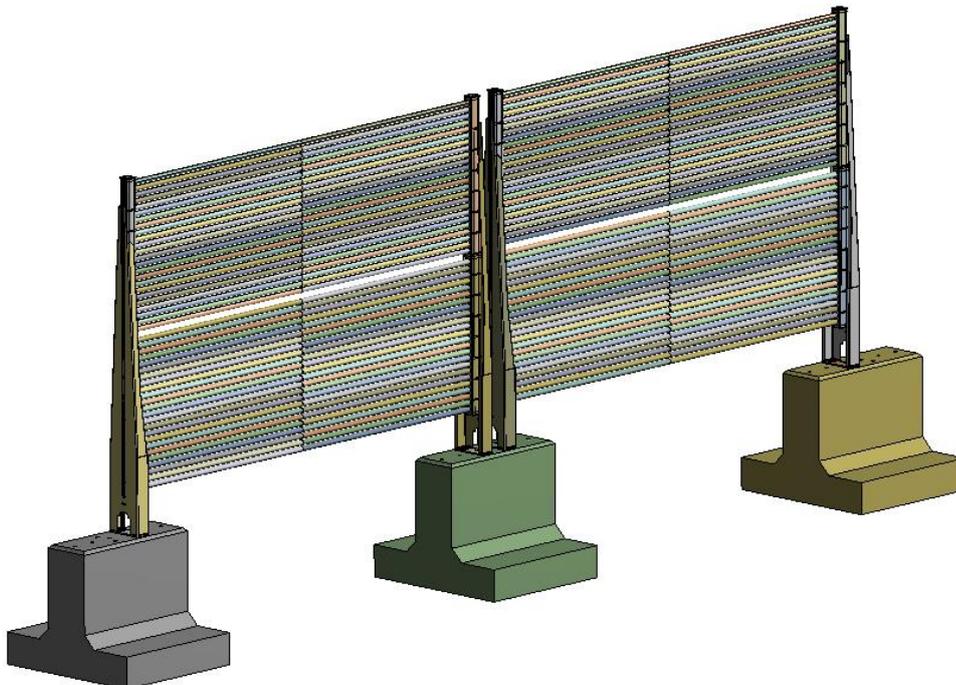


Datum 02.03.2021
Bericht 2021/034-A-2
Auftraggeber Technische Bauteile Eberle GmbH
Industriegebiet Ellzee-Bhf.
Am Grünfeld 2
D-89352 Ellzee
www.tbe-gmbh.de
Projektverantwortung Herr Markus Eberle
Tel. +49 (0)8283-99877-18
me@tbe-gmbh.de
Bestellnummer 269972
Auftragnehmer Merkle & Partner GbR
Ingenieurbüro für Strukturanalyse FEM /CFD
Friedrichstr. 1
D-89518 Heidenheim
Tel. +49 (0)7321 9343-0
www.merkle-partner.de
Projektverantwortung Christoph Fröhlich
Tel. +49 (0)7321 9343-139
c.froehlich@merkle-partner.de
Auftragsbeschreibung Statische Untersuchung Solarzaun



Verfasser / Bearbeiter

02.03.2021, Christoph Fröhlich

Datum, Name

Prüfer

02.03.2021, Dr. Maik Brehm

Datum, Name

Änderungsregister

Index	Datum	Beschreibung	Seiten	Verfasser
A-1	15.02.2021	Erstausgabe	alle	Christoph Fröhlich
A-2	02.03.2021	Anpassungen Abschnitt 7	S. 25	Christoph Fröhlich

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Aufgabenstellung	4
2.1	Ziel der Untersuchung	4
2.2	Vorgehensweise	5
3	Allgemeines	5
3.1	Angewandte Normen und Richtlinien	5
3.2	Werkstoffkennwerte	5
3.3	Bereitgestellte Daten	7
3.4	Verwendete Softwarepakete	7
3.5	Einheitensystem	7
3.6	Koordinatensystem	7
4	FE-Modell	8
4.1	Geometrie und Vernetzung	8
4.2	Kontakte und Verbindungselemente	10
4.3	Lagerungsbedingungen	12
4.4	Lasten	13
4.5	Lastfallkombinationen nach Eurocode	14
4.6	Rechenalgorithmen	14
5	Ergebnisse	15
5.1	Verformungen, LFK1	15
5.2	Vergleichsspannungen nach Mises, LFK2	16
5.3	Gesamtdehnungen, LFK3	18
6	Nachweise gegen Gleiten und Kippen der Fundamente	20
7	Auswertung Hülsendübel	25
8	Zusammenfassung	26

1 Einleitung

Die Kollektoren werden auf dem Boden aufgestellt. Es wird der obere Teil auf ein Fertigfundament verschraubt. Das Fertigfundament wird in eine definierte Kiesschicht eingebettet.

Es wird Windzone 2 mit Geländekategorie II (Gelände mit Hecken, einzelnen Gehöften, Häusern oder Bäumen, z.B. landwirtschaftliches Gebiet) angenommen.

Die Statik ist gültig für Aufstellungsorte, für die gilt:

- Windlasten bis $q_b = 0,39 \text{ kN/m}^2$ bzw. bis $q_p = 0,658 \text{ kN/m}^2$
- Max. Betriebsdruck $P = 3,3 \text{ bar}$
- Die Höhe des Kollektors darf 2,25 m nicht überschreiten (bis Oberkante Rohre)

Im Regelfall sind somit folgende Windzonen – Geländekategorien mit Aufstellungsort in Deutschland bis zu einer Höhe von 800 m über NN zulässig:

Tabelle 1: Zulässige Kombination aus Windzone und Geländekategorie für Deutschland

Windlast		Geländekategorie			
		I	II	III	IV
Windzone	1		i.O.	i.O.	i.O.
	2		i.O.	i.O.	i.O.
	3			i.O.	i.O.

2 Aufgabenstellung

Für die maximal zulässige Windlast werden alle nötigen Lastfallkombinationen nach Eurocode berücksichtigt. Als Lasten wirken das Eigengewicht, der Betriebsdruck und die Windlast mit entsprechenden Kombinationsbeiwerten.

Folgende Nachweise sollen erbracht werden:

- Tragsicherheitsnachweis
- Gebrauchstauglichkeitsnachweis
- Kippsicherheit
- Gleitsicherheit

2.1 Ziel der Untersuchung

Ziel der Untersuchung ist es, einen Standsicherheitsnachweis für die Struktur und die Fundamentlagerung zu führen bzw. kritische Zonen aufzuzeigen.

2.2 Vorgehensweise

Die Vorgehensweise wird im Folgenden stichpunktartig beschrieben:

- Geometriaufbereitung in ANSYS
- Erstellung FE-Modell
- Definition Randbedingungen und Lasten
- Nachrechnung
- Auswertung
- Diskussion der Ergebnisse
- Berichterstellung

3 Allgemeines

Nachfolgend sind die allgemeinen Berechnungsdaten der FE-Analyse aufgeführt.

3.1 Angewandte Normen und Richtlinien

Die Lastannahmen und Kombinationen erfolgen gemäß Eurocode.

Der Tragsicherheitsnachweis erfolgt nach DIN EN 1993-1-5: Anhang C. Für das bilineare Materialgesetz wird konservativ nur die technische Spannungs-Dehnungs-Kurve angesetzt. Der Tangentenmodul wird sehr klein angenommen. Für die Streckgrenze und die Zugfestigkeit wurden die charakteristischen Werte angenommen. Die Teilsicherheitsbeiwerte und Kombinationsbeiwerte der Lastfallkombinationen wurden berücksichtigt, d.h. ein Lasterhöhungsfaktor von 1,0 entspricht der entsprechenden Lastfallkombination. Die Bewertung erfolgt über den Lasterhöhungsfaktor α_u , der mindestens einen Wert von $\alpha_u > \alpha_1 \alpha_2$ erreichen sollte. Nach Empfehlung des Eurocodes wird $\alpha_2 = \gamma_{M2} = 1,25$ gewählt. Für die Berücksichtigung der Modellunsicherheiten wurde $\alpha_1 = 1,05$ gesetzt. Somit gilt der statische Tragsicherheitsnachweis als erfüllt, wenn der Lasterhöhungsfaktor $\alpha_u > 1,3125$ ist und die Gesamtdehnungen kleiner als 5% sind.

3.2 Werkstoffkennwerte

Es ist sicherzustellen, dass Eurocode-konforme Materialien, wie in der Tabelle gelistet, eingesetzt werden.

Die in die Berechnung eingehenden Werkstoffkennwerte sind in Tabelle 1 zusammengestellt:

Tabelle 2: Werkstoffkennwerte

		Einheit	Blechsteher	Profile und Rohre	Deckel und Muffe
Werkstoffbezeichnung	-	-	S355JR	AlMgSi0.5	AlCuMgPb
Werkstoffnummer	-	-	1.0045	EN AW 6060 T6	EN AW 2007 T3
E-Modul	E	N/mm ²	200000	69000	69000
Querkontraktion	ν	-	0,30	0,33	0,33
Streckgrenze	$f_{y,k}$	N/mm ²	355	140	220
Zugfestigkeit	$f_{u,k}$	N/mm ²	470	170	340
Bruchdehnung	A_5	%	22	6	8
Dichte	ρ	kg/m ³	7850	2700	2700
Tangentenmodul für σ - ϵ -Kurve	-	N/mm ²	50	10	10

Quelle: DIN EN 10025-2: 2019-10, DIN EN 573-3 : 2019-10

Abbildung 1 zeigt die Spannungs-Dehnungs-Diagramme für die verwendeten Werkstoffe.

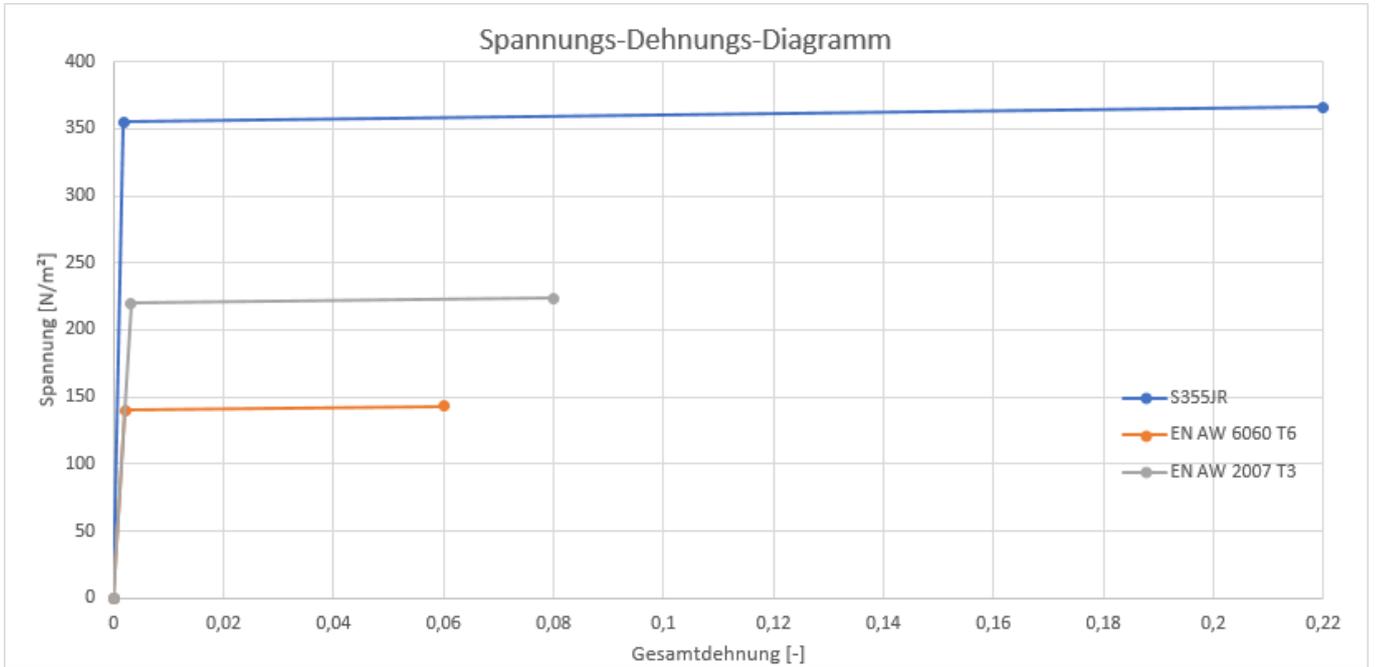


Abbildung 1: Spannungs-Dehnungs-Diagramme

Die Materialzuweisung ist in Abbildung 2 gezeigt.

