

Prüfanmerkung:

- Nachweis der Treppenkonstruktion bei BD3 ist zu ergänzen siehe Nachtrag. Seite: (35, 89)
- Nachweis der Treppenkonstruktion sowie der Stahlschlüsse der Treppenstützen bei MD4 sind zu ergänzen. Siehe Nachtrag. Seite: 105.
- Nachweis der Dalbenplattform für das Einheben: nicht geprüft.
 - * Windlast ist zu berücksichtigen.
 - * Zugangsplattformslast ist zu berücksichtigen. Siehe Nachtrag. Seite: 121-145.
 - * Das System ist bei unsymmetrischen Plattformen instabil. Bitte auf Schiefstellung und ungleichmäßige Lastverteilung auf Hebeseilen prüfen.
Art der Aufhängung erläutern.
- Nachweis des Einhebens der Treppenkonstruktion bei MD4 ist zu ergänzen. Siehe Nachtrag. Seite: 123.
- Rippenbleche an den Konsolenblechen der Schrägstützen Beidseitig links und rechts von der Stützrohr sind zu ergänzen besonders bei MD3, MD4, MD6, BD1, BD4.
- Knotenbleche sind mit Rippenbleche 50x10mm zu versehen. siehe zugehörige Pläne. Seite: 159.
- Nachweis des Anschlusses von Diagonalen an Plattform ist zu ergänzen. Siehe Nachtrag. Seite: 159.
- Nachweis der Stabilität der Kontenbleche ist vorzulegen. Seite: 159.
- Nachweis des Lichtmasts sowie des Anschlüsse der Lichtmäste auf der Plattform ist zu ergänzen.
- Nachweis der Steigeleiter der Zugangsplattform ist zu ergänzen. Seite: 250.
- Rippenbleche an den Flacheisen unter dem Hackenblech Beidseitig (bei allen Plattformen) sind zu ergänzen.
- Nachweis aller Kehlnaht-Stahlschlüsse der Plattformenprofilen ist zu ergänzen.
- Nachweis des Vertikalen Verschub-Schuhs für das Festlager und das Loslager für Brücke 4 (bzw. Anhang A3) ist zu ergänzen. Seite: 253.
- Nachweis der Kontaktdrücke zwischen Stutzen und Schlitten-Platte bzw. Schlitten-Platte und Plattform Schlitz für Brücke 4 (bzw. Anhang B4) ist zu ergänzen. Seite: 255.

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 1 von 252

Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen

Statik: Seite 1-258:
Anlage 1: Seite 1-3:
Anlage 2: Seite 13:

✓

1. Ausfertigung

In statischer Hinsicht geprüft
 Prüfnummer Hamburg, den
 2023-D122 07.12.2023

Dr.-Ing. Rainer Grzeschkowitz
Dr.-Ing. Olaf Drude (SFI)
Dipl.-Ing.(FH) Karsten Holste
Prüfingenieure für Bautechnik
gem. Prüfverordnung PVO vom 14.02.2006
 Veritaskai 8 • 21079 Hamburg
 Tel.: +49 40 790001-0 (Fax: -44) • www.wk-consult.com

4. Ausgabe	03	29.09.2023	M. A. Khamis <small>DocuSigned by: M. A. Khamis 2205C192142A658</small>	N. Werner <small>DocuSigned by: N. Werner 2A789CA176C48E</small>	J. de Groot <small>DocuSigned by: J. de Groot 235843DCB78480</small>	ZUR PRÜFUNG
3. Ausgabe	02	27.06.2023	M. A. Khamis M. I. Zakaria	A. Rosponi 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
Status	Rev.	Datum	Erstellt von	Geprüft von	Genehmigt von	Bemerkung

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 2 von 252

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	8
1.1	Allgemein	8
1.2	Arbeitsumfang.....	9
1.3	Revisionsbeschreibung	10
1.4	Abkürzungen	10
1.5	Referenzdokumente	11
2	Zusammenfassung der Ergebnisse	13
2.1	Allgemeines	13
2.2	Globale Ergebnisse im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) für den eingebauten Zustand	13
2.3	Globale Verformungsergebnisse im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS)	13
2.4	Globale Ergebnisse für das Einheben Hebeanalyse	14
2.5	Ergebnisse für das Risiko gegen wirbelinduzierte Schwingungen (VIV).....	14
2.6	Lokale Festigkeits-Ergebnisse der Verbindungen von Plattformen und Pfahl	14
2.7	Lokale Strukturanalysen unter QRHs	14
2.8	Lokale Strukturanalysen der Deckstruktur unter Gangwayturm / Treppenturm BD3	14
2.9	Lokale Lasten auf Brückenlager.....	14
2.10	Lokale Lasten auf Fenderstub.....	15
2.11	Nachweis der Zugangsplattformen unter QRHs	15
2.12	Kritische Bereiche	15
2.13	Schlussfolgerung	15
3	Normen und Richtlinien	16
4	Allgemeines	18
4.1	Projektspezifische Abkürzungen	18
4.2	Dokumentenspezifische Abkürzungen	18
4.3	Projektspezifische Definitionen	20
4.4	Einheiten	21
4.5	Software.....	21
4.6	Allgemeine Material Eigenschaften.....	22
5	Beschreibung der Dalben Plattformen	23
5.1	Standort	23
5.2	Übersicht des Liegeplatzes / FSRU Terminal Layout und Hauptbestandteile.....	24



  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 3 von 252

5.3 Beschreibung der Dalben mit Plattformen 25

6 Lasten und Lasteffekte 32

6.1 Allgemeine Lasten und Lastkategorien 32

6.2 Permanente Lasten (G) 32

6.3 Veränderliche Lasten (Q)..... 32

6.3.1 Personenzahl / Verkehrslasten..... 32

6.3.2 Fender-Lasten..... 32

6.3.3 Mooring-Lasten / Hakenlasten 34

6.3.4 Treppenturm und Gangway Support-Lasten 35

6.3.5 Notunterkunft bzw. Sammelplatz..... 37

6.3.6 Ponton 37

6.3.7 Laufweg / Rampe zu Ponton..... 37

6.3.8 E&I Container..... 37

6.3.9 Seekabel und J-Tube 37

6.3.10 Davit Kran 37

6.4 Umweltbedingungen 38

6.4.1 Windlasten 38

6.4.2 Schneelasten 38

6.4.3 Eislasten 39

6.5 Reaktionslasten der Brücken / Rampe..... 40

6.6 Korrosionszuschlag – Stahl..... 42

7 Berechnungsmethoden und Nachweisformate 43

7.1 Allgemein 43

7.2 LRFD Methode..... 43

7.3 Allgemeine Design-Last / Entwurfslast 43

7.4 Allgemeine Design-Widerstände 43

7.5 Strukturelle Nachweisführung..... 44

7.5.1 Allgemeines 44

7.5.2 Begrenzung der Verformung 44

7.5.3 Check gegen Wirbelinduzierte Vibrationen (VIV) 44

8 Lastkombinationen und Lastfaktoren 46



  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 4 von 252

- 8.1 Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) für Strukturelle Nachweise..... 46
- 8.2 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) 46
- 8.3 Hebevorgang Lastfaktoren 46
- 8.4 Widerstandsfaktoren 47
- 9 Globaler Nachweis der Dalben Plattform im Betriebszustand 48**
- 9.1 Allgemeines 48
- 9.2 Model Beschreibung 48
- 9.3 Randbedingungen 54
- 9.4 Lasten 59
- 9.4.1 Allgemeine Beschreibung den Lasten 59
- 9.4.2 LC 1 – Struktur-Eigengewicht (G)..... 59
- 9.4.3 LC 2 – Eigengewicht der Gitterroste (G) 59
- 9.4.4 LC 3 – Eigengewicht des Hakens (G) 60
- 9.4.5 LC 4 – Equipment Lasten (Q) (nur bei MD4)..... 61
- 9.4.6 LC 5 – Mooring-Lasten (Q)..... 62
- 9.4.7 LC 6 – Reaktionslasten aus Brücke (Q) 64
- 9.4.8 LC 7 – Verkehrslasten (Q) 82
- 9.4.9 LC 8 – Windlasten (E) 83
- 9.4.10 LC 9 – Schneelasten (E) 88
- 9.4.11 LC 10 – Eislasten (E)..... 88
- 9.4.12 LC 11 – Holmlasten auf Geländer (Q)..... 89
- 9.4.13 LC 12 – Reaktionslasten aus Gangwayturm (Q) 89
- 9.4.14 LC 13 – Kabelzuglast (Q)..... 91
- 9.4.15 LC 14 – Davit-Kranlast (Q)..... 93
- 9.5 Lastfallkombinationen für Betriebszustand 94
- 9.6 Ergebnisse für Betriebszustand 100
- 9.6.1 Spannungsergebnisse – Betrieb 100
- 9.6.2 Verformungsergebnisse – Betrieb 113
- 9.7 Check gegen Wirbelinduzierte Vibrationen (VIV)..... 119
- 10 Globaler Nachweis der Dalben Plattform für das Einheben 121**
- 10.1 Allgemeines 121
- 10.2 Model Beschreibung 121



  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 5 von 252

- 10.3 Randbedingungen 126
- 10.4 Lasten 130
- 10.5 Lastfallkombinationen für das Einheben 130
- 10.6 Ergebnisse für das Einheben..... 131
 - 10.6.1 Spannungsergebnisse – Heben 131
 - 10.6.2 Verformungsergebnisse – Heben 140
- 11 Verbindungen zwischen Plattformen und Pfahl 146**
 - 11.1 Allgemeines 146
 - 11.2 Bracket-Kreuz 146
 - 11.2.1 Randbedingungen 151
 - 11.2.2 Lasten 152
 - 11.2.3 Ergebnisse 152
 - 11.2.4 Spannungsergebnisse 152
 - 11.2.5 Verformungen 158
 - 11.3 Anschluss von Diagonalen an Pfahl 159
 - 11.3.1 Randbedingungen 160
 - 11.3.2 Lasten 160
 - 11.3.3 FE-Netz 162
 - 11.3.4 Ergebnisse 165
 - 11.3.5 Spannungsergebnisse 165
 - 11.3.6 Verformungen 167
- 12 Lagerung der Mooring Haken auf der Plattform 168**
 - 12.1 Beschreibung..... 168
 - 12.2 Modelbeschreibung 172
 - 12.3 Randbedingungen 173
 - 12.4 Lasten 174
 - 12.5 FE-Netz..... 178
 - 12.6 Ergebnisse 180
 - 12.6.1 Spannungsergebnisse 180
 - 12.6.2 Verformungsergebnisse 183
- 13 Lagerung der Gangwayturm auf der Plattform BD3 184**
 - 13.1 Beschreibung..... 184



  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 6 von 252

- 13.2 Modelbeschreibung 187
- 13.3 Randbedingungen 188
- 13.4 Lasten 189
- 13.5 FE-Netz 193
- 13.6 Ergebnisse 195
- 13.6.1 Spannungsergebnisse 195
- 13.6.2 Verformungsergebnisse 197
- 14 Lokale Nachweise der Brückenlager 198**
- 14.1 Allgemeines 198
- 14.2 Strukturelle Berechnung 198
- 14.2.1 Gleitlager 198
- 14.2.2 Gelenklager 199
- 14.2.3 Randbedingungen 200
- 14.2.4 Lasten 202
- 14.2.5 FE-Netz 209
- 14.3 Ergebnisse 212
- 14.3.1 Spannungsergebnisse – alle außer B4 212
- 14.3.2 Spannungsergebnisse – B4 214
- 14.3.3 Verformungen – alle außer B4 218
- 14.3.4 Verformungen – Brücke B4 219
- 15 Brückenlager - Details 220**
- 15.1 Allgemeine Beschreibung der untersuchten Details 220
- 15.2 Vertikaler Lastabtrag über Verschubbahn 221
- 15.2.1 Beschreibung der Lagerung und Lasten 221
- 15.2.2 Ermittlung / Nachweis der Kontaktdruck-Fläche 223
- 15.2.3 FE-Netz 223
- 15.2.4 Ergebnisse 225
- 15.2.4.1 Spannungsergebnisse – alle außer B4 225
- 15.2.4.2 Spannungsergebnisse – Brücke B4 226
- 15.2.4.3 Verformungen 227
- 15.3 Horizontaler Lastabtrag über Schlitz-Wandung am verschieblichen Gleitlager 228



  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 7 von 252

15.3.1 Allgemeine Beschreibung 228

15.3.2 Beschreibung der Nachweisführung 229

15.4 Horizontaler Lastabtrag über Stützen-Hülse im Gelenk- und Gleitlager 231

15.4.1 Allgemeine Beschreibung 231

15.4.2 Beschreibung der Nachweisführung 231

16 Nachweis des Fenderanschlusses (Fenderstub) an den Pfahl..... 232

16.1 Allgemeines 232

16.2 Modelbeschreibung 234

16.3 Randbedingungen 235

16.4 Lasten 236

16.5 FE-Netz 238

16.6 Ergebnisse 241

16.6.1 Spannungsergebnisse 241

16.6.2 Verformungsergebnisse 243

17 Nachweis des Zugangsplattformen unter Haken 244

17.1 Allgemeines 244

17.2 Modelbeschreibung 246

17.3 Randbedingungen 248

17.4 Lasten 248

17.5 Ergebnisse 249

17.5.1 Spannungsergebnisse 249

17.5.2 Verformungsergebnisse 250

18 Übersicht zu den Anhängen 252



 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 8 von 252

1 Einleitung

1.1 Allgemein



Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) ist im September 2022 an die Tree Energy Solutions GmbH (TES) herangetreten und hat die gemeinsame Realisierung eines schwimmenden Flüssigerdgas (Liquefied Natural Gas – LNG)-Importterminals (Floating Storage and Regasification Unit – FSRU) angefragt. Das BMWK hat dazu im Februar 2023 die FSRU „Excelsior“ für maximal 60 Monate gechartert. Das Projekt soll in Kooperation mit E.ON und ENGIE realisiert werden. Als Vorhabenträgerin wurde die „FSRU Wilhelmshaven GmbH“ gegründet.

Die Entwicklung umfasst 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.

Der KUNDE (ENGIE/TES) hat einen Vertrag mit IMDC. Dieser sieht technische Unterstützung durch IMDC für die Meeresarbeiten sowie für Modellierungsstudien vor, 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 - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 9 von 252

1.2 Arbeitsumfang

Dieser Bericht enthält die statischen Berechnungen und Nachweise für alle Dalben-Plattformen (alle MDs und alle BDs).

Dieser beinhaltet die folgenden globalen Verifikationen und Analysen:

- ULS: Spannung checks im Grenzzustand der Tragfähigkeit für Einheben und im eingebauten Zustand
- SLS: Verformungs checks 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.

In Rahmen der Genehmigungsprüfung werden zusätzliche zu den oben aufgeführten globalen Nachweisen aller Plattformen, die folgenden lokalen Nachweise geführt:

- Verbindungen zwischen Dalben-Plattform und Pfahl, siehe Kapitel 11
- Lokale Lasteinleitung an aus den Ankerhaken / Quick Release Hooks (QRHs), siehe Kapitel 12
- Lokale Lasteinleitung aus Gangwayturm / Treppenturm mit Laufstegfundament auf BD3, siehe Kapitel 13
- Lokale Lasteinleitung aus Brücken am Gleitlager und am Festlager, siehe Kapitel 14 und 15
- Lokale Lasteinleitung der Fenderlasten auf den Fenderstüb, siehe Kapitel 16
- Nachweis der Zugangsplattform unter den Anker-Haken /QRHs, siehe Kapitel 17

Noch nicht Arbeitsumfang dieses Dokumentes enthalten, sondern erst für die nächste Revision eingeplant, sind:

- Der Nachweis der lokalen Lasteinleitung aus Schwenkkran auf MD6
- Der Nachweis der lokalen Lasteinleitung aus Rampe zu Ponton auf MD6
- Der Nachweis der lokalen Lasteinleitung der Kabel-Installationslasten auf MD4, sowie der lokale Nachweis der vertikalen Lasten aus Kabeleinzugsrohr (J-tube).

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.



  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 10 von 252

1.3 Revisionsbeschreibung

Revision 03:

Die folgenden Änderungen und zusätzilchen Nachweise sind dieser Revision berücksichtigt worden:

- Nachweis der Dalben Plattform BD2, BD3 und MD4 im Betriebszustand und für das Einheben (siehe Kapitel 9 und 10)
- Update der Hakenlasten aus QRH, neuer Hersteller: Mampaey, siehe auch Anhang D und E
- Update zur Verbindungen zwischen Plattformen und Pfahl (siehe Kapitel 11.2)
- Nachweis der Deckstruktur zwischen Haken und Deck (siehe Kapitel 12)
- Nachweis der Deckstruktur zwischen Gangwayturm und Dalben (siehe Kapitel 13)
- Lokale Nachweise der Brückenlager für Brücke B4 (siehe Kapitel 14)
- Weitere Detail-Nachweise für Brückenlager (siehe Kapitel 15)
- Nachweis des Fenderanschlusses am Pfahl (siehe Kapitel 16)
- Nachweis des Zugangsplattformen unter den Haken (siehe Kapitel 17)

1.4 Abkürzungen

In Kapitel 4 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 - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 11 von 252

1.5 Referenzdokumente

Dieses Dokument basiert auf den folgenden Referenzdokumenten

- [1.] IMDC; TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC-2014; „Bericht über die Umgebungsverhältnisse“; 2023
- [2.] IMDC; TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC-2027.00; “Marine Construction Methodology”; 2022-12
- [3.] IMDC; TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC -2001.07; “Entwurfsgrundlagen”; 2023-08-31
- [4.] IMDC; TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC-2013.09; “Allgemeine Layout Zeichnung”; 2023-03-20
- [5.] IMDC; „Bearthing and Mooring Design Loads”; 2023-06-23
- [6.] IMDC; TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2021.05; „Dynamic Mooring Assessment Report”, 2023-06-07
- [7.] IMDC; Email von Sara Sanz Saenz; „Fender Selection“; 2023-08-11
- [8.] NEXANS;“Datenblatt für Seekabel waterlink – fere 1,8 / 3kV“; 2023
- [9.] OV; TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC -2001.07; “Wilhelmshaven FSRU: Entwurfsgrundlagen”; Rev. 07; 2023
- [10.] OV; TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DWG-2110.03; “Strukturzeichnung Plattform MD1”, 2023
- [11.] OV; TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DWG-2111.02; “Strukturzeichnung Plattform MD2”, 2023
- [12.] OV; TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DWG-2112.02; “Strukturzeichnung Plattform MD3”, 2023
- [13.] OV; TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DWG-2113.03; “Strukturzeichnung Plattform BD1”, 2023
- [14.] OV; TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DWG-2114.01; “Strukturzeichnung Plattform BD2”, 2023
- [15.] OV; TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DWG-2115.00; “Strukturzeichnung Plattform BD3”, 2023
- [16.] OV; TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DWG-2116.03; “Strukturzeichnung Plattform BD4”, 2023
- [17.] OV; TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DWG-2117.02; “Strukturzeichnung Plattform MD4”, 2023
- [18.] OV; TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DWG-2118.02; “Strukturzeichnung Plattform MD5”, 2023
- [19.] OV; TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DWG-2119.04; “Strukturzeichnung Plattform MD6”, 2023
- [20.] OV; TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC-2029.03; “Willhelmshaven FSRU: Statische Berechnung der Brücken”, 2023
- [21.] Meeting zwischen mit IMDC / OV / Van Oord / TE; “Wilhelmshaven - Design/Engineering coordination”; 2023-04-26
- [22.] Mampaey Offshore Industries B.V.; P230251.MHC.150.403.001, Rev. 0; “Quick Release Mooring Unit Triple Hook 150 tons”; 2023
- [23.] Mampaey Offshore Industries B.V.; P230251.MHC.150.404.001, Rev. 0; “Quick Release Mooring Unit Quadruple Hook 150 tons”; 2023
- [24.] OV; TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DWG_2120.00; “Strukturzeichnung Standard Brückenlager”, 2023
- [25.] Gangway Solutions; 0200-000567, Rev. 1; “General Arrangement Drawing Gangway Tower”; 2023
- [26.] Gangway Solutions; 0101-000083, Rev. 1; “Baseplate Anchoring Drawing”; 2023



OV Doc. Nr.: C1150-REP-30-002-03 – Statische Berechnung der Dalben Plattformen

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 12 von 252

[27.] Gangway Solutions; 0003561-01-FLC; "Telescopic Access Gangway for Wilhelmshaven FSRU – Foundation Loads Calculation"; Rev. 2; 2023-09-04



	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 13 von 252

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 TRAS-sowie ASR-Richtlinien Anwendung.

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

Das Gesamtspannungsniveau in den 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: Verformungsergebnisse **Durch Vergleichsrechnung geprüft**

Plattform	Zulässige Durchbiegung δ_{zul} [mm]	Resultierende Durchbiegung δ [mm]
MD1	13,9 ✓	3,6 ✓
MD2	10,0 ✓	2,7 ✓
MD3	19,6 ✓	8,2 ✓
MD4	51,2 ✓	38,7 ✓
MD6	31,5 ✓	23,3 ✓
BD1	13,5 ✓	13,1 ✓
BD2	21,2 ✓	30,0 ✓
BD3	27,5 ✓	4,5 ✓
BD4	13,0 ✓	10,6 ✓

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 - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 14 von 252

2.4 Globale Ergebnisse für das Einheben Hebeanalyse

Die Festigkeit der Plattformen für das Einheben kann als ausreichend betrachtet werden.

Der Einhebezustand wird für eine der 10 untersuchten Plattformen als kritisch oder maßgebend eingestuft.

Für eine detaillierte Berechnung siehe Abschnitte Kapitel 10.

Detaillierte lokale Nachweise für Anschlagpunkte können entfallen, da Soft-Slings direkt um die Haupt-Balkenstruktur der Plattformen gelegt werden sollen. ✓

2.5 Ergebnisse für das Risiko gegen wirbelinduzierte Schwingungen (VIV)

Das Risiko gegen Auftreten wirbelinduzierter Schwingungen und Vibrationen werden gemäß DIN EN [III.] für die diagonalen Abstützungen der Plattformen gecheckt.

Da alle kritischen Anströmgeschwindigkeiten deutlich über der aktuellen Windgeschwindigkeit liegen, werden alle Braces / Diagonalen als unkritisch angesehen. ✓

2.6 Lokale Festigkeits-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 Informationen zur Modellierung, zur Nachweisführung und zu den Ergebnissen für die Plattform zu Pfahl-Verbindung wird auf Kapitel 11 verwiesen. ✓

2.7 Lokale Strukturanalysen unter QRHs

Die lokalen strukturellen Nachweise zur detaillierten Verbindung zwischen Ankerhaken / QRHs und Plattform zeigen eine ausreichende Festigkeit der Plattformen und Deckstrukturen auf. Die Verbindungen wurden mittels konservativer Lastansätze in einem sehr detaillierten 3D FE-Volumenmodell nachgewiesen.

Für detaillierte Informationen zur Modellierung, zur Nachweisführung und zu den Ergebnissen wird auf Kapitel 12 verwiesen. ✓

2.8 Lokale Strukturanalysen der Deckstruktur unter Gangwayturm / Treppenturm BD3

Die lokale Lasteinleitung aus Gangwayturm / Treppenturm mit Laufstegfundament auf BD3 wurde ebenfalls in einem detaillierten 3D Volumen FE Modell nachgewiesen. Auch hier gelingt der Nachweise der ausreichenden Festigkeit auch mit konservativen Lastansätzen.

Für detaillierte Informationen zur Modellierung, zur Nachweisführung und zu den Ergebnissen für die Lasteinleitung aus Gangwayturm mit Treppen wird auf Kapitel 13 verwiesen. ✓

2.9 Lokale Lasten auf Brückenlager

Da in den globalen Plattformmodellen die Brückenreaktionslasten nur sehr vereinfacht aufgebracht sind, werden zusätzliche lokale und detaillierte Nachweise für die drehbaren Festlager und die Gleitlager in den Kapitel 14 und 15 geführt. ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 15 von 252

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

Auch hier wird eine ausreichende Festigkeit für beide Brückenlager gezeigt.



2.10 Lokale Lasten auf Fenderstub

Die Lasten aus den Fendern auf den Pfahl sind zwar eigentlich unabhängig von der Plattform zu sehen, diese Fender-Stub-Verbindungen werden allerdings zusammen mit den Plattformen auf den Zeichnungen dargestellt. Deswegen wird der zugehörige (ebnfalls konservative Nachweis) auch hier in diesem Dokument gezeigt.

Das verwendete detaillierte 3D Volumen FE Modell, die Lasten, Lagerungen und Ergebnisse zum Fenderstub werden in Kapitel 16 erläutert.

2.11 Nachweis der Zugangsplattformen unter QRHs

Der Nachweis der strukturellen Festigkeit für die Zugangsplattformen unter den QRHs wird in Kapitel 17 erbacht. Alle Spannungen sind deutlich unterhalb der erlaubten Maximalspannung.

2.12 Kritische Bereiche

Es wurden keine kritischen Bereiche gefunden.

2.13 Schlussfolgerung

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

Zusätzliche lokale Decksnachweise sind noch ausstehend aufgrund fehlender Input Information:

- Anschluss des Schwenkkran (Davit-Kran) auf MD6
- Anschluss des J-tube (in-place) auf MD4
- Lokale Lasteinleitungen infolge Kabeleinzug (temporärer Installationszustand) auf MD4
- Lokale Lastleitung auf MD6 infolge Rampe zu Ponton



Diese werden in der nächsten Revision dieses Dokumentes nachgeliefert.

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 16 von 252

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 - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 17 von 252

- [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 - 2028.03	
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU			Seite 18 von 252	

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
ASR:	Arbeitsstättenregeln
B:	Bridge / Brücke
BD:	Berthing 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

		Struktur		
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN		Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03	
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU			Seite 19 von 252	

Abkürzung	Beschreibung
FLS:	Fatigue Limit State / Grenzzustand der Ermüdung
FRSU:	Floating Storage and Regasification Unit
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



		Struktur		
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN		Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03	
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU			Seite 20 von 252	

Abkürzung	Beschreibung
SHL:	Static Hook Load / Statische Hakenlast
SLS:	Serviceability Limit State / Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
SoW:	Scope of Works / Arbeitsumfang
Spec / SPE:	Specification / Spezifikation
SWL:	Safe Working Load / Sichere Arbeitslast
T&I:	Transport & Installation
TQRH:	Triple Quick Release Hook / Dreifacher Schnell-Löse-Haken
TRAS:	Technische Regeln für Anlagensicherheit
TS:	Topsides (hier ist das Plattformdeck gemeint)
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.



		Struktur		
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN		Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03	
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU			Seite 21 von 252	

Begriff	Beschreibung
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.



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 ³



4.5 Software

Für die statischen Berechnungen wird folgende Software verwendet:

Table 1: Software

Item	Software	Version	Description
[a]	Strand7	R3.1.3 a	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 - 2028.03	
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU			Seite	22 von 252

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 ³]	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, fy,k [MPa]	Mindest-Streck-Grenze ReH [MPa] bei Raumtemperatur abhängig vom Bereich der Materialstärke [mm]									
	t ≤ 16	16 < t ≤ 25	25 < t ≤ 40	40 < t ≤ 63	63 < t ≤ 80	80 < t ≤ 100	100 < t ≤ 120	120 < t ≤ 150	150 < t ≤ 200	150 < t ≤ 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 - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 23 von 252

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 2023/2024 mit dem Import von LNG zu beginnen. Ein FSRU von 138.000 m³ wird für die kommenden < 5 Jahre an der neuen Anlegeeinrichtung (bestehend aus Anlege- und Ankerdalben) festgemacht, um bis zu 180.000 m³ LNG von LNG-Tanker zu erhalten. Die LNG-Importanlage wird über eine Rohrleitung auf dem Meeresboden zur Küstenstation verbunden. Der Projektstandort ist in untere Abbildung dargestellt.



Abbildung 5-1: Projektstandort [Google Earth]

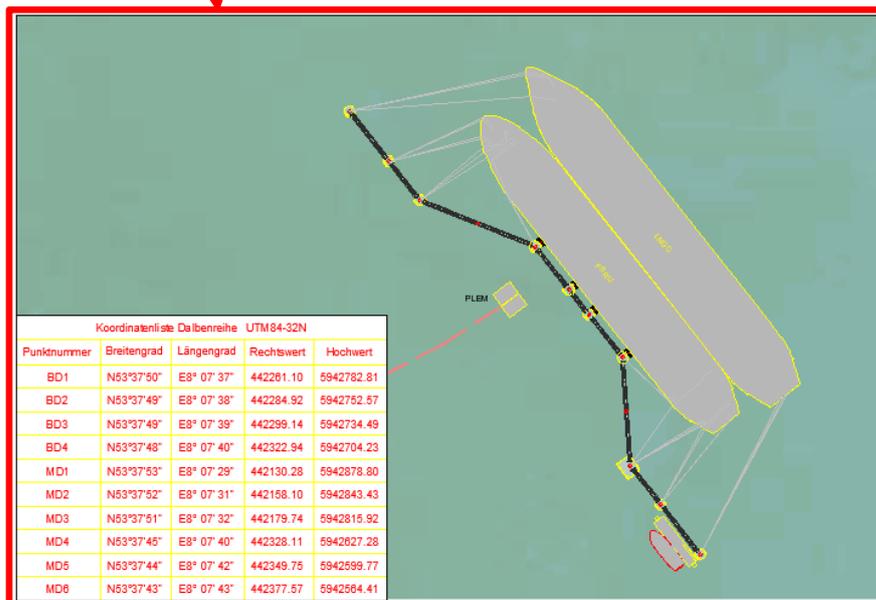


Abbildung 5-2: Übersichtsplan Liegeplatz ✓

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 24 von 252

5.2 Übersicht des Liegeplatzes / FSRU Terminal Layout und Hauptbestandteile

Das neue FSRU-Kurzzeitterminal 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.

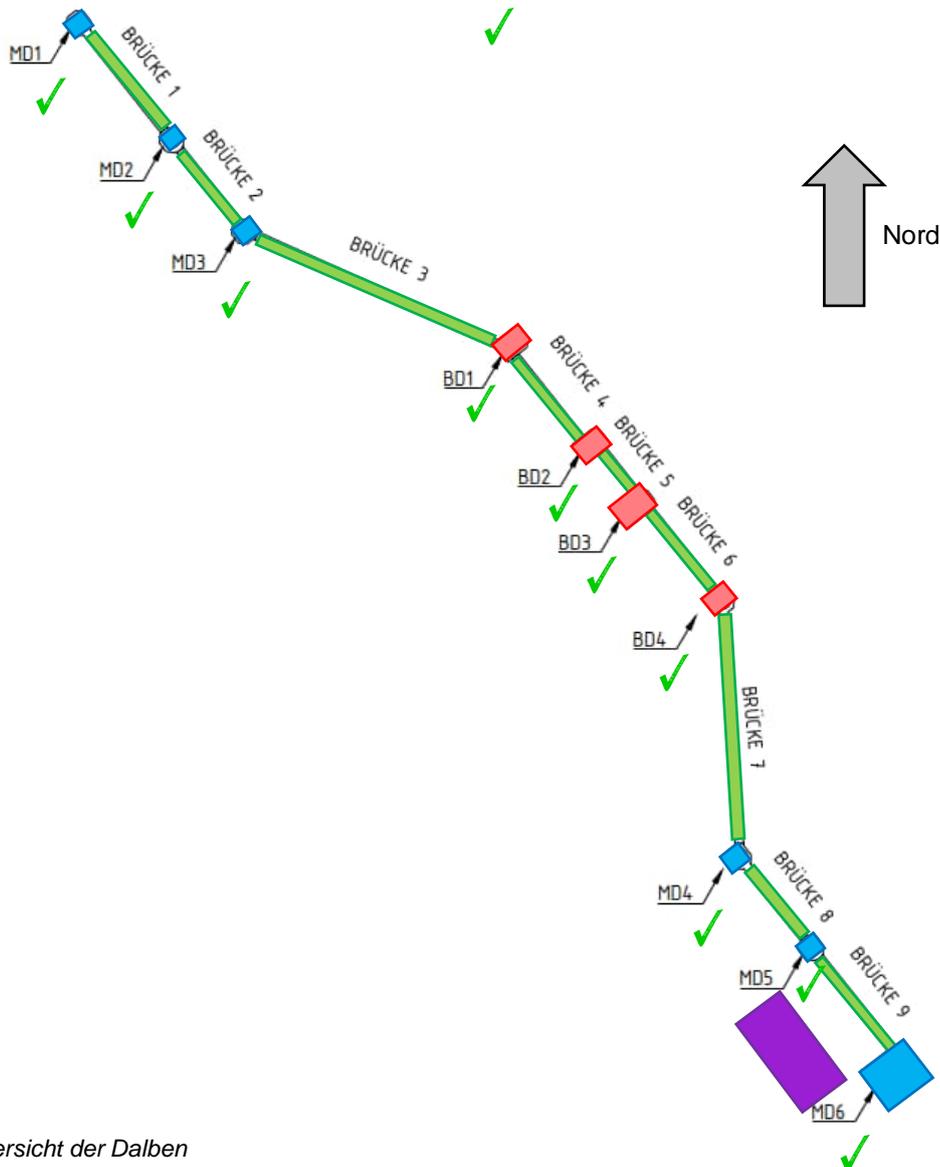


Abbildung 5-3: Übersicht der Dalben

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 25 von 252

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 + 11,64 m SKN / LAT. (EL+11,68 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 - 2028.03	
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU			Seite 26 von 252	

Tabelle 5-1: Beschreibung der Dalben und Plattformen

Typ	Bezeichnung	Ausstattung	vorläufige Plattform Länge x Breite
Mooring / Anker ✓	MD 1	- Haken für Mooring-Leine (QQRH) - Gleitlager für Brücke B1 - 1 Leiter / Anlandungen - Navigations-Licht - Notfall- und Zugangsleiter Richtung Westen	L ≈ 10,7 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 - 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 - Gleitlager für Brücke B4 - Gleitlager für Brücke B5	L ≈ 7,4 m x B ≈ 8,2 m
	BD 3	- Anlege-Fender - Festlager für Brücke B5 - Festlager für Brücke B6 - Lagerung für Laufsteg mit Treppenturm zu FSRU	L ≈ 9,0 m x B ≈ 11,7 m
	BD 4	- Anlege-Fender - Haken für Mooring-Leine (TQRH) - Gleitlager für Brücke 6 - Gleitlager für Brücke B7	L ≈ 13,5 m x B ≈ 7,8 m
Mooring / Anker ✓	MD 4	- Haken für Mooring-Leine (QQRH) - Festlager für Brücke 7 - Gleitlager für Brücke 8 - 2 20ft Container (E & I Container) - J-tube Lager für E-Kabel	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 - Sammelplatz für 40 Personen - Lager für Laufsteg / Rampe zu Ponton - Anleger für Ponton - Davit Kran - Navigations-Licht	L = 14,5 m x B ≈ 8,9 m



 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 27 von 252

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: 

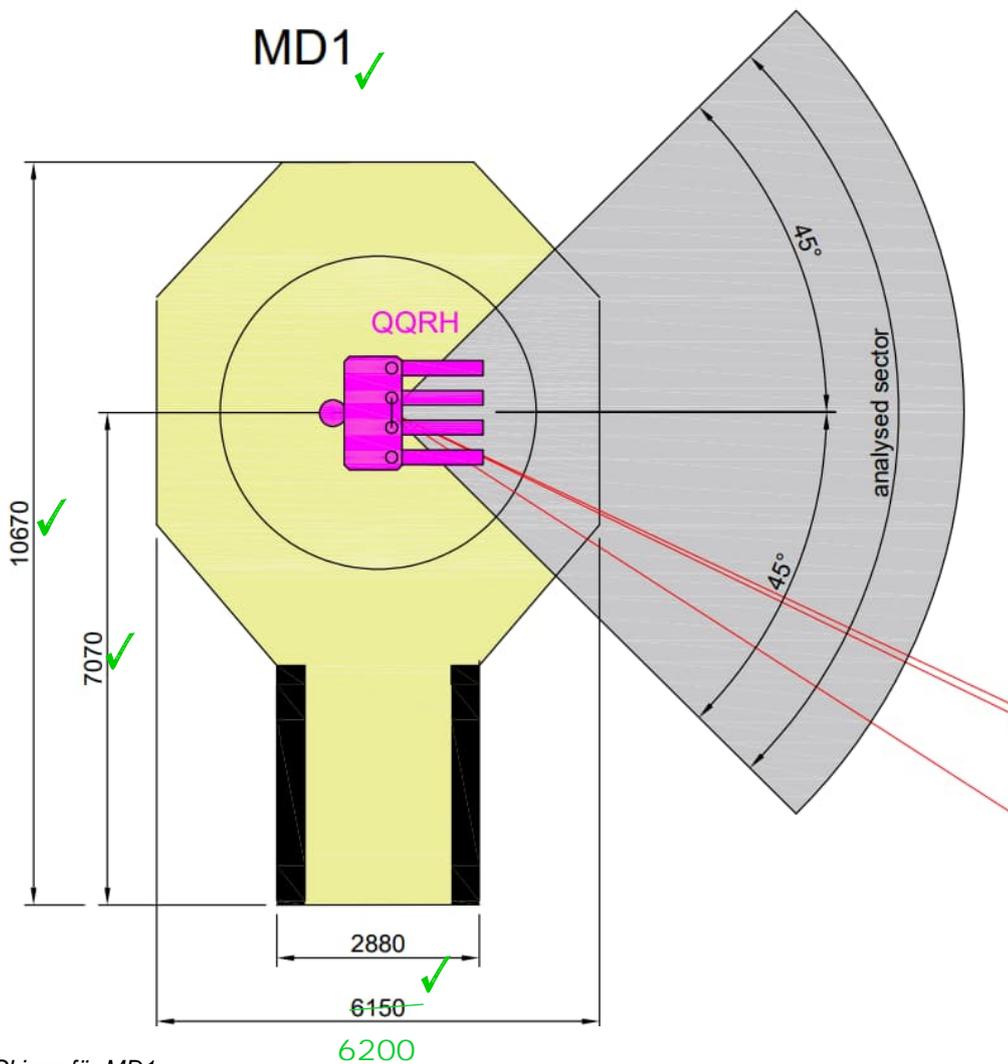


Abbildung 5-4: Skizze für MD1

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 28 von 252

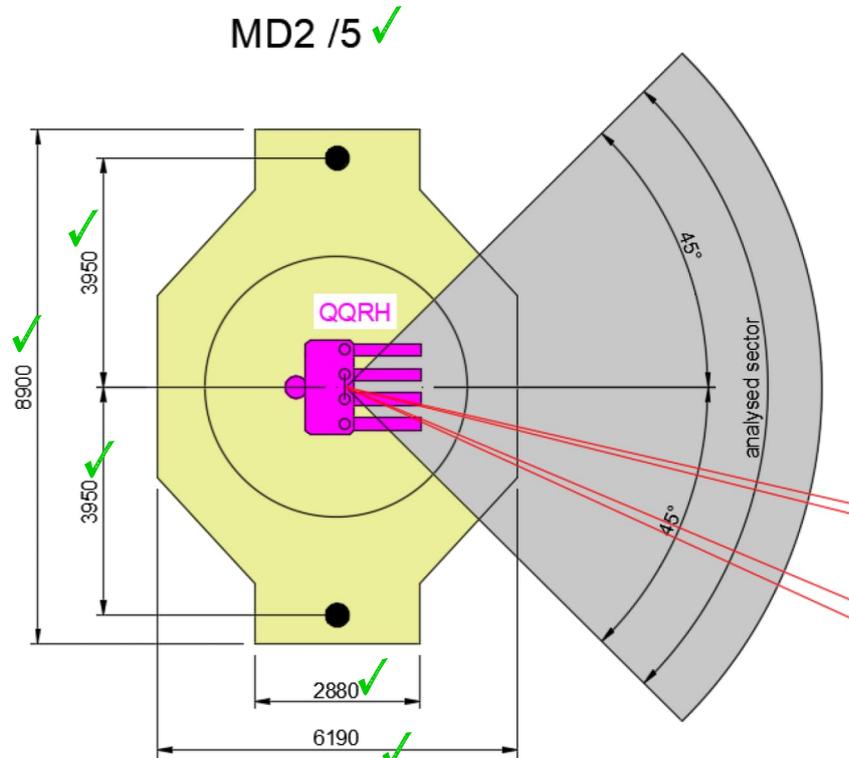


Abbildung 5-5: Skizze für MD2 baugleich mit MD5 ✓

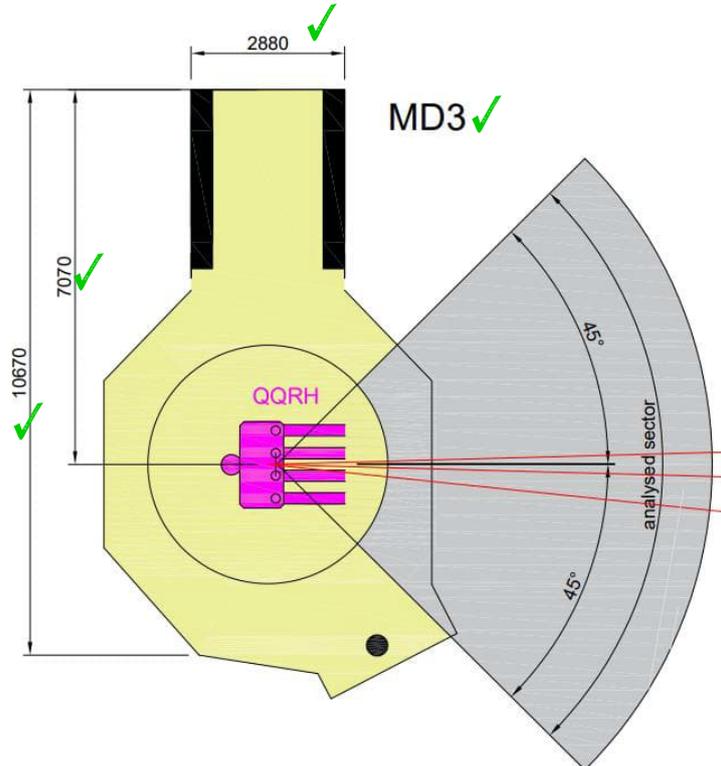


Abbildung 5-6: Skizze für MD3 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 29 von 252

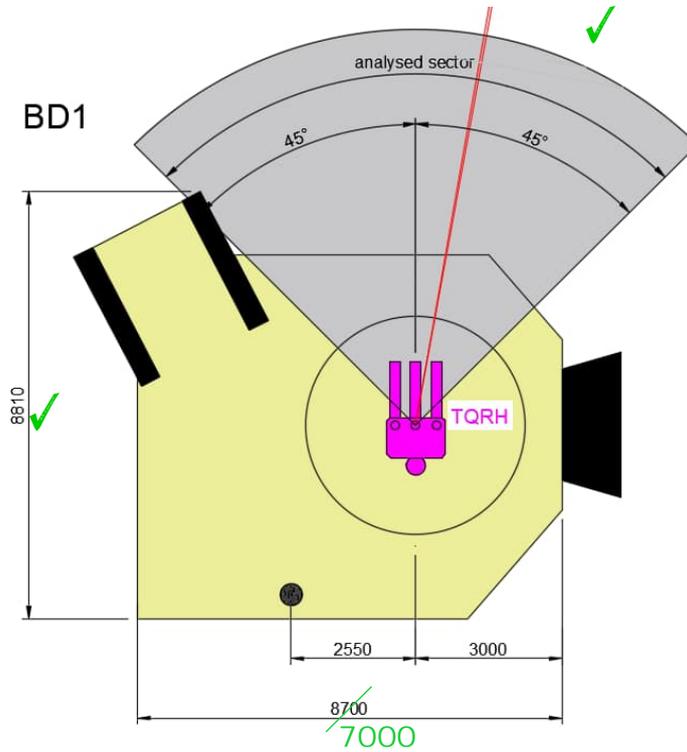


Abbildung 5-7: Skizze für BD1

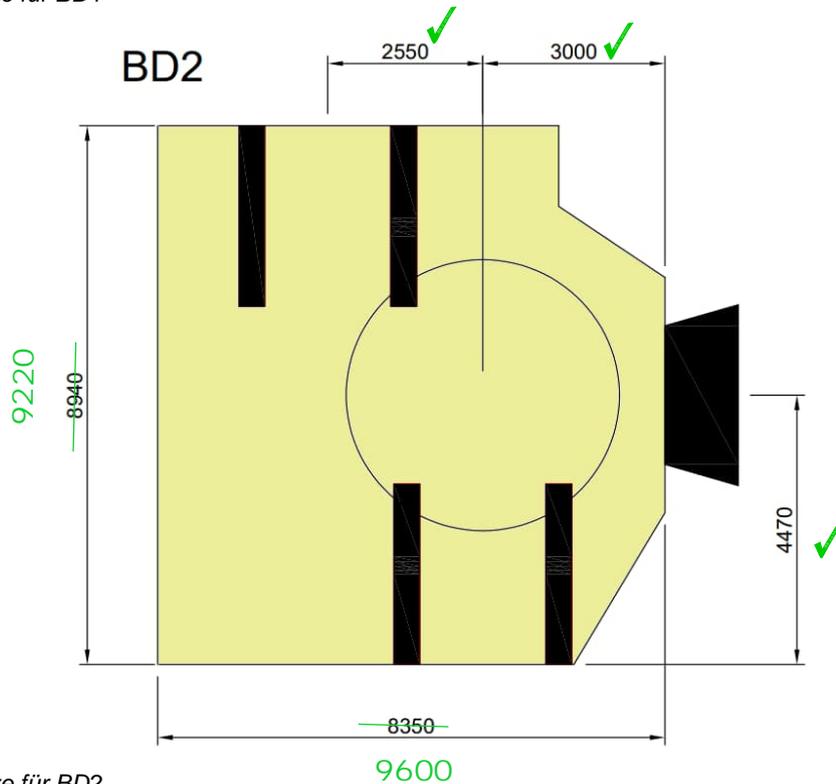


Abbildung 5-8: Skizze für BD2

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 30 von 252

BD3 ✓

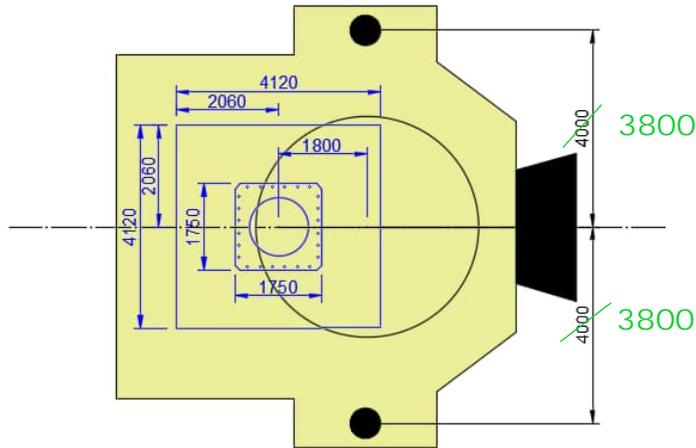


Abbildung 5-9: Skizze für BD3

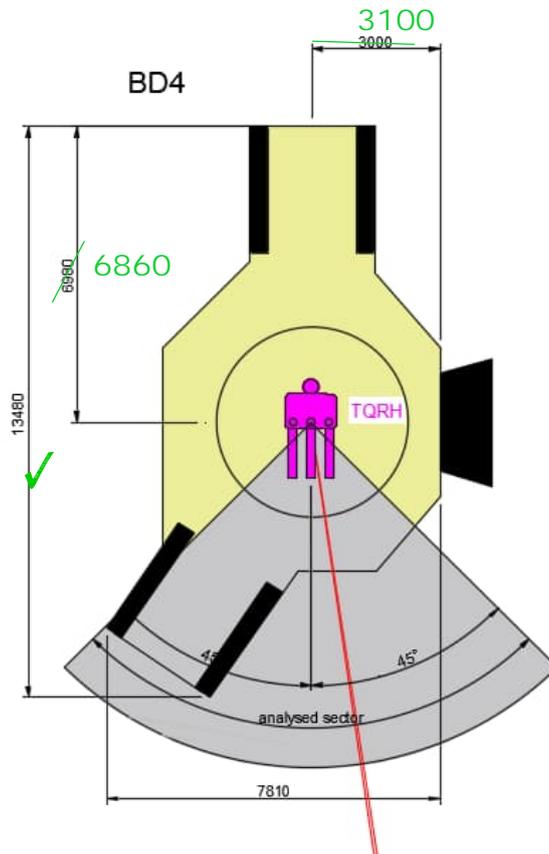


Abbildung 5-10: Skizze für BD4



  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 31 von 252

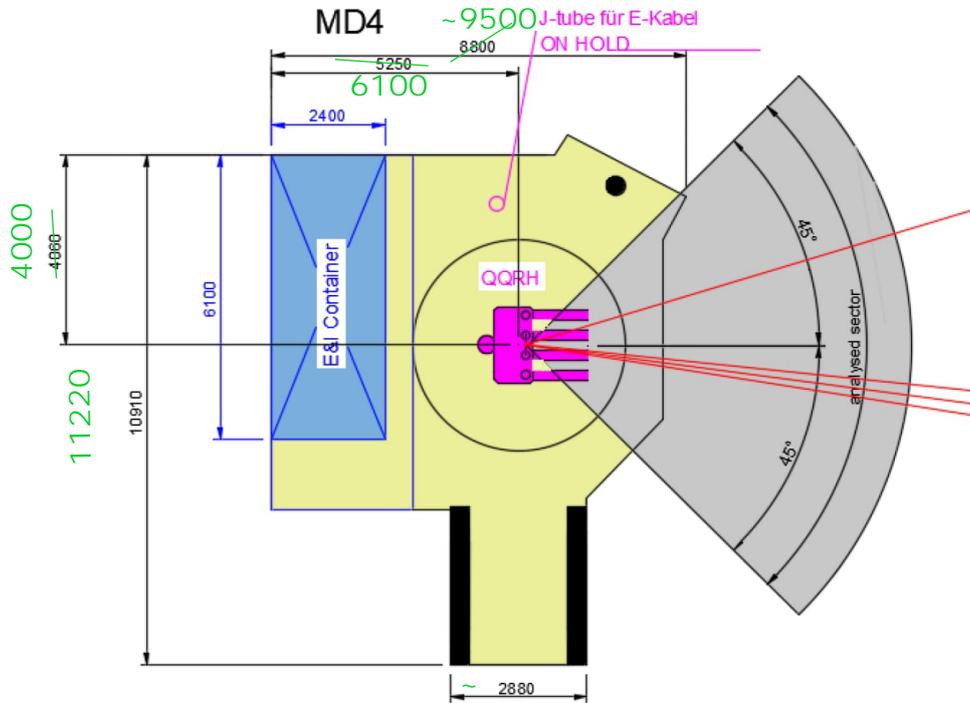


Abbildung 5-11: Skizze für MD4 ✓

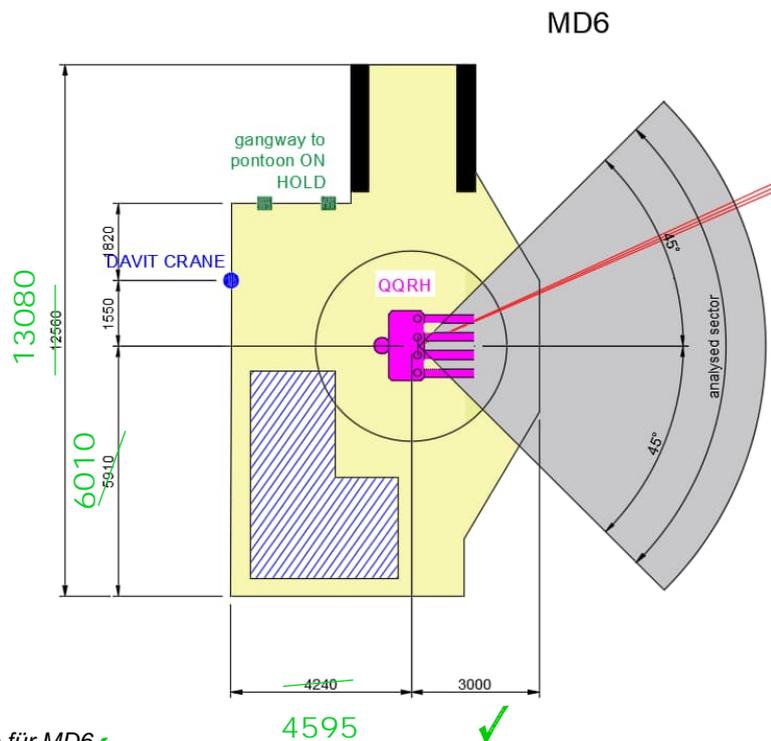


Abbildung 5-12: Skizze für MD6 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 32 von 252

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, Fender etc.)

