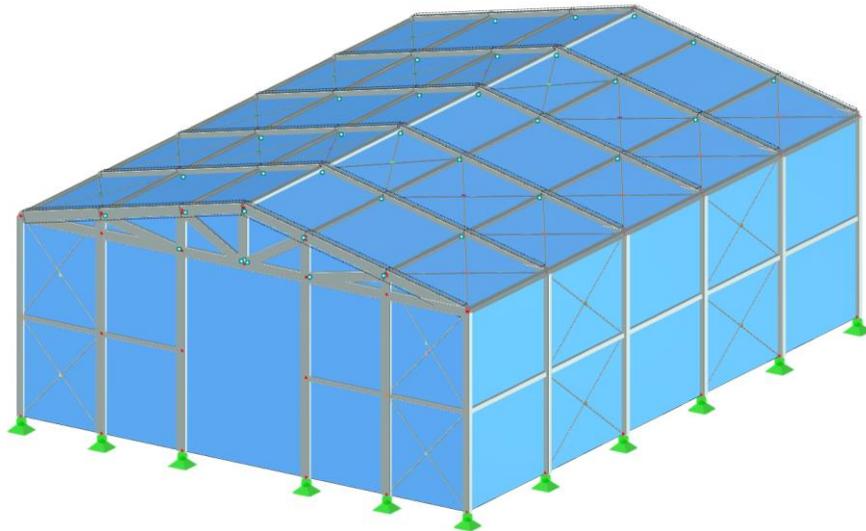




Fakultät 02 Bauingenieurwesen

# Konstruktion und Bemessung einer Aluminiumhalle

Construction and dimensioning  
of an aluminum hall



**Bachelorarbeit**  
Bauingenieurwesen

Eingereicht von  
Aysu Kilicoglu  
im Wintersemester 2023 / 2024

Betreuer:  
1. Prof. Dr. Ing. Christian Seiler

## I. INHALTSVERZEICHNIS

<b>I.</b>	<b>INHALTSVERZEICHNIS</b>	<b>2</b>
<b>II.</b>	<b>VORWORT</b>	<b>4</b>
<b>III.</b>	<b>KURZFASSUNG</b>	<b>5</b>
<b>IV.</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>6</b>
<b>V.</b>	<b>HAUPTTEIL</b>	<b>7</b>
<b>1</b>	<b>Modellierung einer Halle mit RFEM 6</b>	<b>7</b>
1.1	Projekteinstellung auf Dlubal	7
1.1.1	<i>Dlubal Modellerstellung</i>	7
1.1.2	<i>Normwahl für Bemessung</i>	10
1.1.3	<i>Wahl des Bauortes</i>	10
1.2	Konstruktion des Rahmentragwerks	11
1.2.1	<i>Profilwahl</i>	11
1.2.2	<i>Konstruktion</i>	14
1.2.3	<i>Auflager</i>	19
<b>2</b>	<b>Lastannahmen &amp; Lastkombinationen</b>	<b>21</b>
2.1	Ständige Lasten	21
2.1.1	<i>Eigengewicht</i>	21
2.1.2	<i>Vorspannung – Zugstäbe</i>	27
2.2	Veränderliche Lasten	29
2.2.1	<i>Schnee</i>	29
2.2.2	<i>Wind</i>	34
2.3	Lastkombinationen	42
2.3.1	<i>Bemessungssituation 1 - GZT</i>	42
2.3.2	<i>Bemessungssituation 2 - GZG</i>	43
<b>3</b>	<b>Bemessung</b>	<b>43</b>
3.1	Berechnung des Tragwerks	43
3.1.1	<i>Erster Berechnungsansatz</i>	43
3.1.2	<i>Anpassung des Modells</i>	49
3.1.3	<i>Imperfektionen</i>	53
3.1.4	<i>Knicklängen</i>	57
3.1.5	<i>Zweiter Berechnungsansatz</i>	59
3.2	Bemessung des Tragwerks	66
3.2.1	<i>Positionsplan</i>	66
3.2.2	<i>Vertikallasten</i>	67
3.2.3	<i>Darstellung Rahmen – Achse E</i>	69
3.2.4	<i>Pos. 1 – Obergurt (Stab Nr.194)</i>	74
3.2.5	<i>Pos. 2 – Stütze</i>	81
3.2.6	<i>Pos. 3 – Dachverband</i>	87
3.2.7	<i>Pos. 4 – Diagonales Profil aus Fachwerkskonstruktion</i>	89

---

3.2.8 Pos. 5 – Horizontales Profil aus Fachwerkskonstruktion	92
<b>VI. FAZIT</b>	<b>97</b>
<b>VII. ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>98</b>
<b>VIII. LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>103</b>
<b>IX. ANHANG, ANLAGE</b>	<b>104</b>
<b>1 Dlubal – Angaben zu den Profilen</b>	<b>104</b>
1.1 PRO 250 x 100 x 10	104
1.2 QRO 100 x 4	105
1.3 R20	106
1.4 QRO 150 x 10	108
1.5 QRO 120 x 8	109
<b>2 Windlast-Rechnungen</b>	<b>111</b>
<b>X. ERKLÄRUNG</b>	<b>115</b>

## II. VORWORT

In dieser Arbeit diente der Besuch der BAU-Messe 2023 in München als Motivationsauslöser für die Behandlung von Aluminium als Kernbaustoff. In dieser Messe wurden zur Präsentation von Stahl- und Solarsystemen lediglich eine gemeinsame Halle bereitgestellt, während für Aluminiumsysteme allein zwei ganze Hallen zur Verfügung gestellt wurden. Weitere Aluminiumprodukte waren zudem in den Hallen für Türen, Fenster, Beschläge und Torsysteme ausgestellt.

Durch sein geringes Gewicht besitzt Aluminium schon seit langer Zeit einen besonderen Stellenwert im Flugzeugbau. Zudem steigen die Anwendungsbereiche kontinuierlich an. Damit einhergehend nimmt die Anzahl an Angeboten exponentiell zu.

Um die Grenzen des „Wunderbaustoffs“ auszureizen, wird in dieser Arbeit ein Tragwerk aus Aluminium bemessen.

An dieser Stelle möchte ich meinem Professor, Herrn Dr. Christian Seiler, derzeitiger Dekan der HM, herzlich für Ermöglichung und Betreuung der Arbeit danken.

München, den 29. Februar 2024

Aysu Kilicoglu

### III. KURZFASSUNG

Der Kern dieser Arbeit liegt in der Konstruktion und Bemessung einer Aluminiumhalle unter Verwendung des Programms RFEM.

Zunächst werden die Schritte der Hallenmodellierung (in RFEM 6 der Dlubal Statik Software) geschildert. Anschließend werden Ergebnisse der statischen Analyse und Aluminiumbemessung für gewählte Bauteile dargestellt.

Für die Modellierung der Halle wurden Firmenausführungen sowie Dlubal-Beispielkonstruktionen herangezogen. Insbesondere wurde hier ein Beispiel der Stahlhallenkonstruktion (aus der Dlubal-Webseite) als Modellierungshilfe genutzt, was zu einer ähnlichen Konstruktion führte.

Das Ziel dabei bestand darin, eine Vergleichbarkeit der beiden Werkstoffe im Rahmen der Arbeit herzustellen. Bei Hallen, die basierend auf herkömmlichen Stahlhallen mit Aluminiumprofilen modelliert werden, ist davon auszugehen, dass diese Konstruktionen versagen. Jedoch liegt genau hierin die Chance diese Ursachen des Scheiterns genauer zu erforschen, um einen tiefergehenden Einblick in die Stabilitätsunterschiede zwischen Aluminium und Stahl zu erlangen.

Grundsätzlich wird deutlich, dass für Tragwerke mit großen Spannweiten der Werkstoff Stahl nach wie vor unübertroffen ist und wahrscheinlich auch weiterhin bleiben wird. Dennoch ist es offensichtlich, dass der Aluminiumgebrauch für Tragwerke stetig zunimmt. Hierzu gehören nicht nur hallenähnliche Gebäude, sondern auch kleinere Bauwerke, wie beispielsweise Terrassenüberdachungen.

## IV. EINLEITUNG

Aluminium ist einer der wichtigsten Nichteisenmetalle und gleichzeitig mit 7,5% das häufigste Metall der Erdkruste.<sup>1</sup> Während das Reinaluminium (99,9% Al) in der Küche als Alufolie Gebrauch findet, werden Aluminiumlegierungen in den unterschiedlichsten Anwendungsbereichen des Bauwesens genutzt.

Die Verwendung von Aluminiumlegierungen im Bauwesen kann in folgende drei Kategorien gegliedert werden<sup>2</sup>:

1. **Halbzeuge**, wie z.B.:
  - Bleche,
  - Strangpressprofile
  - Winkelprofile
  - tragende Konstruktionen des Leichtbaus, etc.
2. **Gussteile**, wie z.B.:
  - Platten mit reliefartiger und strukturierter Oberfläche für Wandbekleidungen, Beschläge und Türen
  - Gerüstkupplungen, etc.
3. **Fertigerzeugnisse**, wie z.B.:
  - Aluminiumfenster, zur Vermeidung von Kondensatbildung
  - Holz-Aluminium-Fenster, als integrierte Verbundkonstruktionen
  - Türen und Tore
  - Heizkörper
  - Gerüste
  - Dachprofile, etc.

Der gestiegene Einsatz von Aluminiumlegierungen ist auf mehrere, günstige Eigenschaften dieses Stoffes zurückzuführen:

- „Geringe Dichte von ca. 2,7 g/cm<sup>3</sup> (Gewichtersparnis gegenüber Stahl),
- Einstellbare Festigkeiten bis 600 N/mm<sup>2</sup> bei guter Verformbarkeit,
- Gute atmosphärische Beständigkeit,
- Hohes Reflexionsvermögen für Licht und Wärme,
- Schweißbarkeit
- Gute Verformbarkeit“<sup>3</sup>

Diese Eigenschaften machen den Werkstoff für jegliche Leichtbausysteme unverzichtbar. In der folgenden Arbeit wird eine Leichtbauhalle konstruiert, die ausschließlich aus Aluminiumlegierung bestehen soll.

---

<sup>1</sup> Vgl. Dehn, König, Marzahn; Konstruktionswerkstoffe im Bauwesen; 2003; S. 133

<sup>2</sup> Vgl. a.a.O., S. 139-140

<sup>3</sup> Dehn, König, Marzahn; Konstruktionswerkstoffe im Bauwesen; 2003; S. 132

## V. HAUPTTEIL

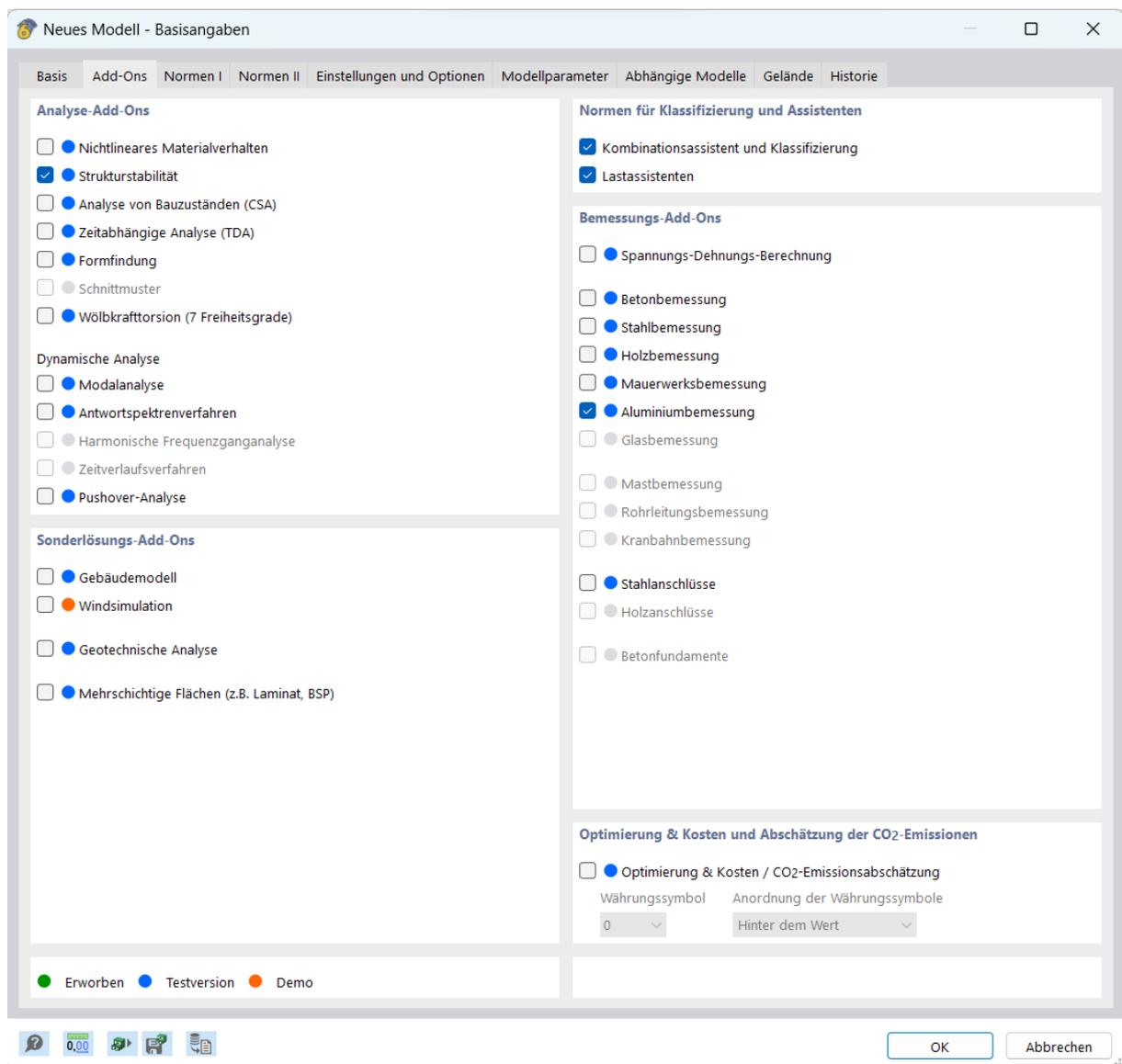
### 1 MODELLIERUNG EINER HALLE MIT RFEM 6

#### 1.1 Projekteinstellung auf Dlubal

##### 1.1.1 Dlubal Modellerstellung

Die Modellerstellung beginnt mit der Wahl der Basisangaben. Hier werden Kombinations- und Lastassistenten aktiviert. Die Lastassistenten können später in der Erstellung der Wind- / Schneelasten genutzt werden.

Darüber hinaus bietet das Programm eigene Add-Ons, die je nach Bedarf hinzugefügt werden können. Für das zu erstellende Tragwerk sind das Analyse-Add-On „Strukturstabilität“ und insbesondere das Bemessungs-Add-On „Aluminiumbemessung“ essenziell.



**Abb. 1 Modellerstellung – Assistenten & Add-Ons**

Für die Massenumrechnung habe ich grob  $g = 10,00 \text{ m/s}^2$  angenommen. In manuellen Kontrollrechnungen werden die Lasten mit  $1 \text{ kN} = 100,0 \text{ kg}$  umgerechnet. Die vom Programm vorgeschlagenen Toleranzen habe ich unverändert gelassen. Zur einfacheren Bearbeitung des Modells wurden die Stabrepräsentanten aktiviert.

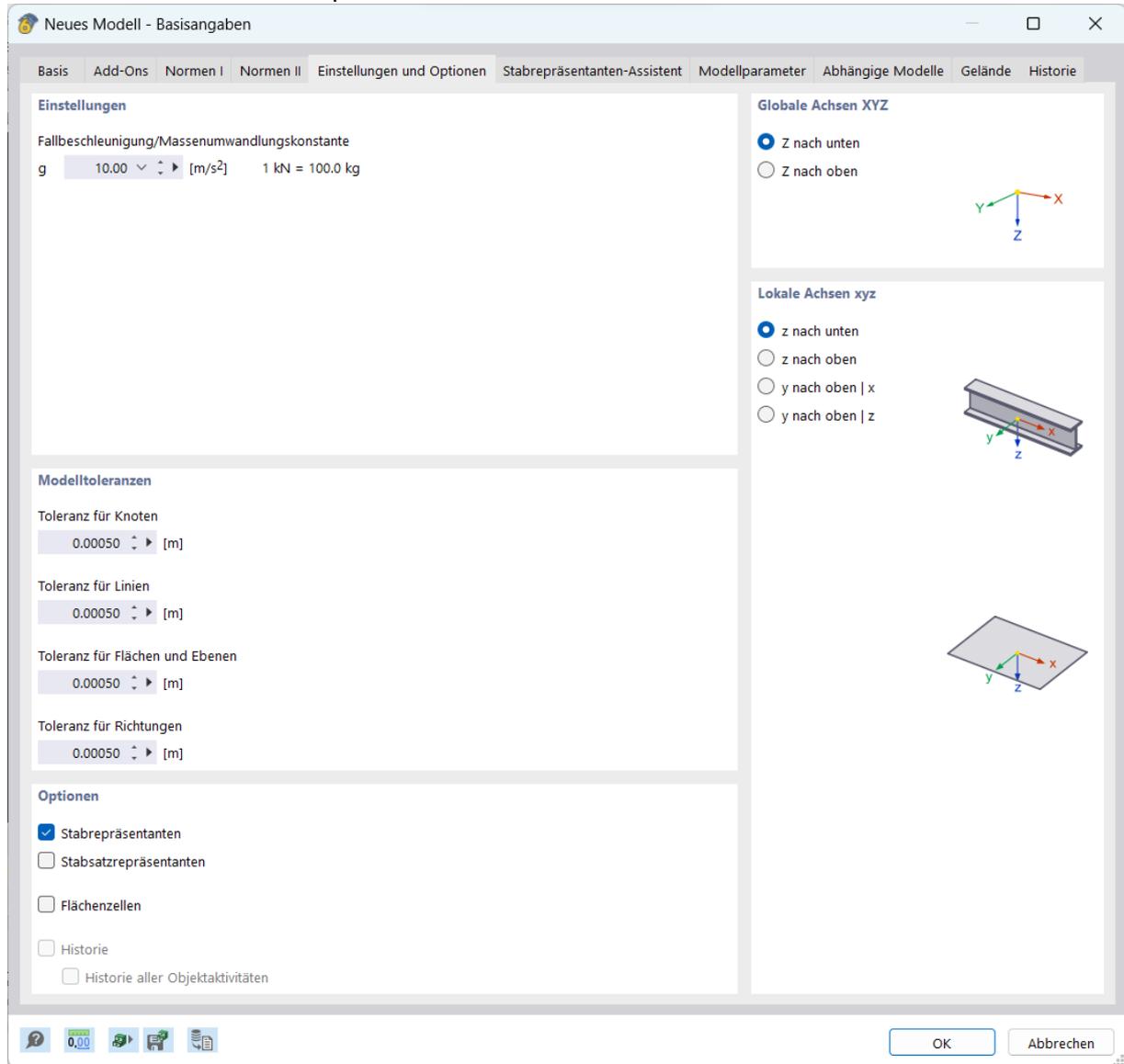


Abb. 2 Modellerstellung – Fallbeschleunigung, Massenumwandlungskonstante und Toleranzen

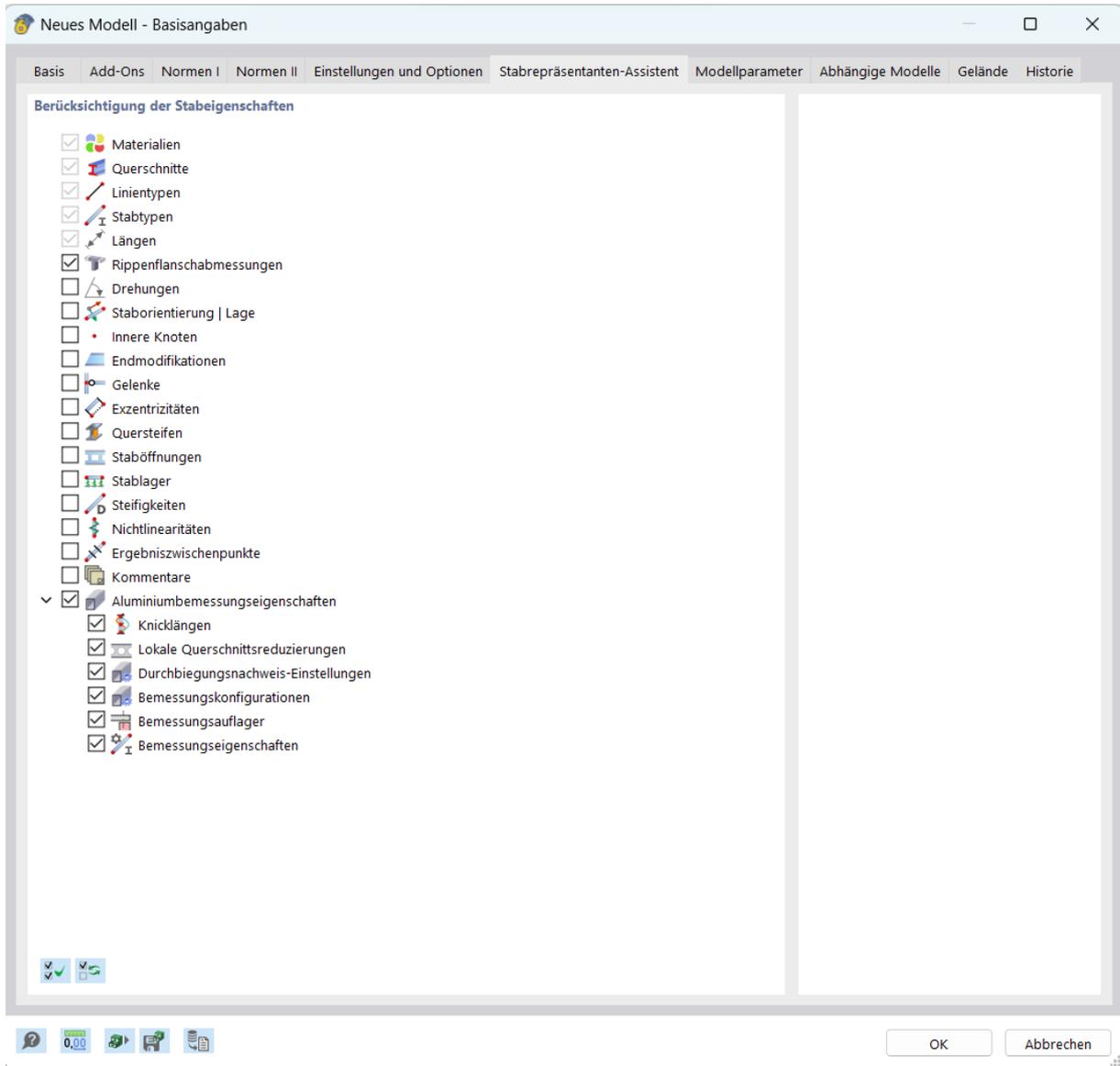


Abb. 3 Modellerstellung – Einstellung des Stabrepräsentanten-Assistenten

### 1.1.2 Normwahl für Bemessung

Durch die Aktivierung des Add-On „Aluminiumbemessung“ filtert das Programm die Normen, die für das Bemessen von Aluminiumtragwerken gelten. Es muss lediglich beachtet werden, dass die EU-Normen (mit den jeweiligen Nationalen Anhängen Deutschlands) ausgewählt sind. Im Folgenden sind die Normen aufgeführt, die die Software für die statische Analyse und die Bemessung verwendet.

#### Für die Lastklassifizierungs- und Kombinationsassistenten:

Normgruppe EN 1990: Grundlagen der Tragwerksplanung

- DIN EN 1990
- DIN EN 1990/NA
- DIN EN 1990/NA/A1

#### Für die Lastassistenten:

Normgruppe EN 1991: Einwirkungen auf Tragwerksplanung

- DIN EN 1991-1-3: 2010
- DIN EN 1991-1-3/A1: 2015
- DIN EN 1991-1-3/NA: 2019
- DIN EN 1991-1-4: 2010
- DIN EN 1991-1-4/NA: 2010

#### Für die Aluminiumbemessung:

Normgruppe EN 1999: Aluminiumbau

- DIN EN 1999-1-1: 2014
- DIN EN 1999-1-1/NA: 2021

### 1.1.3 Wahl des Bauortes

Als Bauort wurde willkürlich Bad Tölz gewählt. Die Breiten- und Längengrade sowie die Höhenlage sind in der folgenden Grafik dargestellt.



**Abb. 4 Modellerstellung – Bauort**

Der ausgewählte Bauort befindet sich in der Windlastzone 2 und der Schneelastzone 2. Die Parameter für die Lastberechnung werden im Verlauf der weiteren Arbeit ermittelt.

## 1.2 Konstruktion des Rahmentragwerks

Für die Konstruktion habe ich zunächst einige Handbücher auf der Webseite der Statik-Software Dlubal eingesehen. Dort gibt es auch ein Schulungsvideo zur Erstellung von Stahlhallen, das ich zusammen mit den Handbüchern zur Erstellung des Grundmodells meiner Aluminiumhalle verwendet habe. Mein Ziel dabei war es, den Stabilitätsunterschied zwischen Aluminium und Stahl genauer zu untersuchen. Ein Modell, dessen Geometrie einer Stahlhalle ähnelt, aber aus Aluminiumprofilen erstellt ist, wird mit Sicherheit scheitern, doch in welchem Ausmaß? Dies wird im Folgenden näher beleuchtet.

### 1.2.1 Profilwahl

#### Material

Die von der Software empfohlene und für das Tragwerk ausgewählte Aluminiumlegierung heißt: **EN AW-6060 (EP) T66**.

Bezeichnung der Legierung		Produktform	Beständigkeitsklasse (siehe 4, Anhang C und Anhang D)
Numerische Bezeichnung	Chemische Bezeichnung		
EN AW-3004	EN AW-AlMn1Mg1	SH,ST,PL	A
EN AW-3005	EN AW-AlMn1Mg0,5	SH,ST,PL	A
EN AW-3103	EN AW-Al Mn1	SH,ST,PL,ET,EP, ER/B	A
EN AW-5005/5005A	EN AW-AlMg1(B)/(C)	SH,ST,PL,	A
EN AW-5049	EN AW-AlMg2Mn0,8	SH,ST,PL	A
EN AW-5052	EN AW-Al Mg2,5	SH,ST,PL,ET <sup>2)</sup> ,EP <sup>2)</sup> ,ER/B, DT	A
EN AW-5083	EN AW-Al Mg4,5Mn0,7	SH,ST,PL,ET <sup>2)</sup> ,EP <sup>2)</sup> ,ER/B,DT, FO	A <sup>1)</sup>
EN AW-5454	EN AW-Al Mg3Mn	SH,ST,PL,ET <sup>2)</sup> ,EP <sup>2)</sup> ,ER/B	A
EN AW-5754	EN AW-Al Mg3	SH,ST,PL, ET <sup>2)</sup> ,EP <sup>2)</sup> ,ER/B,DT,FO	A
<b>EN AW-6060</b>	<b>EN AW-Al MgSi</b>	ET, <b>EP</b> ,ER/B,DT	<b>B</b>
EN AW-6061	EN AW-Al Mg1SiCu	SH, ST,PL,ET,EP,ER/B,DT	B
EN AW-6063	EN AW-Al Mg0,7Si	ET,EP,ER/B,DT	B
EN AW-6005A	EN AW-Al SiMg(A)	ET,EP,ER/B	B
EN AW-6082	EN AW-Al Si1MgMn	SH,ST,PL,ET,EP,ER/B,DT,FO	B
EN AW-6106	EN AW-AlMgSiMn	EP	B
EN AW-7020	EN AW-Al Zn4,5Mg1	SH,ST,PL,ET,EP,ER/B,DT	C
EN AW-8011A	EN AW-AlFeSi	SH, ST, PL	B
<b>Legende</b>			
SH	Bleche (EN 485)	<b>EP</b>	<b>stranggepresste Profile (EN 755)</b>
ST	Bänder (EN 485)	ER/B	stranggepresste Stangen (EN 755)
PL	Platten (EN 485)	DT	gezogene Rohre (EN 754)
ET	stranggepresste Rohre (EN 755)	FO	Schmiedeteile (EN 586)
1) siehe Anhang C: C2.2.2(2)			
2) nur einfache, offen stranggepresste Vollquerschnitte oder dickwandige Rohre über einen Dorn (nahtlos)			

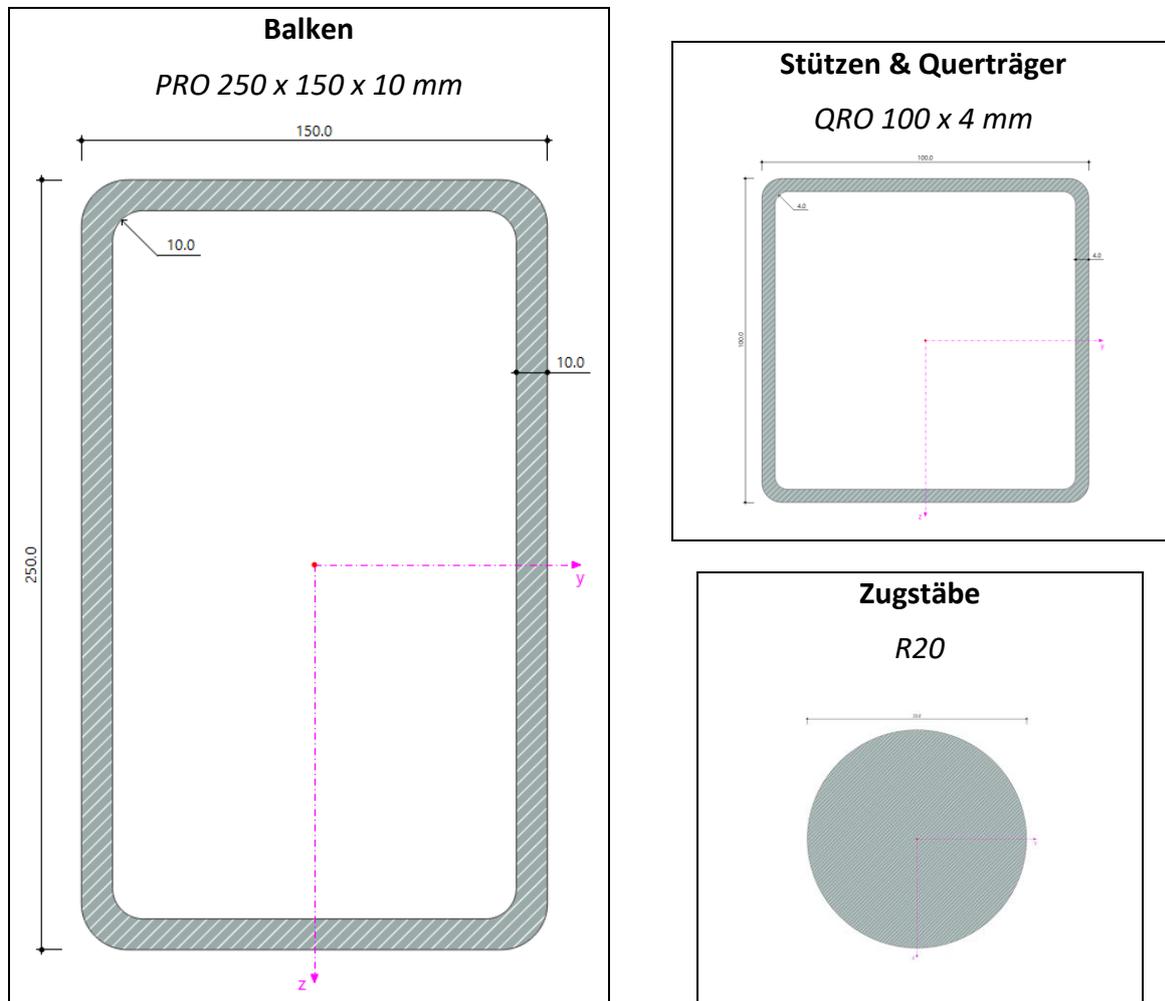
**Abb. 5 Aluminiumlegierungen für tragende Bauteile<sup>4</sup>**

<sup>4</sup> DIN e.V. (Hrsg), DIN EN 1999-1-1:2014-03, Kap. 3.2.1



## Querschnitt

Wie von anderen Beispielen ersichtlich wird, sind für Aluminiumtragwerke in der Regel rechteckige Hohlprofile mit verschiedenen Abmessungen und Dicken üblich.<sup>6</sup> Die für die Grundkonstruktion gewählten Profilquerschnitte sind wie folgt:



Dies sind die vom Programm empfohlenen Profile. Genauere Angaben zu diesen befinden sich im Anhang.

<sup>6</sup> Vgl. Bsp. Firma Herchenbach Leichtbauhallen

## 1.2.2 Konstruktion

Den Dlubal-Handbüchern<sup>7</sup> und der Stahlhallen-Schulung<sup>8</sup> folgend wird die Halle erstellt.

Hierfür konstruiere ich erst einen Rahmen. Der Rahmenkonstruktion werden Knotenpunkte zugewiesen, welche als Ansatzpunkte für die Querträger dienen werden. Jeder Dachschräge werden zwei Knotenpunkte gesetzt und jeder Stütze einer.

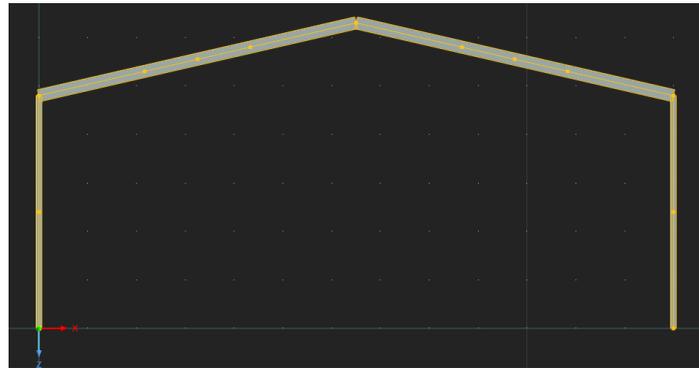


Abb. 8 Rahmenkonstruktionen

Für das weitere Vorgehen wird der Rahmen im Abstand von jeweils vier Metern vermehrt. Die Anzahl wird als vier gewählt, sodass das Gebäude eine Gesamtlänge von 16m erreicht.

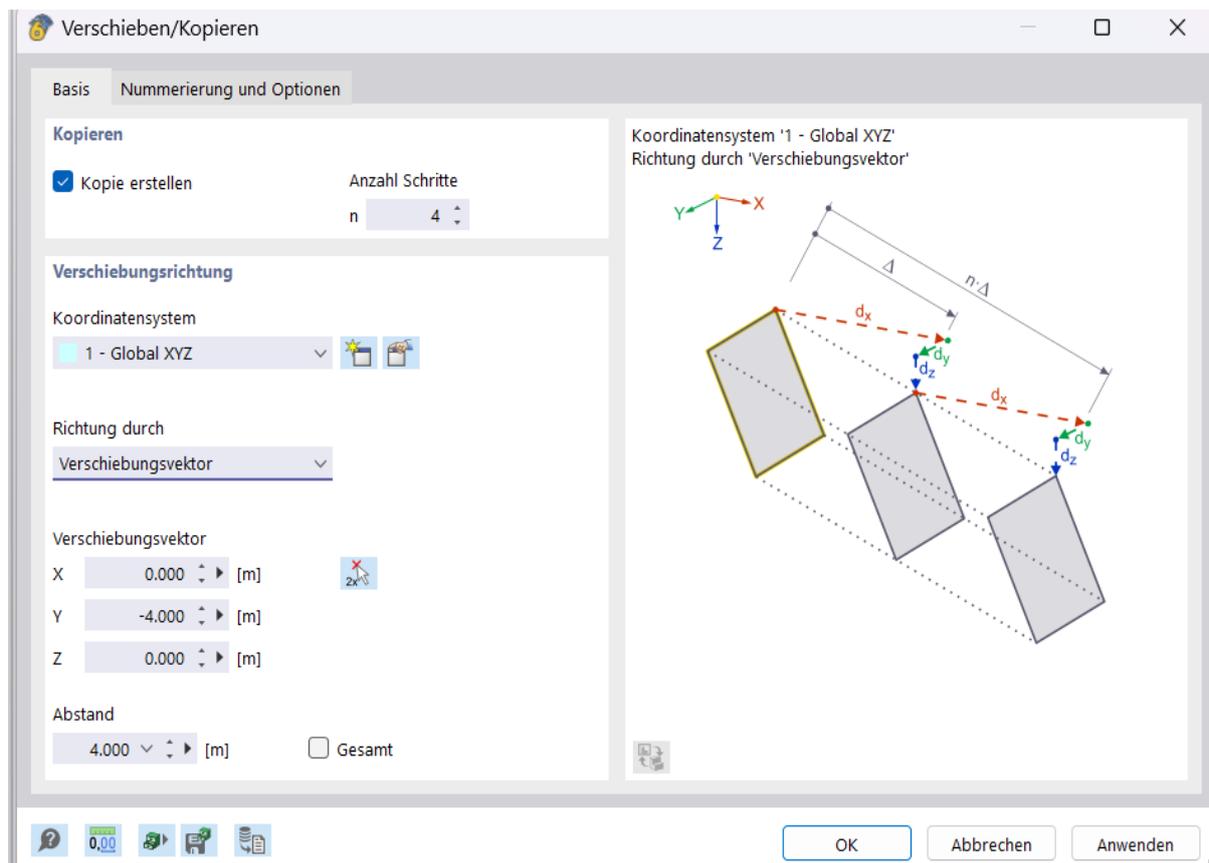
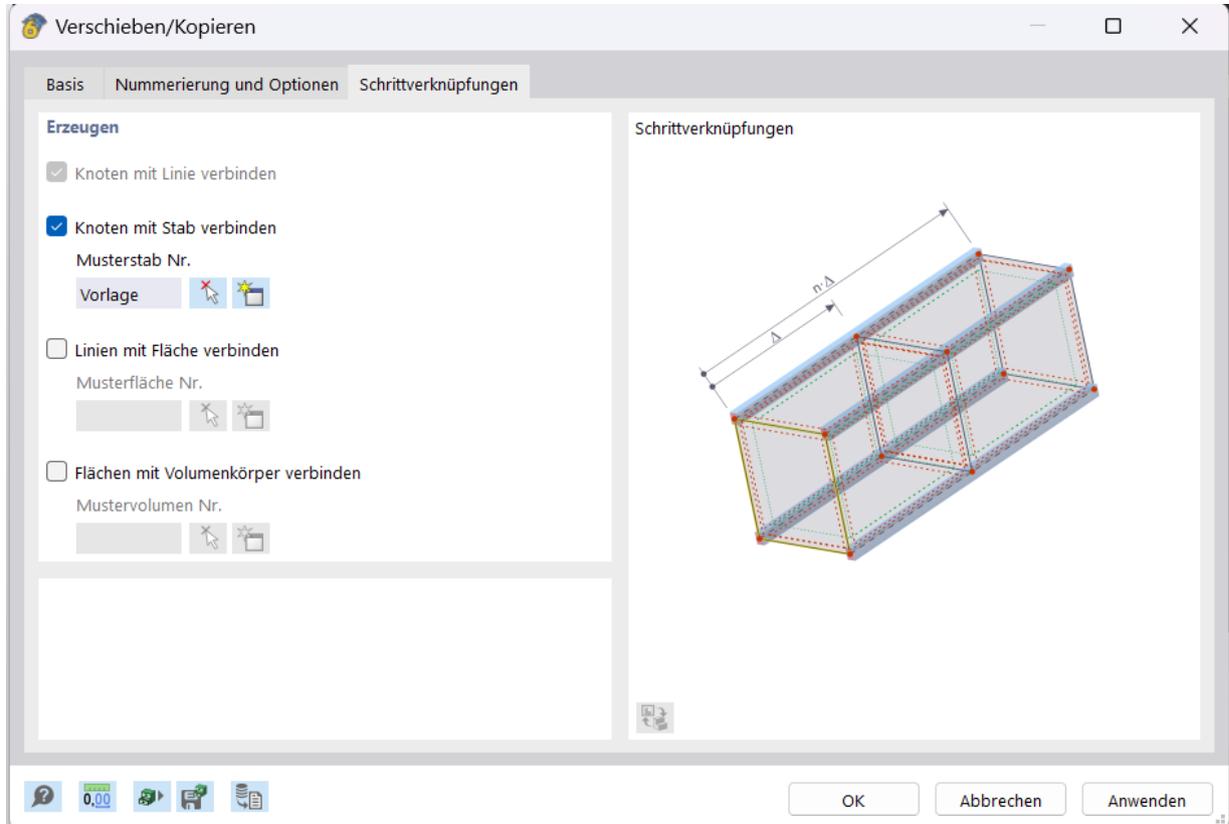


Abb. 9 Kopierfunktion Dlubal

<sup>7</sup> Dlubal Software GmbH (Hrsg.): RFEM 6 Handbuch (2023), URL: <https://www.dlubal.com/de/downloads-und-infos/dokumente/online-handbuecher/rfem-6> (Stand: 29.12.2023)

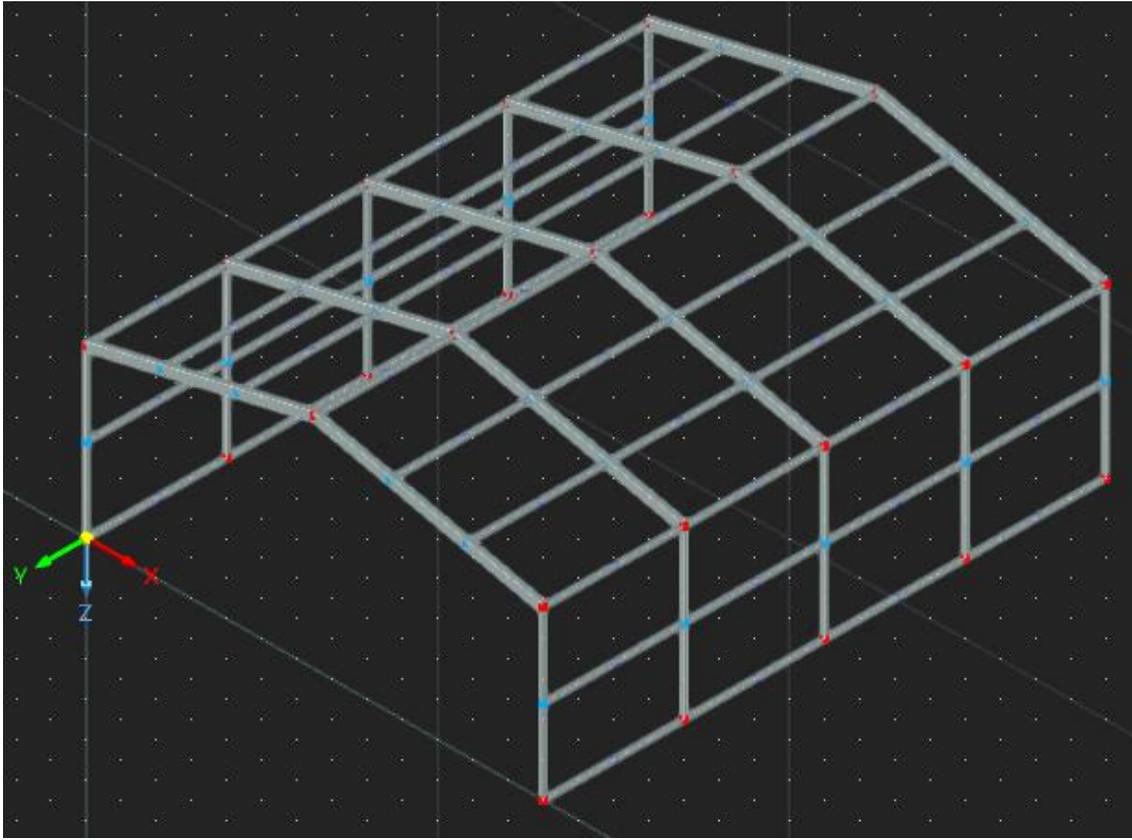
<sup>8</sup> Dlubal Software GmbH (Hrsg.): Modellierung und Bemessung von Stahlkonstruktionen in RFEM 6 und RSTAB 9 (2023), URL: <https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/schulungen/videos/002927> (Stand: 29.12.2023)

Noch im gleichen Prozess können die Querträger mit der Funktion „Schrittverknüpfung“ mit-  
eingefügt werden. Dafür muss die Option „Knoten mit Stab verbinden“ angekreuzt sein und  
der entsprechende Stab (QRO 100 x 4 mm) gewählt werden.

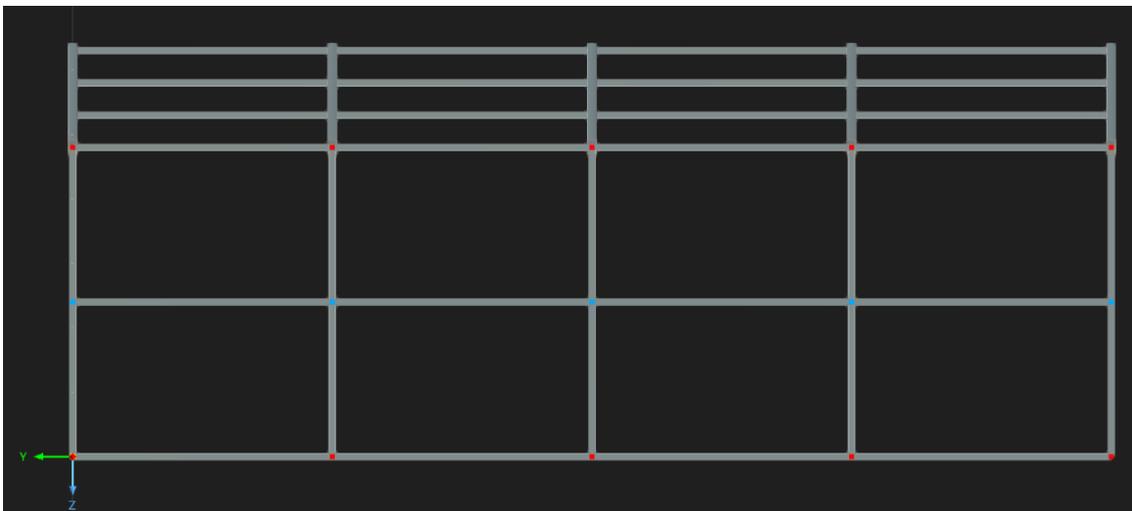


**Abb. 10** Knotenverbindung mit Stäben

Somit ist ein großer Teil der **Grundkonstruktion** hergestellt:

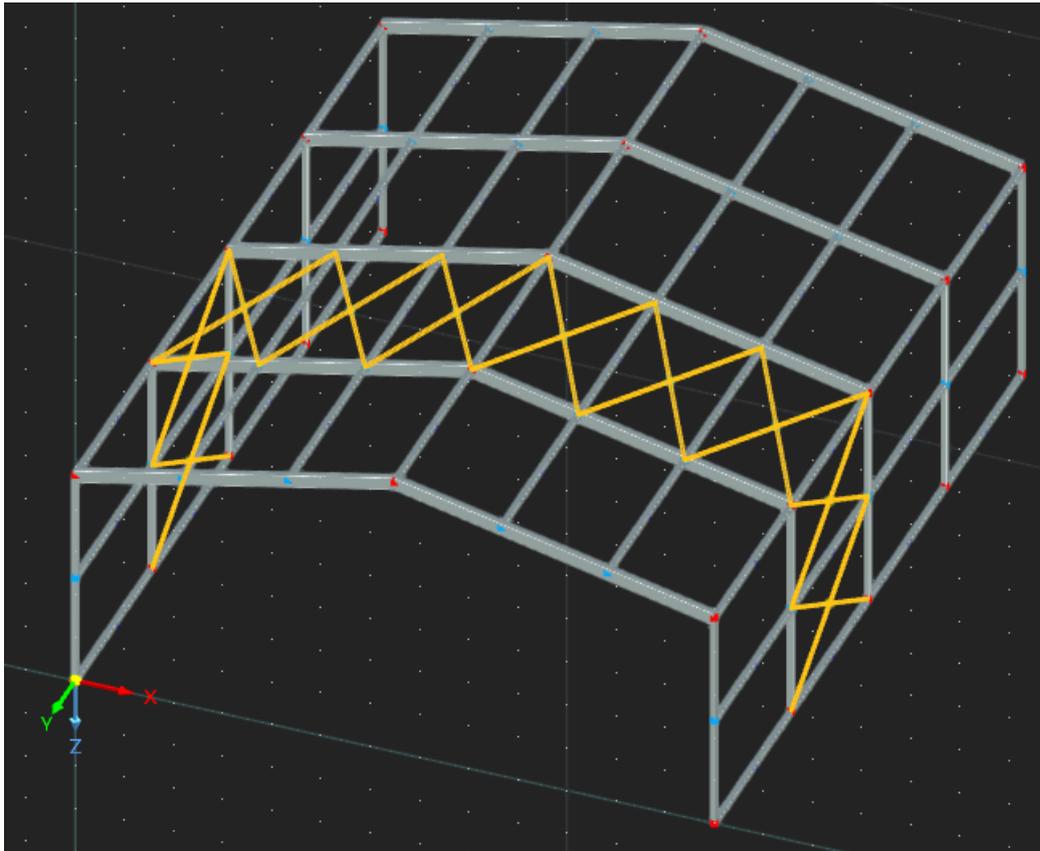


**Abb. 11** Nach Vermehrung des Rahmens



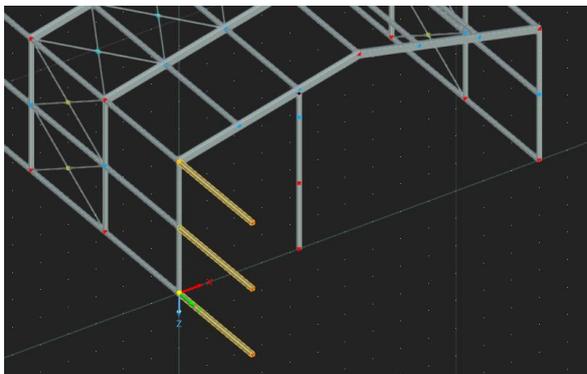
**Abb. 12** Nach Vermehrung des Rahmens – Längsansicht

Für die Längsaussteifung fehlt an dieser Stelle die Verbände. Diese werden mit dem Stabtyp „Zugstab“ an sinnvoller Stelle angebracht.

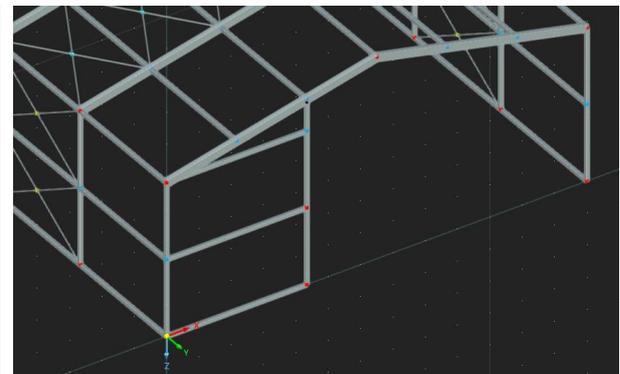


**Abb. 13** Durchgehender Kreuzverband

Für die Giebelseiten werden zunächst die soeben erstellten Längsstäbe um ein Feld weiter kopiert und anschließend mit der neu erstellten Giebelstütze verbunden:



**Abb. 14** neue Längsstäbe an die Eckstütze



**Abb. 15** Stabenden der Längsstäbe an Giebelstütze

Die restliche Konstruktion kann zum größten Teil durch Nutzung der Kopier- oder Spiegel-funktion generiert werden.