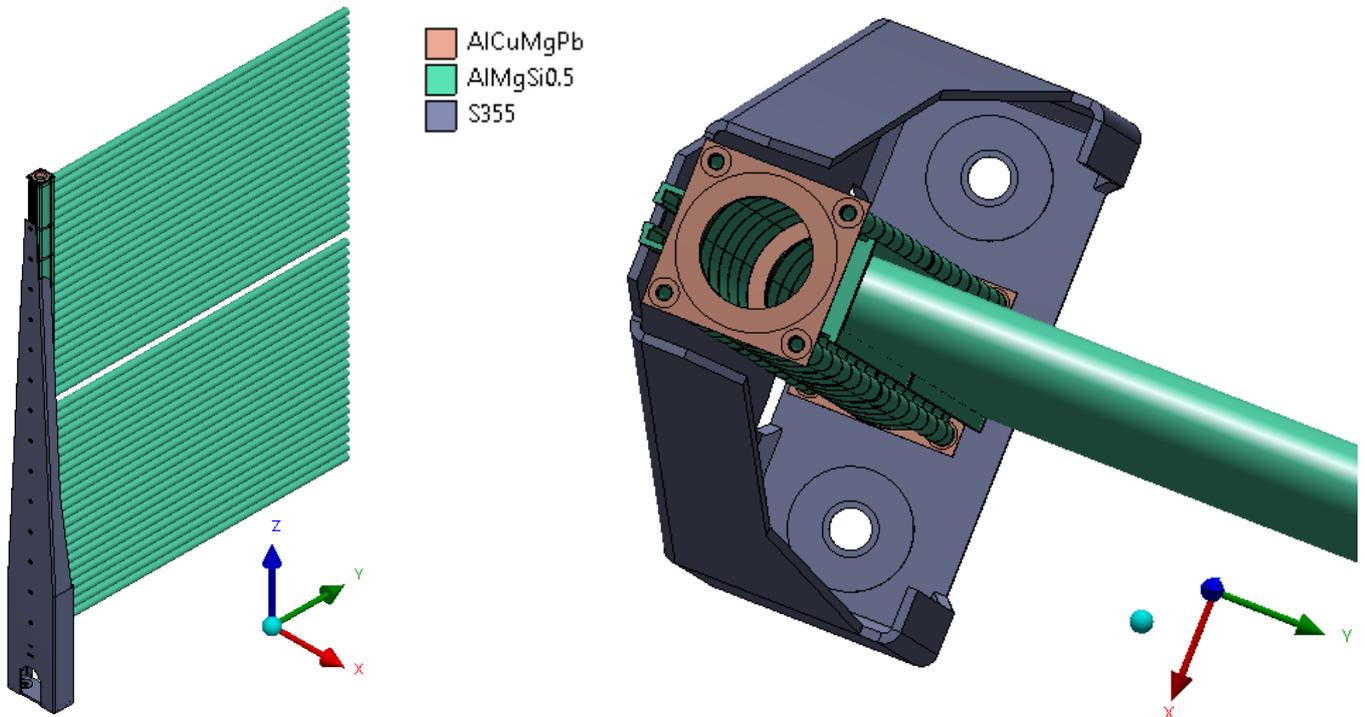


Abbildung 2: Materialzuweisung

3.3 Bereitgestellte Daten

Das Modell wurde anhand folgender bereitgestellter Daten erstellt:

- „10023618_Entw03.pdf“ (E-Mail vom 12.12.2020)
- „Alu Schienenverbinder.stp“ (E-Mail vom 19.11.2020)
- „14-006032 Fundament.stp“ (E-Mail vom 01.02.2021)

3.4 Verwendete Softwarepakete

Die Geometrierstellung erfolgte mit dem DesignModeler.

Die Berechnungen wurden mit ANSYS 19R2 durchgeführt.

3.5 Einheitensystem

Als Einheitensystem wurden Millimeter und Newton gewählt.

Die Verformungen ergeben sich somit in Millimeter, die Kräfte in Newton und die Spannungen in N/mm².

3.6 Koordinatensystem

Das verwendete Koordinatensystem ist wie folgt definiert:

x-Achse	Querrichtung des Kollektors
y-Achse	Längsrichtung des Kollektors
z-Achse	Vertikalrichtung

und ist in Abbildung 3 dargestellt.

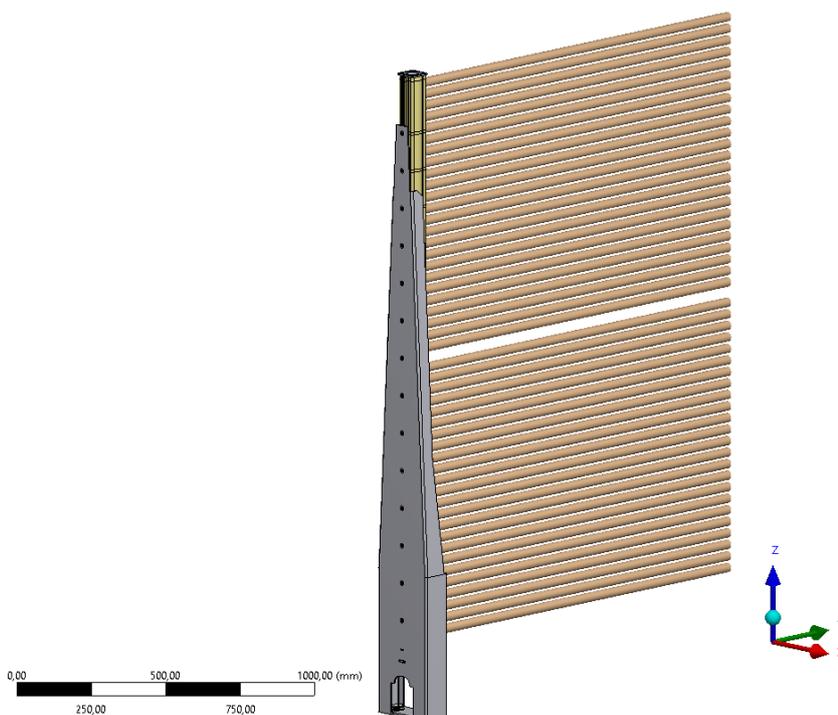


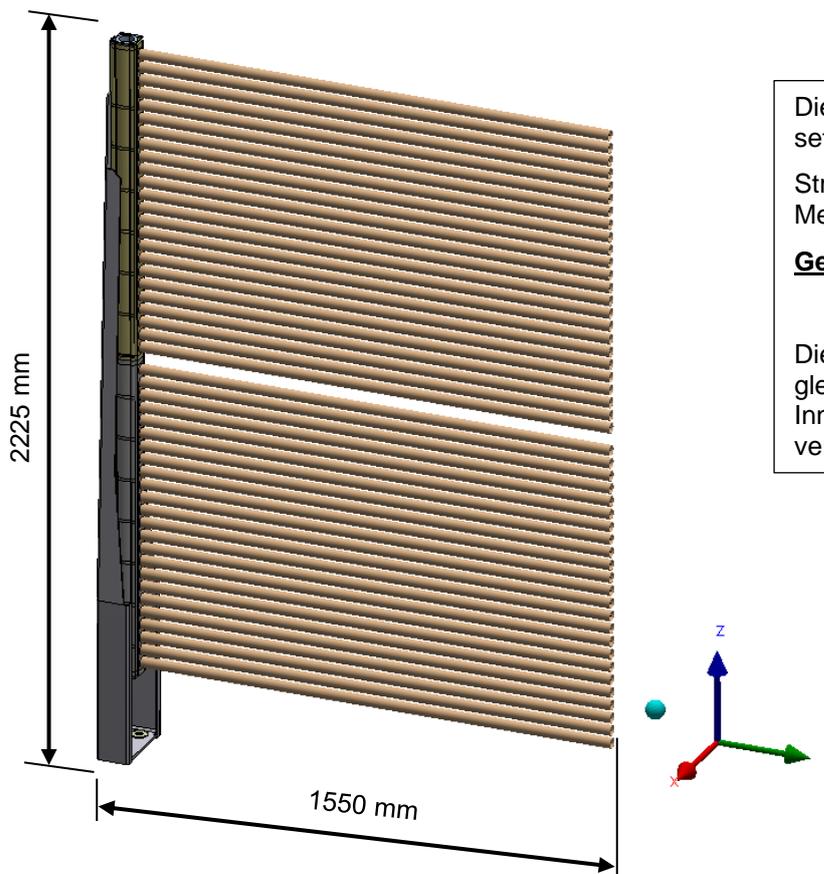
Abbildung 3: Koordinatensystem

4 FE-Modell

4.1 Geometrie und Vernetzung

Die Geometriedaten wurden aus der STP-Datei entnommen und zu einem Volumenmodell aufbereitet. Die Rohre wurden dabei als Balkenelemente mit entsprechendem Rohrquerschnitt vereinfacht (Pipe-Elemente). Die Symmetrie des Kollektors wurde genutzt und ein Halbmodell verwendet.

Die Abbildung 4 zeigt die aufbereitete Geometrie.



Die Gesamtmasse des Halbmodells setzt sich wie folgt zusammen:

Struktur:	53 kg
Medium:	55 kg

Gesamtmasse: 108 kg

Die Masse des Mediums wurde gleichmäßig auf die Rohre und die Innenflächen des Verteiler-Profils verteilt.

Abbildung 4: Geometrie

Schrauben wurden vereinfacht als Verbindungselemente definiert.

Abbildung 5 zeigt das vernetzte FE-Modell in einer räumlichen Ansicht.