6.3 Veränderliche Lasten (Q)

Zu den hier berücksichtigten veränderlichen Lasten zählen:

- Verkehrslast, siehe auch Kapitel 6.3.1
- Anlege-(Fender)-Lasten, gemäß Ref. [6.], siehe auch Kapitel 6.3.2
- Mooring-(Haken)-Lasten, gemäß Ref. [22.], [23.], siehe auch Kapitel 6.3.3
- Lasten aus Treppenturm & Gangway Lagerung, gemäß Ref. [25.], siehe auch Kapitel 6.3.4
- Lasten aus E&I Container (20"), siehe auch Kapitel 6.3.8
- Lasten E-Kabeln, siehe auch Kapitel 6.3.9
- Umweltlasten (Wind, Schnee, Eis) gemäß Ref. [1.], siehe auch Kapitel 6.4

6.3.1 Personenzahl / Verkehrslasten

Basierend auf Kundenvorgabe (Ref. [21.]), 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 Fender-Lasten

Aus der aktuellen dynamischen Anlege- und Vertäu- Berechnung (DMA) (seitens IMDC, Ref. [6.]), ergibt sich für das dargestellte Layout (4 Anlege-Dalben) eine maximale Fender-Kraft von 3.548 kN.

Ebenso werden charakteristische Fender-Lasten basierend auf der maximalen Fender-Reaktionslast angenommen, die in einer ähnlichen Größenordnung liegen, aber leicht darüber liegen:

Laut Ref. [7.] wird der folgenden Fender-Typ berücksichtigt:

- Super Cone Fender Type: SCN 2250 F1.4
- Absorptions-Energy: $E = 4.963,4 \text{ kNm}$
- Zugehörige Reaktionslast: $R = 3.707,6 \text{ kN}$
- Gewicht (nur Fender, ohne Fenderplatte): $m_F = 13,5 \text{ t}$ **Als richtig vorausgesetzt**
- Maximaler Reibbeiwert der Fenderplatte: $\mu = 0,2$

Zur Minimierung der Lasten auf den Dalben und für den Anschluss der Fenderkonstruktion wird ein Reibungsarmes Material für die Fenderplatte (im Kontakt zu dem Schiff) nötig sein. Es wird davon

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 33 von 252

ausgegangen, dass ein Reibwert von $\mu \leq 0,1$ möglich ist. Nichtsdestotrotz wird für die strukturellen Nachweise eine Reibkraft am Fender mit $\mu = 0,2$ ermittelt. ✓

Um hieraus, die maximale charakteristische Fender-Reaktionslast zu ermitteln, wird die Reaktionslast, R mit den folgenden Faktoren multipliziert:

- Winkel-Faktor: $f_w = 1,00$ ✓
- Temperatur-Faktor: $f_T = 1,05$ ✓
- Geschwindigkeits-Faktor: $f_v = 1,10$ ✓
- Toleranz-Faktor: $f_{tol} = 1,10$ ✓

Somit resultieren die charakteristischen Fenderlasten pro Richtung zu: *

- Axiale Fender-Drucklast: $F_{Fender,X,ch} = R * f_w * f_T * f_v * f_{tol} = 4.711 \text{ kN}$
- Horizontale Fenderlast (infolge Reibung) $F_{Fender,H,ch} = F_{Fender,X,ch} * \mu = 942 \text{ kN}$
- Vertikale Fenderlast (infolge Reibung) $F_{Fender,V,ch} = F_{Fender,X,ch} * \mu = 942 \text{ kN}$
- Fender-Gewicht $W_{Fender} = 1.2 * m_F * g = 159 \text{ kN}$

Ein Gewichtszuschlagfaktor von 1,2 wird hier benutzt, um das zusätzliche Gewicht der Fenderplatte zu berücksichtigen.

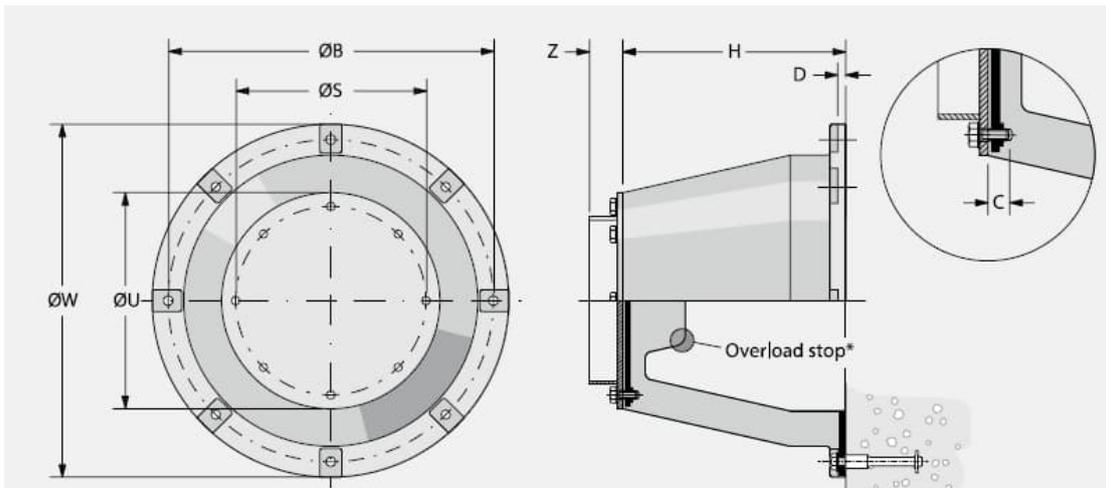


Abbildung 6-1: Klassischer „Super Cone Fender“ von Trelleborg

Für die strukturellen Nachweise von Pfahl und Fenderanschluss werden die Lastfaktoren nach EC3 berücksichtigt. ✓

* Als richtig vorausgesetzt

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 34 von 252

6.3.3 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.



Figure 6-1 Example Quick Release Hook (Source: Straatman)

Alle Angaben, zu Gewichten und Arbeitslast (SWL: Safe Work Load) wurde der Ref. [22.], [23.] entnommen. Jeder einzelne Schnell-Löse-Haken (QRH: Quick Release Hook) hat eine Arbeitslast von SWL = 150 t. ✓

Gemäß Ref. [22.], [23.] sind die Eigengewichte der Schnell-Löse-Haken (QRH: Quick Release Hooks) wie folgt:

- QQRH (Quadrupel Quick Release Hook): $m_{QQRH} = 5.600 \text{ kg} = 5,6 \text{ t}$ ✓
- TQRH (Triple Quick Release Hook): $m_{TQRH} = 4.600 \text{ kg} = 4,6 \text{ t}$ ✓

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	$60\% \times 4 \times 150 \text{ t} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 3.532 \text{ kN}$ ✓
Äußere Anlegedalben	BD 1 & BD 4	Triple (T)	3	$60\% \times 3 \times 150 \text{ t} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 2.649 \text{ kN}$ ✓

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 35 von 252

Die in der obigen Tabelle angegebenen ULS Mooring Lasten können laut Ref. [5.] auch abweichend zur horizontalen Richtung mit bis zu 30° nach oben oder bis zu 10° nach unten wirken.

Die Mooring-Lasten werden konservativ in horizontaler Richtung aufgebracht, weil sie das maximale Biegemoment auf die Deckstruktur generieren.

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 +12,30 m LAT angesetzt. Konservativ wird eine reine Horizontalkomponente ohne Vertikalanteil für die Nachweise betrachtet.

6.3.4 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.

Die Hauptmessungen der Laufsteglagerung an der Basis sind $B \times L = 1.75 \text{ m} \times 1.75 \text{ m}$. Die detaillierten Abmessungen von den Treppenturm und Gangway sind in der Zeichnung [26.]

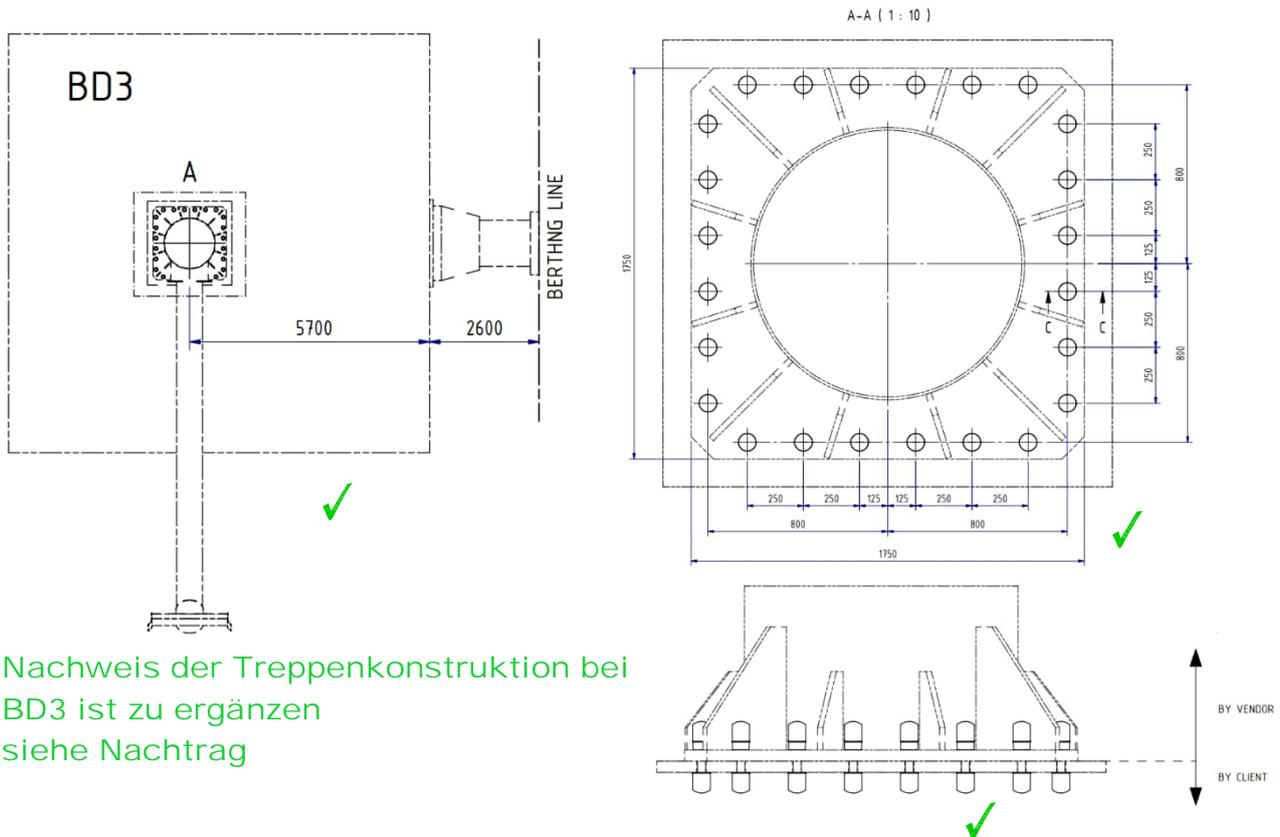


Abbildung 6-2: Treppenturm Grundlage

Die Schnittstellenlasten zur BD 3 Plattform sind aus Ref. [27.] extrahiert.

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 36 von 252

Tabelle 6-2: Schnittstellenlasten Als richtig vorausgesetzt Siehe Nachtrag

Lastfall (LC)	Resultierende Horizontallast, F_R [kN]	Vertikal -Last, F_z [kN]	Resultierendes Biegemoment, M_R [kNm]	Drehmoment, M_z [kNm]
LC 17	22,9	348,5	968,9	19,5
LC1	32,9	348,5	780,7	19,5
LC 2	138,4	432,7	1.837,8	1,0
LC 6	174,0	432,7	1.443,6	656,0
Max.	174,0	432,7	1.837,8	656,0

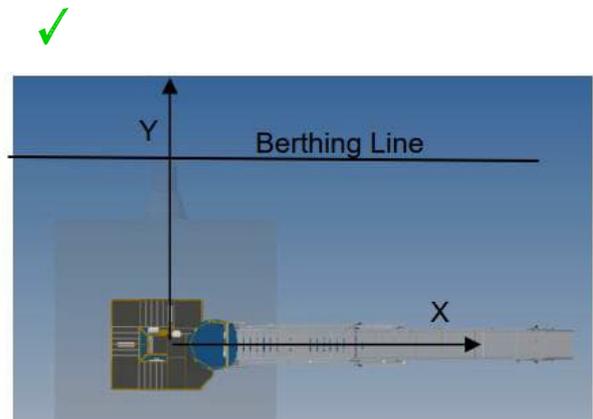


Figure 6-2 Gangwayturm in Betrieb

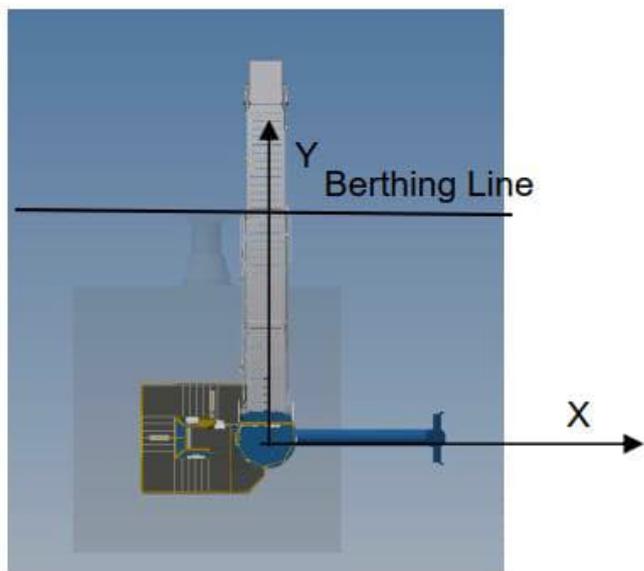
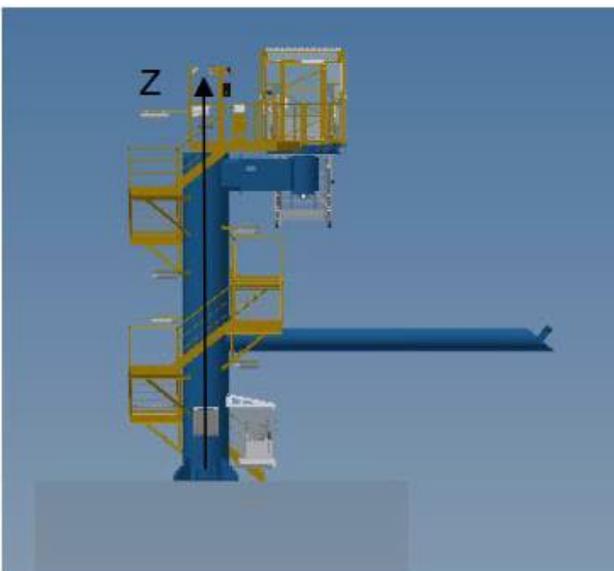


Figure 6-3 Gangwayturm in Staustellung

Die maximale Lasten aller Lastfälle in [27.] werden für die Berechnung der Dalben Plattformen berücksichtigt.



  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 37 von 252

6.3.5 Notunterkunft bzw. Sammelplatz

Die Plattform MD 6 soll zusätzlich zu dem Lager für Brücken B9 noch Platz für einen Sammelplatz für 40 Personen bieten.

6.3.6 Ponton

Vor den Dalben MD5 und MD6 soll ein Anlegeponton festgemacht werden. Da der finale Ponton, seine genaue Position, seine Hauptabmessungen, Funktionalitäten und Festmachung noch nicht bekannt sind, wird der Ponton als offener Punkt eingestuft.

6.3.7 Laufweg / Rampe zu Ponton

Von dem Sammelplatz auf MD6 aus, soll auch der Anlegeponton erreichbar sein. Da noch keine genauen Angaben zum Ponton vorhanden sind, ist auch der Laufsteg auf der Rampe: $B_{\min} = 1,2$ m. Die Neigung der Rampe ist prinzipiell möglichst gering zu halten, da diese auch als Rettungsweg dient. Wie dies mit den vorhandenen Extremwasserständen, geplanten Pontonabmessungen, etc. zusammenpasst, bedarf noch der finalen Klärung. Deswegen ebenfalls hier der offene Punkt.

6.3.8 E&I Container

Die Plattform MD 4 soll zusätzlich zu den Lagern für die Brücken B7 und B8 noch Platz für zwei 20 ft E&I Containers bieten. Das Eigengewicht für beide ausgerüsteten E&I Container wird momentan laut elektrischem Ausrüster zu 20 t geschätzt. Konservativ, und um mögliche ungleichmäßige Containerbelastungen und spätere Erweiterungen zu berücksichtigen, wird jeder Container in der Analyse mit je 24 t berücksichtigt.

Beide E&I Container müssen für Wartungszwecke erreichbar sein. Dazu muss die Plattform MD4 vor dem unteren Container eine Treppe und Laufsteg als Zugang zu dem oberen Container ausgerüstet werden.

6.3.9 Seekabel und J-Tube

An der Plattform MD 4 ist die Anlandung von einem Seekabel (Typ Waterlink – fere 1,8 / 3kV von Nexans) geplant. Für die Lastermittlung der zugehörigen J-Tube (Kabelführungsrohre) an der MD4 werden Durchmesser und Gewicht der Kabel entsprechend Referenz [8.] verwendet:

- Kabeldurchmesser: $D = 53,5$ mm
- Kabelgewicht: $m = 7,4$ kg/m in Luft *
- Kabelgewicht: $m = 5,1$ kg/m in Wasser *
- Betrachtete Länge: $L = 15$ m (LAT to ML) + 5 m (bending) + 12 m (LAT to pltf.) = 32 m
- Minimum zulässiger Biegeradius: $D = 1,6$ m bzw. $R = 0,8$ m
- Maximale Kabel-Zugkapazität: $F_{\text{pull}} = 145$ kN * * Als richtig vorausgesetzt

Um die J-tube und deren Anschlüsse an die MD4 Plattform im Detail zu konstruieren, wird die maximale Umlenk- und Reibungskraft des Kabels während der Installation, sowie genaue Methoden und die erforderlichen Abmessungen des Kabelinstallationsequipments benötigt.

Die maximale Kabel-Zugkapazität ist 145 kN. Ein In-Place Zustand und 2 mögliche Installationsmethoden werden in diesen Phasen untersucht, da die finale Kabel-Installationsmethode und Anordnung noch nicht bekannt ist. Das Windengewicht ist als 500 kg angenommen und die Kabelzuglasten inklusive aller möglichen Umlenkungen werden konservativ mit der Kabel-Zugkapazität angesetzt.

6.3.10 Davit Kran

Die Plattform MD6 soll zusätzlich mit einem Davit Kran ausgestattet werden. Dieser Kran soll Lasten vom Ponton auf MD6 zu heben können. Im Notfall sollen über diesen Kran auch Personen geborgen werden können.

Da der finale Kran noch nicht gewählt wurde, sind momentan die Reaktionslasten am Kran-Fundamentfuß nicht bekannt. Für die globale Strukturanalyse der MD6 Plattform, werden Reaktionslasten am Kran-Fundamentfuß

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 38 von 252

zunächst wie folgt abgeschätzt (angenommen inkl. Kraneigenwicht und erforderliche dynamische Einflüsse sind enthalten):

- Vertikallast am Fuß: $V_{Kran} = 60 \text{ kN}^*$
 - Horizontallast am Fuß: $H_{Kran} = 20 \text{ kN}^*$
 - Biegemoment am Fuß: $M_{Kran} = 150 \text{ kNm}^*$
- * Als richtig vorausgesetzt

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass sobald der Kranlieferant bekannt ist, die Reaktionslasten vom Hersteller mit den hier angenommenen Werten verglichen werden müssen.

6.4 Umweltbedingungen

Alle Umweltbedingungen basieren auf den in Referenz [1.] angegebenen Daten.

6.4.1 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 $z_{ref} = 10 \text{ m}$ über Wasseroberfläche angenommen.

Die vorherrschende Windrichtung ist aus Südwest.

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

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

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

Der Winddruck auf eine Struktur ergibt sich zu:

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

mit: q_p : Böhenstaudruck,
 c_f : Aerodynamischer Beiwert.

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:

- $c_f = 2,0$ ✓ für Eckige Profile (maximaler Wert),
- $c_f = 1,2$ ✓ für Rundprofile (maximaler Wert),

6.4.2 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). ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 39 von 252

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:

μ_i = Schneelast Formkoeffizient = 0,8 für Oberflächen (/Dächer) mit einem Winkel < 30°. ✓

C_e = Aussetzungskoeffizient = konservativ zu 1,0 gesetzt ✓

C_t = Thermischer Koeffizient = 1,0 für den Normalfall ✓

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

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

6.4.3 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 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 $e = 0,01 \text{ kN/m}$. ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 40 von 252

6.5 Reaktionslasten der Brücken / Rampe

Die folgende Reaktionslasten aus den Auflagerpunkten der Brücken aus Ref. [20.] werden für die Dalben berücksichtigt.

Tabelle 6-3: Brückenlager Lasten pro Lager

Reaktionslasten pro Lager	Last [kN]			
	Brücke B1	Brücke B3	Brücke B4	Brücke B7
Vertikal (Druck)	161 ✓	500 ✓	1.523	371 ✓
Vertikal (Auftrieb)	-	-	-1.046 ✓	-
Horizontal (y-Richtung)	120 ✓	320 ✓	323 ✓	230 ✓
Horizontal (x-Richtung)	47 ✓	133 ✓	216 ✓	117 ✓
Reibkräfte (x-Richtung)	48 ✓	150 ✓	457 ✓	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. [20.] analysiert.

Die Brücke B1 deckt somit auch alle anderen kleinen Brücken (B2, B5, B6, B8 und B9) ab. Deswegen werden konservativ auch die Reaktionslasten der Brücke B1 für alle anderen kleinen Brücke angenommen.

Da die Rampe noch nicht fertig designed und ausgeslegt wurde (fehlende Informationen zu Ponton, Neigung, etc.), sind momentan auch noch keine die Reaktionslasten der Rampe an MD6 bekannt. Für die globale Strukturanalyse der MD6 Plattform, werden die Reaktionslasten aus dem Rampenlager deswegen momentan konservativ wie folgt abgeschätzt (inkl. Faktor):

- Vertikal: $V_{Rampe} = 300 \text{ kN (jeder Lager) }^*$
- Horizontal (y-Richtung): $Y_{Rampe} = 300 \text{ kN (in Rampenquerrichtung) }^*$
- Horizontal (x-Richtung): $X_{Rampe} = 400 \text{ kN (in Rampenlängsrichtung) }^*$

* Als richtig vorausgesetzt

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 41 von 252

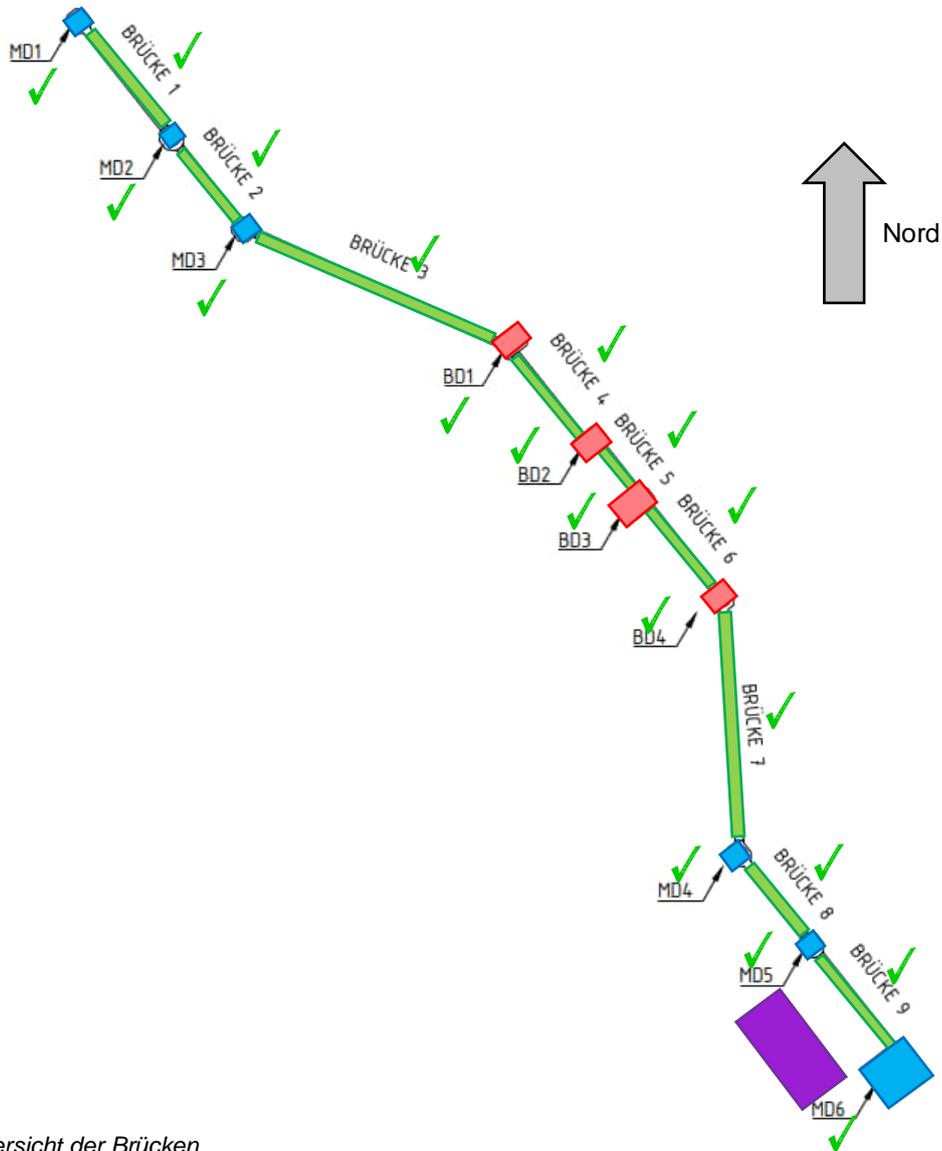


Abbildung 6-3: Übersicht der Brücken

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 42 von 252

6.6 Korrosionszuschlag – Stahl

Die Korrosionsrate wird allgemein nach der Ref. DIN 18088 [XIII.] bestimmt.

- $V_{\text{corr}} = 0,01 \text{ mm / Jahr}$ für außenliegende Strukturelemente, oberhalb der Wasserwechselzone, wenn kein Korrosionsschutz-Anstrich verwendet wird. ✓
- $V_{\text{corr}} = 0,30 \text{ mm / Jahr}$ für außenliegende Strukturelemente, innerhalb der Wasserwechselzone ✓
- $V_{\text{corr}} = 0,15 \text{ mm / Jahr}$ für innenliegende Oberflächen, welche nur unregelmäßig von Wasser bedeckt werden ✓

Der Korrosionszuschlag des Stahls der Gründungsstruktur innerhalb der Wasserwechselzone wird wie folgt berechnet.

Um die Stahlstrukturen erfolgreich gegen Korrosion zu schützen, sollten 3 Schichten Epoxidbeschichtung, welche passend für diese Umgebung auszuwählen sind, aufgetragen werden. Die Schichtdicken sollten nach der gewünschten Lebensdauer von $T_c = 5 \text{ Jahre}$, ausgewählt werden.

Für äußere Strukturelemente innerhalb der Wasserwechselzone:

- $C_A = 0,3 \frac{\text{mm}}{\text{Jahr}} \cdot (5 \text{ Jahre}) = 1,5 \text{ mm}$ ✓

Für innere Strukturelemente:

- $C_I = 0,15 \frac{\text{mm}}{\text{Jahre}} \cdot (5 \text{ Jahre}) = 0,75 \text{ mm}$ ✓

Es wird angenommen, dass die Gründungsstruktur der Dalben unterhalb der Wasserwechselzone mit einem thermischen Spritzverfahren gegen Korrosion geschützt wird.

Innerhalb der Wasserwechselzone ist der Korrosionszuschlag wie oben beschrieben definiert.

Es wird derzeit angenommen, dass alle Dalbenplattformen mit einem geeigneten Anstrich gegen Korrosion geschützt werden, sodass kein Abrostungszuschlag in den Analysen zu berücksichtigen ist.

✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 43 von 252

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 (Sd) die Bemessungstragfähigkeit (Rd) 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

Φ = Widerstandsfaktor.

Der Widerstandsfaktor Φ verhält sich wie folgt zum Materialfaktor γ_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 - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 44 von 252

7.5 Strukturelle Nachweisführung

7.5.1 Allgemeines

Für die Dalbenplattformen werden die folgenden globalen 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.

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

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

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

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

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 6.4.1 definiert ist.

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

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 45 von 252

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).

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

		Struktur		
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN		Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03	
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU			Seite 46 von 252	

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. [XIX.]) 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: $\gamma_G * G + \gamma_Q * Q_1 + \gamma_Q * (\sum Q_i * \psi_{0,i})$
 $1,0 * G + 1,0 * Q_1 + 1,0 * (\sum Q_i * \psi_{0,i})$ ✓

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

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° 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}	$1+0,25*(100/SHL)^{0,5} = 1,62$ 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 - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 47 von 252

Der Gesamtfaktor für die Hebeanalyse resultiert somit zu:

- $f_{total, ULS} = f_{DAF} * f_m * f_{COG} * f_{SKL} * f_{cons} * \gamma_{F,ULS} = 4,30$ ✓
- $f_{total, SLS} = f_{DAF} * f_m * f_{COG} * f_{SKL} * f_{cons} * \gamma_{F,SLS} = 3,19$ ✓

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.

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:

$$\gamma_{m1} = 1,10$$

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 - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 48 von 252

9 Globaler 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.

9.2 Model Beschreibung

Für den globalen Festigkeitsnachweis im Betriebszustand sind die Deckbalken, Laufsteg und Diagonalen als Abstützung des Decks zum Pfahl berücksichtigt. Der Pfahl ist nicht mit modelliert. Die entsprechenden Modelle für alle untersuchten Plattformen, gezeigt in den folgenden Abbildungen unten, bestehen vereinfacht hauptsächlich aus Balkenelementen. Zusätzlich zu den Balkenelementen werden noch sogenannte „Load Patches“ zur Modellierung der Gitterroste, sowie Plattenelemente zur Modellierung der Decksplatten in der Mitte unter den Hooks verwendet.

Dieser Elementtyp „Load Patch“ (für die Gitterroste) ist masselos und dient ausschließlich der Lastverteilung auf die angrenzenden Balken ohne zusätzliche Festigkeit bzw. Steifigkeit beizutragen. Es wird angenommen, dass die Lasten nur über die kurze Seite auf zwei Seiten von den Balken abgetragen werden.

In dem verwendeten Balken-FE- Modell werden sogenannte „Offsets“ definiert, um die Außermittigkeiten der Balkenachsen zu berücksichtigen (alle Obergurte auf eine Höhe). Diese Offsets sind in den folgenden Abbildungen nicht gezeigt, damit das Modell noch gut sichtbar und verständlich bleibt und nichts durch diese „Offsets“ verdeckt wird.

Für die Lasteinleitung der Hook-Lasten werden hier sehr stark vereinfacht Dummy-Elemente zur Abbildung der Hooks benutzt. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass in diesem globalen Modell nur die Höhe der Lasteinleitung (Mooring-Leinen-Angriffspunkt) über der Beam-Achse der Plattformen eine Rolle spielt.

Für die lokale Lasteinleitung aller Lasten vom Haken (Hook) in das Deck wird auf das Kapitel 12 verwiesen. In diesem Dokument wird prinzipiell nur der Stahlbau unter dem Hook nachgewiesen Die Basisplatte des Hakens sowie die Verbindungsschrauben sind Kaufteile die vom Hersteller (Hakenlieferanten) mitgeliefert werden und bedürfen deswegen hier keinen gesonderten Nachweis.

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



 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 49 von 252

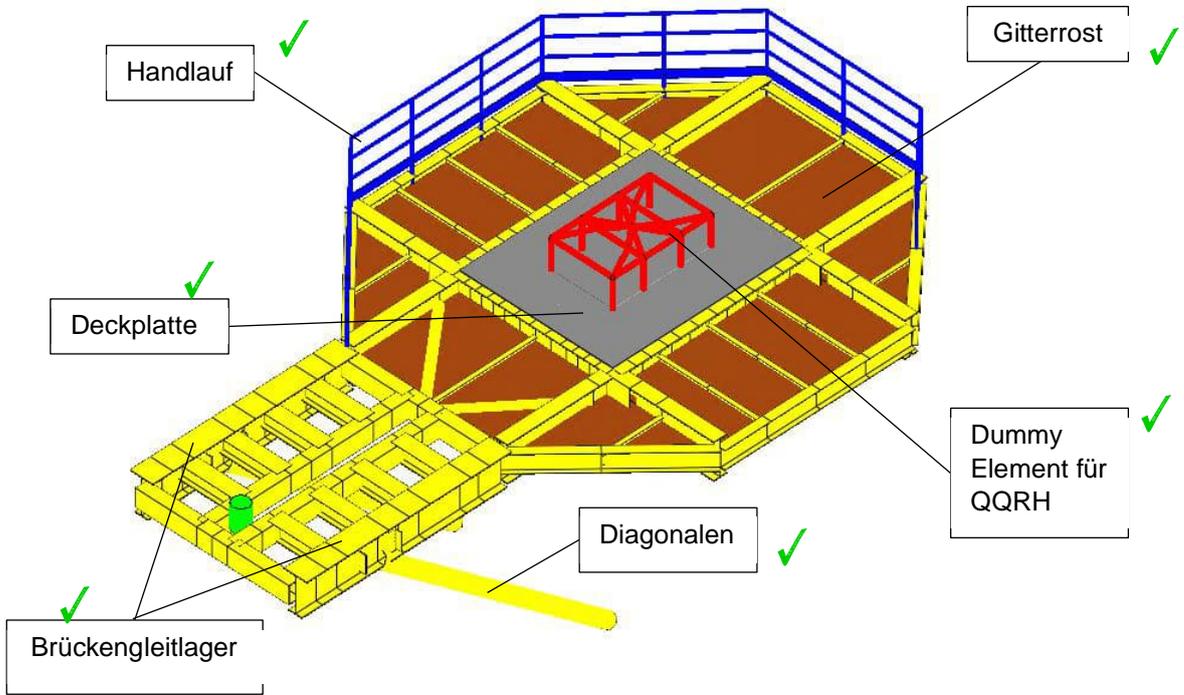


Abbildung 9-1: FE-Model, MD1

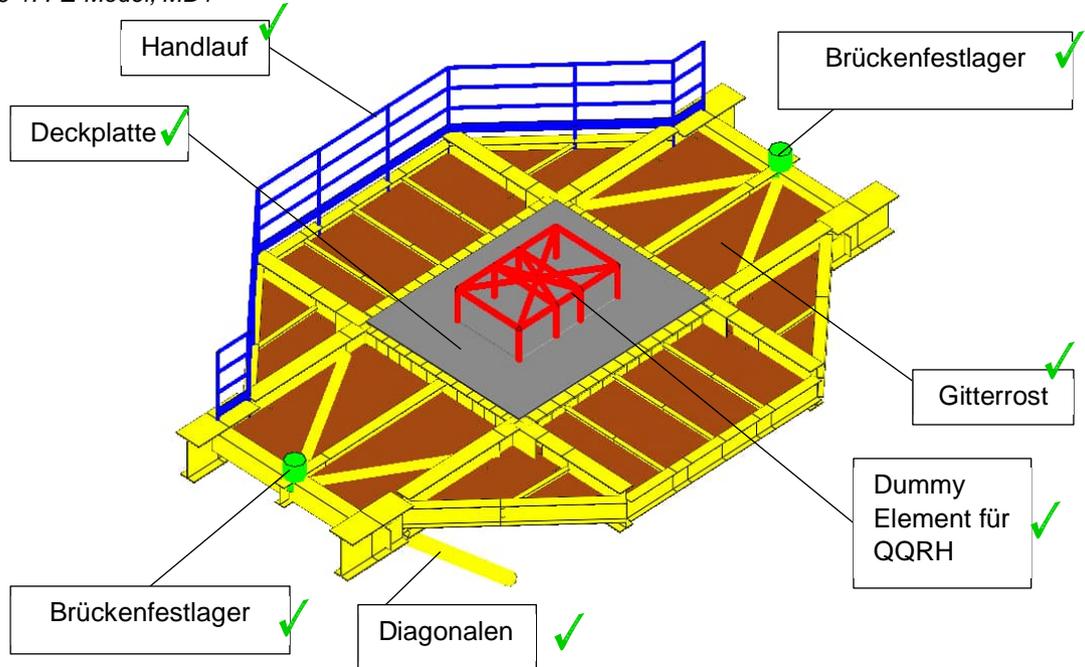


Abbildung 9-2: FE-Model, MD2

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 50 von 252

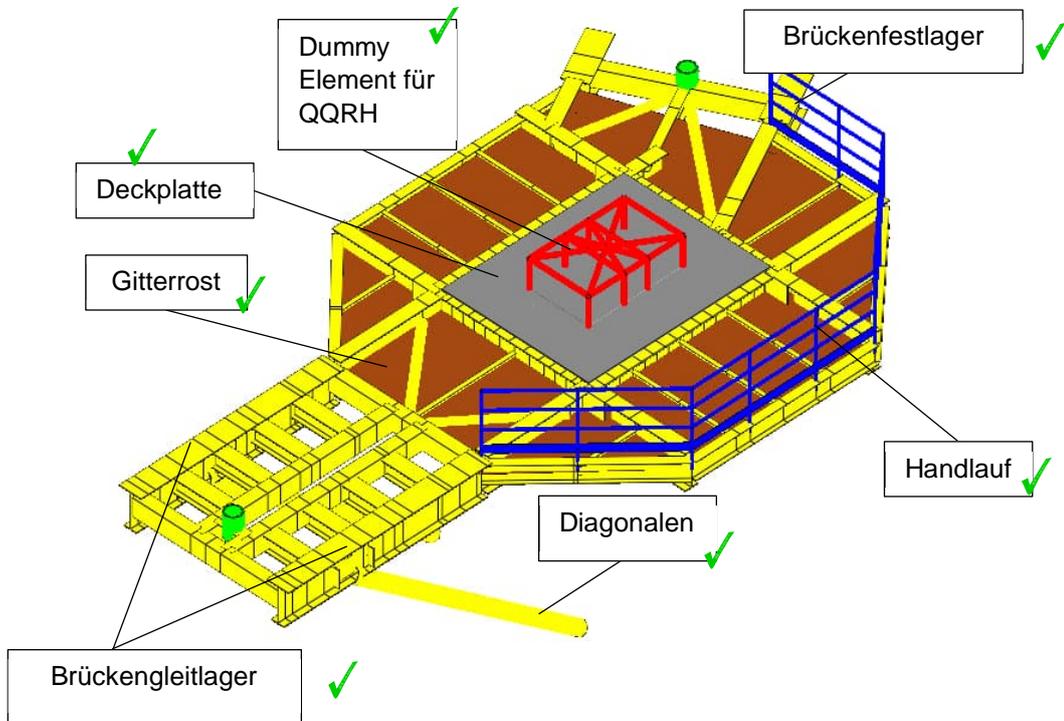


Abbildung 9-3: FE-Model, MD3 ✓

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 51 von 252

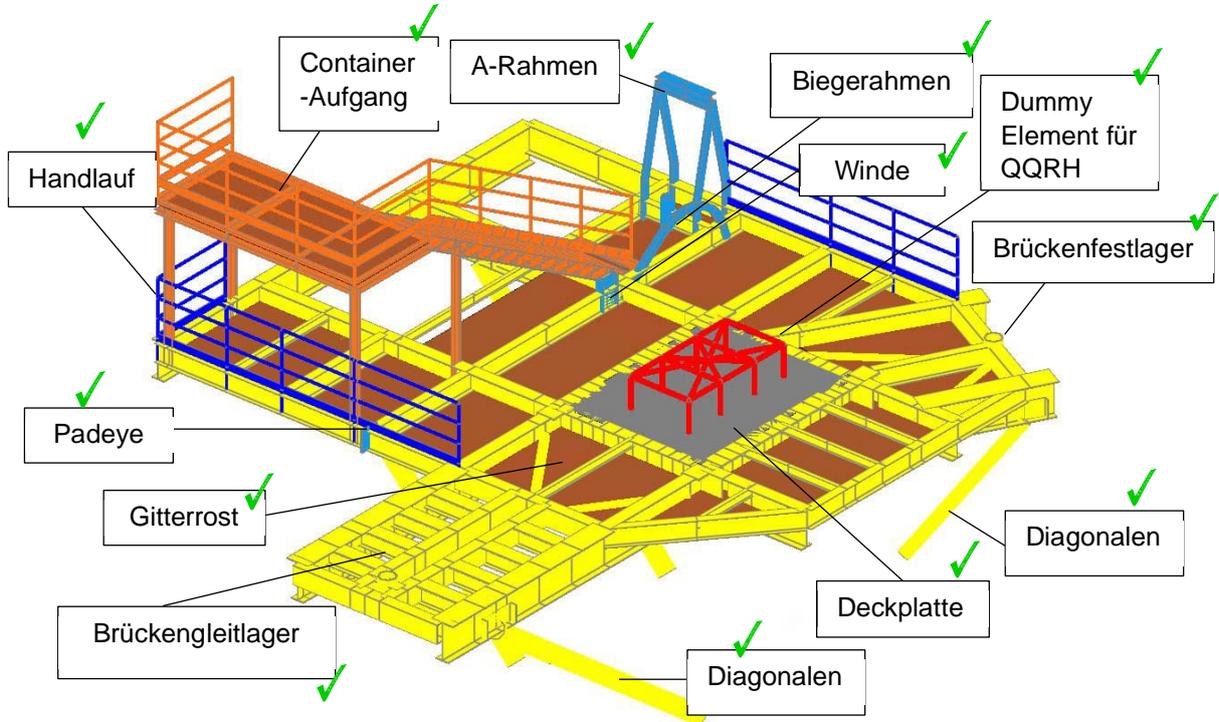


Abbildung 9-4: FE-Model, MD4 ✓

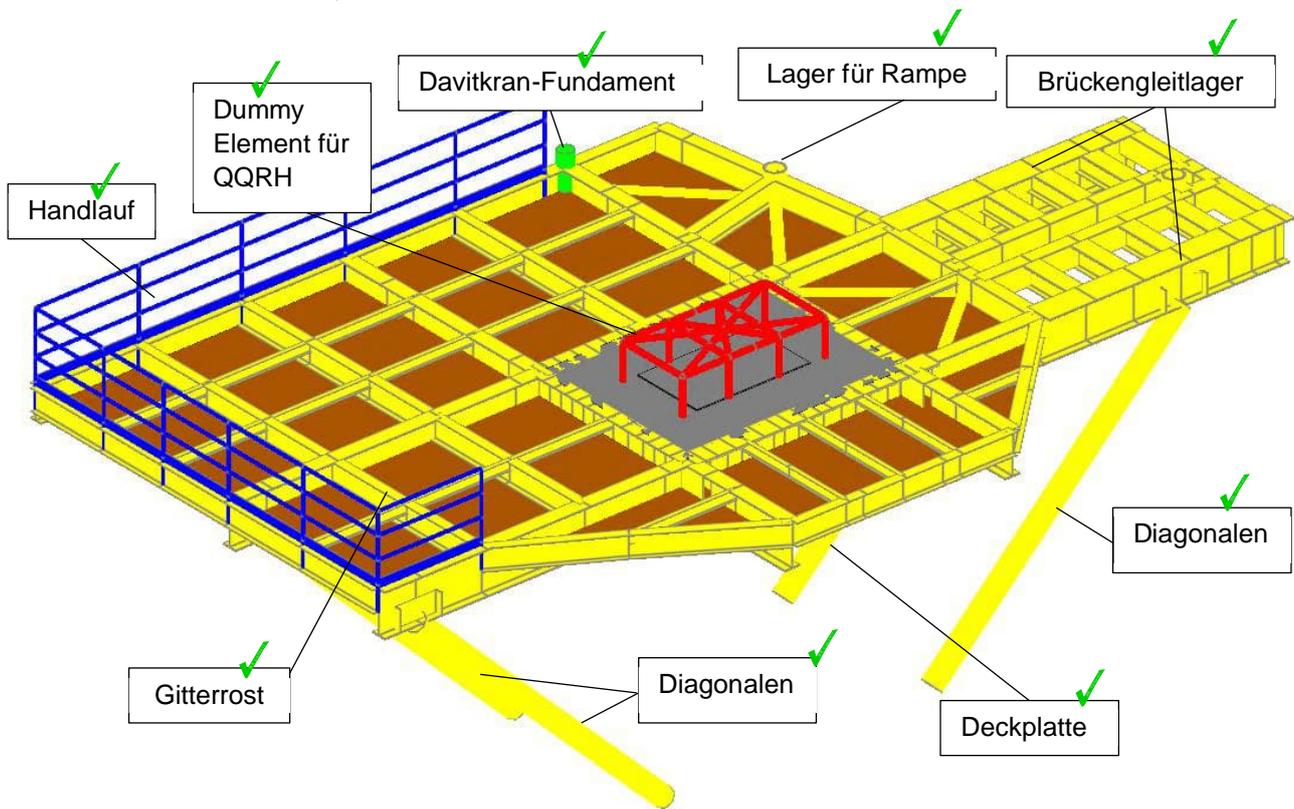


Abbildung 9-5: FE-Model, MD6 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 52 von 252

