Datum	06.12.2011
Bericht	2011/016-B-5 / Kurzbericht
Auftraggeber	**Palme Solar GmbH** Klaus Palme Tel. +49 (0) 73 24-98 96-433 Fax Nr. +49 (0) 73 24-98 96-435 info@palme-solar.de
Bestellungsnummer	7
Auftragnehmer	**Merkle & Partner** Ingenieurbüro für Strukturanalyse FEM /CFD Friedrichstr. 1 D-89518 Heidenheim Tel. 0 73 21 / 93 43-0
Projektverantwortung CFD	Dr. sc. techn. Christian Mielke Tel. +49-7321-9343-16 c.mielke@merkle-partner.de
Projektverantwortung FEM	Dipl. Ing. Stela Stoyanova Tel. 0 73 21 / 93 43-136 s.stoyanova@merkle-partner.de
Auftragsbeschreibung	FEM-Berechnung eines optimierten Flachdachgestelles

1 Einleitung

Solarzellen werden auf ein Gestell montiert und ohne Befestigung auf Flachdächer gestellt. Durch Windlasten wirken nun unterschiedliche Kräfte auf das System. Es muss ausgeschlossen werden, dass es durch die Einwirkung von Windkräften zu einem Abheben des Gestells kommt. Für diesen Fall muss das Flachdachgestell mit Gewichten entsprechend beschwert werden.

Nach Rücksprache mit dem TÜV Rheinland basiert eine Zertifizierung des Flachdachgestells im Hinblick auf Abheben oder Verschieben im Wesentlichen auf einer Bestimmung der aerodynamischen Beiwerte. Dies sind der Widerstandsbeiwert c_D und der Auftriebsbeiwert c_L. Diese können sowohl aus dem Versuch als auch aus einer numerischen Simulation bestimmt werden.

Die Geometrie des Flachdachgestells muss auch für die Wind- und Schneelastzonen 1 bis 4, gemäß den DIN Normen 1055-4 und -5 ausreichend dimensioniert sein.

2 Aufgabenstellung

Mit Hilfe der Finiten- Elementen- Methode (FEM) soll das Flachdachgestell (DuoFlat / DuoFlat DS) analysiert und beurteilt werden. Für die Festlegung der Lastangaben sollen die Richtwerte der entsprechenden Normen für Wind- und Schneelasten (DIN 1055-4, DIN 1055-5) angewendet werden.

In einer statischen Analyse wird der Festigkeitsnachweis hinsichtlich Schnee- und Windbelastung durchgeführt bzw. es werden die kritischen Zonen aufgezeigt. Zusätzlich werden anhand von Beulanalysen die Beulfaktoren bestimmt.

3 Strukturmechanische Untersuchung

3.1 Windlast nach DIN 1055-4

Der maximale Geschwindigkeitsdruck von 1,55 kN/m² wird der Norm entnommen und für die Berechnungen angesetzt.

Nach Norm wird die Dachfläche in die Bereiche F bis I eingeteilt. Die Bereiche sehen bei unterschiedlicher Windrichtung anders aus. Massgebend ist der kleinere Wert e=b oder 2h.

Für das Dach werden die Außendruckbeiwerte für die Flächengrößen A=1 m² bzw. A=10 m² für unterschiedliche Neigungswinkel des Daches angegeben.

Der Geschwindigkeitsdruck von q=1,55 kN/m² wird mit dem Faktor der entsprechenden Bereiche multipliziert. Der Neigungswinkel bei beiden Varianten beträgt ca. 10°.

Für die Dachneigung 10° ergiben sich für die Bereiche F bis J folgende Geschwindigkeitsdrücke:

F:	$c_{pe,1}$=-2,2	w=-2,2*1,55=	-3,41 kN/m²=	-3,41 *10-3 N/mm²
G:	$c_{pe,1}$=-1,7	w=-1,7*1,55=	-2,635 kN/m²=	-2,635 *10-3 N/mm²
H:	$c_{pe,1}$=-0,4	w=-0,4*1,55=	-0,62 kN/m²=	-0,62 *10-3 N/mm²

Alternativ für die Fläche I:

I:	$c_{pe,1}$=0,2	w=0,2*1,55=	+0,31 kN/m²=	0,31 *10-3 N/mm²
I:	$c_{pe,1}$=-0,5	w=-0,5*1,55=	-0,775 kN/m²=	-0,775 *10-3 N/mm²