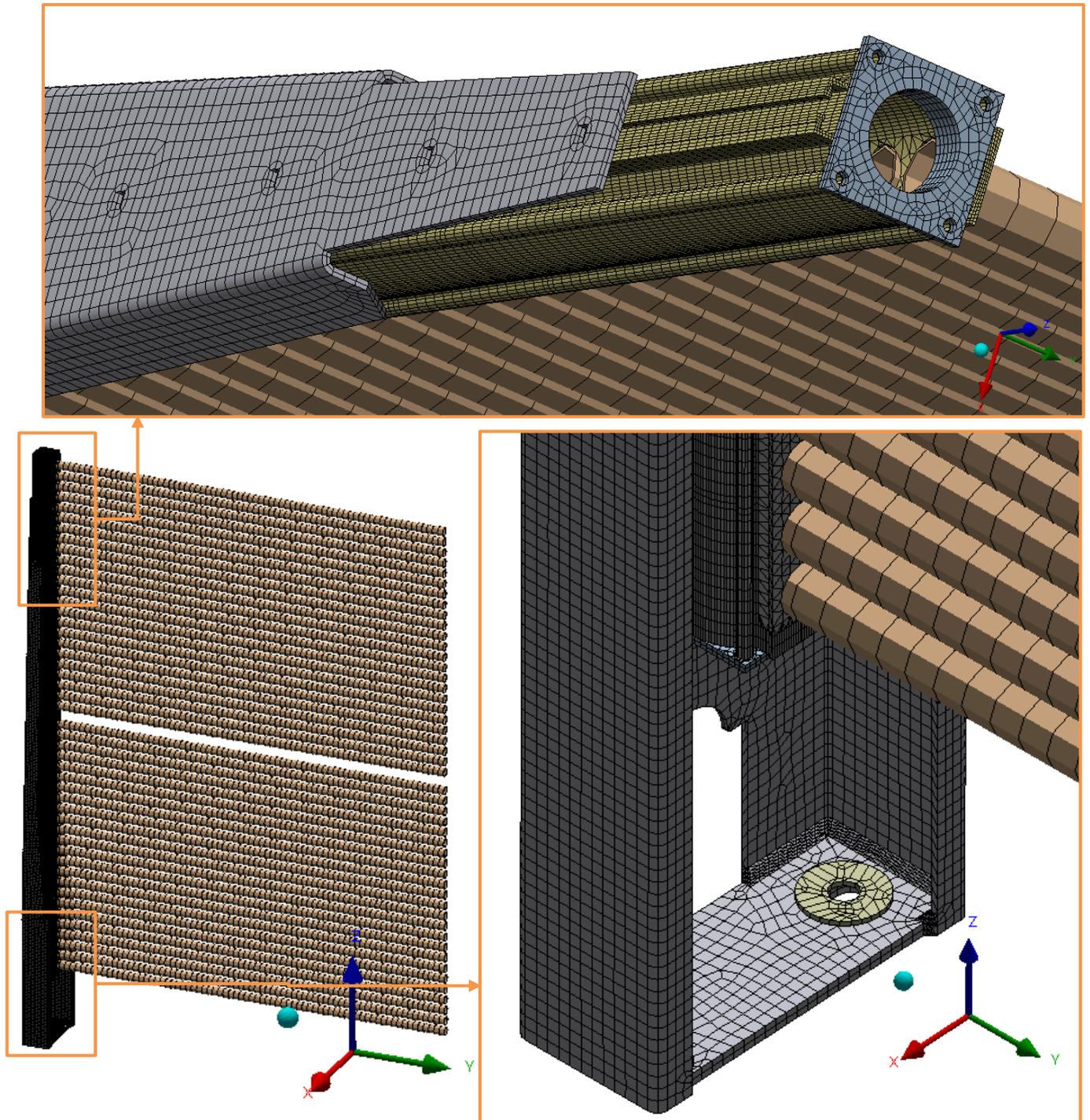


Abbildung 5: FE-Modell

Die Vernetzung wurde mit Balken- und Volumenelementen durchgeführt.

Das Modell besteht aus ca. 718.100 Knoten und 160.000 Elementen.

4.2 Kontakte und Verbindungselemente

Alle Volumenkörper werden über reibungsbehaftete Kontakte miteinander verbunden. Die Verbindung zwischen Balken- und Volumenkörpern wird über Gelenke modelliert.

Die Kontakte sind in Abbildung 6 dargestellt.

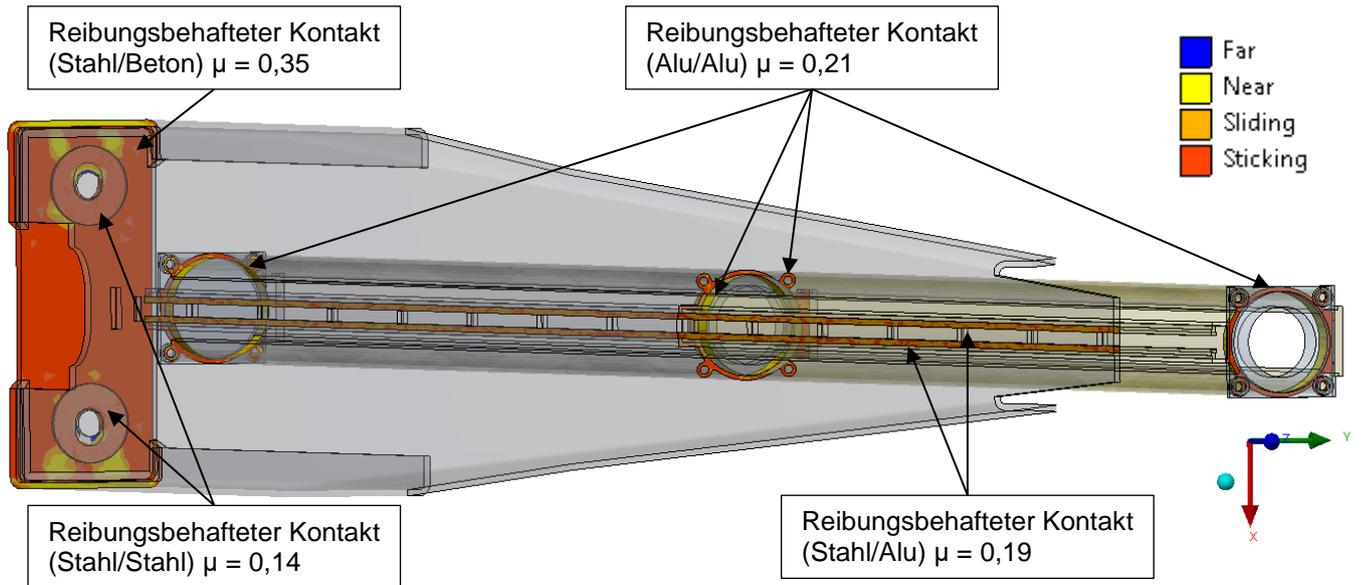


Abbildung 6: Kontakte

Schraubenverbindungen werden zu gelenkigen Verbindungselementen vereinfacht. Für die Verschraubung zum Fundament sind Unterlegscheiben notwendig (Annahme: $\varnothing 28$ mm). Die Schraubenverbindungen sind in Abbildung 7 dargestellt.

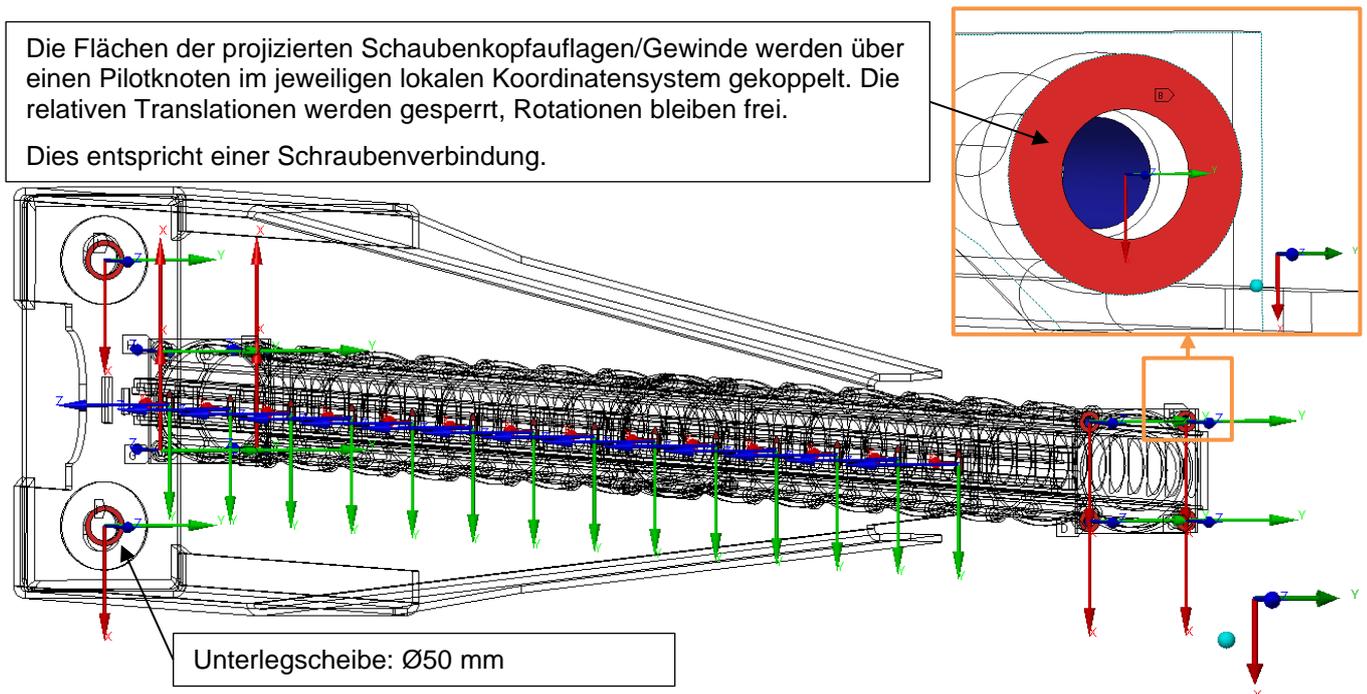


Abbildung 7: Schraubenverbindungen

Die einzelnen Rohre werden ebenfalls über gelenkige Verbindungen mit dem Verteiler verbunden, welche in Abbildung 8 dargestellt sind.

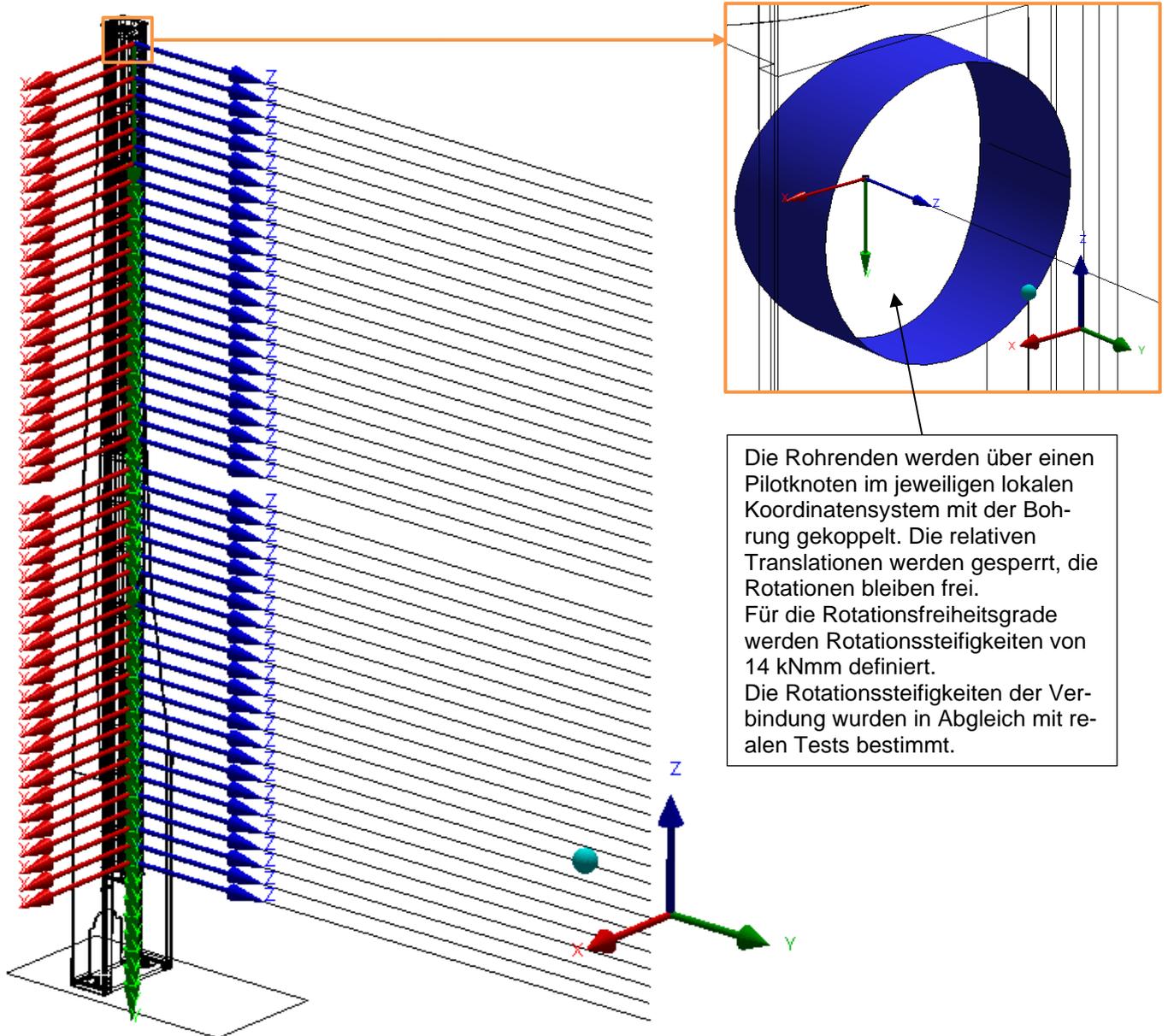


Abbildung 8: Verbindung Rohre zu Verteiler.

