

	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattform	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 1 von 158

# ***Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen***

## **VERTRAULICH**

Dieses Dokument ist vertraulich zu behandeln. Es darf ohne schriftliche Genehmigung weder ganz noch teilweise vervielfältigt, weitergegeben, inhaltlich verwertet oder mitgeteilt werden. Alle Rechte vorbehalten, insbesondere für den Fall der Patenterteilung oder der Eintragung eines Gebrauchs- oder Geschmacksmusters.

3. Ausgabe	02	27.06.2023	M. A. Khamis M. I. Zakaria	N. Werner A.Rosponi		ZUR PRÜFUNG
2. Ausgabe	01	20.02.2023	M. Zakaria A.Krug	A.Krug H. Koch A.Rosponi		ZUR INFORMATION
1. Ausgabe	00	23.01.2023	M. Zakaria A.Krug	A.Krug H. Koch A.Rosponi		ZUR INFORMATION
<b>Status</b>	<b>Rev.</b>	<b>Datum</b>	<b>Erstellt von</b>	<b>Geprüft von</b>	<b>Genehmigt von</b>	<b>Bemerkung</b>

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 2 von 158

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>7</b>
1.1	Allgemein .....	7
1.2	Arbeitsumfang .....	8
1.3	Revisionsbeschreibung .....	8
1.4	Abkürzungen .....	8
1.5	Referenzdokumente.....	9
<b>2</b>	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse .....</b>	<b>10</b>
2.1	Allgemeines .....	10
2.2	Globale Ergebnisse im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) für den eingebauten Zustand.....	10
2.3	Globale Verformungsergebnisse im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS).....	10
2.4	Globale Ergebnisse für das Einheben Hebeanalyse .....	11
2.5	Ergebnisse für das Risiko gegen wirbelinduzierte Schwingungen (VIV).....	11
2.6	Ergebnisse der Verbindungen von Plattformen und Pfahl.....	11
2.7	Ergebnisse der Brückenlager .....	11
2.8	Kritische Bereiche.....	11
2.9	Schlussfolgerung.....	11
<b>3</b>	<b>Normen und Richtlinien.....</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>Allgemeines.....</b>	<b>14</b>
4.1	Projektspezifische Abkürzungen.....	14
4.2	Dokumentenspezifische Abkürzungen .....	14
4.3	Projektspezifische Definitionen .....	16
4.4	Einheiten .....	17
4.5	Software .....	17
4.6	Allgemeine Material Eigenschaften .....	18
<b>5</b>	<b>Beschreibung der Dalben Plattformen.....</b>	<b>19</b>
5.1	Standort .....	19
5.2	Übersicht des Liegeplatzes / FSRU Terminal Layout und Hauptbestandteile.....	20
5.3	Beschreibung der Dalben mit Plattformen .....	21
<b>6</b>	<b>Lasten und Lasteffekte .....</b>	<b>28</b>
6.1	Allgemeine Lasten und Lastkategorien .....	28
6.2	Permanente Lasten (G).....	28

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 3 von 158

6.3	Veränderliche Lasten (Q).....	28
6.3.1	Personenzahl / Verkehrslasten .....	28
6.3.2	Mooring-Lasten / Hakenlasten .....	28
6.3.3	Treppenturm und Gangway Support-Lasten .....	30
6.3.4	Notunterkunft bzw. Sammelplatz, Laufweg zu Ponton .....	30
6.3.5	E&I Container.....	30
6.3.6	Seekabel.....	31
6.3.7	Umweltbedingungen.....	31
6.3.8	Windlasten .....	31
6.3.9	Schneelasten .....	32
6.3.10	Eislasten.....	32
6.3.11	Reaktionslasten der Brücken .....	33
<b>7</b>	<b>Berechnungsmethoden und Nachweisformate .....</b>	<b>35</b>
7.1	Allgemein .....	35
7.2	LRFD Methode .....	35
7.3	Allgemeine Design-Last / Entwurfslast.....	35
7.4	Allgemeine Design-Widerstände .....	35
7.5	Strukturelle Nachweisführung .....	36
7.5.1	Allgemeines .....	36
7.5.2	Begrenzung der Verformung .....	36
7.5.3	Check gegen Wirbelinduzierte Vibrationen (VIV) .....	36
<b>8</b>	<b>Lastkombinationen und Lastfaktoren .....</b>	<b>38</b>
8.1	Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) für Strukturelle Nachweise .....	38
8.2	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) .....	38
8.3	Hebevorgang Lastfaktoren.....	38
8.4	Widerstandsfaktoren.....	40
<b>9</b>	<b>Nachweis der Dalben Plattform im Betriebszustand .....</b>	<b>41</b>
9.1	Allgemeines .....	41
9.2	Model Beschreibung.....	41
9.3	Randbedingungen.....	45
9.4	Lasten .....	49
9.4.1	Allgemeine Beschreibung den Lasten.....	49

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 4 von 158

9.4.2	LC 1 – Struktur-Eigengewicht (G).....	50
9.4.3	LC 2 – Eigengewicht der Gitterroste (G) .....	50
9.4.4	LC 3 – Eigengewicht des Hakens (G) .....	50
9.4.5	LC 4 – Equipment Lasten (Q) (nur bei MD4 und MD6).....	51
9.4.6	LC 5 – Mooring-Lasten (Q).....	52
9.4.7	LC 6 – Reaktionslasten aus Brücke (Q).....	54
9.4.8	LC 7 – Verkehrslasten (Q) .....	69
9.4.9	LC 8 – Windlasten (E).....	70
9.4.10	LC 9 – Schneelasten (E) .....	79
9.4.11	LC 10 – Eislasten (E) .....	79
9.4.12	LC 11 – Holmlasten auf Geländer (Q).....	80
9.5	Lastfallkombinationen für Betriebszustand.....	81
9.6	Ergebnisse für Betriebszustand .....	83
9.6.1	Spannungsergebnisse – Betrieb.....	83
9.6.2	Verformungsergebnisse – Betrieb.....	89
9.7	Check gegen Wirbelinduzierte Vibrationen (VIV) .....	93
<b>10</b>	<b>Nachweis der Dalben Plattform für das Einheben.....</b>	<b>95</b>
10.1	Allgemeines .....	95
10.2	Model Beschreibung.....	95
10.3	Randbedingungen .....	99
10.4	Lasten .....	102
10.5	Lastfallkombinationen für das Einheben.....	103
10.6	Ergebnisse für das Einheben.....	104
10.6.1	Spannungsergebnisse – Heben.....	104
10.6.2	Verformungsergebnisse – Heben.....	107
<b>11</b>	<b>Verbindungen zwischen Plattformen und Pfahl.....</b>	<b>112</b>
11.1	Allgemeines .....	112
11.2	Bracket-Kreuz .....	112
11.2.1	Randbedingungen .....	114
11.2.2	Lasten .....	115
11.2.3	Ergebnisse .....	116
11.2.4	Spannungsergebnisse.....	116

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 5 von 158

11.2.5	Verformungen.....	119
11.3	Anschluss von Diagonalen an Pfahl .....	120
11.3.1	Randbedingungen.....	121
11.3.2	Lasten .....	121
11.3.3	FE-Netz.....	122
11.3.4	Ergebnisse .....	125
11.3.5	Spannungsergebnisse.....	125
11.3.6	Verformungen.....	126
<b>12</b>	<b>Typischer Brückenlager .....</b>	<b>127</b>
12.1	Allgemeines .....	127
12.2	Strukturelle Berechnung .....	127
12.2.1	Gleitlager.....	127
12.2.2	Gelenklager .....	128
12.2.3	Randbedingungen.....	129
12.2.4	Lasten.....	131
12.2.5	FE-Netz.....	135
12.3	Ergebnisse .....	138
12.3.1	Spannungsergebnisse.....	138
12.3.2	Verformungen.....	140
<b>13</b>	<b>Brückenlager für Brücke B4 .....</b>	<b>141</b>
13.1	Allgemeines .....	141
13.2	Strukturelle Berechnung .....	141
13.2.1	Gelenklager .....	141
13.2.2	Randbedingungen.....	142
13.2.3	Lasten .....	143
13.2.4	FE-Netz .....	145
13.3	Ergebnisse .....	147
13.3.1	Spannungsergebnisse.....	147
13.3.2	Verformungen.....	148
<b>14</b>	<b>Anhang – Reaktionskräfte im Betriebszustand.....</b>	<b>149</b>

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 6 von 158

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 7 von 158

# 1 Einleitung






## 1.1 Allgemein

Der KUNDE (ENGIE/TES) plant einen neuen Green Hub vor dem TES-Grundstück am Westufer der Jademündung im Hafengebiet von Wilhelmshaven. Die schrittweise Entwicklung des Green Hub umfasst eine erste Phase mit einer schwimmenden Speicher- und Regasifizierungseinheit (Floating Storage and Regasification Unit, FSRU) zum Import von LNG. Das Terminal wird an das deutsche Gasnetz angeschlossen und als Fast-Track-Projekt ausgeführt, mit dem Ziel, vor Ende 2023 mit dem Import von LNG zu beginnen.

Der KUNDE hat einen Vertrag mit IMDC geschlossen, um technische Unterstützung für die Meeresarbeiten sowie Modellierungsstudien zu leisten, die in den Genehmigungsantrag einfließen werden.



Abbildung 1-1: Überblick Projektierungsfläche (Google Earth)

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 8 von 158

## 1.2 Arbeitsumfang

Dieser Bericht enthält die statischen Berechnungen für die Dalben-Plattformen. Dieser beinhaltet die folgenden globalen Verifikationen und Analysen:

- ULS: Spannung checks im Grenzzustand der Tragfähigkeit für Einheben und im eingebauten Zustand
- SLS: Verformungschecks im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
- Risiko gegen wirbelinduzierte Vibrationen (VIV) für die einzelnen Diagonalen

Aufgrund verschiedener Abmessungen, Geometrien und Interface zu den Lasten sind alle Dalben außer die Dalben MD5 separat nachgewiesen, denn die Dalbenplattformen für MD2 und MD5 sind baugleich.

Die Dalbenplattform BD3 ist aufgrund noch nicht verfügbaren Informationen on HOLD. Die Abmessungen und Lasten aus Treppenturm und Laufstegunterkonstruktion bei der Dalben BD3 werden noch gerade geklärt.

Die Dalbenplattform BD2 wird in der nächsten Revision berücksichtigt.

in Rahmen der Genehmigungsprüfung werden zusätzliche zu den globalen Nachweisen alle Plattformen, die folgenden lokalen Nachweise geführt:

- Verbindungen zwischen Dalben-Plattform und Pfahl.
- Lokale Lasteinleitung aus Brücken am Gleitlager und am Festlager

Dieser Bericht dient der Erlangung der Genehmigung zum Bau der Struktur. Es wird darauf hingewiesen, dass es sich bei diesem Bericht nur um eine strukturelle Prüfung der Gesamtstruktur handelt.

Detaillierte Anschlüsse, Lage, Hebepunkte etc. sind noch nicht final ausgelegt und dienen nur einer ersten Orientierung, da dies in der Detail Engineering Phase thematisiert wird.

## 1.3 Revisionsbeschreibung






Revision 02:

Aufgrund der umfangreichen Überarbeitung in dieser Revision wird auf eine detaillierte Revisionsbeschreibung sowie Markierungen aller Änderungen verzichtet.

## 1.4 Abkürzungen

In Kapitel 3 befindet sich eine komplette Liste aller Abkürzungen, Definitionen und Einheiten, die in diesem Dokument verwendet werden.



  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 9 von 158

## 1.5 Referenzdokumente

Dieses Dokument basiert auf den folgenden Referenzdokumenten

- [1.] IMDC; "Wilhelmshaven FSRU: metocean data gathering"; 2022-05-20
- [2.] IMDC; TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC-2027.00; "Marine Construction Methodology", 2022-12
- [3.] IMDC; TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC -2000.01; "Basis of Design"; Nov. 2022
- [4.] IMDC; TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC-2013\_09; "Allgemeine Layout Zeichnung; 2023-03-20
- [5.] OV; TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC -2001.04; "Wilhelmshaven FSRU: Erläuterungsbericht"; Rev. 06; 2023-06-20
- [6.] OV; TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DWG-2110.00; „Strukturzeichnung Plattform MD1“, 2023
- [7.] OV; TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DWG-2111.00; „Strukturzeichnung Plattform MD2“, 2023
- [8.] OV; TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DWG-2112.00; „Strukturzeichnung Plattform MD3“, 2023
- [9.] OV; TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DWG-2116.00; „Strukturzeichnung Plattform BD4“, 2023
- [10.] OV; TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DWG-2117.00; „Strukturzeichnung Plattform MD4“, 2023
- [11.] OV; TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DWG-2118.00; „Strukturzeichnung Plattform MD5“, 2023
- [12.] OV; TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DWG-2119.00; „Strukturzeichnung Plattform MD6“, 2023
- [13.] OV; TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC-2029.02; "Willhelmshaven FSRU: Statische Berechnung der Brücken", 2023-06-06
- [14.] Meeting zwischen mit IMDC / OV / Van Oord / TE; „Wilhelmshaven - Design/Engineering coordination“; 2023-04-26
- [15.] Straatman BV; „Datasheet Quick Release Hooks for Mooring and Bearthing Sytems“; 2022
- [16.] TEB, "gangway and stair tower input", sent via email, 2023-05-11 & 2023-05-12

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 10 von 158

## 2 Zusammenfassung der Ergebnisse

### 2.1 Allgemeines

Aufgrund verschiedener Abmessungen, Geometrien und Interface zu den Lasten sind alle Dalben außer die Dalben MD5 gesondert nachgewiesen. MD2 und MD5 sind baugleich.

Es werden alle Nachweise wie unter Kapitel 1.2 aufgelistet nach EC bzw. DIN EN geführt. Zusätzlich finden dabei die TRS-sowie ASR-Richtlinien Anwendung.

### 2.2 Globale Ergebnisse im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) für den eingebauten Zustand

Das Gesamtspannungsniveau in der Dalbenplattformen ist im Allgemeinen moderat und innerhalb der zulässigen Grenzen. Es treten teilweise nur sehr lokal begrenzte Überspannungen auf, die aufgrund der vereinfachten Modellierung, ihrer geringen Ausbreitung und Auftreten nur an der Oberfläche als unkritisch eingestuft werden. Aufgrund der zusätzlich konservativen Ansätze in den Analysen werden die minimalen Überspannungen als vernachlässigbar angesehen.

Für detaillierte Spannungsergebnisse siehe Kapitel 9.6.1.



### 2.3 Globale Verformungsergebnisse im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS)

In der folgenden Tabelle sind alle maximalen Durchbiegungen der maximal zulässigen Durchbiegung gegenübergestellt. Für alle 7 untersuchten Dalben wird die Grenzverformung von L/200 deutlich eingehalten.

Tabelle 2-1: Projektspezifische Abkürzungen

Plattform	zulässige Durchbiegung $\delta_{zul}$ [mm]	resultierende Durchbiegung $\delta$ [mm]
MD1	51.6	5.7
MD2	29.0	3.5
MD3	19.6	8.8
MD4	46.8	23.7
MD5	29.0	3.5
MD6	60.4	34.6
BD1	49.7	14.0
BD2	ON HOLD	
BD3	ON HOLD	
BD4	47.0	10.0

Für detaillierte Verformungsergebnisse siehe Kapitel 9.6.2.

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 11 von 158

#### 2.4 Globale Ergebnisse für das Einheben Hebeanalyse

Die Festigkeit der Plattformen für das Einheben kann als ausreichend betrachtet werden. Die maximale Auslastung der zulässigen Spannungen liegen deutlich unter denen für den Betriebszustand. Die maximale Auslastung (nur sehr lokal begrenzt) liegt bei 86%.

Für eine detaillierte Berechnung siehe Abschnitte Kapitel 10.

#### 2.5 Ergebnisse für das Risiko gegen wirbelinduzierte Schwingungen (VIV)

Die wirbelinduzierten Vibrationen werden gemäß DIN EN [III.] gecheckt.

Die Diagonalen wurden für alle untersuchten Dalben Plattformen gecheckt. Da alle kritischen Anströmgeschwindigkeiten deutlich über der aktuellen Windgeschwindigkeit liegen, werden alle Braces / Diagonalen als unkritisch angesehen.

#### 2.6 Ergebnisse der Verbindungen von Plattformen und Pfahl

Die Verbindungen von Plattformen und Pfahl werden für die Designlasten / Reaktionslasten aus der globalen Analyse in Kapitel 9 ausgelegt. Die sich daraus ergebenden Spannungsverläufe sind im Allgemeinen moderat und innerhalb der zulässigen Grenzen. Die überspannten Bereiche in der Anschlussstruktur zwischen Dalben und dem oberen Pfahl sind lokal und aufgrund der konservativen Annahmen unkritisch gesehen.

Für detaillierte Ergebnisse siehe Kapitel 11.

#### 2.7 Ergebnisse der Brückenlager

Die Brückenlager werden für die Designlasten in Kapitel 9.4.7 ausgelegt. Die sich daraus ergebenden Spannungsverläufe sind moderat. Das Gleitlager ist im Bereich der Gleitplatten leicht überspannt, was jedoch nicht als kritisch angesehen wird.






Für detaillierte Ergebnisse siehe Kapitel 12 und 13.

#### 2.8 Kritische Bereiche

Es wurden keine kritischen Bereiche gefunden.

#### 2.9 Schlussfolgerung

Die Festigkeit der Plattformenstruktur ist für alle untersuchten Lastfälle und Konfigurationen ausreichend. Alle Checks werden erfüllt.

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 12 von 158






### 3 Normen und Richtlinien

Die folgenden Normen und Richtlinien werden für das Projekt berücksichtigt:

- [I.] Deutsches Institut für Normung; DIN EN 1990, „Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung“; 2021-10
- [II.] Deutsches Institut für Normung; DIN EN 1991, „Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau“; 2010-12
- [III.] Deutsches Institut für Normung; DIN EN 1991-1-4/NA, „Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten; 2010-12
- [IV.] Deutsches Institut für Normung; DIN EN 1991-1-3/NA, „Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen – Schneelasten“; 2019-04
- [V.] Deutsches Institut für Normung; DIN EN 1993, „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln für den Hochbau“; 2010-12
- [VI.] Deutsches Institut für Normung; DIN EN 1993, „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 3: Brücken“; 2016
- [VII.] Deutsches Institut für Normung; DIN EN 1993-1-8; “Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-8: Design of Joints (includes Corrigendum AC:2009)”; 2010-12
- [VIII.] Deutsches Institut für Normung; DIN EN 10025; Walmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen; 2019-10
- [IX.] Deutsches Institut für Normung; DIN EN 14122-2; „Sicherheit von Maschinen – ortsfeste Zugänge zu maschinellen Anlagen – Teil 2: Arbeitsbühnen und Laufstege“; 2016
- [X.] Deutsches Institut für Normung; DIN EN ISO 14122-3; “Sicherheit von Maschinen- Treppen, und Geländer“; 2016
- [XI.] API RP 2GEO; “Geotechnical and Foundation Design Considerations”; 2014-10
- [XII.] Deutsches Institut für Normung; DIN EN 1997-2, „Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung der Baugründe“; 2010-10
- [XIII.] Deutsches Institut für Normung; DIN 18088-1; „Tragstrukturen für Windenergieanlagen und Plattformen - Teil 1: Grundlagen und Einwirkungen“; 2019-01
- [XIV.] Deutsches Institut für Normung; DIN EN 1090-2; „Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken - Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken“; 2018-09
- [XV.] Deutsches Institut für Normung; DIN SPEC 18088-13; „Tragstrukturen für Windenergieanlagen und Plattformen - Teil 13: Ausführung von Offshore-Stahlbauten“; 2019-12
- [XVI.] Deutsches Institut für Normung; DIN EN ISO 13920; „Schweißen - Allgmeintoleranzen für Schweißkonstruktionen - Längen- und Winkelmaße; Form und Lage“; 1996-11
- [XVII.] OCIMF MEG4, „Mooring Equipment Guidelines“; 2008

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 13 von 158

- [XVIII.] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUV); TRAS 310; „Grundlagen für die Technische Regel für Anlagensicherheit - Vorkehrungen und Maßnahmen wegen der Gefahrenquellen Niederschläge und Hochwasser“; 01-2013
- [XIX.] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUV); TRAS 320; „Technische Regel für Anlagensicherheit - Vorkehrungen und Maßnahmen wegen der Gefahrenquellen Wind, Schnee- und Eislasten“; 05-2016
- [XX.] EAU 202, „Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ Häfen und Wasserstraßen“, 12. Auflage, 2021
- [XXI.] DNV; DNV-ST-N001; „Marine Operations and Marine Warranty“; September 2021

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 14 von 158

## 4 Allgemeines

### 4.1 Projektspezifische Abkürzungen

Projektspezifische Abkürzungen sind in der folgenden Tabelle gelistet.

Tabelle 4-1: Projektspezifische Abkürzungen

Abkürzung	Beschreibung
ENGIE	ENGIE SA (Kunde)
IMDC	INTERNATIONAL MARINE AND DREDGING CONSULTANTS
OV	Tractebel Overdick GmbH
TES	Tree Energy Solutions Belgium BV (Konsortionalpartner mit ENGIE)

### 4.2 Dokumentenspezifische Abkürzungen






Folgende Abkürzungen werden in diesem Dokument verwendet:

Tabelle 4-2: Abkürzungen

Abkürzung	Beschreibung
AFC:	Approved For Construction / Geprüft für den Bau
ALS:	Accidental Limit State / Außergewöhnliche Lastfallkombination
B:	Bridge / Brücke
BD:	Bearthing Dolphin / Anlegedalben
BOS:	Bottom of Steel / Unterkante Stahlbau
DIN:	Deutsches Institut für Normung
EC:	Eurocode
EN:	Europäische Norm
EPC:	Engineering, Beschaffung und Konstruktion
FEED:	Front End Engineering Design / Vorfeld Planung
FLS:	Fatigue Limit State / Grenzzustand der Ermüdung
FRSU:	Floating Storage and Regasification Unit

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 15 von 158

Abkürzung	Beschreibung
HAT:	Highest Astronomical Tide / Höchster Gezeitenwasserstand
HGzw:	Höchster Gezeitenwasserstand
HSE:	Health Safety Environment / Gesundheits- und Sicherheitsumgebung
HThw:	Höchster Tide-Hochwasserstand (Surge Level Max.)
IC:	Installation Contractor / Auftragnehmer Installation
ISO:	International Organization for Standardization / Internationale Organisation für Normung
LAT / SKN:	Lowest Astronomical Tide / Niedrigster Gezeitenwasserstand / Seekartennull
LNG:	Liquid Natural Gas / Flüssiggas
LRFD:	Load and Resistance Factored Design / Design mit Teilsicherheitsfaktoren auf Last- und Widerstandsseite
MD:	Mooring Dolphin / Ankerdalben
ML:	Mudline / Meeresboden
MLS:	Mudline Suspension / Meeresboden Suspension
MSL:	Mean Sea Level / Mittlerer Meeresspiegel
MWS:	Marine Warranty Surveyor / Sachverständiger für Schiffs-Versicherer
NTnw:	Niedrigster Tide-Niedrigwasserstand
QA/QC:	Quality Assurance / Quality Control / Qualitätssicherung / Qualitätskontrolle
QRH:	Quick Release Hook / Schnell-Löse-Haken
QQRH	Quadruple Quick Release Hook / Vierfacher Schnell-Löse-Haken
RAM:	Responsibility Assignment Matrix / Verantwortungszuordnungsmatrix
SLS:	Serviceability Limit State / Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
SoW:	Scope of Works / Arbeitsumfang

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 16 von 158

Abkürzung	Beschreibung
Spec / SPE:	Specification / Spezifikation
SWL:	Safe Working Load / Sichere Arbeitslast
TQRH/ QQRH	Triple Quick Release Hook / Dreifacher Schnell-Löse-Haken
T&I:	Transport & Installation
ULS:	Ultimate Limit State / Grenzzustand der Tragfähigkeit
U.N.O:	Unless Noted Otherwise / wenn nicht anders angegeben
UTM:	Universal Transversaler Mercator






#### 4.3 Projektspezifische Definitionen

Die folgende Tabelle listet alle Begriffe und ihre Definitionen auf, die in diesem Dokument verwendet werden.

Tabelle 4-3: Projektspezifische Definitionen

Begriff	Beschreibung
AUTHORITY (CA)	Certifying Authority / Klassifizierungsbehörde
COMPANY / CLIENT	ENGIE and TES
CONTRACTOR	Zuschlagsempfänger für den EPC-Umfang (inkl. Verladung, Transport und Installation)
FABRICATION-YARD (FY)	Assigned Yard for Construction / Werft oder Stahlbaubetrieb
SUB-CONTRACTOR	Jedes Unternehmen oder jede Person, die vom EPC-CONTRACTOR oder FABRICATION YARD mit der Durchführung eines Teils des Projekts beauftragt wurde.
SUPPLIER	Partei(en), die für die Herstellung und/oder Lieferung von Materialien, Ausrüstung, technischen Dokumenten/Zeichnungen und Dienstleistungen verantwortlich sind, um die vom UNTERNEHMEN festgelegten Aufgaben zu erfüllen
SHORT TERM Projekt	Kurzzeit-Projekt besteht nur aus dem Bau und Betrieb von Liegeplatz Nr. 3 für einen Zeitraum von maximal 5 Jahren. FSRU wird LNG von LNG Carrier erhalten, und der landseitige Transport erfolgt über eine Unterwasserpipeline.



  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 17 von 158

#### 4.4 Einheiten

In diesem Dokument werden die internationalen SI-Einheiten verwendet. Die folgenden Einheiten werden in allen durchgeführten Analysen verwendet, sofern nicht anders angegeben:

Tabelle 4-4: Einheitendefinitionen





Parameter	Beschreibung	Eingabe Einheit
Länge	Meter oder Millimeter	m oder mm
Masse	Metrische Tonne	t
Spannung	Megapascal	MPa
Kraft	Kilo Newton	kN
Temperatur	Grad Celsius	°C
Energie	Joule	J
Dichte	Kilogramm je Kubik Meter	kg/m <sup>3</sup>

#### 4.5 Software

Für die statischen Berechnungen wird folgende Software verwendet:

Table 1: Software

Item	Software	Version	Description
[a]	Strand7	R3.1.1	General Finite Element Analysis
[b]	SolidWorks	2023 SP0.1	Detaillierte Finite Elemente Analyse

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 18 von 158

#### 4.6 Allgemeine Material Eigenschaften

Die folgenden Tabellen fassen die in der Analyse verwendeten Materialeigenschaften gemäß Referenz [XIII.] zusammen.

Table 2: Material Eigenschaften - Stahl

Data	Wert
Material Typ	I, II, III
Struktur Klasse	Spezial, Primär, Sekundär (API Klassen A, B, C)
Spezifische Streck-Grenze [MPa]	355
Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	7.850
Elastizitätsmodul [MPa]	210.000
Poisson Zahl	0,30

Die Nennspannungen und die entsprechenden Mindest-Streck-Grenzen infolge unterschiedlicher Materialstärken sind in der folgenden Tabelle dargestellt. Die Reduzierung der Streckgrenze aufgrund der Materialdicke ist in Ref. [VIII.] gegeben.

Table 3: Nominale & Mindest-Streck-Grenze

Nominale Streck Grenze, $f_{y,k}$ [MPa]	Mindest-Streck-Grenze $R_{eH}$ [MPa] bei Raumtemperatur abhängig vom Bereich der Materialstärke [mm]									
	$t \leq 16$	$16 < t \leq 25$	$25 < t \leq 40$	$40 < t \leq 63$	$63 < t \leq 80$	$80 < t \leq 100$	$100 < t \leq 120$	$120 < t \leq 150$	$150 < t \leq 200$	$150 < t \leq 200$
355	355	345	335	325	315	295	295	285	275	

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 19 von 158

## 5 Beschreibung der Dalben Plattformen

### 5.1 Standort

Das geplante FSRU-Kurzzeiterminal wird am Westufer der Jade bei Voslapper Groden Süd errichtet. Der strenge Zeitplan zielt darauf ab, die Serviceeinrichtung bereitzustellen, um bereits im Winter 2023 mit dem Import von LNG zu beginnen.

Ein FSRU von 138.000 m<sup>3</sup> wird für die kommenden < 5 Jahre an der neuen Anlegeeinrichtung (bestehend aus Anlege- und Ankerdalben) festgemacht, um bis zu 180.000 m<sup>3</sup> LNG von LNG-Tanker zu erhalten.

Die LNG-Importanlage wird über eine Rohrleitung auf dem Meeresboden zur Küstenstation verbunden.

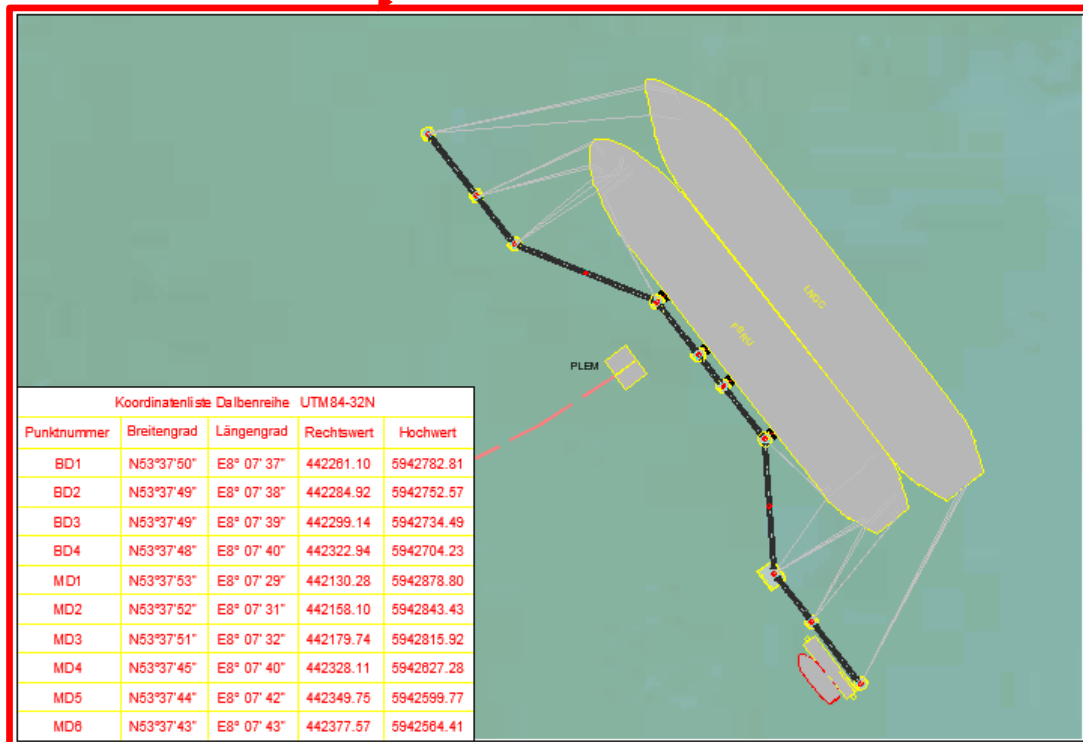


Abbildung 5-1: Übersichtsplan Liegeplatz, ref [4.]

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 20 von 158

## 5.2 Übersicht des Liegeplatzes / FSRU Terminal Layout und Hauptbestandteile

Das neue FSRU-Kurzzeiterminal besteht im Wesentlichen aus den folgenden Hauptkomponenten:

- 6 Ankerdalben mit Plattform (MD: Mooring Dolphins), je 3 an den Enden des Terminals:
  - MD 1, MD 2 und MD 3 am NW Ende) (BLAU)
  - MD 4, MD 5 und MD 6 am SO Ende) (BLAU)
- 4 Anlegedalben mit Plattform (BD: Bearthing Dolphins) in der Mitte:
  - BD1, BD2, BD3 und BD4 (ROT)
- 9 Brücken, um alle Anlegedalben (BD) und Ankerdalben (MD) miteinander zu verbinden
  - B1 bis B9 (GRÜN)
- 1 Ponton am SO Ende (VIOLETT) (ON HOLD)

Die folgende Abbildung zeigt ein grobes Layout der geplanten Liegeplatzanlage.

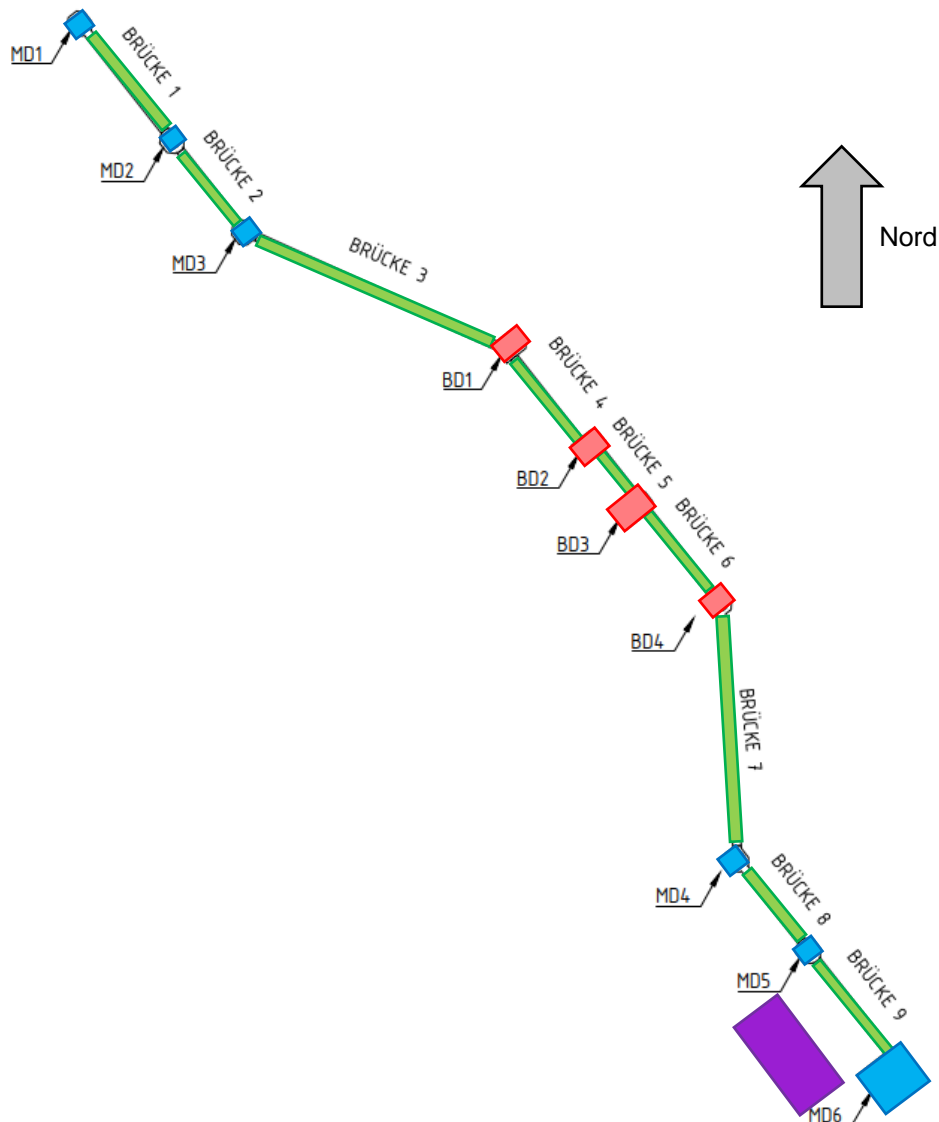







Abbildung 5-2: Übersicht der Dalben

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 21 von 158

### 5.3 Beschreibung der Dalben mit Plattformen

Alle Dalben mit ihren zugehörigen Plattformen können hinsichtlich ihrer Hauptfunktion zunächst einmal in Ankerdalben (Mooring Dolphins, MDs) und in Anlegedalben (Bearthing Dolphins, BDs) unterschieden werden. Alle Ankerdalben (MDs) sind vor allem mit Quick Release Hooks (Ankerhaken) ausgestattet, um das FRSU zu vertäuen. Es werden unterschiedliche Ankerhaken verwendet:

- Triple Quick Release Hooks (TQRHs): mit 3 Haken für Leinen
- Quadruple Quick Release Hooks (QQRHs): mit 4 Haken für Leinen

Weitere Details zu den QRHs sind dem Kapitel 6 zu entnehmen. Wo welcher QRH-Typ verwendet wird, ist der folgenden Tabelle zu entnehmen und den folgenden Abbildungen zu entnehmen. In den Skizzen zum vorläufigen Plattform Layout sind die momentan vorgesehen Ankerlinien (in rot) und die untersuchten Wirkrichtungen (grau: „analysed sector“) dargestellt.

Alle Anlegedalben (BDs) sind vor allem mit einem Fender ausgestattet, an den sich das FRSU legen kann. Die beiden äußeren Anlegedalben BD1 und BD4 sind zusätzlich auch noch mit Ankerhaken (TQRH) ausgestattet. Alle Dalben BDs und MDs sind mittels Brücken miteinander verbunden. Alle Hauptmerkmale, sowie Ausstattungen und Abmessungen, der Anlege- und Ankerdalben sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Weitere Informationen zu den Brücken sind dem nachfolgenden Unterkapitel zu entnehmen.

Die Höhe bzw. die Oberkante des Stahlbaus aller Plattformen ist gleich und liegt bei EL + 11,6 m SKN / LAT. (EL+11,64 m SKN / LAT für Oberkante Gitterroste).

Die Unterkante der Plattformen (BOS) wird mit 11,0 m SKN / LAT festgelegt und gleich mit der geplanten Oberkante der Dalbenpfähle.


  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 22 von 158




Tabelle 5-1: Beschreibung der Dalben und Plattformen

Typ	Bezeichnung	Ausstattung	vorläufige Plattform Länge x Breite
Mooring / Ankern	MD 1	- Haken für Mooring-Leine (QQRH) - Gleitlager für Brücke B1	L ≈ 10,3 m x B ≈ 6,2 m
	MD 2	- Haken für Mooring-Leine (QQRH) - Festlager für Brücke B1 - Festlager für Brücke B2	L ≈ 8,9 m x B ≈ 6,2 m
	MD 3	- Haken für Mooring-Leine (QQRH) - Gleitlager für Brücke B2 - Festlager für Brücke B3	L ≈ 10,9 m x B ≈ 6,6 m
Bearthing / Anlegen	BD 1	- Anlege-Fender ( <b>HOLD</b> ) - Haken für Mooring-Leine (TQRH) - Gleitlager für Brücke B3 - Festlager für Brücke B4	L ≈ 8,8 m x B ≈ 8,7 m
	BD 2	- Anlege-Fender ( <b>HOLD</b> ) - Gleitlager für Brücke B4 - Gleitlager für Brücke B5	L ≈ 7,4 m x B ≈ 8,2 m
	BD 3	- Anlege-Fender ( <b>HOLD</b> ) - Festlager für Brücke B5 - Festlager für Brücke B6 - Treppenturm ( <b>HOLD</b> ) - Lagerung für Laufsteg zu FSRU ( <b>HOLD</b> )	L ≈ 9,0 m x B ≈ 11,7 m
	BD 4	- Anlege-Fender ( <b>HOLD</b> ) - Haken für Mooring-Leine (TQRH) - Gleitlager für Brücke 6 - Gleitlager für Brücke B7	L ≈ 13,5 m x B ≈ 7,8 m
Mooring / Ankern	MD 4	- Haken für Mooring-Leine (QQRH) - Festlager für Brücke 7 - Gleitlager für Brücke 8 - 20ft Container (E & I Container) - J-tube Lager für E-Kabel ( <b>HOLD</b> )	L ≈ 10,9 m x B ≈ 8,8 M
	MD 5	- Haken für Mooring-Leine (QQRH) - Festlager für Brücke B8 - Festlager für Brücke B9	L = 8,9 m x B ≈ 6,2 M
	MD 6	- Haken für Mooring-Leine (QQRH) - Gleitlager für Brücke B9 - 40ft Container Notunterkunft für 40 Personen - Laufsteg zu Ponton ( <b>HOLD</b> ) - Anleger für Ponton ( <b>HOLD</b> )	L = 14,5 m x B ≈ 8,9 m

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 23 von 158

Die finale Plattformabmessungen für BD3 bedarf noch der finalen Klärung, da Abmessungen und Lasten aus Treppenturm und Laufstegunterkonstruktion gerade noch geklärt werden.

In den folgenden Abbildungen sind alle Anlege- und Ankerdalben mit ihren Hauptabmessungen und Ausstattungen skizziert. Dabei sind werden die folgenden Symbole verwendet:

- Trapez: als Symbol für Anlege- Fender 
- Parallele Linien: als Symbol für ein Brückengleitlager: 
- Punkt: als Symbol für ein Brückenfestlager: 

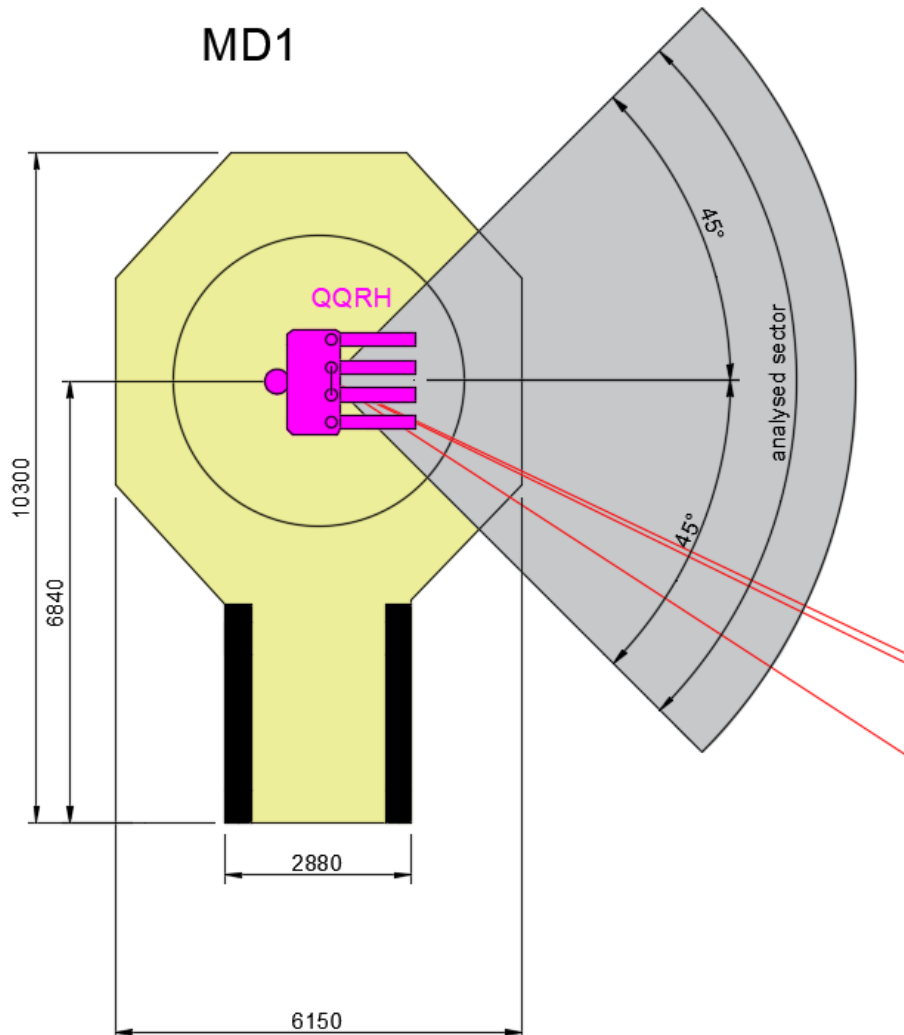


Abbildung 5-3: Skizze für MD1

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 24 von 158

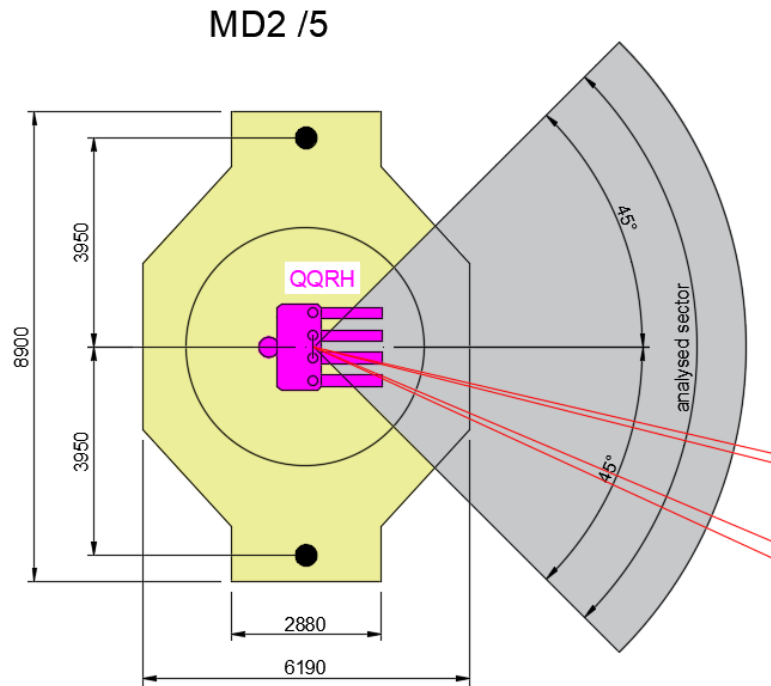


Abbildung 5-4: Skizze für MD2 baugleich mit MD5

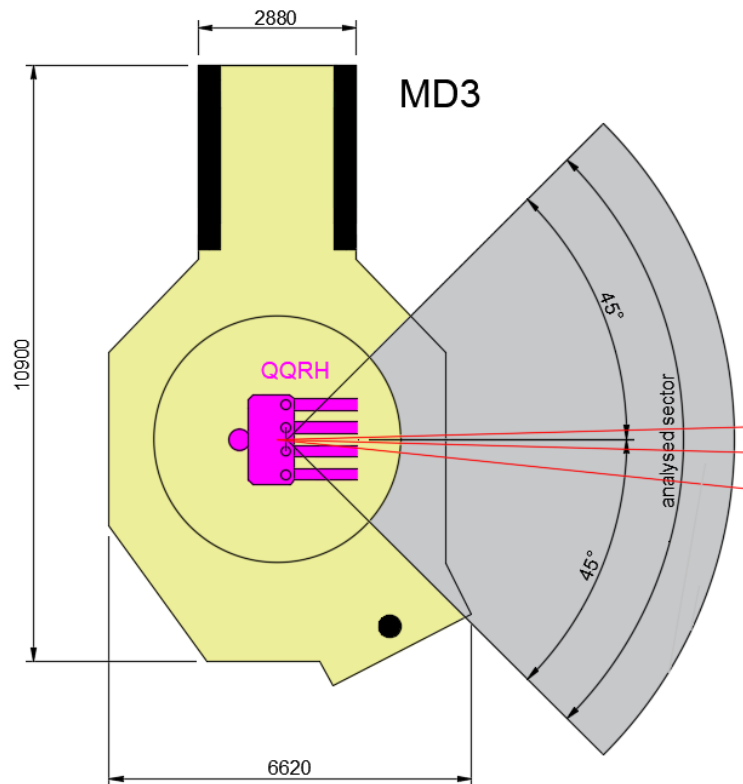


Abbildung 5-5: Skizze für MD3



  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 25 von 158

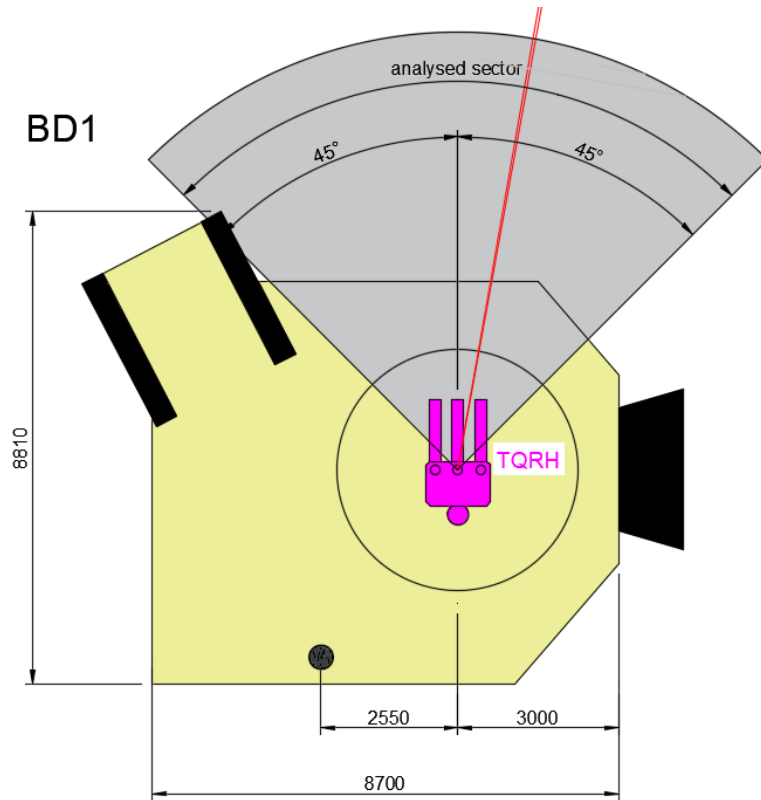


Abbildung 5-6: Skizze für BD1

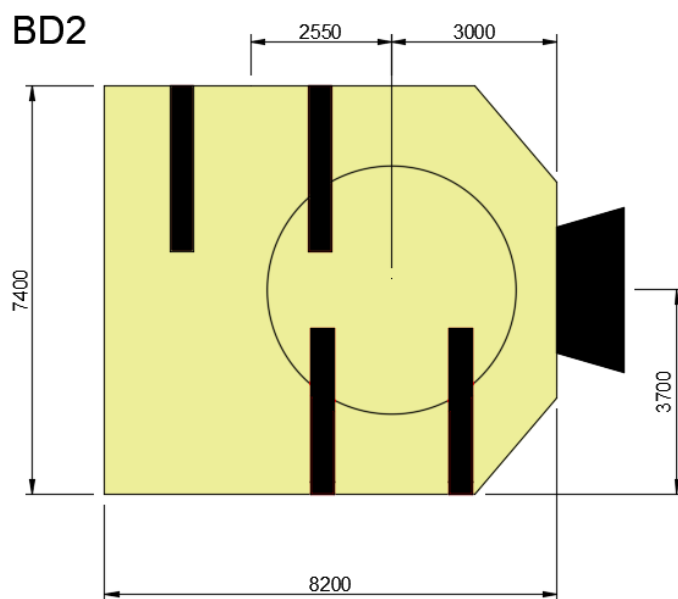


Abbildung 5-7: Skizze für BD2

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 26 von 158

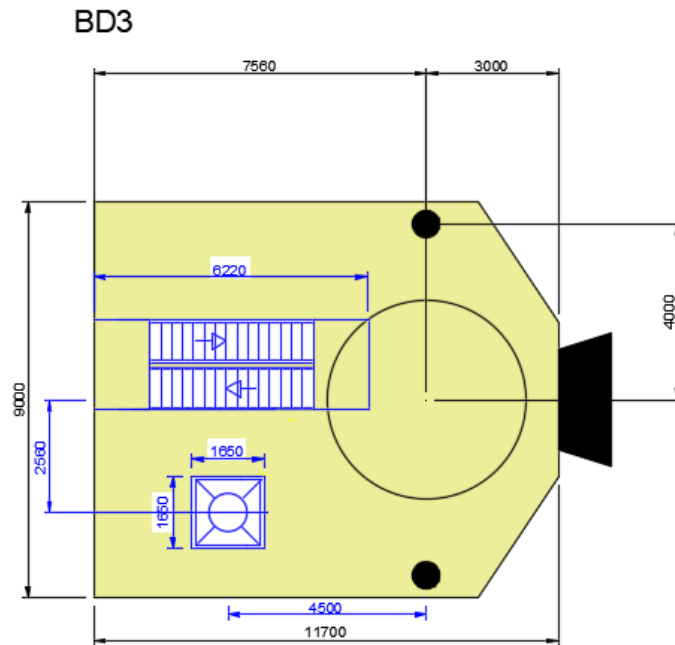


Abbildung 5-8: Skizze für BD3 (ON HOLD)

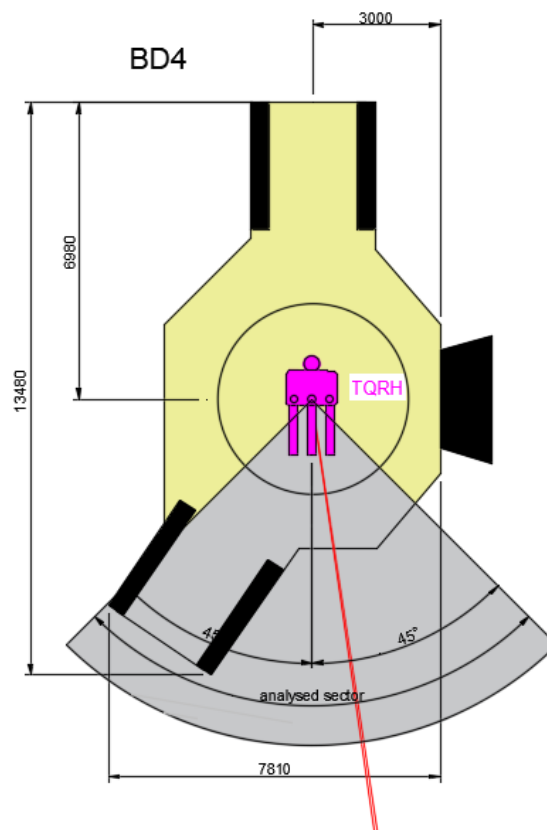


Abbildung 5-9: Skizze für BD4

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 27 von 158

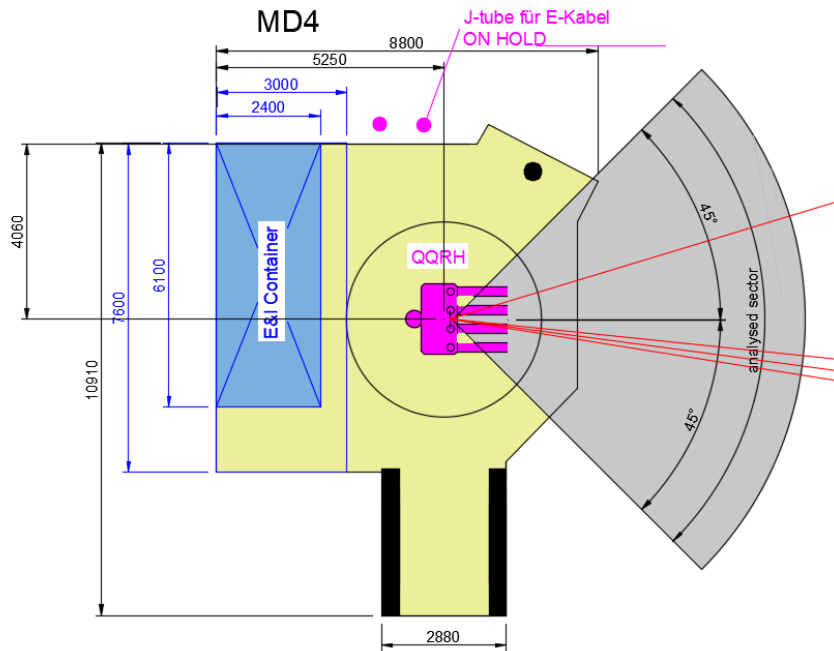


Abbildung 5-10: Skizze für MD4

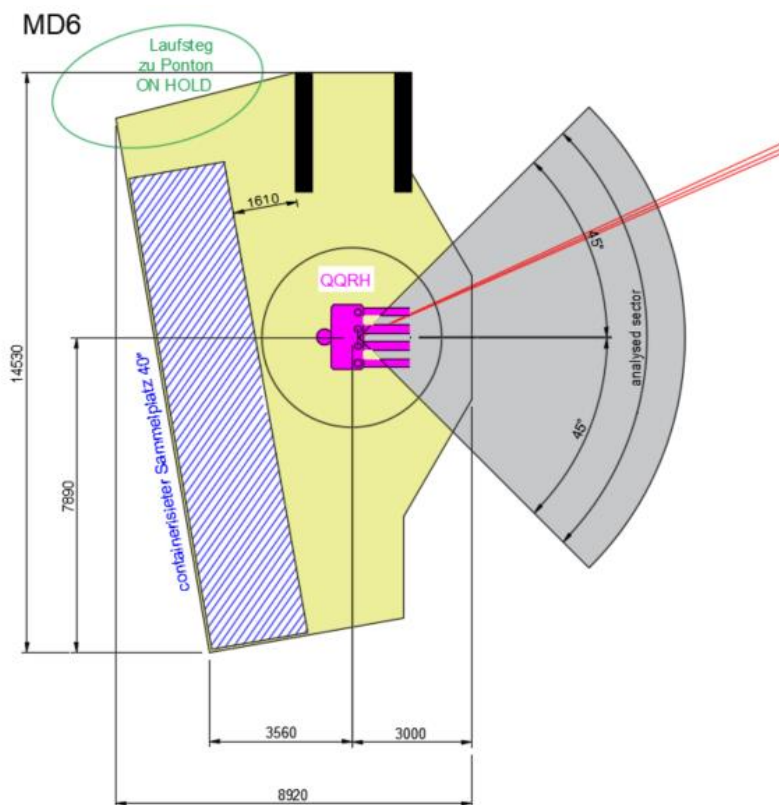







Abbildung 5-11: Skizze für MD6

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 28 von 158

## 6 Lasten und Lasteffekte

### 6.1 Allgemeine Lasten und Lastkategorien

Die Lasten und Lasteffekte, welche für die Dalbenauslegung berücksichtigt werden, lassen sich in folgende Gruppen einteilen:

- Permanente Lasten (G)
- Variable Funktionslasten (Q)

### 6.2 Permanente Lasten (G)

Die größten permanenten Lasten, ergeben sich aus den folgenden Eigengewichten:

- Eigengewicht der Struktur
- Eigengewicht der Ausstattung und des Equipments (Gitterroste, Haken etc.)

### 6.3 Veränderliche Lasten (Q)

Zu den hier berücksichtigten veränderlichen Lasten zählen:

- Verkehrslast, siehe auch Kapitel 6.3.1
- Mooring-(Haken)-Lasten, gemäß Ref. [15.], siehe auch Kapitel 6.3.2
- Lasten aus Treppenturm & Gangway Lagerung, gemäß Ref. [16.], siehe auch Kapitel 6.3.3
- Lasten aus Containerisiertem Sammelplatz (40“) siehe auch Kapitel 6.3.4
- Lasten aus E&I Container (20“), siehe auch Kapitel 6.3.5
- Lasten E-Kabeln, siehe auch Kapitel 6.3.6
- Umweltlasten (Wind, Schnee, Eis) gemäß Ref. [2.], siehe auch Kapitel 6.3.7

#### 6.3.1 Personenzahl / Verkehrslasten

Basierend auf Kundenvorgabe (Ref. [14.]), soll die gesamte Anlegerkonstruktion (Dalben-Plattformen, Brücken, etc.) für den Evakuierungsfall von max. 40 Personen an Bord (POB) des FSRU konzipiert werden. Gemäß Ref.[IX.], wird eine gleichmäßig verteilte Streckenlast von  $q = 2,0 \text{ kN/m}^2$  berücksichtigt.

Zusätzlich ist als Alternativlast eine Einzellast von  $Q_i = 1,5 \text{ KN}$  in der Mitte eines freien Feldes zu berücksichtigen.

Gemäß Ref.[X.], wird horizontale Design - Holmlast (inkl. Lastfaktor) von  $H_d = 0,525 \text{ kN/m}$  oben an allen Handläufen angesetzt.

#### 6.3.2 Mooring-Lasten / Hakenlasten

Die Anforderungen an die Anker-Dalben und den äußeren Anlege-Dalben sind in Tabelle 6-1 dargestellt.

Alle Ankerdalben (MD 1 bis MD 6) werden jeweils mit einem vierfachen Schnell-Löse-Haken (QQRH: Quadrupel Quick Release Hook) ausgestattet. Die zwei äußeren Anlege-Dalben (BD1 und BD 4) werden jeweils mit einem dreifachen Schnell-Löse-Haken (TQRH: Triple Quick Release Hook) ausgestattet.

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 29 von 158








Figure 6-1 Example Quick release hook (Source: Straatman)

Alle Angaben, zu Gewichten und Arbeitslast (SWL: Safe Work Load) wurde der Ref. [15.] entnommen. Jeder einzelne Schnell-Löse-Haken (QRH: Quick Release Hook) hat eine Arbeitslast von SWL = 150 t.

Gemäß Ref. [15.] sind die Eigengewichte der Schnell-Löse-Haken (QRH: Quick Release Hooks) wie folgt:

- QQRH (Quadrupel Quick Release Hook):  $m_{QQRH} = 4.500 \text{ kg} = 4,5 \text{ t}$
- TQRH (Triple Quick Release Hook):  $m_{TQRH} = 3.700 \text{ kg} = 3,7 \text{ t}$

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 30 von 158

Die gesamten horizontalen Mooring-Lasten pro Dalben ermitteln sich wie folgt:

Tabelle 6-1: Anlegelasten

Dalben	Dalben-Lokationen	QRH-Typ	Anzahl von QRHs (je SLW = 150 t)	Gesamte charakteristische Mooring-Last $ML_k$
Alle Ankerdalben	MD1 bis MD6	Quadrupel (Q)	4	$4 \times 150 \text{ t} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 5.886 \text{ kN}$
Äußere Anlegedalben	BD 1 & BD 4	Triple (T)	3	$3 \times 150 \text{ t} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 4.415 \text{ kN}$

Für die strukturellen Nachweise der Dalbenplattformen werden die oben beschriebenen charakteristischen Mooringlasten  $ML_k$  mit den ULS-Lastfaktoren für veränderliche Lasten nach DIN 18088-1, [XIII.] multipliziert, dazu siehe auch Kapitel **8.1**.

Die Mooringlasten werden bei einer Höhe von EL +12,20 m LAT angesetzt. Konservativ wird eine reine Horizontalkomponente ohne Vertikalanteil für die Nachweise betrachtet.

### 6.3.3 Treppenturm und Gangway Support-Lasten

Die Plattform BD 3 soll zusätzlich zu den Brücken B5 und B6 auch eine Lagerung für einen Treppenturm und den Laufsteg zum FSRU bieten.

Da momentan weder die Hauptabmessungen noch die Lagerlasten des Treppenturms bekannt sind, wird die Plattform BD 3 auf „ON HOLD“ gesetzt.

Die Hauptmessungen der Laufsteglagerung an der Basis sind  $B \times L = 1.65 \text{ m} \times 1.65 \text{ m}$ . Die Schnittstellenlasten zur BD 3 Plattform sind zu aktualisieren. Deswegen sind BD 3 auf „ON HOLD“ gesetzt.






### 6.3.4 Notunterkunft bzw. Sammelplatz, Laufweg zu Ponton

Die Plattform MD 6 soll zusätzlich zu den Brücken B9 noch Platz für einen 40 ft Container als Notunterkunft bzw. Sammelplatz bieten. Hier wird ein ausgerüstetes Leergewicht von 8.5 t benannt. Zur Berücksichtigung von eventuell notwendiger Zusatzausrüstung für Lebensrettung und Krankenversorgung wird für die Berechnung der MD 6 Plattform von einem maximalen Gesamtgewicht von 12 t ausgegangen.

Von diesem Sammelplatz aus, soll auch der Anlegeponton erreichbar sein. Da noch keine genauen Angaben zum Ponton vorhanden sind, ist auch der Laufsteg von MD6 zum Ponton noch auf „ON HOLD“.

