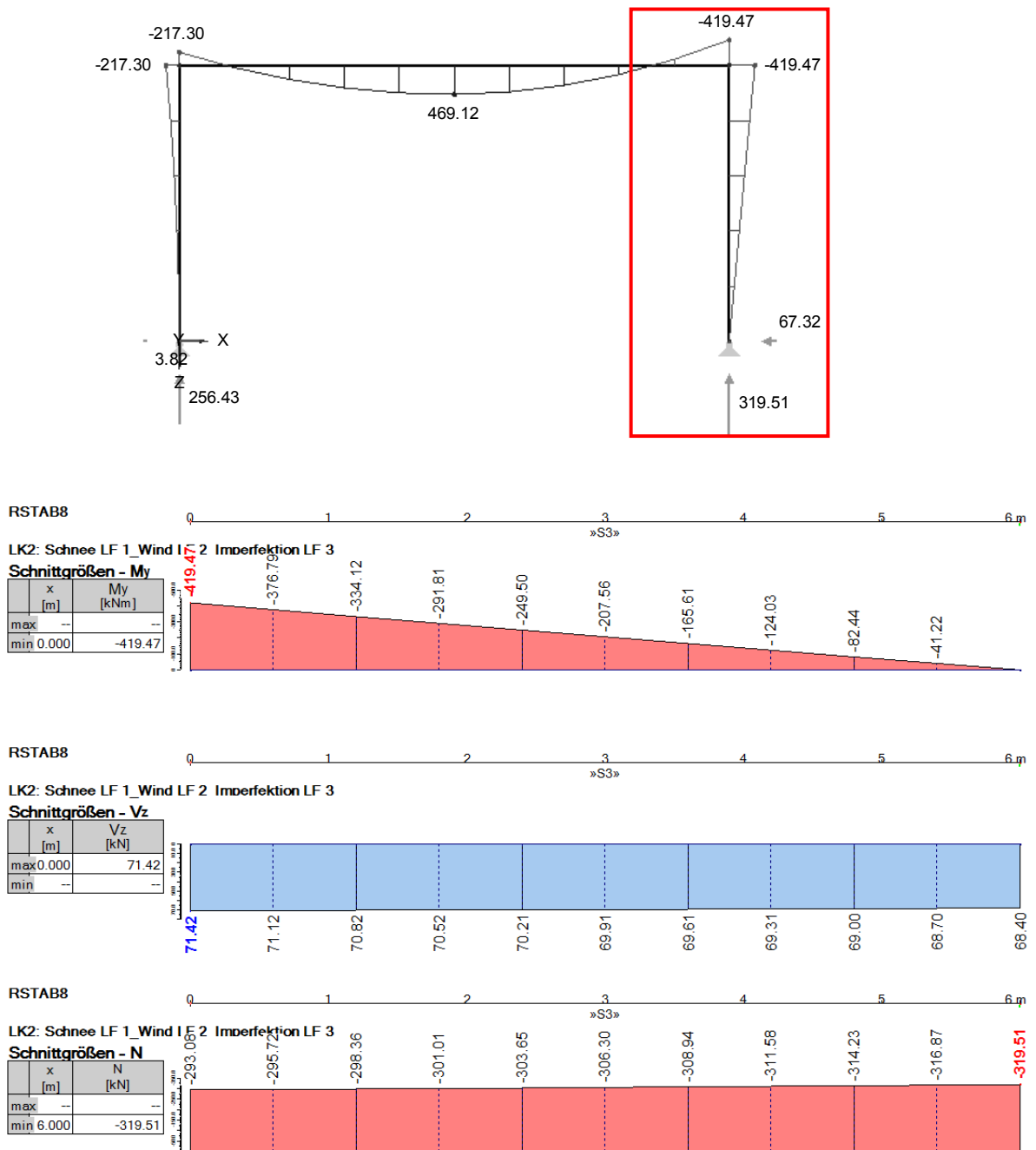


Bild 6.17 Schnittkraftverlauf NWV IV System 3.1 Ort B

Moment TH II O

$$\Delta M^I = \frac{M_{Re}^I - M_{Li}^I}{2} = \frac{419,47 - 217,30}{2} = 101,08 \text{ kNm} \quad (4.20)$$

$$\alpha_{cr} = 11,589$$

$$\Delta M^{II} = \Delta M^I * \frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}} = 101,08 * \frac{1}{1 - \frac{1}{11,589}} = 110,63 \text{ kNm} \quad (4.21)$$

$$M^{II} = \frac{M_{Re}^I + M_{Li}^I}{2} + \Delta M^{II} = \frac{419,47 + 217,30}{2} + 110,63 = 429,01 \text{ kNm} \quad (4.22)$$

Stabilitätsnachweis und Querschnittsnachweis Stab 3

QS-WERTE				
γ_M	=	γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2} [-]
		1,00	1,00	1,25 [-]
f_y	=	23,50	[kN/cm ²]	
E	=	21.000,00	[kN/cm ²]	
ν	=	0,30	[-]	
G	=	8.076,92	[kN/cm ²]	
		HE-B 320	Profil	
Biegedrillknicken - Verfahren Anhang B - Alternative				
Eingangswerte		M^I	M^{II}	
N_{Ed}	=	-293,08		[kN]
V_{Ed}	=	71,42		[kN]
$M_{y,Ed}$	=	419,47	429,01	[kNm]
QS-Widerstände		$N_{pl,Rk}$	=	3.790,55 [kN]
		$M_{y,pl,Rk}$	=	505,02 [kNm]
		V_{Rd}	=	701,82 [kN]
Knicklängen		h	=	6,000 [m]
		β	=	2,236
				1,0 [-]
		L_{cr}	=	13,416
				6,000
				6,000 [m]
Knicklinien		α	=	0,34
		λ_1	=	93,913 [-]
Verzweigungslasten		N_{cr}	=	3.549,23
				5.317,99 [kN]
Schlankheitsgrade		λ	=	1,033
		Φ	=	1,176
		χ	=	0,576
		k_p	=	0,732 [-]
		ψ	=	0,0 [-]
		k_c	=	0,752 [-]
		λ_{LT}	=	0,464 [-]
		Φ_{LT}	=	0,592 [-]
		χ_{LT}	=	0,975
		χ_{LTmod}	=	0,904
				0,975
				1,000 [-]
Momentenbeiwerte		M_h	=	419,47 [kNm]
		M_s	=	207,56 [kNm]
		ψ	=	0,0 [-]
		α_s	=	0,495 [-]
		$C_{my,LT}$	=	0,900
				0,596 [-]
Interaktionsbeiwerte		k_{yy}	=	0,9967 [-]
		k_{zy}	=	0,9648 [-]
Nachweis		y	=	96,2% [-]
		z	=	94,1% [-]
				in der Ebene M^I aus der Ebene M^{II}
QS-Nachweis - Stützenkopf				
Eingangswerte		N_{Ed}	=	-293,08 [kN]
		V_{Ed}	=	71,42 [kN]
		$M_{y,Ed}$	=	419,47 [kNm]
QS-Widerstände		$N_{pl,Rd}$	=	3.790,55 [kN]
		$M_{y,pl,Rd}$	=	505,02 [kNm]
		V_{Rd}	=	701,82 [kN]
Faktoren		n	=	0,077 [-]
		a	=	0,237 [-]
		Querkraft	=	NEIN [-]
		$M_{Ny,Rd}$	=	505,02 [kNm]
Nachweis			=	83,1% [-]

Tabelle 6.11

Berechnungstabelle NWV IV System 3.1 Ort B

6.6 System 3.2 Ort A

Systembeschreibung

Baustahl:	S235
Breite:	b=18,0m
Höhe:	h=6,0m
Achsabstand:	e=8,0m
Stützen:	HEB 300
Träger:	HEA 500
α_{cr} :	13,720

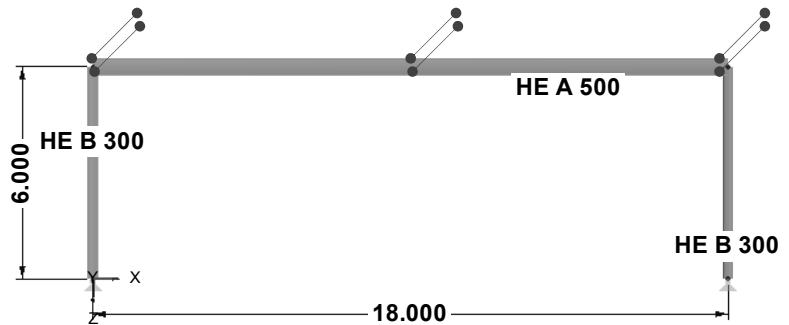
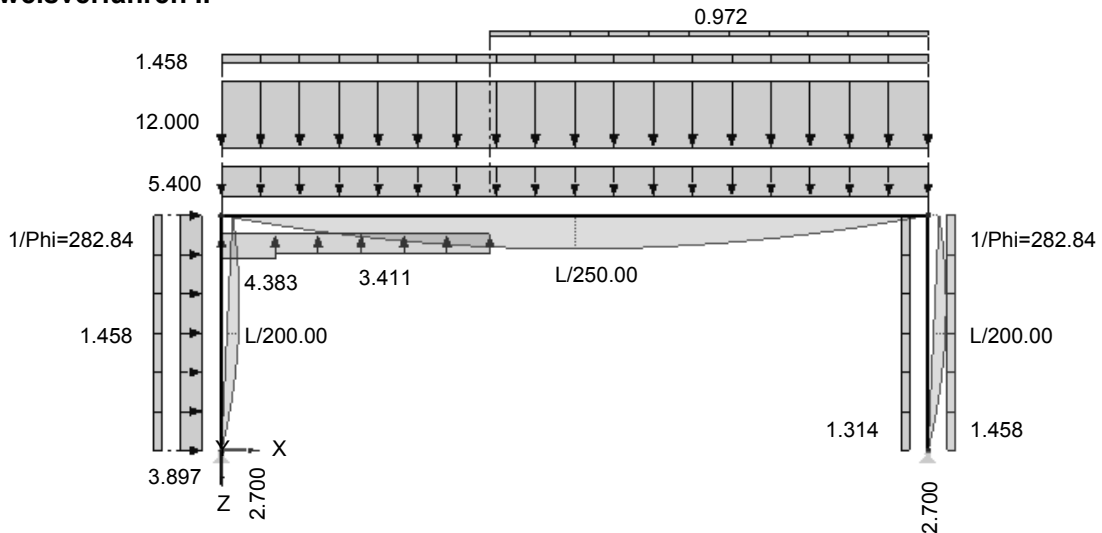


Bild 6.18 Systemskizze 3.2 Ort A

maßgebende Lastfallkombination LK2 [Lasten in kN/m]

Nachweisverfahren II



Nachweisverfahren III & IV

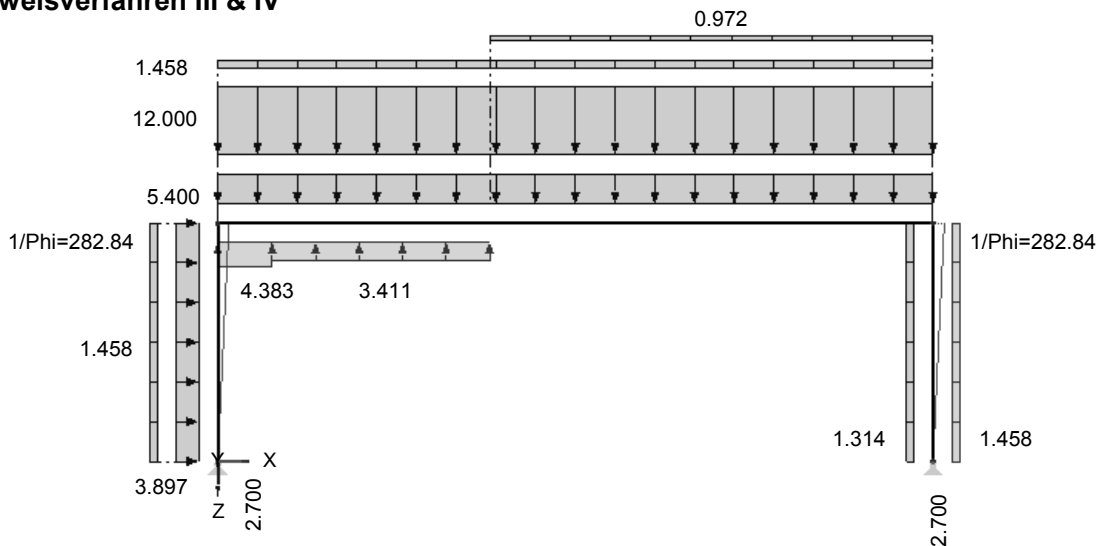


Bild 6.19 Lastfallkombinationen System 3.2 Ort A

Nachweisverfahren II

Schnittkraftverlauf Stab 3 LK2

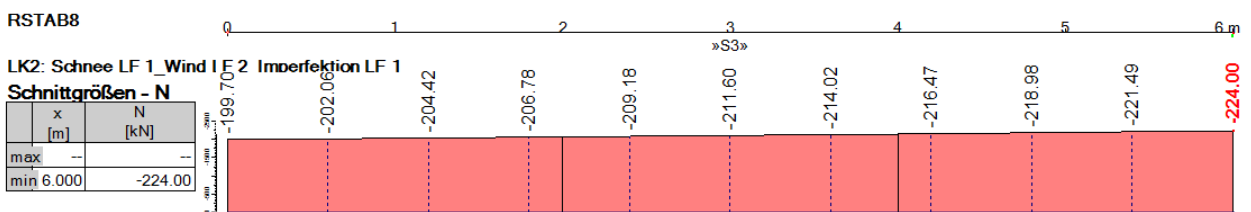
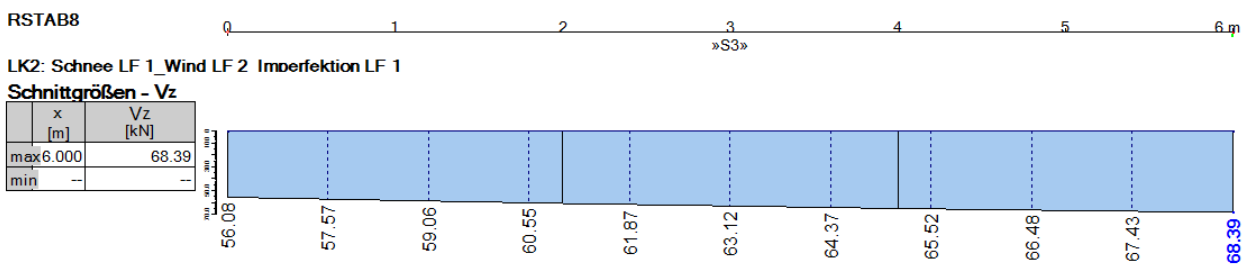
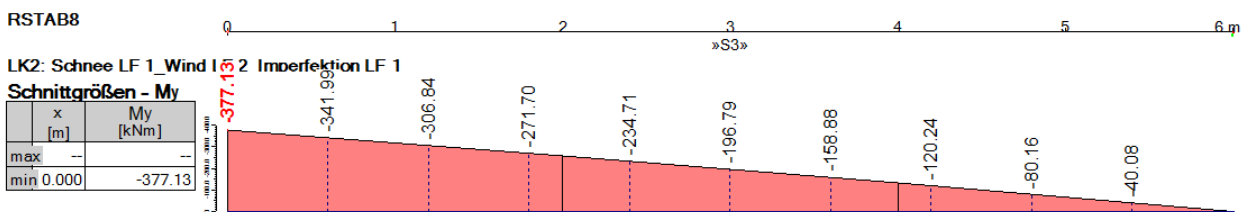
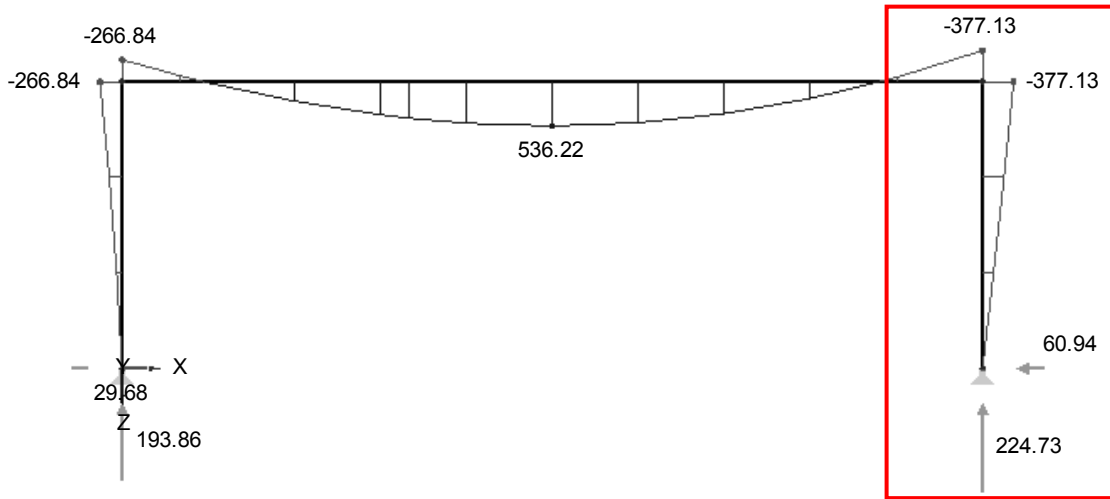


Bild 6.20 Schnittkraftverlauf NWV II System 3.2 Ort A

Stabilitätsnachweis und Querschnittsnachweis Stab 3

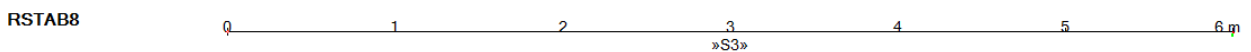
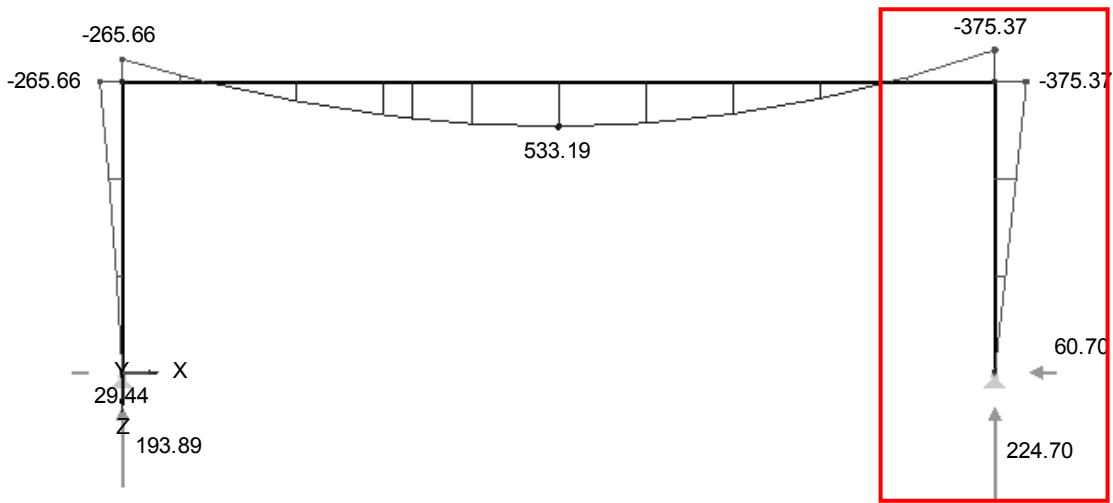
QS-WERTE					
γ_M	=	γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}	[-]
		1,00	1,00	1,25	
f_y	=	23,50	[kN/cm ²]		
E	=	21.000,00	[kN/cm ²]		
ν	=	0,30	[-]		
G	=	8.076,92	[kN/cm ²]		
		HE-B 300	Profil		
Biegedrillknicken - Verfahren Anhang B - Alternative					
Eingangswerte	N_{Ed}	=	-199,70	[kN]	
	V_{Ed}	=	56,08	[kN]	
	$M_{y,Ed}$	=	377,13	[kNm]	
QS-Widerstände	$N_{pl,Rk}$	=	3.503,85	[kN]	
	$M_{y,pl,Rk}$	=	439,22	[kNm]	
	V_{Rd}	=	643,79	[kN]	
Knicklängen			z	LT	
	L_{cr}	=	6,000	6,000	[m]
Knicklinien			z	LT	
	α	=	0,49	0,34	[-]
	λ_1	=	93,913		[-]
Verzweigungslast	N_{crz}	=	4.928,80	[kN]	
Schlankheitsgrade	λ_z	=	0,843	[-]	
	Φ_z	=	1,013	[-]	
	χ_z	=	0,635	[-]	
	k_p	=	0,734	[-]	
	ψ	=	0,0	[-]	
	k_c	=	0,752	[-]	
	λ_{LT}	=	0,465	[-]	
	Φ_{LT}	=	0,592	[-]	
	χ_{LT}	=	0,974	[-]	
			f	χ_{LT}	χ_{LTmod}
	χ_{LTmod}	=	0,904	0,974	1,000
					[-]
Momentenbeiwerte	M_h	=	377,13	[kNm]	
	M_s	=	196,79	[kNm]	
	ψ	=	0,0	[-]	
	α_s	=	0,522	[-]	
	C_{mLT}	=	0,617	[-]	
Interaktionsbeiwerte	k_{zy}	=	0,9756	[-]	
Nachweis	z	=	92,7%	[-]	aus der Ebene
QS-Nachweis - Stützenkopf					
Eingangswerte	N_{Ed}	=	-199,70	[kN]	
	V_{Ed}	=	56,08	[kN]	
	$M_{y,Ed}$	=	377,13	[kNm]	
QS-Widerstände	$N_{pl,Rd}$	=	3.503,85	[kN]	
	$M_{y,pl,Rd}$	=	439,22	[kNm]	
	V_{Rd}	=	643,79	[kN]	
Faktoren	n	=	0,057	[-]	
	a	=	0,235	[-]	
	QK	=	NEIN	[-]	
	$M_{Ny,Rd}$	=	439,22	[kNm]	
Nachweis		=	85,9%	[-]	

Tabelle 6.12

Berechnungstabelle NWV II System 3.2 Ort A

Nachweisverfahren III

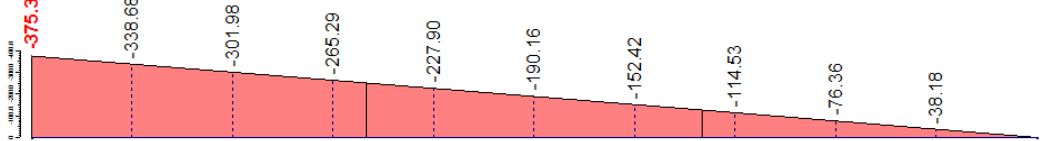
Schnittkraftverlauf Stab 3 LK2



LK2: Schnee LF 1_Wind I 2 Imperfektion LF 3

Schnittgrößen - My

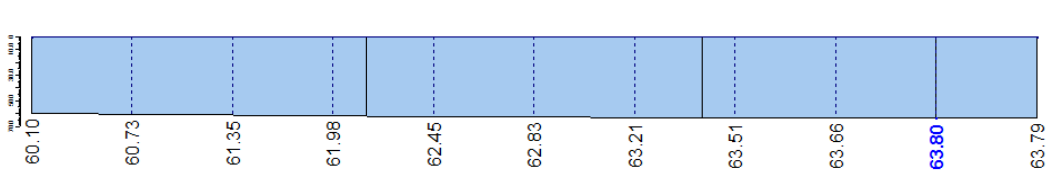
	x [m]	My [kNm]
max	--	--
min	0.000	-375.37



LK2: Schnee LF 1_Wind LF 2 Imperfektion LF 3

Schnittgrößen - Vz

	x [m]	Vz [kN]
max	5.400	63.80
min	--	--



LK2: Schnee LF 1_Wind I F 2 Imperfektion LF 3

Schnittgrößen - N

	x [m]	N [kN]
max	--	--
min	6.000	-224.05

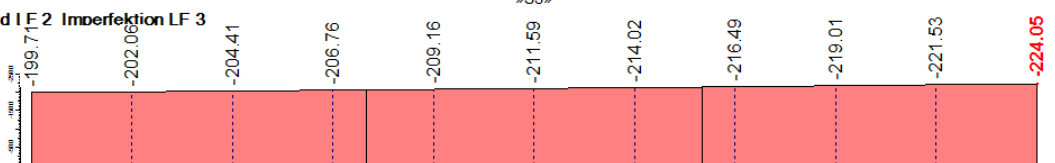


Bild 6.21 Schnittkraftverlauf NWV III System 3.2 Ort A

Stabilitätsnachweis und Querschnittsnachweis Stab 3

QS-WERTE			
$\gamma_M =$	γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}
	1,00	1,00	1,25 [-]
$f_y =$	23,50	[kN/cm ²]	
$E =$	21.000,00	[kN/cm ²]	
$\nu =$	0,30	[-]	
$G =$	8.076,92	[kN/cm ²]	
	HE-B 300	Profil	
Biegedrillknicken - Verfahren Anhang B - Alternative			
Eingangswerte	$N_{Ed} =$	-199,71	[kN]
	$V_{Ed} =$	60,10	[kN]
	$M_{y,Ed} =$	375,37	[kNm]
QS-Widerstände	$N_{pl,Rk} =$	3.503,85	[kN]
	$M_{y,pl,Rk} =$	439,22	[kNm]
	$V_{Rd} =$	643,79	[kN]
Knicklängen	$h =$	6,000	[m]
	$\beta =$	1,0	[-]
		y	z LT
	$L_{cr} =$	6,000	6,000 6,000 [m]
Knicklinien		y	z LT
	$\alpha =$	0,34	0,49 0,34 [-]
	$\lambda_1 =$	93,913	[-]
Verzweigungslasten		y	z
	$N_{cr} =$	14.487,59	4.928,80 [kN]
Schlankheitsgrade		y	z
	$\lambda =$	0,492	0,843 [-]
	$\Phi =$	0,671	1,013 [-]
	$\chi =$	0,888	0,635 [-]
	$k_P =$	0,734	[-]
	$\psi =$	0,000	[-]
	$k_c =$	0,752	[-]
	$\lambda_{LT} =$	0,465	[-]
	$\Phi_{LT} =$	0,592	[-]
	$\chi_{LT} =$	0,974	[-]
		f	χ_{LT} χ_{LTmod}
	$\chi_{LTmod} =$	0,904	0,974 1,000 [-]
Momentenbeiwerte	$M_h =$	375,37	[kNm]
	$M_s =$	190,16	[kNm]
	$\psi =$	0,0	[-]
	$\alpha_s =$	0,507	[-]
		y	LT
	$C_{my,LT} =$	0,605	0,605 [-]
Interaktionsbeiwerte	$k_{yy} =$	0,6166	[-]
	$k_{zy} =$	0,9747	[-]
Nachweise	$y =$	59,1%	[-] in der Ebene
	$z =$	92,3%	[-] aus der Ebene
QS-Nachweis - Stützenkopf			
Eingangswerte	$N_{Ed} =$	-199,71	[kN]
	$V_{Ed} =$	60,10	[kN]
	$M_{y,Ed} =$	375,37	[kNm]
QS-Widerstände	$N_{pl,Rd} =$	3.503,85	[kN]
	$M_{y,pl,Rd} =$	439,22	[kNm]
	$V_{Rd} =$	643,79	[kN]
Faktoren	$n =$	0,057	[-]
	$a =$	0,235	[-]
	Querkraft =	NEIN	[-]
	$M_{Ny,Rd} =$	439,22	[kNm]
Nachweis		85,5%	[-]

Tabelle 6.13

Berechnungstabelle NWV III System 3.2 Ort A

Nachweisverfahren IV

Schnittkraftverlauf Stab 3 LK2

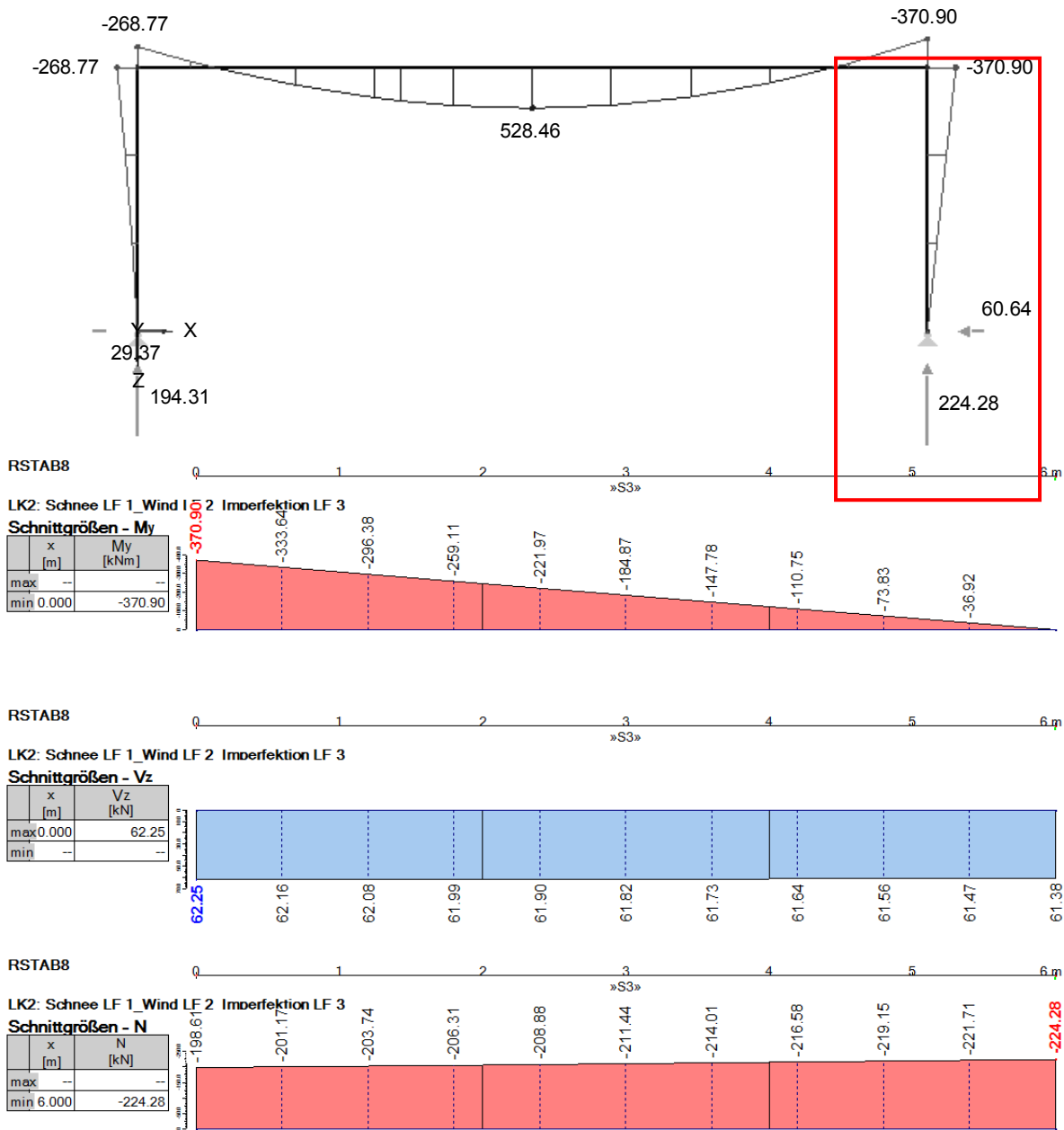


Bild 6.22 Schnittkraftverlauf NWV IV System 3.2 Ort A

Moment TH II O

$$\Delta M^I = \frac{M_{Re}^I - M_{Li}^I}{2} = \frac{370,90 - 268,77}{2} = 51,06 \text{ kNm} \quad (4.23)$$

$$\alpha_{cr} = 13,588$$

$$\Delta M^{II} = \Delta M^I * \frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}} = 50,86 * \frac{1}{1 - \frac{1}{13,588}} = 55,12 \text{ kNm} \quad (4.24)$$

$$M^{II} = \frac{M_{Re}^I + M_{Li}^I}{2} + \Delta M^I = \frac{370,90 + 268,77}{2} + 55,12 = 374,95 \text{ kNm} \quad (4.25)$$

Stabilitätsnachweis und Querschnittsnachweis Stab 3

QS-WERTE				
γ_M	=	γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2} [-]
		1,00	1,00	1,25 [-]
f_y	=	23,50	[kN/cm ²]	
E	=	21.000,00	[kN/cm ²]	
ν	=	0,30	[-]	
G	=	8.076,92	[kN/cm ²]	
		HE-B 300	Profil	
Biegedrillknicken - Verfahren Anhang B - Alternative				
Eingangswerte		M^I	M^{II}	
N_{Ed}	=	-198,61		[kN]
V_{Ed}	=	62,25		[kN]
$M_{y,Ed}$	=	370,90	374,95	[kNm]
QS-Widerstände	$N_{pl,Rk}$	=	3.503,85	[kN]
	$M_{y,pl,Rk}$	=	439,22	[kNm]
	V_{Rd}	=	643,79	[kN]
Knicklängen	h	=	6,000	[m]
	β	=	2,246	
			1,0	[-]
		y	z	LT
	L_{cr}	=	13,476	6,000
			6,000	[m]
Knicklinien		y	z	LT
	α	=	0,34	0,49
			0,34	[-]
	λ_1	=	93,913	[-]
Verzweigungslasten		y	z	
	N_{cr}	=	2.871,95	4.928,80
				[kN]
Schlankheitsgrade		y	z	
	λ	=	1,105	0,843
				[-]
	Φ	=	1,264	1,013
				[-]
	χ	=	0,533	0,635
				[-]
	k_p	=	0,734	[-]
	ψ	=	0,0	[-]
	k_c	=	0,752	[-]
	λ_{LT}	=	0,465	[-]
	Φ_{LT}	=	0,592	[-]
	χ_{LT}	=	0,974	
		f	χ_{LT}	χ_{LTmod} [-]
	χ_{LTmod}	=	0,904	0,974
				1,000
				[-]
Momentenbeiwerte	M_h	=	370,90	[kNm]
	M_s	=	184,87	[kNm]
	ψ	=	0,0	[-]
	α_s	=	0,498	[-]
		y	C_{mLT}	
	$C_{my,LT}$	=	0,900	0,599
				[-]
Interaktionsbeiwerte	k_{yy}	=	0,9766	[-]
	k_{zy}	=	0,9744	[-]
Nachweis	y	=	93,1%	[-] in der Ebene M^I
	z	=	92,1%	[-] aus der Ebene M^{II}
QS-Nachweis - Stützenkopf				
Eingangswerte		N_{Ed}	=	-198,61 [kN]
		V_{Ed}	=	62,25 [kN]
		$M_{y,Ed}$	=	370,90 [kNm]
QS-Widerstände	$N_{pl,Rd}$	=	3.503,85 [kN]	
	$M_{y,pl,Rd}$	=	439,22 [kNm]	
	V_{Rd}	=	643,79 [kN]	
Faktoren	n	=	0,057 [-]	
	a	=	0,235 [-]	
	Querkraft	=	NEIN [-]	
	$M_{Ny,Rd}$	=	439,22 [kNm]	
Nachweis		=	84,4%	[-]

Tabelle 6.14 Berechnungstabelle NWV IV System 3.2 Ort A

6.7 System 4.3 Ort B

Systembeschreibung

Baustahl:	S355
Breite:	b=24,0m
Höhe:	h=8,0m
Achsabstand:	e=6,0m
Stützen:	HEB 400
Träger:	HEB 900
α_{cr} :	8,960

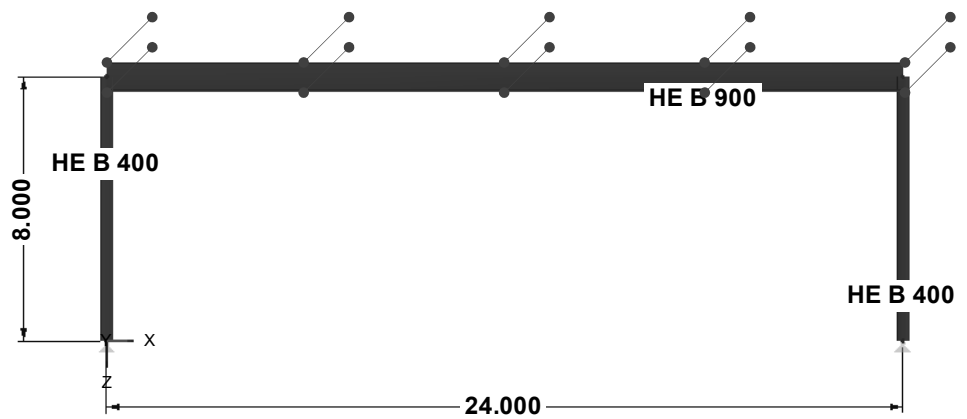
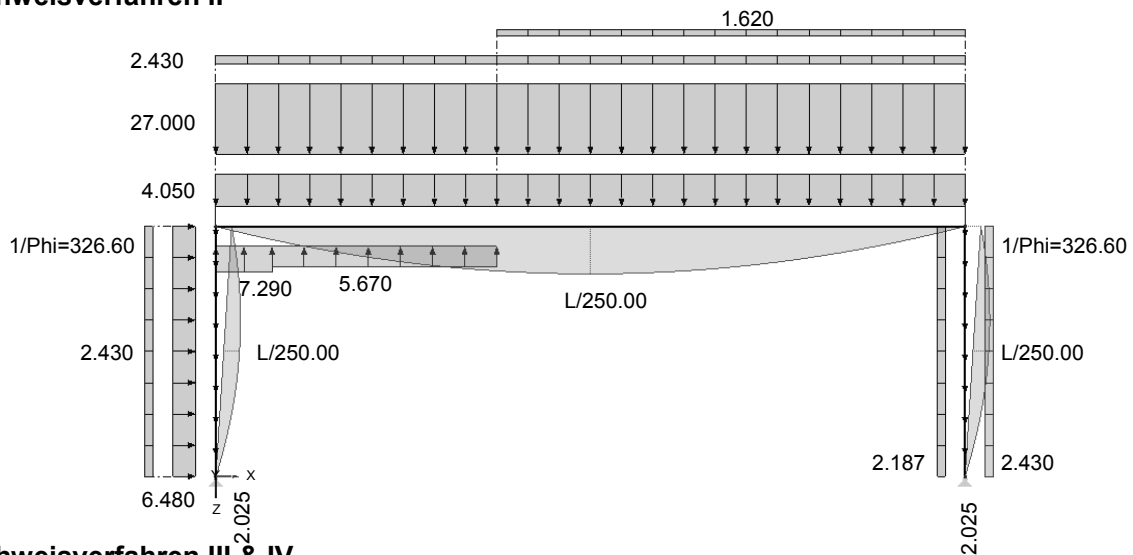


Bild 6.23 Systemskizze 4.3 Ort B

maßgebende Lastfallkombination LK2 [Lasten in kN/m]

Nachweisverfahren II



Nachweisverfahren III & IV

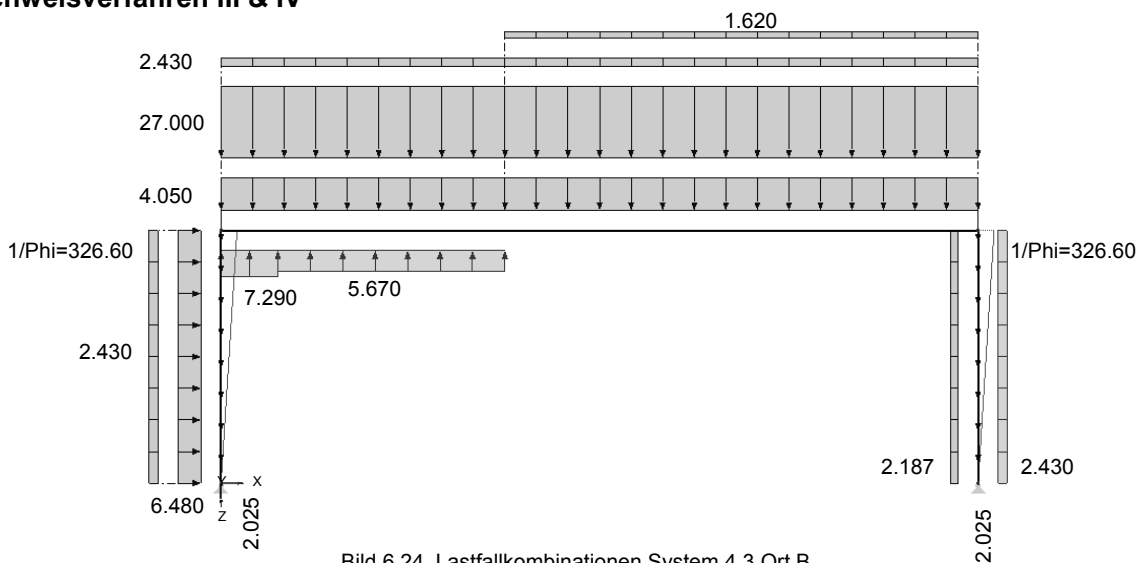
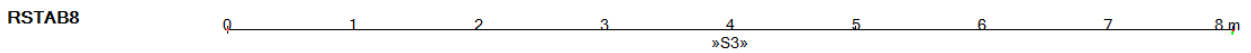
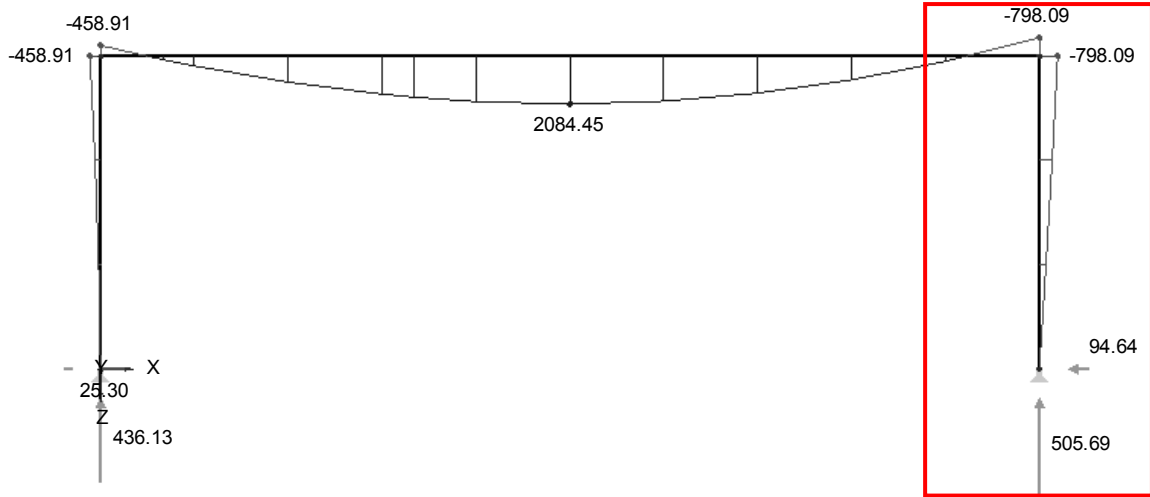