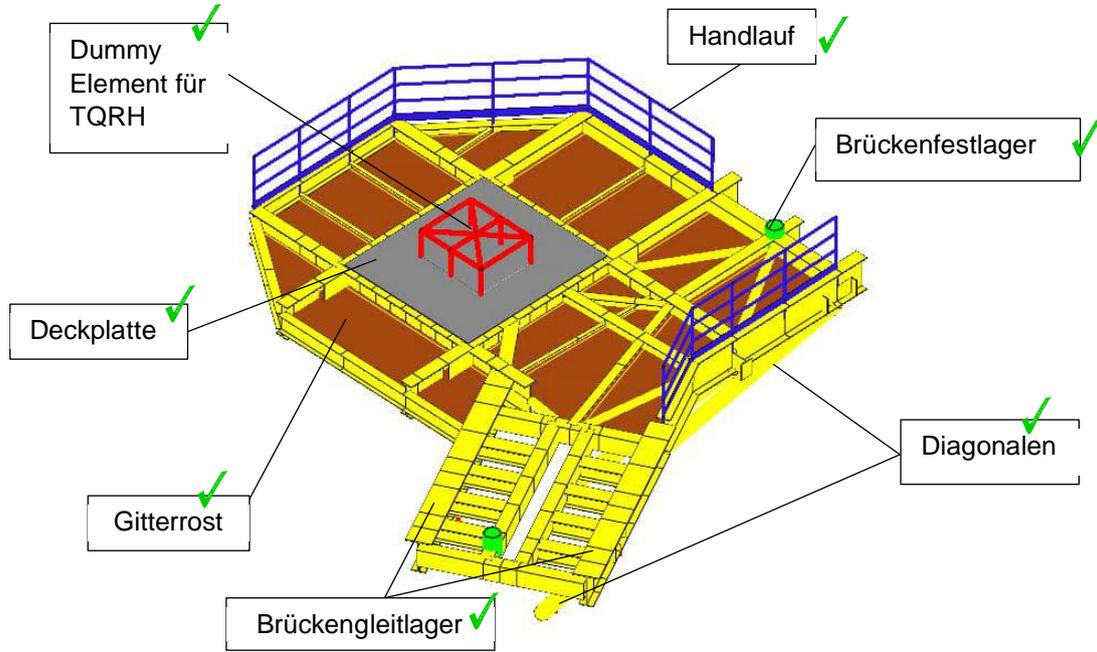


Abbildung 9-6: FE-Model, BD1 ✓

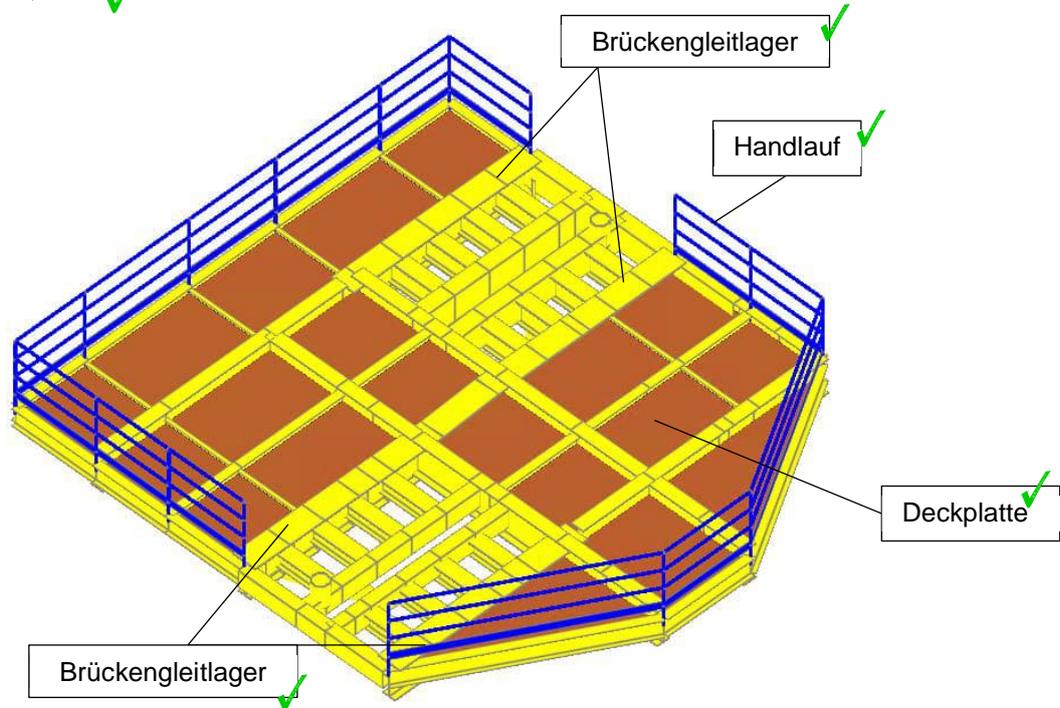


Abbildung 9-7: FE-Model, BD2 ✓

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 53 von 252

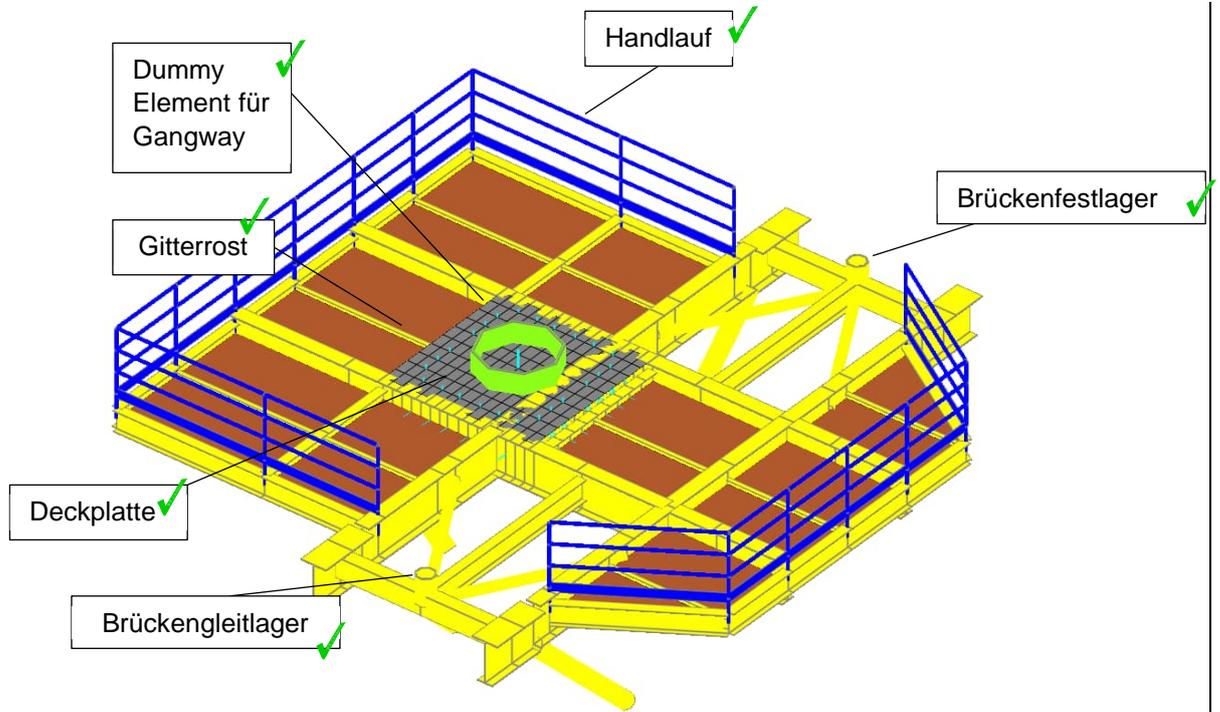


Abbildung 9-8: FE-Model, BD3 ✓

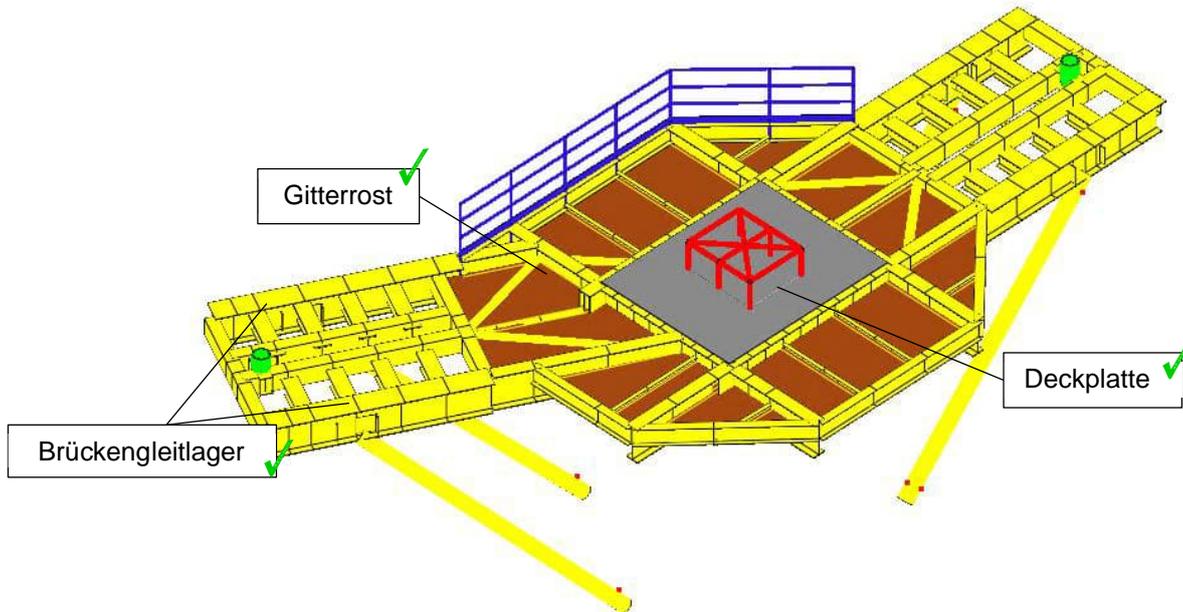


Abbildung 9-9: FE-Model, BD4 ✓

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 54 von 252

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 folgt 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.

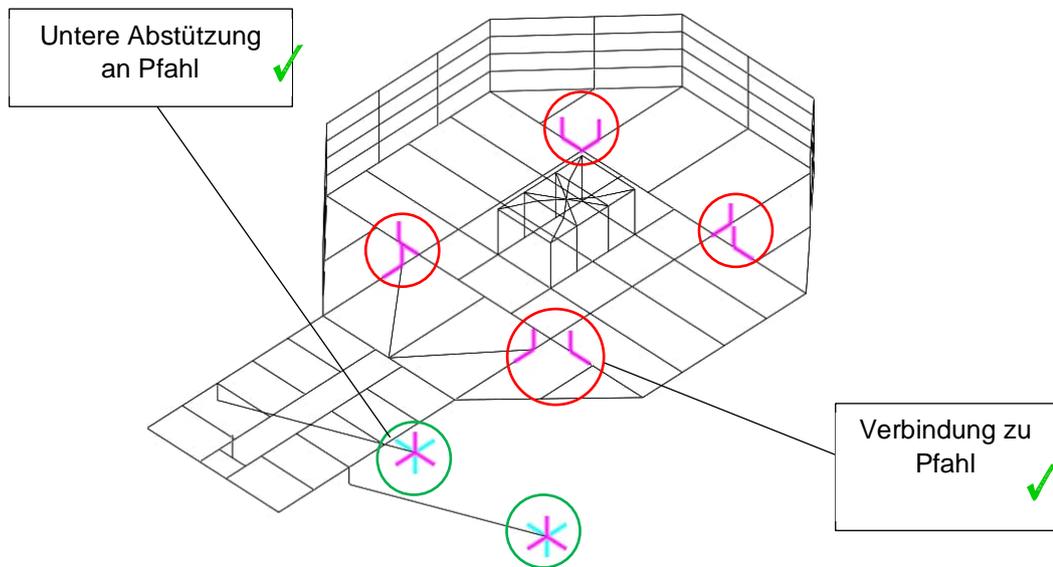


Abbildung 9-10: Randbedingungen, MD1 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 55 von 252

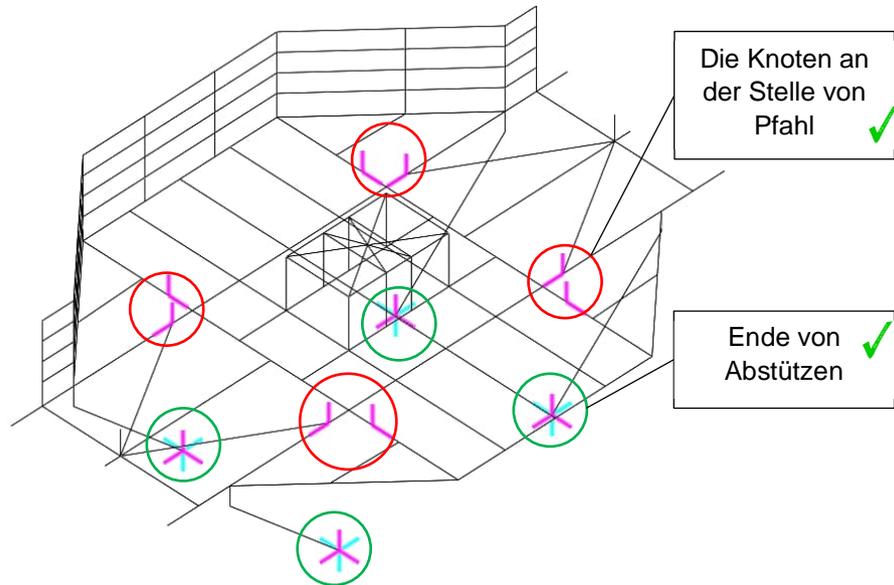


Abbildung 9-11: Randbedingungen, MD2 ✓

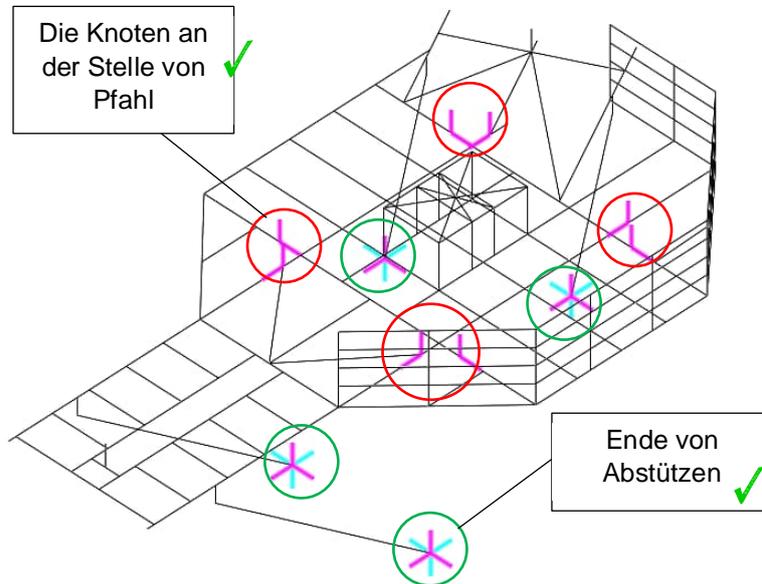


Abbildung 9-12: Randbedingungen, MD3 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 56 von 252

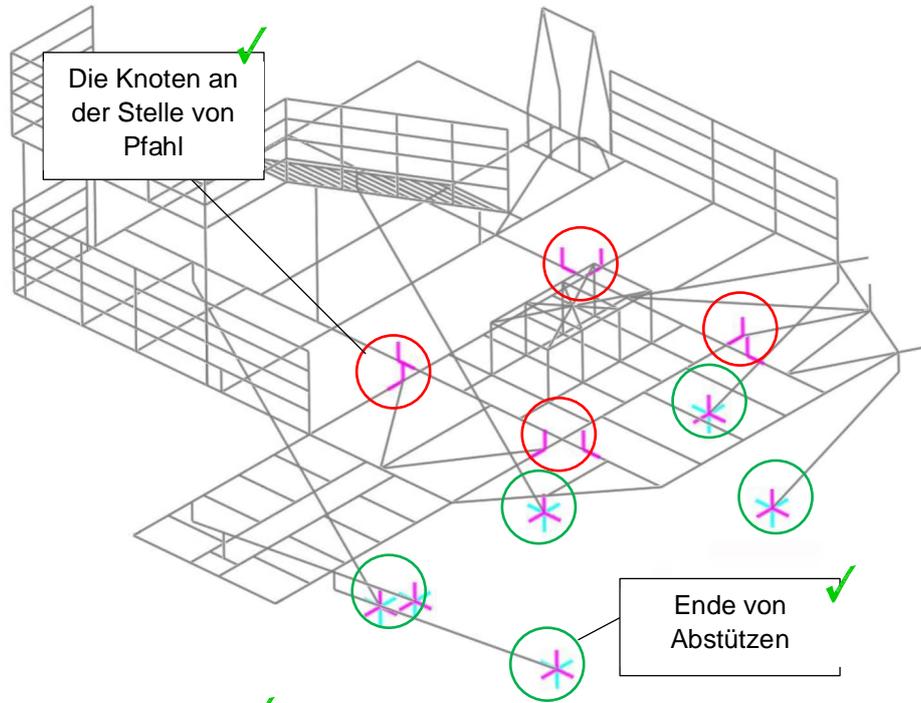


Abbildung 9-13: Randbedingungen, MD4 ✓

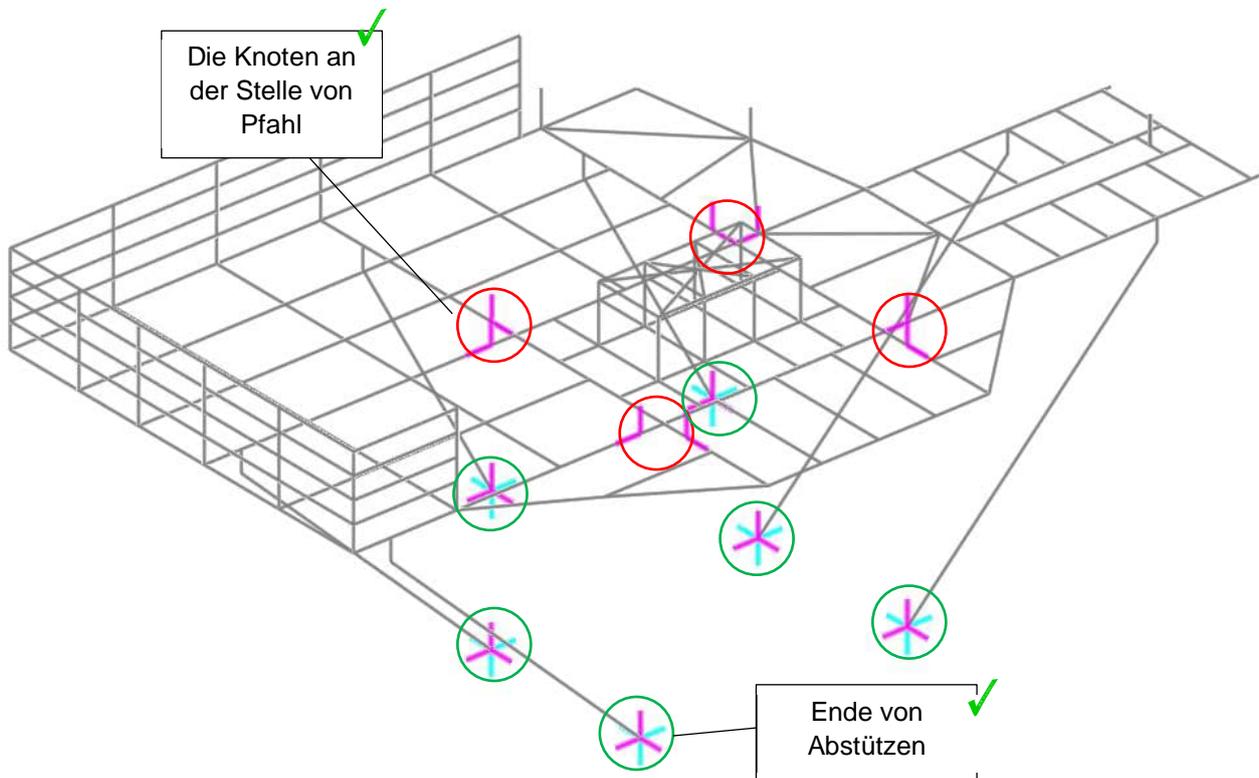


Abbildung 9-14: Randbedingungen, MD6

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 57 von 252

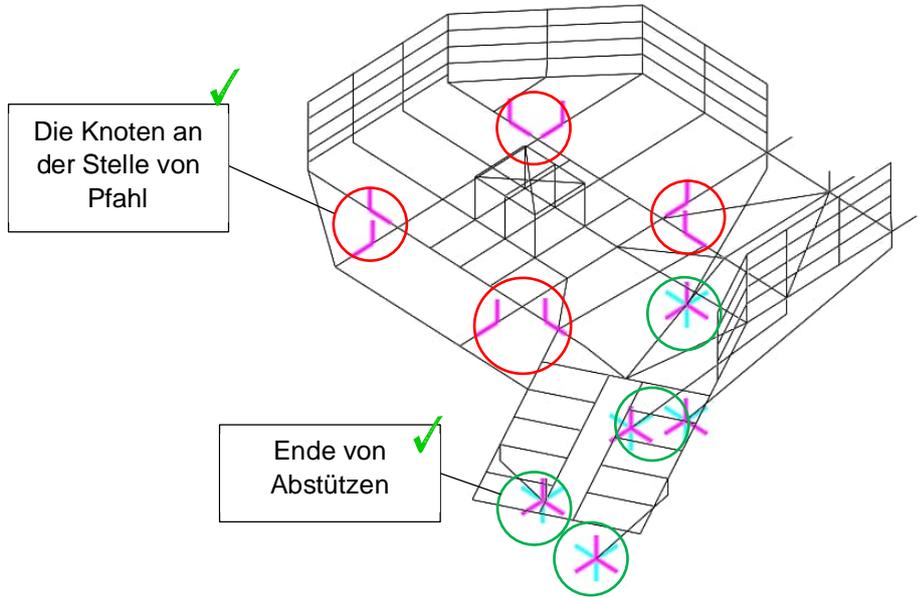


Abbildung 9-15: Randbedingungen, BD1 ✓

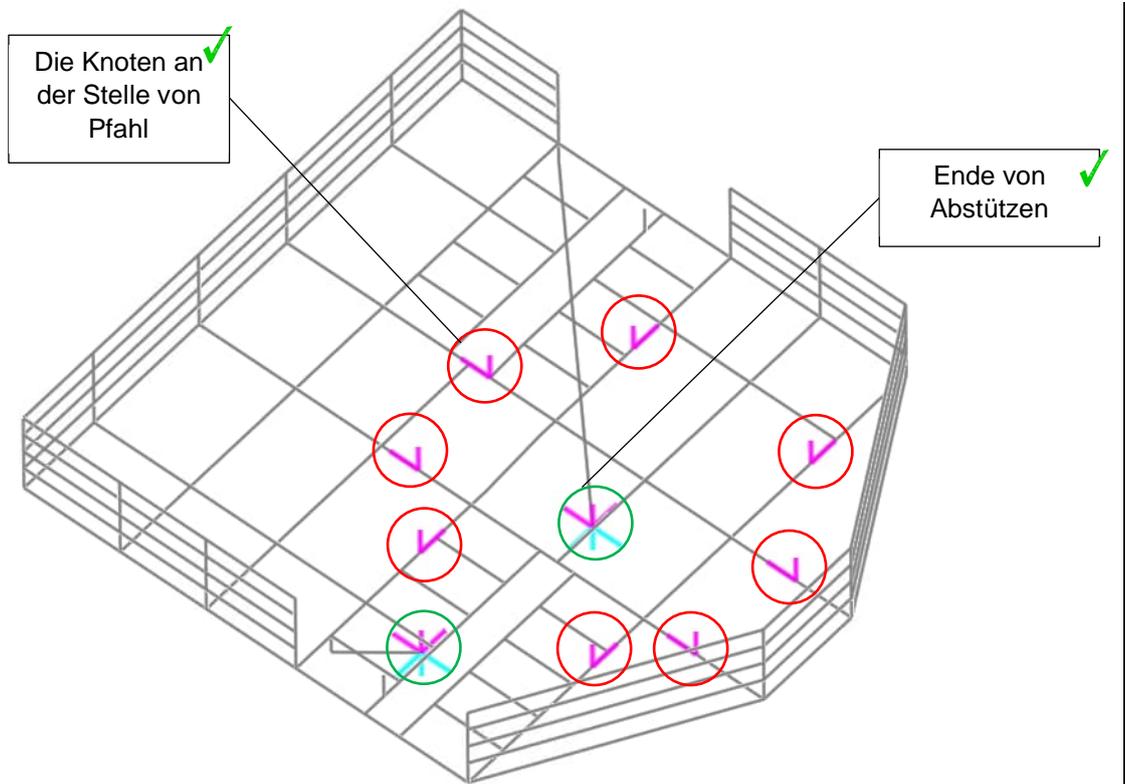


Abbildung 9-16: Randbedingungen, BD2 ✓

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 58 von 252

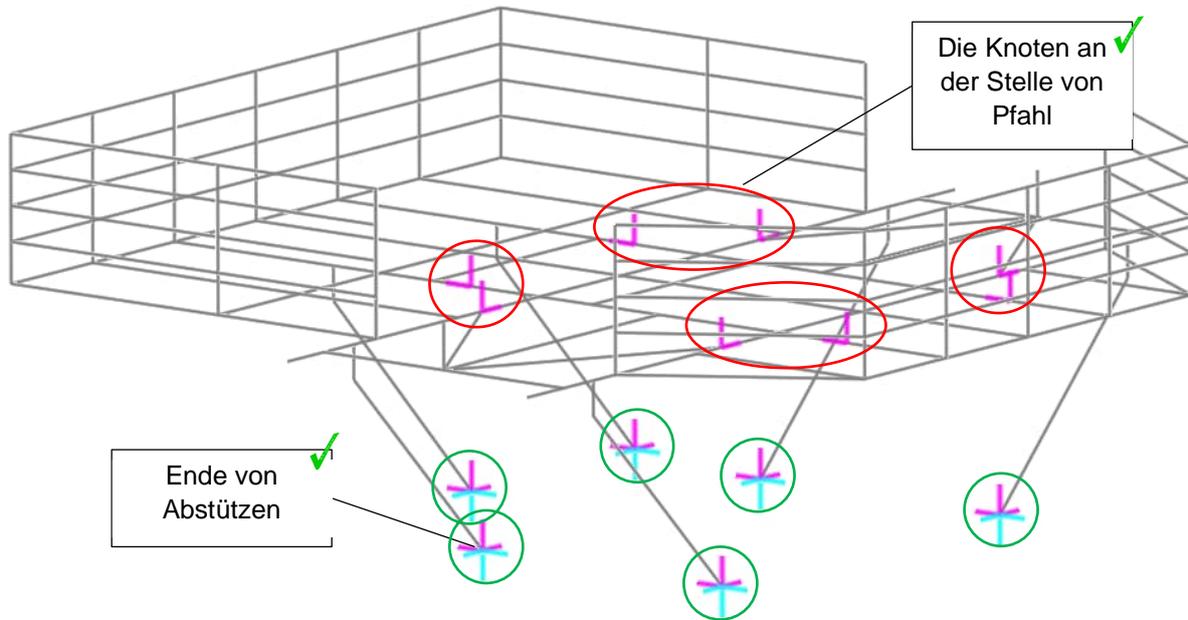


Abbildung 9-17: Randbedingungen, BD3 ✓

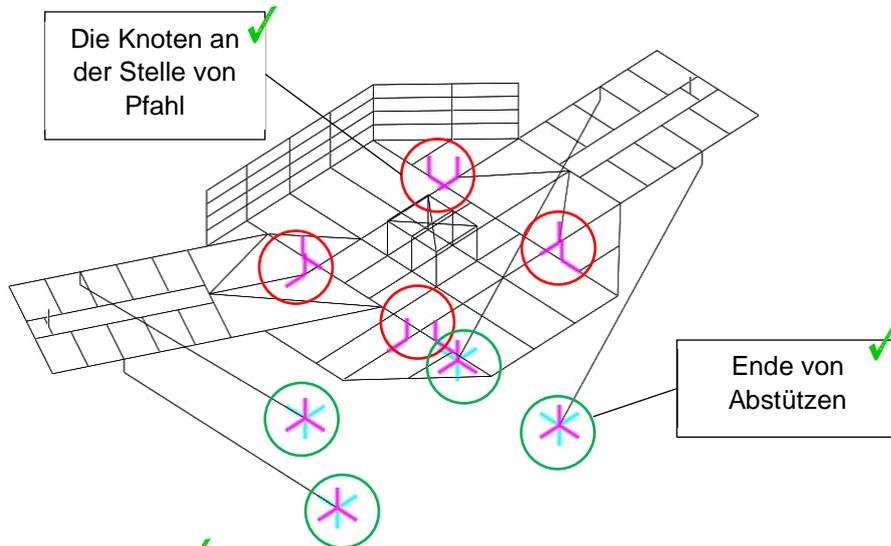


Abbildung 9-18: Randbedingungen, BD4 ✓

		Struktur		
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen		Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03	
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU			Seite	59 von 252

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	Equipment Lasten ✓
5	Q	Mooring-Lasten ✓
6	Q	Design Reaktionslast aus Brücke ✓
7	Q	Verkehrslasten ✓
8	E	Windlasten ✓
9	E	Schneelast ✓
10	E	Eislast ✓
11	Q	Holmlast ✓
12	Q	Design Reaktionslast aus Gangwayturm (auf BD3) ✓
13	Q	Kabeleinzugslast (auf MD4) ✓
14	Q	Davit-Kranlast (Schwenkkran auf MD6) ✓

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 kg/m^2 angenommen. ✓
 Die aufgetragenen Gewichte für Gitterroste sind exemplarisch für MD1 in der Abbildung unten dargestellt.

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 60 von 252

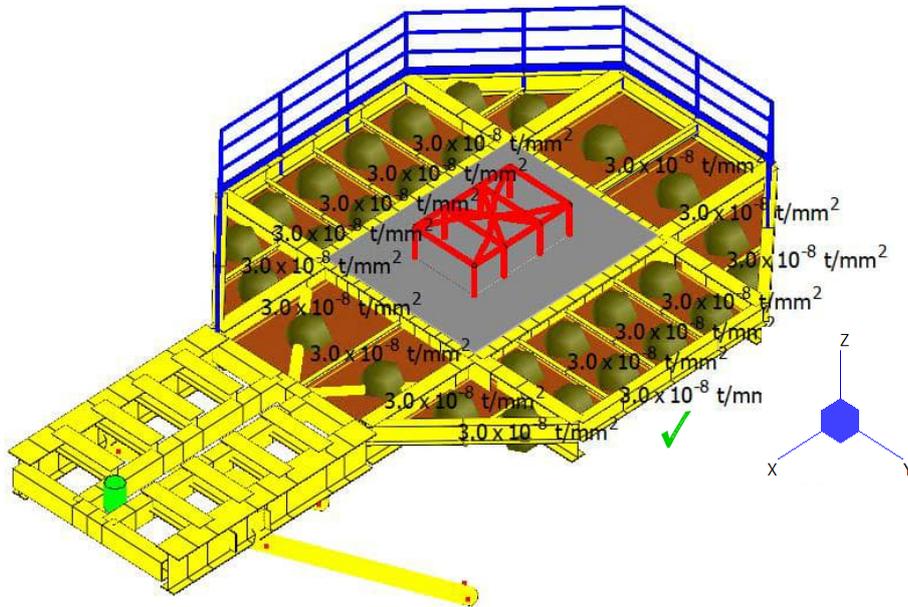


Abbildung 9-19: LC 2 – Eigengewicht der Gitterroste, MD1 ✓

9.4.4 LC 3 – Eigengewicht des Hakens (G)

In Lastfall LC 3 wird die Lasten infolge des Eigengewichtes des Hakens auf alle Plattformen außer BD2 und BD3 aufgebracht. Das Eigengewicht wird als Knotenmasse aufgebracht. Das aufgebrachte Hakengewicht ist exemplarisch für MD1 in der Abbildung unten dargestellt.

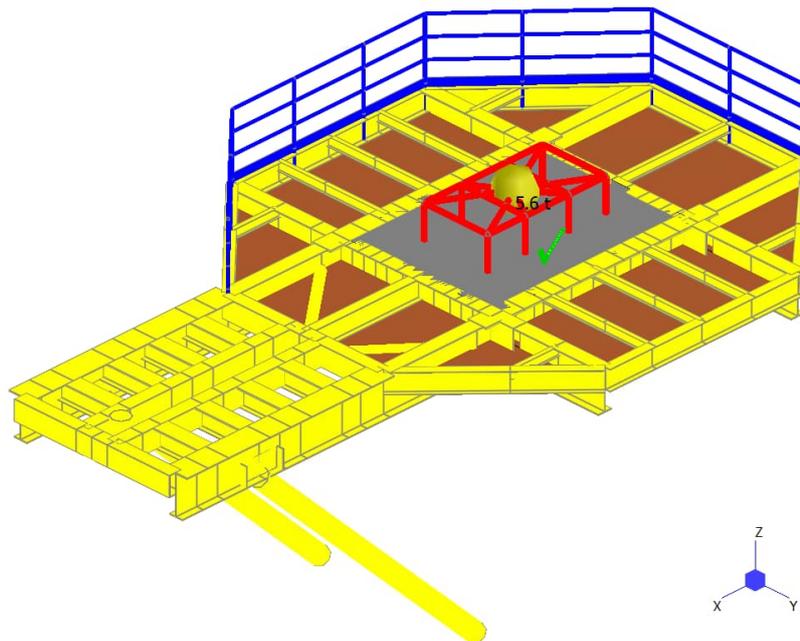


Abbildung 9-20: LC 3 – Eigengewicht des Hakens, MD1 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 61 von 252

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über das Eigengewicht des Hakens für die Dalben Plattformen (siehe auch Kapitel 6.3.3).

Tabelle 9-2: Übersicht der Hakengewichte

Plattform	Hakentyp	Eigengewicht des Hakens
MD1 – MD6	QQRH	5,6 t ✓
BD1 & BD4	TQRH	4,6 t ✓

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

Auf MD4 gibt es zwei 20 ft E&I Container (siehe auch Kapitel 6.3.8). Das Gewicht für 2 ausgerüsteten E&I Containers wird konservativ in dieser Analyse mit 24 t x 2 = 48 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.

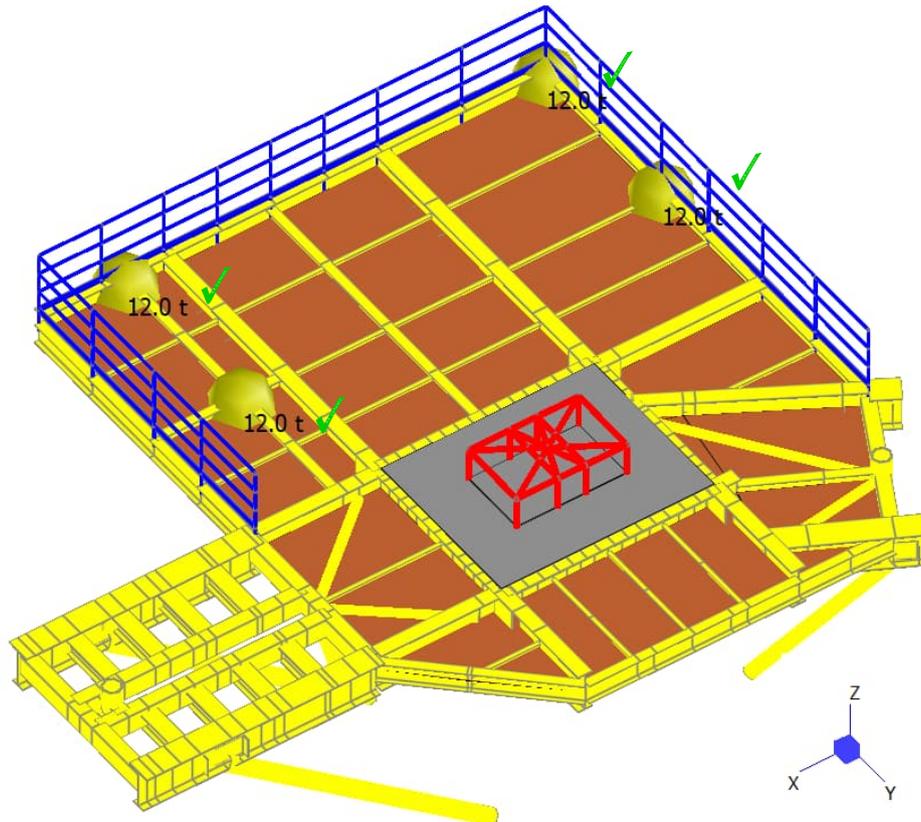


Abbildung 9-21: LC 4 – Equipment Lasten, MD4 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 62 von 252

9.4.6 LC 5 – Mooring-Lasten (Q)

Lastfall LC 5 enthält die Mooring-Lasten wie in Kapitel 6.3.3 beschrieben, welcher als Punktlast auf die Dummy Struktur von Haken aufgebracht ist. Diese Einzellast wird an verschiedenen maßgebenden Lastrichtungen berücksichtigt.

Die folgende Tabelle gib 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	3.532 kN ✓
BD1 & BD4	TQRH	2.649 kN ✓

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

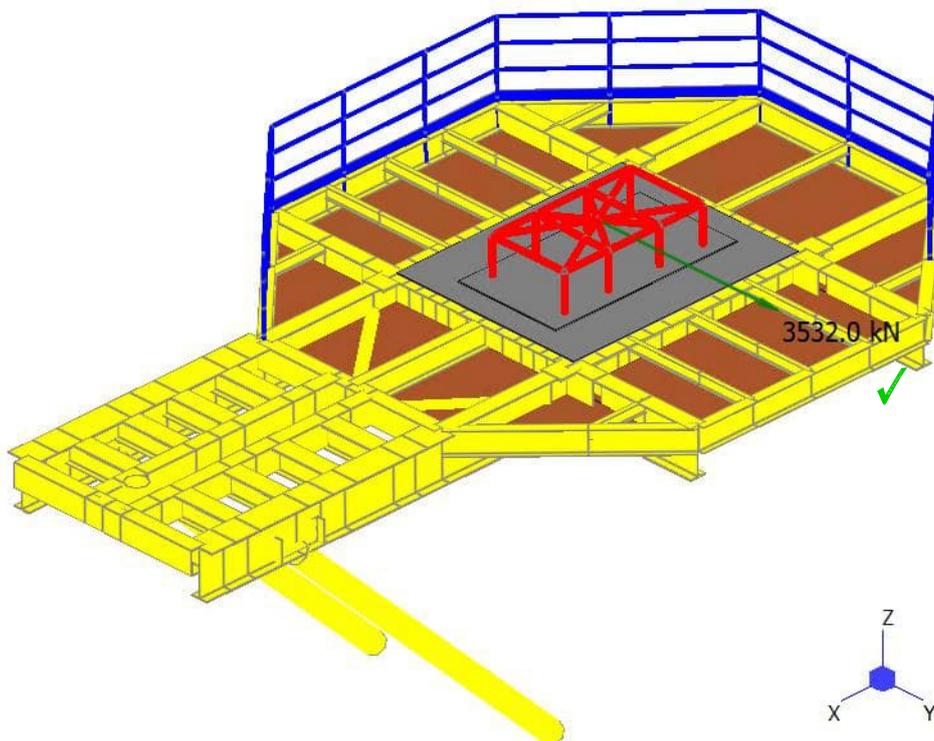


Abbildung 9-22: LC 5.1 – Mooring-Lasten in +Y Richtung, MD1 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 63 von 252

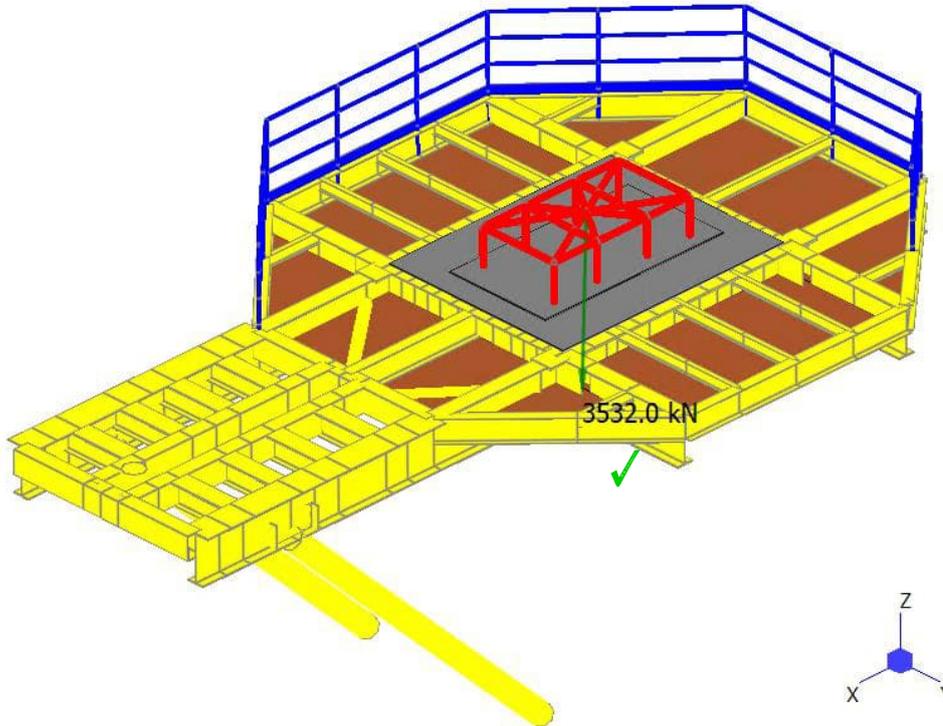


Abbildung 9-23: LC 5.2 – Mooring-Lasten in +X+Y Richtung, MD1 ✓

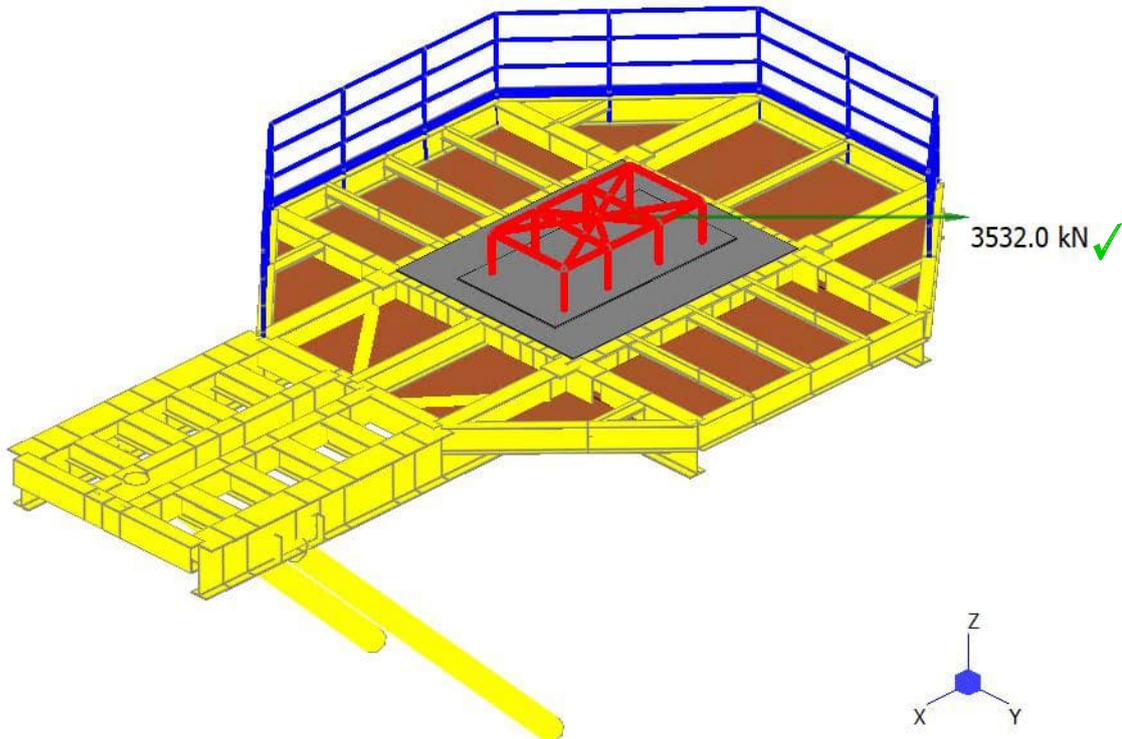


Abbildung 9-24: LC 5.3 – Mooring-Lasten in -X+Y Richtung, MD1 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 64 von 252

9.4.7 LC 6 – Reaktionslasten aus Brücken und Rampe (Q)

Die Reaktionslasten aus dem Brücken-Report, Ref. [20.] (siehe auch Kapitel 0) sind in diesem LC berücksichtigt. Die Designlasten in der Tabelle unten werden hier übernommen. Zusätzlich werden Kräfte aufgrund des Gleitwiderstands der Brückenlager berücksichtigt. Bei einem angenommenen Reibungskoeffizienten von 0,3 werden die resultierende/ aufgebrauchte Reibkräfte von $\mu \cdot F_v$.