Für die spätere Lasteingabe ist zu beachten, dass jede Fläche vom Programm erkannt werden kann. Aus dem Grund wird der Torbereich mit einer konstruktiven Linie in die Giebelwandfläche eingeschlossen:

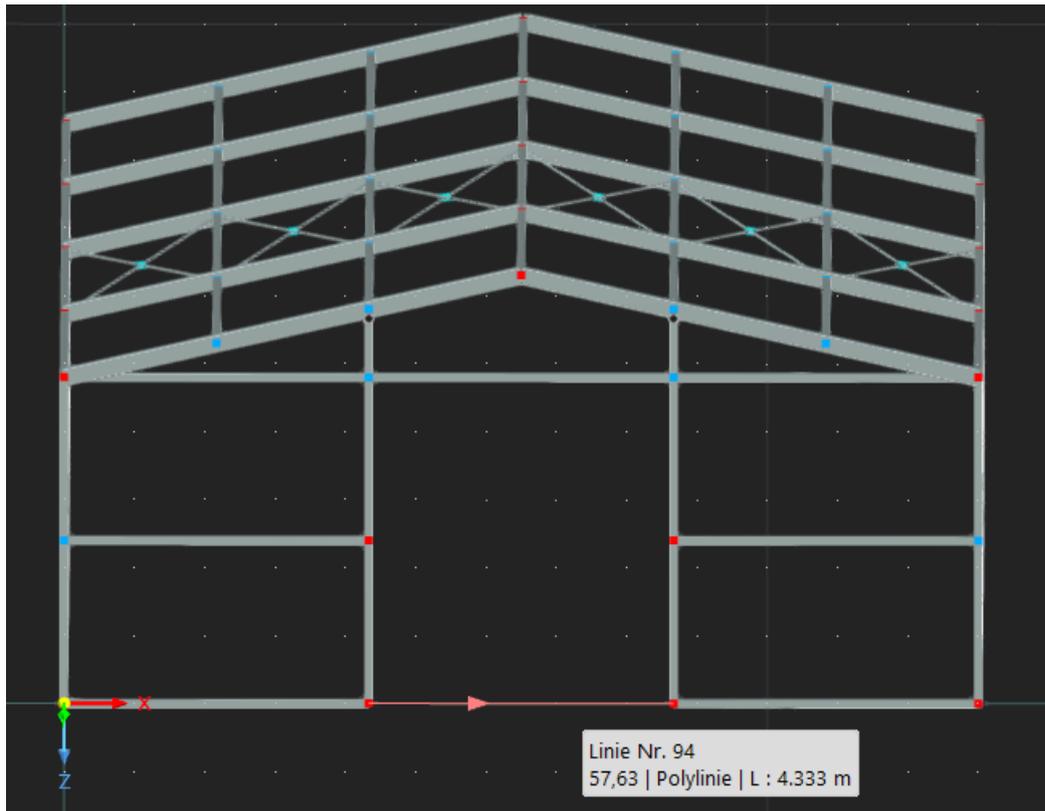


Abb. 16 Torbereich - Polylinie

### 1.2.3 Auflager

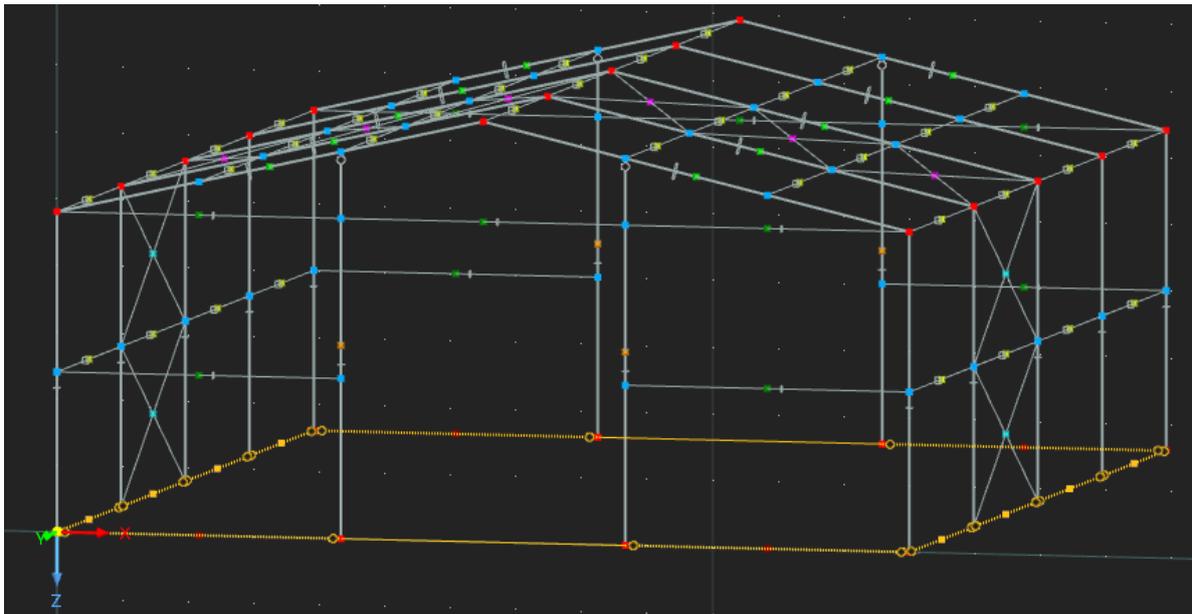


Abb. 17 Ansicht im Drahtmodell

Im Hinblick auf die gewünschte Lastweiterleitung werden die unteren Stäbe als „Kopplung Gelenk-Gelenk“ eingerichtet. An den Knotenpunkten werden gelenkige Auflager eingefügt:

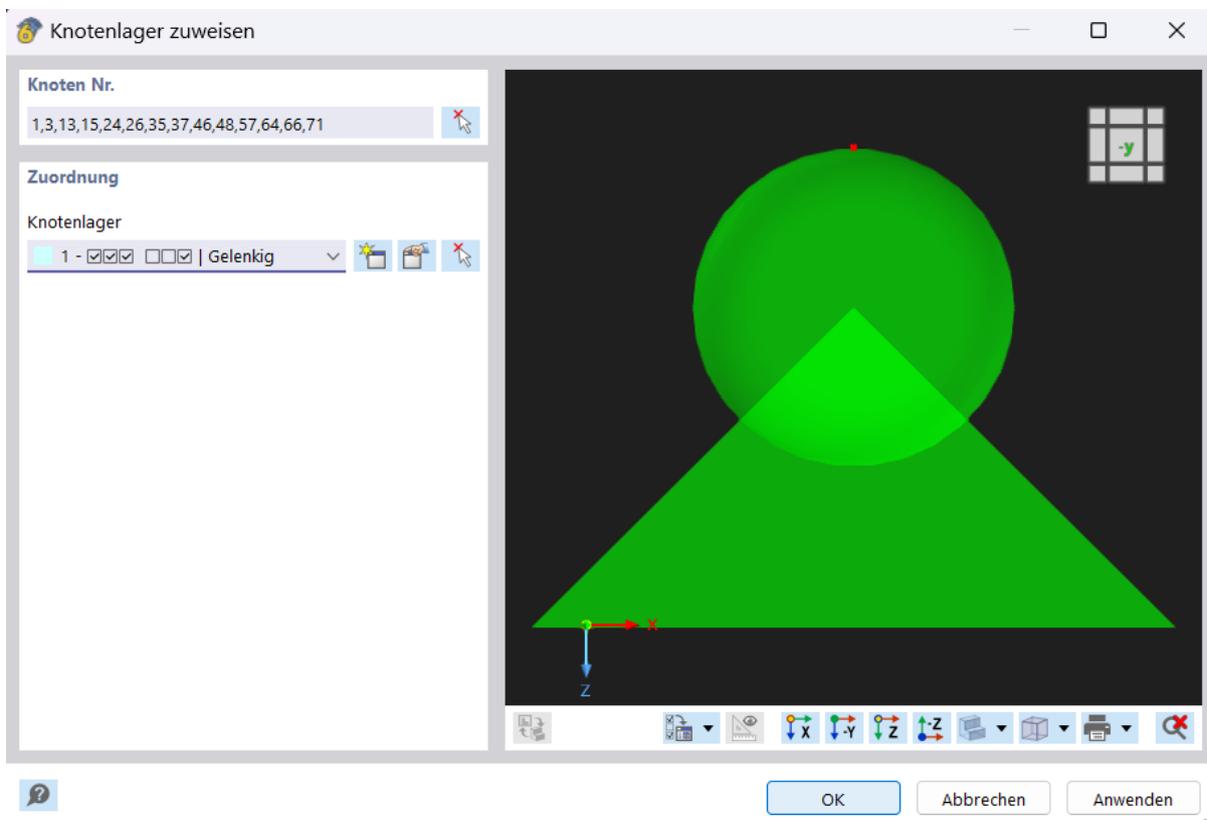


Abb. 18 Gelenkige Auflager an Knotenpunkten

Das fertige Modell sieht folgendermaßen aus:

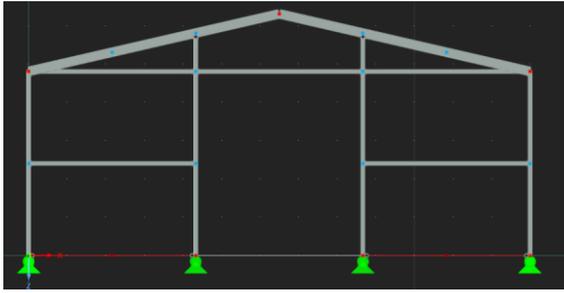


Abb. 19 Giebelseite

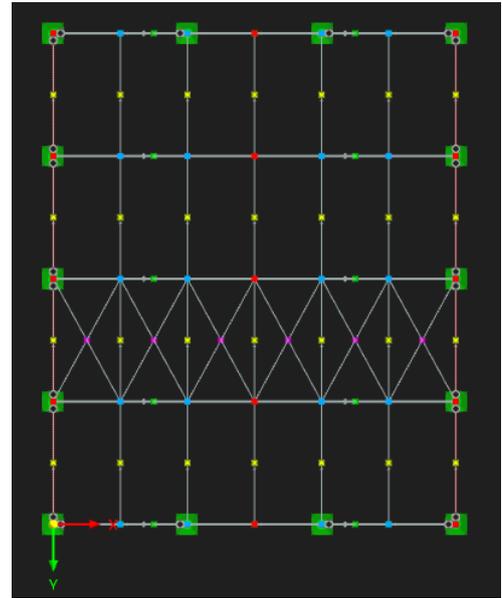


Abb. 20 Draufsicht

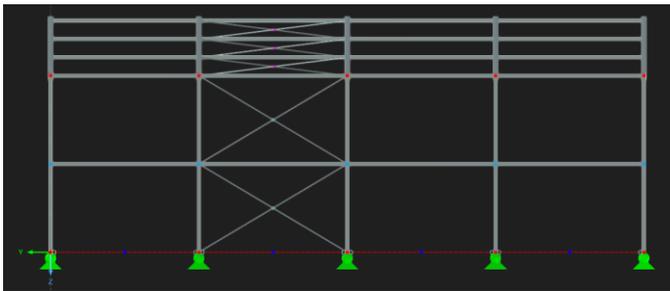


Abb. 21 Längsseite

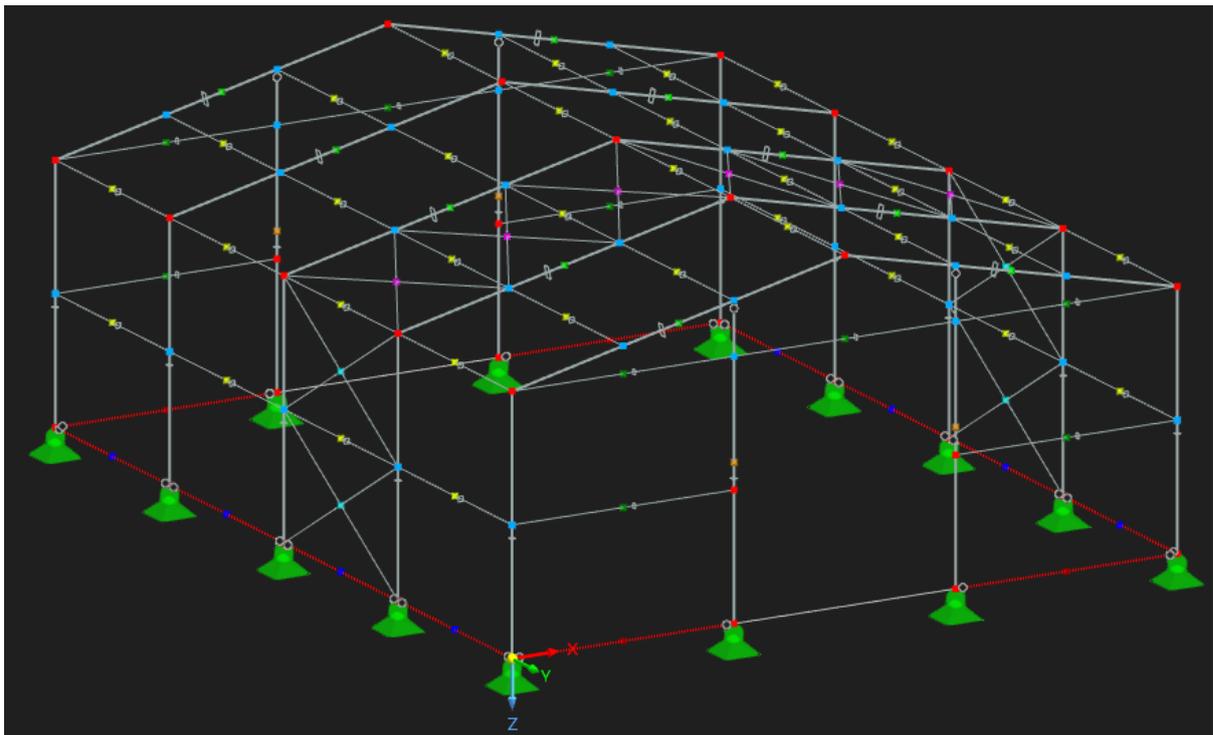


Abb. 22 Ansicht

## 2 LASTANNAHMEN & LASTKOMBINATIONEN

### 2.1 Ständige Lasten

#### 2.1.1 Eigengewicht

Das Eigengewicht wird vom Programm selbst angesetzt, jedoch nur in Form von Stablasten. Hier muss auch das Gewicht der Sandwichpaneele bedacht werden. Dafür bietet das Programm zwei Möglichkeiten:

1. Erstellung von Flächen- oder sogenannten „Zellen-“ Lasten mit dem erweiterten Stablastergenerator: Programm erkennt durch dem Lastassistenten „Stablaster aus Flächenlasten“ die von Stäben eingeschlossenen Zellen selbstständig und trägt die gewünschte Flächenlast ein. Es müssen nur (wie bereits erfolgt) die Torbereiche mit einer Hybrideingabe zusätzlich als Lastflächen eingeschlossen werden, da diese nicht als geschlossene Zelle erkannt werden.
2. Die zweite Variante funktioniert über sog. Lastweiterleitungsflächen. Es wird auf der Außenhülle des Modells eine Fläche mit dem Typ „Lastübertragung“ definiert.

Im Folgenden wird mit der zweiten Variante weiterverfahren. Diese bietet den Vorteil, dass man die erstellten Lastübertragungsflächen auch für die Eingabe von horizontalen Windlasten verwenden kann.

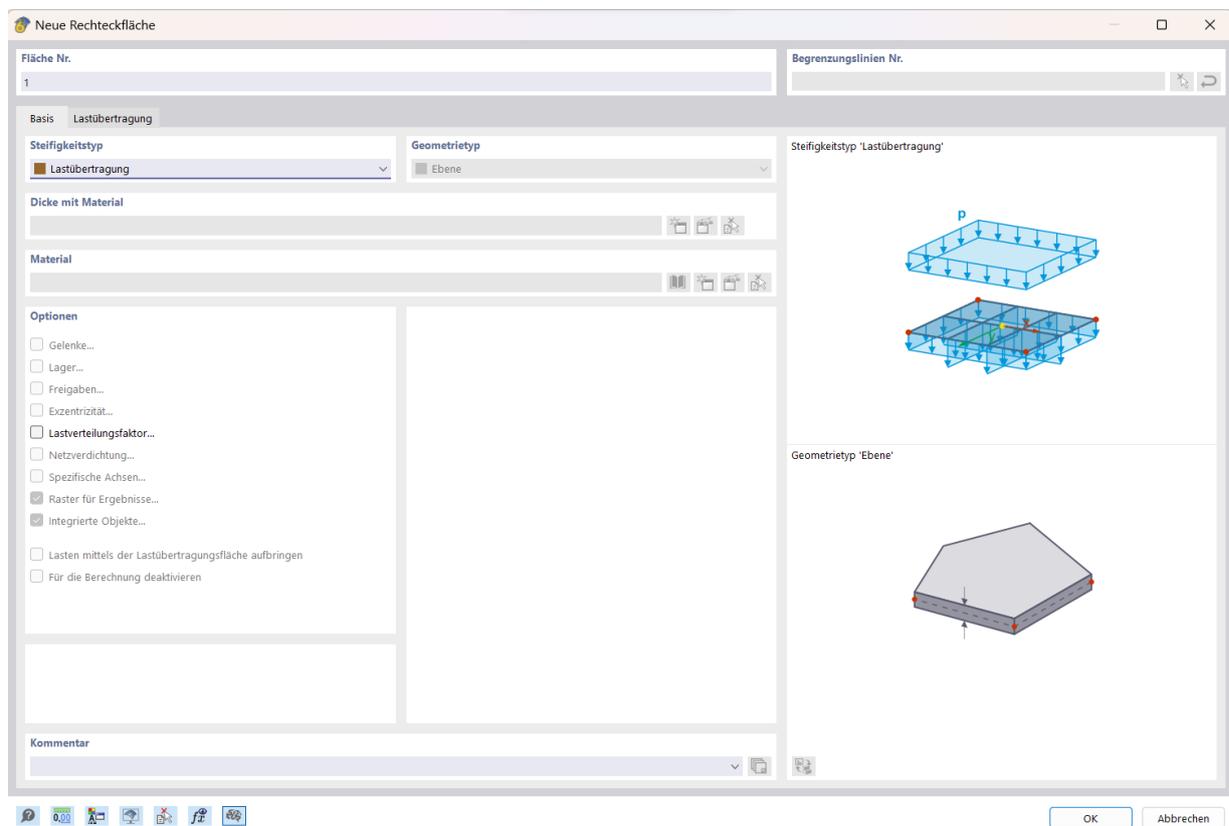


Abb. 23 Generierung neuer Rechteckflächen mit dem Typ „Lastübertragung“ an der Außenhülle

Durch Anklicken der umrandenden Stäbe werden insgesamt sechs Flächen erstellt: zwei Dachflächen, zwei Längsfassaden, zwei Giebelfassaden.

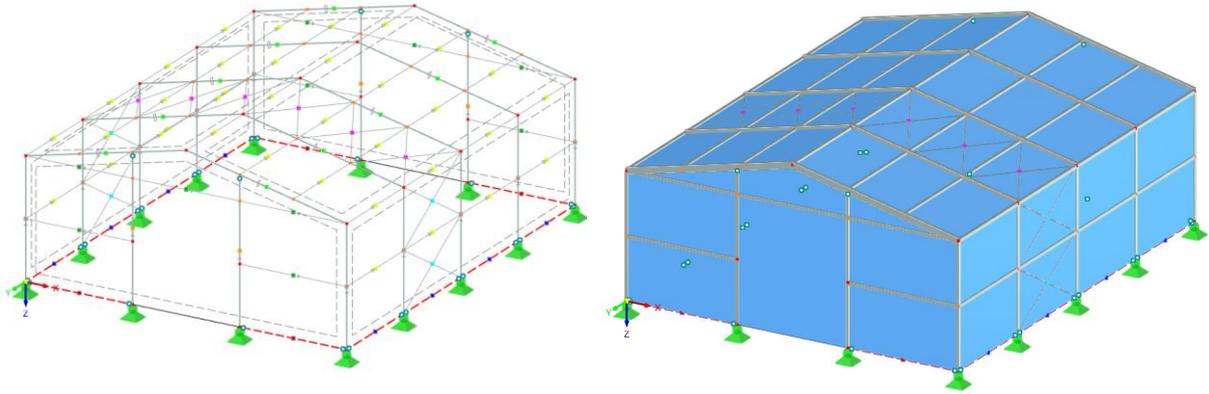


Abb. 24 Nach Erstellung aller Lastübertragungsflächen (im Draht- und Vollmodus)

Die Achssystemrichtungen der einzelnen Flächen wurden folgendermaßen eingerichtet:

1. Für beide Dachschrägen, sowie beide Längsseiten wünscht man sich eine **ausschließliche Belastung der waagrechten Stäbe**.

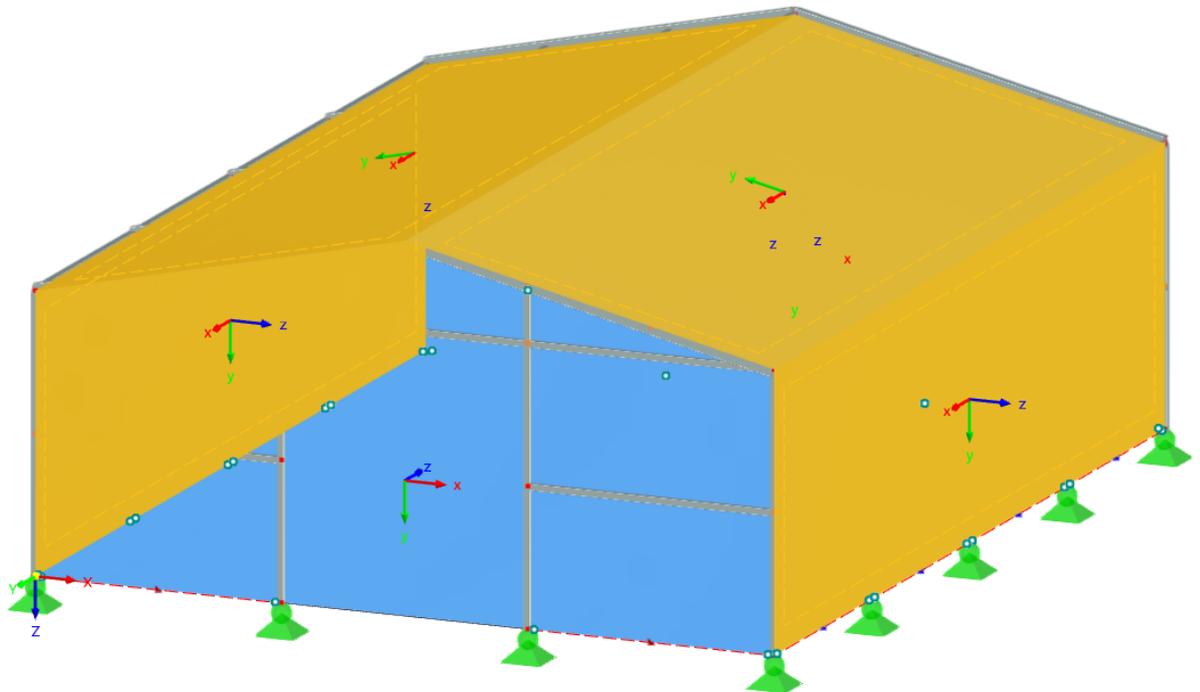


Abb. 25 Markierung des Daches und der Längsseiten

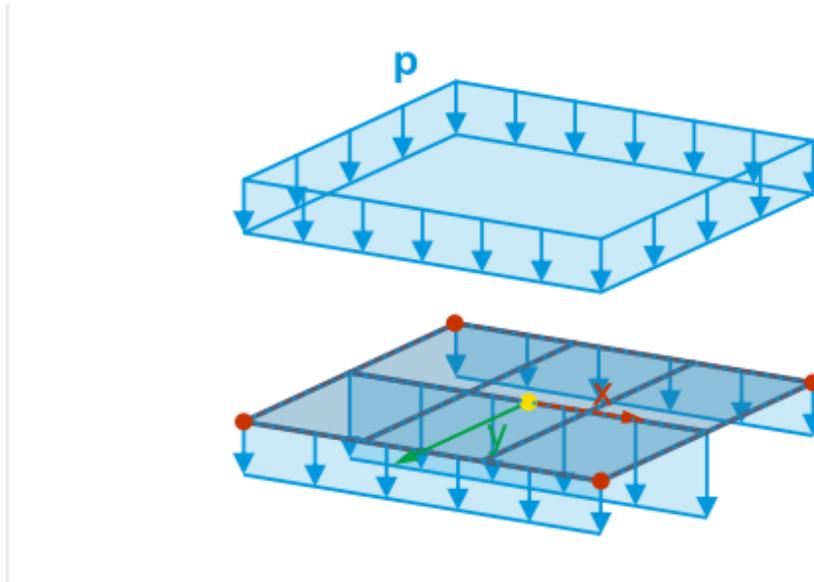


Abb. 26 Lastübertragung der Längsseiten und Dachschrägen: Lokal in Y

2. Für die zwei Giebelflächen wurde eine isotrope Lastübertragung angesetzt: **in beide Richtungen**, allerdings ohne Wirkung auf die äußeren Rahmenbauteile.

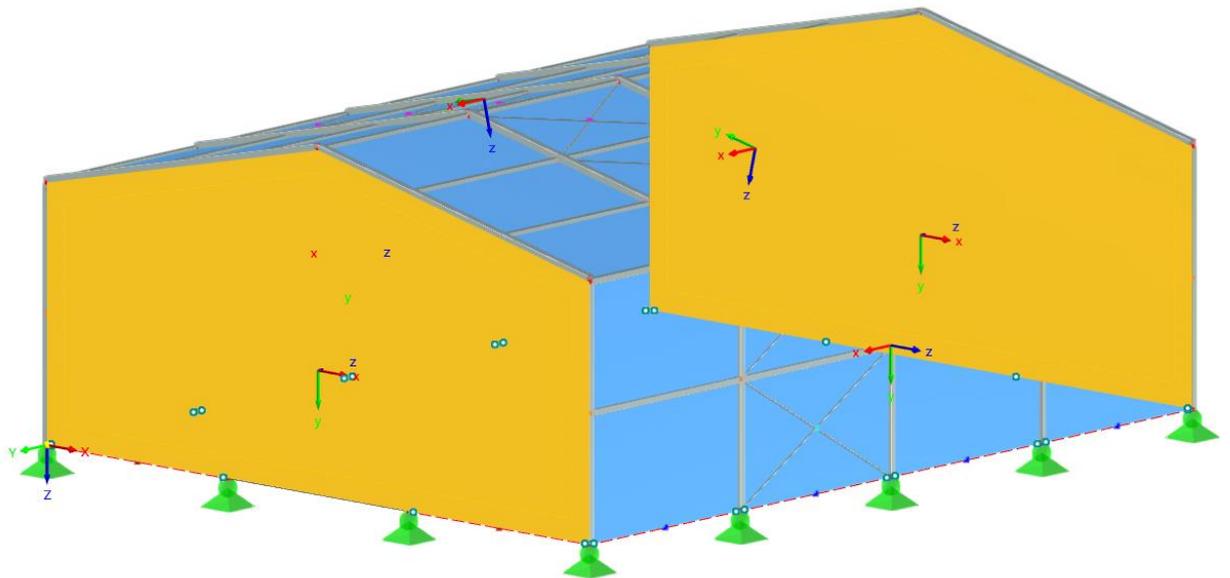


Abb. 27 Markierung der Giebelseiten

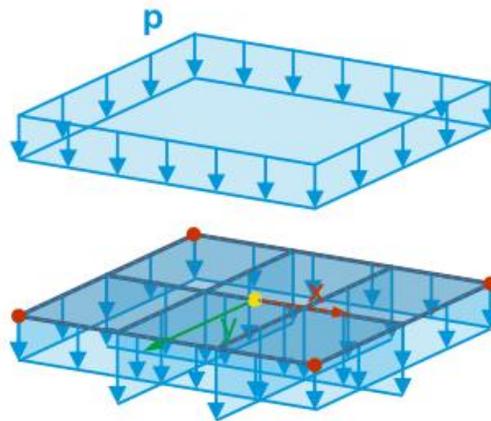


Abb. 28 Lastübertragungsrichtung der Giebelseiten: Beide Richtungen

Bei den Giebelwänden wurde für die Rahmenprofile (gelb markiert) jeweils die Option „ohne Wirkung auf“ genutzt:

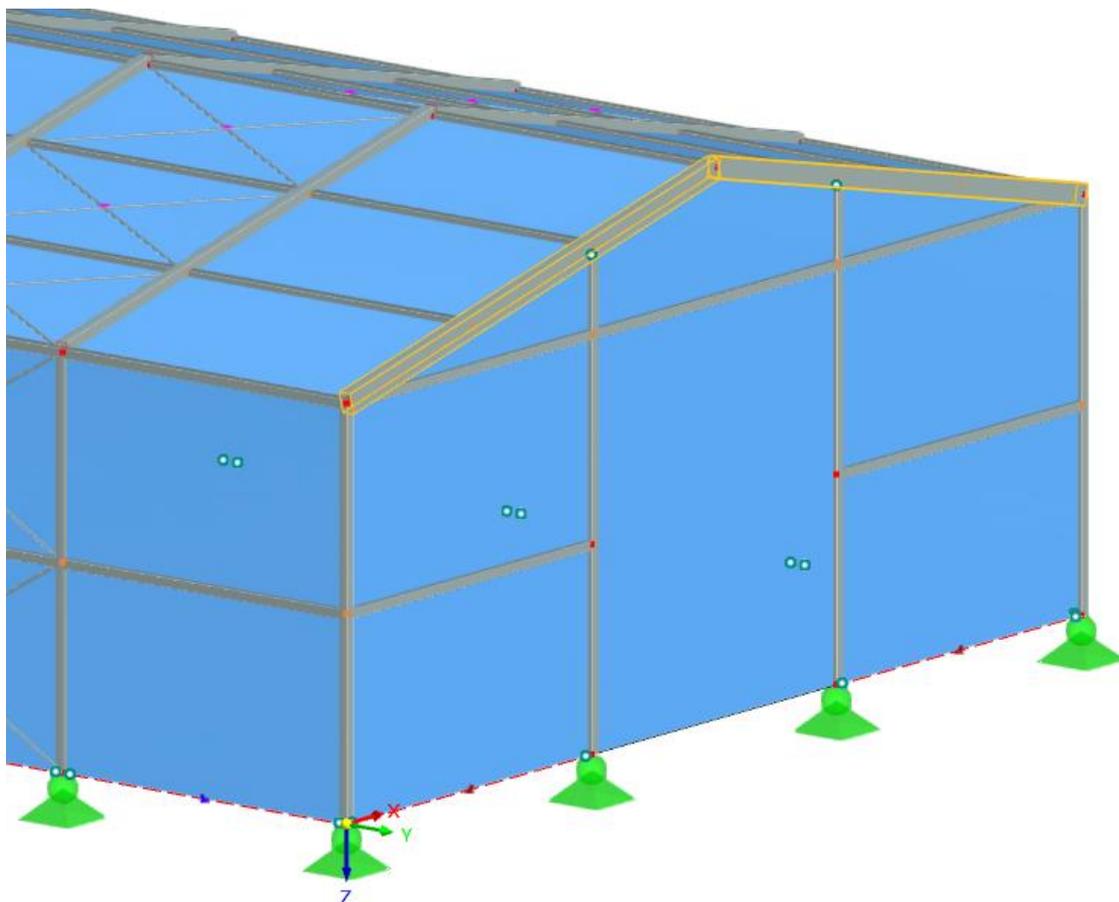


Abb. 29 „ohne Wirkung auf“ Rahmenprofile der beiden Giebelwände (hier gelb markiert)

Nach Erstellung und Korrektur der Lastübertragungsflächen, wird diesen eine Lastgröße zugewiesen, welche die Belastung der geplanten Sandwichpaneele darstellen wird. Für das Ermitteln der Last habe ich bestimmte Firmenwebseiten durchgeschaut, die Sandwichpaneele verkaufen. Das Gewicht der gängigen Paneeldicken beläuft folgendermaßen:

Abmessungen, Gewicht & Dämmverhalten							
Baubreite (mm)	1.000						
Dämmkerndicke d [mm] (D = d + 35)	40	60	80	100	120	140	160
Gewicht [kg/m <sup>2</sup> ] (für t <sub>nom1</sub> = 0,50 mm und t <sub>nom2</sub> = 0,40 mm)	9,9	10,6	11,4	12,2	12,9	13,7	14,4
U [W/m <sup>2</sup> K] gem. EN 14509:2013 mit Fugeneinfluss (λ <sub>D</sub> = 0,020 [W/mK])	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17	0,14	0,12
R <sub>w</sub> [dB]	26						
Standard/Max. Lieferlänge [m]	13,50/15,00						

Abb. 30 Abmessungen, Gewicht & Dämmverhalten der Sandwichpaneele<sup>9</sup>

Standardmäßig wird für eine Halle in den genannten Maßen (sowohl für die Dachplatten als auch für die Wandplatten) eine Dicke von 100cm nicht überschritten. Trotz dessen werde ich für die Berechnung ein Flächengewicht von  $15 \text{ kg/m}^2$  (also ca.  $0,15 \text{ kN/m}^2$ ) ansetzen. Somit steht bei Bedarf auch die Option frei, die 160 cm dicken Platten zu verwenden. Der Lastfall Eigengewicht wird für die weitere Berechnung der folgenden Summe entsprechen: Profilgewicht + Gewicht der Sandwichpaneel-Eindeckung

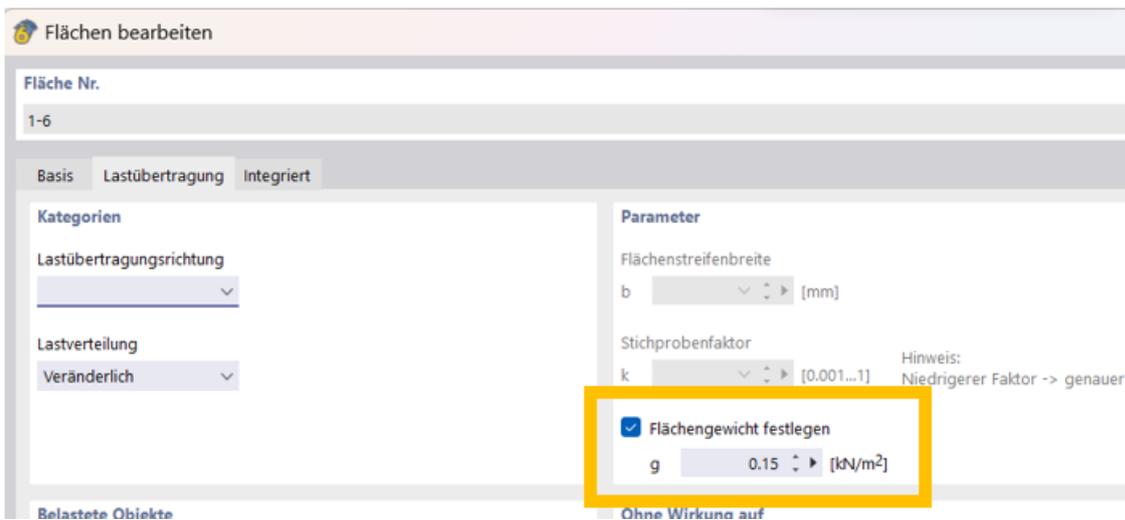
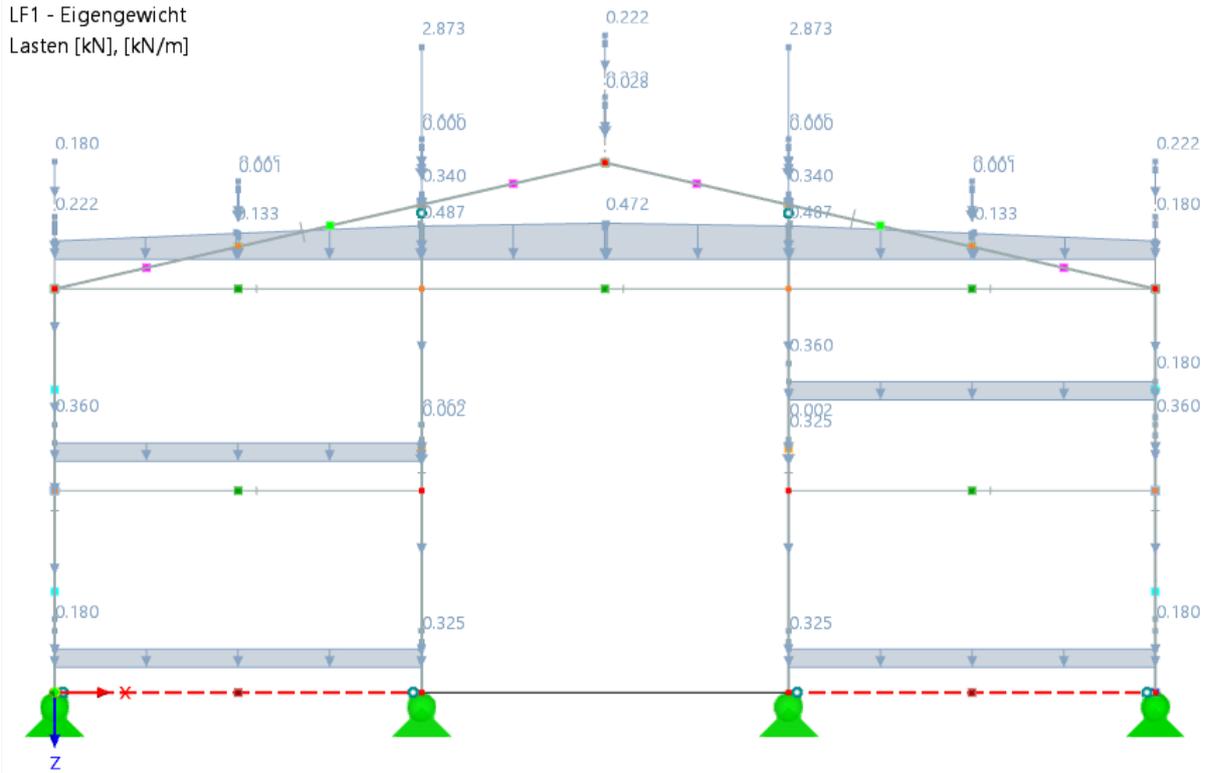
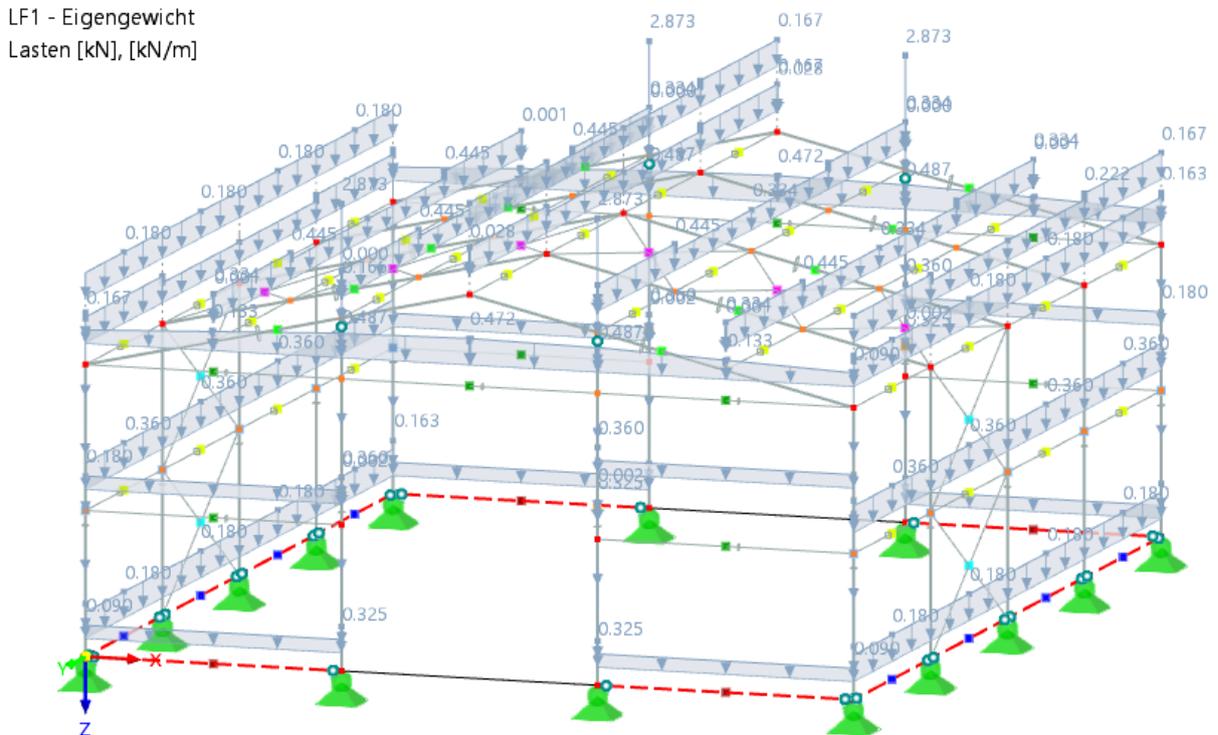


Abb. 31 Flächengewicht für alle Außenflächen festgelegt

<sup>9</sup> Kingspan GmbH (Hrsg.), Technische Informationen, URL: <https://www.kingspan.com/de/de/produkte/iso-lierte-dach-und-wandsysteme/sandwichpaneele-dach/dachpaneel-quadcore/?s=t> (Stand: 12.01.2024)



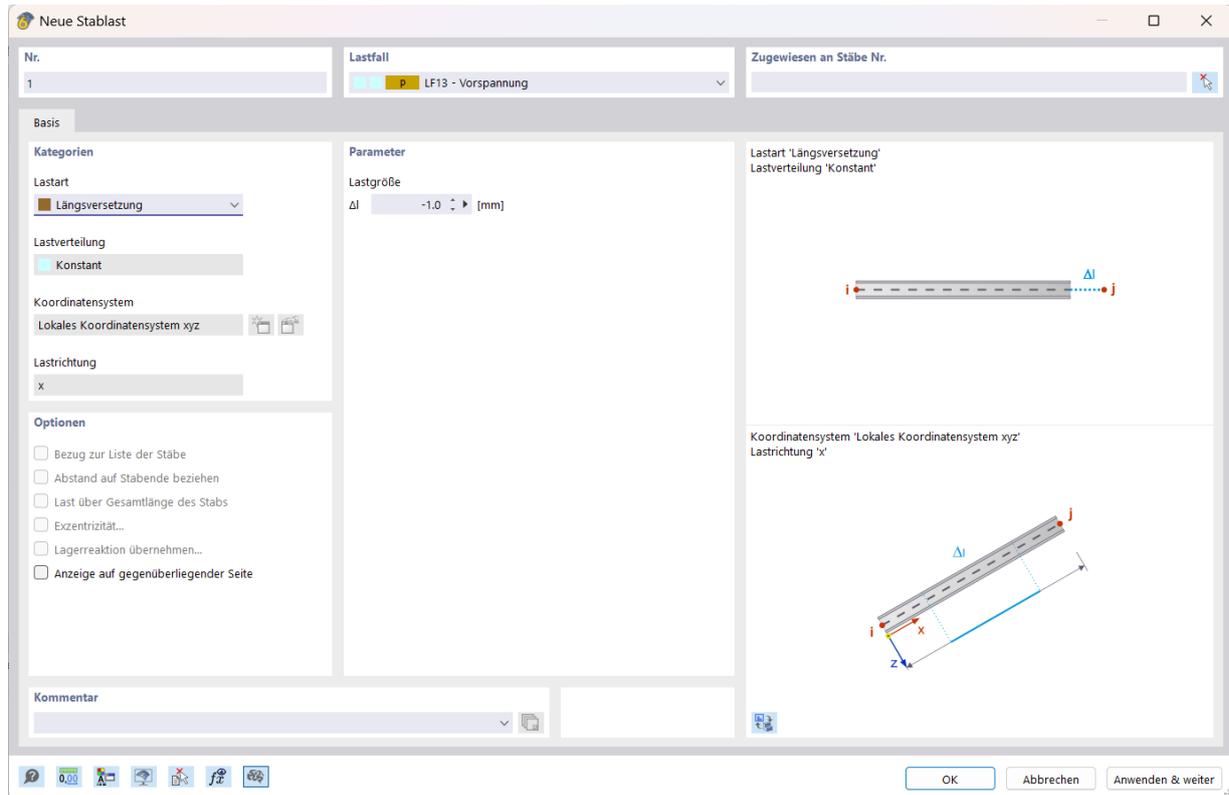
**Abb. 32** Eigengewicht – Frontansicht



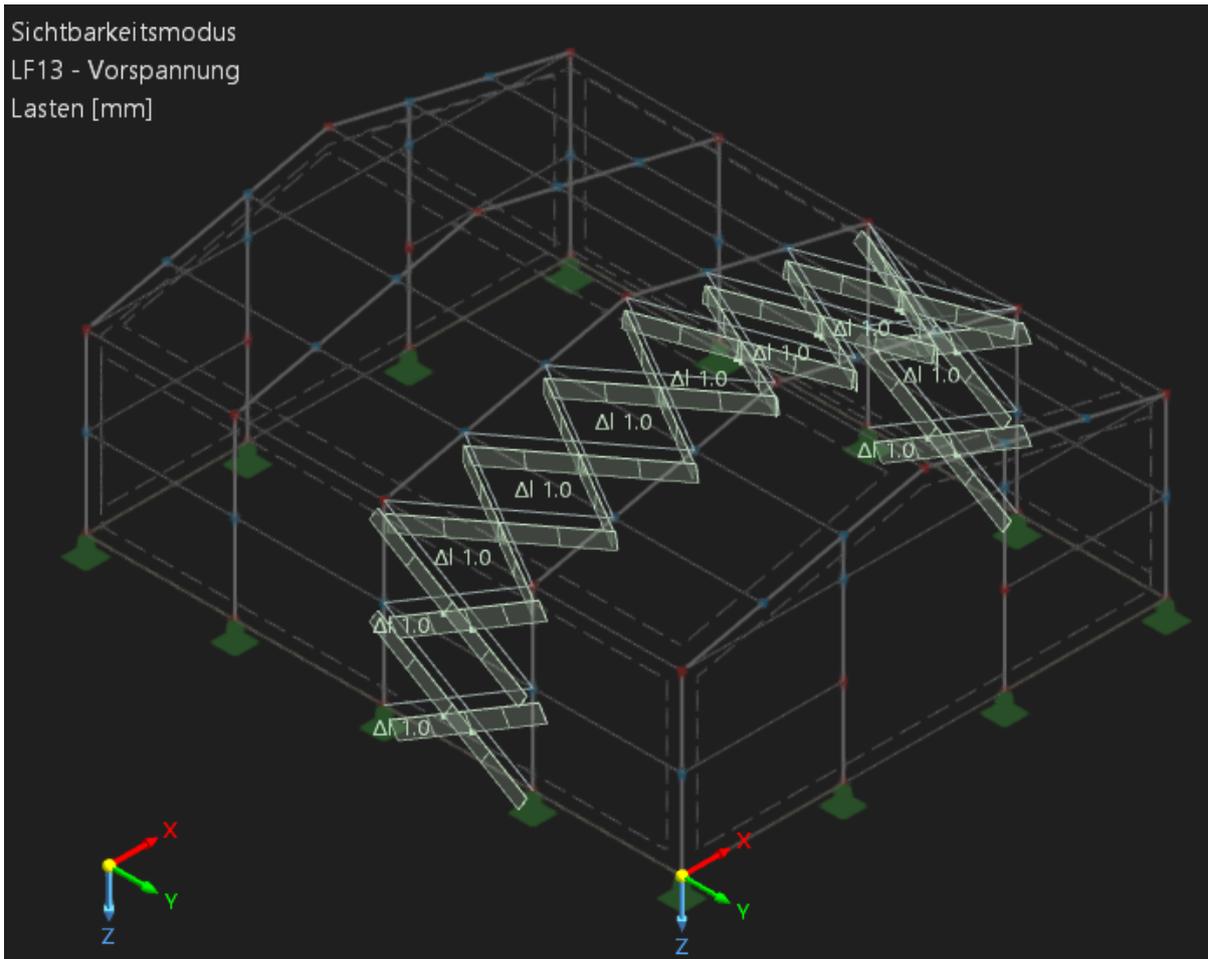
**Abb. 33** Eigengewicht – Perspektive

### 2.1.2 Vorspannung – Zugstäbe

Unter die Kategorie der ständig wirkenden Lasten fällt auch die Vorspannung der Zugstäbe. Diese kommt durch den Zug der Spannschlösser zustande und wird hier mit einer Größe von  $\Delta = -1,00\text{mm}$  angesetzt. Da hier eine Verkürzung vorliegt, ist der Wert der Versetzung mit negativem Vorzeichen einzugeben.



**Abb. 34** Lastart „Längsversetzung“ mit  $\Delta = -1,00\text{mm}$



**Abb. 35** Lastbild Zugstäbe

Der beabsichtigte Zweck dieser Lasteingabe ist es, das Ausfallen der Zugstäbe zu vermeiden:

*„Im Faltwerk und Rahmen ist es möglich, Zugstäbe zu definieren. Diese fallen bei einer "nicht linearen" Berechnung aus, sobald sie Druck erhalten.“*

*Die Berechnung wird getrennt für jede einzelne "nichtlineare Lastfallgruppe" durchgeführt.*

*Die Berechnung erfolgt dabei iterativ. Pro Iterationsschritt wird dabei ein einzelner Stab entfernt, falls er Druck erhält. Die Berechnung ist abgeschlossen, sobald keine Zugstäbe im System Druck erhalten. Ist ein Stab einmal ausgeschlossen worden, so wird er zu keinem späteren Zeitpunkt mehr berücksichtigt (in der jeweiligen "Nichtlinearen Lastfallgruppe")*

*Es gibt nun Systeme, bei denen folgendes Problem auftritt:*

*Ein Zugstab fällt in einer Iteration aufgrund einer geringen Druckkraft aus und wird anschließend nicht mehr berücksichtigt. Dadurch entsteht unter Umständen ein System, dass instabil wird, weil dieser Stab in der letzten Iteration Zug aufnehmen müsste. Das kann er aber dann nicht mehr (da er ausgeschlossen wurde) und dadurch wird das System instabil (also nicht berechenbar).*

Um dieses Problem zu umgehen, ist es ab dieser Version möglich, Zugstäbe mit einer Vorspannung zu belasten. Dazu kann eine Einwirkung vom Typ "Temperaturbelastung/Längenänderung" verwendet werden.<sup>10</sup>

## 2.2 Veränderliche Lasten

### 2.2.1 Schnee

Die Schneelasten habe ich dem Schneelastassistent der Software ermitteln lassen. Nach Eingabe der entsprechenden Koordinaten und Informationen des Satteldaches (siehe folgendes Bild), müssen die Schneelastparameter eingegeben werden.

The screenshot shows the software interface for defining roof parameters. The main window is titled 'Satteldach' and includes a table for 'Belastetes Dach festlegen' (Loadable Roof Definition). The table has the following data:

Typ	Knoten Nr.	Fläche AR [m <sup>2</sup> ]	Neigung α [°]	Stich h [m]
<input checked="" type="checkbox"/> Dach 1	2,6,47,50	106.736	13.00	1.501
<input checked="" type="checkbox"/> Dach 2	4,6,49,50	106.736	13.00	1.501

To the right of the table, there is a 3D diagram of a gable roof. The diagram shows nodes A, B, C, D, E, F and areas AR1, AR2. The slope angles α1 and α2 are also indicated.

Abb. 36 Eingabe Dachform & Knotenpunkte der Dachflächen

Den charakteristischen Wert der Schneelast auf den Boden habe ich selbst berechnet und anschließend manuell eingegeben (die automatische Ermittlung mittels Ortsdaten ist bei der Studentenversion der Dlubal Software nicht möglich):

$$\text{Formel}^{11} \text{ für Schneelastzone 2: } s_k = 0,25 + 1,95 \cdot \left( \frac{A + 140}{760} \right)^2 \geq 0,85 \frac{kN}{m^2}$$

<sup>10</sup> Andreas Wölfer: Vorspannung bei Zugstäben (08.01.2016), Fa. D.I.E. CAD und Statik Software GmbH, URL: <https://blogs.die.de/aw/post/vorspannung-bei-zugstaeben> (Stand: 19.01.2023)

<sup>11</sup> Vgl. Schneider - Bautabellen für Ingenieure, Albert (Hrsg), 24.Auflage, Schneelasten, Kap. 3.53

**Bad Tölz:** Geländehöhe über dem Meeresniveau von ca. 690m:

$$s_k = 0,25 + 1,95 \cdot \left( \frac{690 + 140}{760} \right)^2 = 2,58 \frac{kN}{m^2}$$

Aufgerundet wurde mit  $s_k \approx 2,60 \frac{kN}{m^2}$  weitergearbeitet.