Alternativ für die Fläche J:

J:	$c_{pe,1}$=0,2	w=0,2*1,55=	+0,31 kN/m²=	0,31 *10-3 N/mm²
J:	$c_{pe,1}$=-0,8	w=-0,8*1,55=	-1,24 kN/m²=	-1,24 *10-3 N/mm²

3.1.1 Lastfall 1 – Windlast (als Auftrieb)

Verformungen

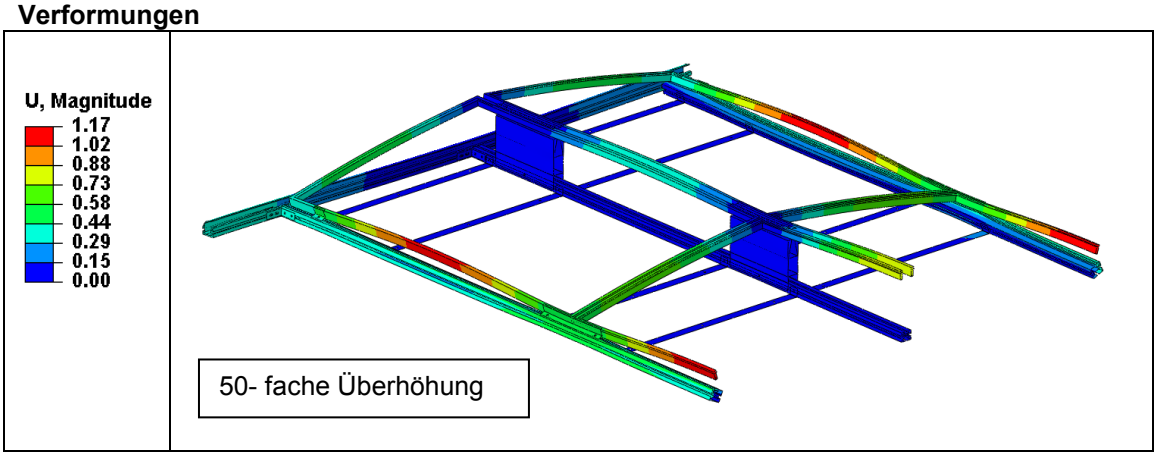

Abbildung 1: Verformung in mm – ohne Solarpanels

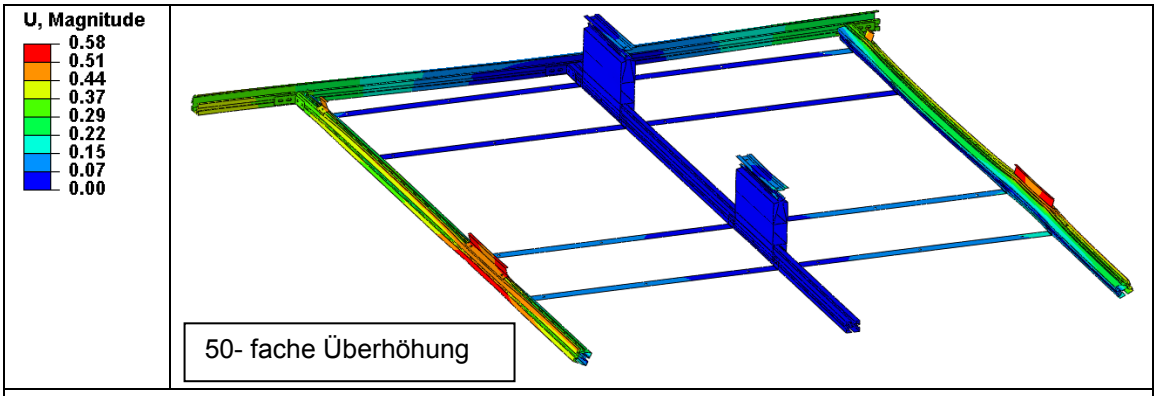

Abbildung 2: Verformung in mm – ohne Solarpanels

Vergleichsspannungen