Bild 6.24 Lastfallkombinationen System 4.3 Ort B

Nachweisverfahren II

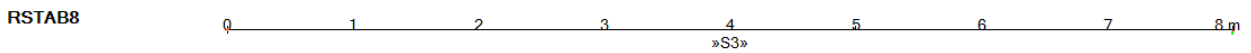
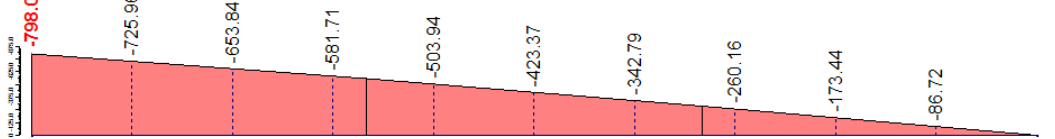
Schnittkraftverlauf Stab 3 LK2



LK2: Schnee LF 1_Wind I 2 Imperfektion LF 1

Schnittgrößen - My

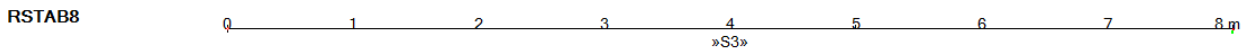
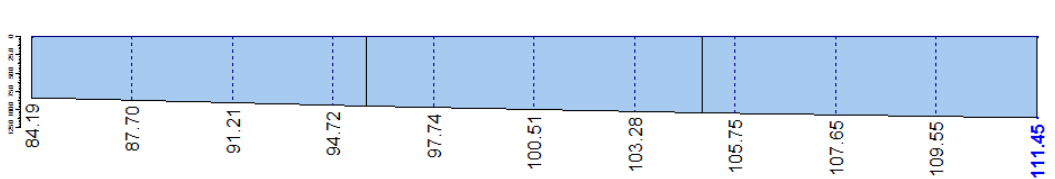
	x [m]	My [kNm]
max	--	--
min	0.000	-798.09



LK2: Schnee LF 1_Wind LF 2 Imperfektion LF 1

Schnittgrößen - Vz

	x [m]	Vz [kN]
max	8.000	111.45
min	--	--



LK2: Schnee LF 1_Wind I 2 Imperfektion LF 1

Schnittgrößen - N

	x [m]	N [kN]
max	--	--
min	8.000	-504.10

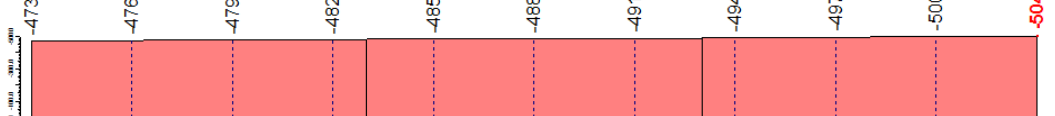


Bild 6.25 Schnittkraftverlauf NWV II System 4.3 Ort B

Stabilitätsnachweis und Querschnittsnachweis Stab 3

QS-WERTE					
γ_M	=	γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}	[-]
		1,00	1,00	1,25	
f_y	=	35,50	[kN/cm ²]		
E	=	21.000,00	[kN/cm ²]		
ν	=	0,30	[-]		
G	=	8.076,92	[kN/cm ²]		
		HE-B 400	Profil		
Biegedrillknicken - Verfahren Anhang B - Alternative					
Eingangswerte	N_{Ed}	=	-473,82	[kN]	
	V_{Ed}	=	84,19	[kN]	
	$M_{y,Ed}$	=	798,09	[kNm]	
QS-Widerstände	$N_{pl,Rk}$	=	7.021,90	[kN]	
	$M_{y,pl,Rk}$	=	1.147,36	[kNm]	
	V_{Rd}	=	1.434,72	[kN]	
Knicklängen			z	LT	
	L_{cr}	=	8,000	8,000	[m]
Knicklinien			z	LT	
	α	=	0,34	0,34	[-]
	λ_1	=	76,409	[-]	
Verzweigungslast	N_{crz}	=	3.503,05	[kN]	
Schlankheitsgrade	λ_z	=	1,416	[-]	
	Φ_z	=	1,709	[-]	
	χ_z	=	0,375	[-]	
	k_p	=	0,678	[-]	
	ψ	=	0,0	[-]	
	k_c	=	0,752	[-]	
	λ_{LT}	=	0,722	[-]	
	Φ_{LT}	=	0,750	[-]	
	χ_{LT}	=	0,859	[-]	
			f	χ_{LT}	χ_{LTmod}
	χ_{LTmod}	=	0,877	0,859	0,979
				[-]	
Momentenbeiwerte	M_h	=	798,09	[kNm]	
	M_s	=	423,37	[kNm]	
	ψ	=	0,0	[-]	
	α_s	=	0,530	[-]	
	C_{mLT}	=	0,624	[-]	
Interaktionsbeiwerte	k_{zy}	=	0,9519	[-]	
Nachweis	z	=	85,7%	[-] aus der Ebene	
QS-Nachweis - Stützenkopf					
Eingangswerte	N_{Ed}	=	-473,82	[kN]	
	V_{Ed}	=	84,19	[kN]	
	$M_{y,Ed}$	=	798,09	[kNm]	
QS-Widerstände	$N_{pl,Rd}$	=	7.021,90	[kN]	
	$M_{y,pl,Rd}$	=	1.147,36	[kNm]	
	V_{Rd}	=	1.434,72	[kN]	
Faktoren	n	=	0,067	[-]	
	a	=	0,272	[-]	
	QK	=	NEIN	[-]	
	$M_{Ny,Rd}$	=	1147,36	[kNm]	
Nachweis		=	69,6%	[-]	

Tabelle 6.15 Berechnungstabelle NWV II System 4.3 Ort B

Nachweisverfahren III

Schnittkraftverlauf Stab 3 LK2

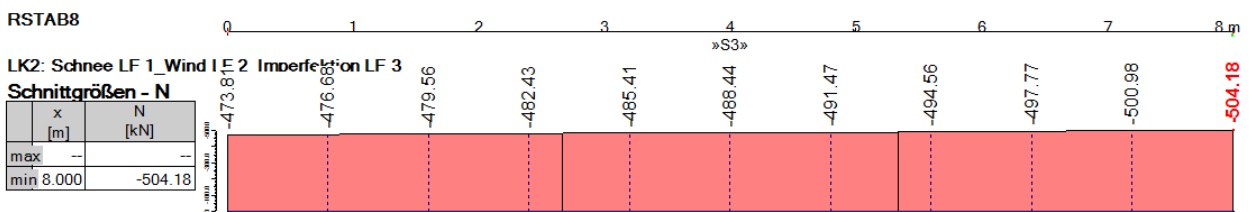
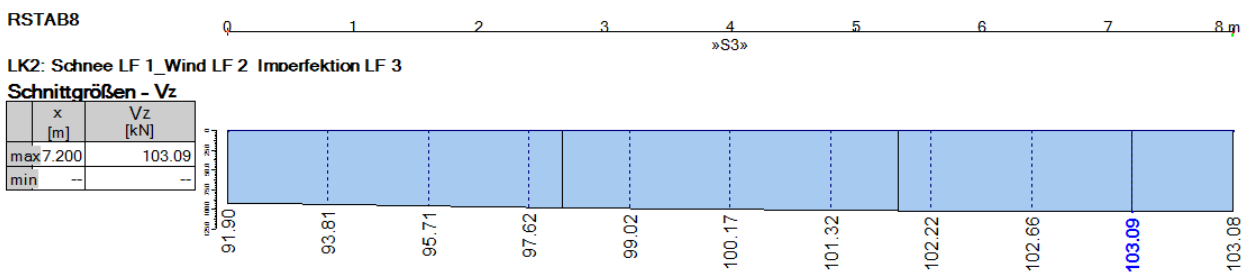
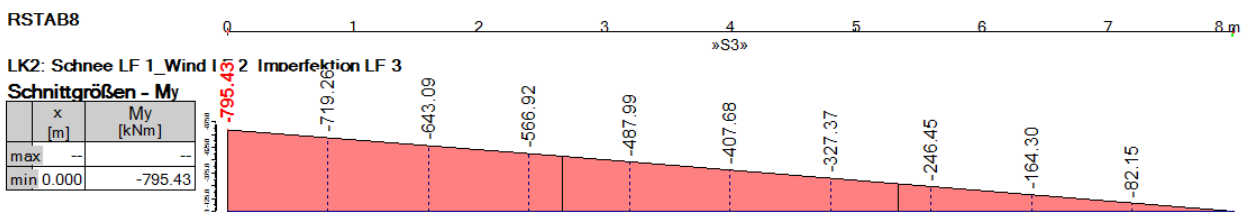
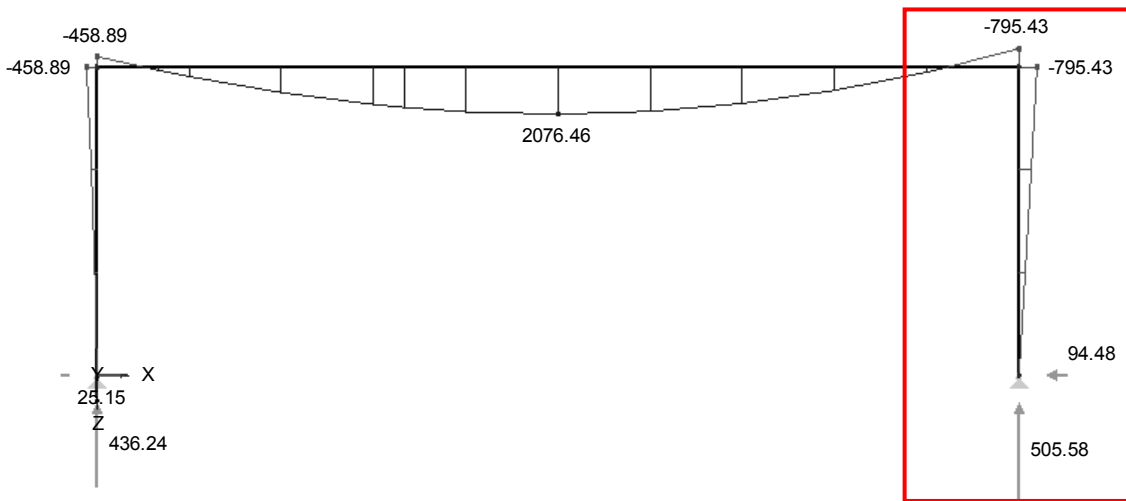


Bild 6.26 Schnittkraftverlauf NWV III System 4.3 Ort B

Stabilitätsnachweis und Querschnittsnachweis Stab 3

QS-WERTE					
γ_M	=	γ_{M0} 1,00	γ_{M1} 1,00	γ_{M2} 1,25 [-]	
f_y	=	35,50	[kN/cm ²]		
E	=	21.000,00	[kN/cm ²]		
ν	=	0,30	[-]		
G	=	8.076,92	[kN/cm ²]		
		HE-B 400	Profil		
Biegedrillknicken - Verfahren Anhang B - Alternative					
Eingangswerte	N_{Ed}	=	-473,81	[kN]	
	V_{Ed}	=	91,90	[kN]	
	$M_{y,Ed}$	=	795,43	[kNm]	
QS-Widerstände	$N_{pl,Rk}$	=	7.021,90	[kN]	
	$M_{y,pl,Rk}$	=	1.147,36	[kNm]	
	V_{Rd}	=	1.434,72	[kN]	
Knicklängen	h	=	8,000	[m]	
	β	=	1,0	[-]	
	L_{cr}	=	y 8,000	z 8,000	LT 8,000 [m]
Knicklinien	α	=	y 0,21	z 0,34	LT 0,34 [-]
	λ_1	=	76,409	[-]	
Verzweigungslasten	N_{cr}	=	y 18.679,14	z 3.503,05	[kN]
Schlankeitsgrade	λ	=	y 0,613	z 1,416	[-]
	Φ	=	y 0,731	z 1,709	[-]
	χ	=	y 0,885	z 0,375	[-]
	k_P	=	0,678	[-]	
	ψ	=	0,000	[-]	
	k_c	=	0,752	[-]	
	λ_{LT}	=	0,722	[-]	
	Φ_{LT}	=	0,750	[-]	
	χ_{LT}	=	0,859	[-]	
	χ_{LTmod}	=	f 0,877	χ_{LT} 0,859	χ_{LTmod} 0,979 [-]
Momentenbeiwerte	M_h	=	795,43	[kNm]	
	M_s	=	407,68	[kNm]	
	ψ	=	0,0	[-]	
	α_s	=	0,513	[-]	
	$C_{my,LT}$	=	y 0,610	LT 0,610	[-]
Interaktionsbeiwerte	k_{yy}	=	0,6292	[-]	
	k_{zy}	=	0,9500	[-]	
Nachweise	y	=	52,2%	[-] in der Ebene	
	z	=	85,3%	[-] aus der Ebene	
QS-Nachweis - Stützenkopf					
Eingangswerte	N_{Ed}	=	-473,81	[kN]	
	V_{Ed}	=	91,90	[kN]	
	$M_{y,Ed}$	=	795,43	[kNm]	
QS-Widerstände	$N_{pl,Rd}$	=	7.021,90	[kN]	
	$M_{y,pl,Rd}$	=	1.147,36	[kNm]	
	V_{Rd}	=	1.434,72	[kN]	
Faktoren	n	=	0,067	[-]	
	a	=	0,272	[-]	
	Querkraft	=	NEIN	[-]	
	$M_{Ny,Rd}$	=	1147,36	[kNm]	
Nachweis		=	69,3%	[-]	

Tabelle 6.16

Berechnungstabelle NWV III System 4.3 Ort B

Nachweisverfahren IV

Schnittkraftverlauf Stab 3 LK2

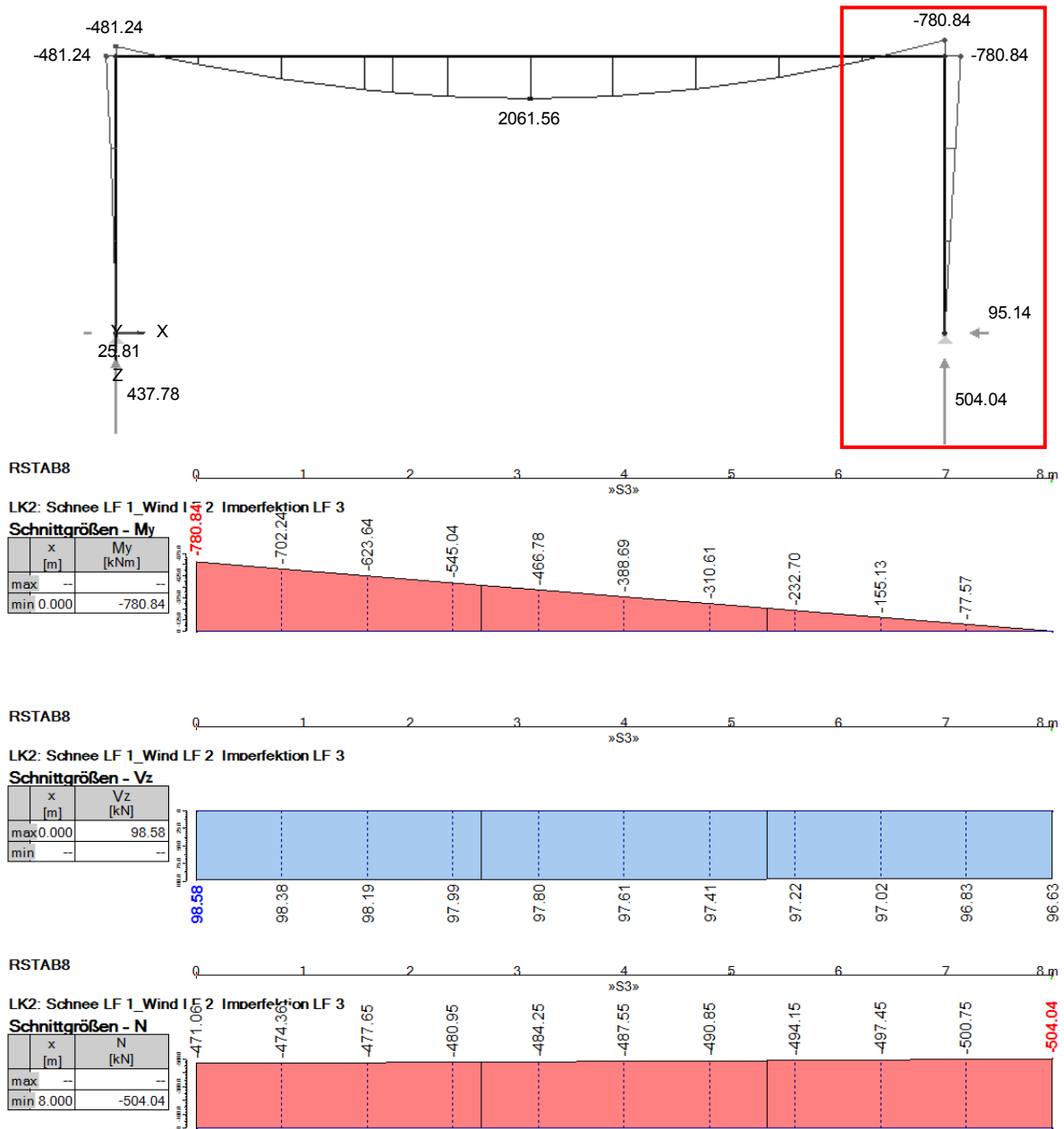


Bild 6.27 Schnittkraftverlauf NWV IV System 4.3 Ort B

Moment TH II O

$$\Delta M^I = \frac{M_{Re}^I - M_{Li}^I}{2} = \frac{780,84 - 481,24}{2} = 149,80 \text{ kNm} \quad (4.26)$$

$$\alpha_{cr} = 8,960$$

$$\Delta M^{II} = \Delta M^I * \frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}} = 149,80 * \frac{1}{1 - \frac{1}{8,960}} = 168,62 \text{ kNm} \quad (4.27)$$

$$M^{II} = \frac{M_{Re}^I + M_{Li}^I}{2} + \Delta M^{II} = \frac{780,84 + 481,24}{2} + 168,62 = 799,66 \text{ kNm} \quad (4.28)$$

Stabilitätsnachweis und Querschnittsnachweis Stab 3

QS-WERTE					
γ_M	=	γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}	[-]
		1,00	1,00	1,25	
f_y	=	35,50			[kN/cm ²]
E	=	21.000,00			[kN/cm ²]
ν	=	0,30			[-]
G	=	8.076,92			[kN/cm ²]
		HE-B 400	Profil		
Biegedrillknicken - Verfahren Anhang B - Alternative					
Eingangswerte		M^I	M^{II}		
N_{Ed}	=	-471,06			[kN]
V_{Ed}	=	98,58			[kN]
$M_{y,Ed}$	=	780,84	799,60		[kNm]
QS-Widerstände	$N_{pl,Rk}$	=	7.021,90		[kN]
	$M_{y,pl,Rk}$	=	1.147,36		[kNm]
	V_{Rd}	=	1.434,72		[kN]
Knicklängen	h	=	8,000		[m]
	β	=	2,068	1,0	[-]
			y	z	LT
	L_{cr}	=	16,544	8,000	8,000 [m]
Knicklinien			y	z	LT
	α	=	0,21	0,34	0,34 [-]
	λ_1	=	76,409		[-]
Verzweigungslasten			y	z	
	N_{cr}	=	4.367,73	3.503,05	[kN]
Schlankheitsgrade			y	z	
	λ	=	1,268	1,416	[-]
	Φ	=	1,416	1,709	[-]
	χ	=	0,489	0,375	[-]
	k_P	=	0,678		[-]
	ψ	=	0,0		[-]
	k_C	=	0,752		[-]
	λ_{LT}	=	0,722		[-]
	Φ_{LT}	=	0,750		[-]
	χ_{LT}	=	0,859		[-]
			f	χ_{LT}	χ_{LTmod} [-]
	χ_{LTmod}	=	0,877	0,859	0,979 [-]
Momentenbeiwerte	M_h	=	780,84		[kNm]
	M_s	=	388,69		[kNm]
	ψ	=	0,0		[-]
	α_s	=	0,498		[-]
			Y	LT	
	$C_{my,LT}$	=	0,900	0,598	[-]
Interaktionsbeiwerte	k_{yy}	=	0,9988		[-]
	k_{zy}	=	0,9486		[-]
Nachweis	y	=	83,2%		[-] in der Ebene M^I
	z	=	85,4%		[-] aus der Ebene M^{II}
QS-Nachweis - Stützenkopf					
Eingangswerte	N_{Ed}	=	-471,06		[kN]
	V_{Ed}	=	98,58		[kN]
	$M_{y,Ed}$	=	780,84		[kNm]
QS-Widerstände	$N_{pl,Rd}$	=	7.021,90		[kN]
	$M_{y,pl,Rd}$	=	1.147,36		[kNm]
	V_{Rd}	=	1.434,72		[kN]
Faktoren	n	=	0,067		[-]
	a	=	0,272		[-]
	Querkraft	=	NEIN		[-]
	$M_{Ny,Rd}$	=	1147,36		[kNm]
Nachweis		=	68,1%		[-]

Tabelle 6.17

Berechnungstabelle NWV IV System 4.3 Ort B

6.8 System 5.1 Ort A

Systembeschreibung

Baustahl:	S235
Breite:	b=12,0m
Höhe:	h=6,0m
Achsabstand:	e=8,0m
Stützen:	HEB 300
Träger:	HEA 500
α_{cr} :	8,188

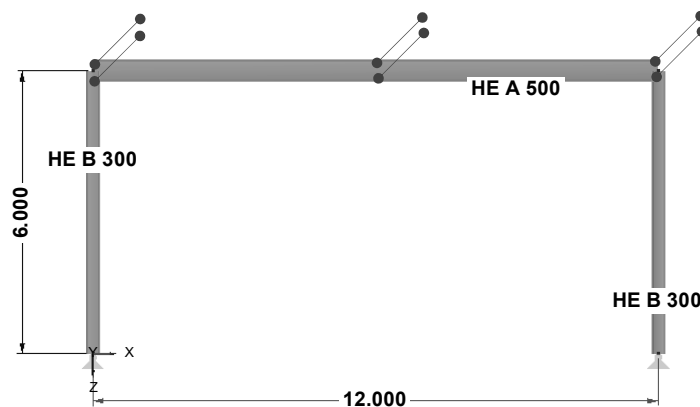
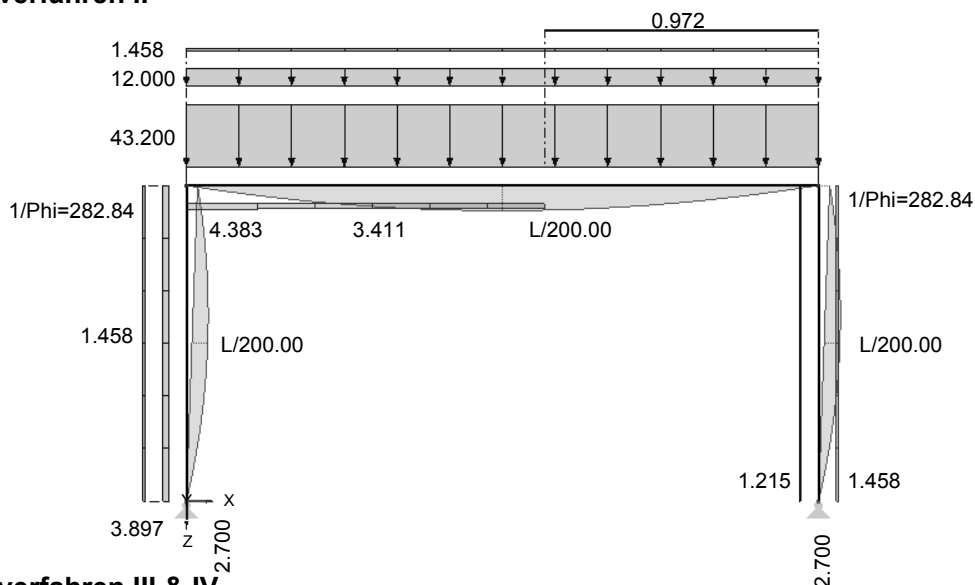


Bild 6.28 Systemskizze 5.1 Ort A

maßgebende Lastfallkombination LK2 [Lasten in kN/m]

Nachweisverfahren II



Nachweisverfahren III & IV

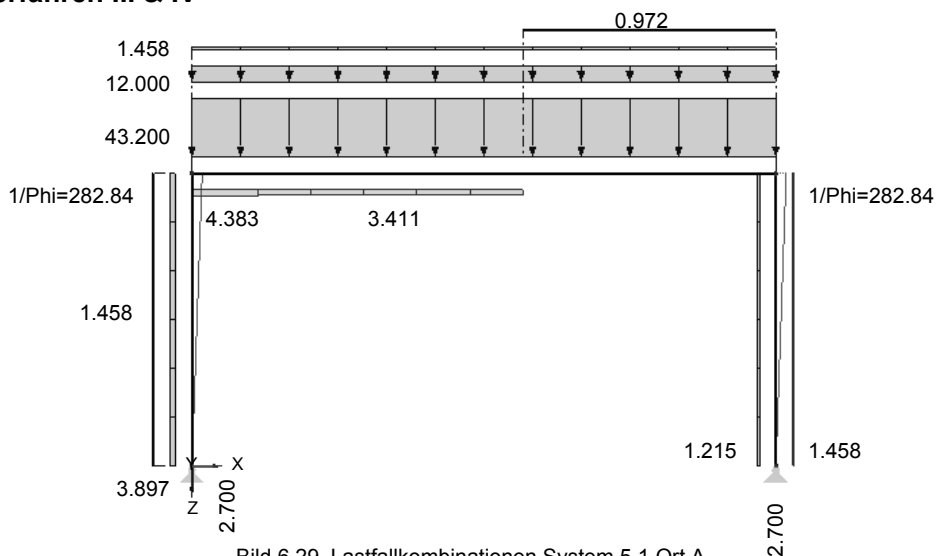


Bild 6.29 Lastfallkombinationen System 5.1 Ort A

Nachweisverfahren II

Schnittkraftverlauf Stab 3 LK2

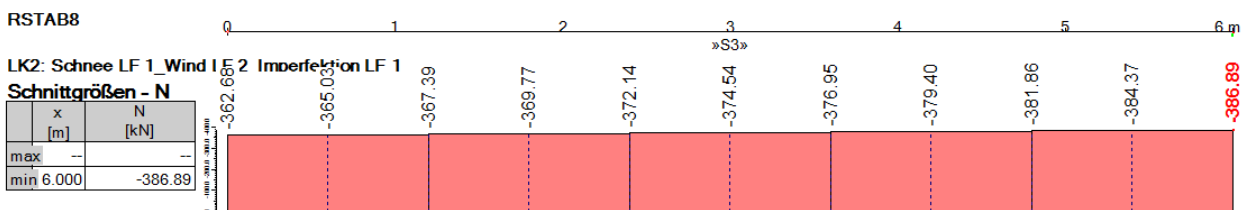
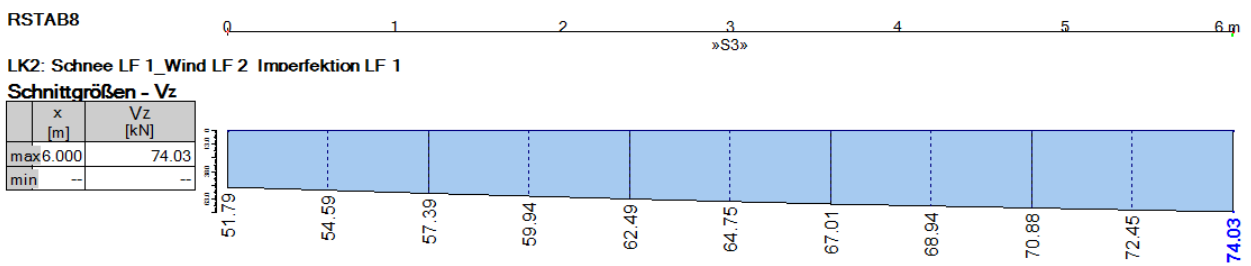
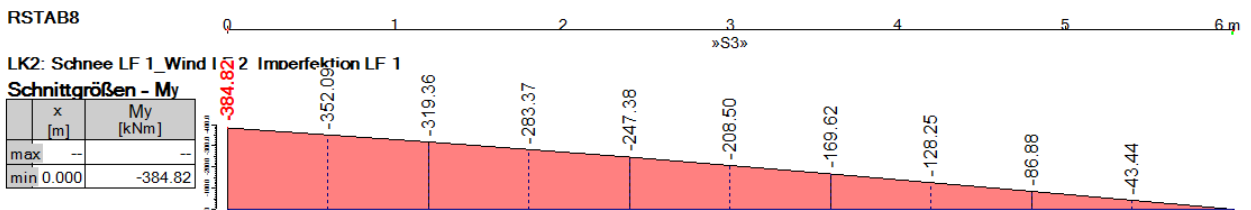
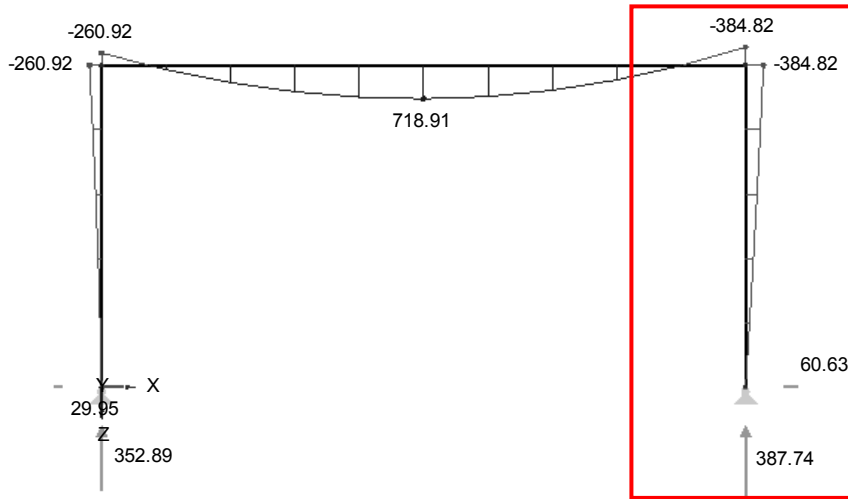


Bild 6.30 Schnittkraftverlauf NWV II System 5.1 Ort A

Stabilitätsnachweis und Querschnittsnachweis Stab 3

QS-WERTE					
γ_M	=	γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}	[-]
		1,00	1,00	1,25	
f_y	=	23,50	[kN/cm ²]		
E	=	21.000,00	[kN/cm ²]		
ν	=	0,30	[-]		
G	=	8.076,92	[kN/cm ²]		
		HE-B 300	Profil		
Biegedrillknicken - Verfahren Anhang B - Alternative					
Eingangswerte	N_{Ed}	=	-362,68	[kN]	
	V_{Ed}	=	51,79	[kN]	
	$M_{y,Ed}$	=	384,82	[kNm]	
QS-Widerstände	$N_{pl,Rk}$	=	3.503,85	[kN]	
	$M_{y,pl,Rk}$	=	439,22	[kNm]	
	V_{Rd}	=	643,79	[kN]	
Knicklängen			z	LT	
	L_{cr}	=	6,000	6,000	[m]
Knicklinien			z	LT	
	α	=	0,49	0,34	[-]
	λ_1	=	93,913		[-]
Verzweigungslast	N_{crz}	=	4.928,80	[kN]	
Schlankheitsgrade	λ_z	=	0,843	[-]	
	Φ_z	=	1,013	[-]	
	χ_z	=	0,635	[-]	
	k_p	=	0,734	[-]	
	ψ	=	0,0	[-]	
	k_c	=	0,752	[-]	
	λ_{LT}	=	0,465	[-]	
	Φ_{LT}	=	0,592	[-]	
	χ_{LT}	=	0,974	[-]	
			f	χ_{LT}	χ_{LTmod}
	χ_{LTmod}	=	0,904	0,974	1,000
					[-]
Momentenbeiwerte	M_h	=	384,82	[kNm]	
	M_s	=	208,50	[kNm]	
	ψ	=	0,0	[-]	
	α_s	=	0,542	[-]	
	C_{mLT}	=	0,633	[-]	
Interaktionsbeiwerte	k_{zy}	=	0,9575	[-]	
Nachweis	z	=	100,0%	[-]	aus der Ebene
QS-Nachweis - Stützenkopf					
Eingangswerte	N_{Ed}	=	-362,68	[kN]	
	V_{Ed}	=	51,79	[kN]	
	$M_{y,Ed}$	=	384,82	[kNm]	
QS-Widerstände	$N_{pl,Rd}$	=	3.503,85	[kN]	
	$M_{y,pl,Rd}$	=	439,22	[kNm]	
	V_{Rd}	=	643,79	[kN]	
Faktoren	n	=	0,104	[-]	
	a	=	0,235	[-]	
	QK	=	NEIN	[-]	
	$M_{Ny,Rd}$	=	439,22	[kNm]	
Nachweis		=	87,6%	[-]	

Tabelle 6.18

Berechnungstabelle NWV II System 5.1 Ort A

Nachweisverfahren III

Schnittkraftverlauf Stab 3 LK2

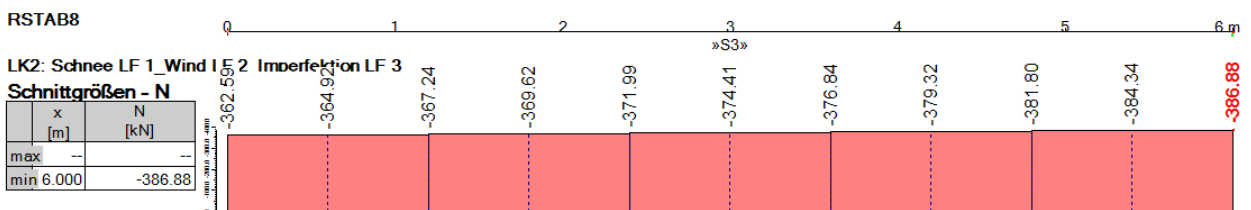
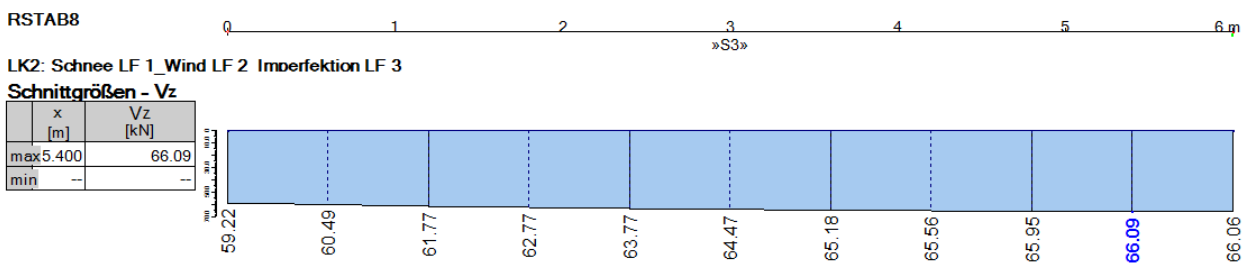
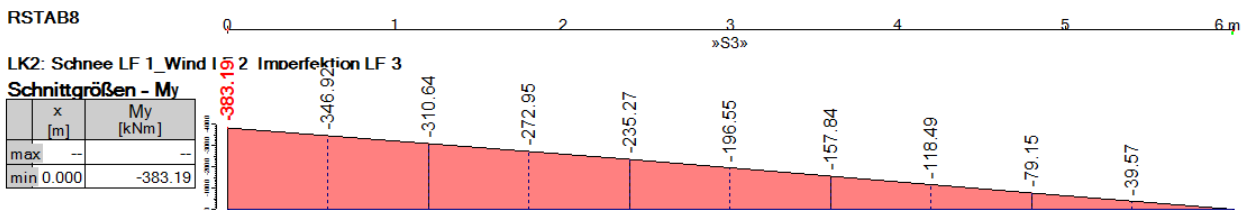
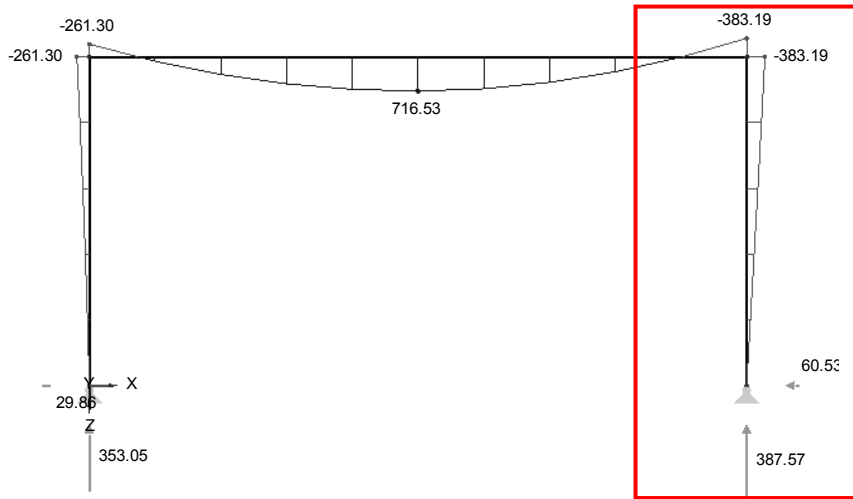


Bild 6.31 Schnittkraftverlauf NWV III System 5.1 Ort A

Stabilitätsnachweis und Querschnittsnachweis Stab 3

QS-WERTE			
$\gamma_M =$	γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}
	1,00	1,00	1,25 [-]
$f_y =$	23,50	[kN/cm ²]	
$E =$	21.000,00	[kN/cm ²]	
$\nu =$	0,30	[-]	
$G =$	8.076,92	[kN/cm ²]	
	HE-B 300	Profil	
Biegedrillknicken - Verfahren Anhang B - Alternative			
Eingangswerte	$N_{Ed} =$	-362,59	[kN]
	$V_{Ed} =$	59,22	[kN]
	$M_{y,Ed} =$	383,19	[kNm]
QS-Widerstände	$N_{pl,Rk} =$	3.503,85	[kN]
	$M_{y,pl,Rk} =$	439,22	[kNm]
	$V_{Rd} =$	643,79	[kN]
Knicklängen	$h =$	6,000	[m]
	$\beta =$	1,0	[-]
		y	z LT
	$L_{cr} =$	6,000	6,000 6,000 [m]
Knicklinien		y	z LT
	$\alpha =$	0,34	0,49 0,34 [-]
	$\lambda_1 =$	93,913	[-]
Verzweigungslasten		y	z
	$N_{cr} =$	14.487,59	4.928,80 [kN]
Schlankeitsgrade		y	z
	$\lambda =$	0,492	0,843 [-]
	$\Phi =$	0,671	1,013 [-]
	$\chi =$	0,888	0,635 [-]
	$k_P =$	0,734	[-]
	$\psi =$	0,000	[-]
	$k_c =$	0,752	[-]
	$\lambda_{LT} =$	0,465	[-]
	$\Phi_{LT} =$	0,592	[-]
	$\chi_{LT} =$	0,974	[-]
		f	χ_{LT} χ_{LTmod}
	$\chi_{LTmod} =$	0,904	0,974 1,000 [-]
Momentenbeiwerte	$M_h =$	383,19	[kNm]
	$M_s =$	196,55	[kNm]
	$\psi =$	0,0	[-]
	$\alpha_s =$	0,513	[-]
		y	LT
	$C_{my,LT} =$	0,610	0,610 [-]
Interaktionsbeiwerte	$k_{yy} =$	0,6311	[-]
	$k_{zy} =$	0,9548	[-]
Nachweise	$y =$	66,7%	[-] in der Ebene
	$z =$	99,6%	[-] aus der Ebene
QS-Nachweis - Stützenkopf			
Eingangswerte	$N_{Ed} =$	-362,59	[kN]
	$V_{Ed} =$	59,22	[kN]
	$M_{y,Ed} =$	383,19	[kNm]
QS-Widerstände	$N_{pl,Rd} =$	3.503,85	[kN]
	$M_{y,pl,Rd} =$	439,22	[kNm]
	$V_{Rd} =$	643,79	[kN]
Faktoren	$n =$	0,103	[-]
	$a =$	0,235	[-]
	Querkraft =	NEIN	[-]
	$M_{Ny,Rd} =$	439,22	[kNm]
Nachweis		87,2%	[-]