Für Satteldächer mit einer Neigung unter  $30^\circ$  beträgt der Formbeiwert:  $\mu = 0,8$ .<sup>12</sup>

Parameter		EN 1991   DIN   2019-04		
Beschreibung	Symbol	Wert	Einheit	
<b>Definition</b>				
Definitionstyp		Karte und Parameter		
<b>Ort</b>				
Straße				
PLZ		83646		
Stadt		Bad Tölz		
Land		Germany		
Breitengrad		47.760 °		
Längengrad		11.557 °		
<b>Parameter</b>				
Lastzone		3		
Höhenlage	A	690.000000	m	
Anmerkung #1				
Anmerkung #2				
<b>Schneelast</b>				
Manuelle Definition der Schneelast		<input checked="" type="checkbox"/>		
Charakteristische Schneelast	sk	2.60	kN/m <sup>2</sup>	
<b>Koeffizienten</b>				
Umgebungskoeffizient	Ce	1.00	--	
Temperaturbeiwert	Ct	1.00	--	
<b>Lastverteilung</b>				
Lastverteilungstyp		Trapezförmig		
<b>Optionen</b>				
Für neue Objekte sperren		<input type="checkbox"/>		
Stabexzentrizität berücksichtigen		<input type="checkbox"/>		
Querschnittsverteilung berücksichtigen		<input type="checkbox"/>		

**Abb. 37** Eingabe der charakteristischen Schneelast

<sup>12</sup> a.a.O., Kap. 3.55

Man kann im Weiteren wählen, ob alle **drei Schneelastfälle** berücksichtigt werden sollen. Das wurde hier getan:

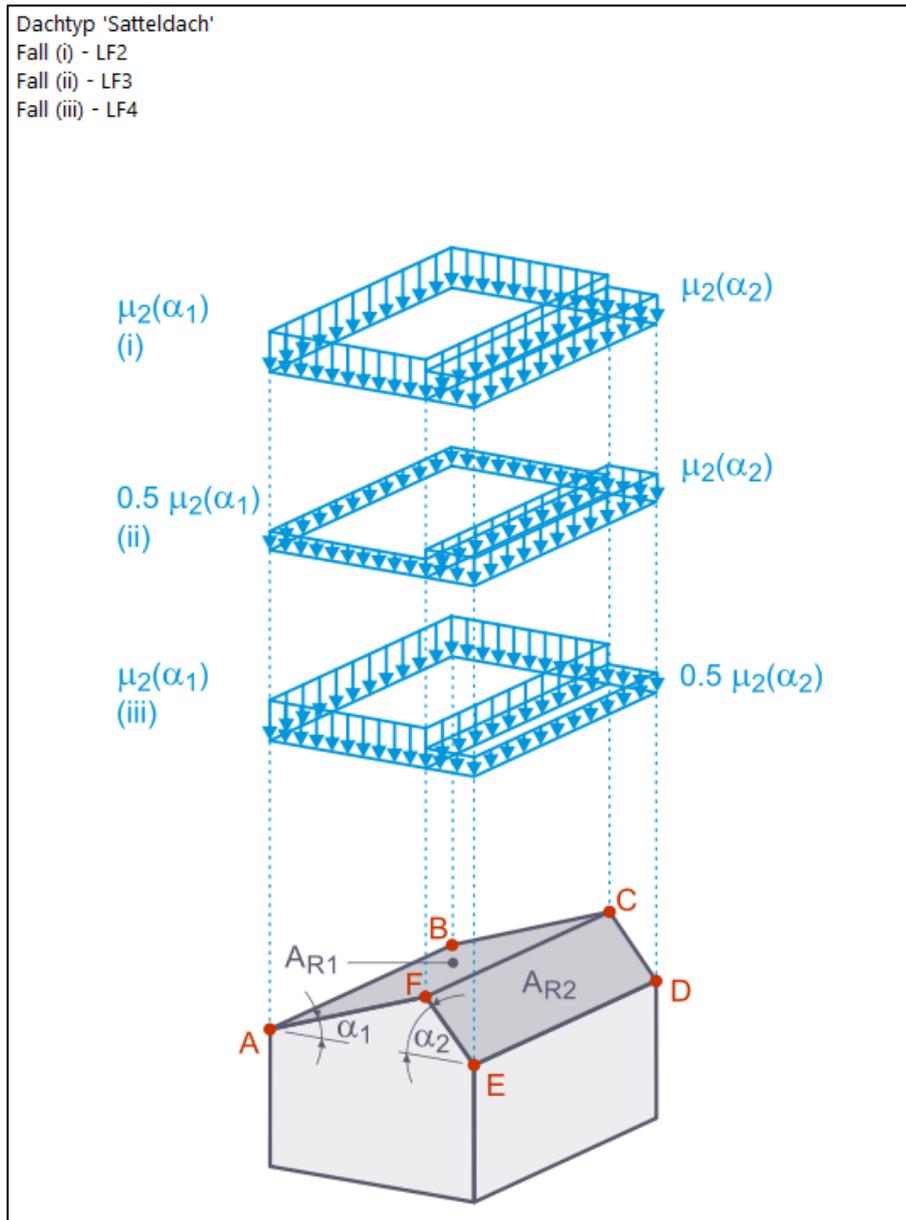


Abb. 38 zu bemessende Schneelastfälle

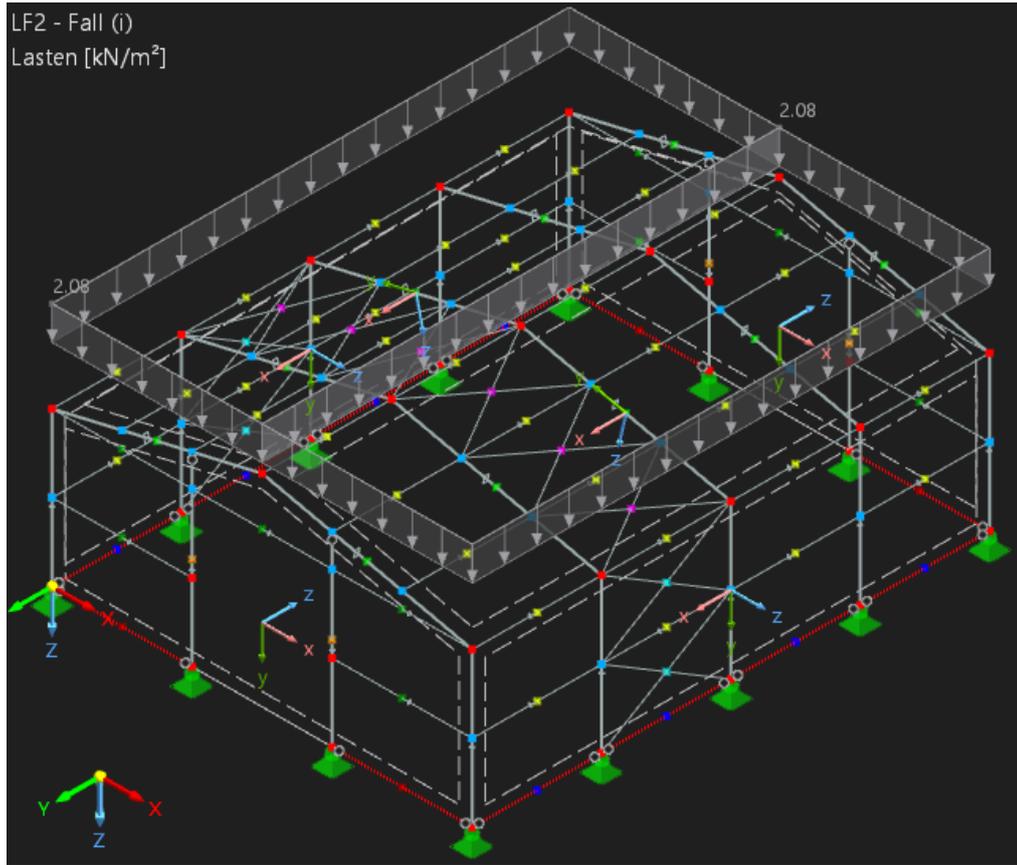


Abb. 39 Schneelastfall 1

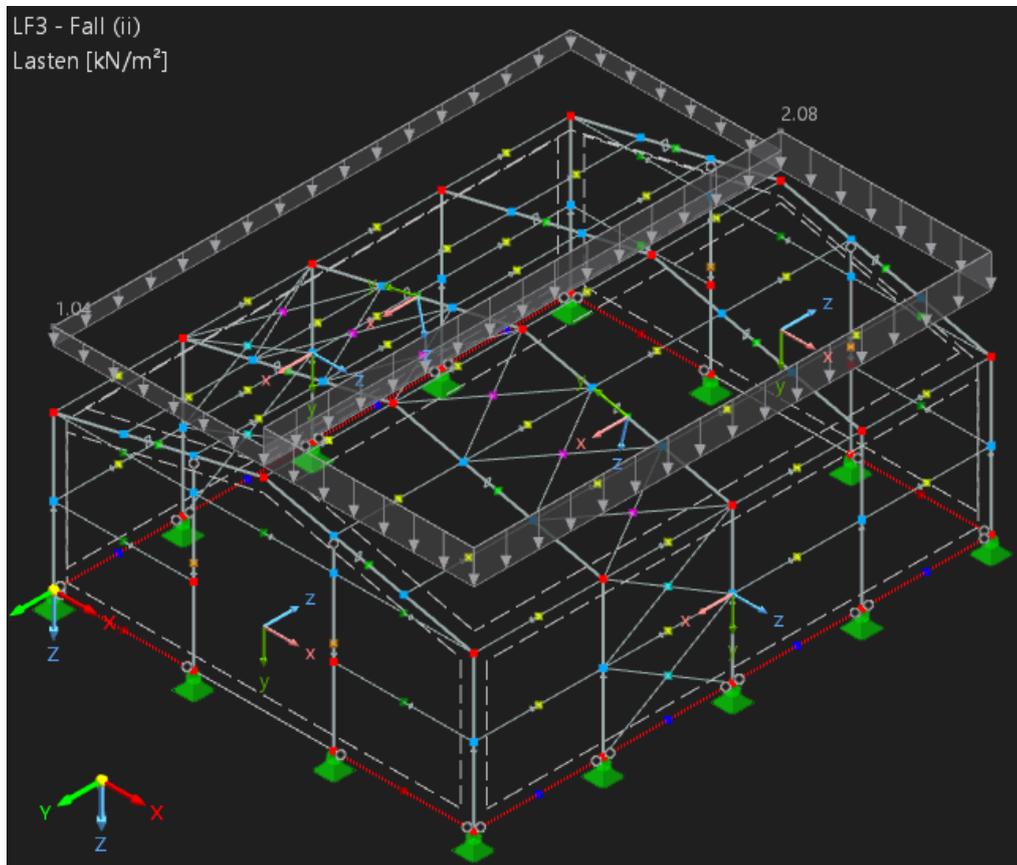


Abb. 40 Schneelastfall 2

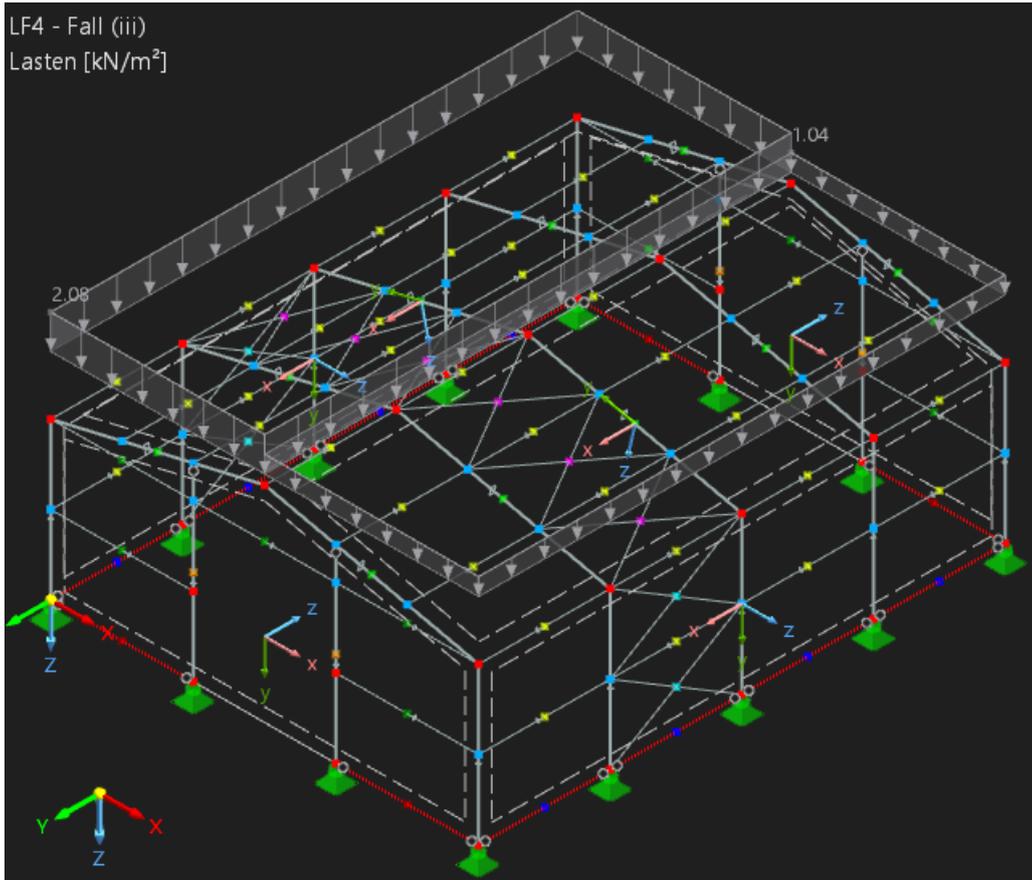
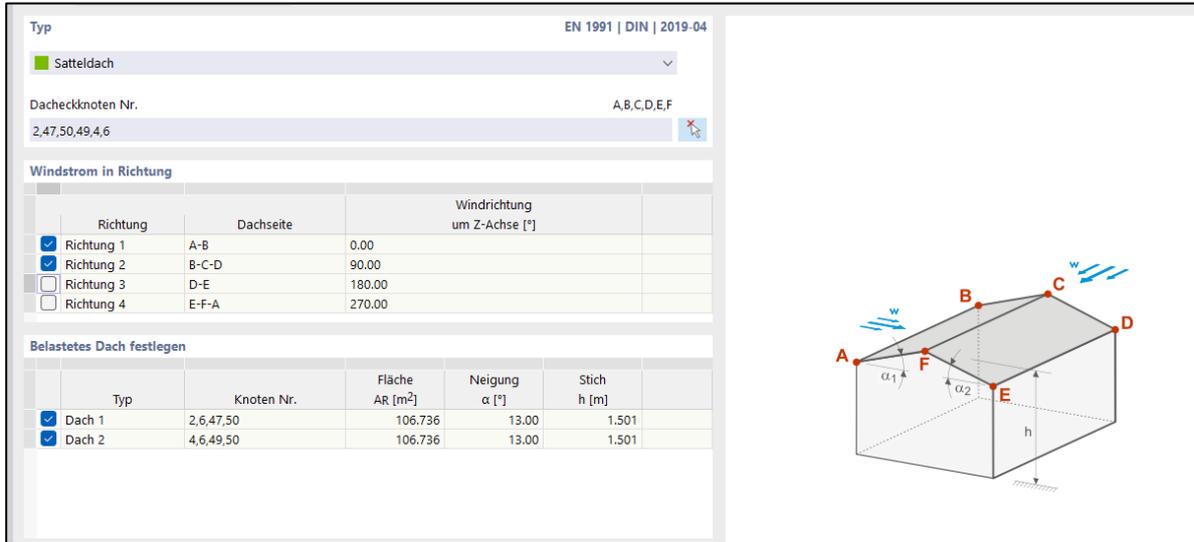


Abb. 41 Schneelastfall 3

**2.2.2 Wind**

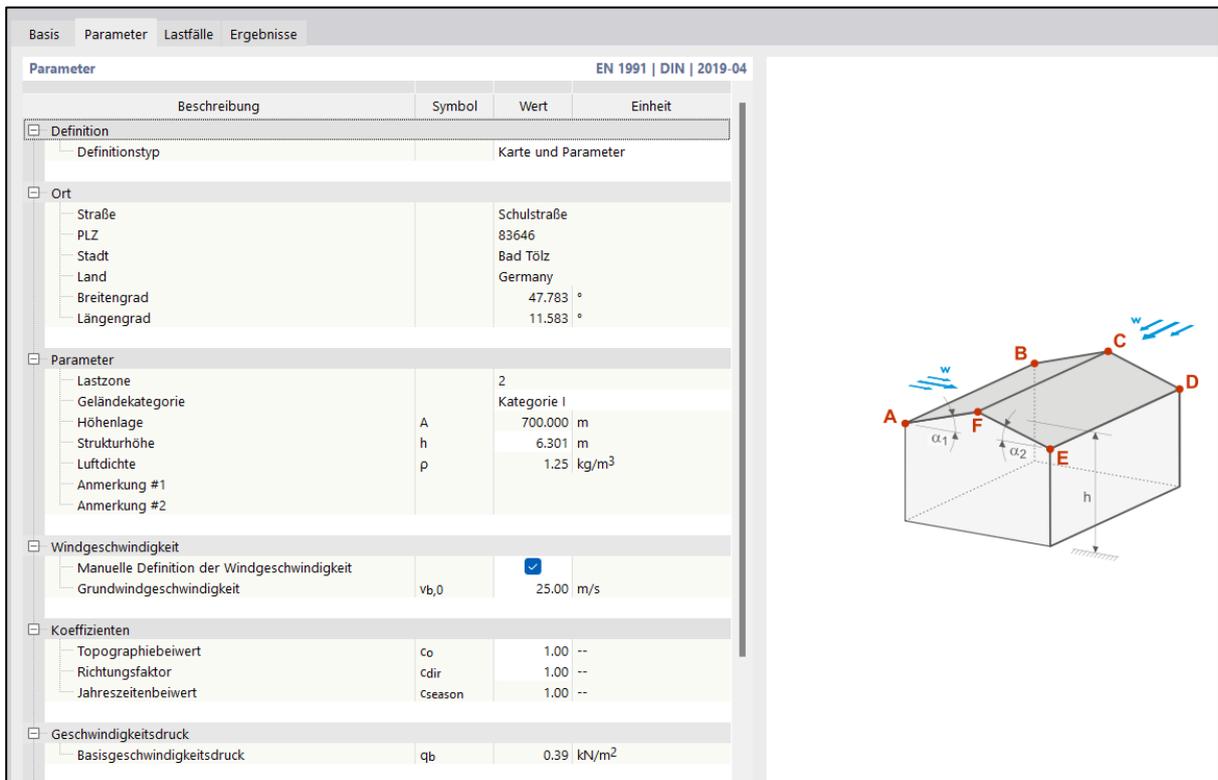
**Mit Windlastassistent:**

Auch für die Windlasten auf das Dach bietet das Programm einen Lastassistenten an:



**Abb. 42 Dach – Windlasten (Basis)**

Hierfür müssen wieder die entsprechenden Parameter eingegeben werden:



**Abb. 43 Parameter – Windlastassistent**

Die Parameter für die **Windzone** wurden den Schneider Bautabellen entnommen:

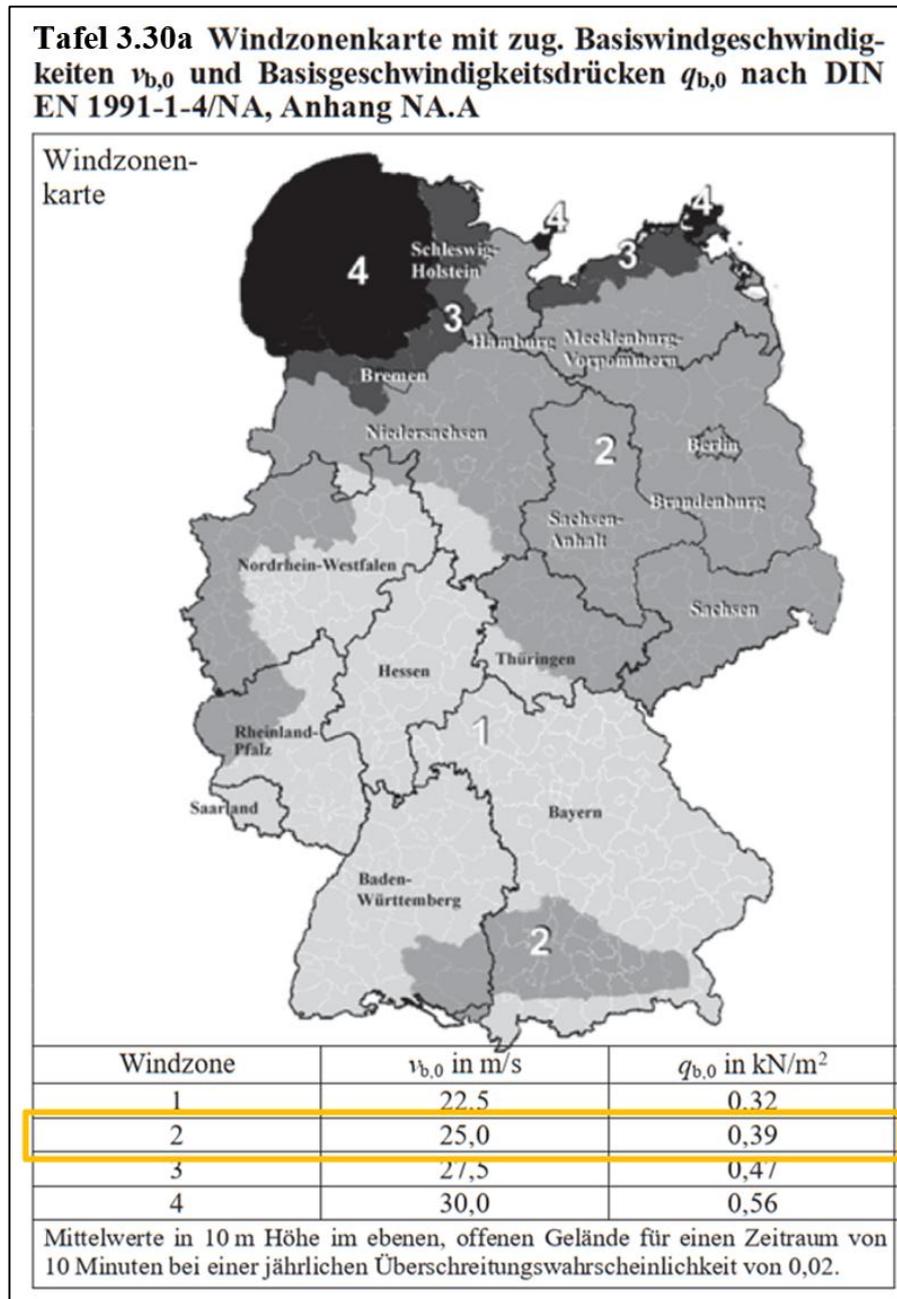
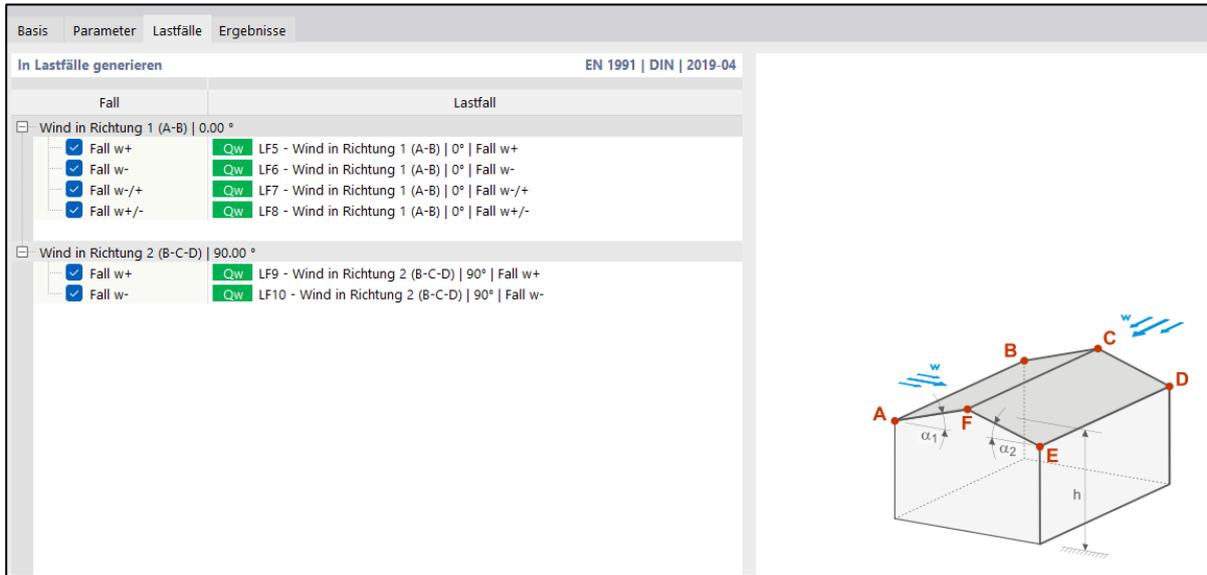


Abb. 44 Windzone 2 – Windgeschwindigkeit <sup>13</sup>

<sup>13</sup> Schneider - Bautabellen für Ingenieure, Albert (Hrsg), 24.Auflage, Schneelasten, Kap. 3.30

Aus den Eingaben resultieren für das Dach die folgenden Lastfälle:



**Abb. 45 Windlastfälle – Satteldach**

Da der Assistent nur zur Ermittlung der Windlasten auf das Dach dient, müssen noch zusätzlich Windlastfälle auf die Außenwände erstellt werden. Hierfür werden die anfangs erstellten Lastübertragungsflächen verwendet.

Nach Vollendung der Lasteingabe für die Horizontalwände, hat man insgesamt acht Windlastfälle:

Lastfall	Name	Zu berechnen	An	Sta Eir	EN 1990   DIN   2012-08 Einwirkungskategorie
LF1	Eigengewicht	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<b>G</b> Ständig
LF2	Fall (i)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<b>Qs</b> Schnee-/Eislasten - H <= 1000 m
LF3	Fall (ii)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<b>Qs</b> Schnee-/Eislasten - H <= 1000 m
LF4	Fall (iii)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<b>Qs</b> Schnee-/Eislasten - H <= 1000 m
LF5	Wind in Richtung 1 (A-B)   0°   Fall w+	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<b>Qw</b> Wind
LF6	Wind in Richtung 1 (A-B)   0°   Fall w-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<b>Qw</b> Wind
LF7	Wind in Richtung 1 (A-B)   0°   Fall w-/+	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<b>Qw</b> Wind
LF8	Wind in Richtung 1 (A-B)   0°   Fall w+/-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<b>Qw</b> Wind
LF9	Wind in Richtung 2 (B-C-D)   90°   Fall w+	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<b>Qw</b> Wind
LF10	Wind in Richtung 2 (B-C-D)   90°   Fall w-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<b>Qw</b> Wind
LF11	Wind in X-Richtung	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<b>Qw</b> Wind
LF12	Wind in Y-Richtung	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<b>Qw</b> Wind
LF13	Vorspannung	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<b>P</b> Vorspannung

**Abb. 46 Auflistung aller Windlastfälle**

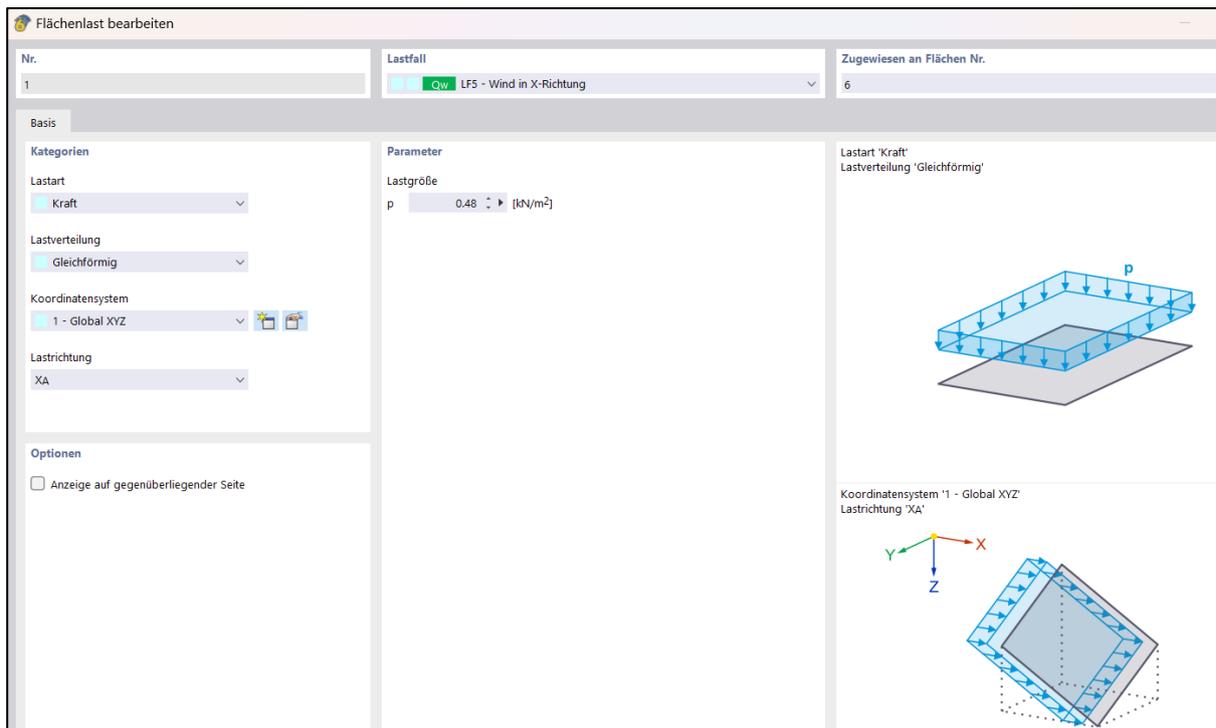
Das Programm betrachtet die neuen Horizontallasten für Wind separat von den anfänglich eingetragenen Windlasten auf das Satteldach. In Wirklichkeit wirken diese jedoch gemeinsam und gleichzeitig. Damit dieses Zusammenwirken in der Berechnung berücksichtigt wird, werden die Windlasten auf die Dachflächen alle einzeln den horizontalen Windlasten „hinzugefügt“. Somit akzeptiert das Programm, dass z.B. der Lastfall „Wind in Richtung 1“ gleichzeitig wirkt mit dem Lastfall „Wind in X-Richtung“.

Der Übersichtlichkeit halber werde ich den Windlastassistenten nicht nutzen. Der Wind auf das Satteldach wird, wie bei den horizontalen Windlasten, mittels Lastübertragungsflächen ermittelt.

### Ohne Windlastassistent:

Es wird der Winddruck  $p$  [ $kN/m^2$ ] für jede Fläche (inkl. Dachflächen) rechnerisch ermittelt. Alle Rechnungen für den Windlastfall sind im Anhang zu finden.

Jeder Lastübertragungsfläche wird (unter Beachtung der Lastrichtung) eine Windlast zugewiesen. Beispielhaft sieht man in den folgenden beiden Abbildungen die Lasteingabe für eine Fläche (hier: Fläche 6, windseitige Längsfassade):



**Abb. 47** Lasteingabe: Wind in X-Richtung, Fläche 6

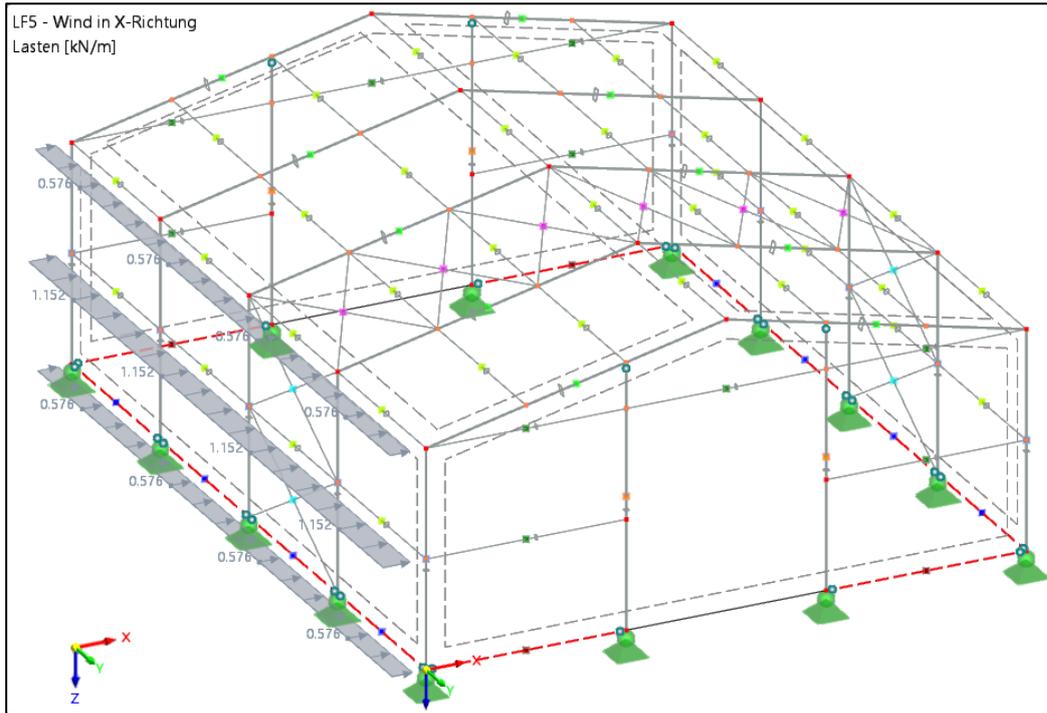


Abb. 48 Wind in X-Richtung: Lastbild für Fläche 6

Die Lasteingaben für Wind in X- und Y-Richtung, sowie die daraus zustande kommenden Lastbilder sind im Folgenden aufgeführt:

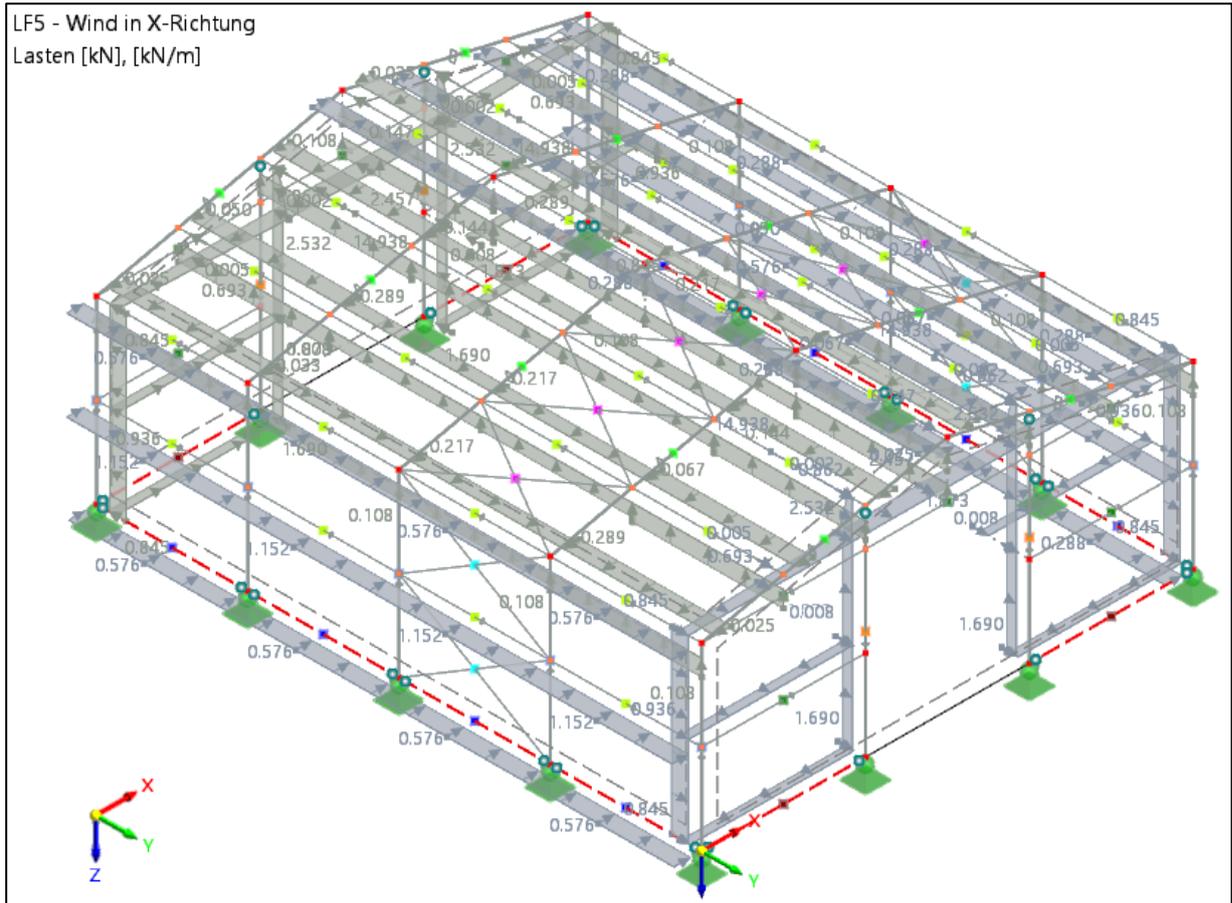
Nr.	Zugewiesen an Flächen Nr.	Lastart	Lastverteilung	Koordinatensystem	Last-richtung	p [kN/m <sup>2</sup> ]
1	6	Kraft	Gleichförmig	1 - Global XYZ	XA	0.48
2	1	Kraft	Gleichförmig	1 - Global XYZ	XA	0.24
3	2	Kraft	Gleichförmig	1 - Global XYZ	YA	0.78
4	5	Kraft	Gleichförmig	1 - Global XYZ	YA	-0.78
5	3,4	Kraft	Gleichförmig	Lokales Koordinatensystem...	z	-0.10

Abb. 49 Lasteingabe: Flächenlasten für Wind in X-Richtung

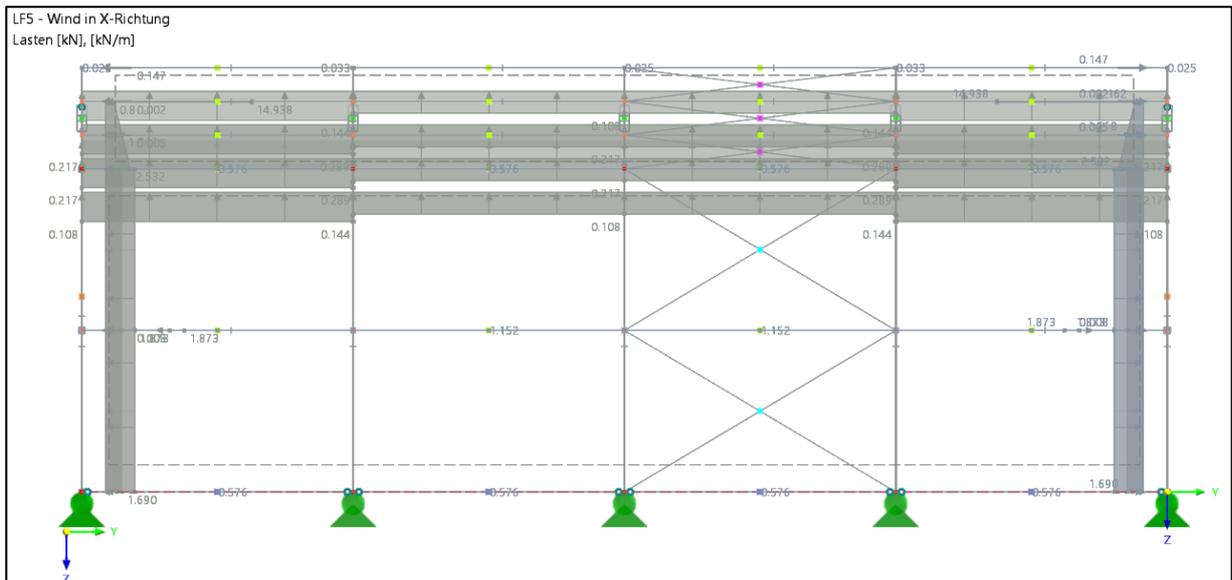
Nr.	Zugewiesen an Flächen Nr.	Lastart	Lastverteilung	Koordinatensystem	Last-richtung	p [kN/m <sup>2</sup> ]
1	6	Kraft	Gleichförmig	1 - Global XYZ	XA	-0.78
2	1	Kraft	Gleichförmig	1 - Global XYZ	XA	0.78
3	2	Kraft	Gleichförmig	1 - Global XYZ	YA	0.49
4	5	Kraft	Gleichförmig	1 - Global XYZ	YA	0.22
5	3,4	Kraft	Gleichförmig	Lokales Koordinatensystem...	z	-0.89

Abb. 50 Lasteingabe: Flächenlasten für Wind in Y-Richtung

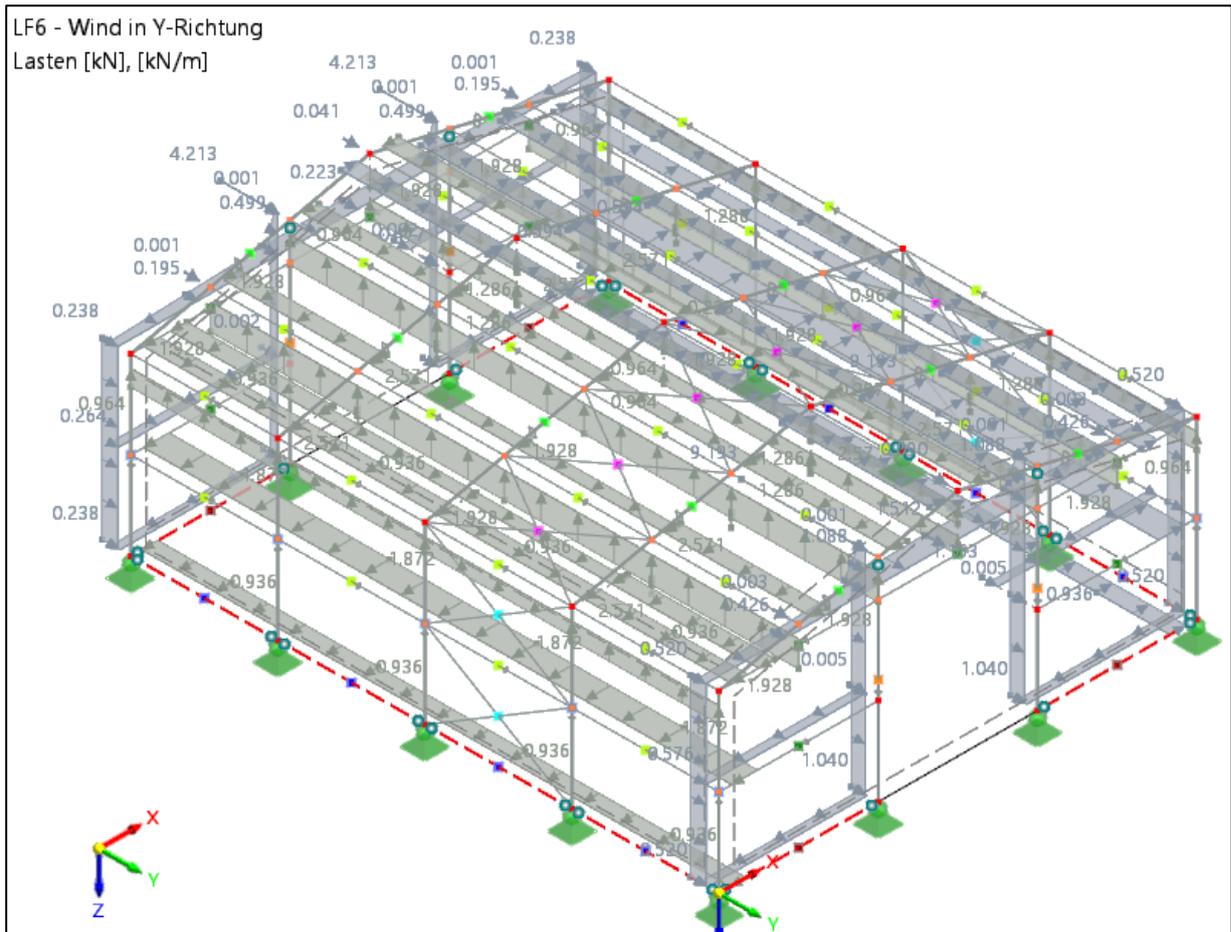




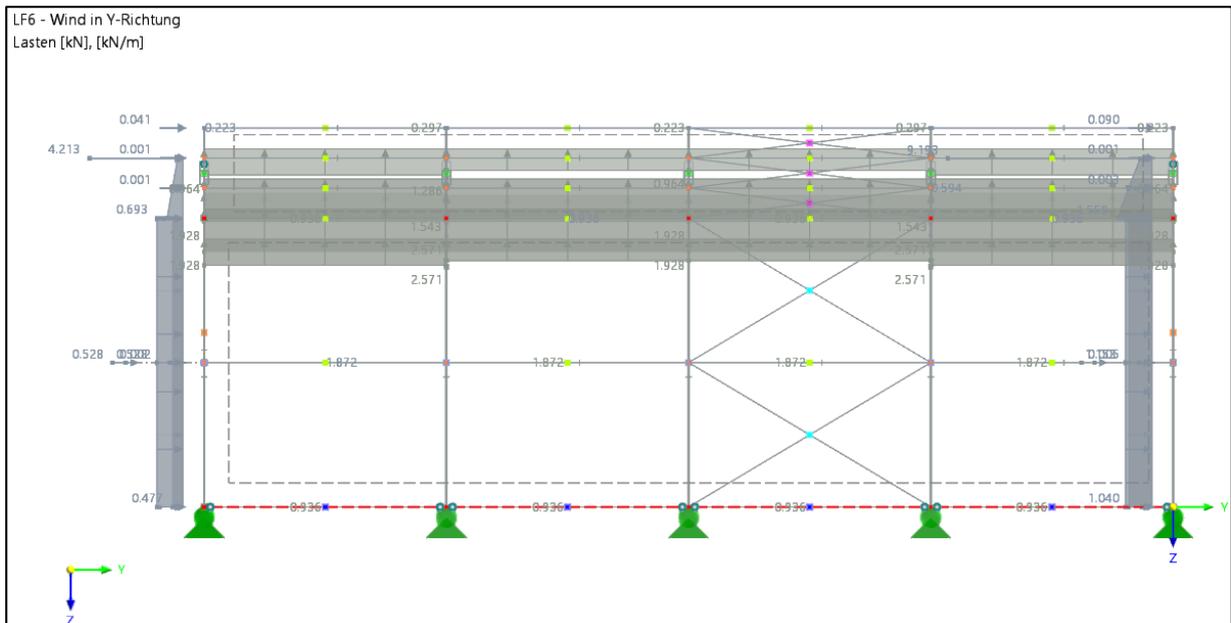
**Abb. 52 Lastbild (Perspektive): Wind in X-Richtung**



**Abb. 53 Lastbild (Seitenansicht): Wind in X-Richtung**



**Abb. 54 Lastbild (Perspektive): Wind in Y-Richtung**



**Abb. 55 Lastbild (Seitenansicht): Wind in Y-Richtung**

### 2.3 Lastkombinationen

Für die Bemessung des Tragwerkes generiert das Programm sämtliche Lastkombinationen aus den erstellten Lastfällen. Zusammengestellt liegen dem Programm nun sieben Lastfälle vor (siehe Abbildung): ein Lastfall für das Eigengewicht, drei Lastfälle für die Schneelasten, zwei Lastfälle für die Windlasten und ein Lastfall für die Vorspannung der Zugstäbe.

Lastfall	Name	EN 1990   DIN   2012-08 Einwirkungskategorie
LF1	Eigengewicht	<b>G</b> Ständig
LF2	Fall (i)	<b>Qs</b> Schnee-/Eislasten - H <= 1000 m
LF3	Fall (ii)	<b>Qs</b> Schnee-/Eislasten - H <= 1000 m
LF4	Fall (iii)	<b>Qs</b> Schnee-/Eislasten - H <= 1000 m
LF5	Wind in X-Richtung	<b>Qw</b> Wind
LF6	Wind in Y-Richtung	<b>Qw</b> Wind
LF7	Vorspannung	<b>P</b> Vorspannung

Abb. 56 Zusammenstellung aller Lastfälle

#### 2.3.1 Bemessungssituation 1 - GZT

Für den Grenzzustand der Tragfähigkeit wurden die genannten Lastfälle folgendermaßen kombiniert:

		GZT	LK1	$1.35 * LF1 + LF7$
		GZT	LK2	$1.35 * LF1 + 1.50 * LF2 + LF7$
		GZT	LK3	$1.35 * LF1 + 1.50 * LF3 + LF7$
		GZT	LK4	$1.35 * LF1 + 1.50 * LF4 + LF7$
		GZT	LK5	$1.35 * LF1 + 1.50 * LF2 + 0.90 * LF5 + LF7$
		GZT	LK6	$1.35 * LF1 + 1.50 * LF2 + 0.90 * LF6 + LF7$
		GZT	LK7	$1.35 * LF1 + 1.50 * LF3 + 0.90 * LF5 + LF7$
		GZT	LK8	$1.35 * LF1 + 1.50 * LF3 + 0.90 * LF6 + LF7$
		GZT	LK9	$1.35 * LF1 + 1.50 * LF4 + 0.90 * LF5 + LF7$
		GZT	LK10	$1.35 * LF1 + 1.50 * LF4 + 0.90 * LF6 + LF7$
		GZT	LK11	$1.35 * LF1 + 1.50 * LF5 + LF7$
		GZT	LK12	$1.35 * LF1 + 1.50 * LF6 + LF7$
		GZT	LK13	$1.35 * LF1 + 0.75 * LF2 + 1.50 * LF5 + LF7$
		GZT	LK14	$1.35 * LF1 + 0.75 * LF2 + 1.50 * LF6 + LF7$
		GZT	LK15	$1.35 * LF1 + 0.75 * LF3 + 1.50 * LF5 + LF7$
		GZT	LK16	$1.35 * LF1 + 0.75 * LF3 + 1.50 * LF6 + LF7$
		GZT	LK17	$1.35 * LF1 + 0.75 * LF4 + 1.50 * LF5 + LF7$
		GZT	LK18	$1.35 * LF1 + 0.75 * LF4 + 1.50 * LF6 + LF7$

Abb. 57 Lastkombinationen – BS1

### 2.3.2 Bemessungssituation 2 - GZG

Für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit wurden die Lastfälle folgendermaßen kombiniert:

■ ■	G Ch	LK19	LF1 + LF7
■ ■	G Ch	LK20	LF1 + LF2 + LF7
■ ■	G Ch	LK21	LF1 + LF3 + LF7
■ ■	G Ch	LK22	LF1 + LF4 + LF7
■ ■	G Ch	LK23	LF1 + LF2 + 0.60 * LF5 + LF7
■ ■	G Ch	LK24	LF1 + LF2 + 0.60 * LF6 + LF7
■ ■	G Ch	LK25	LF1 + LF3 + 0.60 * LF5 + LF7
■ ■	G Ch	LK26	LF1 + LF3 + 0.60 * LF6 + LF7
■ ■	G Ch	LK27	LF1 + LF4 + 0.60 * LF5 + LF7
■ ■	G Ch	LK28	LF1 + LF4 + 0.60 * LF6 + LF7
■ ■	G Ch	LK29	LF1 + LF5 + LF7
■ ■	G Ch	LK30	LF1 + LF6 + LF7
■ ■	G Ch	LK31	LF1 + 0.50 * LF2 + LF5 + LF7
■ ■	G Ch	LK32	LF1 + 0.50 * LF2 + LF6 + LF7
■ ■	G Ch	LK33	LF1 + 0.50 * LF3 + LF5 + LF7
■ ■	G Ch	LK34	LF1 + 0.50 * LF3 + LF6 + LF7
■ ■	G Ch	LK35	LF1 + 0.50 * LF4 + LF5 + LF7
■ ■	G Ch	LK36	LF1 + 0.50 * LF4 + LF6 + LF7

Abb. 58 Lastkombinationen – BS2

## 3 BEMESSUNG

### 3.1 Berechnung des Tragwerks

#### 3.1.1 Erster Berechnungsansatz

Bei direkter Berechnung der Lastkombinationen entstehen, wie erwartet, Fehlermeldungen (siehe folgende beiden Abbildung). Grund dafür können zum einen die fehlenden Knicklängen, Imperfektionen oder evtl. Bemessungsauflager sein, die das Programm für korrekte Bemessung erfordert. Zum anderen wurde, wie in 1.2. erläutert, das Modell auf Basis eines Stahlhallenmodells erstellt, und wird deshalb eine Überarbeitung erfordern. Wo genau der Überarbeitungsbedarf besteht, kann am besten mit einer einfachen Stabilitätsanalyse herausgestellt werden.