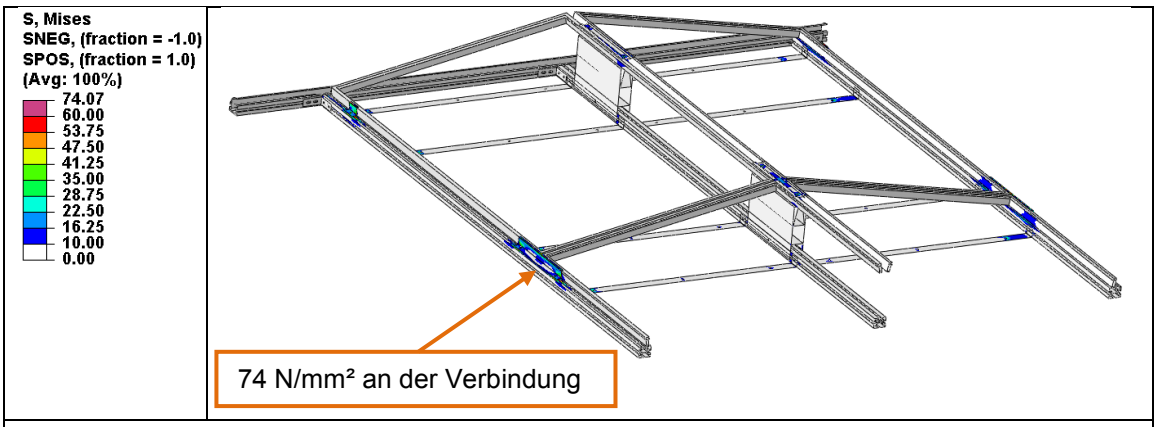

Abbildung 3: Vergleichsspannungen in N/mm² - ohne Solarpanels

Die Untersuchung des Flachdachgestells bezüglich der Windlast zeigt, dass die maximalen Spannungen im Bereich der Winkel und der Stützen in der Mitte auftreten. Zulässiger Wert für EN AW 6063 T6 ist 190N/mm². Die Spannungen sind unterhalb des zulässigen Spannungswertes des verwendeten Werkstoffes.