### 6.3.5 E&I Container

Die Plattform MD 4 soll zusätzlich zu den Lagern für die Brücken B7 und B8 noch Platz für einen 20 ft E&I Container bieten. Das Eigengewicht für den ausgerüsteten E&I Container wird konservativ mit 20 t berücksichtigt.

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 31 von 158

### 6.3.6 Seekabel

An der Plattform MD 4 ist die Anlandung von 2 Seekabeln (Typ Waterlink – fere 1,8 / 3kV von Nexans) geplant. Für die Lastermittlung der Kabellager an der BD 2 werden Durchmesser und Gewicht der Kabel entsprechend Referenz verwendet:

- Kabeldurchmesser:  $D = 53,5 \text{ mm}$
- Kabelgewicht:  $m = 7,4 \text{ kg/m}$  in Luft
- Kabelgewicht:  $m = 5,1 \text{ kg/m}$  in Wasser
- Betrachtete Länge:  $L = 15 \text{ m}$  (LAT to ML) + 5 m (bending) + 12 m (LAT to pltf.)  
 $L = 32 \text{ m}$
- Minimum zulässiger Biegeradius:  $D = 1,6 \text{ m}$
- Maximale Kabel-Zugkapazität:  $F_{\text{pull}} = 145 \text{ kN}$

Um die J-tube und deren Anschlüsse an die MD4 Plattform im Detail zu konstruieren, wird die maximale Umlenk- und Reibungskraft des Kabels auf die J-Tubes ermittelt.

Die genaue Lokation der J-Tubes mit ankommenden Winkeln, etc. sind nicht bekannt. Deswegen ist die Plattform MD4 ebenfalls noch on HOLD.

### 6.3.7 Umweltbedingungen

Alle Umweltbedingungen basieren auf den in Referenz [2.] angegebenen Daten, sie auf Referenz [3.].

Winddaten

### 6.3.8 Windlasten

Für die Strukturauslegung werden die Windlasten nach der TRAS 320 [XIX.] und somit gemäß DIN EN 1991-1-4/NA, Ref. [III.] ermittelt. Die geplante Lokation des gesamten Bauwerks befindet sich in der Windzone WZ 4, siehe Ref.[III.]. Demnach sind die folgenden Windbasiswerte zu berücksichtigen:

- Basis Windgeschwindigkeit  $v_{(b,0)} = 30 \text{ m/s}$  (für Windzone WZ 4)
- Basis Windstaudruck  $q_{(b,0)} = 0,56 \text{ kN/m}^2$  (für Windzone WZ 4)

Für die Dalben wird konservativ von einer maximalen Höhe über dem Wasserspiegel von  $z = 12 \text{ m}$  ausgegangen.

Die Referenzhöhe wird mit  $z_{\text{ref}} = 10 \text{ m}$  über Wasseroberfläche angenommen.

Die vorherrschende Windrichtung ist aus Südwest.

Gemäß Ref. [III.] ermittelt sich der anzusetzenden Böhenstaudruck demnach zu:






$$q_p = 2,3 \cdot q_{b,0} \cdot \left(\frac{z}{10m}\right)^{0,27}, \text{ für } 4 \text{ m} < z \leq 50 \text{ m}$$

$$q_p = 2,3 \cdot q_{b,0} \cdot \left(\frac{12m}{10m}\right)^{0,27} = 1,35 \frac{kN}{m^2}$$

Der Winddruck auf eine Struktur ergibt sich zu:

$$q_{p,lc} = q_p \cdot c_f$$

mit:  $q_p$ : Böhenstaudruck,  
 $c_f$ : Aerodynamischer Beiwert.

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 32 von 158

### Aerodynamische Beiwerte für einzelne Stahlquerschnitte

Für Stahlquerschnitte wie I-Träger, C und T-Träger und andere typisch verwendete Profile, werden die folgenden Beiwerte  $c_f$  nach Ref. [III.] benutzt:

$$c_f = 2,0 \quad \text{für Eckige Profile (maximaler Wert),}$$

$$c_f = 1,2 \quad \text{für Rundprofile (maximaler Wert),}$$

#### 6.3.9 Schneelasten

Die Schneelasten werden entsprechend der TRAS 320 [XIX.] nach DIN EN 1991-1-3 [IV.] und dem zugehörigen nationalem Anhang berücksichtigt. Es wird die Schneelastzone 1 nach Ref. [IV.] betrachtet.

Für Zone 1 gilt eine charakteristische Schneelast am Boden von  $s_k = 0,65 \text{ kN/m}^2$  (gültig bis zu einer Höhe von 400 m über Wasser).

Ein etwaiger Klimaanpassungsfaktor von 1,2 (siehe TRAS 320 [XIX.], Teil III, Abschnitt 1.2.6) wird hier in Anlehnung an die TRAS 310 [XVIII.], Anhang I nicht berücksichtigt, da die Nutzungszeit der Anlage auf einen Zeitraum bis max. zum Jahr 2050 begrenzt wird.

Entsprechend DIN EN 1991-1-3 [IV.] wird die Schneelast auf Dächern für extreme Sturmbedingungen wie folgt berechnet:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$$

mit:

$$\mu_i = \text{Schneelast Formkoeffizient} = 0,8 \text{ für Oberflächen (/Dächer) mit einem Winkel} < 30^\circ.$$

$$C_e = \text{Aussetzungskoeffizient} = \text{konservativ zu } 1,0 \text{ gesetzt}$$

$$C_t = \text{Thermischer Koeffizient} = 1,0 \text{ für den Normalfall}$$

Die Bemessungslast durch Schnee, die für den maximalen Sturmzustand berücksichtigt wird, beträgt:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,65 \text{ kN/m}^2 = 0,52 \text{ kN/m}^2.$$

#### 6.3.10 Eislasten

Eislasten werden entsprechend der TRAS 320 [XIX.] nach DIN EN 1991-1-3, Ref. [IV.] ermittelt. Das geplante Bauwerk befindet sich in der Küstenregion und somit in der Vereisungsklasse G1/R1.

Somit werden berücksichtigt für die Vereisungsklasse G1:






- Eisdicke  $t = 10 \text{ mm}$  für  $z < + 30 \text{ m}$  über NGzW,
- Eisdichte  $900 \text{ kg/m}^3$ .

und für die Vereisungsklasse R1:

- Eislast pro Stab mit  $D < 0,3 \text{ m}$  von  $e = 0,005 \text{ kN/m}$ ,
- Konservativ vereinfacht wird für Stäbe mit  $D > 0,3 \text{ m}$  eine Eislast von  $e = 0,01 \text{ kN/m}$ .

Treibeis in der Nordsee ist unwahrscheinlich und wird daher in dieser Projektphase nicht berücksichtigt.



  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 33 von 158

### 6.3.11 Reaktionslasten der Brücken

Die folgende Reaktionslasten aus den Auflagerpunkten der Brücken aus Ref. [13.] werden für die Dalben berücksichtigt.

Tabelle 6-2: Brückenlager Lasten pro Lager

Reaktionslasten pro Lager	Last [kN]			
	Brücke B1	Brücke B3	Brücke B4	Brücke B7
Vertikal (Druck)	155	500	1.508	370
Vertikal (Auftrieb)	-	-	-1.067	-
Horizontal (y-Richtung)	120	320	332	230
Horizontal (x-Richtung)	-	-	147	-
Reibkräfte (x-Richtung)	47	150	453	111

4 Brücke, nämlich Brücke B1 (35,8 m) , B3 (79,2 m) , B4 (32,2 m mit exzentrischer Last durch temporäre Riser Hang-Off) und B7 (68,1 m) sind in Ref. [13.] analysiert. Die Brücke B1 deckt die anderen kleinen Brücken. Deswegen sind die Reaktionslasten von Brücke B1 für die anderen kleinen Brücke genommen.

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 34 von 158

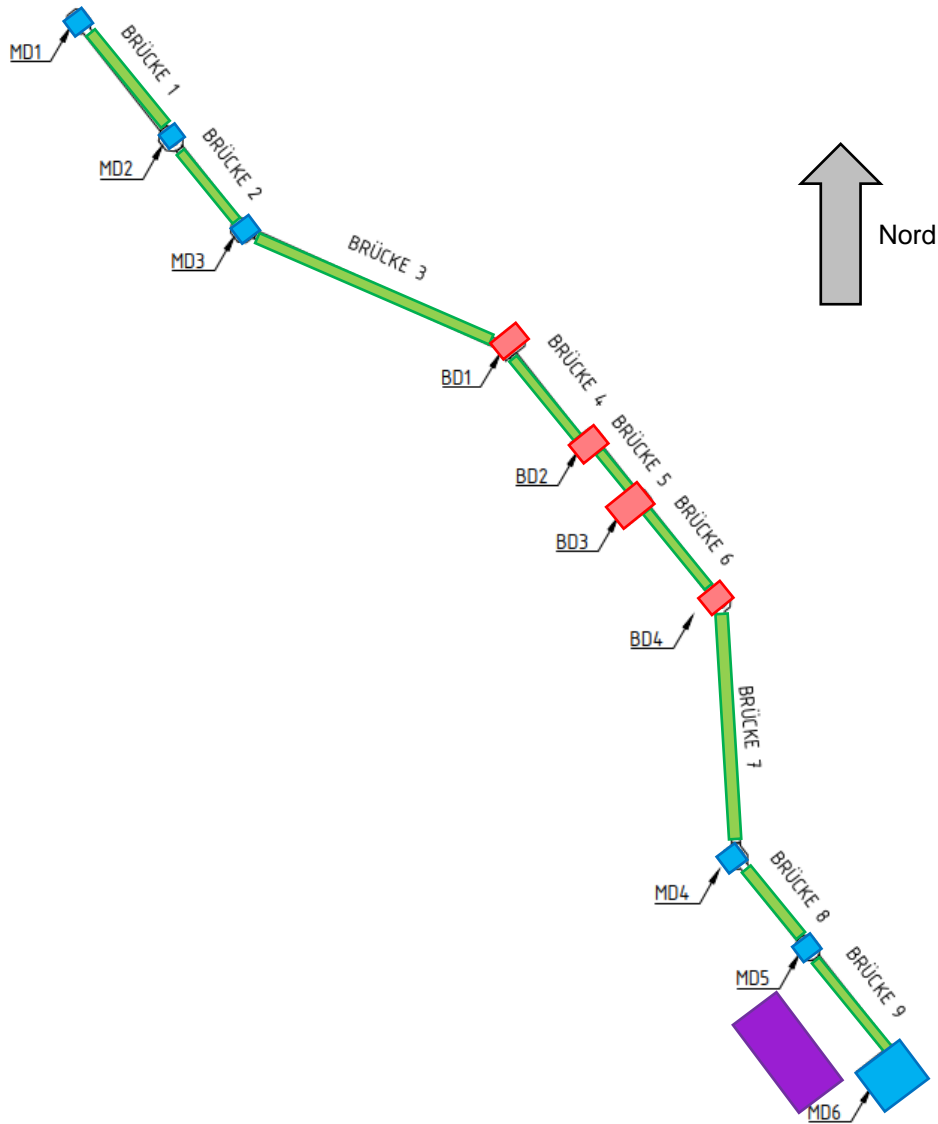






Abbildung 6-1: Übersicht der Brücken

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 35 von 158

## 7 Berechnungsmethoden und Nachweisformate

### 7.1 Allgemein

In dieser Designphase werden die strukturellen Nachweise nach EC3 [V.] geführt.

Es werden Nachweise für die folgenden Grenzzustände erbracht:

- Grenzzustand der Tragfähigkeit (Ultimate Limit State - ULS),
- Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (Serviceability Limit State – SLS)

Im Allgemeinen werden alle strukturellen Nachweise für die Dalbenplattformen nach DIN 18088-1, Ref. [XIII.] durchgeführt.

### 7.2 LRFD Methode

Für alle Nachweise wird die LRFD Methode angewandt. Es handelt sich um ein Bemessungsverfahren, bei dem das angestrebte Sicherheitsniveau der Komponente erreicht wird, indem Belastungs- und Widerstandsfaktoren auf die charakteristischen Werte der Basisvariablen angewendet werden. Die grundlegenden Kennwerte sind die Folgenden:

- Lasten, die auf die Struktur wirken,
- Material- und Strukturwiderstände.

Das Sicherheitsniveau eines Bauteils gilt als ausreichend, wenn die Bemessungslasteinwirkung ( $S_d$ ) die Bemessungstragfähigkeit ( $R_d$ ) nicht überschreitet:

$$S_d \leq R_d$$

### 7.3 Allgemeine Design-Last / Entwurfslast

Grundsätzlich ergibt sich die Design-Last ( $F_d$ ), indem die charakteristische Last ( $F_{k,i}$ ) mit einem Lastfaktor multipliziert wird ( $\gamma_{F,i}$ ):

$$F_d = \sum_i \gamma_{F,i} \cdot F_{k,i}$$

Laut DIN 18088 [XIII.] sind unterschiedliche Teilsicherheitsfaktoren mit den entsprechenden Lasten zu kombinieren.

Lastkombinationen einschließlich der Lastfaktoren und Lastkombinationswerte sind für verschiedene Lasteinwirkungen im Abschnitt 8 dieses Dokuments angegeben.

### 7.4 Allgemeine Design-Widerstände

Die Design-Widerstände ( $R_d$ ) werden wie folgt bestimmt:






$$R_d = \Phi R_k$$

mit:  $R_k$  = Charakteristischer Widerstand

$\Phi$  = Widerstandsfaktor.

Der Widerstandsfaktor  $\Phi$  verhält sich wie folgt zum Materialfaktor  $\gamma_M$ :

$$\Phi = 1 / \gamma_M$$

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 36 von 158

## 7.5 Strukturelle Nachweisführung

### 7.5.1 Allgemeines

Für die Dalbenplattformen werden die folgenden Nachweise geführt:

- Spannungs- und Stabilitätsnachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS), für den finalen Einbauzustand und den Einhebevorgang zur Installation
- Verformungsnachweis (SLS) für den finalen Einbauzustand
- VIV-Check (Check gegen Wind-induzierte Schwingungen)

### 7.5.2 Begrenzung der Verformung

Für den Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit, wird das folgenden Grenzkriterium nach EC3 [V.] sowie nach DIN EN 14122-2 [IX.], überprüft:

- Erlaubte maximale vertikale Gesamtverformung:
  - für Einfeldträger  $\delta < L / 200$ ,
  - für Kragarm  $\delta < L / 100$ .

### 7.5.3 Check gegen Wirbelinduzierte Vibrationen (VIV)

Die Diagonalen werden gegen das Auftreten wirbelinduzierter Vibrationen, die durch windinduzierte Wirbelablösungen entstehen können, geprüft. Strukturen, die windinduzierten Vibrationen ausgesetzt sind, haben ein erhöhtes Risiko für Ermüdungsschäden.






Die Struktur wird gemäß DIN EN [III.] ausgelegt. Das limitierende Kriterium werden mittels der Strouhal Zahl, der Eigenfrequenz, lokalen Windgeschwindigkeit und dem Elementdurchmesser, bestimmt. Wenn die kritische Windgeschwindigkeit des Bauteils,  $v_{crit,i}$  größer als 1,25 mal die charakteristische 10-Minuten-Mittel Windgeschwindigkeit,  $v_m$  liegt, sind keine windinduzierten Vibrationen und somit Ermüdungsschäden durch Wind zu erwarten.

$$v_{crit,i} > 1,25 \cdot v_m$$

Um die Eigenfrequenzen der Brückenstrukturelemente zu bestimmen, wird die folgende Gleichung verwendet.

$$f_e = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

mit  $f_e$  = Eigenfrequenz  
 $l$  = Länge des Trägers  
 $E$  = Elastizitätsmodul  
 $I$  = Trägheitsmoment  
 $m$  = Modale Masse

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 37 von 158

Die charakteristische 10-Minuten-Mittel Windgeschwindigkeit,  $v_m$  wurden für jedes relevante Element der Brücke definiert, unter Berücksichtigung der Basis Windgeschwindigkeit,  $v_b$ , welche mit 30 m/s im Abschnitt 6.3.8 definiert ist.

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Der Orography Faktor beträgt  $c_o(z) = 1.0$ . Der Rauigkeitsfaktor,  $c_r(z)$  wurde unter Berücksichtigung des Terrain-Faktors,  $k_r$  und der Höhe,  $z$  bestimmt.

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{for} \quad z_{min} \leq z \leq z_{max}$$






$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

mit:

- $z_{0,II}$  = 0,05 m
- $z_{min}$  ist die minimale Höhe
- $z_{max}$  soll 200 m nehmen

Die Rauigkeitslänge,  $z_0$  beträgt 0,003 m und die minimale Höhe,  $z_{min}$  beträgt 1 m fuer die Terrain Kategorie 0 (Sea or coastal area exposed to the open sea).

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{0,003}{0,05}\right)^{0,07} = 0,156$$

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 38 von 158

## 8 Lastkombinationen und Lastfaktoren

### 8.1 Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) für Strukturelle Nachweise

Lastfaktoren für die globalen ULS-Nachweise leiten sich aus DIN 18088-1, Tabelle F.1, Ref. [XIII.] ab. Alle Lastfaktoren und Kombinationen (inkl. Lastkombinationsfaktoren nach Tabelle 11 in DIN 18088-1, [XIII.]), welche in der ULS-Analyse betrachtet werden, sind im Folgenden beschrieben. Die folgenden Lastfaktoren gelten für ULS: nach DIN 18088-1, [XIII.]),

- Eigengewicht + veränderl. Lasten:
 
$$\gamma_G * G + \gamma_Q * Q_1 + \gamma_Q * (\sum Q_i * \psi_{0,i})$$

$$1,35 * G + 1,50 * Q_1 + 1,50 * (\sum Q_i * \psi_{0,i})$$

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass hier konservativ auf die Lastverringerng mit dem Kombinationsbeiwert  $\psi_{0,i}$  verzichtet wird.

Obwohl das Gesamtbauwerk der Jetty-Struktur eigentlich als Konsequenzklasse CC2 eingestuft wird, wird hier für die Berechnung der Plattformen und der Brücken, konservativ noch zusätzlich ein Faktor von  $K_{FI} = 1,1$  nach TRAS (Ref. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) für Wind-, Schnee- und Eislasten berücksichtigt. Dieser soll als zusätzliche Sicherheit gegenüber Umweltbelastungen dienen.

### 8.2 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS)

Für SLS gelten die folgenden Lastfaktoren:

- Eigengewicht + veränderl. Lasten:
 
$$\gamma_G * G + \gamma_G * Q_1 + \gamma_Q * (\sum Q_i * \psi_{0,i})$$

$$1,0 * G + 1,0 * Q_1 + 1,0 * (\sum Q_i * \psi_{0,i})$$

Ebenso wie für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) wird auch die den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS konservativ kein Kombinationsbeiwert  $\psi_{0,i}$  benutzt, sondern statt dessen der zusätzlich ein Faktor von  $K_{FI} = 1,1$  nach TRAS.






### 8.3 Hebevorgang Lastfaktoren

Die Dalben werden einzeln eingehoben. Es wird ein Hebevorgang mit einem Haken und 4 Seilen angenommen. Der minimale Winkel zwischen der Horizontalen und den Seilen wird zu  $60^\circ$  angenommen.

Für den Nachweis der Struktur beim Heben werden zusätzliche Faktoren angesetzt. Die Lastfaktoren werden nach Ref. [XXI.] bestimmt und auf die Designlast angewandt. Zusätzlich wird eine Gewichtsaufschlag von 10% beaufschlagt.

Table 8-1: Lastfaktoren






Faktor		Wert [-]
Dynamischer Verstärkungs-Faktor (Dynamic Amplification Factor)	$f_{DAF}$	$1+0,25*(100/SHL)^{0,5} = 1,20$ mit SHL = 16,5 t (konservativ)
Gewichtsungenauigkeits-Faktor	$f_m$	1,10
Schwerpunkt (COG) Ungenauigkeits-Faktor	$f_{COG}$	1,10
Schräglast-Faktor	$f_{SKL}$	1,25
Konsequenz-Faktor	$f_{cons}$	1,30

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 39 von 158

Der Gesamtfaktor für die Hebeanalyse resultiert somit zu:

- $f_{total, ULS} = f_{DAF} * f_m * f_{COG} * f_{SKL} * f_{cons} * \gamma_{F,ULS} = 3,20$
- $f_{total, SLS} = f_{DAF} * f_m * f_{COG} * f_{SKL} * f_{cons} * \gamma_{F,SLS} = 2,35$

Für die Hebeanalyse wird das Designgewicht der Brücke berücksichtigt. Es wird angenommen, dass keine Windlasten auftreten, da die Hebeoperation bei ruhigem Wetter durchgeführt werden soll.

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 40 von 158

#### 8.4 Widerstandsfaktoren

Die Materialwiderstandsfaktoren für den Tragsicherheitsnachweis (ULS Analyse) werden der Norm DIN EN 1993-1-1/NA, Ref. [V.] entnommen.

Für allgemeine Spannungsnachweise globaler Querschnitte für ULS, gilt ein Materialfaktor von:

$$\gamma_{m0} = 1,00$$

Für Stabilitätsnachweise globaler Querschnitte für ULS, gilt ein Materialfaktor von:

$$\gamma_{m1} = 1,00$$

Für Rohrknotenanschlüsse nach DIN EN 1993-1-8, Ref. [VIII.] und DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12, Ref. [VIII.] wird der folgende Materialwiderstandsfaktor benutzt:

$$\gamma_{m5} = 1,00$$

Für geschraubte und geschweißte Anschlüsse gilt ein Materialfaktor von:

$$\gamma_{m2} = 1,25$$

Für die Gründungsnachweise gelten die folgenden Materialfaktoren von:

$$\gamma_m = 1,10 \quad \text{für Stahl}$$



	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 41 von 158

## 9 Nachweis der Dalben Plattform im Betriebszustand

### 9.1 Allgemeines

Aufgrund verschiedener Abmessungen, Geometrien und Interface zu den Lasten sind alle Dalben außer die Dalben MD5 detailliert nachgewiesen. Die Dalben MD2 und MD5 sind baugleich.

Die Dalben BD3 sind aufgrund der nicht verfügbaren Informationen on HOLD. Die Dalben BD2 wird in der nächsten Revision berücksichtigt.

### 9.2 Model Beschreibung

Für den Festigkeitsnachweis im Betriebszustand sind die Deckbalken, Laufsteg und Diagonalen zwischen Deckbalken und Pfahl berücksichtigt. Die Pfahl ist nicht modelliert. Die entsprechenden Modelle, gezeigt in der Abbildungen unten, bestehen hauptsächlich aus Balkenelementen. Die „Load Patch“ Elemente werden verwendet, um die Laufsteg-Gitterroste und Deckplatte zu modellieren. Dieser Elementtyp ist masselos und dient der Lastverteilung auf die angrenzenden Balken. Es wird angenommen, dass die Lasten nur über die kurze Seite auf zwei Seiten von den Balken abgetragen werden.

Die Diagonalen zwischen dem Dalben Plattform und Pfahl sind so modelliert, dass sie nur Kräfte und Rotationsmoment übertragen.

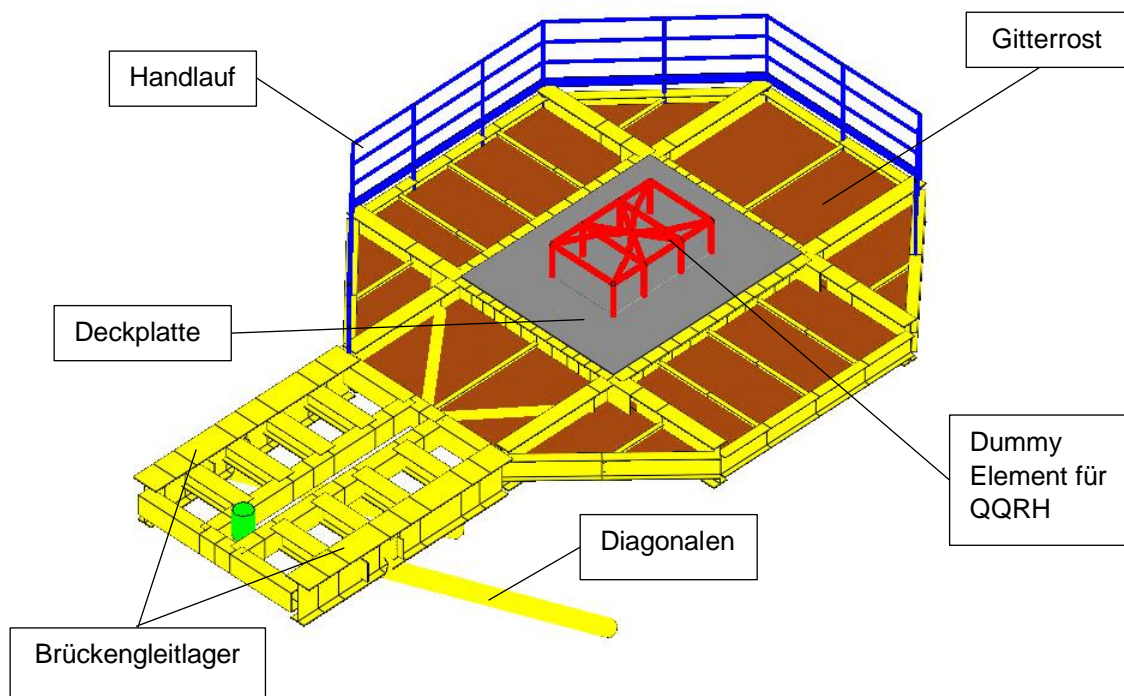


Abbildung 9-1: FE-Model, MD1

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 42 von 158

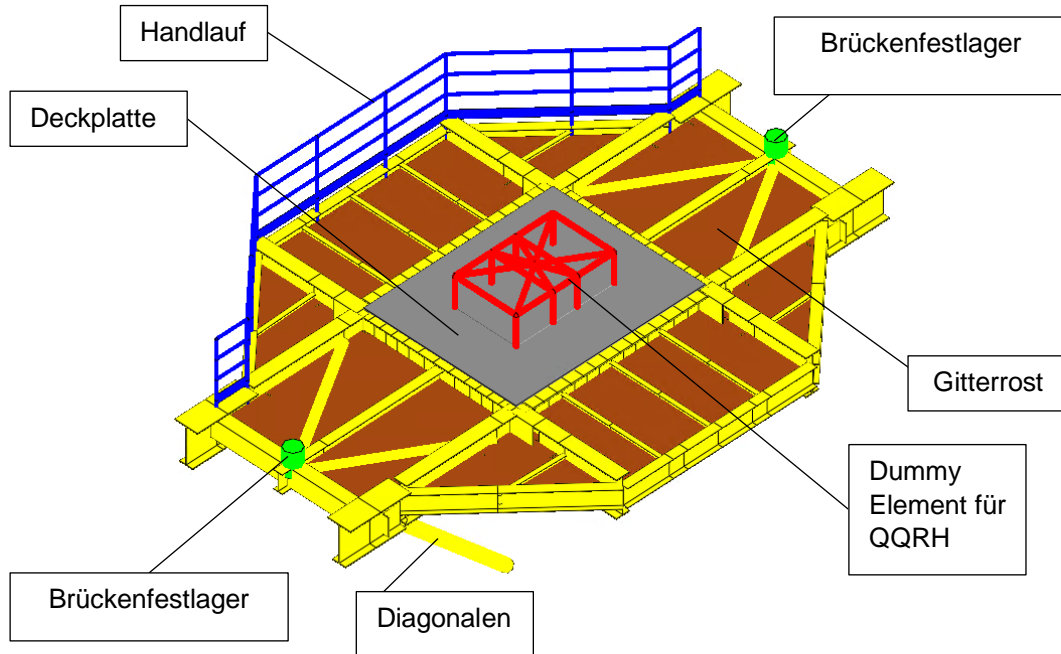


Abbildung 9-2: FE-Model, MD2

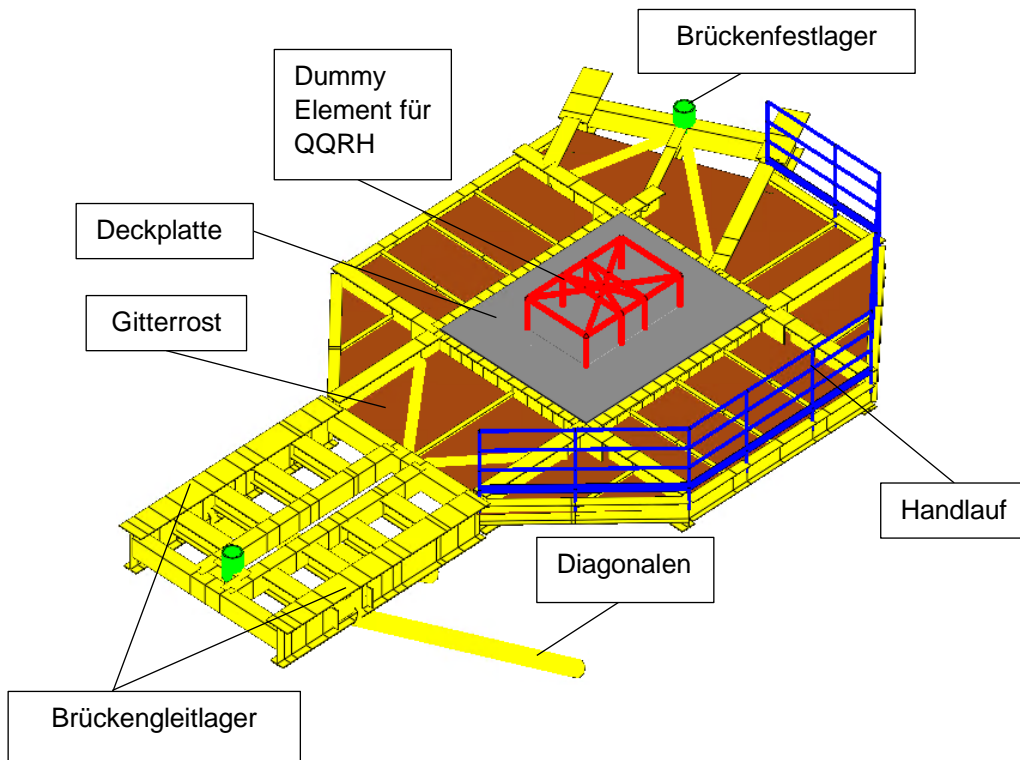


Abbildung 9-3: FE-Model, MD3

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 43 von 158

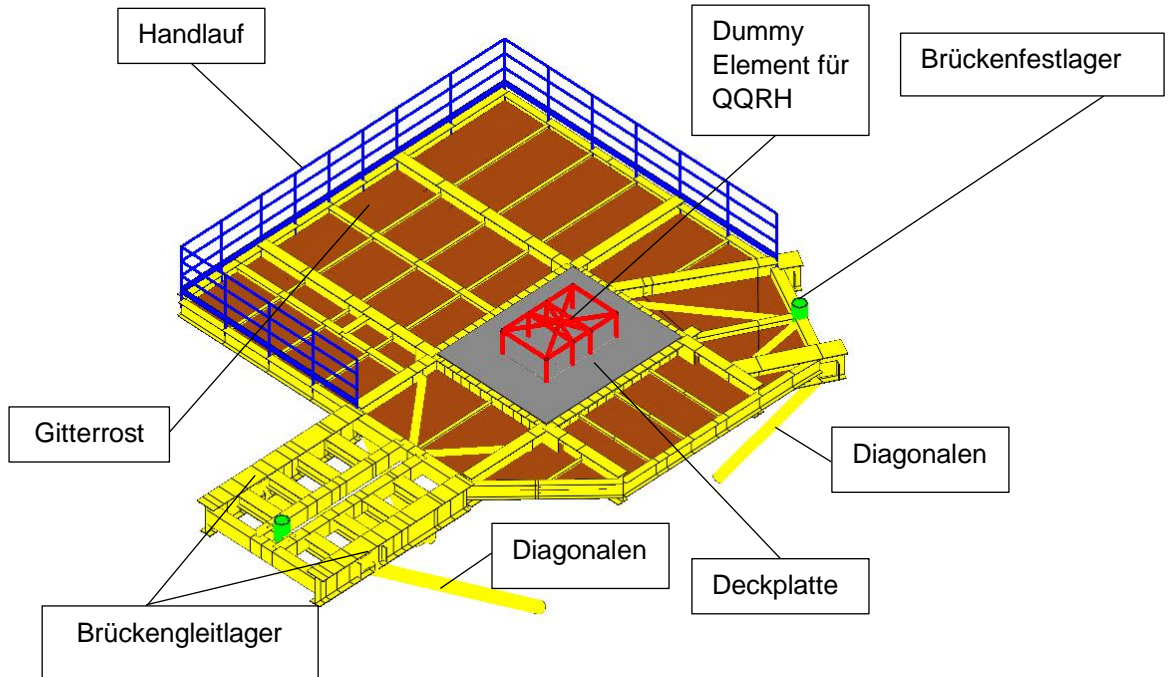


Abbildung 9-4: FE-Model, MD4

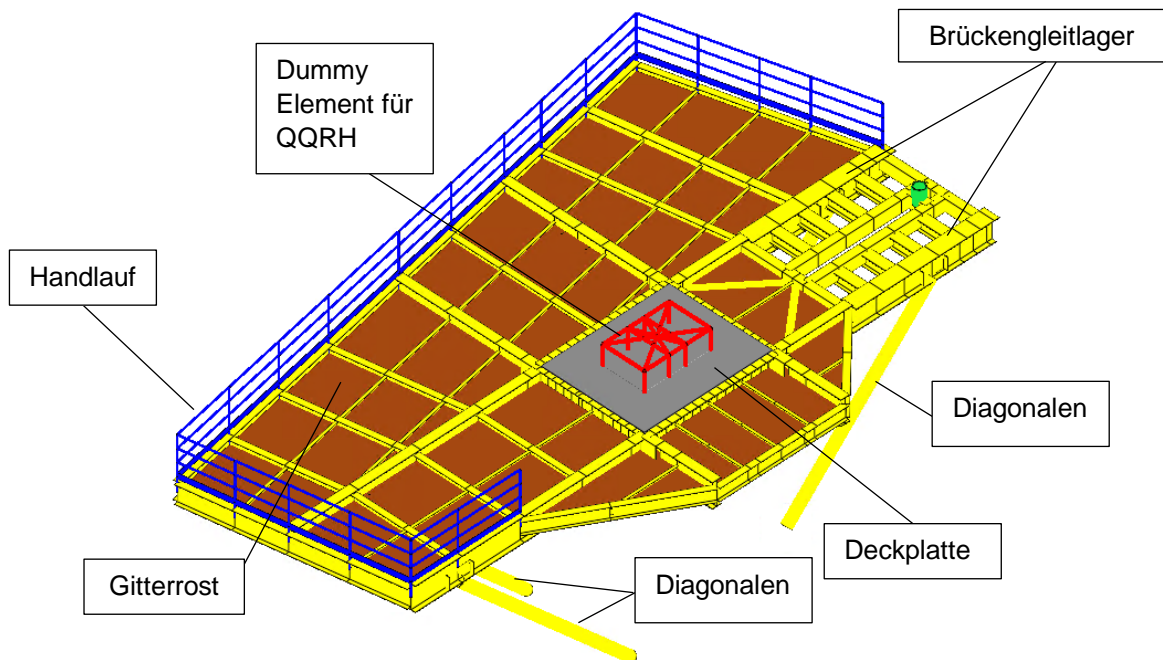


Abbildung 9-5: FE-Model, MD6

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 44 von 158

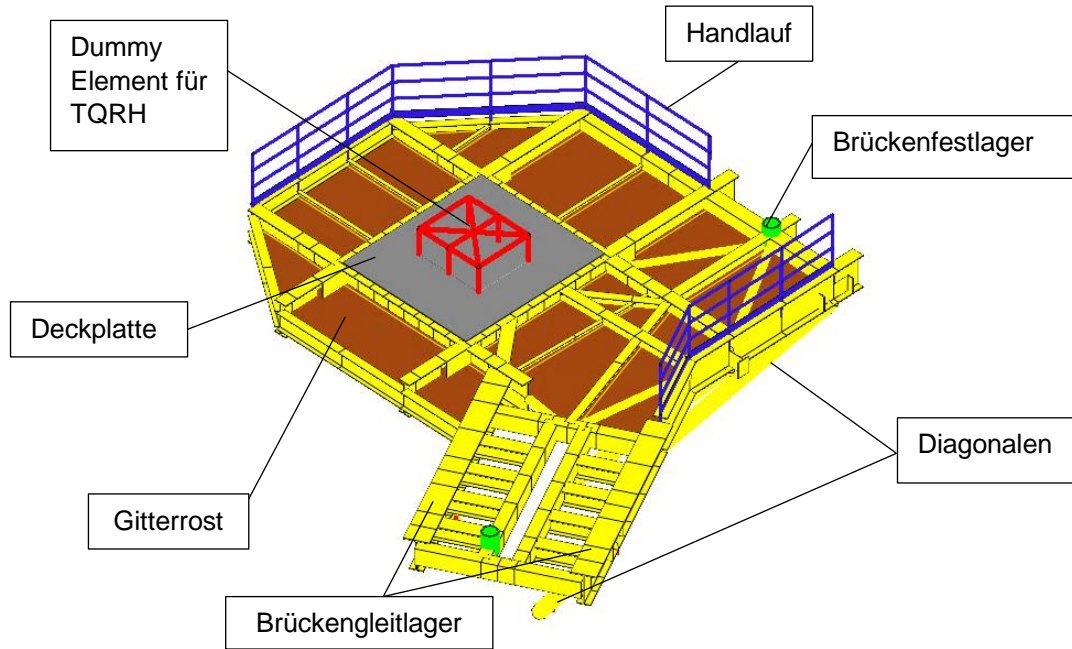


Abbildung 9-6: FE-Model, BD1

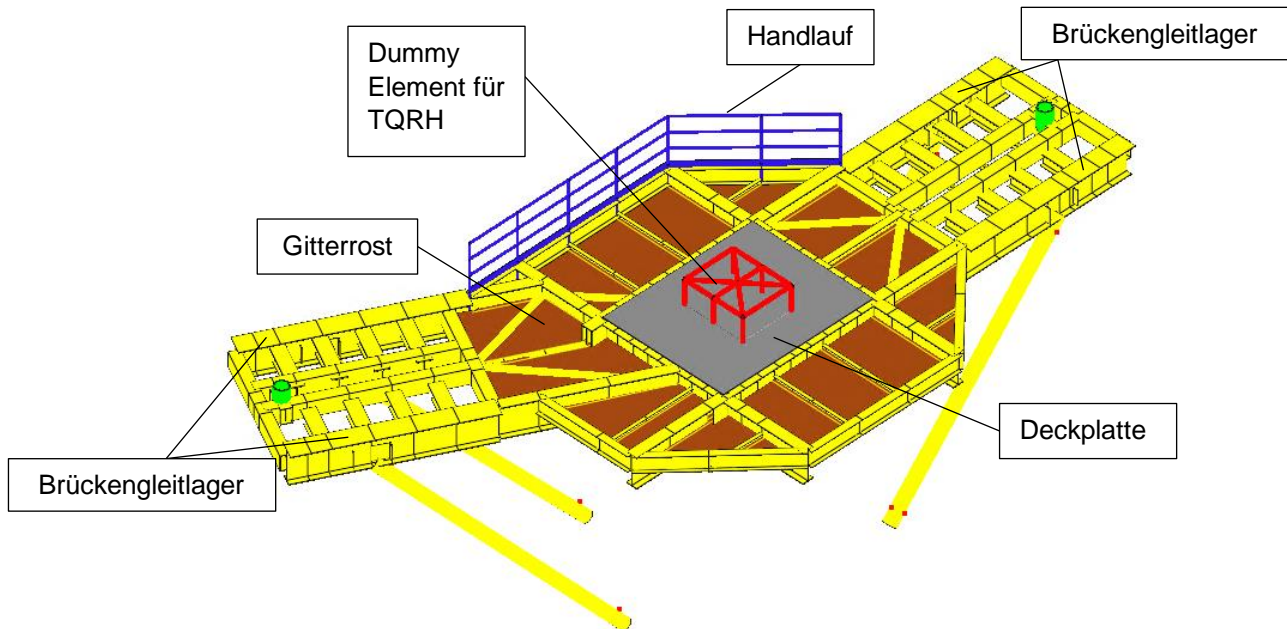


Abbildung 9-7: FE-Model, BD4

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 45 von 158

### 9.3 Randbedingungen

In der Realität besteht die Verbindung zwischen Dalbenpfahl und Plattform aus den folgenden 2 Hauptkomponenten:

- Die Kreuzungen der Hauptträger werden mittels Großer Brackets an den Monopile angeschweißt.
- Die Kragarme, die entweder groß auskragen oder hohe Lasten aus Brücken bekommen, sind mittels Diagonalen Stützen zusätzlich zum Dalbenpfahl hin abgefangen.

Demensprechend sind die Randbedingungen der Dalbenplattformen wie fogtl definiert und in den folgenden Abbildungen dargestellt. Die Kreuzungen der großen Hautträger über dem Pfahl jeweils in Richtung der großen Support Brackets gehalten: jeweils in der vertikalen und einer horizontalen Richtung festgehalten. Des Weiteren werden die unten Enden der diagonalen Stützen fixiert.

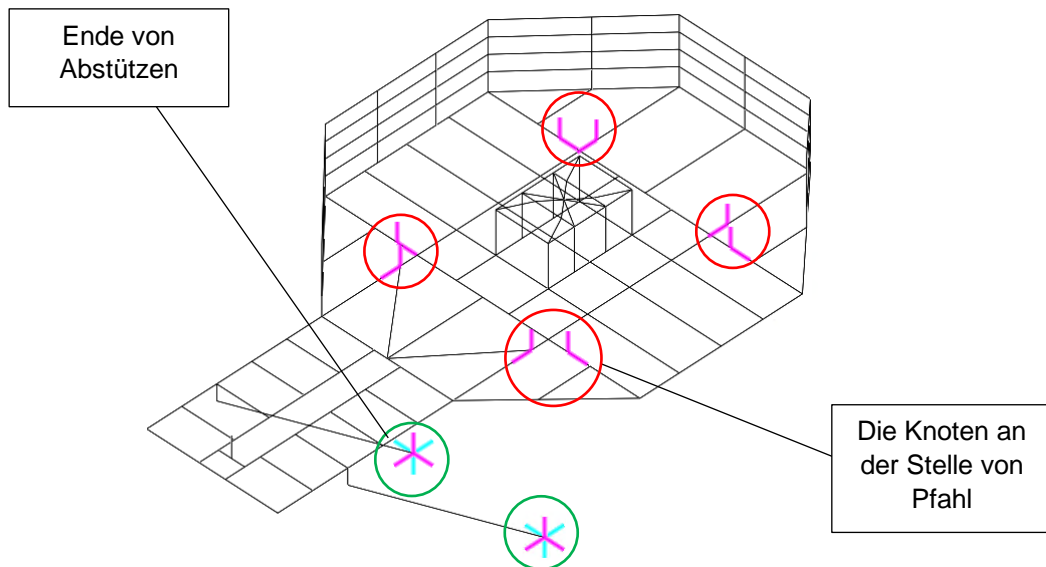


Abbildung 9-8: Randbedingungen, MD1

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 46 von 158

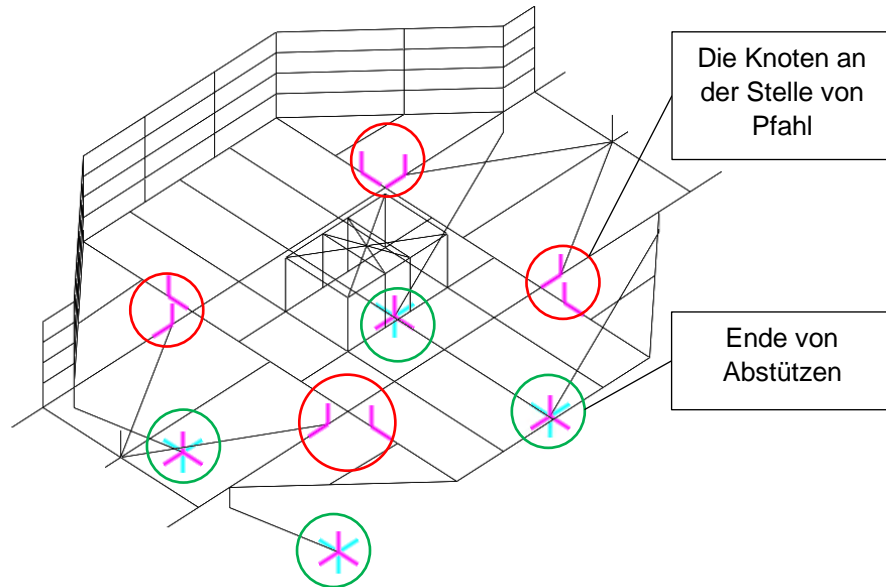


Abbildung 9-9: Randbedingungen, MD2

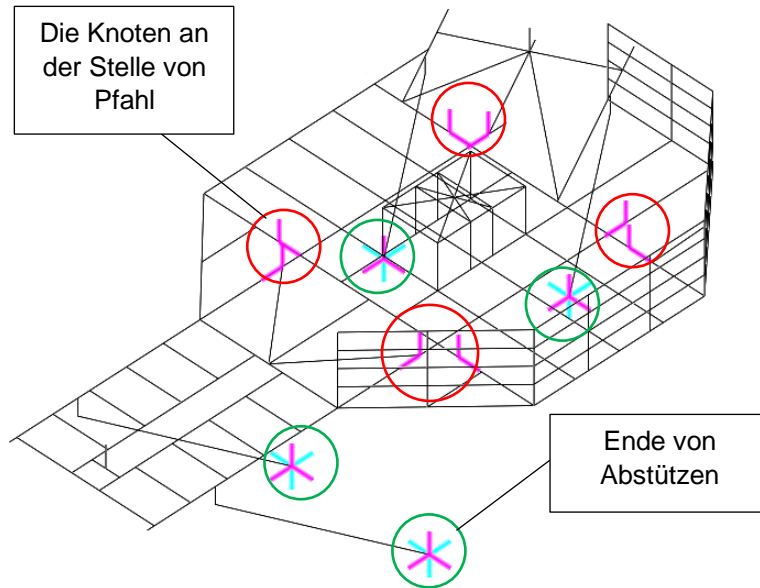


Abbildung 9-10: Randbedingungen, MD3

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 47 von 158

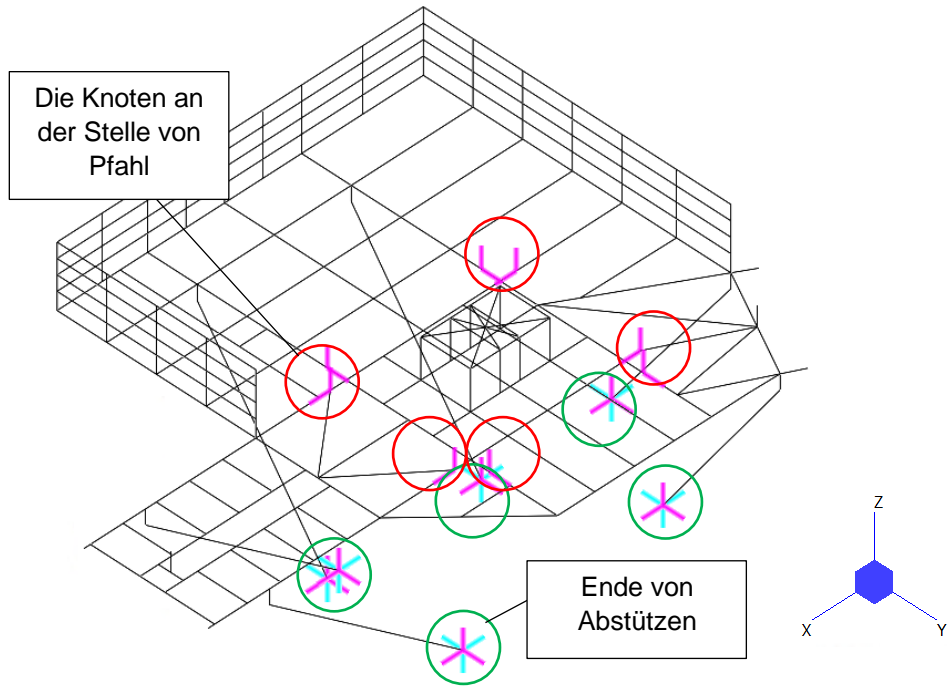


Abbildung 9-11: Randbedingungen, MD4

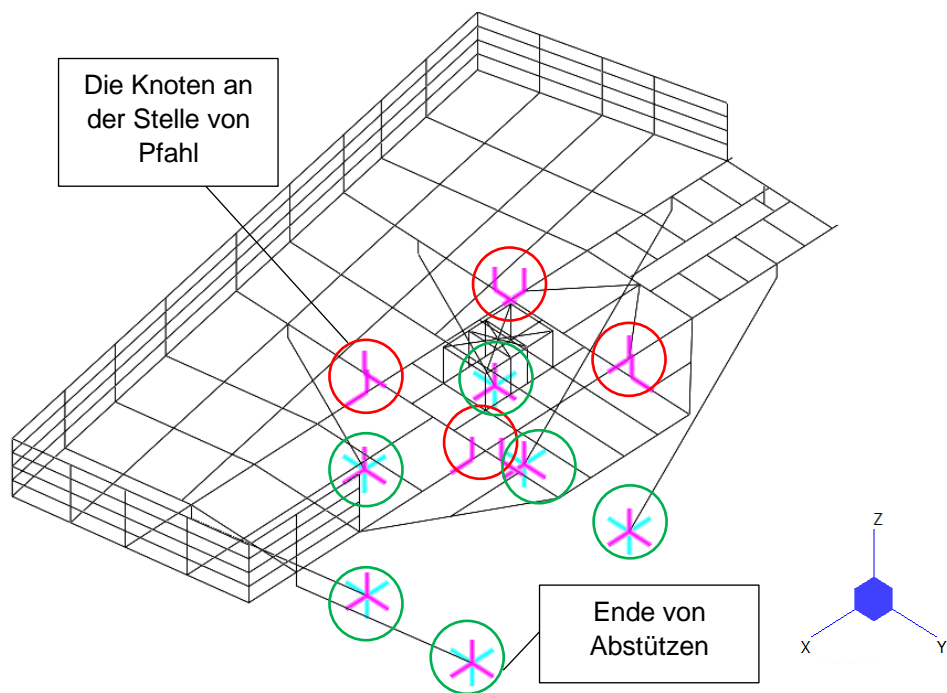


Abbildung 9-12: Randbedingungen, MD6

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 48 von 158

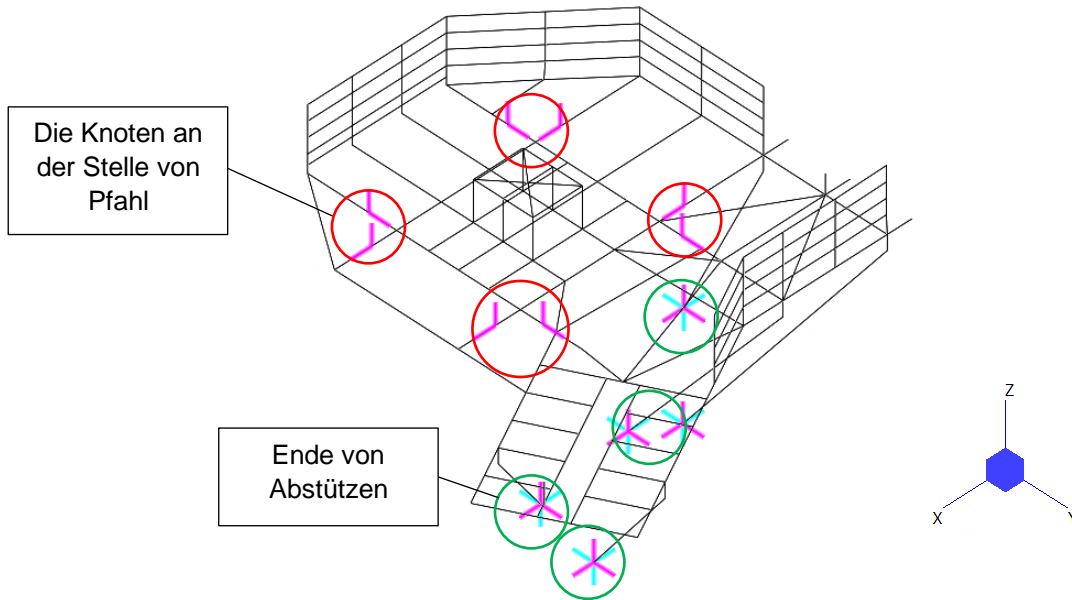


Abbildung 9-13: Randbedingungen, BD1



  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 49 von 158

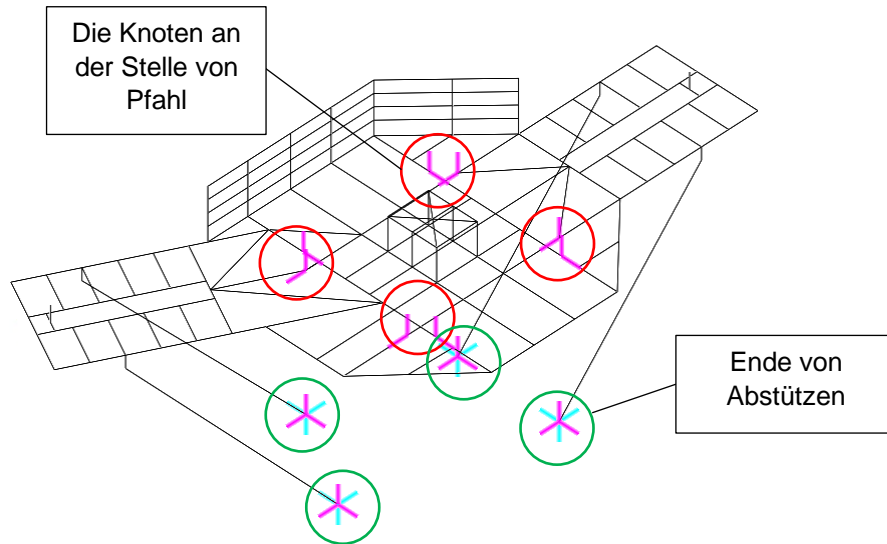


Abbildung 9-14: Randbedingungen, BD4

## 9.4 Lasten

### 9.4.1 Allgemeine Beschreibung den Lasten

Für die statische Berechnung der Dalben-Plattform sind folgende Lastfälle wie in Tabelle 9-1 definiert.

Tabelle 9-1: Übersicht der Lastfälle

Lastfall (LC)	Last-Kategorie	Beschreibung
1	G	Struktur-Eigengewicht
2	G	Eigengewicht der Gitterroste
3	G	Eigengewicht des Hakens
4	Q	Mooring-Lasten
5	Q	Design Reaktionslast aus Brücke
6	Q	Verkehrslasten
7	E	Windlasten
8	E	Schneelast
9	E	Eislast
10	Q	Holmlast

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 50 von 158

#### 9.4.2 LC 1 – Struktur-Eigengewicht (G)

In diesem Lastfall wird die Erdbeschleunigung mit  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  aufgebracht. Dadurch werden alle Eigengewichte der Modellierten Träger und Platten automatisch berücksichtigt.

#### 9.4.3 LC 2 – Eigengewicht der Gitterroste (G)

Lastfall LC 2 beinhaltet das Gewicht der Gitterroste. Es wird konservativ eine verteilte Masse von  $30 \text{ kg/m}^2$  angenommen. Die aufgetragenen Gewichte für Gitterroste sind exemplarisch für MD1 in der Abbildung unten dargestellt.

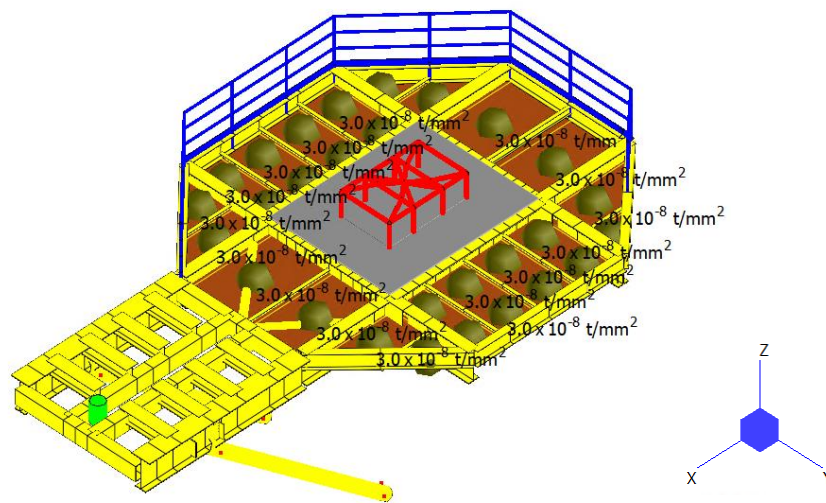


Abbildung 9-15: LC 2 – Eigengewicht der Gitterroste, MD1

#### 9.4.4 LC 3 – Eigengewicht des Hakens (G)

In Lastfall LC 3 wird die Lasten infolge des Eigengewichtes des Hakens aufgebracht. Das Eigengewicht wird als Knotenmasse aufgebracht. Das aufgetragene Hakengewicht ist exemplarisch für MD1 in der Abbildung unten dargestellt.

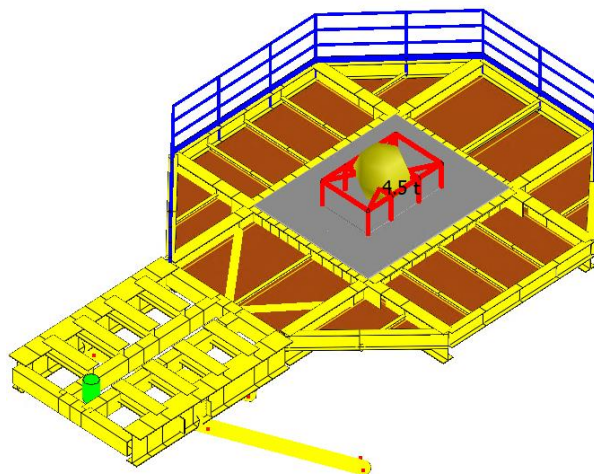


Abbildung 9-16: LC 3 – Eigengewicht des Hakens, MD1

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 51 von 158

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über das Eigengewicht des Hakens für die Dalben Plattformen (siehe auch Kapitel 6.3.2).

Tabelle 9-2: Übersicht der Hakengewichte

Plattform	Hakentyp	Eigengewicht des Hakens
MD1 – MD6	QQRH	4,5 t
BD1 & BD4	TQRH	3,7 t

#### 9.4.5 LC 4 – Equipment Lasten (Q) (nur bei MD4 und MD6)

Auf MD4 gibt es einen 20 ft E&I Container (siehe auch Kapitel 6.3.4). Das Gewicht für den ausgerüsteten E&I Container wird konservativ in dieser Analyse mit 24 t berücksichtigt. Das Gewicht ist auf 4 Fundament gleichmäßig als Knotenmasse verteilt. Die Masse wird mit der Erdbeschleunigung,  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  nach unten beschleunigt.

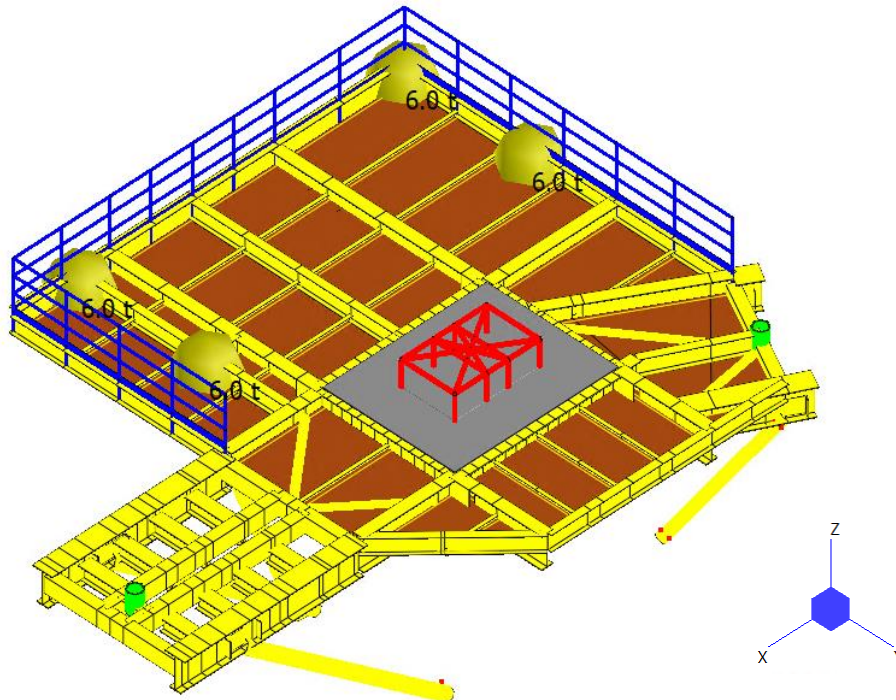


Abbildung 9-17: LC 4 – Equipment Lasten, MD4

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 52 von 158

Auf MD6 gibt es einen 40 ft Container als Notunterkunft bzw. Sammelplatz (siehe auch Kapitel 6.3.5). Das Gewicht für den Container wird konservativ in dieser Analyse mit 14.4 t berücksichtigt. Das Gewicht ist auf 4 Fundament gleichmäßig als Knotenmasse verteilt. Die Masse wird mit der Erdbeschleunigung,  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  nach unten beschleunigt.

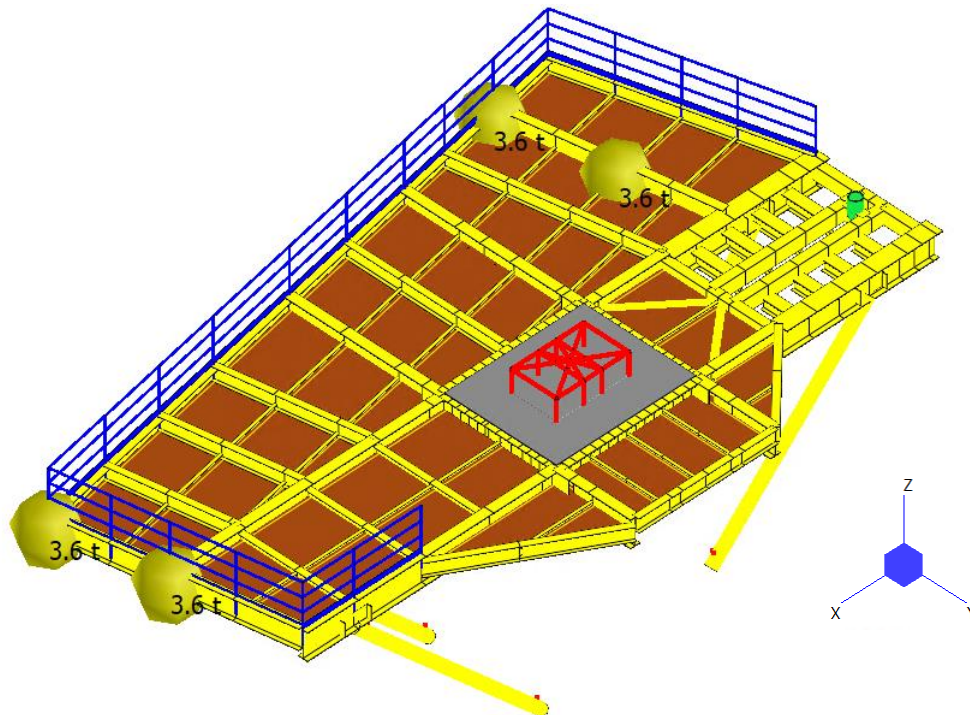


Abbildung 9-18: LC 4 – Equipment Lasten, MD6

#### 9.4.6 LC 5 – Mooring-Lasten (Q)

Lastfall LC 5 enthält die Mooring-Lasten wie in Kapitel 6.3.2 beschrieben, welcher als Punktlast auf die Dummy Struktur von Haken aufgebracht ist. Diese Einzellast wird an verschiedenen maßgebenden Lastrichtungen berücksichtigt.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die horizontalen Mooring-Lasten für die Dalben Plattformen.