Tabelle 9-4: DesignLasten für die Brückenlager

Reaktionslasten	Last [kN]			
	Brücke B1	Brücke B3	Brücke B4	Brücke B7
Vertikal (Druck)	161 ✓	500 ✓	1.523 ✓	371 ✓
Vertikal (Auftrieb)	-	-	-1.046 ✓	-
Horizontal (y-Richtung)	120 ✓	320 ✓	323 ✓	230 ✓
Horizontal (x-Richtung)	47 ✓	133 ✓	216 ✓	117 ✓
Reibkräfte (x-Richtung)	48 ✓	150 ✓	457 ✓	111 ✓

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

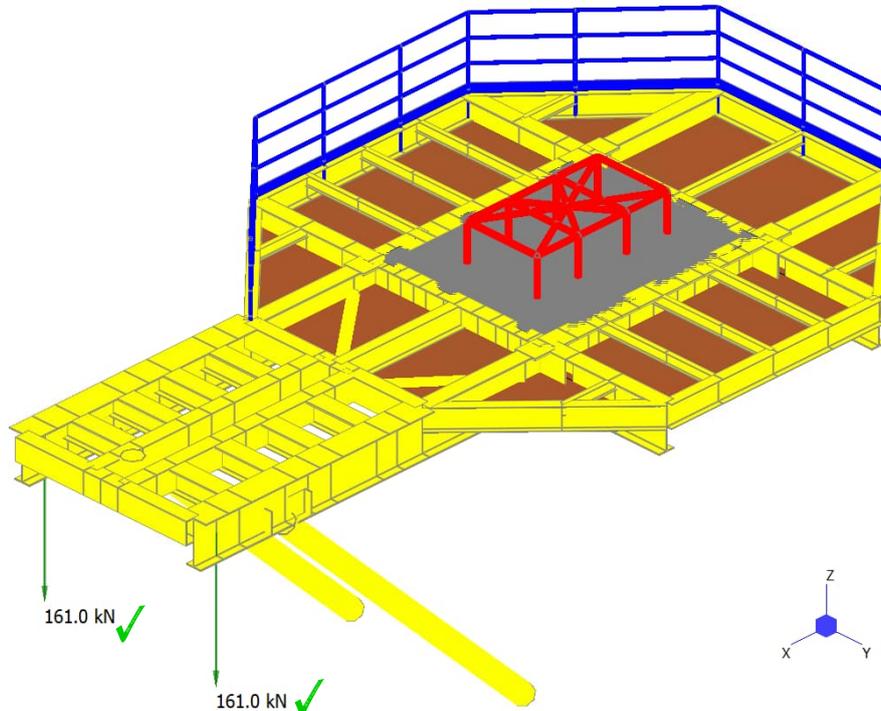


Abbildung 9-25: LC 6.1 – Vertikale Reaktionslasten aus Brücke, MD1 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 65 von 252

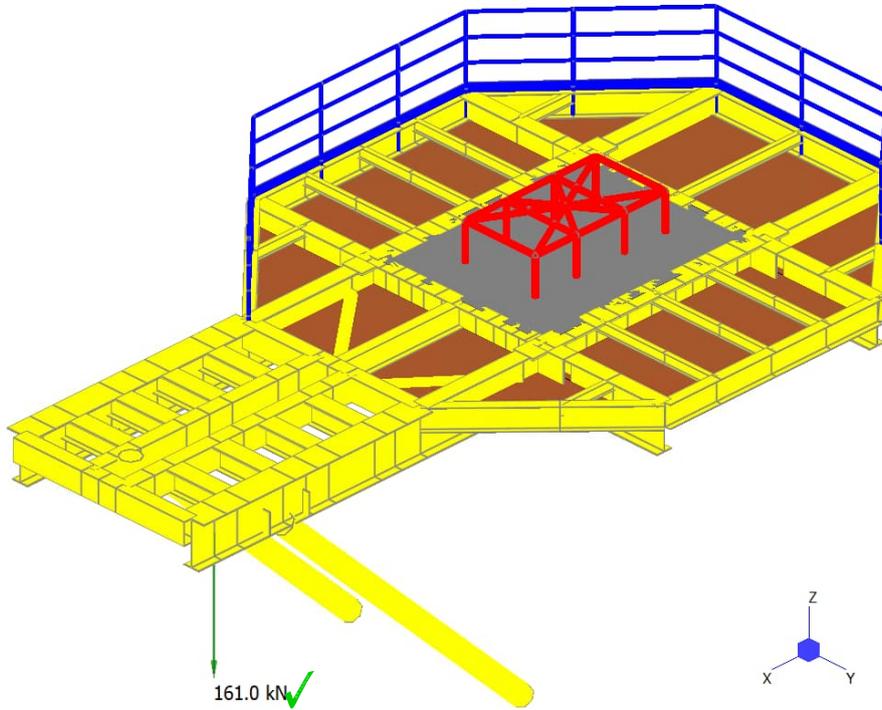


Abbildung 9-26: LC 6.2 – Vertikale Reaktionslasten aus Brücke, MD1 ✓

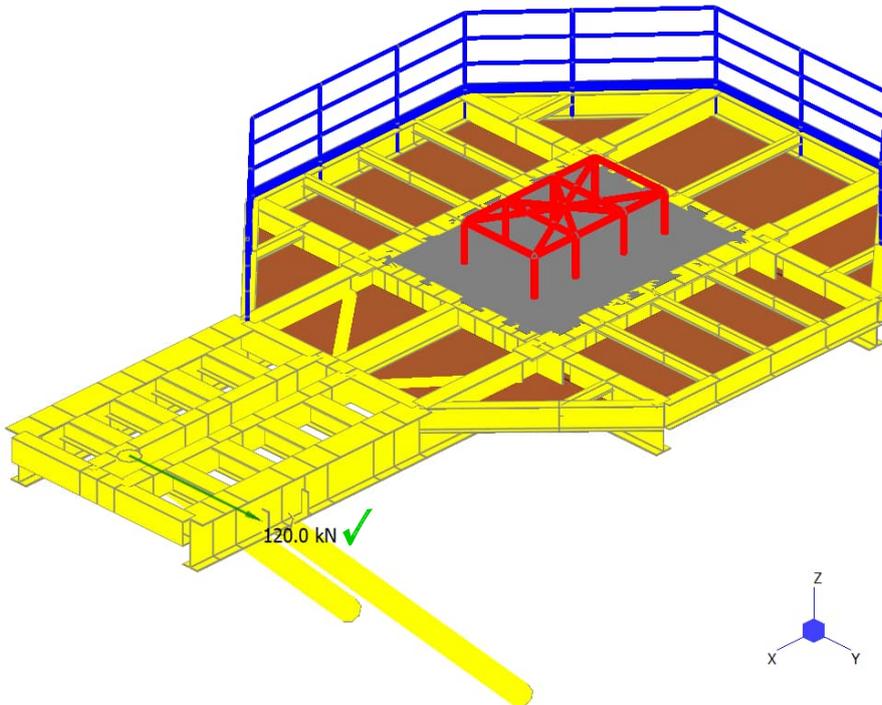


Abbildung 9-27: LC 6.3 – Horizontale Reaktionslasten aus Brücke, MD1 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 66 von 252

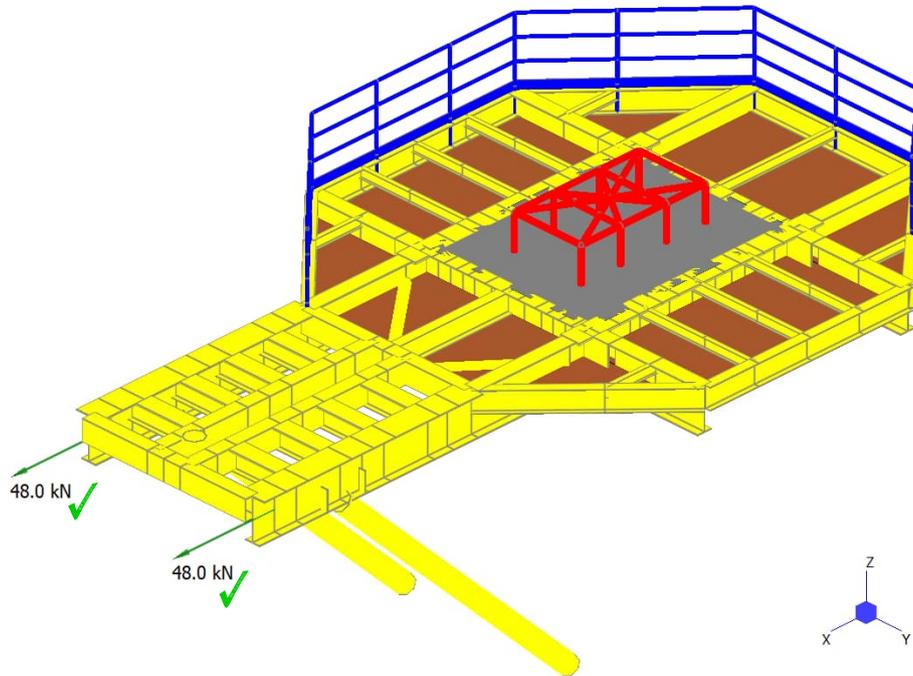


Abbildung 9-28: LC 6.3 – Reibkräfte aus Brücke, MD1 ✓

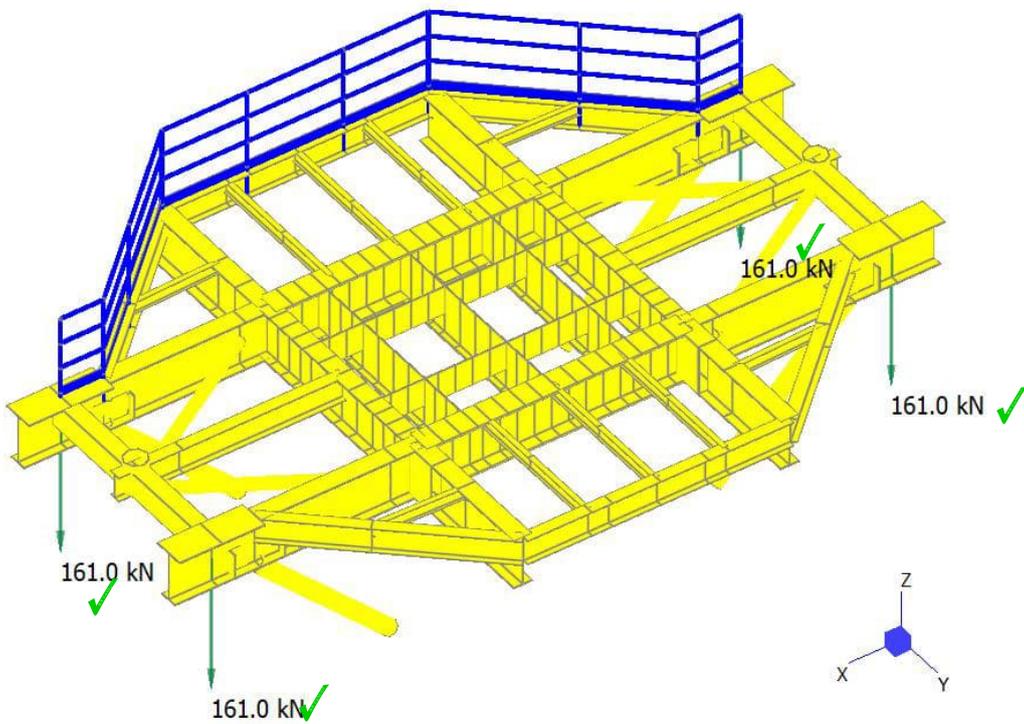


Abbildung 9-29: LC 6.1 – Vertikale Reaktionslasten aus Brücke, MD2 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 67 von 252

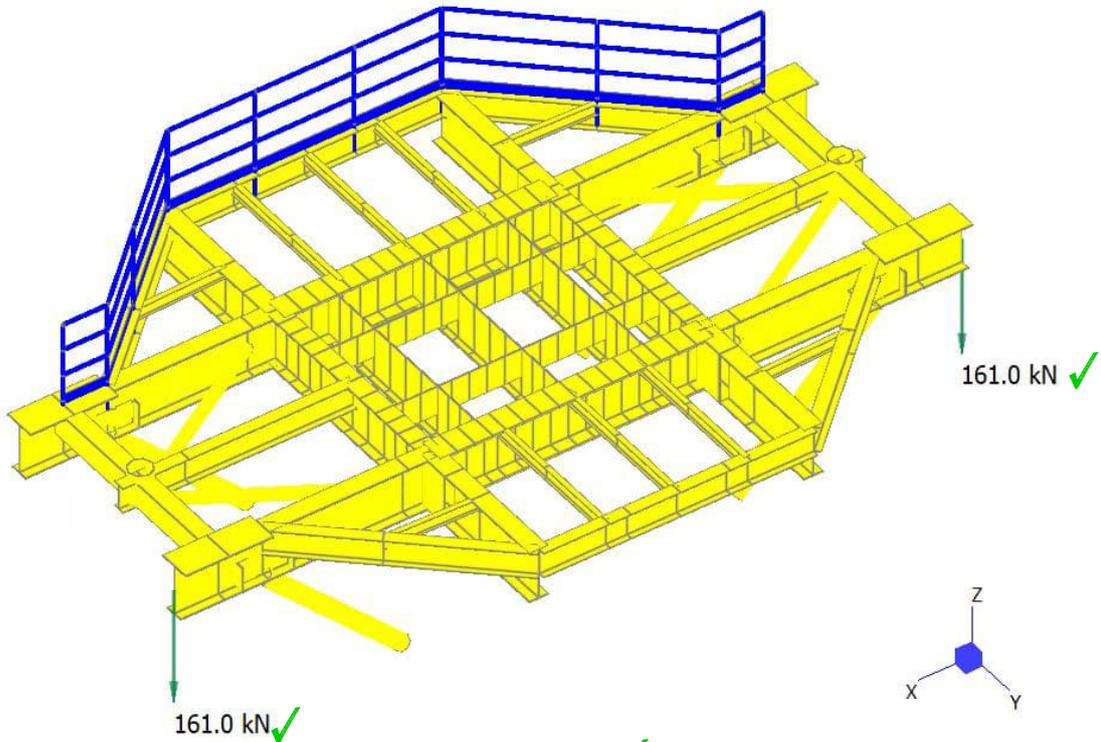


Abbildung 9-30: LC 6.2 – Vertikale Reaktionslasten aus Brücke, MD2 ✓

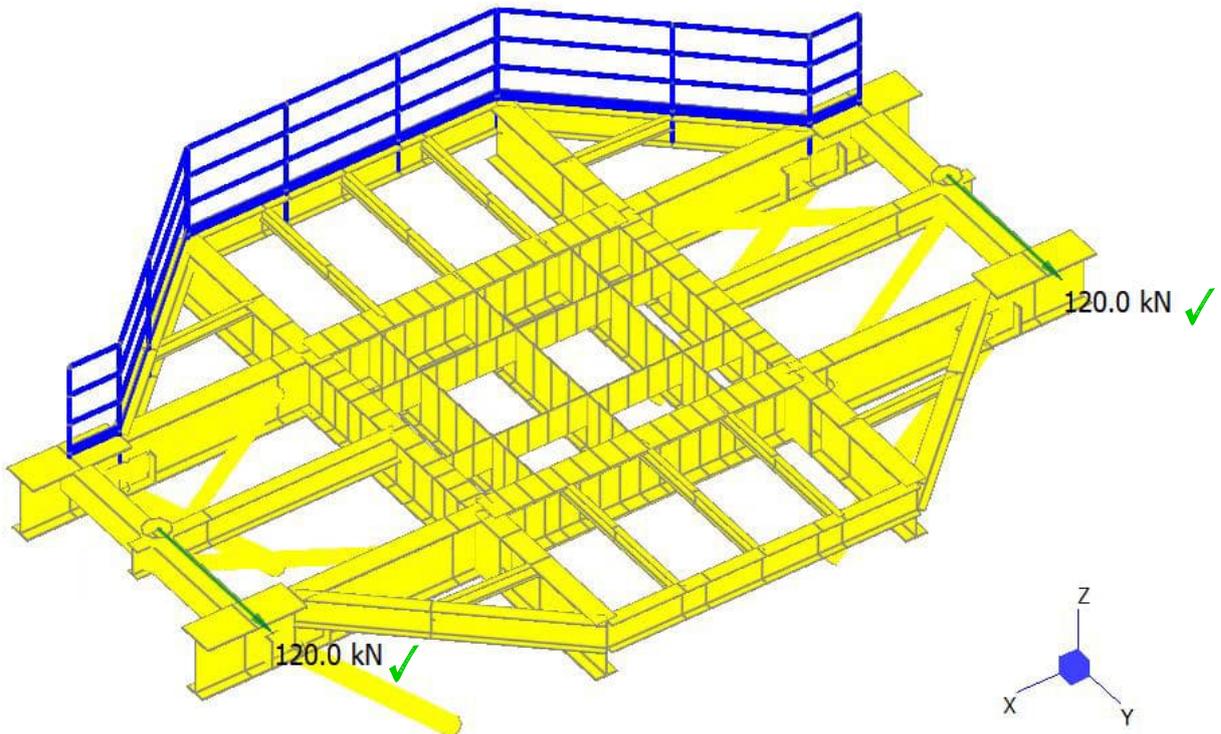


Abbildung 9-31: LC 6.3 – Horizontale Reaktionslasten aus Brücke, MD2 ✓

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 68 von 252

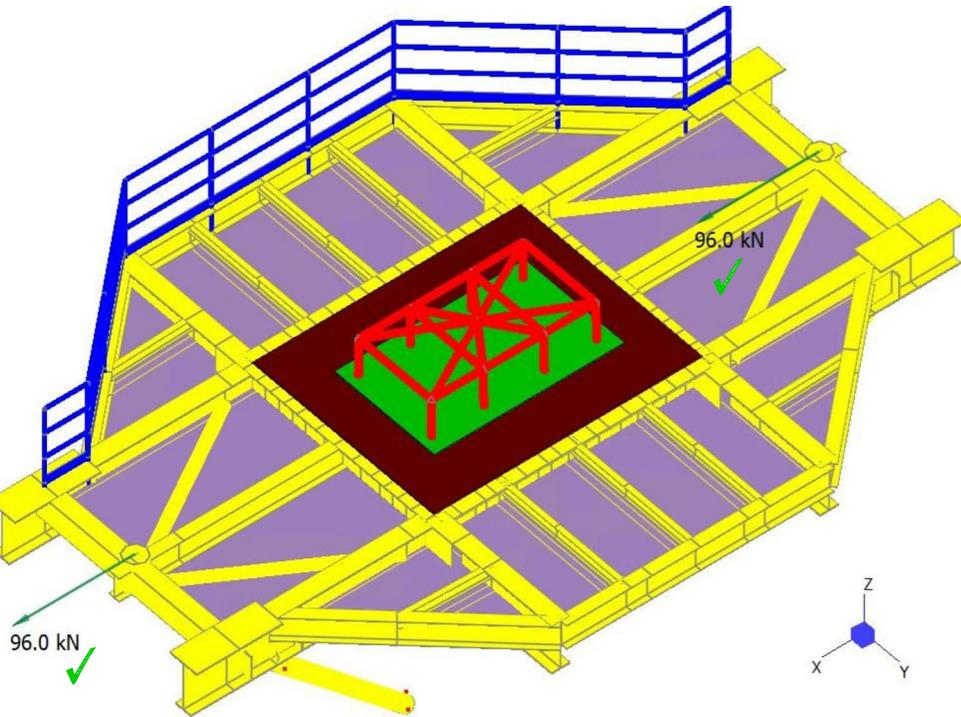


Abbildung 9-32: LC 6.4 – Reibkräfte aus Brücke, MD2 ✓

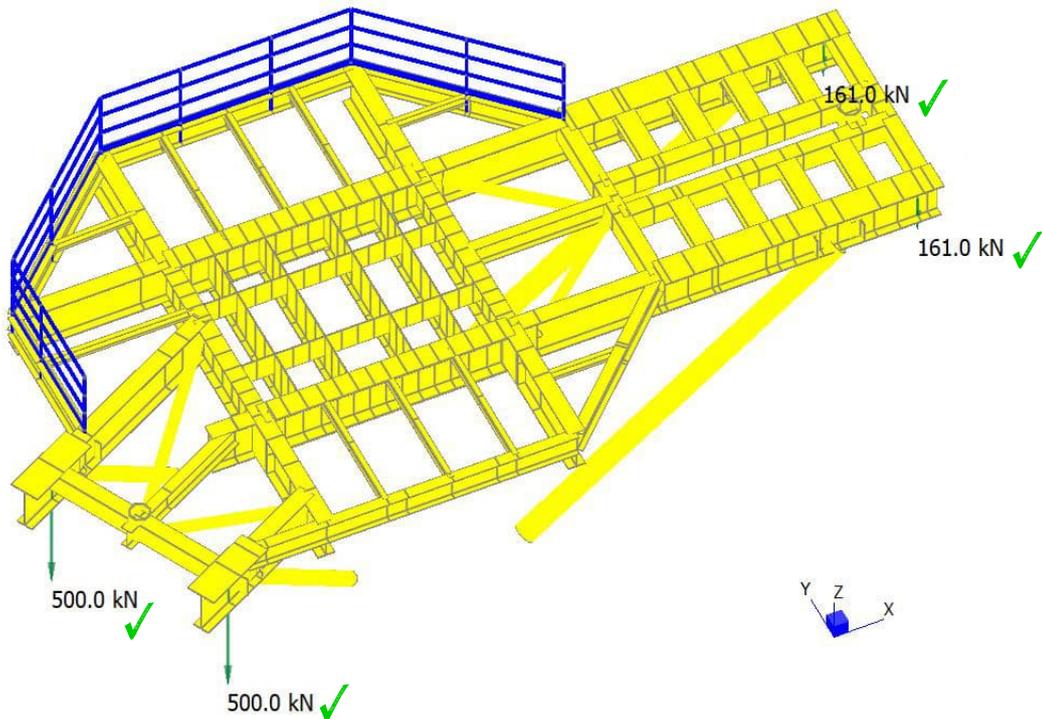


Abbildung 9-33: LC 6.1 – Vertikale Reaktionslasten aus Brücke, MD3 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 69 von 252

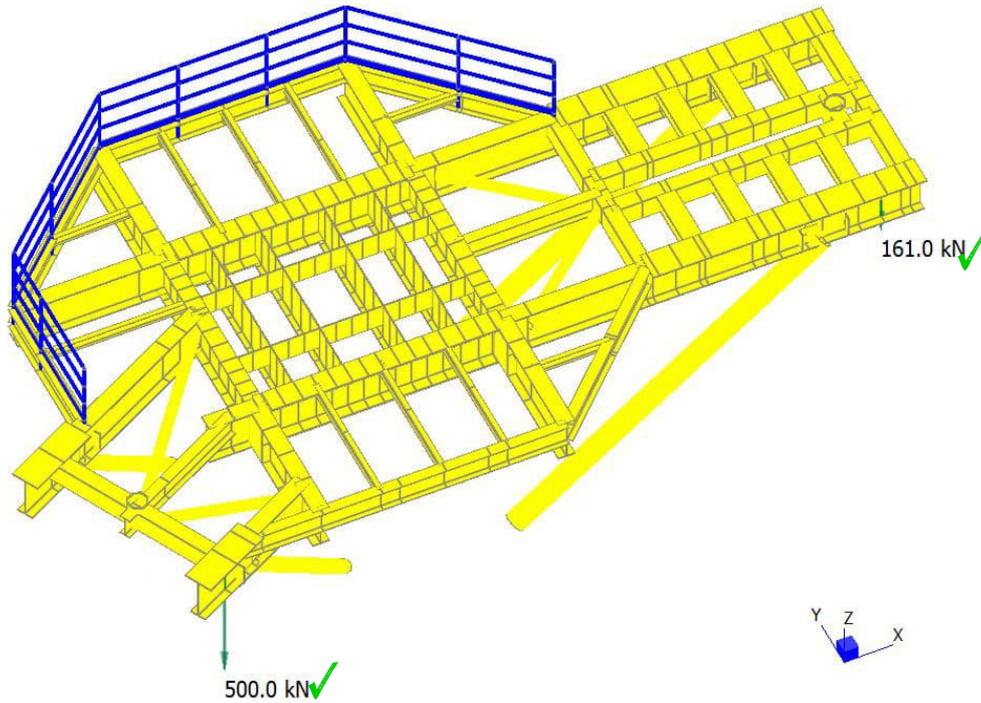


Abbildung 9-34: LC 6.2 – Vertikale Reaktionslasten aus Brücke, MD3 ✓

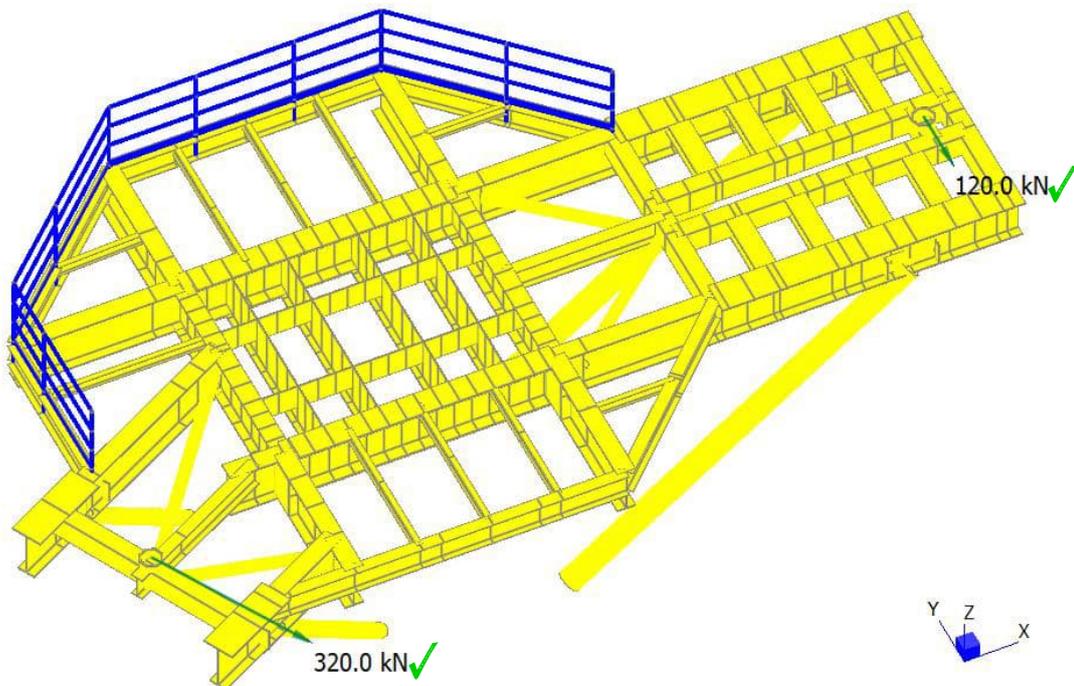


Abbildung 9-35: LC 6.3 – Horizontale Reaktionslasten aus Brücke, MD3 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 70 von 252

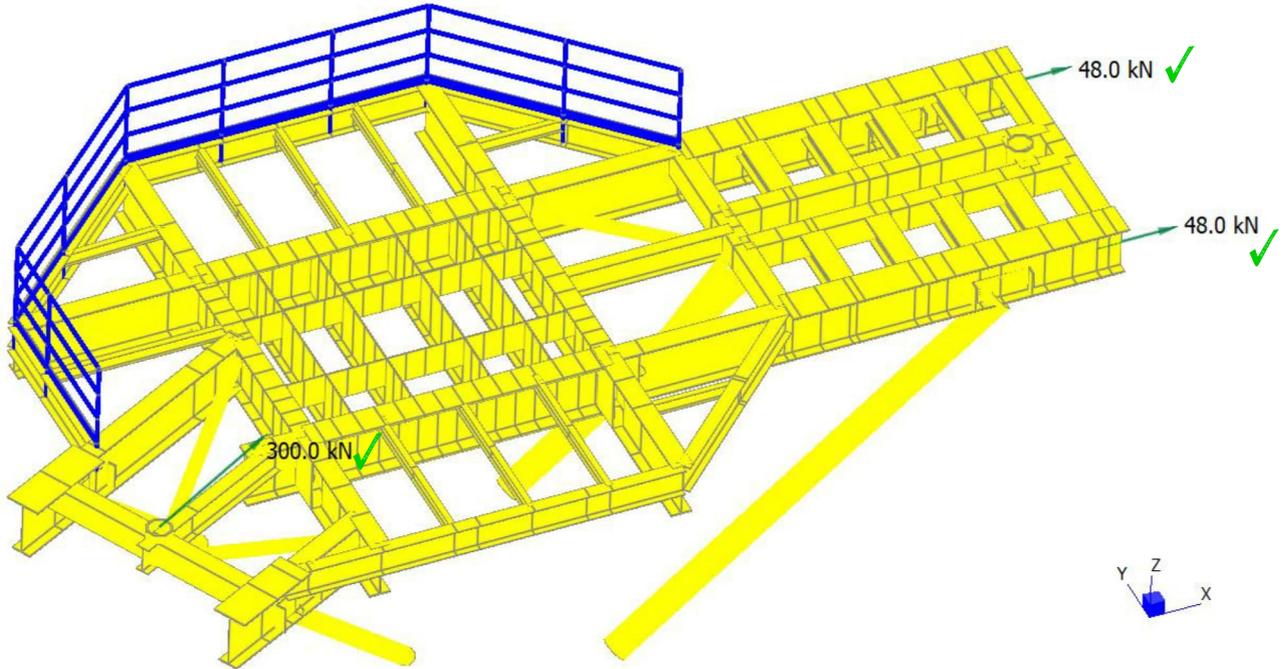


Abbildung 9-36: LC 6.4 – Reibkräfte aus Brücke, MD3 ✓

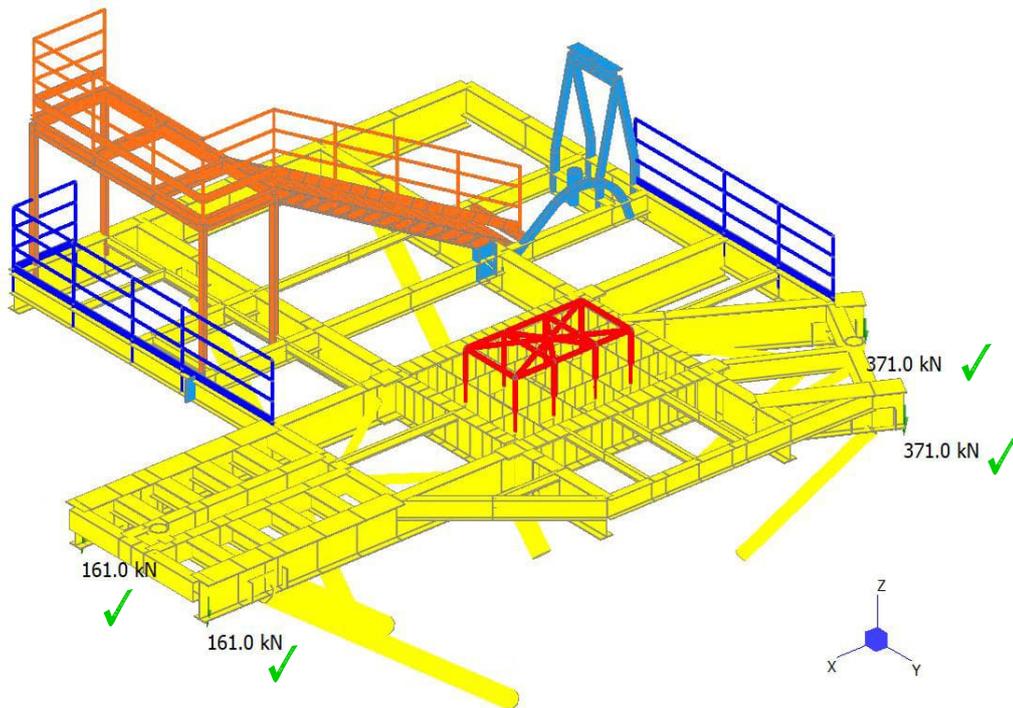


Abbildung 9-37: LC 6.1 – Vertikale Reaktionslasten aus Brücke, MD4 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 71 von 252

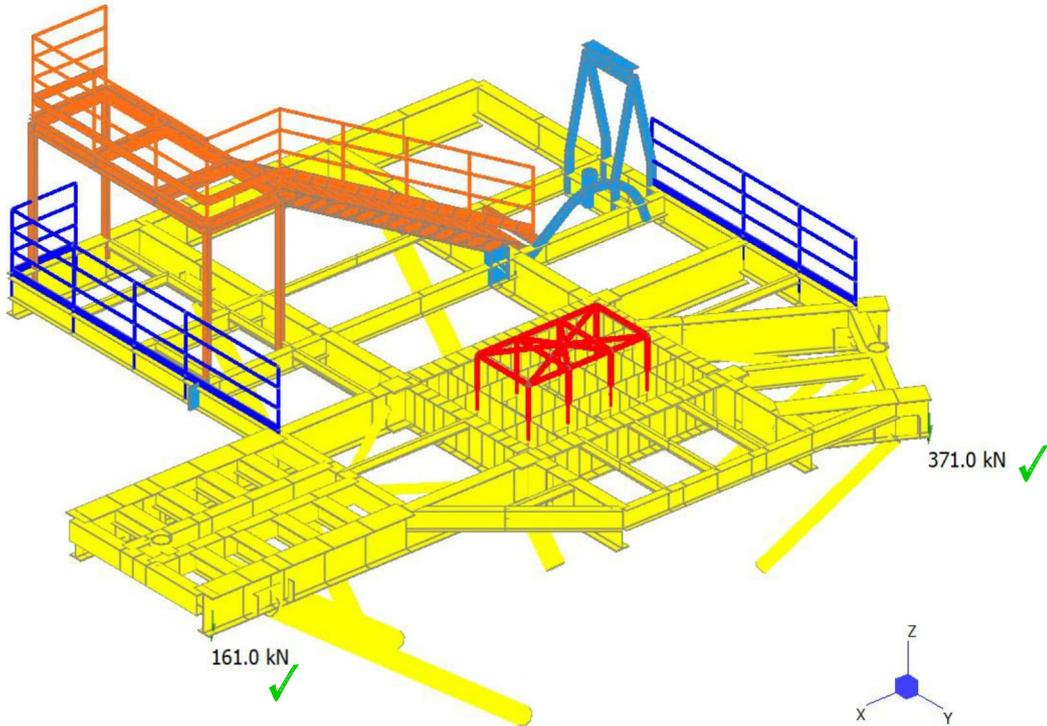


Abbildung 9-38: LC 6.2 – Vertikale Reaktionslasten aus Brücke, MD4 ✓

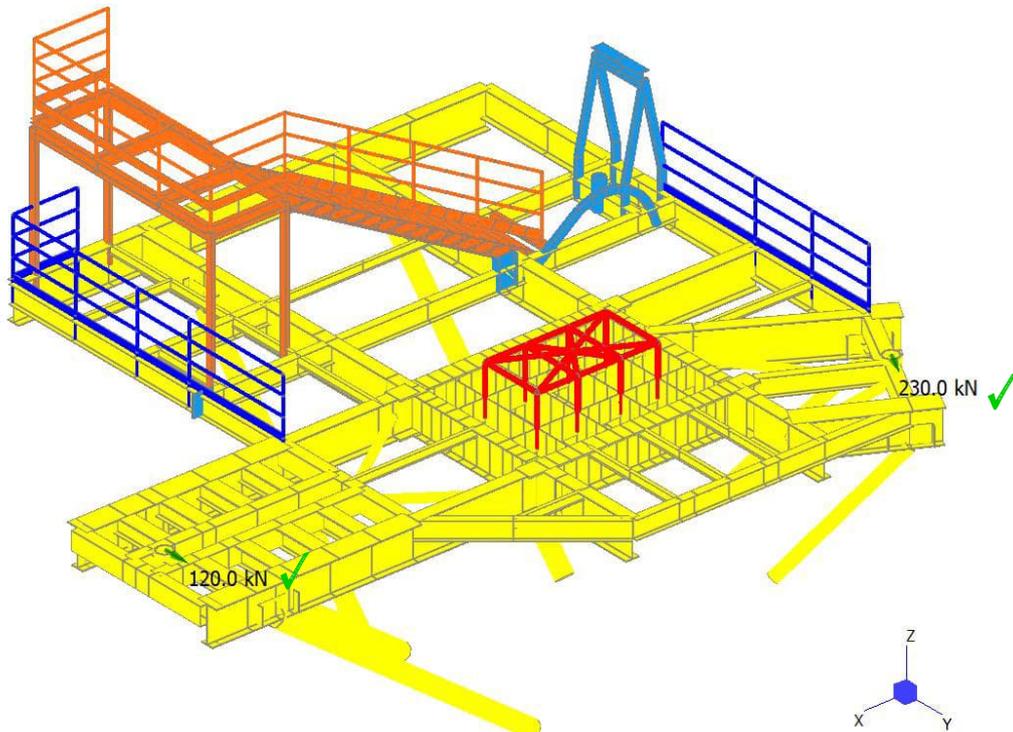


Abbildung 9-39: LC 6.3 – Horizontale Reaktionslasten aus Brücke, MD4 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 72 von 252

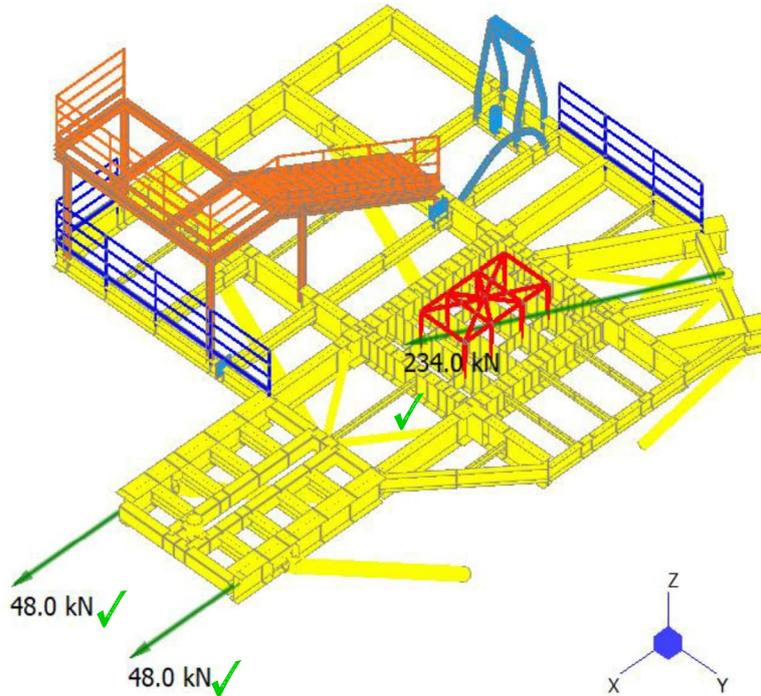


Abbildung 9-40: LC 6.4 – Reibkräfte aus Brücke, MD4 ✓

Zusätzlich wird eine konservative Vertikallastannahme von 300 kN für die Rampe an den Lager eingebracht, wie in Kapitel 6.5 beschrieben.

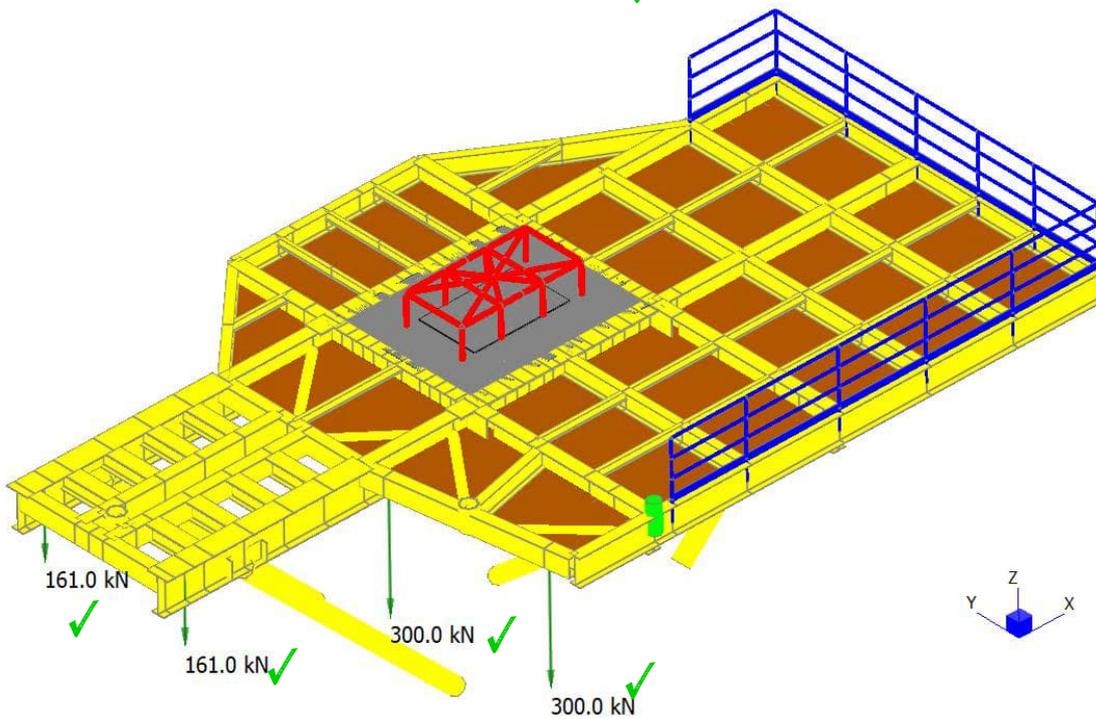


Abbildung 9-41: LC 6.1 – Vertikale Reaktionslasten aus Brücke, MD6 ✓

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 73 von 252

Zusätzlich wird eine konservative Horizontallastannahme von 300 kN für die Rampe an den Lager eingebracht, wie in Kapitel 6.5 beschrieben.

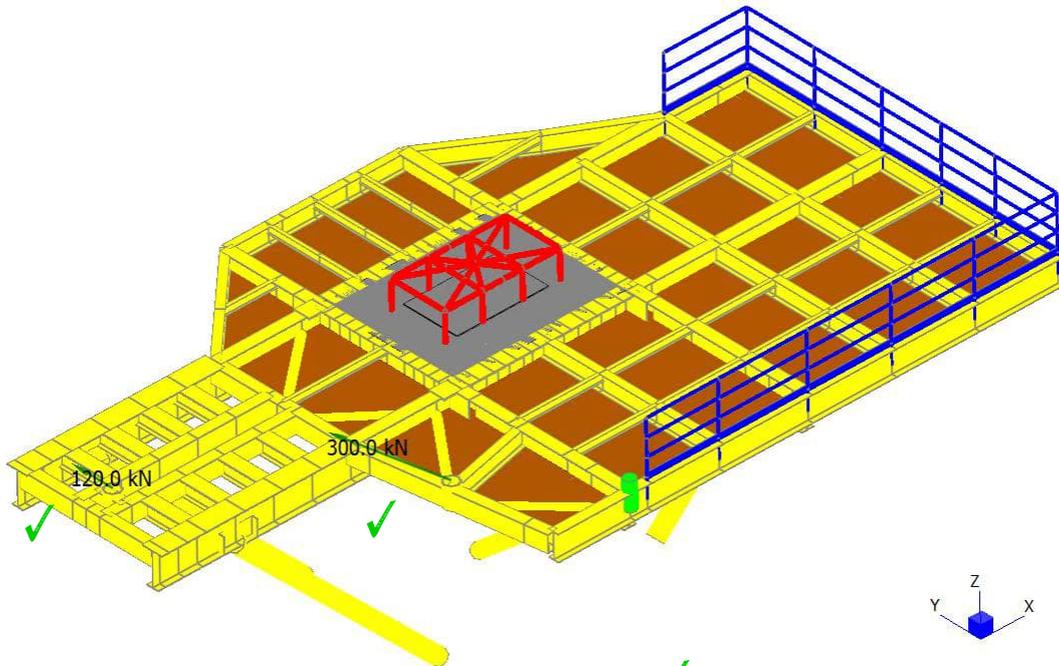


Abbildung 9-42: LC 6.3 – Horizontale Reaktionslasten aus Brücke, MD6 ✓

Zusätzlich wird eine konservative Längslastannahme von 400 kN für die Rampe an den Lager eingebracht, wie in Kapitel 6.5 beschrieben.