3.1.2 Lastfall 2 – Windlast (als Abtrieb)

Verformungen

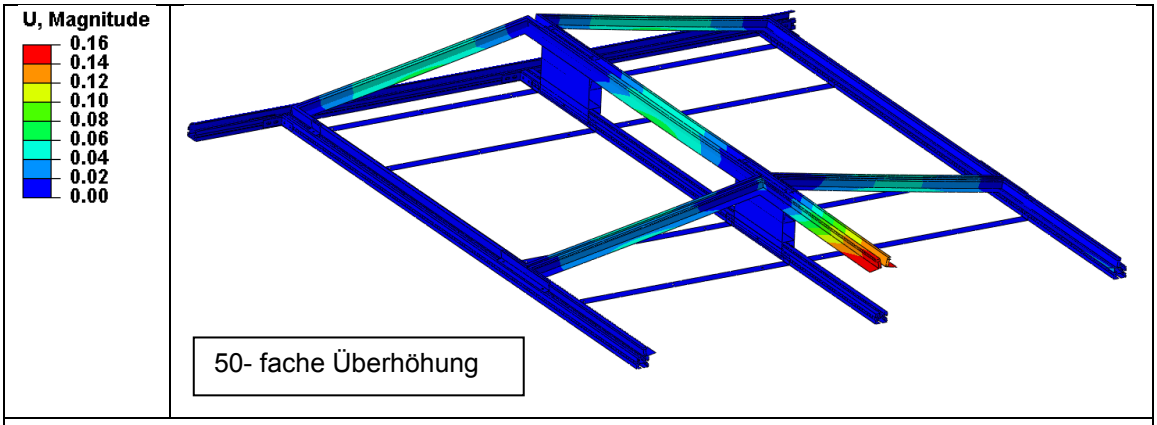

Abbildung 4: Verformung in mm – ohne Solarpanels

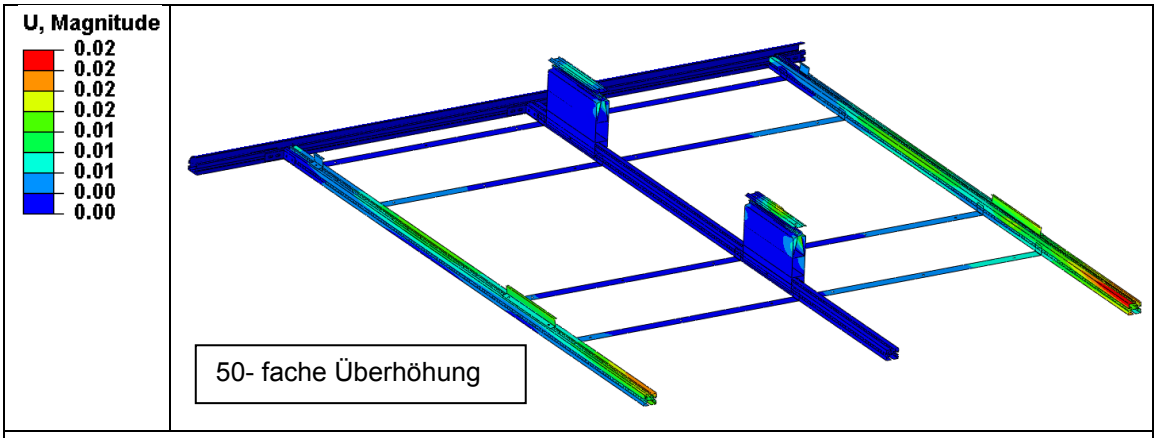

Abbildung 5: Verformung in mm – ohne Solarpanels

Vergleichsspannungen

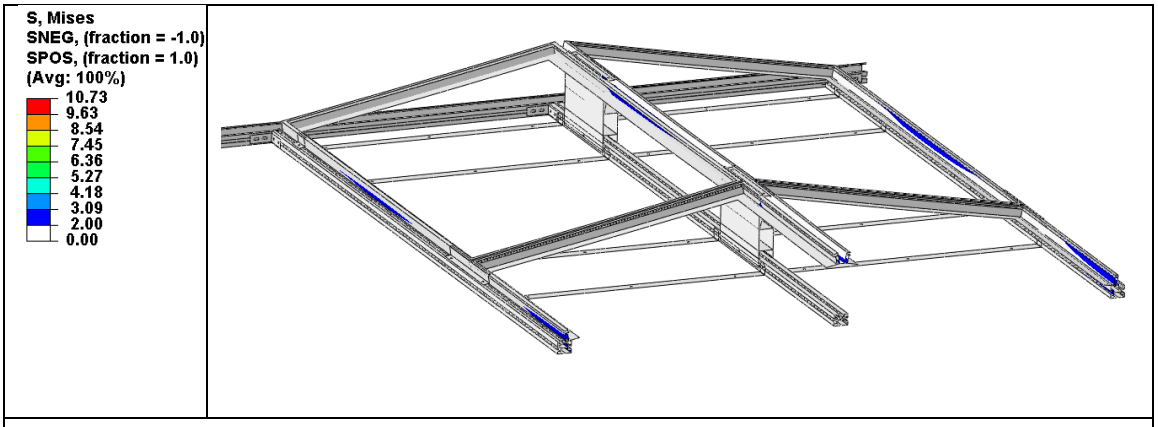

Abbildung 6: Vergleichsspannungen in N/mm² - ohne Solarpanels

Die Spannungen sind unterhalb des zulässigen Spannungswertes des verwendeten Werkstoffes.

3.2 Schneelast nach DIN 1055-5

Die Schneelast auf dem Dach ist in Abhängigkeit von der Dachform und der charakteristischen Schneelast s_k auf dem Boden.

Der Schneelast S_i auf dem Flachdachgestell wurde auf die gesamte Fläche der Solarpanels definiert.