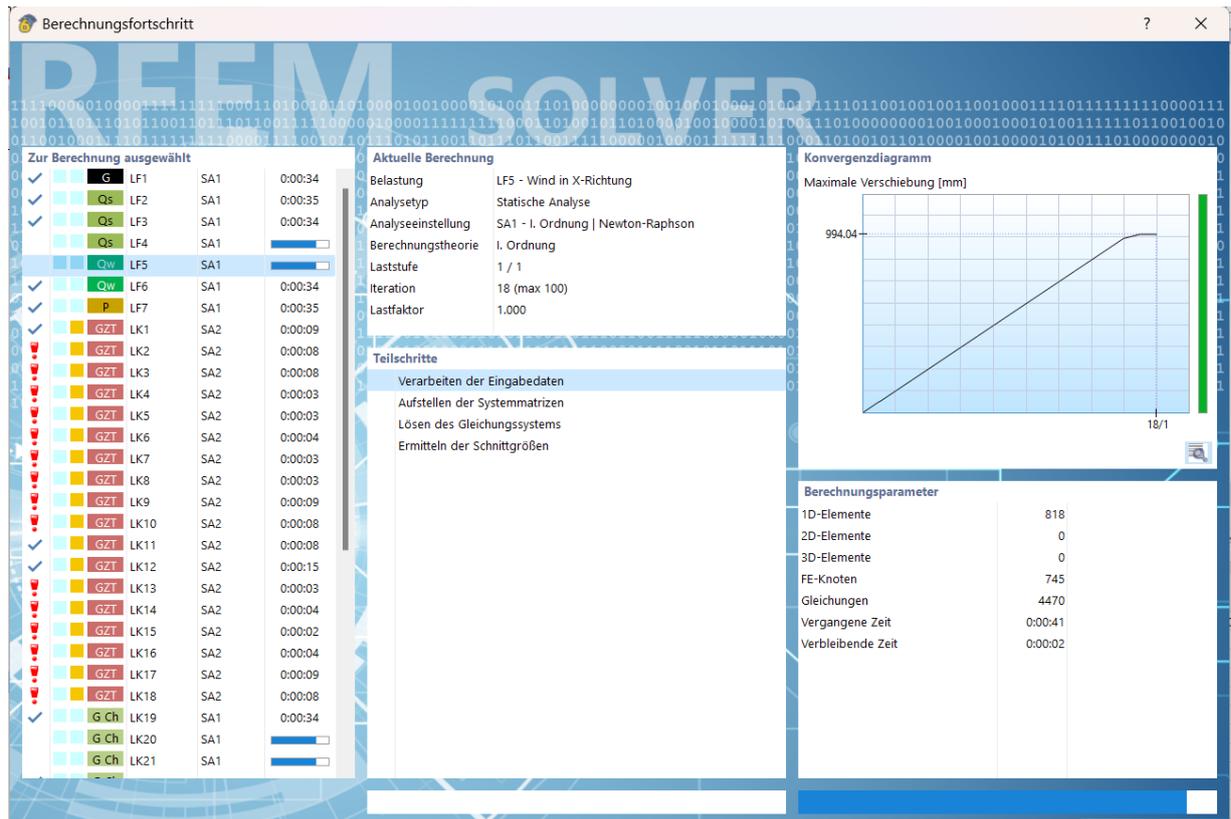


Abb. 59 Warnungen bei Berechnung der Lastkombinationen (siehe rote Ausrufezeichen links)

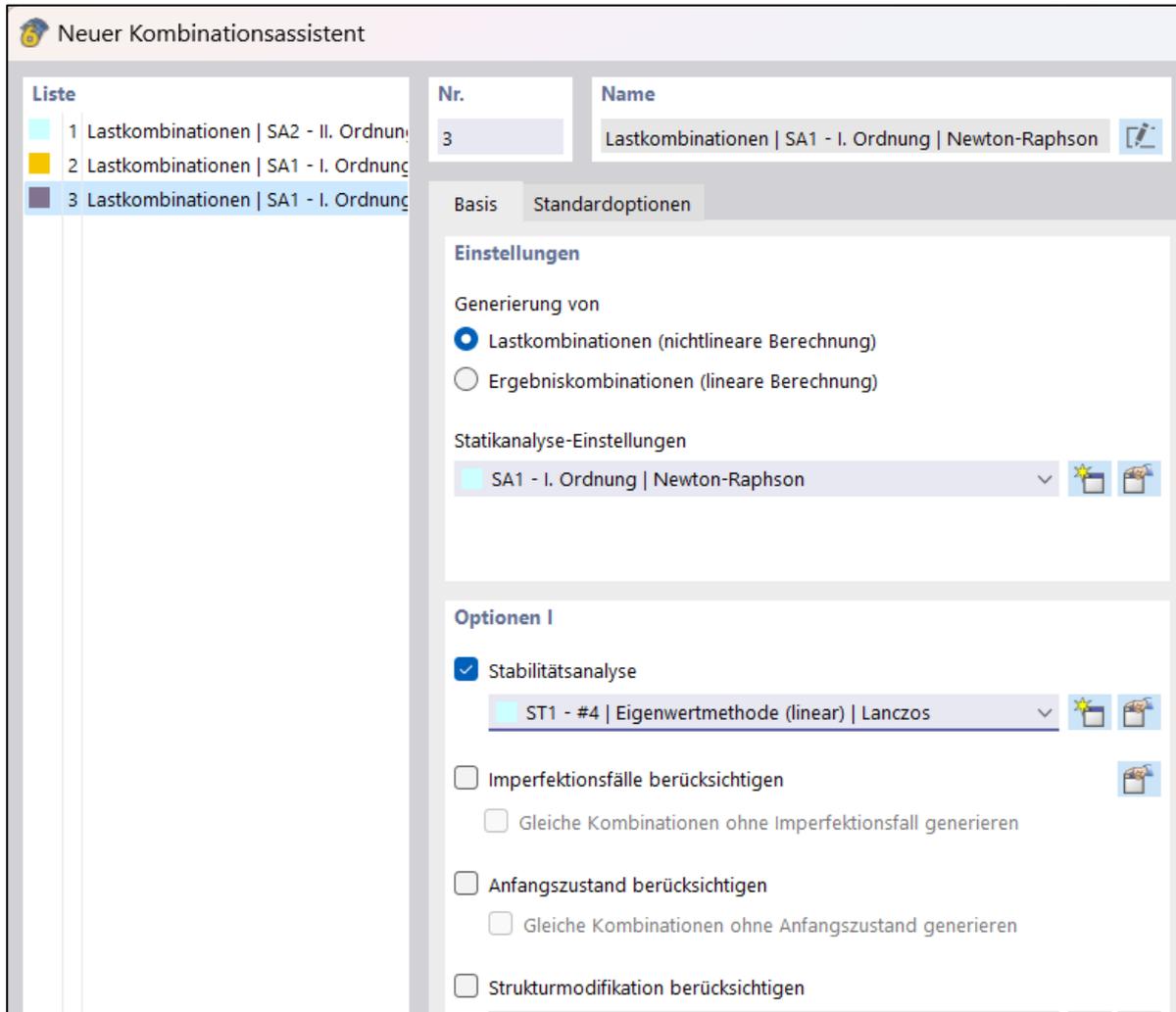
Fehler & Warnungen					
Nr.	Analysetyp	Objekt	Fehler / Warnung	Fehler / Warnung Beschreibung	
4	Statische Analyse	Lastkombination Nr. 4, Knoten Nr. 8	10134	Die Steifigkeitsmatrix ist singular	Die Struktur ist instabil   FE-Netzknoten Nr. 8, in Richtung X, Inkrement 1
5	Statische Analyse	Lastkombination Nr. 5, Knoten Nr. 8	10134	Die Steifigkeitsmatrix ist singular	Die Struktur ist instabil   FE-Netzknoten Nr. 8, in Richtung X, Inkrement 1
6	Statische Analyse	Lastkombination Nr. 6, Knoten Nr. 8	10134	Die Steifigkeitsmatrix ist singular	Die Struktur ist instabil   FE-Netzknoten Nr. 8, in Richtung X, Inkrement 1
7	Statische Analyse	Lastkombination Nr. 7, Knoten Nr. 30	10134	Die Steifigkeitsmatrix ist singular	Die Struktur ist instabil   FE-Netzknoten Nr. 30, in Richtung X, Inkrement 1
8	Statische Analyse	Lastkombination Nr. 8, Knoten Nr. 19	10134	Die Steifigkeitsmatrix ist singular	Die Struktur ist instabil   FE-Netzknoten Nr. 19, in Richtung X, Inkrement 1
9	Statische Analyse	Lastkombination Nr. 9, Knoten Nr. 30	10134	Die Steifigkeitsmatrix ist singular	Die Struktur ist instabil   FE-Netzknoten Nr. 30, in Richtung X, Inkrement 1
10	Statische Analyse	Lastkombination Nr. 10, Knoten Nr. 19	10134	Die Steifigkeitsmatrix ist singular	Die Struktur ist instabil   FE-Netzknoten Nr. 19, in Richtung X, Inkrement 1
11	Statische Analyse	Lastkombination Nr. 13, Knoten Nr. 30	10134	Die Steifigkeitsmatrix ist singular	Die Struktur ist instabil   FE-Netzknoten Nr. 30, in Richtung X, Inkrement 1
12	Statische Analyse	Lastkombination Nr. 14, Knoten Nr. 39	10134	Die Steifigkeitsmatrix ist singular	Die Struktur ist instabil   FE-Netzknoten Nr. 39, in Richtung X, Inkrement 1
13	Statische Analyse	Lastkombination Nr. 15, Knoten Nr. 19	10134	Die Steifigkeitsmatrix ist singular	Die Struktur ist instabil   FE-Netzknoten Nr. 19, in Richtung X, Inkrement 1
14	Statische Analyse	Lastkombination Nr. 16, Knoten Nr. 39	10134	Die Steifigkeitsmatrix ist singular	Die Struktur ist instabil   FE-Netzknoten Nr. 39, in Richtung X, Inkrement 1
15	Statische Analyse	Lastkombination Nr. 17, Knoten Nr. 19	10134	Die Steifigkeitsmatrix ist singular	Die Struktur ist instabil   FE-Netzknoten Nr. 19, in Richtung X, Inkrement 1
16	Statische Analyse	Lastkombination Nr. 18, Knoten Nr. 30	10134	Die Steifigkeitsmatrix ist singular	Die Struktur ist instabil   FE-Netzknoten Nr. 30, in Richtung X, Inkrement 1

Abb. 60 Fehler & Warnungen bei direkter Berechnung

Nahezu alle Fehlermeldungen besitzen die Fehlernummer 10134 mit der Beschreibung: „Die Steifigkeitsmatrix ist singular; Die Struktur ist instabil; FE-Netzknoten Nr. ... in Richtung X, Inkrement 1“.

Um sicher zu gehen, dass die Fehler nicht aufgrund eines Modellierungsfehlers zustande kommen, habe ich dem Programm eine Modellkontrolle ausführen lassen. Hierbei prüft das Programm auf identische Knoten und überlappende Stäbe. Die Modellkontrolle meldete jedoch keine zu verbessernde Stelle im Modell.

Die Grundeinstellung für die Statikanalyse aller Lastkombinationen ist die Bemessung nach 2. Ordnung. Ich erstelle an dieser Stelle einen neuen Kombinationsassistenten, mit der Statik-Analyse nach 1. Ordnung (Newton-Raphson), aber einer zusätzlichen Stabilitätsanalyse nach Eigenwertmethode (für jeden vier Eigenwerte).



**Abb. 61 Neuer Kombinationsassistent mit Stabilitätsanalyse**

(Im GZT wird eine Bemessung nach 1.Ordnung definitiv nicht reichen. Jedoch geht es hier nur darum, zu erkennen, wo genau und in welchem Ausmaß das System scheitert.)

Neue Berechnung:

Wie in folgender Abbildung ersichtlich wird, rechnet das Programm für jede Lastkombination(=LK) erst die Statik-Analyse (=SA) und anschließend die Stabilitätsanalyse (=ST).

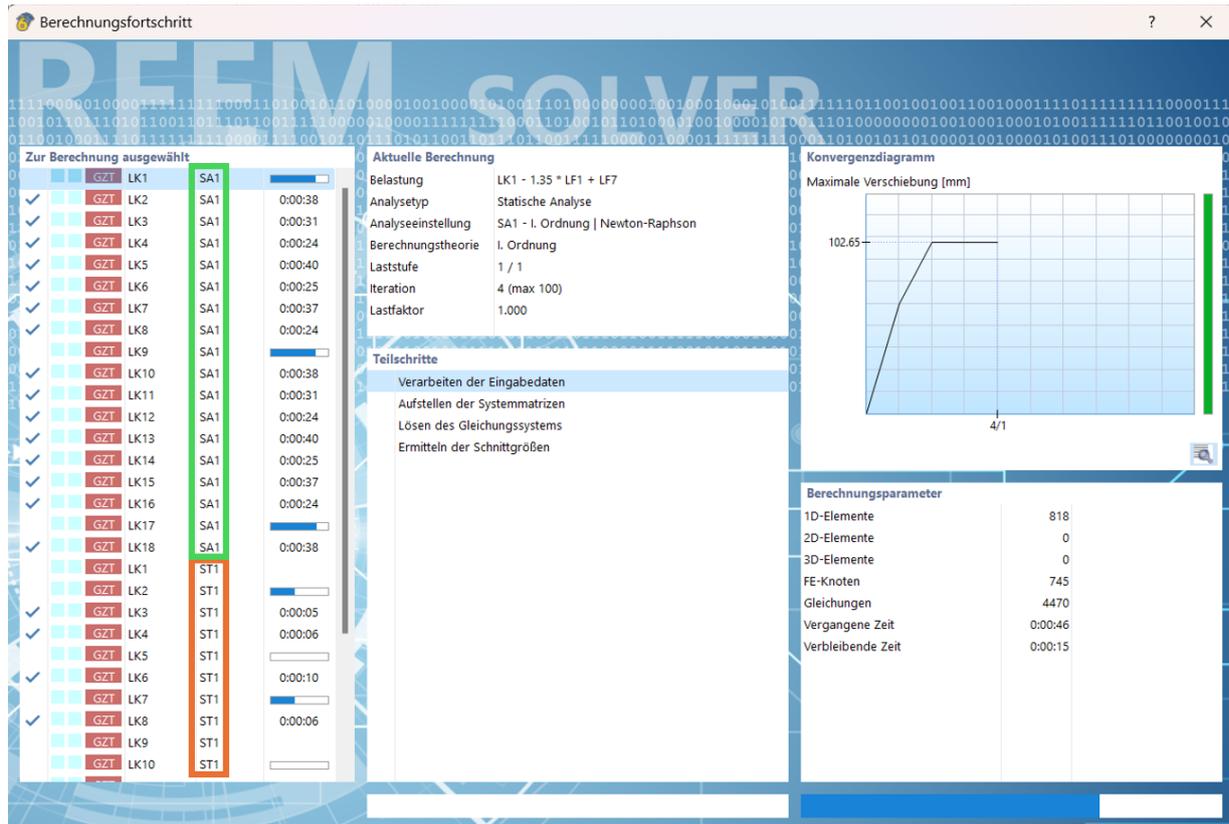


Abb. 62 Bemessung des GZT mit neuem Kombinationsassistenten

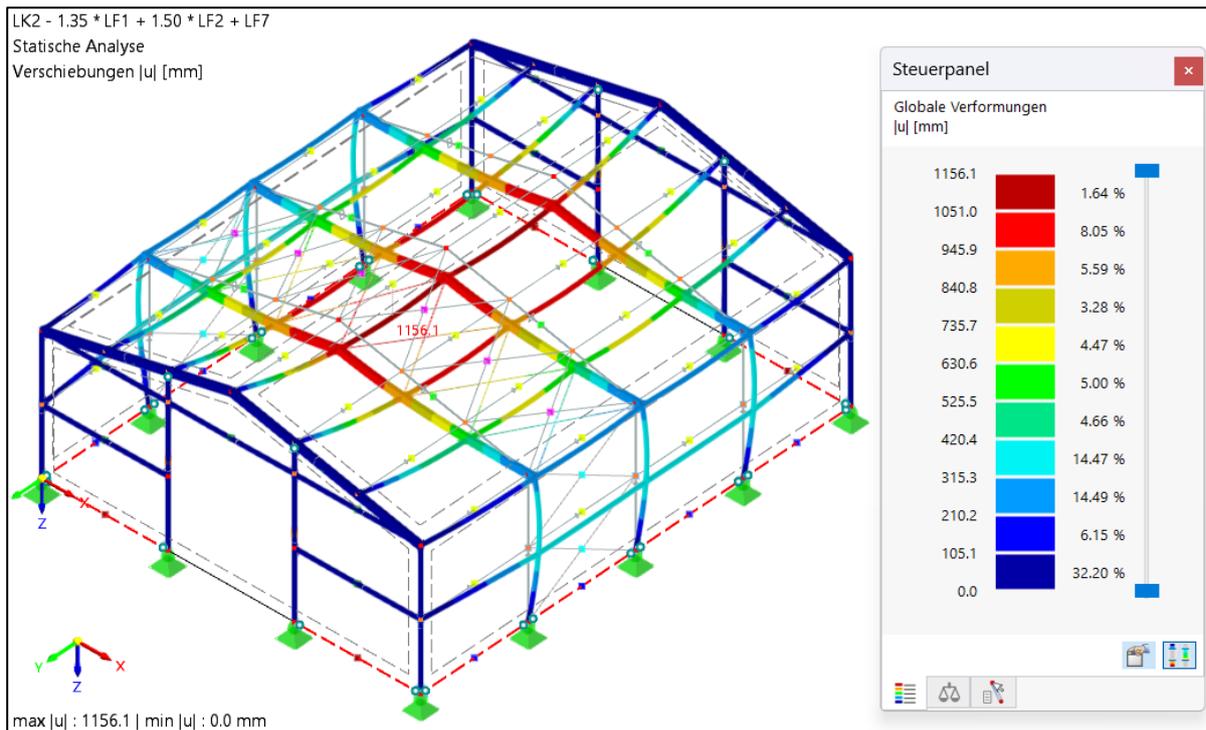
Nach vollendeter Berechnung erhält man Schnittgrößen (Normalkräfte, Biegemoment, etc.), sowie ein eigenes Register für die Stabilitätsanalyse. Der statischen Analyse zufolge hat die LK2 für die Stabilitätsanalyse den geringsten Verzweigungslastfaktor.

Der Verzweigungslastfaktor wird in den Dlubal Handbüchern folgendermaßen erklärt:

*„Der Verzweigungslastfaktor gibt an, um welchen Faktor man eine Belastung erhöhen kann, bis das System versagt. Ist dieser kleiner als eins, dann ist eine Berechnung nach Theorie II. Ordnung in der Regel instabil, da das System bereits über der kritischen Last beansprucht wird. Auch in der Normung wird auf diesen Faktor eingegangen. Beispielsweise gibt der Eurocode 3 an, dass ab einem Verzweigungslastfaktor von 10 eine Berechnung nach Theorie II. Ordnung nicht mehr erforderlich ist.“<sup>14</sup>*

Bei Begutachtung der LK2, wird schnell erkennbar, dass die Konstruktion vor allem im mittleren Bereich scheitert. Weiterhin sind auch die Längswände schwer belastet:

<sup>14</sup> Dlubal Software GmbH (Hrsg): FAQ 003561 DE 25. (2022) URL: <https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/faq/003561> (Stand: 16.01.24)



**Abb. 63 LK2 Verschiebungsbild**

Das Verschiebungsbild zeigt nochmal deutlich den Unterschied zwischen Stahl und Aluminium. Bei den standardmäßig verwendeten Aluminiumprofilen ist für Eigengewicht und Schnee (LK2) global eine Verformung von über einem Meter zu erwarten. Hauptgrund für dieses Ergebnis ist der Steifigkeitsunterschied zwischen den beiden Baustoffen. Eine anschauliche Darstellung dafür bieten folgende Skizzen:

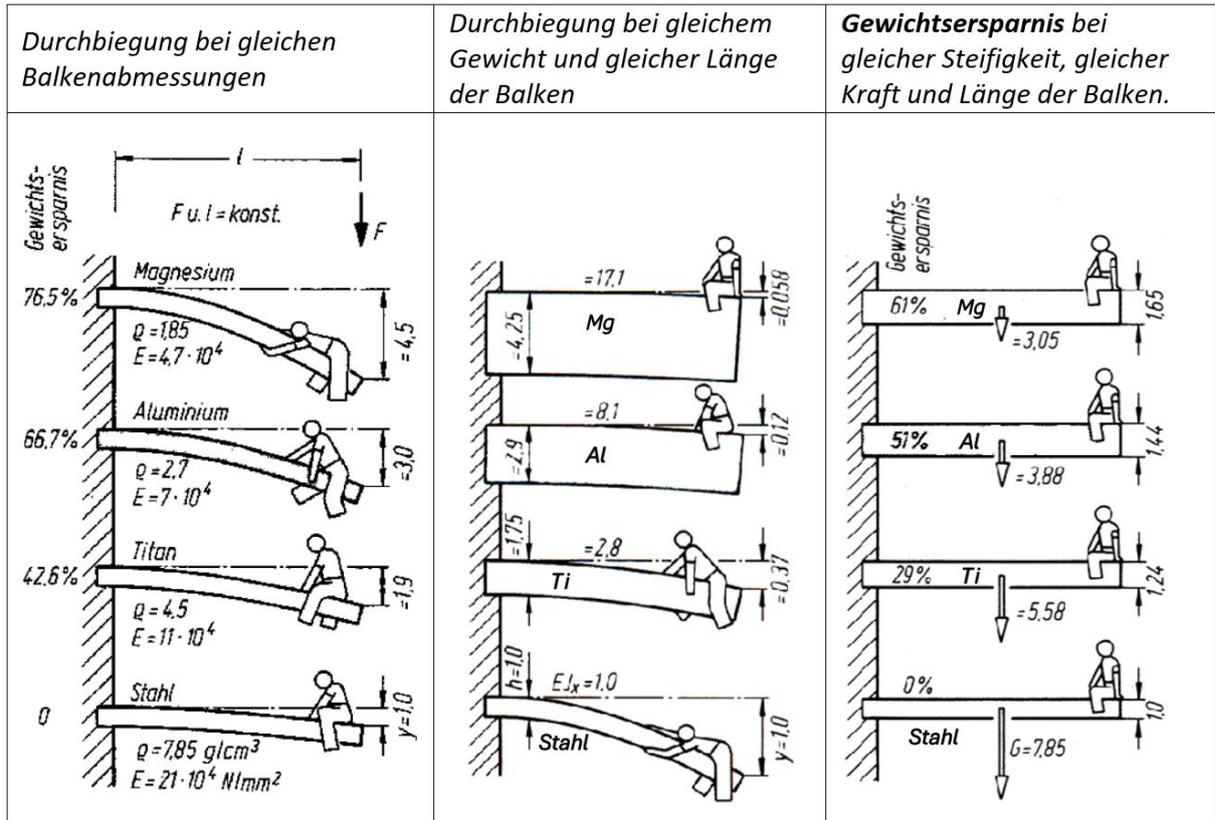


Abb. 64 Werkstoffunterschiede: Magnesium (Mg), Aluminium (Al), Titan (Ti) und Stahl <sup>15</sup>

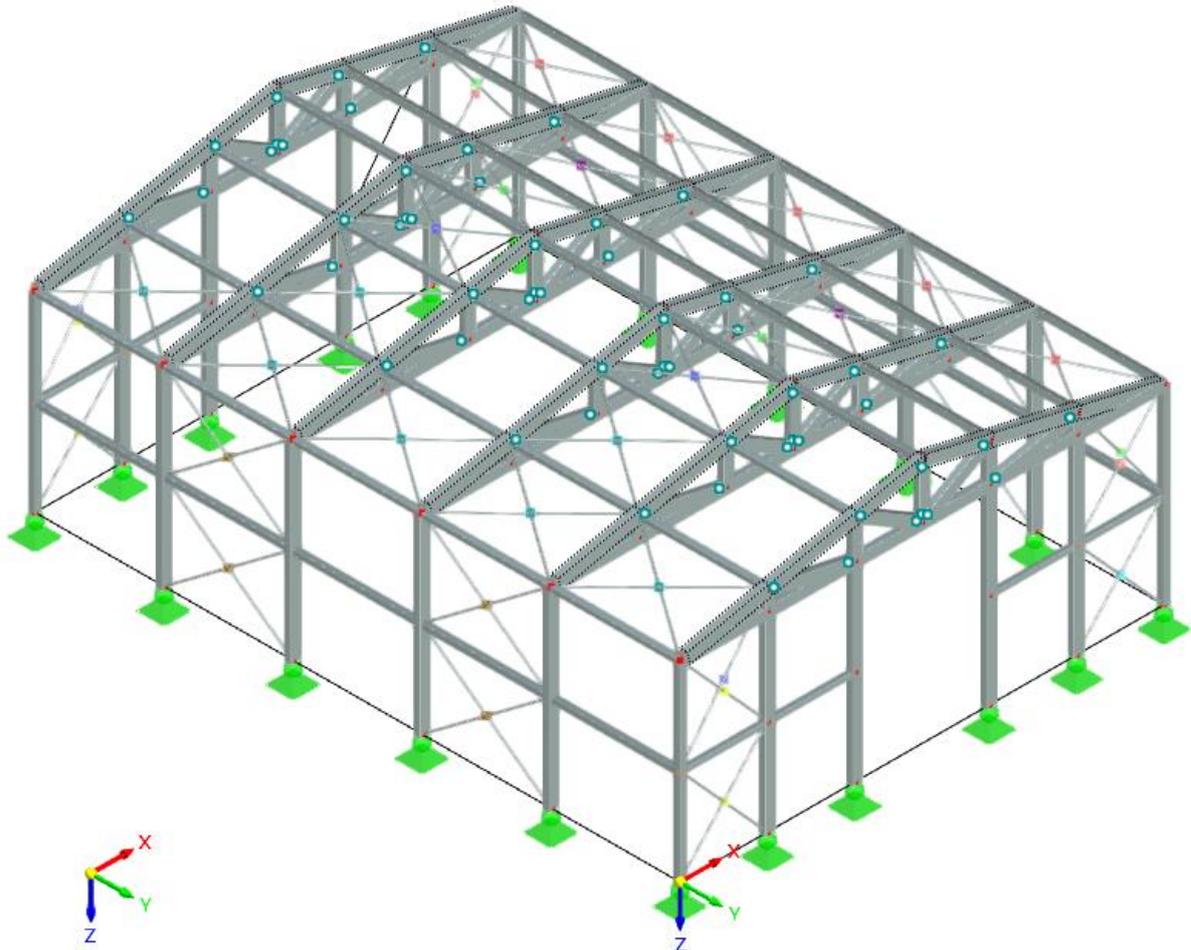
Wenn man also für Leichtbauhallen gleiche oder sogar bessere Ergebnisse erzielt, wie für Stahlhallen, muss man

- Die Dicke der Profile an den entsprechenden Bereichen erhöhen;
- Die Anzahl der Profile steigern und somit;
- Den Abstand der Profile reduzieren;
- Die Lasten auf das Gebäude geringhalten (deshalb Sandwichpaneele).

<sup>15</sup> Vgl. Form & Technik GmbH (Hrsg.), URL: <http://87.106.134.136/technik/Steifigkeit.pdf> (Stand: 01.01.24)

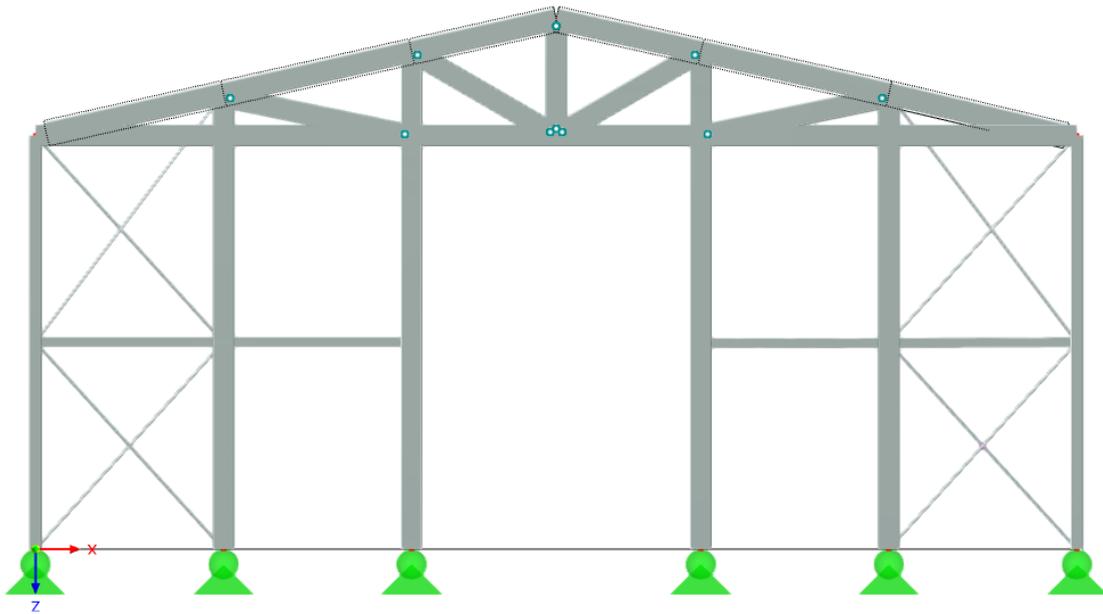
### 3.1.2 Anpassung des Modells

Nach mehreren Anpassungen des Modells mit dem Ziel einer stabilen Konstruktion ist folgendes Tragwerk zustande gekommen:

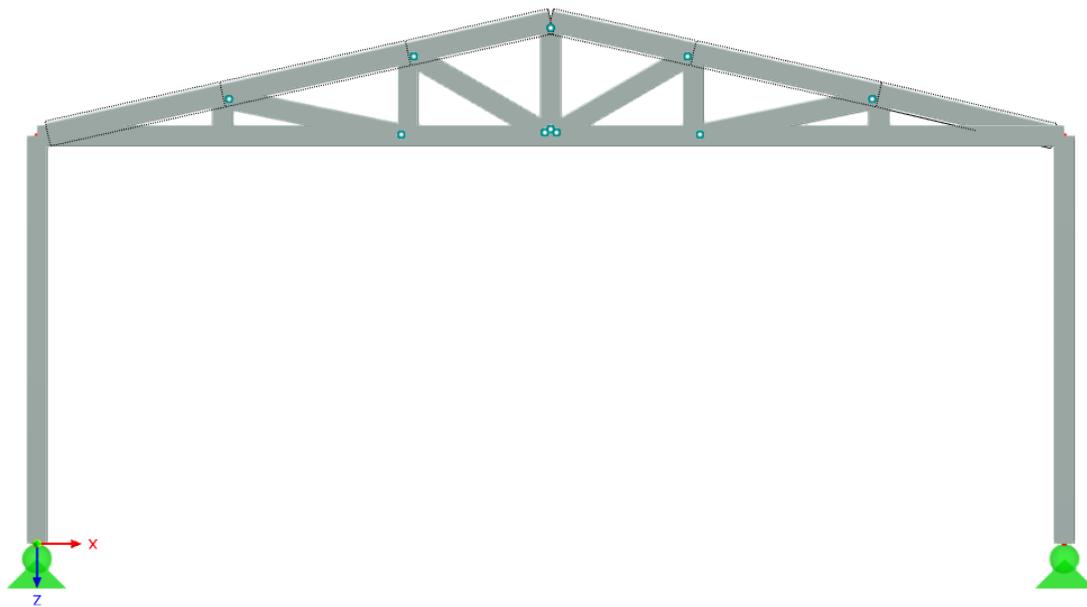


**Abb. 65** Perspektivansicht

Die Profilmenge wurde erhöht und die Abstände der Profile wurden reduziert. Außerdem wurde – den globalen Vorformungen entgegenwirkend – das Satteldach mit einer Fachwerkskonstruktion unterstützt. Zudem wurden die Zugstäbe deutlich vermehrt.



**Abb. 66 Giebelwand**



**Abb. 67 Innenrahmen**

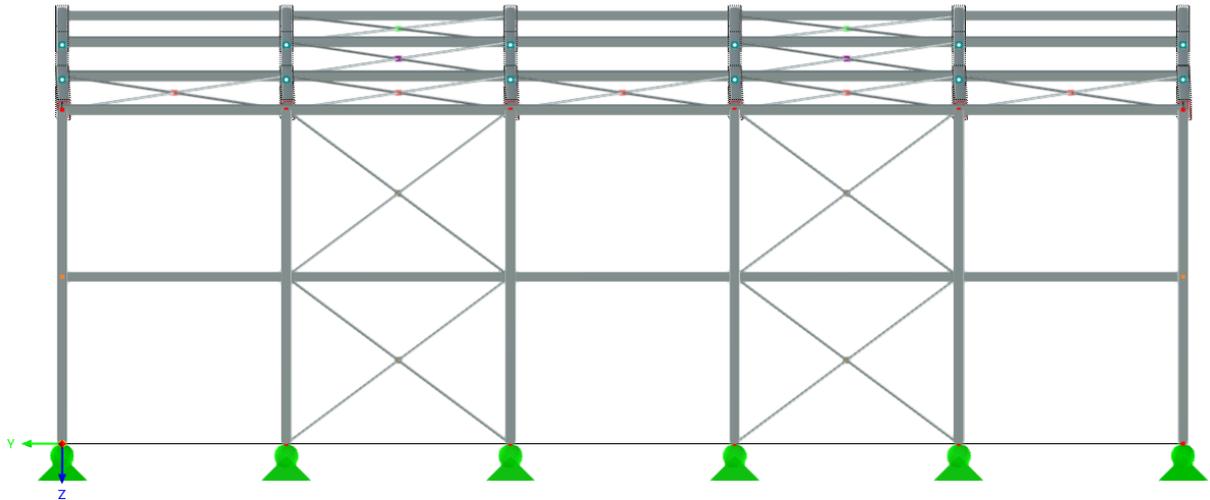


Abb. 68 Längsansicht

Die **Obergurte** wurden (einem Aluminiumbeispiel folgend<sup>16</sup>) als Stabsatz konstruiert, der aus sechs Einzelstäben besteht:

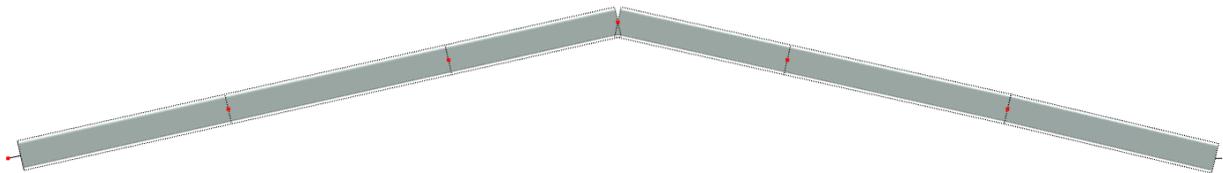


Abb. 69 Stabsatz

Für den ersten und letzten Stab der Stabsätze wurden jeweils am Anschluss zur Stütze Exzentrizitäten eingestellt.

**DIN EN 1999-1-1:2014-03**  
**EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 + A2:2013 (D)**

**8.2 Schnittpunkte in geschraubten, genieteten und geschweißten Anschlüssen**

(1) In Anschlüssen sollten die Bauteile so angeordnet werden, dass sich ihre Schwerlinien in einem Punkt schneiden.

(2) Exzentrizitäten in Schnittpunkten von Anschlüssen sollten bei der Bemessung berücksichtigt werden. Davon ausgenommen sind Konstruktionen, für die nachgewiesen wurde, dass dies nicht notwendig ist.

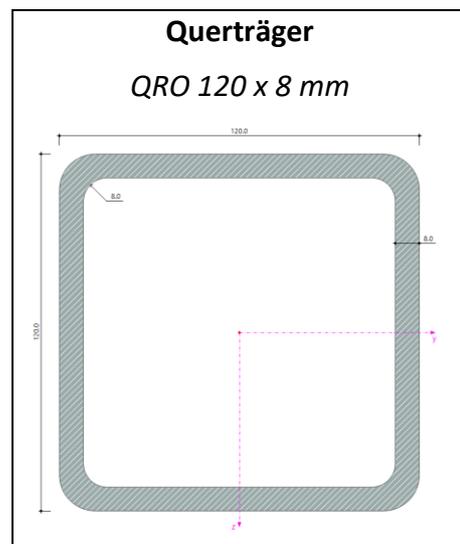
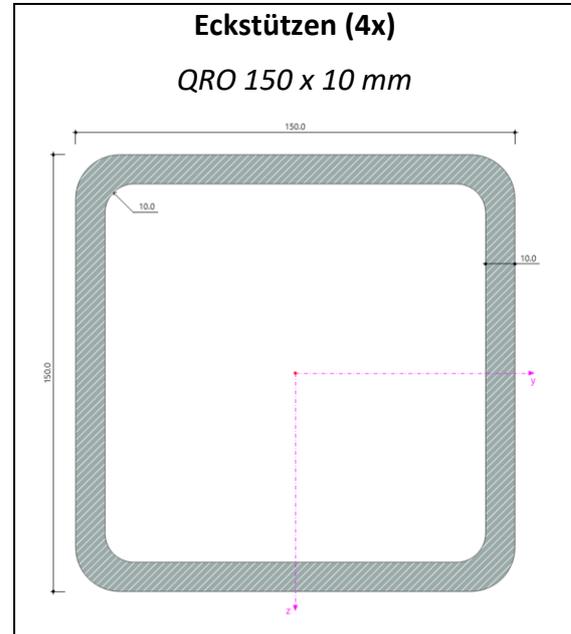
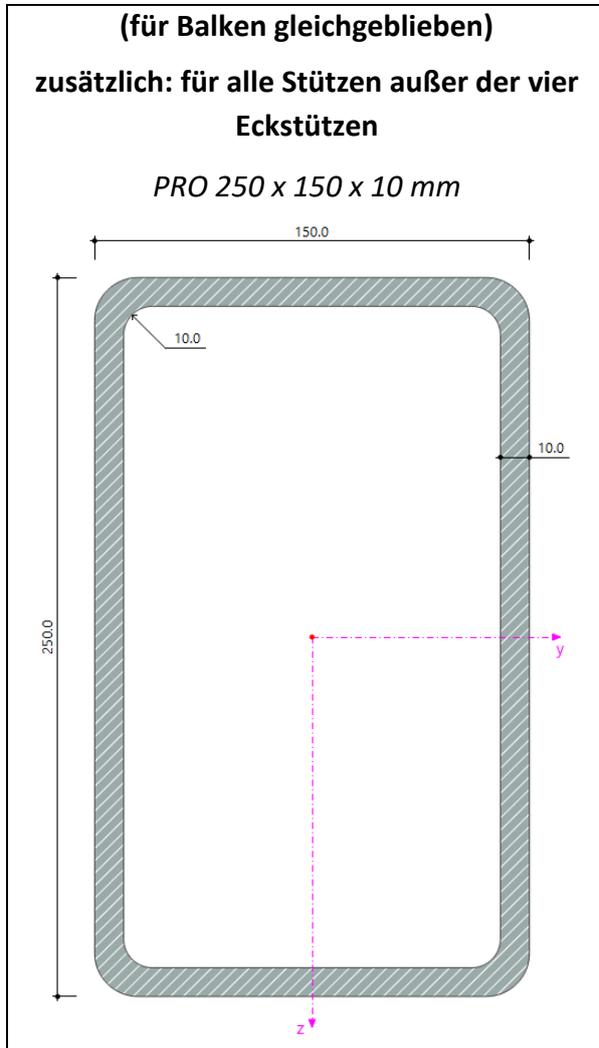
Abb. 70 Exzentrizität<sup>17</sup>

<sup>16</sup> Dlubal Software GmbH (Hrsg): Aluminiumgebäude (01.10.2021), URL: <https://www.dlubal.com/de/downloads-und-infos/beispiele/modelle-zum-herunterladen/002785> (Stand: 01.02.24)

<sup>17</sup> DIN e.V. (Hrsg), DIN EN 1999-1-1:2014-03, Kap. 8.2

Auch die **Profilwahl** wurde angepasst (Zugstäbe unverändert):

Die Abmessungen und Dicken der vom Programm empfohlenen Hohlprofile waren nicht ausreichend. Die neue Profilwahl ist wie folgt:



Genauere Angaben zu den gewählten Profilen sind im Anhang befindlich.

### 3.1.3 Imperfektionen

In der DIN 1999 ist für Imperfektionen Folgendes festgehalten:

*„Bei Tragwerken, deren Eigenform durch eine seitliche Verschiebung charakterisiert ist, sollten die Einflüsse der Imperfektionen bei der Berechnung durch eine äquivalente Ersatzverformung in Form einer **Anfangsschiefstellung** des Tragwerks **und** der **Vorkrümmung** der einzelnen Bauteile berücksichtigt werden.“<sup>18</sup>*

Demzufolge sind hier eine Vorkrümmung, sowie eine Anfangsschiefstellung vorzusehen.

#### 1. Vorkrümmung

Nach DIN 1999 soll der Wert für eingeprägte Vorkrümmung von Bauteilen beim Biegeknickekn abhängig von ihrer Knickklasse gewählt werden.<sup>19</sup>

Wie in der Profilwahl bereits aufgeführt, hat das gewählte Material die Knickklasse A (siehe folgende Abbildung).

6060	EP,ET,ER/B	T5	$t \leq 5$	120	160	8	50	80	0,42	0,50	B	17
	EP		$5 < t \leq 25$	100	140	8			0,50	0,57	B	14
	ET,EP,ER/B	T6	$t \leq 15$	140	170	8	60	100	0,43	0,59	A	24
	DT		$t \leq 20$	160	215	12			0,38	0,47	A	16
	EP,ET,ER/B	T64	$t \leq 15$	120	180	12	60	100	0,50	0,56	A	12
	EP,ET,ER/B	T66	$t \leq 3$	160	215	8	65	110	0,41	0,51	A	16
	EP		$3 < t \leq 25$	150	195	8			0,43	0,56	A	18

Abb. 71 Materialeigenschaften<sup>20</sup>

Somit muss der Bemessungswert der Vorkrümmung **1/300** betragen:

Knickklasse nach Tabelle 3.2	Elastische Berechnung	Plastische Berechnung
	$e_0 / L$	$e_0 / L$
A	1 / 300	1 / 250
B	1 / 200	1 / 150

Abb. 72 Bemessungswerte der Vorkrümmung [ $e_0/L$ ]<sup>21</sup>

<sup>18</sup> DIN e.V. (Hrsg), DIN EN 1999-1-1:2014-03, Kap. 5.3.2 (3)

<sup>19</sup> Vgl. a.a.O.

<sup>20</sup> DIN e.V. (Hrsg), DIN EN 1999-1-1:2014-03, Kap. 3.2.1

<sup>21</sup>DIN e.V. (Hrsg), DIN EN 1999-1-1:2014-03, Kap. 5.3.2 (3) b), Tabelle 5.1

Die Imperpektionsansichten für Vorkrümmung sehen für die jeweiligen Richtungen folgendermaßen aus:

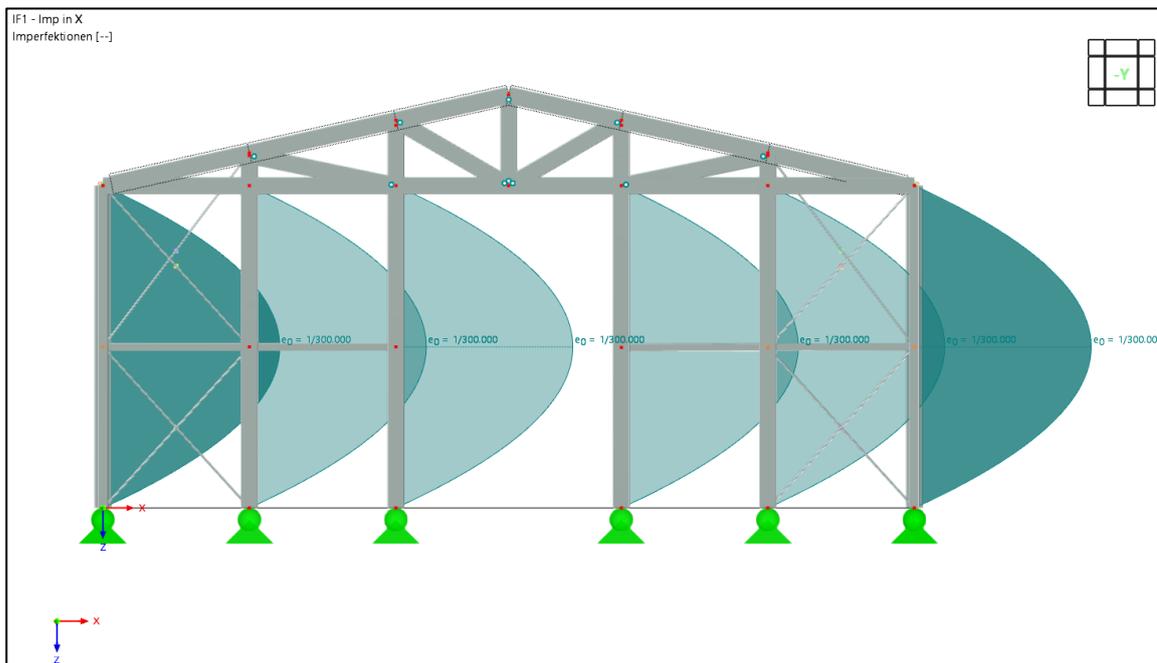


Abb. 73 Imperfektion (Vorkrümmung) in X-Richtung – Frontansicht

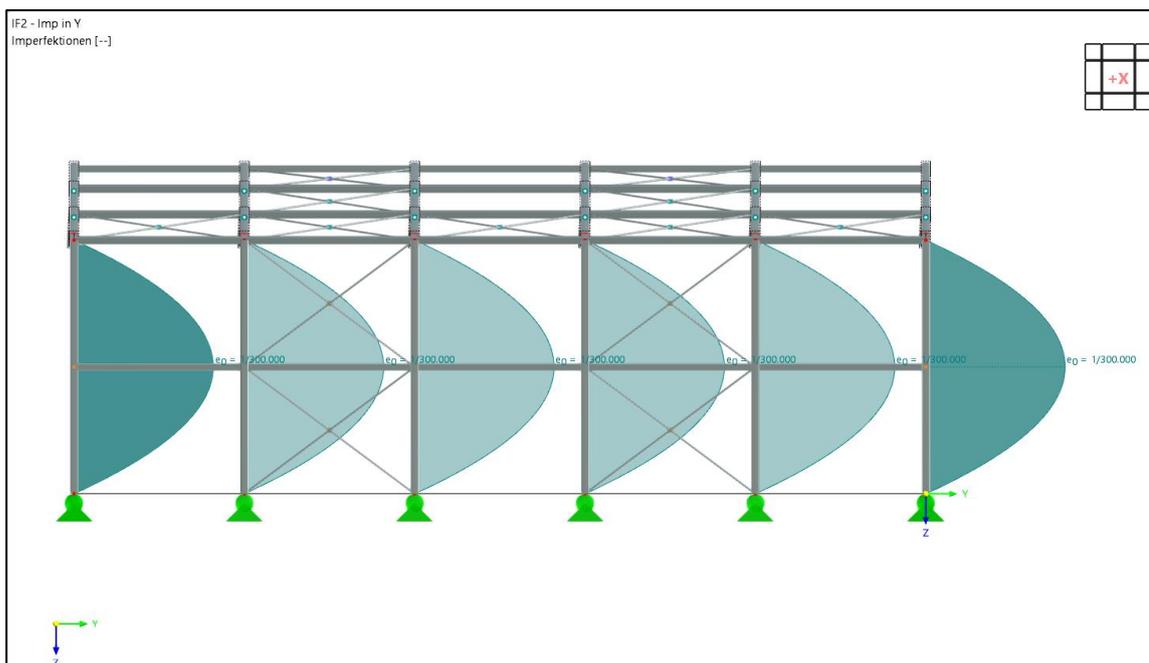


Abb. 74 Imperfektion (Vorkrümmung) in Y-Richtung – Längsansicht

## 2. Anfangsschiefstellung

Die Anfangsschiefstellung habe ich vorerst rechnerisch ermittelt:

globale Anfangsschiefstellung:

$$\phi = \phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{6}\right)} = 0,764$$

$$\alpha_h = \frac{z}{\sqrt{h}} = \frac{z}{\sqrt{4,8}} = 0,913 \quad \left(\Rightarrow \frac{z}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0 \checkmark\right)$$

$$\phi_0 = 1/200$$

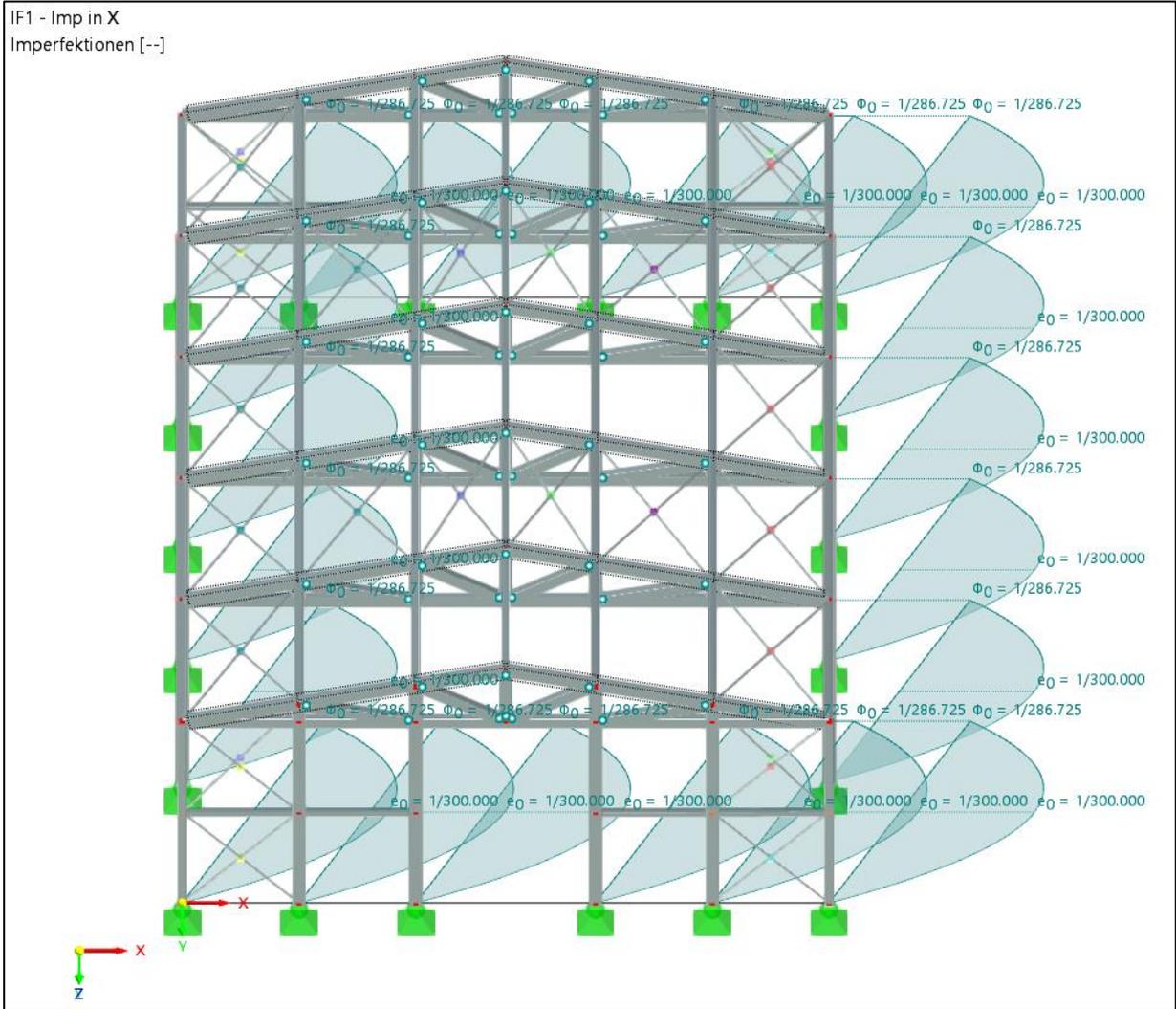
$$\Rightarrow \phi = \frac{1}{200} \cdot 0,913 \cdot 0,764 = 3,48766 \cdot 10^{-3} = 1/286,725$$

**Abb. 75 Berechnung globaler Anfangsschiefstellung nach DIN1999<sup>22</sup>**

Wenn auch dieser Wert für Imperfektion im System hinterlegt ist, entstehen folgende Ansichten für die jeweiligen Richtungen:

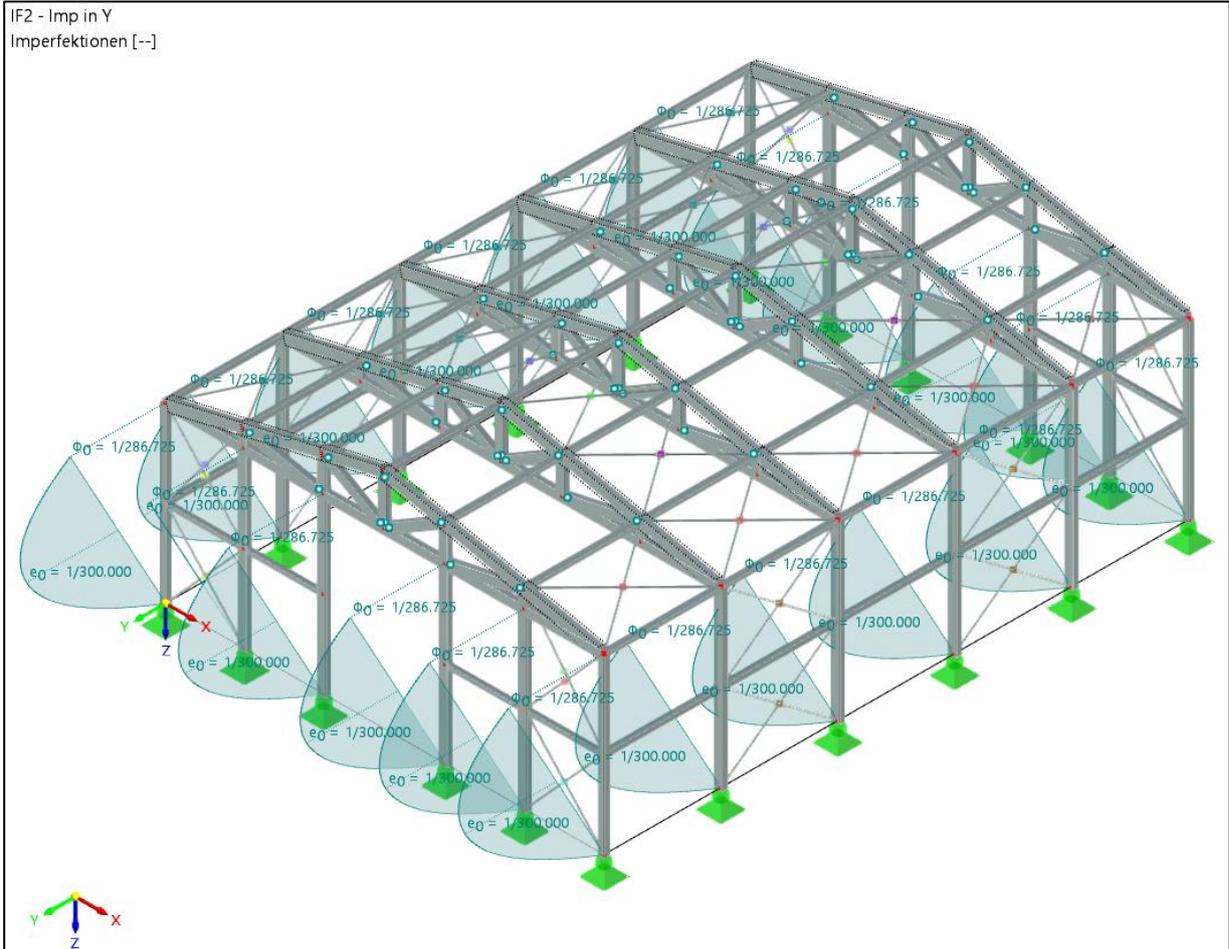
<sup>22</sup> DIN e.V. (Hrsg), DIN EN 1999-1-1:2014-03, Kap. 5.3.2 (3) a)

**Imperfektion in X**



**Abb. 76** Imperfektion in X – Vorkrümmung & Anfangsschiefstellung

**Imperfektion in Y**

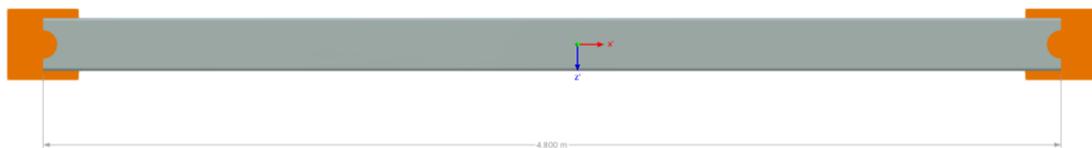


**Abb. 77** Imperfektion in Y – Vorkrümmung & Anfangsschiefstellung

**3.1.4 Knicklängen**

**Stützen-Knicklängen**

- Für die Knicklängen der vier Stützen, die die beiden Tore einschließen, gilt:

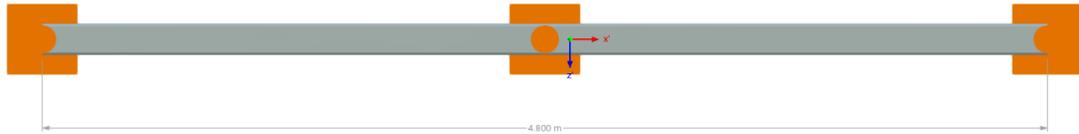


**Abb. 78** Knicklänge der Stäbe 476, 480 – 482

Knotenlager						
Knotenfolge	Lagertyp	Fest in y/u	Einspannung um		Wölbung $\omega$	Knoten Nr.
Anfang	Einzel	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1-4,6-12,...
Inter.	Einzel	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	11,12,55,...
Ende	Einzel	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2,4,6,8,9,...