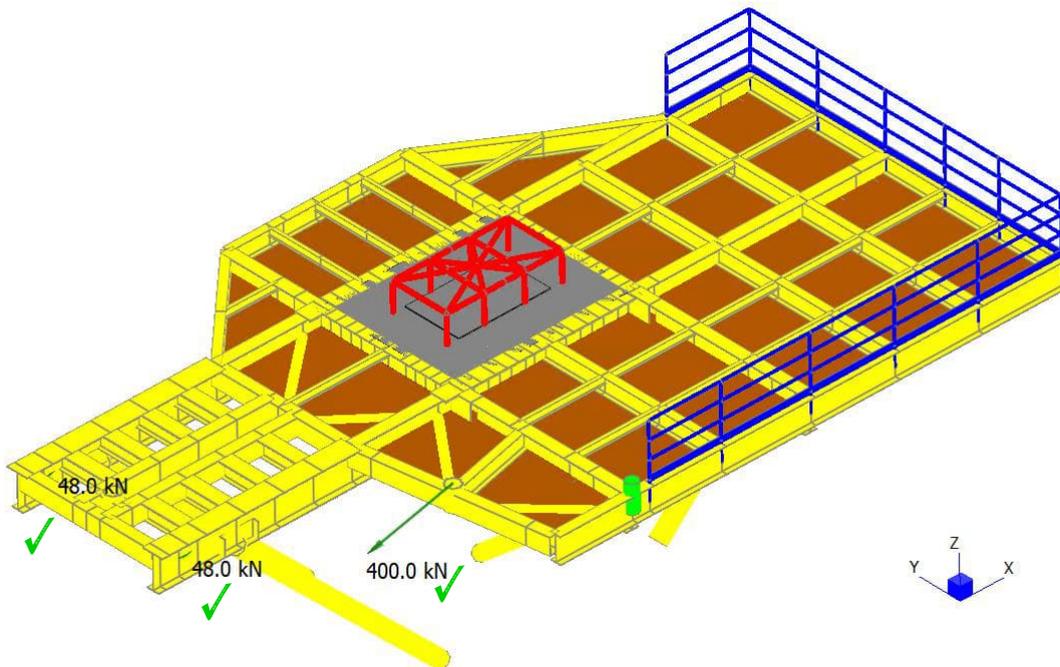


Abbildung 9-43: LC 6.4 – Reibkräfte aus Brücke, MD6 ✓

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 74 von 252

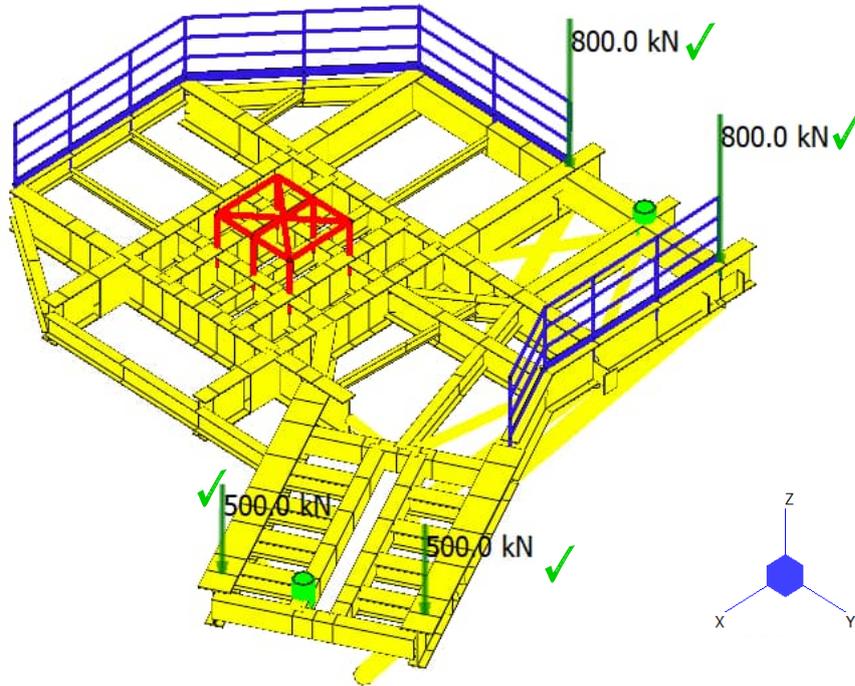


Abbildung 9-44: LC 6.1 – Vertikale Reaktionslasten aus Brücke, BD1 ✓

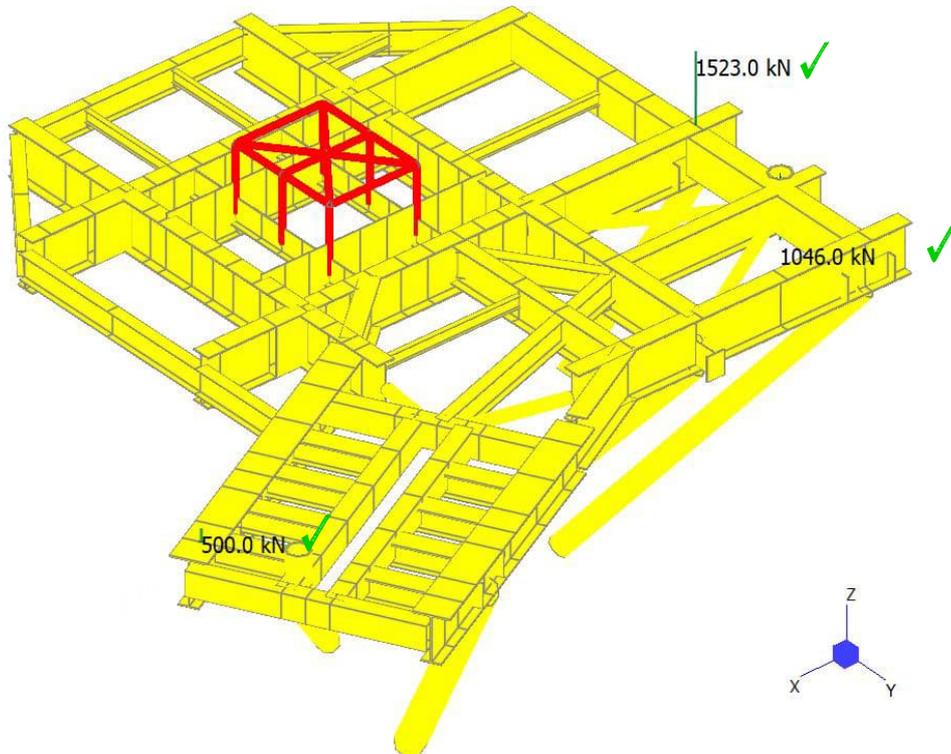


Abbildung 9-45: LC 6.2 – Vertikale Reaktionslasten aus Brücke, BD1 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 75 von 252

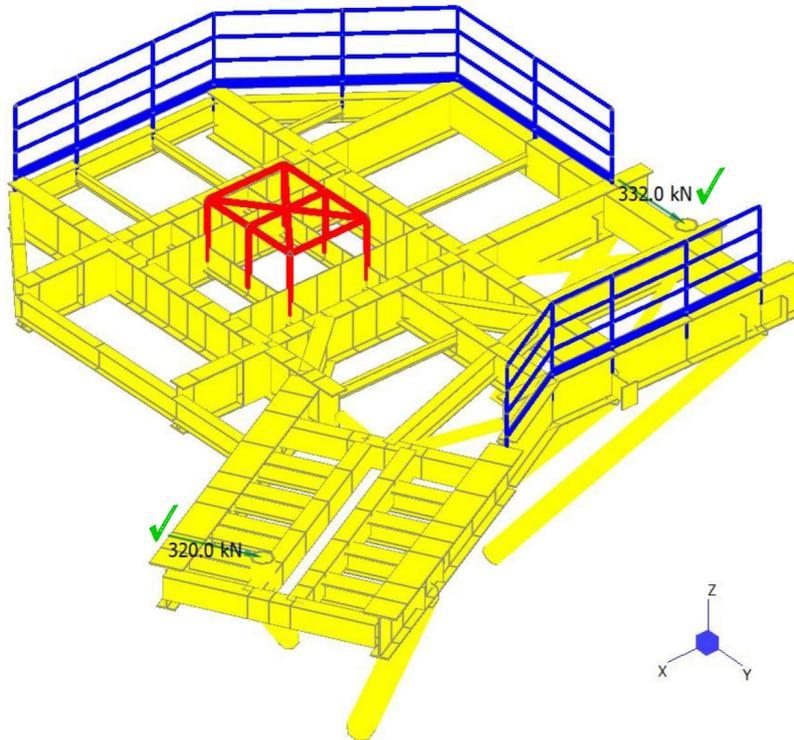


Abbildung 9-46: LC 6.3 – Horizontale Reaktionslasten aus Brücke, BD1 ✓

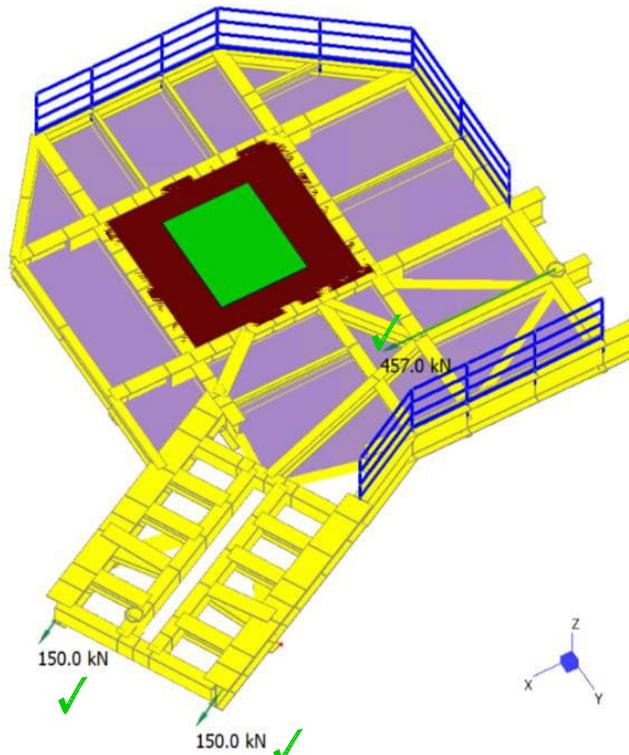


Abbildung 9-47: LC 6.4 – Reibkräfte aus Brücke, BD1 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 76 von 252

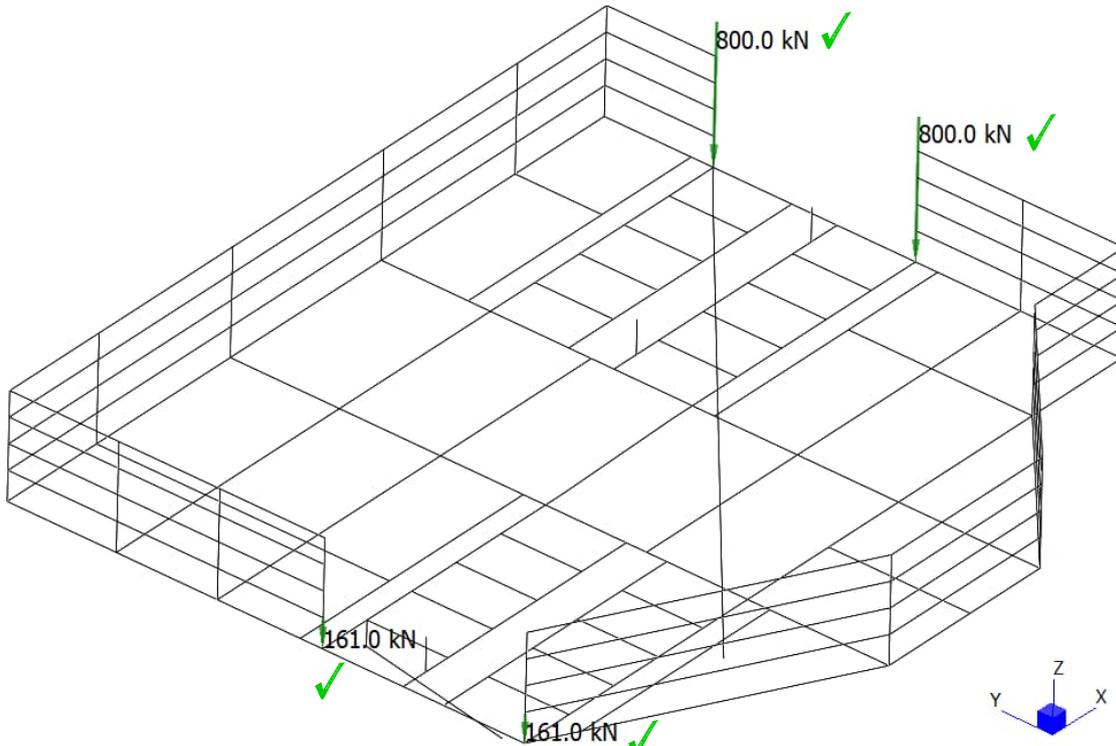


Abbildung 9-48: LC 6.1 – Vertikale Reaktionslasten aus Brücke, BD2 ✓

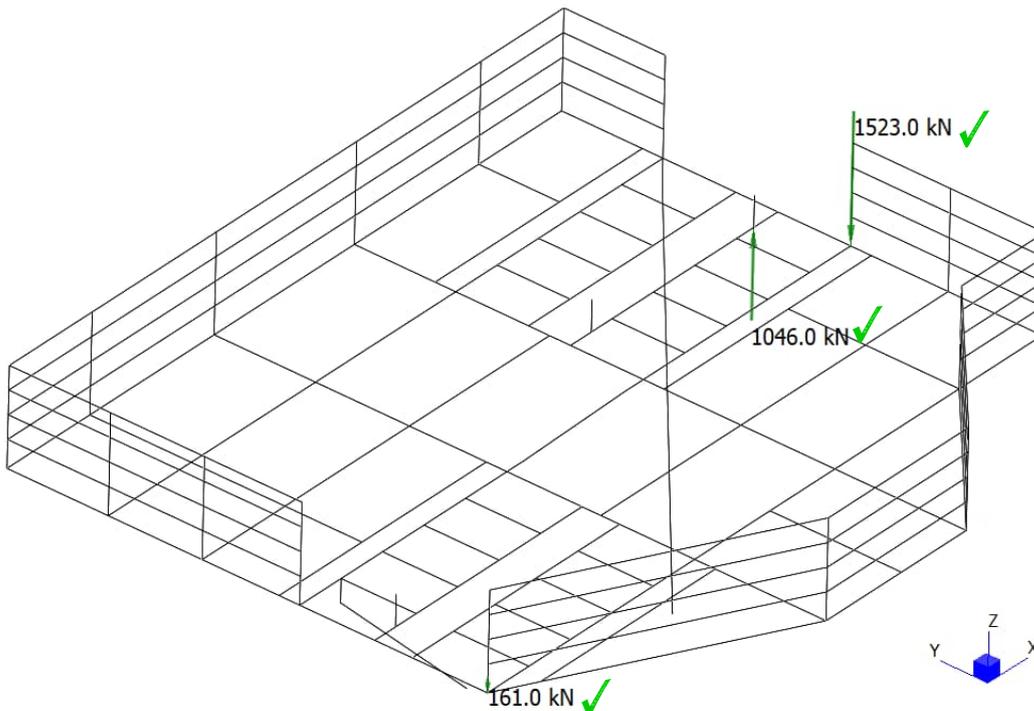


Abbildung 9-49: LC 6.2 – Vertikale Reaktionslasten aus Brücke, BD2 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 77 von 252

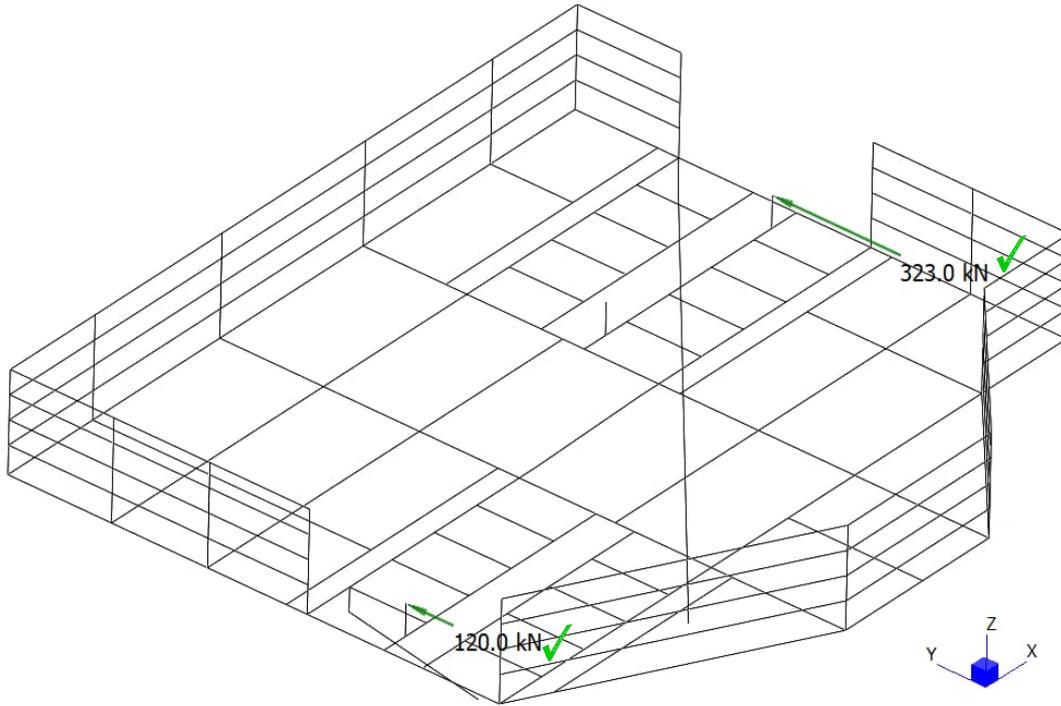


Abbildung 9-50: LC 6.3 – Horizontale Reaktionslasten aus Brücke, BD2 ✓

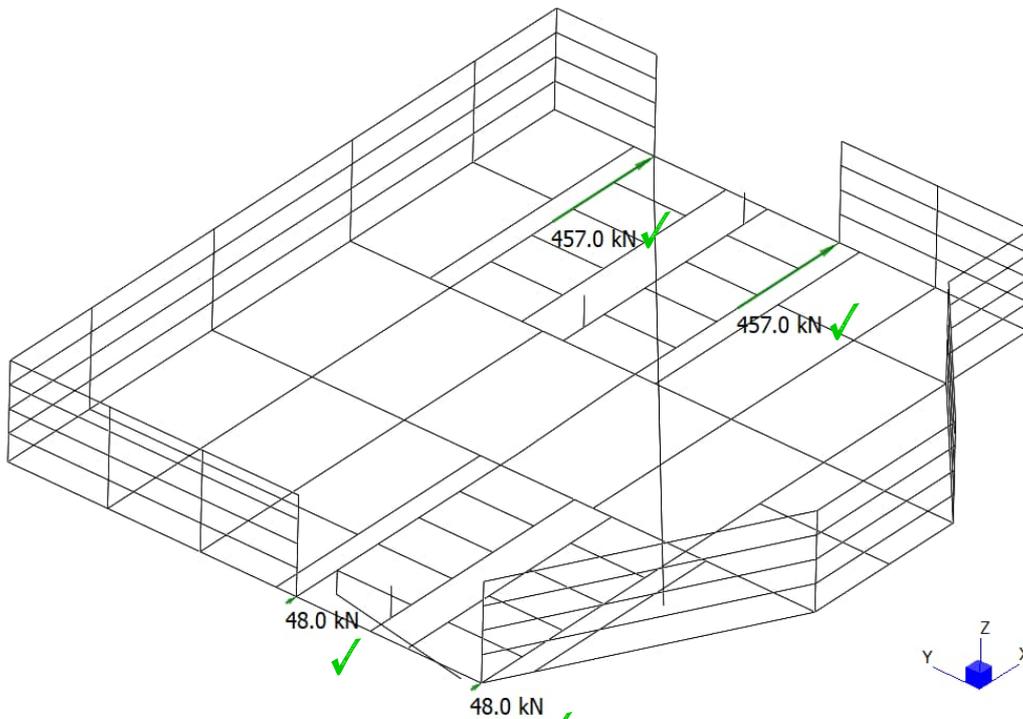


Abbildung 9-51: LC 6.4 – Reibkräfte aus Brücke, BD2 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 78 von 252

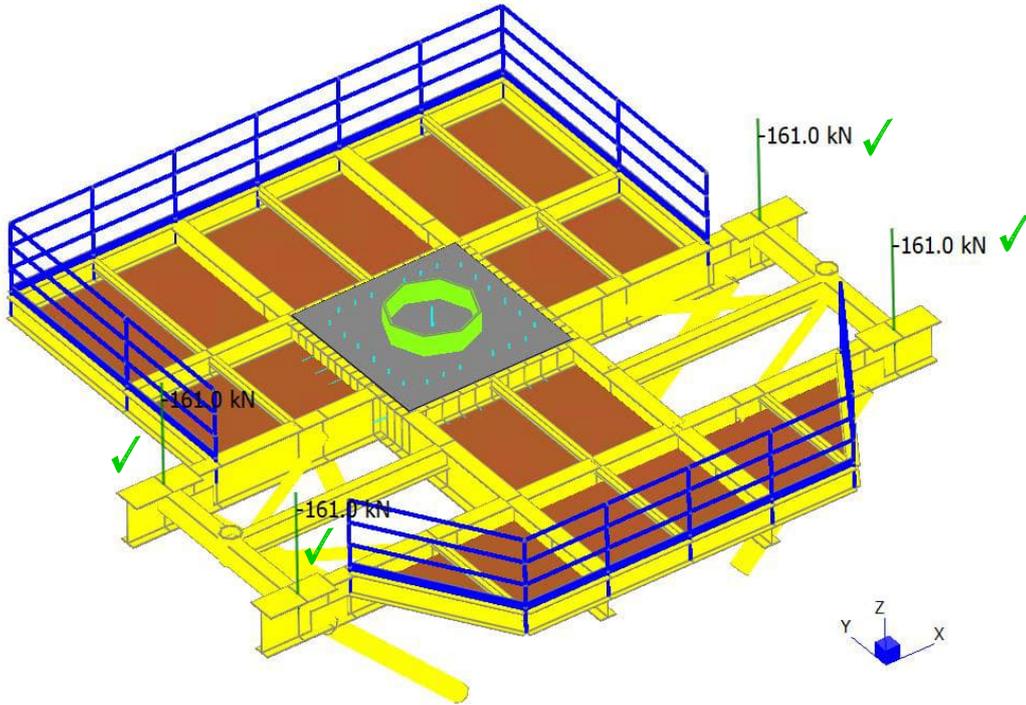


Abbildung 9-52: LC 6.1 – Vertikale Reaktionslasten aus Brücke, BD3 ✓

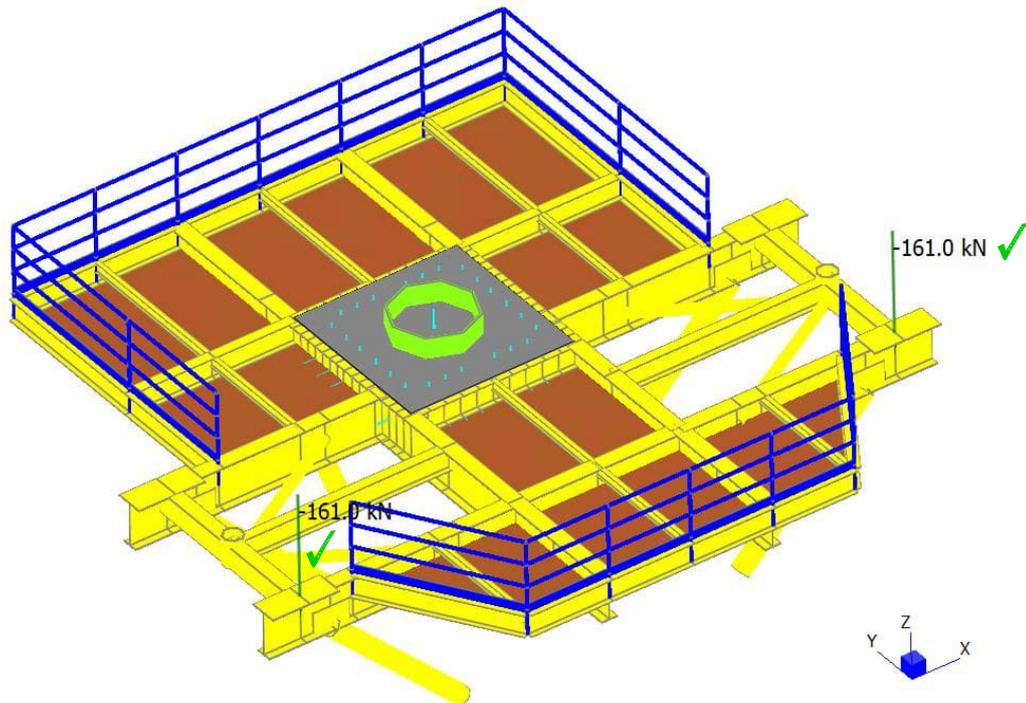


Abbildung 9-53: LC 6.2 – Vertikale Reaktionslasten aus Brücke, BD3 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 79 von 252

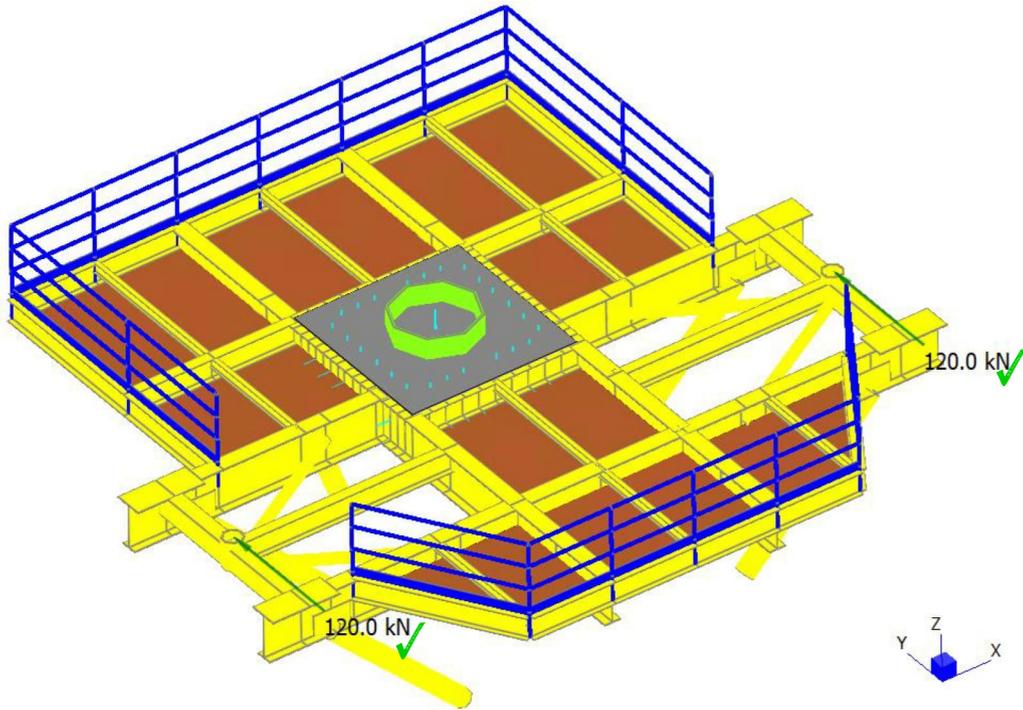


Abbildung 9-54: LC 6.3 – Horizontale Reaktionslasten aus Brücke, BD3 ✓

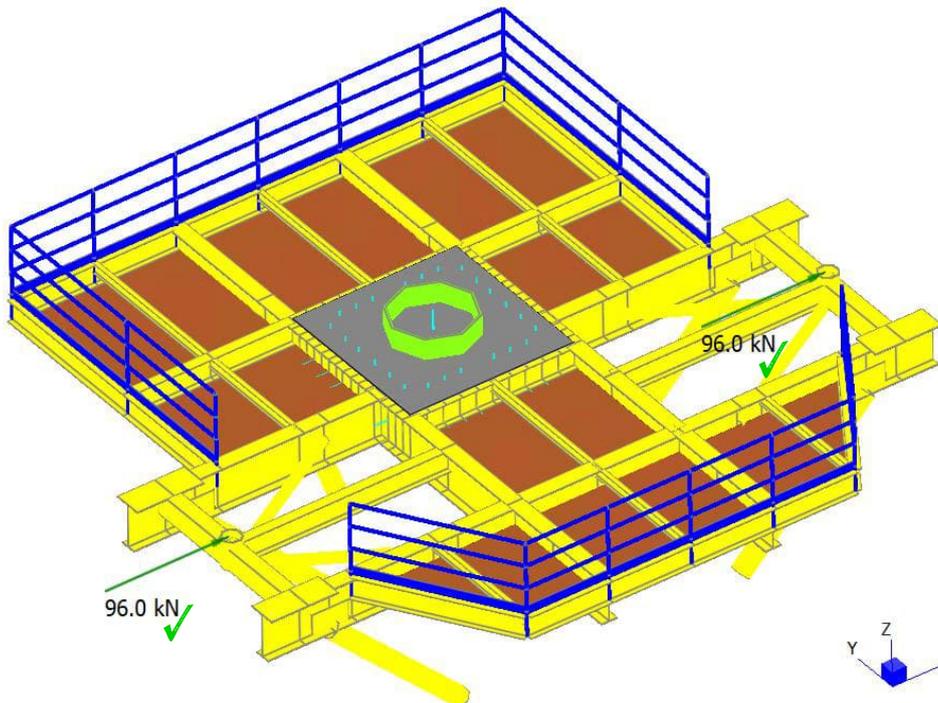


Abbildung 9-55: LC 6.4 – Reibkräfte aus Brücke, BD3 ✓

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 80 von 252

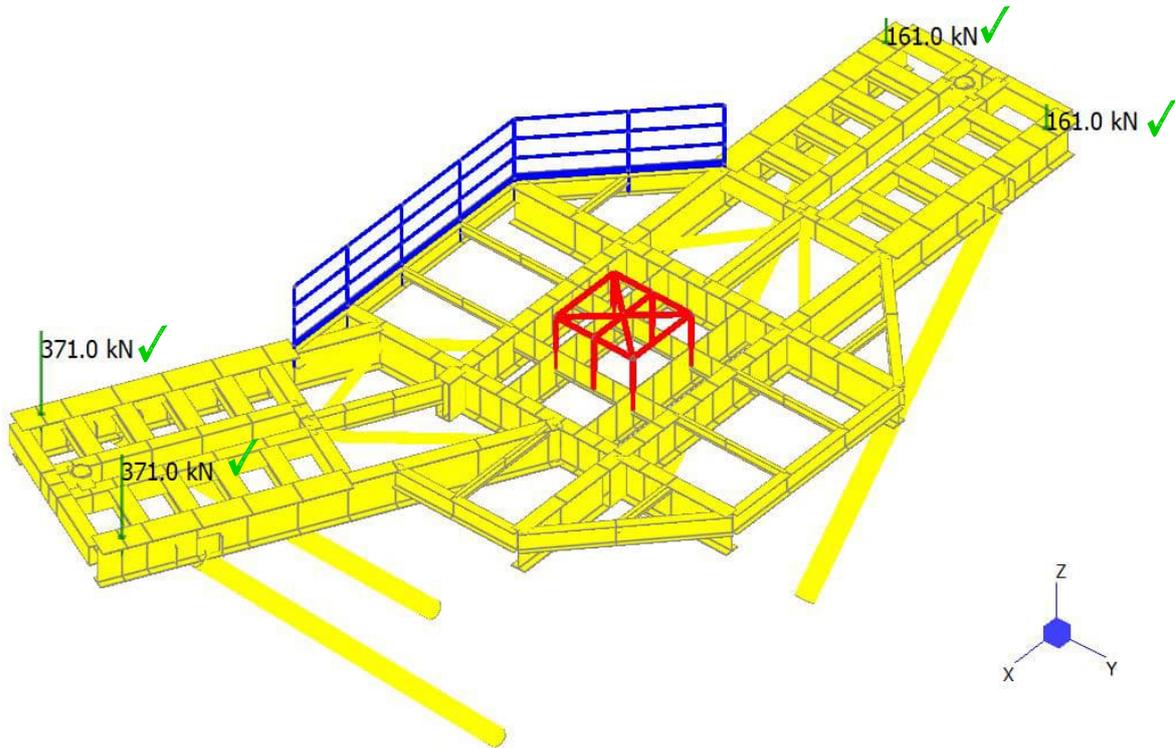


Abbildung 9-56: LC 6.1 – Vertikale Reaktionslasten aus Brücke, BD4 ✓

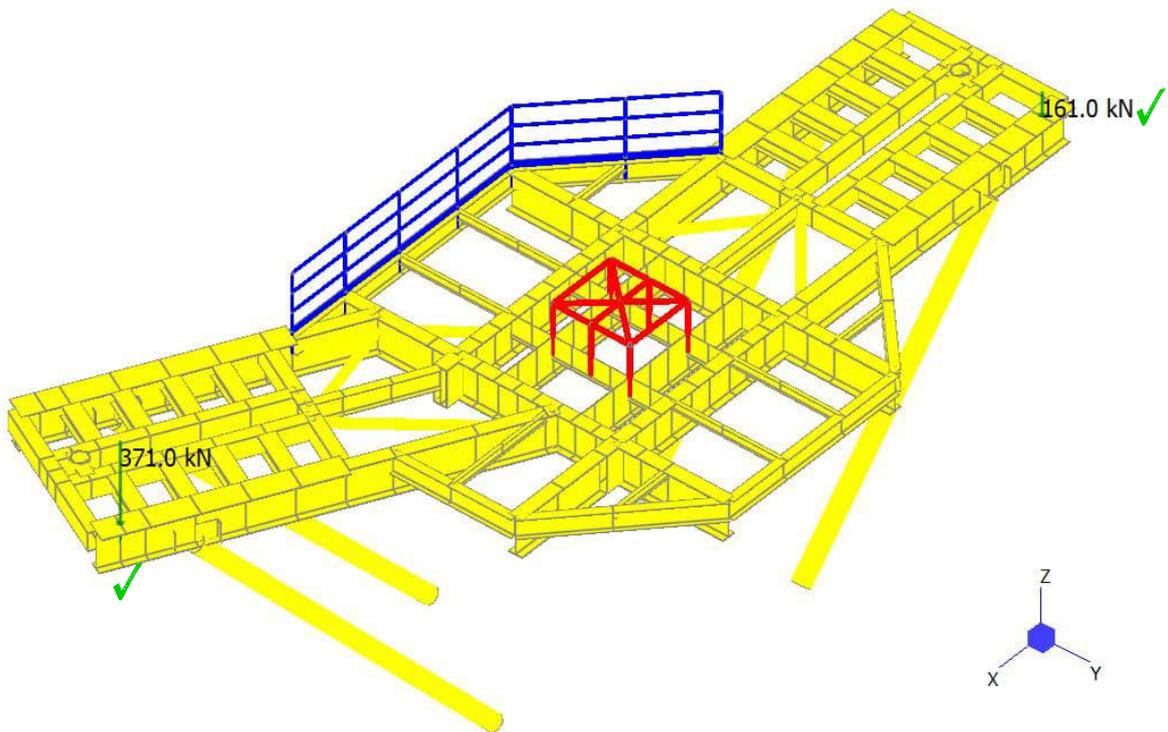


Abbildung 9-57: LC 6.2 – Vertikale Reaktionslasten aus Brücke, BD4 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 81 von 252

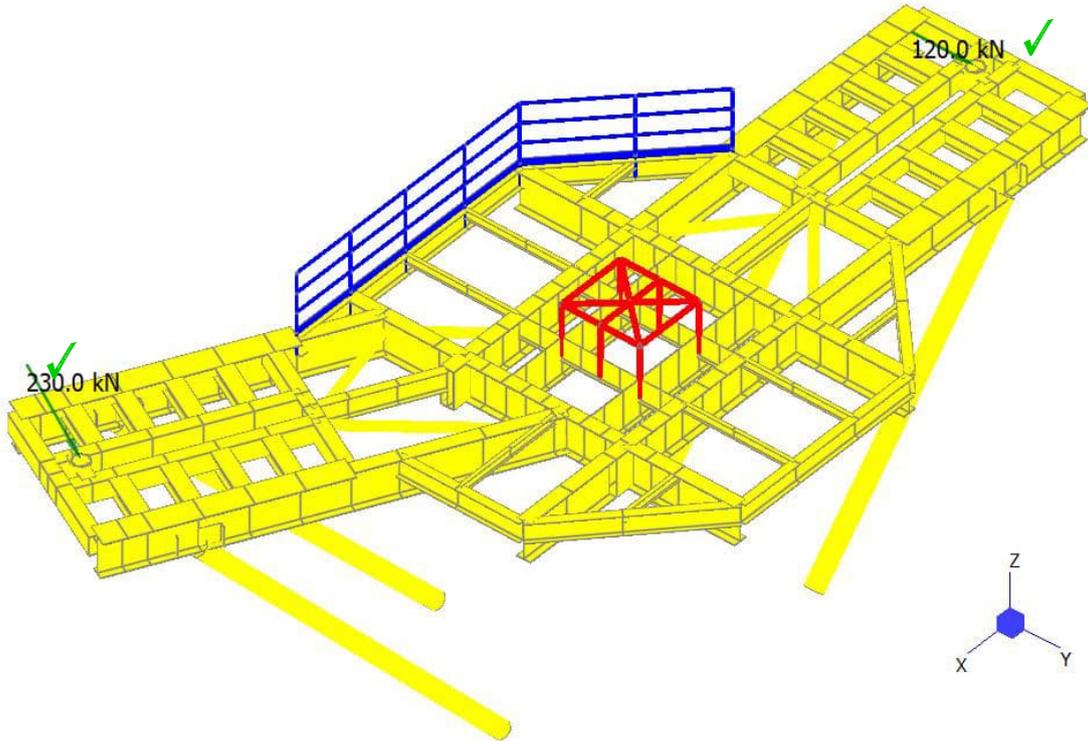


Abbildung 9-58: LC 6.3 – Horizontale Reaktionslasten aus Brücke, BD4 ✓

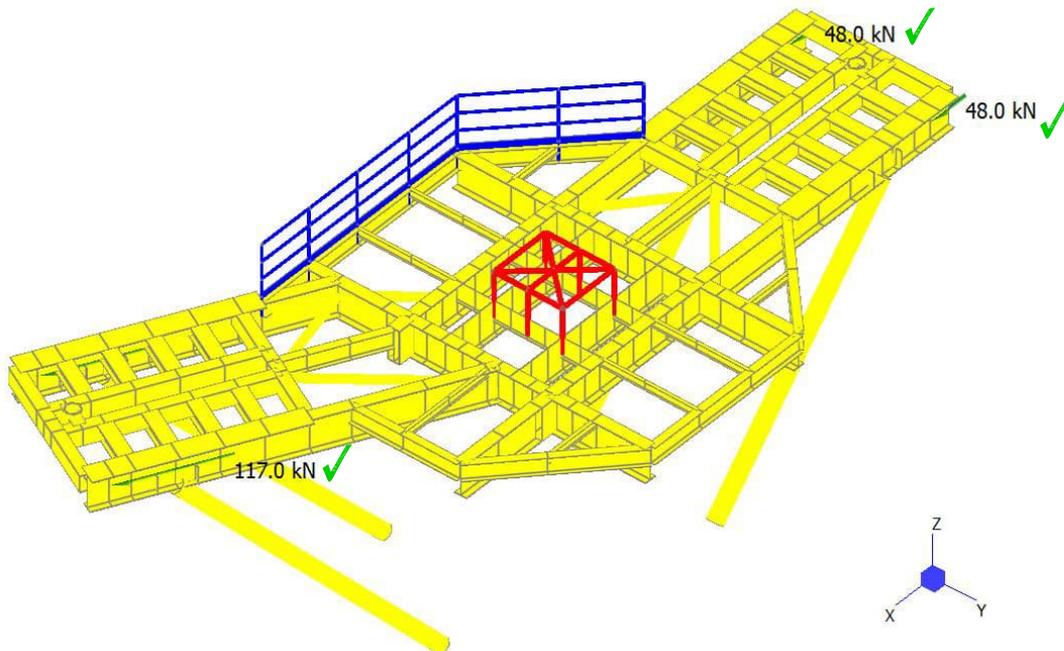


Abbildung 9-59: LC 6.4 – Reibkräfte aus Brücke, BD4 ✓

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 82 von 252

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 aufgebrauchte Verkehrslasten sind exemplarisch bei MD1 in der Abbildung unten dargestellt.

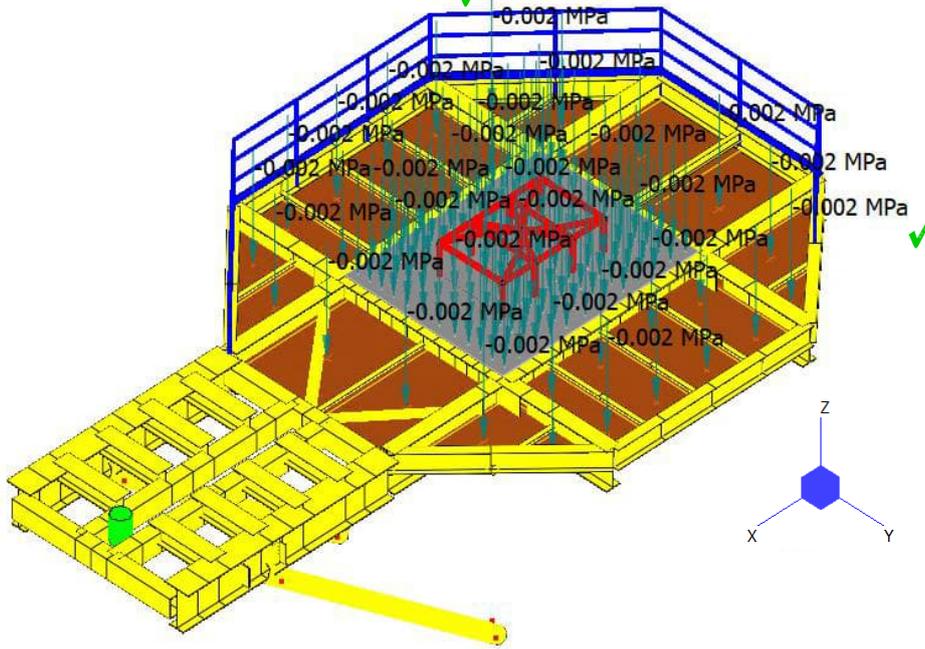


Abbildung 9-60: LC 7 – Verkehrslasten, MD1 ✓

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 83 von 252

9.4.9 LC 8 – Windlasten (E)

Die Windlasten wie in Kapitel 6.4.1 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 m x 1 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.

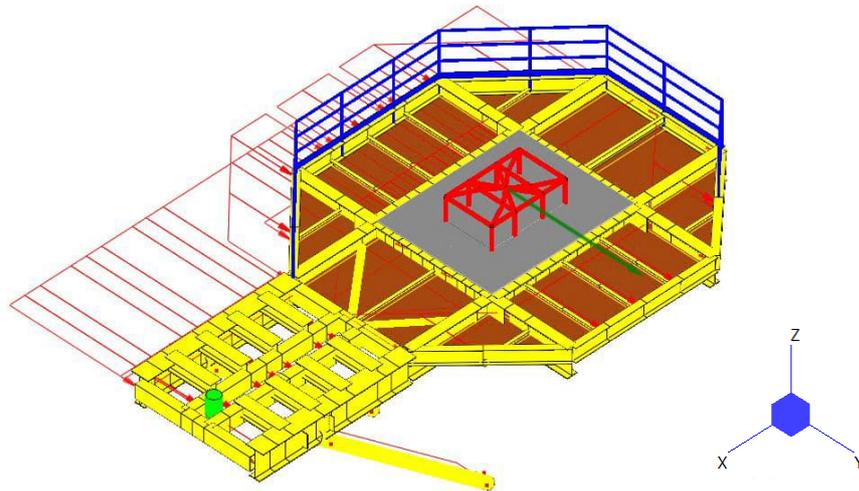


Abbildung 9-61: LC 8.1 – Windlasten in +Y Richtung, MD1 ✓

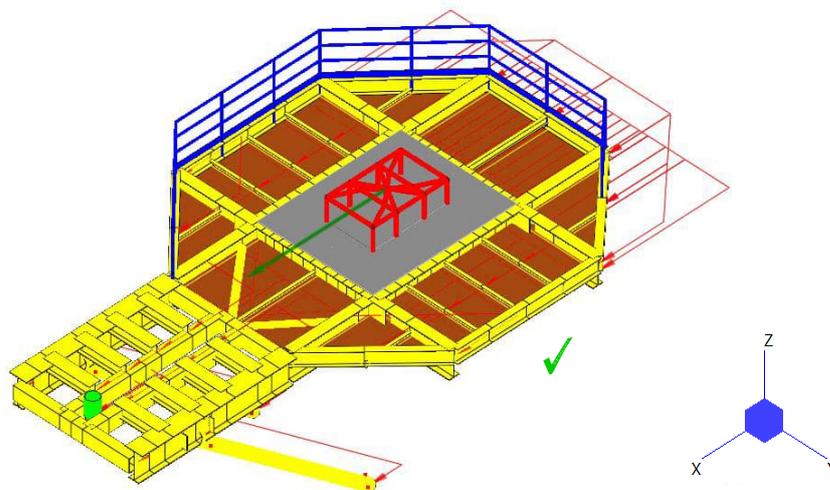


Abbildung 9-62: LC 8.2 – Windlasten in +X Richtung, MD1 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 84 von 252

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 6.4.1 mit Windhöhe von 14,4 m bestimmt. Daraus ergibt sich eine Flächenlast von $p_{Wind} = 1,42 \text{ kN/m}^2$.