Tabelle 9-3: Übersicht der Mooring-Lasten

Plattform	Hakentyp	Mooring-Lasten
MD1 – MD6	QQRH	4.415 kN
BD1 & BD4	TQRH	5.886 kN

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 53 von 158

Die aufgebrauchte Mooring-Lasten sind exemplarisch bei MD1 in der Abbildung unten dargestellt.

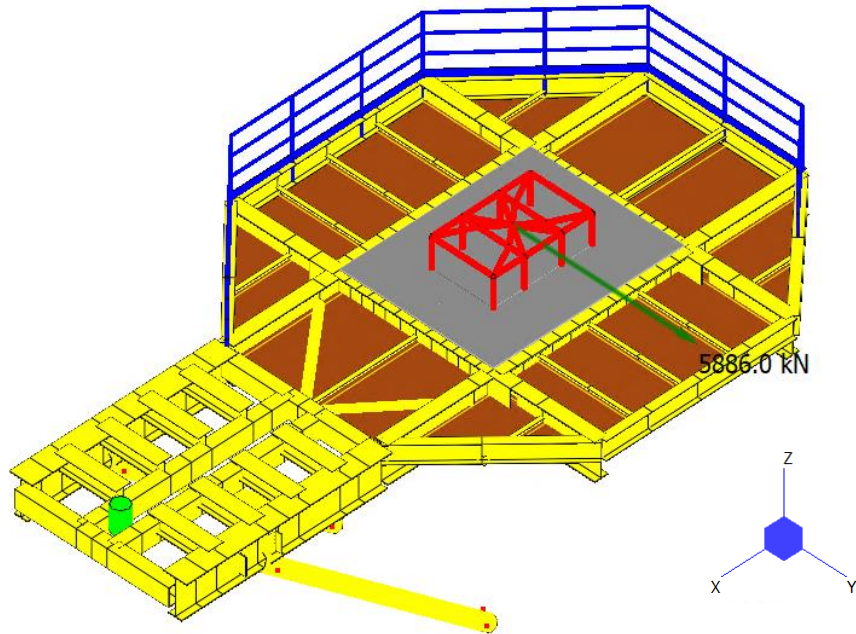


Abbildung 9-19: LC 5.1 – Mooring-Lasten in +Y Richtung, MD1

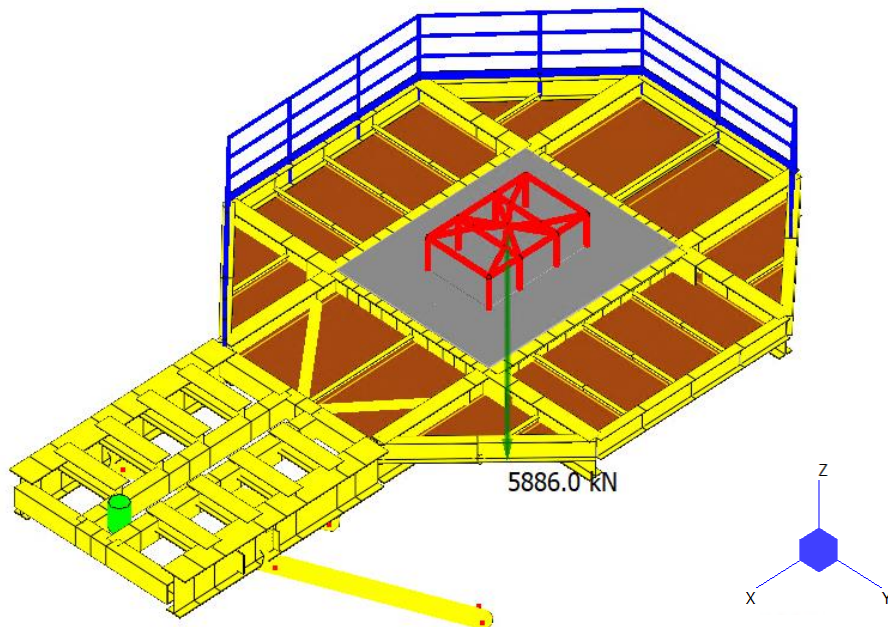


Abbildung 9-20: LC 5.2 – Mooring-Lasten in +X+Y Richtung, MD1

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 54 von 158

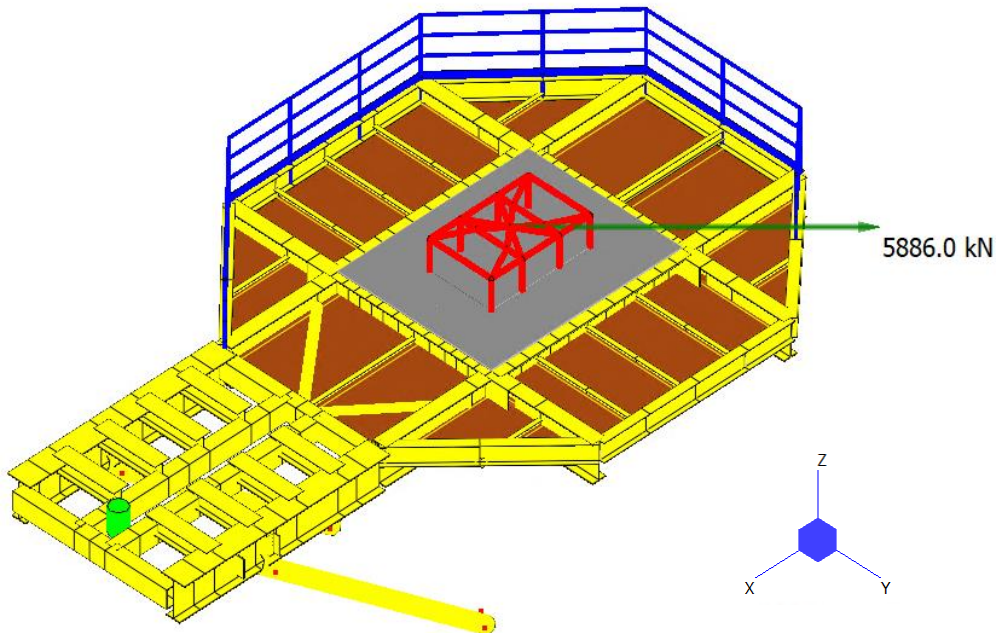


Abbildung 9-21: LC 5.3 – Mooring-Lasten in -X+Y Richtung, MD1

#### 9.4.7 LC 6 – Reaktionslasten aus Brücke (Q)

Die Reaktionslasten aus dem Brücken-Report, Ref. [13.] (siehe auch Kapitel 6.3.11) sind in diesem LC berücksichtigt. Die Designlasten in der Tabelle unten werden hier übernommen. Es ist zu notieren, dass die Designlasten bei Brücke 1 konservativ genommen. Zusätzlich werden Kräfte aufgrund des Gleitwiderstands der Brückenlager berücksichtigt. Bei einem angenommenen Reibungskoeffizienten von 0,3 werden die resultierende/ aufgebrauchte Reibkräfte von  $\mu * F_v$ .

Tabelle 9-4: DesignLasten für die Brückenlager

Reaktionslasten	Last [kN]			
	Brücke B1	Brücke B3	Brücke B4	Brücke B7
Vertikal (Druck)	260	500	1.508	370
Vertikal (Auftrieb)	-	-	-1.067	-
Horizontal (y-Richtung)	160	320	332	230
Horizontal (x-Richtung)	-	-	147	-
Reibkräfte (x-Richtung)	78	150	453	111

Diese Lasten sind unterschiedlich bei den Dalben. In den folgenden Abbildungen sind die Reaktionslasten bei aller untersuchten Dalben dargestellt.

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 55 von 158

In LC 6.1 werden die maximale Vertikallasten konservativ auf 2 Lager aufgebracht während in LC 6.2 werden die maximale Vertikallasten auf 1 Lager untersucht. LC 6.3 beinhaltet die maximale Horizontallasten in Querrichtung und LC 6.4 die Reibkräfte und auch die Horizontallasten in Längsrichtung aufgrund der Hang-Off Riser (nur für Brücke B4).

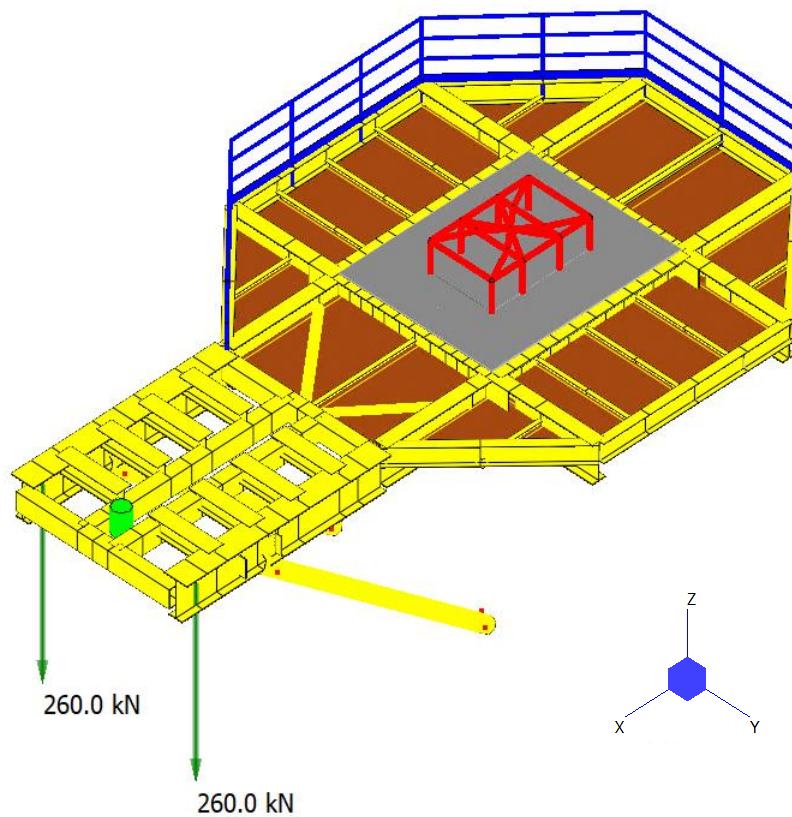


Abbildung 9-22: LC 6.1 – Vertikale Reaktionslasten aus Brücke, MD1

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 56 von 158

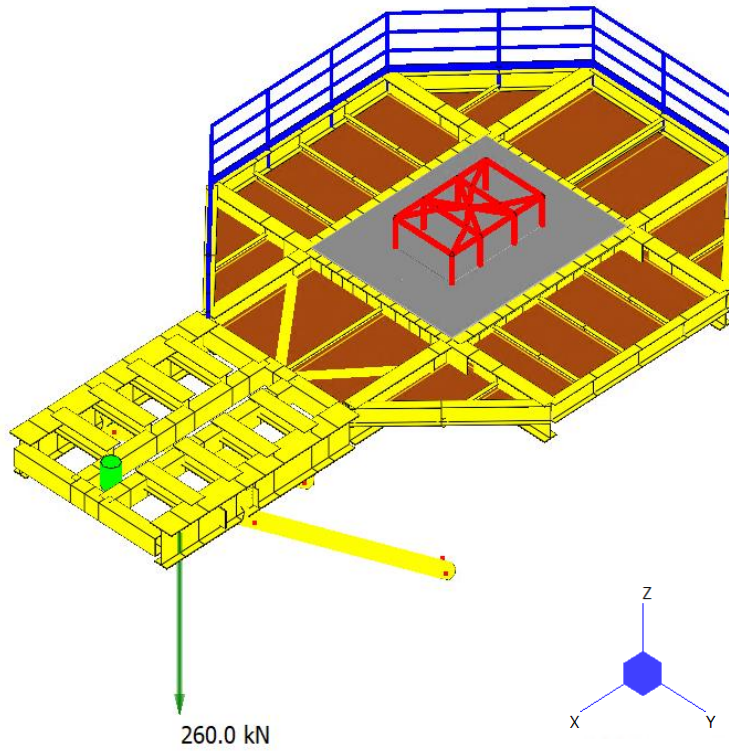


Abbildung 9-23: LC 6.2 – Vertikale Reaktionslasten aus Brücke, MD1

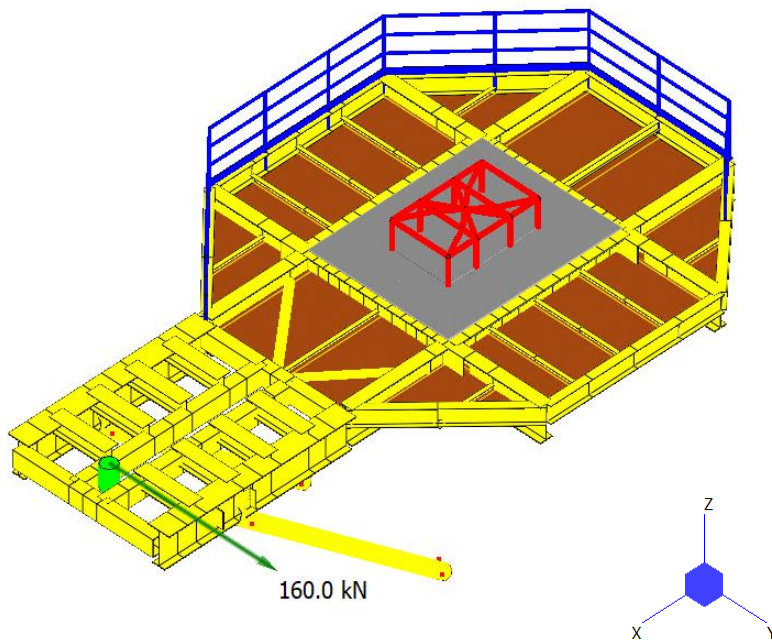


Abbildung 9-24: LC 6.3 – Horizontale Reaktionslasten aus Brücke, MD1



  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 57 von 158

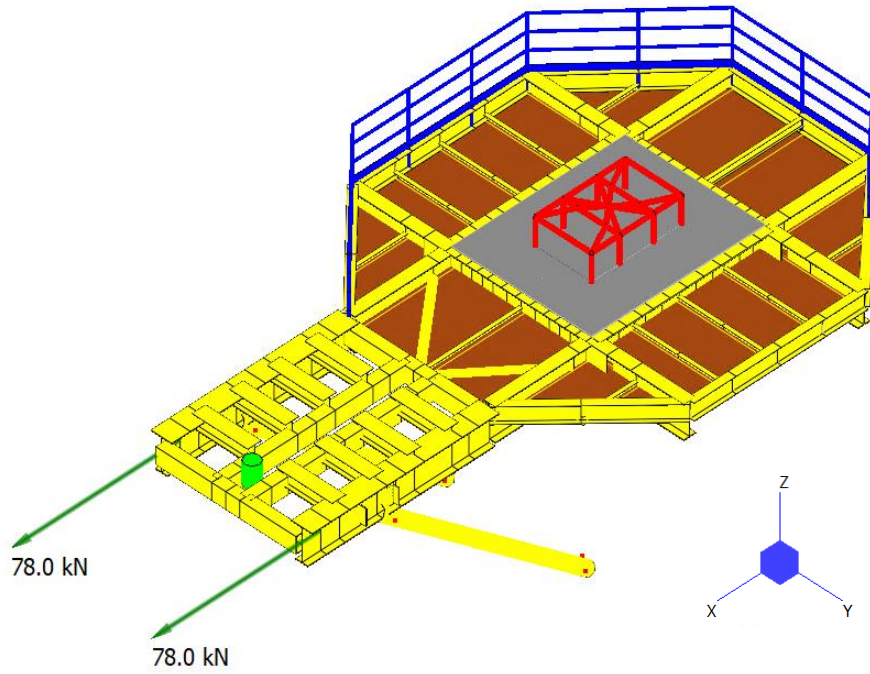


Abbildung 9-25: LC 6.3 – Reibkräfte aus Brücke, MD1

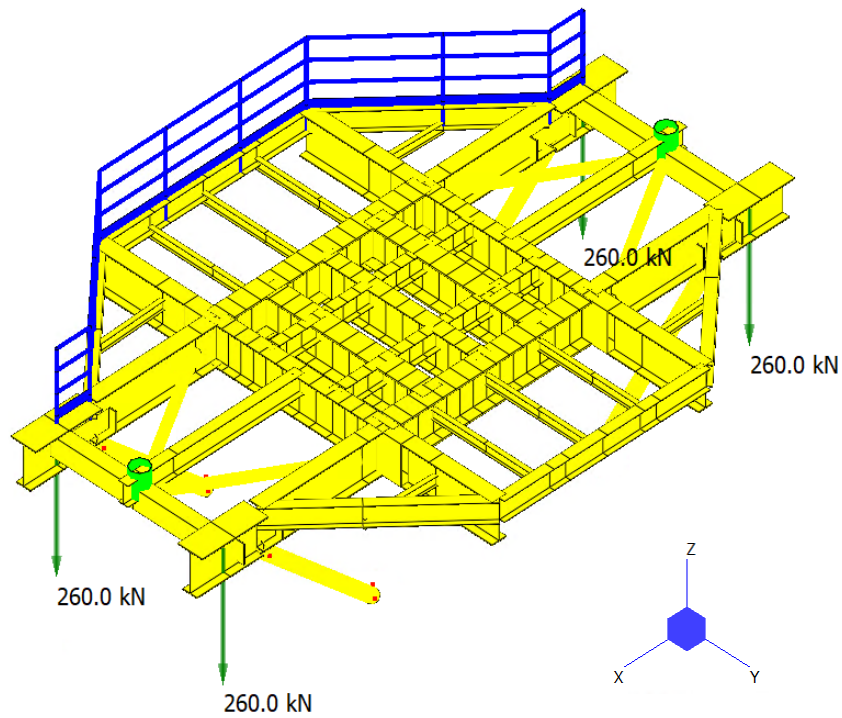


Abbildung 9-26: LC 6.1 – Vertikale Reaktionslasten aus Brücke, MD2

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 58 von 158

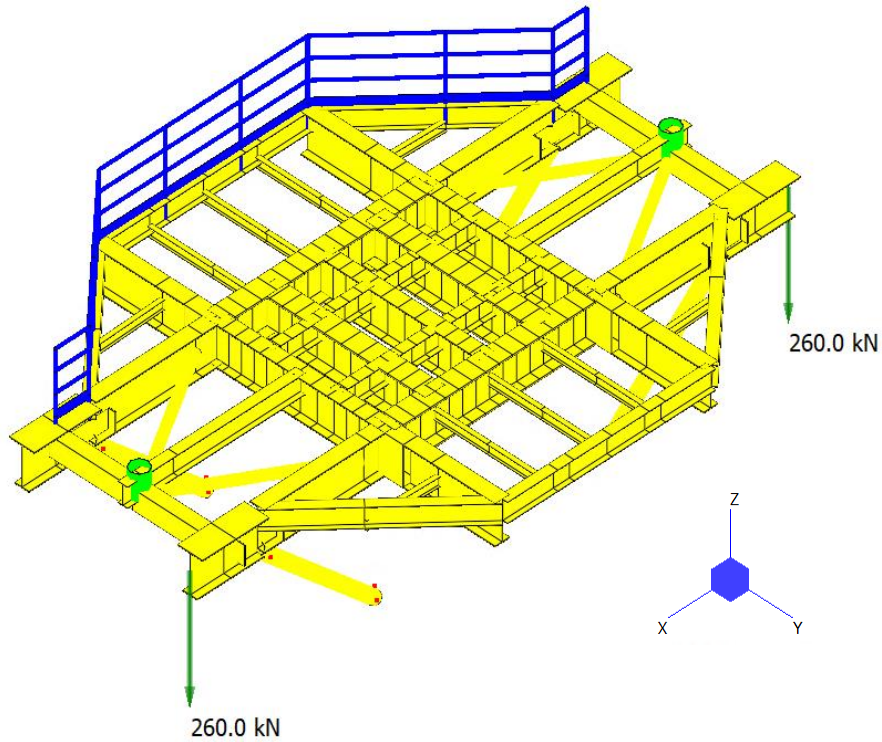


Abbildung 9-27: LC 6.2 – Vertikale Reaktionslasten aus Brücke, MD2

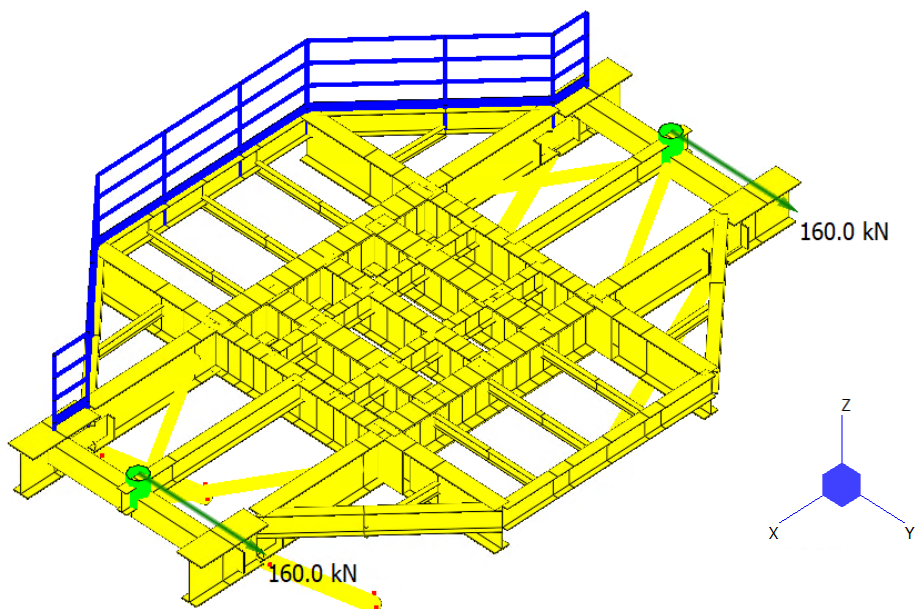


Abbildung 9-28: LC 6.3 – Horizontale Reaktionslasten aus Brücke, MD2

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 59 von 158

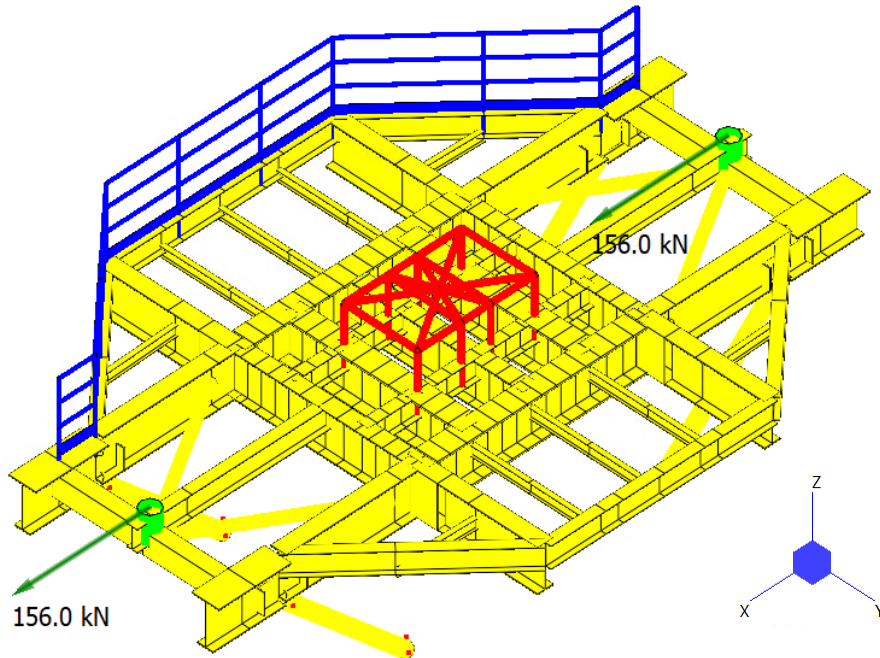


Abbildung 9-29: LC 6.4 – Reibkräfte aus Brücke, MD2

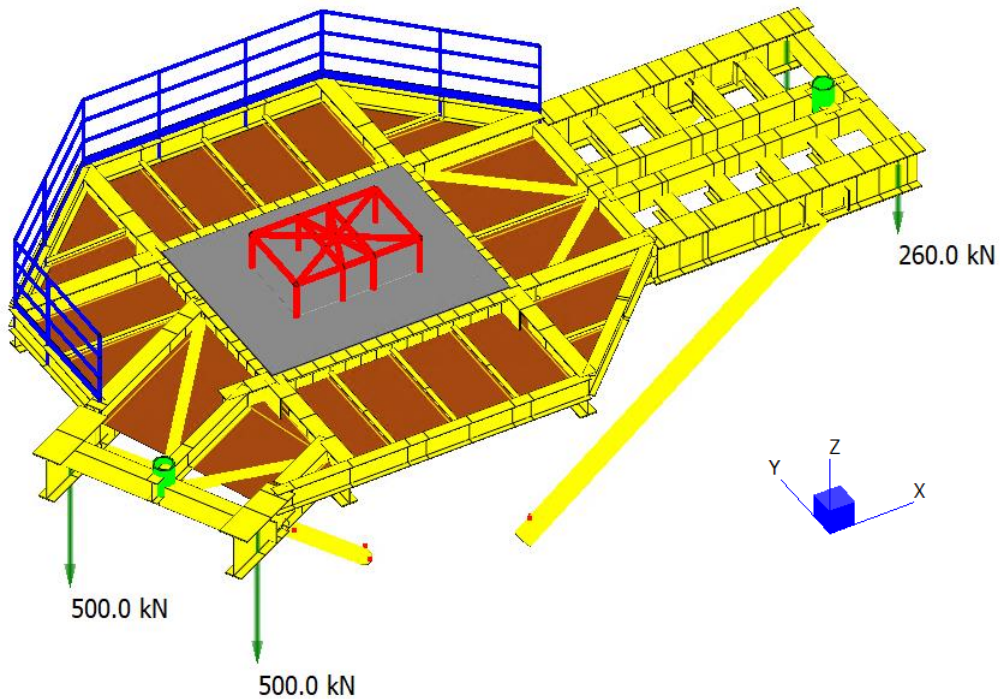


Abbildung 9-30: LC 6.1 – Vertikale Reaktionslasten aus Brücke, MD3

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 60 von 158

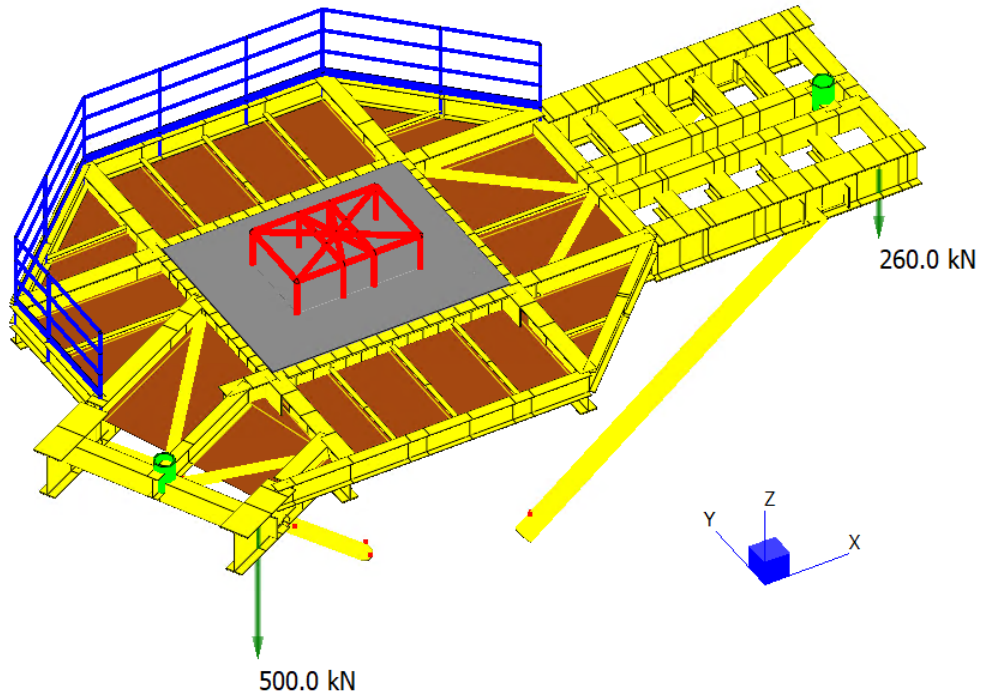


Abbildung 9-31: LC 6.2 – Vertikale Reaktionslasten aus Brücke, MD3

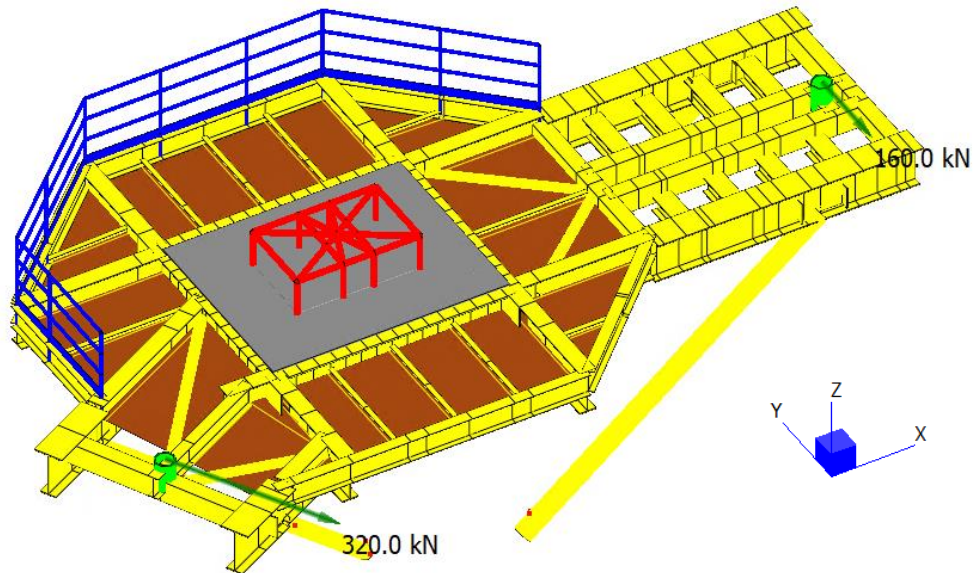


Abbildung 9-32: LC 6.3 – Horizontale Reaktionslasten aus Brücke, MD3

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 61 von 158

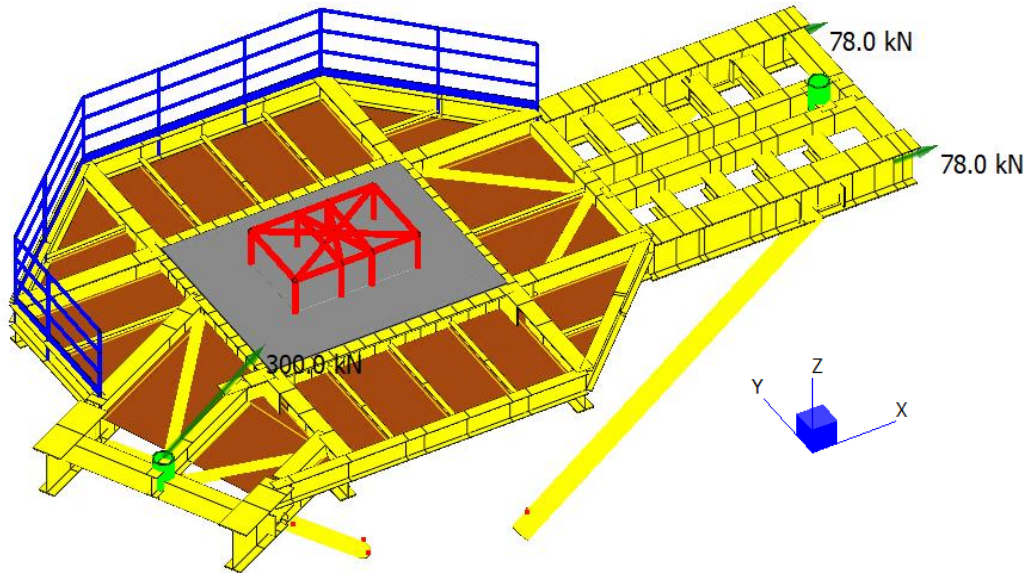


Abbildung 9-33: LC 6.4 – Reibkräfte aus Brücke, MD3

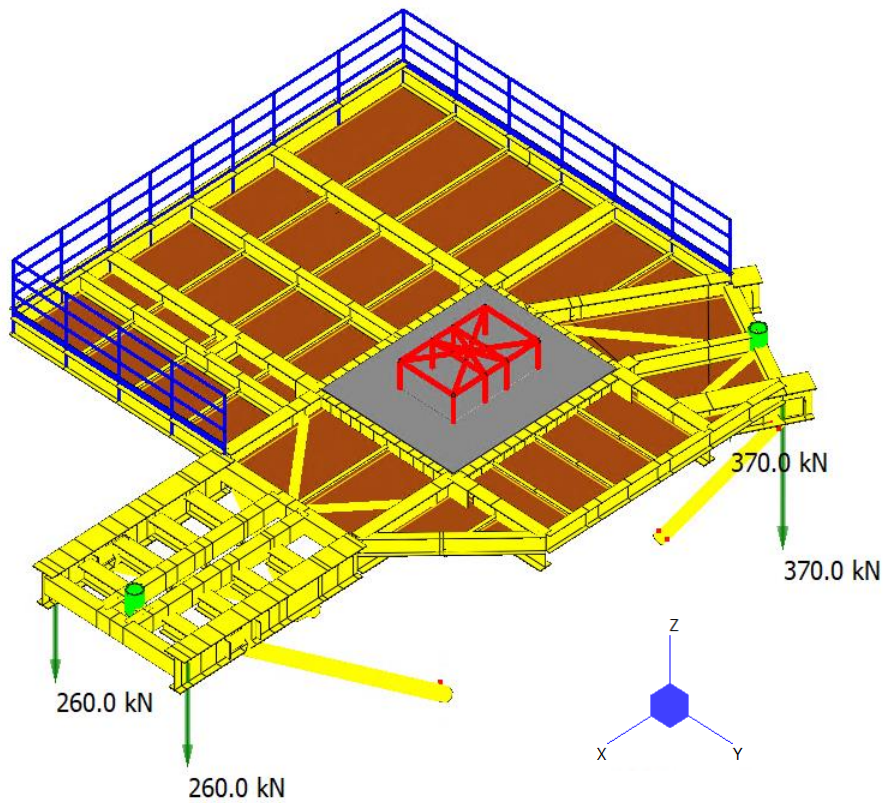


Abbildung 9-34: LC 6.1 – Vertikale Reaktionslasten aus Brücke, MD4

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 62 von 158

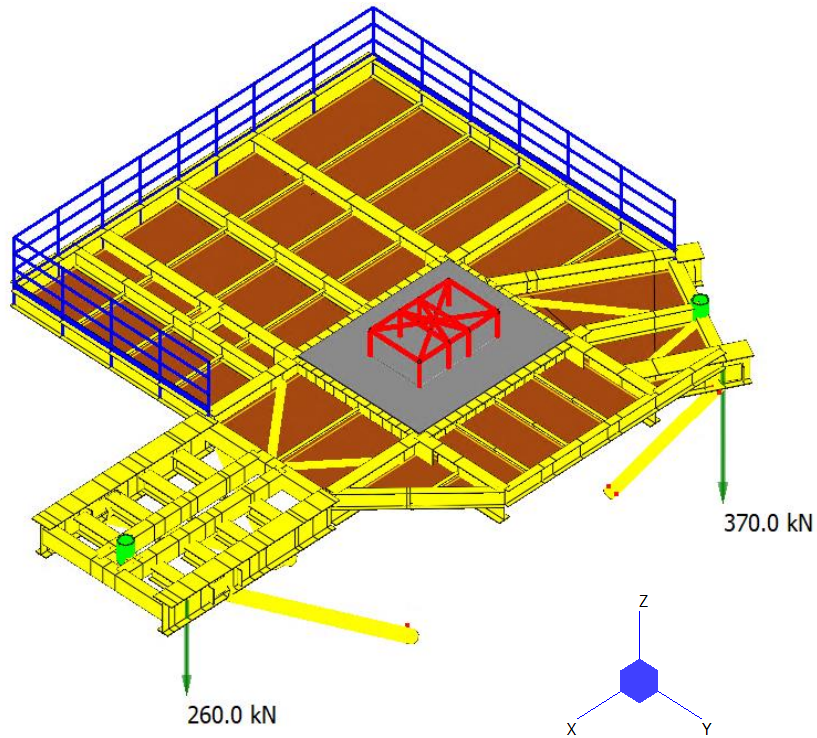


Abbildung 9-35: LC 6.2 – Vertikale Reaktionslasten aus Brücke, MD4

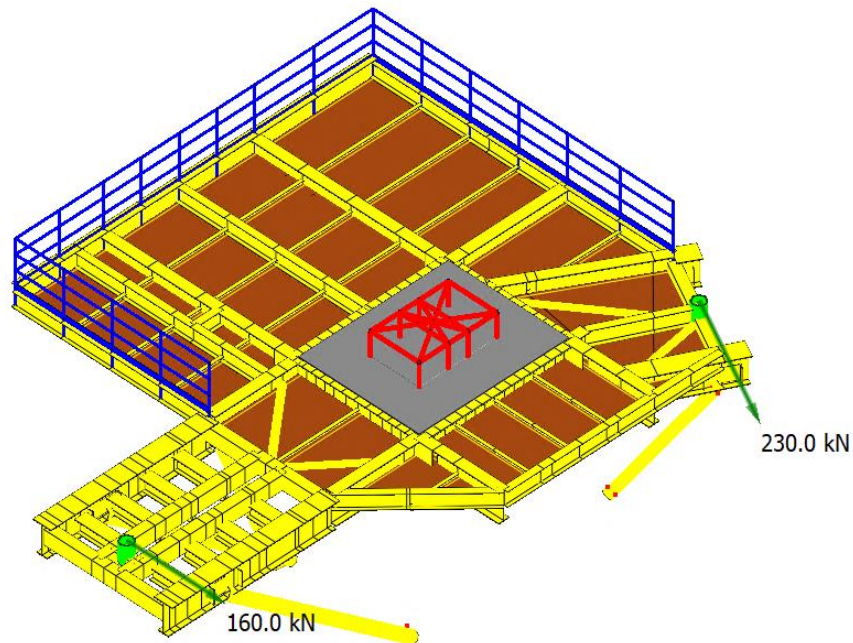
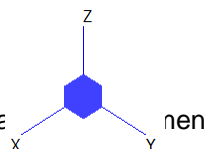


Abbildung 9-36: LC 6.3 – Horizontale Reaktionslasten aus Brücke, MD4



  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 63 von 158

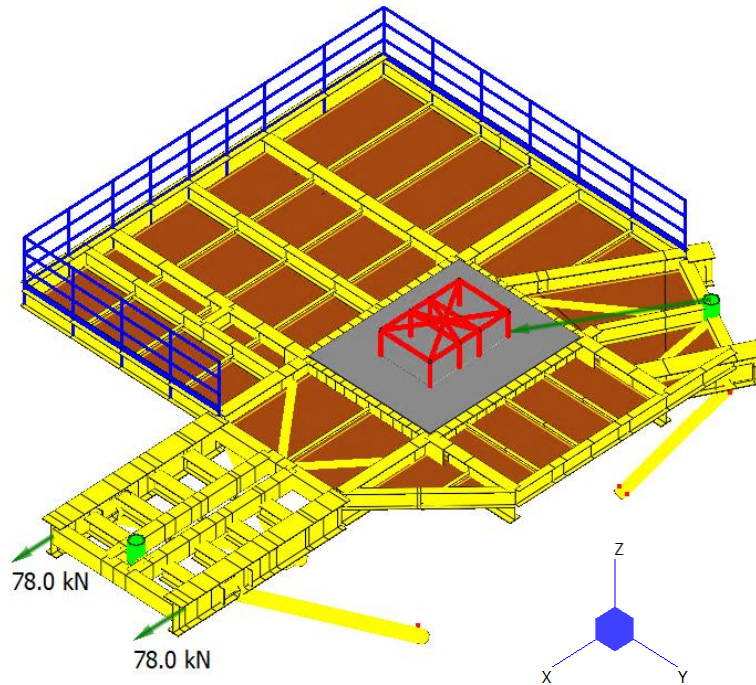


Abbildung 9-37: LC 6.4 – Reibkräfte aus Brücke, MD4

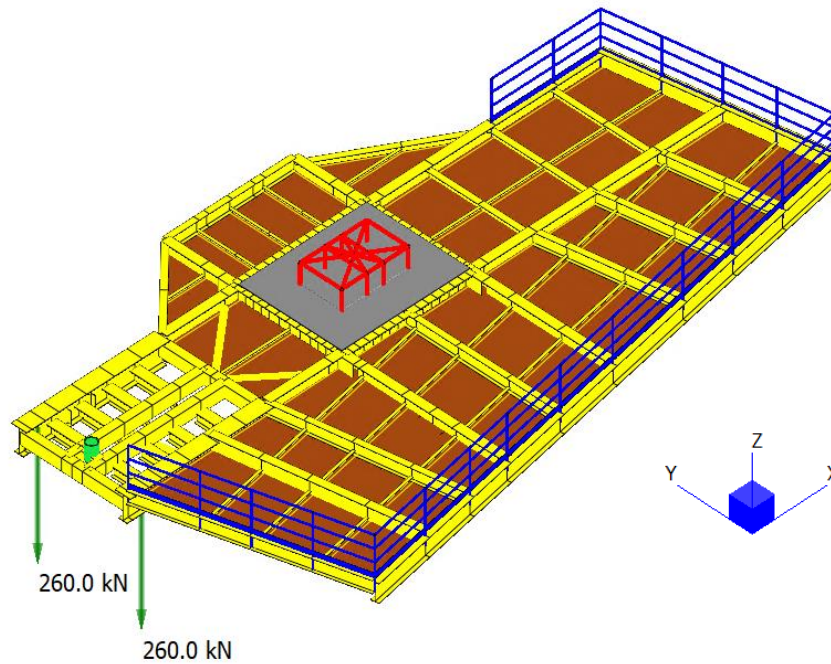


Abbildung 9-38: LC 6.1 – Vertikale Reaktionslasten aus Brücke, MD6

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 64 von 158

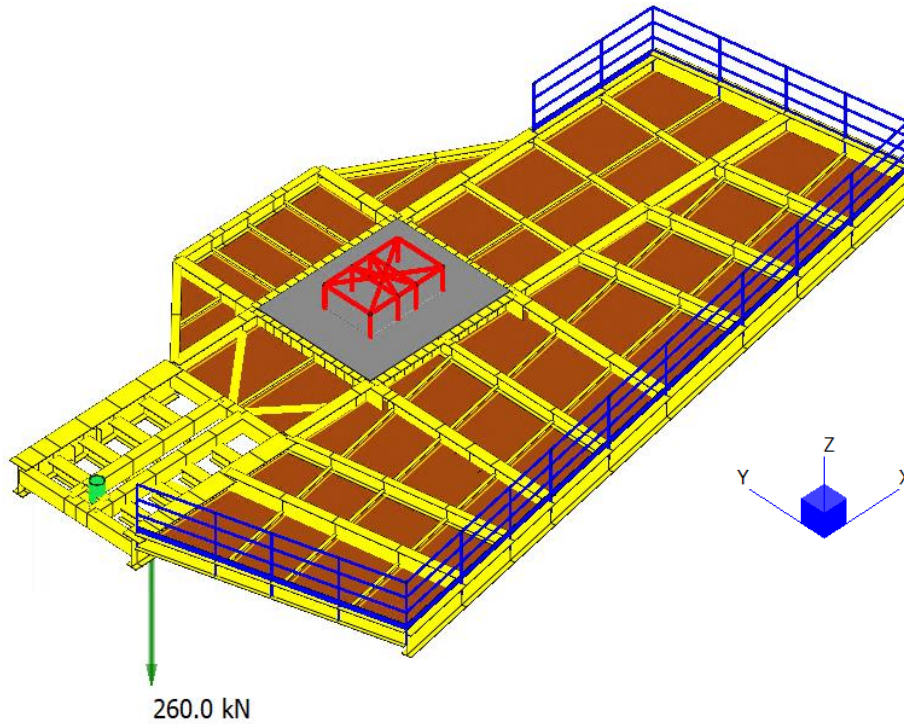


Abbildung 9-39: LC 6.2 – Vertikale Reaktionslasten aus Brücke, MD6

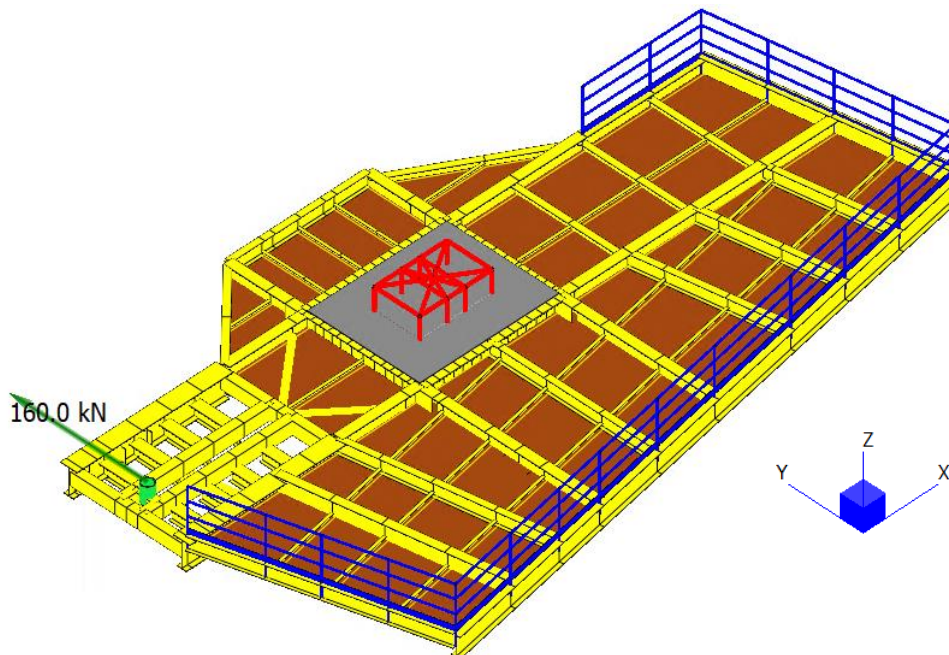


Abbildung 9-40: LC 6.3 – Horizontale Reaktionslasten aus Brücke, MD6



  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 65 von 158

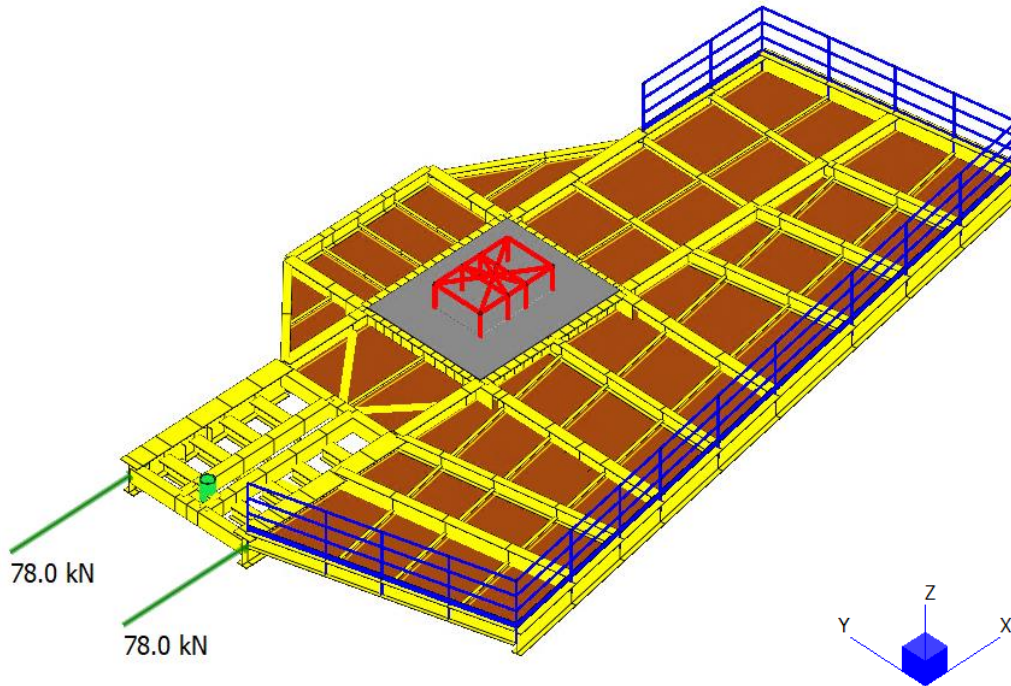


Abbildung 9-41: LC 6.4 – Reibkräfte aus Brücke, MD6

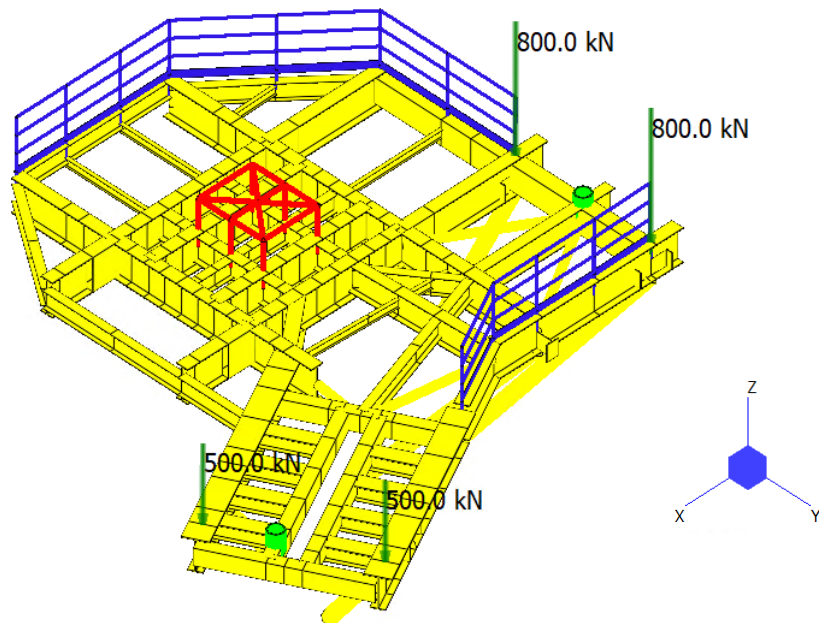


Abbildung 9-42: LC 6.1 – Vertikale Reaktionslasten aus Brücke, BD1

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 66 von 158

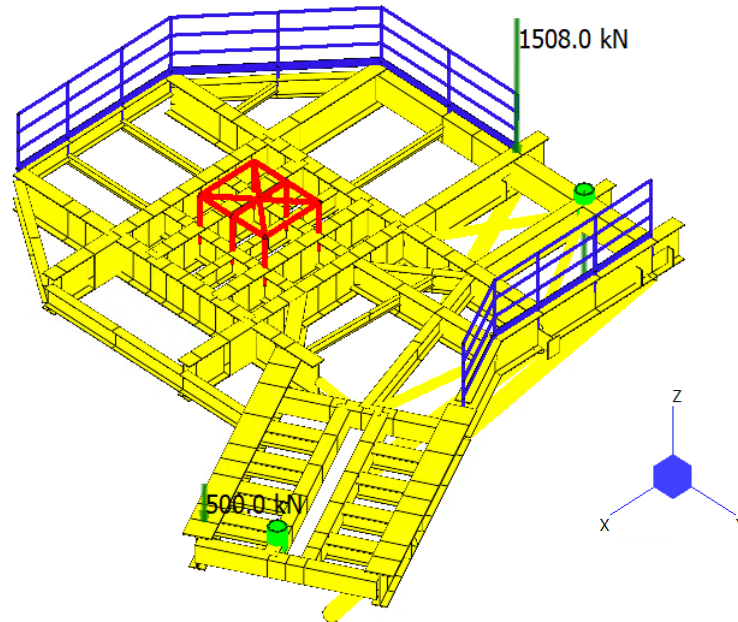


Abbildung 9-43: LC 6.2 – Vertikale Reaktionslasten aus Brücke, BD1

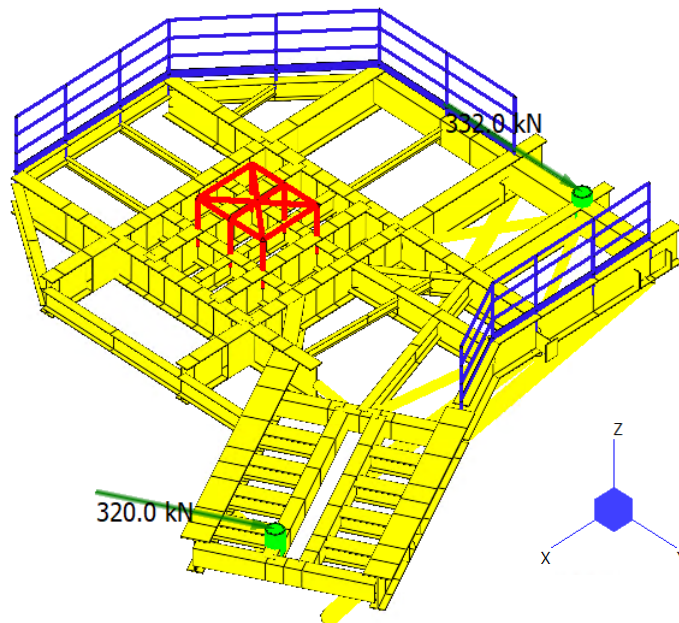


Abbildung 9-44: LC 6.3 – Horizontale Reaktionslasten aus Brücke, BD1

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 67 von 158

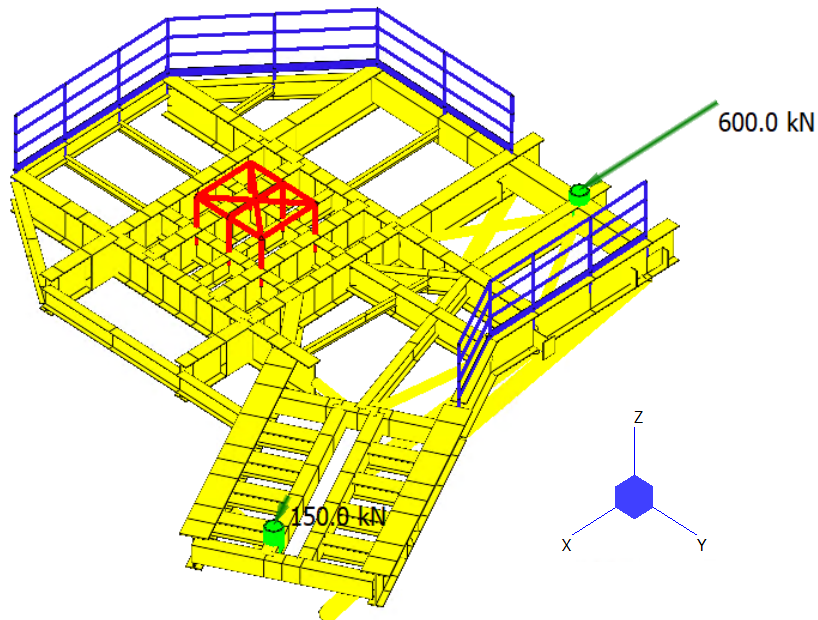


Abbildung 9-45: LC 6.4 – Reibkräfte aus Brücke, BD1

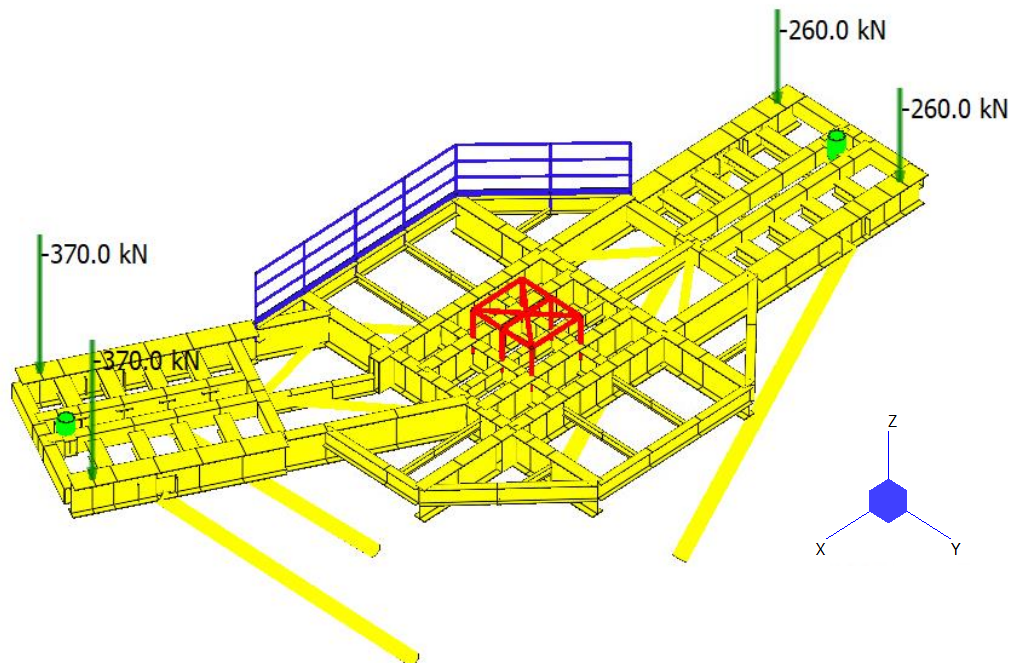


Abbildung 9-46: LC 6.1 – Vertikale Reaktionslasten aus Brücke, BD4

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 68 von 158

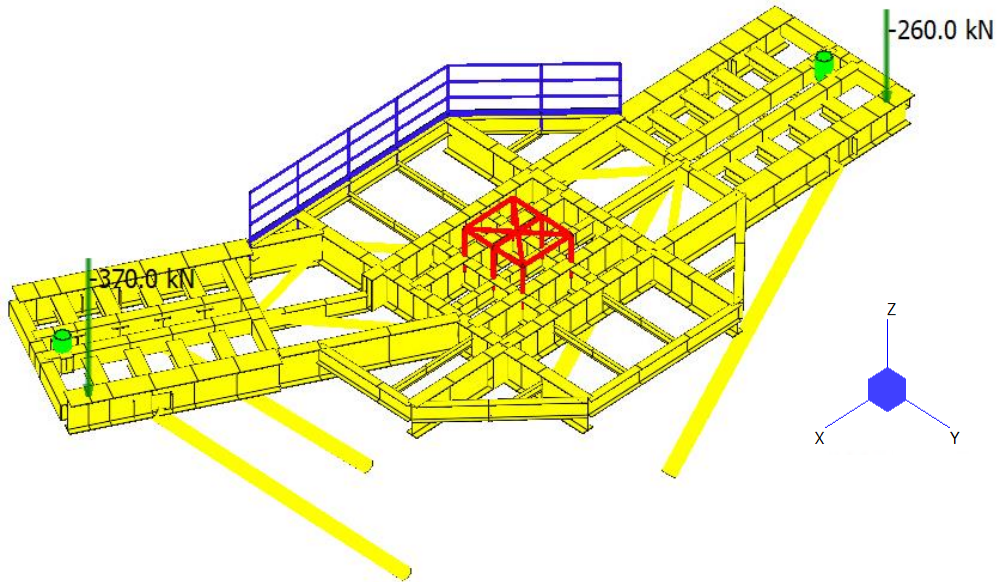


Abbildung 9-47: LC 6.2 – Vertikale Reaktionslasten aus Brücke, BD4

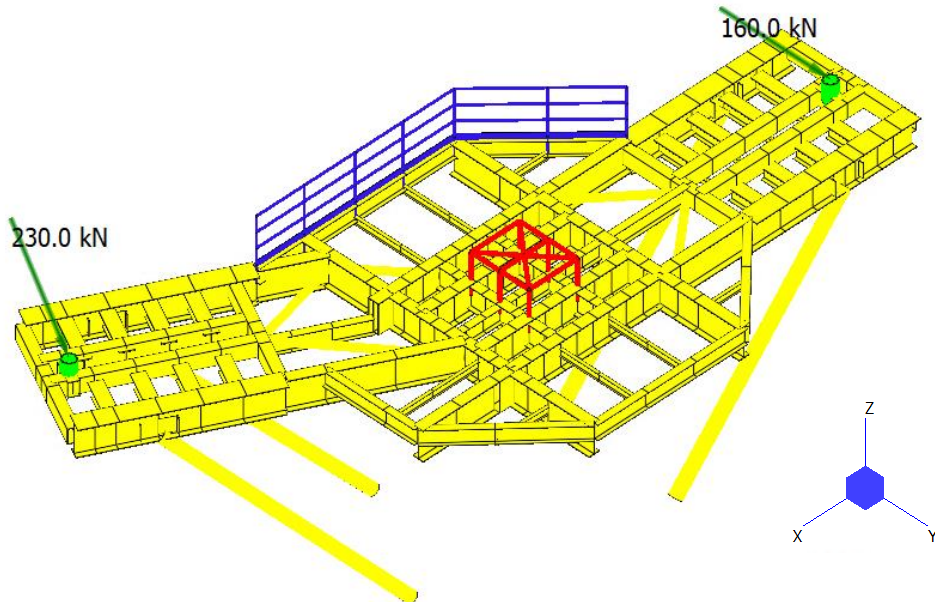


Abbildung 9-48: LC 6.3 – Horizontale Reaktionslasten aus Brücke, BD4

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 69 von 158

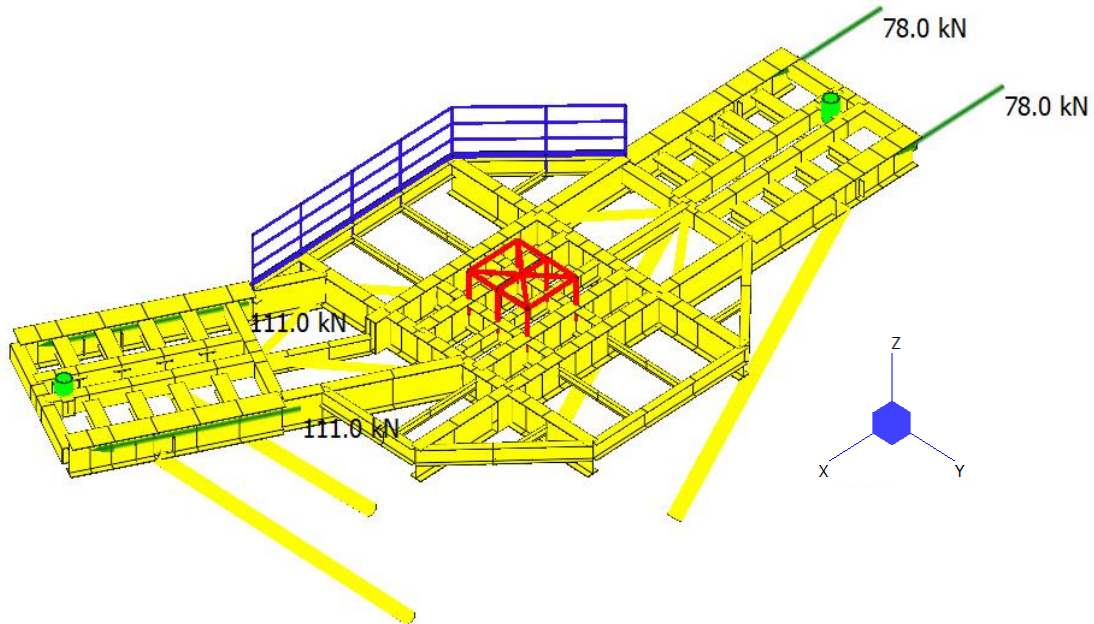


Abbildung 9-49: LC 6.4 – Reibkräfte aus Brücke, BD4

#### 9.4.8 LC 7 – Verkehrslasten (Q)

Lastfall LC 7 enthält die Traglast des Laufgangs als gleichmäßige Flächenlast von  $p = 2 \text{ kN/m}^2$  gemäß EC3 (siehe auch Kapitel 6.3.1), welcher als Druck auf die „Load Patch“ Elemente aufgebracht ist.