**Abb. 79** Knicklängeneinstellungen der Stäbe 476, 480 - 482

- Für die Knicklängen der restlichen Stützen gilt:



**Abb. 80** Knicklänge der Stäbe 1,2,17,18,168,169,176,177,184,185,192,193,474,475,478,479

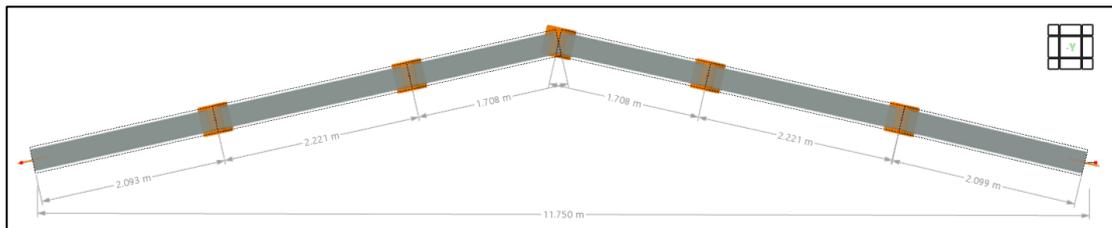
Knotenlager						
Knotenfolge	Lagertyp	Fest in y/u	Einspannung		Wölbung $\omega$	Knoten Nr.
			um x	um z/v		
Anfang	Einzel	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1-4,6-12,...
Inter.	Einzel	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	11,12,55,...
Ende	Einzel	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2,4,6,8,9,...

**Abb. 81** Knicklängeneinstellungen der Stäbe 1,2,17,18,168,169,176,177,184,185,192, 193, 474, 475, 478, 479

**Obergurte**

Für eine einwandfreie Bemessung müssen auch die Stabsätze mit entsprechenden Knicklängen versehen werden. Hier unterscheidet man zwischen den Obergurten der Giebelwände und den Obergurten der Innenrahmen:

- Obergurt – Giebelwand:

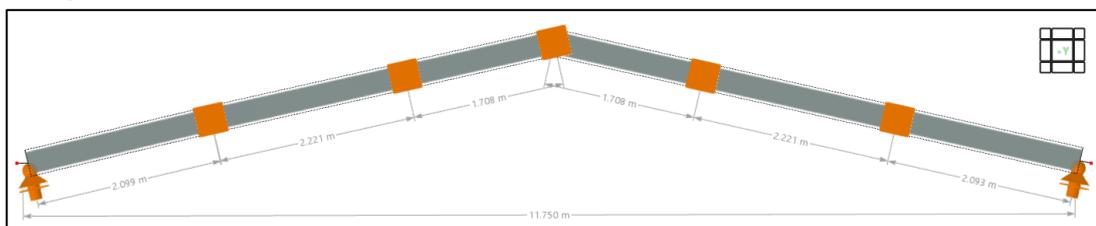


**Abb. 82** Knicklängen des ersten und letzten Stabsatzes

Knotenlager						
Knotenfolge	Lagertyp	Fest in y/u	Einspannung		Wölbung $\omega$	Knoten Nr.
			um x	um z/v		
Anfang	Einspannung um x	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2,47
.1	Fest in z/v & y/u & To...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7,51
.2	Fest in z/v & y/u & To...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8,52
.3	Fest in z/v & y/u & To...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6,50
.4	Fest in z/v & y/u & To...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9,53
.5	Fest in z/v & y/u & To...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10,54
Ende	Einspannung um x	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4,49

**Abb. 83** Knicklängeneinstellungen des ersten und letzten Stabsatzes

- Obergurt – Innenrahmen:



**Abb. 84** Knicklängen aller mittleren Stabsätze

Knoten- folge	Lagertyp	Fest		Knoten Nr.
		in z/v	in y/u	
Anfang	Fest in z/v & y/u & To...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	92,104,1...
.1	Fest in y/u	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	96,107,1...
.2	Fest in y/u	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	97,108,1...
.3	Fest in y/u	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	95,102,1...
.4	Fest in y/u	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	98,109,1...
.5	Fest in y/u	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	99,110,1...
Ende	Fest in z/v & y/u & To...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	94,106,1...

Abb. 85 Knicklängeneinstellungen aller mittleren Stabsätze

### 3.1.5 Zweiter Berechnungsansatz

Die Ergebnisse für die Statische Analyse liegen nun im vorgestellten Bereich. Es wurde nach Theorie 2. Ordnung bemessen.

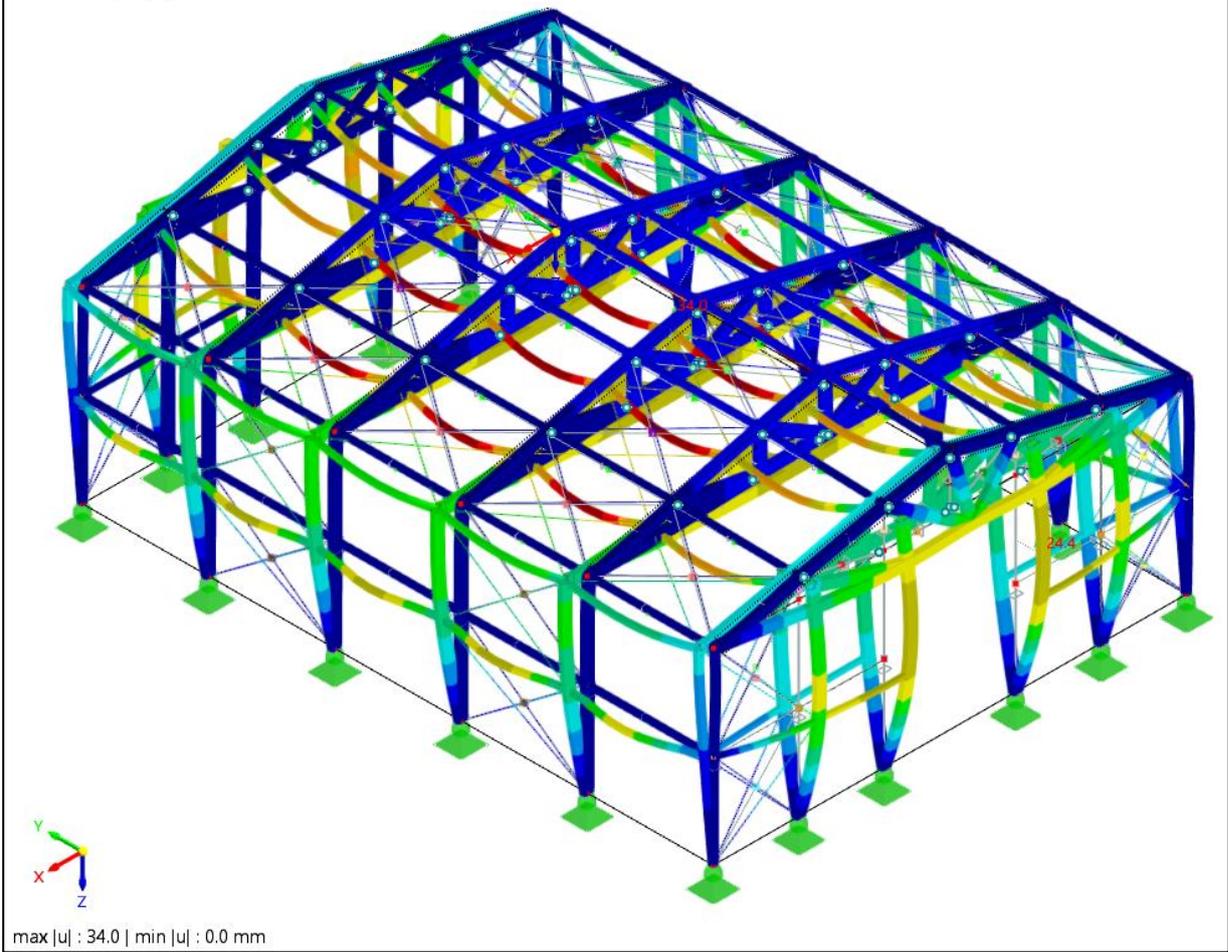
Im Folgenden sind die Werte der maximalen Verformungen sowie die Verformungsbilder für beide Bemessungssituationen (GZT & GZG) dargestellt:

#### Bemessungssituation 1: Grenzzustand der Tragfähigkeit

Zusammenfassung			
Gehe zu Bearbeiten Selektion Ansicht Einstellungen			
Statische Analyse		Übersicht	
		GZT BS1	GZT (STR/GEO) - Ständig und ...
	Beschreibung	Wert	Einheit
Maximale Verformungen			
	Maximale Verschiebung in X-Richtung	-22.9	mm
	Maximale Verschiebung in Y-Richtung	-24.4	mm
	Maximale Verschiebung in Z-Richtung	29.7	mm
	Maximale vektorielle Verschiebung	34.0	mm
	Maximale Verdrehung um X-Achse	-18.0	mrاد
	Maximale Verdrehung um Y-Achse	-6.8	mrاد
	Maximale Verdrehung um Z-Achse	-17.1	mrاد

Abb. 86 Maximale Verformungen für BS1

BS1 - GZT (STR/GEO) - Ständig und vorübergehend - Gl. 6.10  
Statische Analyse  
Verschiebungen |u| [mm]



**Abb. 87** Verschiebung – Perspektive – BS1

Sichtbarkeitsmodus  
BS1 - GZT (STR/GEO) - Ständig und vorübergehend - Gl. 6.10  
Statische Analyse  
Verschiebungen |u| [mm]

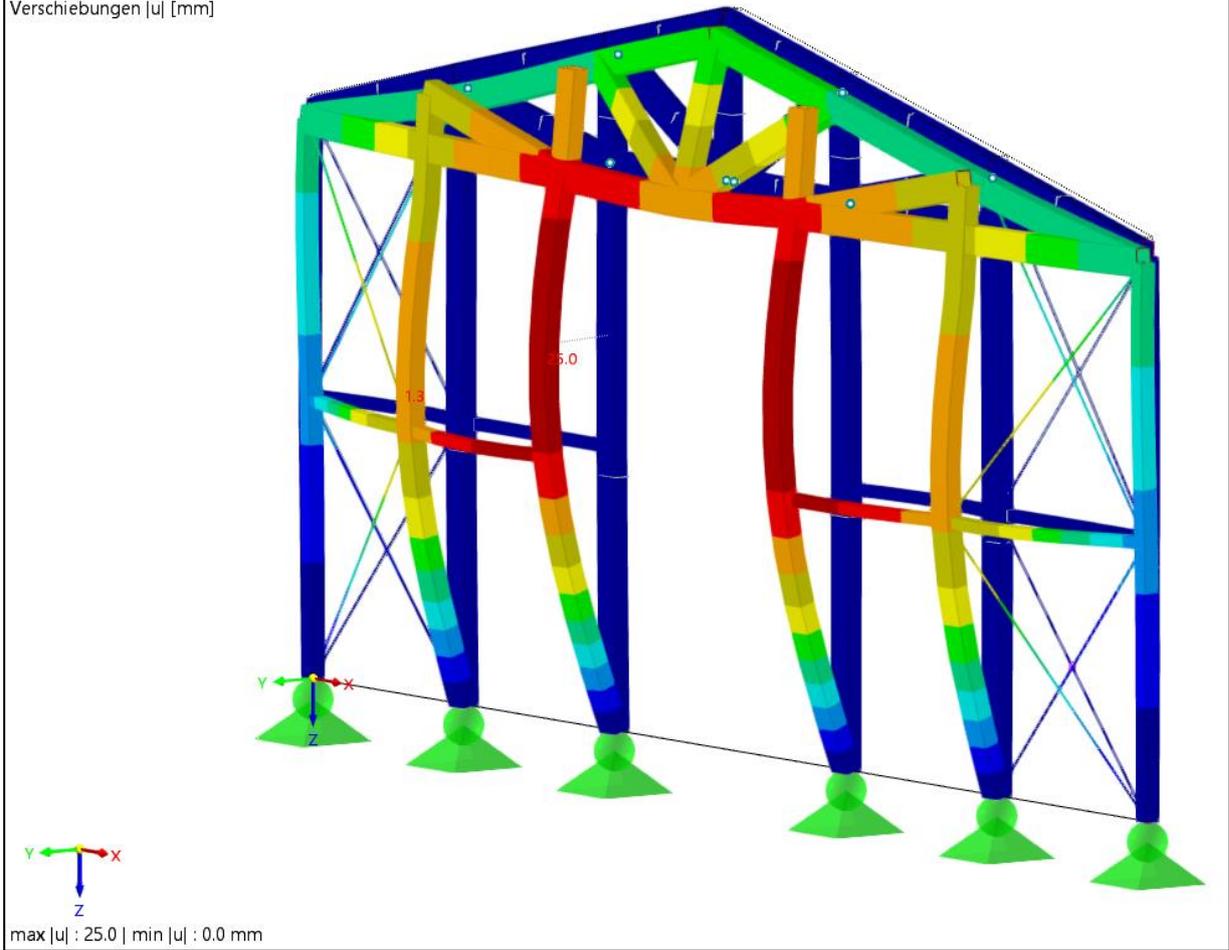


Abb. 88 Verschiebung – Giebelwand – BS1

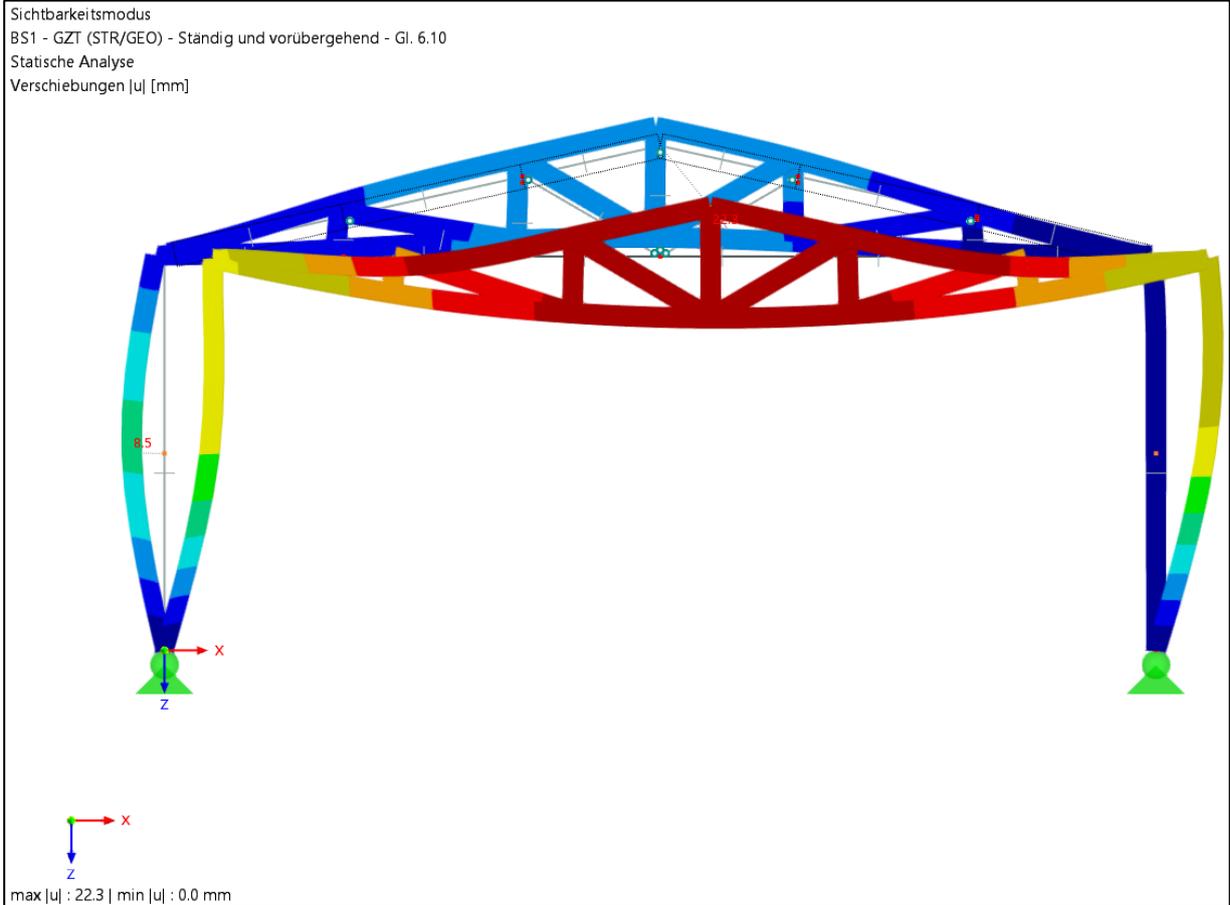


Abb. 89 Verschiebung – Innenrahmen – BS1

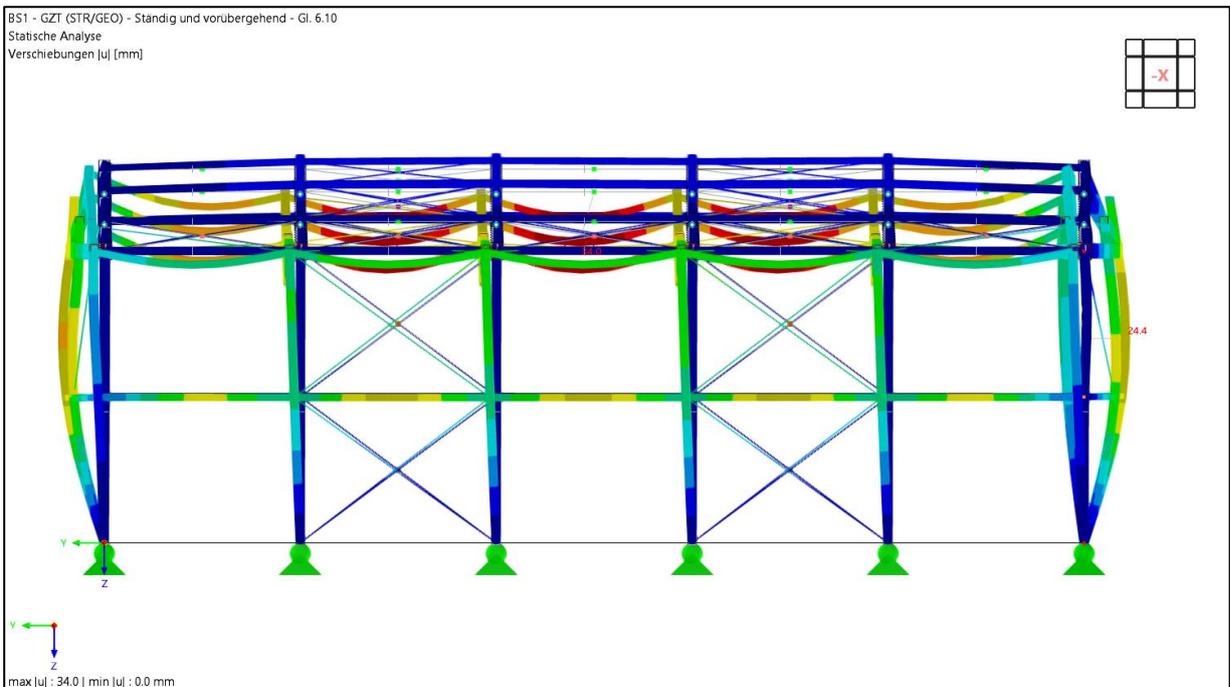
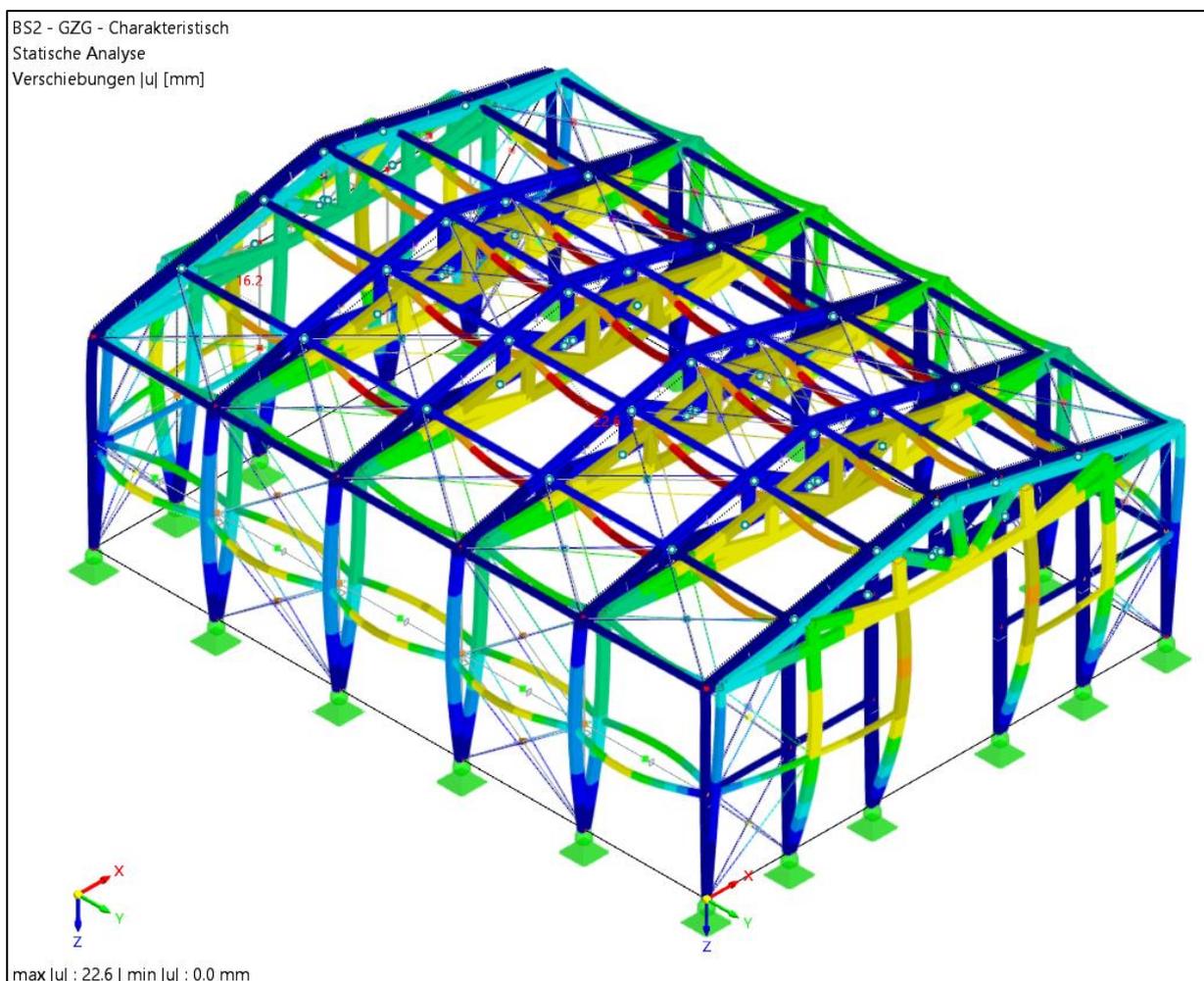


Abb. 90 Verschiebung – Längsansicht – BS1

**Bemessungssituation 2: Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit**

Zusammenfassung				
Gehe zu Bearbeiten Selektion Ansicht Einstellungen				
Statische Analyse		Übersicht		G Ch BS2 GZG - Charakteristisch
	Beschreibung	Wert	Einheit	
Maximale Verformungen				
	Maximale Verschiebung in X-Richtung	-15.2	mm	Stab Nr. 209, x: 1.600000 m   LK40
	Maximale Verschiebung in Y-Richtung	-16.2	mm	Stab Nr. 476, x: 3.360000 m   LK39
	Maximale Verschiebung in Z-Richtung	19.8	mm	Stab Nr. 50, x: 1.600000 m   LK25
	Maximale vektorielle Verschiebung	22.6	mm	Stab Nr. 49, x: 1.600000 m   LK26
	Maximale Verdrehung um X-Achse	-11.9	mrad	Stab Nr. 29, x: 0.000000 m   LK25
	Maximale Verdrehung um Y-Achse	-4.5	mrad	Stab Nr. 185, x: 0.000000 m   LK31
	Maximale Verdrehung um Z-Achse	-11.4	mrad	Stab Nr. 225, x: 3.200000 m   LK40

**Abb. 91 Maximale Verformungen für BS2**



**Abb. 92 Verschiebung – Perspektive – BS2**

Sichtbarkeitsmodus  
BS2 - GZG - Charakteristisch  
Statische Analyse  
Verschiebungen |u| [mm]

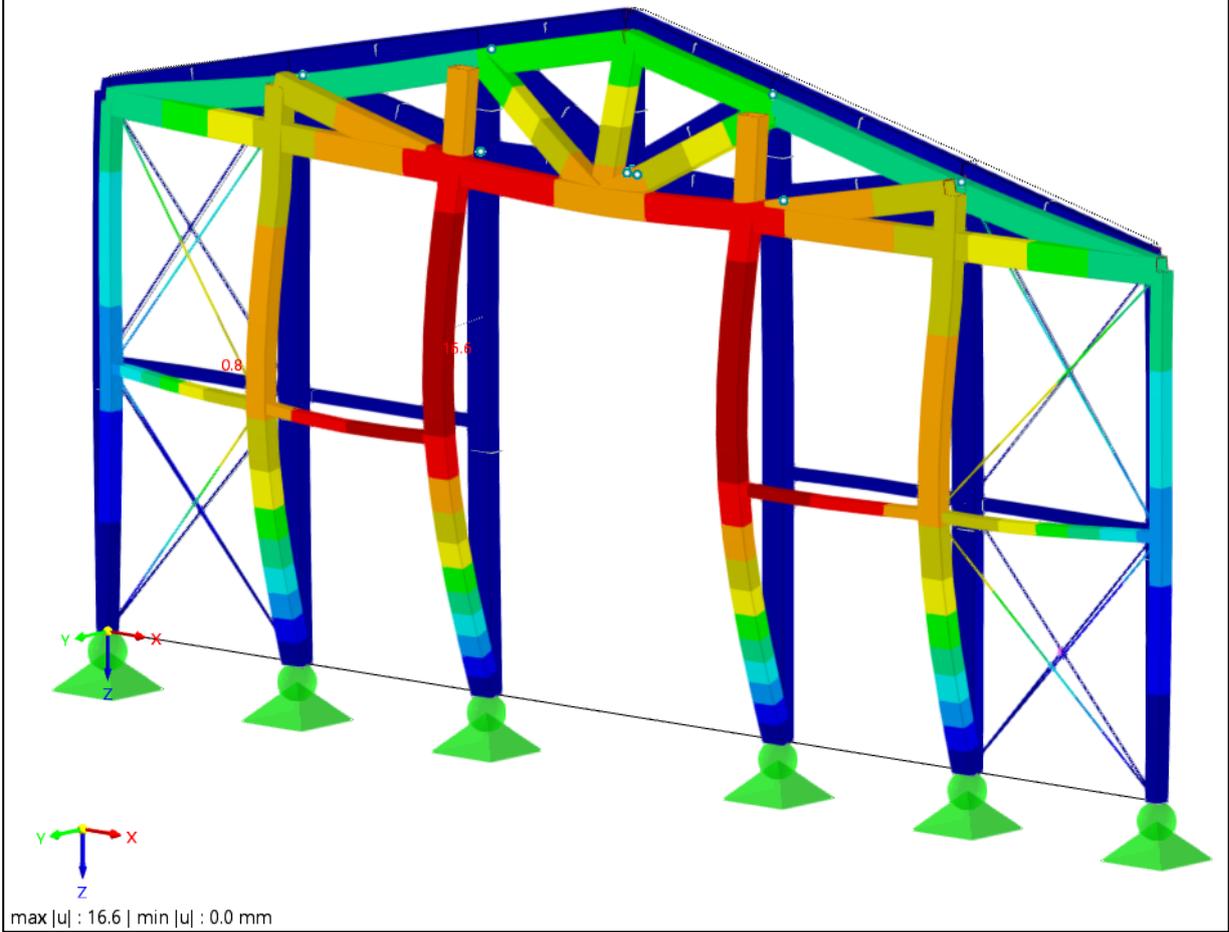
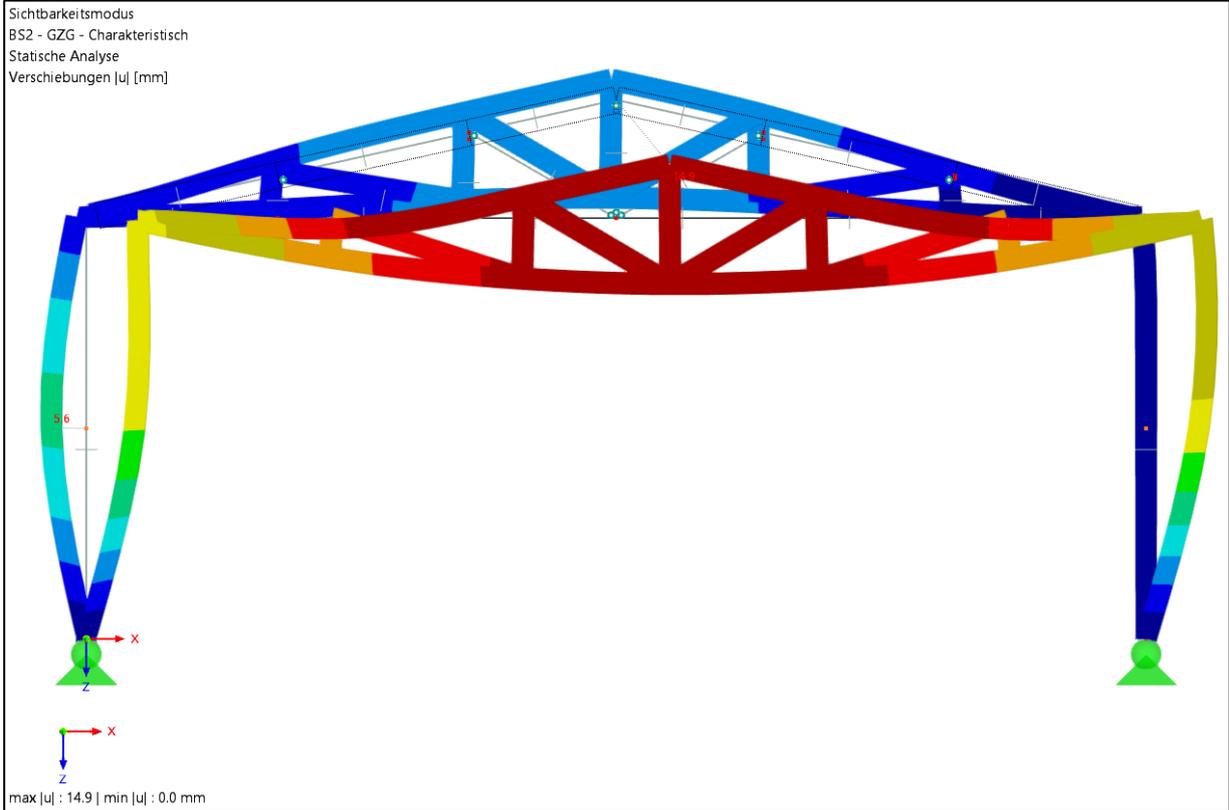
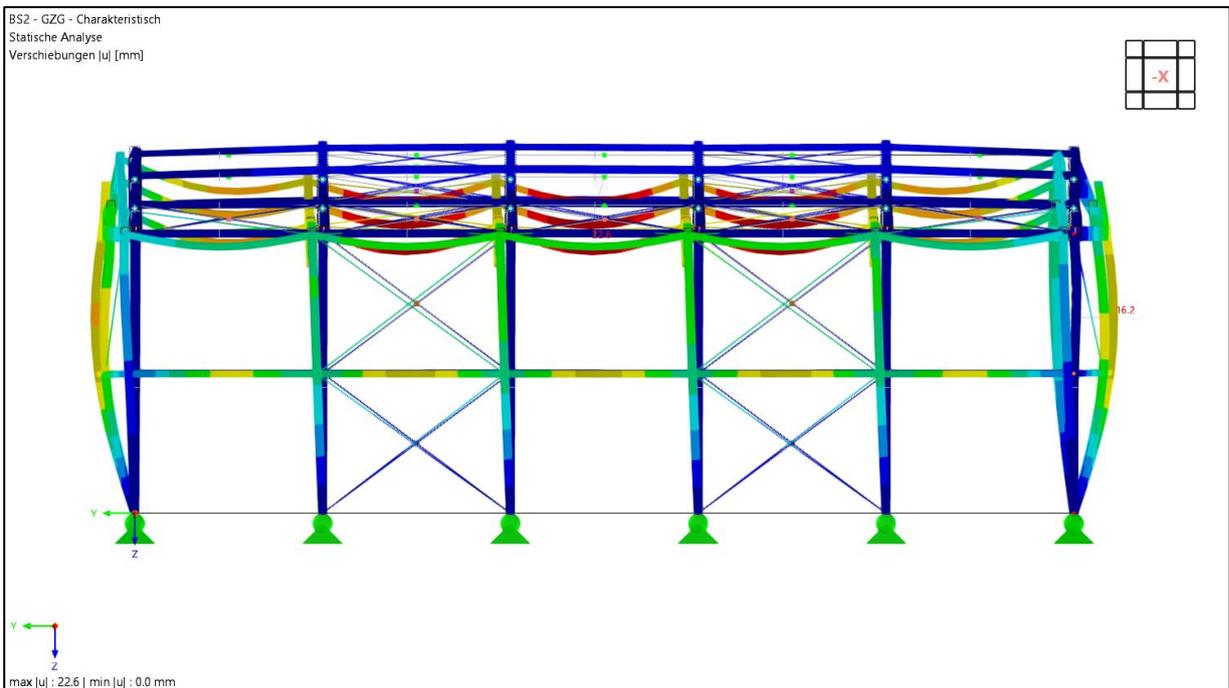


Abb. 93 Verschiebung – Giebelwand – BS2



**Abb. 94** Verschiebung – Innenrahmen – BS2



**Abb. 95** Verschiebung – Längsansicht – BS2

### 3.2 BEMESSUNG DES TRAGWERKS

#### 3.2.1 Positionsplan

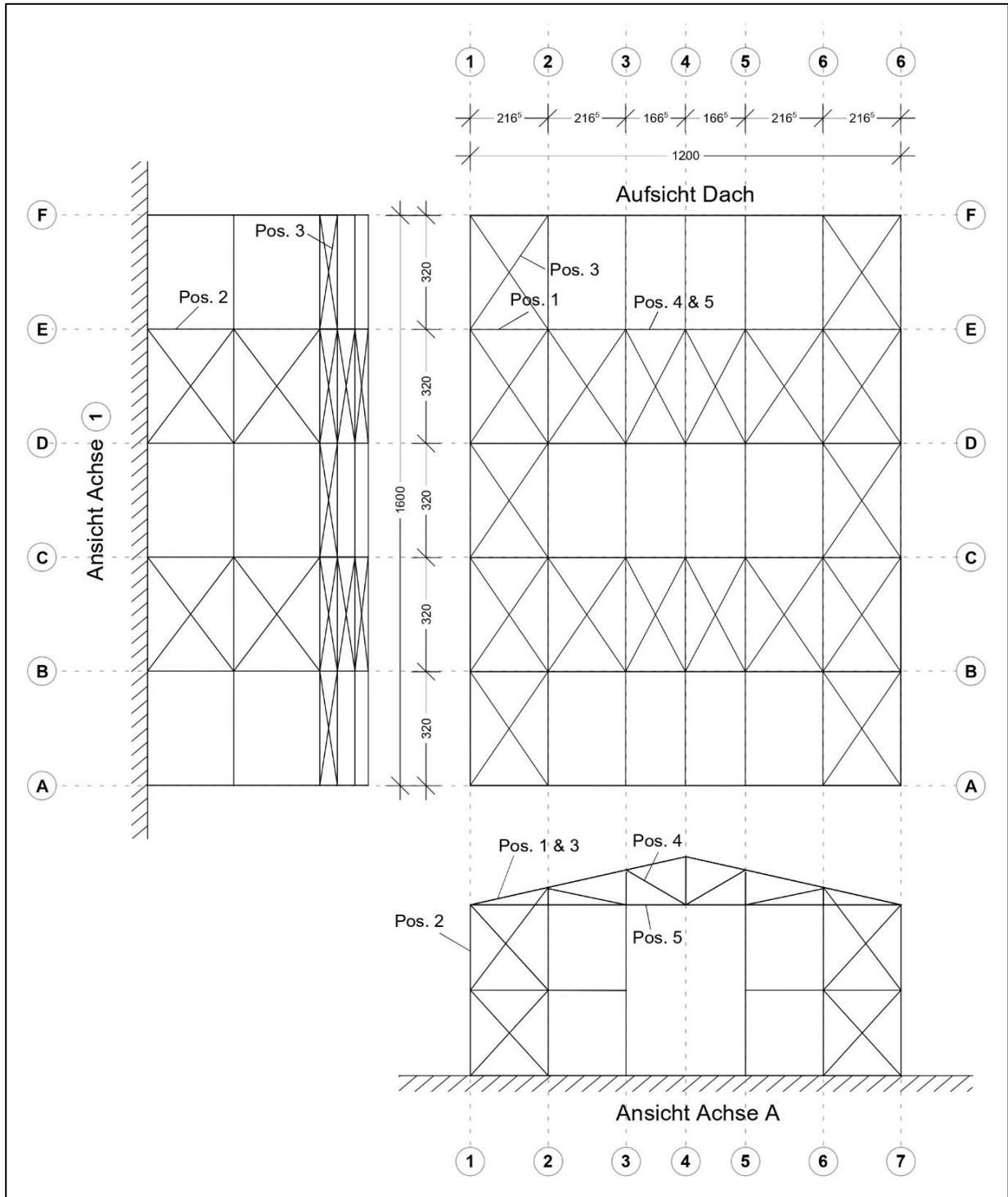


Abb. 96 Positionsplan

### 3.2.2 Vertikallasten

Anfangend möchte ich eine Kontrollrechnung für die Vertikallasten des Gebäudes vornehmen:

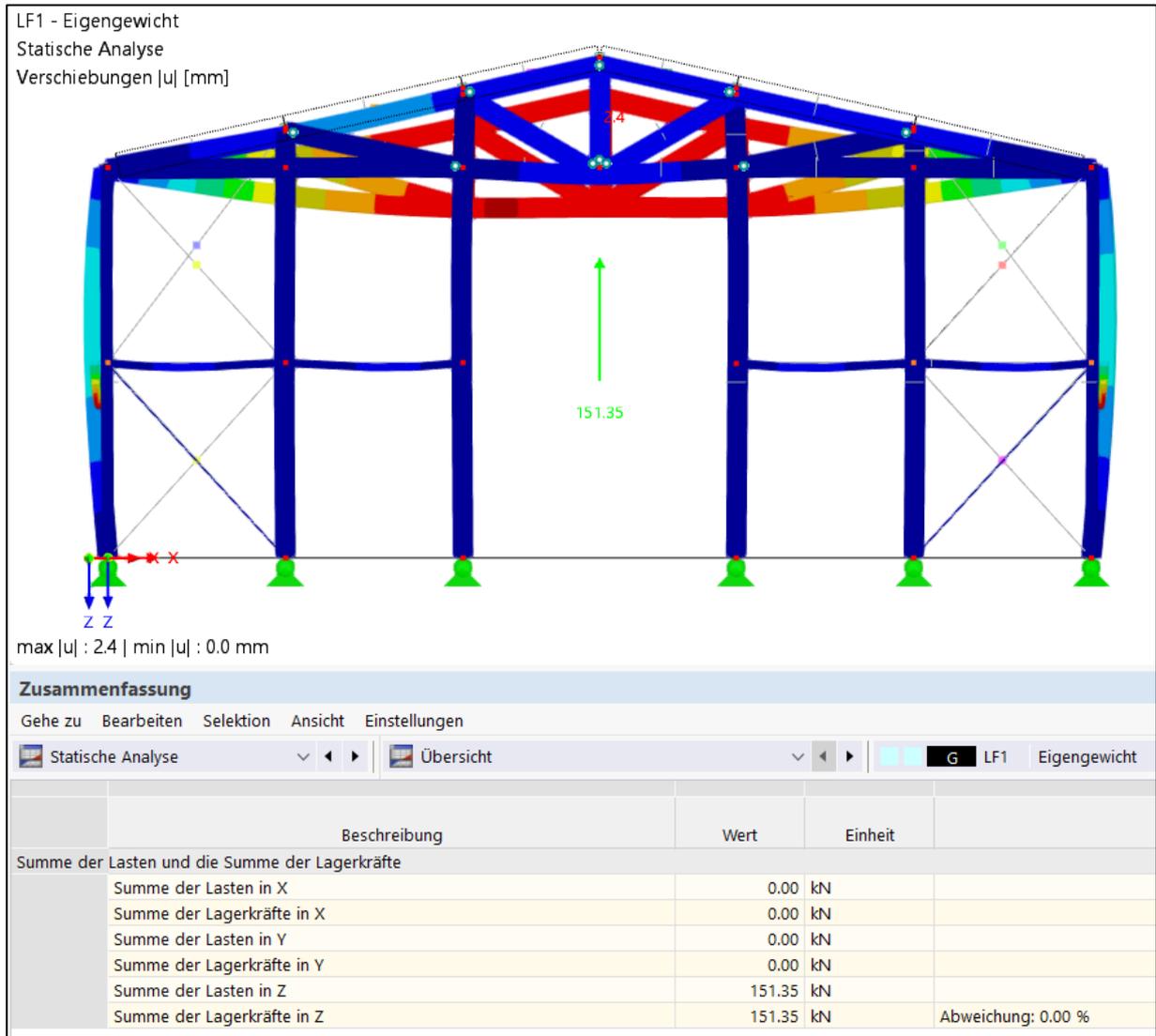


Abb. 97 Resultierende Vertikallasten für Eigengewicht

In den Ergebnissen der statischen Analyse herrscht für Eigengewicht eine resultierende Kraft von 151,35 kN. Diese Last sollte zusammengesetzt sein aus der Profillast und der Last der Sandwichpaneel.

Die Werte für diese Lasten werden in den folgenden Handrechnungen ermittelt und summiert. Die in den Rechnungen verwendeten Angaben zum Profildgewicht wurden der Dlubal Software entnommen und sind im Anhang (siehe Angaben zu den Profilen) zu finden. Jegliche Profillasten wurden, wie in der Modellerstellung festgelegt wurde (siehe Kapitel 1.1.1 Dlubal Modellerstellung), mit  $1\text{ kN} = 100,0\text{ kg}$  umgerechnet.

Kontrollrechnung Vertikallasten

Metermengen

PRO 250 x 150 x 10 :

→ Obergurte (inkl. Fachwerkeskonstr.):  $6 \cdot \left[ 2 \cdot (6,152 \text{ m} + 0,453 + 0,500 + 2,213 + 1,234) + 1 \cdot (1,350 \text{ m} + 12,000) \right] = 219,44 \text{ m}$  11,612 m

$\underbrace{\hspace{10em}}_{13,35 \text{ m}}$  }  $\Sigma = 296,24 \text{ m}$

→ Stützen:  $16 \cdot 4,80 \text{ m} = 76,8 \text{ m}$

QRO 100 x 4: (an Giebelwand):  $4 \cdot 4,333 = 17,332 \text{ m}$

QRO 150 x 10: (Eckstützen):  $4 \cdot 4,80 \text{ m} = 19,2 \text{ m}$

QRO 120 x 8: (Querträger an Stahldach & Längswänden):  $9 \cdot 3,20 \text{ m} \cdot 5 = 144 \text{ m}$

RZO (Zugstäbe)

Giebelwände:  $2 \cdot [2 \cdot (3 \cdot 3,23 + 1 \cdot 3,61)] = 53,2 \text{ m}$

Längswände:  $2 \cdot [2 \cdot (4 \cdot 4,00 \text{ m})] = 64 \text{ m}$

Stahldach:  $2 \cdot [(2 \cdot 3,90 \text{ m}) \cdot 7 + (2 \cdot 3,63) \cdot 4] = 167,28 \text{ m}$

}  $\Sigma = 284,48 \text{ m}$

Abb. 98 Vertikallasten – Profile (Metermenge)

Profillasten

PRO 250 x 150 x 10:  $20,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$

$296,24 \cdot 20,2 = 5984,05 \text{ kg}$

QRO 100 x 4:  $4,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$

$17,332 \cdot 4,1 = 71,06 \text{ kg}$

QRO 150 x 10:  $14,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$

$19,2 \cdot 14,8 = 284,16 \text{ kg}$

QRO 120 x 8:  $9,5 \text{ kg/m}$

$144 \text{ m} \cdot 9,5 = 1368 \text{ kg}$

RZO:  $0,8 \text{ kg/m}$

$284,48 \cdot 0,8 = 227,58 \text{ kg}$

}  $\Sigma = 7934,85 \text{ kg} = 79,35 \text{ kN}$

EigenGew. der ges. Konstruktion:  
 $= 79,35 \text{ kN} + 71,06 = 150,41 \text{ kN}$  ✓

Dubal:  $151,35 \text{ kN}$

Abweichung:  $0,00621 \approx 0,62\%$

Sandwichplatten - Lasten

$g = 0,15 \text{ kN/m}^2$

Dachflächen:  $2 \cdot 6,15 \cdot 16 = 196,8 \text{ m}^2$

Längswände:  $2 \cdot 4,80 \cdot 16 = 153,6 \text{ m}^2$

Giebelwände:  $2 \cdot 4,80 \cdot 12 + 6 \cdot 1,35 = 123,3 \text{ m}^2$

}  $\Sigma = 473,7 \text{ m}^2$

}  $473,7 \text{ m}^2 \cdot 0,15 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 71,06 \text{ kN}$

Abb. 99 Vertikallasten – Summierung Profillasten und Lasten aus Sandwichplatten

Die berechnete Gesamtlast beträgt  $150,41 \text{ kN}$  und liegt somit sehr nah am Dlubalwert von  $151,35 \text{ kN}$ . Die Abweichung von  $0,62 \%$  ist akzeptabel, da die aus Dlubal herausgemessenen Metermengen – vor allem durch die schrägen Abkantungen von Profilen mit Neigungswinkel – nur ungefähre Ergebnisse liefern.