Tabelle 6.19

Berechnungstabelle NWV III System 5.1 Ort A

Nachweisverfahren IV

Schnittkraftverlauf Stab 3 LK2

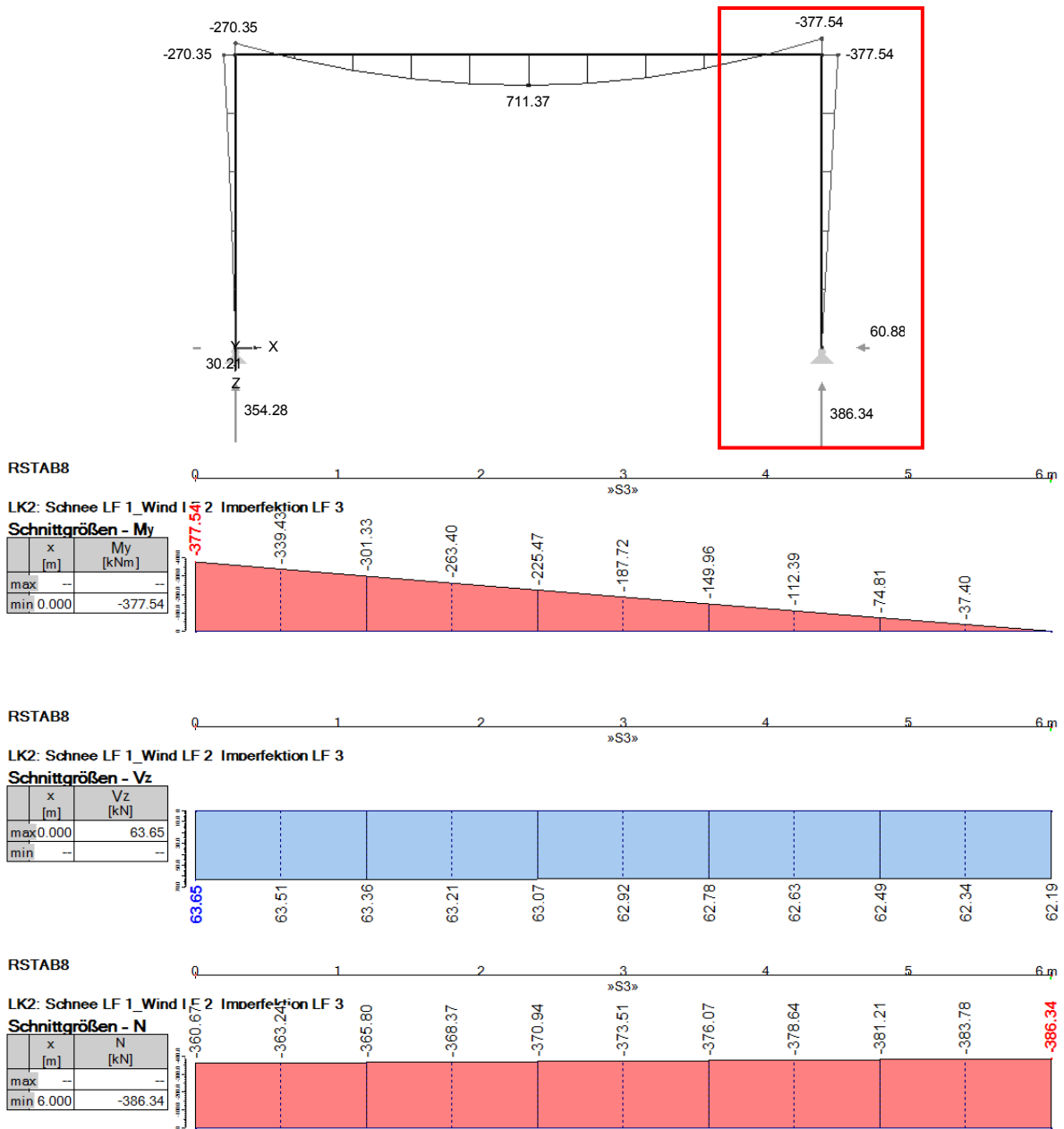


Bild 6.32 Schnittkraftverlauf NWV IV System 5.1 Ort A

Moment TH II O

$$\Delta M^I = \frac{M_{Re}^I - M_{Li}^I}{2} = \frac{377,54 - 270,35}{2} = 53,59 \text{ kNm} \quad (4.29)$$

$$\alpha_{cr} = 8,188$$

$$\Delta M^{II} = \Delta M^I * \frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}} = 53,59 * \frac{1}{1 - \frac{1}{8,188}} = 61,04 \text{ kNm} \quad (4.30)$$

$$M^{II} = \frac{M_{Re}^I + M_{Li}^I}{2} + \Delta M^{II} = \frac{377,54 + 270,35}{2} + 61,04 = 384,98 \text{ kNm} \quad (4.31)$$

Stabilitätsnachweis und Querschnittsnachweis Stab 3

QS-WERTE					
γ_M	=	γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}	[-]
		1,00	1,00	1,25	
f_y	=	23,50			[kN/cm ²]
E	=	21.000,00			[kN/cm ²]
ν	=	0,30			[-]
G	=	8.076,92			[kN/cm ²]
		HE-B 300	Profil		
Biegedrillknicken - Verfahren Anhang B - Alternative					
Eingangswerte		M^I	M^{II}		
N_{Ed}	=	-360,67			[kN]
V_{Ed}	=	63,65			[kN]
$M_{y,Ed}$	=	377,54	384,98		[kNm]
QS-Widerstände	$N_{pl,Rk}$	=	3.503,85		[kN]
	$M_{y,pl,Rk}$	=	439,22		[kNm]
	V_{Rd}	=	643,79		[kN]
Knicklängen	h	=	6,000		[m]
	β	=	2,177	1,0	[-]
			y	z	LT
	L_{cr}	=	13,062	6,000	6,000 [m]
Knicklinien			y	z	LT
	α	=	0,34	0,49	0,34 [-]
	λ_1	=	93,913		[-]
Verzweigungslasten			y	z	
	N_{cr}	=	3.056,89	4.928,80	[kN]
Schlankheitsgrade			y	z	
	λ	=	1,071	0,843	[-]
	Φ	=	1,221	1,013	[-]
	χ	=	0,553	0,635	[-]
	k_p	=	0,734		[-]
	ψ	=	0,0		[-]
	k_c	=	0,752		[-]
	λ_{LT}	=	0,465		[-]
	Φ_{LT}	=	0,592		[-]
	χ_{LT}	=	0,974		
			f	χ_{LT}	χ_{LTmod} [-]
	χ_{LTmod}	=	0,904	0,974	1,000 [-]
Momentenbeiwerte	M_h	=	377,54		[kNm]
	M_s	=	187,72		[kNm]
	ψ	=	0,0		[-]
	α_s	=	0,497		[-]
			y	LT	
	$C_{my,LT}$	=	0,900	0,598	[-]
Interaktionsbeiwerte	k_{yy}	=	1,0340		[-]
	k_{zy}	=	0,9534		[-]
Nachweis	y	=	107,5%		[-] in der Ebene M^I
	z	=	99,8%		[-] aus der Ebene M^{II}
QS-Nachweis - Stützenkopf					
Eingangswerte	N_{Ed}	=	-360,67		[kN]
	V_{Ed}	=	63,65		[kN]
	$M_{y,Ed}$	=	377,54		[kNm]
QS-Widerstände	$N_{pl,Rd}$	=	3.503,85		[kN]
	$M_{y,pl,Rd}$	=	439,22		[kNm]
	V_{Rd}	=	643,79		[kN]
Faktoren	n	=	0,103		[-]
	a	=	0,235		[-]
	Querkraft	=	NEIN		[-]
	$M_{Ny,Rd}$	=	439,22		[kNm]
Nachweis		=	86,0%		[-]

Tabelle 6.20

Berechnungstabelle NWV IV System 5.1 Ort A

6.9 System 6.2 Ort B

Systembeschreibung

Baustahl:	S355
Breite:	b=18,0m
Höhe:	h=8,0m
Achsabstand:	e=6,0m
Stützen:	HEB 450
Träger:	HEB 700
α_{cr} :	8,630

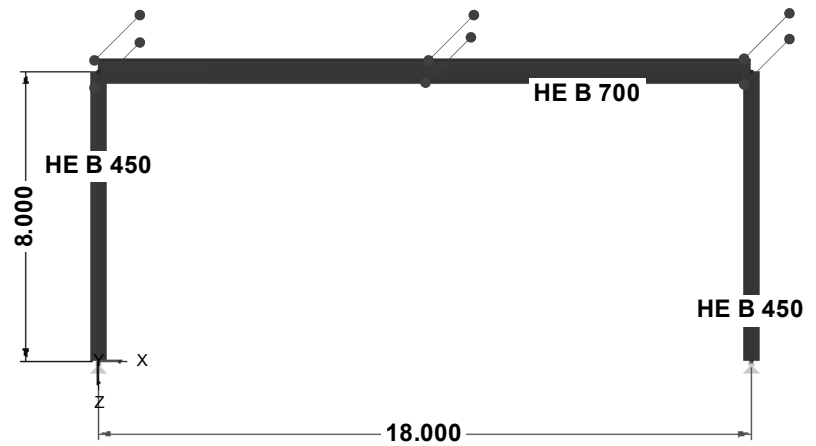
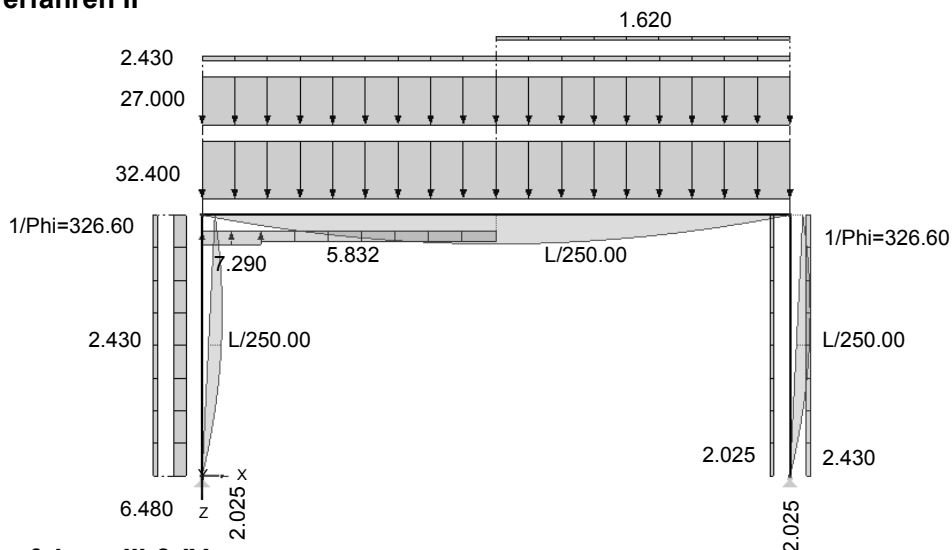


Bild 6.33 Systemskizze 6.2 Ort B

maßgebende Lastfallkombination LK2 [Lasten in kN/m]

Nachweisverfahren II



Nachweisverfahren III & IV

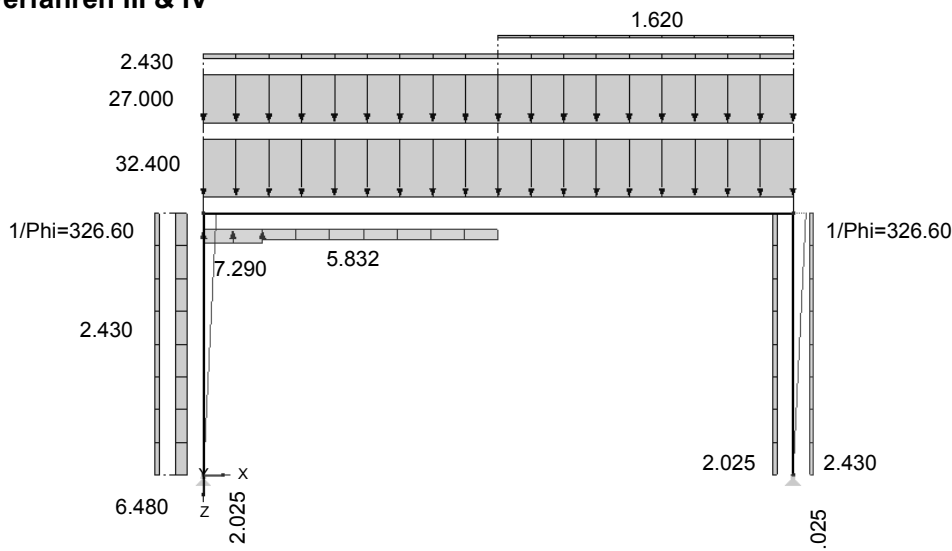


Bild 6.34 Lastfallkombinationen System 6.2 Ort B

Nachweisverfahren II

Schnittkraftverlauf Stab 3 LK2

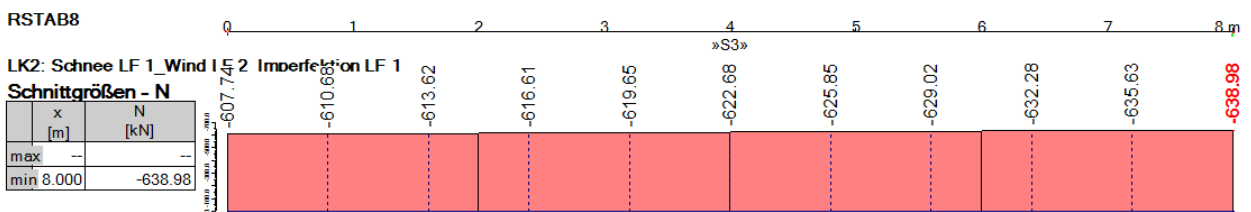
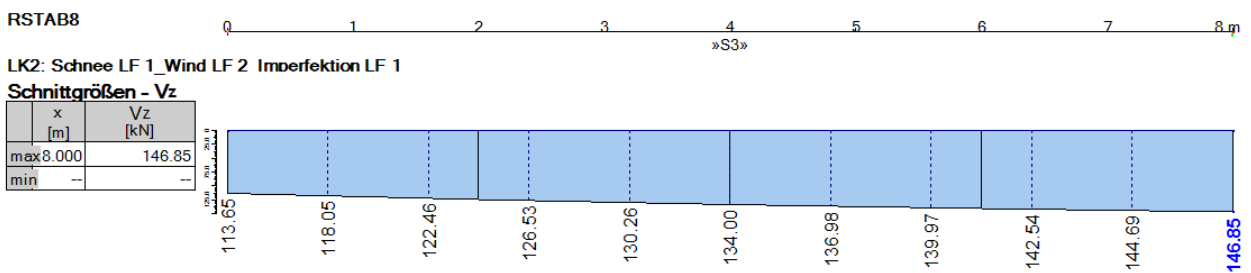
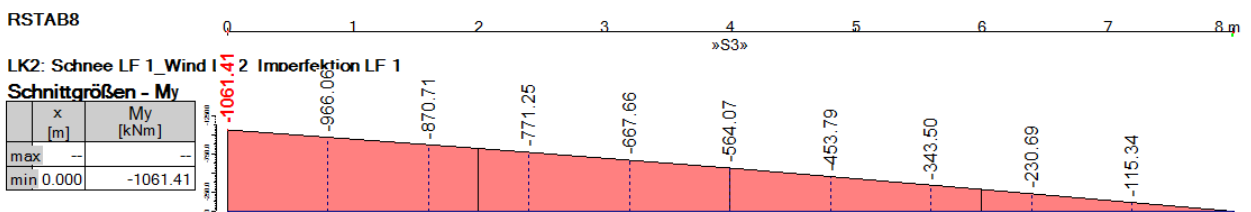
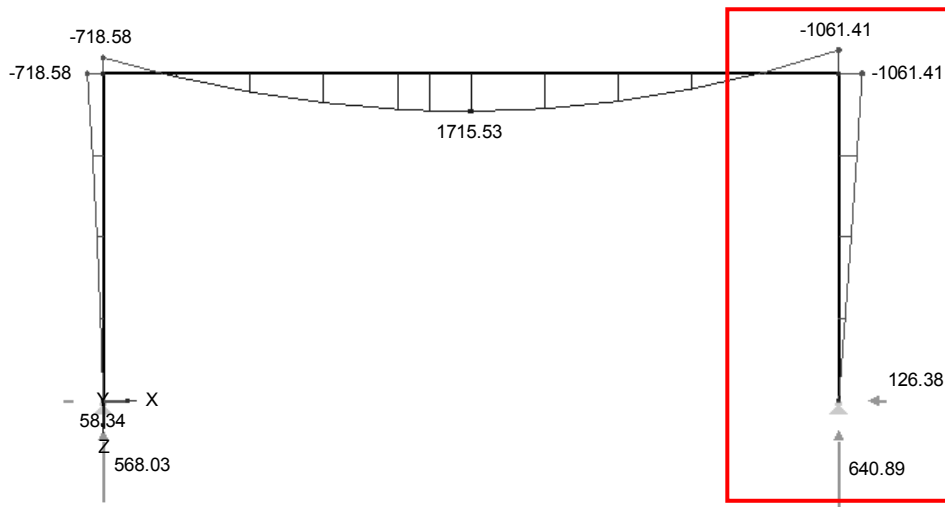


Bild 6.35 Schnittkraftverlauf NWV II System 6.2 Ort B

Stabilitätsnachweis und Querschnittsnachweis Stab 3

QS-WERTE					
γ_M	=	γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}	[-]
		1,00	1,00	1,25	
f_y	=	35,50	[kN/cm ²]		
E	=	21.000,00	[kN/cm ²]		
ν	=	0,30	[-]		
G	=	8.076,92	[kN/cm ²]		
		HE-B 450	Profil		
Biegedrillknicken - Verfahren Anhang B - Alternative					
Eingangswerte	N_{Ed}	=	-607,74	[kN]	
	V_{Ed}	=	113,65	[kN]	
	$M_{y,Ed}$	=	1.061,41	[kNm]	
QS-Widerstände	$N_{pl,Rk}$	=	7.739,00	[kN]	
	$M_{y,pl,Rk}$	=	1.413,61	[kNm]	
	V_{Rd}	=	1.633,12	[kN]	
Knicklängen			z	LT	
	L_{cr}	=	8,000	8,000	[m]
Knicklinien			z	LT	
	α	=	0,34	0,34	[-]
	λ_1	=	76,409	[-]	
Verzweigungslast	N_{crz}	=	3.795,48	[kN]	
Schlankheitsgrade	λ_z	=	1,428	[-]	
	Φ_z	=	1,728	[-]	
	χ_z	=	0,370	[-]	
	k_p	=	0,685	[-]	
	ψ	=	0,0	[-]	
	k_c	=	0,752	[-]	
	λ_{LT}	=	0,735	[-]	
	Φ_{LT}	=	0,760	[-]	
	χ_{LT}	=	0,852	[-]	
			f	χ_{LT}	χ_{LTmod}
	χ_{LTmod}	=	0,877	0,852	0,971
				[-]	
Momentenbeiwerte	M_h	=	1061,41	[kNm]	
	M_s	=	564,07	[kNm]	
	ψ	=	0,0	[-]	
	α_s	=	0,531	[-]	
	C_{mLT}	=	0,625	[-]	
Interaktionsbeiwerte	k_{zy}	=	0,9434	[-]	
Nachweis	z	=	94,1%	[-] aus der Ebene	
QS-Nachweis - Stützenkopf					
Eingangswerte	N_{Ed}	=	-607,74	[kN]	
	V_{Ed}	=	113,65	[kN]	
	$M_{y,Ed}$	=	1.061,41	[kNm]	
QS-Widerstände	$N_{pl,Rd}$	=	7.739,00	[kN]	
	$M_{y,pl,Rd}$	=	1.413,61	[kNm]	
	V_{Rd}	=	1.633,12	[kN]	
Faktoren	n	=	0,079	[-]	
	a	=	0,284	[-]	
	QK	=	NEIN	[-]	
	$M_{Ny,Rd}$	=	1413,61	[kNm]	
Nachweis			75,1%	[-]	

Tabelle 6.21 Berechnungstabelle NWV II System 6.2 Ort B

Nachweisverfahren III

Schnittkraftverlauf Stab 3 LK2

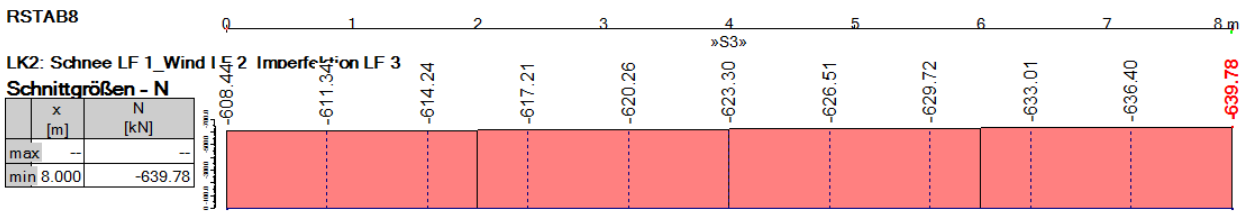
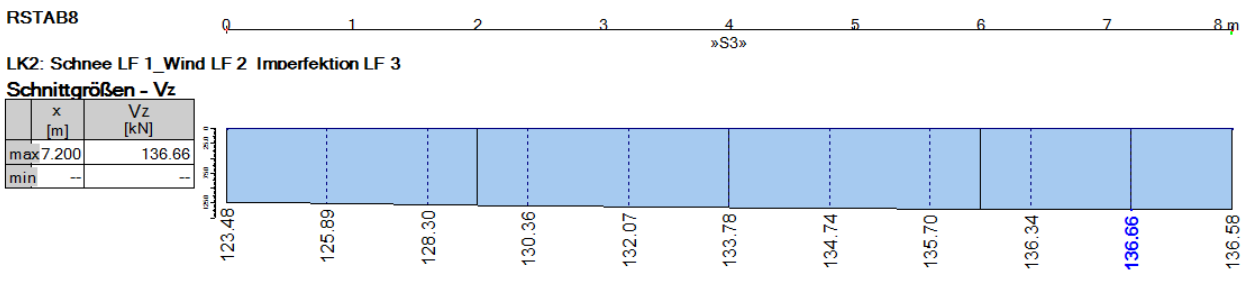
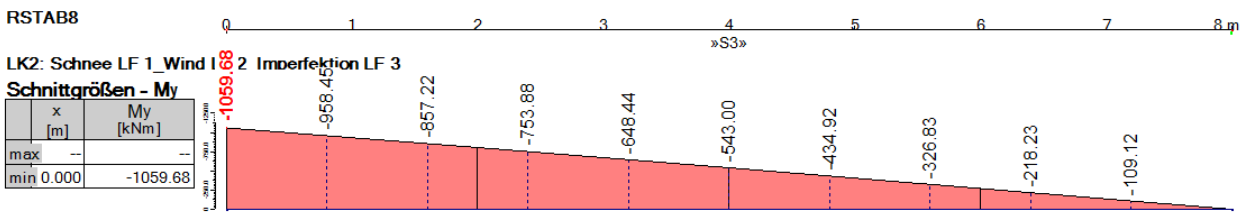
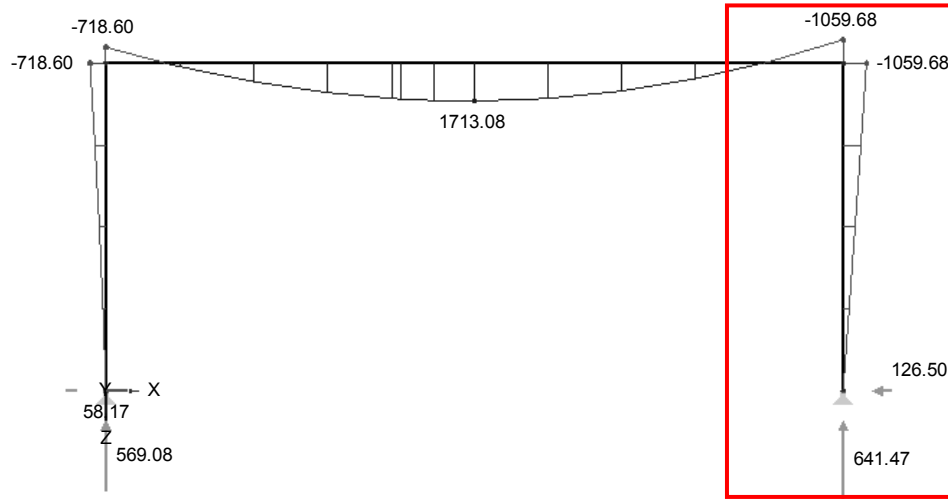


Bild 6.36 Schnittkraftverlauf NWV III System 6.2 Ort B

Stabilitätsnachweis und Querschnittsnachweis Stab 3

QS-WERTE					
γ_M	=	γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}	[-]
f_y	=	35,50	[kN/cm ²]		
E	=	21.000,00	[kN/cm ²]		
ν	=	0,30	[-]		
G	=	8.076,92	[kN/cm ²]		
		HE-B 450	Profil		
Biegedrillknicken - Verfahren Anhang B - Alternative					
Eingangswerte	N_{Ed}	=	-608,44	[kN]	
	V_{Ed}	=	123,48	[kN]	
	$M_{y,Ed}$	=	1.059,68	[kNm]	
QS-Widerstände	$N_{pl,Rk}$	=	7.739,00	[kN]	
	$M_{y,pl,Rk}$	=	1.413,61	[kNm]	
	V_{Rd}	=	1.633,12	[kN]	
Knicklängen	h	=	8,000	[m]	
	β	=	1,0	[-]	
			y	z	LT
	L_{cr}	=	8,000	8,000	8,000
Knicklinien			y	z	LT
	α	=	0,21	0,34	0,34
	λ_1	=	76,409	[-]	
Verzweigungslasten			y	z	
	N_{cr}	=	25.870,79	3.795,48	[kN]
Schlankeitsgrade			y	z	
	λ	=	0,547	1,428	[-]
	Φ	=	0,686	1,728	[-]
	χ	=	0,909	0,370	[-]
	k_P	=	0,685	[-]	
	ψ	=	0,000	[-]	
	k_c	=	0,752	[-]	
	λ_{LT}	=	0,735	[-]	
	Φ_{LT}	=	0,760	[-]	
	χ_{LT}	=	0,852	[-]	
			f	χ_{LT}	χ_{LTmod}
	χ_{LTmod}	=	0,877	0,852	0,971
Momentenbeiwerte	M_h	=	1059,68	[kNm]	
	M_s	=	543,00	[kNm]	
	ψ	=	0,0	[-]	
	α_s	=	0,512	[-]	
			y	LT	
	$C_{my,LT}$	=	0,610	0,610	[-]
Interaktionsbeiwerte	k_{yy}	=	0,6282	[-]	
	k_{zy}	=	0,9410	[-]	
Nachweise	y	=	57,1%	[-]	in der Ebene
	z	=	93,9%	[-]	aus der Ebene
QS-Nachweis - Stützenkopf					
Eingangswerte	N_{Ed}	=	-608,44	[kN]	
	V_{Ed}	=	123,48	[kN]	
	$M_{y,Ed}$	=	1.059,68	[kNm]	
QS-Widerstände	$N_{pl,Rd}$	=	7.739,00	[kN]	
	$M_{y,pl,Rd}$	=	1.413,61	[kNm]	
	V_{Rd}	=	1.633,12	[kN]	
Faktoren	n	=	0,079	[-]	
	a	=	0,284	[-]	
	Querkraft	=	NEIN	[-]	
	$M_{Ny,Rd}$	=	1413,61	[kNm]	
Nachweis		=	75,0%	[-]	

Tabelle 6.22

Berechnungstabelle NWV III System 6.2 Ort B

Nachweisverfahren IV

Schnittkraftverlauf Stab 3 LK2

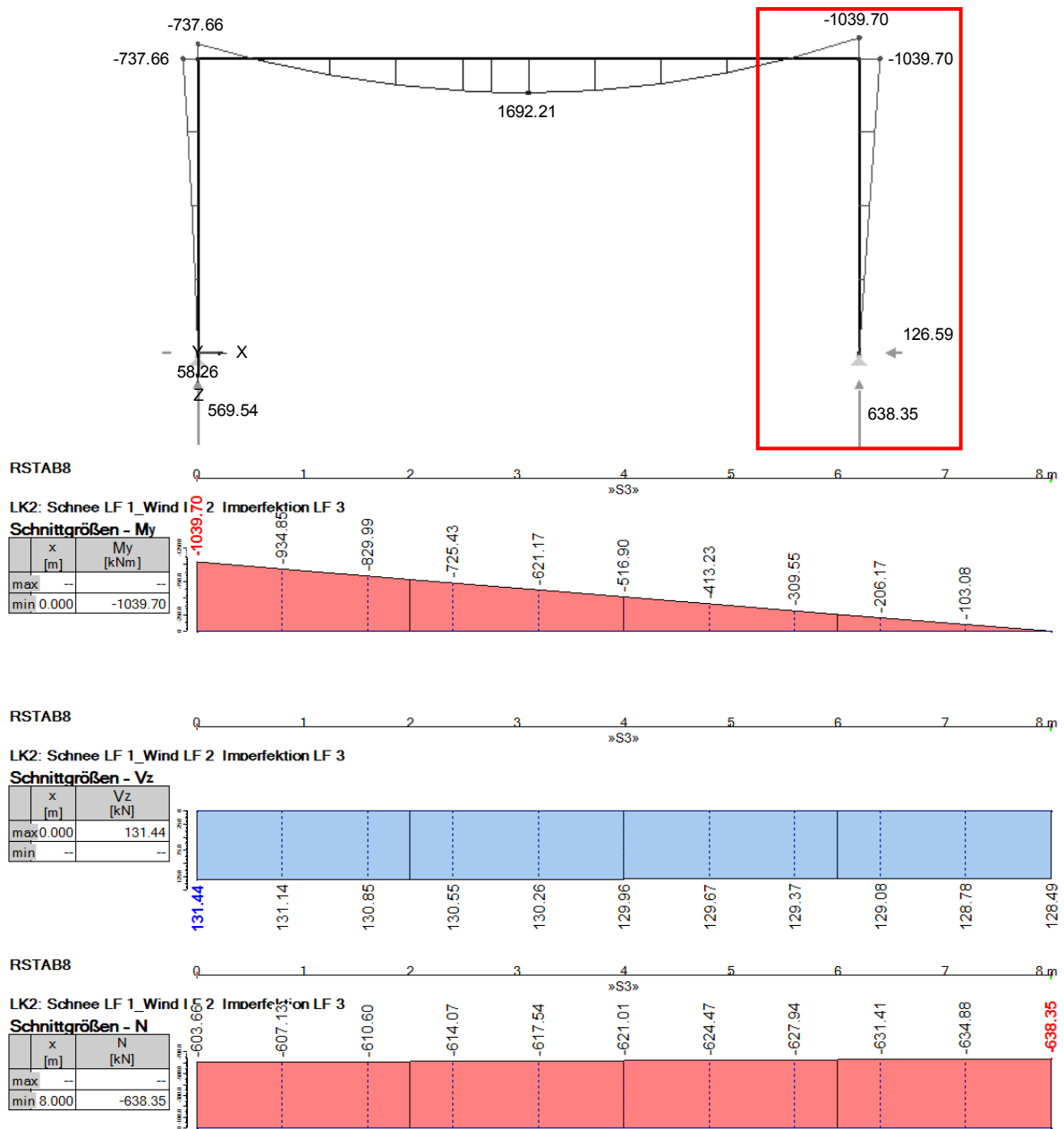


Bild 6.37 Schnittkraftverlauf NWV IV System 6.2 Ort B

Moment TH II O

$$\Delta M^I = \frac{M_{Re}^I - M_{Li}^I}{2} = \frac{1039,7 - 737,66}{2} = 151,02 \text{ kNm} \quad (4.32)$$

$$\alpha_{cr} = 8,630$$

$$\Delta M^{II} = \Delta M^I * \frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}} = 151,02 * \frac{1}{1 - \frac{1}{8,630}} = 170,81 \text{ kNm} \quad (4.33)$$

$$M^{II} = \frac{M_{Re}^I + M_{Li}^I}{2} + \Delta M^{II} = \frac{1039,7 + 737,66}{2} + 170,81 = 1059,49 \text{ kNm} \quad (4.34)$$

Stabilitätsnachweis und Querschnittsnachweis Stab 3

QS-WERTE				
γ_M	=	γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2} [-]
		1,00	1,00	1,25 [-]
f_y	=	35,50	[kN/cm ²]	
E	=	21.000,00	[kN/cm ²]	
ν	=	0,30	[-]	
G	=	8.076,92	[kN/cm ²]	
		HE-B 450	Profil	
Biegedrillknicken - Verfahren Anhang B - Alternative				
Eingangswerte		M^I	M^{II}	
N_{Ed}	=	-603,66		[kN]
V_{Ed}	=	131,44		[kN]
$M_{y,Ed}$	=	1.039,70	1.059,49	[kNm]
QS-Widerstände	$N_{pl,Rk}$	=	7.739,00	[kN]
	$M_{y,pl,Rk}$	=	1.413,61	[kNm]
	V_{Rd}	=	1.633,12	[kN]
Knicklängen	h	=	8,000	[m]
	β	=	2,197	
			1,0	[-]
		y	z	LT
	L_{cr}	=	17,576	8,000
			8,000	[m]
Knicklinien		y	z	LT
	α	=	0,21	0,34
			0,34	[-]
	λ_1	=	76,409	[-]
Verzweigungslasten		y	z	
	N_{cr}	=	5.359,81	3.795,48
				[kN]
Schlankheitsgrade		y	z	
	λ	=	1,202	1,428
				[-]
	Φ	=	1,327	1,728
				[-]
	χ	=	0,529	0,370
				[-]
	k_p	=	0,685	[-]
	ψ	=	0,0	[-]
	k_c	=	0,752	[-]
	λ_{LT}	=	0,735	[-]
	Φ_{LT}	=	0,760	[-]
	χ_{LT}	=	0,852	
		f	χ_{LT}	χ_{LTmod} [-]
	χ_{LTmod}	=	0,877	0,852
				0,971
				[-]
Momentenbeiwerte	M_h	=	1039,70	[kNm]
	M_s	=	516,90	[kNm]
	ψ	=	0,0	[-]
	α_s	=	0,497	[-]
		y	z	LT
	$C_{my,LT}$	=	0,900	0,598
				[-]
Interaktionsbeiwerte	k_{yy}	=	1,0062	[-]
	k_{zy}	=	0,9394	[-]
Nachweis	y	=	90,9%	[-] in der Ebene M^I
	z	=	93,6%	[-] aus der Ebene M^{II}
QS-Nachweis - Stützenkopf				
Eingangswerte	N_{Ed}	=	-603,66	[kN]
	V_{Ed}	=	131,44	[kN]
	$M_{y,Ed}$	=	1.039,70	[kNm]
QS-Widerstände	$N_{pl,Rd}$	=	7.739,00	[kN]
	$M_{y,pl,Rd}$	=	1.413,61	[kNm]
	V_{Rd}	=	1.633,12	[kN]
Faktoren	n	=	0,078	[-]
	a	=	0,284	[-]
	Querkraft	=	NEIN	[-]
	$M_{Ny,Rd}$	=	1413,61	[kNm]
Nachweis		=	73,5%	[-]

Tabelle 6.23

Berechnungstabelle NWV IV System 6.2 Ort B

A Anhang A Lasten

Der folgende Anhang beschäftigt sich mit der Lastaufstellung der einzelnen Systeme. Dies beinhaltet: Eigengewichte, Standortabhängige Schneelasten bzw. Windlasten und Imperfektionen der entsprechenden Nachweisverfahren.

Im Anschluss werden die Lastfallkombinationen der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit gebildet und in Tabellenform dargestellt. Diese dienen als Vorlage für die händische Lastfallkombination im Rechenprogramm.

Als letztes werden die maßgebenden Lastfallkombinationen die sich anhand der computergestützten Rechnung der verschiedenen Systeme ergeben dargestellt.

A.1 Lastaufstellung

A.1.1 Eigengewicht

A.1.1.1 Dachkonstruktion leicht

Abdichtungsoberlage:	0,06kN/m ²
Trennlage:	0,002kN/m ²
Wärmedämmung:	0,038kN/m ²
Dampfsperre:	0,005kN/m ²
Trapezblech: T 150.1 t _N =1,5mm	0,250kN/m ²
Pfetten:	<u>0,145kN/m²</u>
	0,50kN/m²*e [m]=.....kN/m

A.1.1.2 Dachkonstruktion schwer

Kiesschüttung t=10cm:	0,15kN/m ²
2x Bituminöse Abdichtung:	0,08kN/m ²
Wärmedämmung t=5cm:	0,02kN/m ²
Hohldielen:	<u>3,75kN/m²</u>
	4,00kN/m²*e[m]=.....kN/m

A.1.2 Schneelasten

Die Berechnung der Schneelasten erfolgt nach:

EN 1991-1-3 Eurocode 1–Einwirkungen auf Tragwerke
Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen, Schneelasten

Bei den Satteldachsystemen gibt es einen symmetrischen Lastfall und zwei antimetrische was zu einer Anzahl von drei Lastfällen (A.2.1.1) führt.