Die aufgebrachte Verkehrslasten sind exemplarisch bei MD1 in der Abbildung unten dargestellt.

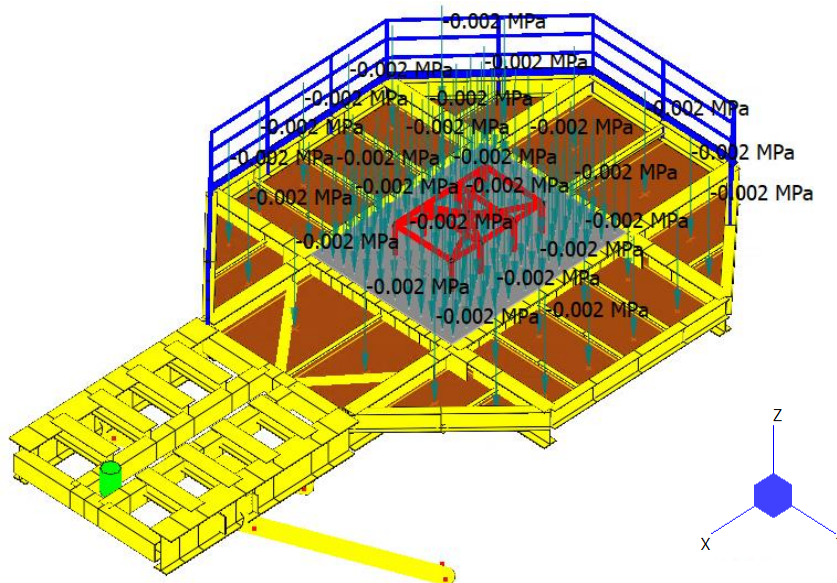


Abbildung 9-50: LC 7 – Verkehrslasten, MD1

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 70 von 158

#### 9.4.9 LC 8 – Windlasten (E)

Die Windlasten wie in Kapitel 6.3.8 sind in LC8 berücksichtigt. Eine Flächenlast von  $p_{Wind} = 1,35 \text{ kN/m}^2$  ist auf die einzelnen Balkenelemente, die dem Wind ausgesetzt sind, aufgebracht. Das Beiwert,  $c_f = 2,0$  für eckige Profile und  $c_f = 1,2$  für Rundprofile ist zusätzlich genommen.

Diese Windlasten werden in +X (LC 7.1) und +Y (LC 7.2) Richtungen aufgebracht.

Zusätzlich ist die Windlasten auf Haken aufgebracht. Die Flächenlast von  $p_{Wind} = 1,35 \text{ kN/m}^2$  ist auf die angenommene Fläche von  $1,6 \text{ m} \times 1 \text{ m}$  (Länge x Höhe) berücksichtigt. Mit dem Beiwert,  $c_f = 2,0$  für eckige Profile resultiert diese Windkraft,  $F_{Haken} = 4,3 \text{ kN}$ . Diese Windkraft ist auf die Dummystruktur von Haken aufgebracht und mit der grünen Pfeile in der Abbildungen unten dargestellt.

Die aufgebrachte Windlasten sind exemplarisch bei MD1 in der Abbildung unten dargestellt.

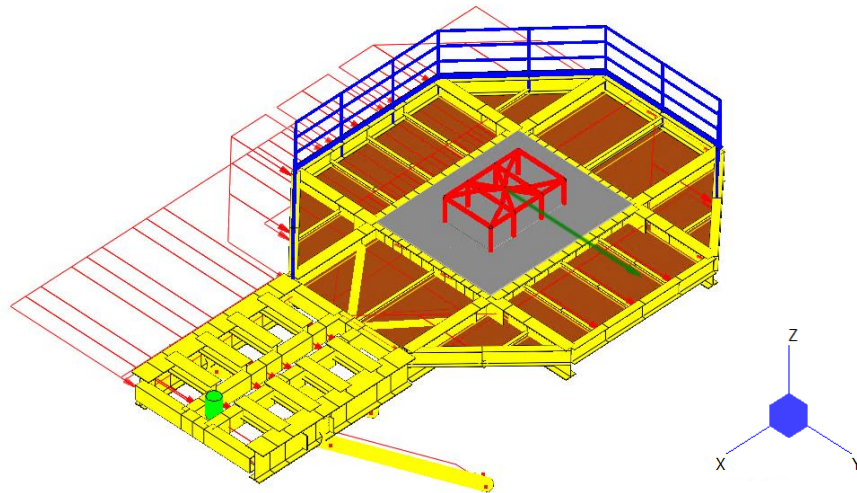


Abbildung 9-51: LC 8.1 – Windlasten in +Y Richtung, MD1

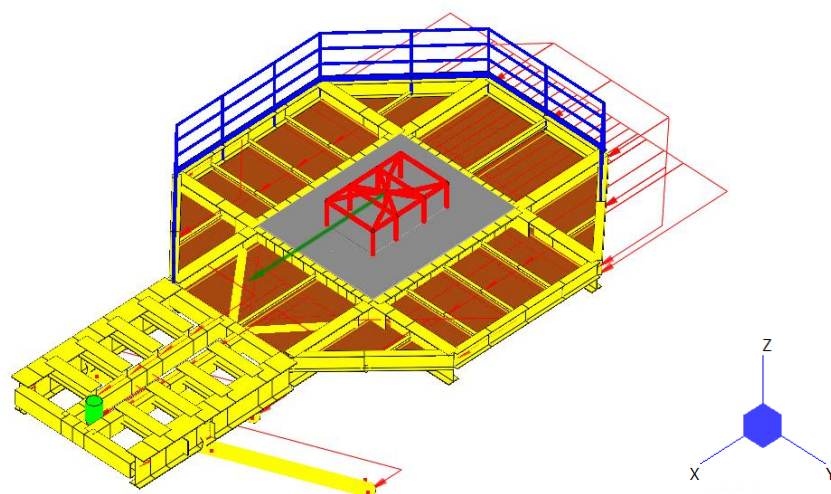


Abbildung 9-52: LC 8.2 – Windlasten in +X Richtung, MD1

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 71 von 158

Zusätzlich bei MD4 und MD6 sind die Windlasten auf die Container aufgebracht. Die Windlasten sind in +Y, -Y, +X und -X Richtung aufgebracht. Die Windlasten sind wie in Kapitel 6.3.8 mit Windhöhe von 14 m bestimmt. Daraus ergibt sich eine Flächenlast von  $p_{Wind} = 1,41 \text{ kN/m}^2$ .

In der folgenden Skizze werden die Reaktionslasten auf den Container Fundament auf MD4 aufgrund von Wind in +Y Richtung bestimmt.

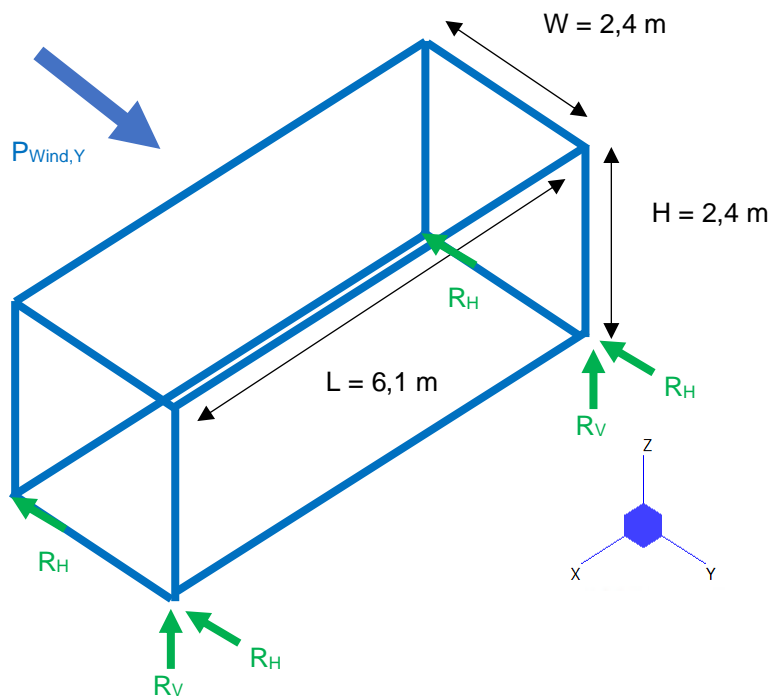


Abbildung 9-53: Berechnung der Reaktionslasten von den Windlasten auf Container in +Y Richtung, MD4

- Windflächenlast,  $P_{Wind,Y} = 1,41 \text{ kN/m}^2$
- Max. Windfläche,  $A_{Wind,Y} = L * H = 6,1 \text{ m} * 2,4 \text{ m} = 14,6 \text{ m}^2$
- Windlast,  $F_{Wind,Y} = P_{Wind,Y} * A_{Wind,Y} = 20,6 \text{ kN}$
- Horizontale Reaktionslasten,  $R_H = F_{Wind,Y} / 4 \text{ Fundament} = 5,2 \text{ kN} \quad (4 \text{ mal})$
- Vertikale Reaktionslasten,  $R_V = F_{Wind,Y} * (H/2) / W / 2 \text{ Fundament} = 5,2 \text{ kN} \quad (2 \text{ mal})$

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 72 von 158

In der folgenden Skizze werden die Reaktionslasten auf den Container Fundament auf MD4 aufgrund von Wind in +X Richtung bestimmt.

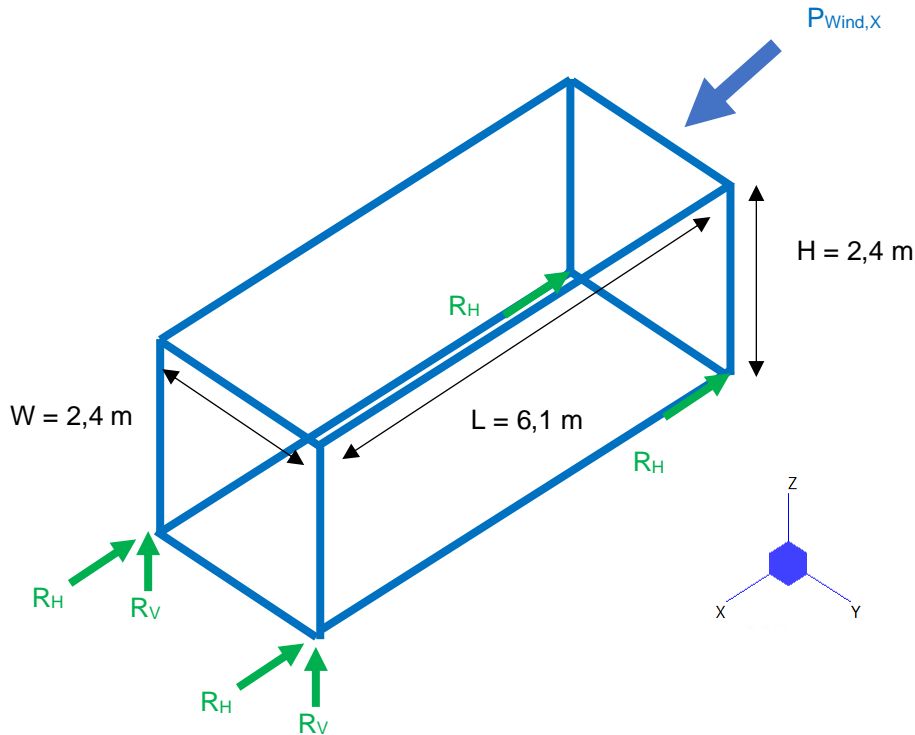


Abbildung 9-54: Berechnung der Reaktionslasten von den Windlasten auf Container in +Y Richtung, MD4

- Windflächenlast,  $P_{Wind,X} = 1,41 \text{ kN/m}^2$
- Max. Windfläche,  $A_{Wind,X} = W * H = 2,4 \text{ m} * 2,4 \text{ m} = 5,8 \text{ m}^2$
- Windlast,  $F_{Wind,X} = P_{Wind,X} * A_{Wind,X} = 8,1 \text{ kN}$
- Horizontale Reaktionslasten,  $R_H = F_{Wind,X} / 4 \text{ Fundament} = 2,0 \text{ kN} (4 \text{ mal})$
- Vertikale Reaktionslasten,  $R_V = F_{Wind,X} * (H/2) / L / 2 \text{ Fundament} = 0,8 \text{ kN} (2 \text{ mal})$



  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 73 von 158

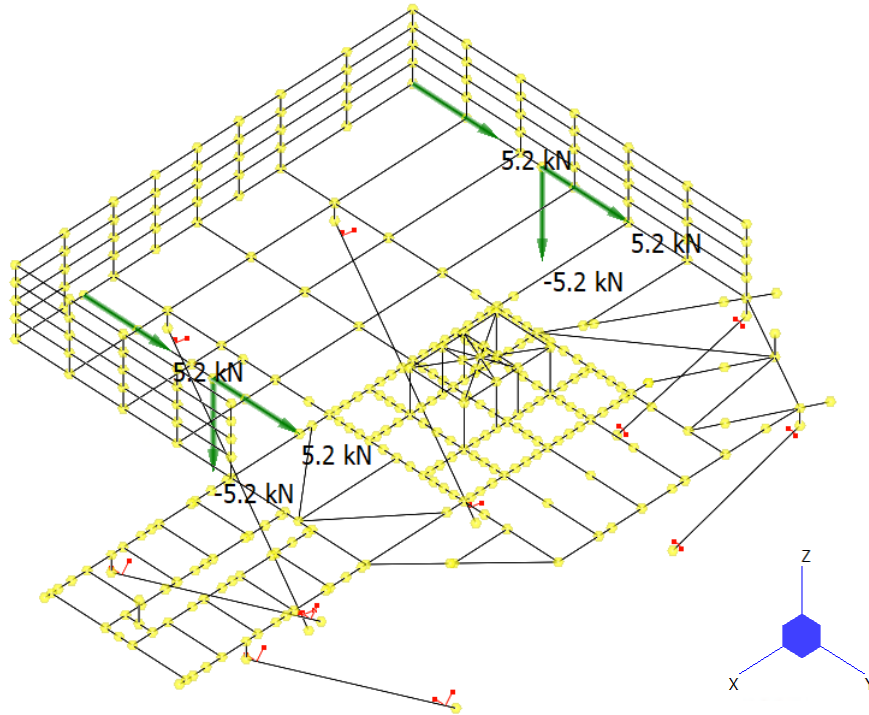


Abbildung 9-55: LC 8.3 – Windlasten auf Container in +Y Richtung, MD4

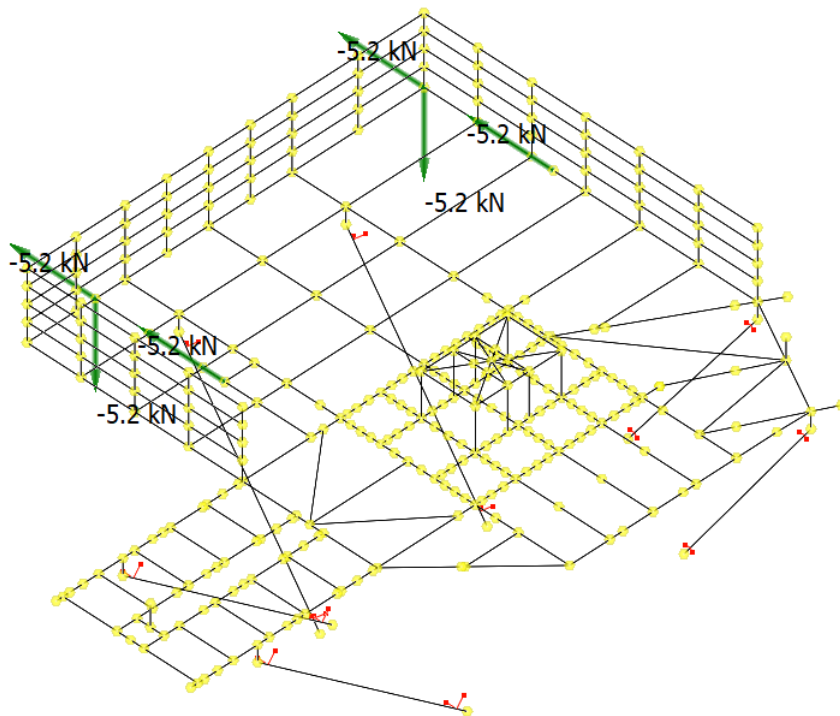
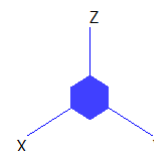


Abbildung 9-56: LC 8.4 – Windlasten auf Container in -Y Richtung, MD4



  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 74 von 158

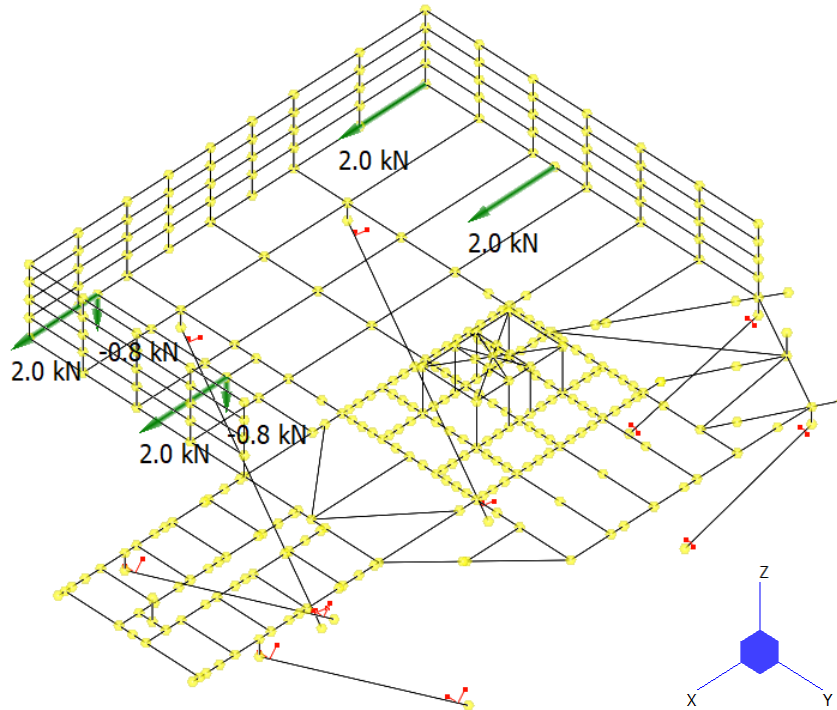


Abbildung 9-57: LC 8.5 – Windlasten auf Container in +X Richtung, MD4

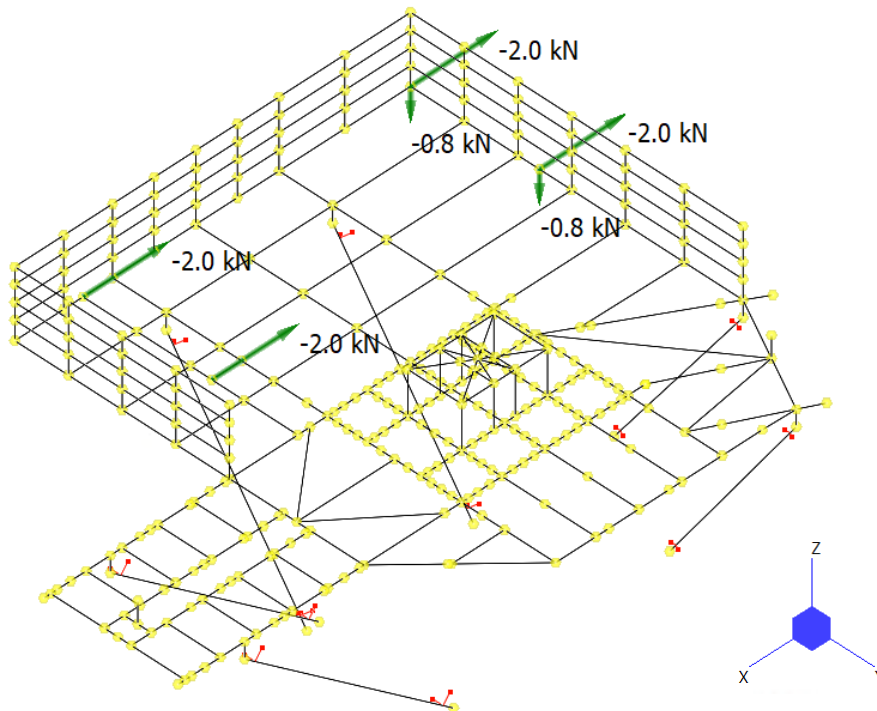



Abbildung 9-58: LC 8.6 – Windlasten auf Container in -X Richtung, MD4

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 75 von 158

In der folgenden Skizze werden die Reaktionslasten auf den Container Fundament auf MD6 aufgrund von Wind in +Y Richtung bestimmt.

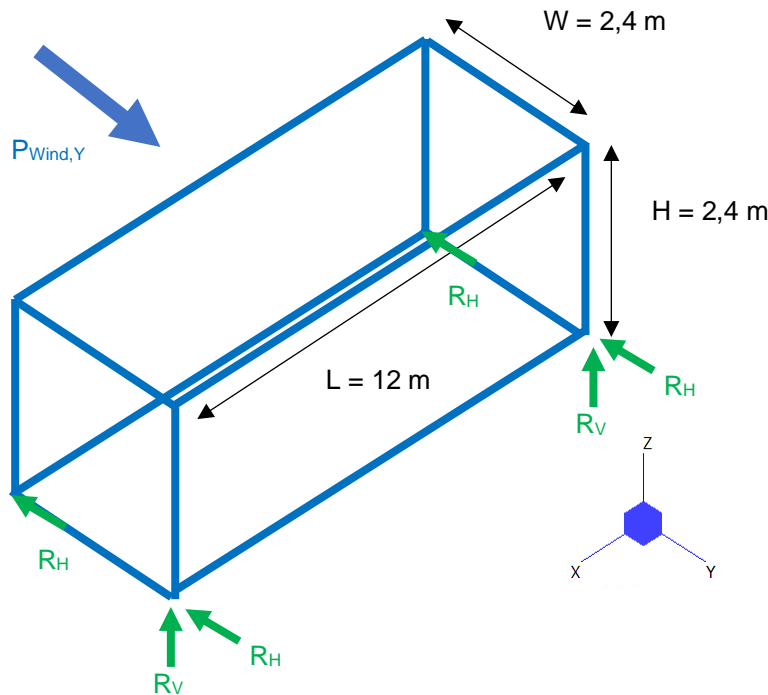


Abbildung 9-59: Berechnung der Reaktionslasten von den Windlasten auf Container in +Y Richtung, MD6

- Windflächenlast,  $P_{Wind,Y} = 1,41 \text{ kN/m}^2$
- Max. Windfläche,  $A_{Wind,Y} = L * H = 12 \text{ m} * 2,4 \text{ m} = 28,8 \text{ m}^2$
- Windlast,  $F_{Wind,Y} = P_{Wind,Y} * A_{Wind,Y} = 40,6 \text{ kN}$
- Horizontale Reaktionslasten,  $R_H = F_{Wind,Y} / 4 \text{ Fundament} = 10,2 \text{ kN} (4 \text{ mal})$
- Vertikale Reaktionslasten,  $R_V = F_{Wind,Y} * (H/2) / W / 2 \text{ Fundament} = 10,2 \text{ kN} (2 \text{ mal})$
-

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 76 von 158

In der folgenden Skizze werden die Reaktionslasten auf den Container Fundament auf MD6 aufgrund von Wind in +X Richtung bestimmt.

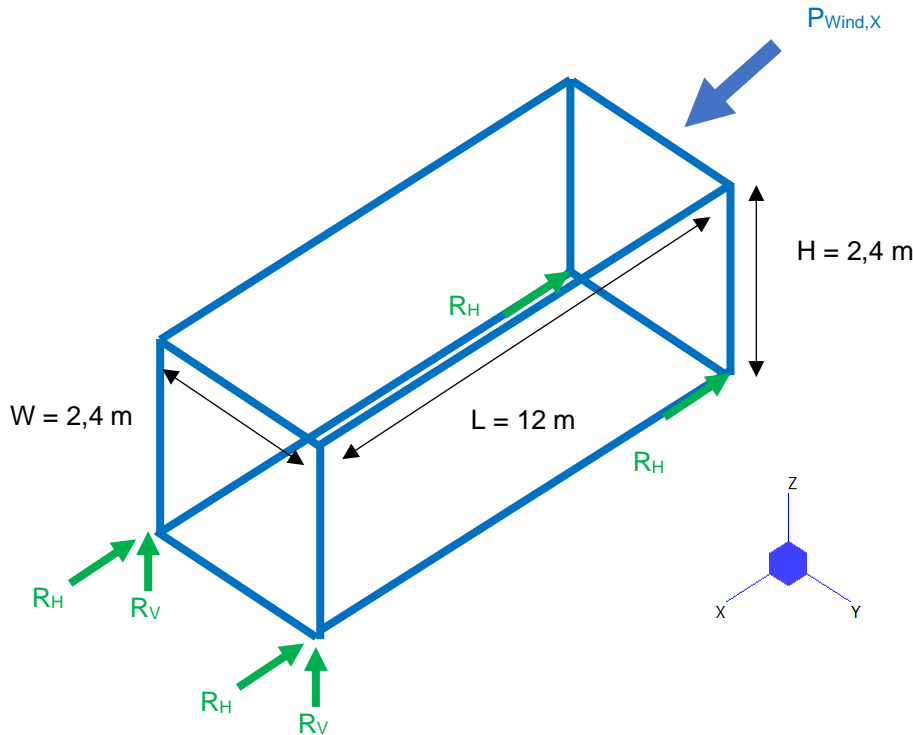


Abbildung 9-60: Berechnung der Reaktionslasten von den Windlasten auf Container in +Y Richtung, MD6

- Windflächenlast,  $P_{Wind,X}$  = 1,41 kN/m<sup>2</sup>
- Max. Windfläche,  $A_{Wind,X}$  =  $W * H = 2,4 \text{ m} * 2,4 \text{ m} = 5,8 \text{ m}^2$
- Windlast,  $F_{Wind,X}$  =  $P_{Wind,X} * A_{Wind,X} = 8,1 \text{ kN}$
- Horizontale Reaktionslasten,  $R_H$  =  $F_{Wind,X} / 4 \text{ Fundament} = 2,0 \text{ kN} (4 \text{ mal})$
- Vertikale Reaktionslasten,  $R_V$  =  $F_{Wind,X} * (H/2) / L / 2 \text{ Fundament} = 0,4 \text{ kN} (2 \text{ mal})$

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 77 von 158

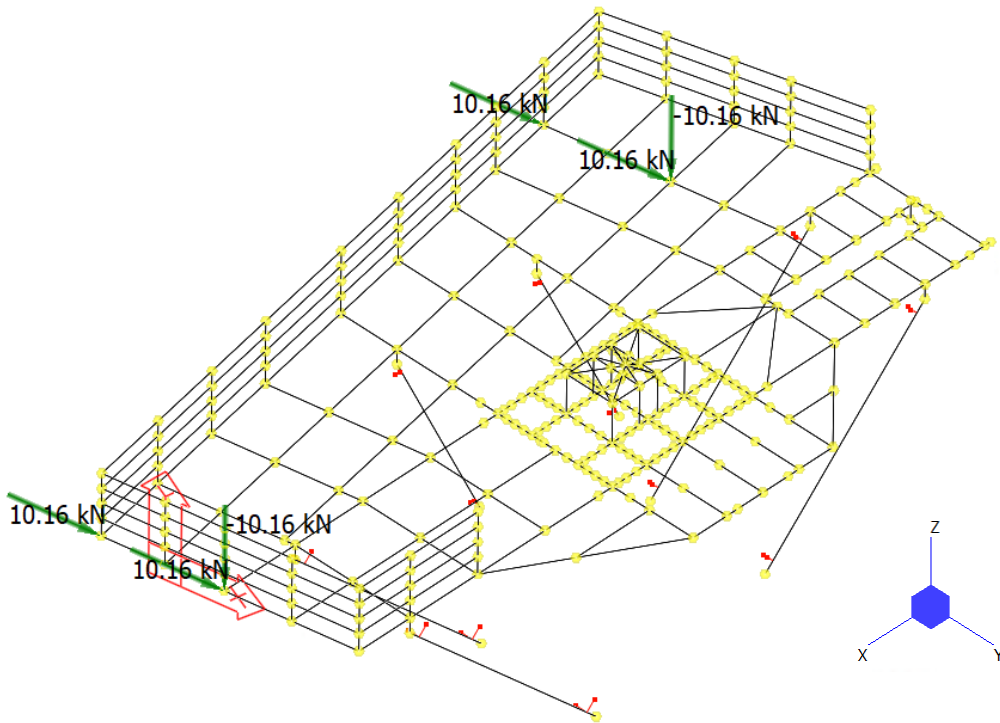


Abbildung 9-61: LC 8.3 – Windlasten auf Container in +Y Richtung, MD6

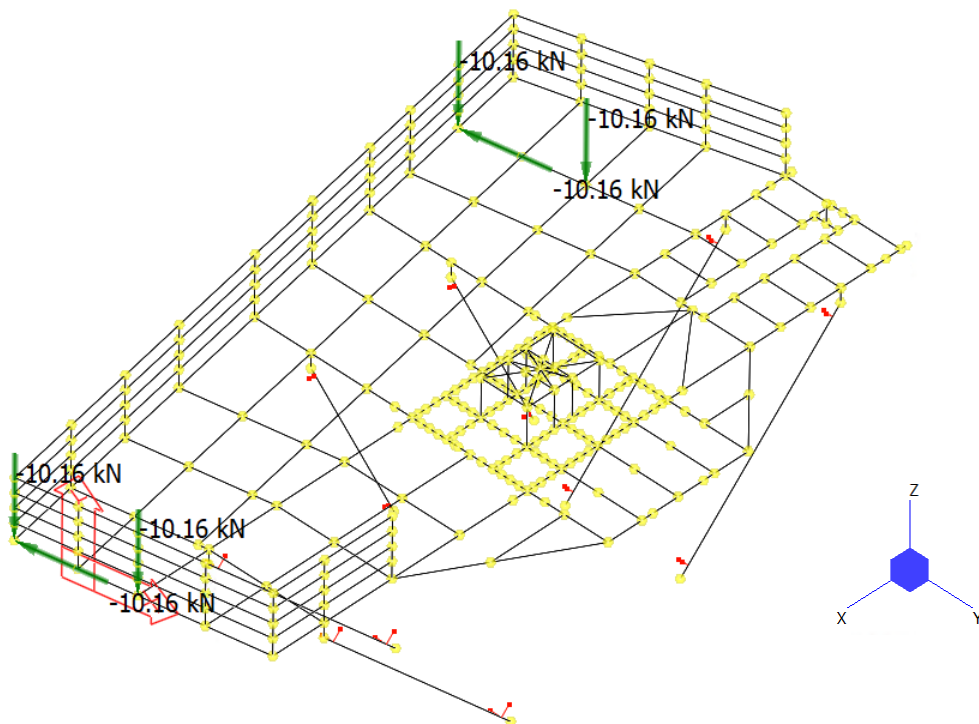


Abbildung 9-62: LC 8.4 – Windlasten auf Container in -Y Richtung, MD6

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 78 von 158

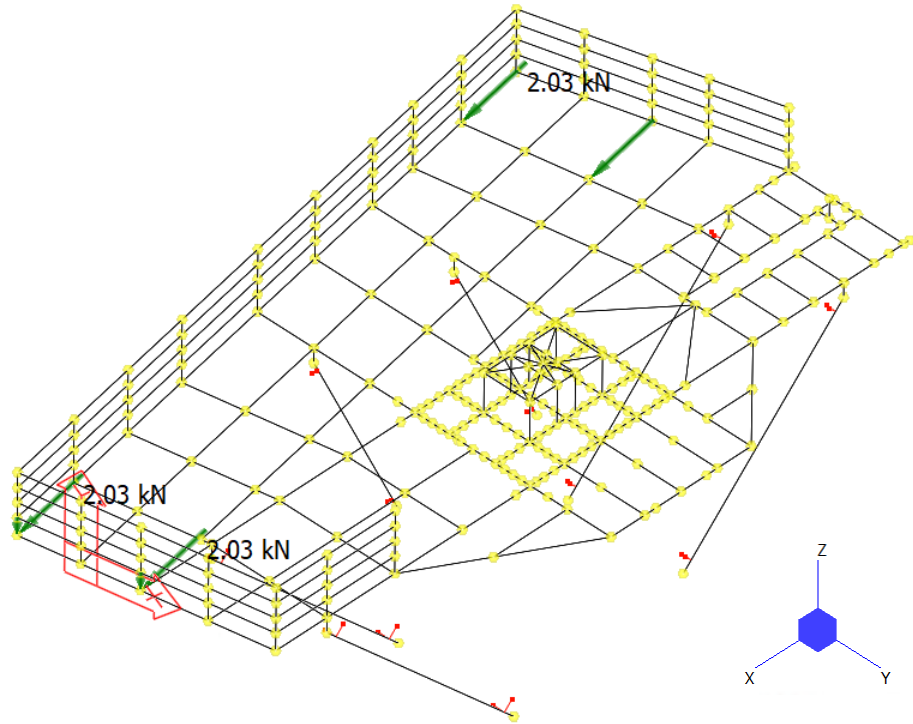


Abbildung 9-63: LC 8.5 – Windlasten auf Container in +X Richtung, MD6

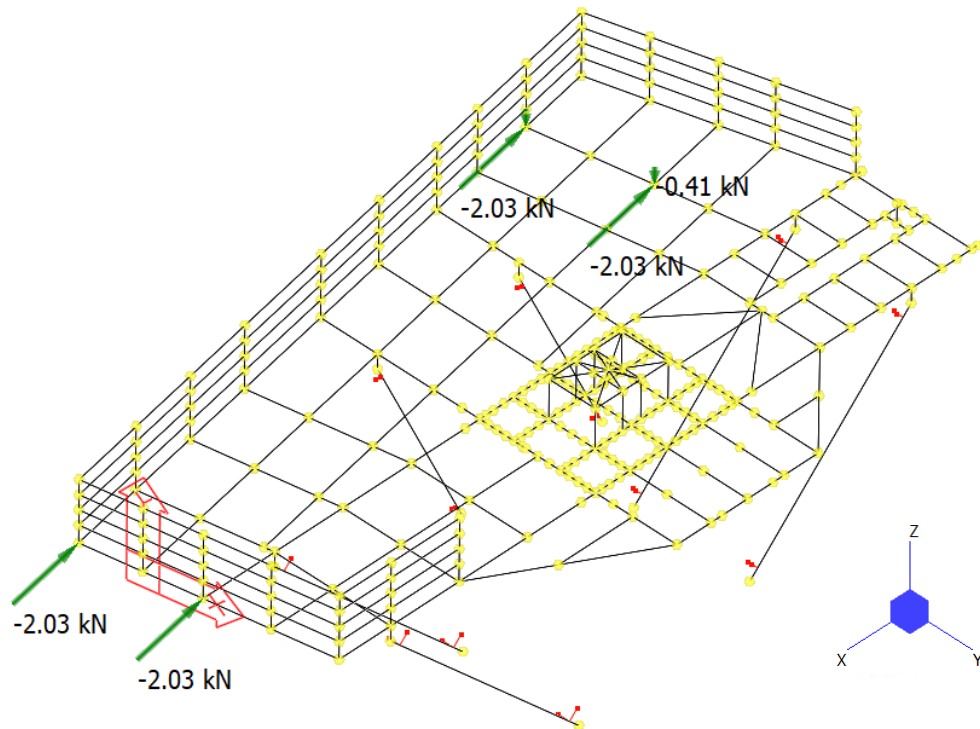


Abbildung 9-64: LC 8.6 – Windlasten auf Container in -X Richtung, MD6

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 79 von 158

#### 9.4.10 LC 9 – Schneelasten (E)

Die Schneelasten wie in Kapitel 6.3.9 sind in LC 9 berücksichtigt. Eine Flächenlast von  $p_{\text{Schnee}} = 0,52 \text{ kN/m}^2$  ist als Druck auf die „Load Patch“ Elemente aufgebracht. Die aufgebrachte Schneelasten sind exemplarisch bei MD1 in der Abbildung unten dargestellt.

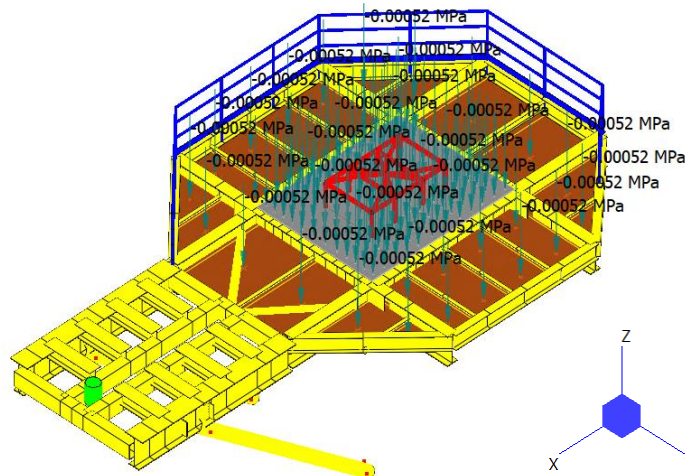


Abbildung 9-65: LC 9 – Schneelasten, MD1

#### 9.4.11 LC 10 – Eislasten (E)

Die Eislasten wie in Kapitel 6.3.10 sind in LC 10 berücksichtigt. Eine Streckenlast von  $p_{\text{Eis}} = 0,01 \text{ kN/m}$  ist als gleichmäßiger Druck auf die Balkenelemente aufgebracht. Die aufgebrachte Eislasten sind exemplarisch bei MD1 in der Abbildung unten dargestellt.

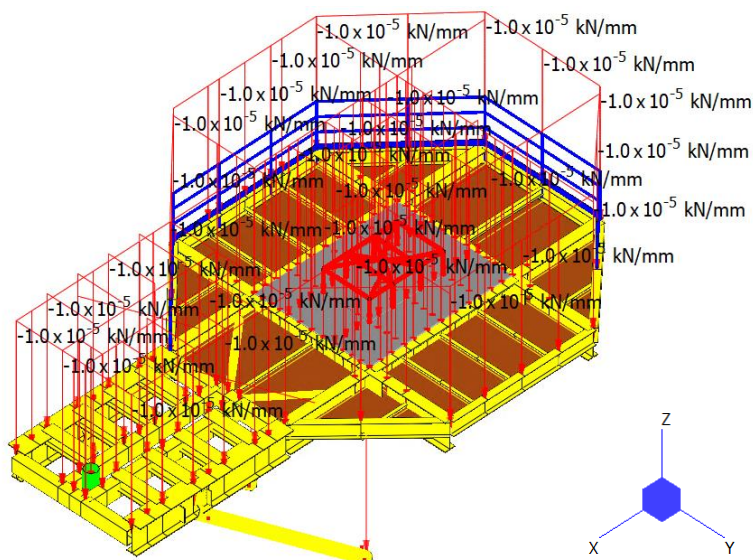


Abbildung 9-66: LC 10 – Eislasten, MD1

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 80 von 158

#### 9.4.12 LC 11 – Holmlasten auf Geländer (Q)

Wie in Kapitel 6.3.1 beschrieben wirkt auf die Geländer jeweils eine Streckenlast von 0.525 kN/m horizontal. Diese Streckenlast sind auf den obersten Rohren aufgebracht. Die aufgebrachte Holmlasten sind exemplarisch bei MD1 in der Abbildung unten dargestellt.

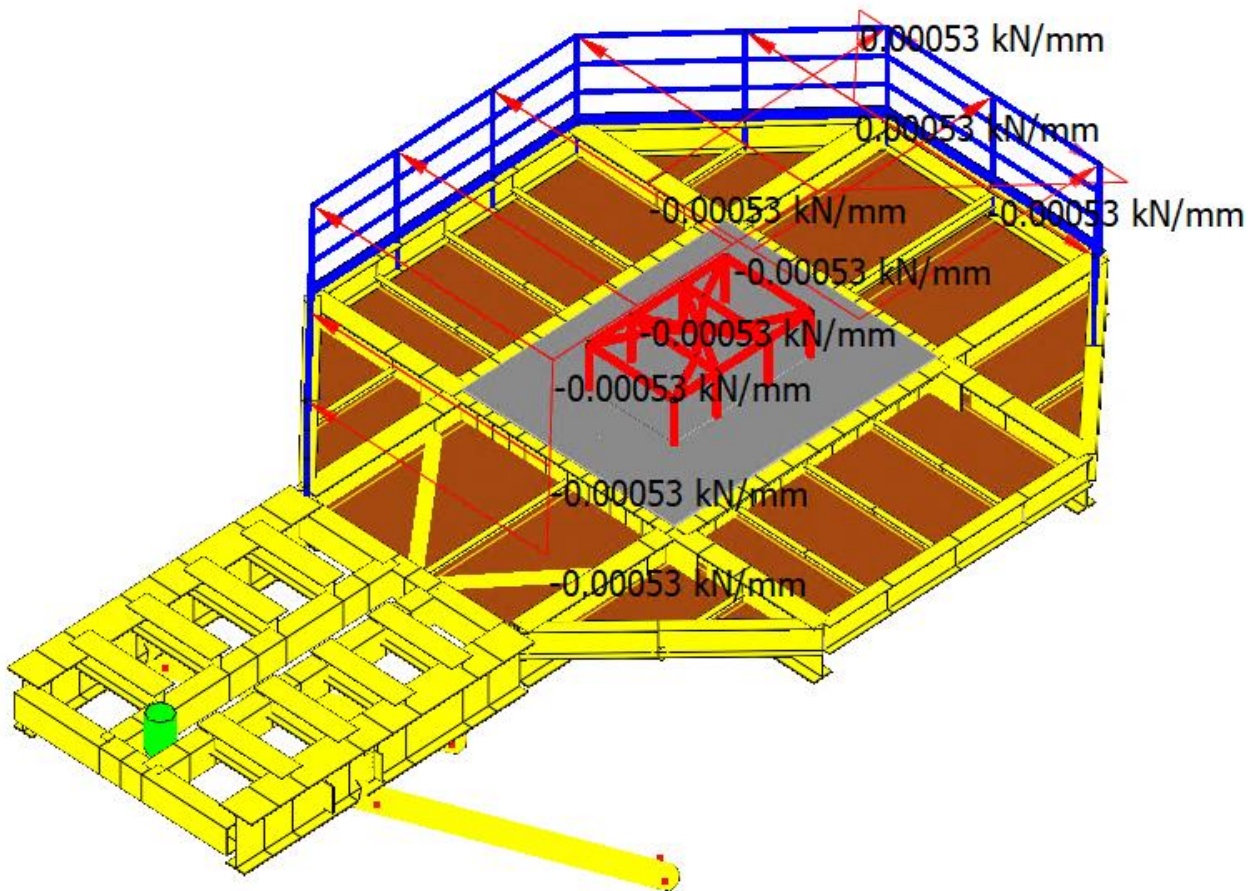







Abbildung 9-67: LC 11 – Holmlasten, MD1



  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 81 von 158

### 9.5 Lastfallkombinationen für Betriebszustand

Für den Festigkeitsnachweis nach dem Eurocode werden folgende ULS Lastfallkombinationen (LCOM) gebildet. Lastfälle 1, 2 und 3 sind mit dem Faktor 1,10 erhöht um 10% Gewichtszuschlag zu berücksichtigen.

Konservativ sind die Teilsicherheitsbeiwerte  $\psi_{0,i}$  für Schnee, Eis, Wind und Verkehrslast als 1,0 genommen.

Des Weiteren ist laut TRAS (Ref. [XIX.]) für die Umweltlasten (Wind, Schnee und Eis) ein Faktor von 1,1 zu berücksichtigen. Dies soll als zusätzliche Sicherheit gegenüber Umweltbelastungen dienen.

Tabelle 9-5: ULS Lastfallkombinationen (LCOM) Betriebszustand (außer MD4 und MD6)

Lastfall (LC)	LCOM 1	LCOM 2	LCOM 3	LCOM 4	LCOM 5	LCOM 6
LC 1 - Struktur-Eigengewicht	1,485	1,485	1,485	1,485	1,485	1,485
LC 2 - Gitterroste	1,485	1,485	1,485	1,485	1,485	1,485
LC 3 - Hakengewicht	1,485	1,485	1,485	1,485	1,485	1,485
LC 5.1 – Mooring in +Y Richtung	1,5			1,5		
LC 5.2 – Mooring in +X+Y Richtung		1,5			1,5	
LC 5.3 – Mooring in -X+Y Richtung			1,5			1,5
LC 6.1 – Vertikale Brückenlasten	1,0	1,0	1,0			
LC 6.2 – Vertikale Brückenlasten (nur auf ein Support)				1,0	1,0	1,0
LC 6.3 – Horizontale Brückenlasten	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
LC 6.4 – Reibkräfte aus Brücke		1,0	-1,0		1,0	-1,0
LC 7 - Verkehrslasten	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
LC 8.1 – Windlasten in +Y Richtung	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
LC 8.2 – Windlasten in +X Richtung		1,65	-1,65		1,65	-1,65
LC 9 - Schneelasten	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
LC 10 - Eislasten	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
LC 11 - Holmlasten	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0




		Struktur		
				
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN		Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02	
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU			Seite 82 von 158	

Tabelle 9-6: ULS Lastfallkombinationen (LCOM) Betriebszustand für MD4 und MD6

Lastfall (LC)	LCOM 1	LCOM 2	LCOM 3	LCOM 4	LCOM 5	LCOM 6	LCOM 7	LCOM 8
LC 1 - Struktur-Eigengewicht	1,485	1,485	1,485	1,485	1,485	1,485	1,485	1,485
LC 2 - Gitterroste	1,485	1,485	1,485	1,485	1,485	1,485	1,485	1,485
LC 3 - Hakengewicht	1,485	1,485	1,485	1,485	1,485	1,485	1,485	1,485
LC 4 – Equipment	1,485	1,485	1,485	1,485	1,485	1,485	1,485	1,485
LC 5.1 – Mooring in +Y Richtung	1,5							
LC 5.2 – Mooring in +X+Y Richtung		1,5					1,5	
LC 5.3 – Mooring in -X+Y Richtung			1,5					1,5
LC 6.1 – Vertikale Brückenlasten	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
LC 6.3 – Horizontale Brückenlasten		1,0	1,0	1,0		-1,0	-1,0	-1,0
LC 6.4 – Reibkräfte aus Brücke	1,0	1,0		-1,0	-1,0	-1,0		1,0
LC 7 - Verkehrslasten	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
LC 8.1 – Windlasten in +Y Richtung		1,65	1,65	1,65		-1,65	-1,65	-1,65
LC 8.2 – Windlasten in +X Richtung	1,65	1,65		-1,65	-1,65	-1,65		1,65
LC 8.3 – Windlasten auf Container in +Y Richtung		1,65	1,65	1,65				
LC 8.4 – Windlasten auf Container in -Y Richtung						1,65	1,65	1,65
LC 8.5 – Windlasten auf Container in +X Richtung	1,65	1,65						1,65

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 83 von 158

Lastfall (LC)	LCOM 1	LCOM 2	LCOM 3	LCOM 4	LCOM 5	LCOM 6	LCOM 7	LCOM 8
LC 8.6 – Windlasten auf Container in -X Richtung				1,65	1,65	1,65		
LC 9 - Schneelasten	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
LC 10 - Eislasten	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
LC 11 - Holmlasten	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

## 9.6 Ergebnisse für Betriebszustand

### 9.6.1 Spannungsergebnisse – Betrieb

Die Spannungsergebnisse werden als „Envelope“ dargestellt, bei dem die maximale Spannung über alle Lastfallkombinationen pro Element ausgegeben werden.

Die maximale von Mises Spannung für die Balkenelemente der MD1 Plattform beträgt 297.7 MPa und ist in der Abbildung unten dargestellt. Diese Spannung ist kleiner als die erlaubte Spannung von 345.0 MPa. Die maximale Auslastung beträgt somit 86%.

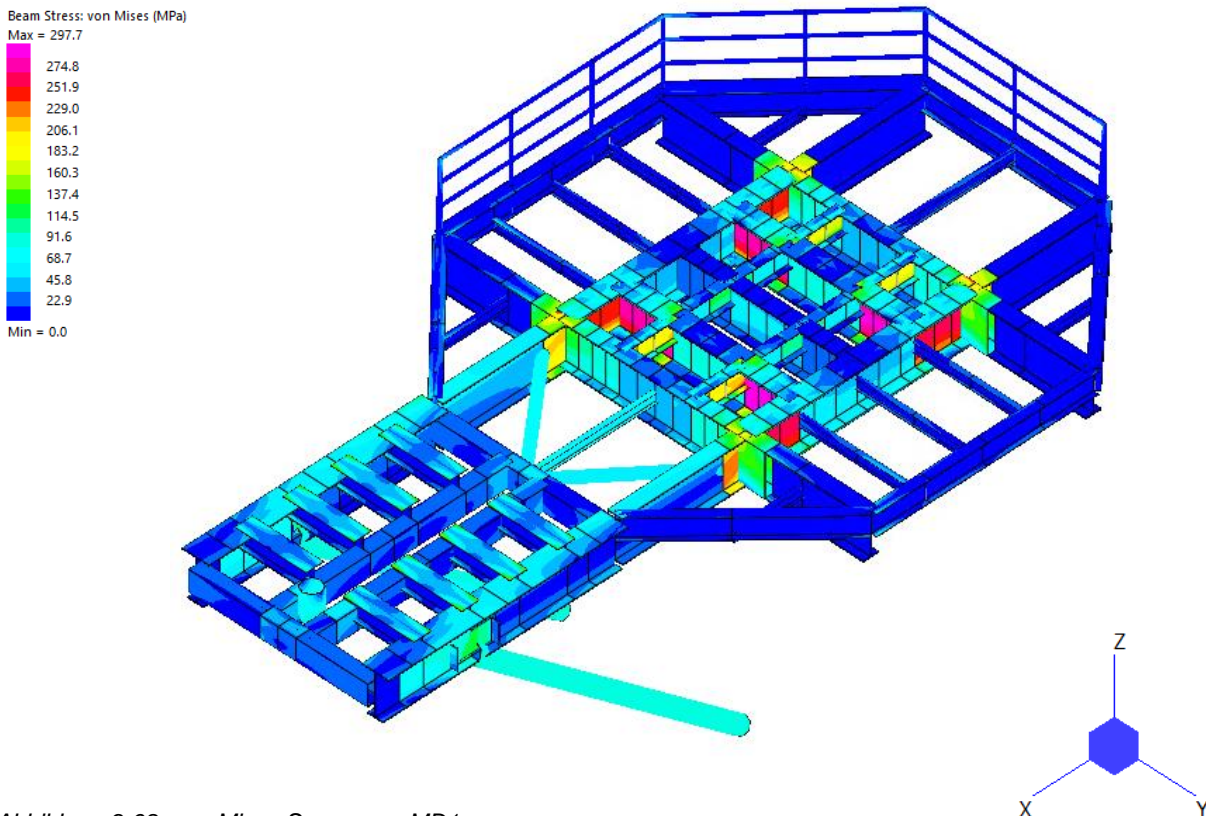


Abbildung 9-68: von Mises Spannung, MD1

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 84 von 158

Die maximale von Mises Spannung für die Balkenelemente der MD2 Plattform beträgt 293.3 MPa und ist in der Abbildung unten dargestellt. Diese Spannung ist kleiner als die erlaubte Spannung von 345.0 MPa. Die maximale Auslastung beträgt somit 85%.

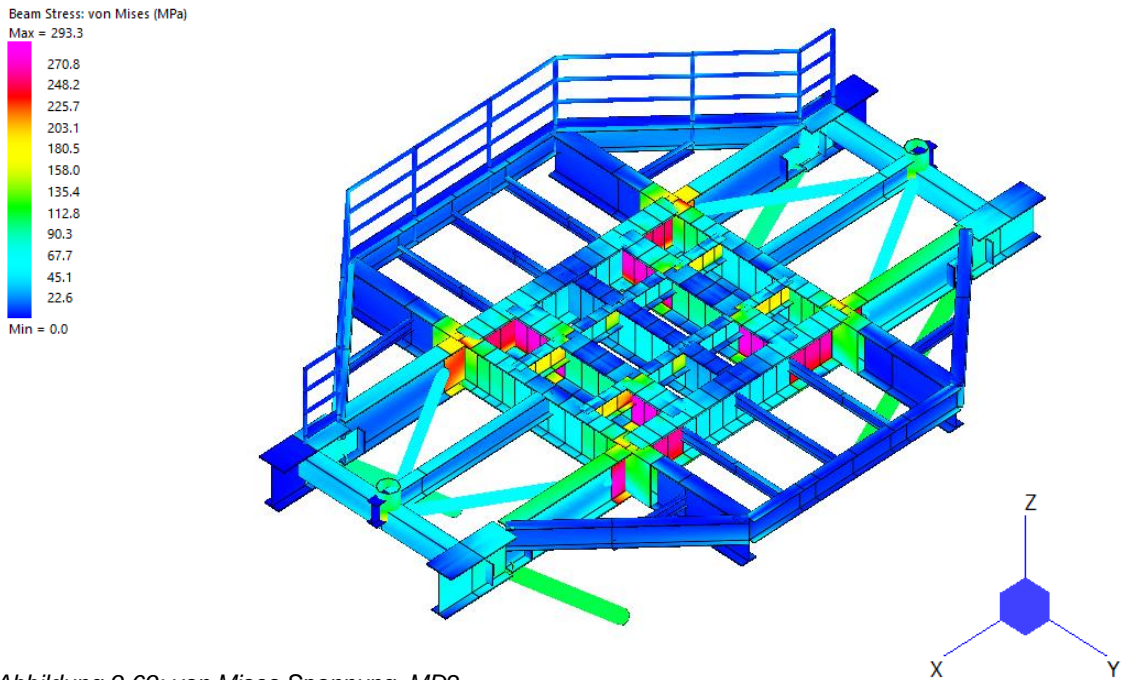


Abbildung 9-69: von Mises Spannung, MD2

In der folgenden Abbildung ist das Spannungsplot von MD3 Plattform bis die erlaubte Spannung von 345.0 MPa skaliert. Die Überspannungen sind in der nächsten Abbildung gezeigt.

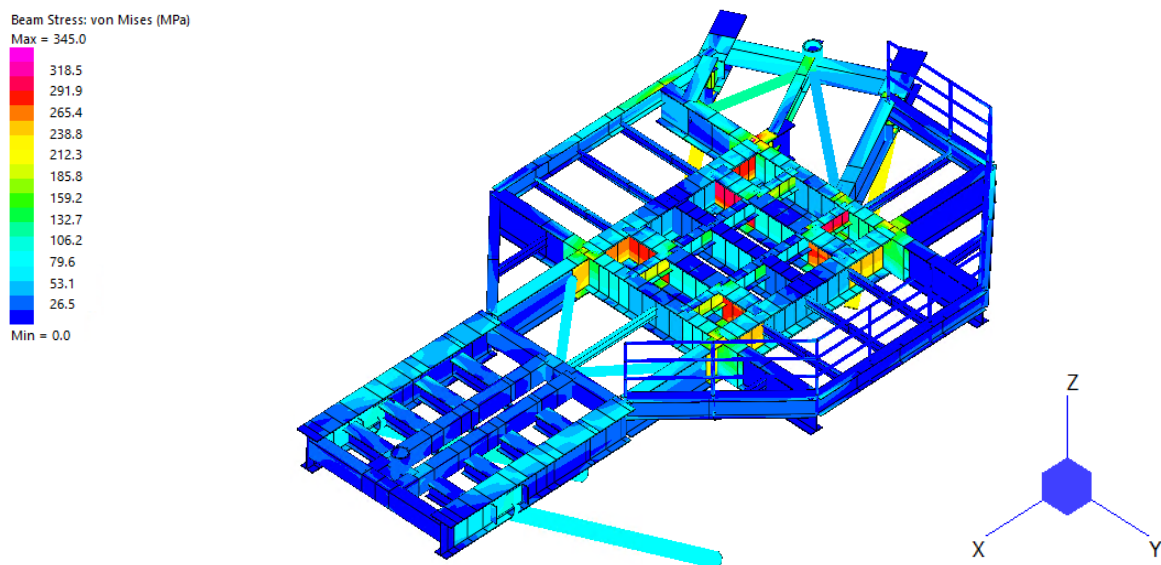


Abbildung 9-70: von Mises Spannung, MD3

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 85 von 158

Die leicht überspannte Bereiche sind sehr klein. Aufgrund der konservativen Annahmen in der Analyse ist es akzeptabel.

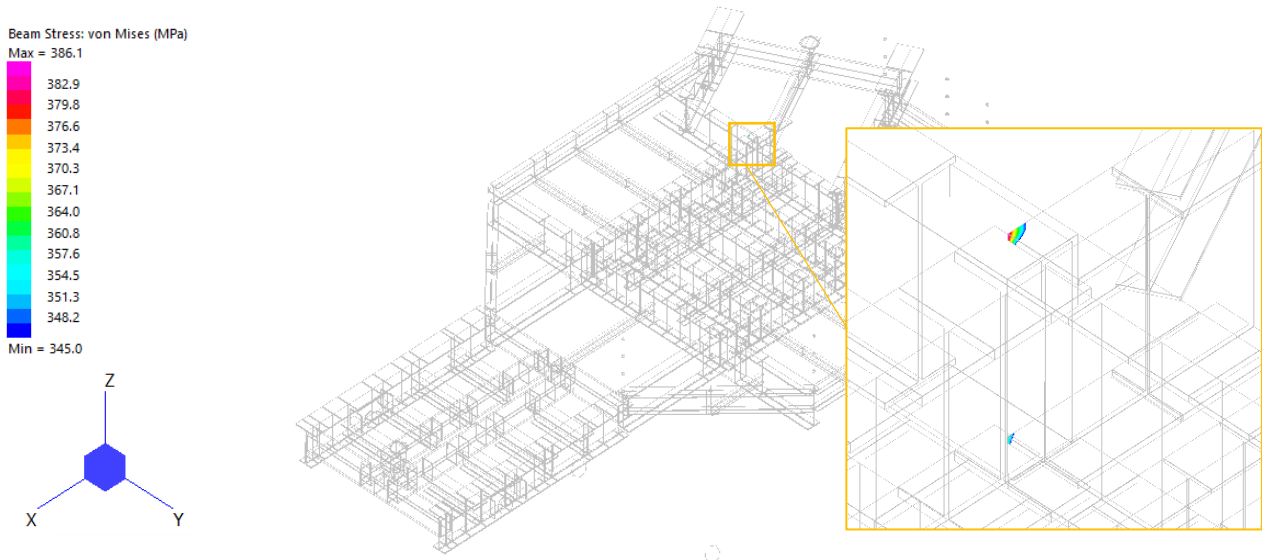


Abbildung 9-71: Überspannungen, MD3

Die maximale von Mises Spannung für die Balkenelemente der MD4 Plattform beträgt 341.5 MPa und ist in der Abbildung unten dargestellt. Diese Spannung ist kleiner als die erlaubte Spannung von 345.0 MPa. Die maximale Auslastung beträgt somit 99%.

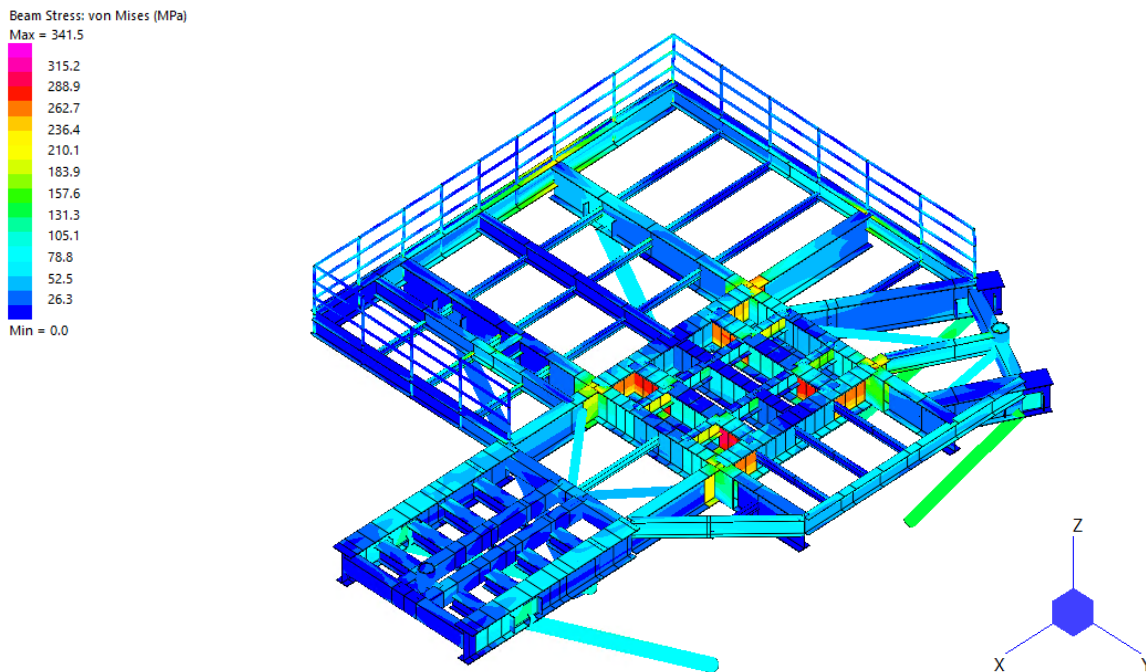



Abbildung 9-72: von Mises Spannung, MD4

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 86 von 158

In der folgenden Abbildung ist das Spannungsplot von MD6 Plattform bis die erlaubte Spannung von 345.0 MPa skaliert. Die Überspannungen sind in der nächsten Abbildung gezeigt.