4.3 Lagerungsbedingungen

Die Lagerungsbedingungen sind in Abbildung 9 dargestellt.

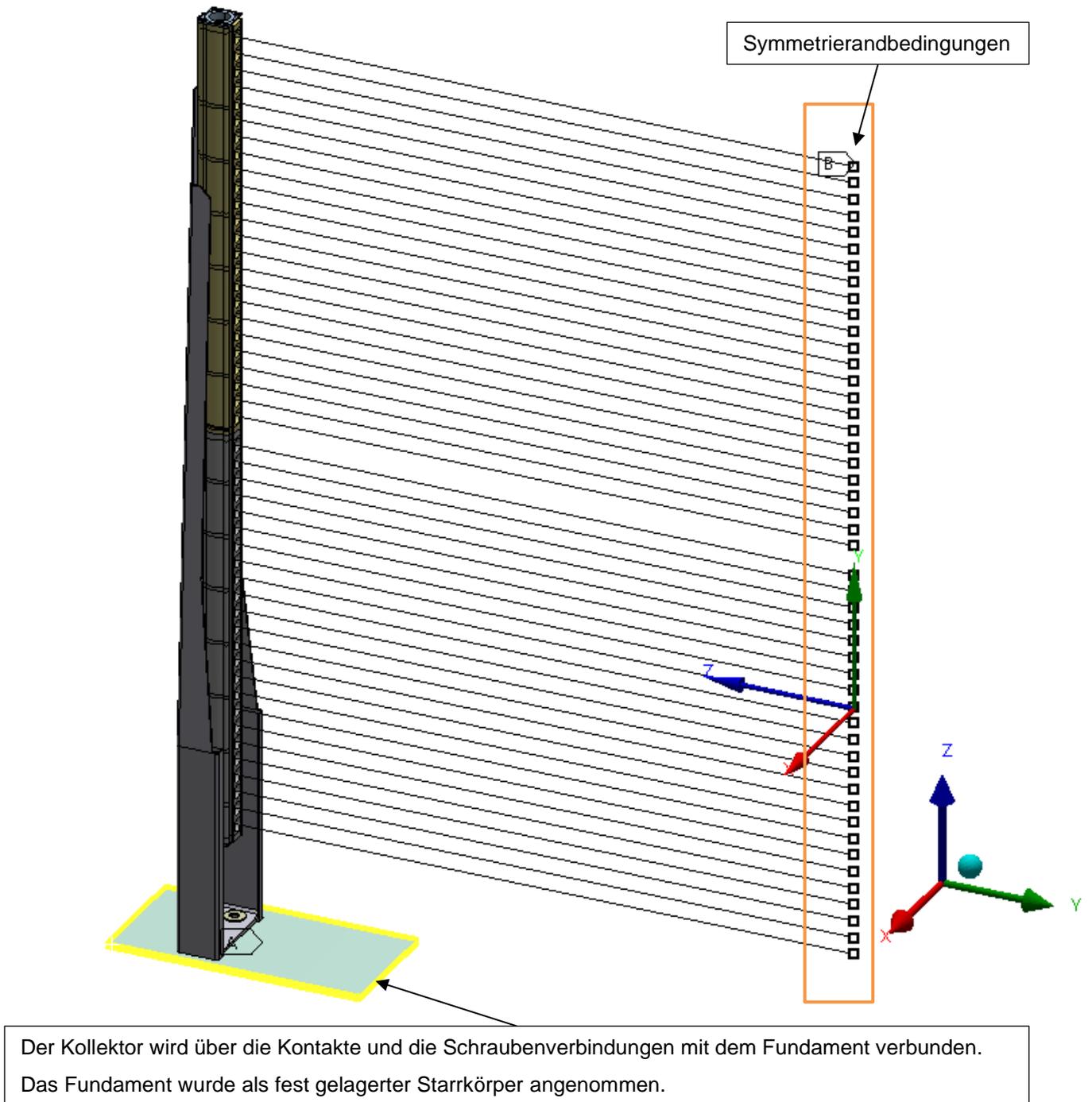


Abbildung 9: Lagerungsbedingungen

4.4 Lasten

Die Windlast wurde anhand einer CFD-Analyse (Bericht 2020/347-A-1) bestimmt. Dabei wurde nach DIN EN 1991-1-4 mit nationalem Anhang die Windlastzone 2 und Geländekategorie II angenommen. Das Ergebnis der CFD-Berechnung ist die tatsächlich resultierende Windkraft an einem Zaunelement.

Für einen Kollektor ergibt sich folgende Windkraft $F_{W,x}$:

$$F_{W,x} = 3894 \text{ N}$$

Die aufgetragenen Lasten sind in Abbildung 10 dargestellt.

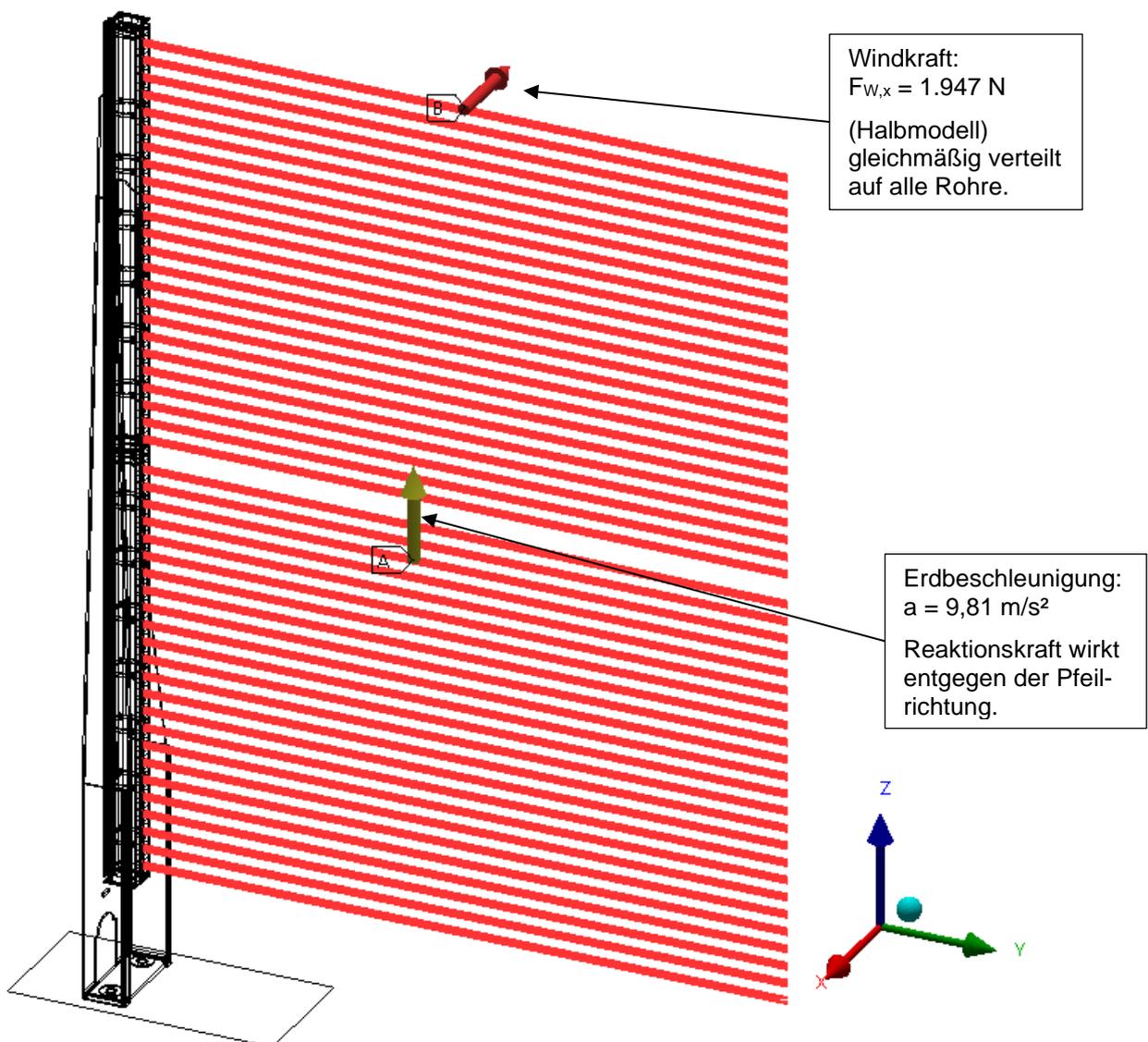


Abbildung 10: Lasten

Zusätzlich zu den gezeigten Lasten wurde ein max. Betriebsdruck von 3,3 bar berücksichtigt.

4.5 Lastfallkombinationen nach Eurocode

Gemäß Eurocode müssen für die Gebrauchstauglichkeit und die Tragsicherheit folgende Lastfallkombinationen mit entsprechenden Lastfaktoren betrachtet werden:

- LFK1: Gebrauchstauglichkeit $1,0 \times G + 1,0 \times W_x + 1,0 \times P$ (Verformungen)
- LFK2: Tragsicherheit $1,35 \times G + 1,5 \times W_x + 1,0 \times P$ (Spannungen)
- LFK3: Lastüberhöhung $1,3125 \times \text{LFK2}$ (Gesamtdehnung)

4.6 Rechenalgorithmen

Die Berechnungen erfolgten statisch nichtlinear unter Berücksichtigung des plastischen Materialverhaltens, des reibungsbehafteten Kontaktverhaltens, und der geometrischen Linearität.

5 Ergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Berechnung für die einzelnen Lastfallkombinationen farbgrafisch dargestellt.

5.1 Verformungen, LFK1

Die Verformungen im Zustand der Gebrauchstauglichkeit sind in Abbildung 11 dargestellt.