Die Flachdachsysteme besitzen lediglich einen Schnellastfall, den der Vollbelastung (A.2.2.1)

A.1.2.1 Schneelast Ort A

Lastzone:	2
Dachneigung:	15°
Umgebungskoeffizient:	$c_e = 1,0$
Temperaturkoeffizient:	$c_t = 1,0$
Formbeiwert für Schneelasten:	$\mu_1 = 0,8$
Charakteristischer Wert:	$s_{kA} = 1,25 \text{ kN/m}^2$

$$s_{Ak} = s_{kA} * c_e * c_t * \mu_1 = 1,25 * 1,0 * 1,0 * 0,8 = \mathbf{1,00 \text{ kN/m}^2} * e = \dots, \dots \text{ kN/m}$$

A.1.2.2 Schneelast Ort B

Lastzone:	4
Dachneigung:	15°
Umgebungskoeffizient:	$c_e = 1,0$
Temperaturkoeffizient:	$c_t = 1,0$
Formbeiwert für Schneelasten:	$\mu_1 = 0,8$
Charakteristischer Wert:	$s_{kB} = 3,75 \text{ kN/m}^2$

$$s_{Bk} = s_{kB} * c_e * c_t * \mu_1 = 3,75 * 1,0 * 1,0 * 0,8 = \mathbf{3,00 \text{ kN/m}^2} * e = \dots, \dots \text{ kN/m}$$

A.1.3 Windlasten

Die Berechnung der Windlasten erfolgt nach:

EN 1991-1-4 Eurocode 1–Einwirkungen auf Tragwerke
Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen, Windlasten

A.1.3.1 Windlast Ort A

Allgemein:

Geländekategorie:		IV
Basiswindgeschwindigkeit:		$v_{b,0} = 27,78 \text{ m/s}$ (100km/h)
Basisdruck:		$q_{b,0} = 0,483 \text{ kN/m}^2$
Gebäudehöhen:	System 1.1	7,60m
	System 1.2	8,40m
	System 1.3	9,20m
	System 2.1	9,60m
	System 2.2	10,40m
	System 2.3	11,20m
	Systeme 3 & 5	6,0m
	Systeme 4 & 6	8,0m

Windgeschwindigkeit und Geschwindigkeitsdruck:

Beiwerte:

Basisgeschwindigkeitswerte: c_{dir} und c_{season} sind lt. österreichischen NAD 1,0

Bauhöhe: $z < 15,0\text{m}$

Geländekategorie IV: $z_{min} = 15,0\text{m}$

$$c_{e(z)} = \frac{q_p}{q_b} = 1,20 * \left(\frac{z}{10}\right)^{0,38} = 1,20 * \left(\frac{15,0}{10}\right)^{0,38} = 1,40$$

$$c_{r(z)}^2 = 0,263 * \left(\frac{z}{10}\right)^{0,64} = 0,263 * \left(\frac{15,0}{10}\right)^{0,64} = 0,34$$

Basisgeschwindigkeit:

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} = 1,0 * 1,0 * 27,78 = 27,78 \text{ m/s}$$

Basisdruck:

$$q_b = c_{dir} * c_{season} * q_{b,0} = 1,0 * 1,0 * 0,483 = 0,483 \text{ m/s}$$

Mittlerer Winddruck:

$$q_{m(z)} = c_{r(z)}^2 * q_b = 0,34 * 0,483 = 0,165 \text{ kN/m}^2$$

Böengeschwindigkeitsdruck:

$$q_{p(z)} = c_{e(z)} * q_b = 1,40 * 0,483 = 0,676 \text{ kN/m}^2$$

Außendruckbeiwert:

$$A > 10 \text{ m}^2 \rightarrow c_{pe}, 10$$

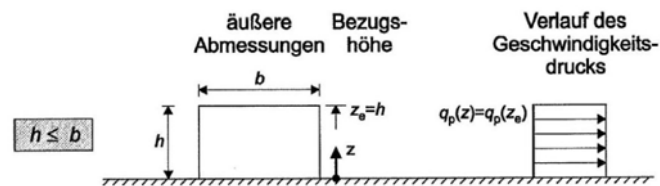
Geschwindigkeitsdruckverlauf:

Konstanter Verlauf:

$$h \leq b$$

$$z_e = h$$

$$q_{b(z)} = q_{b(z_e)}$$

Bild A.38 Bezugshöhe z_e in Abhängigkeit von h und b und Winddruckverteilung_Ort A²⁴

²⁴ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 34

A.1.3.2 Windlast Ort B

Allgemein:

Geländekategorie:		II
Basiswindgeschwindigkeit:		$v_{b,0} = 34,72 \text{ m/s}$ (125km/h)
Basisdruck:		$q_{b,0} = 0,753 \text{ kN/m}^2$
Gebäudehöhen:	System 1.1	7,60m
	System 1.2	8,40m
	System 1.3	9,20m
	System 2.1	9,60m
	System 2.2	10,40m
	System 2.3	11,20m
	Systeme 3 & 5	6,0m
	Systeme 4 & 6	8,0m

Windgeschwindigkeit und Geschwindigkeitsdruck:

Beiwerte:

Basisgeschwindigkeitswerte: c_{dir} und c_{season} sind lt. österreichischen NAD 1,0

Basisgeschwindigkeit:

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} = 1,0 * 1,0 * 34,72 = 34,72 \text{ m/s}$$

Basisdruck:

$$q_b = c_{dir} * c_{season} * q_{b,0} = 1,0 * 1,0 * 0,753 = 0,753 \text{ m/s}$$

Außendruckbeiwert:

$$A > 10 \text{ m}^2 \rightarrow c_{pe}, 10$$

Geschwindigkeitsdruckverlauf: Konstanter Verlauf:

$$h \leq b$$

$$z_e = h$$

$$q_{b(z)} = q_{b(z_e)}$$

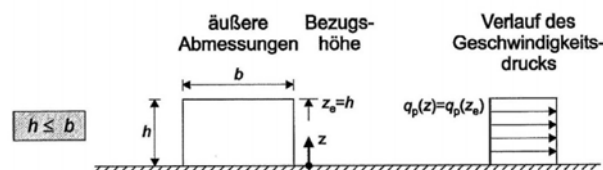


Bild A.39 Bezugshöhe z_e in Abhängigkeit von h und b und Winddruckverteilung_ORT B²⁵

²⁵ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 34

System 1.1 h=7,60mBauhöhe: $z = 7,60m$ Geländekategorie IV: $z_{\min} = 5,0m$

$$c_{e(z)} = \frac{q_p}{q_b} = 2,10 * \left(\frac{z}{10}\right)^{0,24} = 2,10 \left(\frac{7,60}{10}\right)^{0,24} = 1,97$$

$$c_{r(z)}^2 = \left(\frac{z}{10}\right)^{0,30} = \left(\frac{7,60}{10}\right)^{0,30} = 0,92$$

Mittlerer Winddruck:

$$q_{m(z)} = c_{r(z)}^2 * q_b = 0,92 * 0,753 = 0,694kN/m^2$$

Böengeschwindigkeitsdruck:

$$q_{p(z)} = c_{e(z)} * q_b = 1,97 * 0,753 = 1,481kN/m^2$$

System 1.2 h=8,40mBauhöhe: $z = 8,40m$ Geländekategorie IV: $z_{\min} = 5,0m$

$$c_{e(z)} = \frac{q_p}{q_b} = 2,10 * \left(\frac{z}{10}\right)^{0,24} = 2,10 \left(\frac{8,40}{10}\right)^{0,24} = 2,01$$

$$c_{r(z)}^2 = \left(\frac{z}{10}\right)^{0,30} = \left(\frac{8,40}{10}\right)^{0,30} = 0,95$$

Mittlerer Winddruck:

$$q_{m(z)} = c_{r(z)}^2 * q_b = 0,95 * 0,753 = 0,715kN/m^2$$

Böengeschwindigkeitsdruck:

$$q_{p(z)} = c_{e(z)} * q_b = 2,01 * 0,753 = 1,517kN/m^2$$

System 1.3 h=9,20mBauhöhe: $z = 9,20m$ Geländekategorie IV: $z_{\min} = 5,0m$

$$c_{e(z)} = \frac{q_p}{q_b} = 2,10 * \left(\frac{z}{10}\right)^{0,24} = 2,10 \left(\frac{9,20}{10}\right)^{0,24} = 2,06$$

$$c_{r(z)}^2 = \left(\frac{z}{10}\right)^{0,30} = \left(\frac{9,20}{10}\right)^{0,30} = 0,975$$

Mittlerer Winddruck:

$$q_{m(z)} = c_{r(z)}^2 * q_b = 0,975 * 0,753 = 0,735kN/m^2$$

Böengeschwindigkeitsdruck:

$$q_{p(z)} = c_{e(z)} * q_b = 2,06 * 0,753 = 1,551kN/m^2$$

System 2.1 h=9,60mBauhöhe: $z = 9,60m$ Geländekategorie IV: $z_{\min} = 5,0m$

$$c_{e(z)} = \frac{q_p}{q_b} = 2,10 * \left(\frac{z}{10}\right)^{0,24} = 2,10 \left(\frac{9,60}{10}\right)^{0,24} = 2,08$$

$$c_{r(z)}^2 = \left(\frac{z}{10}\right)^{0,30} = \left(\frac{9,60}{10}\right)^{0,30} = 0,99$$

Mittlerer Winddruck:

$$q_{m(z)} = c_{r(z)}^2 * q_b = 0,99 * 0,753 = 0,744kN/m^2$$

Böengeschwindigkeitsdruck:

$$q_{p(z)} = c_{e(z)} * q_b = 2,08 * 0,753 = 1,567kN/m^2$$

System 2.2 h=10,40mBauhöhe: $z = 10,40m$ Geländekategorie IV: $z_{\min} = 5,0m$

$$c_{e(z)} = \frac{q_p}{q_b} = 2,10 * \left(\frac{z}{10}\right)^{0,24} = 2,10 \left(\frac{10,40}{10}\right)^{0,24} = 2,12$$

$$c_{r(z)}^2 = \left(\frac{z}{10}\right)^{0,30} = \left(\frac{10,40}{10}\right)^{0,30} = 1,01$$

Mittlerer Winddruck:

$$q_{m(z)} = c_{r(z)}^2 * q_b = 1,01 * 0,753 = 0,762kN/m^2$$

Böengeschwindigkeitsdruck:

$$q_{p(z)} = c_{e(z)} * q_b = 2,12 * 0,753 = 1,597kN/m^2$$

System 2.3 h=11,20mBauhöhe: $z = 11,20m$ Geländekategorie IV: $z_{\min} = 5,0m$

$$c_{e(z)} = \frac{q_p}{q_b} = 2,10 * \left(\frac{z}{10}\right)^{0,24} = 2,10 \left(\frac{11,20}{10}\right)^{0,24} = 2,16$$

$$c_{r(z)}^2 = \left(\frac{z}{10}\right)^{0,30} = \left(\frac{11,20}{10}\right)^{0,30} = 1,03$$

Mittlerer Winddruck:

$$q_{m(z)} = c_{r(z)}^2 * q_b = 1,03 * 0,753 = 0,779kN/m^2$$

Böengeschwindigkeitsdruck:

$$q_{p(z)} = c_{e(z)} * q_b = 2,16 * 0,753 = 1,626kN/m^2$$

Systeme 3 & 5 h=6,0mBauhöhe: $z = 6,0m$ Geländekategorie IV: $z_{\min} = 5,0m$

$$c_{e(z)} = \frac{q_p}{q_b} = 2,10 * \left(\frac{z}{10}\right)^{0,24} = 2,10 \left(\frac{6,0}{10}\right)^{0,24} = 1,86$$

$$c_{r(z)}^2 = \left(\frac{z}{10}\right)^{0,30} = \left(\frac{6,0}{10}\right)^{0,30} = 0,86$$

Mittlerer Winddruck:

$$q_{m(z)} = c_{r(z)}^2 * q_b = 0,86 * 0,753 = 0,646kN/m^2$$

Böengeschwindigkeitsdruck:

$$q_{p(z)} = c_{e(z)} * q_b = 1,86 * 0,753 = 1,400kN/m^2$$

Systeme 4 & 6 h=8,0mBauhöhe: $z = 8,0m$ Geländekategorie IV: $z_{\min} = 5,0m$

$$c_{e(z)} = \frac{q_p}{q_b} = 2,10 * \left(\frac{z}{10}\right)^{0,24} = 2,10 \left(\frac{8,0}{10}\right)^{0,24} = 1,99$$

$$c_{r(z)}^2 = \left(\frac{z}{10}\right)^{0,30} = \left(\frac{8,0}{10}\right)^{0,30} = 0,94$$

Mittlerer Winddruck:

$$q_{m(z)} = c_{r(z)}^2 * q_b = 0,94 * 0,753 = 0,705kN/m^2$$

Böengeschwindigkeitsdruck:

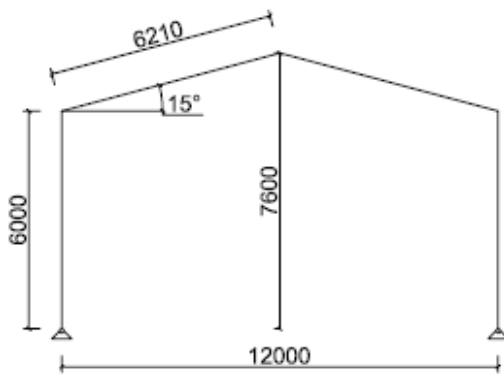
$$q_{p(z)} = c_{e(z)} * q_b = 1,99 * 0,753 = 1,500kN/m^2$$

A.1.3.3 Geometrischen Randbedingungen - Windeinwirkung auf die Breitseite:Innendruckbeiwerte:

$$c_{p,i} = +0,2 \text{ kN/m}^2 \text{ (nach außen gerichtet - Druck)}$$

$$c_{p,i} = -0,3 \text{ kN/m}^2 \text{ (nach innen gerichtet - Sog)}$$

Außendruckbeiwerte für die Breitseite: System 1.1



$d = 12,0m$
 $h = 7,60m$
 $b = 76,0m$

$e = b$ oder $2h$ (der kleinere Wert ist maßgebend)

$e = 15,2m$
 $b = 76,0m$
 $d = 12,0m$

gewählte Ansicht: $e \geq d$ $\frac{e}{5} = 3,04m$

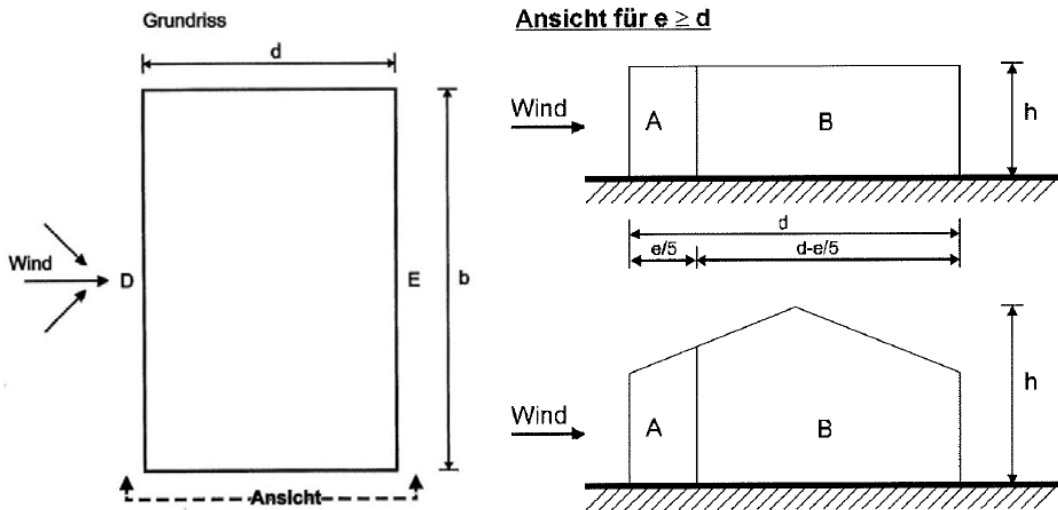


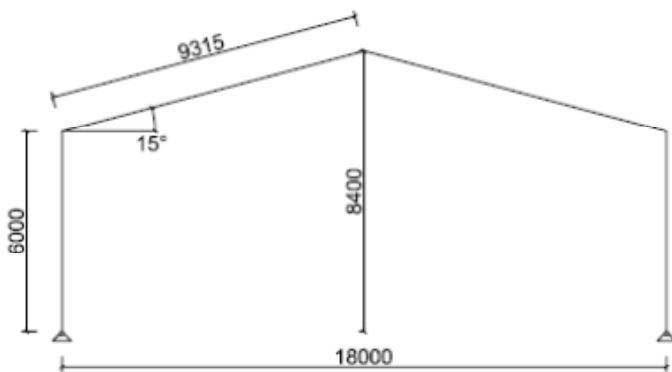
Bild A.40 Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Breitseite System 1.1²⁶

$h/b = 7,60/76,0 = 0,100$

$d/b = 12,0/76,0 = 0,158$

Bereich A	$C_{pe,10} = -1,00$
Bereich B	$C_{pe,10} = -0,70$
Bereich D	$C_{pe,10} = +0,80$
Bereich E	$C_{pe,10} = -0,25$

²⁶ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 35

Außendruckbeiwerte für die Breitseite: System 1.2

$$d = 18,0m$$

$$h = 8,40m$$

$$b = 84,0m$$

$e = b$ oder $2h$ (der kleinere Wert ist maßgebend)

$$\left. \begin{array}{l} e = 16,8m \\ b = 8,0m \\ d = 18,0m \end{array} \right\} \text{gewählte Ansicht: } e < d \quad \frac{e}{5} = 3,36m$$

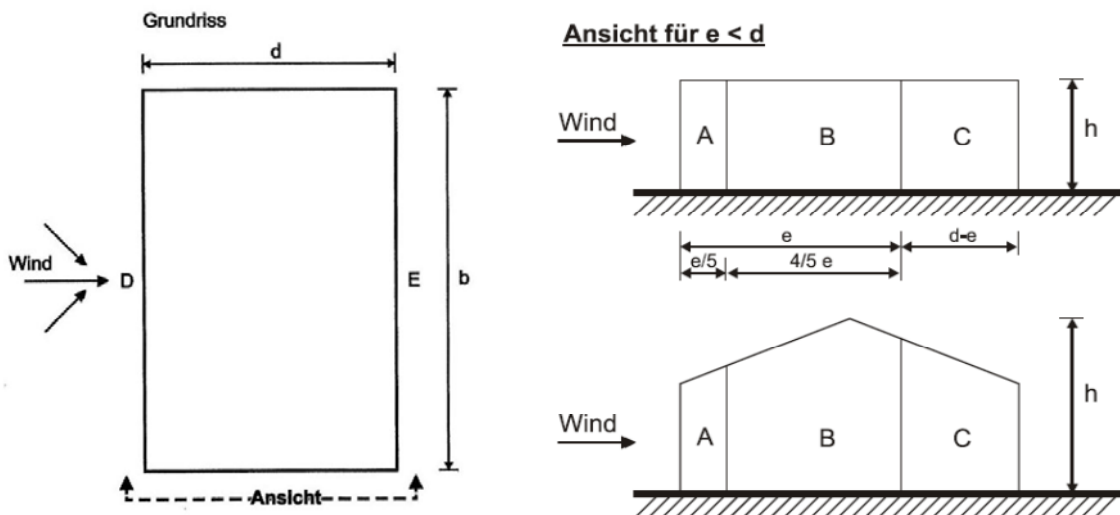


Bild A.41 Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Breitseite_System 1.2²⁷

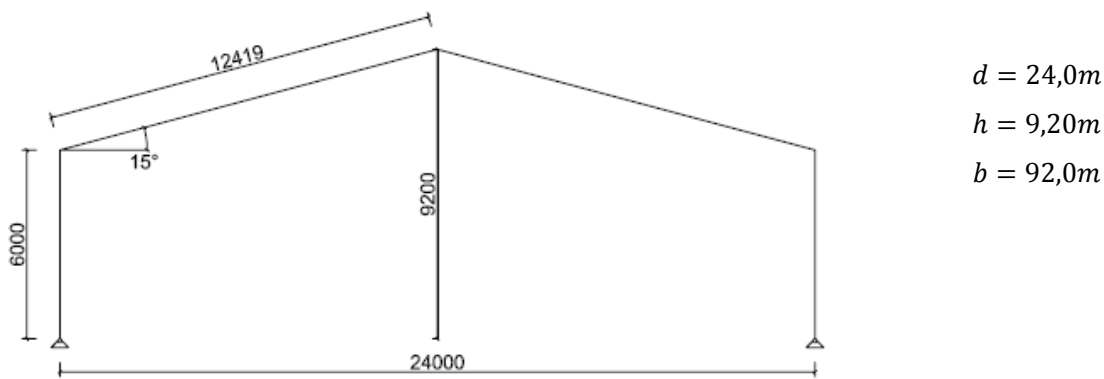
$$h/b = 8,40/8,0 = 0,100$$

$$d/b = 18,0/8,0 = 0,214$$

Bereich A	$C_{pe,10} = -1,00$
Bereich B	$C_{pe,10} = -0,70$
Bereich C	$C_{pe,10} = -0,40$
Bereich D	$C_{pe,10} = +0,80$
Bereich E	$C_{pe,10} = -0,253$

²⁷ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 35

Außendruckbeiwerte für die Breitseite: System 1.3



$e = b$ oder $2h$ (der kleinere Wert ist maßgebend)

$$\left. \begin{matrix} e = 18,40m \\ b = 92,0m \\ d = 24,0m \end{matrix} \right\} \text{gewählte Ansicht: } e < d \quad \frac{e}{5} = 3,68m$$

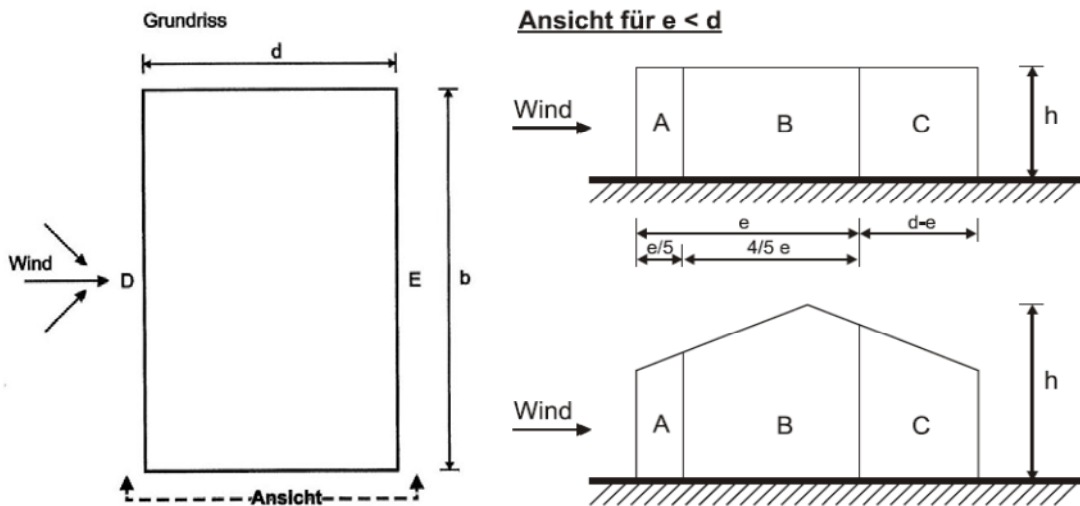


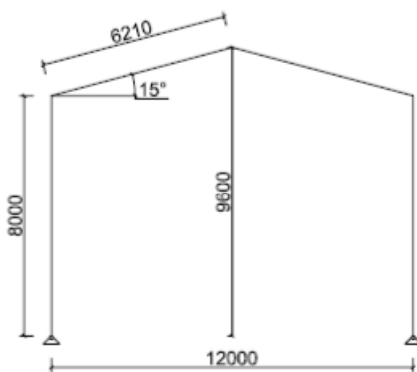
Bild A.42 Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Breitseite_System 1.3²⁸

$$h/b = 9,20/92,0 = 0,1005$$

$$d/b = 24,0/92,0 = 0,261$$

Bereich A	$C_{pe,10} = -1,00$
Bereich B	$C_{pe,10} = -0,70$
Bereich C	$C_{pe,10} = -0,40$
Bereich D	$C_{pe,10} = +0,80$
Bereich E	$C_{pe,10} = -0,262$

²⁸ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 35

Außendruckbeiwerte für die Breitseite: System 2.1

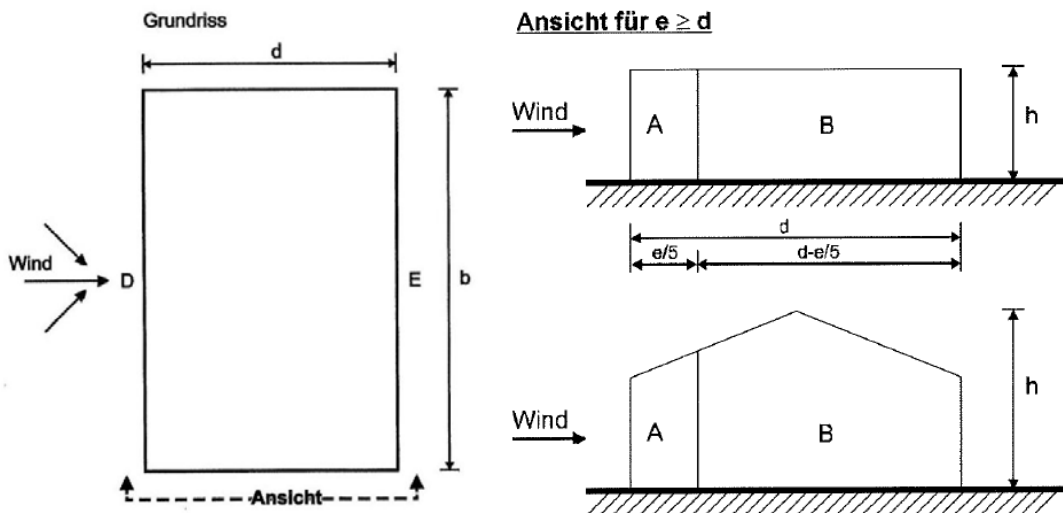
$$d = 12,0m$$

$$h = 9,60m$$

$$b = 96,0m$$

$$e = b \text{ oder } 2h \text{ (der kleinere Wert ist maßgebend)}$$

$$\left. \begin{array}{l} e = 19,20m \\ b = 96,0m \\ d = 12,0m \end{array} \right\} \text{gewählte Ansicht: } e \geq d \quad \frac{e}{5} = 3,84m$$

Bild A.43 Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Breitseite_System 2.1²⁹

$$h/b = 9,60/96,0 = 0,100$$

$$d/b = 12,0/96,0 = 0,125$$

Bereich A $C_{pe,10} = -1,00$

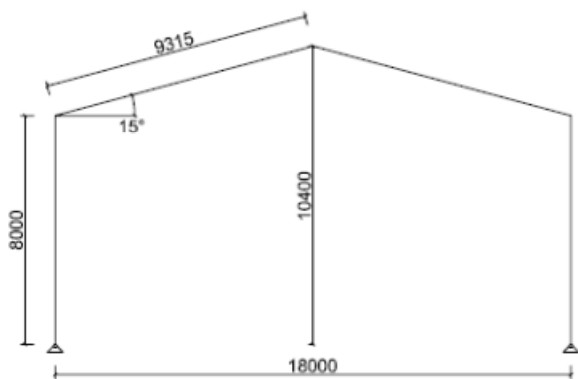
Bereich B $C_{pe,10} = -0,70$

Bereich D $C_{pe,10} = +0,80$

Bereich E $C_{pe,10} = -0,25$

²⁹ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 35

Außendruckbeiwerte für die Breitseite: System 2.2



$d = 18,0m$
 $h = 10,40m$
 $b = 104,0m$

$e = b$ oder $2h$ (der kleinere Wert ist maßgebend)

$e = 20,80m$
 $b = 104,0m$
 $d = 18,0m$

gewählte Ansicht: $e \geq d$ $\frac{e}{5} = 4,16m$

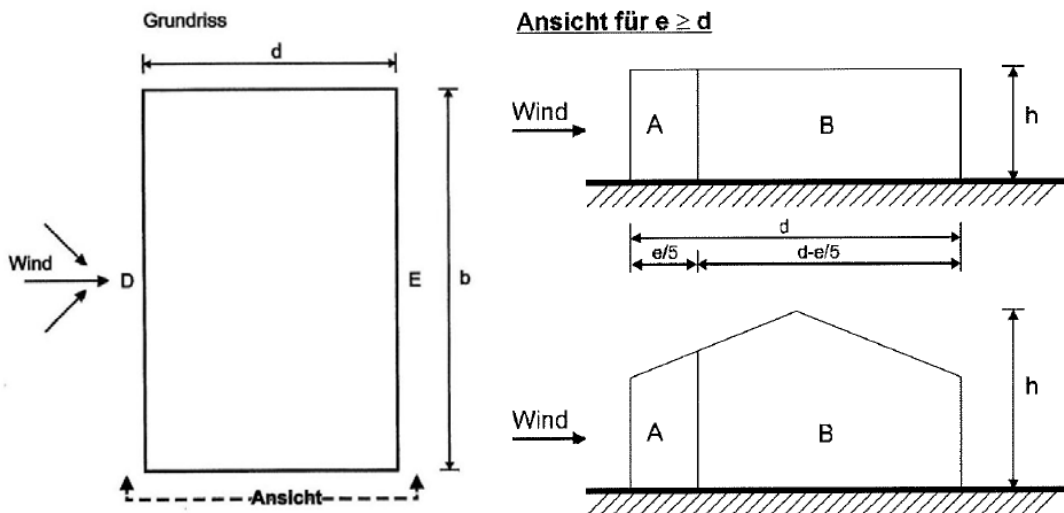


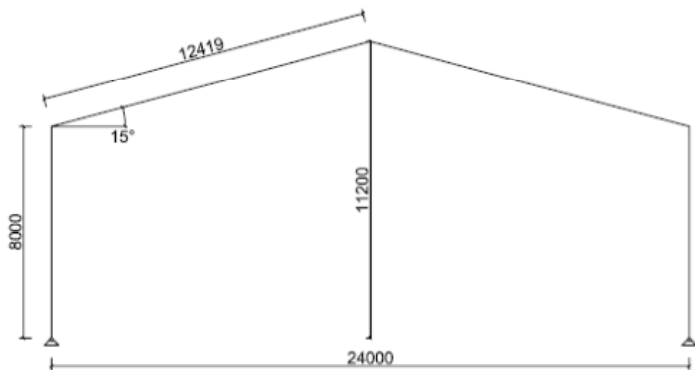
Bild A.44 Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Breitseite_System 2.2³⁰

$h/b = 10,40/104,0 = 0,103$

$d/b = 18,0/104,0 = 0,173$

Bereich A	$C_{pe,10} = -1,00$
Bereich B	$C_{pe,10} = -0,70$
Bereich D	$C_{pe,10} = +0,80$
Bereich E	$C_{pe,10} = -0,25$

³⁰ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 35

Außendruckbeiwerte für die Breitseite: System 2.3

$$d = 24,0m$$

$$h = 11,20m$$

$$b = 112,0m$$

$e = b$ oder $2h$ (der kleinere Wert ist maßgebend)

$$\left. \begin{array}{l} e = 22,40m \\ b = 112,0m \\ d = 24,0m \end{array} \right\} \text{gewählte Ansicht: } e < d \quad \frac{e}{5} = 4,48m$$

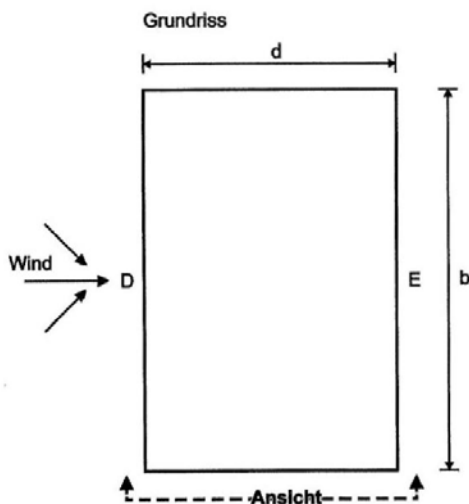
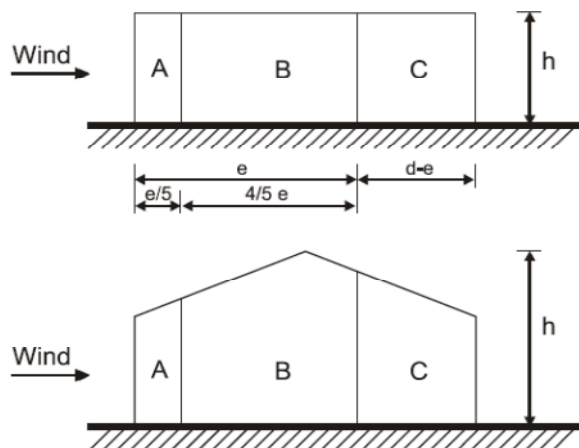
**Ansicht für $e < d$** 

Bild A.45 Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Breitseite_System 2.3³¹

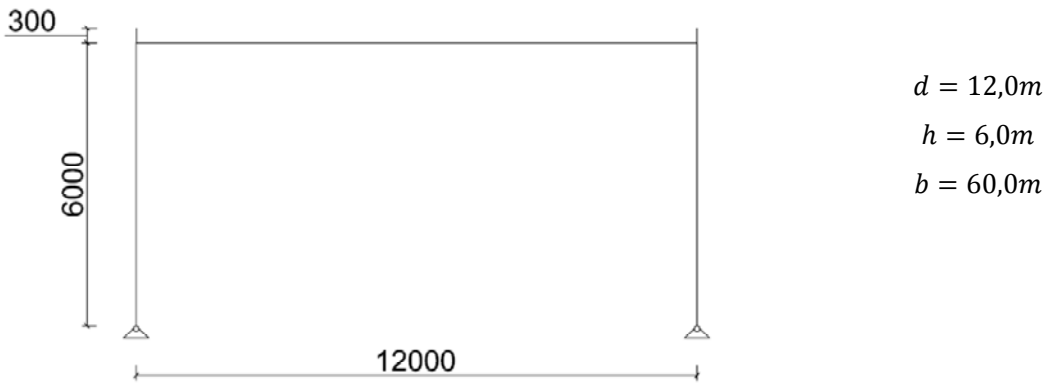
$$h/b = 11,20/112,0 = 0,100$$

$$d/b = 24,0/112,0 = 0,214$$

Bereich A	$C_{pe,10} = -1,00$
Bereich B	$C_{pe,10} = -0,70$
Bereich C	$C_{pe,10} = -0,40$
Bereich D	$C_{pe,10} = +0,80$
Bereich E	$C_{pe,10} = -0,253$

³¹ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 35

Außendruckbeiwerte für die Breitseite: System 3.1 & 5.1



$e = b$ oder $2h$ (der kleinere Wert ist maßgebend)

$$\left. \begin{matrix} e = 12,0m \\ b = 60,0m \\ d = 12,0m \end{matrix} \right\} \text{gewählte Ansicht: } e \geq d \quad \frac{e}{5} = 2,40m$$

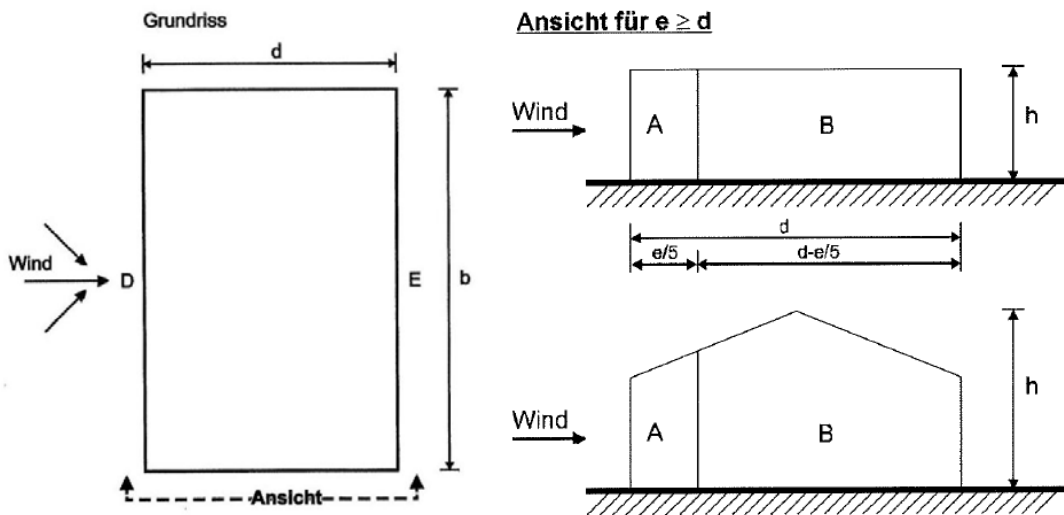


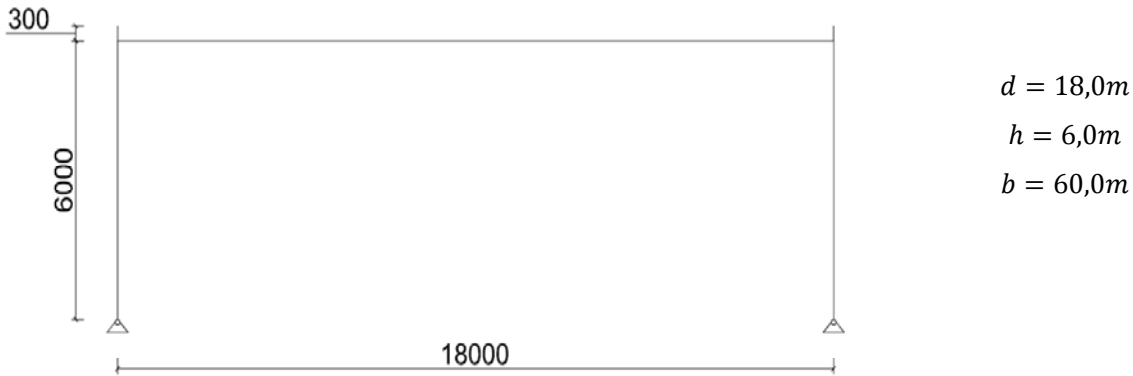
Bild A.46 Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Breitseite_System 3.1 & 5.1³²

$$h/b = 6,0/60,0 = 0,100$$

$$d/b = 12,0/60,0 = 0,200$$

Bereich A	$C_{pe,10} = -1,00$
Bereich B	$C_{pe,10} = -0,70$
Bereich D	$C_{pe,10} = +0,80$
Bereich E	$C_{pe,10} = -0,25$

³² EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 35

Außendruckbeiwerte für die Breitseite: System 3.2 & 5.2

$e = b$ oder $2h$ (der kleinere Wert ist maßgebend)

$$\left. \begin{array}{l} e = 12,0m \\ b = 60,0m \\ d = 18,0m \end{array} \right\} \text{gewählte Ansicht: } e < d \quad \frac{e}{5} = 2,40m$$

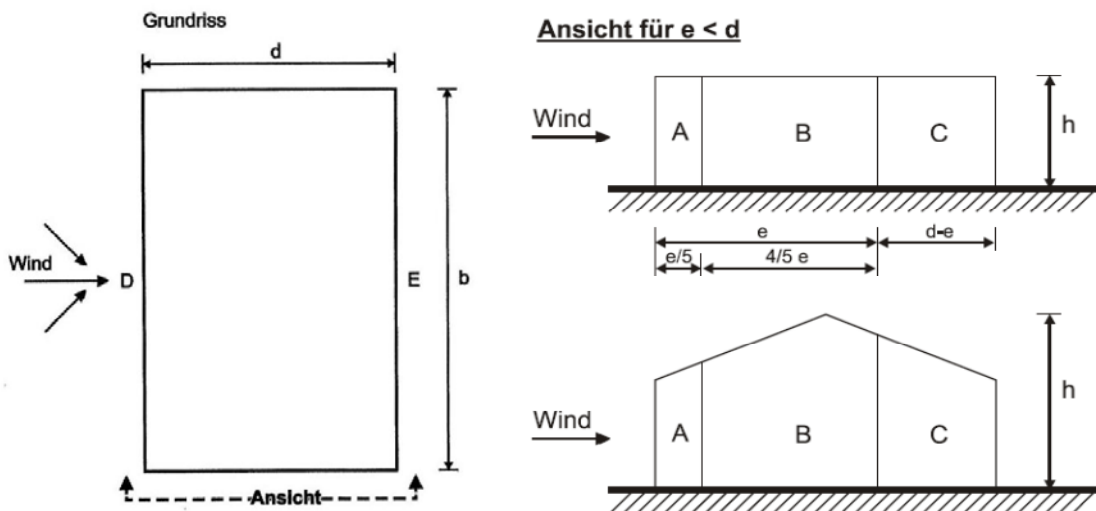


Bild A.47 Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Breitseite_Systeme 3.2 & 5.2³³

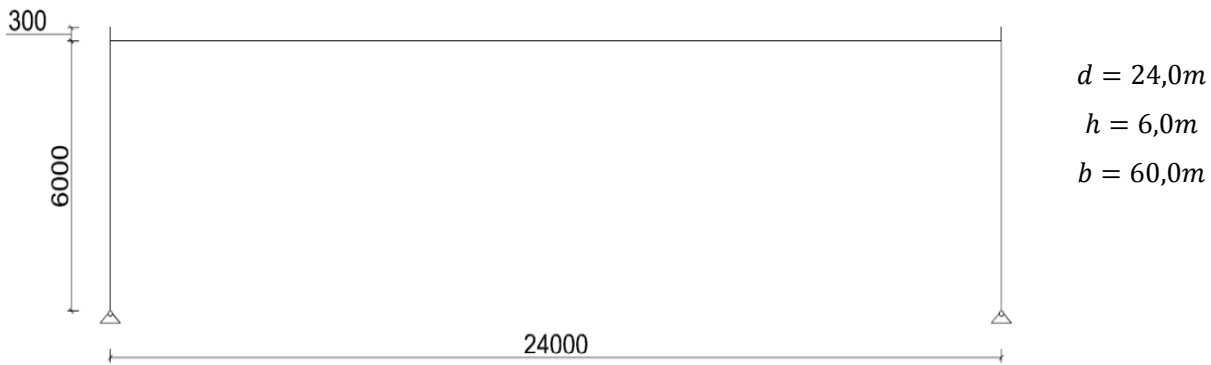
$$h/b = 6,0/60,0 = 0,100$$

$$d/b = 18,0/60,0 = 0,300$$

Bereich A	$C_{pe,10} = -1,00$
Bereich B	$C_{pe,10} = -0,70$
Bereich C	$C_{pe,10} = -0,40$
Bereich D	$C_{pe,10} = +0,80$
Bereich E	$C_{pe,10} = -0,270$

³³ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 35

Außendruckbeiwerte für die Breitseite: System 3.3 & 5.3



$e = b$ oder $2h$ (der kleinere Wert ist maßgebend)

$e = 12,0m$
 $b = 60,0m$
 $d = 24,0m$

gewählte Ansicht: $e < d$ $\frac{e}{5} = 2,40m$

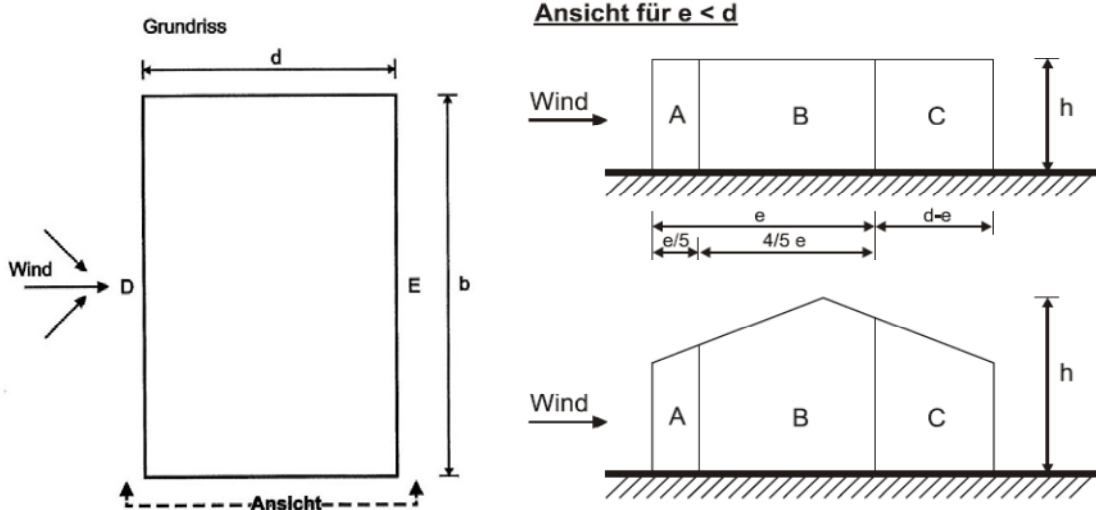


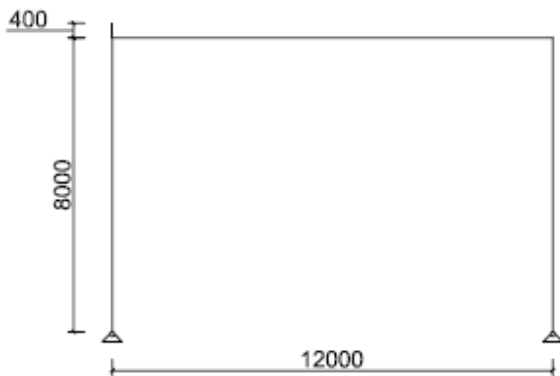
Bild A.48 Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Breitseite_Systeme 3.3 & 5.3³⁴

$$h/b = 6,0/60,0 = 0,100$$

$$d/b = 24,0/60,0 = 0,400$$

Bereich A	$C_{pe,10} = -1,00$
Bereich B	$C_{pe,10} = -0,70$
Bereich C	$C_{pe,10} = -0,40$
Bereich D	$C_{pe,10} = +0,80$
Bereich E	$C_{pe,10} = -0,290$

³⁴ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 35

Außendruckbeiwerte für die Breitseite: System 4.1 & 6.1

$$d = 12,0\text{m}$$

$$h = 8,0\text{m}$$

$$b = 80,0\text{m}$$

$e = b$ oder $2h$ (der kleinere Wert ist maßgebend)

$$\left. \begin{array}{l} e = 16,0\text{m} \\ b = 80,0\text{m} \\ d = 12,0\text{m} \end{array} \right\} \text{gewählte Ansicht: } e \geq d \quad \frac{e}{5} = 3,20\text{m}$$

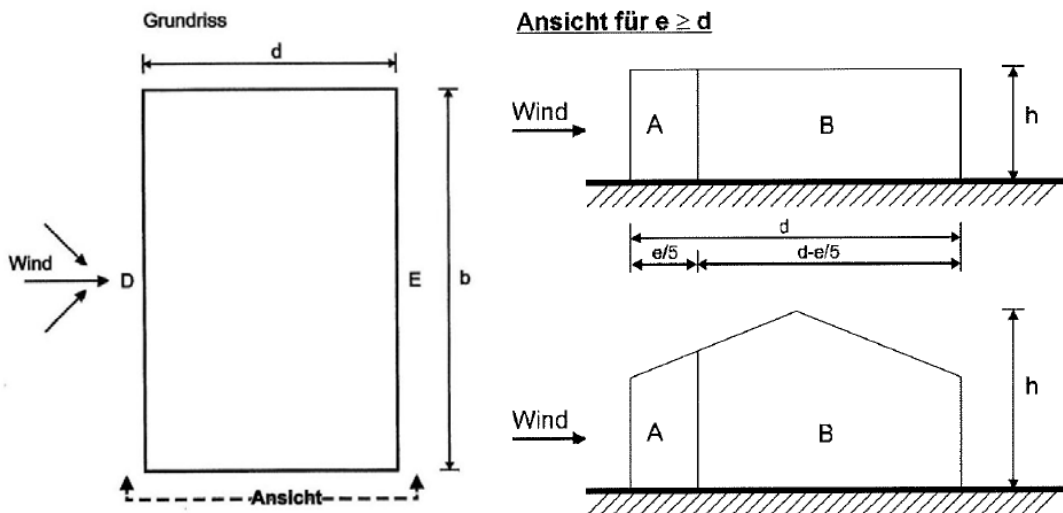


Bild A.49 Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Breitseite_Systeme 4.1. & 6.1³⁵