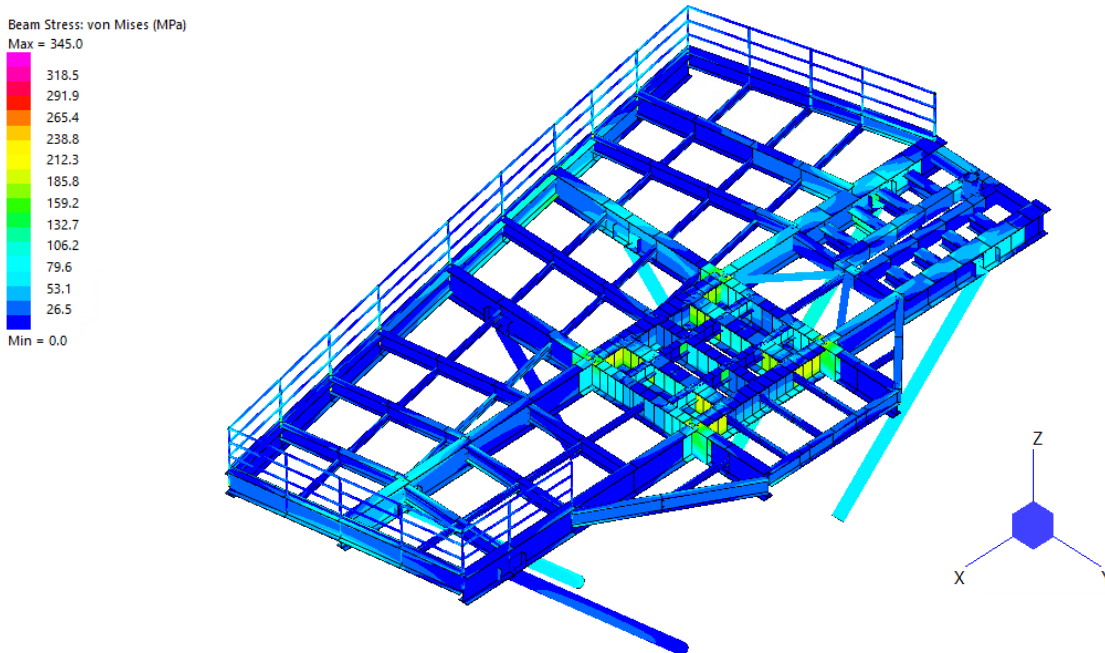


Abbildung 9-73: von Mises Spannung, MD6

Die überspannte Bereiche sind sehr klein. Aufgrund der konservativen Annahmen in der Analyse ist es akzeptabel.

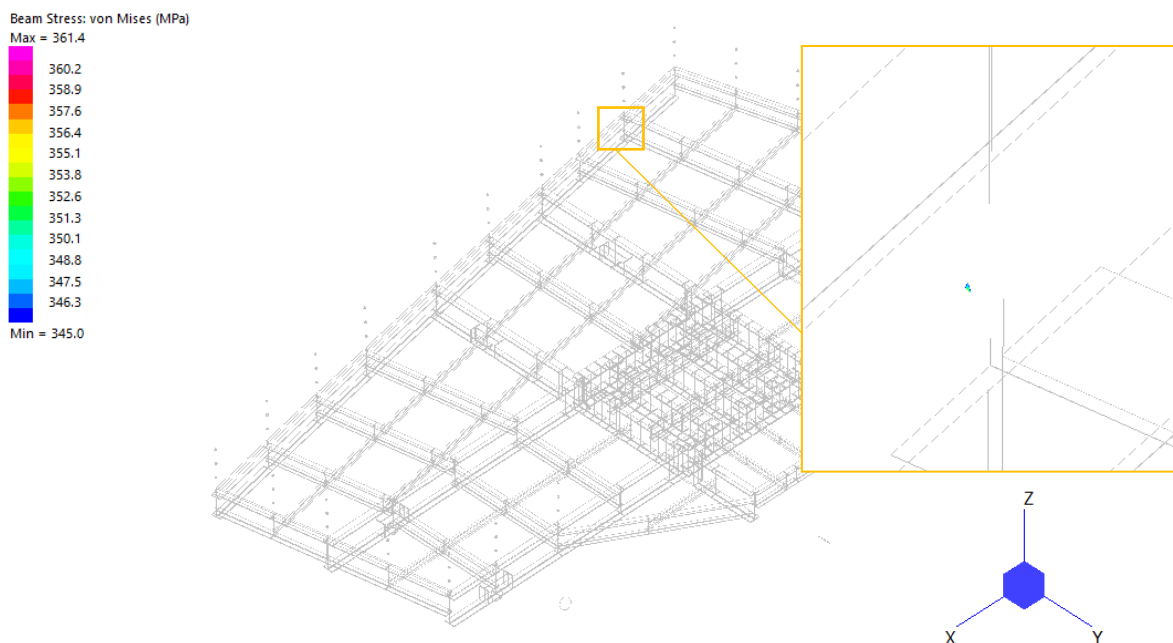


Abbildung 9-74: Überspannungen, MD6

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 87 von 158

In der folgenden Abbildung ist das Spannungsplot von BD1 Plattform bis die erlaubte Spannung von 345.0 MPa skaliert. Die Überspannungen sind in der nächsten Abbildung gezeigt.

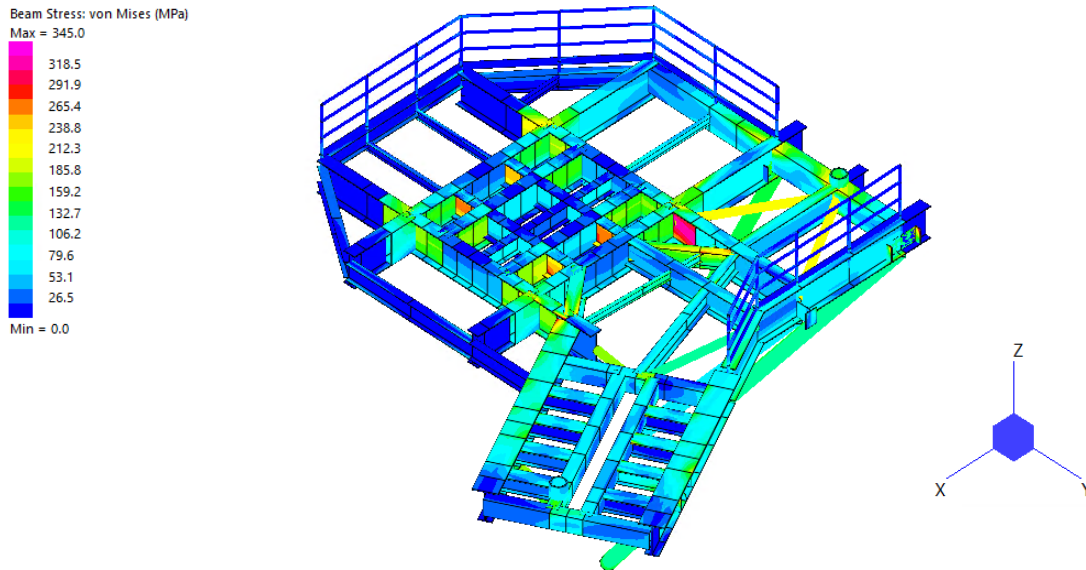


Abbildung 9-75: von Mises Spannung, BD1

Die leicht überspannte Bereiche sind sehr klein. Aufgrund der konservativen Annahmen in der Analyse ist es akzeptabel.

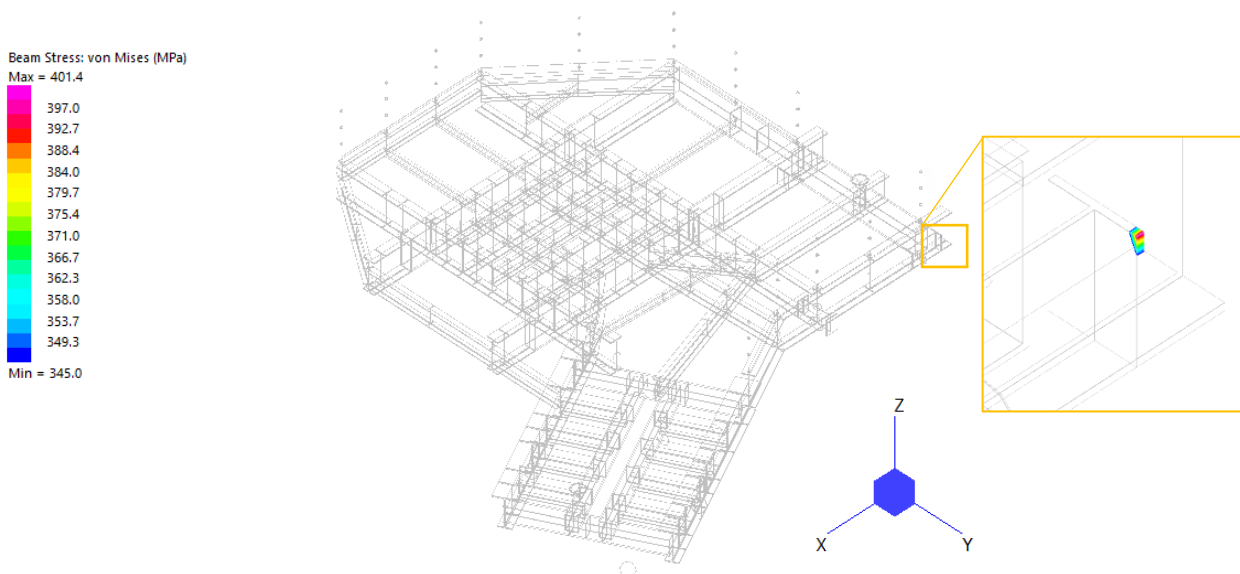


Abbildung 9-76: Überspannungen, BD1

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 88 von 158

Die maximale von Mises Spannung für die Balkenelemente der BD4 Plattform beträgt 311.2 MPa und ist in der Abbildung unten dargestellt. Diese Spannung ist kleiner als die erlaubte Spannung von 345.0 MPa. Die maximale Auslastung beträgt somit 90%.

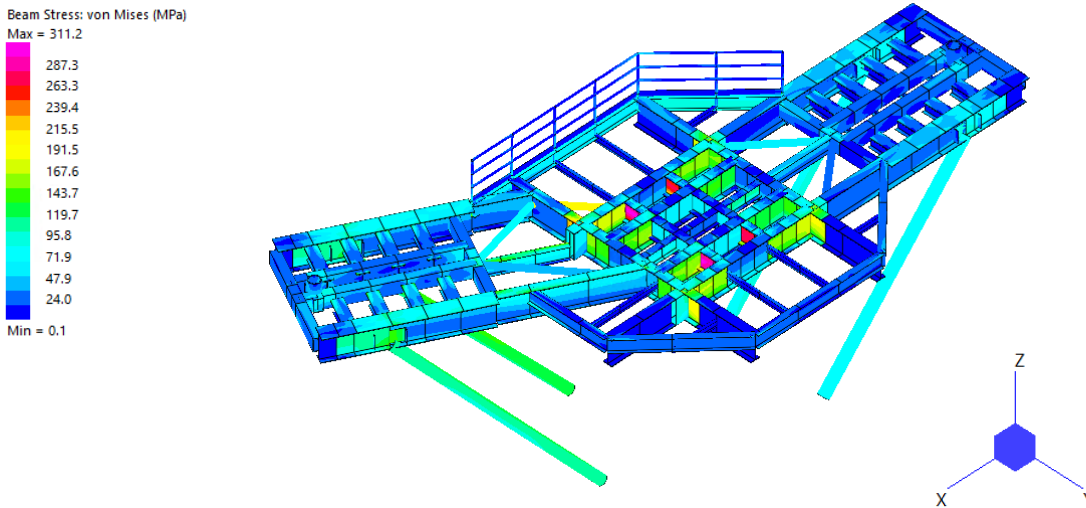


Abbildung 9-77: von Mises Spannung, BD4



  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 89 von 158

### 9.6.2 Verformungsergebnisse – Betrieb

Das Durchbiegungsscheck wird konservativ anhand der ULS Lastfallkombinationen durchgeführt. Wie in Kapitel 7.5.2 beschrieben sind die erlaubte maximale vertikale Gesamtverformung wie unten zu berücksichtigen:

- für Einfeldträger  $\delta < L / 200$ ,
- für Kragarm  $\delta < L / 100$ .

Die maximale Durchbiegung der Stahlträger der MD1 beträgt 5,7 mm and taucht bei Kragarm auf. Die Verformung ist in der Abbildung unten dargestellt. Diese maximale Durchbiegung ist weniger als  $L / 100 = 51,6$  mm.

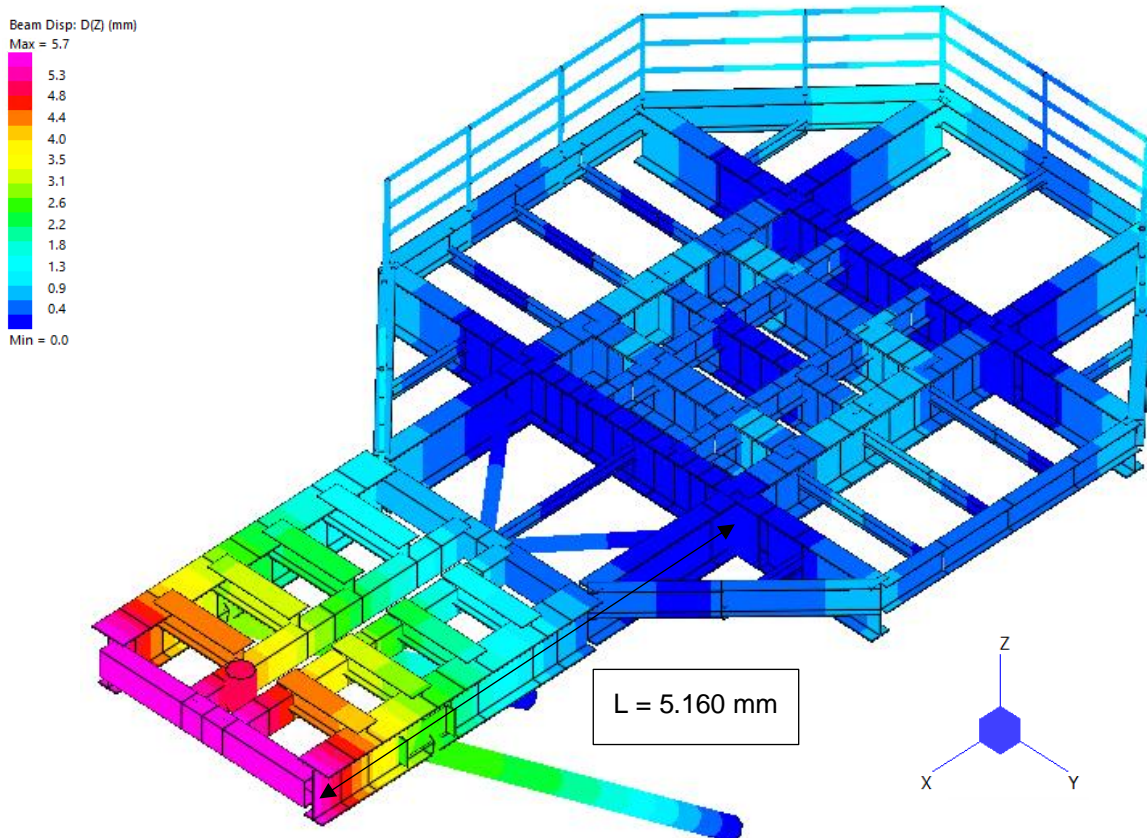


Abbildung 9-78: Verformung, MD1

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 90 von 158

Die maximale Durchbiegung der Stahlträger der MD2 beträgt 3,5 mm and taucht bei Kragarm auf. Die Verformung ist in der Abbildung unten dargestellt. Diese maximale Durchbiegung ist weniger als  $L / 100 = 29,0$  mm.

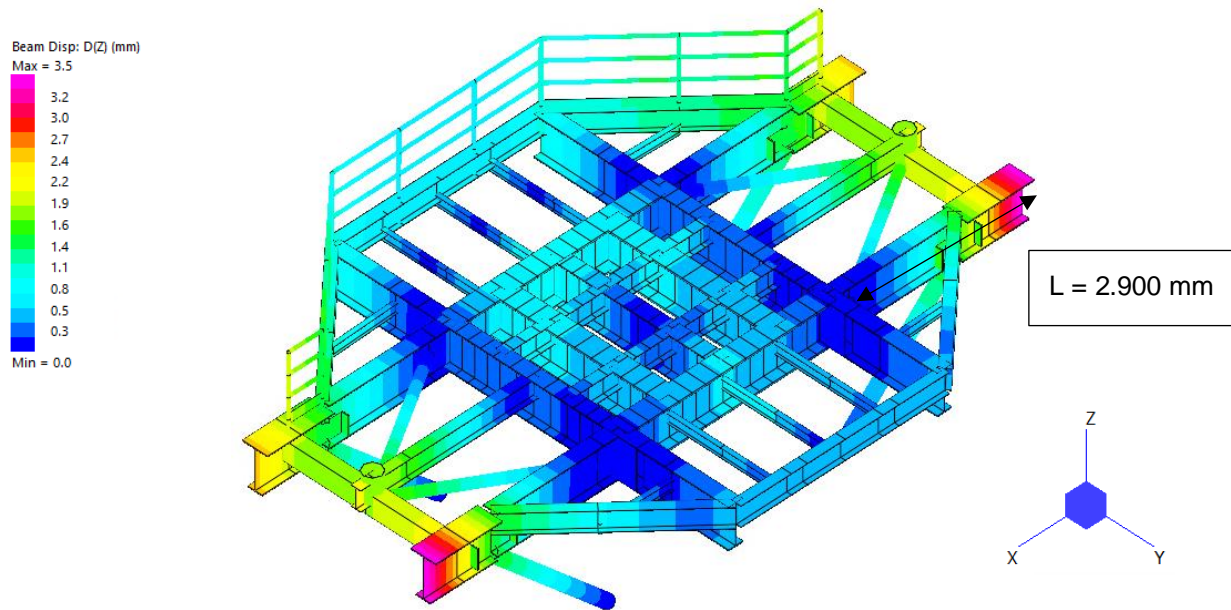


Abbildung 9-79: Verformung, MD2

Die maximale Durchbiegung der Stahlträger der MD3 beträgt 8,8 mm and taucht bei Kragarm auf. Die Verformung ist in der Abbildung unten dargestellt. Diese maximale Durchbiegung ist weniger als  $L / 100 = 19,6$  mm.

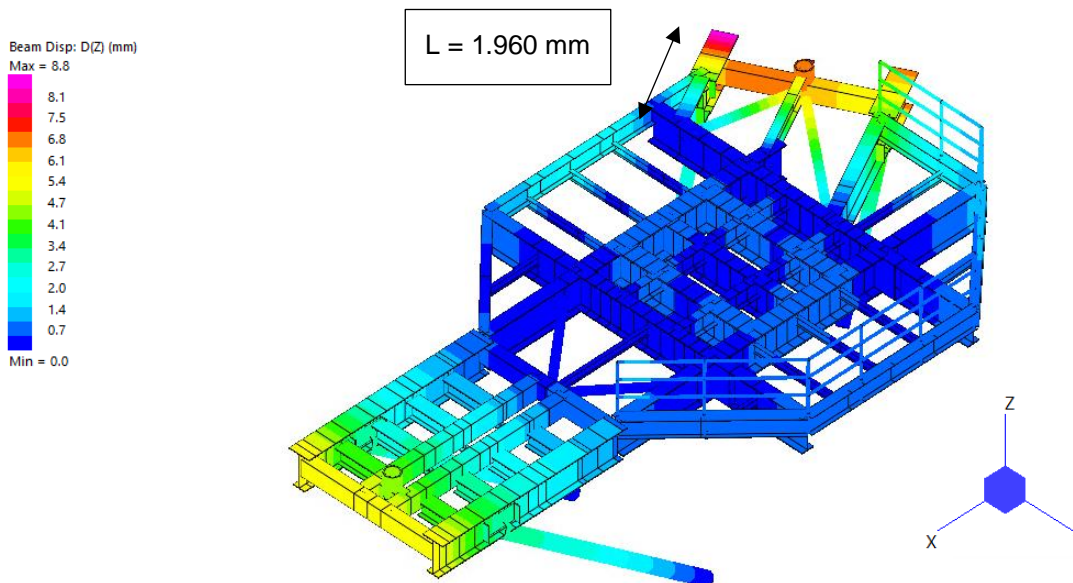


Abbildung 9-80: Verformung, MD3

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 91 von 158

Die maximale Durchbiegung der Stahlträger der MD4 beträgt 23,7 mm and taucht bei Kragarm auf. Die Verformung ist in der Abbildung unten dargestellt. Diese maximale Durchbiegung ist weniger als  $L / 100 = 46,8$  mm.

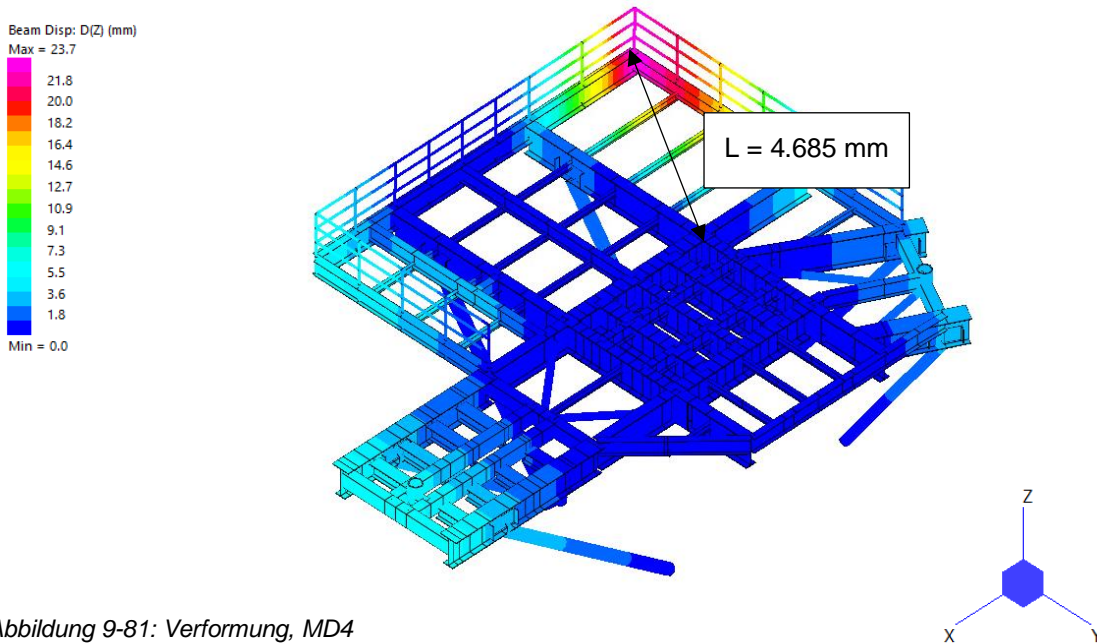


Abbildung 9-81: Verformung, MD4

Die maximale Durchbiegung der Stahlträger der MD6 beträgt 34,6 mm and taucht bei Kragarm auf. Die Verformung ist in der Abbildung unten dargestellt. Diese maximale Durchbiegung ist weniger als  $L / 100 = 60,4$  mm.

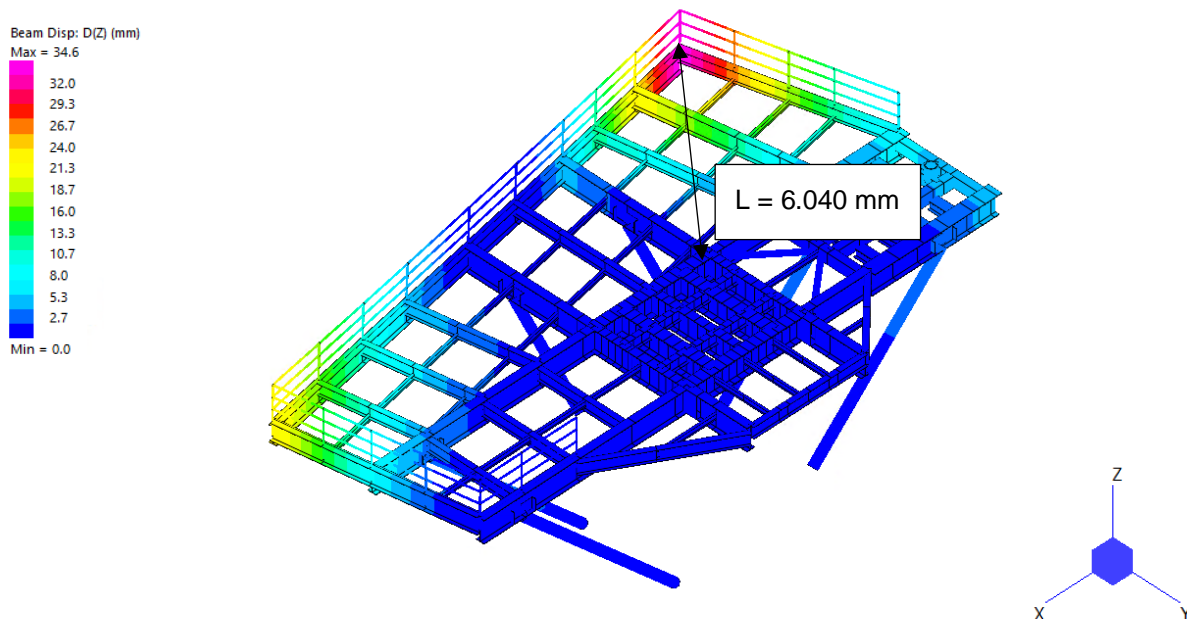


Abbildung 9-82: Verformung, MD6

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 92 von 158

Die maximale Durchbiegung der Stahlträger der BD1 beträgt 14,6 mm and taucht bei Kragarm auf. Die Verformung ist in der Abbildung unten dargestellt. Diese maximale Durchbiegung ist weniger als  $L / 100 = 49,7 \text{ mm}$ .

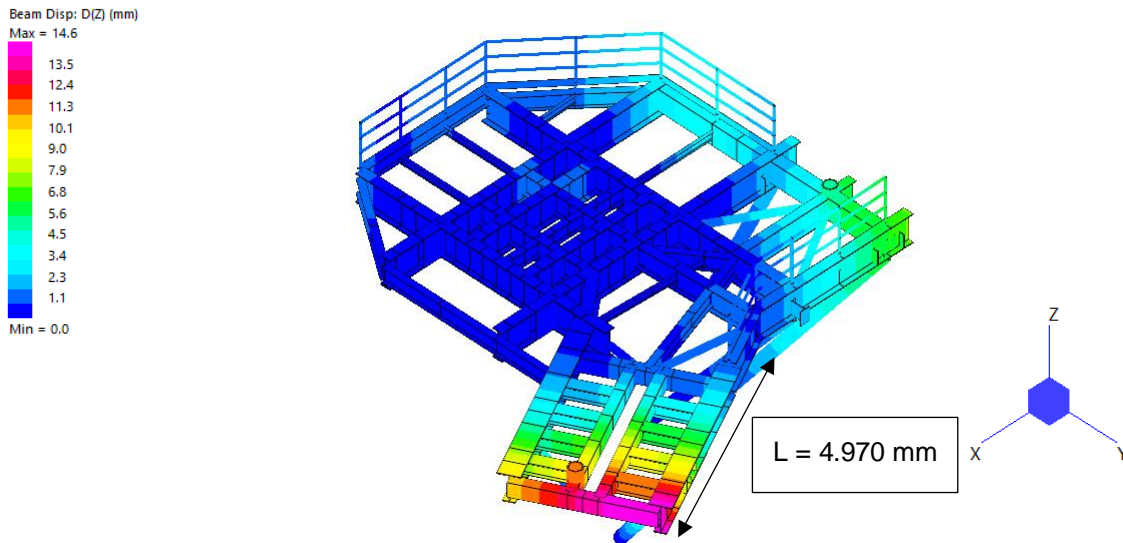


Abbildung 9-83: Verformung, BD1

Die maximale Durchbiegung der Stahlträger der BD4 beträgt 10,0 mm and taucht bei Kragarm auf. Die Verformung ist in der Abbildung unten dargestellt. Diese maximale Durchbiegung ist weniger als  $L / 100 = 47,0 \text{ mm}$ .

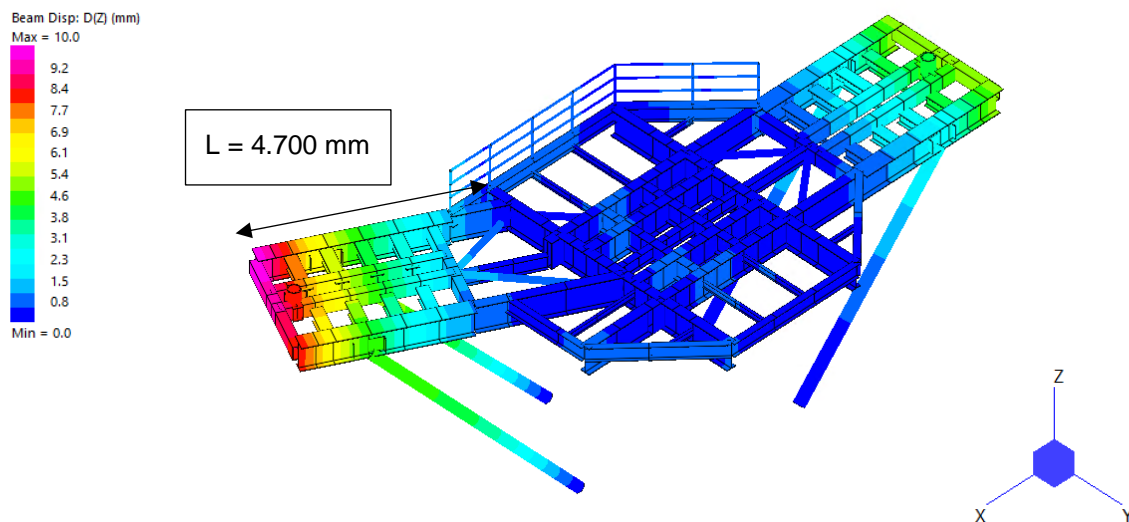


Abbildung 9-84: Verformung, BD4

Die Reaktionskräfte sind in Anhang detailliert.

		Struktur		
				
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN		Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02	
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU			Seite 93 von 158	

### 9.7 Check gegen Wirbelinduzierte Vibrationen (VIV)

Die Diagonalen werden gegen das Auftreten wirbelinduzierter Vibrationen, die durch windinduzierte Wirbelablösungen entstehen können, geprüft. Strukturen, die windinduzierten Vibrationen ausgesetzt sind, haben ein erhöhtes Risiko für Ermüdungsschäden.

Tabelle 9-7: Eigenfrequenzen

Dalben	Profile D*t* [mm*mm*mm]	Durchmesser, D [m]	Wand- dicke, t [m]	Länge, L [m]	Modale Masse, m [kg/m]	Eigen- frequenz , n <sub>i,y</sub> [Hz]
MD1/ MD3/ MD4/ MD6/ BD4	Ø273*8*4.700	0,273	0,008	4,700	52,3	34,5
MD2/ MD4	Ø193,7*6,3*2.440	0,1937	0,0063	2,440	29,1	90,5
MD3	Ø193,7*10*2.440	0,1937	0,01	2,440	45,3	88,8
MD6	Ø244,5*8*2.200	0,2445	0,008	2,200	46,7	140,4
MD6/ BD1	Ø323,9*8*5.500	0,3239	0,008	5,500	62,3	30,0
BD1	Ø244,5*12,5*2.265	0,2445	0,0125	2,265	71,5	130,1
BD1	Ø244,5*12,5*3.355	0,2445	0,0125	3,355	71,5	59,3
BD1	Ø244,5*12,5*4.100	0,2445	0,0125	4,100	71,5	39,7

Tabelle 9-8: Wirbelinduzierte Vibration

Dalben	Profile D*t*L [mm*mm*mm]	Höhe über LAT, z [m]	Rauigkeits- faktor, c <sub>r</sub> (z) [-]	10-Minuten Windgeschwin- digkeit, v <sub>m</sub> [m/s]	kritische Windgeschwin- digkeit, v <sub>crit,i</sub> [m/s]	1,25 * v <sub>m</sub> [m/s]
MD1/ MD3/ MD4/ MD6/ BD4	Ø273*8*4.700	9,5	1,258	37,7	52,3	47,1
MD2/ MD4	Ø193,7*6,3*2.440	11,0	1,281	38,4	97,4	48,0
MD3	Ø193,7*10*2.440	11,0	1,281	38,4	95,5	48,0
MD6	Ø244,5*8*2.200	11,0	1,281	38,4	190,8	48,0
MD6/ BD1	Ø323,9*8*5.500	9,5	1,258	37,7	54,0	47,1

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 94 von 158

Dalben	Profile D*t*L [mm*mm*mm]	Höhe über LAT, z [m]	Rauigkeits- faktor, $c_r(z)$ [-]	10-Minuten Windgeschwin- digkeit, $v_m$ [m/s]	kritische Windgeschwin- digkeit, $v_{crit,i}$ [m/s]	$1,25 * v_m$ [m/s]
BD1	Ø244,5*12,5*2.265	11,0	1,281	38,4	176,7	48,0
BD1	Ø244,5*12,5*3.355	11,0	1,281	38,4	80,5	48,0
BD1	Ø244,5*12,5*4.100	9,5	1,258	37,7	53,9	47,1

Diese werden in der aktuellen Designphase nicht als kritisch angesehen.

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 95 von 158

## 10 Nachweis der Dalben Plattform für das Einheben

### 10.1 Allgemeines

Aufgrund verschiedener Abmessungen, Geometrien und Interface zu den Lasten sind alle Dalben außer die Dalben MD5 detailliert nachgewiesen. Die Dalben MD2 und MD5 sind baugleich.

Die Dalben BD3 sind aufgrund der nicht verfügbaren Informationen on HOLD. Die Dalben BD2 wird in der nächsten Revision berücksichtigt.

### 10.2 Model Beschreibung

Für den Festigkeitsnachweis beim Einheben sind die FE-Modelle in Kapitel 9 benutzt. Das Hebegeschirr ist zusätzlich modelliert. Die Seile sind als „Fachwerk“ Elemente berücksichtigt, die nur Zug oder Druck aufnehmen können. Momente und Querkräfte können durch diese Elemente nicht übertragen werden.

Der minimale Seilwinkel zu horizontal ist mit  $60^\circ$  modelliert. Der Hakenpunkt wird über dem Schwerpunkt der Dalben angesetzt. Es ist zu notieren, dass das Einheben der Plattformen MD4 und MD 6 jeweils ohne Container geplant wird.

Die QRH hingegeben werden als auf den Plattformen fest vorinstalliert angenommen.

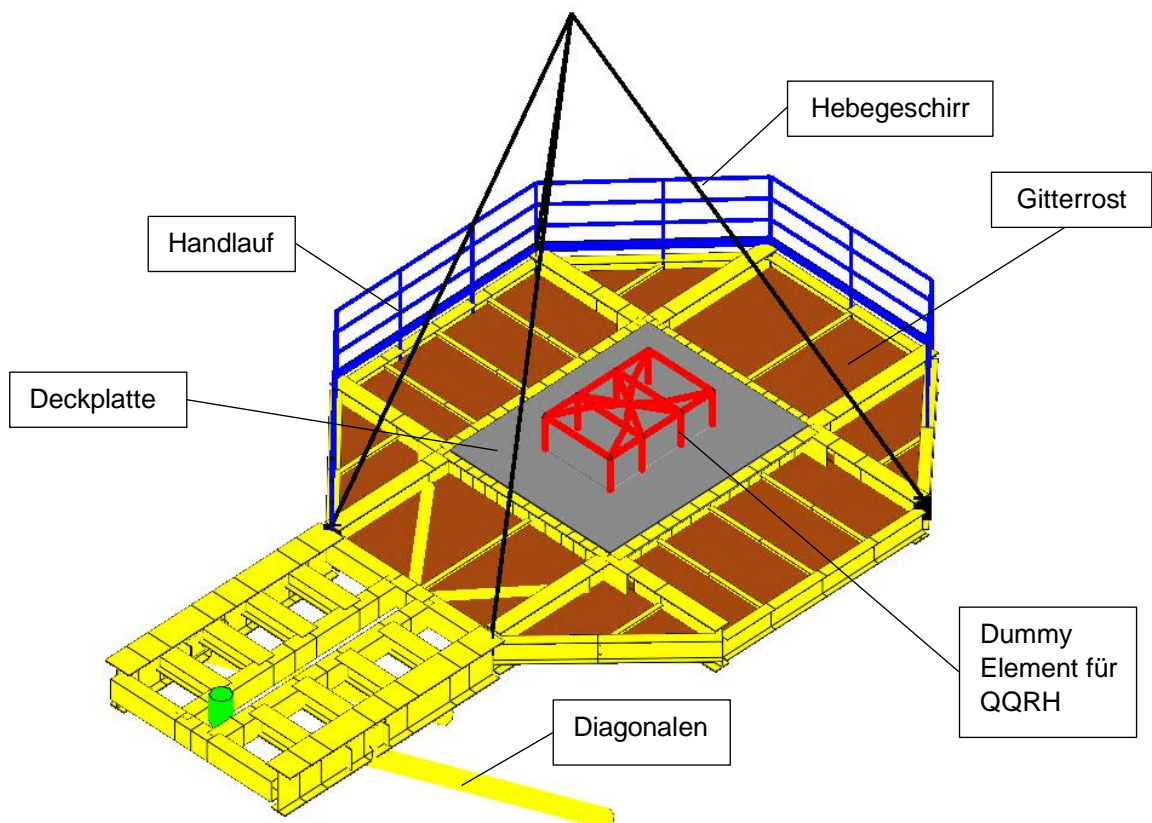


Abbildung 10-1: FE-Model, MD1

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 96 von 158

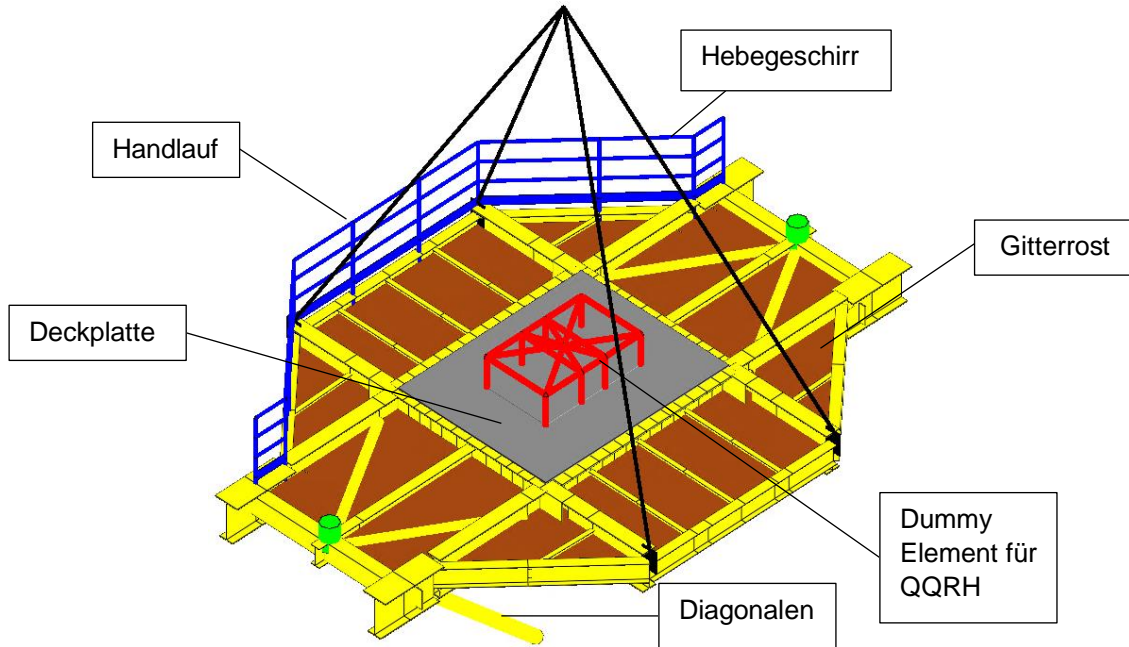


Abbildung 10-2: FE-Model, MD2

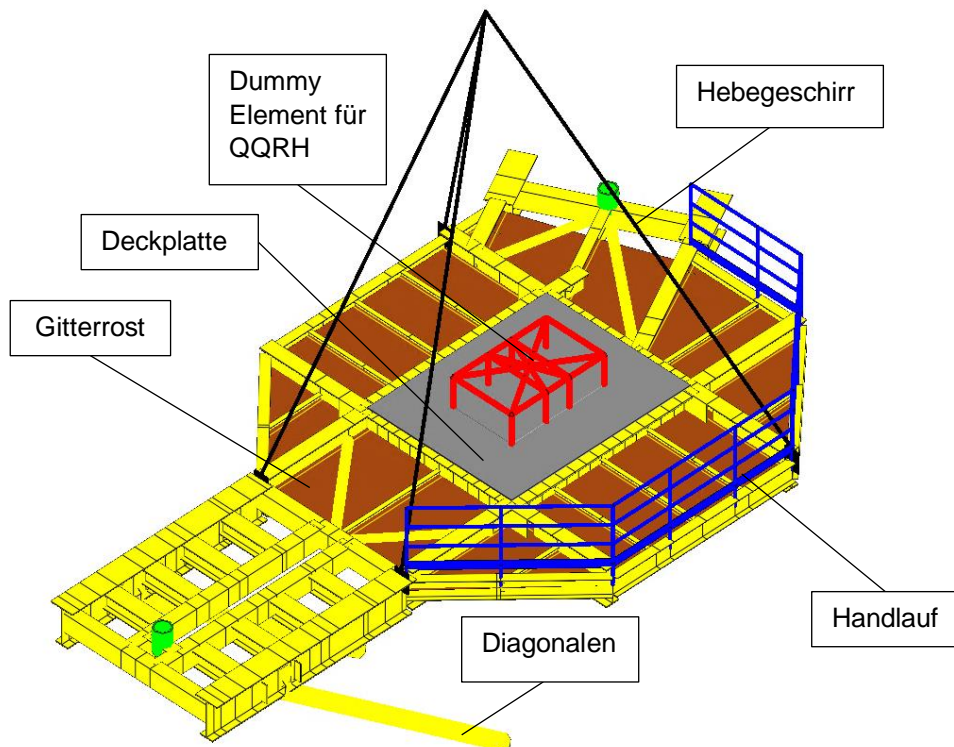


Abbildung 10-3: FE-Model, MD3



  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 97 von 158

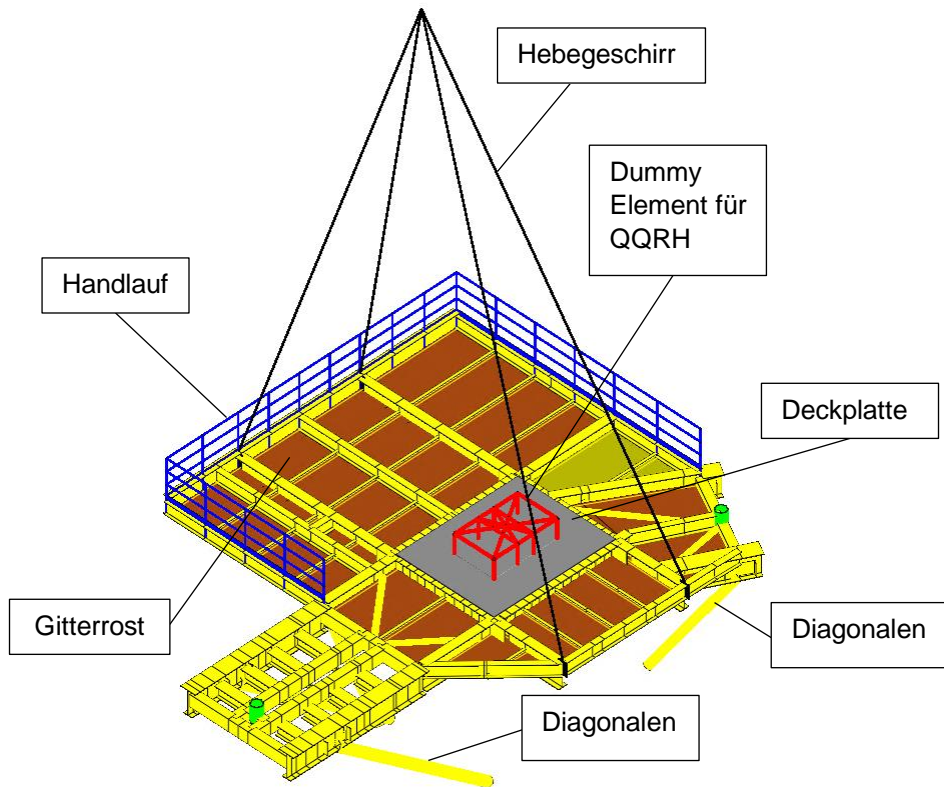


Abbildung 10-4: FE-Model, MD4

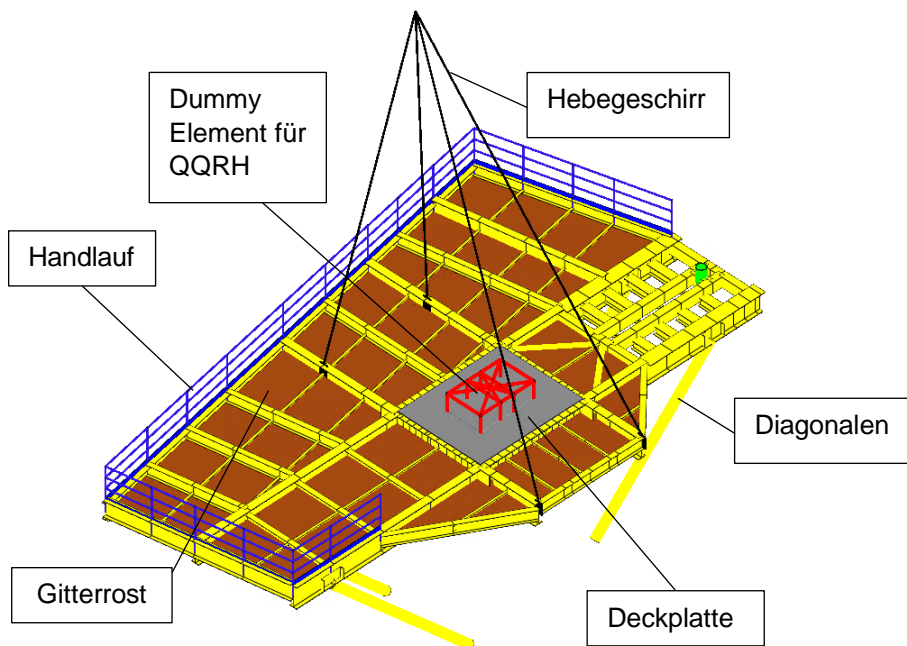


Abbildung 10-5: FE-Model, MD6

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 98 von 158

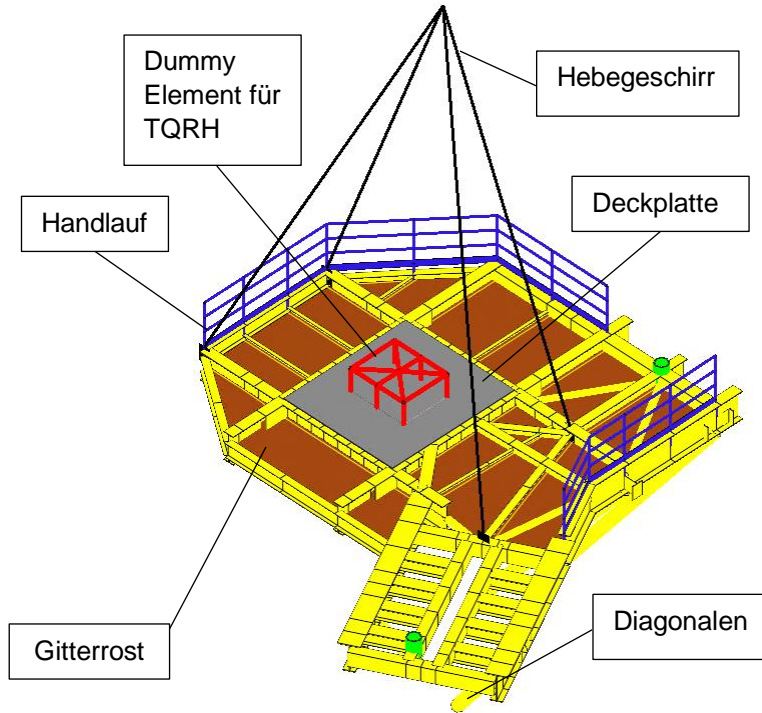


Abbildung 10-6: FE-Model, BD1

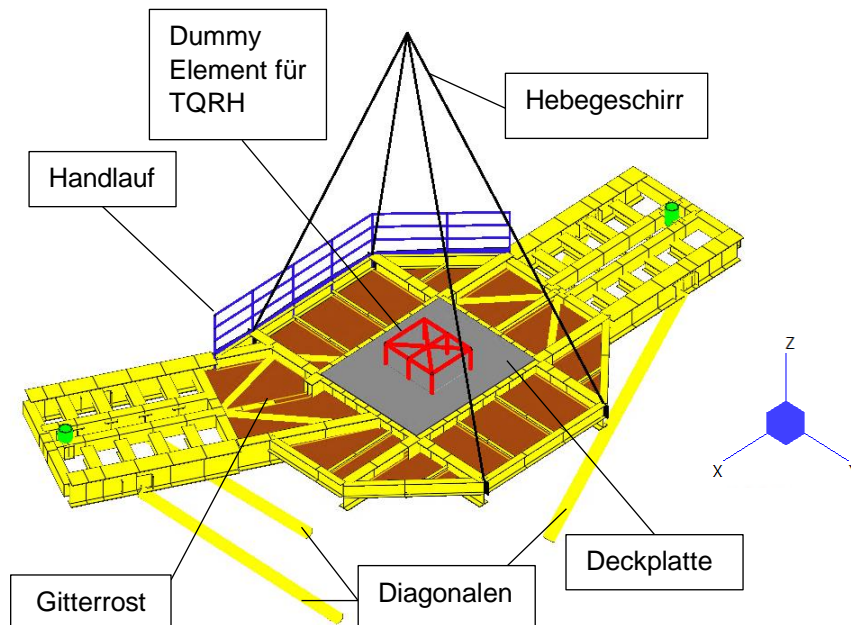


Abbildung 10-7: FE-Model, BD4

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 99 von 158

### 10.3 Randbedingungen

Die gewählte Randbedingung ist in den Abbildungen unten dargestellt. Der Knoten, der den Kranhaken darstellt, befindet sich oberhalb des Gesamtschwerpunktes und ist fix gesetzt.

Zusätzlich gibt es noch horizontale Lager in Y- und X-Richtung um das Modell statisch bestimmt zu lagern. Es wurde sicher gestellt, dass die resultierenden Lagerreaktionen in diesen zusätzlichen unteren Horizontallagern vernachlässigbar klein sind.

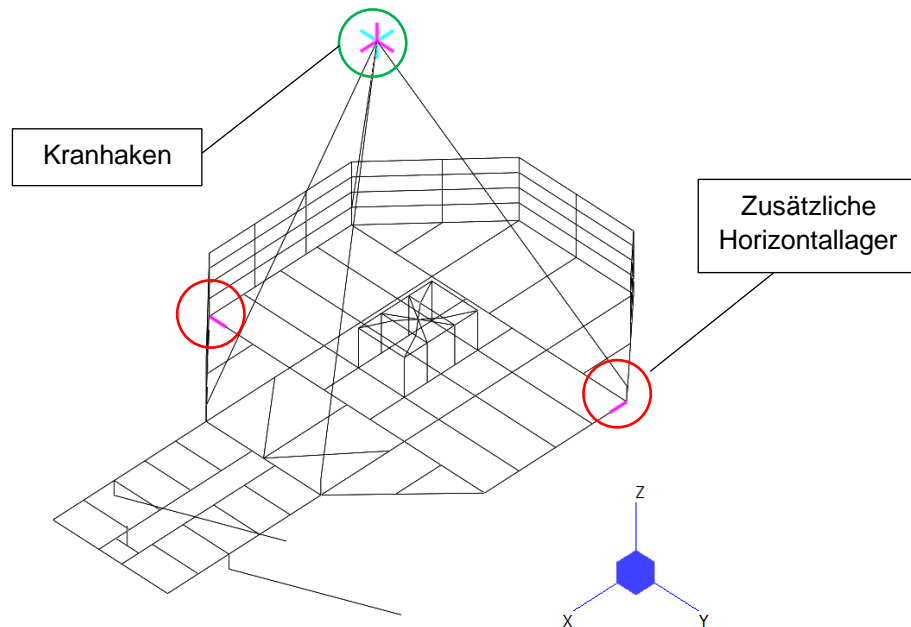


Abbildung 10-8: Randbedingungen, MD1

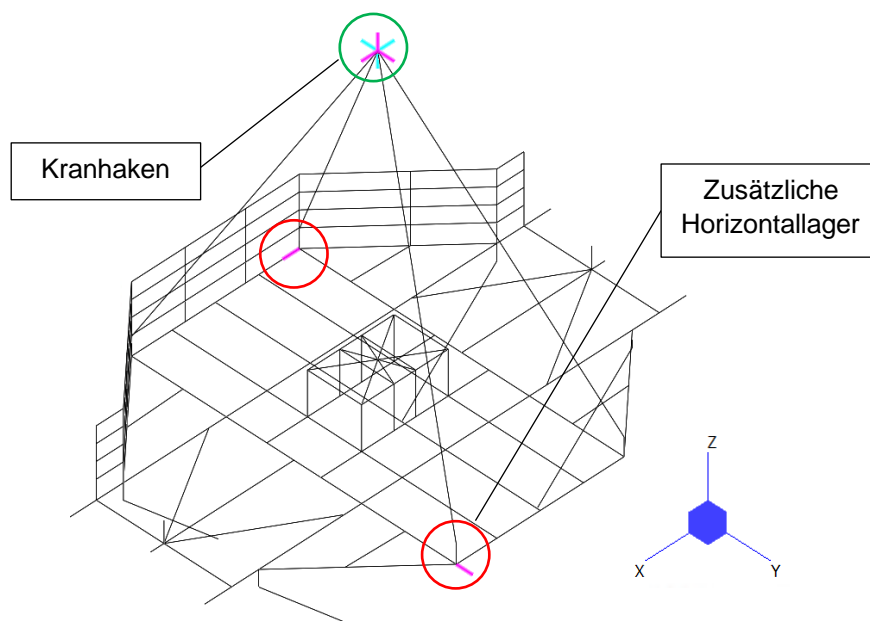


Abbildung 10-9: Randbedingungen, MD2

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 100 von 158

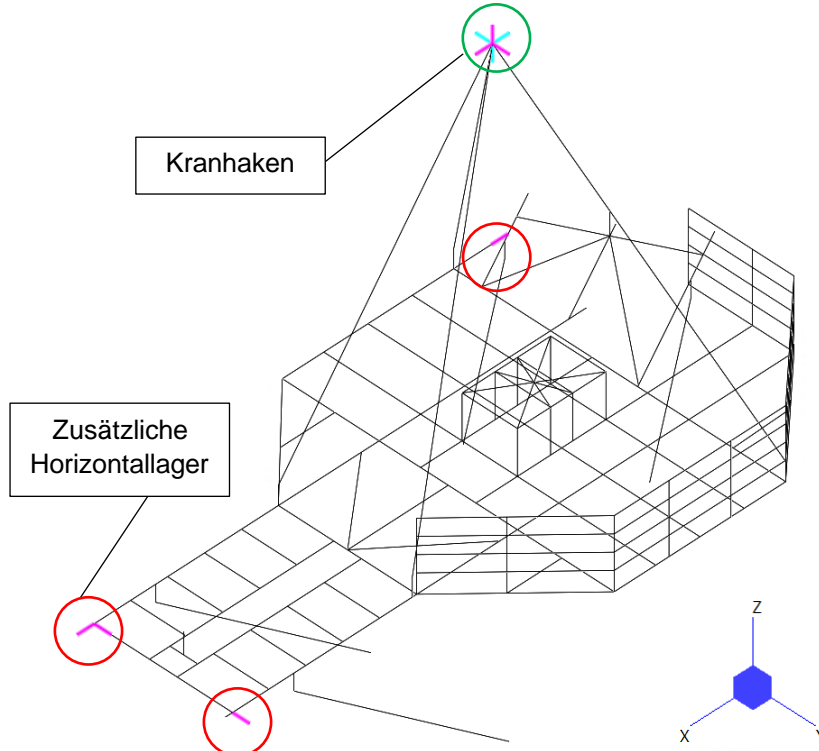


Abbildung 10-10: Randbedingungen, MD3

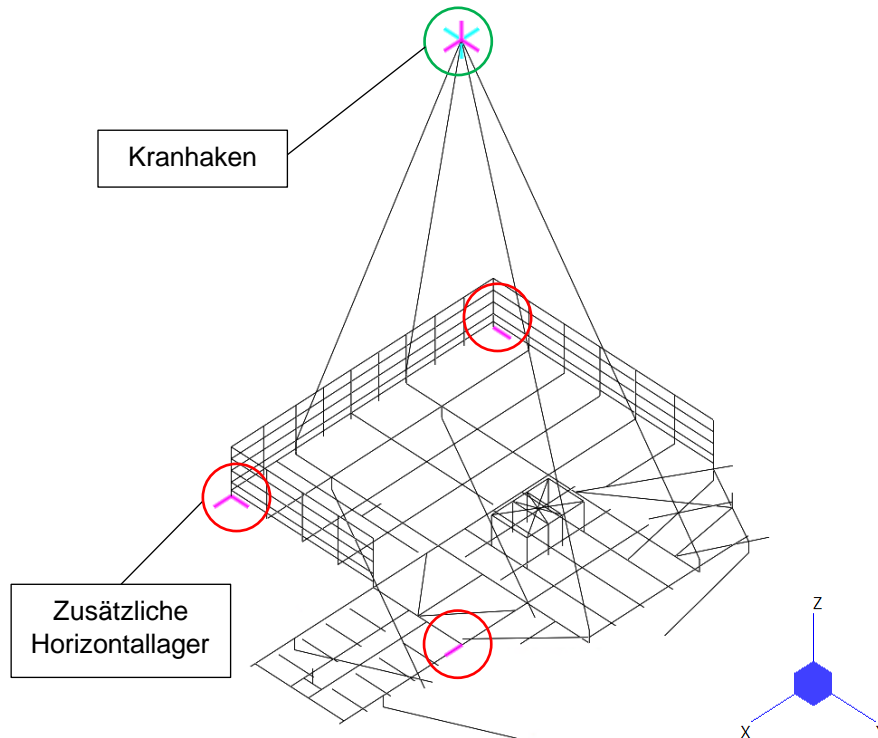


Abbildung 10-11: Randbedingungen, MD4

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 101 von 158

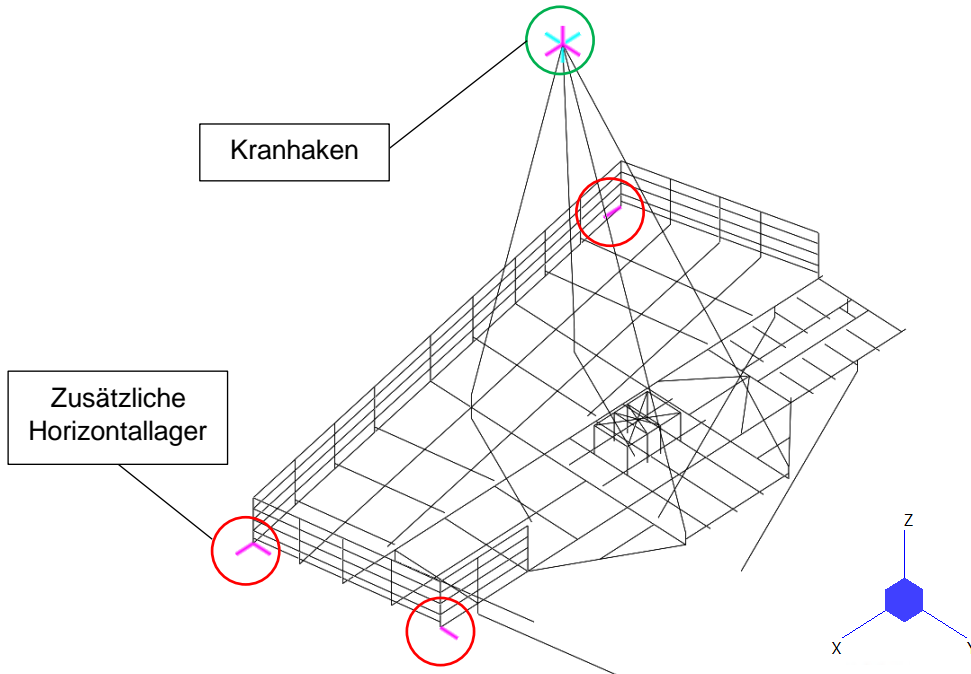


Abbildung 10-12: Randbedingungen, MD6

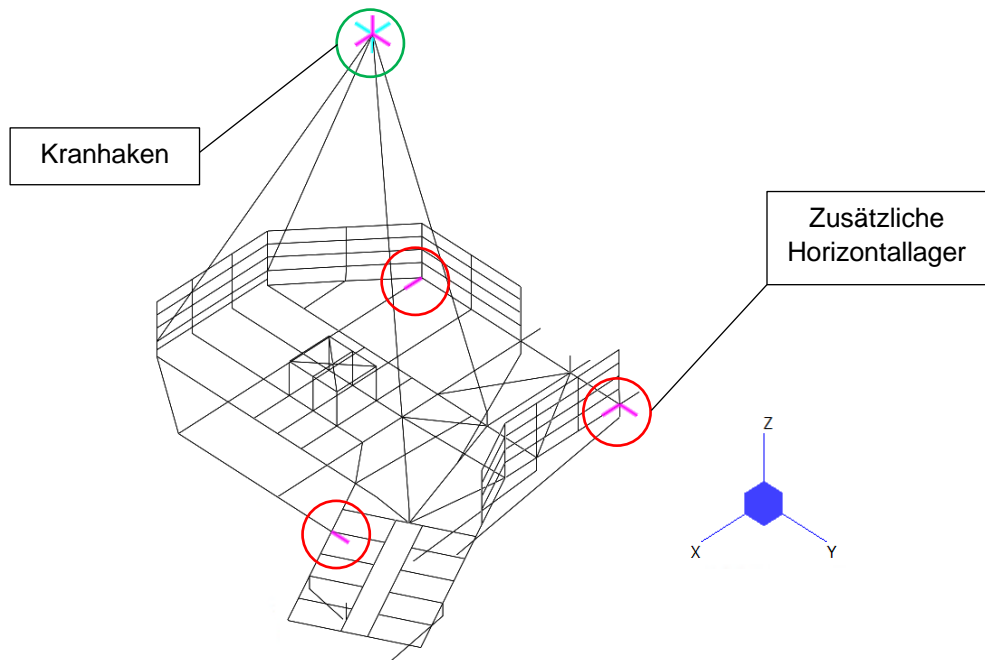


Abbildung 10-13: Randbedingungen, BD1

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 102 von 158

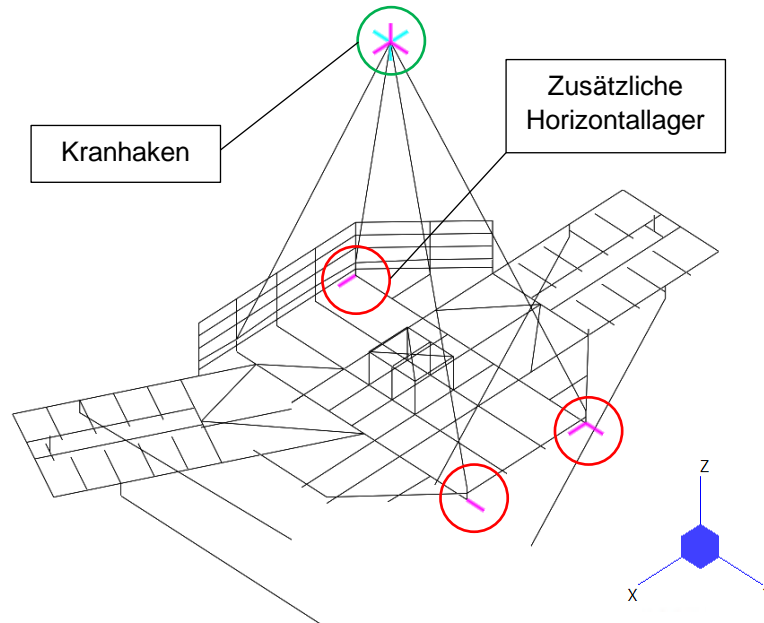


Abbildung 10-14: Randbedingungen, BD4






#### 10.4 Lasten

Für die statische Berechnung der Dalben-Plattform sind folgende Lastfälle wie in Tabelle 9-1 definiert.