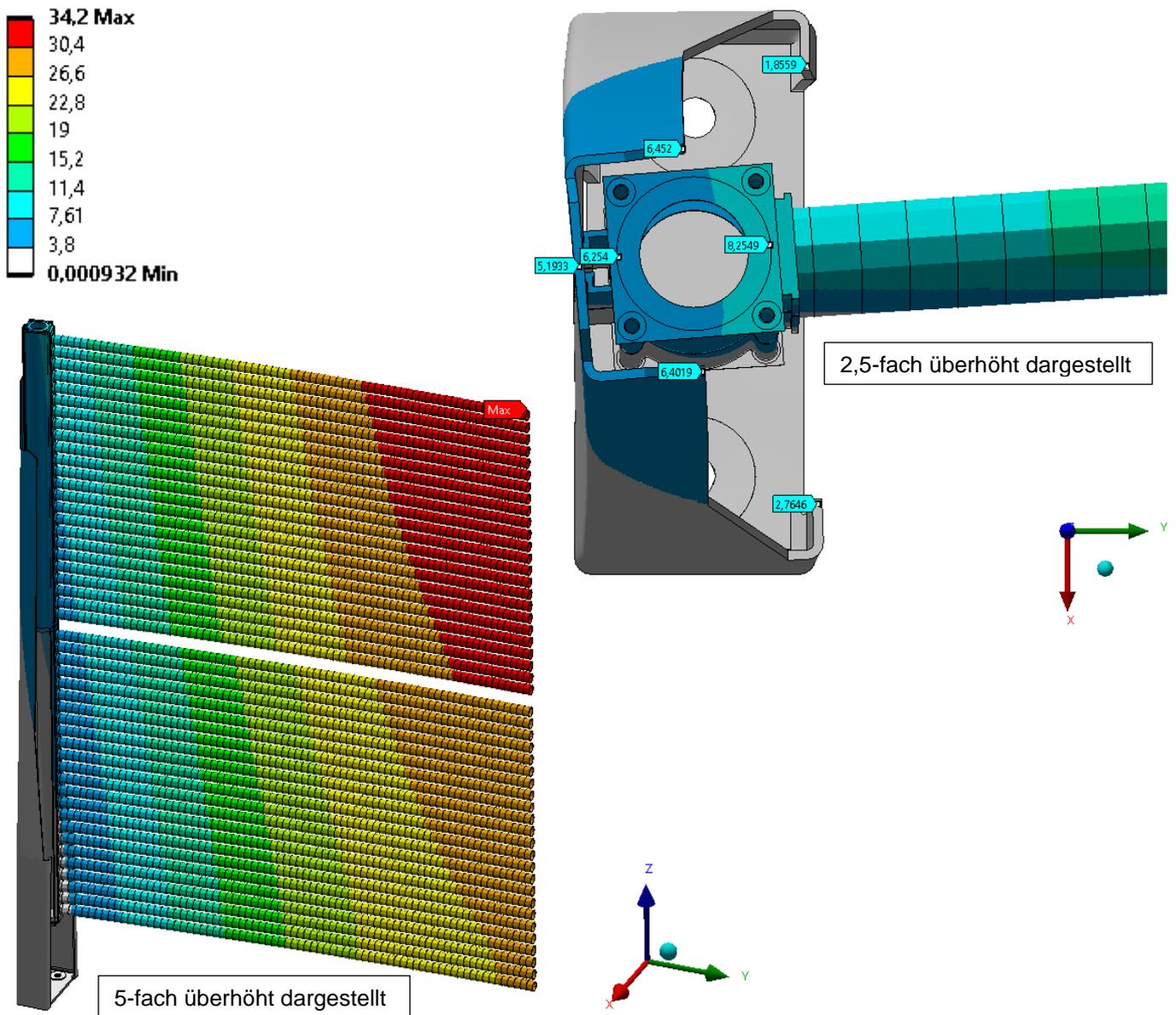


Abbildung 11: Verformungen in mm, LFK1

Die maximale Verformung durch Wind in x-Richtung beträgt 34,2 mm und befindet sich in der Mitte des obersten Rohrs. Es handelt sich dabei um eine Durchbiegung des Kollektors.

Die Durchbiegung führt am Blechsteher zu einer Verdrehung um die z-Achse, sowie einem Verkippen um die y-Achse.

5.2 Vergleichsspannungen nach Mises, LFK2

Abbildung 12 und Abbildung 13 zeigen die maximalen Spannungen für den Zustand der Tragsicherheit. Die Legende ist so gewählt, dass alle Spannungen oberhalb der Dehngrenze in Rot dargestellt sind.

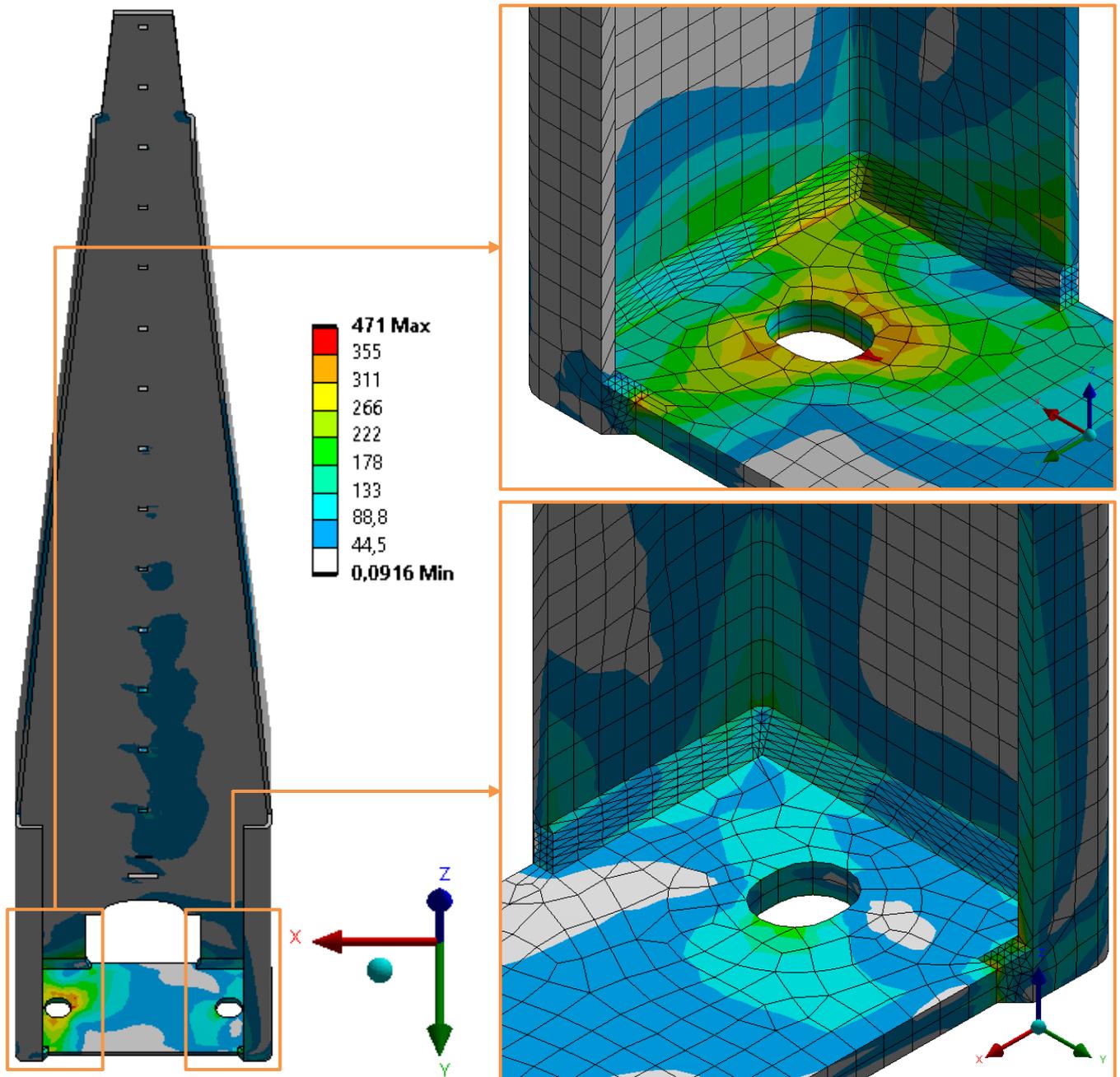


Abbildung 12: Vergleichsspannungen nach Mises in N/mm^2 ; LFK2, Stahlbauteile

Für den Blechsteher aus S355 liegen die Spannungen überwiegend im linear-elastischen Bereich. An der Verschraubung zum Fundament treten sehr lokal Spannungen oberhalb der Dehngrenze auf, hier kommt es zu plastischen Dehnungen.

Der Nachweis wird nach den plastischen Dehnungen geführt.

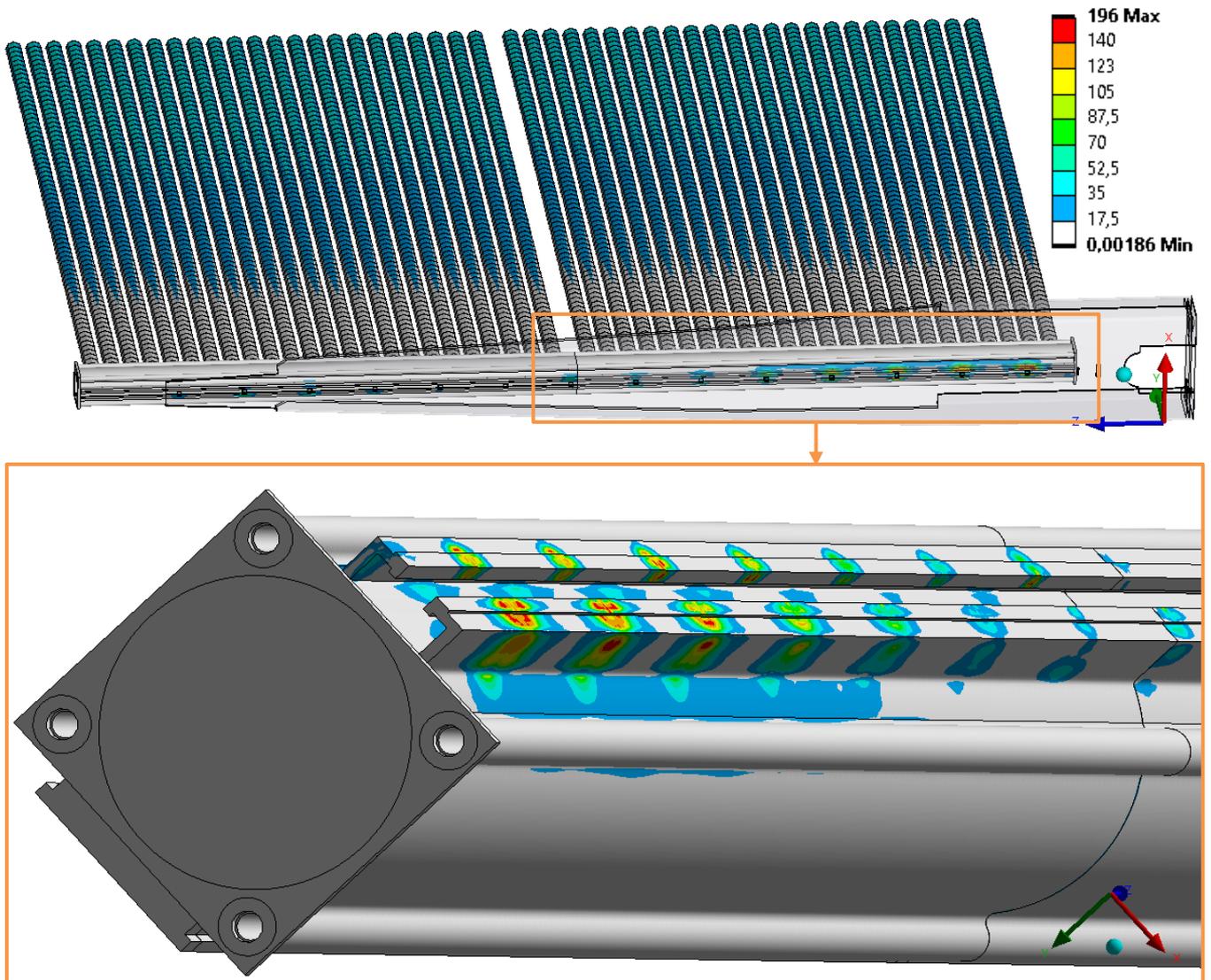


Abbildung 13: Vergleichsspannungen nach Mises in N/mm^2 ; LFK2, Aluminiumbauteile

Für die Aluminiumbauteile liegen die Spannungen überwiegend im linear-elastischen Bereich. An den Verschraubungen zum Blechsteher treten vor allem im unteren Bereich erhöhte Spannungen oberhalb der Dehngrenze auf, hier kommt es zu plastischen Dehnungen.