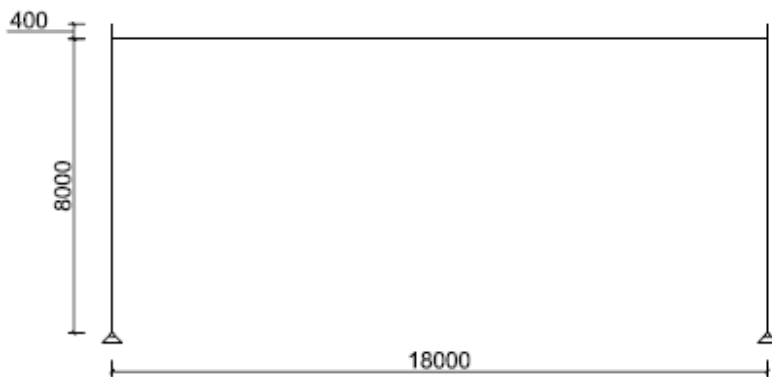
$$h/b = 8,0/80,0 = 0,100$$

$$d/b = 12,0/80,0 = 0,150$$

Bereich A	$C_{pe,10} = -1,00$
Bereich B	$C_{pe,10} = -0,70$
Bereich D	$C_{pe,10} = +0,80$
Bereich E	$C_{pe,10} = -0,25$

³⁵ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 35

Außendruckbeiwerte für die Breitseite: System 4.2 & 6.2



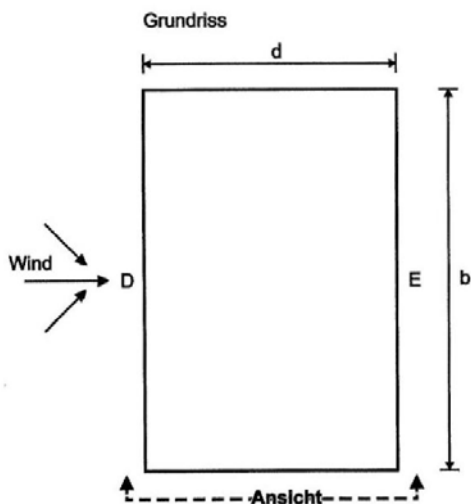
$$d = 18,0m$$

$$h = 8,0m$$

$$b = 80,0m$$

$e = b$ oder $2h$ (der kleinere Wert ist maßgebend)

$$\left. \begin{matrix} e = 16,0m \\ b = 80,0m \\ d = 18,0m \end{matrix} \right\} \text{gewählte Ansicht: } e < d \quad \frac{e}{5} = 3,20m$$



Ansicht für $e < d$

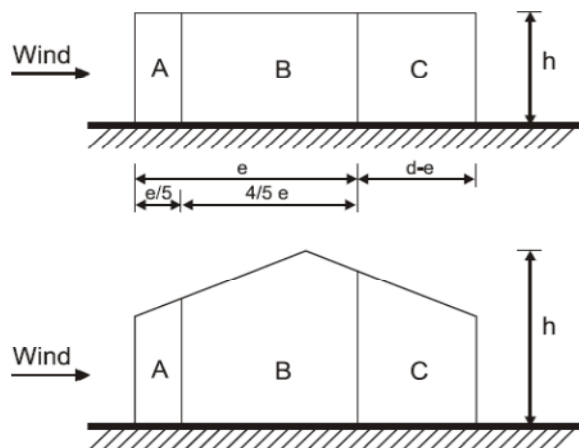


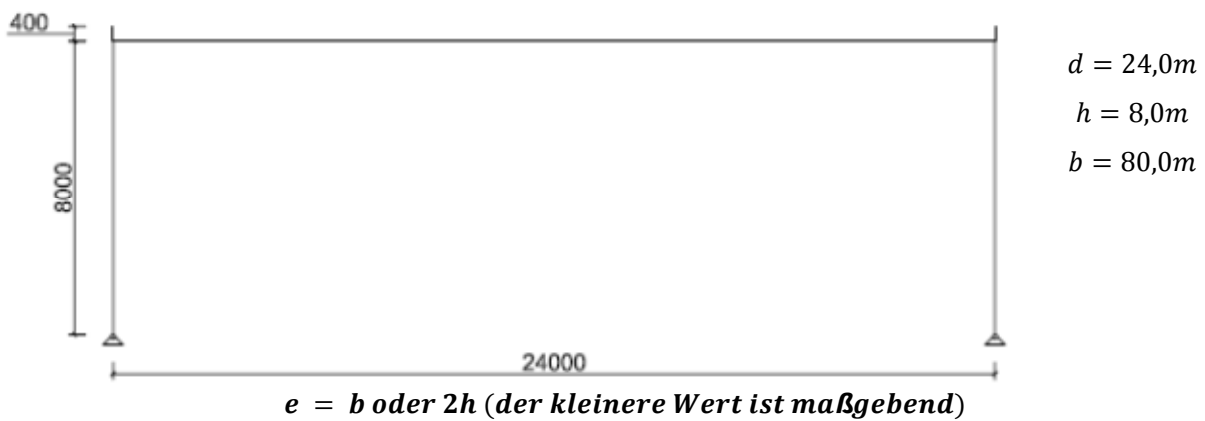
Bild A.50 Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Breitseite_Systeme 4.2 & 6.2³⁶

$$h/b = 8,0/80,0 = 0,100$$

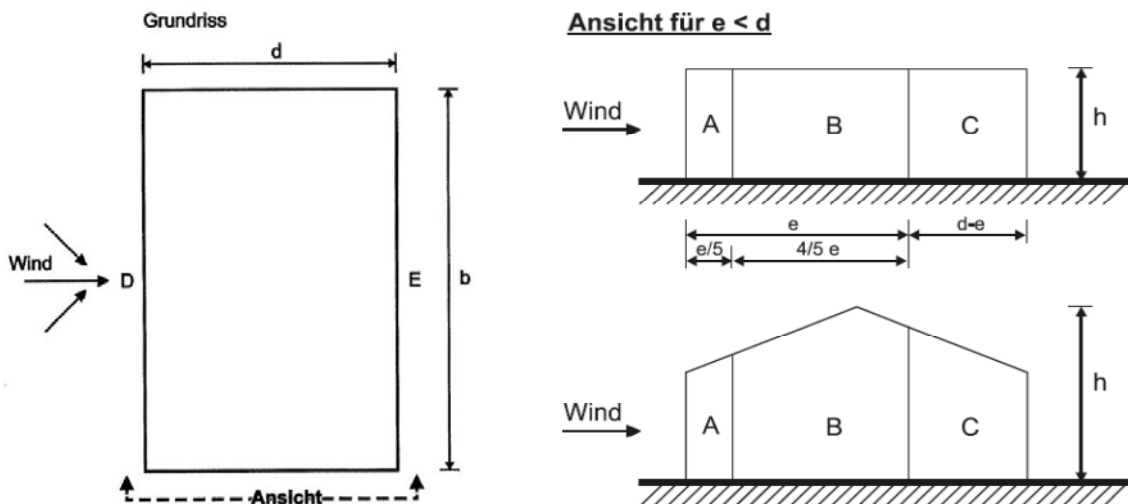
$$d/b = 18,0/80,0 = 0,225$$

Bereich A	$C_{pe,10} = -1,00$
Bereich B	$C_{pe,10} = -0,70$
Bereich C	$C_{pe,10} = -0,40$
Bereich D	$C_{pe,10} = +0,80$
Bereich E	$C_{pe,10} = -0,255$

³⁶ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 35

Außendruckbeiwerte für die Breitseite: System 4.3 & 6.3

$$\left. \begin{array}{l} e = 16,0m \\ b = 80,0m \\ d = 24,0m \end{array} \right\} \text{gewählte Ansicht: } e < d \quad \frac{e}{5} = 3,20m$$

Bild A.51 Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Breitseite_Systeme 4.3 & 6.3³⁷

$$h/b = 8,0/80,0 = 0,100$$

$$d/b = 24,0/80,0 = 0,300$$

Bereich A	$C_{pe,10} = -1,00$
Bereich B	$C_{pe,10} = -0,70$
Bereich C	$C_{pe,10} = -0,70$
Bereich D	$C_{pe,10} = +0,80$
Bereich E	$C_{pe,10} = -0,270$

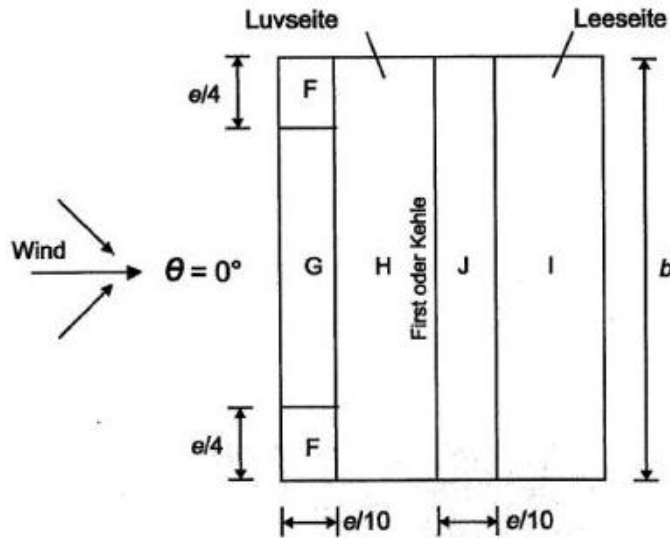
³⁷ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 35

Außendruckbeiwerte für das Satteldach Breitseite:

Neigungswinkel Dach: 15°

Anströmrichtung $\theta = 0^\circ$ bzw. 180°

$e = b$ oder $2h$ (der kleinere Wert ist maßgebend)

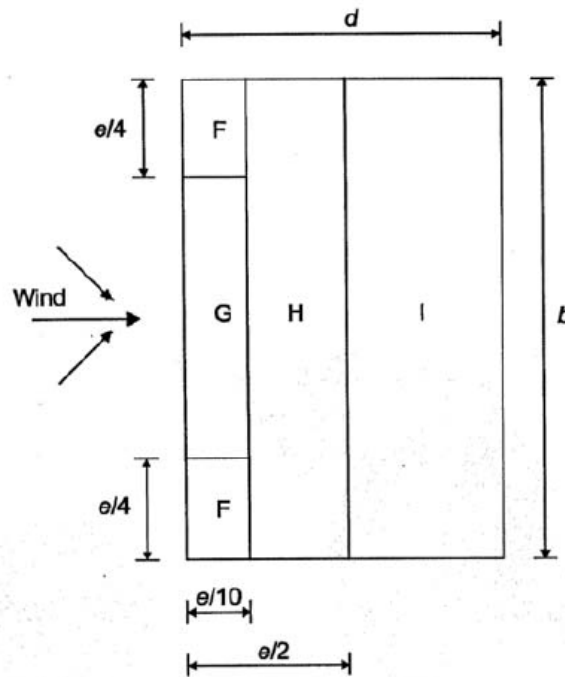


(b) Anströmrichtung $\theta = 0^\circ$

Bild A.52 Einteilung der Dachflächen bei Sattel- und Trogächern_Breitseite³⁸

Bereich F	$C_{pe,10}$ [positiv] = +0,20	Bereich F	$C_{pe,10}$ [negativ] = -0,90
Bereich G	$C_{pe,10}$ [positiv] = +0,20	Bereich G	$C_{pe,10}$ [negativ] = -0,80
Bereich H	$C_{pe,10}$ [positiv] = +0,20	Bereich H	$C_{pe,10}$ [negativ] = -0,30
Bereich I	$C_{pe,10}$ [positiv] = $\pm 0,00$	Bereich I	$C_{pe,10}$ [negativ] = -0,40
Bereich J	$C_{pe,10}$ [positiv] = $\pm 0,00$	Bereich J	$C_{pe,10}$ [negativ] = -1,00

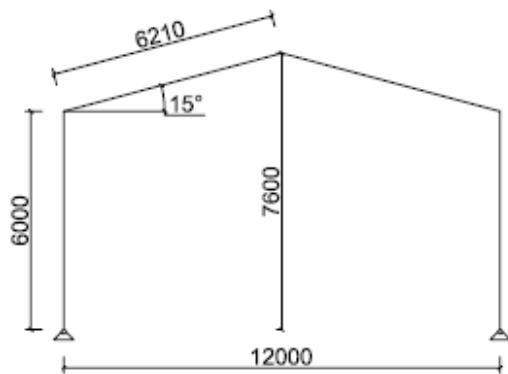
³⁸ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 43

Außendruckbeiwerte für das Flachdach Breitseite:Neigungswinkel Dach: $<5^\circ$ Anströmrichtung $\theta = 0^\circ$ bzw. 180° Attika: $h_p/h=0,05$ ***$e = b$ oder $2h$ (der kleinere Wert ist maßgebend)***Bild A.53 Einteilung der Dachflächen bei Flachdächern_Breitseite³⁹

Bereich F	$C_{pe,10}$ [positiv] = -1,40	Bereich F	$C_{pe,10}$ [negativ] = 1,40
Bereich G	$C_{pe,10}$ [positiv] = -0,90	Bereich G	$C_{pe,10}$ [negativ] = -0,90
Bereich H	$C_{pe,10}$ [positiv] = -0,70	Bereich H	$C_{pe,10}$ [negativ] = -0,70
Bereich I	$C_{pe,10}$ [positiv] = +0,20	Bereich I	$C_{pe,10}$ [negativ] = -0,20

A.1.3.4 Geometrischen Randbedingungen - Windeinwirkung auf die Längsseite:**Innendruckbeiwerte:** $c_{p,i} = +0,2 \text{ kN/m}^2$ (nach außen gerichtet - Druck) $c_{p,i} = -0,3 \text{ kN/m}^2$ (nach innen gerichtet - Sog)³⁹ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 37

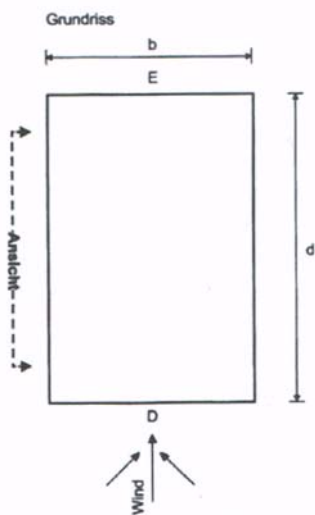
Außendruckbeiwerte für die Längsseite: System 1.1



$b = 12,0m$
 $h = 7,60m$
 $d = 76,0m$

$e = b$ oder $2h$ (der kleinere Wert ist maßgebend)

$e = 12,0m$
 $b = 12,0m$
 $d = 76,0m$ } gewählte Ansicht: $e < d$ $\frac{e}{5} = 2,40m$



Ansicht für $e < d$

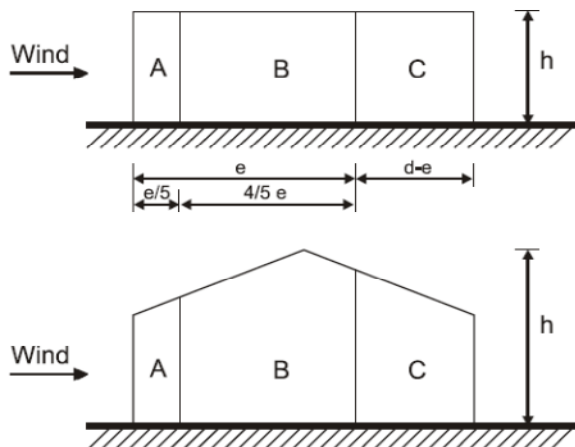


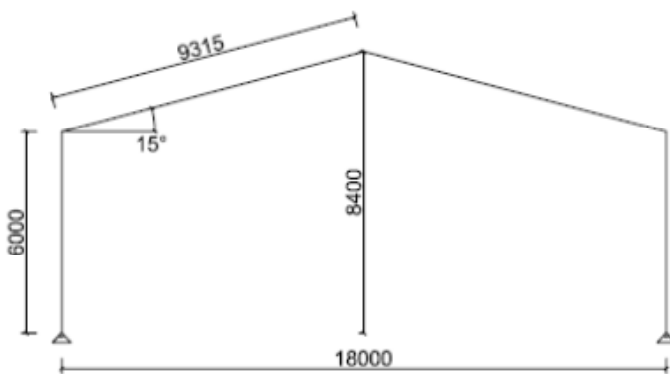
Bild A.54 Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Längsseite_System 1.1⁴⁰

$h/b = 7,60/12,0 = 0,633$

$d/b = 76,0/12,0 = 6,33$

Bereich A	$C_{pe,10} = -1,00$
Bereich B	$C_{pe,10} = -0,70$
Bereich C	$C_{pe,10} = -0,40$
Bereich D	$C_{pe,10} = +0,80$
Bereich E	$C_{pe,10} = -0,15$

⁴⁰ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 35

Außendruckbeiwerte für die Längsseite: System 1.2

$$b = 18,0m$$

$$h = 8,40m$$

$$d = 84,0m$$

$e = b$ oder $2h$ (der kleinere Wert ist maßgebend)

$$\left. \begin{array}{l} e = 16,8m \\ b = 18,0m \\ d = 84,0m \end{array} \right\} \text{gewählte Ansicht: } e < d \quad \frac{e}{5} = 3,36m$$

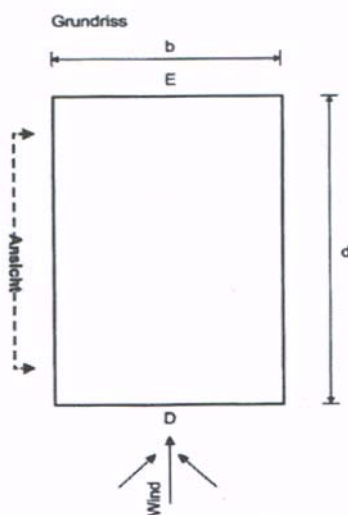
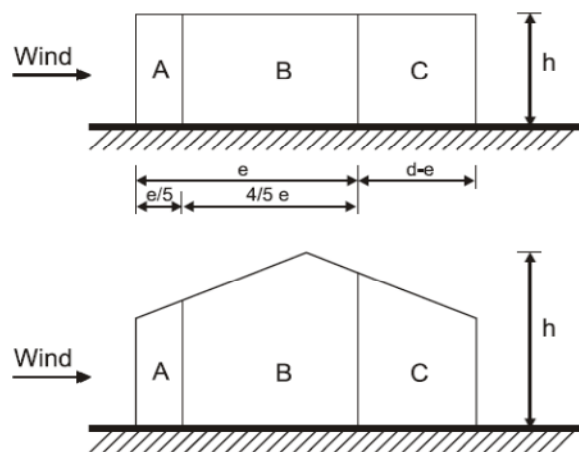
**Ansicht für $e < d$** 

Bild A.55 Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Längsseite_System 1.2⁴¹

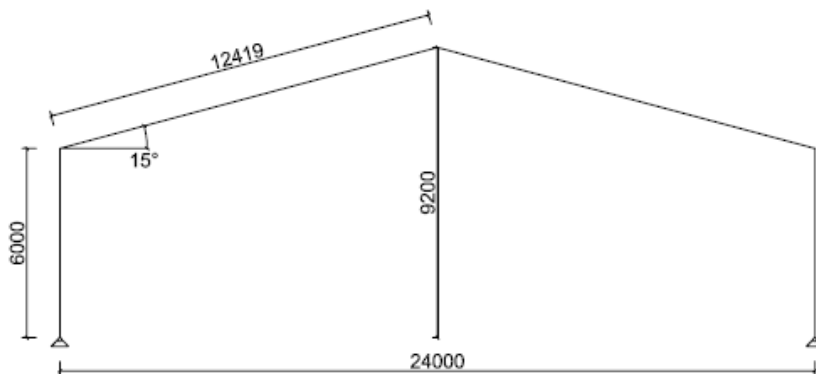
$$h/b = 8,40/18,0 = 0,467$$

$$d/b = 84,0/18,0 = 4,67$$

Bereich A	$C_{pe,10} = -1,00$
Bereich B	$C_{pe,10} = -0,70$
Bereich C	$C_{pe,10} = -0,40$
Bereich D	$C_{pe,10} = +0,80$
Bereich E	$C_{pe,10} = -0,15$

⁴¹ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 35

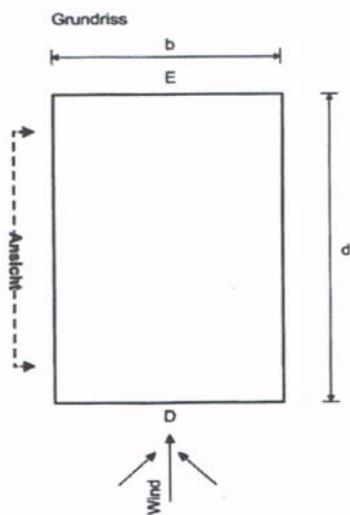
Außendruckbeiwerte für die Längsseite: System 1.3



$b = 24,0m$
 $h = 9,20m$
 $d = 92,0m$

$e = b$ oder $2h$ (der kleinere Wert ist maßgebend)

$e = 18,40m$
 $b = 24,0m$
 $d = 92,0m$ } gewählte Ansicht: $e < d$ $\frac{e}{5} = 3,68m$



Ansicht für $e < d$

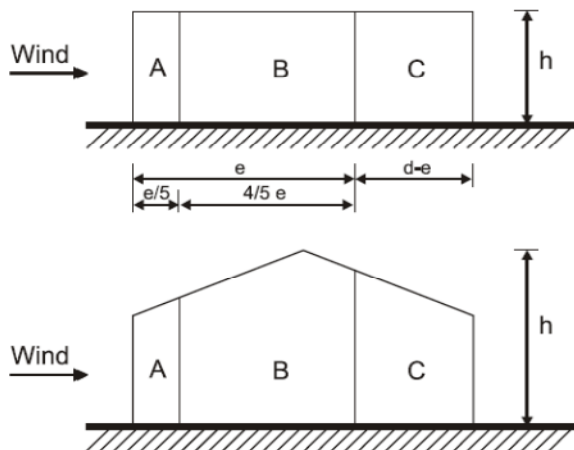


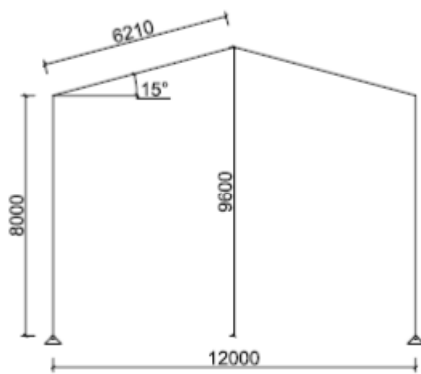
Bild A.56 Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Längsseite_System 1.3⁴²

$h/b = 9,20/24,0 = 0,383$

$d/b = 92,0/24,0 = 3,83$

Bereich A	$C_{pe,10} = -1,00$
Bereich B	$C_{pe,10} = -0,70$
Bereich C	$C_{pe,10} = -0,40$
Bereich D	$C_{pe,10} = +0,80$
Bereich E	$C_{pe,10} = -0,15$

⁴² EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 35

Außendruckbeiwerte für die Längsseite: System 2.1

$$b = 12,0m$$

$$h = 9,60m$$

$$d = 96,0m$$

$e = b$ oder $2h$ (der kleinere Wert ist maßgebend)

$$\left. \begin{array}{l} e = 12,0m \\ b = 12,0m \\ d = 96,0m \end{array} \right\} \text{gewählte Ansicht: } e < d \quad \frac{e}{5} = 2,40m$$

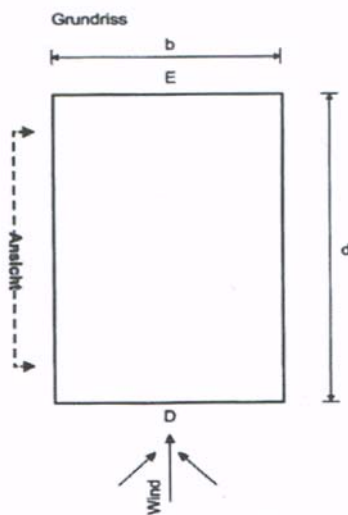
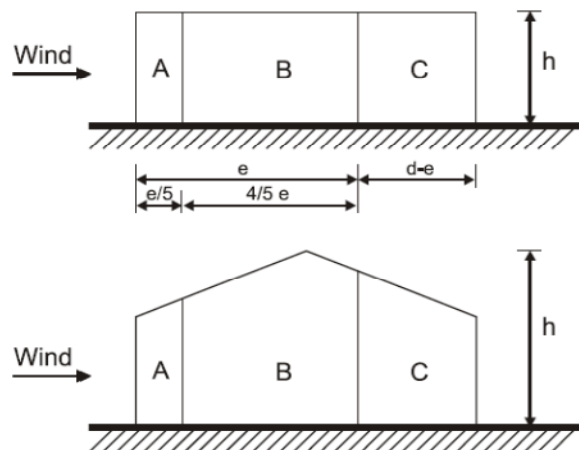
**Ansicht für $e < d$** 

Bild A.57 Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Längsseite_System 2.1⁴³

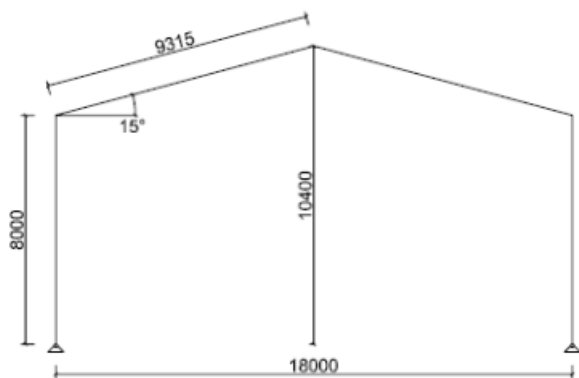
$$h/b = 9,60/12,0 = 0,80$$

$$d/b = 96,0/12,0 = 8,00$$

Bereich A	$C_{pe,10} = -1,02$
Bereich B	$C_{pe,10} = -0,70$
Bereich C	$C_{pe,10} = -0,40$
Bereich D	$C_{pe,10} = +0,80$
Bereich E	$C_{pe,10} = -0,15$

⁴³ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 35

Außendruckbeiwerte für die Längsseite: System 2.2

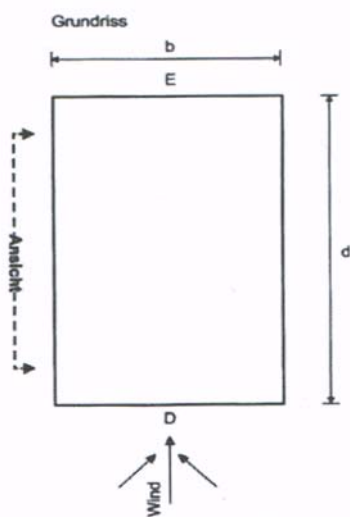


$b = 18,0m$
 $h = 10,40m$
 $d = 104,0m$

$e = b$ oder $2h$ (der kleinere Wert ist maßgebend)

$e = 18,0m$
 $b = 18,0m$
 $d = 104,0m$

gewählte Ansicht: $e < d$ $\frac{e}{5} = 3,60m$



Ansicht für $e < d$

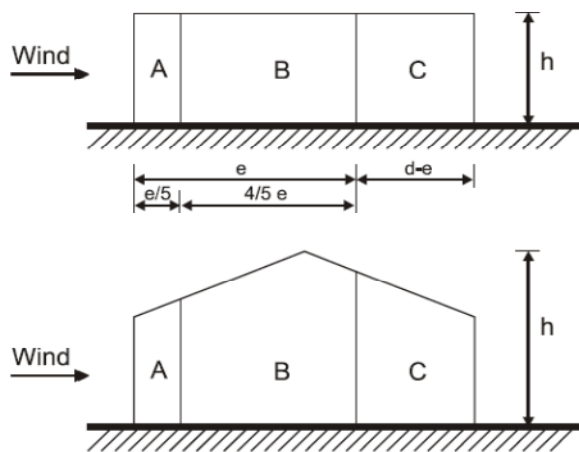


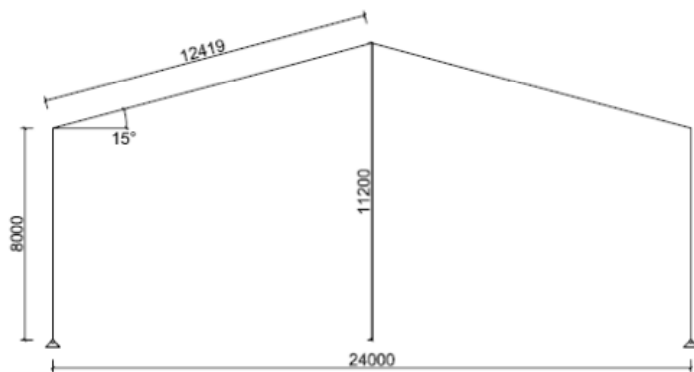
Bild A.58 Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden:längsseite_System 2.2⁴⁴

$h/b = 10,40/18,0 = 0,578$

$d/b = 104,0/18,0 = 5,78$

Bereich A	$C_{pe,10} = -1,00$
Bereich B	$C_{pe,10} = -0,70$
Bereich C	$C_{pe,10} = -0,40$
Bereich D	$C_{pe,10} = +0,80$
Bereich E	$C_{pe,10} = -0,15$

⁴⁴ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 35

Außendruckbeiwerte für die Längsseite: System 2.3

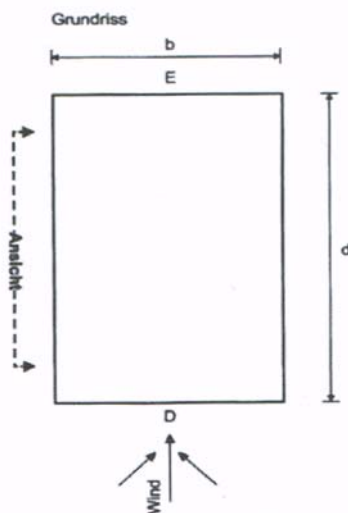
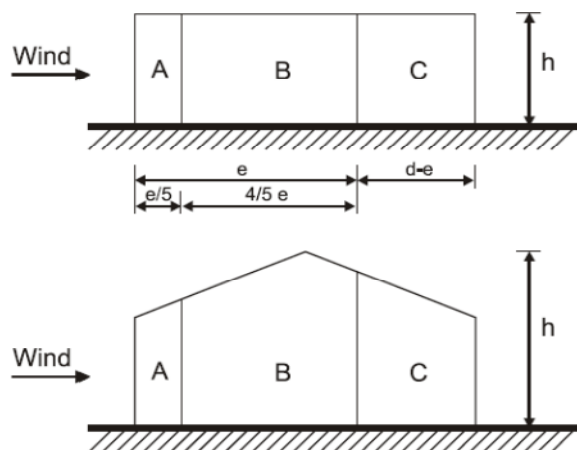
$$b = 24,0m$$

$$h = 11,20m$$

$$d = 112,0m$$

$$e = b \text{ oder } 2h \text{ (der kleinere Wert ist maßgebend)}$$

$$\left. \begin{array}{l} e = 22,40m \\ b = 24,0m \\ d = 112,0m \end{array} \right\} \text{gewählte Ansicht: } e < d \quad \frac{e}{5} = 4,48m$$

**Ansicht für $e < d$** Bild A.59 Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Längsseite_System 2.3⁴⁵

$$h/b = 11,20/24,0 = 0,467$$

$$d/b = 112,0/24,0 = 4,67$$

Bereich A	$C_{pe,10} = -1,00$
Bereich B	$C_{pe,10} = -0,70$
Bereich C	$C_{pe,10} = -0,40$
Bereich D	$C_{pe,10} = +0,80$
Bereich E	$C_{pe,10} = -0,15$

⁴⁵ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 35

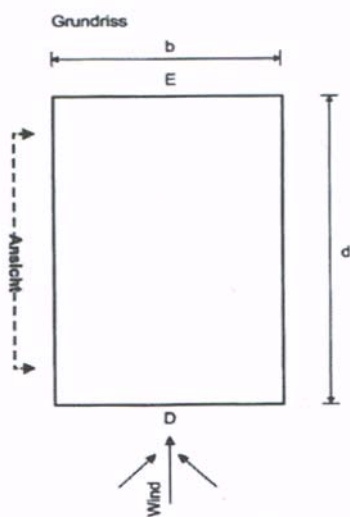
Außendruckbeiwerte für die Längsseite: System 3.1 & 5.1



$b = 12,0m$
 $h = 6,0m$
 $d = 60,0m$

$e = b$ oder $2h$ (der kleinere Wert ist maßgebend)

$e = 12,0m$
 $b = 12,0m$
 $d = 60,0m$ } gewählte Ansicht: $e < d$ $\frac{e}{5} = 2,40m$



Ansicht für $e < d$

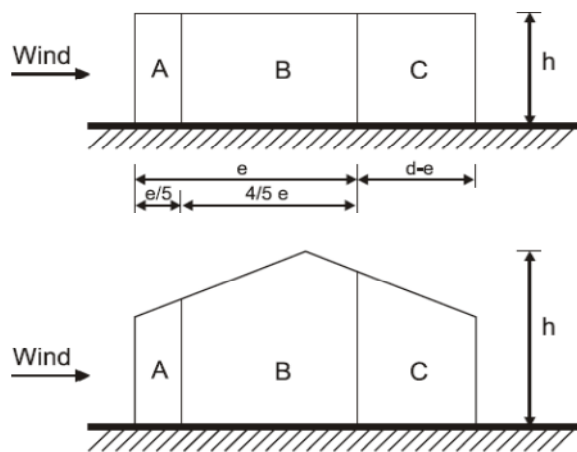


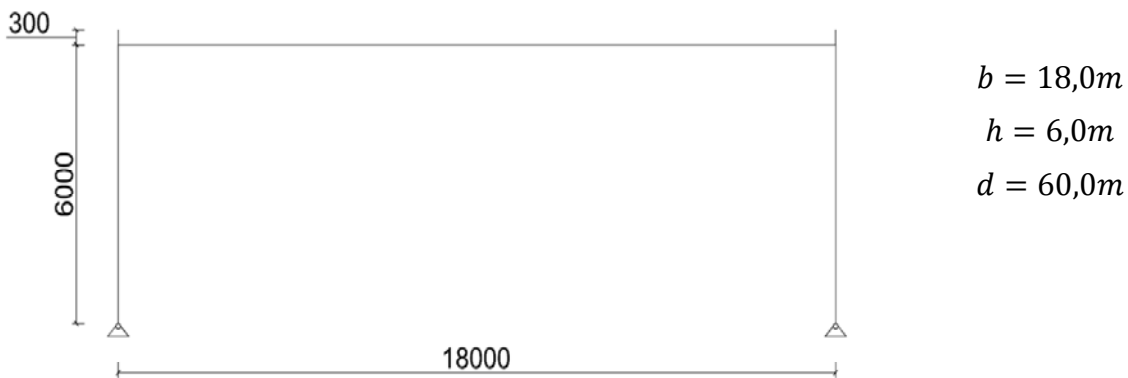
Bild A.60 Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Längsseite_Systeme 3.1 & 5.1⁴⁶

$h/b = 6,0/12,0 = 0,500$

$d/b = 60,0/12,0 = 5,00$

Bereich A	$C_{pe,10} = -1,00$
Bereich B	$C_{pe,10} = -0,70$
Bereich C	$C_{pe,10} = -0,40$
Bereich D	$C_{pe,10} = +0,80$
Bereich E	$C_{pe,10} = -0,15$

⁴⁶ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 35

Außendruckbeiwerte für die Längsseite: System 3.2 & 5.2

$e = b$ oder $2h$ (der kleinere Wert ist maßgebend)

$$\left. \begin{array}{l} e = 12,0m \\ b = 18,0m \\ d = 60,0m \end{array} \right\} \text{gewählte Ansicht: } e < d \quad \frac{e}{5} = 2,40m$$

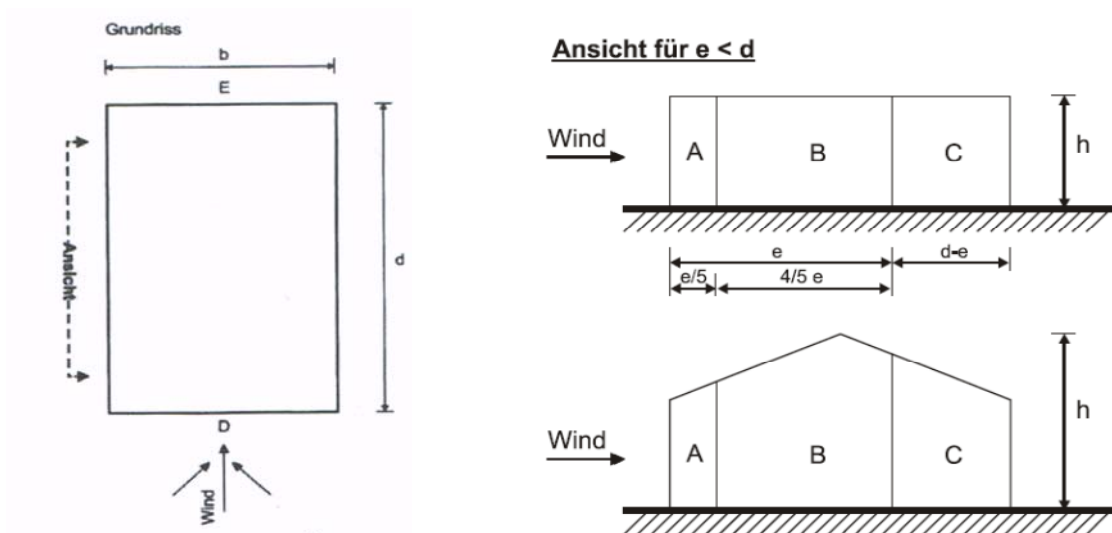


Bild A.61 Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Längsseite_Systeme 3.2 & 5.2⁴⁷

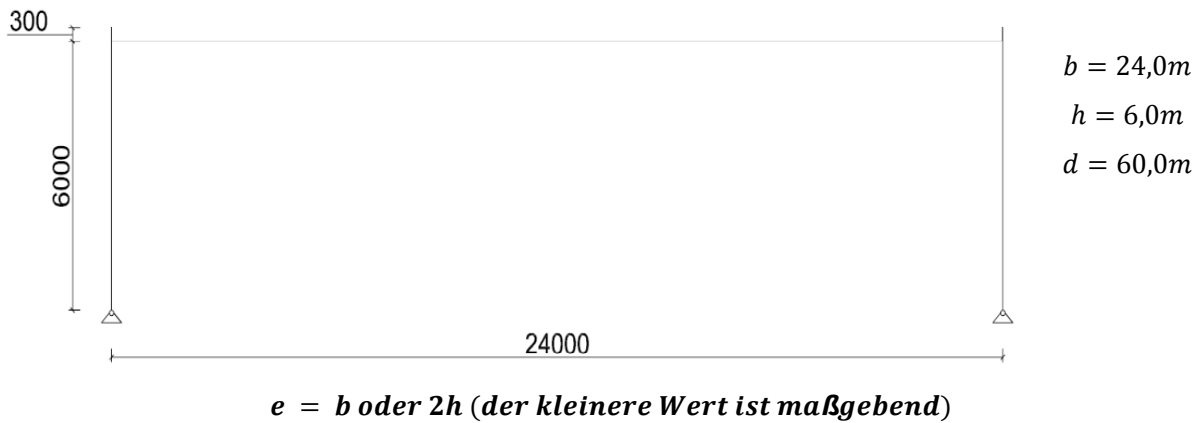
$$h/b = 6,0/18,0 = 0,333$$

$$d/b = 60,0/18,0 = 3,33$$

Bereich A	$C_{pe,10} = -1,00$
Bereich B	$C_{pe,10} = -0,70$
Bereich C	$C_{pe,10} = -0,40$
Bereich D	$C_{pe,10} = +0,80$
Bereich E	$C_{pe,10} = -0,15$

⁴⁷ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 35

Außendruckbeiwerte für die Längsseite: System 3.3 & 5.3



$$\left. \begin{matrix} e = 12,0m \\ b = 24,0m \\ d = 60,0m \end{matrix} \right\} \text{gewählte Ansicht: } e < d \quad \frac{e}{5} = 2,40m$$

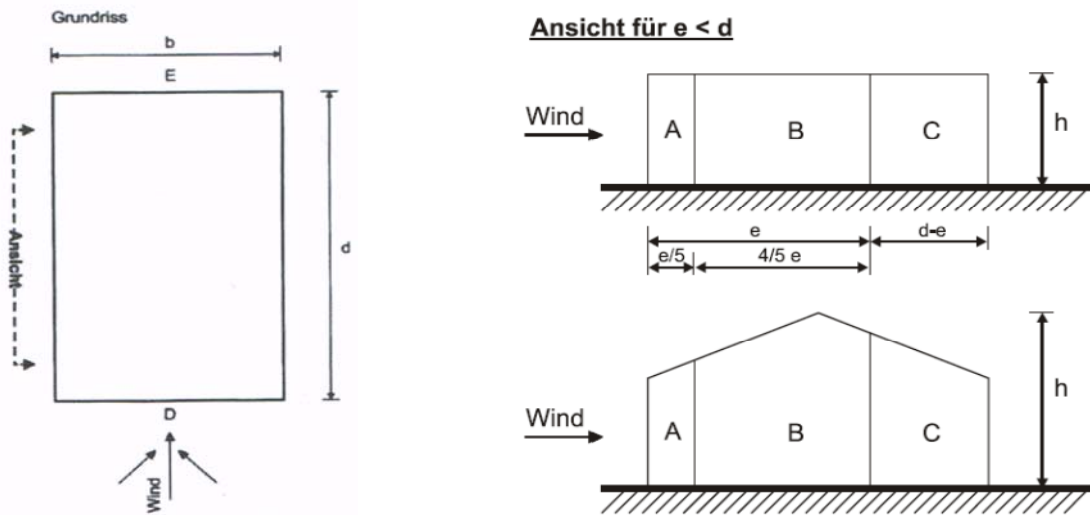


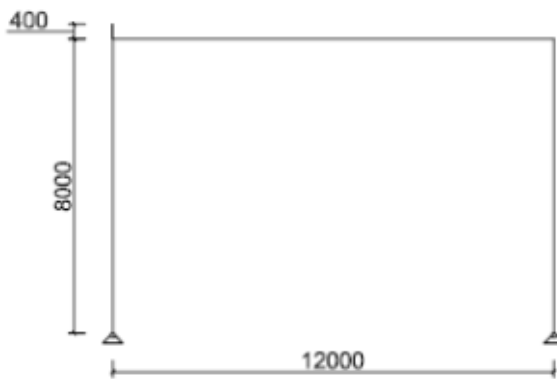
Bild A.62 Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Längsseite_Systeme 3.3 & 5.3⁴⁸

$$h/b = 6,0/24,0 = 0,250$$

$$d/b = 60,0/24,0 = 2,50$$

Bereich A	$C_{pe,10} = -1,00$
Bereich B	$C_{pe,10} = -0,70$
Bereich C	$C_{pe,10} = -0,40$
Bereich D	$C_{pe,10} = +0,80$
Bereich E	$C_{pe,10} = -0,15$