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

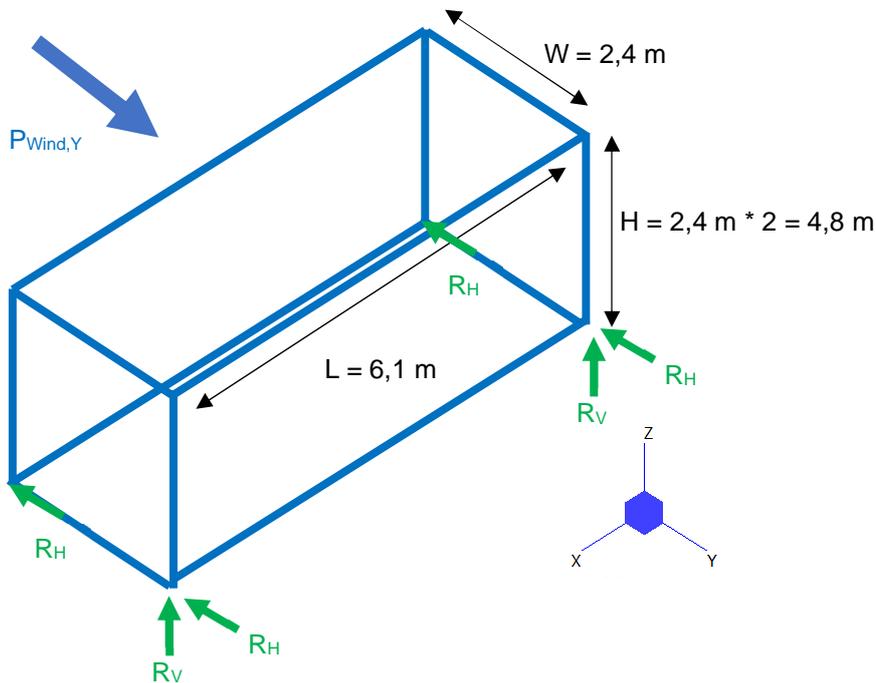


Abbildung 9-63: Berechnung der Reaktionslasten von den Windlasten auf Container in +Y Richtung, MD4

- Windflächenlast, $P_{Wind,Y} = 1,42 \text{ kN/m}^2$ ✓
- Max. Windfläche, $A_{Wind,Y} = L * H = 6,1 \text{ m} * 4,8 \text{ m} = 29,3 \text{ m}^2$ ✓
- Windlast, $F_{Wind,Y} = P_{Wind,Y} * A_{Wind,Y} = 41,6 \text{ kN}$ ✓
- Horizontale Reaktionslasten, $R_H = F_{Wind,Y} / 4 \text{ Fundament} = 10,4 \text{ kN} (4 \text{ mal})$ ✓
- Vertikale Reaktionslasten, $R_V = F_{Wind,Y} * (H/2) / W / 2 \text{ Fundament} = 20,8 \text{ kN} (2 \text{ mal})$ ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 85 von 252

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

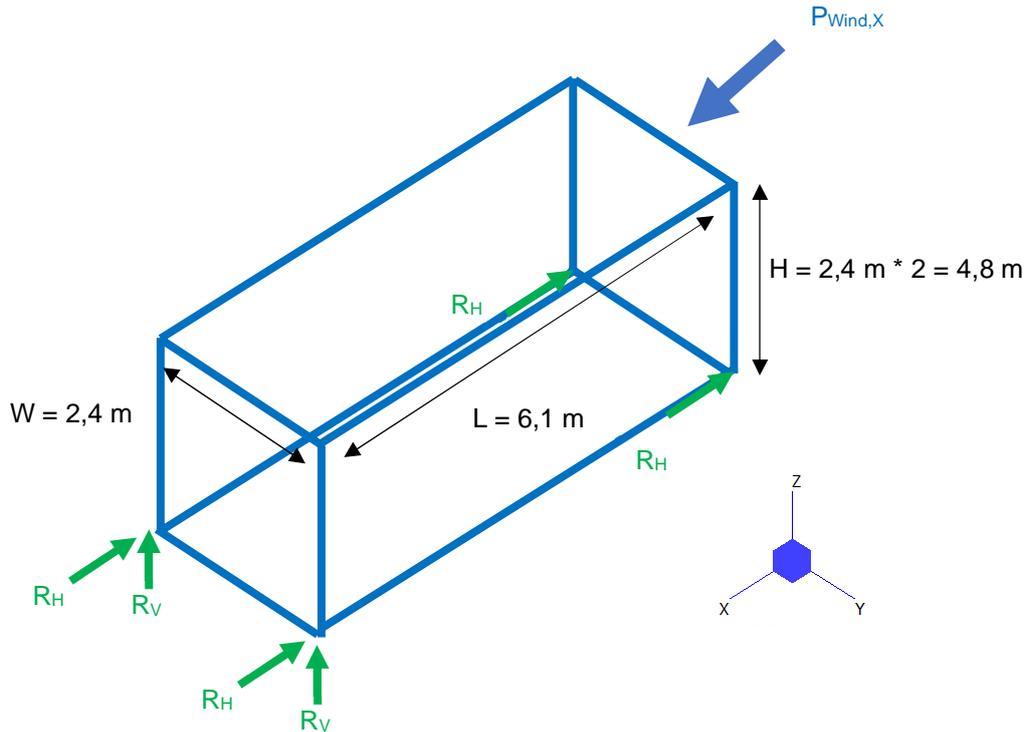


Abbildung 9-64: Berechnung der Reaktionslasten von den Windlasten auf Container in +Y Richtung, MD4 ✓

- Windflächenlast, $P_{Wind,X} = 1,42 \text{ kN/m}^2$ ✓
- Max. Windfläche, $A_{Wind,X} = W * H = 2,4 \text{ m} * 4,8 \text{ m} = 11,5 \text{ m}^2$ ✓
- Windlast, $F_{Wind,X} = P_{Wind,X} * A_{Wind,X} = 16,4 \text{ kN}$ ✓
- Horizontale Reaktionslasten, $R_H = F_{Wind,X} / 4 \text{ Fundament} = 4,1 \text{ kN (4 mal)}$ ✓
- Vertikale Reaktionslasten, $R_V = F_{Wind,X} * (H/2) / L / 2 \text{ Fundament} = 3,2 \text{ kN (2 mal)}$ ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 86 von 252

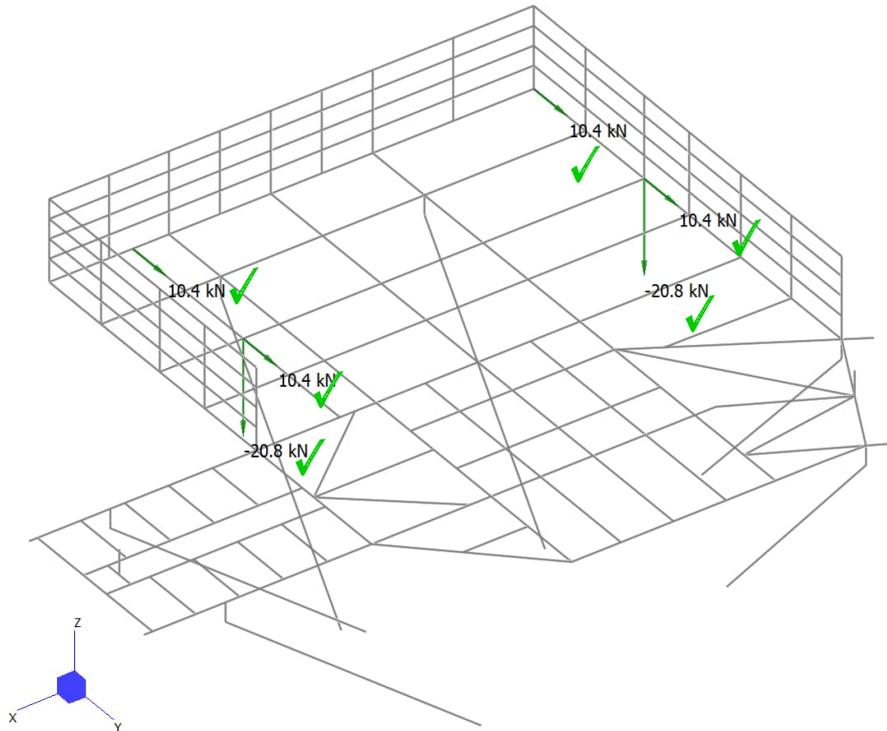


Abbildung 9-65: LC 8.3 – Windlasten auf Container in +Y Richtung, MD4 ✓

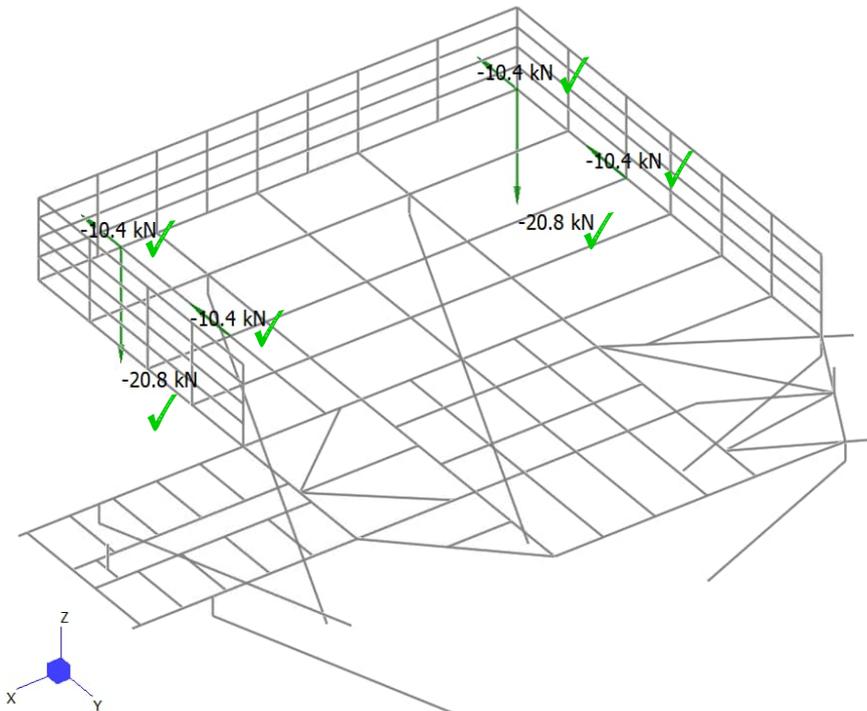


Abbildung 9-66: LC 8.4 – Windlasten auf Container in -Y Richtung, MD4 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 87 von 252

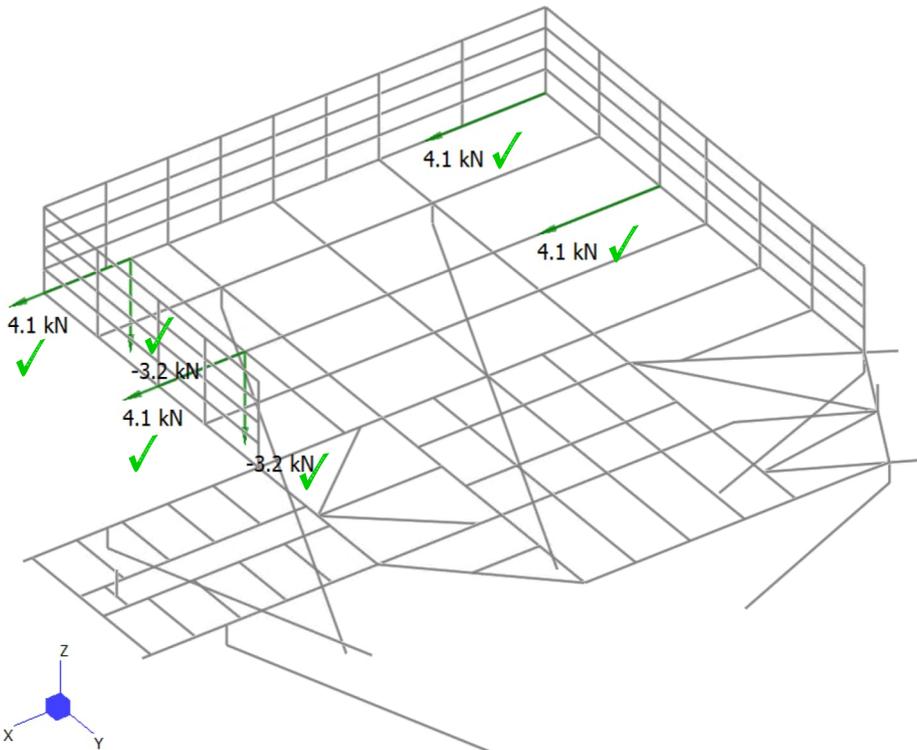


Abbildung 9-67: LC 8.5 – Windlasten auf Container in +X Richtung, MD4 ✓

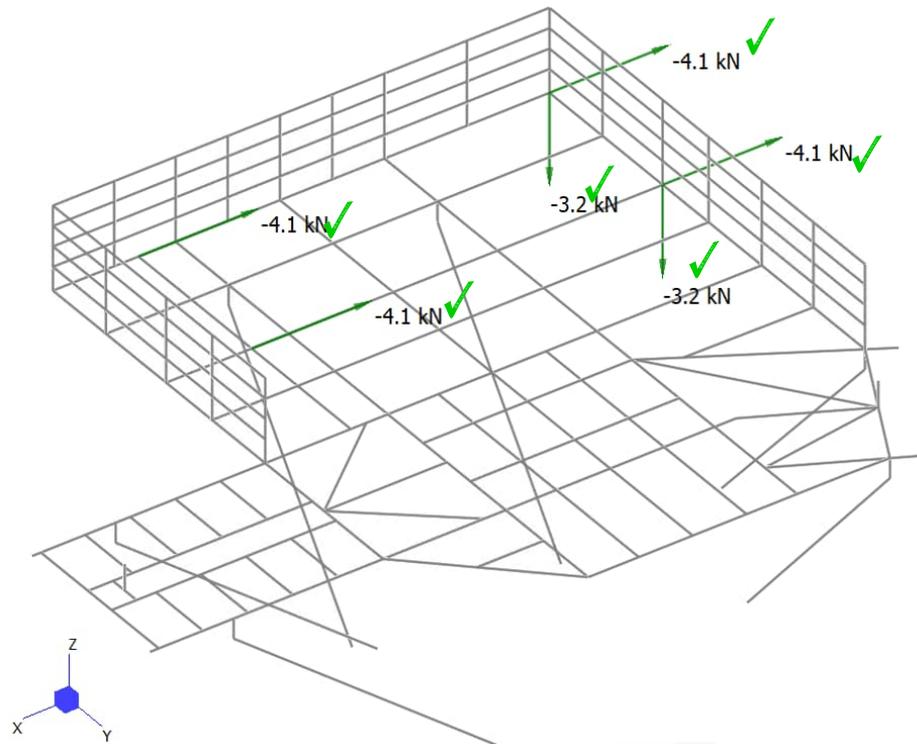


Abbildung 9-68: LC 8.6 – Windlasten auf Container in -X Richtung, MD4 ✓

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU	Seite 88 von 252	

9.4.10 LC 9 – Schneelasten (E)

Die Schneelasten wie in Kapitel 6.4.2 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.

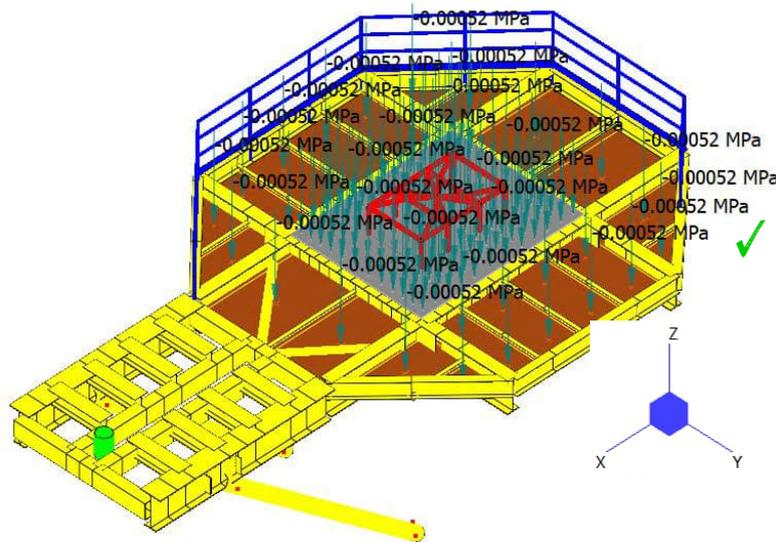


Abbildung 9-69: LC 9 – Schneelasten, MD1 ✓

9.4.11 LC 10 – Eislasten (E)

Die Eislasten wie in Kapitel 6.4.3 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.

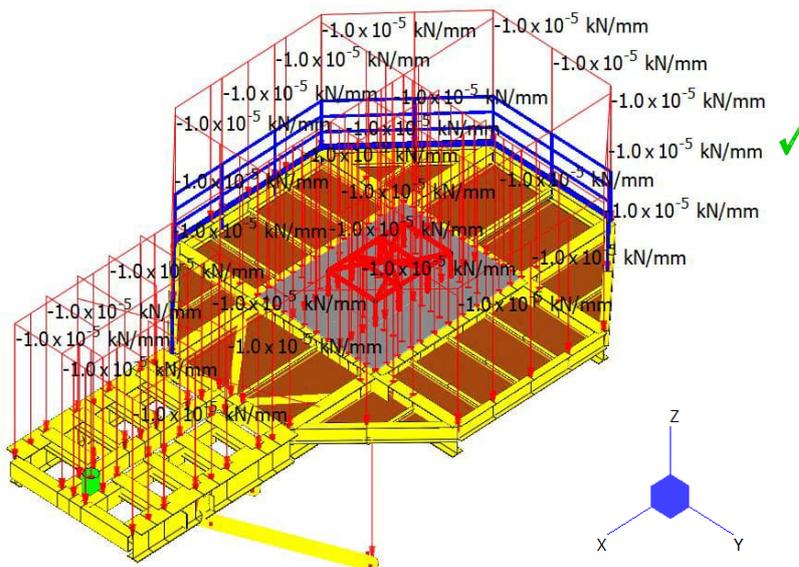


Abbildung 9-70: LC 10 – Eislasten, MD1 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 89 von 252

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 aufgetragene Holmlasten sind exemplarisch bei MD1 in der Abbildung unten dargestellt.

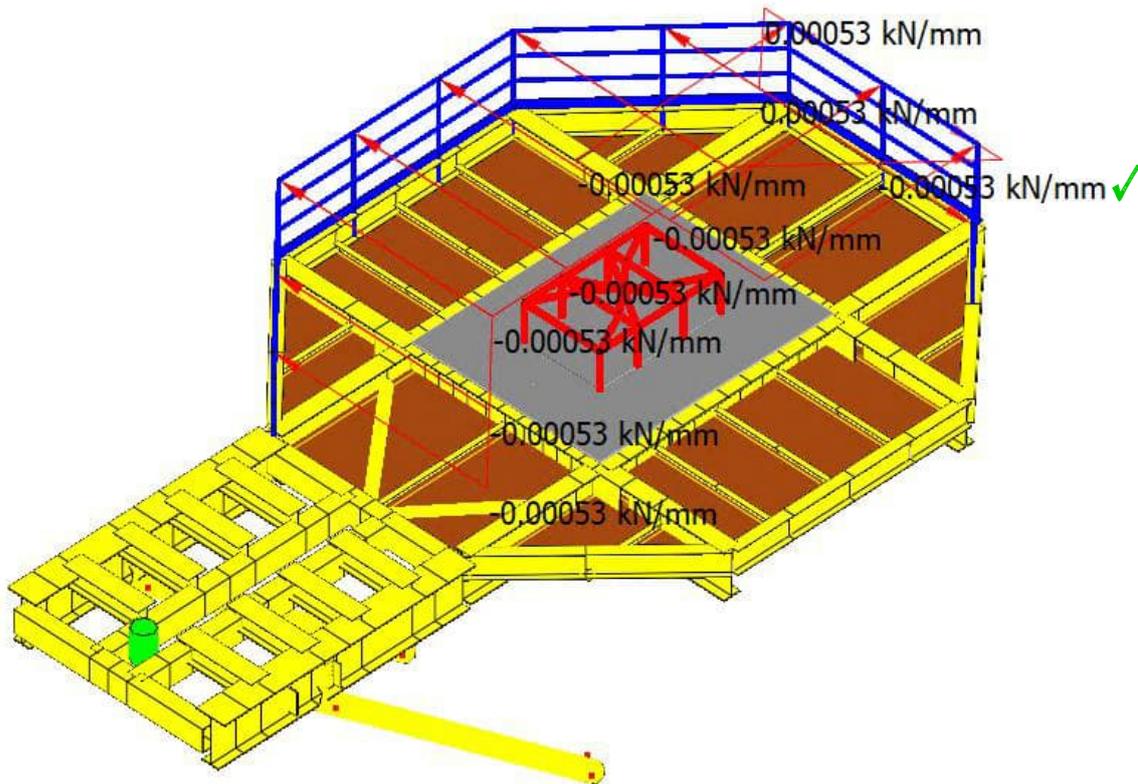


Abbildung 9-71: LC 11 – Holmlasten, MD1 ✓

* Nachweis der Treppenkonstruktion bei BD3 ist zu ergänzen

9.4.13 LC 12 – Reaktionslasten aus Gangwayturm (Q) – BD 3 * siehe Nachtrag

Alle maximaler Lagerlasten des Gangwayturms für jeden Lastfall, die in Kapitel 6.3.4 beschrieben werden, werden hier konservativ gleichzeitig aufgebracht.

Tabelle 9-5: Reaktionslast des Gangwayturms *

Lastfall (LC)	Resultierende Horizontallast, F_R [kN]	Vertikal -Last, F_z [kN]	Resultierendes Biegemoment, M_R [kNm]	Drehmoment, M_z [kNm]
LC 17	22,9	348,5	968,9	19,5
LC1	32,9	348,5	780,7	19,5
LC 2	138,4	432,7	1.837,8	1,0
LC 6	174,0	432,7	1.443,6	656,0
Max.	174,0	432,7	1.837,8	656,0



* Als richtig vorausgesetzt

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		

Die aufgebrauchte Gangwayturm-Lasten sind bei BD3 in der Abbildung unten dargestellt.

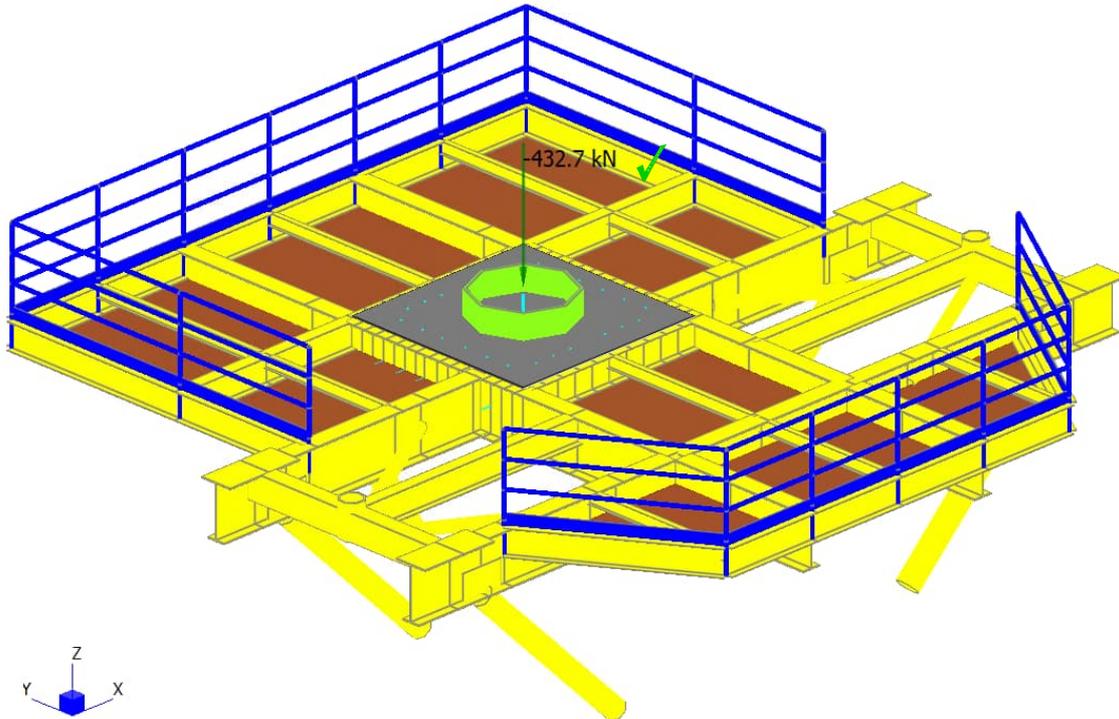


Abbildung 9-72: LC 12.1 – Gangway-Lasten - Vertikallast, BD3 ✓

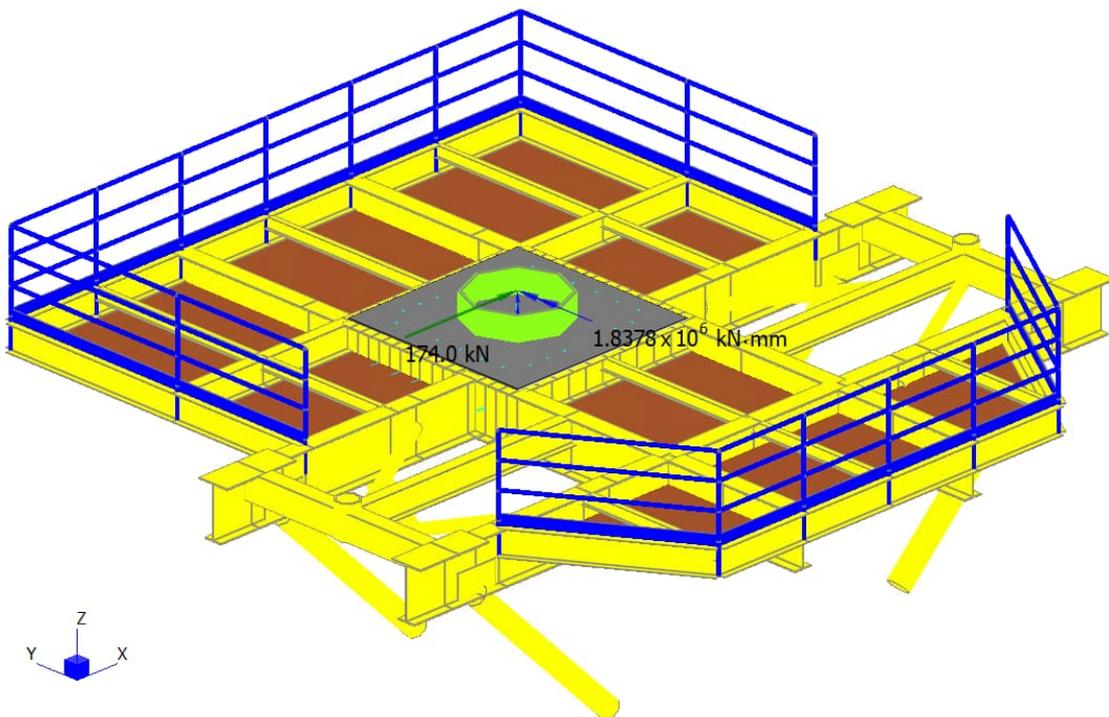


Abbildung 9-73: LC 12.2 – Gangway-Lasten in +X Richtung, BD3 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 91 von 252

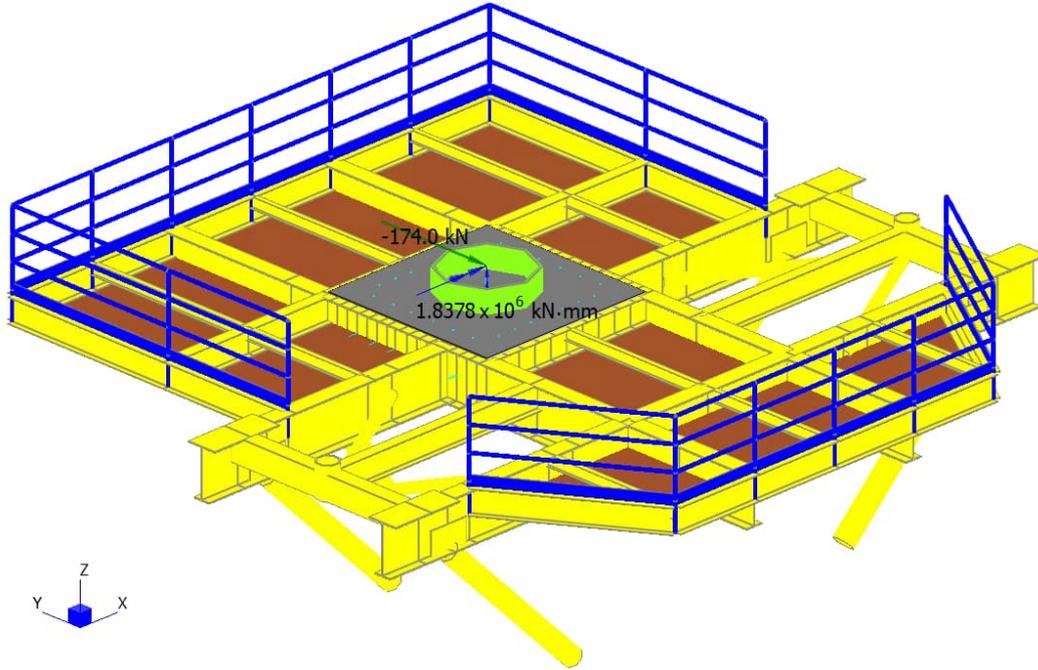


Abbildung 9-74: LC 12.3– Gangway-Lasten in -Y Richtung, BD3 ✓

9.4.14 LC 13 – Kabelzuglast (Q) * Als richtig vorausgesetzt

Die Kabelzuglast wird in 3 Konditionen untersucht. In Betriebszustand wird die maximale Kabelzugkapazität an den J-Tube Lokation angebracht.

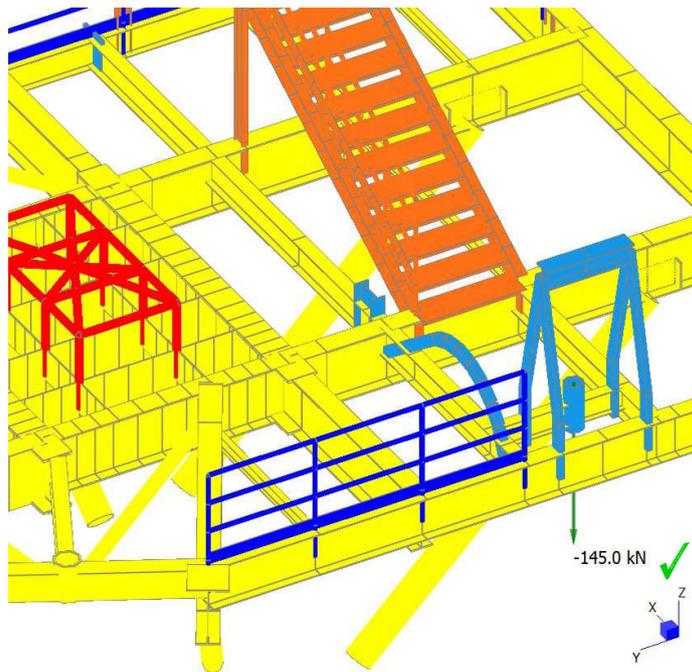


Abbildung 9-75: LC 13.1 – In-Place Kabelzuglast, MD4 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 92 von 252

Die erste Installationsmethode für Kabelzug ist durch Biegerahmen, Padeye und Winde wie in den unteren Abbildung gezeigt.

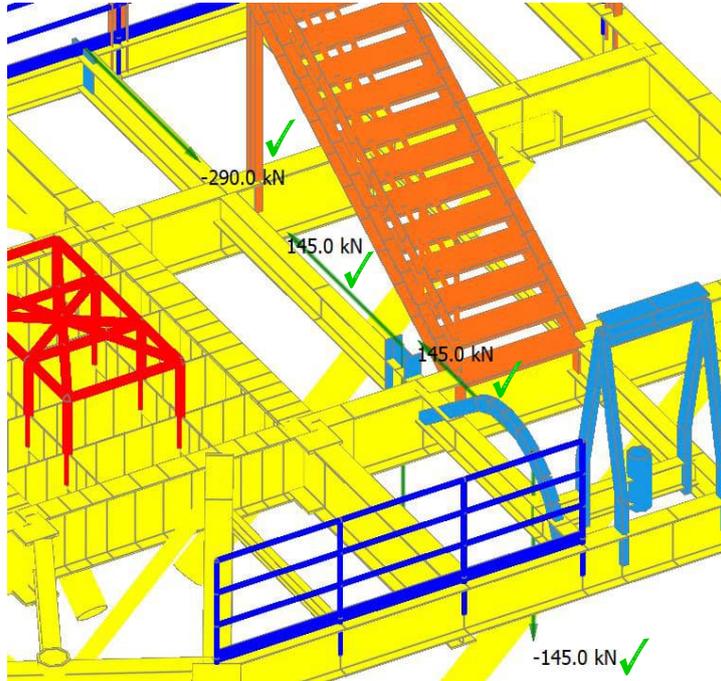


Abbildung 9-76: LC 13.2 – Installation Kabelzug 1, MD4 ✓

Die zweite Installationsmethode für Kabelzug ist durch A-Rahmen wie in den unteren Abbildung gezeigt.

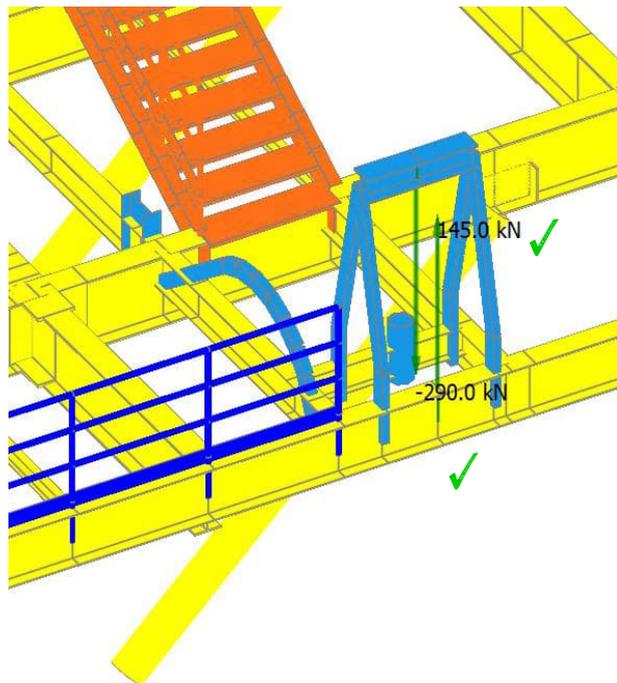


Abbildung 9-77: LC 13.3 – Installation Kabelzug 2, MD4 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 93 von 252

9.4.15 LC 14 – Davit-Kranlast (Q) * Als richtig vorausgesetzt

Da es noch keine Informationen zum Davitkran gibt, werden Lastannahme auf dem Davitkranfundament wie in Kapitel 6.3.10 beschrieben und in der Abbildung unten aufgebracht.

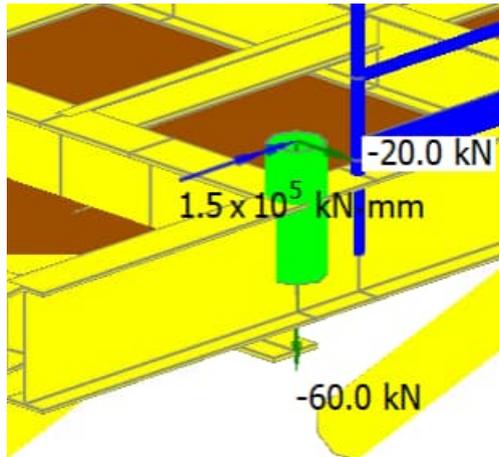


Abbildung 9-78: LC 14.1 – Davit-Kranlast, MD6, Richtung 1 ✓

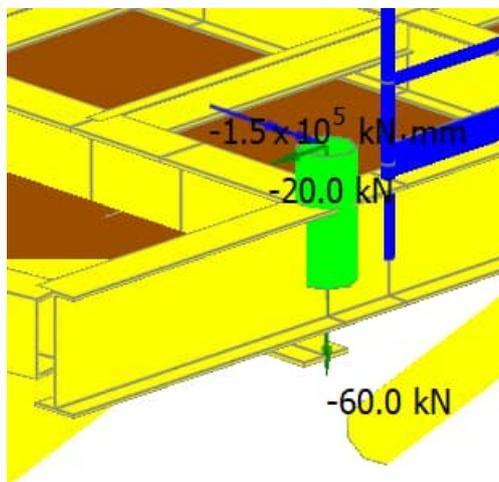


Abbildung 9-79: LC 14.2 – Davit-Kranlast, MD6, Richtung 2 ✓

		Struktur			
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen		Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03		
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU			Seite 94 von 252		

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 9-6: ULS Lastfallkombinationen (LCOM) Betriebszustand (außer MD4, MD6, BD2 und BD3)

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 - Gitteroste	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 - 2028.03	
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU			Seite	95 von 252

Tabelle 9-7: ULS Lastfallkombinationen (LCOM) Betriebszustand für MD4

Lastfall (LC)	LCOM 1	LCOM 2	LCOM 3	LCOM 4	LCOM 5	LCOM 6	LCOM 7	LCOM 8	LCOM 9	LCOM 10
LC 1 - Struktur-Eigengewicht	1,485	1,485	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	1,485	1,485
LC 3 - Hakengewicht	1,485	1,485	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	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	1,0	1,0
LC 6.3 – Horizontale Brückenlasten		1,0	1,0	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	1,0	1,0
LC 7 - Verkehrslasten	1,5	1,5	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	1,65	1,65
LC 8.2 – Windlasten in +X Richtung	1,65	1,65		-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					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		
LC 8.6 – Windlasten auf Container in -X Richtung				1,65	1,65	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 - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 96 von 252

Lastfall (LC)	LCOM 1	LCOM 2	LCOM 3	LCOM 4	LCOM 5	LCOM 6	LCOM 7	LCOM 8	LCOM 9	LCOM 10
LC 9 - Schneelasten	1,65	1,65	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	1,65	1,65
LC 11 - Holmlasten	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
LC 13.1 – Kabelzug In-Place	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5		
LC 13.2 – Kabelzug Installation 1									1,5	
LC 13.3 – Kabelzug Installation 2										1,5

		Struktur			
 					
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN		Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03		
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU			Seite 97 von 252		

Tabelle 9-8: ULS Lastfallkombinationen (LCOM) Betriebszustand für MD6

Lastfall (LC)	LCOM 1	LCOM 2	LCOM 3	LCOM 4	LCOM 5	LCOM 6	LCOM 7
LC 1 - Struktur-Eigengewicht	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
LC 3 - Hakengewicht	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					1,5
LC 5.3 – Mooring in -X+Y Richtung				1,5	1,5	1,5	
LC 6.1 – Vertikale Brückenlasten	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
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
LC 8.1 – Windlasten in +Y Richtung		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 9 - Schneelasten	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
LC 11 - Holmlasten	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
LC 14.1 – Davit-Kranlast Richtung 1		-1,06	-1,5	-1,06		1,06	1,5
LC 14.2 – Davit-Kranlast Richtung 2	-1,5	-1,06		1,06	1,5	1,06	

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 98 von 252

Tabelle 9-9: ULS Lastfallkombinationen (LCOM) Betriebszustand für BD2

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 6.1 – Vertikale Brückenlasten	1,0	1,0	1,0			
LC 6.2 – Vertikale Brückenlasten				1,0	1,0	1,0
LC 6.3 – Horizontale Brückenlasten		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
LC 8.1 – Windlasten in +Y Richtung		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 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 - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 99 von 252

Tabelle 9-10: ULS Lastfallkombinationen (LCOM) Betriebszustand für BD3 ✓

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 6.1 – Vertikale Brückenlasten	1,0	1,0	1,0			
LC 6.2 – Vertikale Brückenlasten				1,0	1,0	1,0
LC 6.3 – Horizontale Brückenlasten		-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
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
LC 12-1 - Reaktionslast von Gangwayturm	1,0	1,0		1,0	1,0	
LC 12-2 - Reaktionslast von Gangwayturm		1,0	1,0		1,0	1,0

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 100 von 252

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 245,0 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 71%.

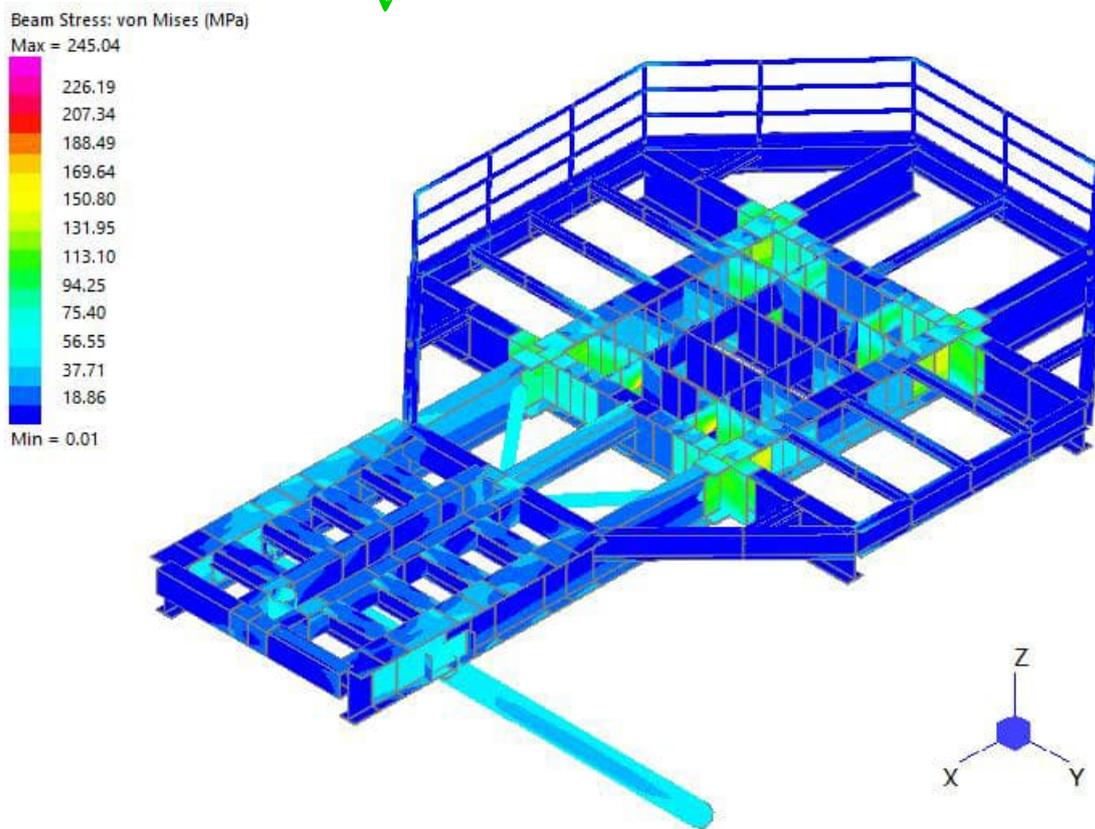


Abbildung 9-80: von Mises Spannung, MD1 ✓

Seite 100-120:

Durch Vergleichsrechnung geprüft

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 101 von 252

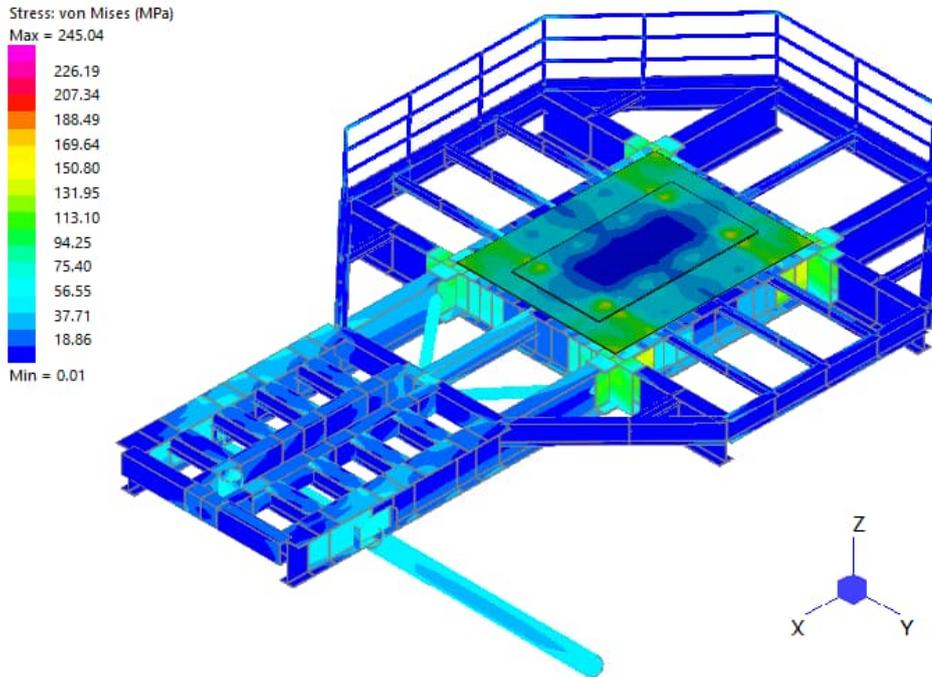


Abbildung 9-81: von Mises Spannung, MD1 mit Deckplatte ✓

Die maximale von Mises Spannung für die Balkenelemente der MD2 Plattform beträgt 231,0 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 67%.

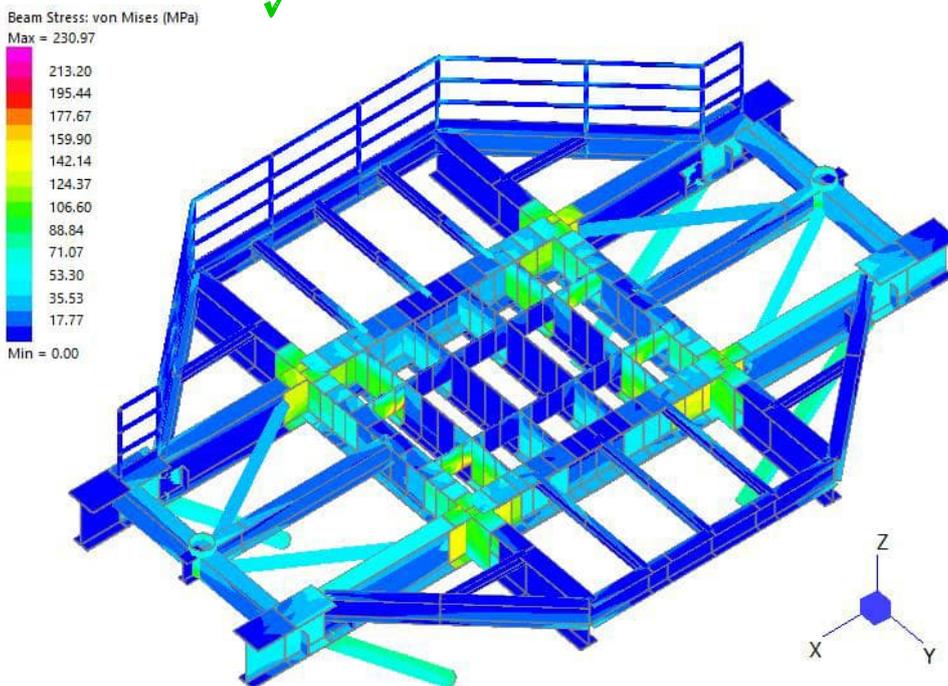


Abbildung 9-82: von Mises Spannung, MD2 ✓

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 102 von 252

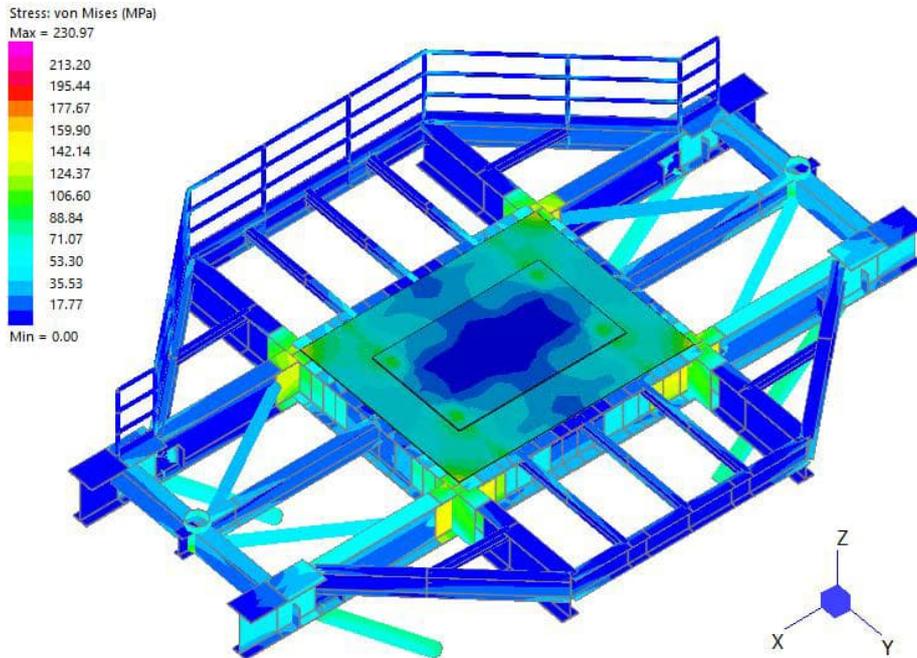


Abbildung 9-83: von Mises Spannung, MD2 mit Deckplatte ✓

Die maximale von Mises Spannung für die Balkenelemente der MD3 Plattform beträgt 336,5 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 98%. ✓

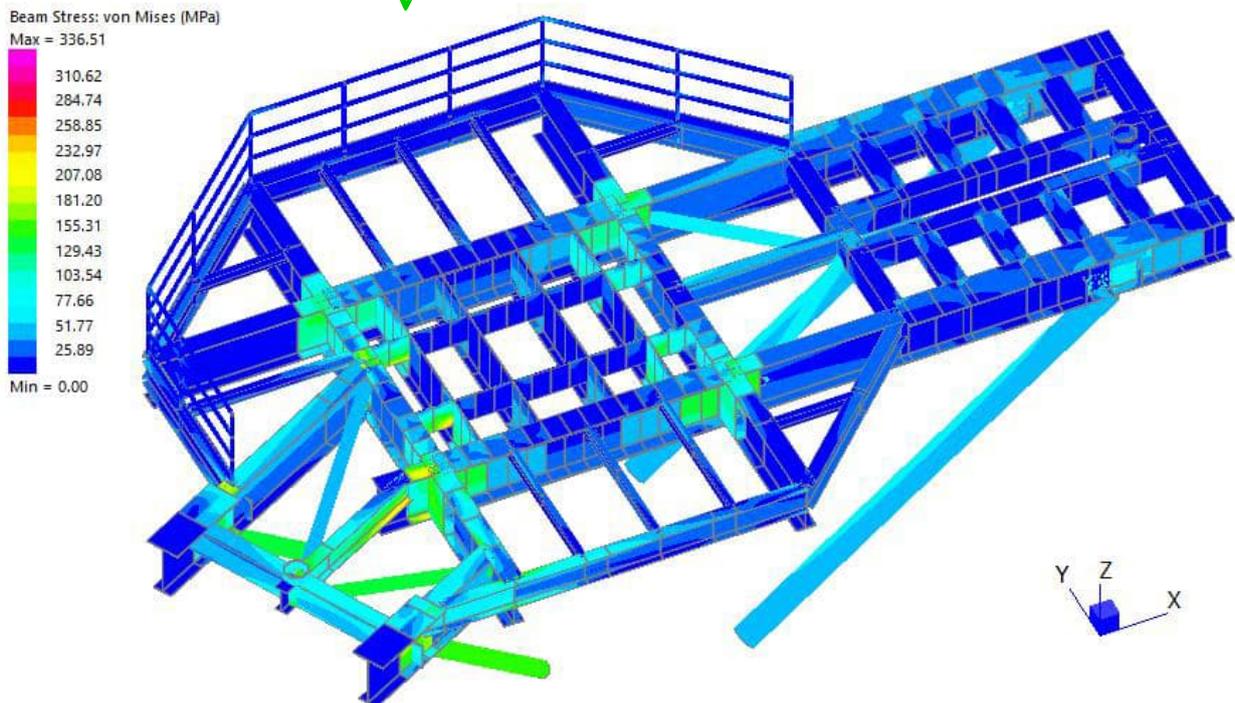


Abbildung 9-84: von Mises Spannung, MD3 ✓

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 103 von 252

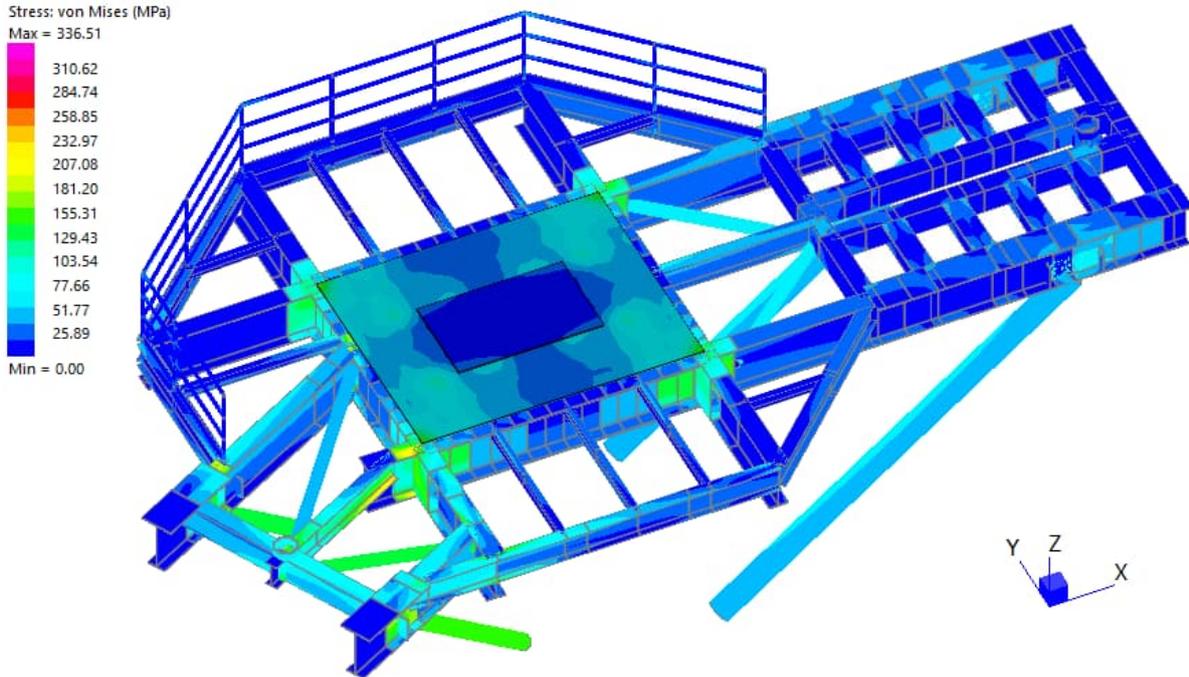


Abbildung 9-85: von Mises Spannung, MD3 mit Deckplatte ✓

In der folgenden Abbildung ist das Spannungsplot von MD4 Plattform bis die erlaubte Spannung von 345,0 MPa skaliert. Die Überspannungen sind in der nächsten Abbildung gezeigt. ✓

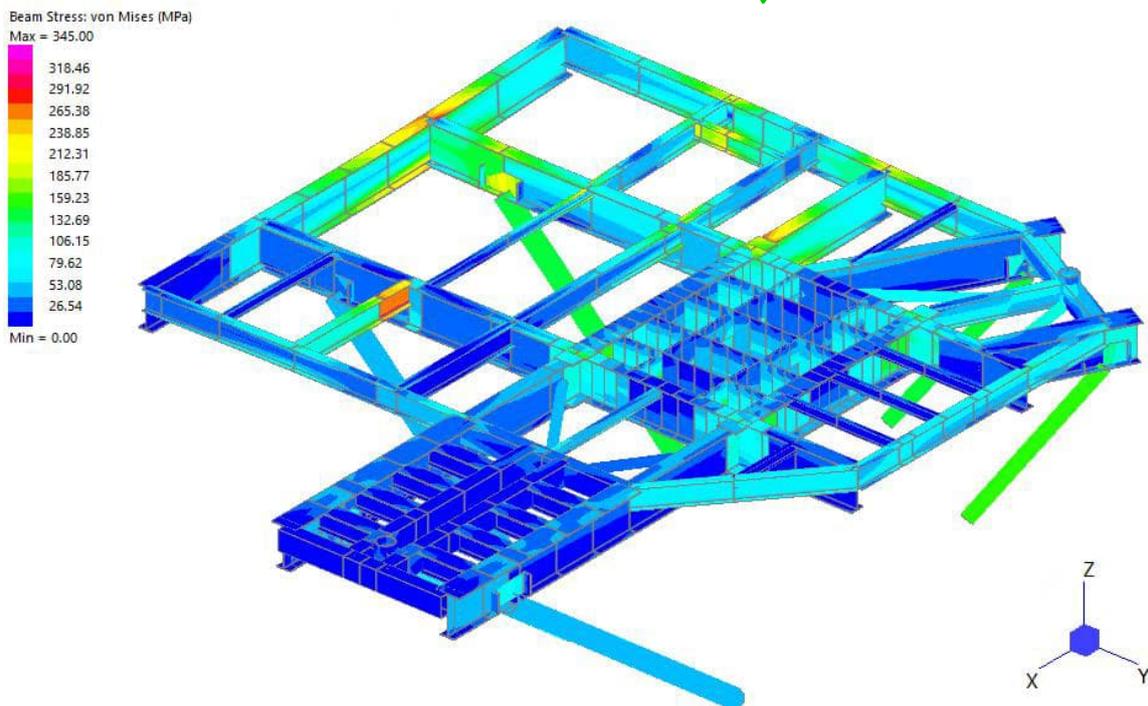


Abbildung 9-86: von Mises Spannung, MD4 ✓

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 104 von 252

Der überspannte Bereich ist sehr klein. Aufgrund der konservativen Lasteingabe von der Container ist es akzeptabel.