Der Nachweis wird nach den plastischen Dehnungen geführt.

5.3 Gesamtdehnungen, LFK3

Die Lastfallkombination LFK3 entspricht der LFK2 mit 1,3125-fach überhöhten Lasten.

Abbildung 14 zeigt die maximal auftretenden Gesamtdehnungen.

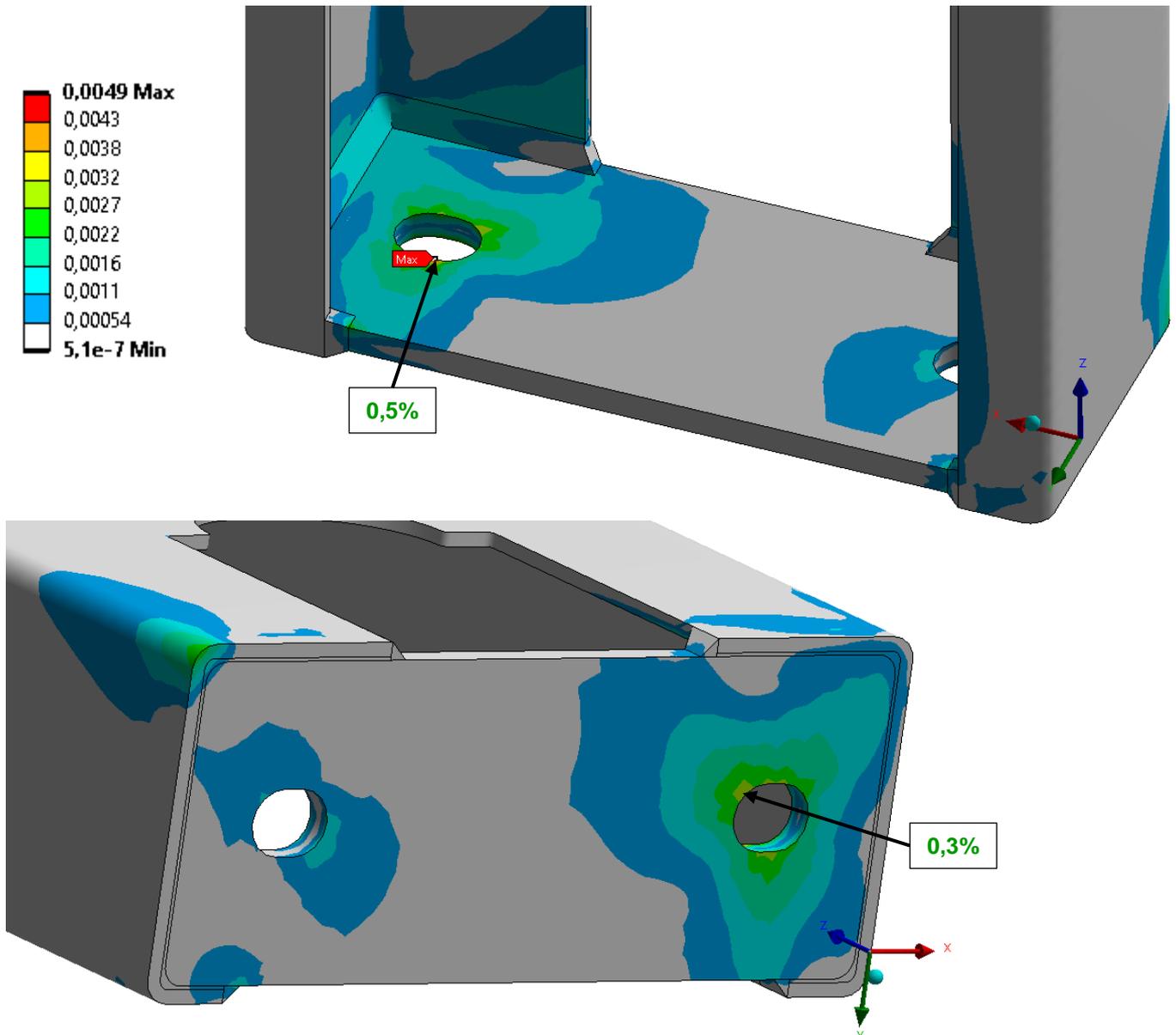


Abbildung 14: Gesamtdehnung in mm/mm; LFK3, Stahlbauteile

Die maximale bewertbare Gesamtdehnung für die Stahlbauteile liegt mit 0,5 % im zulässigen Bereich und befindet sich an der gezeigten Stelle.

$$\varepsilon_{vorh} \leq \varepsilon_{zul}; \quad 0,5 \% \leq 5 \%$$

Der Nachweis der Tragsicherheit kann für die Stahlbauteile rechnerisch erbracht werden. Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit ist im Nachweis der Tragsicherheit enthalten. Der Nachweis der Schweißnähte ist ebenfalls enthalten.

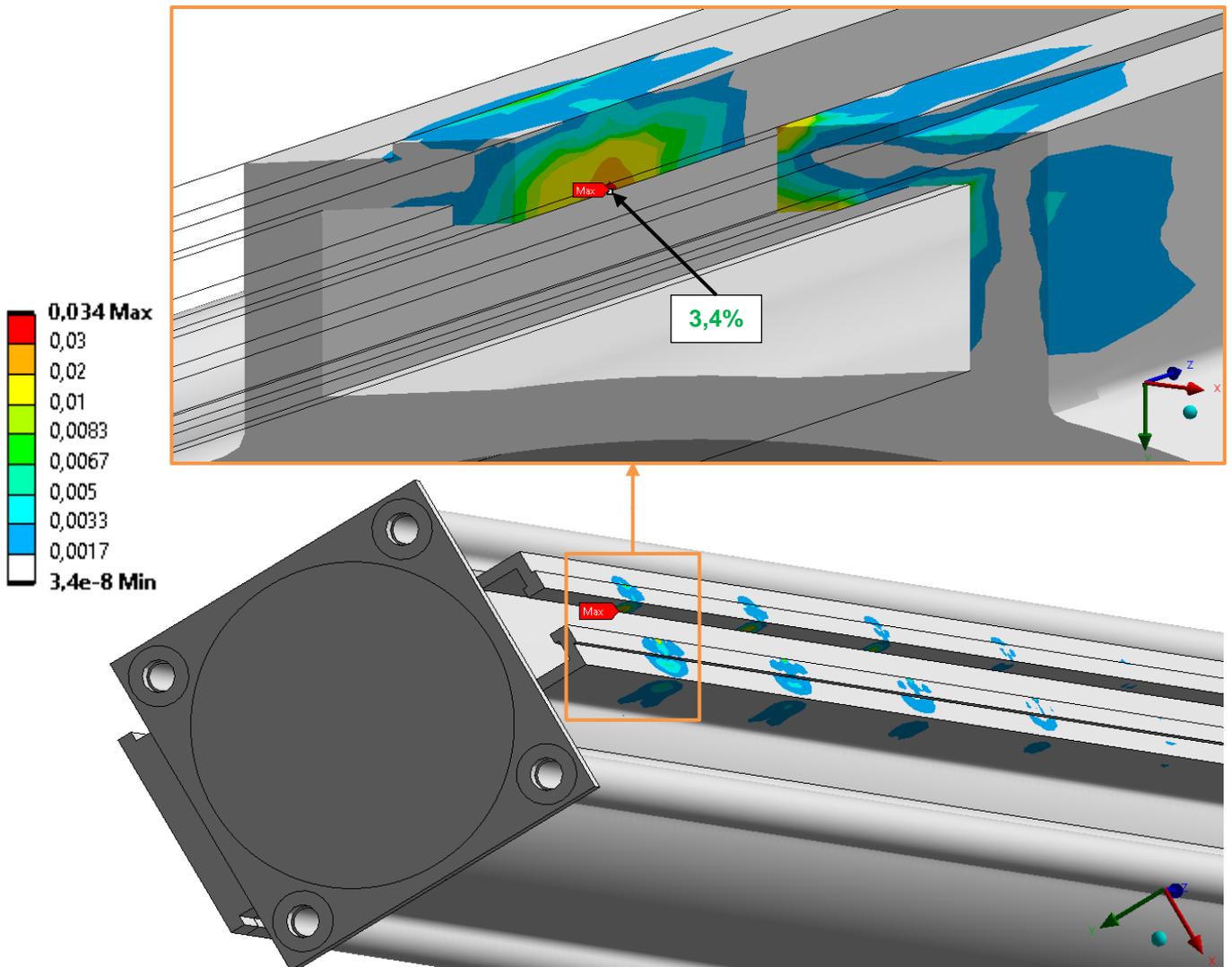


Abbildung 15: Gesamtdehnung in mm/mm; LFK3, Aluminiumbauteile

Die maximale bewertbare Gesamtdehnung für die Aluminiumbauteile liegt mit 3,4 % im zulässigen Bereich und befindet sich an der gezeigten Stelle.

$$\varepsilon_{vorh} \leq \varepsilon_{zul}; \quad 3,4 \% \leq 5 \%$$

Der Nachweis der Tragsicherheit kann für die Aluminiumbauteile rechnerisch erbracht werden. Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit ist im Nachweis der Tragsicherheit enthalten.

6 Nachweise gegen Gleiten und Kippen der Fundamente

Für die Fundamentbemessung (je Fertigteilfundament 1,0m x 0,95m x 0,8m mit einem Eigengewicht von 880kg) wird der Nachweis des Gleitens und des Kippens geführt. In beiden Nachweisen wird der passive Erddruck angesetzt. Nach DIN 1054 Betonkalender TII 4.1.2 sollte für die Bemessung nur 50% des passiven Erddruckes angesetzt werden. Es wird die maximal mögliche Kraft $F_{W,k}$ je Fundament für insgesamt drei Situationen bestimmt.