Verformungen

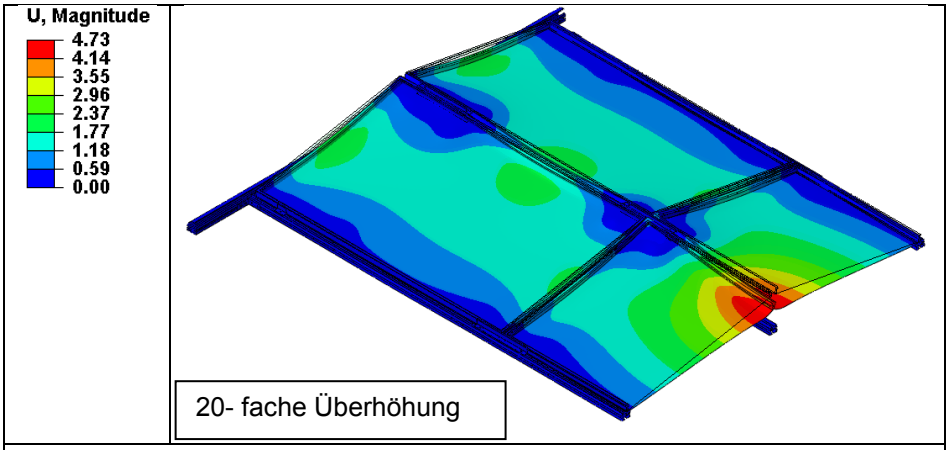

Abbildung 7: Verformung in mm - Gesamtmodell

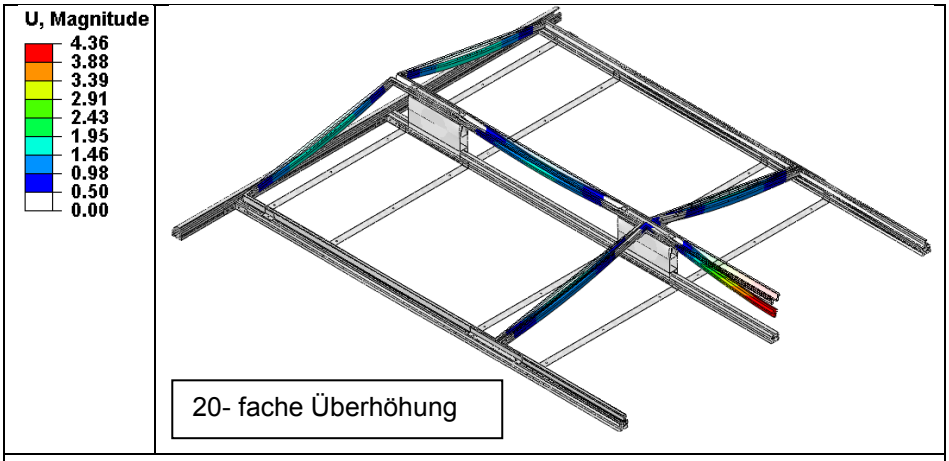

Abbildung 8: Verformung in mm – ohne Solarpanels

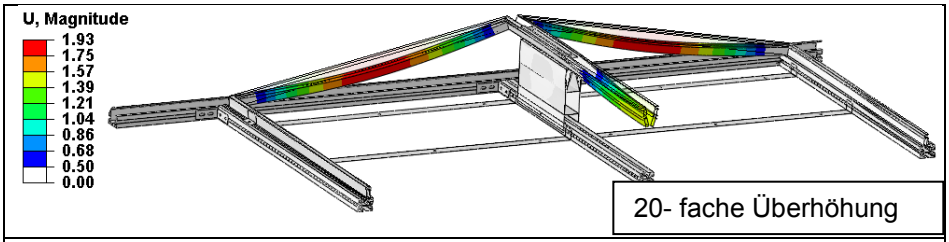

Abbildung 9: Verformung in mm - Rahmen

Vergleichsspannungen

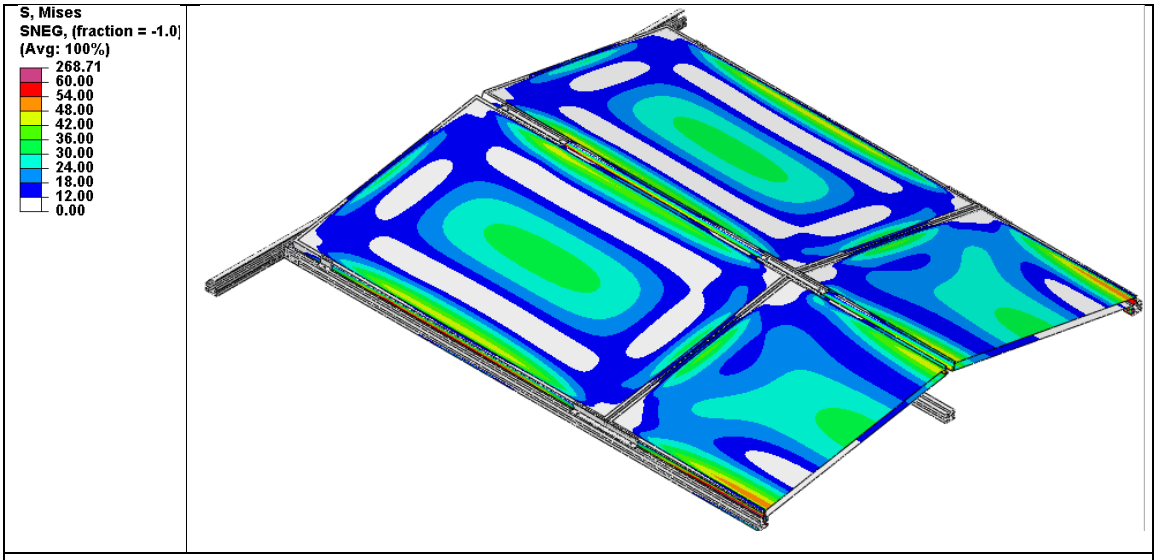