⁴⁸ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 35

Außendruckbeiwerte für die Längsseite: System 4.1 & 6.1

$$b = 12,0m$$

$$h = 8,0m$$

$$d = 80,0m$$

$e = b$ oder $2h$ (der kleinere Wert ist maßgebend)

$$\left. \begin{array}{l} e = 12,0m \\ b = 12,0m \\ d = 80,0m \end{array} \right\} \text{gewählte Ansicht: } e < d \quad \frac{e}{5} = 2,40m$$

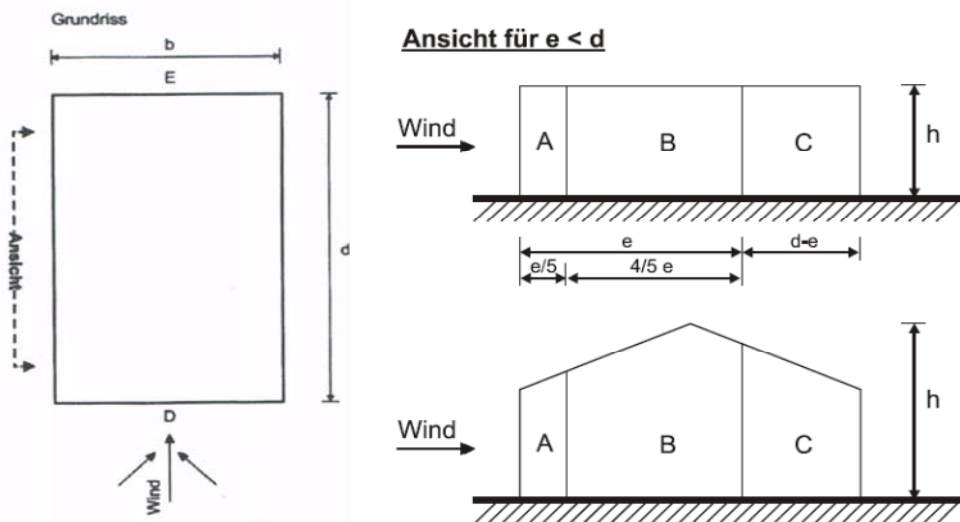


Bild A.63 Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Längsseite_Systeme 4.1 & 6.1⁴⁹

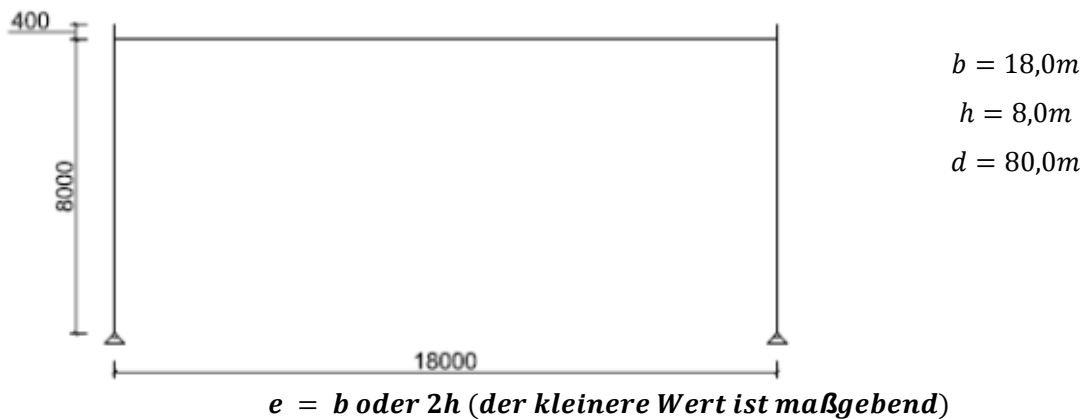
$$h/b = 8,0/12,0 = 0,667$$

$$d/b = 80,0/12,0 = 6,67$$

Bereich A	$C_{pe,10} = -1,00$
Bereich B	$C_{pe,10} = -0,70$
Bereich C	$C_{pe,10} = -0,40$
Bereich D	$C_{pe,10} = +0,80$
Bereich E	$C_{pe,10} = -0,15$

⁴⁹ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 35

Außendruckbeiwerte für die Längsseite: System 4.2 & 6.2



$e = 16,0m$
 $b = 18,0m$
 $d = 80,0m$

} gewählte Ansicht: $e < d$

$\frac{e}{5} = 3,20m$

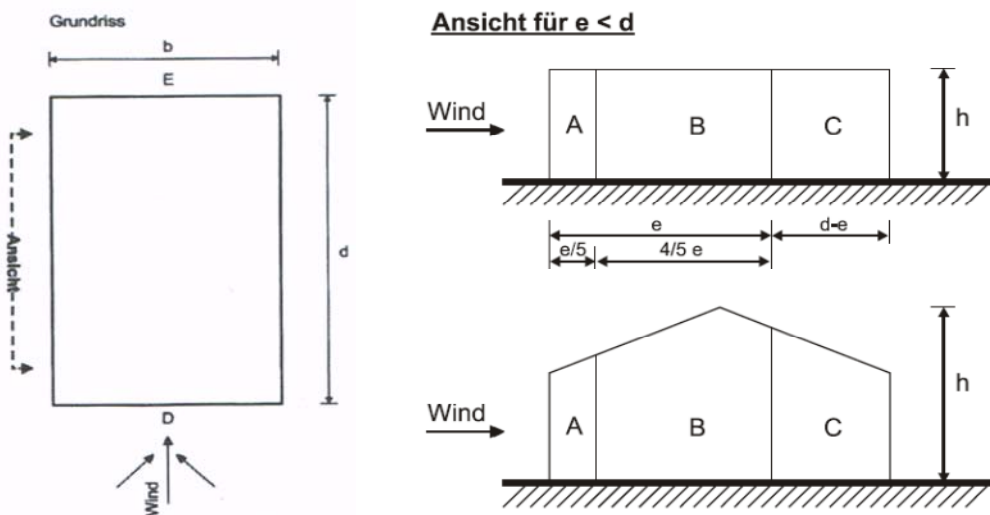


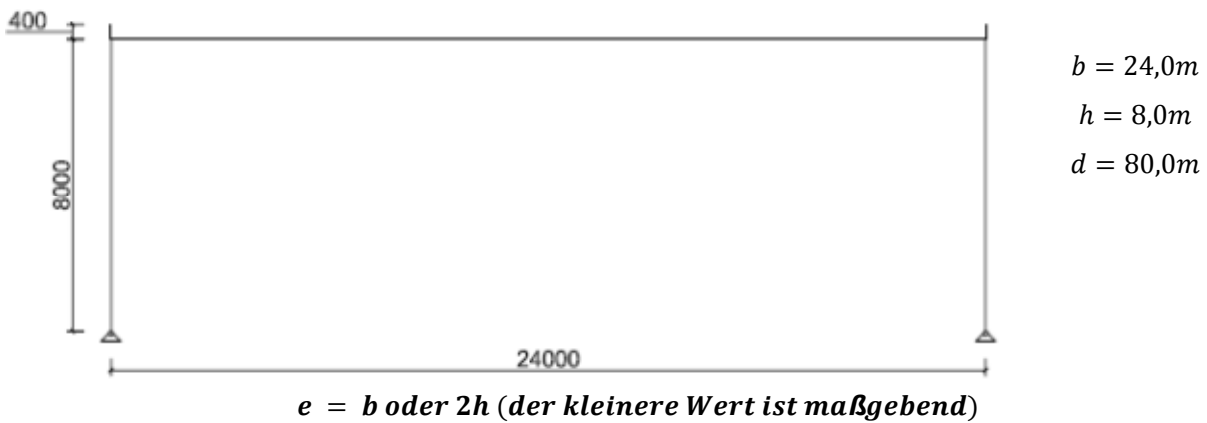
Bild A.64 Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Längsseite_Systeme 4.2 & 6.2⁵⁰

$h/b = 8,0/18,0 = 0,444$

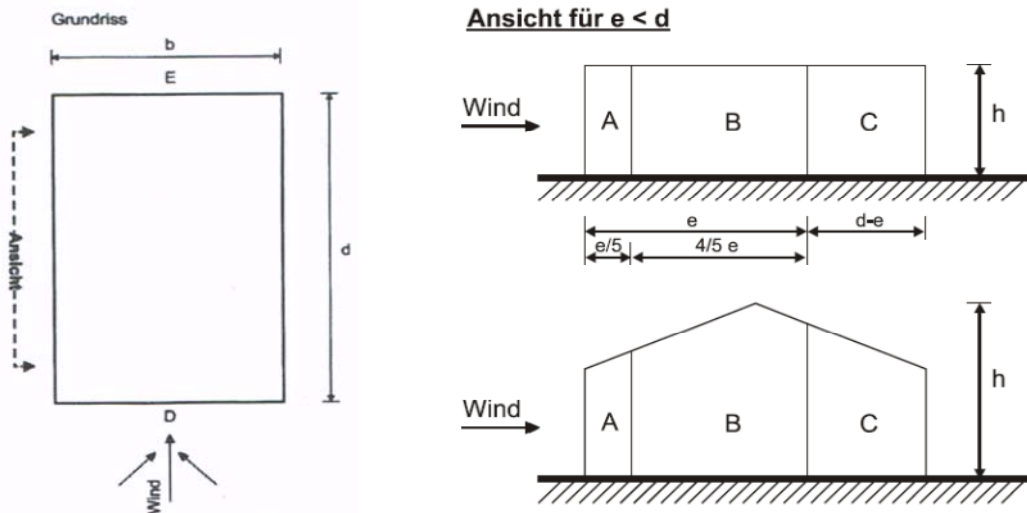
$d/b = 80,0/18,0 = 4,44$

Bereich A	$C_{pe,10} = -1,00$
Bereich B	$C_{pe,10} = -0,70$
Bereich C	$C_{pe,10} = -0,40$
Bereich D	$C_{pe,10} = +0,80$
Bereich E	$C_{pe,10} = -0,15$

⁵⁰ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 35

Außendruckbeiwerte für die Längsseite: System 4.3 & 6.3

$$\left. \begin{array}{l} e = 16,0m \\ b = 24,0m \\ d = 80,0m \end{array} \right\} \text{gewählte Ansicht: } e < d \quad \frac{e}{5} = 3,20m$$

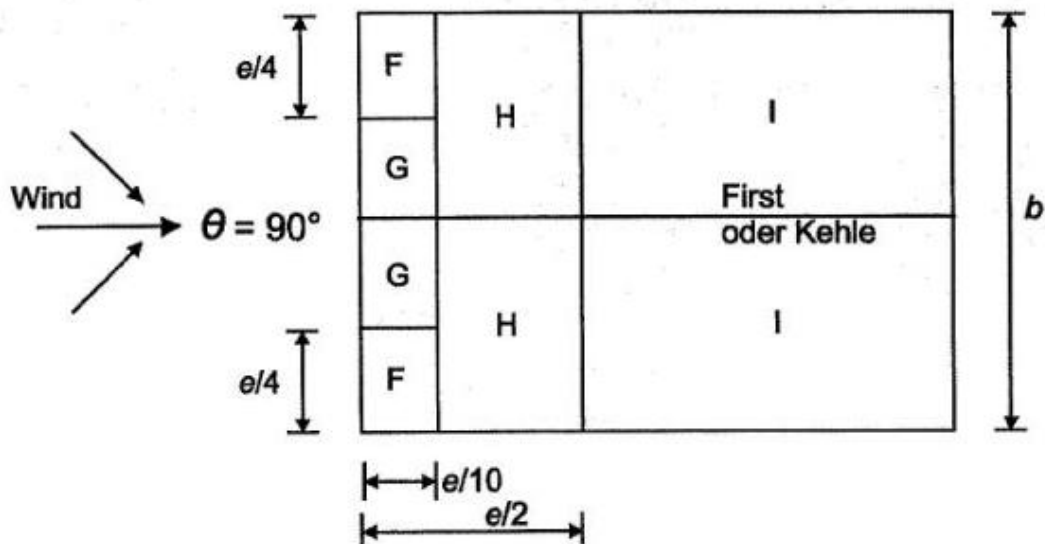
Bild A.65 Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Längsseite_Systeme 4.3 & 6.3⁵¹

$$h/b = 8,0/24,0 = 0,333$$

$$d/b = 80,0/24,0 = 3,33$$

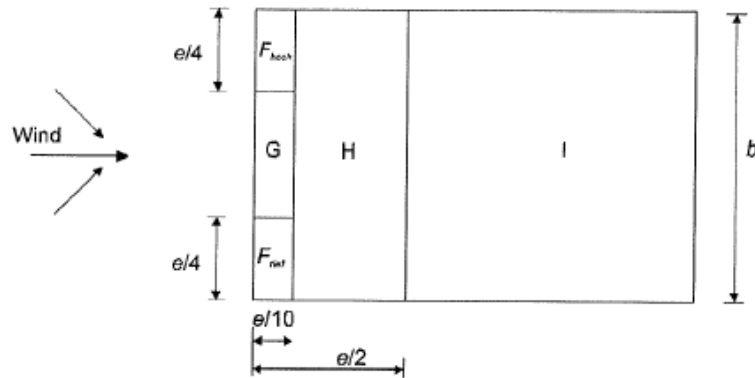
Bereich A	$C_{pe,10} = -1,00$
Bereich B	$C_{pe,10} = -0,70$
Bereich C	$C_{pe,10} = -0,40$
Bereich D	$C_{pe,10} = +0,80$
Bereich E	$C_{pe,10} = -0,15$

⁵¹ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 35

Außendruckbeiwerte für das Satteldach Längsseite:Neigungswinkel Dach: 15° Anströmrichtung $\theta = 90^\circ$ bzw. 270° $e = b$ oder $2h$ (der kleinere Wert ist maßgebend)**(c) Anströmrichtung $\theta = 90^\circ$** Bild A.66 Einteilung der Dachflächen bei Sattel- und Trogächern_Längsseite⁵²

Bereich F	$C_{pe,10} = -1,30$
Bereich G	$C_{pe,10} = -1,30$
Bereich H	$C_{pe,10} = -0,60$
Bereich I	$C_{pe,10} = -0,50$

⁵² EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 43

Außendruckbeiwerte für das Flachdach Längsseite:Neigungswinkel Dach: $< 5^\circ$ Anströmrichtung $\theta = 90^\circ$ bzw. 270° Attika: $h_p/h=0,05$ ***$e = b$ oder $2h$ (der kleinere Wert ist maßgebend)***(c) Anströmrichtung $\theta = 90^\circ$ Bild A.67 Einteilung der Dachflächen bei Flachdächern_Längsseite⁵³

Bereich F	$C_{pe,10}$ [positiv] = -1,40	Bereich F	$C_{pe,10}$ [negativ] = -1,40
Bereich G	$C_{pe,10}$ [positiv] = -0,90	Bereich G	$C_{pe,10}$ [negativ] = -0,90
Bereich H	$C_{pe,10}$ [positiv] = -0,70	Bereich H	$C_{pe,10}$ [negativ] = -0,70
Bereich I	$C_{pe,10}$ [positiv] = +0,20	Bereich I	$C_{pe,10}$ [negativ] = -0,20

⁵³ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 37

A.1.3.5 Zusammenfassung der Windeinwirkungen:

Wind auf die Breitseite:

Wände

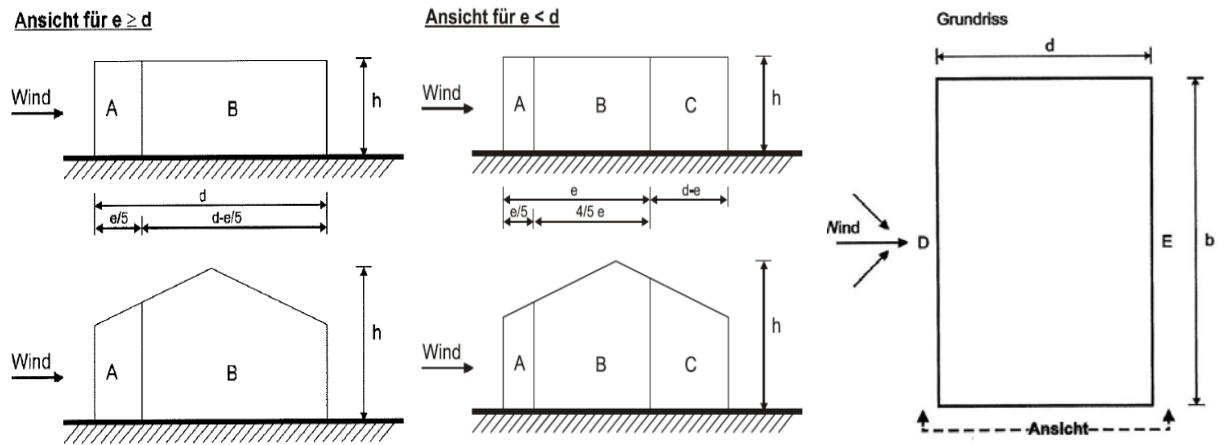
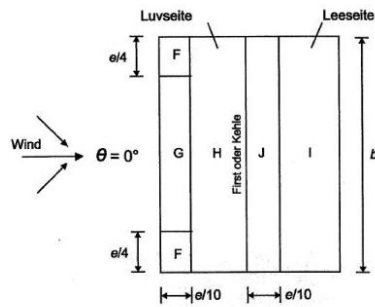


Bild A.68 Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Zusammenfassung_Breitseite⁵⁴

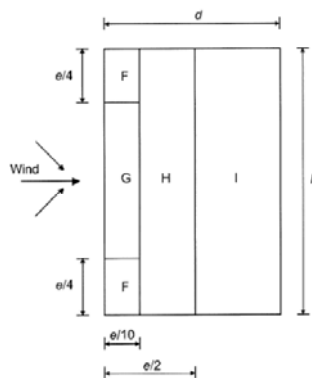
	System 1.1	System 1.2	System 1.3	System 2.1	System 2.2	System 2.3
Bereich A	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00
Bereich B	-0,70	-0,70	-0,70	-0,70	-0,70	-0,70
Bereich C	-	-0,40	-0,40	-	-	-0,40
Bereich D	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80
Bereich E	-0,25	-0,253	-0,262	-0,25	-0,25	-0,253
	System 3.1 System 5.1	System 3.2 System 5.2	System 3.3 System 5.3	System 4.1 System 6.1	System 4.2 System 6.2	System 4.3 System 6.3
Bereich A	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00
Bereich B	-0,70	-0,70	-0,70	-0,70	-0,70	-0,70
Bereich C	-	-0,40	-0,40	-	-	-
Bereich D	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80
Bereich E	-0,25	-0,27	-0,29	-0,25	-0,255	-0,27

Tabelle A.24 Zusammenfassung der Einwirkungen auf die Längswände

⁵⁴ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 35

Außendruckbeiwerte für das Satteldach Breitseite:(b) Anströmrichtung $\theta = 0^\circ$ Bild A.69 Einteilung der Dachflächen bei Sattel- und Trogdächern_Zusammenfassung_Breitseite⁵⁵

Bereich F	$C_{pe,10}$ [positiv] = +0,20	Bereich F	$C_{pe,10}$ [negativ] = -0,90
Bereich G	$C_{pe,10}$ [positiv] = +0,20	Bereich G	$C_{pe,10}$ [negativ] = -0,80
Bereich H	$C_{pe,10}$ [positiv] = +0,20	Bereich H	$C_{pe,10}$ [negativ] = -0,30
Bereich I	$C_{pe,10}$ [positiv] = $\pm 0,00$	Bereich I	$C_{pe,10}$ [negativ] = -0,40
Bereich J	$C_{pe,10}$ [positiv] = $\pm 0,00$	Bereich J	$C_{pe,10}$ [negativ] = -1,00

Außendruckbeiwerte für das Flachdach Breitseite:Bild A.70 Einteilung der Dachflächen bei Flachdächern_Zusammenfassung_Breitseite⁵⁶

Bereich F	$C_{pe,10}$ [positiv] = -1,40	Bereich F	$C_{pe,10}$ [negativ] = -1,40
Bereich G	$C_{pe,10}$ [positiv] = -0,90	Bereich G	$C_{pe,10}$ [negativ] = -0,90
Bereich H	$C_{pe,10}$ [positiv] = -0,70	Bereich H	$C_{pe,10}$ [negativ] = -0,70
Bereich I	$C_{pe,10}$ [positiv] = +0,20	Bereich I	$C_{pe,10}$ [negativ] = -0,20

⁵⁵ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 43⁵⁶ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 37

Wind auf die Längsseite:

Wände

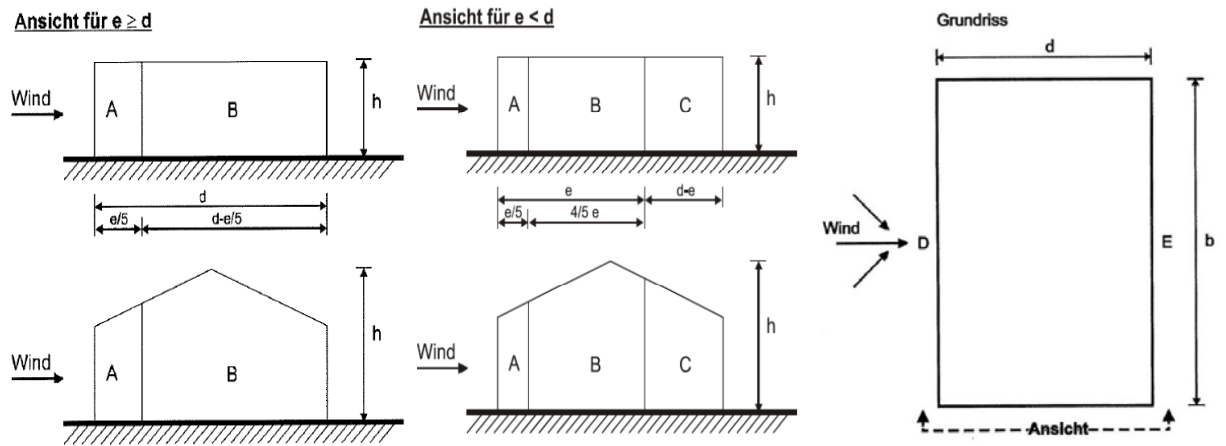
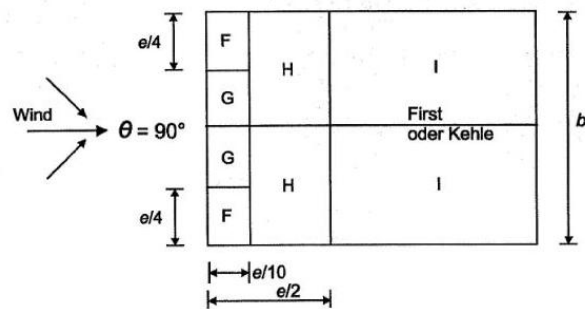


Bild A.71 Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Zusammenfassung_Längsseite⁵⁷

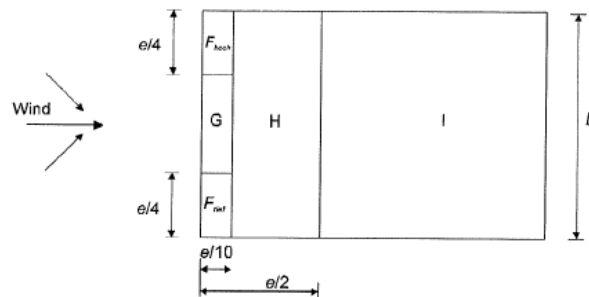
	System 1.1	System 1.2	System 1.3	System 2.1	System 2.2	System 2.3
Bereich A	-1,00	-1,00	-1,00	-1,02	-1,01	-1,00
Bereich B	-0,70	-0,70	-0,70	-0,70	-0,70	-0,70
Bereich C	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40
Bereich D	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80
Bereich E	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15
	System 3.1 System 5.1	System 3.2 System 5.2	System 3.3 System 5.3	System 4.1 System 6.1	System 4.2 System 6.2	System 4.3 System 6.3
Bereich A	-1,01	-1,00	-1,00	-1,01	-1,00	-1,00
Bereich B	-0,70	-0,70	-0,70	-0,70	-0,70	-0,70
Bereich C	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40
Bereich D	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80
Bereich E	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15

Tabelle A.25 Zusammenfassung der Einwirkungen auf die Breitwände

⁵⁷ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 35

Außendruckbeiwerte für das Satteldach Längsseite:(c) Anströmrichtung $\theta = 90^\circ$ Bild A.72 Einteilung der Dachflächen bei Sattel- und Trogdächern_Zusammenfassung_Längsseite⁵⁸

Bereich F	$C_{pe,10} = -1,30$
Bereich G	$C_{pe,10} = -1,30$
Bereich H	$C_{pe,10} = -0,60$
Bereich I	$C_{pe,10} = -0,50$

Außendruckbeiwerte für das Flachdach Längsseite:(c) Anströmrichtung $\theta = 90^\circ$ Bild A.73 Einteilung der Dachflächen bei Flachdächern_Zusammenfassung_Längsseite⁵⁹

Bereich F	$C_{pe,10}$ [positiv] = -1,40	Bereich F	$C_{pe,10}$ [negativ] = $\pm 0,00$
Bereich G	$C_{pe,10}$ [positiv] = -0,90	Bereich G	$C_{pe,10}$ [negativ] = $\pm 0,00$
Bereich H	$C_{pe,10}$ [positiv] = -0,70	Bereich H	$C_{pe,10}$ [negativ] = $\pm 0,00$
Bereich I	$C_{pe,10}$ [positiv] = +0,20	Bereich I	$C_{pe,10}$ [negativ] = -0,20

⁵⁸ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 43⁵⁹ EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Seite 37

Innendruckbeiwerte:

$$c_{p,i} = +0,2 \text{ kN/m}^2 \text{ (nach außen gerichtet - Druck)}$$

$$c_{p,i} = -0,3 \text{ kN/m}^2 \text{ (nach innen gerichtet - Sog)}$$

A.1.3.6 maßgebenden Windlasten

Die nachfolgenden Tabellen zeigen für jedes System die errechneten Windbelastungen gegliedert in den Bereichen nach EN 1991-1-4.

Der Rechenwert der Windlasten für einen Rahmen in Hallenmitte jedes System ergibt sich wie folgt:

$$w_{(e,i)} = q_{p(ze,zi)} * c_{p(e,10;i)} * e = \dots, \dots \text{ kN/m}$$

System 1.1 Ort A

Innendruck				
Bereich	$c_{p,i}$ [-]	$q_{p,zi}$ [kN/m ²]	e [m]	w_i [kN/m]
Innensog	-0,30	0,676	8,0	-1,62
Innendruck	0,20	0,676	8,0	1,08
Wand-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
D	0,80	0,676	8,0	4,33
E	-0,25	0,676	8,0	-1,35
Dach-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
G	-0,80	0,676	8,0	-4,33
H	-0,30	0,676	8,0	-1,62
I	-0,40	0,676	8,0	-2,16
J	-1,00	0,676	8,0	-5,41
Wand-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
C	-0,40	0,676	8,0	-2,16
Dach-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
I	-0,50	0,676	8,0	-2,70

Tabelle A.26 Windlasten System 1.1 Ort A

System 1.1 Ort B

Innendruck				
Bereich	$c_{p,i}$ [-]	$q_{p,zi}$ [kN/m ²]	e [m]	w_i [kN/m]
Innensog	-0,30	1,481	8,0	-3,56
Innendruck	0,20	1,481	8,0	2,37
Wand-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
D	0,80	1,481	8,0	9,48
E	-0,25	1,481	8,0	-2,96
Dach-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
G	-0,80	1,481	8,0	-9,48
H	-0,30	1,481	8,0	-3,56
I	-0,40	1,481	8,0	-4,74
J	-1,00	1,481	8,0	-11,85
Wand-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
C	-0,40	1,481	8,0	-4,74
Dach-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
I	-0,50	1,481	8,0	-5,93

Tabelle A.27 Windlasten System 1.1 Ort B

System 1.2 Ort A

Innendruck				
Bereich	c_{pi} [-]	$q_{p,zi}$ [kN/m ²]	e [m]	w_i [kN/m]
Innensog	-0,30	0,676	8,0	-1,62
Innendruck	0,20	0,676	8,0	1,08
Wand-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
D	0,80	0,676	8,0	4,33
E	-0,253	0,676	8,0	-1,37
Dach-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
G	-0,80	0,676	8,0	-4,33
H	-0,30	0,676	8,0	-1,62
I	-0,40	0,676	8,0	-2,16
J	-1,00	0,676	8,0	-5,41
Wand-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
C	-0,40	0,676	8,0	-2,16
Dach-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
I	-0,50	0,676	8,0	-2,70

Tabelle A.28 Windlasten System 1.2 Ort A

System 1.2 Ort B

Innendruck				
Bereich	c_{pi} [-]	$q_{p,zi}$ [kN/m ²]	e [m]	w_i [kN/m]
Innensog	-0,30	1,517	6,0	-2,73
Innendruck	0,20	1,517	6,0	1,82
Wand-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
D	0,80	1,517	6,0	7,28
E	-0,253	1,517	6,0	-2,30
Dach-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
G	-0,80	1,517	6,0	-7,28
H	-0,30	1,517	6,0	-2,73
I	-0,40	1,517	6,0	-3,64
J	-1,00	1,517	6,0	-9,10
Wand-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
C	-0,40	1,517	6,0	-3,64
Dach-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
I	-0,50	1,517	6,0	-4,55

Tabelle A.29 Windlasten System 2.1 Ort B

System 1.3 Ort A

Innendruck				
Bereich	c_{pi} [-]	$q_{p,zi}$ [kN/m ²]	e [m]	w_i [kN/m]
Innensog	-0,30	0,676	6,0	-1,22
Innendruck	0,20	0,676	6,0	0,81
Wand-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
D	0,80	0,676	6,0	3,25
E	-0,262	0,676	6,0	-1,06
Dach-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
G	-0,80	0,676	6,0	-3,25
H	-0,30	0,676	6,0	-1,22
I	-0,40	0,676	6,0	-1,62
J	-1,00	0,676	6,0	-4,06
Wand-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
C	-0,40	0,676	6,0	-1,62
Dach-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
I	-0,50	0,676	6,0	-2,03

Tabelle A.30 Windlasten System 1.3 Ort A

System 1.3 Ort B

Innendruck				
Bereich	c_{pi} [-]	$q_{p,zi}$ [kN/m ²]	e [m]	w_i [kN/m]
Innensog	-0,30	1,551	6,0	-2,79
Innendruck	0,20	1,551	6,0	1,86
Wand-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
D	0,80	1,551	6,0	7,44
E	-0,262	1,551	6,0	-2,44
Dach-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
G	-0,80	1,551	6,0	-7,44
H	-0,30	1,551	6,0	-2,79
I	-0,40	1,551	6,0	-3,72
J	-1,00	1,551	6,0	-9,31
Wand-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
C	-0,40	1,551	6,0	-3,72
Dach-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
I	-0,50	1,551	6,0	-4,65

Tabelle A.31 Windlasten System 1.3 Ort B

System 2.1 Ort A

Innendruck				
Bereich	c_{pi} [-]	$q_{p,zi}$ [kN/m ²]	e [m]	w_i [kN/m]
Innensog	-0,30	0,676	8,0	-1,62
Innendruck	0,20	0,676	8,0	1,08
Wand-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
D	0,80	0,676	8,0	4,33
E	-0,25	0,676	8,0	-1,35
Dach-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
G	-0,80	0,676	8,0	-4,33
H	-0,30	0,676	8,0	-1,62
I	-0,40	0,676	8,0	-2,16
J	-1,00	0,670	8,0	-5,41
Wand-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
C	-0,40	0,676	8,0	-2,16
Dach-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
I	-0,50	0,676	8,0	-2,70

Tabelle A.32 Windlasten System 2.1 Ort A

System 2.1 Ort B

Innendruck				
Bereich	c_{pi} [-]	$q_{p,zi}$ [kN/m ²]	e [m]	w_i [kN/m]
Innensog	-0,30	1,567	8,0	-3,76
Innendruck	0,20	1,567	8,0	2,51
Wand-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
D	0,80	1,567	8,0	10,03
E	-0,25	1,567	8,0	-3,13
Dach-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
G	-0,80	1,567	8,0	-10,03
H	-0,30	1,567	8,0	-3,76
I	-0,40	1,567	8,0	-5,01
J	-1,00	1,567	8,0	-12,53
Wand-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
C	-0,40	1,567	8,0	-5,01
Dach-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
I	-0,50	1,567	8,0	-6,27

Tabelle A.33 Windlasten System 2.1 Ort B

System 2.2 Ort A

Innendruck				
Bereich	c_{pi} [-]	$q_{p,zi}$ [kN/m ²]	e [m]	w_i [kN/m]
Innensog	-0,30	0,676	8,0	-1,62
Innendruck	0,20	0,676	8,0	1,08
Wand-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
D	0,80	0,676	8,0	4,33
E	-0,25	0,676	8,0	-1,35
Dach-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
G	-0,80	0,676	8,0	-4,33
H	-0,30	0,676	8,0	-1,62
I	-0,40	0,676	8,0	-2,16
J	-1,00	0,676	8,0	-5,41
Wand-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
C	-0,40	0,676	8,0	-2,16
Dach-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
I	-0,50	0,676	8,0	-2,70

Tabelle A.34 Windlasten System 2.2 Ort A

System 2.2 Ort B

Innendruck				
Bereich	c_{pi} [-]	$q_{p,zi}$ [kN/m ²]	e [m]	w_i [kN/m]
Innensog	-0,30	1,597	6,0	-2,87
Innendruck	0,20	1,597	6,0	1,92
Wand-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
D	0,80	1,597	6,0	7,67
E	-0,25	1,597	6,0	-2,40
Dach-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
G	-0,80	1,597	6,0	-7,67
H	-0,30	1,597	6,0	-2,87
I	-0,40	1,597	6,0	-3,83
J	-1,00	1,597	6,0	-9,58
Wand-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
C	-0,40	1,597	6,0	-3,83
Dach-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
I	-0,50	1,597	6,0	-4,79

Tabelle A.35 Windlasten System 2.2 Ort B

System 2.3 Ort A

Innendruck				
Bereich	c_{pi} [-]	$q_{p,zi}$ [kN/m ²]	e [m]	w_i [kN/m]
Innensog	-0,30	0,676	6,0	-1,22
Innendruck	0,20	0,676	6,0	0,81
Wand-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
D	0,80	0,676	6,0	3,25
E	-0,252	0,676	6,0	-1,03
Dach-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
G	-0,80	0,676	6,0	-3,25
H	-0,30	0,676	6,0	-1,22
I	-0,40	0,676	6,0	-1,62
J	-1,00	0,676	6,0	-4,06
Wand-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
C	-0,40	0,676	6,0	-1,62
Dach-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
I	-0,50	0,676	6,0	-2,03

Tabelle A.36 Windlasten System 2.3 Ort A

System 2.3 Ort B

Innendruck				
Bereich	c_{pi} [-]	$q_{p,zi}$ [kN/m ²]	e [m]	w_i [kN/m]
Innensog	-0,30	1,626	6,0	-2,93
Innendruck	0,20	1,626	6,0	1,95
Wand-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
D	0,80	1,626	6,0	7,80
E	-0,252	1,626	6,0	-2,47
Dach-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
G	-0,80	1,626	6,0	-7,80
H	-0,30	1,626	6,0	-2,93
I	-0,40	1,626	6,0	-3,9
J	-1,00	1,626	6,0	-9,75
Wand-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
C	-0,40	1,626	6,0	-3,90
Dach-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
I	-0,50	1,626	6,0	-4,88

Tabelle A.37 Windlasten System 2.3 Ort B

System 3.1 Ort A & System 5.1 Ort A

Innendruck				
Bereich	c_{pi} [-]	$q_{p,zi}$ [kN/m ²]	e [m]	w_i [kN/m]
Innensog	-0,30	0,676	8,0	-1,62
Innendruck	0,20	0,676	8,0	1,08
Wand-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
D	0,80	0,676	8,0	4,33
E	-0,25	0,676	8,0	-1,35
Dach-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
G	-0,90	0,676	8,0	-4,87
H	-0,70	0,676	8,0	-3,79
I	-0,20 / +0,20	0,676	8,0	-1,08 / +1,08
Wand-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
C	-0,40	0,676	8,0	-2,16
Dach-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
I	-0,20 / +0,20	0,676	8,0	-1,08 / +1,08

Tabelle A.38 Windlasten System 3.1 Ort A & System 5.1 Ort A

System 3.1 Ort B & System 5.1 Ort B

Innendruck				
Bereich	c_{pi} [-]	$q_{p,zi}$ [kN/m ²]	e [m]	w_i [kN/m]
Innensog	-0,30	1,400	8,0	-3,36
Innendruck	0,20	1,400	8,0	2,24
Wand-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
D	0,80	1,400	8,0	8,96
E	-0,25	1,400	8,0	-2,80
Dach-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
G	-0,90	1,400	8,0	-10,08
H	-0,70	1,400	8,0	7,84
I	-0,20 / +0,20	1,400	8,0	-2,24 / +2,24
Wand-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
C	-0,40	1,400	8,0	-4,48
Dach-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
I	-0,20 / +0,20	1,400	8,0	-2,24 / +2,24

Tabelle A.39 Windlasten System 3.1 Ort B & System 5.1 Ort B

System 3.2 Ort A

Innendruck				
Bereich	c_{pi} [-]	$q_{p,zi}$ [kN/m ²]	e [m]	w_i [kN/m]
Innensog	-0,30	0,676	8,0	-1,62
Innendruck	0,20	0,676	8,0	1,08
Wand-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
D	0,80	0,676	8,0	4,33
E	-0,27	0,676	8,0	-1,46
Dach-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
G	-0,90	0,676	8,0	-4,87
H	-0,70	0,676	8,0	3,79
I	-0,20 / +0,20	0,676	8,0	-1,08 / +1,08
Wand-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
C	-0,40	0,676	8,0	-2,16
Dach-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
I	-0,20 / +0,20	0,676	8,0	-1,08 / +1,08

Tabelle A.40 Windlasten System 3.2 Ort A

System 3.2 Ort B & System 5.2 Ort B

Innendruck				
Bereich	c_{pi} [-]	$q_{p,zi}$ [kN/m ²]	e [m]	w_i [kN/m]
Innensog	-0,30	1,400	6,0	-2,52
Innendruck	0,20	1,400	6,0	1,68
Wand-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
D	0,80	1,400	6,0	6,72
E	-0,27	1,400	6,0	-2,27
Dach-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
G	-0,90	1,400	6,0	-7,56
H	-0,70	1,400	6,0	-5,88
I	-0,20 / +0,20	1,400	6,0	-1,68 / +1,68
Wand-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
C	-0,40	1,400	6,0	-3,36
Dach-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
I	-0,20 / +0,20	1,400	6,0	-1,68 / +1,68

Tabelle A.41 Windlasten System 3.2 Ort B & System 5.2 Ort B

System 3.3 Ort A & System 5.3 Ort A

Innendruck				
Bereich	c_{pi} [-]	$q_{p,zi}$ [kN/m ²]	e [m]	w_i [kN/m]
Innensog	-0,30	0,676	6,0	-1,22
Innendruck	0,20	0,676	6,0	0,81
Wand-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
D	0,80	0,676	6,0	3,25
E	-0,29	0,676	6,0	-1,18
Dach-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
G	-0,90	0,676	6,0	-3,65
H	-0,70	0,676	6,0	-2,84
I	-0,20 / +0,20	0,676	6,0	-0,81 / +0,81
Wand-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
C	-0,40	0,676	6,0	-1,62
Dach-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
I	-0,20 / +0,20	0,676	6,0	-0,81 / +0,81

Tabelle A.42 Windlasten System 3.3 Ort A & System 5.1 Ort A

System 3.3 Ort B & System 5.3 Ort B

Innendruck				
Bereich	c_{pi} [-]	$q_{p,zi}$ [kN/m ²]	e [m]	w_i [kN/m]
Innensog	-0,30	1,400	6,0	-2,52
Innendruck	0,20	1,400	6,0	1,68
Wand-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
D	0,80	1,400	6,0	6,72
E	-0,29	1,400	6,0	-2,44
Dach-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
G	-0,90	1,400	6,0	-7,56
H	-0,70	1,400	6,0	-5,88
I	-0,20 / +0,20	1,400	6,0	-1,68 / +1,68
Wand-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
C	-0,40	1,400	6,0	-3,36
Dach-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
I	-0,20 / +0,20	1,400	6,0	-1,68 / +1,68

Tabelle A.43 Windlasten System 3.3 Ort B & System 5.3 Ort B

System 4.1 Ort A & System 6.1 Ort A

Innendruck				
Bereich	c_{pi} [-]	$q_{p,zi}$ [kN/m ²]	e [m]	w_i [kN/m]
Innensog	-0,30	0,676	8,0	-1,62
Innendruck	0,20	0,676	8,0	1,08
Wand-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
D	0,80	0,676	8,0	4,33
E	-0,25	0,676	8,0	-1,35
Dach-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
G	-0,90	0,676	8,0	-4,87
H	-0,70	0,676	8,0	-3,79
I	-0,20 / +0,20	0,676	8,0	-1,08 / +1,08
Wand-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
C	-0,40	0,676	8,0	-2,16
Dach-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
I	-0,20 / +0,20	0,676	8,0	-1,08 / +1,08