### 3.2.3 Darstellung Rahmen – Achse E

Für einen besseren Einblick in die statische Analyse und die Aluminiumbemessung des Tragwerks, werden zunächst die Ergebnisse für einen gesamten Rahmen dargestellt.  
(gewählt: Rahmen in Achse E)

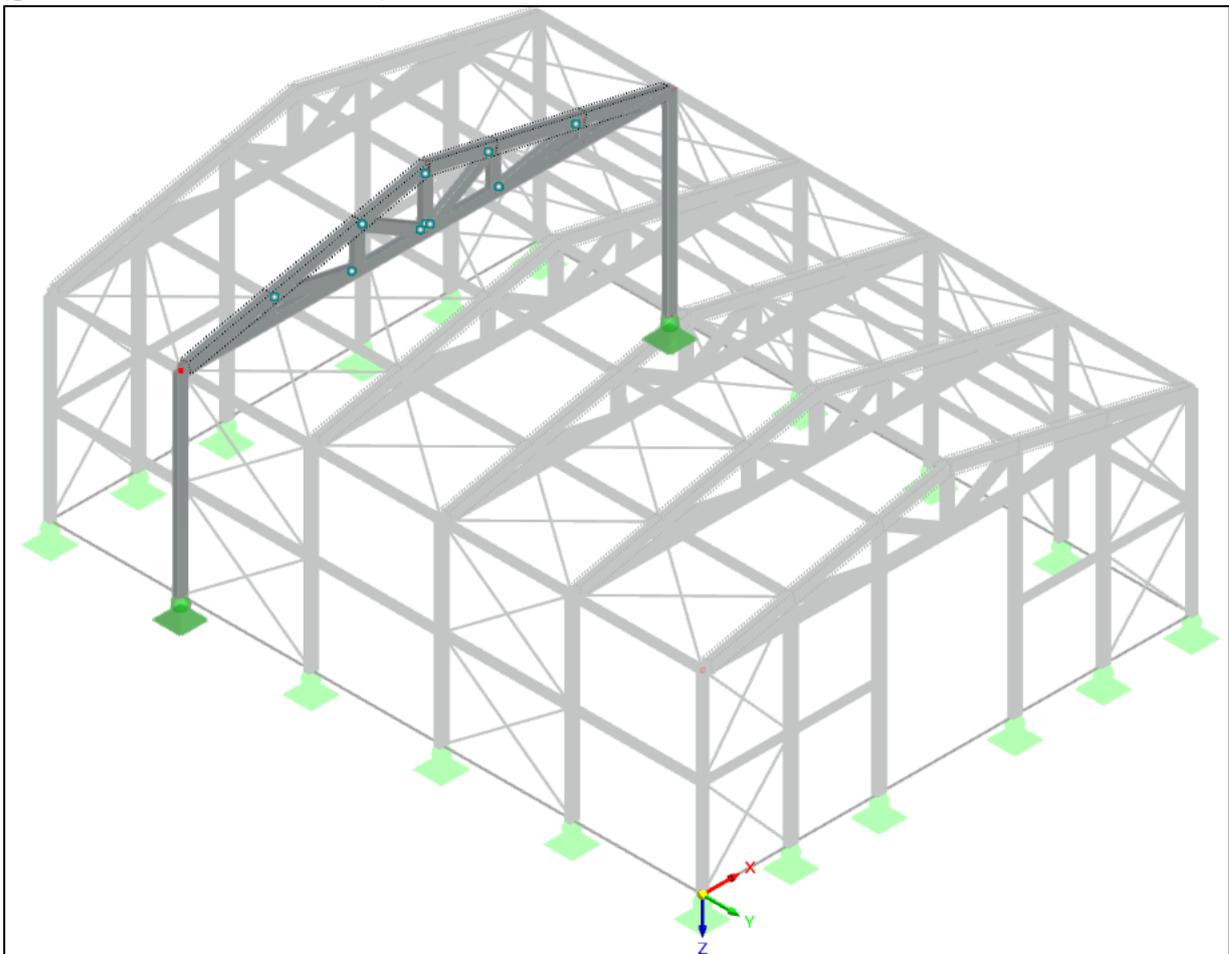
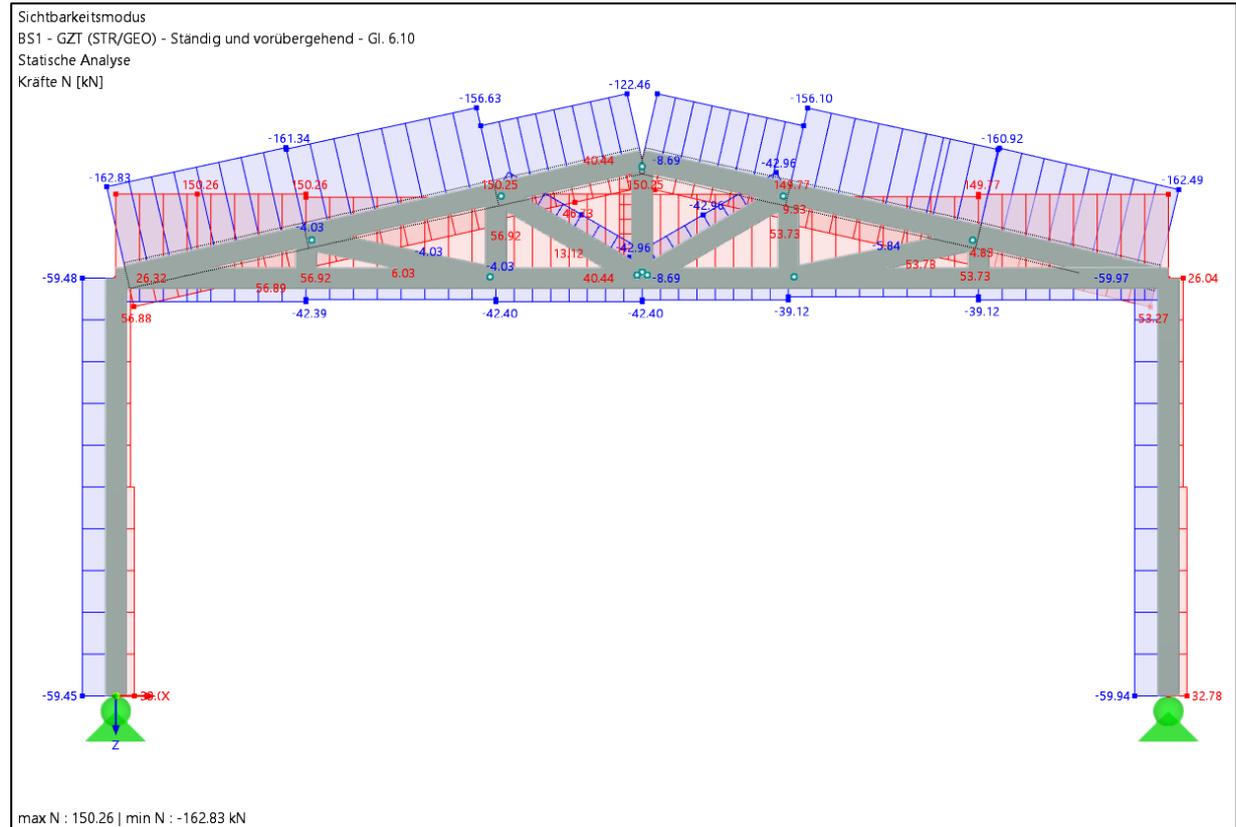
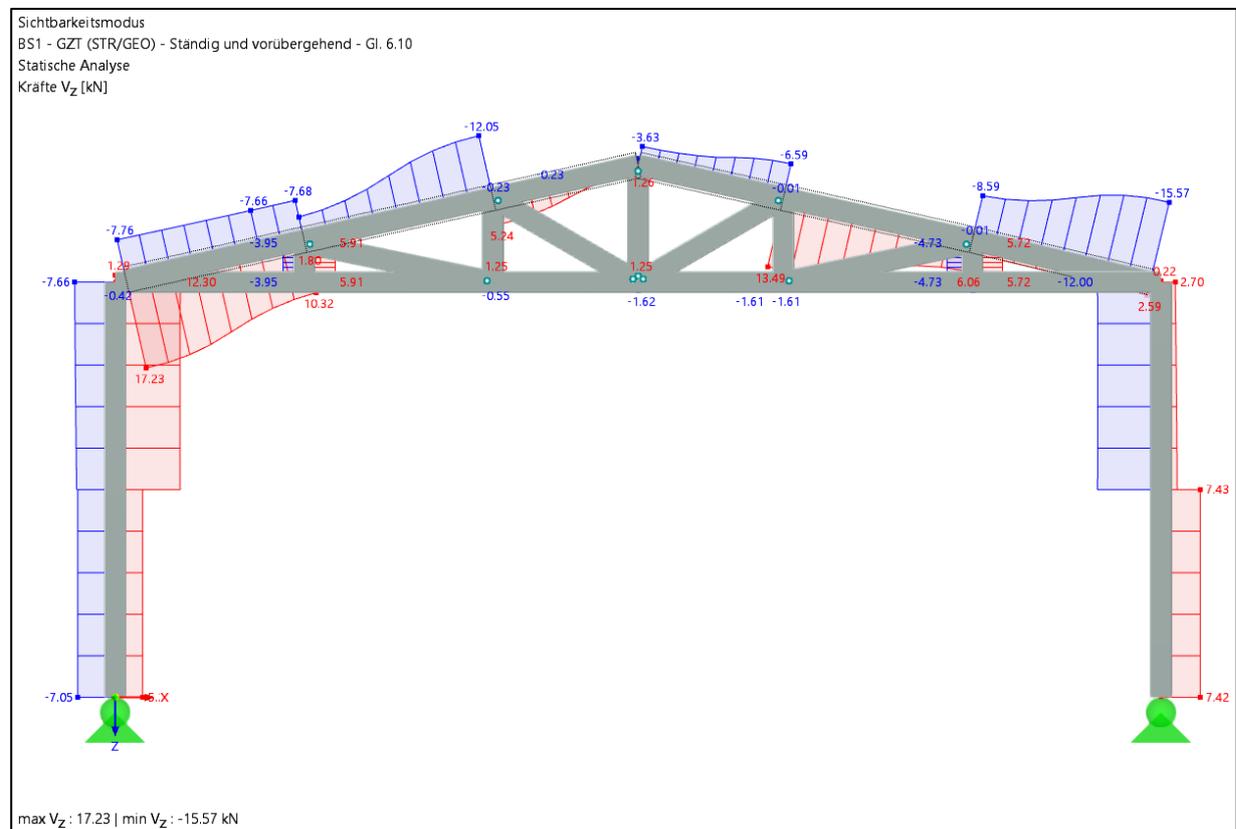


Abb. 100 Rahmenkonstruktion – Achse E

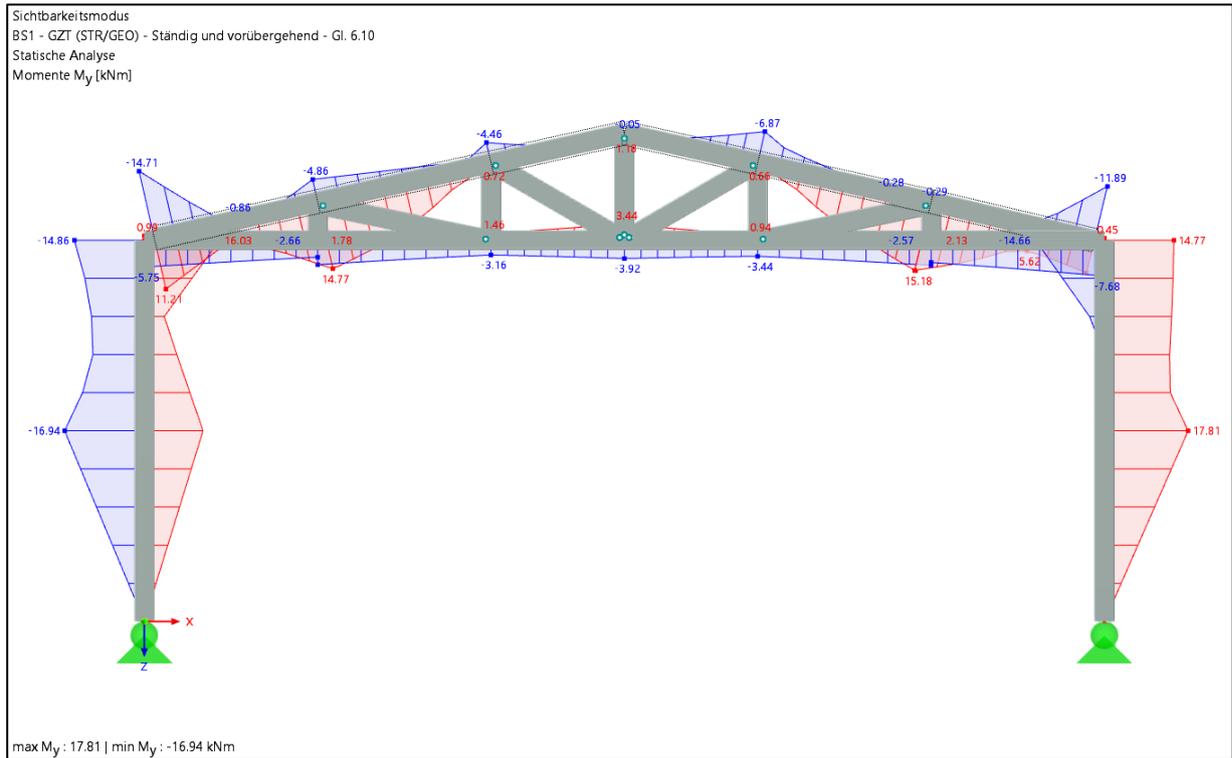
**Maßgebende Bemessungsschnittgrößen**



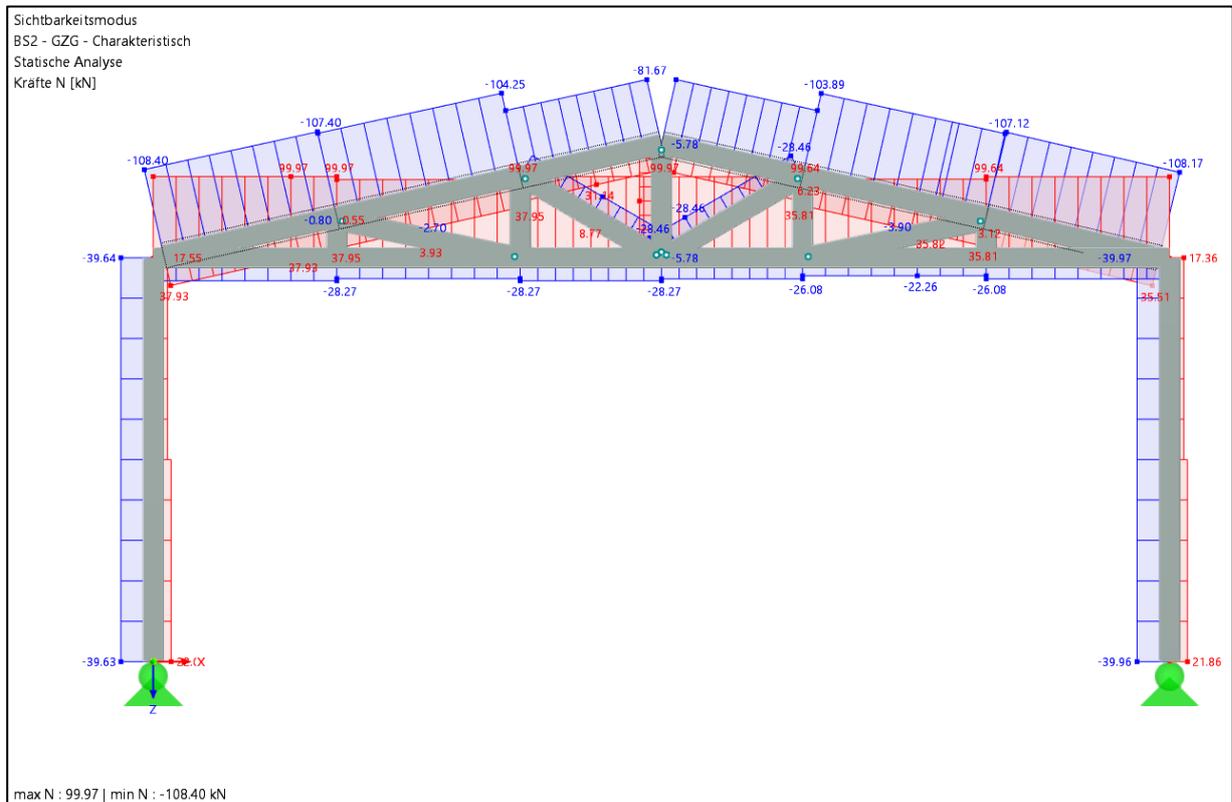
**Abb. 101 max. & min. N für BS1 – GZT**



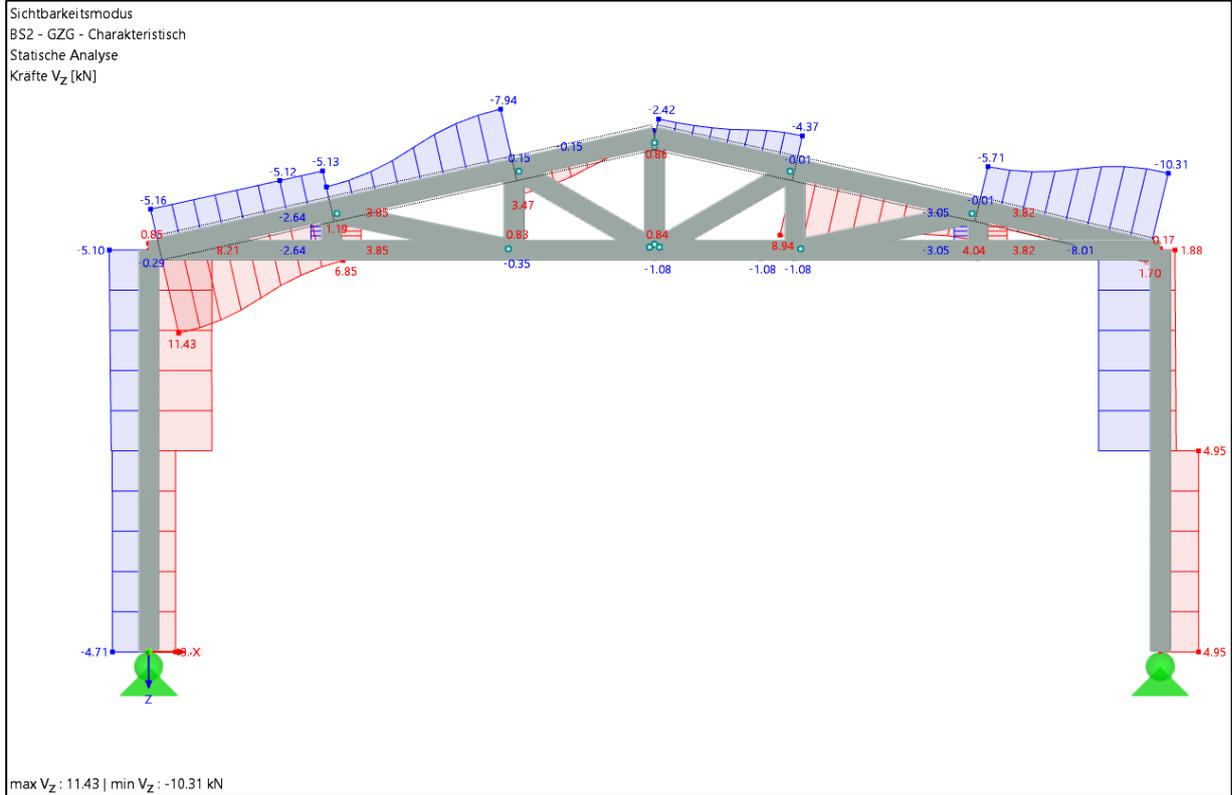
**Abb. 102 max. & min.  $V_z$  für BS1 – GZT**



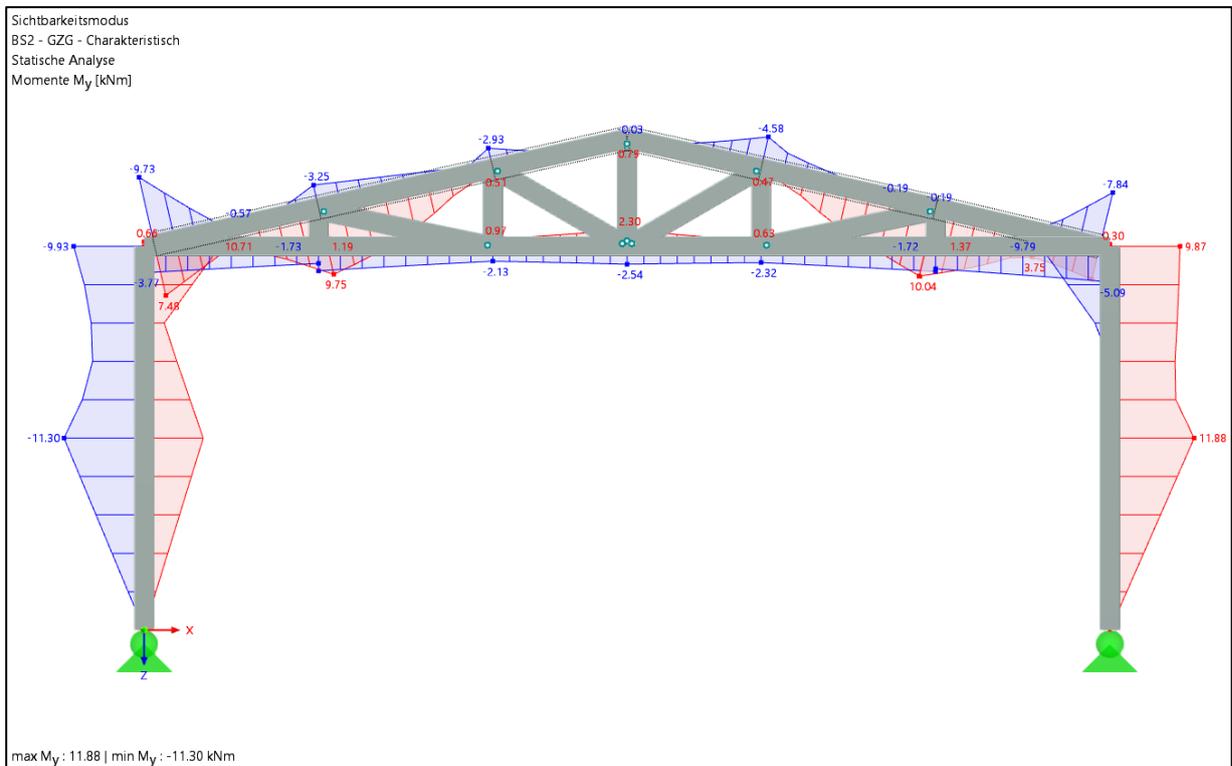
**Abb. 103** max. & min.  $M_y$  für BS1 – GZT



**Abb. 104** max. & min.  $N$  für BS2 – GZG



**Abb. 105** max. & min.  $V_z$  für BS2 – GZG



**Abb. 106** max. & min.  $M_y$  für BS2 – GZG

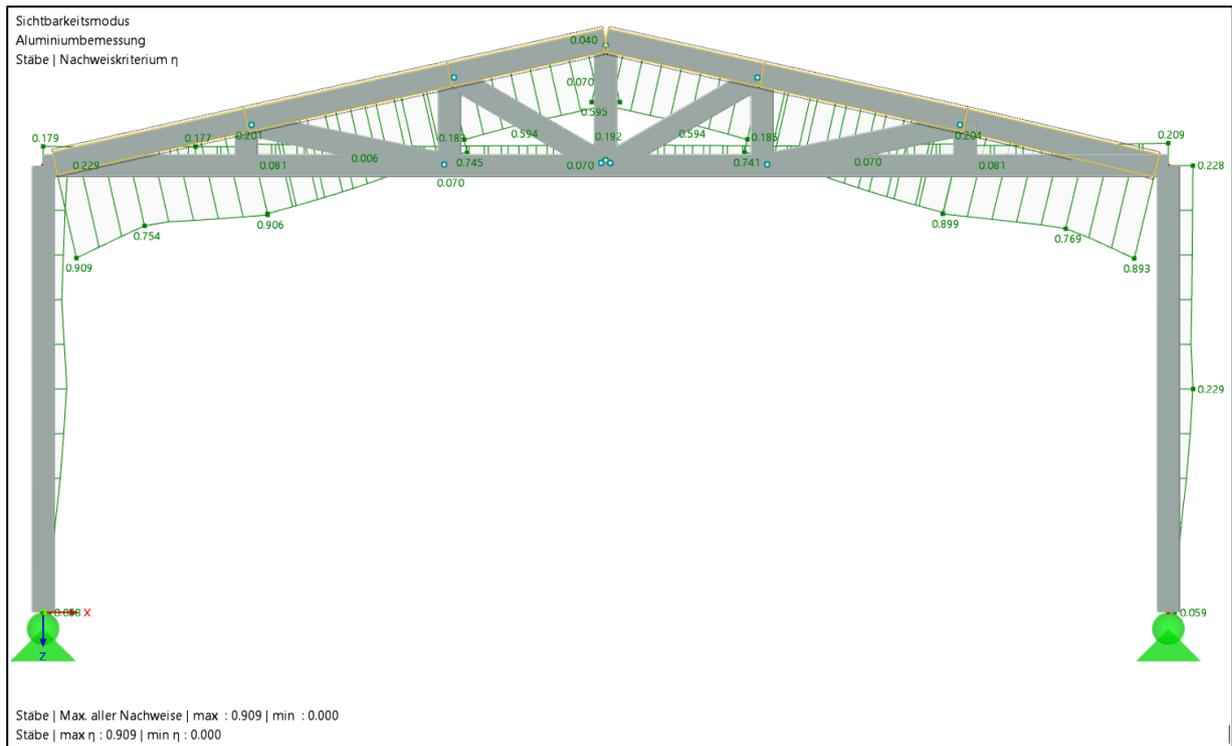
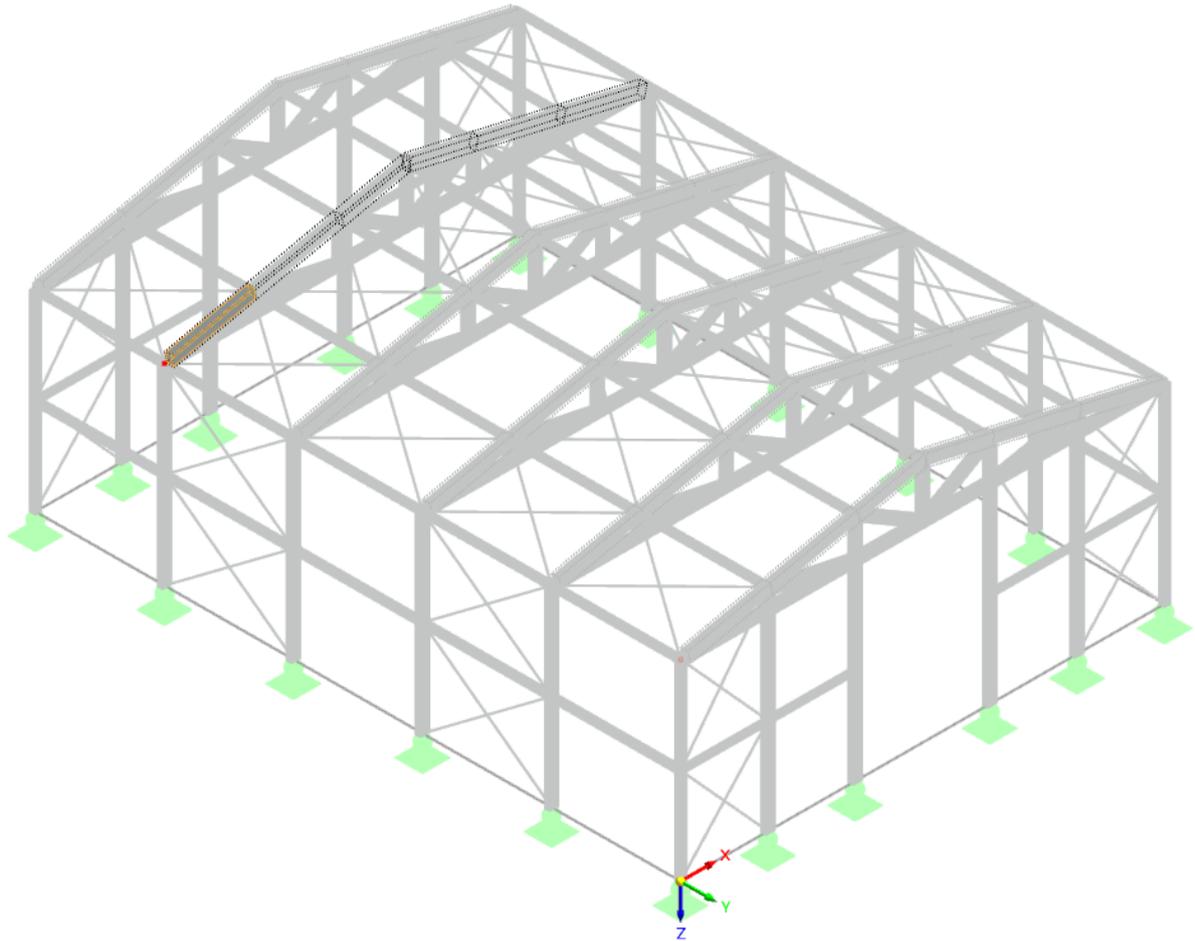


Abb. 107 Max. ( $\eta$ ) aller Nachweise – Aluminiumbemessung für BS1 (GZT) und BS2 (GZG)

### 3.2.4 Pos. 1 – Obergurt (Stab Nr.194)

Der Stab Nr.194 ist Teil des Obergurtes des in Achse E befindlichen Rahmens. Siehe gelb markiertes Profil der folgenden Abbildung:



**Abb. 108** Darstellung Stab Nr.194

Die **statische Analyse** liefert für diesen Stab folgende Ergebnisse:

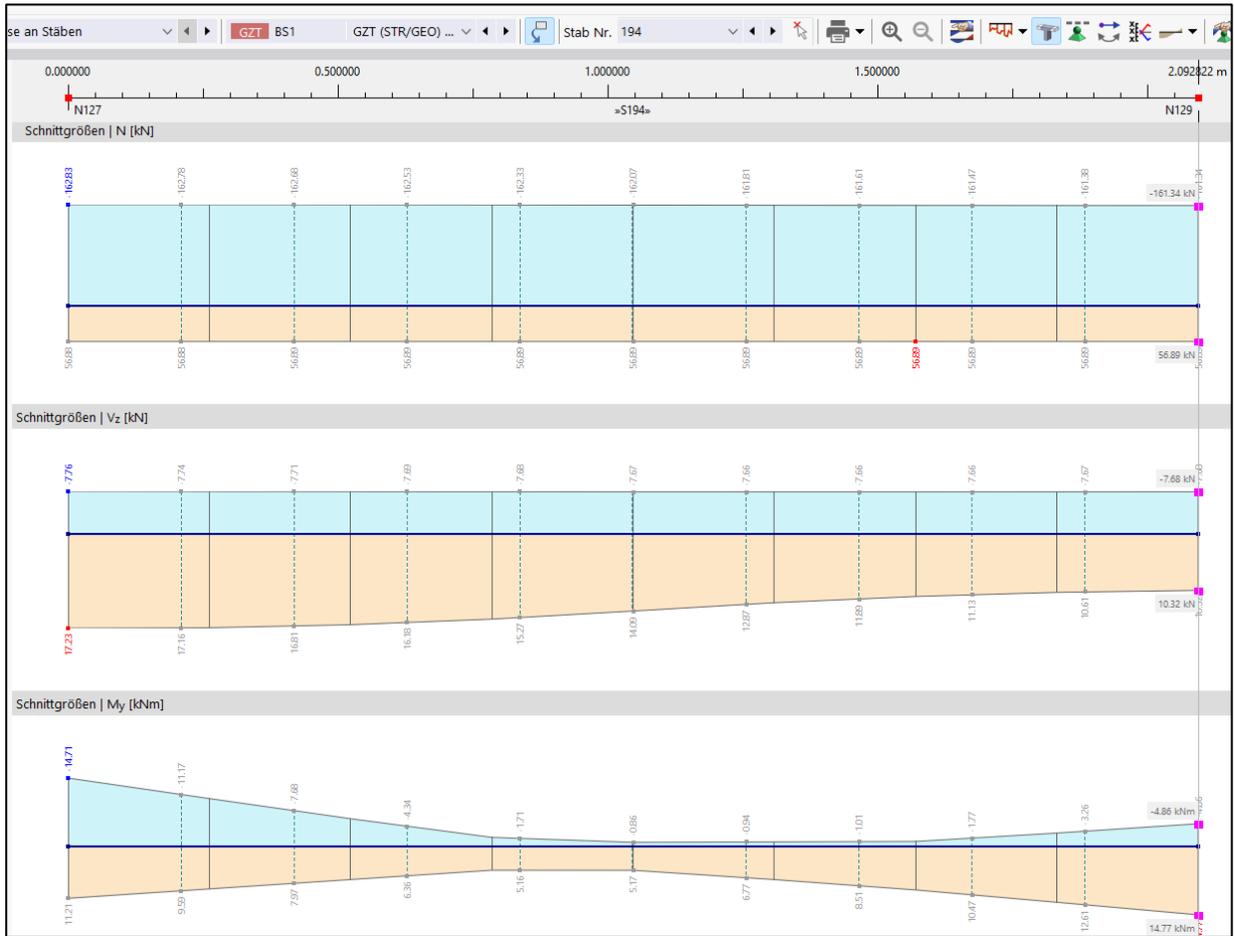


Abb. 109 max. und min. Ergebnisse  $N$ ,  $V_z$  und  $M_y$  für BS1 – GZT

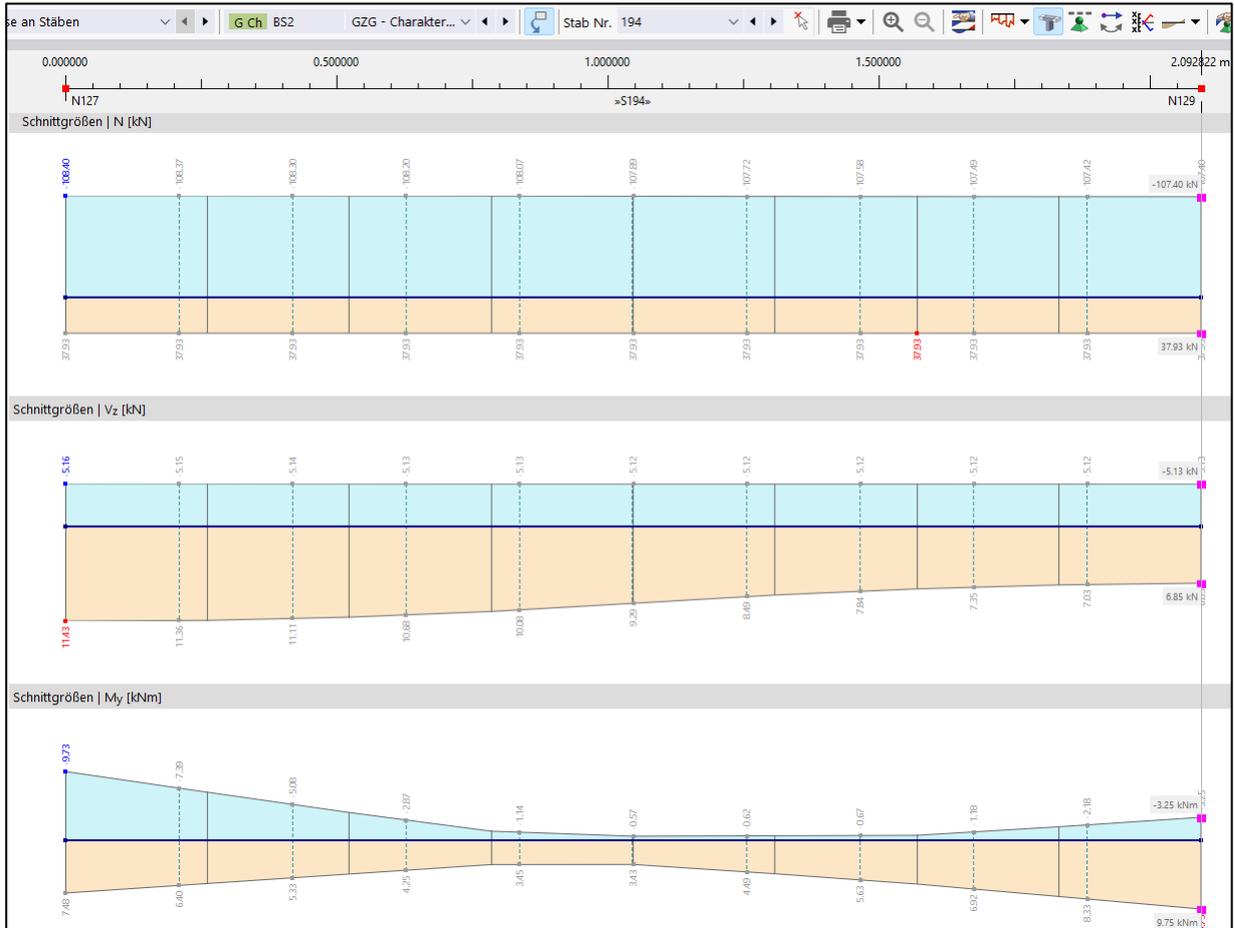


Abb. 110 max. und min. Ergebnisse  $N$ ,  $V_z$  und  $M_y$  für BS2 – GZG

Die Aluminiumbemessung nach DIN 1999 liefert für den Stab (Nr. 194) folgende Ergebnisse:

Stab Nr.	Stabsatz Nr.	Stelle x [m]	Spann.-Punkt Nr.	Bemess.-Situation	Belastung Nr.	Nachweis-Kriterium $\eta$ [-]	Nachweis-Art	Beschreibung
194	Balkenstab   1	RRO 250x150x10   L : 2.092822 m						
	6	0.000000	∞	BS1	LK1	0.000	SP0100.00	Querschnittsnachweis   Vernachlässigbare Schnittgrößen
	6	1.569617	3/4	BS1	LK16	0.056	SP1100.00	Querschnittsnachweis   Zug nach 6.2.3
	6	0.000000	∞	BS1	LK4	0.159	SP1200.00	Querschnittsnachweis   Druck nach 6.2.4
	6	2.092822	∞	BS1	LK15	0.001	SP3100.02	Querschnittsnachweis   Querkraft in y-Achse nach 6.2.6
	6	0.000000	∞	BS1	LK3	0.048	SP3200.02	Querschnittsnachweis   Querkraft in z-Achse nach 6.2.6
	6			BS1	LK15	0.000	SP3710.00	Querschnittsnachweis   Schubbeulen nach 6.2.6(3) und 6.7.4   Querkraft in y-Achse
	6			BS1	LK3	0.000	SP3720.00	Querschnittsnachweis   Schubbeulen nach 6.2.6(3) und 6.7.4   Querkraft in z-Achse
	6			BS1	LK3	0.081	SP3810.00	Querschnittsnachweis   Flanschinduziertes Beulen nach 6.7.7   Vollwandträger
	6			BS1	LK4	0.070	SP3820.00	Querschnittsnachweis   Steginduziertes Beulen nach 6.7.7   Vollwandträger
	6	2.092822	∞	BS1	LK4	0.177	SP4100.03	Querschnittsnachweis   Biegung um y-Achse nach 6.2.5 und 6.2.8
	6	0.000000	∞	BS1	LK3	0.000	SP4700.02	Querschnittsnachweis   Biegung um y-Achse und Schub nach 6.7   Vollwandträger
	6	2.092822	∞	BS1	LK15	0.007	SP5100.03	Querschnittsnachweis   Biegung um z-Achse nach 6.2.5 und 6.2.8
	6	0.000000	∞	BS1	LK3	0.329	SP6410.03	Querschnittsnachweis   Biegung um y-Achse und Normalkraft nach 6.2.9
	6			BS1	LK3	0.000	SP6470.02	Querschnittsnachweis   Biegung um y-Achse, Schub, Normalkraft nach 6.7   Vollwandträger
	6	0.523206	1/4	BS1	LK14	0.097	SP6510.03	Querschnittsnachweis   Biegung um z-Achse und Normalkraft nach 6.2.9
	6	2.092822	∞	BS1	LK4	0.329	SP6710.03	Querschnittsnachweis   Doppelbiegung und Normalkraft nach 6.2.5 - 6.2.9
	6	0.000000	∞	BS1	LK4	0.687	ST1100.00	Stabilität   Biegeknicken um Hauptachse y nach 6.3.1.1 und 6.3.1.2
	6			BS1	LK4	0.176	ST1300.00	Stabilität   Biegeknicken um Hauptachse z nach 6.3.1.1 und 6.3.1.2
	6			BS1	LK3	0.909	ST3100.00	Stabilität   Biegung um y-Achse und zentrischer Druck nach 6.3.3
	6	0.523206	1/4	BS1	LK14	0.495	ST3200.00	Stabilität   Biegung um z-Achse und zentrischer Druck nach 6.3.3
	6	0.000000	∞	BS1	LK4	0.907	ST3300.00	Stabilität   Doppelbiegung und zentrischer Druck nach 6.3.3
	6			BS2	LK23	0.000	SE0100.00	Gebrauchstauglichkeit   Vernachlässigbare Durchbiegungen
	6	2.092822	∞	BS2	LK40	0.011	SE1100.00	Gebrauchstauglichkeit   Durchbiegung in z'-Richtung
	6			BS2	LK26	0.131	SE1200.00	Gebrauchstauglichkeit   Durchbiegung in y'-Richtung

Abb. 111 Nachweisliste der Aluminiumbemessung für BS1 (GZT) und BS2 (GZG)

Alle Nachweise sind erfüllt.

Für den Nachweis „Biegung um die y-Achse und zentrischer Druck“ liefert das Bauteil einen Maximalwert von 0,909 und erfüllt somit noch das Nachweis-Kriterium ( $\eta \leq 1,0$ ).

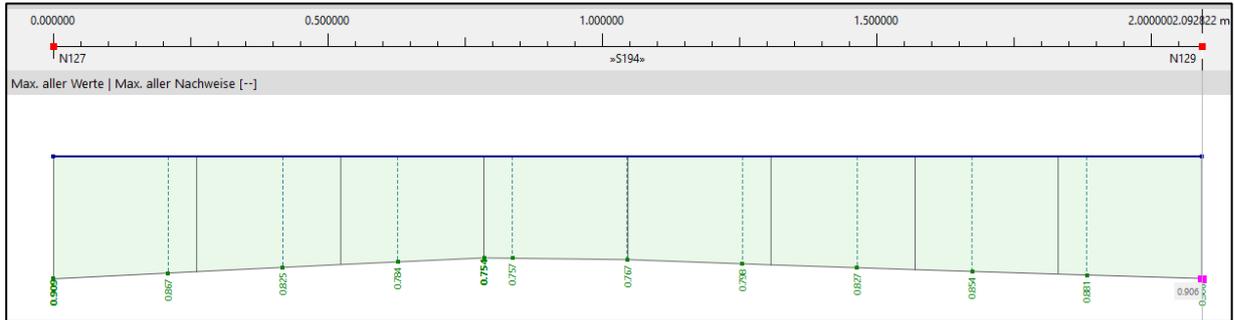


Abb. 112 Max. ( $\eta$ ) aller Nachweise – Aluminiumbemessung für BS1 (GZT) und BS2 (GZG)

Die Ergebnisse einiger (u.A. grenzwertiger) Nachweise wurden **kontrolliert**:

Kontrollrechnungen: Stab 194

Querschnittsnachweis für Zug: (nach DIN EN 1994, 6.2.5)

(Gl. 6.18)  $\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$  hier maßg.: LK16 mit  $N = 56,88 \text{ kN}$

hier  $N_{t,Rd} = N_{o,Rd} = A_{eff} \cdot \frac{f_0}{\gamma_{M1}}$  (Gl. 6.12)

$A_{eff} = 74,90 \text{ cm}^2$  (aus Angaben zum PRO 250 x 150 x 10...)

$f_0 = 150 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$  (aus Tab. 3.2b; 0,2%-Dehngrenze)

$\gamma_{M1} = 1,10$  (s. Tab. 6.1 Teilsicherheitsbeiwerte für GZT)

$\Rightarrow N_{o,Rd} = 74,90 \text{ cm}^2 \cdot \frac{15 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,10} = 1021,36 \text{ kN}$

$\Rightarrow \frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{56,88}{1021,36} = 0,0557 \leq 1,0 \checkmark$

$\hat{=} \text{Dlubal-Wert für diesen NW} = 0,056 \checkmark$

Abb. 113 Handrechnung für Stab Nr.194: Querschnittsnachweis für Zug

Querschnittsnachweis für Druck: (nach 6.2.4)

(Gl. 6.20)  $\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$   $\rightarrow$  hier maßg. LK4 mit  $N = 162,83 \text{ kN}$

$\rightarrow$  es gilt:  $N_{c,Rd} = \min \{ N_{u,Rd}, N_{0,Rd} \} = N_{0,Rd}$

$\Rightarrow \frac{162,83}{1021,36} = 0,1594 \leq 1,0 \checkmark \checkmark$   
 $\hat{=} \text{Dubai-Wert} = 0,159 \checkmark$

Stabilität - Biegeknicken um Hauptachse y

(Gl. 6.48)  $\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$   $\rightarrow$  maßg.: LK4 mit  $N_{max} = 162,83 \text{ kN}$

$\rightarrow$  hier:  $N_{b,Rd} = k \cdot \chi \cdot w_x \cdot A_{eff} \cdot \frac{f_0}{\gamma_{M1}}$

$k=1$ ;  $\chi = 1 / (\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}) =$  (Gl. 6.50)

dabei ist  $\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2]$  (Gl. 6.51)

und  $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{\lambda_{eff} \cdot f_0}{N_{cr}}}$  ( " )

$N_{cr} = N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E I_y}{k_y^2 \cdot L^2}$  (N.A. I 3, I.14)

Abb. 114 Handrechnung für Stab Nr.194: Querschnittsnachweis für Druck, Stabilitätsnachweis: Biegeknicken um Hauptachse y

$$E = 70.000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 7.000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$I_y = 6174 \text{ cm}^4$$

aus Profil-  
angaben

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 7.000 \text{ kN/cm}^2 \cdot 6174 \text{ cm}^4}{1^2 \cdot (120,5 \text{ cm})^2} = 29375,24 \text{ N}$$

$$= 293,758 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{74,90 \text{ cm}^2 \cdot 15 \text{ kN/cm}^2}{293,758 \text{ kN}}} = 1,956$$

für Werkstoff d. Klasse A:

$$\alpha = 0,20 ; \lambda_0 = 0,10$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + 0,20 \cdot (1,956 - 0,10) + 1,956^2]$$

$$= 2,599$$

$$\chi = 1 / (2,599 + \sqrt{2,599^2 - 1,956^2})$$

$$= 0,232$$

$w_x = 1,0$  (weil nur eine Axialkraft wirkt)

$$\Rightarrow N_{b,Rd} = 1 \cdot 0,232 \cdot 1,0 \cdot 74,90 \text{ cm}^2 \cdot \frac{15 \text{ kN/cm}^2}{1,10}$$

$$= 236,956 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{162,83}{236,956} = \underline{\underline{0,687}} \leq 1,0 \checkmark$$

Abb. 115 Handrechnung für Stab Nr.194: Stabilitätsnachweis: Biegeknicken um Hauptachse y

Querschnittsnachweis für Biegung um y-Achse

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1,0 \quad (\text{DIN EN 1999-1; 6.2.5.1, Gl. 6.23})$$

hier:  $M_{Rd} = M_{0,Rd} = \alpha \cdot W_{el} \cdot \frac{f_0}{\gamma_{M_1}} = 1,237 \cdot (494 \cdot 10^{-6}) \text{ m}^3 \cdot \frac{150.000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{1,10} = 83,33 \text{ kNm}$

↓  
Tab 6.4.:  $\alpha = \frac{W_{pl}}{W_{el}} = \frac{611,0}{494,0} = 1,237$   
Werte aus Profinfo

$$\Rightarrow \frac{14,71}{83,33} = 0,177 \leq 1 \quad \checkmark$$

**Abb. 116 Handrechnung für Stab Nr.194: Querschnittsnachweis für Biegung um y-Achse**

Stabilitätsnachweis für Biegung um y-Achse & zentrischer Druck

Nachweiskriterium für Hohlquerschnitte & Röhre:

$$\left( \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,min}} \right)^{\psi_c} + \left[ \left( \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \right)^{1,7} + \left( \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \right)^{1,7} \right]^{0,6} \leq 1,00 \quad (6.62)$$

wird gem. 6.2.8(2)  
vernachlässigt  
da  $V_{Ed} \leq 0,5 V_{Rd}$

$$N_{b,Rd,min} = \min \{ N_{y,b,Rd}; N_{z,b,Rd} \}$$

$$= 236,956 \text{ kN} \quad (\text{s. Stabilitäts-NW für Biegeknicken um Hauptachse } y)$$

$$\psi_c = 0,8$$

$$M_{y,Rd} = 83,33 \quad (\text{s. Querschnitts-NW für Biegung um } y\text{-Achse})$$

$$\left( \frac{162,59}{236,956} \right)^{0,8} + \left[ \left( \frac{14,64}{83,33} \right)^{1,7} \right]^{0,6} = 0,9095 \leq 1 \quad \checkmark$$

(Schnittgr.  $N_{Ed}$  &  $M_{y,Ed}$  für die hier maßg. Belastung LK3)

**Abb. 117 Handrechnung für Stab Nr.194: Stabilitätsnachweis: Biegung um y-Achse & zentrischer Druck**

### 3.2.5 Pos. 2 – Stütze

Position 2 ist die linke Stütze des in Achse E liegenden Rahmens. Siehe gelb markiertes Profil:

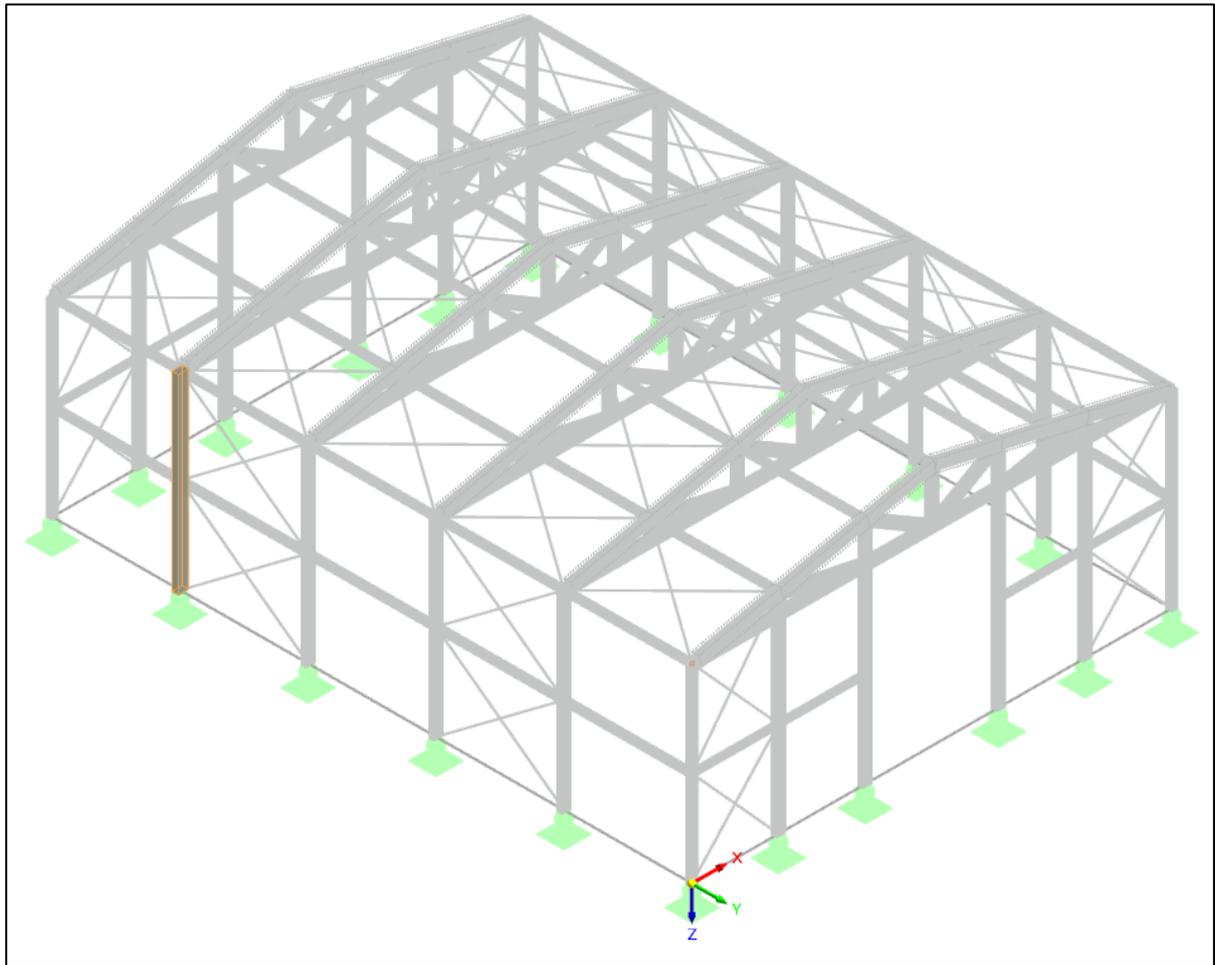


Abb. 118 Darstellung Pos. 2 – Stütze

Die **statische Analyse** liefert für die Stütze folgende Ergebnisse:

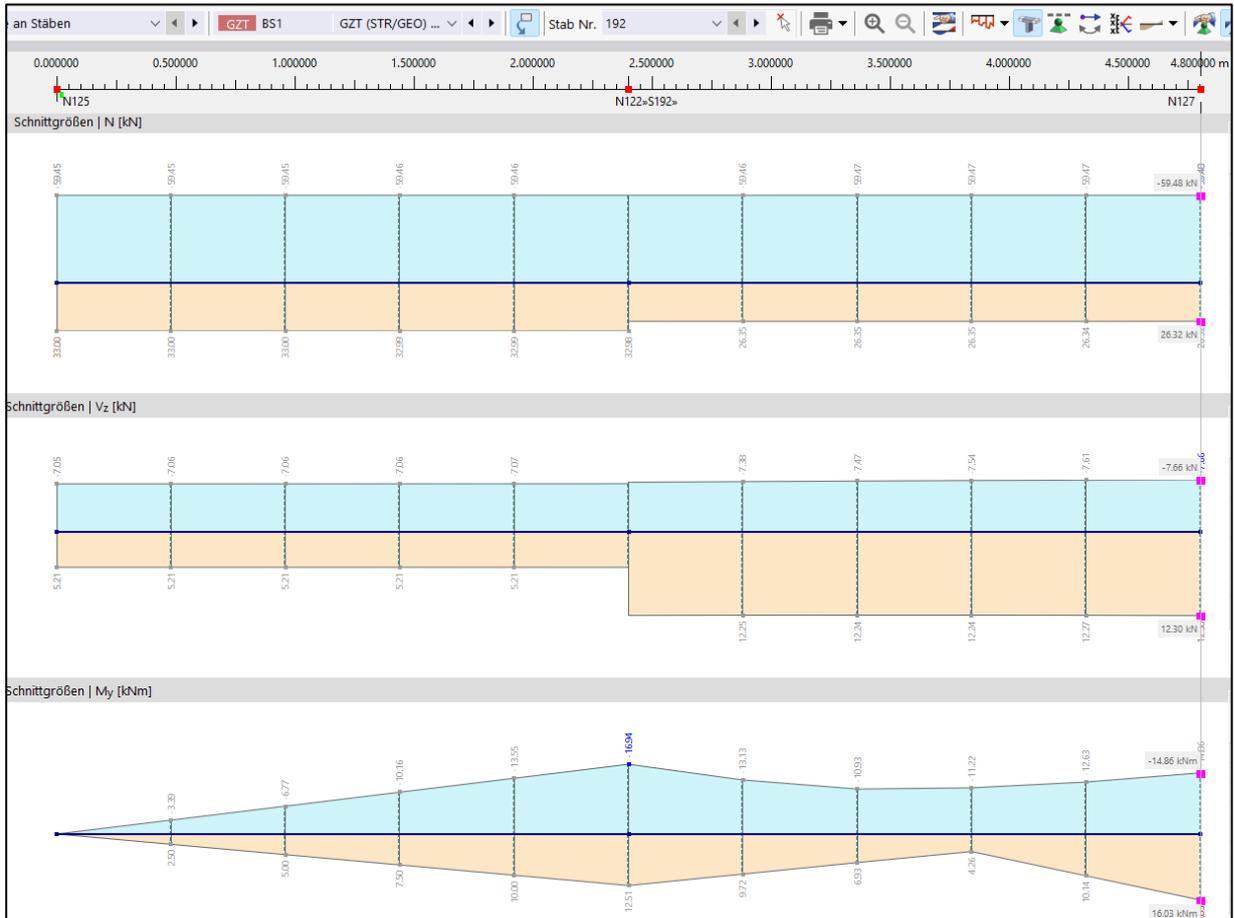


Abb. 119 max. und min. Ergebnisse  $N$ ,  $V_z$  und  $M_y$  für BS1 – GZT

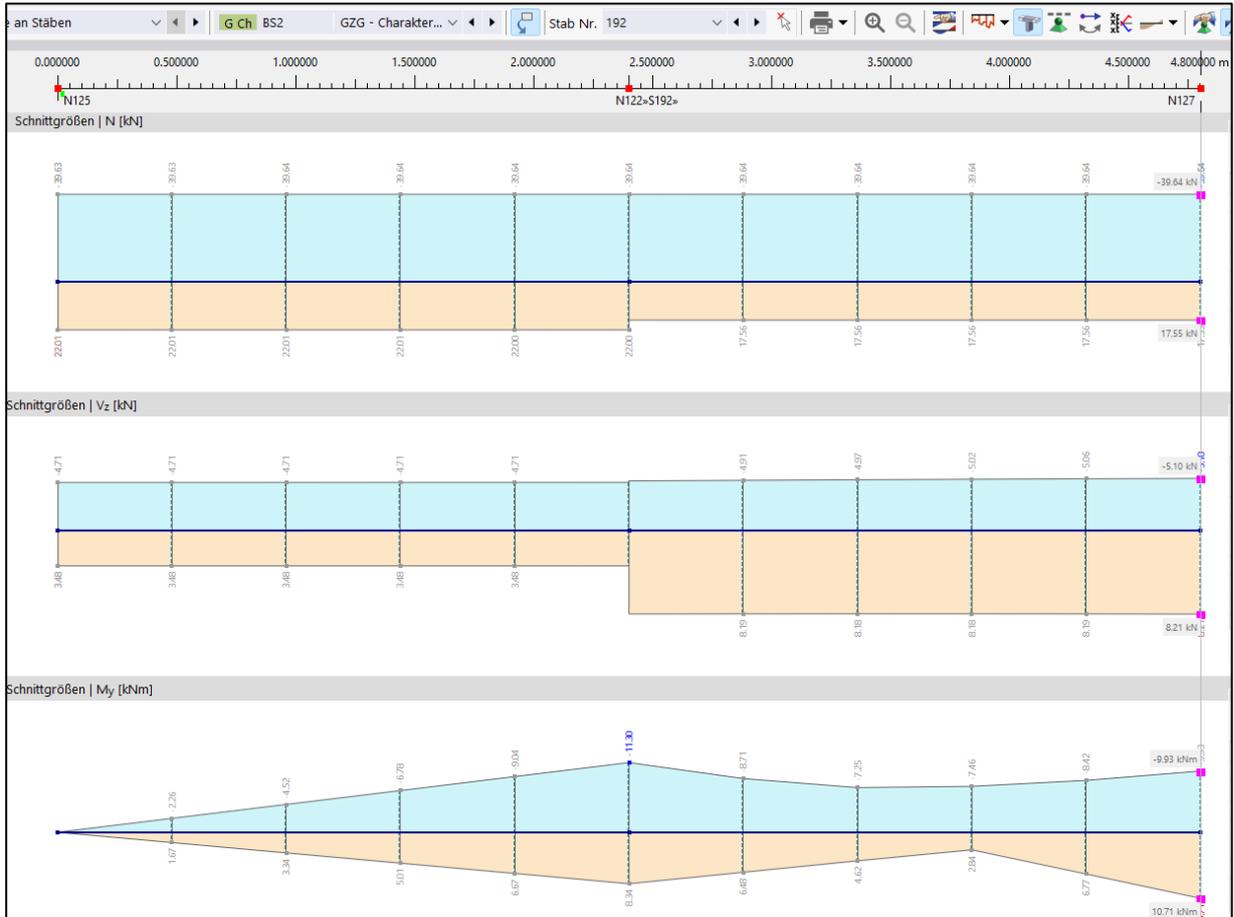


Abb. 120 max. und min. Ergebnisse  $N$ ,  $V_z$  und  $M_y$  für BS2 – GZG

Die Aluminiumbemessung nach DIN 1999 liefert für die Stütze die folgenden Ergebnisse:

Stab Nr.	Stabsatz Nr.	Stelle x [m]	Spann-Punkt Nr.	Bemess-Situation	Belastung Nr.	Nachweis-Kriterium $\eta$ [-]	Nachweis-Art	Beschreibung	
192	Balkenstab   1 - RRO 250x150x10   L : 4.800000 m	0.000000	≠	BS1	LK1	0.000	✓	SP0100.00	Querschnittsnachweis   Vernachlässigbare Schnittgrößen
				BS1	LK16	0.032	✓	SP1100.00	Querschnittsnachweis   Zug nach 6.2.3
		4.800000	≠	BS1	LK4	0.058	✓	SP1200.00	Querschnittsnachweis   Druck nach 6.2.4
				BS1	LK4	0.003	✓	SP3100.02	Querschnittsnachweis   Querkraft in y-Achse nach 6.2.6
				BS1	LK16	0.034	✓	SP3200.02	Querschnittsnachweis   Querkraft in z-Achse nach 6.2.6
				BS1	LK4	0.000	✓	SP3710.00	Querschnittsnachweis   Schubbeulen nach 6.2.6(3) und 6.7.4   Querkraft in y-Achse
		0.000000	≠	BS1	LK3	0.000	✓	SP3720.00	Querschnittsnachweis   Schubbeulen nach 6.2.6(3) und 6.7.4   Querkraft in z-Achse
				BS1	LK3	0.081	✓	SP3810.00	Querschnittsnachweis   Flanschinduziertes Beulen nach 6.7.7   Vollwandträger
		0.480000	≠	BS1	LK4	0.070	✓	SP3820.00	Querschnittsnachweis   Steginduziertes Beulen nach 6.7.7   Vollwandträger
				BS1	LK18	0.203	✓	SP4100.03	Querschnittsnachweis   Biegung um y-Achse nach 6.2.5 und 6.2.8
		2.400000	1/2	BS1	LK3	0.000	✓	SP4700.02	Querschnittsnachweis   Biegung um y-Achse und Schub nach 6.7   Vollwandträger
		0.480000	≠	BS1	LK18	0.009	✓	SP5100.03	Querschnittsnachweis   Biegung um z-Achse nach 6.2.5 und 6.2.8
		2.400000	1/2	BS1	LK4	0.000	✓	SP6310.02	Querschnittsnachweis   Querkraft in y-Achse und Normalkraft nach 6.2.6 und 6.2.10
		0.000000	≠	BS1	LK3	0.000	✓	SP6320.02	Querschnittsnachweis   Querkraft in z-Achse und Normalkraft nach 6.2.6 und 6.2.10
		4.800000	≠	BS1	LK13	0.196	✓	SP6410.03	Querschnittsnachweis   Biegung um y-Achse und Normalkraft nach 6.2.9
		0.480000	≠	BS1	LK3	0.000	✓	SP6470.02	Querschnittsnachweis   Biegung um y-Achse, Schub, Normalkraft nach 6.7   Vollwandträger
		2.400000	1/2	BS1	LK22	0.190	✓	SP6610.03	Querschnittsnachweis   Doppelbiegung nach 6.2.5 - 6.2.9
		4.800000	≠	BS1	LK9	0.229	✓	SP6710.03	Querschnittsnachweis   Doppelbiegung und Normalkraft nach 6.2.5 - 6.2.9
		0.000000	≠	BS2	LK23	0.000	✓	SE0100.00	Gebrauchstauglichkeit   Vernachlässigbare Durchbiegungen
		2.400000	1/2	BS2	LK32	0.205	✓	SE1100.00	Gebrauchstauglichkeit   Durchbiegung in z-Richtung
BS2	LK40			0.013	✓	SE1200.00	Gebrauchstauglichkeit   Durchbiegung in y-Richtung		

Abb. 121 Nachweisliste der Aluminiumbemessung für BS1 (GZT) und BS2 (GZG)

Alle Nachweise sind erfüllt.