Abbildung 10. Vergleichsspannungen in N/mm² - Gesamtmodell

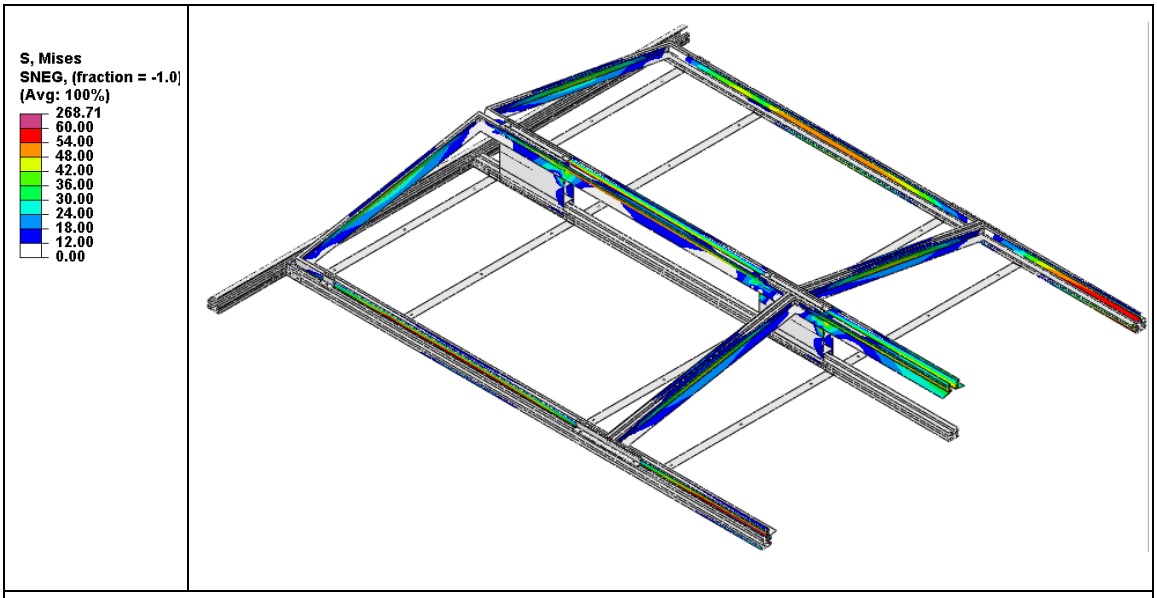

Abbildung 11: Vergleichsspannungen in N/mm² - ohne Solarpanels

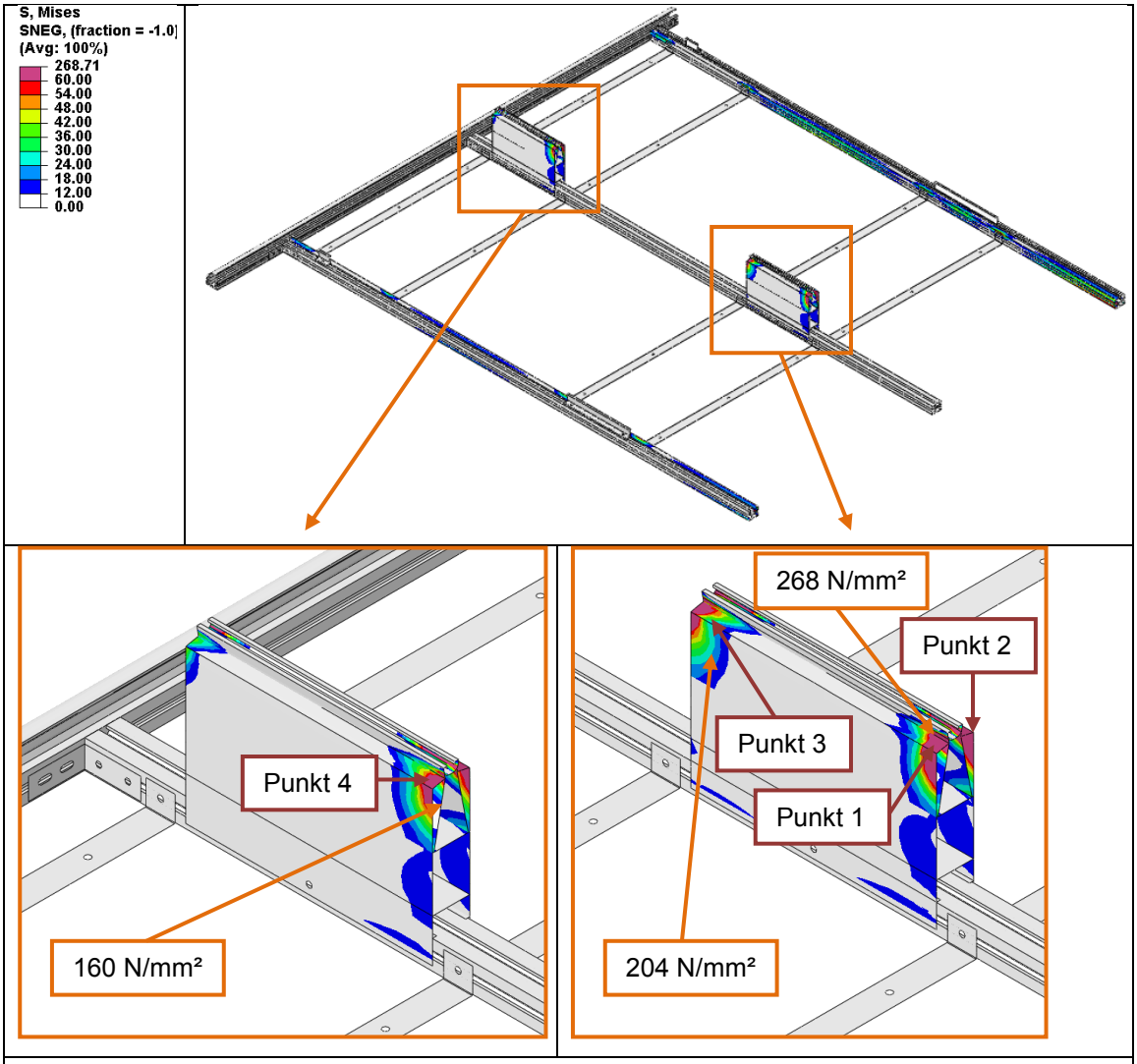

Abbildung 12: Vergleichsspannungen in N/mm² - mittlere Stützen

Die global im Modell auftretenden Spannungen liegen im Bereich der Dehngrenze. Lokal treten Spannungen an den Stützen auf, die oberhalb der Dehngrenze (zulässig 190 N/mm²) liegen. Plastifizierungen können für die Schneelastzone 3 bei einer Einsatzhöhe von h =1000 m nicht ausgeschlossen werden.

3.3 Beuluntersuchung

Beim Beulen werden die ersten Beulfaktoren und Beulformen aufgrund der Schneelast (Zone 3) ermittelt und ausgewertet.