Tabelle 10-1: Übersicht der Lastfälle

Lastfall (LC)	Last-Kategorie	Beschreibung	Bemerkung
1	G	Struktur-Eigengewicht	siehe Kapitel 9.4.2
2	G	Eigengewicht der Gitterroste	siehe Kapitel 9.4.3
3	G	Eigengewicht des Hakens	siehe Kapitel 9.4.4

Diese Lastfälle sind bereits in Kapitel 9 beschrieben.

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 103 von 158

### 10.5 Lastfallkombinationen für das Einheben

Es werden zwei Lastfallkombinationen gebildet, ein charakteristischer für die Analyse der Durchbiegung und einer mit Lastfaktoren für den Strukturnachweis. Beide Lastfallkombinationen enthalten die Faktoren gemäß Kapitel 8.3.

*Tabelle 10-2: ULS Lastfallkombinationen (LCOM) Einheben*

Lastfall (LC)	LCOM 1 (ULS)	LCOM 2 (SLS)
LC 1 - Struktur-Eigengewicht	3,2	2,4
LC 2 - Gitterroste	3,2	2,4
LC 3 - Hakengewicht	3,2	2,4

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 104 von 158

## 10.6 Ergebnisse für das Einheben

### 10.6.1 Spannungsergebnisse – Heben

Die Spannungsergebnisse sind von ULS LCOM ausgewertet.

Die maximale von Mises Spannung für die Balkenelemente der MD1 Plattform beträgt 98.8 MPa und ist in der Abbildung unten dargestellt. Diese Spannung ist kleiner als die erlaubte Spannung von 345.0 MPa. Die maximale Auslastung beträgt somit 29%.

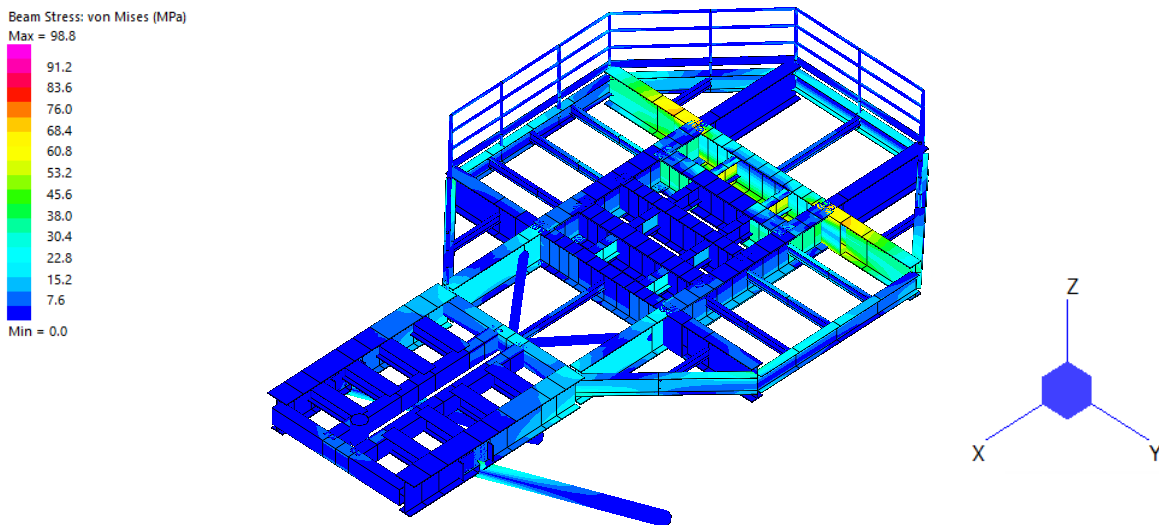


Abbildung 10-15: von Mises Spannung, MD1

Die maximale von Mises Spannung für die Balkenelemente der MD2 Plattform beträgt 98.7 MPa und ist in der Abbildung unten dargestellt. Diese Spannung ist kleiner als die erlaubte Spannung von 345.0 MPa. Die maximale Auslastung beträgt somit 29%.

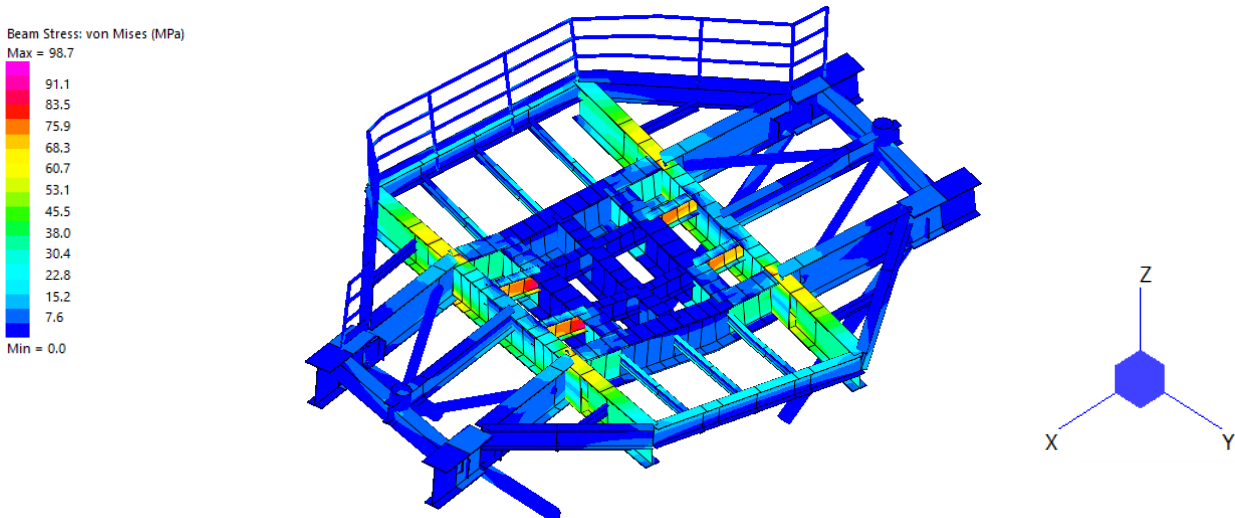


Abbildung 10-16: von Mises Spannung, MD2



  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 105 von 158

Die maximale von Mises Spannung für die Balkenelemente der MD3 Plattform beträgt 130.4 MPa und ist in der Abbildung unten dargestellt. Diese Spannung ist kleiner als die erlaubte Spannung von 345.0 MPa. Die maximale Auslastung beträgt somit 37%.

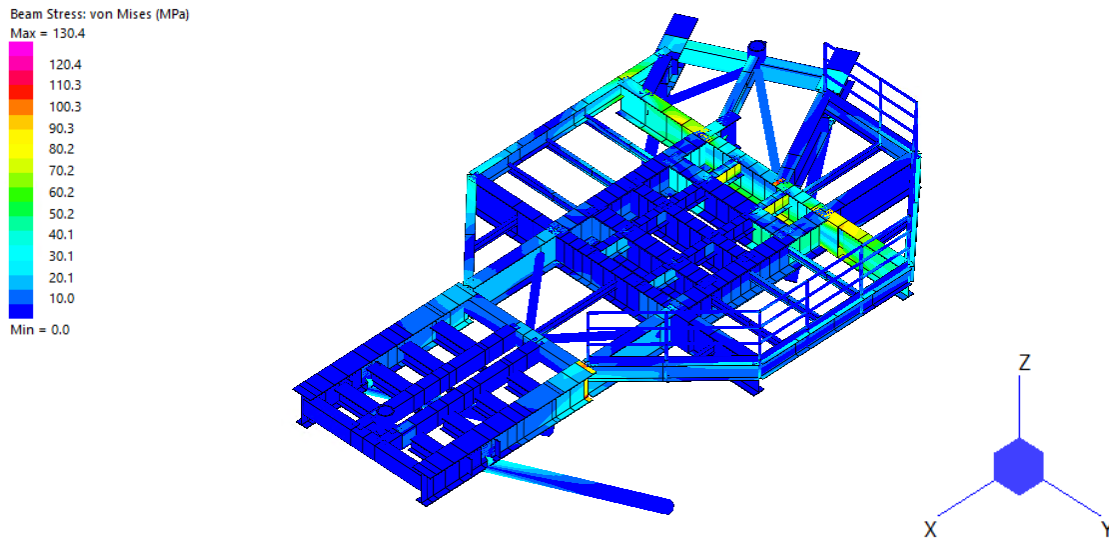


Abbildung 10-17: von Mises Spannung, MD3

Die maximale von Mises Spannung für die Balkenelemente der MD4 Plattform beträgt 252.4 MPa und ist in der Abbildung unten dargestellt. Diese Spannung ist kleiner als die erlaubte Spannung von 345.0 MPa. Die maximale Auslastung beträgt somit 73%.

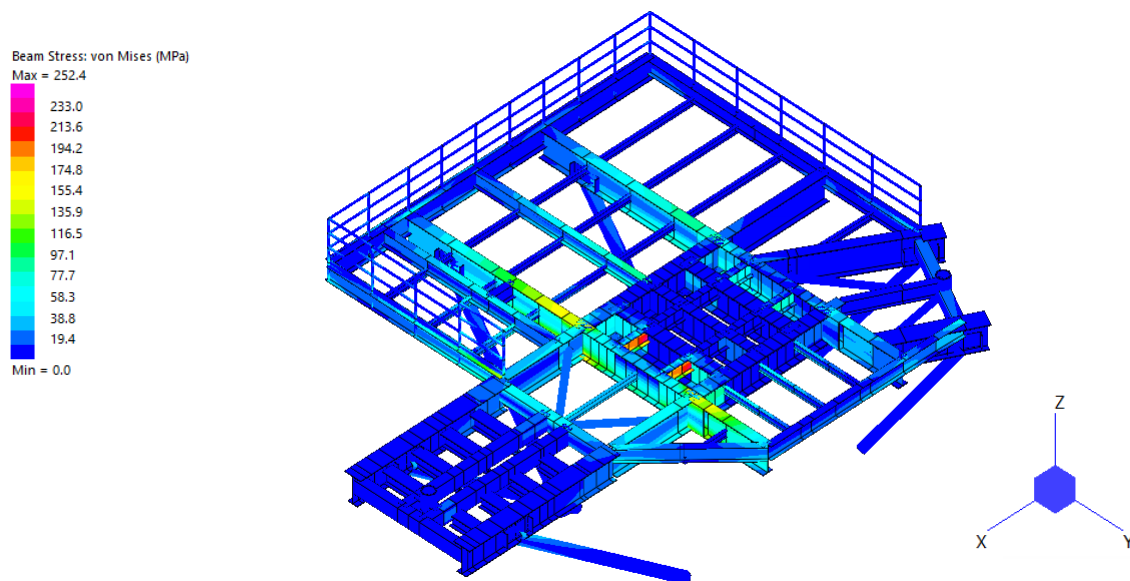


Abbildung 10-18: von Mises Spannung, MD4

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 106 von 158

Die maximale von Mises Spannung für die Balkenelemente der MD6 Plattform beträgt 298.0 MPa und ist in der Abbildung unten dargestellt. Diese Spannung ist kleiner als die erlaubte Spannung von 345.0 MPa. Die maximale Auslastung beträgt somit 86%.

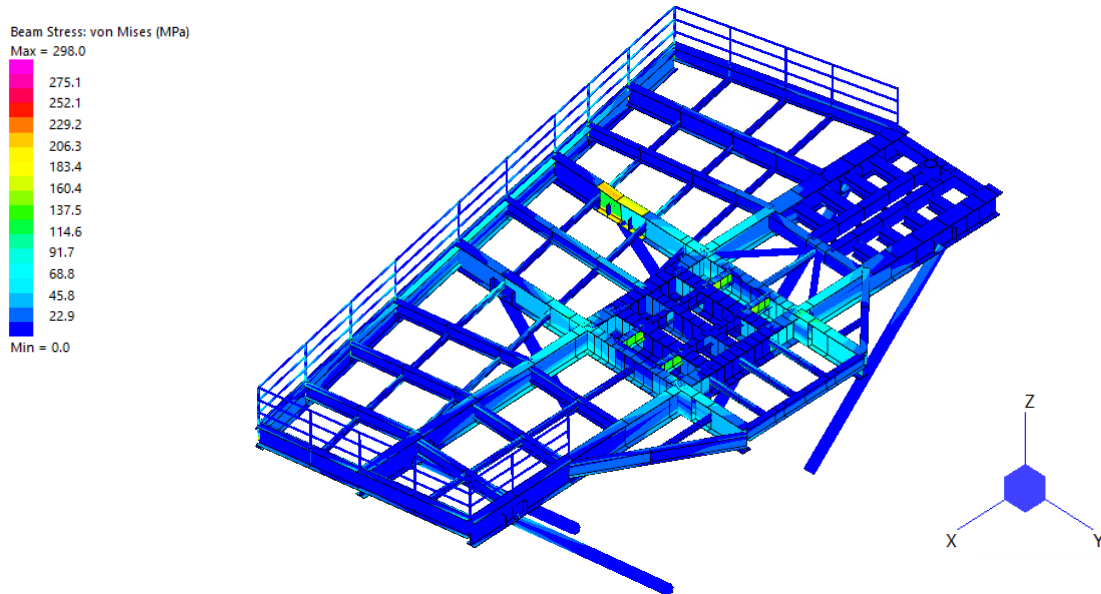


Abbildung 10-19: von Mises Spannung, MD6

Die maximale von Mises Spannung für die Balkenelemente der BD1 Plattform beträgt 90.6 MPa und ist in der Abbildung unten dargestellt. Diese Spannung ist kleiner als die erlaubte Spannung von 345.0 MPa. Die maximale Auslastung beträgt somit 26%.

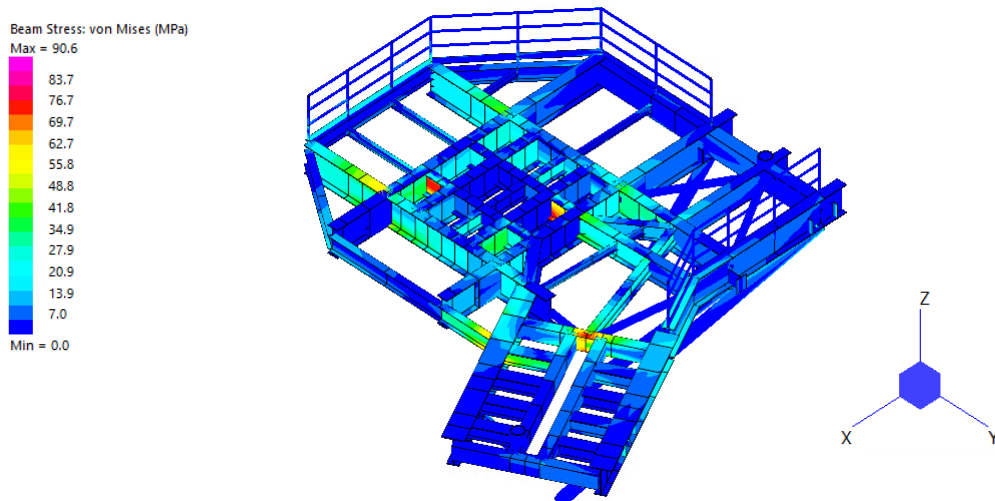


Abbildung 10-20: von Mises Spannung, BD1

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 107 von 158

Die maximale von Mises Spannung für die Balkenelemente der BD4 Plattform beträgt 266.9 MPa und ist in der Abbildung unten dargestellt. Diese Spannung ist kleiner als die erlaubte Spannung von 345.0 MPa. Die maximale Auslastung beträgt somit 77%.

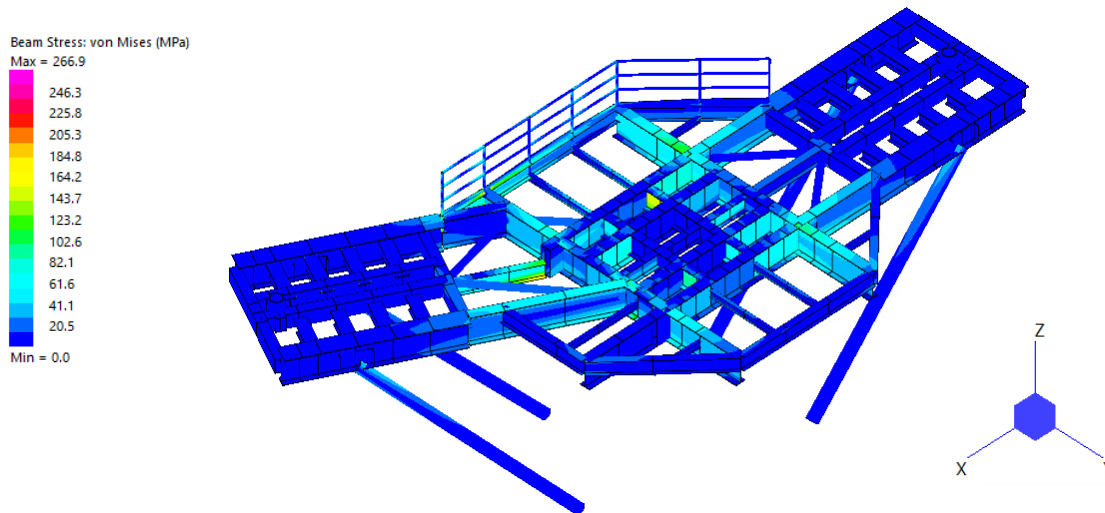


Abbildung 10-21: von Mises Spannung, BD4

### 10.6.2 Verformungsergebnisse – Heben

Die maximale Durchbiegungen beim Einheben der Dalben sind unten tabelliert.

Tabelle 10-3: Maximale Durchbiegungen der Dalben

Dalben	Max. Durchbiegung [mm]
MD1	136,9
MD2	452,8
MD3	27,8
MD4	53,4
MD6	39,4
BD1	19,4
BD4	25,1

Es gibt nach Vorschrift keine Anforderung für diesen Zustand, somit wird die Durchbiegung als akzeptabel betrachtet.

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 108 von 158

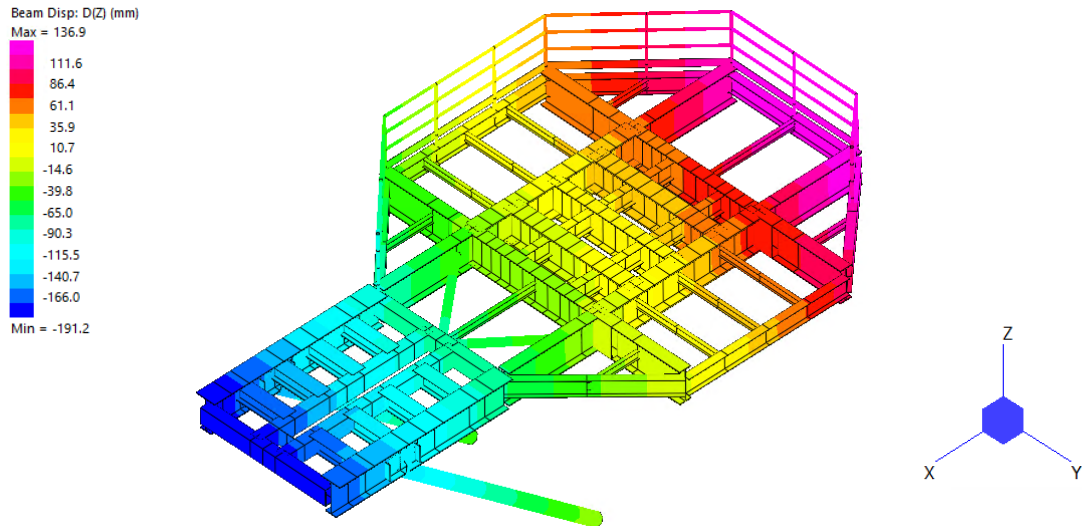


Abbildung 10-22: Verformung, MD1

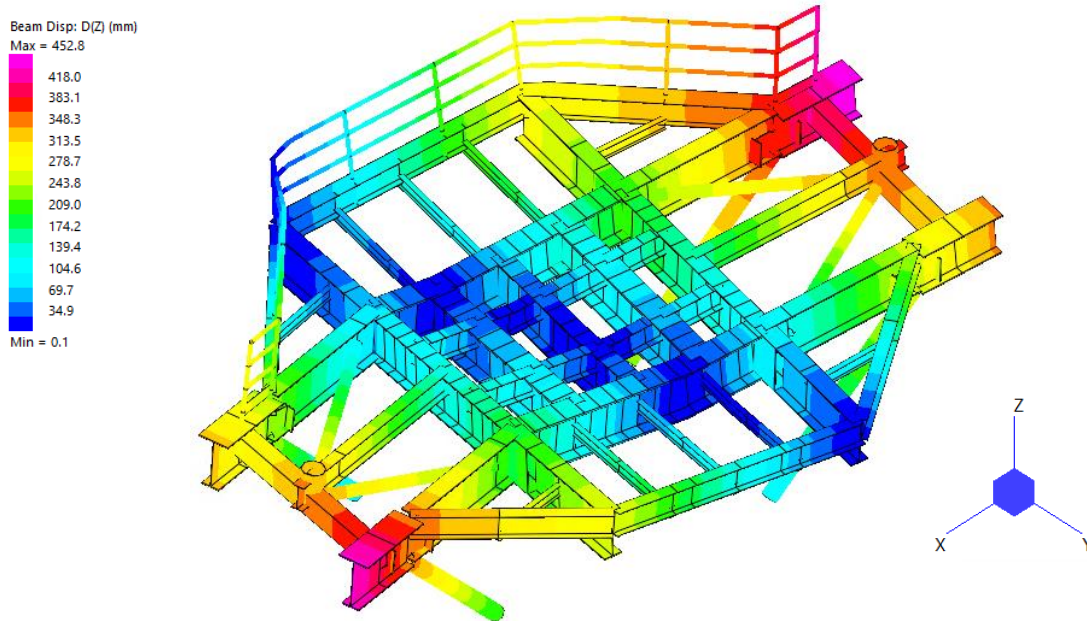


Abbildung 10-23: Verformung, MD2

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 109 von 158

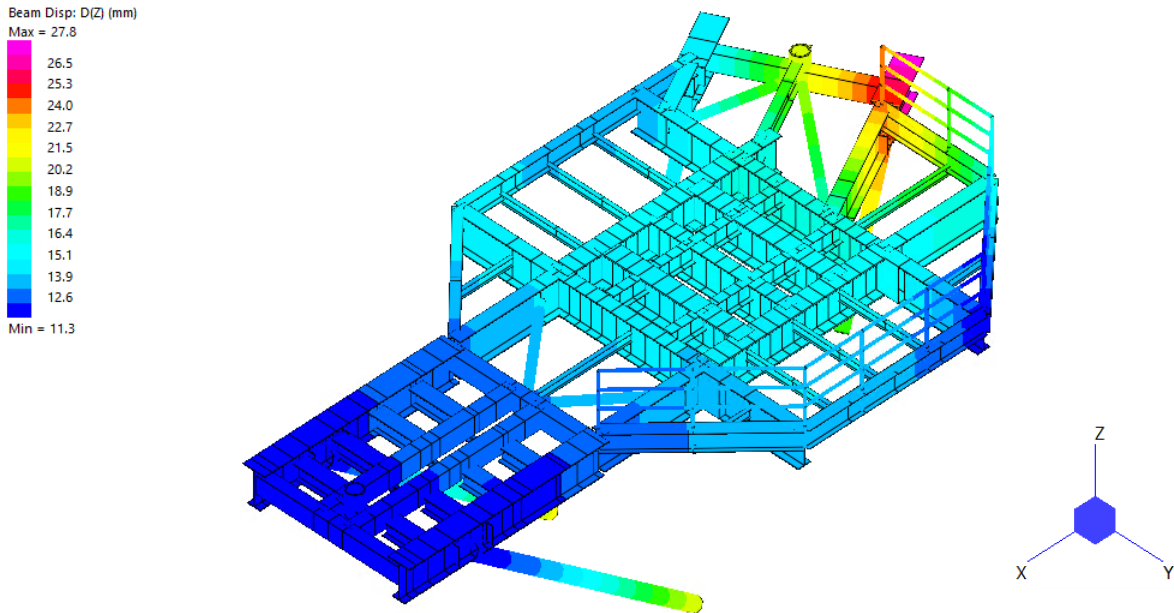


Abbildung 10-24: Verformung, MD3

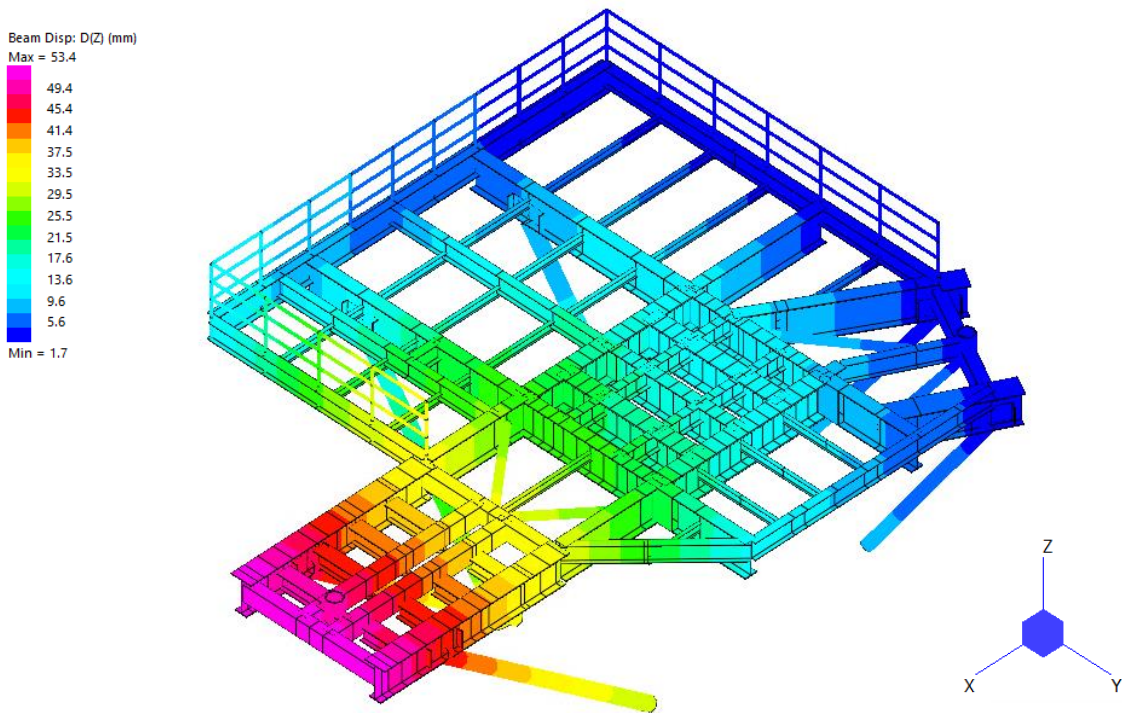


Abbildung 10-25: Verformung, MD4

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 110 von 158

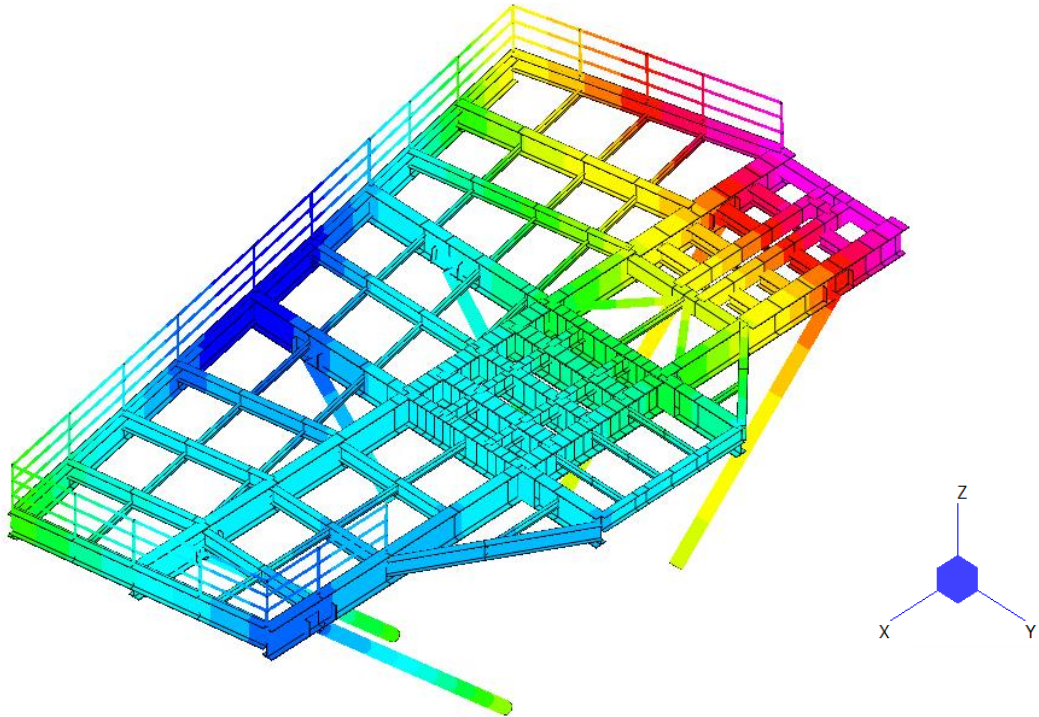
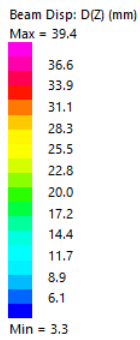


Abbildung 10-26: Verformung, MD6

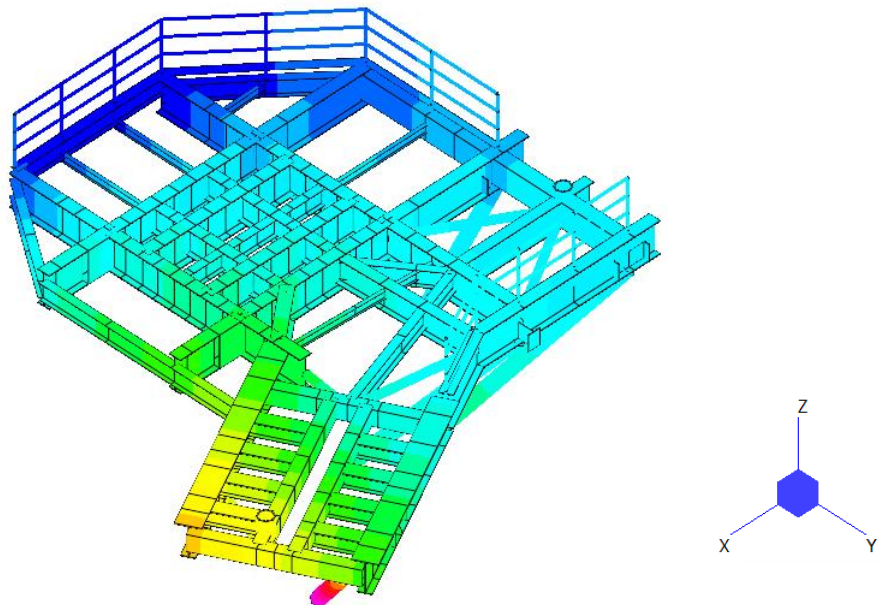
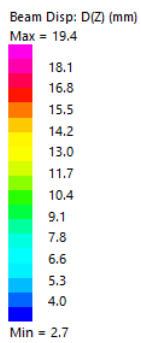


Abbildung 10-27: Verformung, BD1

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 111 von 158

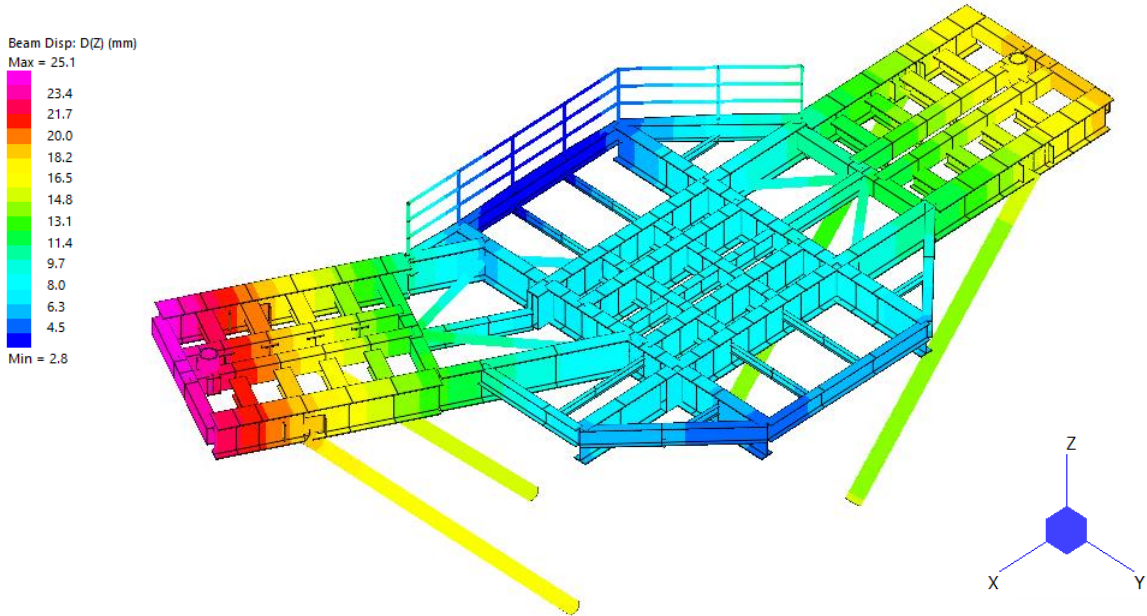


Abbildung 10-28: Verformung, BD4

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 112 von 158

## 11 Verbindungen zwischen Plattformen und Pfahl

### 11.1 Allgemeines

In diesem Kapitel werden die Anschlussstrukturen beschrieben und verifiziert.

- Brackets zwischen Plattform und Pfahl (für alle Plattformen gleich)
- Sowie Anschlüsse von der Diagonalen an dem Pfahl (abhängig von der Größe der Diagonale, leichte unterschiede pro Anschluss)

Alle Anschlussdetails sind an der Plattform vorinstalliert und werden zusammen mit der Plattform eingehoben. Die Anschlussbracket-Kreuze zwischen Plattformen (gelb) und Pfahl (grau) sind in der folgenden Abbildung dargestellt. Das Design und der Nachweis dieser blauen Brackets berücksichtigt, dass

- An die oberen 150 mm des Pfahls nicht geschweißt werden darf (hier ggf. Schädigungen durch das Rammen)
- Der Pfahl im schlimmsten nicht genau gerammt werden kann und bis zu 100 mm zu tief gerammt wurde.

### 11.2 Bracket-Kreuz

Zur strukturellen Berechnung dieser Anschlussstruktur wird ein FE-Modell mit dem Programm Strand7 [a.] angefertigt.

Für den Nachweis der Anschlussstruktur unterhalb der Plattform und dem oberen Pfahlende wird ein Lokalmmodell erstellt. Dieses Modell ist unten dargestellt und besteht aus dem oberen Pfahlsektion (in grau), der Sektionen von Deckträger oben (in gelb) und dem Anschluss zwischen der Deckträger und dem Pfahl (in blau).

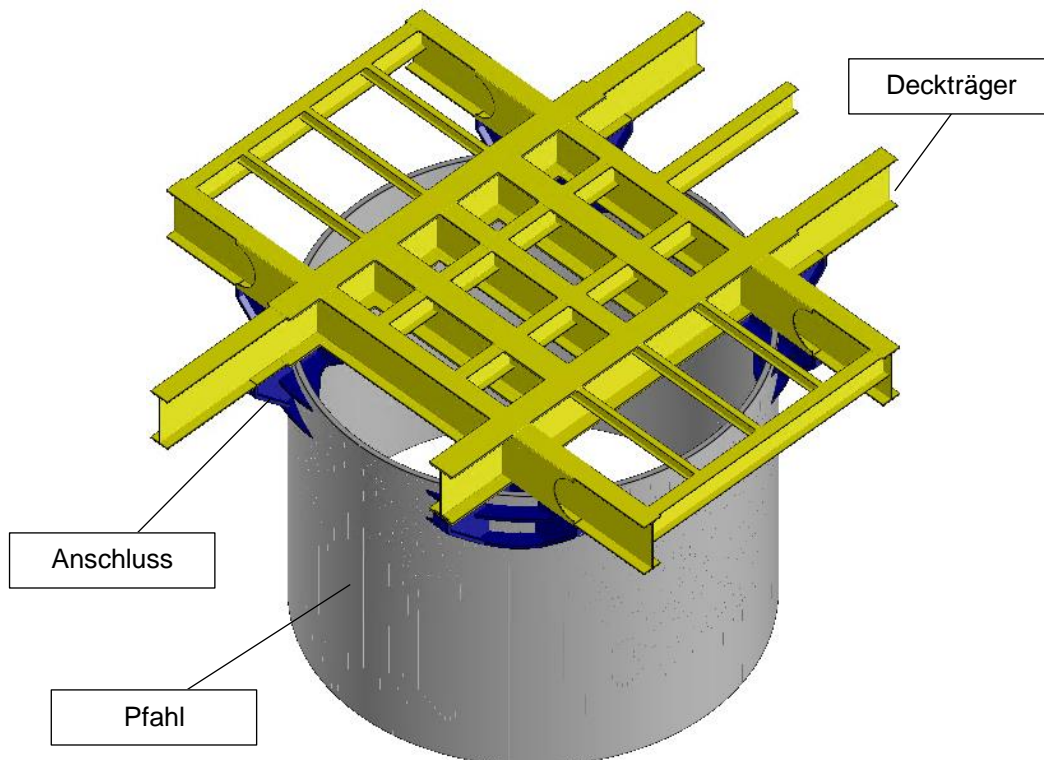


Abbildung 11-1: Detailmodell



  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 113 von 158

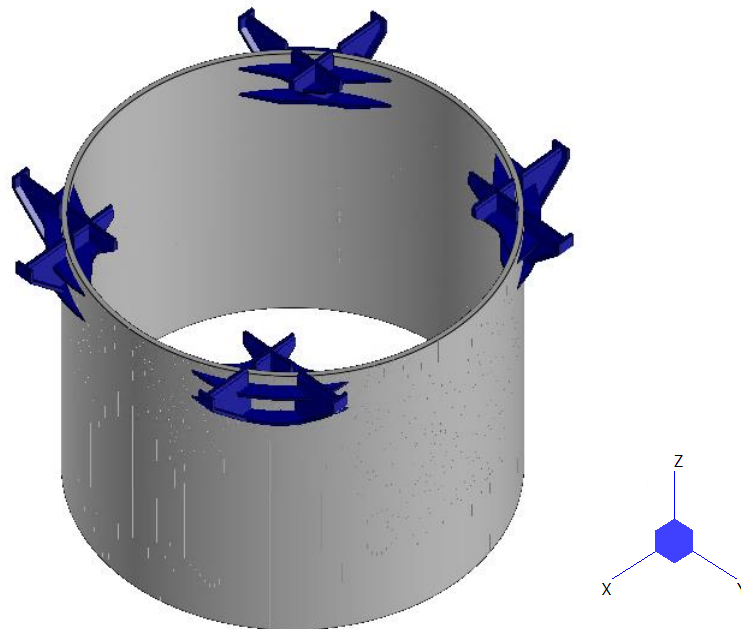


Abbildung 11-2: Detailmodell (Deckträger ausgeblendet)

Es wird davon ausgegangen, dass die Deckträger nicht direkt auf den Pfahl aufgrund der Toleranzen von Rammarbeiten liegen. In der Analyse wird es genommen, dass die Unterkante von den Deckträger 100 mm über das Pfahl liegen.

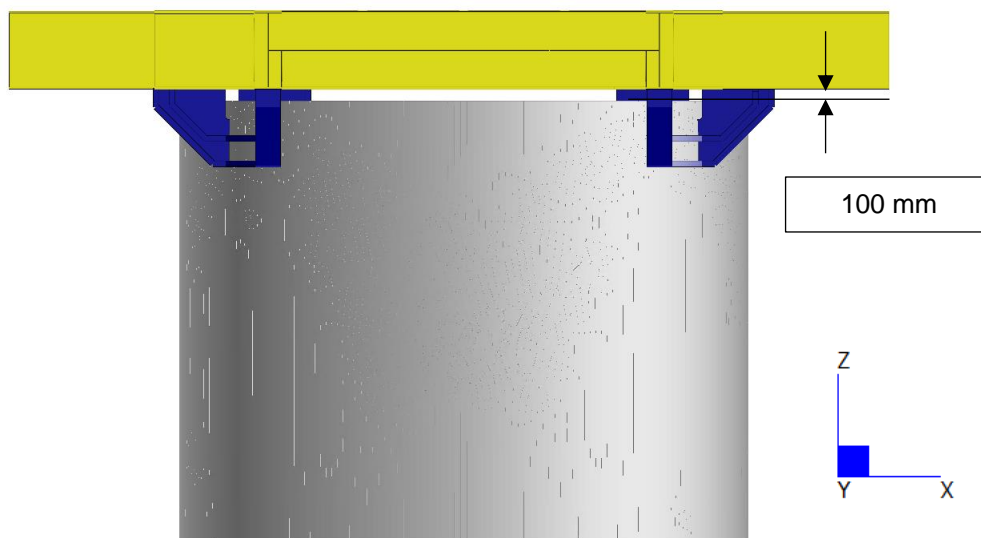


Abbildung 11-3: Position von Deckträger 100 mm über Pfahl

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 114 von 158

In der Abbildung ist die ideale Position, wenn den Pfahl genau gerammt wird und die Träger setzen direkt auf den Pfahl.

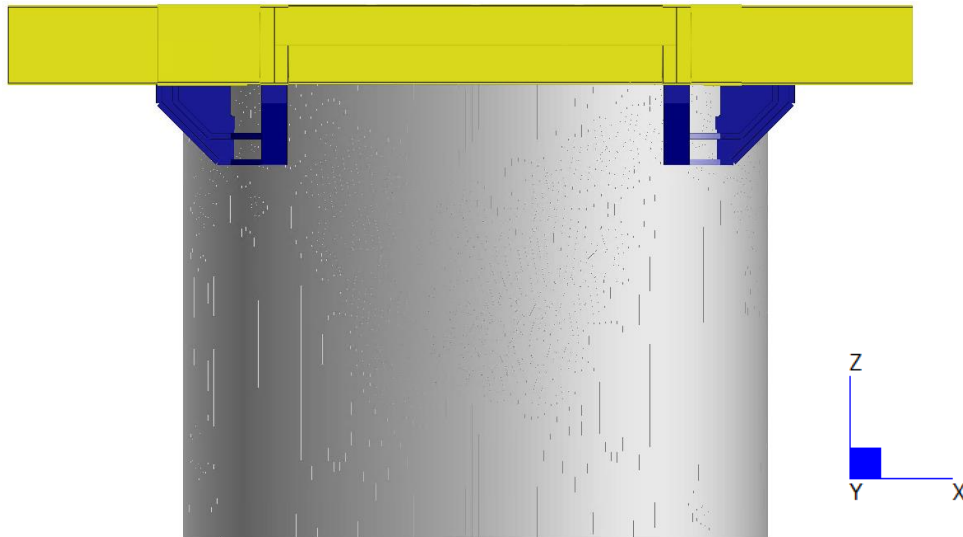


Abbildung 11-4: Ideal Position von Deckträger auf Pfahl

### 11.2.1 Randbedingungen

Das untere Pfahlende wird fixiert, wie in der folgenden Abbildung gezeigt.

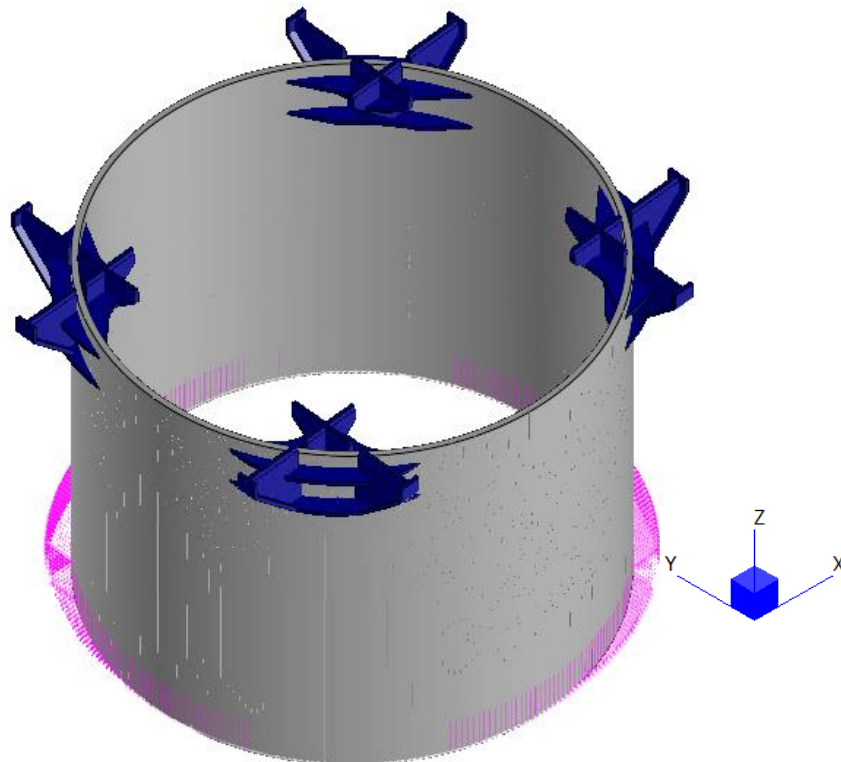



Abbildung 11-5: Randbedingungen

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 115 von 158

### 11.2.2 Lasten

Die Reaktionslasten in der Globalanalyse in Kapitel 9 werden für die Lokalanalyse berücksichtigt. Die Reaktionslasten bei LCOM3 für MD3 (siehe auch Anhang) werden hier aufgebracht, weil es die höchste Horizontallasten bei diesem LCOM erzeugt.

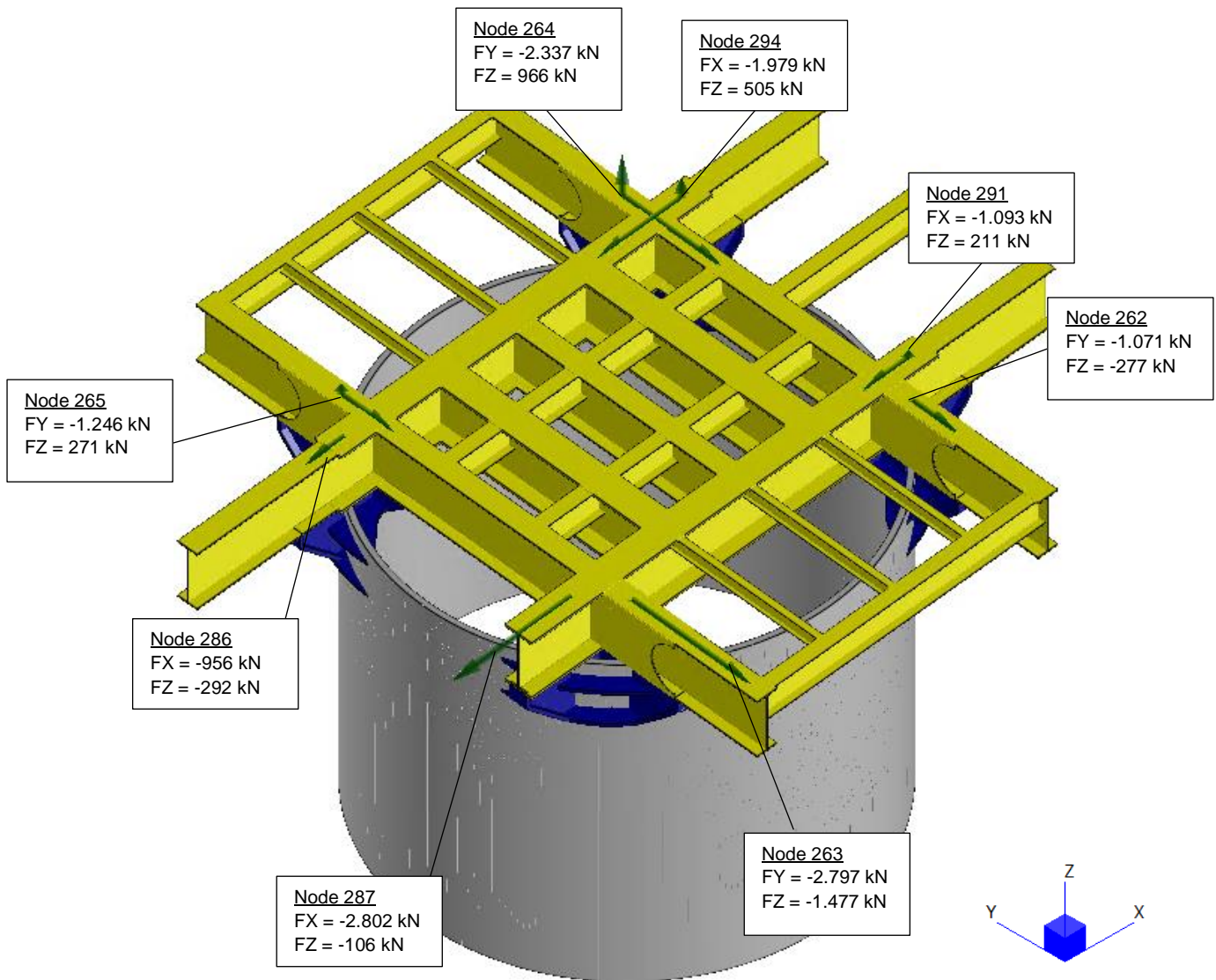


Abbildung 11-6: Lastaufbringung

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 116 von 158

### 11.2.3 Ergebnisse

In den folgenden Kapiteln werden die resultierenden Spannungen und Verformungen für die Anschlüsse gezeigt. Die Detailmodelle untersuchen nur die strukturelle Festigkeit der Anschlüsse nicht der angrenzenden Struktur. Daher können außerhalb der Lager Überspannungen auftreten, die aber auf die Randbedingungen zurückzuführen und nicht Teil dieser Analyse sind.

### 11.2.4 Spannungsergebnisse

Die folgenden SpannungspLOTS zeigen den Verlauf der von Mises-Spannungen.

In der folgenden Abbildung ist das Spannungsplot von dem gesamten Modell bis die erlaubte Spannung von 335.0 MPa skaliert. Die Deckträger sind nur in dem Bereich von dem Pfahl modelliert und dienen nur für der hier konservativ vereinfachten Krafteinleitung. Die Deckstruktur ist bereits in Kapitel 9 und 10 nachgewiesen und wird hier als unkritisch betrachtet

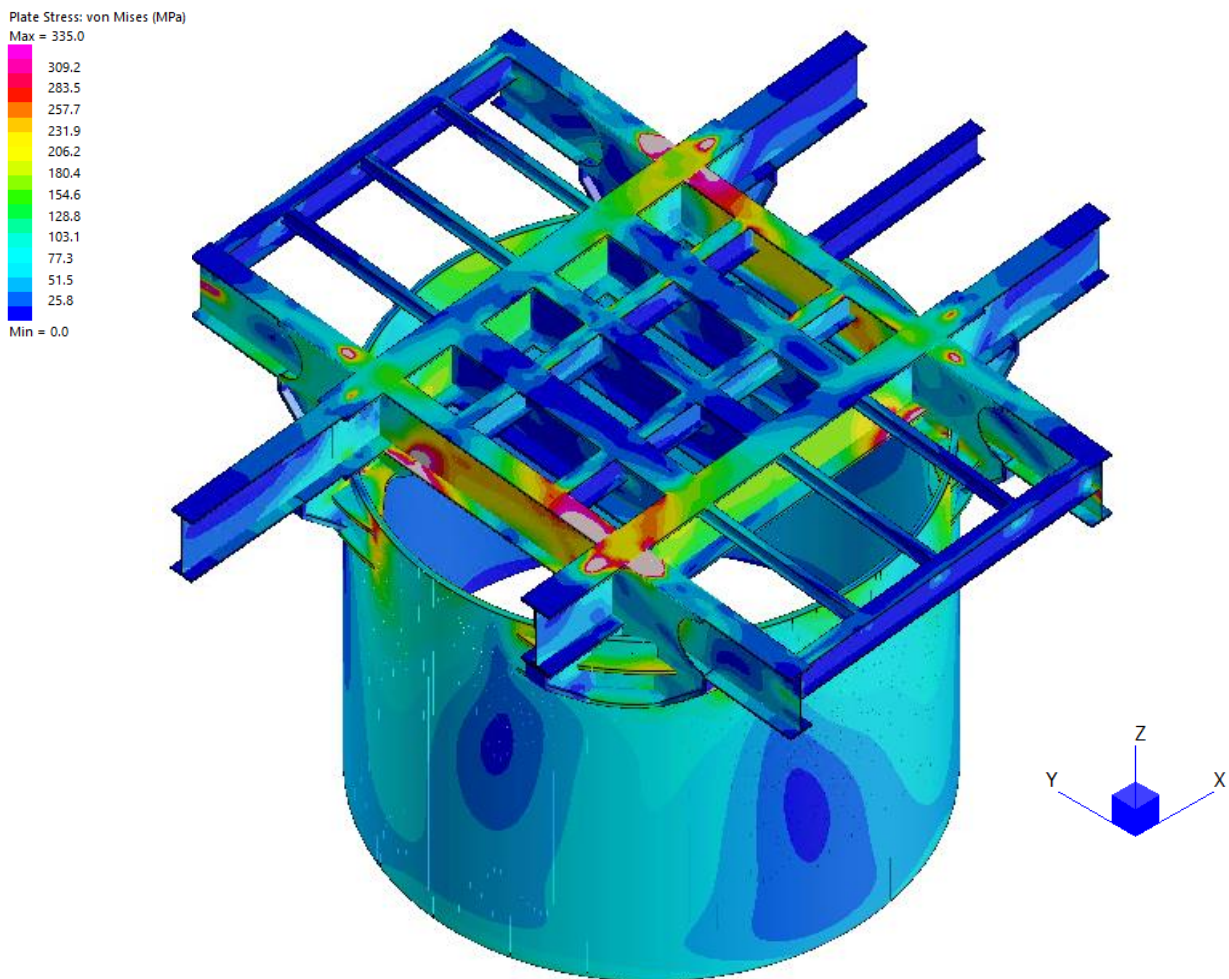


Abbildung 11-7: Spannungsergebnisse, Übersicht

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 117 von 158

Das Spannungsplot von der Anschlussstruktur ist unten dargestellt und bis die erlaubte Spannung von 335.0 MPa skaliert. Die Überspannungen sind in der nächsten Abbildung gezeigt.

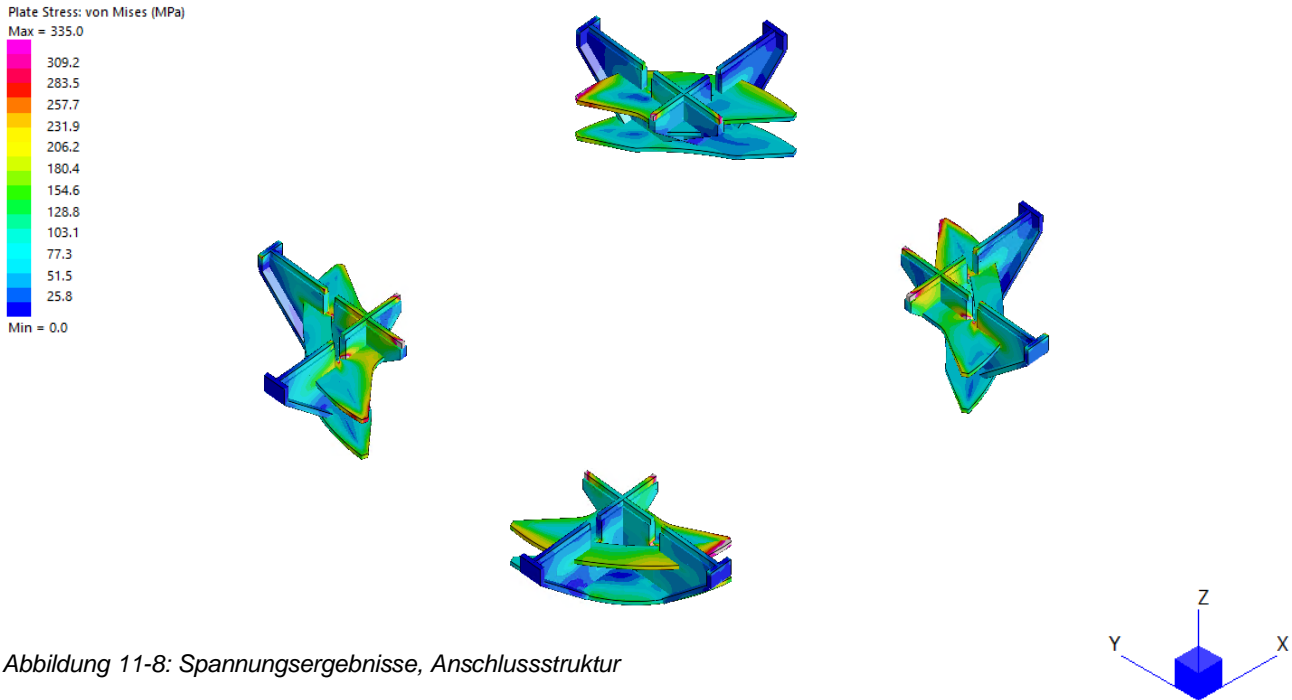


Abbildung 11-8: Spannungsergebnisse, Anschlussstruktur

Die überspannte Bereiche sind lokal und sehr klein. Die Überspannungen sind nur an der Oberflächen der Elemente. Aufgrund der konservativen Annahmen sind sie als unkritisch gesehen.

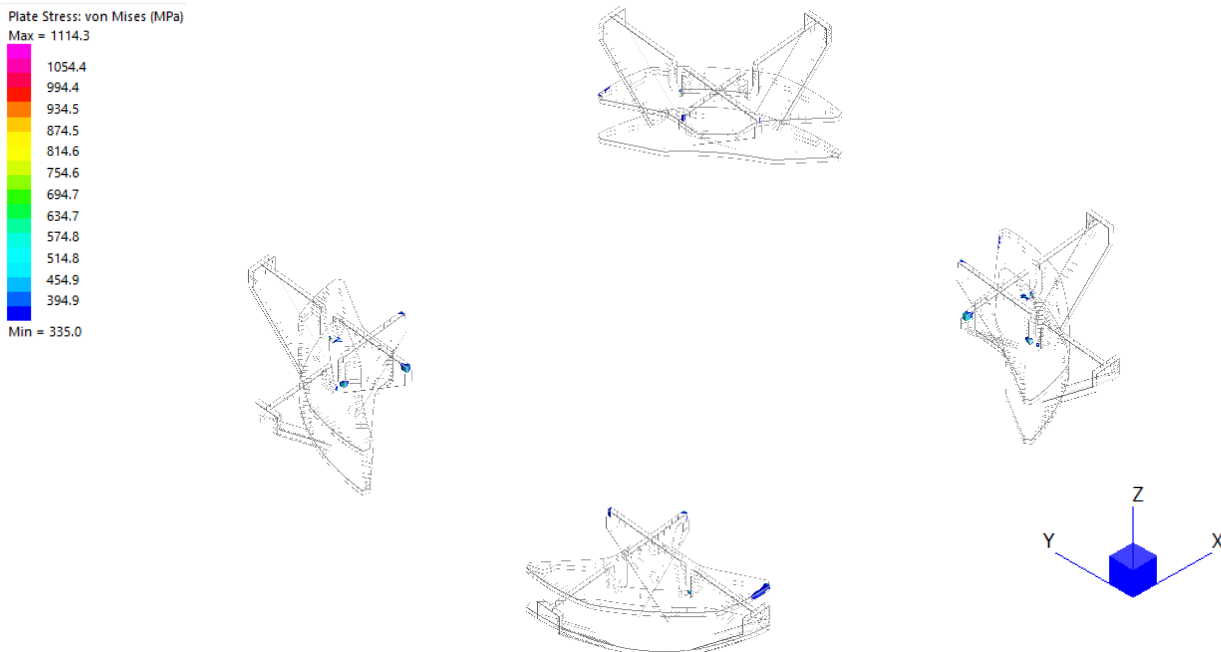


Abbildung 11-9: Überspannungen, Anschlussstruktur

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 118 von 158

Das Spannungsplot von dem Pfahl ist unten dargestellt und bis die erlaubte Spannung von 335.0 MPa skaliert. Die Überspannungen sind in der nächsten Abbildung gezeigt.

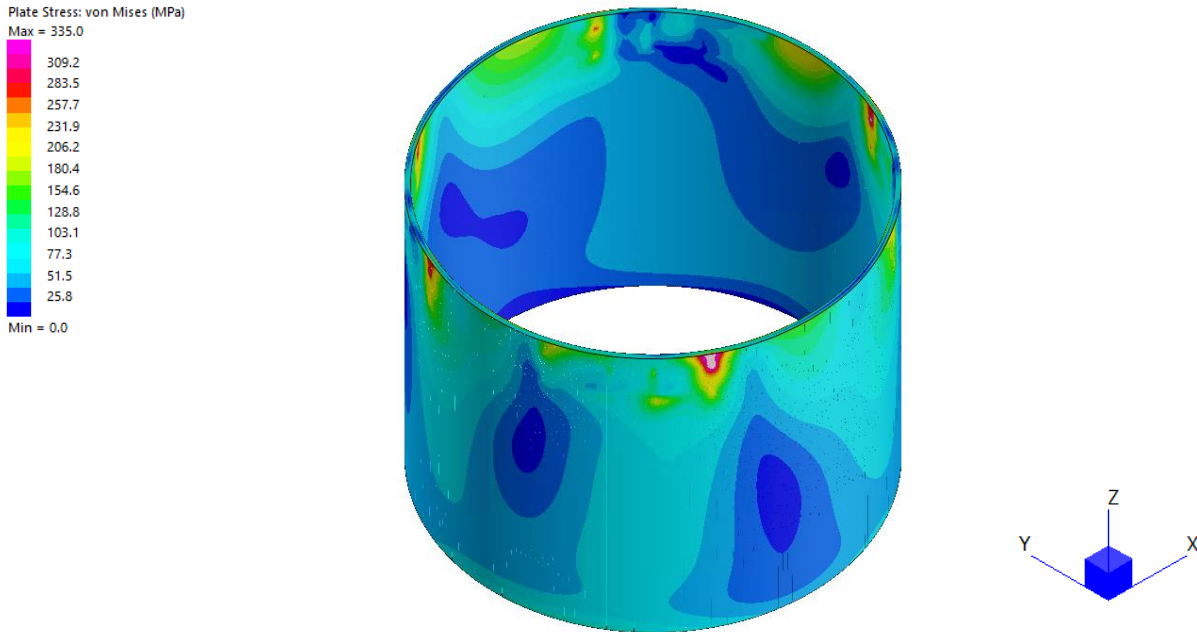


Abbildung 11-10: Spannungsergebnisse, Pfahl

Die überspannte Bereiche sind sehr klein und treten nur an der Oberfläche der Elemente auf. Aufgrund der konservativen Annahmen in der Analyse ist es akzeptabel.