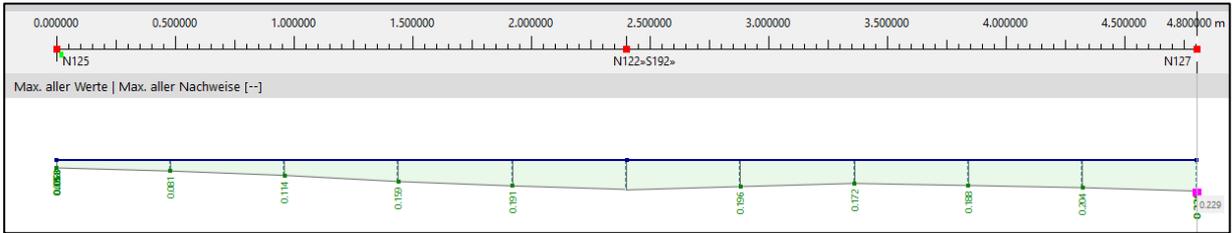


Abb. 122 Max. ( $\eta$ ) aller Nachweise – Aluminiumbemessung für BS1 (GZT) und BS2 (GZG)

Einige Ergebnisse wurden **kontrolliert**:

Für die Kontrollrechnungen habe ich mir u. A. den Normalkraftverlauf für Eigengewicht ausgesucht. Dieser ergibt sich in der Dlubal Software folgendermaßen:

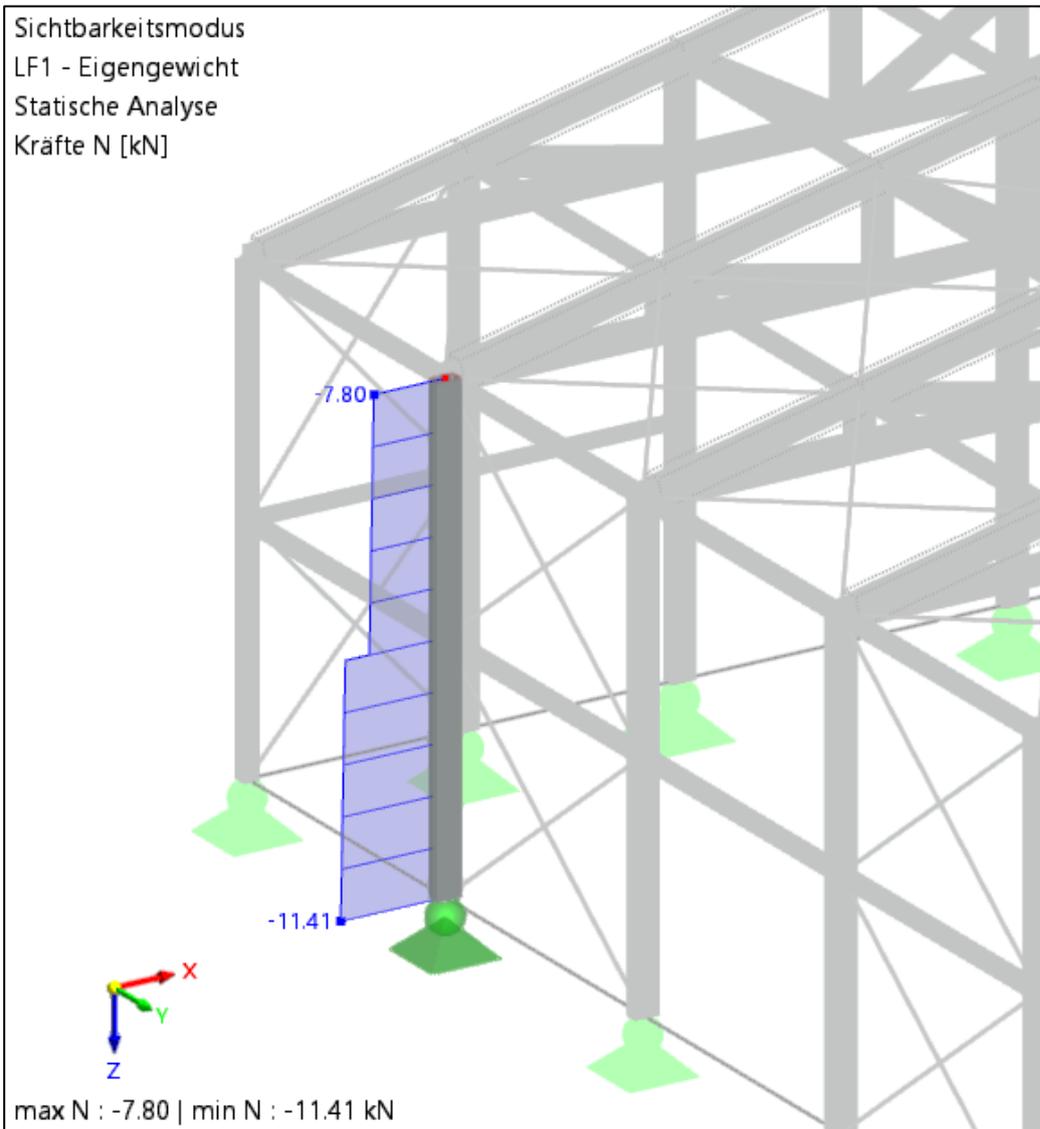
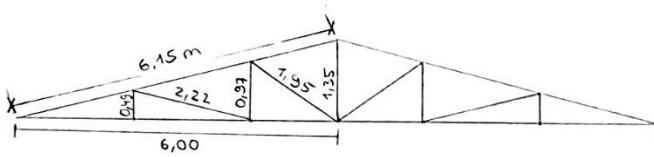


Abb. 123 max. & min.  $N$  für LF1 (Eigengewicht)

In der Kontrollrechnung werden alle auf die gewählte Stütze wirkenden Lasten summiert und mit dem Dlubalwert verglichen. Durch grobe Längenabmessungen der Profile können in der Lastsumme Ungenauigkeiten entstehen, diese sollten jedoch keine große Abweichung verursachen.

Kontrollrechnung: Lasten auf Stütze (Slab 192)

1) Lasten aus Fachwerksprofilen:



$$L_{ges} = 6,15 + 1,95 + 0,97 + 2,22 + 0,49 + 6,00 + \frac{1,35}{2} = 18,45 \text{ m}$$

$$\text{PRO } 250 \times 150 \times 10 : 20,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$\Rightarrow \text{Profillast} = 18,45 \text{ m} \cdot 20,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 372,69 \text{ kg}$$

2) Lasten aus Querträgern:

$$= 9,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot (3,5 \cdot 3,2 \text{ m}) = 106,4 \text{ kg}$$

3) Lasten aus Zugstäben:

$$= 0,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot (2 \cdot 3,895 \text{ m} + 1 \cdot 3,627 \text{ m} + 0,5 \cdot 4,0 \text{ m}) = 10,73 \text{ kg}$$

4) Last aus Dacheindeckung:

$$= 0,15 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 3,2 \text{ m} \cdot 6,15 \text{ m} = 2,95 \text{ kN}$$

$\Rightarrow$  Gesamtlast auf Stütze

$$= 4,90 \text{ kN} + 2,95 \text{ kN} = 7,85 \text{ kN}$$

$N$  (Dlubal) = 7,80 kN  
Abweichung = 0,6% ✓

$\Sigma = 489,82 \text{ kg}$   
 $\approx 4,90 \text{ kN}$

$\downarrow 7,85 \text{ kN}$   
 $\downarrow 7,80 \text{ kN}$

für weitere Berechnung:

Abb. 124 Kontrollrechnung: Normalkraftverlauf für Eigengewicht

N-Verlauf für Eigengewicht

bis Stützenmitte:  $\left(\frac{4,8\text{m}}{2} \cdot 20,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}}\right) : 100 \approx 0,48 \text{ kN}$

$\Rightarrow N_{\text{Mitte } 1} = 7,80 + 0,48 = \underline{8,28 \text{ kN}}$  ✓  
 $\hat{=} \text{Dubal-Wert } (= 8,22)$

ab Stützenmitte:

↳ Lasten aus Querträgern =  $(3,2\text{m} \cdot 9,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}}) : 100 = 0,304 \text{ kN}$

↳ - - - Wandpaneelen =  $3,2\text{m} \cdot 4,8\text{m} \cdot 0,15 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 2,304 \text{ kN}$

$\Sigma = 2,604 \text{ kN}$

$\Rightarrow N_{\text{Mitte } 2} = 8,28 + 2,604 = \underline{10,88}$  } Abweichung: 0,37% ✓  
 Dubal Wert = 10,92

Stützenende:  $N_{\text{Ende}} = 10,92 + \left[\left(\frac{4,8}{2} \cdot 20,2\right) : 100\right] = \underline{11,404}$  } Abw.: 0,003% ✓  
 Dubal-Wert = 11,41 ✓

**Abb. 125 Kontrollrechnung: Normalkraftverlauf für Eigengewicht**

Des weiteren wurde der Nachweis für Durchbiegung in z-Richtung überprüft:

Kontrollrechnung für NW im GZG

→ für Durchbiegung in z-Richtung

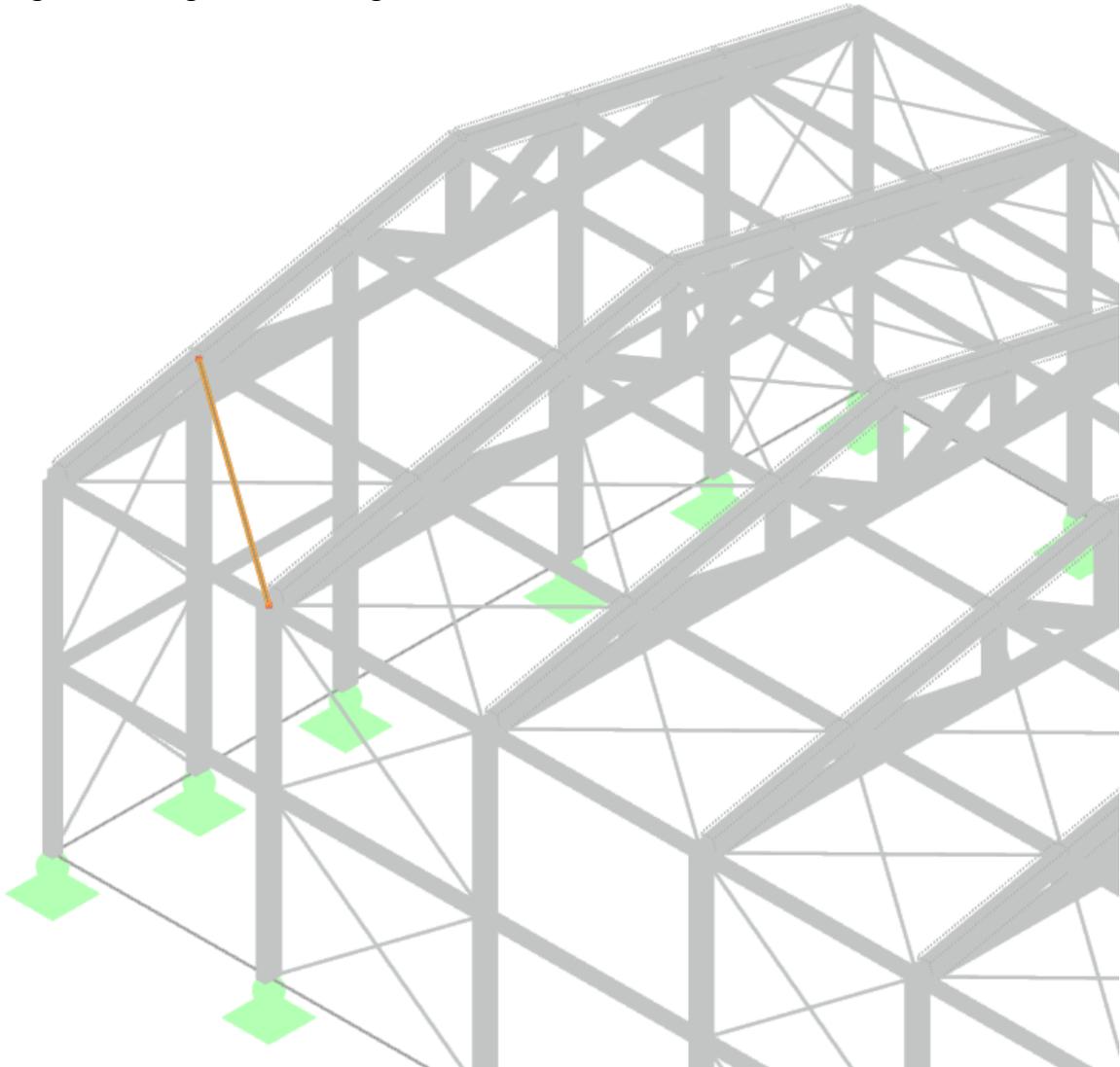
$w_{\text{lim}} = \frac{4,8\text{m}}{200} = 0,024 \text{ m} = 24 \text{ mm}$

$\eta = \frac{w_{\text{ges,z}}}{w_{\text{lim}}} = \frac{4,9\text{mm}}{24 \text{ mm}} = 0,20416 \leq 1,0$  ✓  
→ Gesamtdurchbiegung der LK 32 (GZG)

**Abb. 126 Kontrollrechnung: Nachweis für Durchbiegung in z-Richtung**

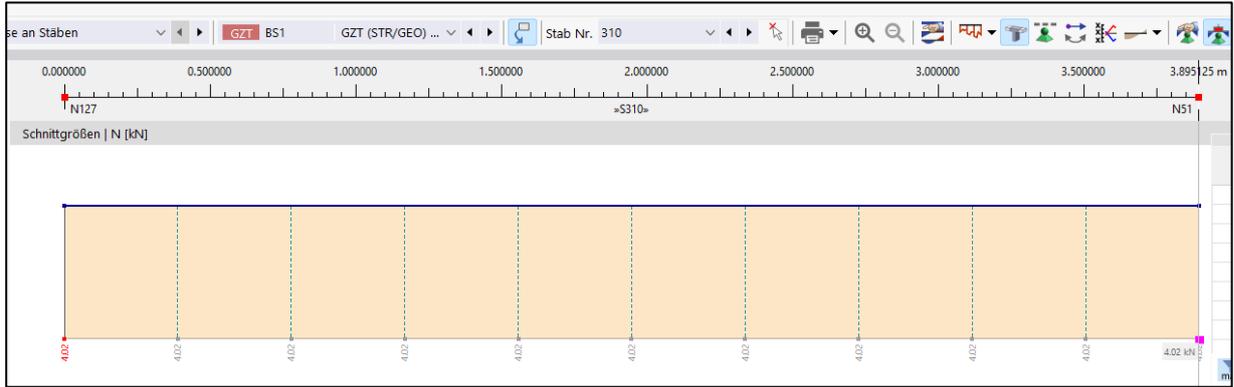
### 3.2.6 Pos. 3 – Dachverband

Im Folgenden wird ein Zugstab, der zwischen dem Obergurt in Achse E und der Giebelwand spannt, genauer dargestellt. Siehe gelb markiertes Profil:

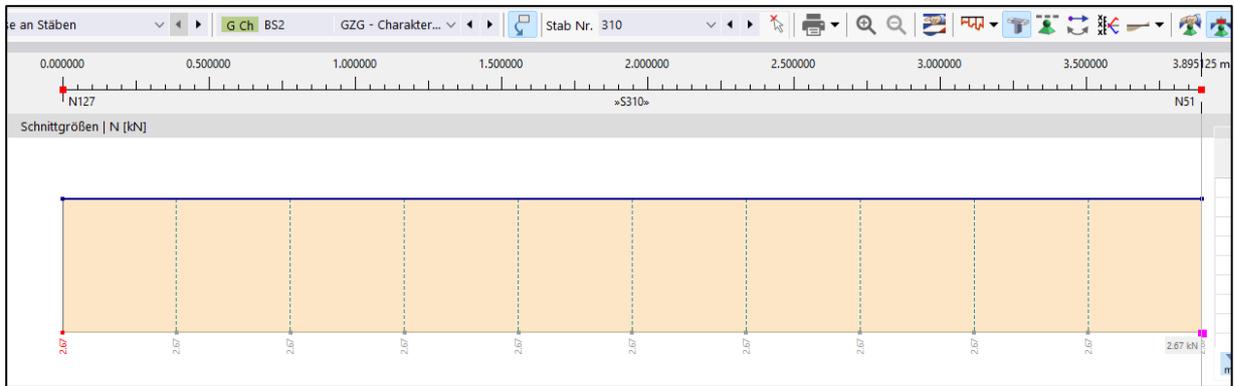


**Abb. 127** Darstellung Zugstab (Dachverband)

Die **statische Analyse** für diesen Stab liefert die folgenden Normalkräfte:



**Abb. 128** max. Ergebnisse  $N$  für BS1 – GZT

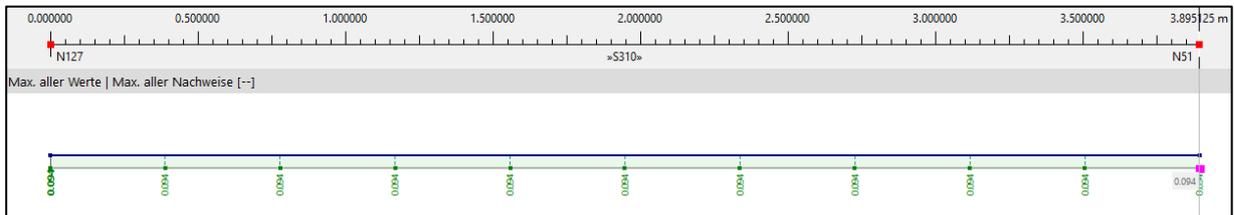


**Abb. 129** max. Ergebnisse  $N$  für BS2 – GZG

Die **Aluminiumbemessung** nach DIN 1999 liefert für den Zugstab folgende Ergebnisse:

Stab Nr.	Stabsatz Nr.	Stelle x [m]	Spann.-Punkt Nr.	Bemess.-Situation	Belastung Nr.	Nachweis-Kriterium $\eta$ [–]	Nachweis-Art	
310	Zugstab   3 - R 20   L : 3.895125 m	0.000000	N127	BS1	LK1	0.000	SP0100.00	Querschnittsnachweis   Vernachlässigbare Schnittgrößen
				BS1	LK4	0.094	SP1100.00	Querschnittsnachweis   Zug nach 6.2.3
				BS2	LK23	0.000	SE0100.00	Gebrauchstauglichkeit   Vernachlässigbare Durchbiegungen

**Abb. 130** Nachweisliste der Aluminiumbemessung für BS1 (GZT) und BS2 (GZG)



**Abb. 131** Max. ( $\eta$ ) aller Nachweise – Aluminiumbemessung für BS1 (GZT) und BS2 (GZG)

Mit dem Wert der max. Normalkraft für die BS1 (GZT), wird der Querschnittsnachweis für Zug kontrollgerechnet:

Querschnittsnachweis : Zug

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad (\text{Gl. 6.17})$$

hier:  $N_{t,Rd} = A_g \cdot f_0 / \gamma_{M_1}$  (Gl. 6.18)  
aus Profinfo

$$= 314 \text{ mm}^2 \cdot \frac{150 \text{ N/mm}^2}{1,10} = 42,82 \text{ kN} = N_{o,Rd}$$

$N_{Ed}$  aus stat. Analyse N-Verlauf :  $N_{Ed} = 4,02 \text{ kN}$  (LK 4 maßg.)

$$\Rightarrow \frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{4,02}{42,82} = 0,094 \leq 1,0 \quad \checkmark$$

Abb. 132 Kontrollrechnung: Querschnittsnachweis für Zug

### 3.2.7 Pos. 4 – Diagonales Profil aus Fachwerkskonstruktion

Ein diagonales Profil aus der Fachwerkskonstruktion in Achse E wird im Folgenden bemessen. Siehe gelb markiertes Profil:

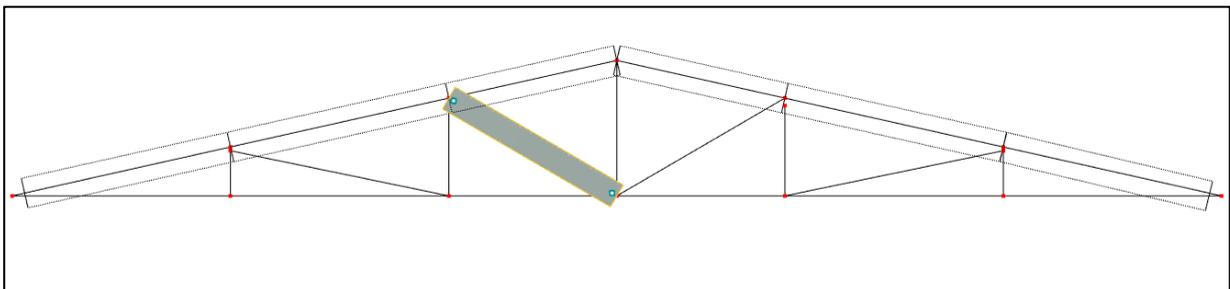


Abb. 133 Darstellung Fachwerksstab (diagonal)

Die **statische Analyse** für den Stab liefert die folgenden Normalkräfte:

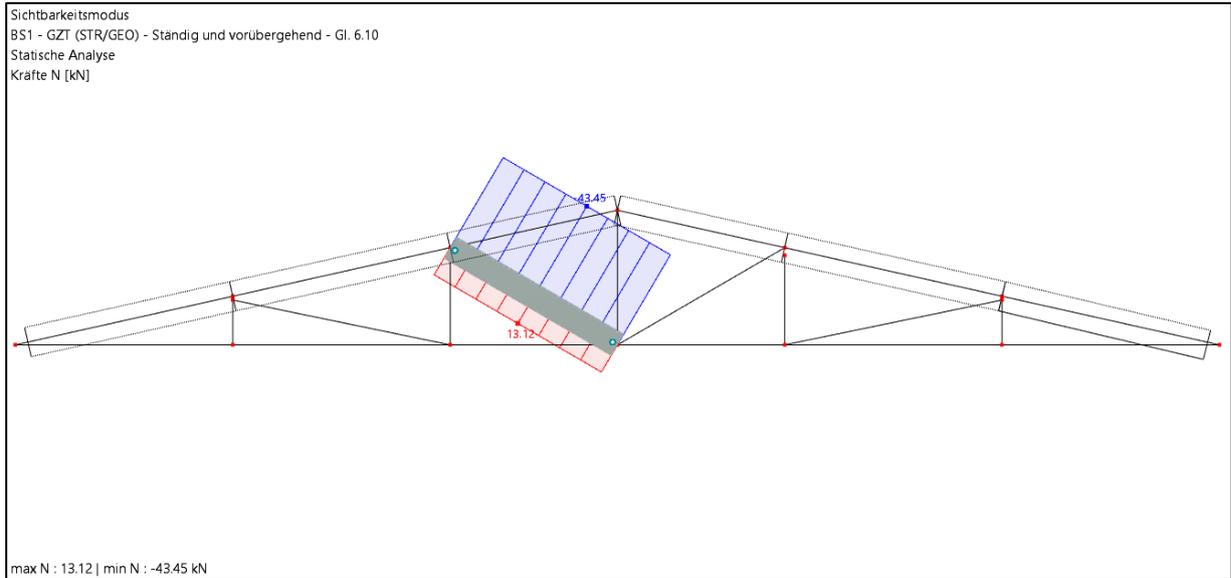


Abb. 134 max. & min. Ergebnisse  $N$  für BS1 – GZT

Aus der **Aluminiumbemessung** nach DIN 1999 ergeben sich für den Fachwerksstab die folgenden Werte:

Stab Nr.	Stabsatz Nr.	Stelle x [m]	Spann.-Punkt Nr.	Bemess.-Situation	Belastung Nr.	Nachweis-Kriterium $\eta$ [-]	Nachweis-Art
442	Balkenstab   1	RRO 250x150x10	L : 1.930800 m				
		0.000000		BS1	LK1	0.000 ✓	SP0100.00 Querschnittsnachweis   Vernachlässigbare Schnittgrößen
				BS1	LK16	0.013 ✓	SP1100.00 Querschnittsnachweis   Zug nach 6.2.3
				BS1	LK8	0.043 ✓	SP1200.00 Querschnittsnachweis   Druck nach 6.2.4
				BS1	LK4	0.070 ✓	SP3820.00 Querschnittsnachweis   Steginduziertes Beulen nach 6.7.7   Vollwandträger
		1.930800		BS1	LK18	0.004 ✓	SP5100.03 Querschnittsnachweis   Biegung um z-Achse nach 6.2.5 und 6.2.8
		0.000000		BS1	LK13	0.042 ✓	SP6510.03 Querschnittsnachweis   Biegung um z-Achse und Normalkraft nach 6.2.9
				BS2	LK23	0.000 ✓	SE0100.00 Gebrauchstauglichkeit   Vernachlässigbare Durchbiegungen

Abb. 135 Nachweisliste der Aluminiumbemessung für BS1 (GZT) und BS2 (GZG)

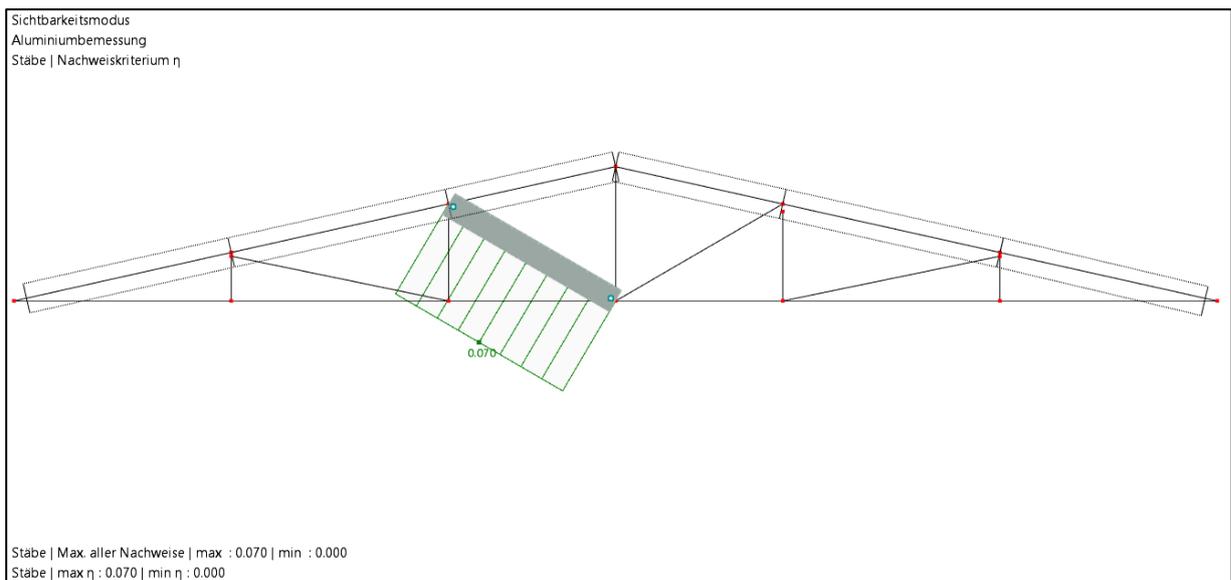


Abb. 136 Max. ( $\eta$ ) aller Nachweise – Aluminiumbemessung für BS1 (GZT) und BS2 (GZG)

Der Querschnittsnachweis für Druck wurde gegengerechnet:

Querschnittsnachweis - Druck

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (\text{Gl. 6.20})$$

$N_{c,Rd} = N_{o,Rd} = \frac{A_{eff} \cdot f_o}{\gamma_{M_1}} = 74,90 \text{ cm}^2 \cdot \frac{15 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,10} = 1021,36$ 
  
→  $\hat{=}$  Bruttoquerschnitt des Profils (PRO 250 x 150 x 10)

$N_{Ed} = 43,45 \text{ kN}$  (hier maßg. LK 8)

$$\Rightarrow \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{43,45}{1021,36} = 0,043 \leq 1,0 \quad \checkmark$$

$\hat{=}$  Dubal-Wert = 0,043  $\checkmark$

**Abb. 137** Kontrollrechnung: Querschnittsnachweis für Druck

### 3.2.8 Pos. 5 – Horizontales Profil aus Fachwerkskonstruktion

Im Folgenden wird ein horizontales Profil aus der Fachwerkskonstruktion in Achse E bemessen. Siehe gelb markiertes Profil:

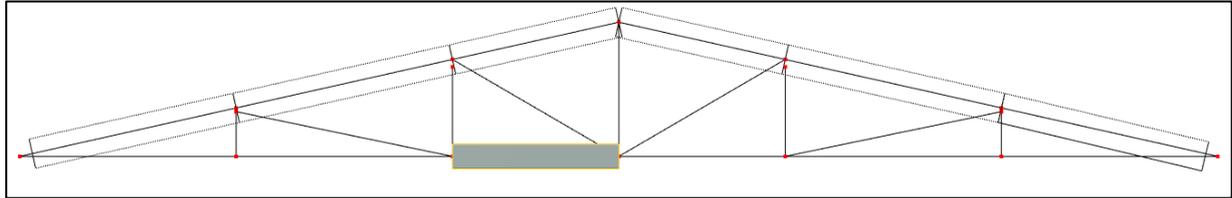


Abb. 138 Darstellung Fachwerksstab (horizontal)

Die statische Analyse liefert für die Stütze folgende Ergebnisse:

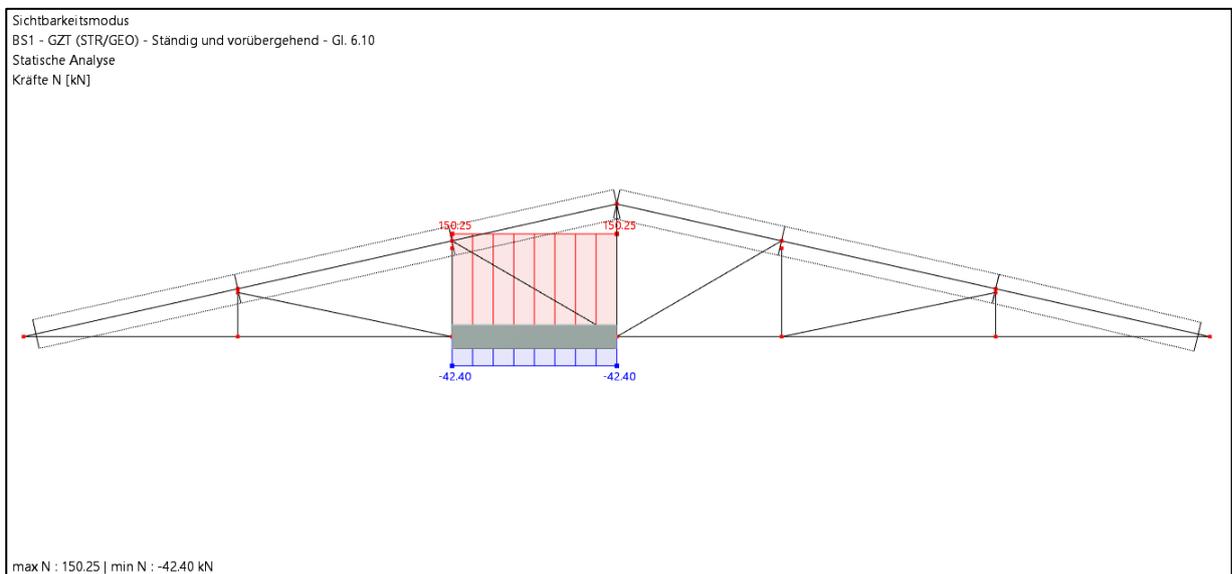


Abb. 139 max. und min.  $N$  für BS1 – GZT

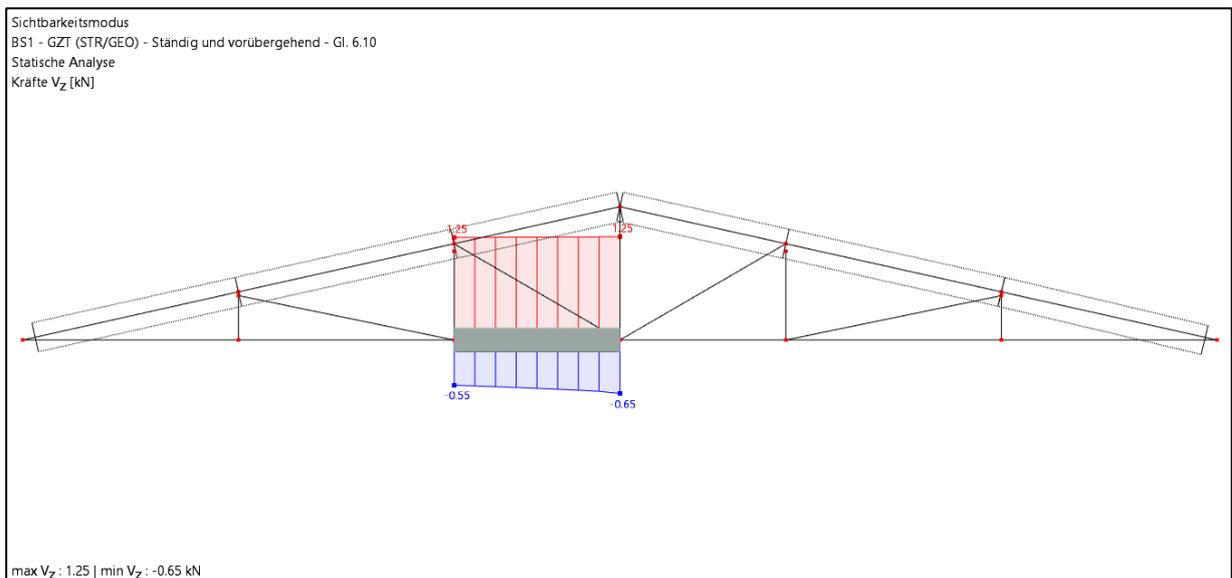


Abb. 140 max. und min.  $V_z$  für BS1 – GZT

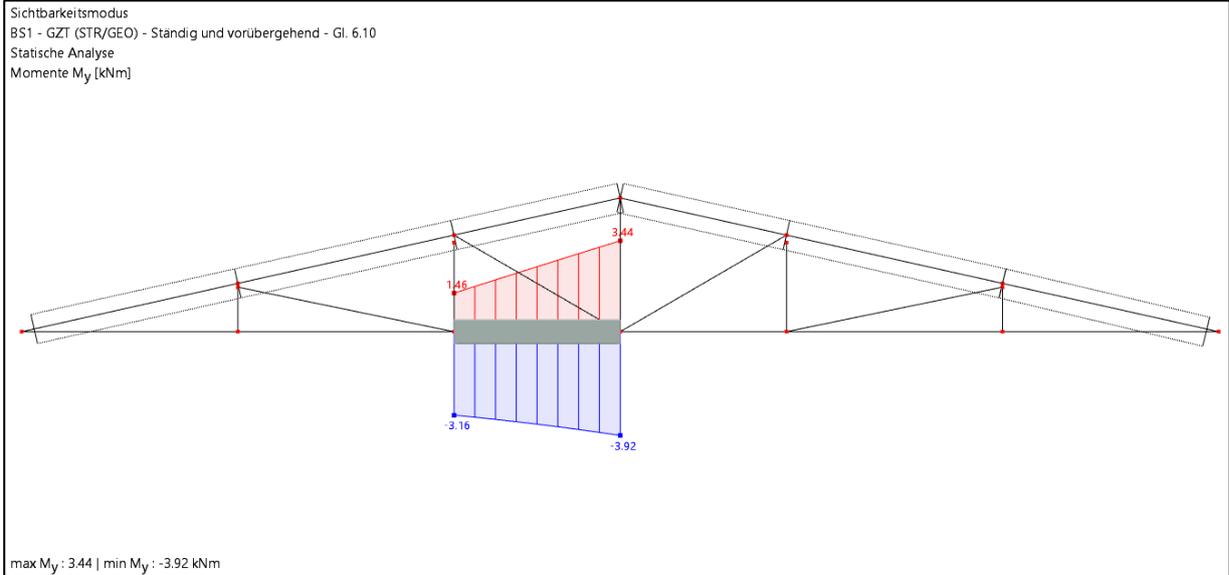


Abb. 141 max. und min.  $M_y$  für BS1 – GZT

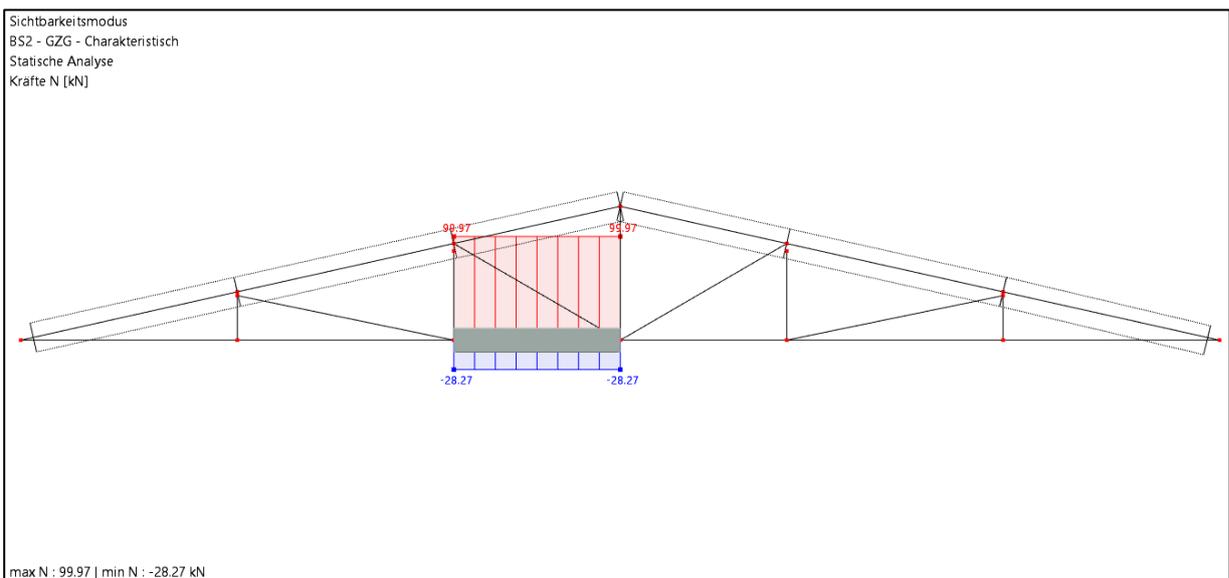


Abb. 142 max. und min.  $N$  für BS2 – GZG

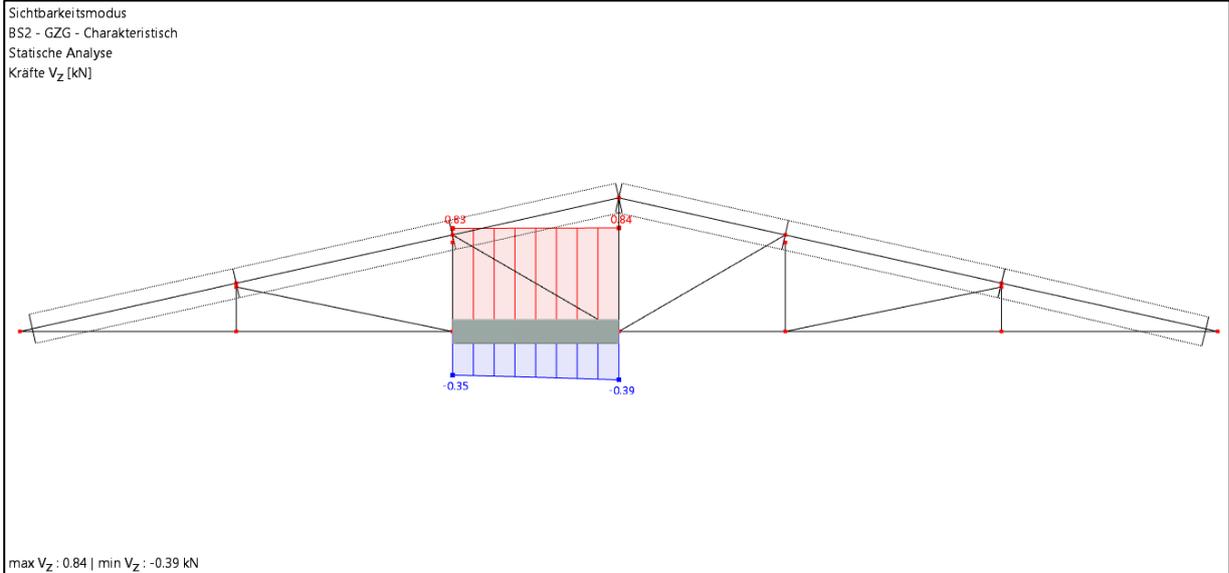


Abb. 143 max. und min.  $V_z$  für BS2 – GZG

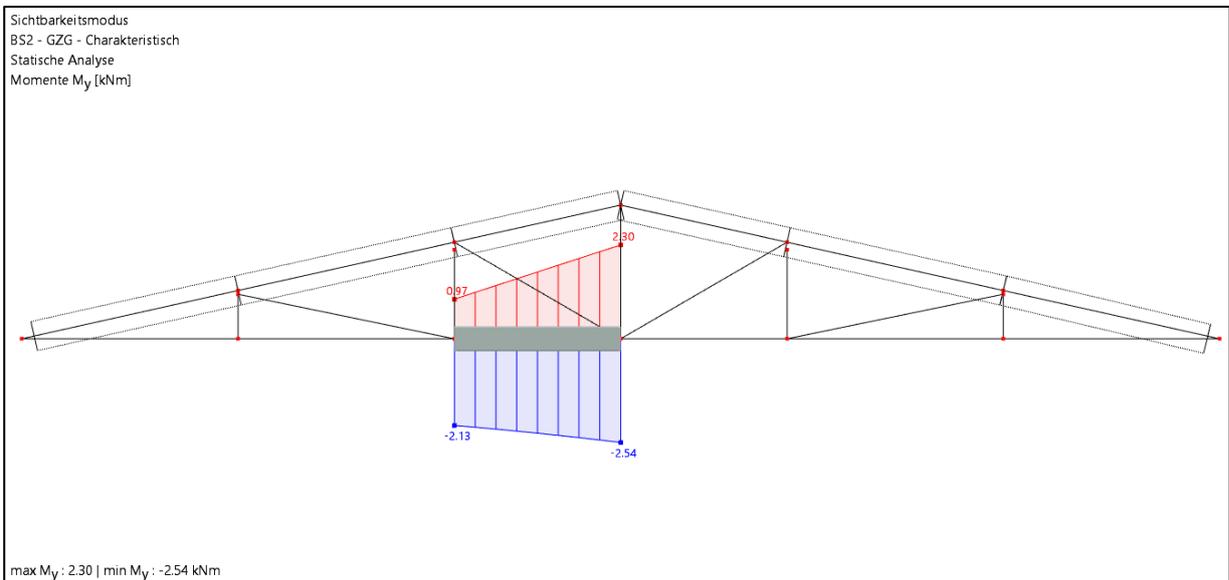


Abb. 144 max. und min.  $M_y$  für BS2 – GZG

Die Aluminiumbemessung nach DIN 1999 liefert für den Stab die folgenden Werte:

Stab Nr.	Stabsatz Nr.	Stelle x [m]	Spann.-Punkt Nr.	Bemess.-Situation	Belastung Nr.	Nachweis-Kriterium $\eta$ [-]	Nachweis-Art	Beschreibung
439	Balkenstab   1 - RRO 250x150x10   L : 1.666663 m							
		0.000000		BS1	LK1	0.000	SP0100.00	Querschnittsnachweis   Vernachlässigbare Schnittgrößen
				BS1	LK4	0.147	SP1100.00	Querschnittsnachweis   Zug nach 6.2.3
		1.666663		BS1	LK16	0.042	SP1200.00	Querschnittsnachweis   Druck nach 6.2.4
				BS1	LK22	0.003	SP3200.02	Querschnittsnachweis   Querkraft in z-Achse nach 6.2.6
		0.000000		BS1	LK3	0.000	SP3720.00	Querschnittsnachweis   Schubbeulen nach 6.2.6(3) und 6.7.4   Querkraft in z-Achse
				BS1	LK15	0.081	SP3810.00	Querschnittsnachweis   Flanschinduziertes Beulen nach 6.7.7   Vollwandträger
				BS1	LK15	0.070	SP3820.00	Querschnittsnachweis   Steginduziertes Beulen nach 6.7.7   Vollwandträger
		1.666663		BS1	LK3	0.047	SP4100.03	Querschnittsnachweis   Biegung um y-Achse nach 6.2.5 und 6.2.8
		0.000000		BS1	LK3	0.000	SP4700.02	Querschnittsnachweis   Biegung um y-Achse und Schub nach 6.7   Vollwandträger
		1.666663		BS1	LK10	0.005	SP5100.03	Querschnittsnachweis   Biegung um z-Achse nach 6.2.5 und 6.2.8
				BS1	LK4	0.191	SP6410.03	Querschnittsnachweis   Biegung um y-Achse und Normalkraft nach 6.2.9
		0.000000		BS1	LK3	0.000	SP6470.02	Querschnittsnachweis   Biegung um y-Achse, Schub, Normalkraft nach 6.7   Vollwandträger
		0.208333		BS1	LK18	0.035	SP6510.03	Querschnittsnachweis   Biegung um z-Achse und Normalkraft nach 6.2.9
		0.000000		BS1	LK10	0.149	SP6710.03	Querschnittsnachweis   Doppelbiegung und Normalkraft nach 6.2.5 - 6.2.9
				BS2	LK23	0.000	SE0100.00	Gebrauchstauglichkeit   Vernachlässigbare Durchbiegungen
		0.833331	1/2	BS2	LK26	0.022	SE1100.00	Gebrauchstauglichkeit   Durchbiegung in z-Richtung
				BS2	LK32	0.003	SE1200.00	Gebrauchstauglichkeit   Durchbiegung in y-Richtung

Abb. 145 Nachweisliste der Aluminiumbemessung für BS1 (GZT) und BS2 (GZG)

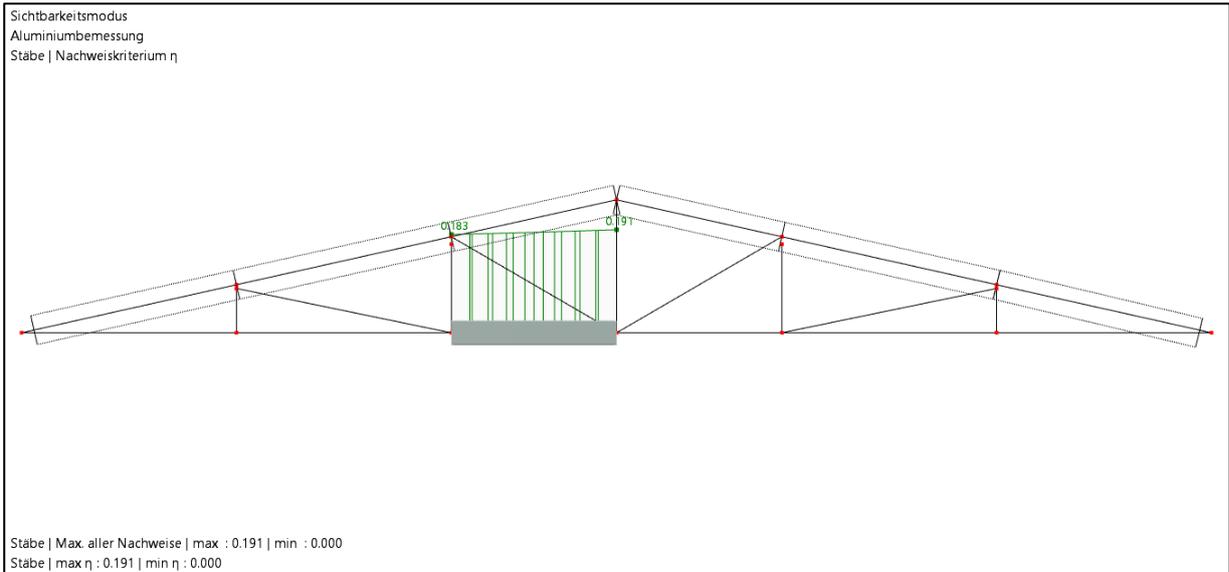


Abb. 146 Max. ( $\eta$ ) aller Nachweise – Aluminiumbemessung für BS1 (GZT) und BS2 (GZG)

Die **Kontrollrechnung** wurde hier für den Nachweis „Biegung um y-Achse & Normalkraft“ aufgestellt:

Querschnittsnachweis - Biegung um y-Achse

$M_{y,Ed}$  → hier maßg.: LK 3 mit  $M_{y,Ed} = 3,92 \text{ kNm}$

$M_{Rd}$  → hier maßg.:  $M_{0,y,Rd} = \alpha \cdot W_{el} \cdot \frac{f_0}{\gamma_{M_1}}$  (Gl. 6.25)

Formfaktor:  $\alpha = \frac{W_{pl.}}{W_{el}} = \frac{611,0 \text{ cm}^3}{494,00 \text{ cm}^3} = 1,237 [-]$   
 ↳ Werte aus Profilanangaben

$M_{0,y,Rd} = 1,237 \cdot 494,0 \text{ cm}^3 \cdot \frac{15 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,10} = 8332,88 \text{ kNcm}$   
 $= 83,33 \text{ kNm}$

$\Rightarrow \frac{M_{y,Ed}}{M_{Rd}} = \frac{3,92}{83,33} = 0,047 \leq 1,0 \checkmark$   
 $\hat{=}$  Dubal-Wert für diesen NW  $\checkmark$

Abb. 147 Kontrollrechnung: Querschnittsnachweis für Biegung um y-Achse

Querschnittsnachweis - Biegung um y-Achse + Normalkraft

(Wirkung von  $M_z$  wird vernachlässigt)

$$\Rightarrow \left( \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \right)^\Psi + \left[ \left( \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \right)^{1,7} \right]^{0,6} \leq 1,0 \quad (\text{Gl. 6.43})$$

$\Psi = 1,0$ , da Querschnittsklasse 1

$N_{Ed} = 150,25 \text{ kN}$  (maßg. LK 4)

$$N_{Rd} = N_{o,Rd} = A_{eff} \cdot \frac{f_0}{\gamma_{M_1}} \quad (\text{Gl. 6.22})$$

$$= 74,90 \text{ cm}^2 \cdot \frac{15 \text{ N/cm}^2}{1,10} = 1021,36 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow \left( \frac{150,25}{1021,36} \right)^{1,0} + \left[ \left( \frac{3,92}{83,33} \right)^{1,7} \right]^{0,6} = 0,191 \leq 1,0 \quad \checkmark$$

= Dubal-Wert = 0,191  $\checkmark$

= .NW für Biegung um y-A.