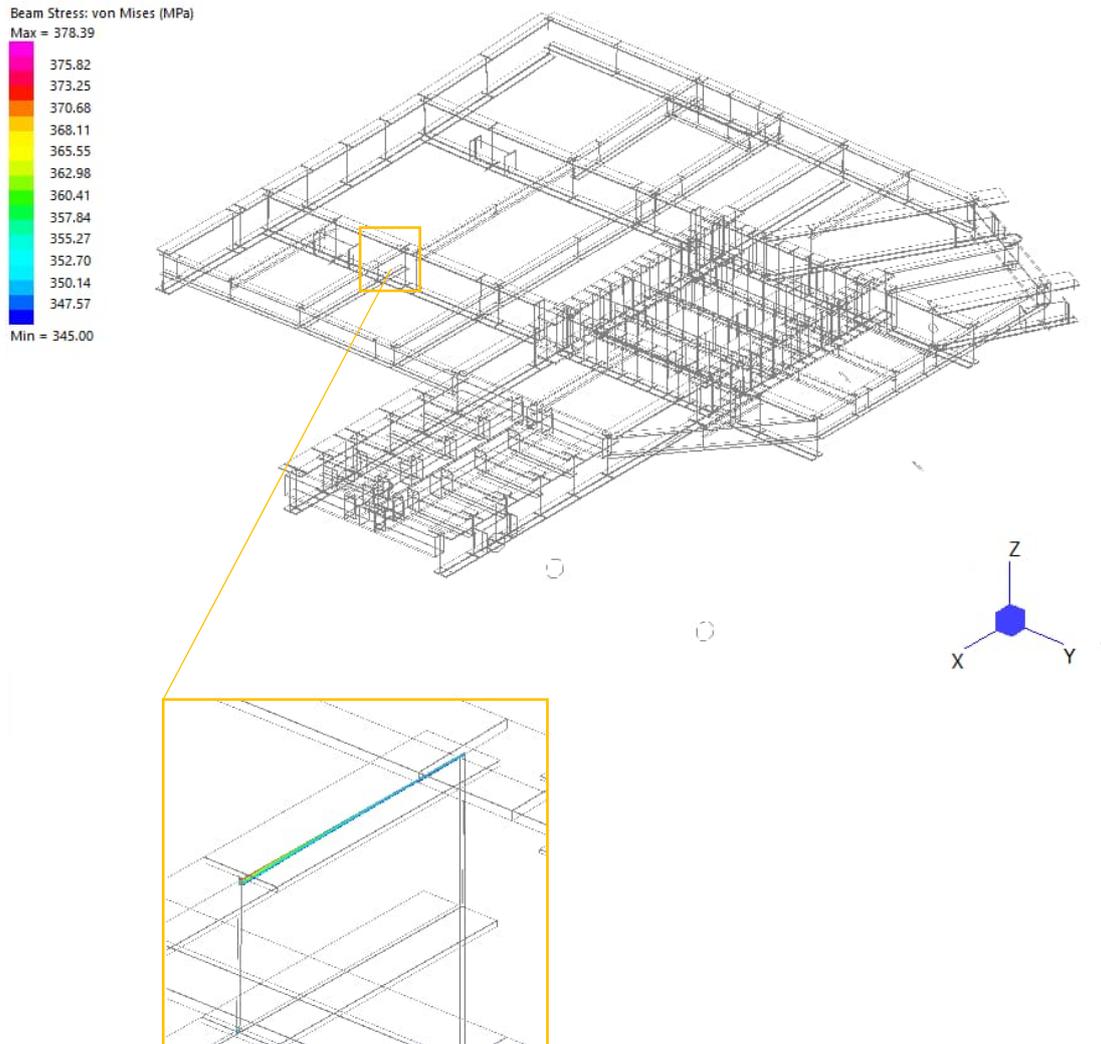


Abbildung 9-87: Überspannungen, MD4 ✓

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 105 von 252

In der folgenden Abbildung ist das Spannungsplot von Aufgang zu Container für MD4 Plattform bis die erlaubte Spannung von 345,0 MPa skaliert. Die Überspannungen sind in der nächsten Abbildung gezeigt.

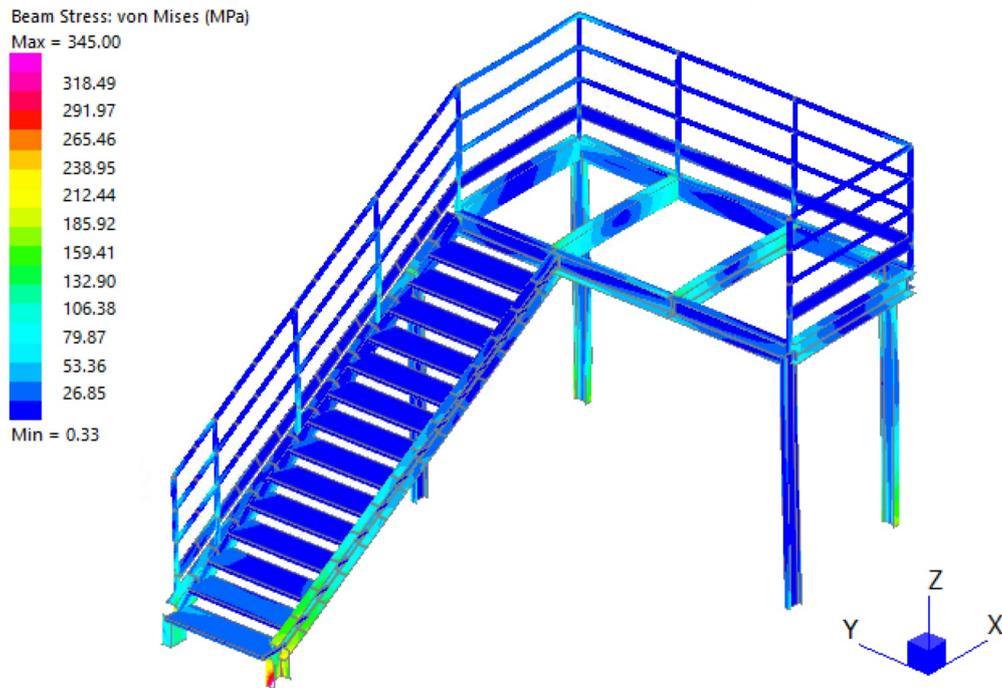


Abbildung 9-88: von Mises Spannung, Aufgang zu Container für MD4

Nachweis der Treppenkonstruktion sowie der Stahlanschlüsse der Treppenstützen bei MD4 sind zu ergänzen.
Siehe Nachtrag.

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 106 von 252

Der überspannte Bereich ist sehr klein und ist es akzeptabel. ✓

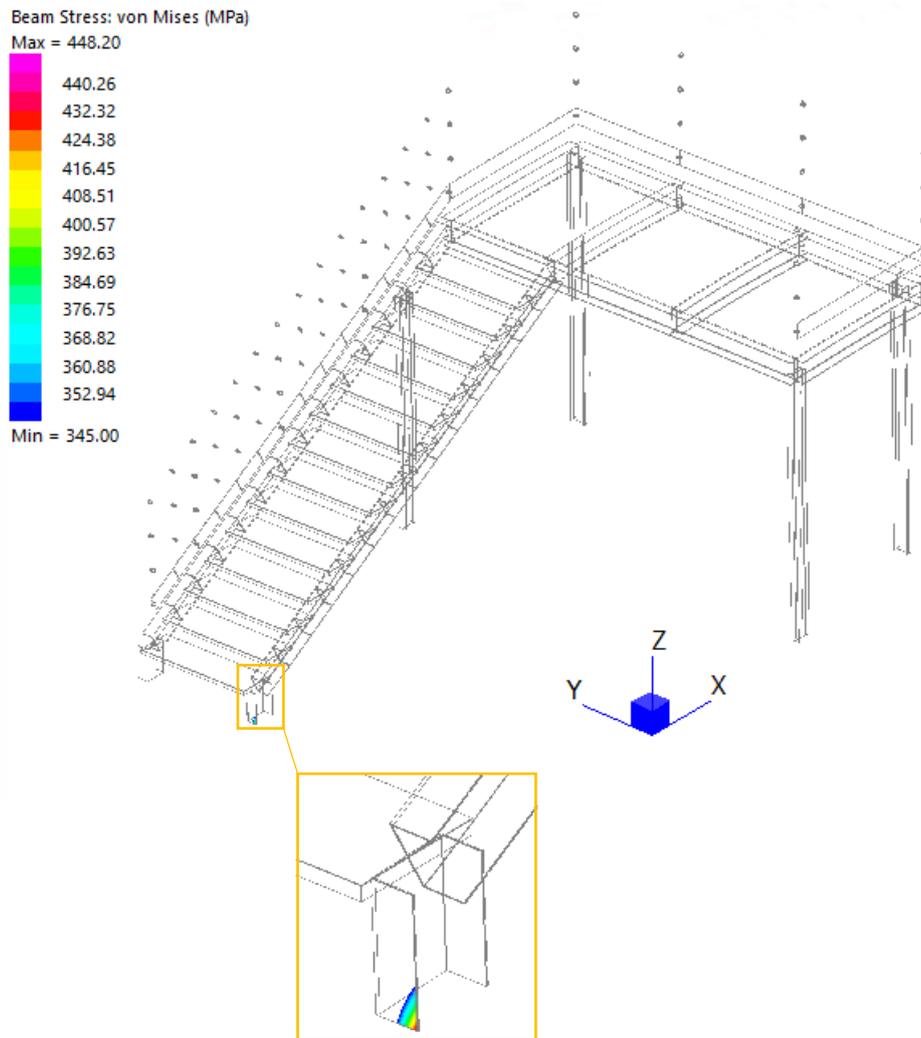


Abbildung 9-89: Überspannungen, Aufgang zu Container für MD4 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 107 von 252

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.

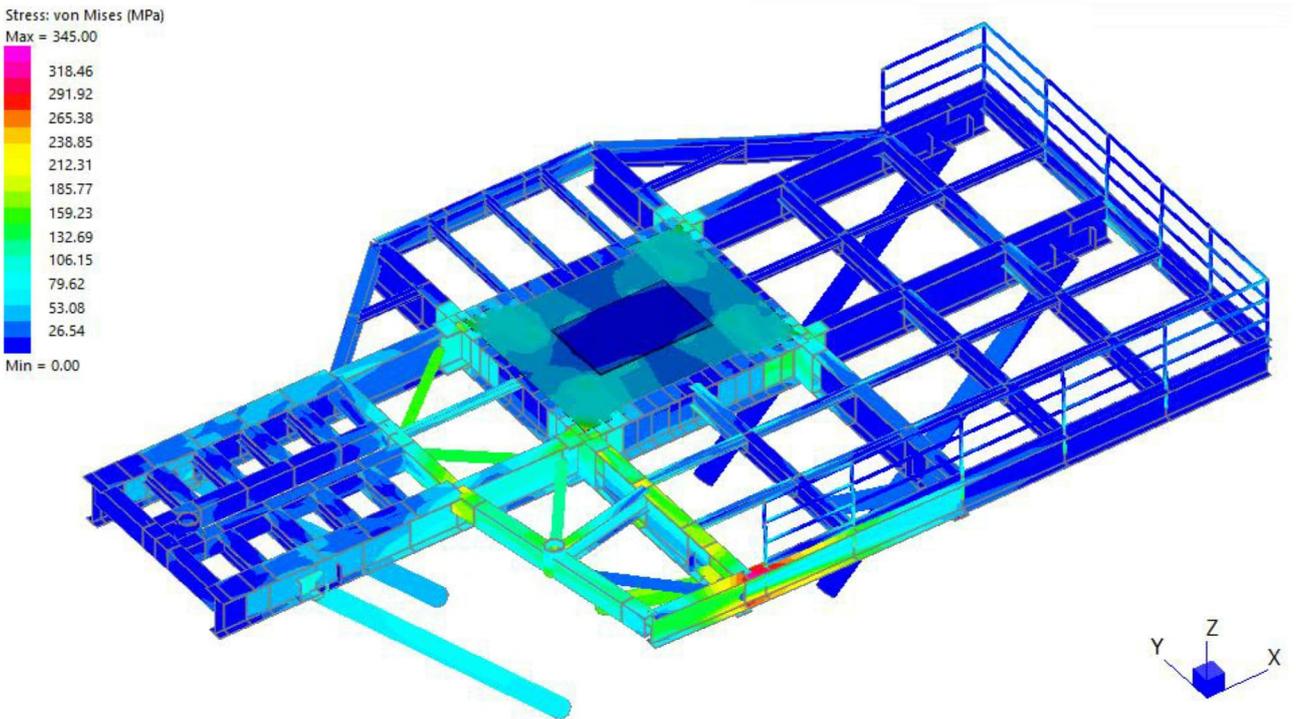


Abbildung 9-90: von Mises Spannung, MD6 

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 108 von 252

Der überspannte Bereich ist sehr klein und kaum sehbar und daher es ist akzeptabel. ✓

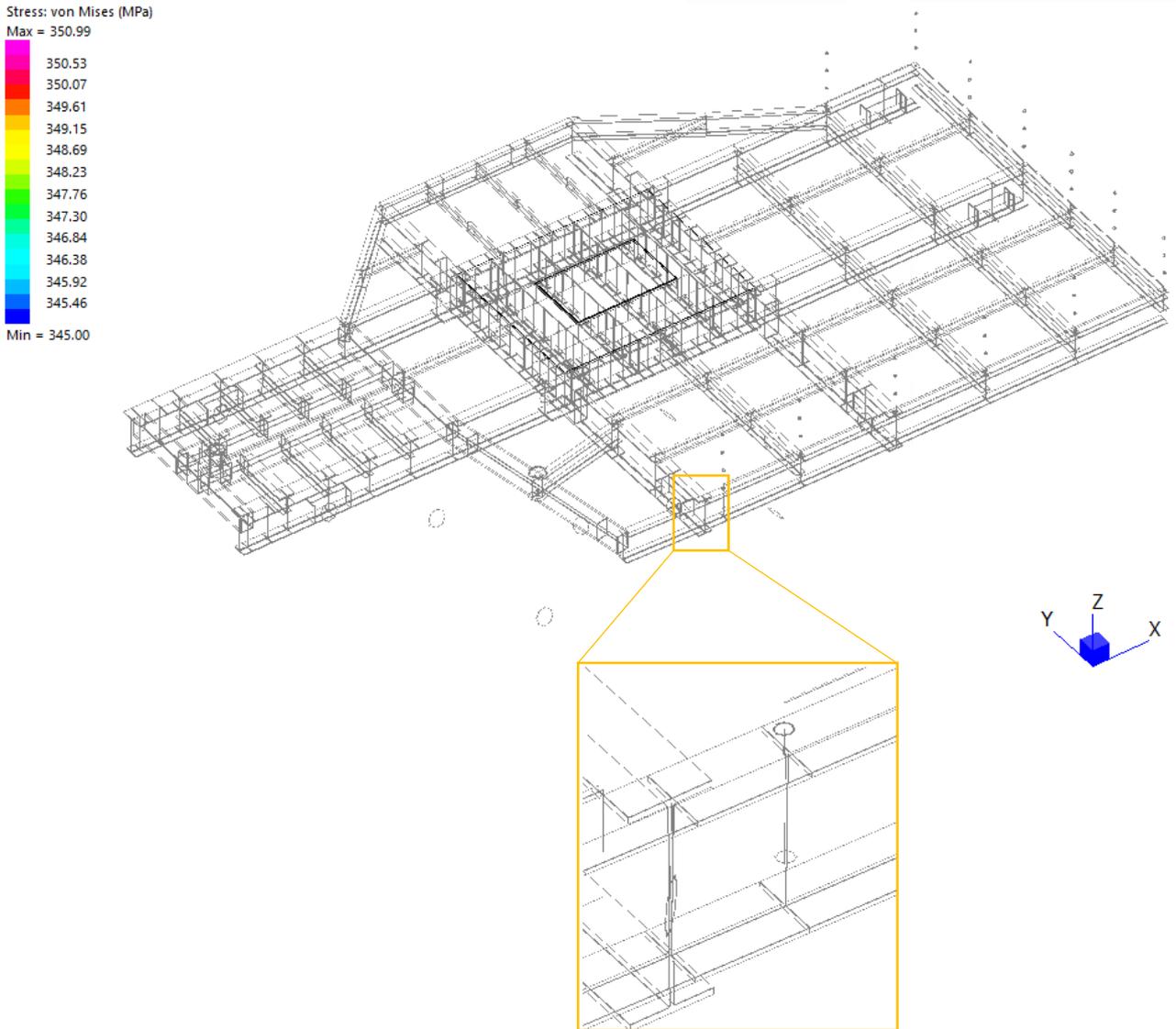


Abbildung 9-91: Überspannungen, MD6 ✓

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 109 von 252

Die maximale von Mises Spannung für die Balkenelemente der BD1 Plattform beträgt 305,9 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 89%.

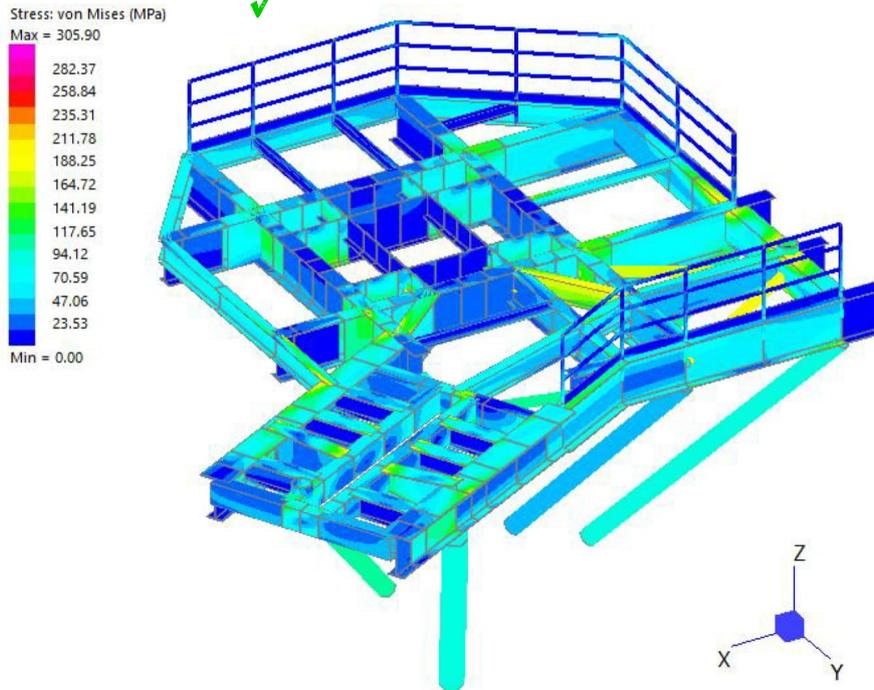


Abbildung 9-92: von Mises Spannung, BD1

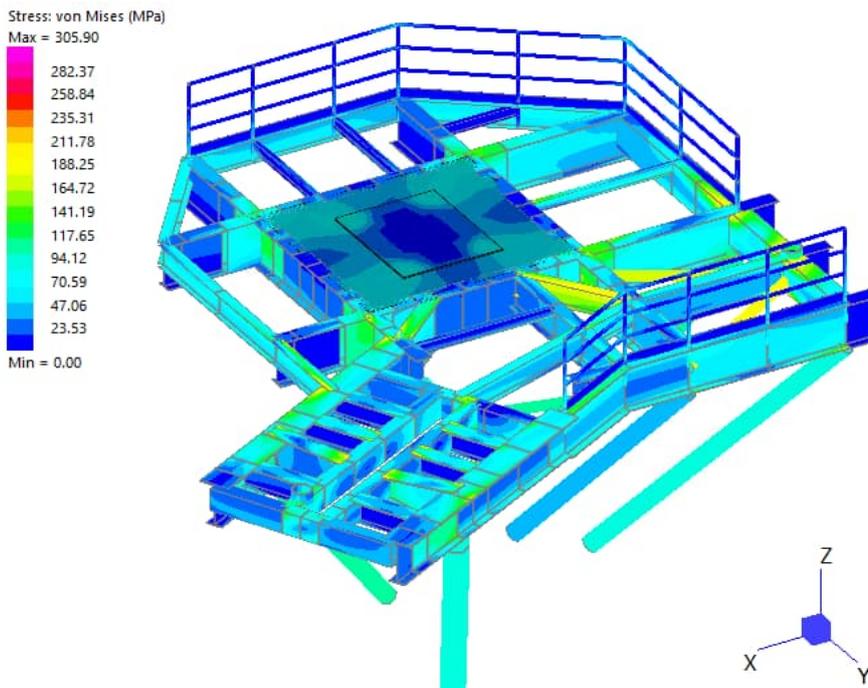


Abbildung 9-93: von Mises Spannung, BD1 mit Deckplatte

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 110 von 252

In der folgenden Abbildung ist das Spannungsplot von BD2 Plattform bis die erlaubte Spannung von 345,0 MPa skaliert. Die Überspannungen sind in der nächsten Abbildung gezeigt. ✓

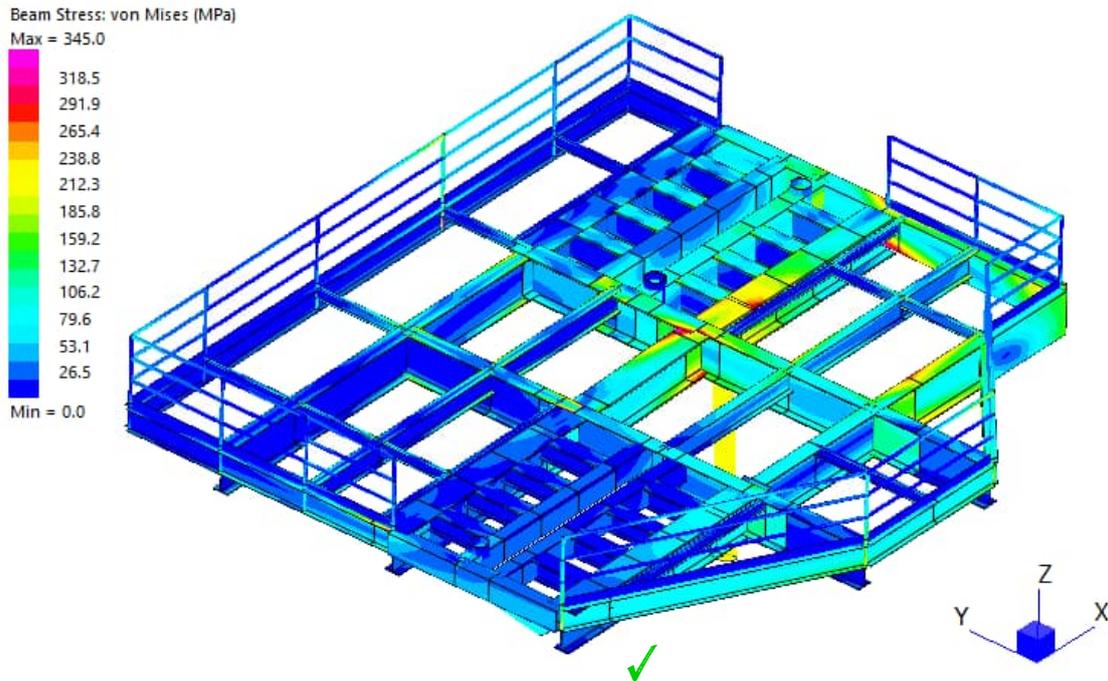


Abbildung 9-94: von Mises Spannung, BD2 ✓

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

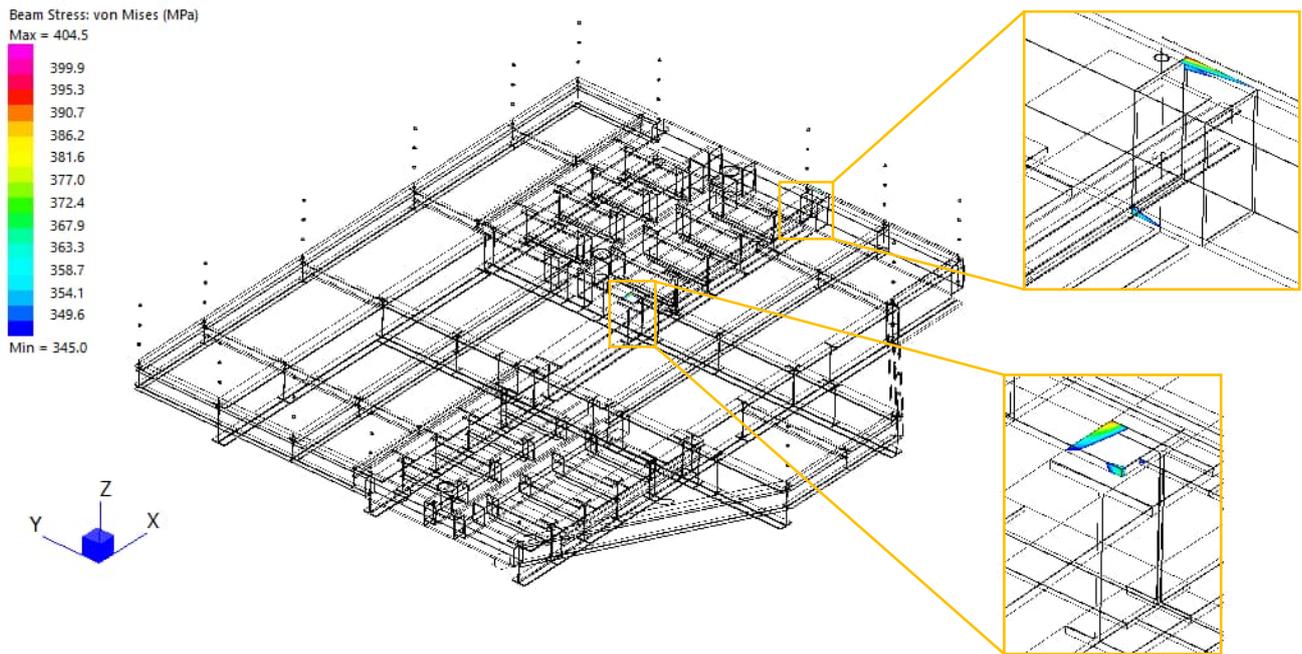


Abbildung 9-95: Überspannungen, BD2 ✓

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 111 von 252

Die maximale von Mises Spannung für die Balkenelemente der BD3 Plattform beträgt 255,4MPa und ist in der Abbildung unten dargestellt. Diese Spannung ist kleiner als die erlaubte Spannung von 345,0 MPa. Die maximale Auslastung beträgt somit 74%.

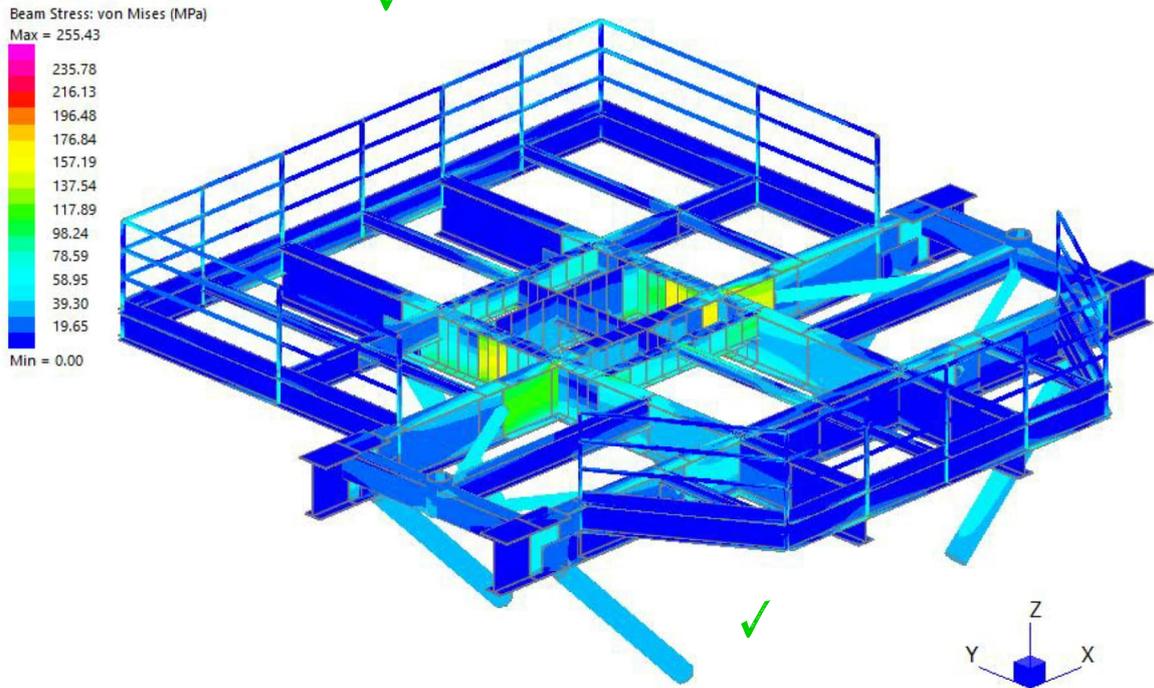


Abbildung 9-96: von Mises Spannung, BD3

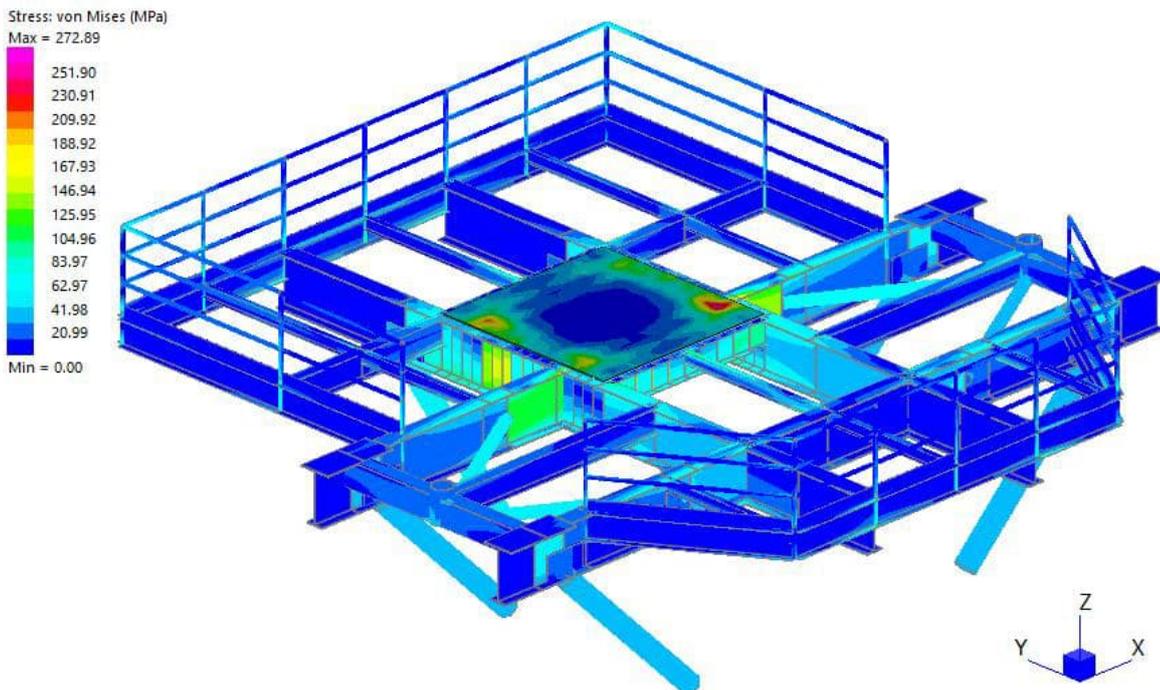


Abbildung 9-97: von Mises Spannung, BD3 mit Deckplatte

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 112 von 252

Die maximale von Mises Spannung für die Balkenelemente der BD4 Plattform beträgt 231,6 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 67%.

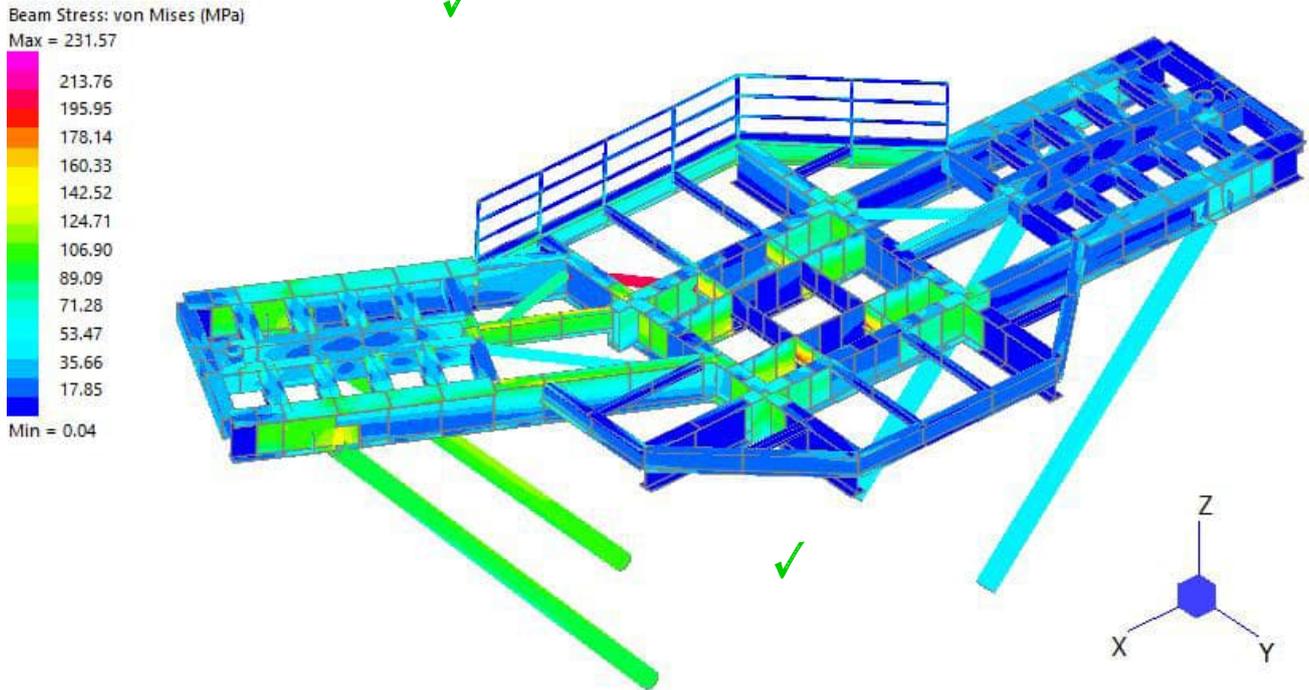


Abbildung 9-98: von Mises Spannung, BD4 ✓

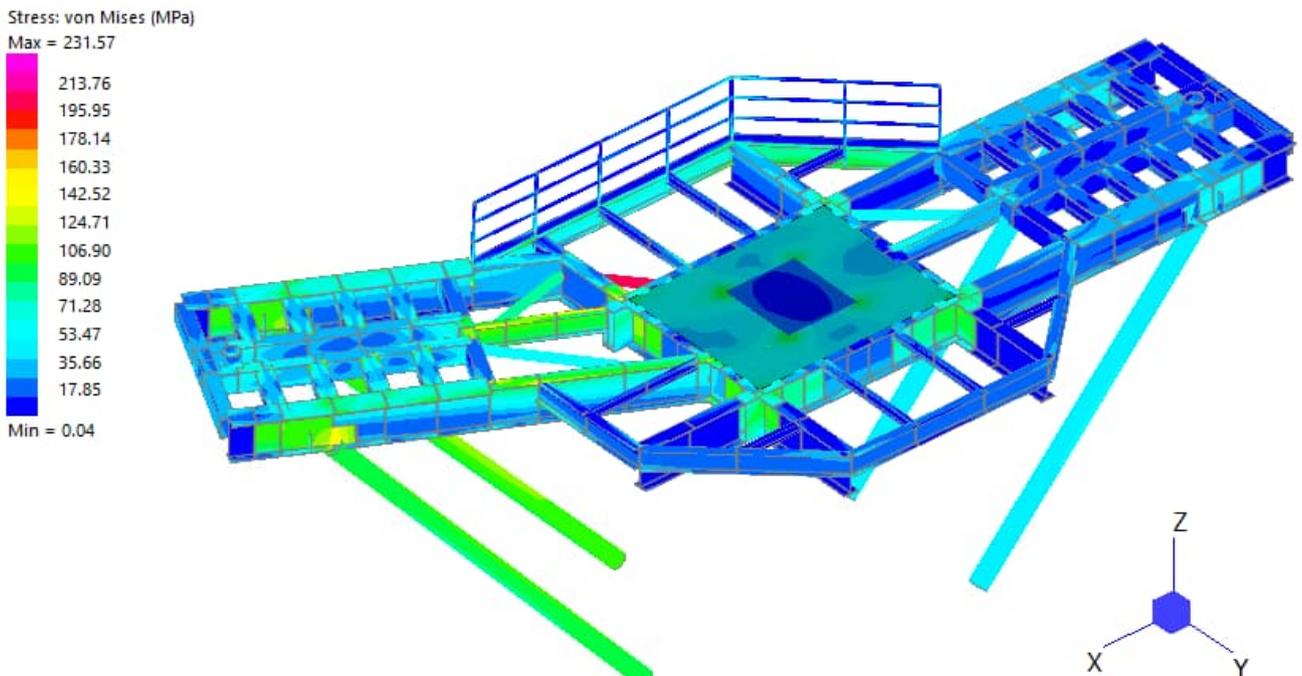


Abbildung 9-99: von Mises Spannung, BD4 mit Deckplatte ✓

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 113 von 252

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 3,6 mm and taucht bei Kragarm auf. Die Verformung ist in der Abbildung unten dargestellt. Diese maximale Durchbiegung ist weniger als $L / 100 = 13,9$ mm. ✓

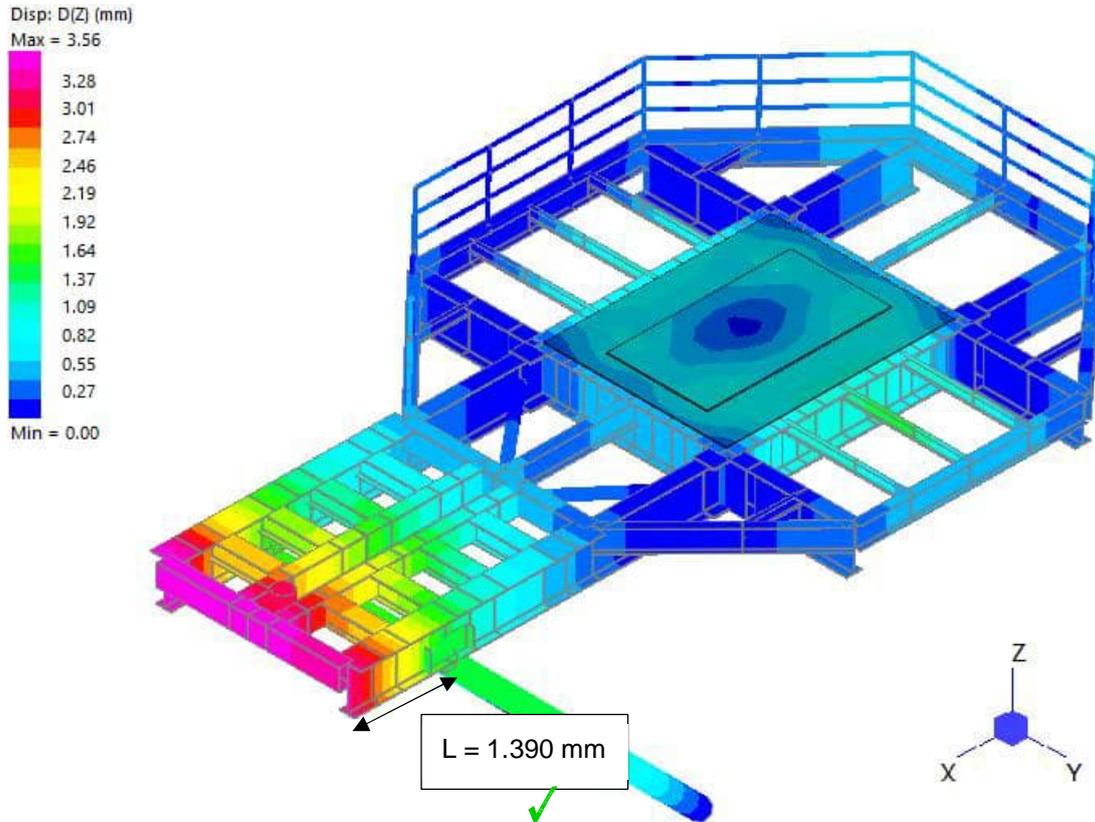


Abbildung 9-100: Verformung, MD1 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 114 von 252

Die Verformung ist in der Abbildung unten dargestellt. Die maximale Durchbiegung der Stahlträger der MD2 beträgt 2,7 mm and taucht bei Kragarm auf. Diese maximale Durchbiegung ist weniger als $L / 100 = 10,0$ mm.