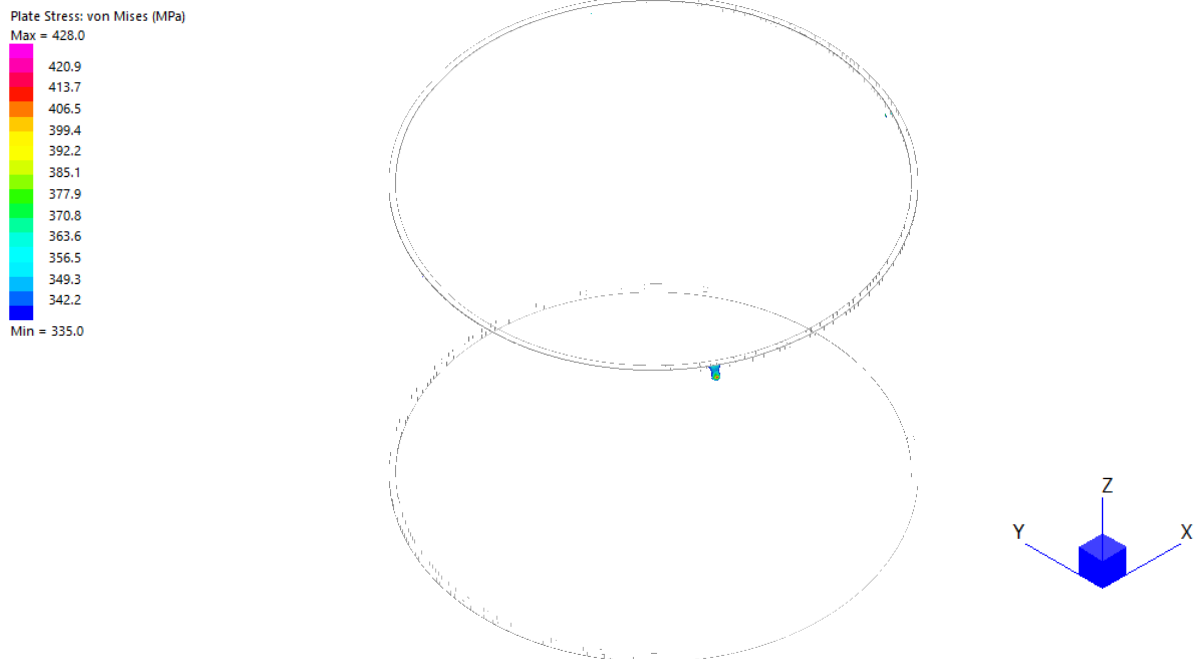


Abbildung 11-11: Überspannungen, Pfahl

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 119 von 158

### 11.2.5 Verformungen

Die maximale Verformung bei den Anschlüssen ist ca. 2 mm und ist vernünftig gesehen.

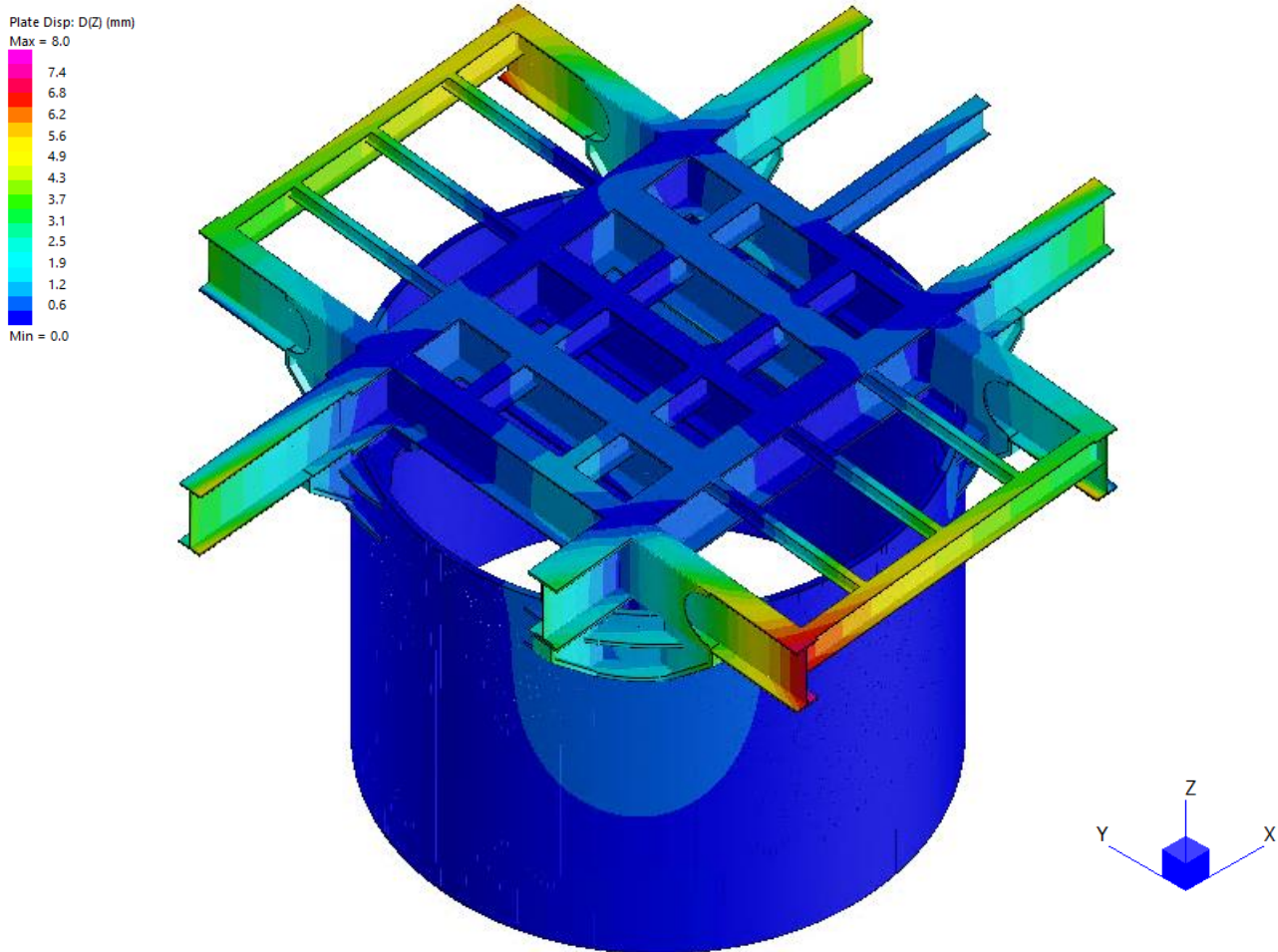







Abbildung 11-12: Verformungen

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 120 von 158

### 11.3 Anschluss von Diagonalen an Pfahl

Zur strukturellen Berechnung der Anschlussstruktur von den Diagonalen und dem Pfahl wird ein FE-Modell mit dem Programm Solidworks [b.] angefertigt.

Für den Nachweis der Anschlussstruktur von der Diagonalen und dem Pfahl unten wird ein Lokalmmodell für diese Verbindung auf eine Plattformecke erstellt. Dieses Modell besteht aus einer Pfahlsektion, der Sektionen von Diagonale und dem Knotenblech.

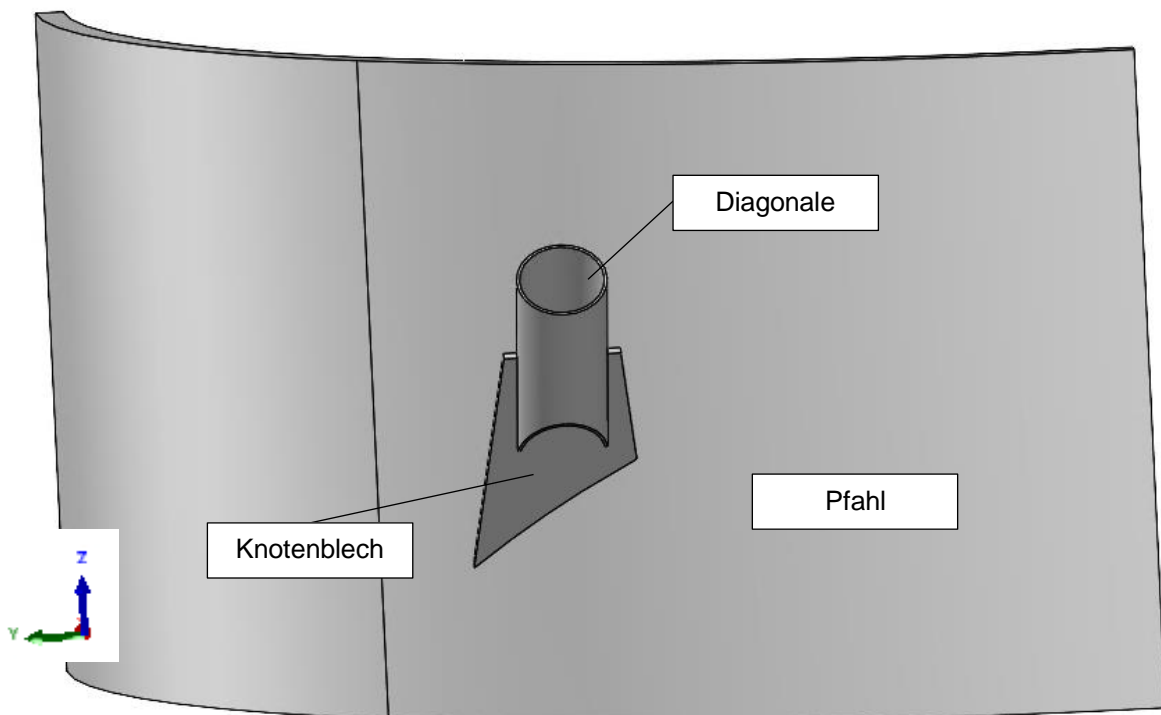


Abbildung 11-13: Detailmodell

Es gibt 6 Modelvariante mit unterschiedlichen Diagonalenquerschnitt:

- Rd193.7x6.3
- Rd193.7x10
- Rd244.5x8
- Rd244.5x12.5
- Rd273x8
- Rd323.9x8



	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 121 von 158

### 11.3.1 Randbedingungen

Das FE-Modell wird an den geschnittenen Pfahlquerschnitten fixiert, wie in der folgenden Abbildung gezeigt.

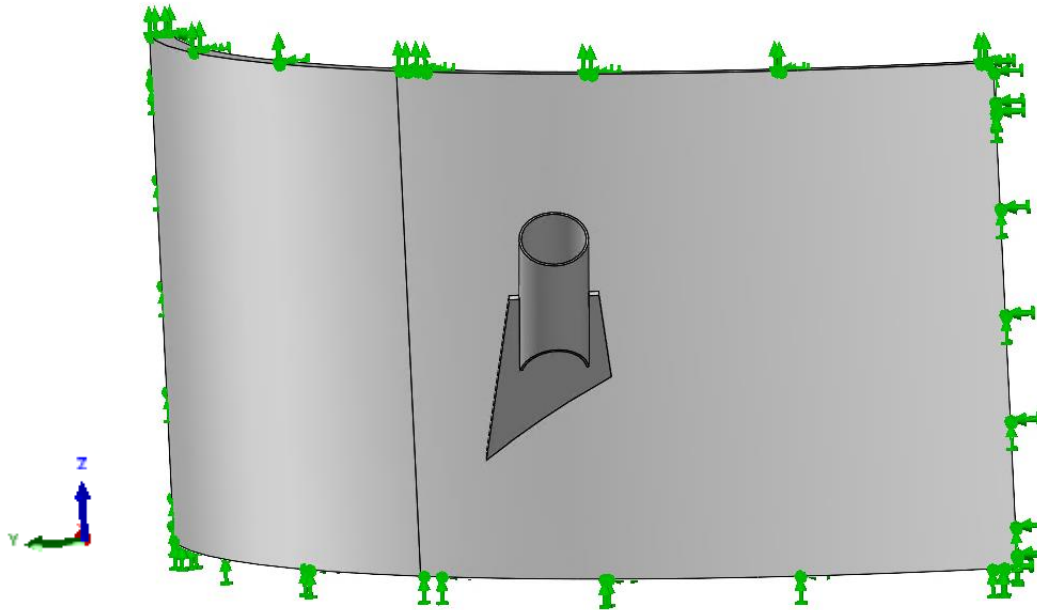


Abbildung 11-14: Randbedingungen

### 11.3.2 Lasten

Die maximale Axialkraft aus der Globalanalyse in Kapitel 9 wird auf das Rohr aufgebracht.

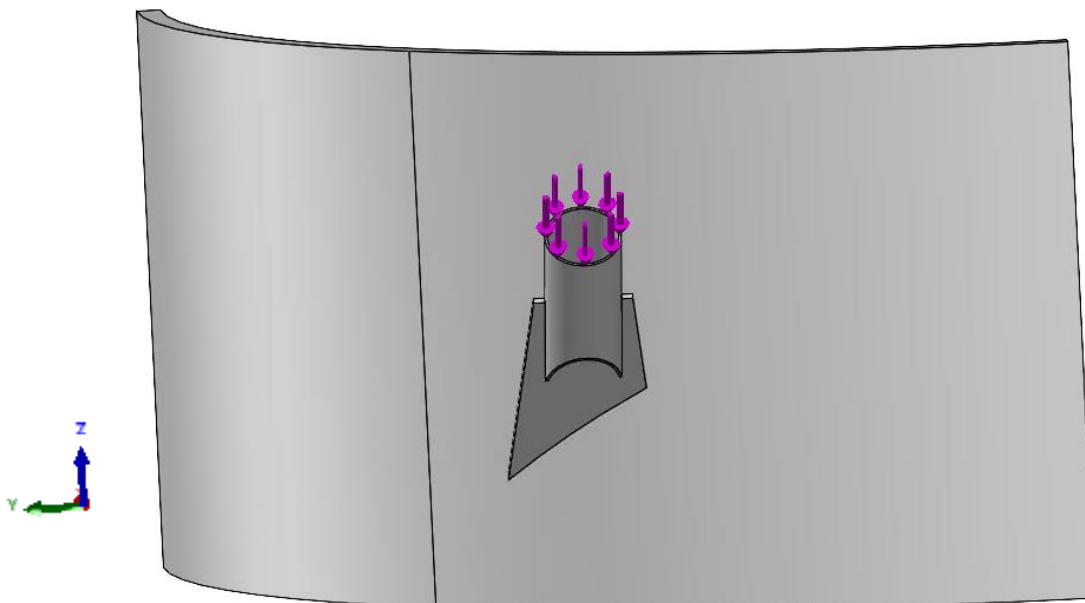


Abbildung 11-15: Lastaufbringung

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 122 von 158

Die maximalen Lasten für jede Diagonal-Querschnitte sind der globalen Rechnung, siehe Kapitel 9 entnommen, und in unteren Tabelle aufgelistet.

Tabelle 11-1: Netzdetails



Diagonalstützen	Maximale Axiallast [kN]
Rd193.7x6.3	492.02
Rd193.7x10	854.32
Rd244.5x8	425.25
Rd244.5x12.5	979.68
Rd273x8	714.74
Rd323.9x8	762.67

### 11.3.3 FE-Netz

Zur Vorbereitung der FE-Analyse wird das Modell mit tetraedrischen Volumenkörperelementen vernetzt. Für das Detailmodell wird ein hochqualitatives Netz angewandt.



Abbildung 11-16: FE-Netz

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 123 von 158

Des Weiteren wird das Seitenverhältnis der einzelnen FE-Elemente betrachtet. Das Seitenverhältnis eines Elements ist definiert als das Verhältnis zwischen der längsten und kürzesten Seite eines Elements. Dementsprechend hat ein perfektes tetraedrisches Element ein Seitenverhältnis von 1,0. Im Idealfall haben alle Elemente ein Seitenverhältnis von 1,0, um die beste numerische Lösung zu erhalten. Dies ist auf Grund der Struktur nicht möglich. Im Bereich der Lager ist das Seitenverhältnis aller Elemente  $< 5$  und wird daher als gut angesehen.

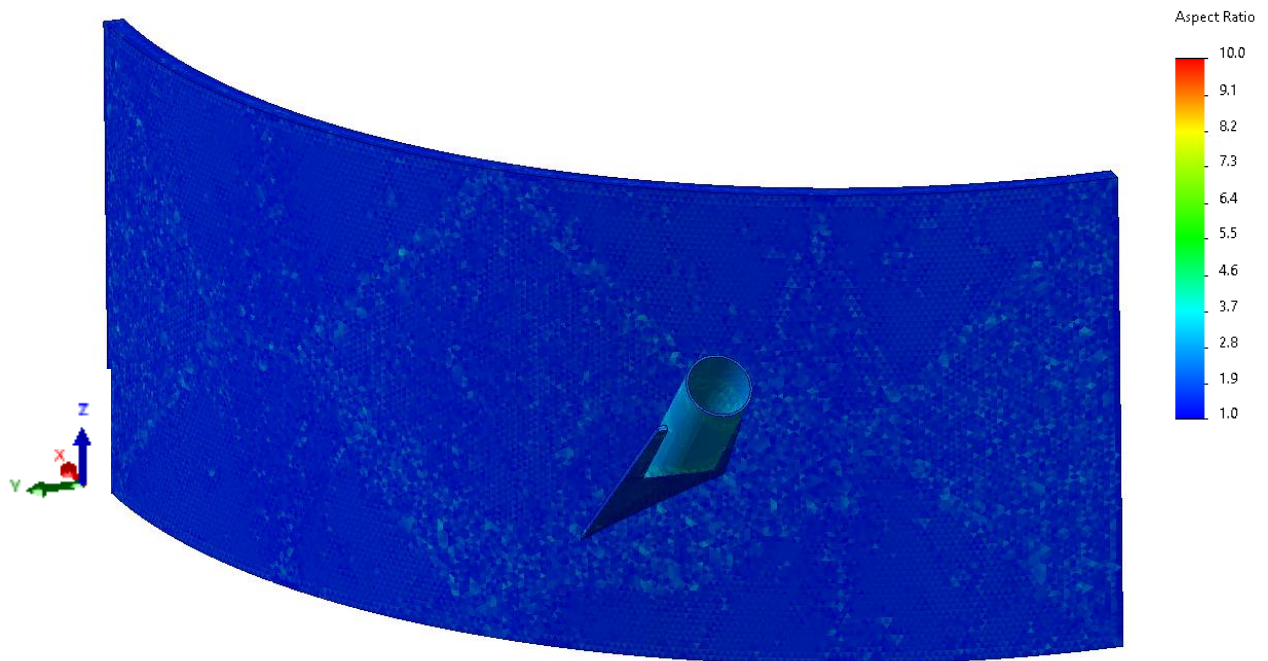


Abbildung 11-17: FE-Netz – Seitenverhältnis der Elemente

Allgemein wird eine gute Netzqualität durch folgendes definiert:

- Ein geringes maximales Seitenverhältnis  $< 10$
- Ein hoher Prozentsatz mit einem Seitenverhältnis  $< 3$
- Ein geringer Prozentsatz mit einem Seitenverhältnis  $> 10$

Die Netzinformationen für das FE-Netz sind in der folgenden Tabelle gegeben. Es zeigt sich, dass das Netz von guter Qualität ist.

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 124 von 158

Table 11-2: Netzdetails

Beschreibung	Anschluss
Netztyp	Volumen-Netz
Verwendeter Netzgenerator	Kurvengestütztes Misch-Netz
Jakobi-Punkte	16
Max. Elementgröße	20 mm
Min. Elementgröße	20 mm
Netzqualität	Hoch (10 Knoten)
Anzahl Knoten	463.784
Anzahl Elemente	299.250
Max. Seitenverhältnis	6,15
Anteil Elemente mit Seitenverhältnis < 3	99,7
Anteil Elemente mit Seitenverhältnis > 10	0

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 125 von 158

### 11.3.4 Ergebnisse

In den folgenden Kapiteln werden die resultierenden Spannungen und Verformungen für die Anschlüsse gezeigt.

### 11.3.5 Spannungsergebnisse

Die folgenden Spannungsplots zeigen den Verlauf der von Mises-Spannungen. Der maßgebende Stützen ist der Rd244,5x12,5.

In der folgenden Abbildung ist das Spannungsplot von dem Anschluss bis die erlaubte Spannung von 345.0 MPa skaliert. Die Überspannungen sind in der nächsten Abbildung gezeigt.

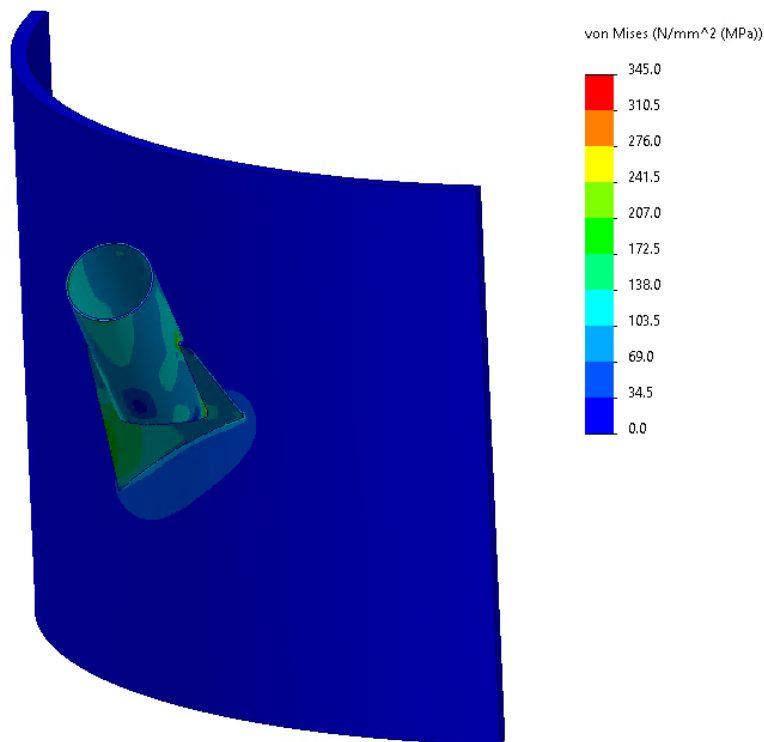


Abbildung 11-18: Spannungsergebnisse

Die leicht überspannte Bereiche sind sehr klein und akzeptabel angenommen.

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 126 von 158

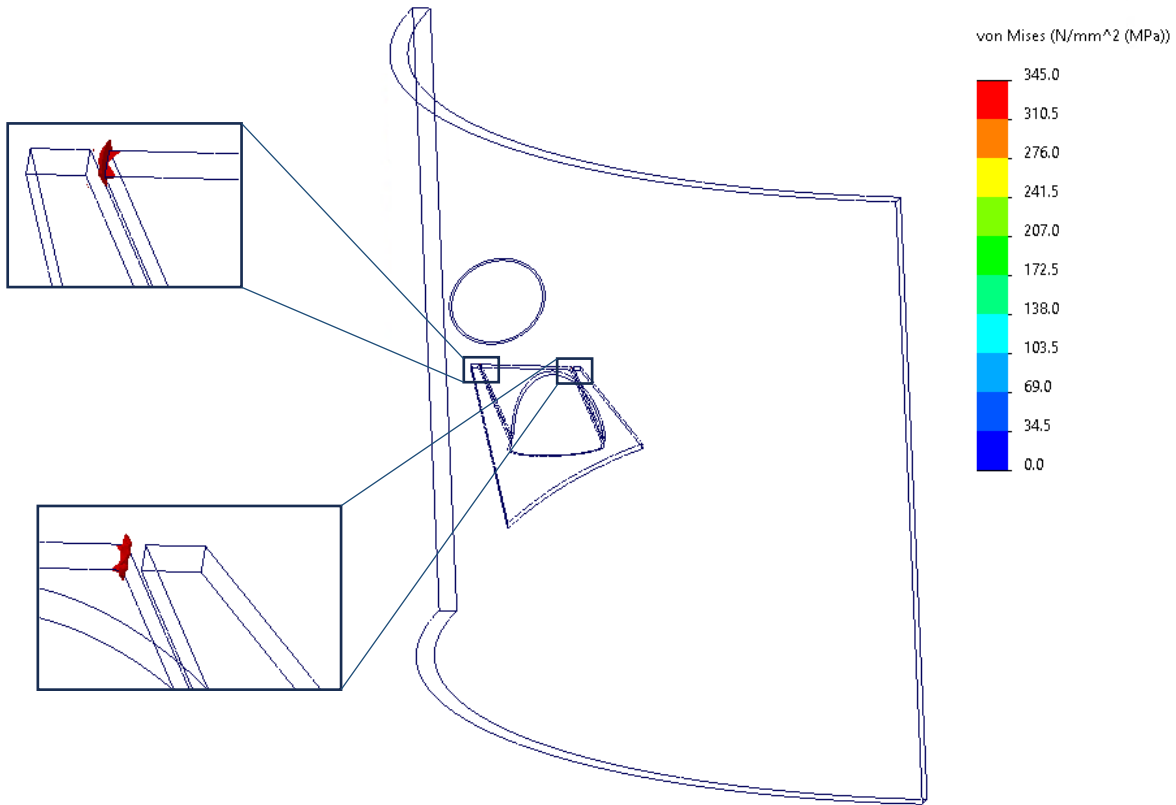


Abbildung 11-19: Überspannungen

### 11.3.6 Verformungen

Die maximale Verformung von dem Anschluss ist 1 mm und ist vernünftig gesehen.

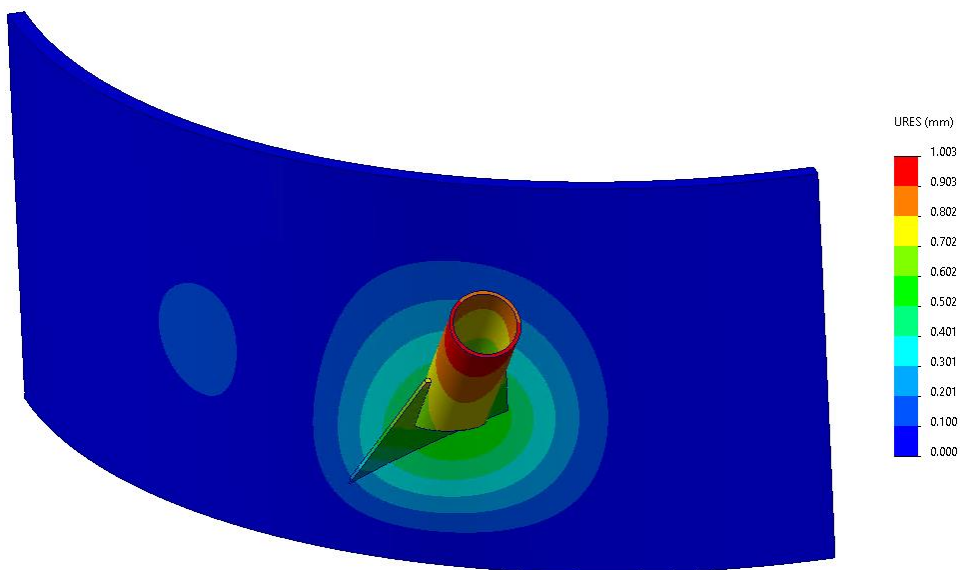


Abbildung 11-20: Verformungen

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 127 von 158

## 12 Typischer Brückenlager

### 12.1 Allgemeines

Für die Plattformen wird zwischen zwei Lagern unterschieden. Es gibt je Brücke ein Gleitlager und ein unverschiebliches Gelenklager. Je nach Anordnung ist es aber möglich, dass sich auf einer Plattform zwei Gleitlager oder zwei Gelenklager oder jeweils eins der Lager befinden. Die Lager sind typisch für alle Brücke außer Brücke 4. Die Brücke 4 wird in Kapitel 13 aufgrund der signifikant höher Reaktionslasten gesondert analysiert.

### 12.2 Strukturelle Berechnung

Zur strukturellen Berechnung der Lager wird jeweils ein FE-Modell mit dem Programm Solidworks [a.] angefertigt.

#### 12.2.1 Gleitlager

Das Gleitlager besteht aus einer in Brückenlängsrichtung verlaufenden Schiene in der sich ein am brückenseitigen Pin befestigter Schlitten bewegen kann. So wird eine translatorische Bewegung in Brückenquerrichtung eingeschränkt und die Größe der seitlichen Vertikal-Auflagerflächen reduziert. An den Seiten befindet sich jeweils eine Gleitplatte.

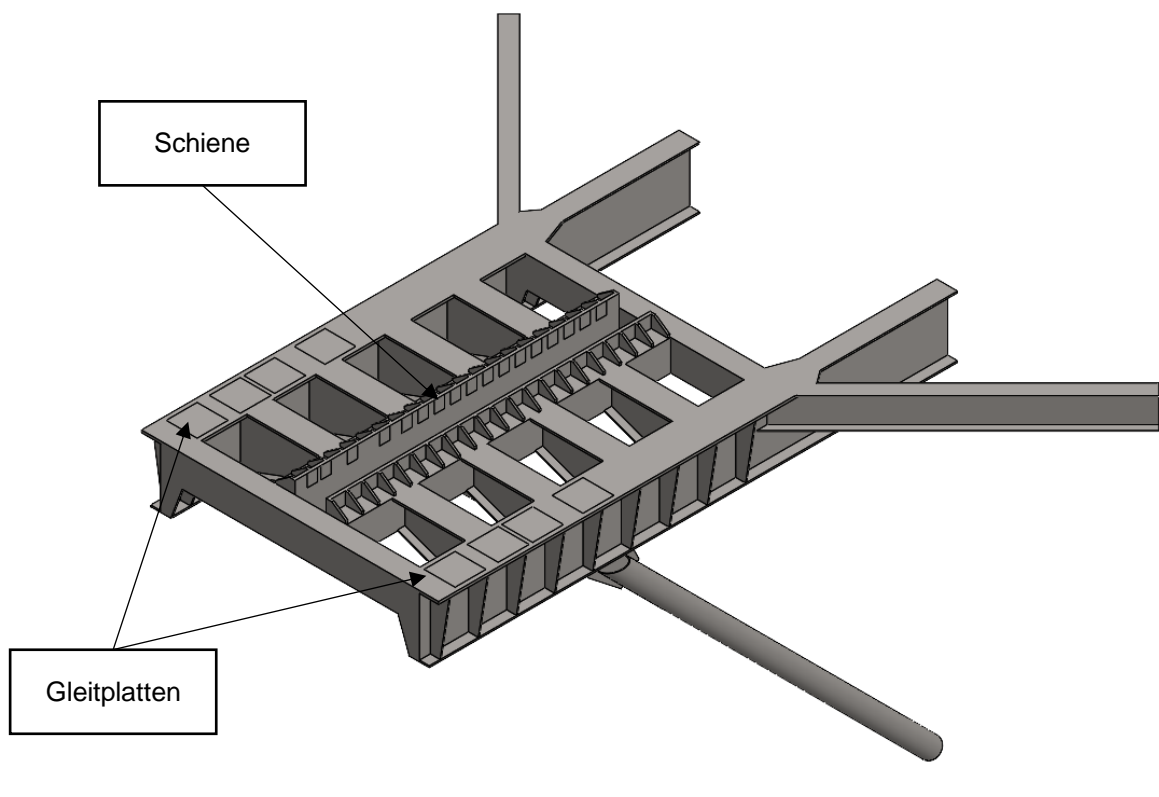


Abbildung 12-1: Gleitlager

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 128 von 158

### 12.2.2 Gelenklager

Das Gelenklager besteht aus einer Hülse für den Pin sowie zwei seitlich angeordneten Gleitplatten.

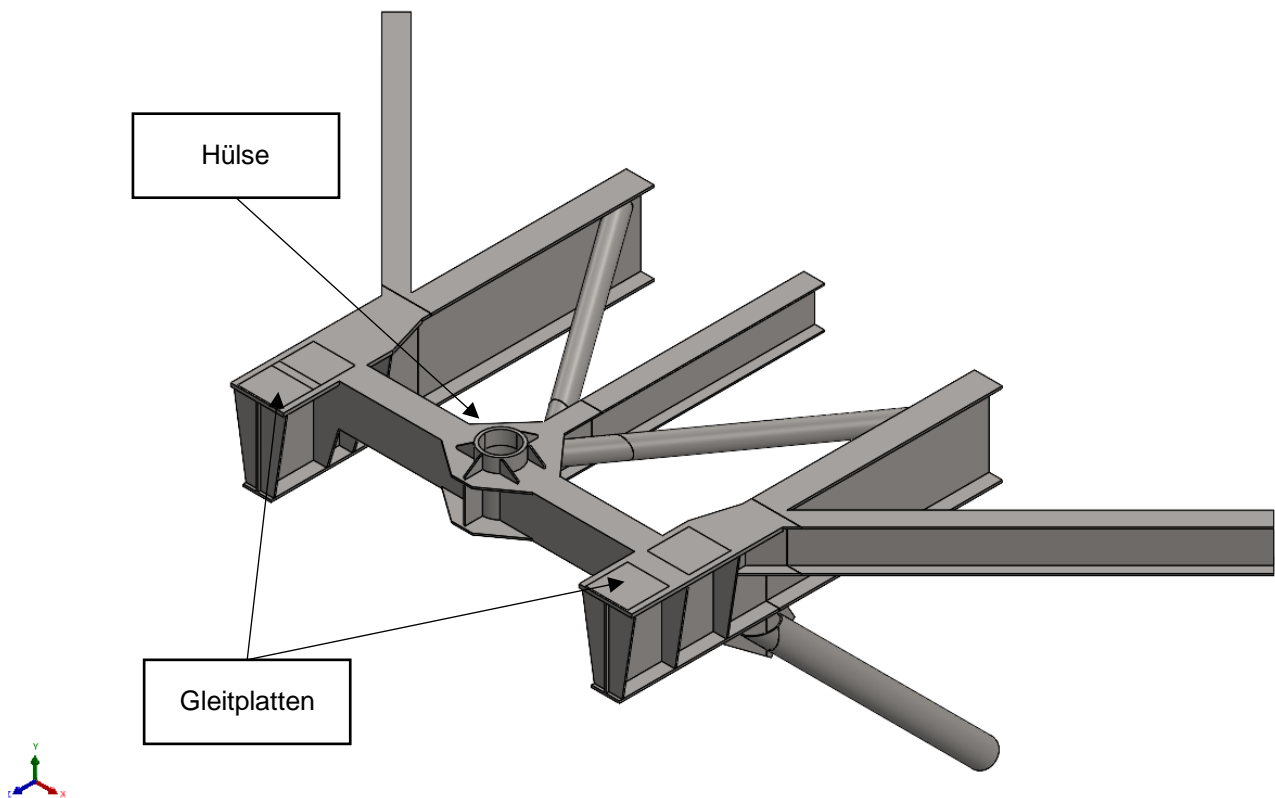


Abbildung 12-2: Gelenklager



  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 129 von 158

### 12.2.3 Randbedingungen

Die FE-Modelle werden an den geschnittenen Querschnitten fixiert, außer an den Stützen, die zum Pfahl zeigen, diese sind ausschließlich in axialer Richtung gehalten.

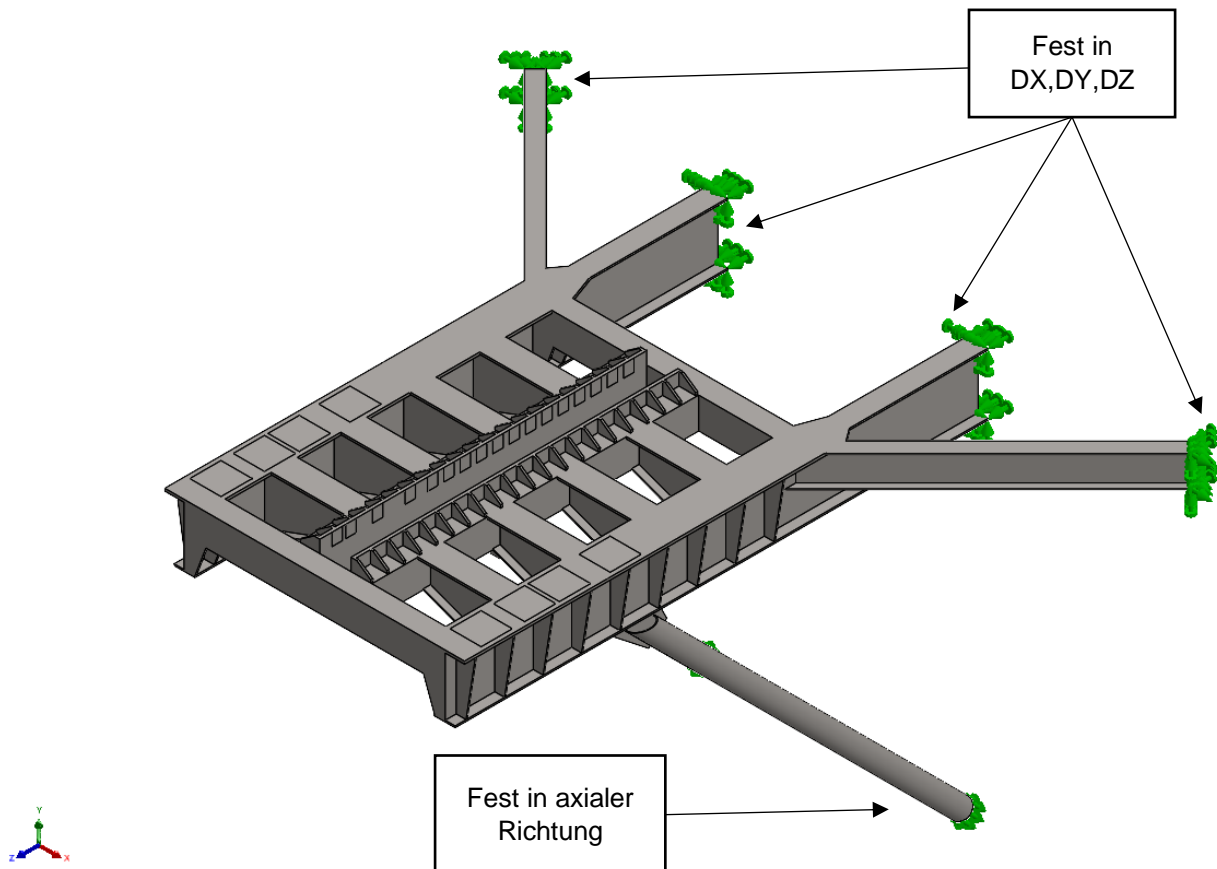


Abbildung 12-3: Randbedingungen Gleitlager

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 130 von 158

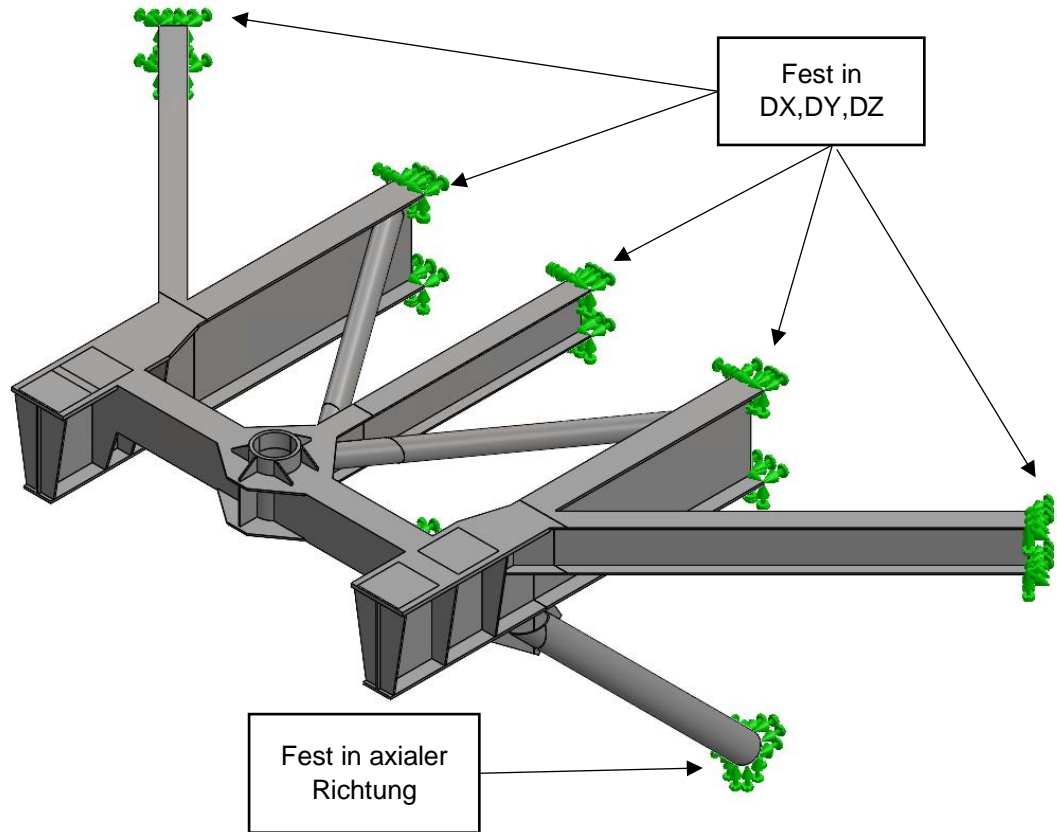


Abbildung 12-4: Randbedingungen Gelenklager

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 131 von 158

#### 12.2.4 Lasten

Die folgende Designlasten werden auf die vertikalen Auflager sowie die Pin-Hülse bzw. die Schiene aufgebracht. Die Lasten decken die Reaktionslasten für alle Brücke außer Brücke 4 (siehe auch Kapitel 9.4.7).

Tabelle 12-1: DesignLasten für die Brückenlager

Reaktionslasten	Designlast [kN]
Vertikal (Druck)	520
Horizontal (y-Richtung)	320
Horizontal (x-Richtung)	156

Die vertikale Last (grün) sowie die horizontale Reibkraft werden auf den Gleitplatten aufgebracht. Die horizontale Last in der Pin-Hülse bzw. Schiene (orange) wird nur in der Kontaktfläche oberhalb TOS der Plattform angenommen.

Für das Gleitlager werden vier verschiedene Positionen untersucht um alle Steifigkeiten abzubilden.

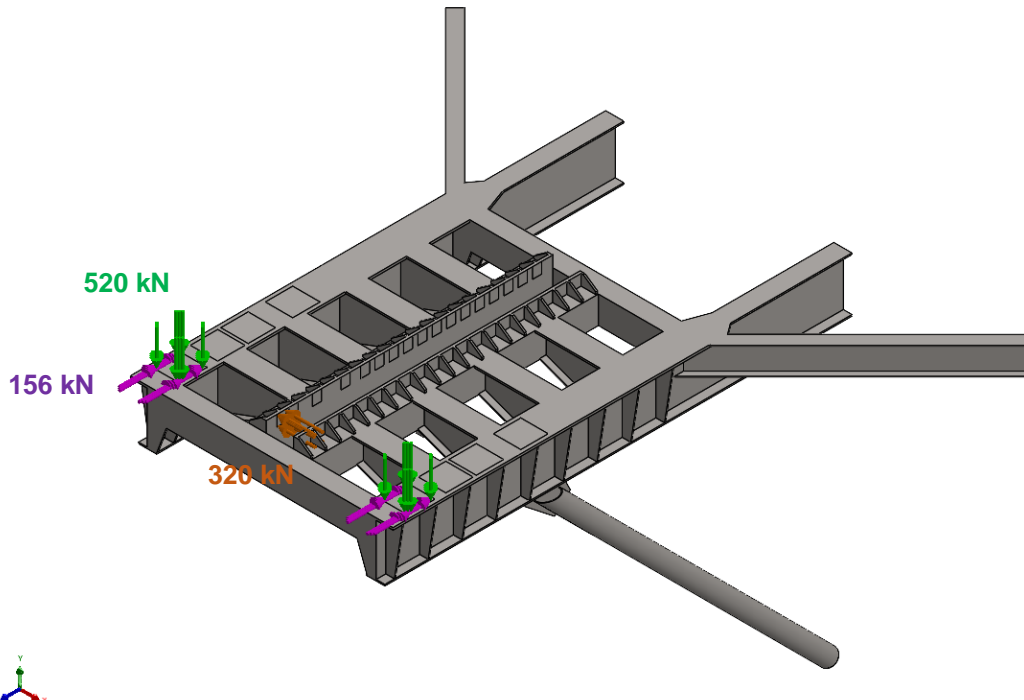


Abbildung 12-1: Lastaufbringung Gleitlager – Position 1

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 132 von 158

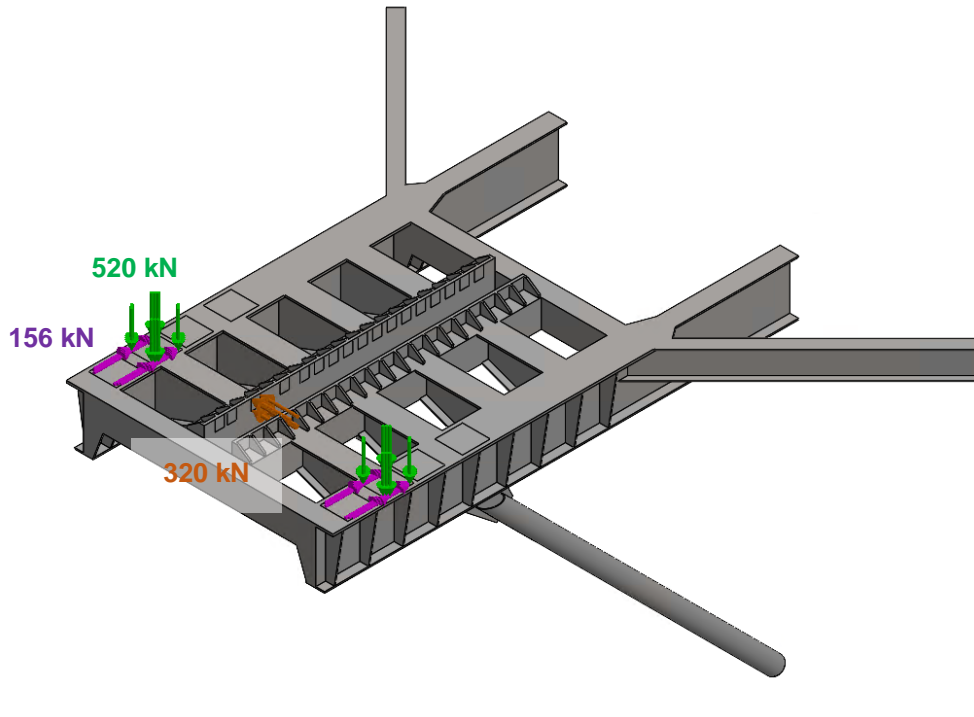


Abbildung 12-2: Lastaufbringung Gleitlager – Position 2

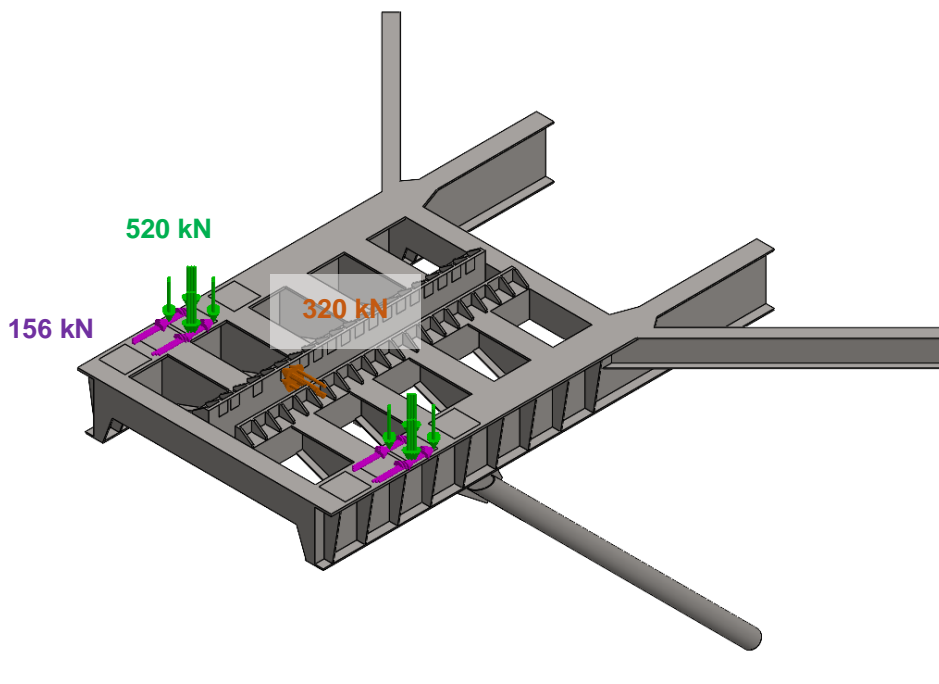


Abbildung 12-3: Lastaufbringung Gleitlager – Position 3

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 133 von 158

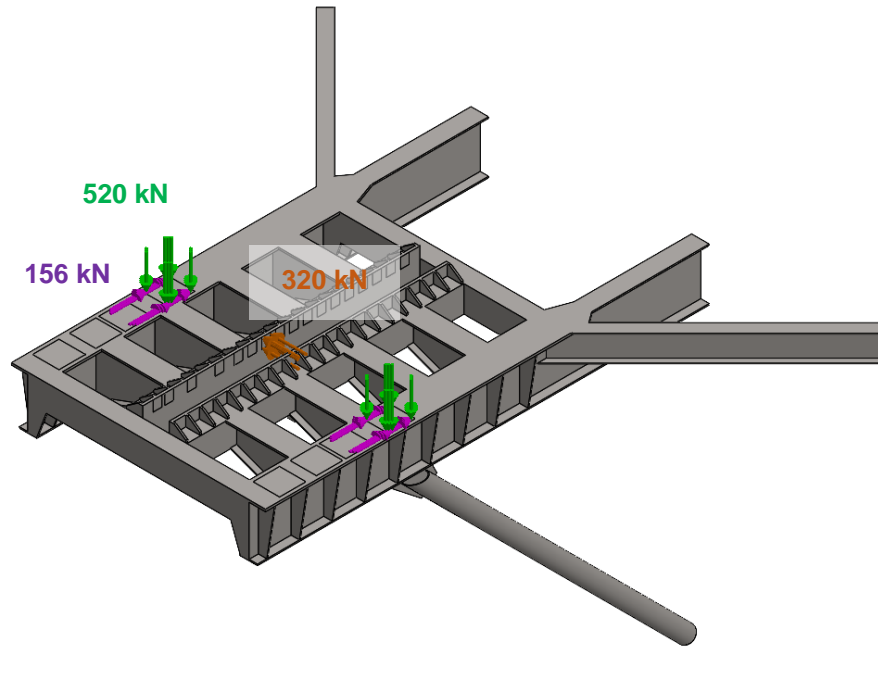


Abbildung 12-4: Lastaufbringung Gleitlager – Position 4

Für das Gelenklager werden zwei Positionen untersucht. Die Horizontalkraft am Pin wird einmal in Brückenlängsrichtung (Position 1) und in Brückenquerrichtung (Position 2) aufgebracht.

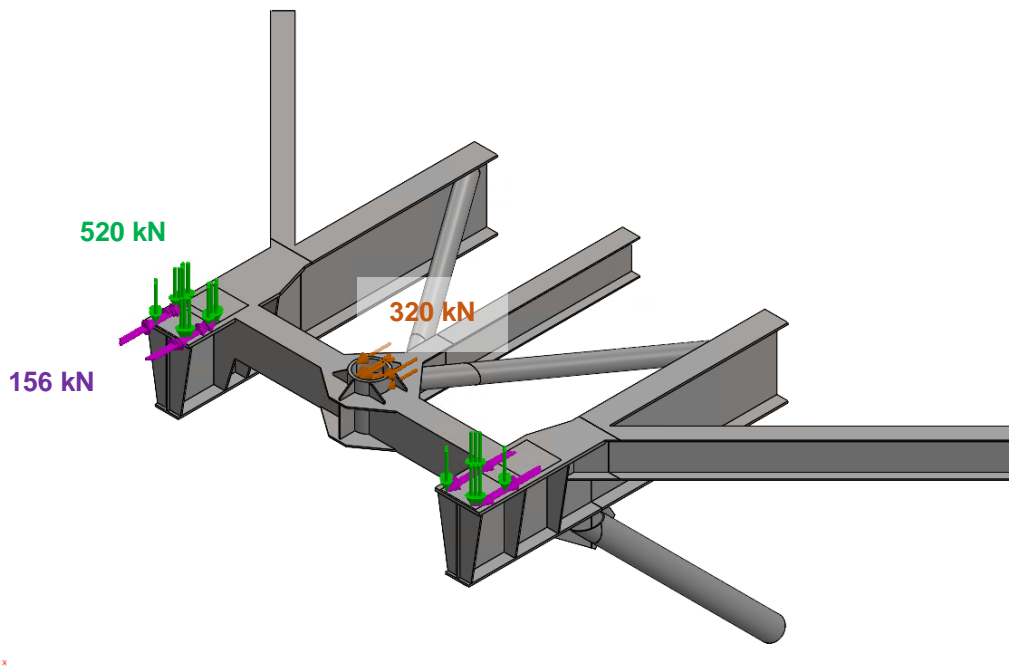


Abbildung 12-5: Lastaufbringung Gelenklager – Position 1

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 134 von 158

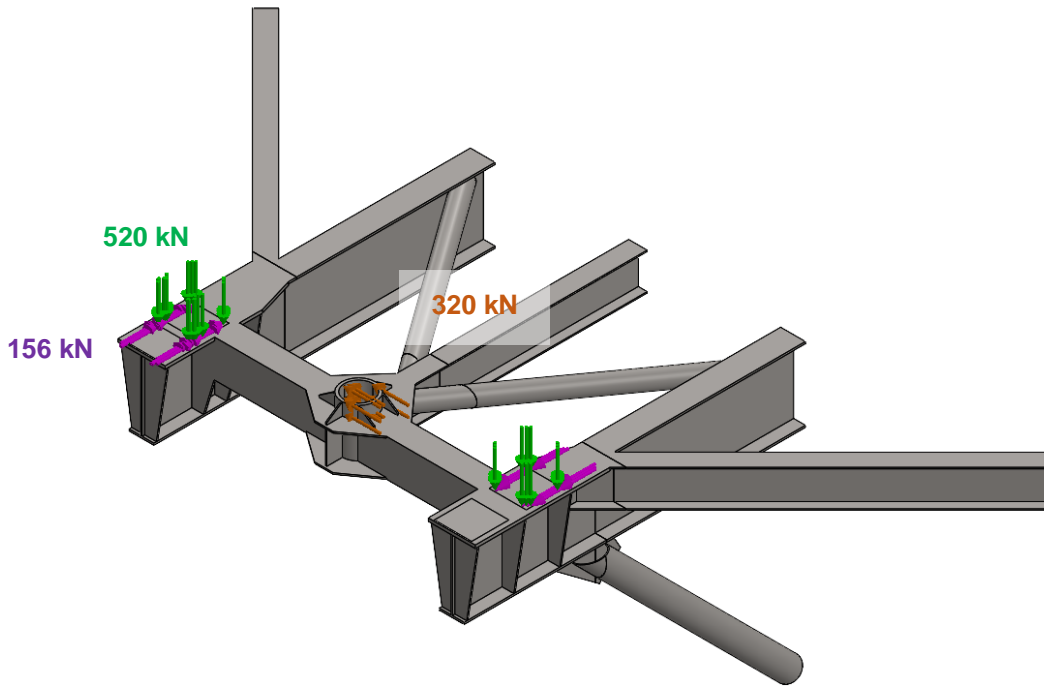


Abbildung 12-6: Lastaufbringung Gelenklager – Position 2

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 135 von 158

### 12.2.5 FE-Netz

Zur Vorbereitung der FE-Analyse wird das Modell mit tetraedrischen Volumenkörperelementen vernetzt. Für die beiden FE-Modelle wird ein hochqualitatives Netz angewandt.

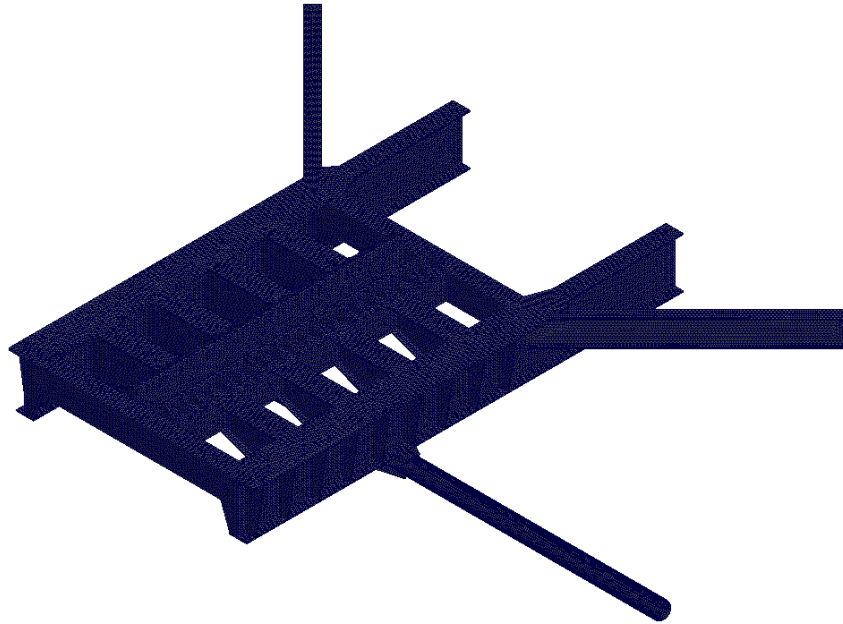


Abbildung 12-5: FE-Netz Gleitlager

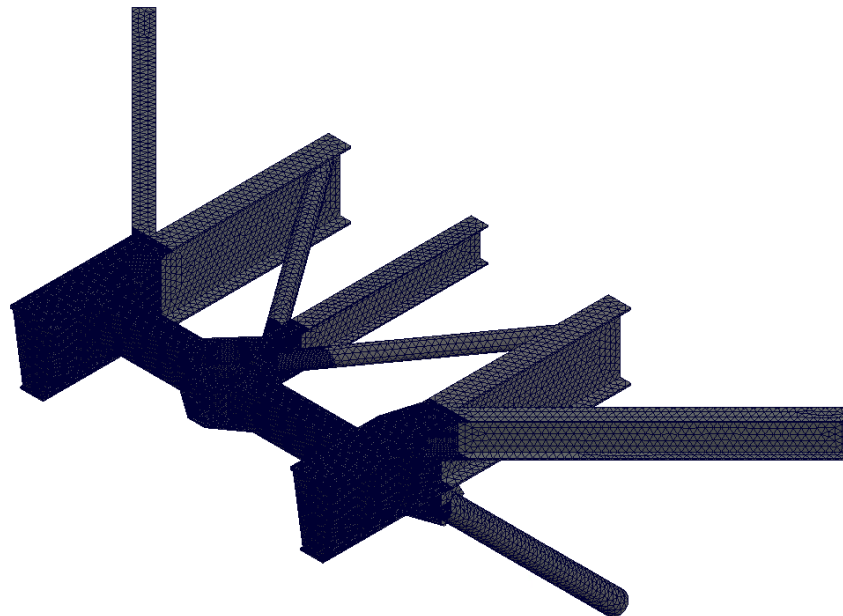


Abbildung 12-6: FE-Netz Gelenklager

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 136 von 158

Des Weiteren wird das Seitenverhältnis der einzelnen FE-Elemente betrachtet. Das Seitenverhältnis eines Elements ist definiert als das Verhältnis zwischen der längsten und kürzesten Seite eines Elements. Dementsprechend hat ein perfektes tetraedrisches Element ein Seitenverhältnis von 1,0. Im Idealfall haben alle Elemente ein Seitenverhältnis von 1,0, um die beste numerische Lösung zu erhalten. Dies ist auf Grund der Struktur nicht möglich. Im Bereich der Lager ist das Seitenverhältnis aller Elemente  $< 5$  und wird daher als gut angesehen.

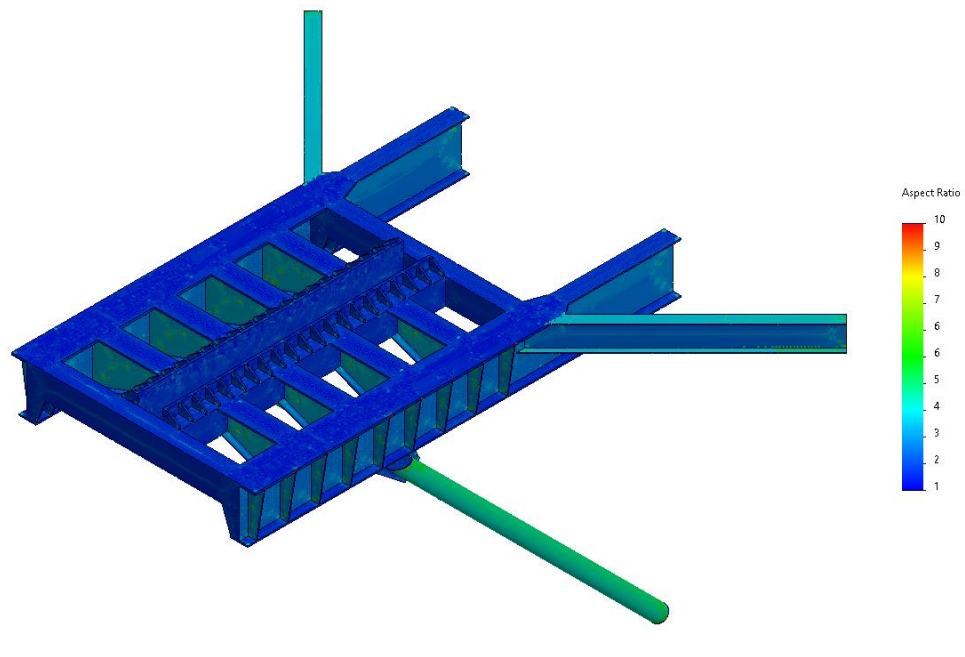


Abbildung 12-7: FE-Netz, Seitenverhältnis der Elemente - Gleitlager

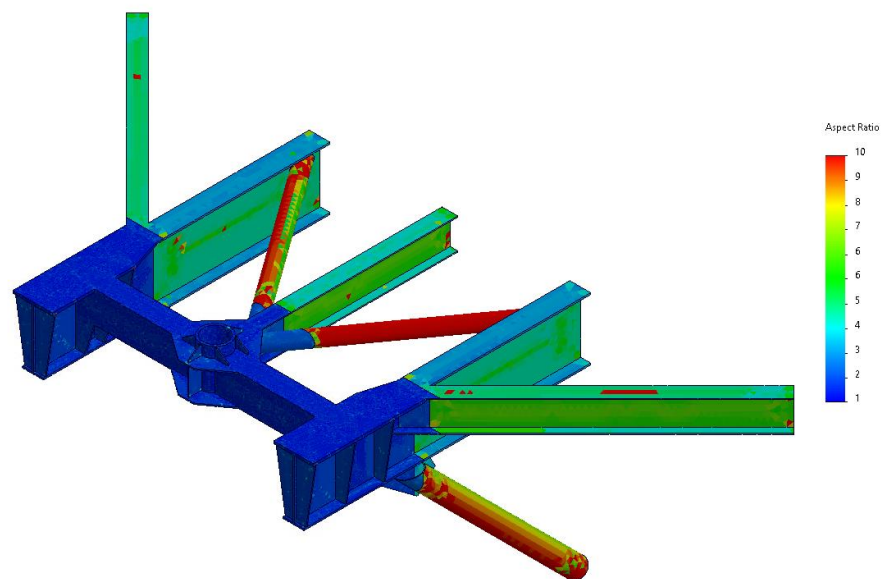


Abbildung 12-8: FE-Netz, Seitenverhältnis der Elemente - Gelenklager



  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 137 von 158

Allgemein wird eine gute Netzqualität durch folgendes definiert:

- Ein geringes maximales Seitenverhältnis  $< 10$
- Ein hoher Prozentsatz mit einem Seitenverhältnis  $< 3$
- Ein geringer Prozentsatz mit einem Seitenverhältnis  $> 10$

Die Netzinformationen für das FE-Netz sind in der folgenden Tabelle gegeben. Es zeigt sich, dass das Netz von guter Qualität ist.