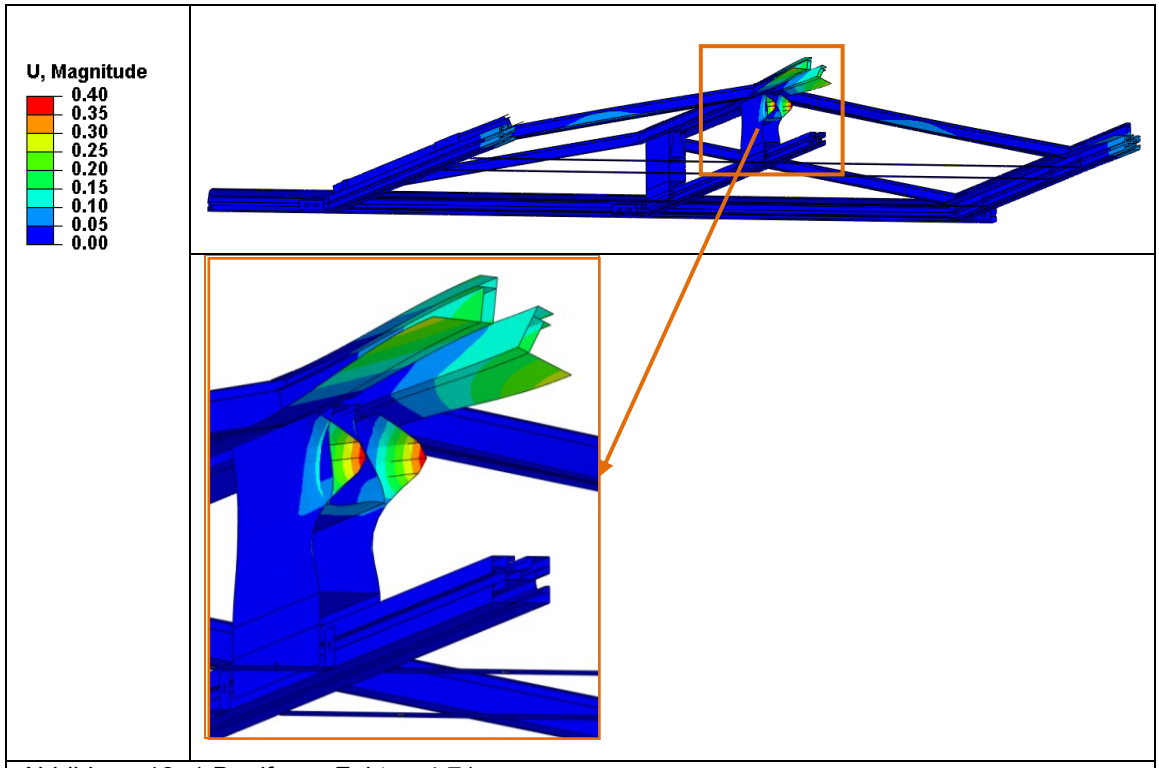

Abbildung 13: 1 Beulform, Faktor: 4,71

Um einen Festigkeitsnachweis führen zu können, sollte der 1. Beulfaktor größer 3 sein. Die Beuluntersuchungen zeigen, dass der erste Beulfaktor bei 4,71 liegt.

4 Zusammenfassung

Strukturmechanische Untersuchung

Windlasten

Bei dem statischen Festigkeitsnachweis liegen die Spannungen in beiden Windlastfällen im zulässigen Bereich und die Dehngrenze wird nicht überschritten.

Schneelasten

Bei dem Schneelastfall stellen sich die Stützen als die kritischsten Bereiche heraus. Hieraus ergeben sich folgende zulässige Einsatzhöhen:

- Schneelastzone 2: $\mathbf{H_{zul,\ Zone\ 2} = 1040\ m}$
- Schneelastzone 3: $\mathbf{H_{zul,\ Zone\ 3} = 810\ m}$

Durch eine Änderung der Stützweite können diese Einsatzhöhen noch weiter erhöht werden.

Lastfallüberlagerung 1

Bei der Lastfallüberlagerung liegen die Spannungen oberhalb der Dehngrenze. Die höchste Belastung tritt vor allem im Bereich der Stützen auf (infolge des Schneelastfalls). Hieraus ergeben sich folgende zulässige Einsatzhöhen:

- Schneelastzone 2: $\mathbf{H_{zul,\ Zone\ 2} = 750\ m}$
- Schneelastzone 3: $\mathbf{H_{zul,\ Zone\ 3} = 570\ m}$

Lastfallüberlagerung 2

Bei dem Lastfall – Windlast als Auftrieb liegen die Spannungen im zulässigen Bereich.

Die Sicherheit beträgt S = 1,56.

Beulanalyse

Der erste Beulfaktor von 4,7 liegt oberhalb von 3 und ist somit ausreichend.

Untersuchung des Rahmens

Bei der Untersuchung des Rahmen ergibt sich eine Sicherheit von S=1,09.