Tabelle A.44 Windlasten System 4.1 Ort A & System 6.1 Ort A

System 4.1 Ort B & System 6.1 Ort B

Innendruck				
Bereich	c_{pi} [-]	$q_{p,zi}$ [kN/m ²]	e [m]	w_i [kN/m]
Innensog	-0,30	1,500	8,0	-3,60
Innendruck	0,20	1,500	8,0	2,40
Wand-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
D	0,80	1,500	8,0	9,60
E	-0,25	1,500	8,0	-3,00
Dach-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
G	-0,90	1,500	8,0	-10,08
H	-0,70	1,500	8,0	-8,4
I	-0,20 / +0,20	1,500	8,0	-2,40 / +2,40
Wand-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
C	-0,40	1,500	8,0	-4,80
Dach-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
I	-0,20 / +0,20	1,500	8,0	-2,40 / +2,40

Tabelle A.45 Windlasten System 4.1 Ort B & System 6.1 Ort B

System 4.2 Ort A

Innendruck				
Bereich	c_{pi} [-]	$q_{p,zi}$ [kN/m ²]	e [m]	w_i [kN/m]
Innensog	-0,30	0,676	8,0	-1,62
Innendruck	0,20	0,676	8,0	1,08
Wand-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
D	0,80	0,676	8,0	4,33
E	-0,255	0,676	8,0	-1,38
Dach-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
G	-0,90	0,676	8,0	-4,87
H	-0,70	0,676	8,0	-3,79
I	-0,20 / +0,20	0,676	8,0	-1,08 / +1,08
Wand-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
C	-0,40	0,676	8,0	-2,16
Dach-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
I	-0,20 / +0,20	0,676	8,0	-1,08 / +1,08

Tabelle A.46 Windlasten System 4.2 Ort A

System 4.2 Ort B & System 6.2 Ort B

Innendruck				
Bereich	c_{pi} [-]	$q_{p,zi}$ [kN/m ²]	e [m]	w_i [kN/m]
Innensog	-0,30	1,500	6,0	-2,70
Innendruck	0,20	1,500	6,0	1,80
Wand-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
D	0,80	1,500	6,0	7,20
E	-0,255	1,500	6,0	-2,29
Dach-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
G	-0,90	1,500	6,0	-8,10
H	-0,70	1,500	6,0	-6,3
I	-0,20 / +0,20	1,500	6,0	-1,80 / +1,80
Wand-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
C	-0,40	1,500	6,0	-3,60
Dach-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
I	-0,20 / +0,20	1,500	6,0	-1,80 / +1,80

Tabelle A.47 Windlasten System 4.2 Ort B & System 6.2 Ort B

System 4.3 Ort A & System 6.3 Ort A

Innendruck				
Bereich	c_{pi} [-]	$q_{p,zi}$ [kN/m ²]	e [m]	w_i [kN/m]
Innensog	-0,30	0,676	6,0	-1,22
Innendruck	0,20	0,676	6,0	0,81
Wand-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
D	0,80	0,676	6,0	3,25
E	-0,27	0,676	6,0	-1,10
Dach-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
G	-0,90	0,676	6,0	-3,65
H	-0,70	0,676	6,0	-2,84
I	-0,20 / +0,20	0,676	6,0	-0,81 / +0,81
Wand-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
C	-0,40	0,676	6,0	-1,62
Dach-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
I	-0,20 / +0,20	0,676	6,0	-0,81 / +0,81

Tabelle A.48 Windlasten System 4.3 Ort A & System 6.3 Ort A

System 4.3 Ort B & System 6.3 Ort B

Innendruck				
Bereich	c_{pi} [-]	$q_{p,zi}$ [kN/m ²]	e [m]	w_i [kN/m]
Innensog	-0,30	1,500	6,0	-2,70
Innendruck	0,20	1,500	6,0	1,80
Wand-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
D	0,80	1,500	6,0	7,20
E	-0,27	1,500	6,0	-2,43
Dach-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
G	-0,90	1,500	6,0	-8,10
H	-0,70	1,500	6,0	-6,30
I	-0,20 / +0,20	1,500	6,0	-1,80 / +1,80
Wand-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
C	-0,40	1,500	6,0	-3,60
Dach-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
I	-0,20 / +0,20	1,500	6,0	-1,80 / +1,80

Tabelle A.49 Windlasten System 4.3 Ort B & System 6.3 Ort B

System 5.2 Ort A

Innendruck				
Bereich	c_{pi} [-]	$q_{p,zi}$ [kN/m ²]	e [m]	w_i [kN/m]
Innensog	-0,30	0,676	6,0	-1,22
Innendruck	0,20	0,676	6,0	0,81
Wand-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
D	0,80	0,676	6,0	3,25
E	-0,27	0,676	6,0	-1,10
Dach-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
G	-0,90	0,676	6,0	-3,65
H	-0,70	0,676	6,0	-2,84
I	-0,20 / +0,20	0,676	6,0	-0,81 / +0,81
Wand-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
C	-0,40	0,676	6,0	-1,62
Dach-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
I	-0,20 / +0,20	0,676	6,0	-0,81 / +0,81

Tabelle A.50 Windlasten System 5.2 Ort A

System 6.2 Ort A

Innendruck				
Bereich	c_{pi} [-]	$q_{p,zi}$ [kN/m ²]	e [m]	w_i [kN/m]
Innensog	-0,30	0,676	6,0	-1,22
Innendruck	0,20	0,676	6,0	0,81
Wand-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
D	0,80	0,676	6,0	3,25
E	-0,255	0,676	6,0	-1,03
Dach-Windrichtung Breitseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
G	-0,90	0,676	6,0	-3,65
H	-0,70	0,676	6,0	-2,84
I	-0,20 / +0,20	0,676	6,0	-0,81 / +0,81
Wand-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
C	-0,40	0,676	6,0	-1,62
Dach-Windrichtung Längsseite				
Bereich	$c_{pe,10}$ [-]	$q_{p,ze}$ [kN/m ²]	e [m]	w_e [kN/m]
I	-0,20 / +0,20	0,676	6,0	-0,81 / +0,81

Tabelle A.51 Windlasten System 6.2 Ort A

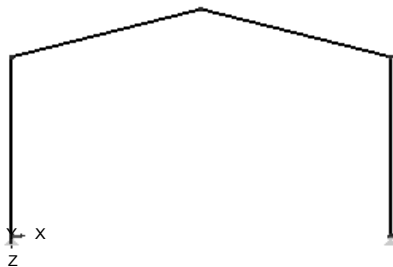
A.2 Lastfälle

Anbei die grafische Auflistung der eingegebenen Lastfälle der Systeme. In diesen Grafiken werden die Werte der Belastung nicht angezeigt, da diese je nach Standort und Systemgeometrie variieren. Die Bezeichnungen und Nummerierungen der einzelnen Lastfälle entsprechen den der Systemberechnungen mittels RSTAB.

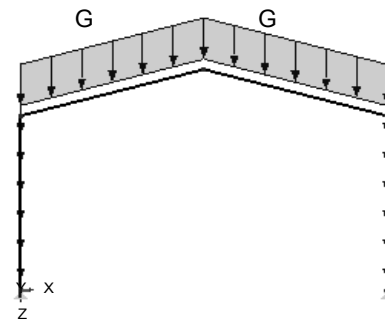
A.2.1 Systeme 1 & 2

A.2.1.1 Tragwerk, Aufbau & Schneelast

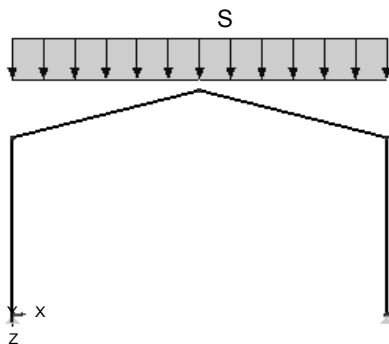
LF1: Tragkonstruktion



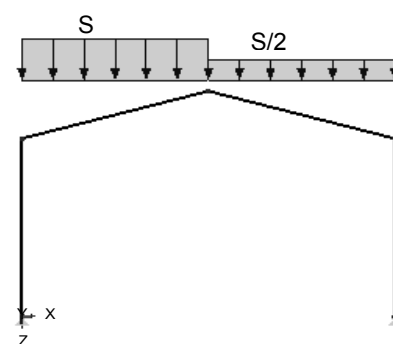
LF2: Aufbau leicht



LF3: Schnee_LF 1



LF4: Schnee_LF 2



LF5: Schnee_LF 3

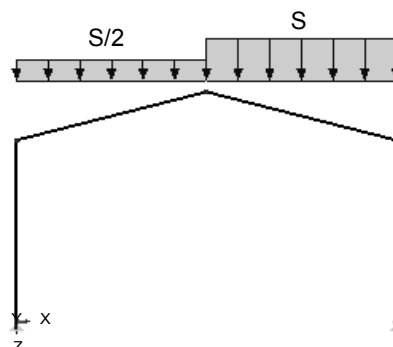


Bild A.74 Eigengewicht & Schneelast Systeme 1 & 2

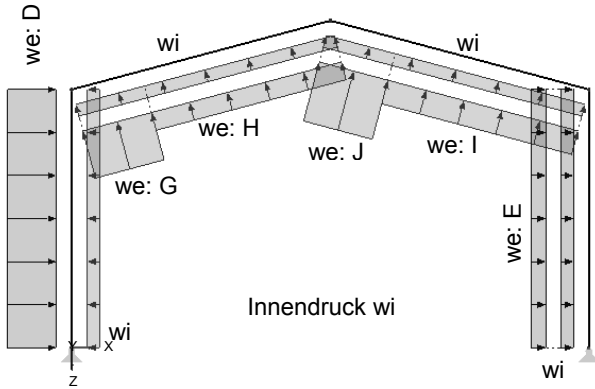
A.2.1.2 Windlasten

Folgende Beschriftungen wurden für die nachfolgenden Systemskizzen gewählt:

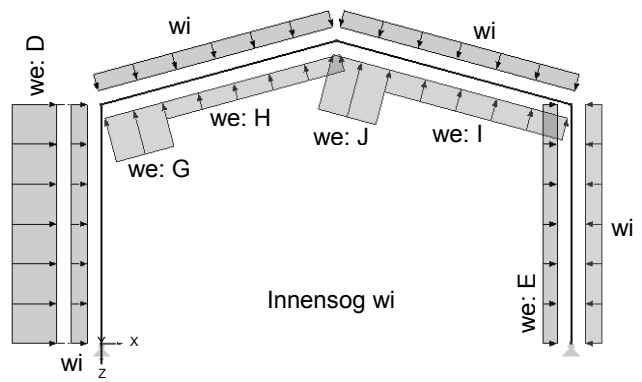
$w_{e,x}$...Wind auf Außenwand & Bereiche Dach außen (x=Zonenbez. nach EN 1991-1-4)

w_i ...Innendruck / Innensog auf Außenwand und Dach

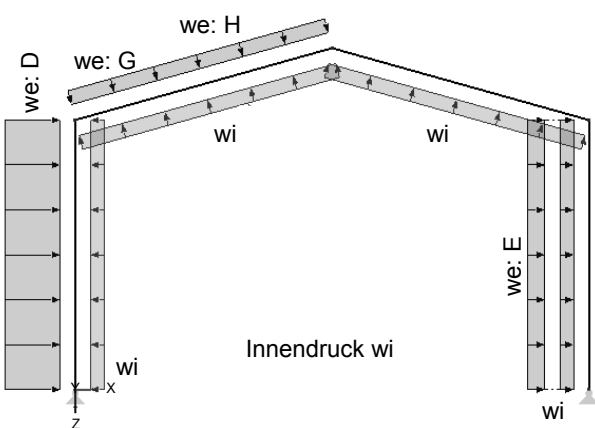
LF6: Wind auf der Breitseite_LF1



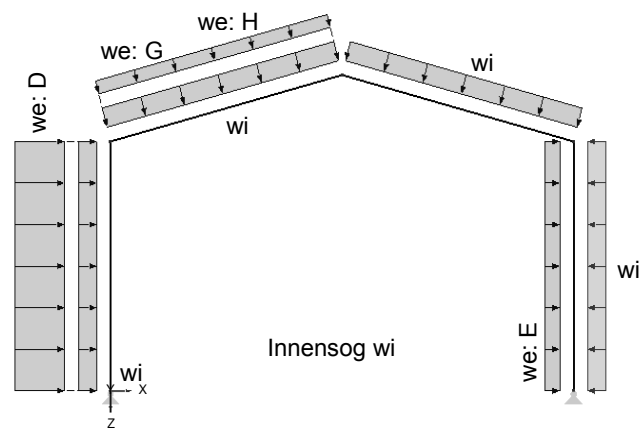
LF7: Wind auf der Breitseite_LF2



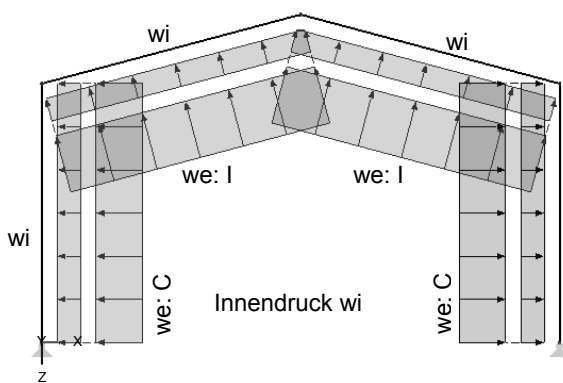
LF8: Wind auf der Breitseite_LF3



LF9: Wind auf der Breitseite_LF4



LF10: Wind auf der Längsseite_LF5



LF11: Wind auf der Längsseite_LF6

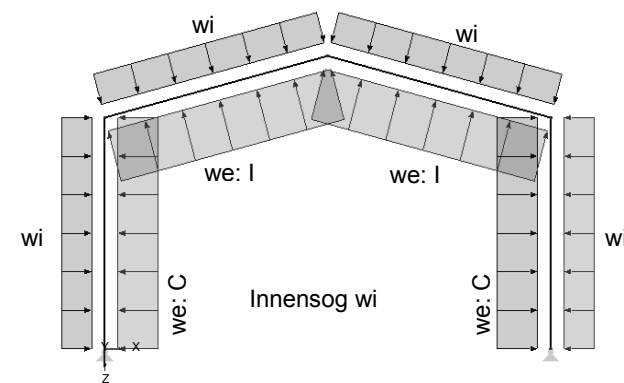


Bild A.75 Windlastfälle Systeme 1 & 2

A.2.2 Imperfektionslastfälle

Die Imperfektionen entsprechen den Vorgaben der EN 1993-1-1

Stabvorkrümmungen

Aufgrund der plastischen Stabilitätsnachweise und Querschnittsnachweise sind aus der Tabelle die Werte für die plastische Berechnung in Rechnung gestellt worden.

Knicklinie nach Tabelle 6.1	elastische Berechnung	plastische Berechnung
	$e_{0,d}/L$	$e_{0,d}/L$
a ₀	1/350	1/300
a	1/300	1/250
b	1/250	1/200
c	1/200	1/150
d	1/150	1/100

Tabelle A.52 Bemessungswerte der Vorkrümmung $e_{0,d}/L$ von Bauteilen⁶⁰

Anfansschiefe

$$\Phi = \Phi_o * \alpha_h * \alpha_m \quad \text{mit} \quad \Phi_o = \frac{1}{200} ; \quad \alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} ; \quad \alpha_m = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$$

Stützhöhe 6,0m

$$\Phi = \frac{1}{200} * \frac{2}{\sqrt{6}} * \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{2}\right)} = \mathbf{1/282,84}$$

Stützhöhe 8,0m

$$\Phi = \frac{1}{200} * \frac{2}{\sqrt{8}} * \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{2}\right)} = \mathbf{1/326,60}$$

Der Faktor m wird mit 2 angesetzt da beide Stäbe eine Vertikalbelastung größer 50% der durchschnittlichen Stützenlast in vertikaler Richtung übernehmen.

⁶⁰ EN 1993-1-1 Ausgabe 2006-10-01: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Teil1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
Seite 36

Systemimperfectionen

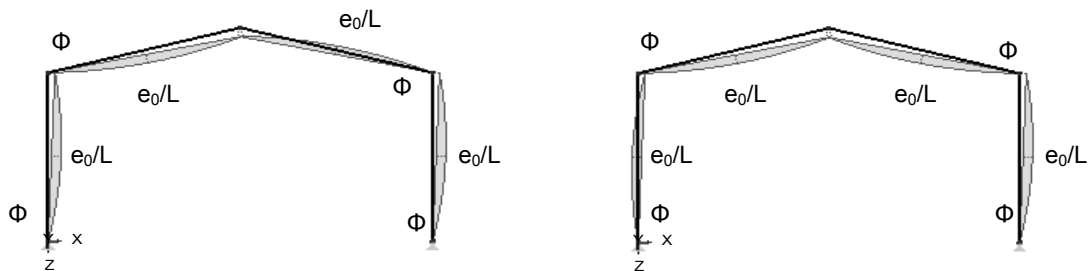
Die Richtung der Imperfectionen wurde immer in ungünstiger Richtung angenommen, d.h. in Windrichtung bzw. in Richtung der Schwerkraft.

Ort A							Ort B						
Systemdaten			Imperfektionen				Systemdaten			Imperfektionen			
System	Profil		Schiefstellung $\Phi = \Phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$		Stabvorkrümmung e_0/L plastische Berechnung		System	Profil		Schiefstellung $\Phi = \Phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$		Stabvorkrümmung e_0/L plastische Berechnung	
	Bezeichnung	Stütze	Träger	Stütze	Träger	Stütze		Träger	Bezeichnung	Stütze	Träger	Stütze	Träger
System 1.1	HEB 280	HEA 340	1/282,84	1/200	1/200	1/200	System 1.1	HEB 400	HEA 400	1/282,84	1/200	1/250	1/250
System 1.2	HEB 320	HEA 400	1/282,84	1/200	1/200	1/250	System 1.2	HEB 450	HEB 450	1/282,84	1/200	1/250	1/250
System 1.3	HEB 400	HEA 450	1/282,84	1/200	1/250	1/250	System 1.3	HEB 500	HEA 600	1/282,84	1/200	1/250	1/250
System 2.1	HEB 340	HEA 450	1/326,60	1/200	1/200	1/250	System 2.1	HEB 500	HEA 500	1/326,60	1/200	1/250	1/250
System 2.2	HEB 400	HEA 450	1/326,60	1/200	1/250	1/250	System 2.2	HEB 500	HEB 500	1/326,60	1/200	1/250	1/250
System 2.3	HEB 400	HEA 500	1/326,60	1/200	1/250	1/250	System 2.3	HEB 550	HEA 650	1/326,60	1/200	1/250	1/250

Tabelle A.53 Systemimperfectionen der Satteldachsysteme

Für das Nachweisverfahren II gelten die Lastfälle 12 und 13, wobei der LF12 der maßgebende ist.

LF12: Schiefstellung & Vorkrümmung_LF 1 LF13: Schiefstellung & Vorkrümmung_LF 2



Für die Nachweisverfahren III & IV gilt der Lastfall 14

LF14: Schiefstellung

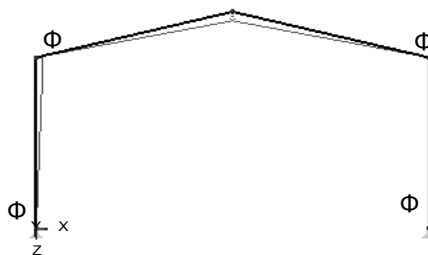


Bild A.76 Imperfectionslastfälle Systeme 1 & 2

A.2.3 Systeme 3 – 6

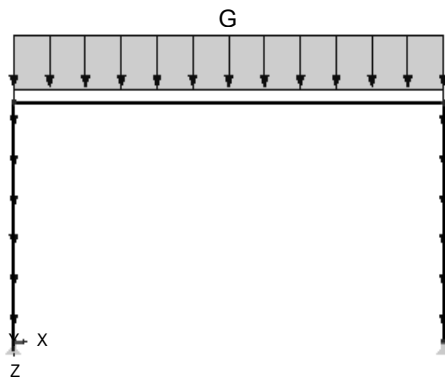
Analog gelten die zuvor erwähnten Annahmen auch für die Systeme 3 – 6.

A.2.3.1 Tragwerk, Aufbau & Schneelast

LF1: Tragwerk



LF2: Aufbau leicht / schwer



LF3: Schnee_LF 1

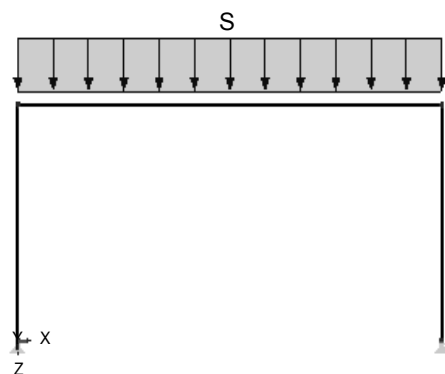


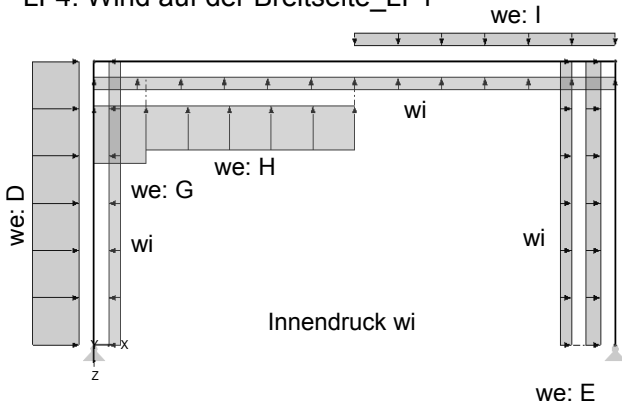
Bild A.77 Eigengewicht & Schneelast Systeme 3 - 6

A.2.3.2 Windlasten

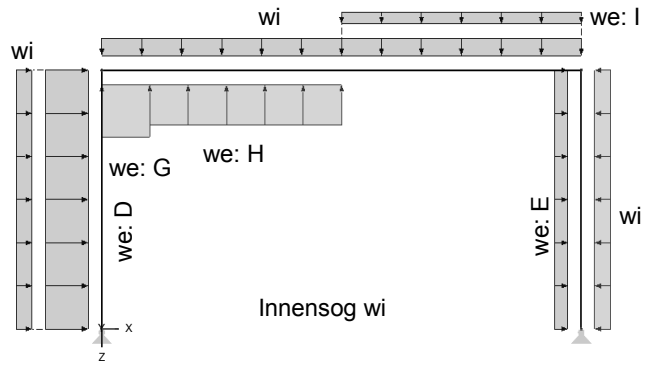
w_{eX} ... Wind auf Außenwand & Bereiche Dach außen (x=Zonenbez. nach EN 1991-1-4)

w_i ... Innendruck / Innensog auf Außenwand und Dach

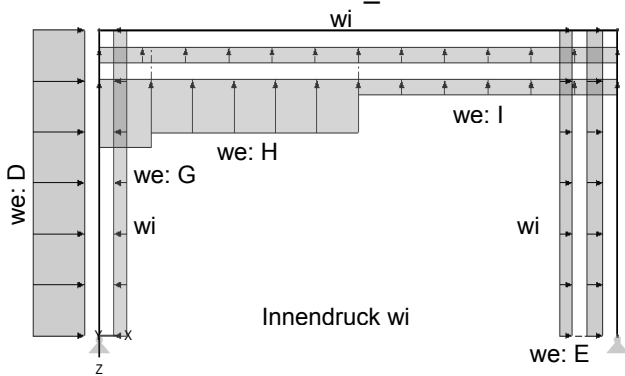
LF4: Wind auf der Breitseite_LF1



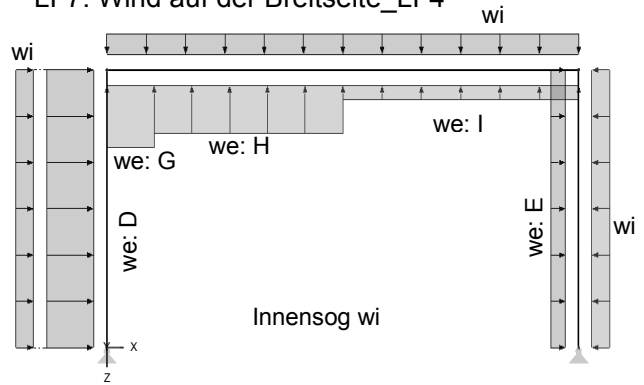
LF5: Wind auf der Breitseite_LF2



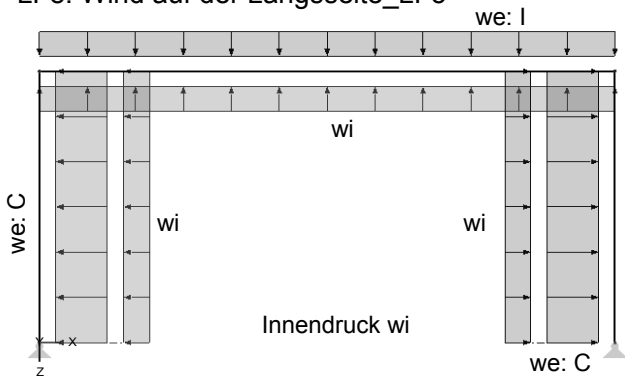
LF6: Wind auf der Breitseite_LF3



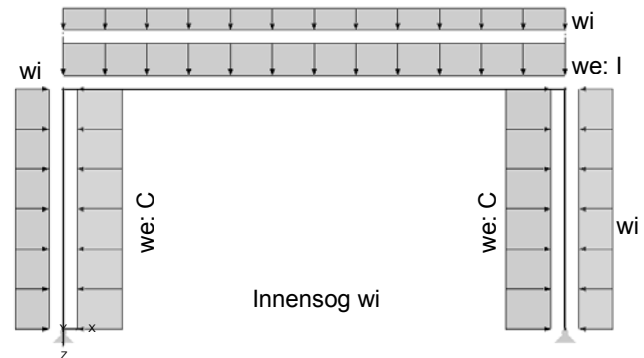
LF7: Wind auf der Breitseite_LF4



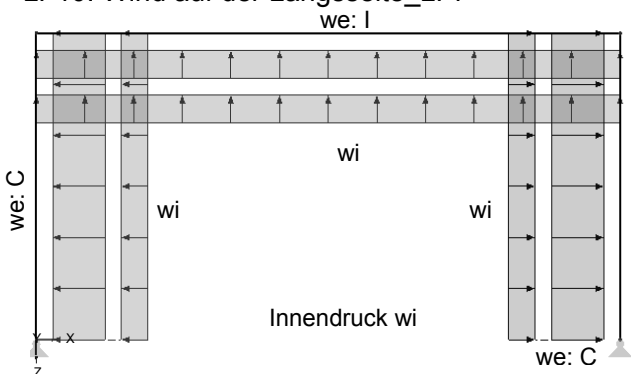
LF8: Wind auf der Längsseite_LF5



LF9: Wind auf der Längsseite_LF6



LF10: Wind auf der Längsseite_LF7



LF11: Wind auf der Längsseite_LF8

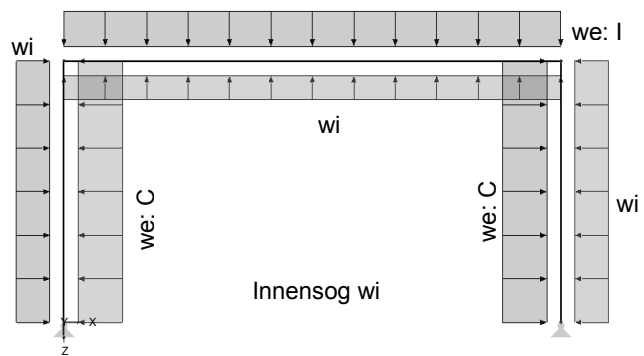


Bild A.78 Windlastfälle Systeme 3 - 6

A.2.3.3 Imperfektionslastfälle

Die Imperfektionen entsprechen den Vorgaben der EN 1993-1-1

Stabvorkrümmungen

Aufgrund der plastischen Stabilitätsnachweise und Querschnittsnachweise sind aus der Tabelle die Werte für die plastische Berechnung in Rechnung gestellt worden.

Knicklinie nach Tabelle 6.1	elastische Berechnung	plastische Berechnung
	$e_{0,d}/L$	$e_{0,d}/L$
a ₀	1/350	1/300
a	1/300	1/250
b	1/250	1/200
c	1/200	1/150
d	1/150	1/100

Tabelle A.54 Bemessungswerte der Vorkrümmung $e_{0,d}/L$ von Bauteilen⁶¹

Anfangsschiefstellung

$$\Phi = \Phi_o * \alpha_h * \alpha_m \quad \text{mit} \quad \Phi_o = \frac{1}{200} ; \alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} ; \alpha_m = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$$

Stützhöhe 6,0m

$$\Phi = \frac{1}{200} * \frac{2}{\sqrt{6}} * \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{2}\right)} = 1/282,84$$

Stützhöhe 8,0m

$$\Phi = \frac{1}{200} * \frac{2}{\sqrt{8}} * \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{2}\right)} = 1/326,60$$

Der Faktor m wird mit 2 angesetzt da beide Stäbe eine Vertikalbelastung größer 50% der durchschnittlichen Stützenlast in vertikaler Richtung übernehmen.

⁶¹ EN 1993-1-1 Ausgabe 2006-10-01: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Teil1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau Seite 36

Systemimperfectionen

Die Richtung der Imperfectionen wurde immer in ungünstiger Richtung angenommen, d.h. in Windrichtung bzw. in Richtung der Schwerkraft.

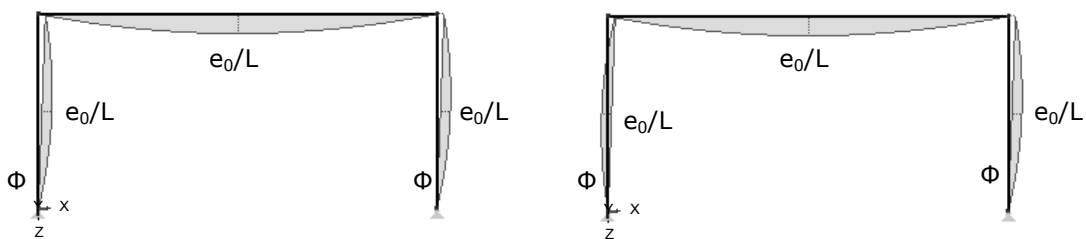
Ort A							Ort B						
Systemdaten			Imperfektionen				Systemdaten			Imperfektionen			
System	Profil		Schiefstellung $\Phi = \Phi_0 * \alpha_h * \alpha_m$		Stabvorkrümmung e_0/L plastische Berechnung		System	Profil		Schiefstellung $\Phi = \Phi_0 * \alpha_h * \alpha_m$		Stabvorkrümmung e_0/L plastische Berechnung	
	Bezeichnung	Stütze	Träger	Stütze	Träger	Stütze		Träger	Bezeichnung	Stütze	Träger	Stütze	Träger
System 3.1	HEB 260	HEA 300	1/282,84	-	1/200	1/200	System 3.1	HEB 320	HEA 450	1/282,84	-	1/200	1/250
System 3.2	HEB 300	HEA 500	1/282,84	-	1/200	1/250	System 3.2	HEB 340	HEA 700	1/282,84	-	1/200	1/250
System 3.3	HEB 320	HEA 650	1/282,84	-	1/200	1/250	System 3.3	HEB 360	HEA 900	1/282,84	-	1/250	1/250
System 4.1	HEB 320	HEA 400	1/326,60	-	1/200	1/250	System 4.1	HEB 450	HEB 450	1/326,60	-	1/250	1/250
System 4.2	HEB 320	HEA 500	1/326,60	-	1/200	1/250	System 4.2	HEB 400	HEA 650	1/326,60	-	1/250	1/250
System 4.3	HEB 360	HEA 650	1/326,60	-	1/200	1/250	System 4.3	HEB 400	HEB 900	1/326,60	-	1/250	1/250
System 5.1	HEB 300	HEA 500	1/282,84	-	1/200	1/250	System 5.1	HEB 450	HEA 500	1/282,84	-	1/250	1/250
System 5.2	HEB 400	HEB 700	1/282,84	-	1/250	1/250	System 5.2	HEB 400	HEB 700	1/282,84	-	1/250	1/250
System 5.3	HEB 450	HEB 900	1/282,84	-	1/250	1/250	System 5.3	HEB 700	HEB 900	1/282,84	-	1/250	1/250
System 6.1	HEB 360	HEA 500	1/326,60	-	1/200	1/250	System 6.1	HEB 450	HEB 550	1/326,60	-	1/250	1/250
System 6.2	HEB 400	HEB 700	1/326,60	-	1/250	1/250	System 6.2	HEB 450	HEB 700	1/326,60	-	1/250	1/250
System 6.3	HEB 450	HEB 900	1/326,60	-	1/250	1/250	System 6.3	HEB 800	HEB 1000	1/326,60	-	1/200	1/200

Tabelle A.55 Systemimperfectionen der Flachdachsysteme

Für das Nachweisverfahren II gelten die Lastfälle 12 und 13, wobei der LF12 der maßgebende ist.

LF12: Schiefstellung & Vorkrümmung_LF 1

LF13: Schiefstellung & Vorkrümmung_LF 2



Für die Nachweisverfahren III & IV gilt der Lastfall 14

LF14: Schiefstellung



Bild A.79 Imperfectionslastfälle Systeme 3 - 6

A.3 Lastfallkombinationen

Die folgenden Tabellen geben eine Übersicht, der für die RSTAB Berechnung verwendeten Lastfallkombinationen nach den Überlagerungsvorschriften des Eurocode 0 (EN 1990).

Gebildet werden die Lastfallkombinationen der Tragfähigkeit (ULS: STR/GEO) und der Gebrauchstauglichkeit (SLS: quasi ständige Kombination, häufige Kombination & charakteristische Kombination).

Die Imperfektionslastfälle und deren Anzahl ändern sich je nach Nachweisverfahren und sind deshalb hier nicht dargestellt. Sie werden mit einem Faktor von 1,0 in der Berechnung berücksichtigt. Dies hat zur Folge dass, sich je nach Nachweisverfahren die Lastfallkombination verdoppelt können z.B. im Nachweisverfahren II.

Die hier angeführten Lastfallkombinationsnummern LK entsprechen der Bezeichnung der RSTAB Berechnung.

A.3.1 Lastfallkombinationen Grenzzustände der Tragfähigkeit

SYSTEME 3 - 6 STR/GEO											
Schnee Leiteinwirkung											
Beschreibung	LK	Gk	S1k	$\Psi_{0,i} \cdot W1k$	$\Psi_{0,i} \cdot W2k$	$\Psi_{0,i} \cdot W3k$	$\Psi_{0,i} \cdot W4k$	$\Psi_{0,i} \cdot W5k$	$\Psi_{0,i} \cdot W6k$	$\Psi_{0,i} \cdot W7k$	$\Psi_{0,i} \cdot W8k$
Schnee LF1 / Wind LF1	LK1	1,35	1,50	0,60*1,50	–	–	–	–	–	–	–
Schnee LF1 / Wind LF2	LK2	1,35	1,50	–	0,60*1,50	–	–	–	–	–	–
Schnee LF1 / Wind LF3	LK3	1,35	1,50	–	–	0,60*1,50	–	–	–	–	–
Schnee LF1 / Wind LF4	LK4	1,35	1,50	–	–	–	0,60*1,50	–	–	–	–
Schnee LF1 / Wind LF5	LK5	1,35	1,50	–	–	–	–	0,60*1,50	–	–	–
Schnee LF1 / Wind LF6	LK6	1,35	1,50	–	–	–	–	–	0,60*1,50	–	–
Schnee LF1 / Wind LF7	LK7	1,35	1,50	–	–	–	–	–	–	0,60*1,50	–
Schnee LF1 / Wind LF8	LK8	1,35	1,50	–	–	–	–	–	–	–	0,60*1,50
Schnee LF1	LK25	1,35	1,50	–	–	–	–	–	–	–	–
Wind Leiteinwirkung											
Beschreibung	LK	Gk	W1k	W2k	W3k	W4k	W5k	W6k	W7k	W8k	$\Psi_{0,i} \cdot S1k$
Wind LF1 / Schnee LF1	LK9	1,35	1,50	–	–	–	–	–	–	–	0,50*1,50
Wind LF2 / Schnee LF1	LK10	1,35	–	1,50	–	–	–	–	–	–	0,50*1,50
Wind LF3 / Schnee LF1	LK11	1,35	–	–	1,50	–	–	–	–	–	0,50*1,50
Wind LF4 / Schnee LF1	LK12	1,35	–	–	–	1,50	–	–	–	–	0,50*1,50
Wind LF5 / Schnee LF1	LK13	1,35	–	–	–	–	1,50	–	–	–	0,50*1,50
Wind LF6 / Schnee LF1	LK14	1,35	–	–	–	–	–	1,50	–	–	0,50*1,50
Wind LF7 / Schnee LF1	LK15	1,35	–	–	–	–	–	–	1,50	–	0,50*1,50
Wind LF8 / Schnee LF1	LK16	1,35	–	–	–	–	–	–	–	1,50	0,50*1,50
Wind LF1	LK17	1,35	1,50	–	–	–	–	–	–	–	–
Wind LF2	LK18	1,35	–	1,50	–	–	–	–	–	–	–
Wind LF3	LK19	1,35	–	–	1,50	–	–	–	–	–	–
Wind LF4	LK20	1,35	–	–	–	1,50	–	–	–	–	–
Wind LF5	LK21	1,35	–	–	–	–	1,50	–	–	–	–
Wind LF6	LK22	1,35	–	–	–	–	–	1,50	–	–	–
Wind LF7	LK23	1,35	–	–	–	–	–	–	1,50	–	–
Wind LF8	LK24	1,35	–	–	–	–	–	–	–	1,50	–

Tabelle A.56

Lastfallkombinationen ULS STR/GEO Systeme 3 – 6

SYSTEME 1 & 2 STR/GEO											
Schnee Leiteinwirkung / Wind Begleiteinwirkung											
Beschreibung	LK	Gk	S1k	S2k	S3k	$\Psi_{0,i} \cdot W1k$	$\Psi_{0,i} \cdot W2k$	$\Psi_{0,i} \cdot W3k$	$\Psi_{0,i} \cdot W4k$	$\Psi_{0,i} \cdot W5k$	$\Psi_{0,i} \cdot W6k$
Schnee LF1 / Wind LF1	LK1	1,35	1,50	–	–	0,60*1,50	–	–	–	–	–
Schnee LF1 / Wind LF2	LK2	1,35	1,50	–	–	–	0,60*1,50	–	–	–	–
Schnee LF1 / Wind LF3	LK3	1,35	1,50	–	–	–	–	0,60*1,50	–	–	–
Schnee LF1 / Wind LF4	LK4	1,35	1,50	–	–	–	–	–	0,60*1,50	–	–
Schnee LF1 / Wind LF5	LK5	1,35	1,50	–	–	–	–	–	–	0,60*1,50	–
Schnee LF1 / Wind LF6	LK6	1,35	1,50	–	–	–	–	–	–	–	0,60*1,50
Schnee LF1 / Wind LF1	LK7	1,35	–	1,50	–	0,60*1,50	–	–	–	–	–
Schnee LF2 / Wind LF2	LK8	1,35	–	1,50	–	–	0,60*1,50	–	–	–	–
Schnee LF2 / Wind LF3	LK9	1,35	–	1,50	–	–	–	0,60*1,50	–	–	–
Schnee LF2 / Wind LF4	LK10	1,35	–	1,50	–	–	–	–	0,60*1,50	–	–
Schnee LF2 / Wind LF5	LK11	1,35	–	1,50	–	–	–	–	–	0,60*1,50	–
Schnee LF2 / Wind LF6	LK12	1,35	–	1,5	–	–	–	–	–	–	0,60*1,50
Schnee LF3 / Wind LF1	LK13	1,35	–	–	1,50	0,60*1,50	–	–	–	–	–
Schnee LF3 / Wind LF2	LK14	1,35	–	–	1,50	–	0,60*1,50	–	–	–	–
Schnee LF3 / Wind LF3	LK15	1,35	–	–	1,50	–	–	0,60*1,50	–	–	–
Schnee LF3 / Wind LF4	LK16	1,35	–	–	1,50	–	–	–	0,60*1,50	–	–
Schnee LF3 / Wind LF5	LK17	1,35	–	–	1,50	–	–	–	–	0,60*1,50	–
Schnee LF3 / Wind LF6	LK18	1,35	–	–	1,5	–	–	–	–	–	0,60*1,50
Schnee LF1	LK43	1,35	1,50	–	–	–	–	–	–	–	–
Schnee LF2	LK44	1,35	–	1,50	–	–	–	–	–	–	–
Schnee LF3	LK45	1,35	–	–	1,50	–	–	–	–	–	–
Wind Leiteinwirkung / Schnee Begleiteinwirkung											
Beschreibung	LFK	Gk	W1k	W2k	W3k	W4k	W5k	W6k	$\Psi_{0,i} \cdot S1k$	$\Psi_{0,i} \cdot S2k$	$\Psi_{0,i} \cdot S3k$
Wind LF1 / Schnee LF1	LK19	1,35	1,50	–	–	–	–	–	0,50*1,50	–	–
Wind LF2 / Schnee LF1	LK20	1,35	–	1,50	–	–	–	–	0,50*1,50	–	–
Wind LF3 / Schnee LF1	LK21	1,35	–	–	1,50	–	–	–	0,50*1,50	–	–
Wind LF4 / Schnee LF1	LK22	1,35	–	–	–	1,50	–	–	0,50*1,50	–	–
Wind LF5 / Schnee LF1	LK23	1,35	–	–	–	–	1,50	–	0,50*1,50	–	–
Wind LF6 / Schnee LF1	LK24	1,35	–	–	–	–	–	1,50	0,50*1,50	–	–
Wind LF1 / Schnee LF2	LK25	1,35	1,50	–	–	–	–	–	–	0,50*1,50	–
Wind LF2 / Schnee LF2	LK26	1,35	–	1,50	–	–	–	–	–	0,50*1,50	–
Wind LF3 / Schnee LF2	LK27	1,35	–	–	1,50	–	–	–	–	0,50*1,50	–
Wind LF4 / Schnee LF2	LK28	1,35	–	–	–	1,50	–	–	–	0,50*1,50	–
Wind LF5 / Schnee LF2	LK29	1,35	–	–	–	–	1,50	–	–	0,50*1,50	–
Wind LF6 / Schnee LF2	LK30	1,35	–	–	–	–	–	1,50	–	0,50*1,50	–
Wind LF1 / Schnee LF3	LK31	1,35	1,50	–	–	–	–	–	–	–	0,50*1,50
Wind LF2 / Schnee LF3	LK32	1,35	–	1,50	–	–	–	–	–	–	0,50*1,50
Wind LF3 / Schnee LF3	LK33	1,35	–	–	1,50	–	–	–	–	–	0,50*1,50
Wind LF4 / Schnee LF3	LK34	1,35	–	–	–	1,50	–	–	–	–	0,50*1,50
Wind LF5 / Schnee LF3	LK35	1,35	–	–	–	–	1,50	–	–	–	0,50*1,50
Wind LF6 / Schnee LF3	LK36	1,35	–	–	–	–	–	1,50	–	–	0,50*1,50
Wind LF1	LK37	1,35	1,50	–	–	–	–	–	–	–	–
Wind LF2	LK38	1,35	–	1,50	–	–	–	–	–	–	–
Wind LF3	LK39	1,35	–	–	1,50	–	–	–	–	–	–
Wind LF4	LK40	1,35	–	–	–	1,50	–	–	–	–	–
Wind LF5	LK41	1,35	–	–	–	–	1,50	–	–	–	–
Wind LF6	LK42	1,35	–	–	–	–	–	1,50	–	–	–