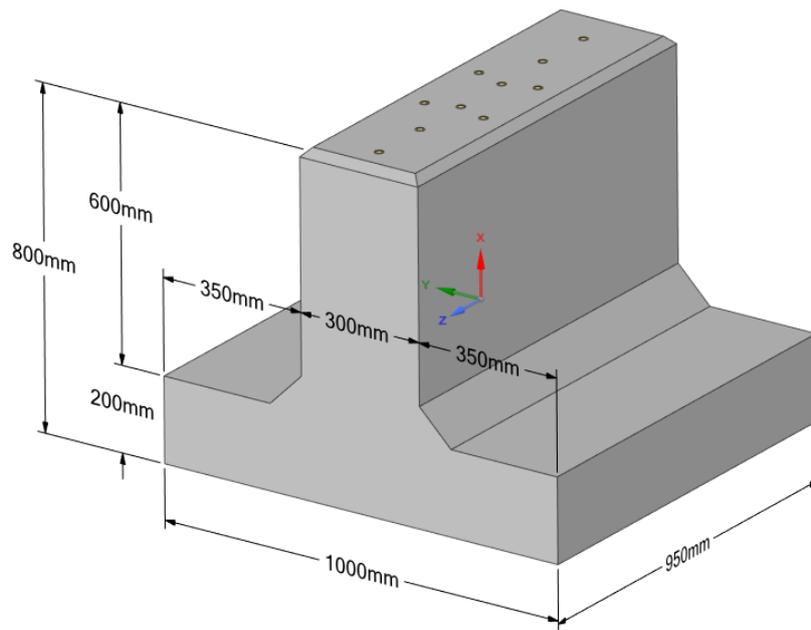


Abbildung 16: Einzelfundament mit Abmaßen

Die Eingangsparameter des Bodens werden wie folgt angenommen:

Tabelle 3: Kennwerte des Bodens bzw. Bodenaufbau

		Einheit	Werkstoff 1
Werkstoffbezeichnung	-	-	Kies gleichförmig
Reibungswinkel	φ	°	38
Wichte	γ	kN/m ³	17,50
Kohäsion	c	kN/m ²	0,00
Wandneigungswinkel	α	°	0
Geländeneigungswinkel	β	°	0
Neigungswinkel	δ_p	°	0

Es ergeben sich 3 Bemessungssituationen.

Die Bemessungssituationen 1 bis 4 sind nachfolgend dargestellt.

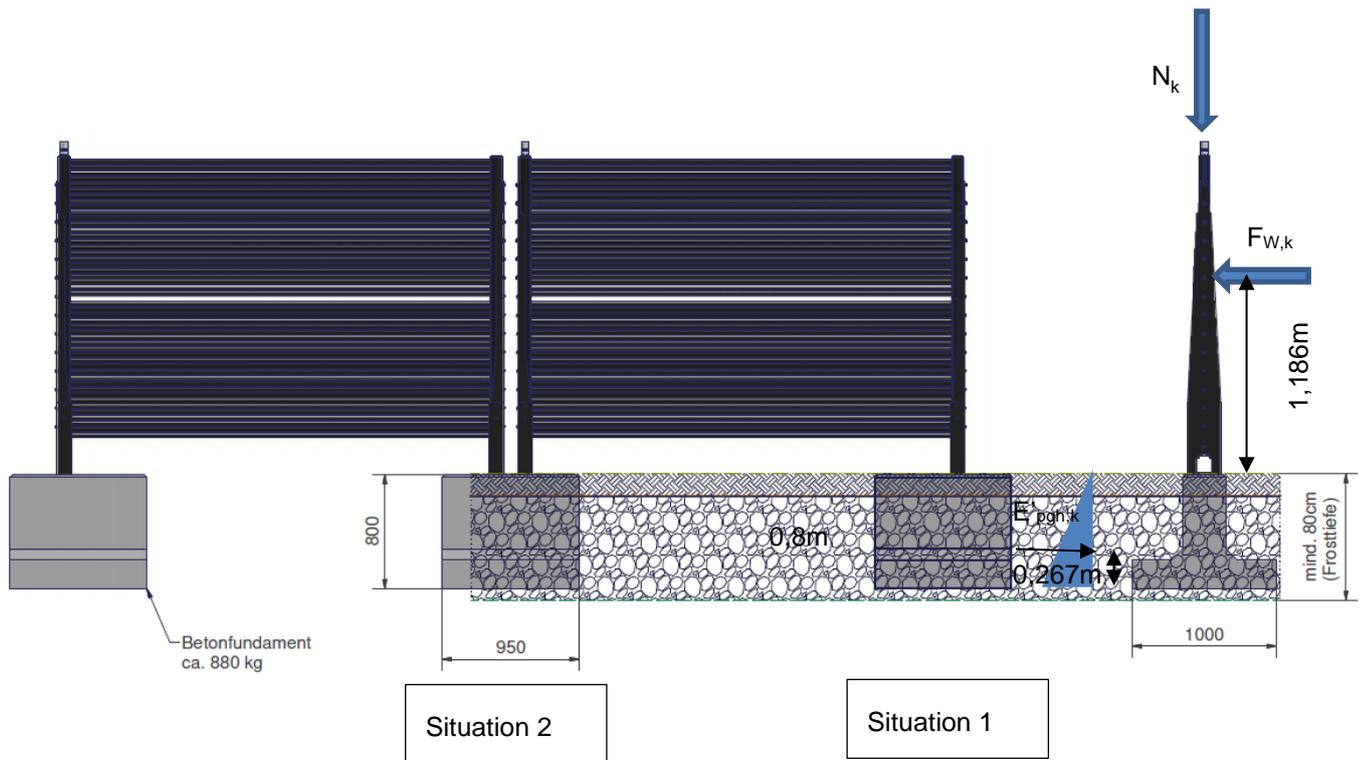


Abbildung 17: Fundamentbemessung, Situation 1 und Situation 2

Das Eigengewicht in der Bemessungssituation 1 ist

$$N_{k=} = (55 \text{ kg} + 53 \text{ kg} + 880 \text{ kg}) * 9,81 \text{ m/s}^2 + 2 * (0,35 \text{ m} * 0,95 \text{ m} * 0,6 \text{ m}) * 17,5 \text{ kN/m}^3$$

Eigengewicht Struktur, Füllung und Fundament
Eigengewicht Boden auf dem Fundament
= 16,675 kN.

Die wirkende Windkraft auf das Fundament ist $F_{W,k} = 1,947 \text{ kN}$.

Das Eigengewicht in der Bemessungssituation 2 ist

$$N_{k=} = (110 \text{ kg} + 107 \text{ kg} + 880 \text{ kg}) * 9,81 \text{ m/s}^2 + 2 * (0,35 \text{ m} * 0,95 \text{ m} * 0,6 \text{ m}) * 17,5 \text{ kN/m}^3$$

Eigengewicht Struktur, Füllung und Fundament
Eigengewicht Boden auf dem Fundament
= 17,744 kN.

Die wirkende Windkraft auf das Fundament ist $F_{W,k} = 3,894 \text{ kN}$.

Das Eigengewicht in der Bemessungssituation 3 ist

$$N_{k=} = (3 * 55 \text{ kg} + 3 * 53 \text{ kg} + 880 \text{ kg}) * 9,81 \text{ m/s}^2 + 2 * (0,35 \text{ m} * 0,95 \text{ m} * 0,6 \text{ m}) * 17,5 \text{ kN/m}^3$$

Eigengewicht Struktur, Füllung und Fundament
Eigengewicht Boden auf dem Fundament
= 18,794 kN.

Die wirkende Windkraft auf das Fundament ist $F_{W,k} = 1,947 * (1 + 0,3 + 0,3) \text{ kN} = 3,115 \text{ kN}$.

Das Eigengewicht in der Bemessungssituation 4 ist

$$N_{k=} = (2 * 55 \text{ kg} + 2 * 53 \text{ kg} + 880 \text{ kg}) * 9,81 \text{ m/s}^2 + 2 * (0,35 \text{ m} * 0,95 \text{ m} * 0,6 \text{ m}) * 17,5 \text{ kN/m}^3$$

Eigengewicht Struktur, Füllung und Fundament
Eigengewicht Boden auf dem Fundament
= 17,734 kN.

Die wirkende Windkraft auf das Fundament ist $F_{W,k} = 1,947 * (1 + 0,3) \text{ kN} = 2,531 \text{ kN}$.

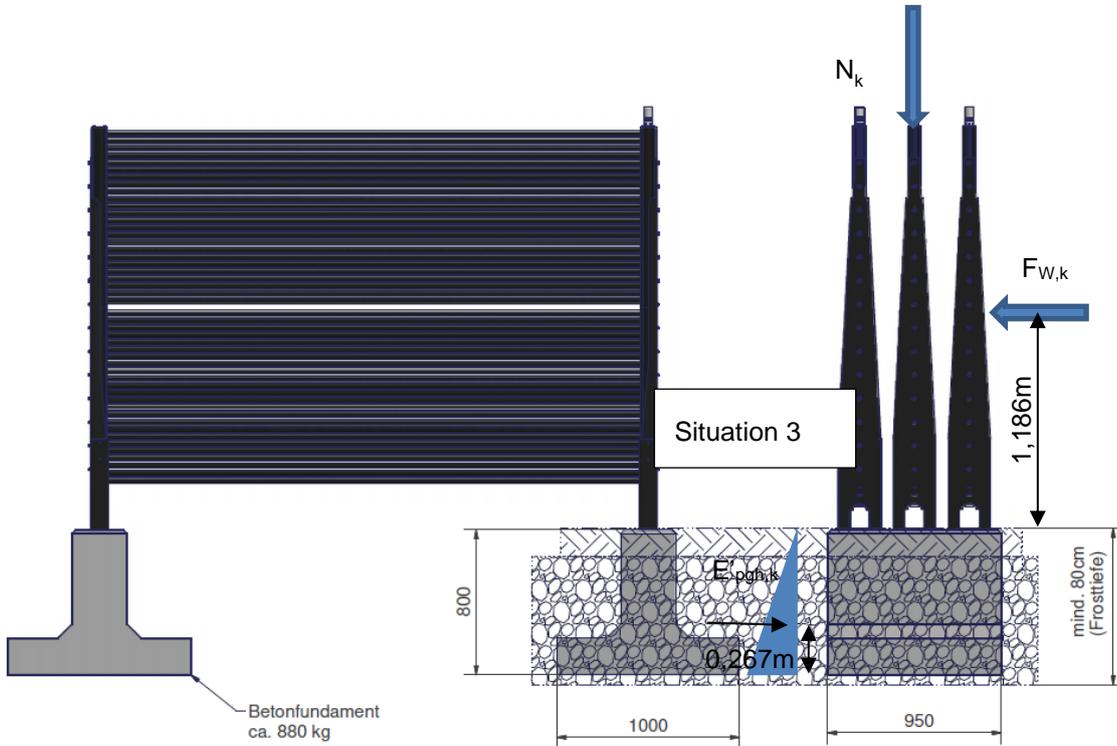


Abbildung 18: Fundamentbemessung, Situation 3

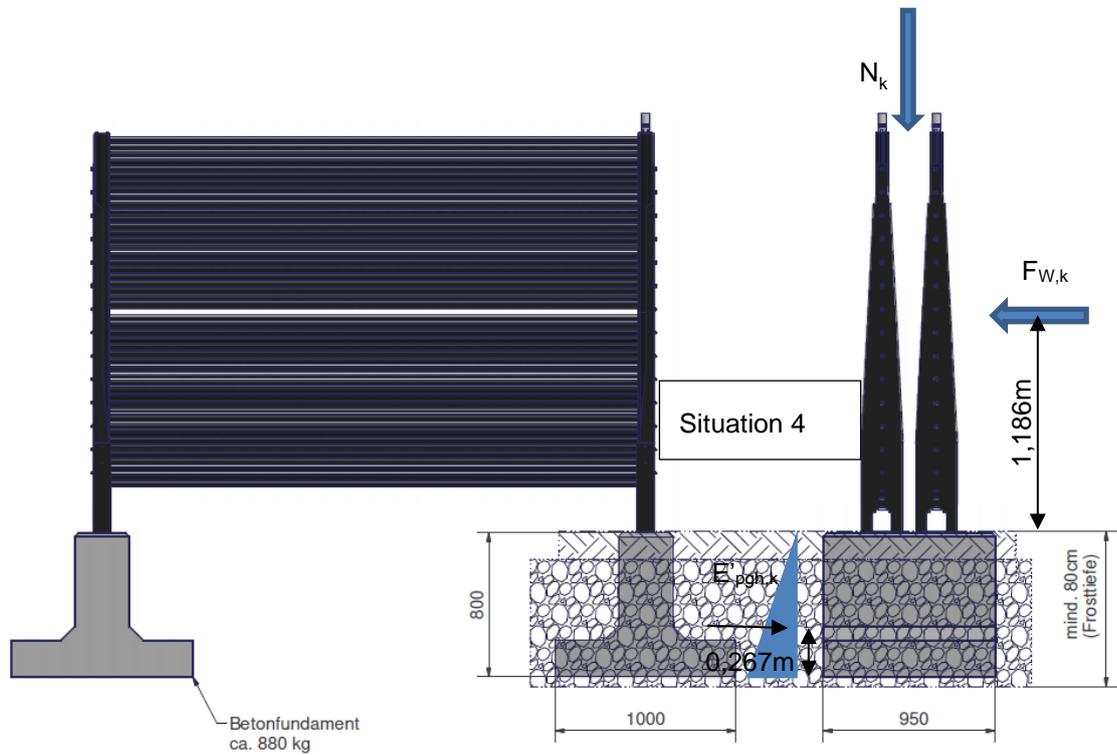


Abbildung 19: Fundamentbemessung, Situation 4

Bemessungssituation 1:

Ermittlung des Erddruckes:

$$l_{pg}^{Er} = l + 0,6 \cdot h \cdot \tan\varphi = 0,95 + 0,6 \cdot 0,8 \cdot \tan 38 = 1,325 \text{ m}$$

$$E'_{pgh,k} = \gamma \cdot \frac{h^2}{2} \cdot K_{pgh} \cdot l_{pg}^{Er} = 17,5 \cdot \frac{0,6^2}{2} \cdot 4,112 \cdot 1,325 = 30,511 \text{ kN}$$

Nachweis gegen Gleiten:

$$1,5 \cdot F_{W,k} \leq (N_k \tan\varphi) / \gamma_{R,h} + 0,5 \cdot E'_{pgh,k} / \gamma_{R,h}$$

$$1,5 \cdot 1,947 \leq \frac{16,675 \cdot \tan 38}{1,1} + 0,5 \cdot \frac{30,511}{1,1}$$

$$2,921 \text{ kN} \leq 25,712 \text{ kN}$$

Nachweis erfüllt

Nachweis gegen Kippen über Momentengleichgewicht:

$$1,5 \cdot (0,8 + 1,186) \cdot F_{W,k} \leq 0,9 \cdot (0,267 \cdot 0,5 \cdot E'_{pgh,k} + 0,5 \cdot N_k)$$

$$1,5 \cdot (0,8 + 1,186) \cdot 1,947 \leq 0,9 \cdot (0,267 \cdot 0,5 \cdot 30,511 + 0,5 \cdot 16,675)$$

$$5,800 \text{ kNm} \leq 11,165 \text{ kNm}$$

Nachweis erfüllt

Bemessungssituation 2:

Ermittlung des Erddruckes:

$$l_{pg}^{Er} = l + 0,6 \cdot h \cdot \tan\varphi = 0,95 + 0,6 \cdot 0,8 \cdot \tan 38 = 1,325 \text{ m}$$

$$E'_{pgh,k} = \gamma \cdot \frac{h^2}{2} \cdot K_{pgh} \cdot l_{pg}^{Er} = 17,5 \cdot \frac{0,6^2}{2} \cdot 4,112 \cdot 1,325 = 30,511 \text{ kN}$$

Nachweis gegen Gleiten:

$$1,5 \cdot F_{W,k} \leq (N_k \tan\varphi) / \gamma_{R,h} + 0,5 \cdot E'_{pgh,k} / \gamma_{R,h}$$

$$1,5 \cdot 3,894 \leq \frac{17,744 \cdot \tan 38}{1,1} + 0,5 \cdot \frac{30,511}{1,1}$$

$$5,841 \text{ kN} \leq 26,472 \text{ kN}$$

Nachweis erfüllt

Nachweis gegen Kippen über Momentengleichgewicht:

$$1,5 \cdot (0,8 + 1,186) \cdot F_{W,k} \leq 0,9 \cdot (0,267 \cdot 0,5 \cdot E'_{pgh,k} + 0,5 \cdot N_k)$$

$$1,5 \cdot (0,8 + 1,186) \cdot 3,894 \leq 0,9 \cdot (0,267 \cdot 0,5 \cdot 30,511 + 0,5 \cdot 17,744)$$

$$11,600 \text{ kNm} \leq 11,646 \text{ kNm}$$

Nachweis erfüllt

Bemessungssituation 3:

Ermittlung des Erddruckes:

$$l_{pg}^{Er} = l + 0,6 \cdot h \cdot \tan\varphi = 0,3 + 0,6 \cdot 0,8 \cdot \tan 38 = 0,675 \text{ m}$$

$$E'_{pgh,k} = \gamma \cdot \frac{h^2}{2} \cdot K_{pgh} \cdot l_{pg}^{Er} = 17,5 \cdot \frac{0,8^2}{2} \cdot 4,112 \cdot 0,675 = 15,543 \text{ kN}$$

Nachweis gegen Gleiten:

$$1,5 \cdot F_{W,k} \leq (N_k \tan\varphi) / \gamma_{R,h} + 0,5 \cdot E'_{pgh,k} / \gamma_{R,h}$$

$$1,5 \cdot 3,115 \leq \frac{18,794 \cdot \tan 38}{1,1} + 0,5 \cdot \frac{15,543}{1,1}$$

$$4,673 \text{ kN} \leq 20,414 \text{ kN}$$

Nachweis erfüllt

Nachweis gegen Kippen über Momentengleichgewicht:

$$1,5 \cdot (0,8 + 1,186) \cdot F_{W,k} \leq 0,9 \cdot (0,267 \cdot 0,5 \cdot E'_{pgh,k} + 0,475 \cdot N_k)$$

$$1,5 \cdot (0,8 + 1,186) \cdot 3,115 \leq 0,9 \cdot (0,267 \cdot 0,5 \cdot 15,543 + 0,475 \cdot 18,794)$$

$$9,280 \text{ kNm} \leq 9,902 \text{ kNm}$$

Nachweis erfüllt

Bemessungssituation 4:

Ermittlung des Erddruckes:

$$l_{pg}^{Er} = l + 0,6 \cdot h \cdot \tan\varphi = 0,3 + 0,6 \cdot 0,8 \cdot \tan 38 = 0,675 \text{ m}$$

$$E'_{pgh,k} = \gamma \cdot \frac{h^2}{2} \cdot K_{pgh} \cdot l_{pg}^{Er} = 17,5 \cdot \frac{0,8^2}{2} \cdot 4,112 \cdot 0,675 = 15,543 \text{ kN}$$

Nachweis gegen Gleiten:

$$1,5 \cdot F_{W,k} \leq (N_k \tan\varphi) / \gamma_{R,h} + 0,5 \cdot E'_{pgh,k} / \gamma_{R,h}$$

$$1,5 \cdot 3,115 \leq \frac{17,734 \cdot \tan 38}{1,1} + 0,5 \cdot \frac{15,543}{1,1}$$

$$4,673 \text{ kN} \leq 19,661 \text{ kN}$$

Nachweis erfüllt

Nachweis gegen Kippen über Momentengleichgewicht:

$$1,5 \cdot (0,8 + 1,186) \cdot F_{W,k} \leq 0,9 \cdot (0,267 \cdot 0,5 \cdot E'_{pgh,k} + 0,475 \cdot N_k)$$

$$1,5 \cdot (0,8 + 1,186) \cdot 2,531 \leq 0,9 \cdot (0,267 \cdot 0,5 \cdot 15,543 + 0,475 \cdot 17,734)$$

$$9,280 \text{ kNm} \leq 9,447 \text{ kNm}$$

Nachweis erfüllt

7 Auswertung Hülsendübel

Für die Auswahl der Hülsendübel werden nachfolgend die maximal auftretenden Schraubenkräfte bestimmt.

Für die analytische Ermittlung der vorhandenen Zugkräfte an den Hülsendübeln, wird gemäß DIN EN 1990, Tabelle A1.2 B die Windlast mit einem Teilsicherheitsbeiwert von 1,5 und das Eigengewicht mit einem Teilsicherheitsbeiwert von 1,0 berücksichtigt.

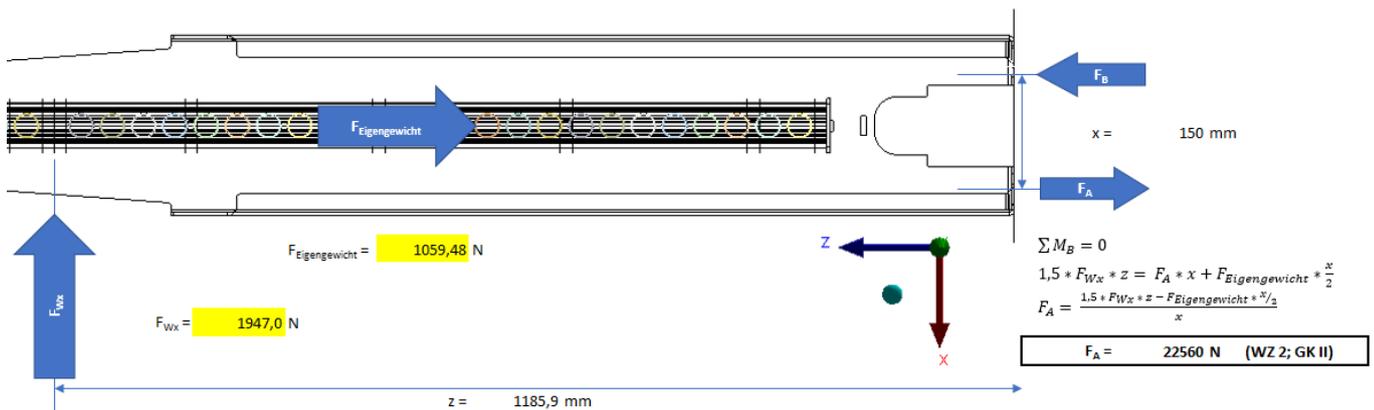


Abbildung 20: Analytische Ermittlung der Lagerkräfte

Die analytische Ermittlung der Lagerkräfte in Abbildung 20 zeigt bei der angenommenen Windlast von $F_{\text{wx}} = 1.947 \text{ N}$ eine maximale Zugkraft von $F_A = 22,56 \text{ kN}$.

Die Querkraft verteilt sich gleichmäßig auf die Schrauben. Sie beträgt pro Schraube 974 N .

Für die Verankerung des Solarzauns müssen Hülsendübel verwendet werden, für die gilt:

- $N_{\text{Rd}} \geq 22,56 \text{ kN}$
- $V_{\text{Rd}} \geq 0,974 \text{ kN}$

8 Zusammenfassung

Es wurden alle nötigen Lastfallkombinationen nach Eurocode nachgerechnet um einen Standsicherheitsnachweis für die Struktur und die Fundamentlagerung zu führen.

Als Lasten wurden das Eigengewicht, der Betriebsdruck und die Windlast mit entsprechenden Kombinationsbeiwerten angenommen um die Tragsicherheit, die Gebrauchstauglichkeit, die Kippsicherheit und die Gleitsicherheit nachzuweisen.

Für die gewählten maximalen Lasten für Windlastzone 2 mit Geländekategorie II können sowohl die Gebrauchstauglichkeit, als auch die Tragsicherheit der Stahl- und Aluminiumbauteile sowie der Schweißnähte nachgewiesen werden.

Der Nachweis gegen Kippen und Gleiten des Fundamentes kann für alle 4 Bemessungssituationen geführt werden.

Die analytische Bestimmung der Lagerkräfte ergab pro Schraube/Hülsendübel eine maximal auftretende Zugkraft von 22,56 kN und eine maximale Querkraft von 974 N.