**Abb. 148** Kontrollrechnung: Querschnittsnachweis für Biegung um y-Achse

## VI. FAZIT

Wenn man eine Stahlhalle durch eine Aluminiumhalle ersetzen möchte, ist eine Sache zu erwarten: Die Anzahl der Profile wird deutlich erhöht, jedoch wird das Gesamtgewicht trotzdem geringer sein.

Eine Stahlhalle braucht bei gleichen Abmessungen deutlich weniger Verbände und Stützen. Die Fachwerkskonstruktion ist ebenso nicht nötig. Somit ist die Metermenge der Profile nahezu halb so groß. Trotzdem liegt das Gesamtgewicht einer Stahlhalle mit ähnlichen Abmessungen und gleicher Eindeckung (für ähnliche Verformungstoleranzen) bei etwa 250 kN. Das Eigengewicht der Aluminiumhalle liegt währenddessen bei etwa 150kN. Der Begriff „Leichtbauhalle“ ist also mehr als berechtigt.

Im Zuge der Bemessungskontrolle sind mir einige Stellen aufgefallen, die kaum Kräfte aufnehmen. Dazu gehören beispielsweise einige Verbände.

Des Weiteren wäre auch eine einfachere Fachwerkskonstruktion ausreichend. Zugstäbe, die zwischen den gegenüberliegenden Stützen der Längswände spannen, könnten hier eine weitere Planungsmöglichkeit darstellen. Die Profilmenge der im Rahmen dieser Arbeit konstruierten Halle könnte also zu einem kleinen Teil reduziert werden, ohne dabei die Ergebnisse der Bemessung zu beeinträchtigen.

In Anbetracht der umfassenden Analyse und Bemessung der Aluminiumhalle steht fest, dass Aluminiumlegierungen eine zukunftsweisende Bedeutung im modernen Ingenieurwesen aufweisen. Die Arbeit hebt die Notwendigkeit einer kontinuierlichen Weiterentwicklung und Anpassung an neue Herausforderungen in der Bauindustrie hervor.

## VII. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1	Modellerstellung – Assistenten & Add-Ons	7
Abb. 2	Modellerstellung – Fallbeschleunigung, Massenumwandlungskonstante und Toleranzen	8
Abb. 3	Modellerstellung – Einstellung des Stabrepräsentanten-Assistenten	9
Abb. 4	Modellerstellung – Bauort	10
Abb. 5	Aluminiumlegierungen für tragende Bauteile	11
Abb. 6	Charakteristische Werte und Werkstoffeigenschaften	12
Abb. 7	Dlubal – Materialeigenschaften	12
Abb. 8	Rahmenkonstruktionen	14
Abb. 9	Kopierfunktion Dlubal	14
Abb. 10	Knotenverbindung mit Stäben	15
Abb. 11	Nach Vermehrung des Rahmens	16
Abb. 12	Nach Vermehrung des Rahmen – Längsansicht	16
Abb. 13	Durchgehender Kreuzverband	17
Abb. 14	neue Längsstäbe an die Eckstütze	17
Abb. 15	Stabenden der Längsstäbe an Giebelstütze	17
Abb. 16	Torbereich - Polylinie	18
Abb. 17	Ansicht im Drahtmodell	19
Abb. 18	Gelenkige Auflager an Knotenpunkten	19
Abb. 19	Giebelseite	20
Abb. 20	Draufsicht	20
Abb. 21	Längsseite	20
Abb. 22	Ansicht	20
Abb. 23	Generierung neuer Rechteckflächen mit dem Typ „Lastübertragung“ an der Außenhülle	21
Abb. 24	Nach Erstellung aller Lastübertragungsflächen (im Draht- und Vollmodus)	22
Abb. 25	Markierung des Daches und der Längsseiten	22
Abb. 26	Lastübertragung der Längsseiten und Dachschrägen: Lokal in Y	23
Abb. 27	Markierung der Giebelseiten	23
Abb. 28	Lastübertragungsrichtung der Giebelseiten: Beide Richtungen	24
Abb. 29	„ohne Wirkung auf“ Rahmenprofile der beiden Giebelwände (hier gelb markiert)	24
Abb. 30	Abmessungen, Gewicht & Dämmverhalten der Sandwichpaneele	25

Abb. 31	Flächengewicht für alle Außenflächen festgelegt	25
Abb. 32	Eigengewicht – Frontansicht	26
Abb. 33	Eigengewicht – Perspektive	26
Abb. 34	Lastart „Längsversetzung“ mit $\Delta = -1,00\text{mm}$	27
Abb. 35	Lastbild Zugstäbe	28
Abb. 36	Eingabe Dachform & Knotenpunkte der Dachflächen	29
Abb. 37	Eingabe der charakteristischen Schneelast	30
Abb. 38	zu bemessende Schneelastfälle	31
Abb. 39	Schneelastfall 1	32
Abb. 40	Schneelastfall 2	32
Abb. 41	Schneelastfall 3	33
Abb. 42	Dach – Windlasten (Basis)	34
Abb. 43	Parameter – Windlastassistent	34
Abb. 44	Windzone 2 – Windgeschwindigkeit	35
Abb. 45	Windlastfälle – Satteldach	36
Abb. 46	Auflistung aller Windlastfälle	36
Abb. 47	Lasteingabe: Wind in X-Richtung, Fläche 6	37
Abb. 48	Wind in X-Richtung: Lastbild für Fläche 6	38
Abb. 49	Lasteingabe: Flächenlasten für Wind in X-Richtung	38
Abb. 50	Lasteingabe: Flächenlasten für Wind in Y-Richtung	38
Abb. 51	Lastbild (Draufsicht): Wind in X-Richtung	39
Abb. 52	Lastbild (Perspektive): Wind in X-Richtung	40
Abb. 53	Lastbild (Seitenansicht): Wind in X-Richtung	40
Abb. 54	Lastbild (Perspektive): Wind in Y-Richtung	41
Abb. 55	Lastbild (Seitenansicht): Wind in Y-Richtung	41
Abb. 56	Zusammenstellung aller Lastfälle	42
Abb. 57	Lastkombinationen – BS1	42
Abb. 58	Lastkombinationen – BS2	43
Abb. 59	Warnungen bei Berechnung der Lastkombinationen (siehe rote Ausrufezeichen links)	44
Abb. 60	Fehler & Warnungen bei direkter Berechnung	44
Abb. 61	Neuer Kombinationsassistent mit Stabilitätsanalyse	45
Abb. 62	Bemessung des GZT mit neuem Kombinationsassistenten	46
Abb. 63	LK2 Verschiebungsbild	47

Abb. 64	Werkstoffunterschiede: Magnesium (Mg), Aluminium (Al), Titan (Ti) und Stahl	48
Abb. 65	Perspektivansicht	49
Abb. 66	Giebelwand	50
Abb. 67	Innenrahmen	50
Abb. 68	Längsansicht	51
Abb. 69	Stabsatz	51
Abb. 70	Exzentrizität	51
Abb. 71	Materialeigenschaften	53
Abb. 72	Bemessungswerte der Vorkrümmung $e_{0L}$	53
Abb. 73	Imperfektion (Vorkrümmung) in X-Richtung – Frontansicht	54
Abb. 74	Imperfektion (Vorkrümmung) in Y-Richtung – Längsansicht	54
Abb. 75	Berechnung globaler Anfangsschiefstellung nach DIN1999	55
Abb. 76	Imperfektion in X – Vorkrümmung & Anfangsschiefstellung	56
Abb. 77	Imperfektion in Y – Vorkrümmung & Anfangsschiefstellung	57
Abb. 78	Knicklänge der Stäbe 476, 480 – 482	57
Abb. 79	Knicklängeneinstellungen der Stäbe 476, 480 - 482	57
Abb. 80	Knicklänge der Stäbe 1,2,17,18,168,169,176,177,184,185,192,193,474,475,478,479	58
Abb. 81	Knicklängeneinstellungen der Stäbe 1,2,17,18,168,169,176,177,184,185,192, 193, 474, 475, 478, 479	58
Abb. 82	Knicklängen des ersten und letzten Stabsatzes	58
Abb. 83	Knicklängeneinstellungen des ersten und letzten Stabsatzes	58
Abb. 84	Knicklängen aller mittleren Stabsätze	58
Abb. 85	Knicklängeneinstellungen aller mittleren Stabsätze	59
Abb. 86	Maximale Verformungen für BS1	59
Abb. 87	Verschiebung – Perspektive – BS1	60
Abb. 88	Verschiebung – Giebelwand – BS1	61
Abb. 89	Verschiebung – Innenrahmen – BS1	62
Abb. 90	Verschiebung – Längsansicht – BS1	62
Abb. 91	Maximale Verformungen für BS2	63
Abb. 92	Verschiebung – Perspektive – BS2	63
Abb. 93	Verschiebung – Giebelwand – BS2	64
Abb. 94	Verschiebung – Innenrahmen – BS2	65
Abb. 95	Verschiebung – Längsansicht – BS2	65

Abb. 96	Positionsplan	66
Abb. 97	Resultierende Vertikallasten für Eigengewicht	67
Abb. 98	Vertikallasten – Profile (Metermenge)	68
Abb. 99	Vertikallasten – Summierung Profillasten und Lasten aus Sandwichplatten	68
Abb. 100	Rahmenkonstruktion – Achse E	69
Abb. 101	max. & min. <b>N</b> für BS1 – GZT	70
Abb. 102	max. & min. <b>Vz</b> für BS1 – GZT	70
Abb. 103	max. & min. <b>My</b> für BS1 – GZT	71
Abb. 104	max. & min. <b>N</b> für BS2 – GZG	71
Abb. 105	max. & min. <b>Vz</b> für BS2 – GZG	72
Abb. 106	max. & min. <b>My</b> für BS2 – GZG	72
Abb. 107	Max. <b>η</b> aller Nachweise – Aluminiumbemessung für BS1 (GZT) und BS2 (GZG)	73
Abb. 108	Darstellung Stab Nr.194	74
Abb. 109	max. und min. Ergebnisse <b>N, Vz und My</b> für BS1 – GZT	75
Abb. 110	max. und min. Ergebnisse <b>N, Vz und My</b> für BS2 – GZG	76
Abb. 111	Nachweisliste der Aluminiumbemessung für BS1 (GZT) und BS2 (GZG)	76
Abb. 112	Max. <b>η</b> aller Nachweise – Aluminiumbemessung für BS1 (GZT) und BS2 (GZG)	77
Abb. 113	Handrechnung für Stab Nr.194: Querschnittsnachweis für Zug	77
Abb. 114	Handrechnung für Stab Nr.194: Querschnittsnachweis für Druck, Stabilitätsnachweis: Biegeknicken um Hauptachse y	78
Abb. 115	Handrechnung für Stab Nr.194: Stabilitätsnachweis: Biegeknicken um Hauptachse y	79
Abb. 116	Handrechnung für Stab Nr.194: Querschnittsnachweis für Biegung um y-Achse	80
Abb. 117	Handrechnung für Stab Nr.194: Stabilitätsnachweis: Biegung um y-Achse & zentrischer Druck	80
Abb. 118	Darstellung Pos. 2 – Stütze	81
Abb. 119	max. und min. Ergebnisse <b>N, Vz und My</b> für BS1 – GZT	82
Abb. 120	max. und min. Ergebnisse <b>N, Vz und My</b> für BS2 – GZG	83
Abb. 121	Nachweisliste der Aluminiumbemessung für BS1 (GZT) und BS2 (GZG)	83
Abb. 122	Max. <b>η</b> aller Nachweise – Aluminiumbemessung für BS1 (GZT) und BS2 (GZG)	84
Abb. 123	max. & min. <b>N</b> für LF1 (Eigengewicht)	84
Abb. 124	Kontrollrechnung: Normalkraftverlauf für Eigengewicht	85
Abb. 125	Kontrollrechnung: Normalkraftverlauf für Eigengewicht	86
Abb. 126	Kontrollrechnung: Nachweis für Durchbiegung in z-Richtung	86
Abb. 127	Darstellung Zugstab (Dachverband)	87

Abb. 128	max. Ergebnisse $N$ für BS1 – GZT	88
Abb. 129	max. Ergebnisse $N$ für BS2 – GZG	88
Abb. 130	Nachweisliste der Aluminiumbemessung für BS1 (GZT) und BS2 (GZG)	88
Abb. 131	Max. $\eta$ aller Nachweise – Aluminiumbemessung für BS1 (GZT) und BS2 (GZG)	88
Abb. 132	Kontrollrechnung: Querschnittsnachweis für Zug	89
Abb. 133	Darstellung Fachwerksstab (diagonal)	89
Abb. 134	max. & min. Ergebnisse $N$ für BS1 – GZT	90
Abb. 135	Nachweisliste der Aluminiumbemessung für BS1 (GZT) und BS2 (GZG)	90
Abb. 136	Max. $\eta$ aller Nachweise – Aluminiumbemessung für BS1 (GZT) und BS2 (GZG)	90
Abb. 137	Kontrollrechnung: Querschnittsnachweis für Druck	91
Abb. 138	Darstellung Fachwerksstab (horizontal)	92
Abb. 139	max. und min. $N$ für BS1 – GZT	92
Abb. 140	max. und min. $Vz$ für BS1 – GZT	92
Abb. 141	max. und min. $My$ für BS1 – GZT	93
Abb. 142	max. und min. $N$ für BS2 – GZG	93
Abb. 143	max. und min. $Vz$ für BS2 – GZG	94
Abb. 144	max. und min. $My$ für BS2 – GZG	94
Abb. 145	Nachweisliste der Aluminiumbemessung für BS1 (GZT) und BS2 (GZG)	94
Abb. 146	Max. $\eta$ aller Nachweise – Aluminiumbemessung für BS1 (GZT) und BS2 (GZG)	95
Abb. 147	Kontrollrechnung: Querschnittsnachweis für Biegung um y-Achse	95
Abb. 148	Kontrollrechnung: Querschnittsnachweis für Biegung um y-Achse	96
Abb. 149	Satteldach – Wind in Y-Richtung	111
Abb. 150	Satteldach – Wind in X-Richtung	112
Abb. 151	Horizontallasten – Wind in Y-Richtung	113
Abb. 152	Horizontallasten – Wind in X-Richtung	114

## VIII. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Frank Dehn, Gert König, Gero Marzahn; Konstruktionswerkstoffe im Bauwesen; Ernst-Verlag, 2003, ISBN: 3433016526
- [2] DIN e.V. (Hrsg.), (DIN EN 1990-1-1.:2021-10, 2021): DIN EN 1990-1-1, Grundlagen der Tragwerksplanung
- [3] DIN e.V. (Hrsg.), (DIN EN 1990-1-1.:2014-03, 2014): DIN EN 1990-1-1, Aluminiumbau
- [4] Fa. Herchenbach Industrial Buildings GmbH, Leichtbauhallen, URL: <https://herchenbach-industrial.com/de/produkte/therm>
- [5] Dlubal Software GmbH (Hrsg.): RFEM 6 Handbuch (2023), URL: <https://www.dlubal.com/de/downloads-und-infos/dokumente/online-handbuecher/rfem-6> (Stand: 29.12.2023)
- [6] Dlubal Software GmbH (Hrsg.): Modellierung und Bemessung von Stahlkonstruktionen in RFEM 6 und RSTAB 9 (2023), URL: <https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/schulungen/videos/002927> (Stand: 29.12.2023)
- [7] Kingspan GmbH (Hrsg.), Technische Informationen, URL: <https://www.kingspan.com/de/de/produkte/isolierte-dach-und-wandsysteme/sandwichpaneel-dach/dachpaneel-quadcore/?s=t> (Stand: 12.01.2024)
- [8] Andreas Wölfer: Vorspannung bei Zugstäben (08.01.2016), Fa. D.I.E. CAD und Statik Software GmbH, URL: <https://blogs.die.de/aw/post/vorspannung-bei-zugstaeben> (Stand: 19.01.2023)
- [9] Schneider - Bautabellen für Ingenieure, Albert (Hrsg), 24.Auflage, Schneelasten
- [10] Dlubal Software GmbH (Hrsg): FAQ 003561 DE 25. (2022) URL: <https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/faq/003561> (Stand: 16.01.24)
- [11] Form & Technik GmbH (Hrsg.), URL: <http://87.106.134.136/technik/Steifigkeit.pdf> (Stand: 01.01.24)
- [12] Dlubal Software GmbH (Hrsg): Aluminiumgebäude (01.10.2021), URL: <https://www.dlubal.com/de/downloads-und-infos/beispiele/modelle-zum-herunterladen/002785> (Stand: 01.02.24)

## IX. ANHANG, ANLAGE

### 1 DLUBAL – ANGABEN ZU DEN PROFILEN

#### 1.1 PRO 250 x 100 x 10

	Beschreibung	Symbol	Wert	Einheit
<b>1</b>	<b>Geometrie</b>			
<b>2</b>	Höhe	<b>h</b>	<b>250.0</b>	<b>mm</b>
<b>3</b>	Breite	<b>b</b>	<b>150.0</b>	<b>mm</b>
<b>4</b>	Dicke	<b>t</b>	<b>10.0</b>	<b>mm</b>
<b>5</b>	Radius der äußeren Ecke	<b>ro</b>	<b>15.0</b>	<b>mm</b>
<b>6</b>	Radius der inneren Ecke	<b>ri</b>	<b>10.0</b>	<b>mm</b>
<b>7</b>	Höhe des geraden Stegteils	<b>d</b>	<b>210.0</b>	<b>mm</b>
<b>8</b>				
<b>9</b>	<b>Querschnittsfläche</b>			
<b>10</b>	Querschnittsfläche	<b>A</b>	<b>74.90</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>
<b>11</b>				
<b>12</b>	<b>Biegung</b>			
<b>13</b>	Flächenträgheitsmoment um y-Achse	<b>I<sub>y</sub></b>	<b>6174.00</b>	<b>cm<sup>4</sup></b>
<b>14</b>	Flächenträgheitsmoment um z-Achse	<b>I<sub>z</sub></b>	<b>2755.00</b>	<b>cm<sup>4</sup></b>
<b>15</b>	Polares Flächenträgheitsmoment	<b>I<sub>p</sub></b>	<b>8929.00</b>	<b>cm<sup>4</sup></b>
<b>16</b>	Trägheitsradius um y-Achse	<b>i<sub>y</sub></b>	<b>90.8</b>	<b>mm</b>
<b>17</b>	Trägheitsradius um z-Achse	<b>i<sub>z</sub></b>	<b>60.6</b>	<b>mm</b>
<b>18</b>	Polarer Trägheitsradius	<b>i<sub>p</sub></b>	<b>109.2</b>	<b>mm</b>
<b>19</b>	Maximales statisches Flächenmoment um y-Achse	<b>max S<sub>y</sub></b>	<b>152.65</b>	<b>cm<sup>3</sup></b>
<b>20</b>	Maximales statisches Flächenmoment um z-Achse	<b>max S<sub>z</sub></b>	<b>106.50</b>	<b>cm<sup>3</sup></b>
<b>21</b>	Elastisches Widerstandsmoment um y-Achse	<b>W<sub>y</sub></b>	<b>494.00</b>	<b>cm<sup>3</sup></b>
<b>22</b>	Elastisches Widerstandsmoment um z-Achse	<b>W<sub>z</sub></b>	<b>367.00</b>	<b>cm<sup>3</sup></b>
<b>23</b>				
<b>24</b>	<b>Schub</b>			
<b>25</b>	Schubfläche in y-Richtung	<b>A<sub>y</sub></b>	<b>20.36</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>
<b>26</b>	Schubfläche in z-Richtung	<b>A<sub>z</sub></b>	<b>43.99</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>
<b>27</b>				
<b>28</b>	<b>Torsion</b>			
<b>29</b>	Torsionsträgheitsmoment	<b>I<sub>t</sub></b>	<b>6090.00</b>	<b>cm<sup>4</sup></b>
<b>30</b>	Torsionsträgheitsmoment (St. Venant)	<b>I<sub>t,StVen</sub></b>	<b>24.76</b>	<b>cm<sup>4</sup></b>
<b>31</b>	Torsionsträgheitsmoment (Bredt)	<b>I<sub>t,Bredt</sub></b>	<b>6065.24</b>	<b>cm<sup>4</sup></b>
<b>32</b>	Sekundäres Torsionsträgheitsmoment	<b>I<sub>t,s</sub></b>	<b>369.44</b>	<b>cm<sup>4</sup></b>
<b>33</b>	Widerstandsmoment für Torsion	<b>W<sub>t</sub></b>	<b>605.00</b>	<b>cm<sup>3</sup></b>
<b>34</b>				
<b>35</b>	<b>Wölbung</b>			
<b>36</b>	Wölbordinate bezogen auf den Schubmittelpunkt	<b>max ω</b>	<b>22.45</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>
<b>37</b>	Wölbwiderstand bezogen auf den Schubmittelpunkt	<b>I<sub>ω</sub></b>	<b>12534.07</b>	<b>cm<sup>6</sup></b>
<b>38</b>	Wölbträgheitsradius bezogen auf den Schubmittelpunkt	<b>i<sub>ω</sub></b>	<b>11.8</b>	<b>mm</b>
<b>39</b>	Wölbwiderstandsmoment bezogen auf den Schubmittelpunkt	<b>W<sub>ω</sub></b>	<b>558.26</b>	<b>cm<sup>4</sup></b>

40	Maximale Wölbfläche bezogen auf den Schubmittelpunkt	max Sw	110.99	cm <sup>4</sup>
41				
42	<b>Plastizität</b>			
43	Plastisches Widerstandsmoment um y-Achse	Wpl,y	611.00	cm <sup>3</sup>
44	Plastisches Widerstandsmoment um z-Achse	Wpl,z	426.00	cm <sup>3</sup>
45	Plastisches Widerstandsmoment der Stege um y-Achse	Wpl,y,Stege	220.50	cm <sup>3</sup>
46	Plastisches Widerstandsmoment der Flansche um z-Achse	Wpl,z,Flansche	112.50	cm <sup>3</sup>
47	Plastischer Formbeiwert um y-Achse	αpl,y	1.237	--
48	Plastischer Formbeiwert um z-Achse	αpl,z	1.161	--
49	Plastische Schubfläche in y-Richtung	Apl,y	28.00	cm <sup>2</sup>
50	Plastische Schubfläche in z-Richtung	Apl,z	48.00	cm <sup>2</sup>
51	Schubfläche in y-Richtung gemäß EC 9	Av,y	26.00	cm <sup>2</sup>
52	Schubfläche in z-Richtung gemäß EC 9	Av,z	46.00	cm <sup>2</sup>
53	Plastische Grenznormalkraft	Npl	1123.810	kN
54	Plastische Grenzquerkraft in y-Richtung	Vpl,y	242.487	kN
55	Plastische Grenzquerkraft in z-Richtung	Vpl,z	415.692	kN
56	Plastisches Grenzbiegemoment um y-Achse	Mpl,y	91.59	kNm
57	Plastisches Grenzbiegemoment um z-Achse	Mpl,z	63.90	kNm
58				
59	<b>Andere</b>			
60	Tragwiderstand gegen Normalkraft	Nu	1460.953	kN
61	Gewicht	G	20.2	kg/m
62	Oberfläche pro Längeneinheit	Am	0.770	m <sup>2</sup> /m
63	Volumen	V	7490.00	m <sup>3</sup> /m
64	Profilfaktor	Am/V	102.804	1/m
65	Zellenfläche	Acell	335.14	cm <sup>2</sup>

## 1.2 QRO 100 x 4

	Beschreibung	Symbol	Wert	Einheit
1	<b>Geometrie</b>			
2	Höhe	h	100.0	mm
3	Dicke	t	4.0	mm
4	Radius der äußeren Ecke	ro	6.0	mm
5	Radius der inneren Ecke	ri	4.0	mm
6	Höhe des geraden Stegteils	d	84.0	mm
7				
8	<b>Querschnittsfläche</b>			
9	Querschnittsfläche	A	15.20	cm <sup>2</sup>
10				
11	<b>Biegung</b>			
12	Flächenträgheitsmoment um y-Achse	Iy	232.00	cm <sup>4</sup>
13	Polares Flächenträgheitsmoment	Ip	464.00	cm <sup>4</sup>
14	Trägheitsradius um y-Achse	iy	39.1	mm
15	Polarer Trägheitsradius	ip	55.3	mm

16	Maximales statisches Flächenmoment um y-Achse	max Sy	13.61	cm <sup>3</sup>
17	Elastisches Widerstandsmoment um y-Achse	Wy	46.40	cm <sup>3</sup>
18				
19	<b>Schub</b>			
20	Schubfläche in y-Richtung	Ay	6.50	cm <sup>2</sup>
21				
22	<b>Torsion</b>			
23	Torsionsträgheitsmoment	It	361.00	cm <sup>4</sup>
24	Torsionsträgheitsmoment (St. Venant)	It,StVen	0.80	cm <sup>4</sup>
25	Torsionsträgheitsmoment (Bredt)	It,Bredt	360.20	cm <sup>4</sup>
26	Sekundäres Torsionsträgheitsmoment	It,s	0.40	cm <sup>4</sup>
27	Widerstandsmoment für Torsion	Wt	68.20	cm <sup>3</sup>
28				
29	<b>Wölbung</b>			
30	Wölbordinate bezogen auf den Schubmittelpunkt	max ω	0.35	cm <sup>2</sup>
31	Wölbwiderstand bezogen auf den Schubmittelpunkt	Iω	0.65	cm <sup>6</sup>
32	Wölbträgheitsradius bezogen auf den Schubmittelpunkt	iω	0.4	mm
33	Wölbwiderstandsmoment bezogen auf den Schubmittelpunkt	Wω	1.83	cm <sup>4</sup>
34	Maximale Wölbfläche bezogen auf den Schubmittelpunkt	max Sω	0.22	cm <sup>4</sup>
35				
36	<b>Plastizität</b>			
37	Plastisches Widerstandsmoment um y-Achse	Wpl,y	54.40	cm <sup>3</sup>
38	Plastisches Widerstandsmoment der Stege um y-Achse	Wpl,y,Stege	14.11	cm <sup>3</sup>
39	Plastisches Widerstandsmoment der Flansche um z-Achse	Wpl,z,Flansche	20.00	cm <sup>3</sup>
40	Plastischer Formbeiwert um y-Achse	αpl,y	1.172	--
41	Plastische Schubfläche in y-Richtung	Apl,y	7.68	cm <sup>2</sup>
42	Schubfläche in y-Richtung gemäß EC 9	Av,y	7.36	cm <sup>2</sup>
43	Plastische Grenznormalkraft	Npl	227.810	kN
44	Plastische Grenzquerkraft in y-Richtung	Vpl,y	66.511	kN
45	Plastisches Grenzbiegemoment um y-Achse	Mpl,y	8.17	kNm
46				
47	<b>Andere</b>			
48	Tragwiderstand gegen Normalkraft	Nu	296.153	kN
49	Gewicht	G	4.1	kg/m
50	Oberfläche pro Längeneinheit	Am	0.390	m <sup>2</sup> /m cm <sup>3</sup> /m
51	Volumen	V	1520.00	m
52	Profilfaktor	Am/V	256.579	1/m
53	Zellenfläche	Acell	92.02	cm <sup>2</sup>

### 1.3 R20

	Beschreibung	Symbol	Wert	Einheit
1	<b>Geometrie</b>			
2	Durchmesser	d	20.0	mm

3				
4	<b>Querschnittsfläche</b>			
5	Querschnittsfläche	A	3.14	cm <sup>2</sup>
6				
7	<b>Biegung</b>			
8	Flächenträgheitsmoment um y-Achse	I <sub>y</sub>	0.79	cm <sup>4</sup>
9	Polares Flächenträgheitsmoment	I <sub>p</sub>	1.57	cm <sup>4</sup>
10	Trägheitsradius um y-Achse	i <sub>y</sub>	5.0	mm
11	Polarer Trägheitsradius	i <sub>p</sub>	7.1	mm
12	Elastisches Widerstandsmoment um y-Achse	W <sub>y</sub>	0.79	cm <sup>3</sup>
13				
14	<b>Schub</b>			
15	Schubfläche in y-Richtung	A <sub>y</sub>	2.64	cm <sup>2</sup>
16				
17	<b>Torsion</b>			
18	Torsionsträgheitsmoment	I <sub>t</sub>	1.57	cm <sup>4</sup>
19	Widerstandsmoment für Torsion	W <sub>t</sub>	1.57	cm <sup>3</sup>
20				
21	<b>Plastizität</b>			
22	Plastisches Widerstandsmoment um y-Achse	W <sub>pl,y</sub>	1.33	cm <sup>3</sup>
23	Plastischer Formbeiwert um y-Achse	α <sub>pl,y</sub>	1.698	--
24	Schubfläche in y-Richtung gemäß EC 9	A <sub>v,y</sub>	2.51	cm <sup>2</sup>
25				
26	<b>Andere</b>			
27	Gewicht	G	0.8	kg/m
28	Oberfläche pro Längeneinheit	A <sub>m</sub>	0.063	m <sup>2</sup> /m
29	Volumen	V	314.00	cm <sup>3</sup> /m
30	Profilfaktor	A <sub>m</sub> /V	200.101	1/m

## 1.4 QRO 150 x 10

	Beschreibung	Symbol	Wert	Einheit
<b>1</b>	<b>Geometrie</b>			
<b>2</b>	Höhe	<b>h</b>	<b>150.0</b>	<b>mm</b>
<b>3</b>	Dicke	<b>t</b>	<b>10.0</b>	<b>mm</b>
<b>4</b>	Radius der äußeren Ecke	<b>ro</b>	<b>15.0</b>	<b>mm</b>
<b>5</b>	Radius der inneren Ecke	<b>ri</b>	<b>10.0</b>	<b>mm</b>
<b>6</b>	Höhe des geraden Stegteils	<b>d</b>	<b>110.0</b>	<b>mm</b>
<b>7</b>				
<b>8</b>	<b>Querschnittsfläche</b>			
<b>9</b>	Querschnittsfläche	<b>A</b>	<b>54.90</b>	<b>cm2</b>
<b>10</b>				
<b>11</b>	<b>Biegung</b>			
<b>12</b>	Flächenträgheitsmoment um y-Achse	<b>Iy</b>	<b>1773.00</b>	<b>cm4</b>
<b>13</b>	Polares Flächenträgheitsmoment	<b>Ip</b>	<b>3546.00</b>	<b>cm4</b>
<b>14</b>	Trägheitsradius um y-Achse	<b>Iy</b>	<b>56.8</b>	<b>mm</b>
<b>15</b>	Polarer Trägheitsradius	<b>ip</b>	<b>80.3</b>	<b>mm</b>
<b>16</b>	Maximales statisches Flächenmoment um y-Achse	<b>max Sy</b>	<b>71.50</b>	<b>cm3</b>
<b>17</b>	Elastisches Widerstandsmoment um y-Achse	<b>Wy</b>	<b>236.00</b>	<b>cm3</b>
<b>18</b>				
<b>19</b>	<b>Schub</b>			
<b>20</b>	Schubfläche in y-Richtung	<b>Ay</b>	<b>23.82</b>	<b>cm2</b>
<b>21</b>				
<b>22</b>	<b>Torsion</b>			
<b>23</b>	Torsionsträgheitsmoment	<b>It</b>	<b>2832.00</b>	<b>cm4</b>
<b>24</b>	Torsionsträgheitsmoment (St. Venant)	<b>It,StVen</b>	<b>18.09</b>	<b>cm4</b>
<b>25</b>	Torsionsträgheitsmoment (Bredt)	<b>It,Bredt</b>	<b>2813.91</b>	<b>cm4</b>
<b>26</b>	Sekundäres Torsionsträgheitsmoment	<b>It,s</b>	<b>7.00</b>	<b>cm4</b>
<b>27</b>	Widerstandsmoment für Torsion	<b>Wt</b>	<b>344.00</b>	<b>cm3</b>
<b>28</b>				
<b>29</b>	<b>Wölbung</b>			
<b>30</b>	Wölbordinate bezogen auf den Schubmittelpunkt	<b>max ω</b>	<b>1.14</b>	<b>cm2</b>
<b>31</b>	Wölbwiderstand bezogen auf den Schubmittelpunkt	<b>Iω</b>	<b>24.92</b>	<b>cm6</b>
<b>32</b>	Wölbträgheitsradius bezogen auf den Schubmittelpunkt	<b>iω</b>	<b>0.8</b>	<b>mm</b>
<b>33</b>	Wölbwiderstandsmoment bezogen auf den Schubmittelpunkt	<b>Wω</b>	<b>21.87</b>	<b>cm4</b>
<b>34</b>	Maximale Wölbfläche bezogen auf den Schubmittelpunkt	<b>max Sω</b>	<b>2.55</b>	<b>cm4</b>
<b>35</b>				
<b>36</b>	<b>Plastizität</b>			
<b>37</b>	Plastisches Widerstandsmoment um y-Achse	<b>Wpl,y</b>	<b>286.00</b>	<b>cm3</b>
<b>38</b>	Plastisches Widerstandsmoment der Stege um y-Achse	<b>Wpl,y,Stege</b>	<b>60.50</b>	<b>cm3</b>
<b>39</b>	Plastisches Widerstandsmoment der Flansche um z-Achse	<b>Wpl,z,Flansche</b>	<b>112.50</b>	<b>cm3</b>
<b>40</b>	Plastischer Formbeiwert um y-Achse	<b>αpl,y</b>	<b>1.212</b>	<b>--</b>
<b>41</b>	Plastische Schubfläche in y-Richtung	<b>Apl,y</b>	<b>28.00</b>	<b>cm2</b>
<b>42</b>	Schubfläche in y-Richtung gemäß EC 9	<b>Av,y</b>	<b>26.00</b>	<b>cm2</b>

43	Plastische Grenznormalkraft	Npl	823.810	kN
44	Plastische Grenzquerkraft in y-Richtung	Vpl,y	242.487	kN
45	Plastisches Grenzbiegemoment um y-Achse	Mpl,y	42.90	kNm
46				
47	Andere			
48	Tragwiderstand gegen Normalkraft	Nu	1070.953	kN
49	Gewicht	G	14.8	kg/m
50	Oberfläche pro Längeneinheit	Am	0.574	m <sup>2</sup> /m
51	Volumen	V	5490.00	cm <sup>3</sup> /m
52	Profilmfaktor	Am/V	104.554	1/m
53	Zellenfläche	Acell	195.14	cm <sup>2</sup>

### 1.5 QRO 120 x 8

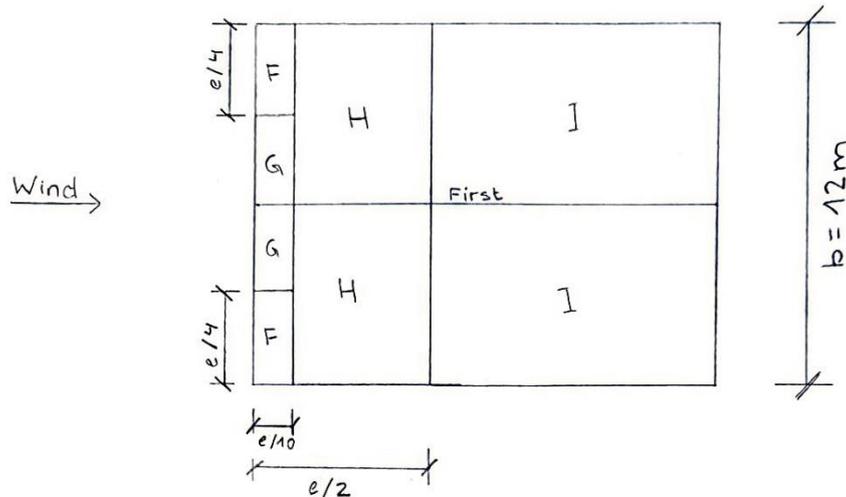
	Beschreibung	Symbol	Wert	Einheit
1	<b>Geometrie</b>			
2	Höhe	h	120.0	mm
3	Dicke	t	8.0	mm
4	Radius der äußeren Ecke	ro	12.0	mm
5	Radius der inneren Ecke	ri	8.0	mm
6	Höhe des geraden Stegteils	d	88.0	mm
7				
8	<b>Querschnittsfläche</b>			
9	Querschnittsfläche	A	35.20	cm <sup>2</sup>
10				
11	<b>Biegung</b>			
12	Flächenträgheitsmoment um y-Achse	Iy	726.00	cm <sup>4</sup>
13	Polares Flächenträgheitsmoment	Ip	1452.00	cm <sup>4</sup>
14	Trägheitsradius um y-Achse	iy	45.5	mm
15	Polarer Trägheitsradius	ip	64.3	mm
16	Maximales statisches Flächenmoment um y-Achse	max Sy	36.61	cm <sup>3</sup>
17	Elastisches Widerstandsmoment um y-Achse	Wy	121.00	cm <sup>3</sup>
18				
19	<b>Schub</b>			
20	Schubfläche in y-Richtung	Ay	15.24	cm <sup>2</sup>
21				
22	<b>Torsion</b>			
23	Torsionsträgheitsmoment	It	1160.00	cm <sup>4</sup>
24	Torsionsträgheitsmoment (St. Venant)	It,StVen	7.41	cm <sup>4</sup>
25	Torsionsträgheitsmoment (Bredt)	It,Bredt	1152.59	cm <sup>4</sup>
26	Sekundäres Torsionsträgheitsmoment	It,s	2.87	cm <sup>4</sup>
27	Widerstandsmoment für Torsion	Wt	176.00	cm <sup>3</sup>
28				
29	<b>Wölbung</b>			
30	Wölbordinate bezogen auf den Schubmittelpunkt	max ω	0.73	cm <sup>2</sup>
31	Wölbwiderstand bezogen auf den Schubmittelpunkt	Iω	6.53	cm <sup>6</sup>

32	Wölbträgheitsradius bezogen auf den Schubmittelpunkt	$i_{\omega}$	0.7	mm
33	Wölbwiderstandsmoment bezogen auf den Schubmittelpunkt	$W_{\omega}$	8.96	cm <sup>4</sup>
34	Maximale Wölbfläche bezogen auf den Schubmittelpunkt	$\max S_{\omega}$	1.04	cm <sup>4</sup>
35				
36	<b>Plastizität</b>			
37	Plastisches Widerstandsmoment um y-Achse	$W_{pl,y}$	146.00	cm <sup>3</sup>
38	Plastisches Widerstandsmoment der Stege um y-Achse	$W_{pl,y,Stege}$	30.98	cm <sup>3</sup>
39	Plastisches Widerstandsmoment der Flansche um z-Achse	$W_{pl,z,Flansche}$	57.60	cm <sup>3</sup>
40	Plastischer Formbeiwert um y-Achse	$\alpha_{pl,y}$	1.207	--
41	Plastische Schubfläche in y-Richtung	$A_{pl,y}$	17.92	cm <sup>2</sup>
42	Schubfläche in y-Richtung gemäß EC 9	$A_{v,y}$	16.64	cm <sup>2</sup>
43	Plastische Grenznormalkraft	$N_{pl}$	527.239	kN
44	Plastische Grenzquerkraft in y-Richtung	$V_{pl,y}$	155.192	kN
45	Plastisches Grenzbiegemoment um y-Achse	$M_{pl,y}$	21.96	kNm
46				
47	<b>Andere</b>			
48	Tragwiderstand gegen Normalkraft	$N_u$	685.410	kN
49	Gewicht	$G$	9.5	kg/m
50	Oberfläche pro Längeneinheit	$A_m$	0.459	m <sup>2</sup> /m
51	Volumen	$V$	3520.00	cm <sup>3</sup> /m
52	Profilmfaktor	$A_m/V$	130.398	1/m
53	Zellenfläche	$A_{cell}$	124.89	cm <sup>2</sup>

## 2 WINDLAST-RECHNUNGEN

Ermittlung der Windlasten - Satteldach

Wind in Y-Richtung



$$e/4 = 3,075 \text{ m}$$

$$e/10 = 1,23 \text{ m}$$

$$e/2 = 6,15$$

$$F: c_{pe,10} = -1,37$$

$$G: c_{pe,10} = -1,30$$

$$H: c_{pe,10} = -0,62$$

$$I: c_{pe,10} = -0,5$$

$$w_{k,F/G} = -1,37 \cdot 0,65 = -0,89 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

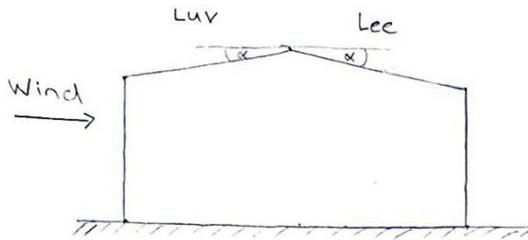
$$w_{k,H/I} = -0,62 \cdot 0,65 = -0,40 \text{ ''}$$

Abb. 149 Satteldach – Wind in Y-Richtung

# Ermittlung der Windlasten - Satteldach

## Wind in X-Richtung

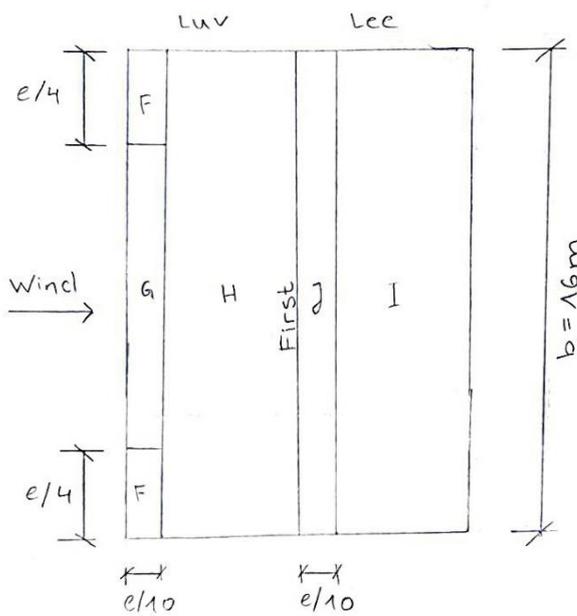
$$\alpha = 12,68^\circ$$



$$e = \min \{ 16; 2 \cdot 6,15 \} = 12,3 \text{ m}$$

$$e/4 = 3,075 \text{ m}$$

$$e/10 = 1,23 \text{ m}$$



$$F: c_{pe,10} = 0,154$$

$$G: c_{pe,10} = 0,154$$

$$H: c_{pe,10} = 0,154$$

$$J: c_{pe,10} = -0,139$$

$$I: c_{pe,10} = -0,139$$

$$\begin{aligned} \text{Luv: } W_k &= 0,65 \cdot 0,154 \\ &= 0,10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

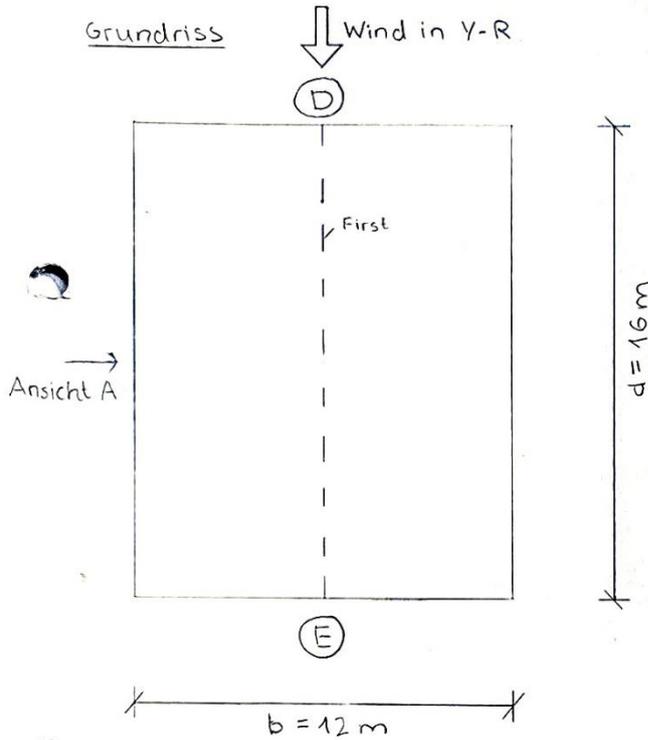
$$\begin{aligned} \text{Lee: } W_k &= 0,65 \cdot (-0,139) \\ &= -0,09 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

Abb. 150 Satteldach – Wind in X-Richtung

# Ermittlung der Windlasten

## Wind in Y-Richtung

$h \hat{=} 6,15\text{m}$  ; Windlastzone 2 ;  $q_p = 0,65 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$



$$h/d = \frac{6,15}{16} = 0,384$$

Bereich D:  $c_{pe,10} = 0,718$

$$w_{k,D} = 0,65 \cdot 0,718 = 0,467 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Bereich E:  $c_{pe,10} = -0,336$

$$w_{k,E} = 0,65 \cdot (-0,336) = -0,218 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$e = \min \{ b ; 2 \cdot h \}$$

$$= \min \{ 12\text{m} ; 2 \cdot 6,15\text{m} \}$$

$$= 12,3\text{m}$$

$$\Rightarrow e < d$$

### Ansicht A :

maßgebend für die gesamte Längsseite:  
 Bereich A mit  
 $w_k = -0,78 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Bereich A:  $c_{pe,10} = -1,2$

$$w_{k,A} = 0,65 \cdot (-1,2) = -0,78 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Bereich B:  $c_{pe,10} = -0,8$

$$w_{k,B} = 0,65 \cdot (-0,8) = -0,52 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Bereich C:  $c_{pe,10} = -0,5$

$$w_{k,C} = 0,65 \cdot (-0,5) = -0,325 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

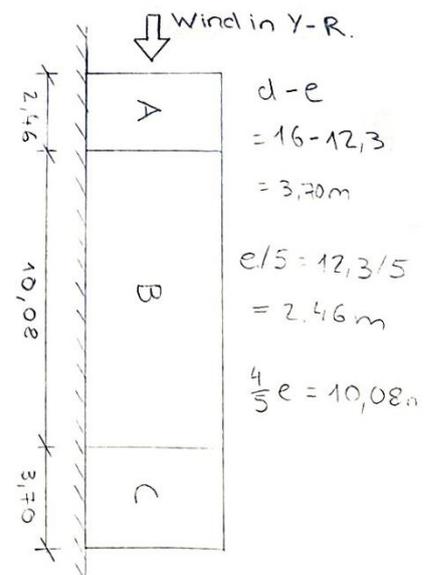


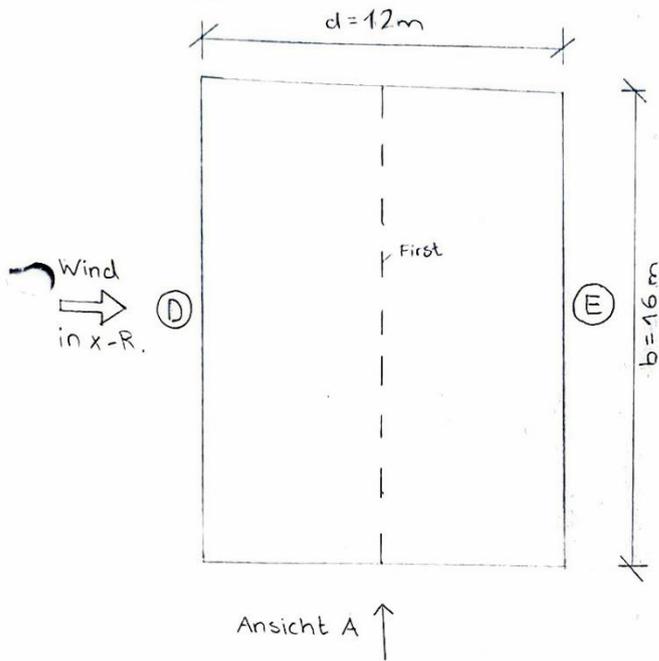
Abb. 151 Horizontallasten – Wind in Y-Richtung

# Ermittlung der Windlasten

## Wind in X-Richtung

$h \approx 6,15$  ; Windlastzone 2 ;  $q_p = 0,65 \frac{kN}{m^2}$

### Grundriss



Lasteinflussfläche  $A > 10m^2$

$\Rightarrow$  Außendruckbeiwert  
 $c_{pe} \hat{=} c_{pe,10}$

Bereich D:  $c_{pe,10} = 0,735$

$$w_{k,D} = 0,65 \cdot 0,735 = 0,478 \frac{kN}{m^2}$$

Bereich E:  $c_{pe,10} = -0,370$

$$w_{k,E} = 0,65 \cdot (-0,370) = -0,241 \frac{kN}{m^2}$$

$$e = \min \{ b ; 2 \cdot h \}$$

$$= \min \{ 16 ; 2 \cdot 6,15 \} = 12,3$$

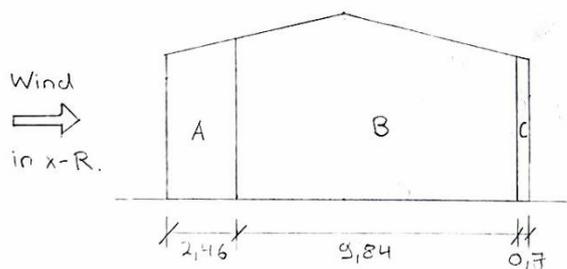
$$\Rightarrow e < d$$

$$d - e = 12 - 12,3 = 0,7m (C)$$

$$e/5 = 12,3/5 = 2,46m (A)$$

$$\frac{4}{5} \cdot e = \frac{4}{5} \cdot 12,3 = 9,84m (B)$$

### Ansicht A



Bereich A:  $c_{pe,10} = -1,2$

$$w_{k,A} = 0,65 \cdot (-1,2) = -0,78 \frac{kN}{m^2}$$

Bereich B:  $c_{pe,10} = -0,8$

$$w_{k,B} = 0,65 \cdot (-0,8) = -0,52 \frac{kN}{m^2}$$

Bereich C:  $c_{pe,10} = -0,5$

$$w_{k,C} = 0,65 \cdot (-0,5) = -0,325 \frac{kN}{m^2}$$

maßgebend  
 für die gesamte  
 Längsseite:  
 Bereich A mit  
 $w_k = -0,78 \frac{kN}{m^2}$

Abb. 152 Horizontallasten – Wind in X-Richtung

## X. ERKLÄRUNG

gemäß § 35 Abs. 7 RaPO vom 17. Oktober 2001

Kilicoglu, Aysu

Studiengruppe im Wintersemester: 2023/24

Geburtsdatum: 02.05.1999

Matrikelnummer: 38477817

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Abschlussarbeit selbständig verfasst, noch nicht anderweitig zu Prüfungszwecken vorgelegt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

München, den 29.02.2024



.....  
Aysu Kilicoglu