Tabelle A.57

Lastfallkombinationen ULS STR/GEO Systeme 1 & 2

A.3.2 Lastfallkombinationen Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit SLS

Quasi-ständige Kombination													
Systeme 1 - 6													
Beschreibung	LK	Gk	Ψ_{2,i^*S1k}	Ψ_{2,i^*S2k}	Ψ_{2,i^*S3k}	Ψ_{2,i^*W1k}	Ψ_{2,i^*W2k}	Ψ_{2,i^*W3k}	Ψ_{2,i^*W4k}	Ψ_{2,i^*W5k}	Ψ_{2,i^*W6k}	Ψ_{2,i^*W7k}	Ψ_{2,i^*W8k}
Tragwerk / Schnee / Wind	LK46 / LK26	1,0	0,00*1,0	0,00*1,0	0,00*1,0	0,00*1,0	0,00*1,0	0,00*1,0	0,00*1,0	0,00*1,0	0,00*1,0	0,00*1,0	0,00*1,0

Tabelle A.58 Lastfallkombinationen SLS Quasi-ständig Kombination Systeme 1 - 6

Häufige Kombination: Systeme 1 & 2												
Schnee Leiteinwirkung												
Beschreibung	LK	Gk	Ψ_{1,i^*S1k}	Ψ_{1,i^*S2k}	Ψ_{1,i^*S3k}	Ψ_{2,i^*W1k}	Ψ_{2,i^*W2k}	Ψ_{2,i^*W3k}	Ψ_{2,i^*W4k}	Ψ_{2,i^*W5k}	Ψ_{2,i^*W6k}	
Schnee LF1	LK47	1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00
Schnee LF2	LK48	1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00
Schnee LF3	LK49	1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00
Wind Leiteinwirkung												
Beschreibung	LK	Gk	Ψ_{1,i^*W1k}	Ψ_{1,i^*W2k}	Ψ_{1,i^*W3k}	Ψ_{1,i^*W4k}	Ψ_{1,i^*W5k}	Ψ_{1,i^*W6k}	Ψ_{2,i^*S1k}	Ψ_{2,i^*S2k}	Ψ_{2,i^*S3k}	
Wind LF1	LK50	1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00
Wind LF2	LK51	1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00
Wind LF3	LK52	1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00
Wind LF4	LK53	1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00
Wind LF5	LK54	1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00
Wind LF6	LK55	1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00
Häufige Kombination: Systeme 3 - 6												
Schnee Leiteinwirkung												
Beschreibung	LK	Gk	Ψ_{1,i^*S1k}	Ψ_{2,i^*W1k}	Ψ_{2,i^*W2k}	Ψ_{2,i^*W3k}	Ψ_{2,i^*W4k}	Ψ_{2,i^*W5k}	Ψ_{2,i^*W6k}	Ψ_{2,i^*W7k}	Ψ_{2,i^*W8k}	
Schnee LF1	LK27	1,00	0,20*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,20*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00
Wind Leiteinwirkung												
Beschreibung	LK	Gk	Ψ_{1,i^*W1k}	Ψ_{1,i^*W2k}	Ψ_{1,i^*W3k}	Ψ_{1,i^*W4k}	Ψ_{1,i^*W5k}	Ψ_{1,i^*W6k}	Ψ_{1,i^*W7k}	Ψ_{1,i^*W8k}	Ψ_{2,i^*S1k}	
Wind LF1	LK28	1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00
Wind LF2	LK29	1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00
Wind LF3	LK30	1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00
Wind LF4	LK31	1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00
Wind LF5	LK32	1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00
Wind LF6	LK33	1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00
Wind LF7	LK34	1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00
Wind LF8	LK35	1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,20*1,00	0,00*1,00	0,00*1,00

Tabelle A.59 Lastfallkombinationen SLS Häufige Kombination Systeme 1 - 6

Charakteristische (seltene) Kombination: Systeme 1 & 2											
Schnee Leiteinwirkung											
Beschreibung	LK	Gk	S1k	S2k	S3k	$\Psi_{0,i} \cdot W1k$	$\Psi_{0,i} \cdot W2k$	$\Psi_{0,i} \cdot W3k$	$\Psi_{0,i} \cdot W4k$	$\Psi_{0,i} \cdot W5k$	$\Psi_{0,i} \cdot W6k$
Schnee LF1 / Wind LF1-6	LK56 - LK61	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60*1,00	0,60*1,00	0,60*1,00	0,60*1,00	0,60*1,00	0,60*1,00
Schnee LF2 / Wind LF1-6	LK62 - LK67	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60*1,00	0,60*1,00	0,60*1,00	0,60*1,00	0,60*1,00	0,60*1,00
Schnee LF3 / Wind LF1-6	LK68 - LK73	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60*1,00	0,60*1,00	0,60*1,00	0,60*1,00	0,60*1,00	0,60*1,00
Wind Leiteinwirkung											
Beschreibung	LK	Gk	W1k	W2k	W3k	W4k	W5k	W6k	$\Psi_{0,i} \cdot S1k$	$\Psi_{0,i} \cdot S2k$	$\Psi_{0,i} \cdot S3k$
Wind LF1-6 / Schnee LF1	LK74 - LK79	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50*1,00	0,50*1,00	0,50*1,00
Wind LF1-6 / Schnee LF2	LK80 - LK85	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50*1,00	0,50*1,00	0,50*1,00
Wind LF1-6 / Schnee LF3	LK86 - LK91	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50*1,00	0,50*1,00	0,50*1,00
Charakteristische (seltene) Kombination: Systeme 3 - 6											
Schnee Leiteinwirkung											
Beschreibung	LK	Gk	S1k	$\Psi_{0,i} \cdot W1k$	$\Psi_{0,i} \cdot W2k$	$\Psi_{0,i} \cdot W3k$	$\Psi_{0,i} \cdot W4k$	$\Psi_{0,i} \cdot W5k$	$\Psi_{0,i} \cdot W6k$	$\Psi_{0,i} \cdot W7k$	$\Psi_{0,i} \cdot W8k$
Schnee LF1 / Wind LF1-8	LK36 - LK43	1,00	1,00	0,60*1,00	0,60*1,00	0,60*1,00	0,60*1,00	0,60*1,00	0,60*1,00	0,60*1,00	0,60*1,00
Wind Leiteinwirkung											
Beschreibung	LK	Gk	W1k	W2k	W3k	W4k	W5k	W6k	W7k	W8k	$\Psi_{0,i} \cdot S1k$
Wind LF1-8 / Schnee LF1	LK44 - LK51	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50*1,00

Tabelle A.60

Lastfallkombinationen SLS Charakteristische Kombination Systeme 1 – 6

A.3.3 Maßgebende Lastfallkombinationen

Nach korrekter Eingabe und Auswertung der Systemschnittkräfte sind hier nun die maßgebenden Lastfallkombinationen für die Bemessung des Stab 4 (Satteldachsysteme) und des Stab 3 (Flachdachsysteme) grafisch dargestellt.

Im digitalen Anhang B sind für jede Systembeschreibung die Werte der dazugehörigen Belastung in kN/m angeführt.

Folgende Beschriftungen wurden für die nachfolgenden Systemskizzen gewählt:

w_{ex} ...Wind auf Außenwand & Bereiche Dach außen (x=Zonenbezeichnung nach EN 1993-1-4)

w_i ...Innendruck / Innensog auf Außenwand und Dach

S...Schneelast

G...Eigengewicht / Aufbau

e_0/L ...Vorkrümmungen (geometrische Ersatzimperfectionen)

Φ ...Schiefstellungen

In den Darstellungen sind ebenfalls die Teilsicherheitsbeiwerte γ und Kombinationsbeiwerte ψ der Leit- und Begleiteinwirkungen der jeweiligen Lastfallkombination angeführt.

Die Bezeichnung der Lastfallkombinationen besitzt folgenden Aufbau:

Kombinationsnummer: Leiteinwirkung_Begleiteinwirkung_Imperfektionen

A.3.3.1 Systeme 1 & 2 maßgebende LK4 ULS

LK4: Schnee LF1_Wind LF4_Imperfektionen

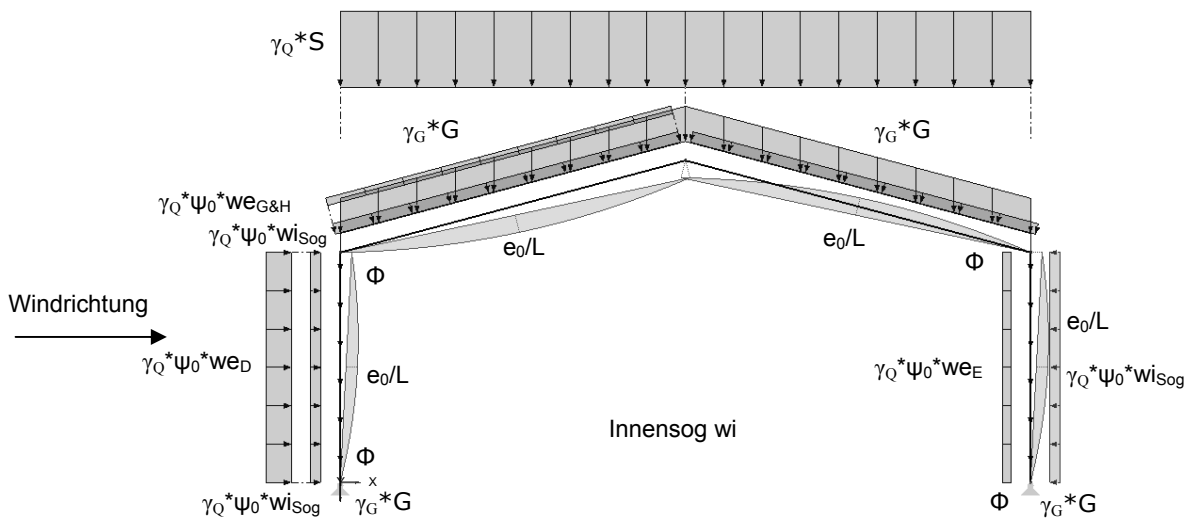


Bild A.80 maßgebende Lastkombination, LK 4_Systeme 1 & 2 ULS

A.3.3.2 Systeme 3 -6 maßgebende LK2 ULS

LK2: Schnee LF1_Wind LF 2_Schiefstellung / Vorkrümmung

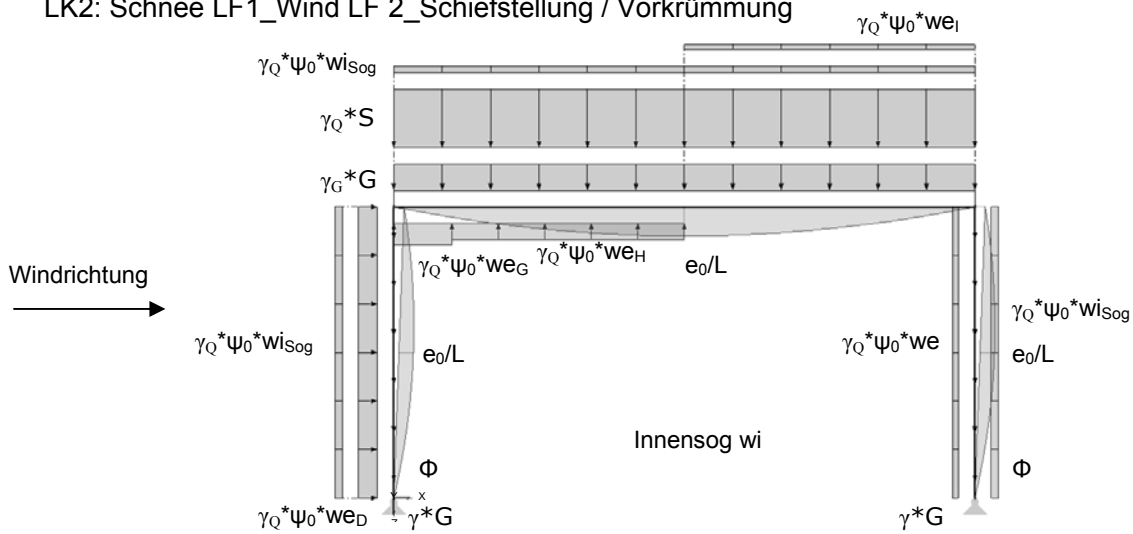


Bild A.81 maßgebende Lastfallkombination, LK 2_Systeme 3 - 6

A.3.3.3 Systeme 1 & 2 maßgebende LK SLS

maximale Durchbiegung [uz] des Trägers

LK59: Eigengewicht_Schnee LF1_Wind LF4_Schiefstellung / Vorkrümmung

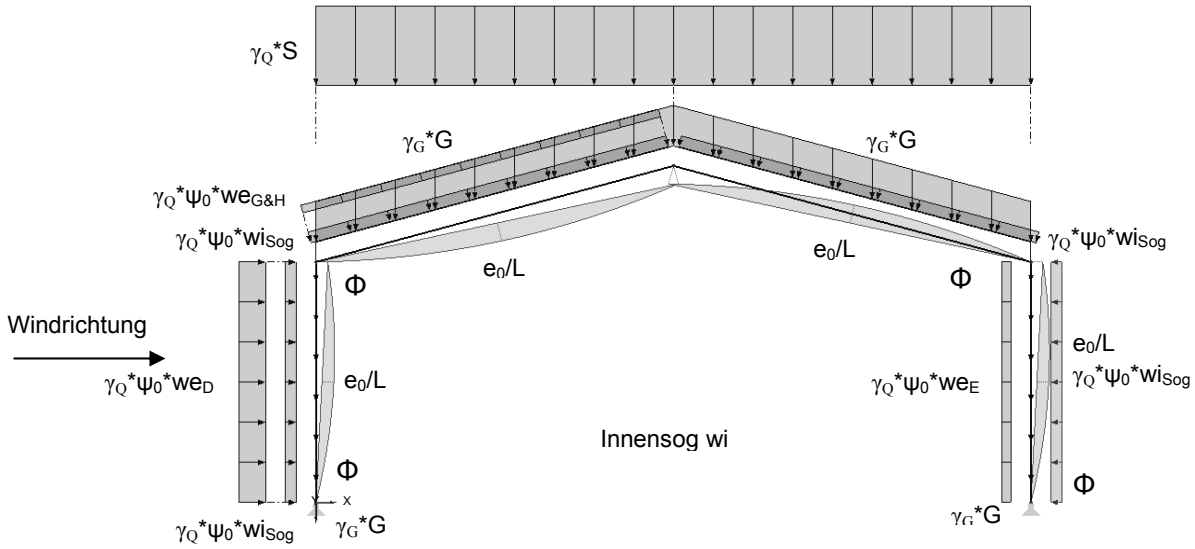


Bild A.82 maßgebende Lastfallkombination Systeme 1 & 2, LK59 SLS [uz]

maximale Horizontalverschiebung [ux]

LK83: Eigengewicht_Wind LF4_Schnee LF2_Schiefstellung / Vorkrümmung

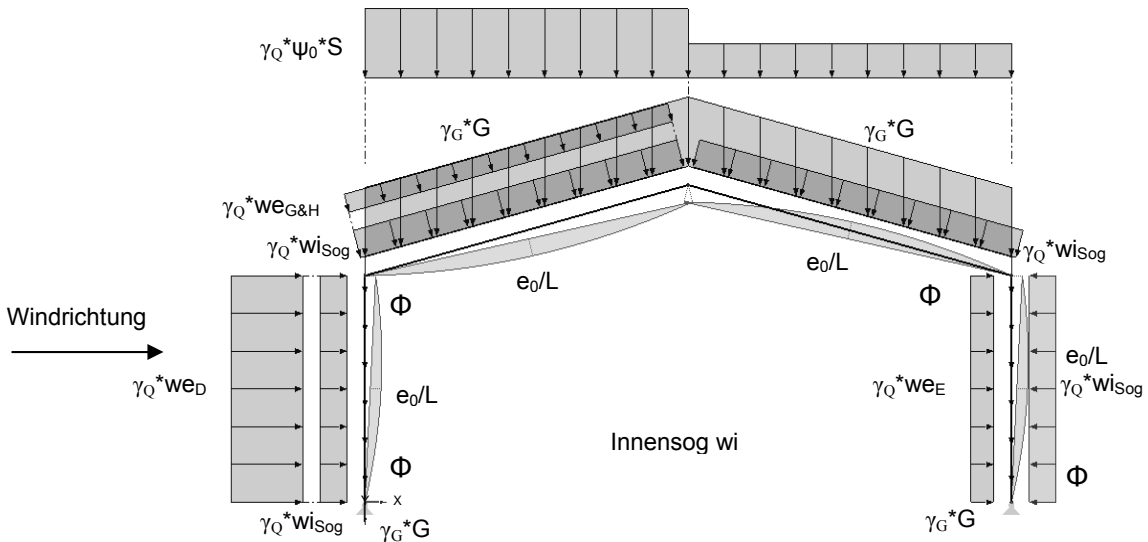


Bild A.83 maßgebende Lastfallkombination Systeme 1 & 2, LK83 SLS [ux]

A.3.3.4 Systeme 3 - 6 maßgebende LK SLS

maximale Durchbiegung [uz] des Trägers

LK41: Eigengewicht_Schnee LF1_Wind LF6(Wind Längsseits)_Schiefstellung / Vorkrümmung

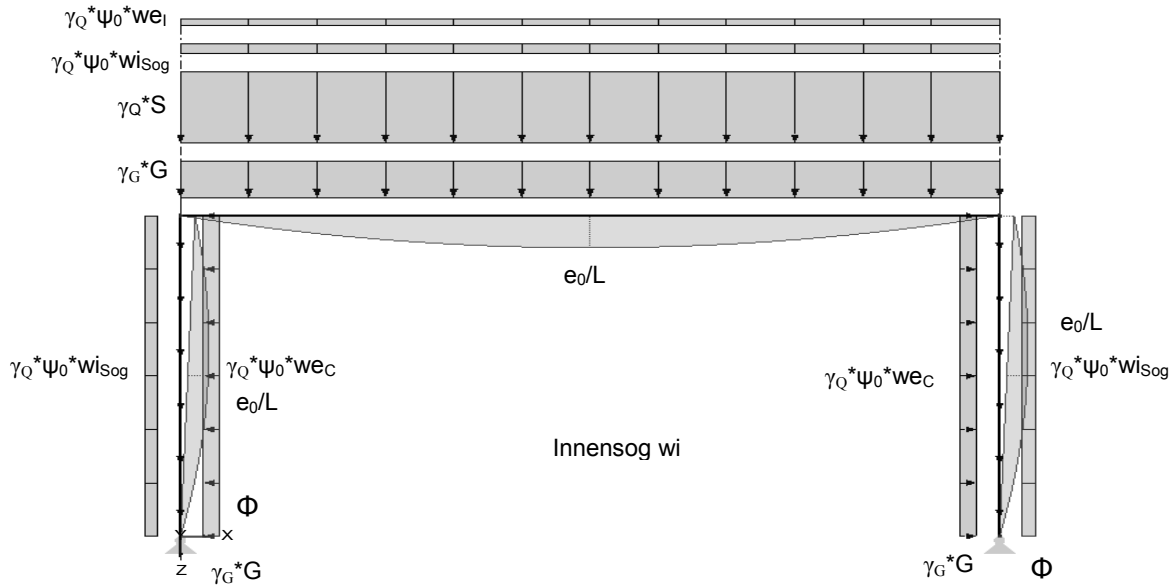


Bild A.84 maßgebende Lastfallkombination Systeme 3 – 6, LK41 SLS [uz]

maximale Horizontalverschiebung [ux] LK47

LK47: Eigengewicht_Wind LF4_Schnee LF1_Schiefstellung / Vorkrümmung

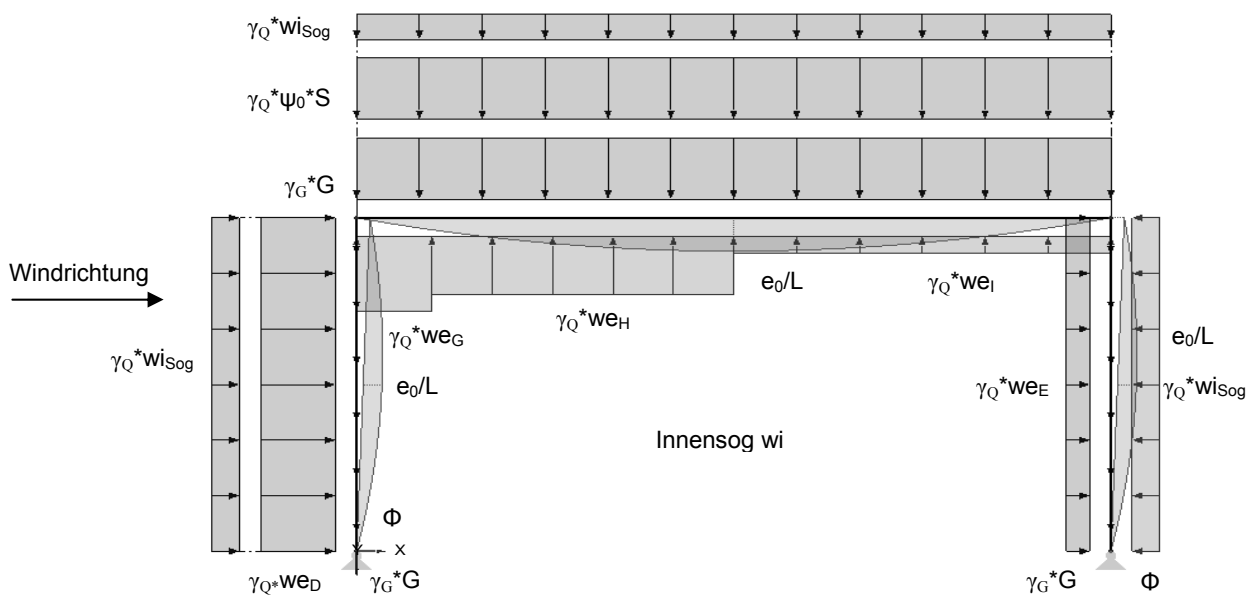


Bild A.85 maßgebende Lastfallkombination Systeme 3 – 6, LK47 SLS [ux]

Anhang B Auswertung

Verweise

Literaturverzeichnis

- Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung / Ausgabe 2003-03-01
- Eurocode 1: Einwirkungen aus Tragwerke Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen - Schneelasten Ausgabe 2005-08-01
- Eurocode 1: Einwirkungen aus Tragwerke Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten Ausgabe 2005-11-01
- Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau Ausgabe 2012-03-01
- SKRIPTUM Stahlbau GL Technische Universität Graz Institut für Stahlbau Ausgabe: S-5-36-2012
- SKRIPTUM Stahlbau VU Technische Universität Graz Institut für Stahlbau Ausgabe: S-5-20-2008
- SKRIPTUM Baustatik 2 Technische Universität Graz Institut für Baustatik Ausgabe: S-5-20-2008
- Grundlagen der Baustatik Modelle und Berechnungsmethoden für ebene Stabtragwerke / Dieter Dinkler / 2. Auflage 2012 / Springer Vieweg
- Stahlbau Grundlagen der Berechnung und baulichen Ausbildung von Stahlbauten / Petersen Christian / 4. Auflage 2012 / Springer Vieweg
- Statik und Stabilität der Baukonstruktionen / Christian Petersen / 2. Auflage 1992
- Portal und Hallenrahmen Aufgabensammlung aus dem Gebiet der Statik/ 1. Auflage / 1967
- Bautabellen für Ingenieure / Schneider / 21. Auflage 2014
- Rahmentragwerke in Stahl / ÖSTV / Oktober 1987
- Rahmentragwerke und Durchlaufträger / Richard Guldan / 1959
- Programmbeschreibung der Firma Dlubal, Zusatzmodul RSKNICK / März 2013
- Profiltabelle der Firma convex

Abbildungsverzeichnis

Bild 1.1	allgemeine Systemskizzen	5
Bild 1.2	Systemskizzen Satteldach	7
Bild 1.3	Systemskizzen Flachdach	8
Bild 2.1	Nachweisverfahren I	9
Bild 2.2	Nachweisverfahren II	10
Bild 2.3	Nachweisverfahren III	10
Bild 2.4	Nachweisverfahren IV	11
Bild 2.5	Beispiel Kragarm Theorie I. Ordnung	11
Bild 2.6	Beispiel Kragarm Theorie II. Ordnung	12
Bild 2.7	Geometrisch nichtlineares Tragverhalten von Knickstäben	12
Bild 2.8	Berechnungsverfahren	14
Bild 2.9	Zuordnung der Berechnungsverfahren zur Querschnittsklasse; Beispiel für alleinige Biegung M_y und Baustahl S235	14
Bild 3.1	maßgebende Schneelast, System 3.1.Ort A.....	18
Bild 3.2	Bezugshöhe z_e in Abhängigkeit von h und b und Winddruckverteilung_Ort A	19
Bild 3.3	Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Breitseite_System 3.1	20
Bild 3.4	Einteilung der Dachflächen bei Flachdächern_Breitseite.....	21
Bild 3.5	maßgebender Windlastfall, LF2 System 3.1 Ort A.....	22
Bild 3.6	Eingabemaske der Imperfektionen im Statikprogramm	23
Bild 3.7	Imperfektionslastfälle, Systeme 3 - 6	24
Bild 3.8	maßgebende Lastfallkombination Flachdachsysteme, LK2 ULS	26
Bild 3.9	Beispiel, Systemskizze 1.2 Ort A.....	31
Bild 3.10	Beispiel, Lastfallkombinationen System 1.2 Ort A	31
Bild 3.11	Beispiel, Schnittkraftverlauf NW IV System 1.2 Ort A.....	32
Bild 3.12	RSKNICK Ergebnismaske (oben: Knicklängenbeiwerte; unten: Verzweigungslastfaktoren) 41	
Bild 4.1	maßgebende Lastfallkombinationen, ULS der Vorbemessung	42
Bild 4.2	maßgebende Lastfallkombinationen, SLS der Vorbemessung, System1 & 2	43
Bild 4.3	maßgebende Lastfallkombinationen, SLS der Vorbemessung, Systeme 3 - 6	43
Bild 5.1	maßgebende Lastkombination, LK 4_Systeme 1 & 2 ULS	47
Bild 5.2	maßgebende Lastfallkombination, LK 2_Systeme 3 – 6	47
Bild 5.3	maßgebende Lastfallkombination Systeme 1 & 2, LK59 SLS [u_z].....	48
Bild 5.4	maßgebende Lastfallkombination Systeme 1 & 2, LK83 SLS [u_x].....	48
Bild 5.5	maßgebende Lastfallkombination Systeme 3 – 6, LK41 SLS [u_z].....	49
Bild 5.6	maßgebende Lastfallkombination Systeme 3 – 6, LK47 SLS [u_x].....	49
Bild 6.1	maßgebende Knickfigur des Vergrößerungsbeiwert α_{cr}	58
Bild 6.2	maßgebende Lastfallkombination Moment TH II. Ordnung	59
Bild 6.3	Systemskizze 1.1 Ort A	60
Bild 6.4	Lastfallkombinationen System 1.1 Ort A.....	60
Bild 6.5	Schnittkraftverlauf NWV II System 1.1 Ort A	61
Bild 6.6	Schnittkraftverlauf NWV III System 1.1 Ort A	63
Bild 6.7	Schnittkraftverlauf NWV IV System 1.1 Ort A	65
Bild 6.8	Systemskizze 2.3 Ort A	67

Bild 6.9	Lastfallkombinationen System 2.3 Ort A.....	67
Bild 6.10	Schnittkraftverlauf NWV II System 2.3 Ort A	68
Bild 6.11	Schnittkraftverlauf NWV III System 2.3 Ort A	70
Bild 6.12	Schnittkraftverlauf NWV IV System 2.3 Ort A	72
Bild 6.13	Systemskizze 3.1 Ort B	74
Bild 6.14	Lastfallkombinationen System 3.1 Ort B.....	74
Bild 6.15	Schnittkraftverlauf NWV II System 3.1 Ort B	75
Bild 6.16	Schnittkraftverlauf NWV III System 3.1 Ort B	77
Bild 6.17	Schnittkraftverlauf NWV IV System 3.1 Ort B	79
Bild 6.18	Systemskizze 3.2 Ort A	81
Bild 6.19	Lastfallkombinationen System 3.2 Ort A.....	81
Bild 6.20	Schnittkraftverlauf NWV II System 3.2 Ort A	82
Bild 6.21	Schnittkraftverlauf NWV III System 3.2 Ort A	84
Bild 6.22	Schnittkraftverlauf NWV IV System 3.2 Ort A	86
Bild 6.23	Systemskizze 4.3 Ort B	88
Bild 6.24	Lastfallkombinationen System 4.3 Ort B.....	88
Bild 6.25	Schnittkraftverlauf NWV II System 4.3 Ort B	89
Bild 6.26	Schnittkraftverlauf NWV III System 4.3 Ort B	91
Bild 6.27	Schnittkraftverlauf NWV IV System 4.3 Ort B	93
Bild 6.28	Systemskizze 5.1 Ort A	95
Bild 6.29	Lastfallkombinationen System 5.1 Ort A.....	95
Bild 6.30	Schnittkraftverlauf NWV II System 5.1 Ort A	96
Bild 6.31	Schnittkraftverlauf NWV III System 5.1 Ort A	98
Bild 6.32	Schnittkraftverlauf NWV IV System 5.1 Ort A.....	100
Bild 6.33	Systemskizze 6.2 Ort B	102
Bild 6.34	Lastfallkombinationen System 6.2 Ort B.....	102
Bild 6.35	Schnittkraftverlauf NWV II System 6.2 Ort B	103
Bild 6.36	Schnittkraftverlauf NWV III System 6.2 Ort B	105
Bild 6.37	Schnittkraftverlauf NWV IV System 6.2 Ort B	107
Bild A.38	Bezugshöhe z_e in Abhängigkeit von h und b und Winddruckverteilung_Ort A	112
Bild A.39	Bezugshöhe z_e in Abhängigkeit von h und b und Winddruckverteilung_ORT B.....	113
Bild A.40	Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Breitseite_System 1.1.....	118
Bild A.41	Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Breitseite_System 1.2.....	119
Bild A.42	Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Breitseite_System 1.3.....	120
Bild A.43	Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Breitseite_System 2.1.....	121
Bild A.44	Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Breitseite_System 2.2.....	122
Bild A.45	Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Breitseite_System 2.3.....	123
Bild A.46	Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Breitseite_System 3.1 & 5.1	124
Bild A.47	Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Breitseite_Systeme 3.2 & 5.2	125
Bild A.48	Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Breitseite_Systeme 3.3 & 5.3	126
Bild A.49	Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Breitseite_Systeme 4.1. & 6.1	127
Bild A.50	Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Breitseite_Systeme 4.2 & 6.2	128
Bild A.51	Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Breitseite_Systeme 4.3 & 6.3	129

Bild A.52	Einteilung der Dachflächen bei Sattel- und Trogächern_Breitseite.....	130
Bild A.53	Einteilung der Dachflächen bei Flachdächern_Breitseite.....	131
Bild A.54	Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Längsseite_System 1.1	132
Bild A.55	Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Längsseite_System 1.2	133
Bild A.56	Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Längsseite_System 1.3	134
Bild A.57	Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Längsseite_System 2.1	135
Bild A.58	Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden:längsseite_System 2.2.....	136
Bild A.59	Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Längsseite_System 2.3	137
Bild A.60	Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Längsseite_Systeme 3.1 & 5.1	138
Bild A.61	Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Längsseite_Systeme 3.2 & 5.2	139
Bild A.62	Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Längsseite_Systeme 3.3 & 5.3	140
Bild A.63	Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Längsseite_Systeme 4.1 & 6.1	141
Bild A.64	Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Längsseite_Systeme 4.2 & 6.2	142
Bild A.65	Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Längsseite_Systeme 4.3 & 6.3	143
Bild A.66	Einteilung der Dachflächen bei Sattel- und Trogächern_Längsseite	144
Bild A.67	Einteilung der Dachflächen bei Flachdächern_Längsseite	145
Bild A.68	Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Zusammenfassung_Breitseite	146
Bild A.69	Einteilung der Dachflächen bei Sattel- und Trogdächern_Zusammenfassung_Breitseite ..	147
Bild A.70	Einteilung der Dachflächen bei Flachdächern_Zusammenfassung_Breitseite	147
Bild A.71	Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden_Zusammenfassung_Längsseite	148
Bild A.72	Einteilung der Dachflächen bei Sattel- und Trogdächern_Zusammenfassung_Längsseite	149
Bild A.73	Einteilung der Dachflächen bei Flachdächern_Zusammenfassung_Längsseite.....	149
Bild A.74	Eigengewicht & Schneelast Systeme 1 & 2	163
Bild A.75	Windlastfälle Systeme 1 & 2	164
Bild A.76	Imperfektionslastfälle Systeme 1 & 2.....	166
Bild A.77	Eigengewicht & Schneelast Systeme 3 - 6	167
Bild A.78	Windlastfälle Systeme 3 - 6	168
Bild A.79	Imperfektionslastfälle Systeme 3 - 6.....	170
Bild A.80	maßgebende Lastkombination, LK 4_Systeme 1 & 2 ULS	175
Bild A.81	maßgebende Lastfallkombination, LK 2_Systeme 3 - 6.....	175
Bild A.82	maßgebende Lastfallkombination Systeme 1 & 2, LK59 SLS [uz].....	176
Bild A.83	maßgebende Lastfallkombination Systeme 1 & 2, LK83 SLS [ux].....	176
Bild A.84	maßgebende Lastfallkombination Systeme 3 – 6, LK41 SLS [uz]	177
Bild A.85	maßgebende Lastfallkombination Systeme 3 – 6, LK47 SLS [ux]	177

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1	[5.1] Bemessungswerte der Vorkrümmung $e_{0,d}/L$ von Bauteilen.....	13
Tabelle 3.1	maßgebenden Windlasten, System 3.1 Ort A.....	22
Tabelle 3.2	[5.1] Bemessungswert der Vorkrümmung e_0/L von Bauteilen	24
Tabelle 3.3	Lastfallkombinationen ULS STR/GEO, Systeme 3 - 6.....	25
Tabelle 3.4	Lastfallkombinationen SLS Quasi-ständig Kombination, System 3 – 6.....	27
Tabelle 3.5	Lastfallkombinationen SLS Häufige Kombination, Systeme 3 – 6	27
Tabelle 3.6	Lastfallkombinationen SLS Charakteristische Kombination, Systeme 3 - 6.....	28
Tabelle 3.7	Beispieltabelle mit Erklärung NWV IV System 1.2 Ort A.....	33
Tabelle 3.8	[6.2] Auswahl der Knicklinie eines Querschnitts	34
Tabelle 3.9	[6.1] Imperfektionsbeiwerte der Knicklinien	34
Tabelle 3.10	[6.5] Empfohlene Biegedrillknicklinien nach Gleichung [6.57].....	35
Tabelle 3.11	[6.3] Empfohlene Imperfektionsbeiwerte der Knicklinien für das Biegedrillknicken	35
Tabelle 3.12	[6.6] Empfohlene Korrekturbeiwerte k_c	36
Tabelle 3.13	[B.3] Äquivalente Momentenbeiwerte C_m	37
Tabelle 4.1	Ergebnistabelle der Vorbemessung.....	44
Tabelle 4.2	Profiltabelle der Bemessung.....	45
Tabelle 5.1	Zusammenfassung der Ergebnisse der Gebrauchstauglichkeit.....	51
Tabelle 5.2	Zusammenfassung der Ergebnisse der Tragfähigkeit	53
Tabelle 5.3	Verhältnis der Ausnutzungsgrade der QS-Nachweise der Verfahren II und IV.....	54
Tabelle 5.4	Systeme, Querschnitte, Vergrößerungsbeiwert und Knicklängenbeiwert	55
Tabelle 6.1	Zusammenfassung der Vergrößerungsbeiwerte.....	56
Tabelle 6.2	Systeme, Querschnitte und Vergrößerungsbeiwert & Knicklängenbeiwert.....	58
Tabelle 6.3	Berechnungstabelle NWV II System 1.1 Ort A	62
Tabelle 6.4	Berechnungstabelle NWV III System 1.1 Ort A	64
Tabelle 6.5	Berechnungstabelle NWV IV System 1.1 Ort A	66
Tabelle 6.6	Berechnungstabelle NWV II System 2.3 Ort A	69
Tabelle 6.7	Berechnungstabelle NWV III System 2.3 Ort A	71
Tabelle 6.8	Berechnungstabelle NWV IV System 2.3 Ort A	73
Tabelle 6.9	Berechnungstabelle NWV II System 3.1 Ort B	76
Tabelle 6.10	Berechnungstabelle NWV III System 3.1 Ort B	78
Tabelle 6.11	Berechnungstabelle NWV IV System 3.1 Ort B	80
Tabelle 6.12	Berechnungstabelle NWV II System 3.2 Ort A	83
Tabelle 6.13	Berechnungstabelle NWV III System 3.2 Ort A	85
Tabelle 6.14	Berechnungstabelle NWV IV System 3.2 Ort A	87
Tabelle 6.15	Berechnungstabelle NWV II System 4.3 Ort B	90
Tabelle 6.16	Berechnungstabelle NWV III System 4.3 Ort B	92
Tabelle 6.17	Berechnungstabelle NWV IV System 4.3 Ort B	94
Tabelle 6.18	Berechnungstabelle NWV II System 5.1 Ort A	97
Tabelle 6.19	Berechnungstabelle NWV III System 5.1 Ort A	99
Tabelle 6.20	Berechnungstabelle NWV IV System 5.1 Ort A	101
Tabelle 6.21	Berechnungstabelle NWV II System 6.2 Ort B	104

Tabelle 6.22	Berechnungstabelle NWV III System 6.2 Ort B	106
Tabelle 6.23	Berechnungstabelle NWV IV System 6.2 Ort B	108
Tabelle A.24	Zusammenfassung der Einwirkungen auf die Längswände.....	146
Tabelle A.25	Zusammenfassung der Einwirkungen auf die Breitwände	148
Tabelle A.26	Windlasten System 1.1 Ort A.....	150
Tabelle A.27	Windlasten System 1.1 Ort B.....	150
Tabelle A.28	Windlasten System 1.2 Ort A.....	151
Tabelle A.29	Windlasten System 2.1 Ort B.....	151
Tabelle A.30	Windlasten System 1.3 Ort A.....	152
Tabelle A.31	Windlasten System 1.3 Ort B.....	152
Tabelle A.32	Windlasten System 2.1 Ort A.....	153
Tabelle A.33	Windlasten System 2.1 Ort B.....	153
Tabelle A.34	Windlasten System 2.2 Ort A.....	154
Tabelle A.35	Windlasten System 2.2 Ort B.....	154
Tabelle A.36	Windlasten System 2.3 Ort A.....	155
Tabelle A.37	Windlasten System 2.3 Ort B.....	155
Tabelle A.38	Windlasten System 3.1 Ort A & System 5.1 Ort A	156
Tabelle A.39	Windlasten System 3.1 Ort B & System 5.1 Ort B	156
Tabelle A.40	Windlasten System 3.2 Ort A.....	157
Tabelle A.41	Windlasten System 3.2 Ort B & System 5.2 Ort B	157
Tabelle A.42	Windlasten System 3.3 Ort A & System 5.1 Ort A	158
Tabelle A.43	Windlasten System 3.3 Ort B & System 5.3 Ort B	158
Tabelle A.44	Windlasten System 4.1 Ort A & System 6.1 Ort A	159
Tabelle A.45	Windlasten System 4.1 Ort B & System 6.1 Ort B	159
Tabelle A.46	Windlasten System 4.2 Ort A.....	160
Tabelle A.47	Windlasten System 4.2 Ort B & System 6.2 Ort B	160
Tabelle A.48	Windlasten System 4.3 Ort A & System 6.3 Ort A	161
Tabelle A.49	Windlasten System 4.3 Ort B & System 6.3 Ort B	161
Tabelle A.50	Windlasten System 5.2 Ort A.....	162
Tabelle A.51	Windlasten System 6.2 Ort A.....	162
Tabelle A.52	Bemessungswerte der Vorkrümmung $e_{0,d}/L$ von Bauteilen.....	165
Tabelle A.53	Systemimperfectionen der Satteldachsysteme	166
Tabelle A.54	Bemessungswerte der Vorkrümmung $e_{0,d}/L$ von Bauteilen.....	169
Tabelle A.55	Systemimperfectionen der Flachdachsysteme	170
Tabelle A.56	Lastfallkombinationen ULS STR/GEO Systeme 3 – 6	171
Tabelle A.57	Lastfallkombinationen ULS STR/GEO Systeme 1 & 2.....	172
Tabelle A.58	Lastfallkombinationen SLS Quasi-ständig Kombination Systeme 1 - 6	173
Tabelle A.59	Lastfallkombinationen SLS Häufige Kombination Systeme 1 - 6	173
Tabelle A.60	Lastfallkombinationen SLS Charakteristische Kombination Systeme 1 – 6	174