Tabelle 12-2: Netzdetails

Beschreibung	Gleitlager	Gelenklager
Netztyp	Volumen-Netz	Volumen-Netz
Verwendeter Netzgenerator	Kurvengestütztes Misch-Netz	Kurvengestütztes Misch-Netz
Jakobi-Punkte	16	16
Max. Elementgröße	30 mm	50 mm
Min. Elementgröße	15 mm	25 mm
Netzqualität	Hoch (10 Knoten)	Hoch (10 Knoten)
Anzahl Knoten	607193	839531
Anzahl Elemente	304292	517412
Max. Seitenverhältnis	81,062	32,401
Anteil Elemente mit Seitenverhältnis $< 3$	72,9	94,1
Anteil Elemente mit Seitenverhältnis $> 10$	0,09	0,391

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 138 von 158

### 12.3 Ergebnisse

In den folgenden Unterkapiteln werden die resultierenden Spannungen und Verformungen für die plattformseitigen Lager gezeigt. Die Detailmodelle untersuchen nur die strukturelle Festigkeit der Lager nicht der angrenzenden Struktur. Daher können außerhalb der Lager Überspannungen auftreten, die aber auf die Randbedingungen zurückzuführen und nicht Teil dieser Analyse sind.

#### 12.3.1 Spannungsergebnisse

Die folgenden Spannungsplots zeigen den Verlauf der von Mises-Spannungen. Die Plots sind auf die erlaubte Spannung von 345 MPa skaliert.

##### Gleitlager

Für das Gleitlager sind die Spannungen für Position 3 am kritischsten. Die auftretenden Spannungen im Bereich der Lager sind moderat. An den Gleitplatten treten minimale Überspannungen auf, welche als nicht kritisch angesehen werden, da es sich um Druckspannungen in einem eng begrenzten Bereich handelt.

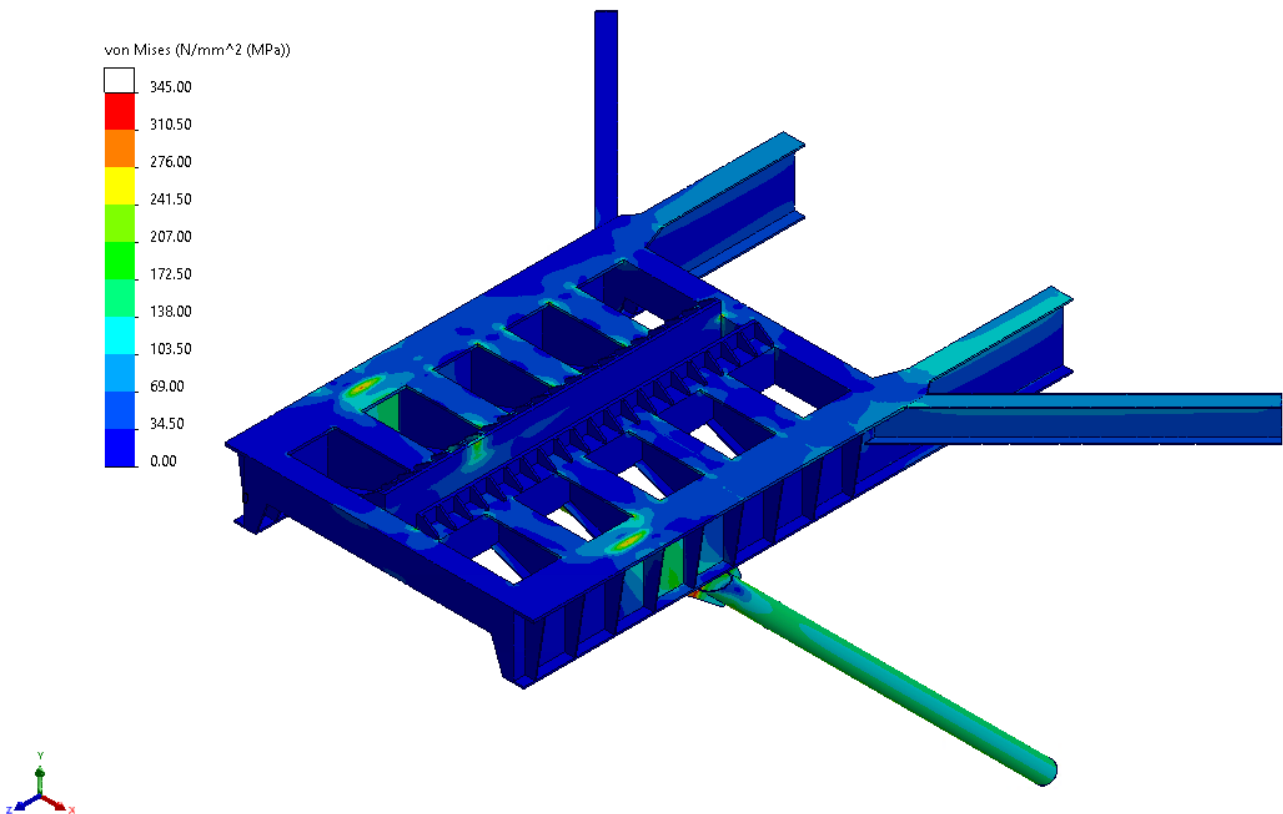


Abbildung 12-9: Spannungsergebnisse Gleitlager- Position 3

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 139 von 158

### Gelenklager

Die höhere Auslastung tritt für Position 1 auf, daher werden im Folgenden nur diese Ergebnisse gezeigt. Die auftretenden Spannungen im Bereich der Lager sind moderat.

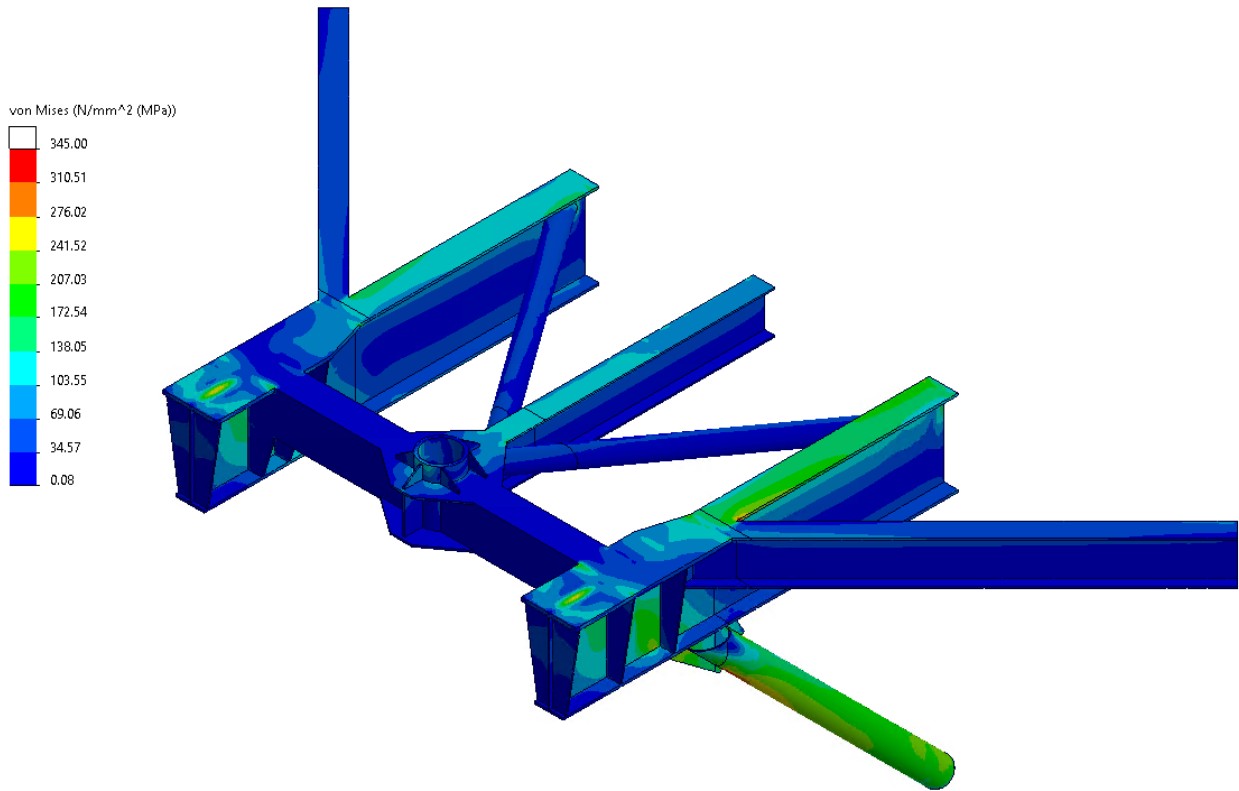


Abbildung 12-10: Spannungsergebnisse - Detailmodell der Brückenlager

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 140 von 158

### 12.3.2 Verformungen

#### Gleitlager

Die Verformung ist für die Position 1 mit 39 mm am größten und im Folgenden dargestellt.

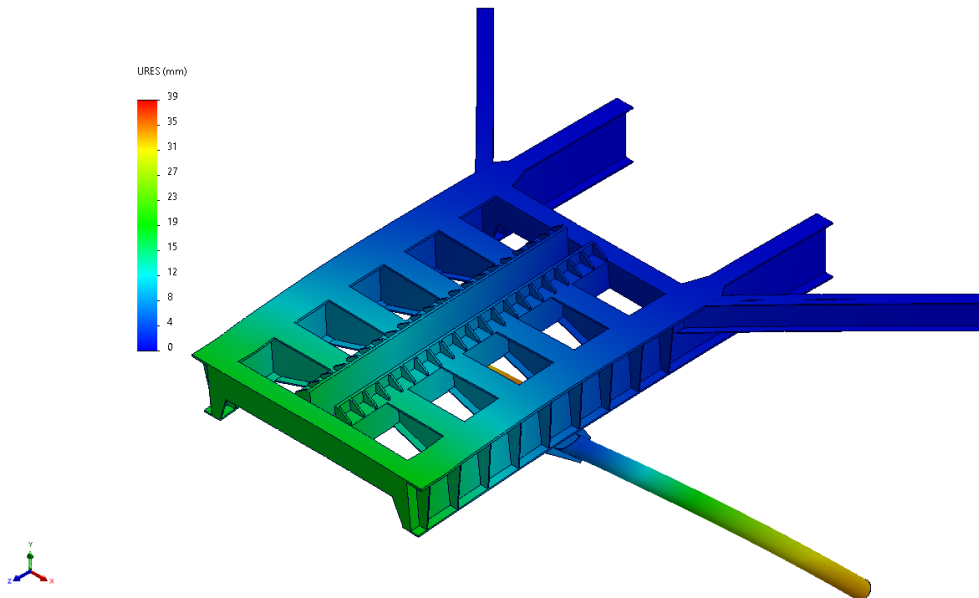


Abbildung 12-11: Verformungen Gleitlager - Position 1

#### Gelenklager

Die maximale Verformung an den Lagern tritt für Position 1 auf und beträgt 7,4 mm und ist in der folgenden Abbildung gezeigt.

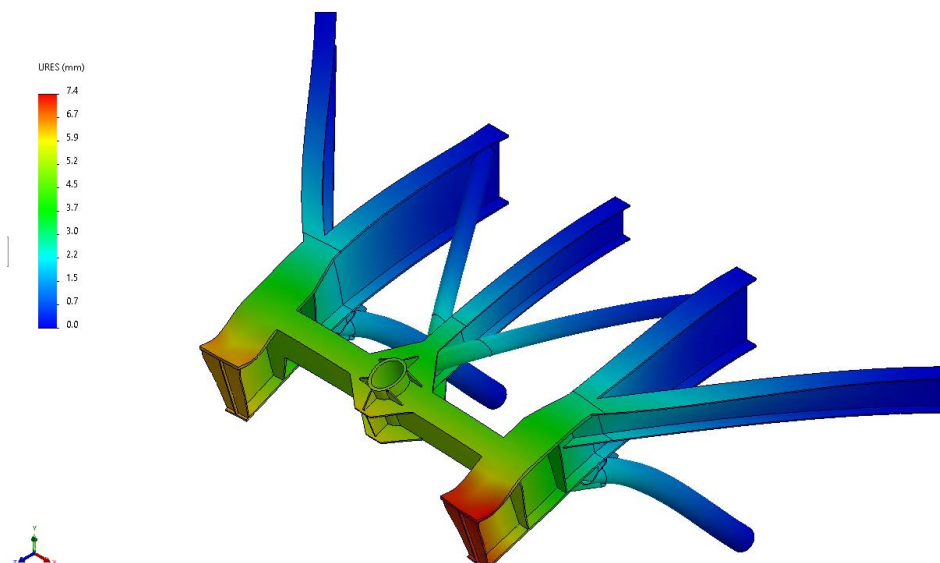


Abbildung 12-12: Verformungsergebnisse Gelenklager (Verformungsrate 88.6)

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 141 von 158

## 13 Brückenlager für Brücke B4

### 13.1 Allgemeines

Wie bereits in Kapitel 12 erwähnt werden die Brückenlager für Brücke 4 aufgrund hoher Reaktionslasten gesondert nachgewiesen. Nur Gelenklager wird analysiert. Das Gleitlager für Brücke B4 auf Dalben BD2 wird in der nächsten Revision berücksichtigt.

### 13.2 Strukturelle Berechnung

Zur strukturellen Berechnung der Lager wird jeweils ein FE-Modell mit dem Programm Solidworks [a.] angefertigt.

#### 13.2.1 Gelenklager

Das Gelenklager besteht aus einer Hülse für den Pin sowie zwei seitlich angeordneten Gleitplatten.

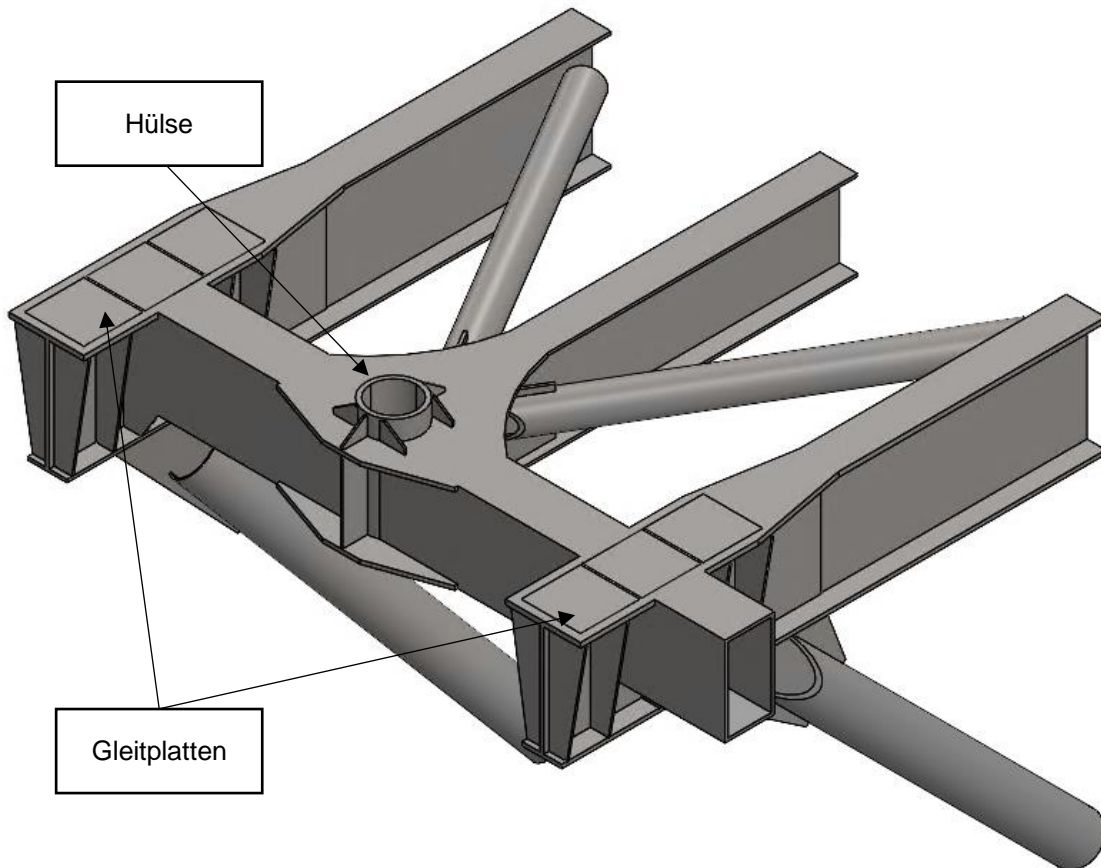


Abbildung 13-1: Gelenklager B4

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 142 von 158

### 13.2.2 Randbedingungen

Die FE-Modelle werden an den geschnittenen Querschnitten fixiert, außer an den Stützen, die zum Pfahl zeigen, diese sind ausschließlich in axialer Richtung gehalten.

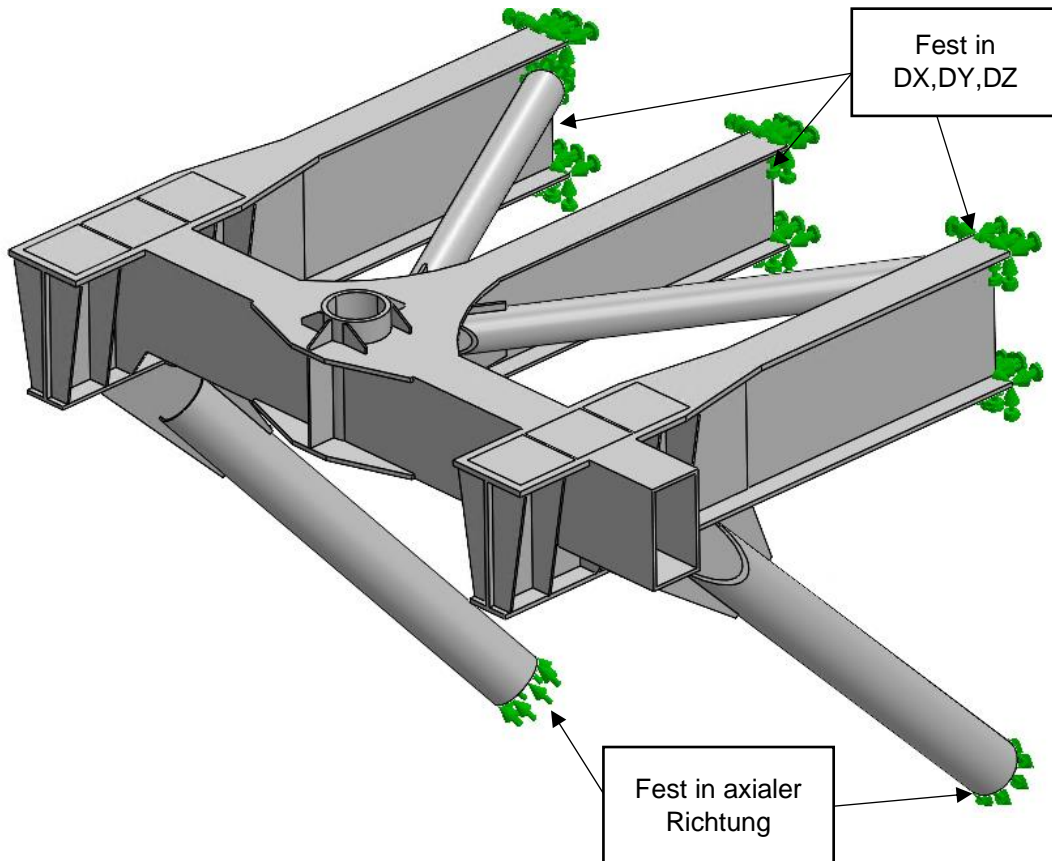


Abbildung 13-2: Randbedingungen Gelenklager B4

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 143 von 158

### 13.2.3 Lasten

Die Designlasten aus Kapitel 9.4.7 für Brücke 4 werden auf die vertikalen Auflager sowie die Pin-Hülse bzw. die Schiene aufgebracht.

Tabelle 13-1: Design Lasten für die Brückenlager für Brücke 4

Reaktionslasten	Designlast für Brücke 4 [kN]
Vertikal (Druck)	1.508
Vertikal (Auftrieb)	-1.067
Horizontal (y-Richtung)	332
Horizontal (x-Richtung)	147
Reibkräfte (x-Richtung)	453

Die vertikale Last (grün) sowie die horizontale Reibkraft werden auf den Gleitplatten aufgebracht. Die horizontale Last in der Pin-Hülse bzw. Schiene (orange) wird nur in der Kontaktfläche oberhalb TOS der Plattform angenommen.

Für das Gelenklager werden zwei Positionen untersucht. Die Horizontalkraft am Pin wird einmal in Brückenlängsrichtung (Position 1) und in Brückenquerrichtung (Position 2) aufgebracht.

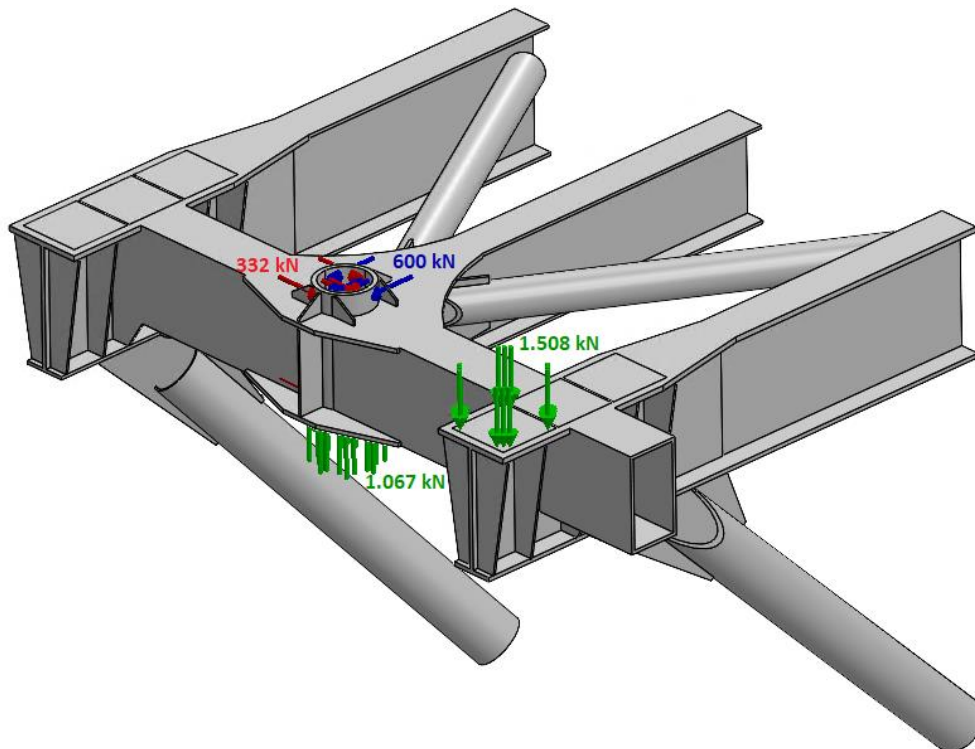


Abbildung 13-1: Lastaufbringung Gelenklager B4 – Position 1

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 144 von 158

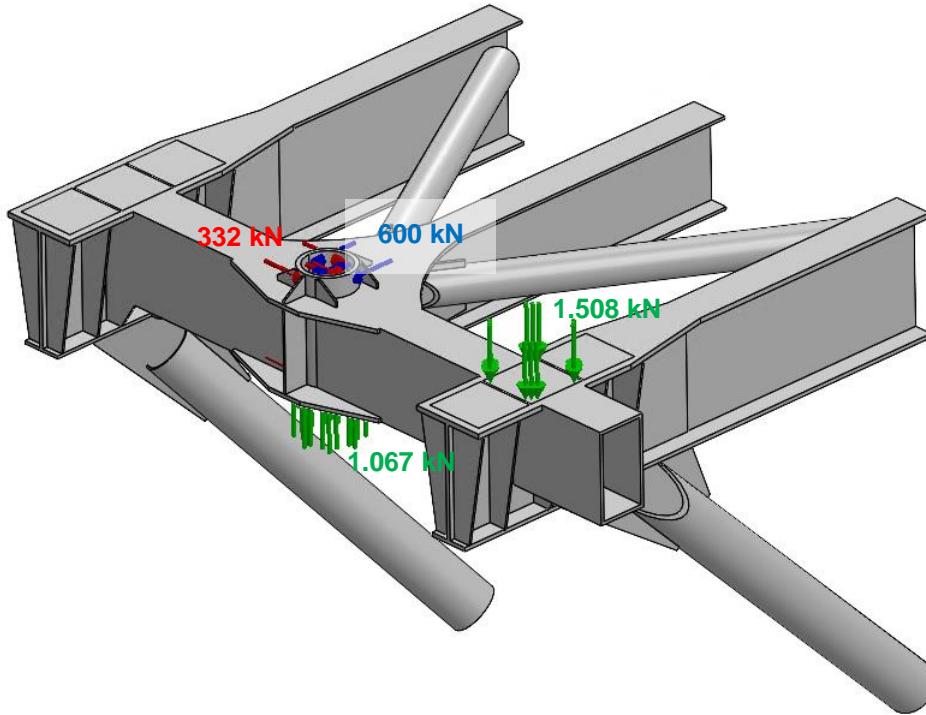


Abbildung 13-2: Lastaufbringung Gelenklager B4 – Position 2

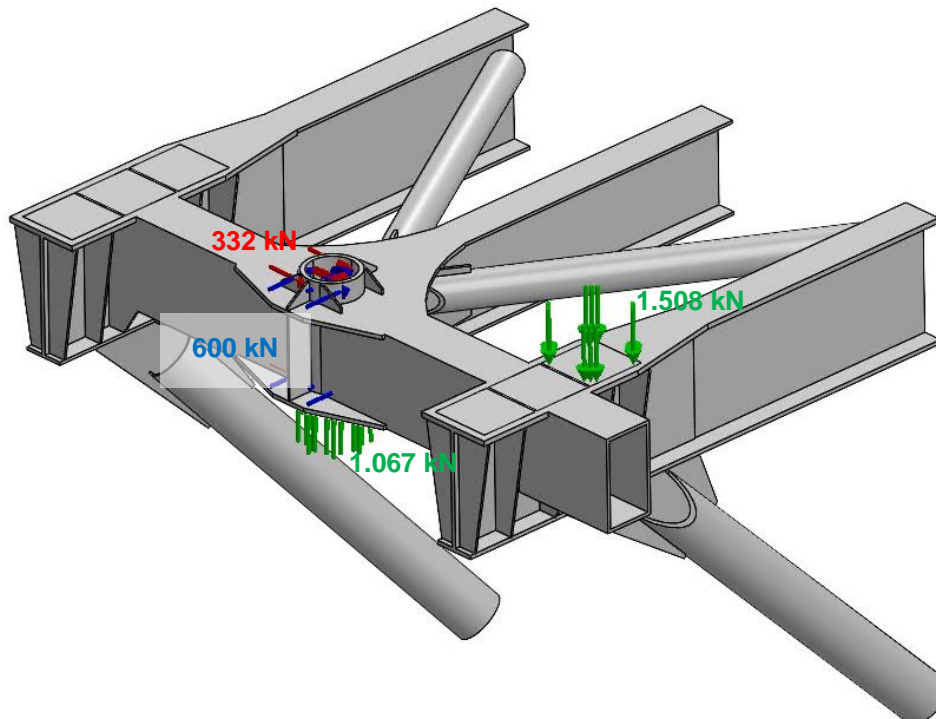


Abbildung 13-3: Lastaufbringung Gelenklager B4 – Position 3



  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 145 von 158

### 13.2.4 FE-Netz

Zur Vorbereitung der FE-Analyse wird das Modell mit tetraedrischen Volumenkörperelementen vernetzt. Für die beiden FE-Modelle wird ein hochqualitatives Netz angewandt.

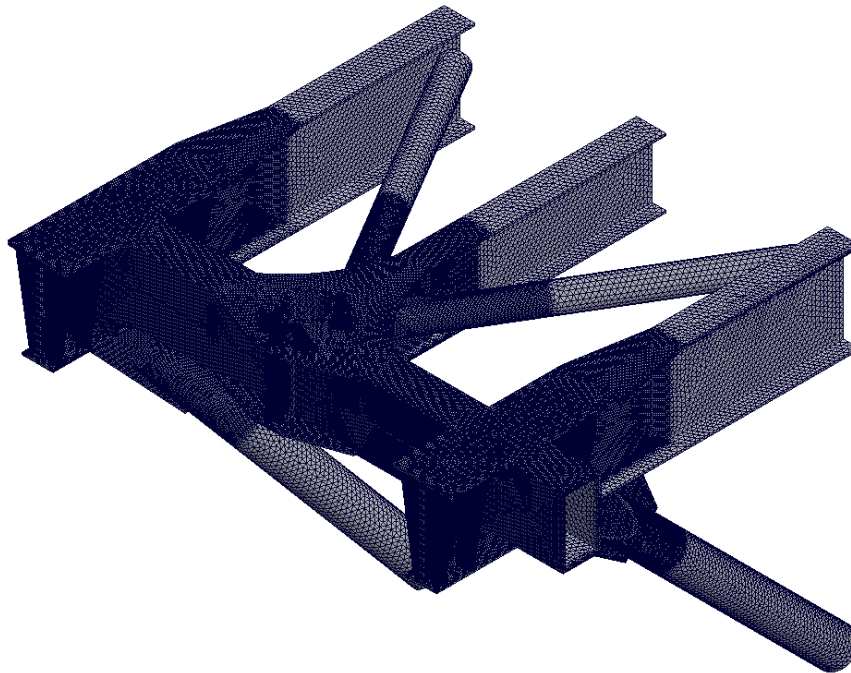


Abbildung 13-3: FE-Netz Gelenklager B4

Das Seitenverhältnis der einzelnen FE-Elemente ist in der nächste Abbildung gezeigt.

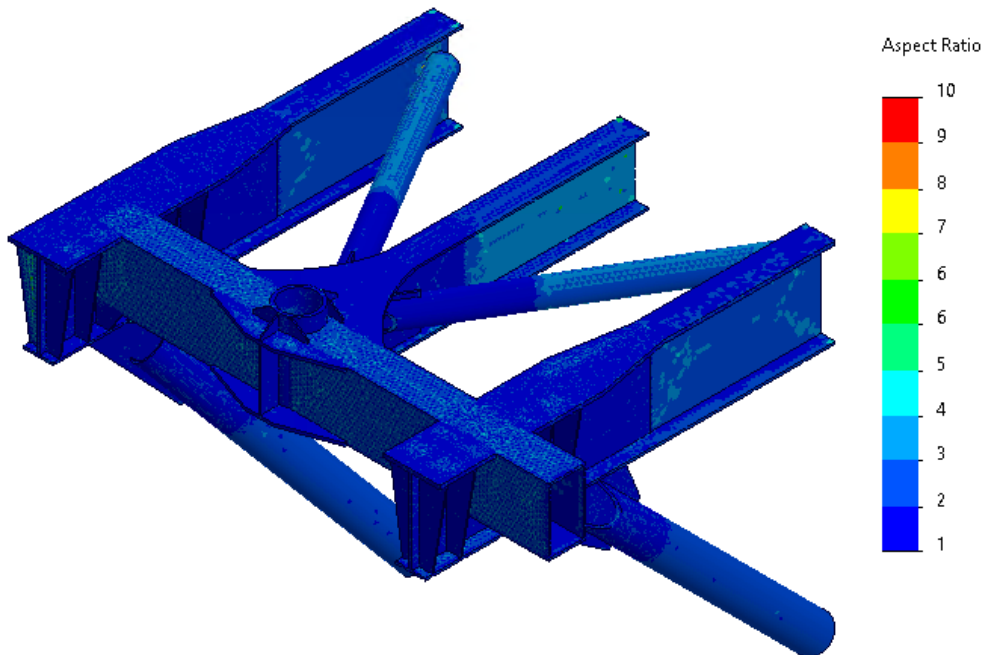







Abbildung 13-4: FE-Net, Seitenverhältnis der Elemente – Gelenklager B4

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 146 von 158

Allgemein wird eine gute Netzqualität durch folgendes definiert:

- Ein geringes maximales Seitenverhältnis  $< 10$
- Ein hoher Prozentsatz mit einem Seitenverhältnis  $< 3$
- Ein geringer Prozentsatz mit einem Seitenverhältnis  $> 10$

Die Netzinformationen für das FE-Netz sind in der folgenden Tabelle gegeben. Es zeigt sich, dass das Netz von guter Qualität ist.

Tabelle 13-2: Netzdetails

Beschreibung	Gelenklager
Netztyp	Volumen-Netz
Verwendeter Netzgenerator	Kurvengestütztes Misch-Netz
Jakobi-Punkte	16
Max. Elementgröße	30 mm
Min. Elementgröße	10 mm
Netzqualität	Hoch (10 Knoten)
Anzahl Knoten	1.823.854
Anzahl Elemente	1.048.537
Max. Seitenverhältnis	12,521
Anteil Elemente mit Seitenverhältnis $< 3$	98,5
Anteil Elemente mit Seitenverhältnis $> 10$	0,0003

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 147 von 158

### 13.3 Ergebnisse

In den folgenden Unterkapiteln werden die resultierenden Spannungen und Verformungen für die plattformseitigen Lager gezeigt. Die Detailmodelle untersuchen nur die strukturelle Festigkeit der Lager nicht der angrenzenden Struktur. Daher können außerhalb der Lager Überspannungen auftreten, die aber auf die Randbedingungen zurückzuführen und nicht Teil dieser Analyse sind.

#### 13.3.1 Spannungsergebnisse

Die folgenden SpannungspLOTS zeigen den Verlauf der von Mises-Spannungen.

##### Gelenklager

Für das Gelenklager sind die Spannungen für Position 1 am kritischsten. Die auftretenden Spannungen im Bereich der Lager sind moderat. An den Struktur treten minimale Überspannungen auf, welche als nicht kritisch angesehen werden, da sie sehr klein sind.

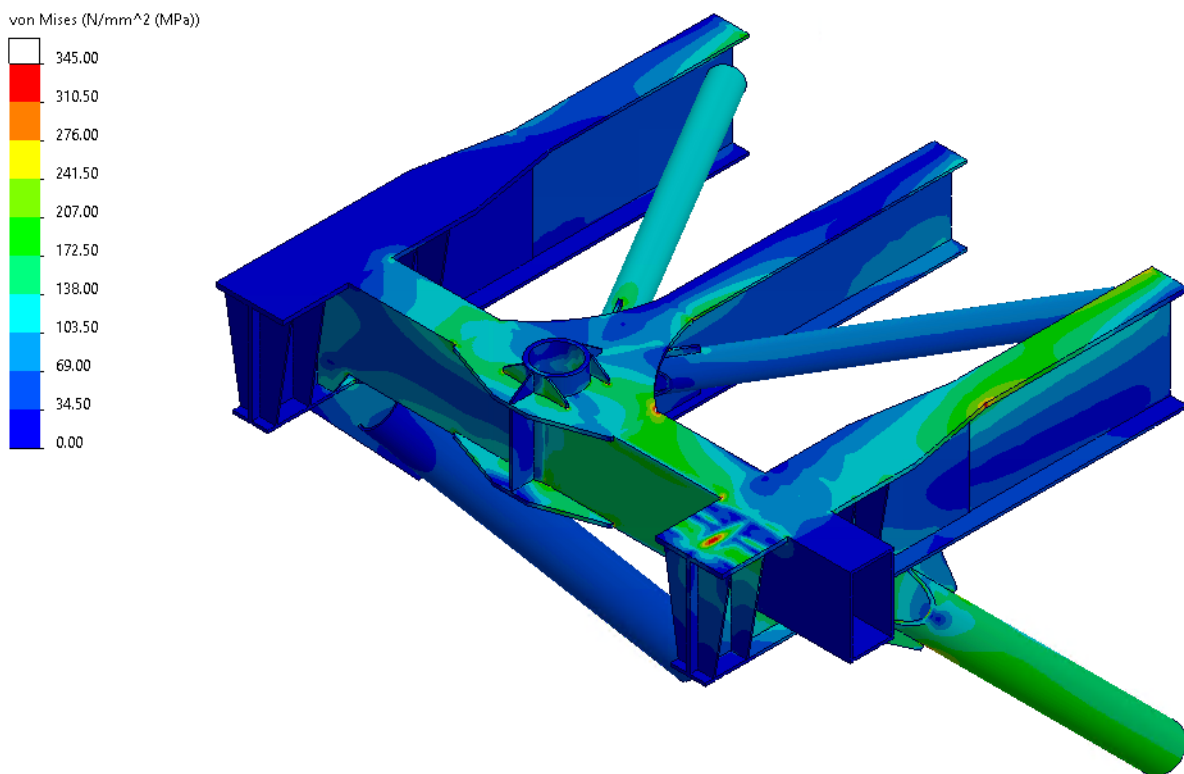


Abbildung 13-5: Spannungsergebnisse - Detailmodell der Brückenlager B4

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 148 von 158

### 13.3.2 Verformungen

#### Gelenklager

Die maximale Verformung an den Lagern tritt für Position 1 auf und beträgt 8,3 mm und ist in der folgenden Abbildung gezeigt.

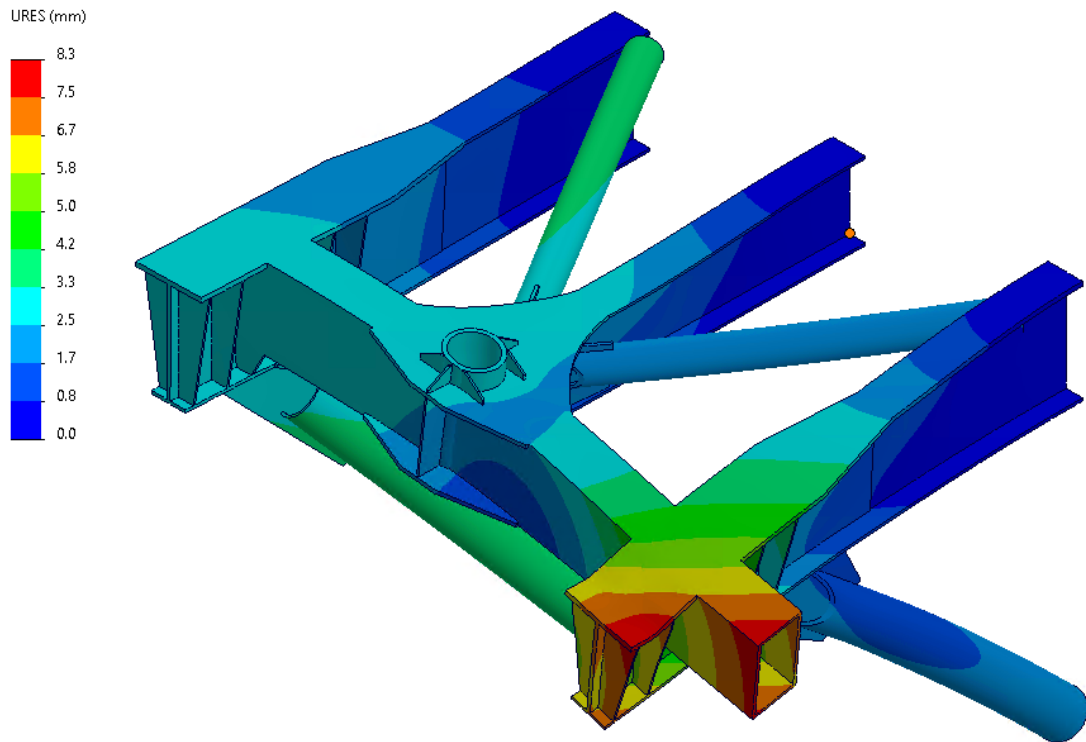
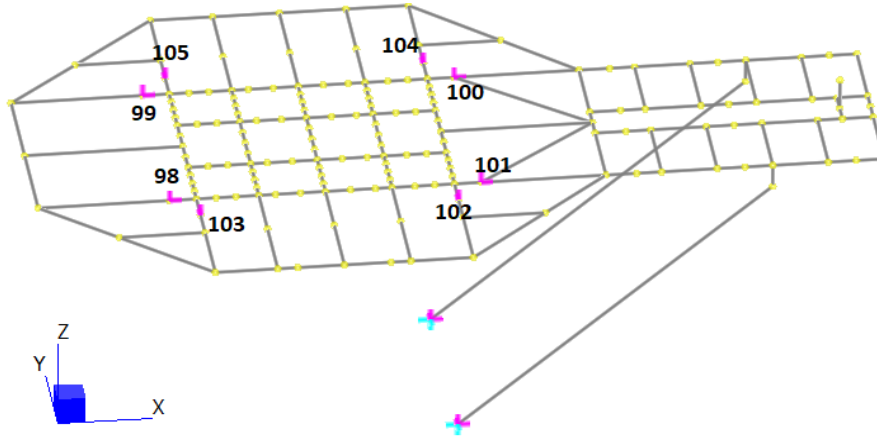


Abbildung 13-6: Verformungsergebnisse Gelenklager, B4

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 149 von 158






## 14 Anhang – Reaktionskräfte im Betriebszustand

MD1:

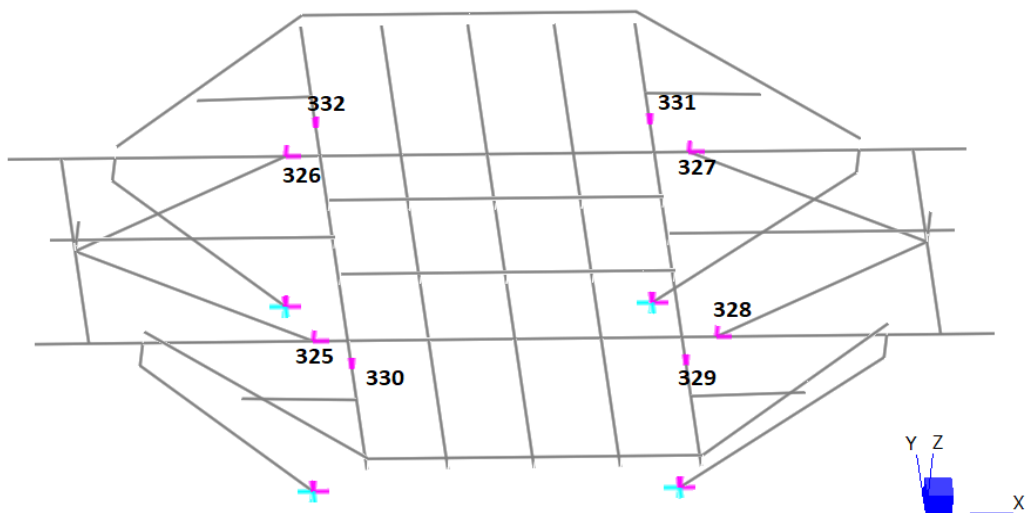


Knoten	LCOM 1			LCOM 2			LCOM 3		
	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
98	-1.011,2		9,0	-2.305,2		-365,9	857,1		397,6
103		-2.209,3	-1.009,7		-2.159,0	-1.052,6		-967,6	-350,8
99	979,6		69,3	-888,8		-319,4	2.273,6		444,4
105		-2.205,5	1.084,8		-964,0	425,9		-2.155,1	1.127,5
100	-1.046,2		200,8	-2.420,7		622,7	894,2		-297,5
104		-2.293,0	1.017,8		-2.181,4	1.004,1		-1.110,7	440,2
101	341,9		-68,8	-1.596,8		429,1	1.714,7		-490,5
102		-2.387,2	-1.006,2		-1.204,7	-428,3		-2.275,7	-992,8

Knoten	LCOM 4			LCOM 5			LCOM 6		
	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
98	-989,7		1,5	-2.283,6		-373,4	878,7		390,2
103		-2.201,7	-991,7		-2.151,5	-1.034,7		-960,1	-332,8
99	990,6		71,8	-877,8		-316,9	2.284,6		446,9
105		-2.215,8	1.081,7		-974,2	422,7		-2.165,3	1.124,3
100	-1.040,1		238,0	-2.414,6		660,0	900,2		-260,3
104		-2.320,8	1.005,7		-2.209,2	992,0		-1.138,5	428,1
101	650,7		-127,4	-1.288,0		370,5	2.023,5		-549,1
102		-2.356,7	-951,0		-1.174,2	-373,2		-2.245,2	-937,7






  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 150 von 158

MD2:

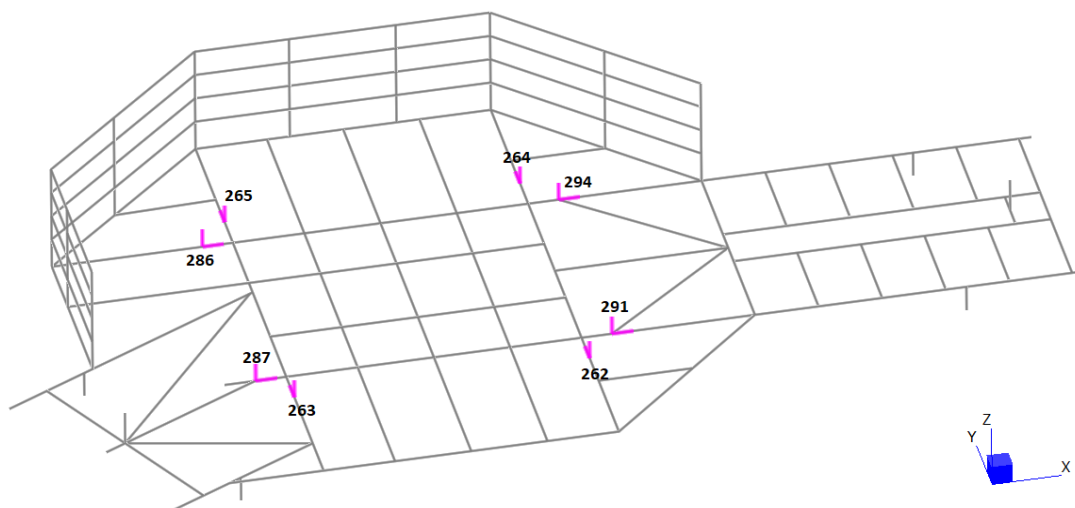


Knoten	LCOM 1			LCOM 2			LCOM 3		
	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
325	-814,4		28,1	-2.186,1		-359,9	1.107,6		538,2
330		-2.403,9	-1.063,9		-2.271,0	-1.093,1		-1.243,9	-475,6
326	1.050,0		485,1	-872,0		-25,1	2.421,7		873,3
332		-2.218,8	821,8		-1.058,7	234,0		-2.085,8	850,9
327	-1.050,0		485,1	-2.421,7		873,3	872,0		-25,1
331		-2.218,8	821,8		-2.085,8	850,9		-1.058,7	234,0
328	814,4		28,1	-1.107,6		538,2	2.186,1		-359,9
329		-2.403,9	-1.063,7		-1.243,9	-475,6		-2.271,0	-1.093,1

Knoten	LCOM 4			LCOM 5			LCOM 6		
	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
325	-941,7		-261,7	-2.313,5		-649,7	980,3		248,4
330		-2.352,5	-863,1		-2.219,5	-892,4		-1.192,5	-275,0
326	1.131,6		498,5	-790,4		-11,7	2.503,4		886,6
332		-2.270,2	787,1		-1.110,2	199,3		-2.137,2	816,2
327	-1.131,6		498,5	-2.503,4		886,6	790,4		-11,7
331		-2.270,2	787,1		-2.137,2	816,2		-1.110,2	199,3
328	941,7		-261,7	-980,3		248,4	2.313,5		-649,7
329		-2.352,5	-863,1		-1.192,5	-275,0		-2.219,5	-892,4

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 151 von 158

MD3:

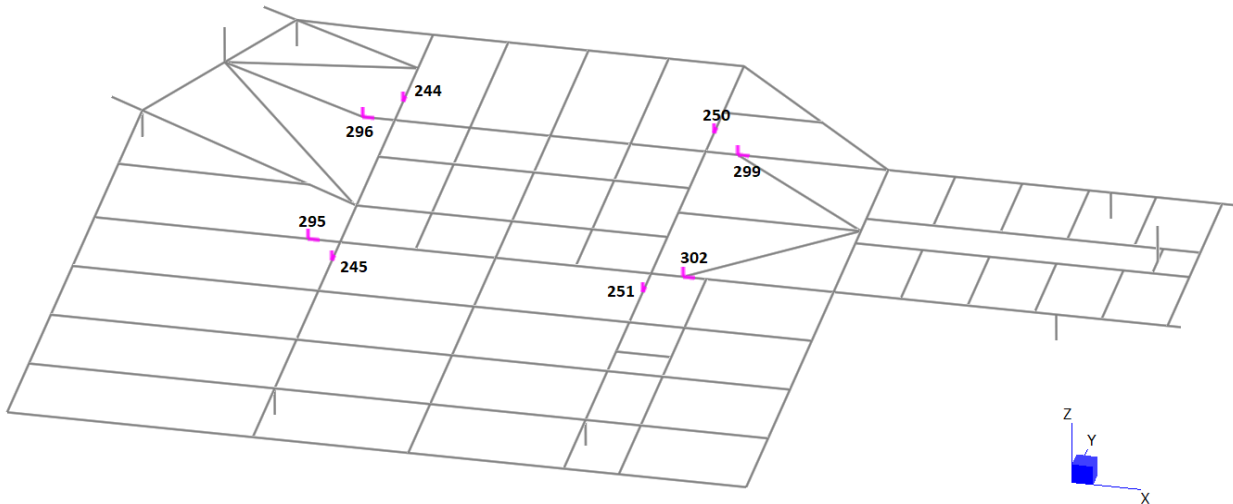


Knoten	LCOM 1			LCOM 2			LCOM 3		
	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
262		2.240,8	848,1		2.121,2	850,3		1.070,5	276,5
291	-901,9		296,6	-2.322,7		711,2	1.092,7		-211,3
263		2.722,5	1.419,6		1.356,9	712,0		2.796,9	1.476,5
287	1.292,5		-201,8	-797,0		-502,8	2.801,7		106,1
264		2.454,8	-997,0		1.279,8	-443,5		2.337,2	-965,9
294	569,3		-67,0	-1415,9		454,4	1.978,9		-504,9
265		2.440,2	-921,2		2.338,7	-953,8		1.246,1	-271,1
286	-909,7		-101,4	-2.188,1		-479,9	956,4		292,2

Knoten	LCOM 4			LCOM 5			LCOM 6		
	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
262		2.285,0	833,7		2.165,4	835,9		1.114,8	262,0
291	-951,9		373,8	-2.372,7		788,4	1.042,8		-134,1
263		2.612,7	1.328,9		1.247,1	621,4		2.687,2	1.385,8
287	1.192,6		-117,3	-896,9		-418,3	2.701,8		190,6
264		2.407,2	-952,2		1.232,2	-398,7		2.289,6	-921,1
294	734,6		-112,2	-1.250,6		409,2	2.144,2		-550,2
265		2.302,7	-984,9		2.201,2	-1.017,6		1.108,6	-334,9
286	-1.031,3		-17,5	-2.309,8		-396,0	834,8		376,1

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 152 von 158

MD4:



Knoten	LCOM 1			LCOM 2			LCOM 3		
	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
244		-2.501,5	1.460,9		-1.163,3	783,0	2.594,1	-2.530,8	1.490,2
296	1.142,1		-190,2	-895,8		-537,5			157,4
245		-2.200,7	-1.583,3		-2.070,6	-1.623,7		-1.057,1	-867,6
295	-901,3		757,9	-2.229,3		345,1	972,8		1.159,6
250		-2.289,0	949,8		-2.185,3	967,4		-1.090,2	371,0
299	-1.048,5		205,2	-2.430,9		590,2	910,6		-287,1
251		-2.311,5	-1.162,6		-1.180,0	-464,3		-2.172,8	-1.192,9
302	452,8		97,0	-1.535,1		520,6	1.900,1		-311,8

Knoten	LCOM 4			LCOM 5			LCOM 6		
	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
244		75,5	351,5		179,9	346,6		-27,7	356,8
296	171,3		-163,7	-16,5		-125,8	358,6		-203,0
245		146,7	-436,4		213,8	-440,8		81,0	-437,0
295	-31,2		737,3	-98,5		740,6	34,9		741,2
250		265,7	-76,6		254,7	-69,6		277,1	-83,2
299	-208,8		106,4	-325,6		101,2	-91,8		111,0
251		21,0	-16,0		-3,4	-32,8		45,6	0,7
302	-88,6		98,2	-245,3		119,6	69,0		77,2

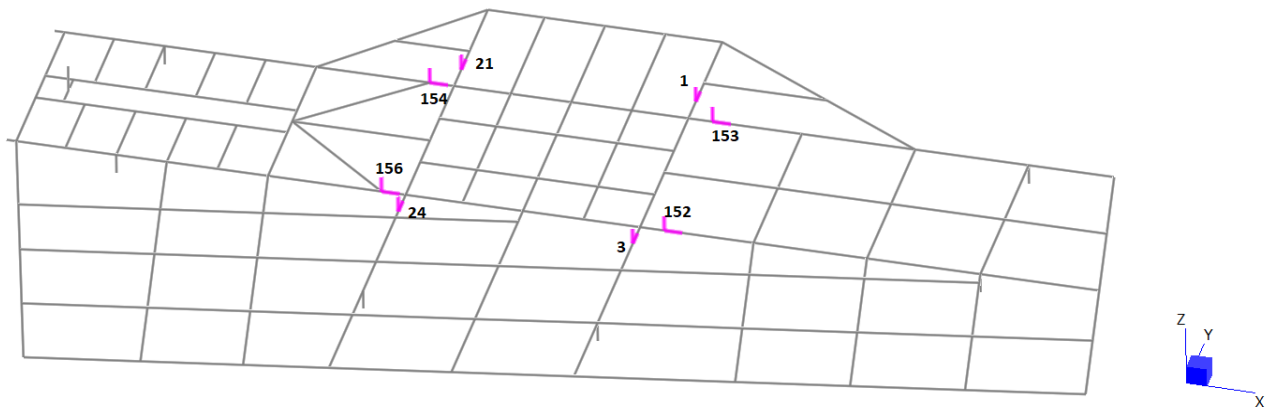


  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 153 von 158

Knoten	LCOM 7			LCOM 8		
	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
	kN	kN	kN	kN	kN	kN
244		-995,1	780,7		-2.362,5	1.487,9
296	-880,2		-521,4	2.609,6		173,4
245		-1.987,3	-1.614,4		-973,8	-858,2
295	-2.257,6		327,2	944,6		1.141,8
250		-2.020,8	932,3		-925,6	335,9
299	-2.504,0		633,9	837,5		-243,4
251		-1.098,4	-461,1		-2.091,3	-1.189,7
302	-1.346,2		507,4	2.088,9		-325,0

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 154 von 158

MD6:



Knoten	LCOM 1			LCOM 2			LCOM 3		
	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
1		-2.223,1	1.040,8		-2.311,0	1.052,9		-2.304,9	1.048,7
153	-965,9		183,1	-1.059,4		181,5	-1.025,2		184,0
3		-2.158,8	-1.183,3		-2.211,1	-1.189,9		-2.191,9	-1.188,4
152	594,7		78,3	576,1		70,8	662,5		68,3
21		-2.175,3	1.038,3		-2.348,7	1.056,6		-2.353,3	1.057,6
154	1.151,5		103,9	997,3		62,5	1.079,9		65,2
24		-1.951,7	-1.285,8		-2.022,9	-1.312,3		-2.040,5	-1.314,0
156	-645,4		197,5	-378,3		240,7	-249,3		242,8

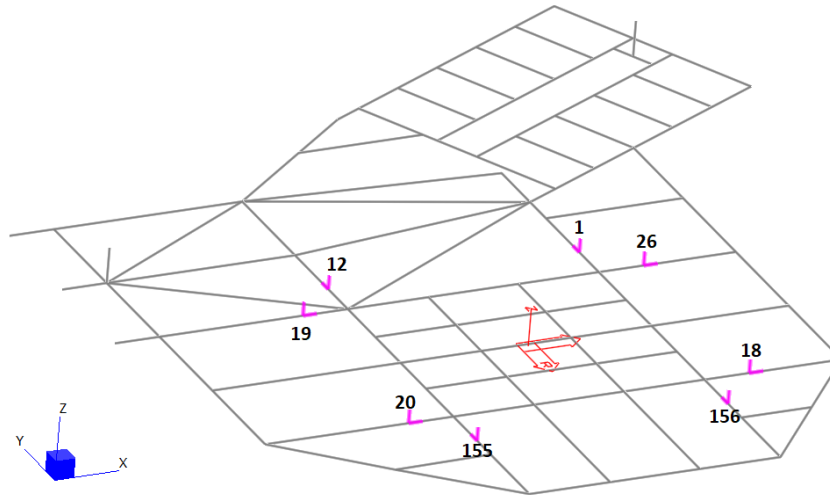
Knoten	LCOM 4			LCOM 5			LCOM 6		
	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
1		-2.202,3	1.071,6		-2.114,3	1.059,5		-2.044,0	1.055,7
153	-2.247,2		563,3	-2.153,7		564,9	-2.060,5		560,8
3		-1.005,1	-429,7		-952,8	-423,0		-921,8	-422,6
152	-1.064,9		433,3	-1.046,2		440,8	-1.101,1		434,5
21		-1.171,4	487,7		-998,1	469,3		-829,6	467,8
154	-684,5		-436,4	-530,3		-395,0	-369,7		-388,2
24		-1.943,7	-1.371,9		-1.872,5	-1.345,4		-1.750,1	-1.361,3
156	-1.416,0		-137,3	-1.683,1		-180,6	-1.923,8		-166,4

  		Struktur	 		
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN		Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02		
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU			Seite 155 von 158		

Knoten	LCOM 7			LCOM 8		
	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
	kN	kN	kN	kN	kN	kN
1		74,3	66,1		-948,2	443,9
153	132,6		12,8	952,9		-296,8
3		48,7	-23,8		-2.032,0	-1.262,2
152	-302,7		82,1	1.807,3		-288,6
21		215,4	76,9		-1.888,8	1.045,3
154	427,5		-73,3	2.592,2		504,8
24		304,4	-154,3		-682,1	-573,5
156	169,5		244,0	953,0		612,9

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 156 von 158

BD1:

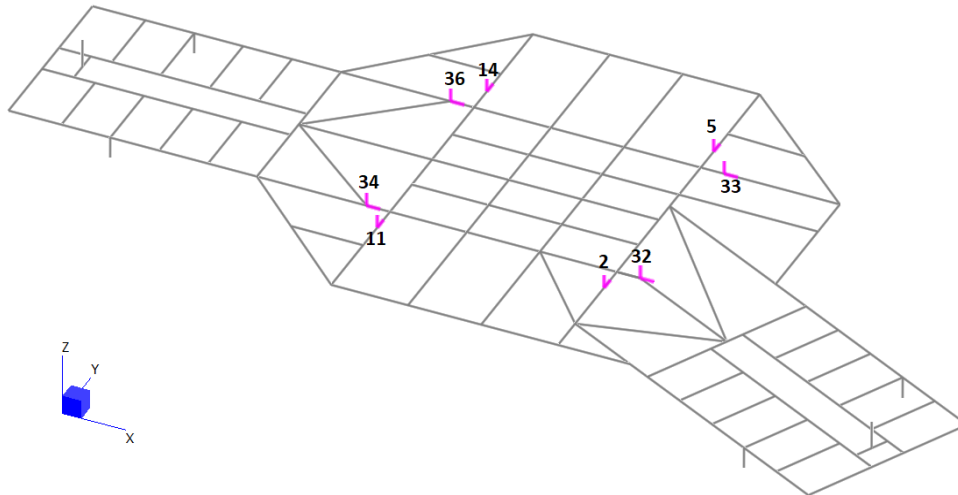


Knoten	LCOM 1			LCOM 2			LCOM 3		
	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
1		-670,7	0,02		-1.912,6	455,0		935,0	-588,2
26	-1.733,3		686,0	-1.774,0		540,0	-691,0		494,3
12		-62,9	-78,2		-1.586,1	598,7		1.089,9	-645,4
19	-182,8		-57,3	-611,3		153,7	-2.093,0		126,5
20	-1.729,7		-717,0	-2.048,4		-761,4	-472,8		-308,8
155		-838,1	16,7		-1.859,5	-341,2		513,7	413,9
18	-1.510,0		659,4	-266,6		333,0	-1.724,2		627,0
156		414,7	115,0		-1019,2	-316,2		1.525,9	504,2

Knoten	LCOM 4			LCOM 5			LCOM 6		
	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
1		-489,6	72,1		-1.731,4	527,1		1.116,2	-516,1
26	-1.849,4		767,1	-1.890,2		621,0	-807,1		575,3
12		280,8	-810,7		-1.242,4	-133,8		1.433,6	-1.378,0
19	-2.636,6		208,8	-1.419,1		419,8	-2.900,8		392,6
20	-1.740,6		-192,0	-2.059,2		-236,4	-483,7		216,3
155		-742,6	-218,0		-1.764,0	-575,9		609,1	179,1
18	-1.529,0		616,4	-323,4		285,6	-1.780,9		579,6
156		489,1	99,0		-944,8	-332,2		1.600,2	488,2






  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 157 von 158

BD4:



Knoten	LCOM 1			LCOM 2			LCOM 3		
	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
2		816,3	39,5		-776,1	-553,43		2.064,8	614,2
32	-2.199,5		690,7	-1.085,5		467,38	-2.310,9		499,3
5		-414,0	87,3		-1.581,4	617,60		1.070,3	-459,5
33	-1.746,9		695,8	-1.987,0		539,35	-566,7		453,7
11		-534,3	-31,2		-1.640,2	-543,09		874,3	477,1
34	-1.785,0		-645,1	-2.010,6		-498,35	-594,5		-356,0
14		627,3	13,9		-708,1	532,38		1.688,5	-518,0
36	-1.531,9		-712,9	-367,5		-422,40	-1.737,2		-566,3

Knoten	LCOM 4			LCOM 5			LCOM 6		
	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
1		732,4	130,2		-860,0	-462,8		1.980,9	704,9
26	-1.959,4		670,2	-845,4		446,9	-2.070,8		478,8
12		-438,2	75,8		-1.605,6	606,2		1.046,1	-471,0
19	-1.755,7		707,3	-1.995,9		550,8	-575,6		465,2
20		-525,4	37,9		-1.631,4	-474,0		883,1	546,2
155	-1.841,9		-705,9	-2.067,5		-559,1	-651,4		-416,8
18		528,2	3,9		-807,2	522,4		1.589,4	-527,9
156	-1.592,7		-679,7	-428,2		-389,2	-1.797,9		-533,1

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.02
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 158 von 158

Die Axiallasten an den Diagonalstützen für alle Plattformen sind in untere Tabelle gelistet.

Plattform	Diagonalstützen	Maximale Axiallast [kN]
MD1	Rd273x8	510.27
MD2	Rd193.7x6.3	400.52
MD3	Rd193.7x10	854.32
	Rd273x8	529.33
MD4	Rd193.7x6.3	492.02
	Rd273x8	547.98
MD6	Rd244.5x8	425.25
	Rd273x8	714.74
	Rd323.9x8	495.18
BD1	Rd244.5x12.5	979.68
	Rd323.9x8	762.67
BD4	Rd273x8	691.08