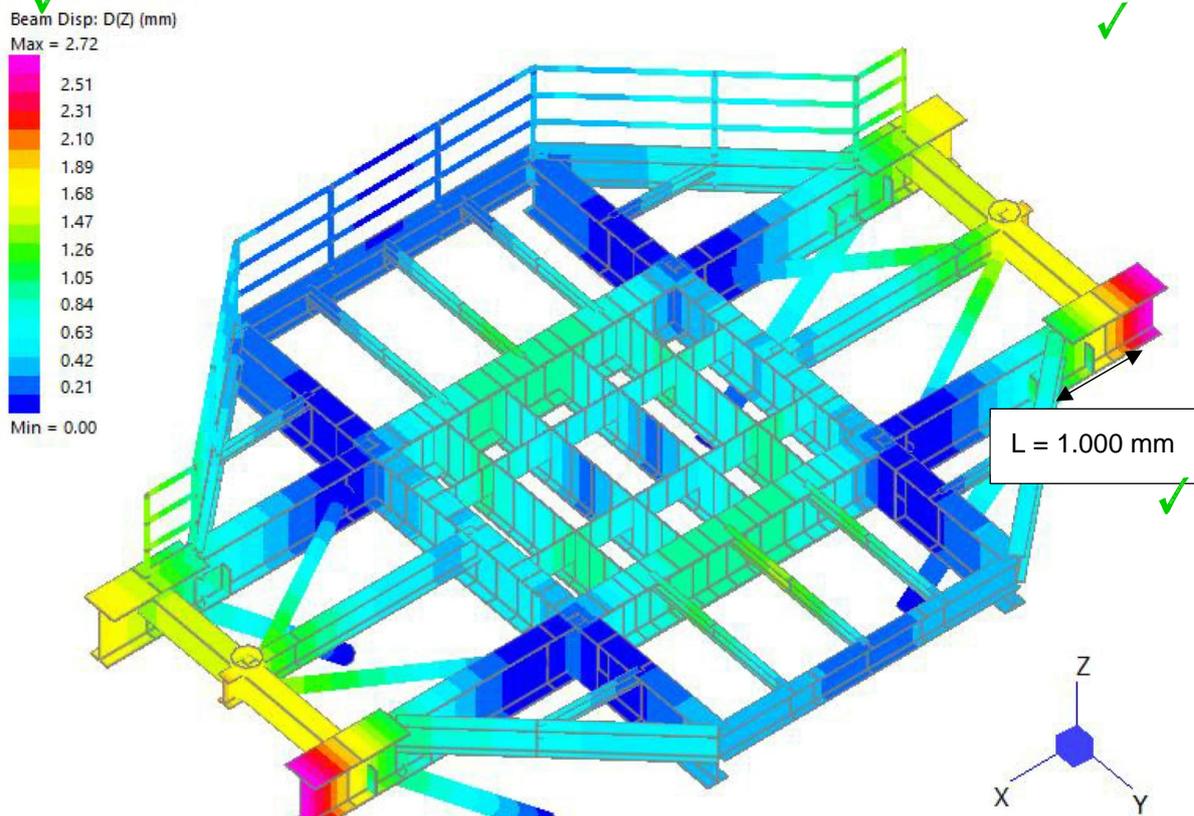


Abbildung 9-101: Verformung, MD2 ✓

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 115 von 252

Die Verformung ist in der Abbildung unten dargestellt. Die maximale Durchbiegung der Stahlträger der MD3 beträgt 8,2 mm and taucht bei Kragarm auf. Diese maximale Durchbiegung ist weniger als $L / 100 = 19,6$ mm.

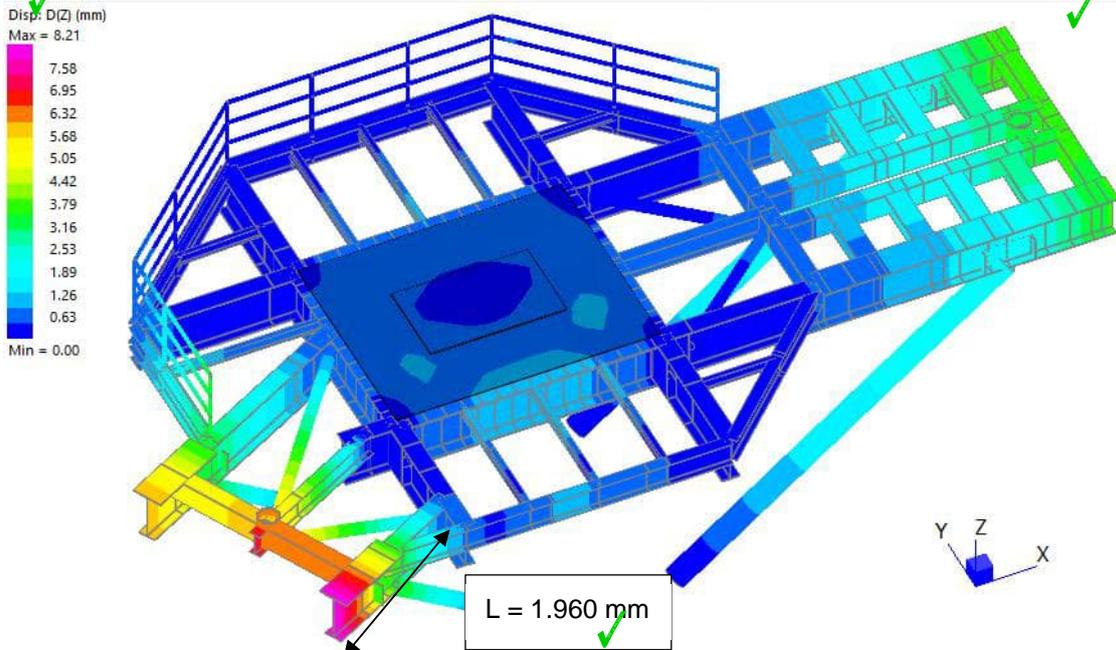


Abbildung 9-102: Verformung, MD3 ✓

Die Verformung ist in der Abbildung unten dargestellt. Die maximale Durchbiegung der Stahlträger der MD4 beträgt 38,7 mm and taucht bei Kragarm auf. Diese maximale Durchbiegung ist weniger als $L / 100 = 51,15$ mm.

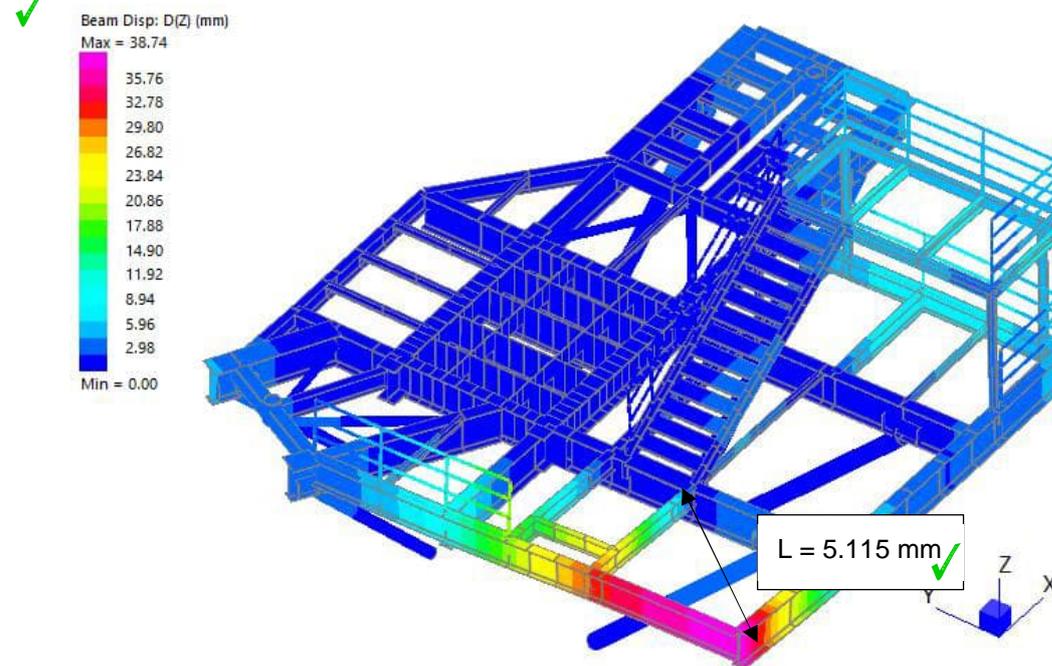


Abbildung 9-103: Verformung, MD4 ✓

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 116 von 252

Die Verformung ist in der Abbildung unten dargestellt. Die maximale Durchbiegung der Stahlträger der MD6 beträgt 23,3 mm and taucht bei Kragarm auf. Diese maximale Durchbiegung ist weniger als $L / 100 = 31,5$ mm.

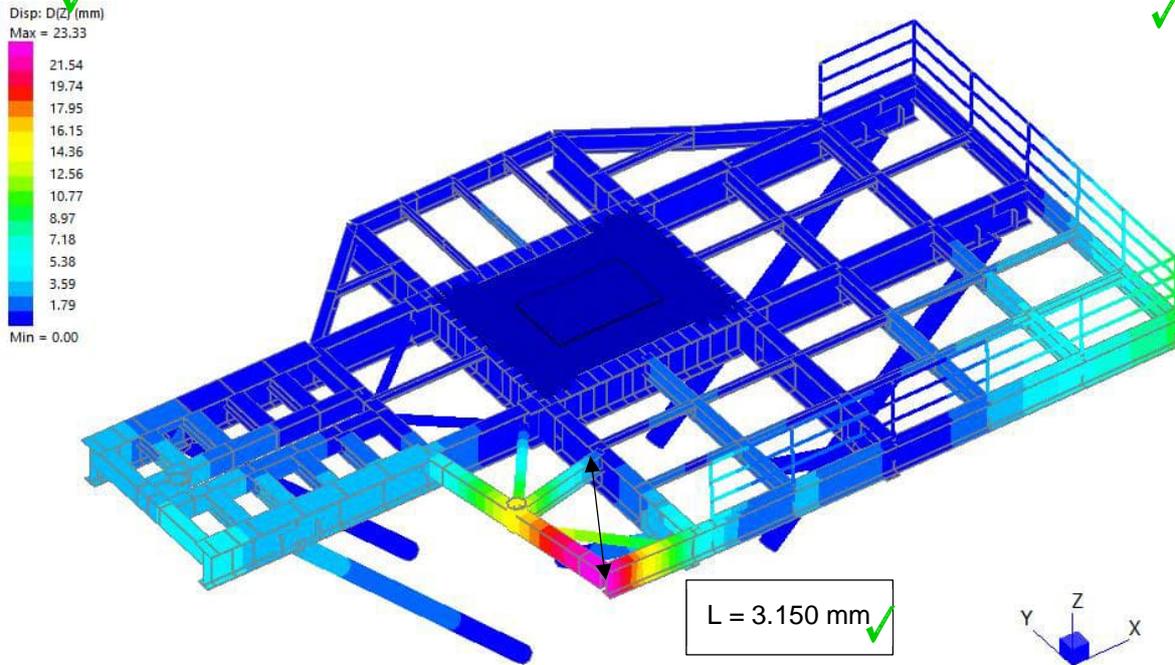


Abbildung 9-104: Verformung, MD6

Die Verformung ist in der Abbildung unten dargestellt. Die maximale Durchbiegung der Stahlträger der BD1 beträgt 13,1 mm and taucht bei Kragarm auf und sie ist weniger als $L / 100 = 13,5$ mm.

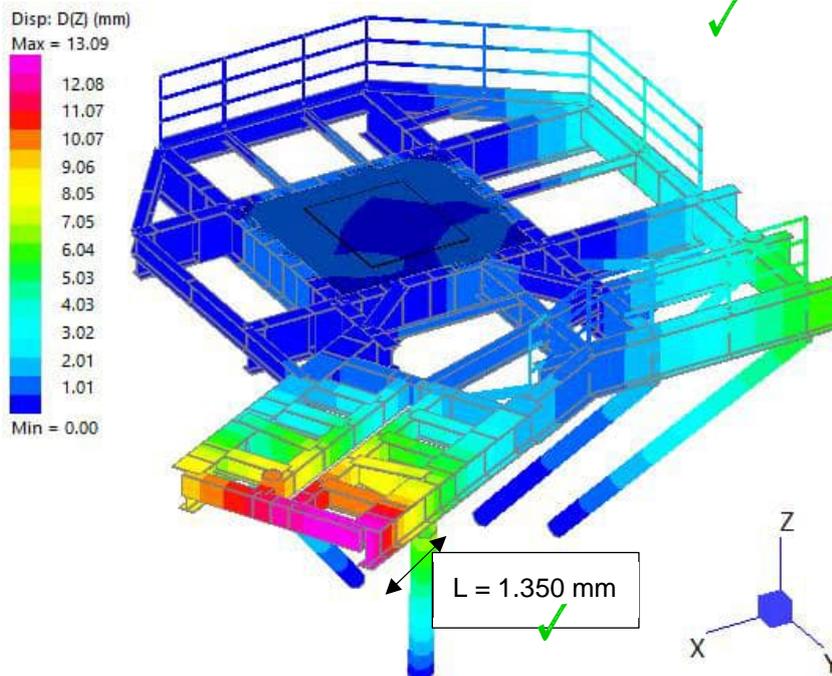


Abbildung 9-105: Verformung, BD1

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 117 von 252

Die Verformung ist in der Abbildung unten dargestellt. Die maximale Durchbiegung der Stahlträger der BD2 beträgt 21,2 mm and taucht bei Kragarm auf und sie ist weniger als $L / 100 = 30,0$ mm.

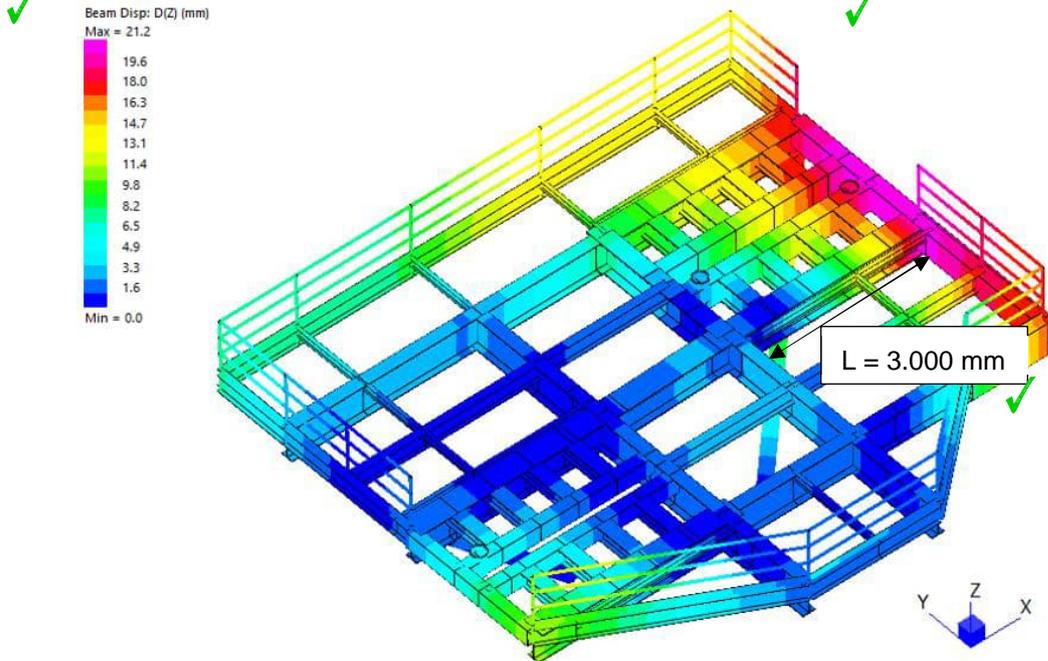


Abbildung 9-106: Verformung, BD2

Die Verformung ist in der Abbildung unten dargestellt. Die maximale Durchbiegung der Stahlträger der BD3 beträgt 4,5 mm and taucht bei Kragarm auf. Diese maximale Durchbiegung ist weniger als $L / 100 = 27,5$ mm.

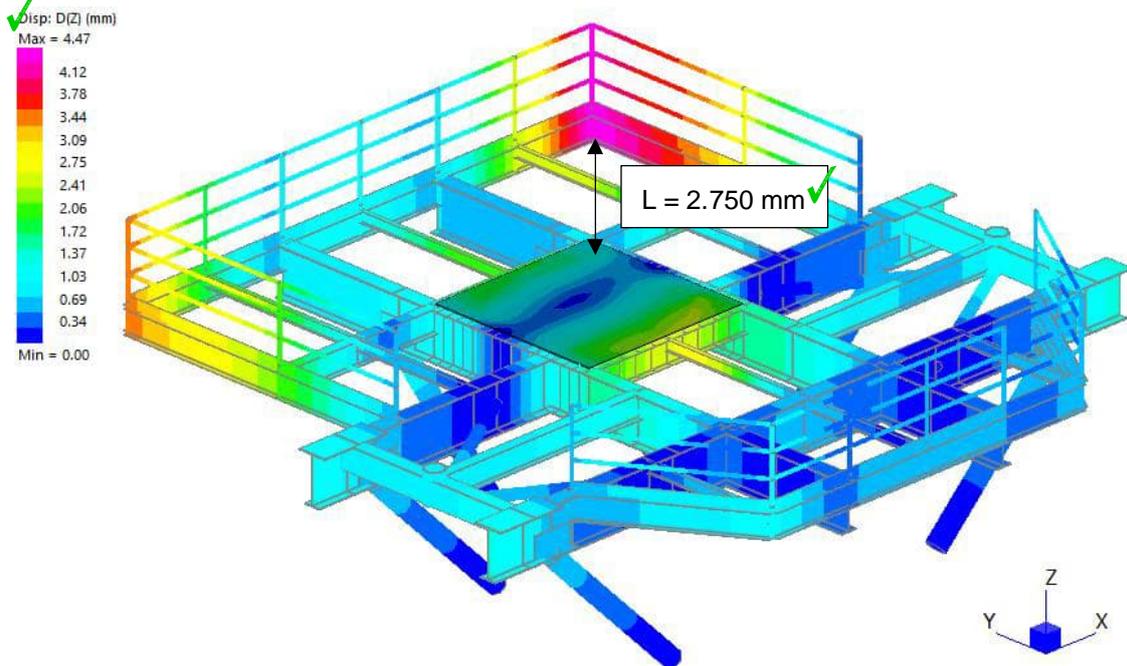


Abbildung 9-107: Verformung, BD3

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 118 von 252

Die Verformung ist in der Abbildung unten dargestellt. Die maximale Durchbiegung der Stahlträger der BD4 beträgt 10,6 mm and taucht bei Kragarm auf. Diese maximale Durchbiegung ist weniger als $L / 100 = 13,0$ mm.

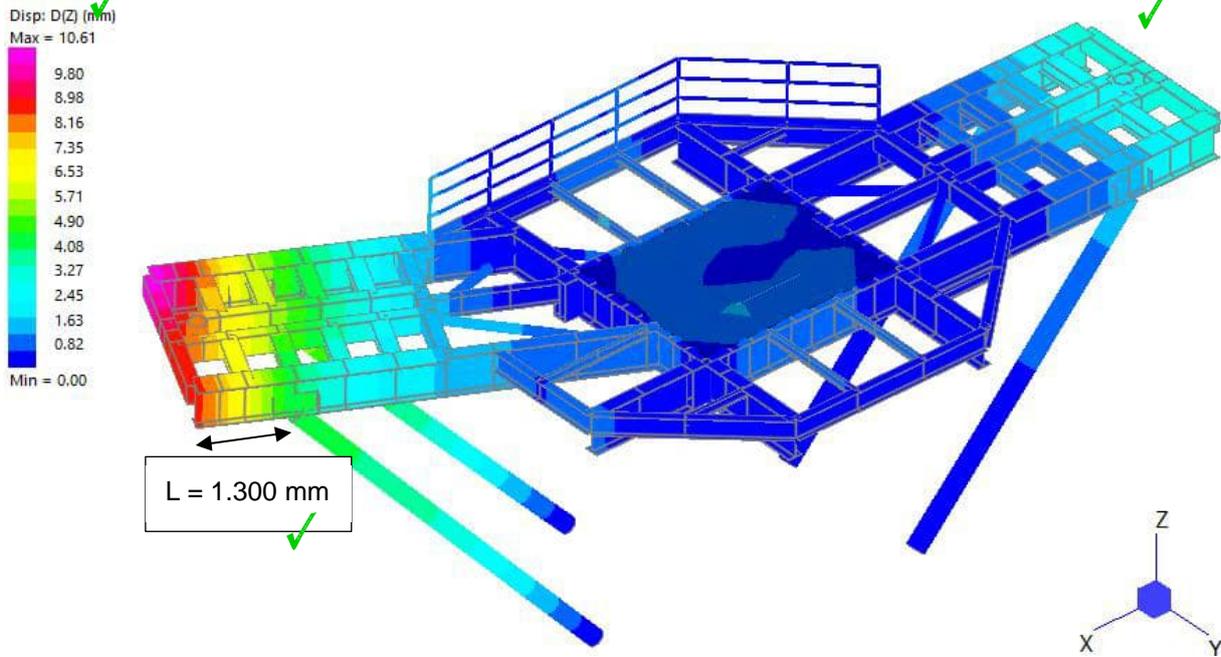


Abbildung 9-108: Verformung, BD4

		Struktur		
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN		Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03	
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU			Seite 119 von 252	

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 9-11: Eigenfrequenzen ✓

Dalben	Profile D*t*I [mm*mm*mm]	Durchmesser, D [m]	Wand- dicke, t [m]	Länge, L [m]	Modale Masse, m [kg/m]	Eigen- frequenz , n _{i,y} [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 ✓
BD1	Ø323,9*8*5.500	0,3239	0,008	5,500	62,3 ✓	30,0 ✓
BD1/ BD2	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/ BD2	Ø244,5*12,5*4.100	0,2445	0,0125	4,100	71,5 ✓	39,7 ✓

Tabelle 9-12: Wirbelinduzierte Vibration ✓

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]
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 ✓
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 - 2028.03	
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU			Seite 120 von 252	

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/ BD2	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/ BD2	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 - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 121 von 252

10 Globaler 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.

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 Querkkräfte können durch diese Elemente nicht übertragen werden.

Der minimale Seilwinkel zu horizontal ist mit 60° 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.

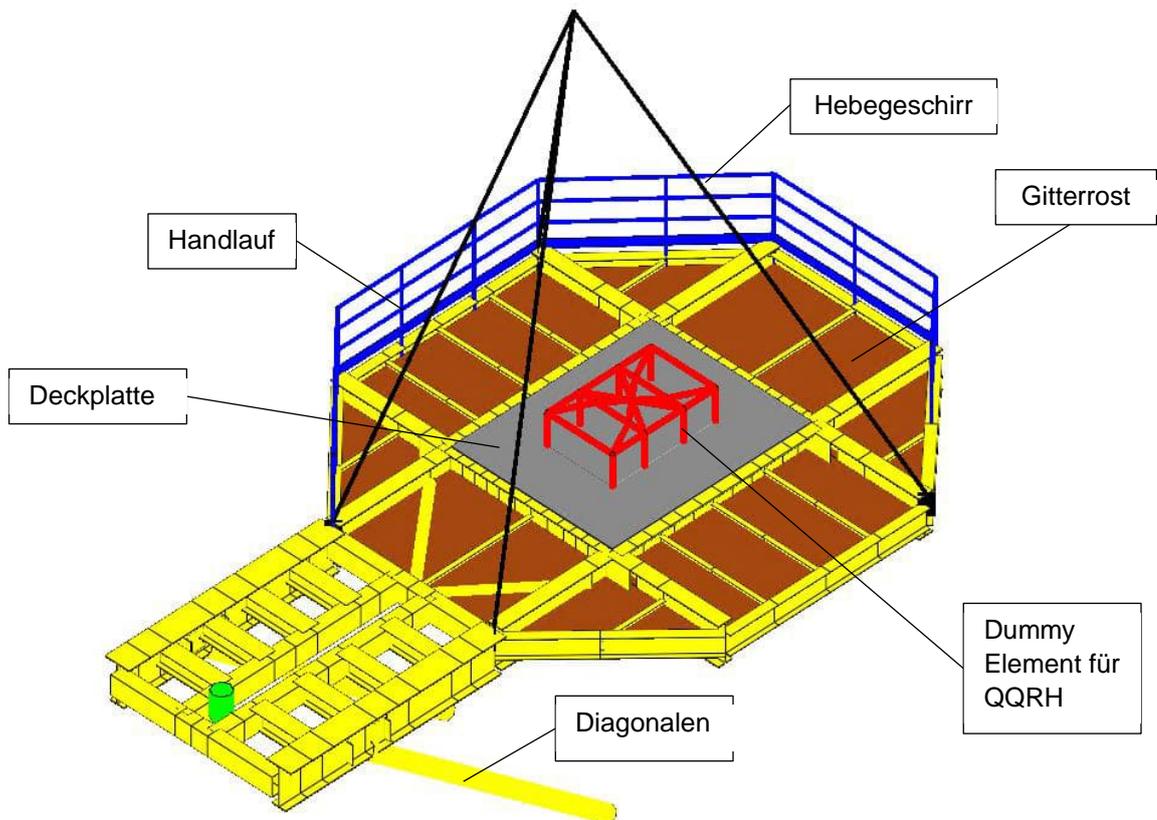


Abbildung 10-1: FE-Model, MD1

Seite 121-145:

Nachweis der Dalbenplattform für das Einheben: nicht geprüft.
Windlast ist zu berücksichtigen.

Zugangsplattformslast ist zu berücksichtigen

Siehe Nachtrag.

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 122 von 252

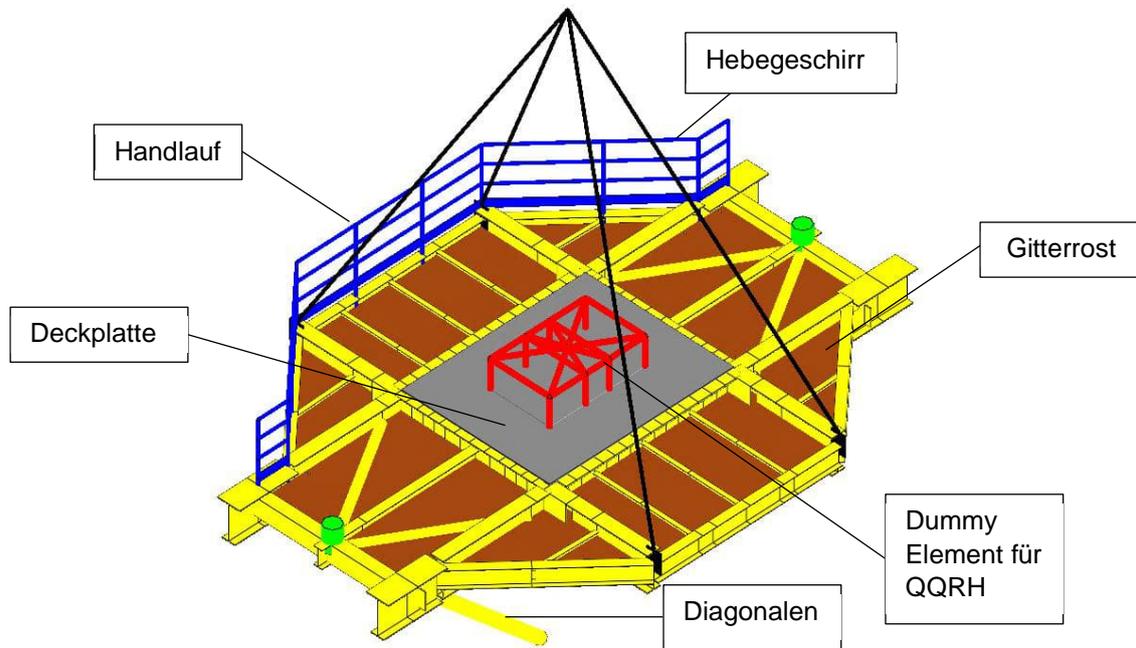


Abbildung 10-2: FE-Model, MD2

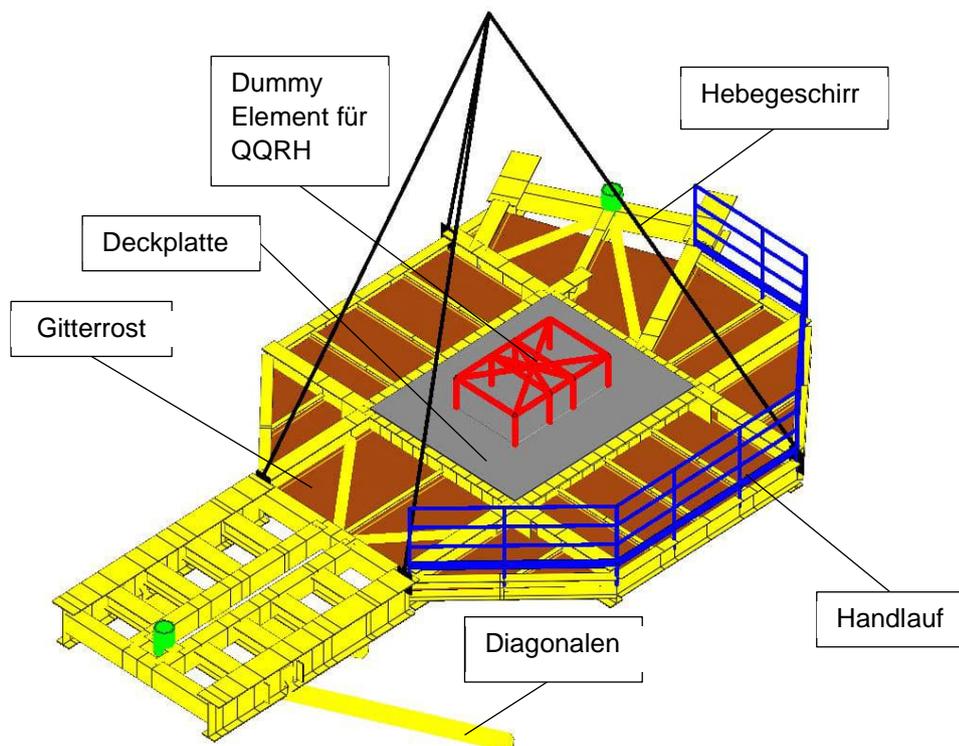


Abbildung 10-3: FE-Model, MD3

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 123 von 252

Nachweis des Einhebens der Treppenkonstruktion bei MD4 ist zu ergänzen.

Siehe Nachtrag

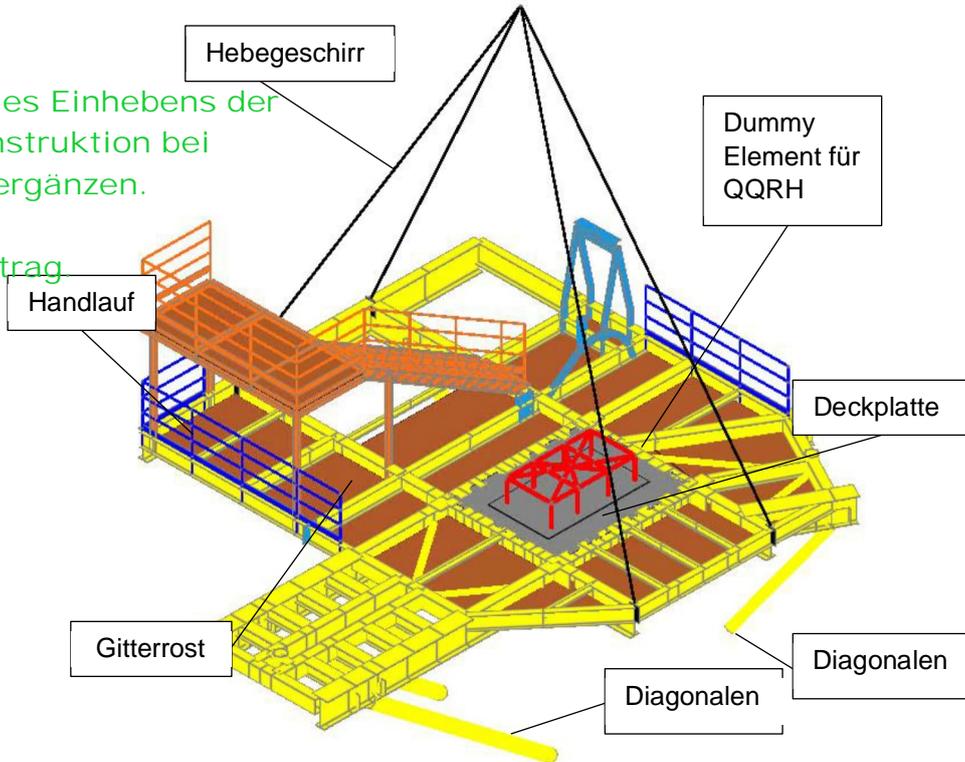


Abbildung 10-4: FE-Model, MD4

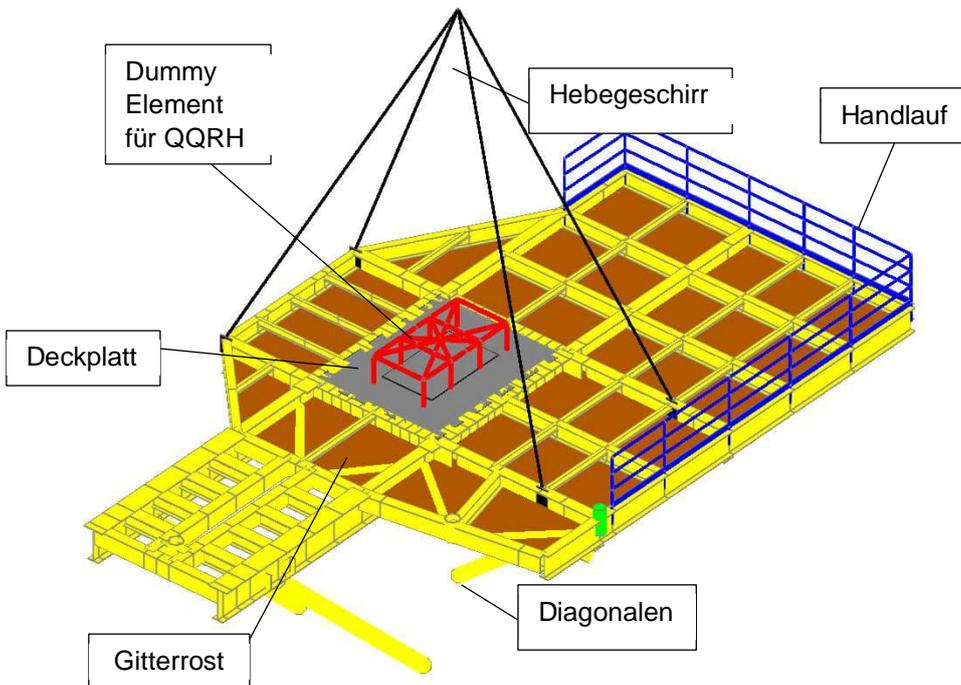


Abbildung 10-5: FE-Model, MD6

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		

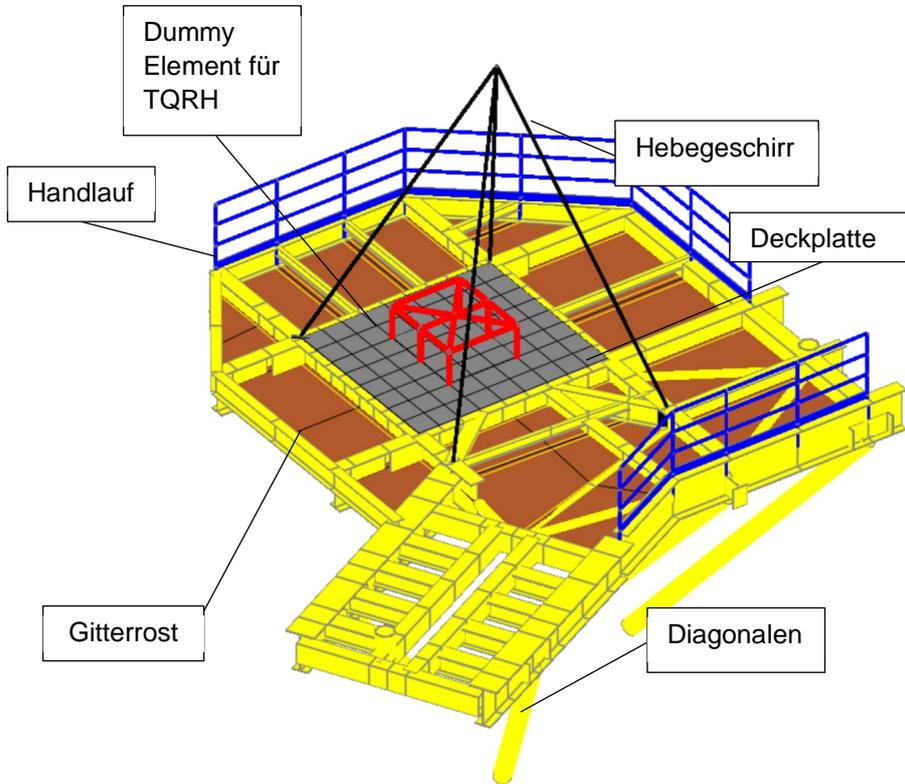


Abbildung 10-6: FE-Model, BD1

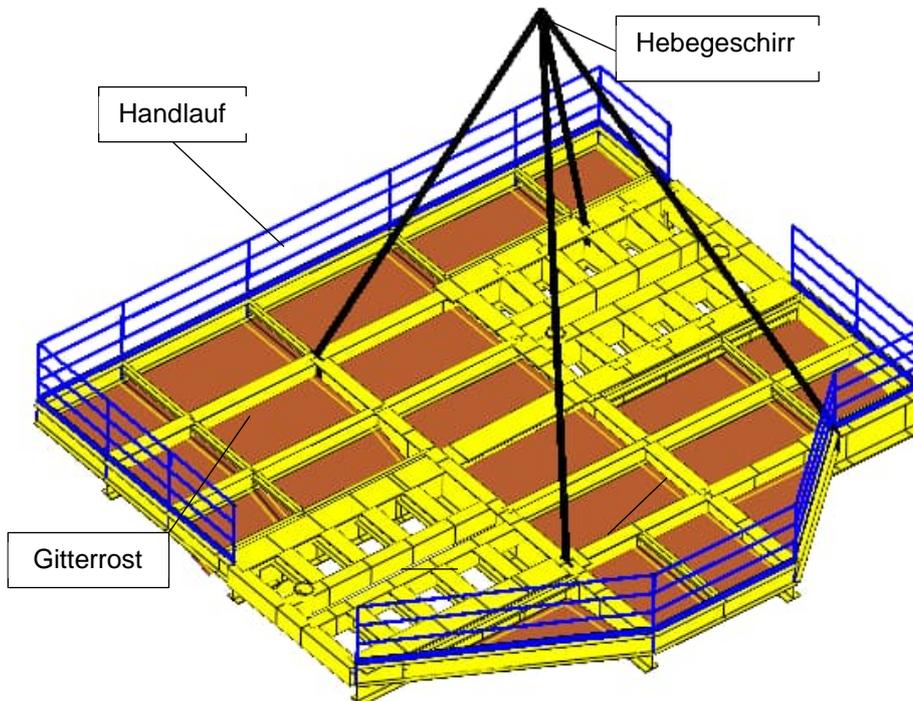


Abbildung 10-7: FE-Model, BD2

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 125 von 252

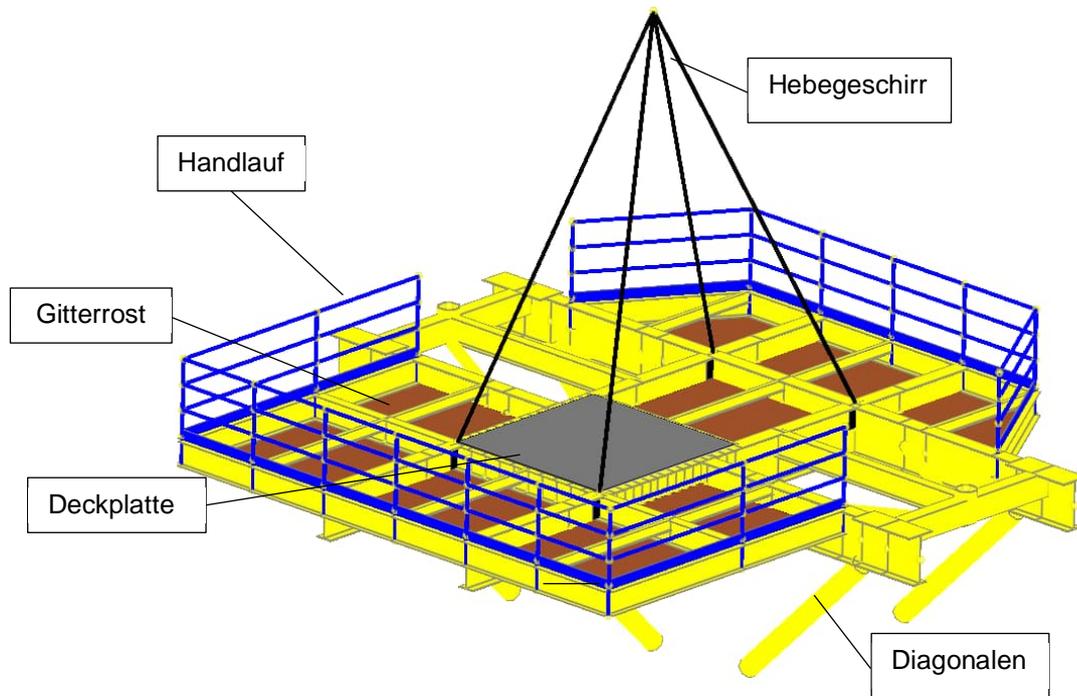


Abbildung 10-8: FE-Model, BD3

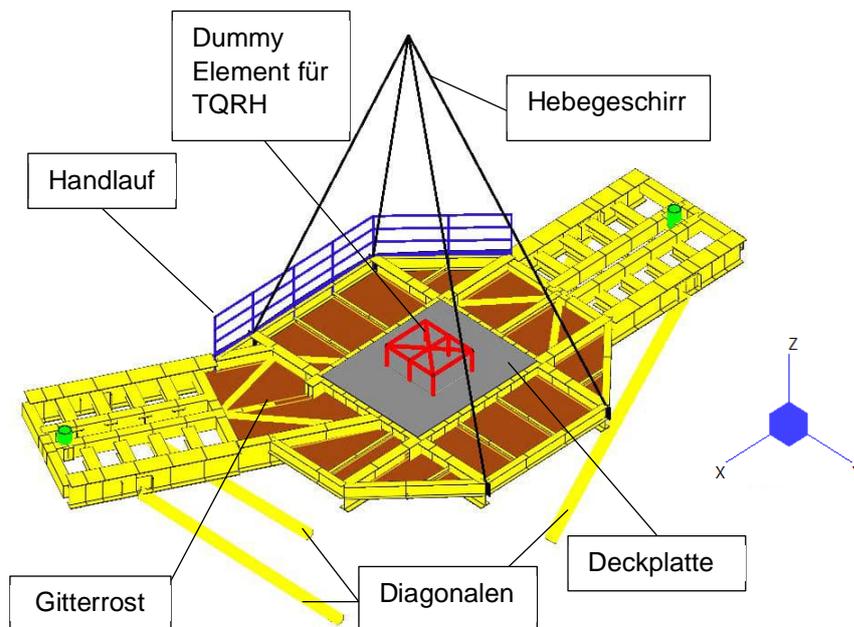


Abbildung 10-9: FE-Model, BD4

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 126 von 252

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.

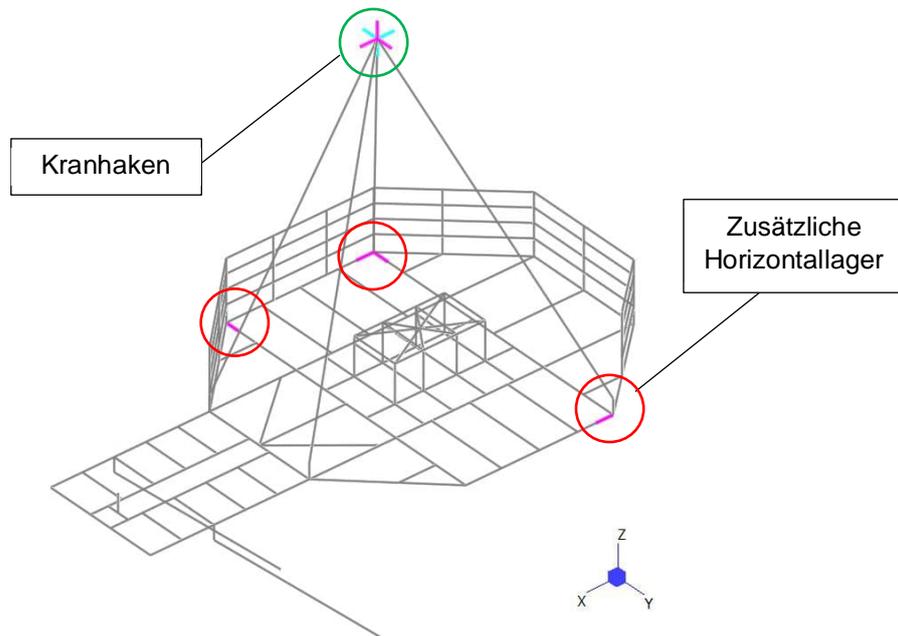


Abbildung 10-10: Randbedingungen, MD1

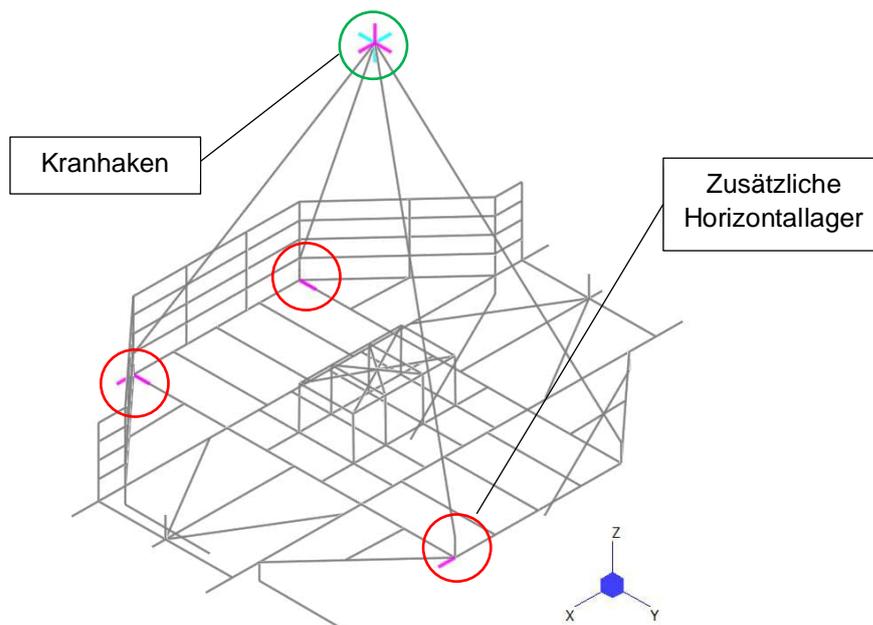


Abbildung 10-11: Randbedingungen, MD2

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 127 von 252

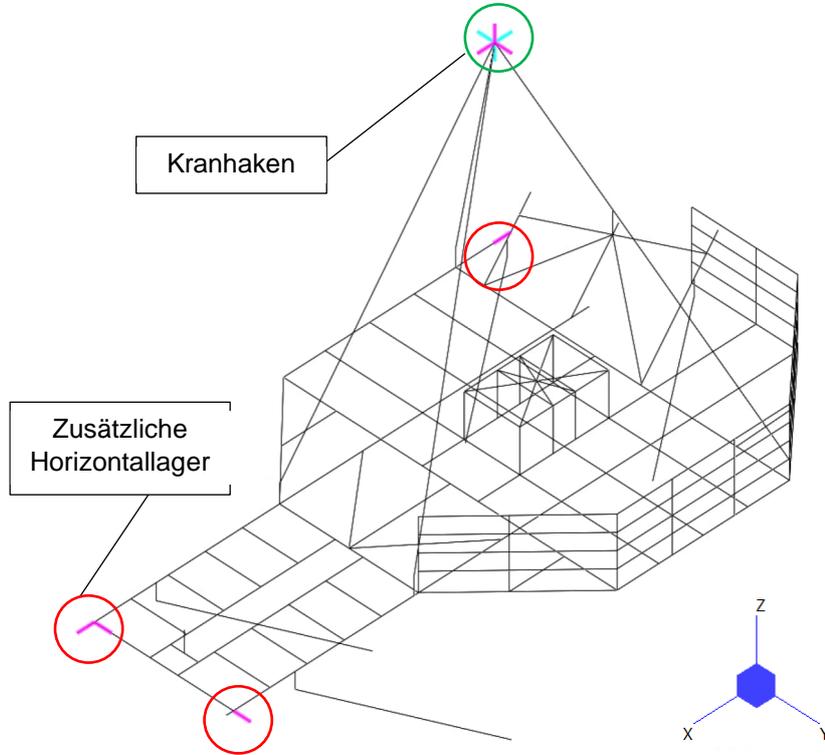


Abbildung 10-12: Randbedingungen, MD3

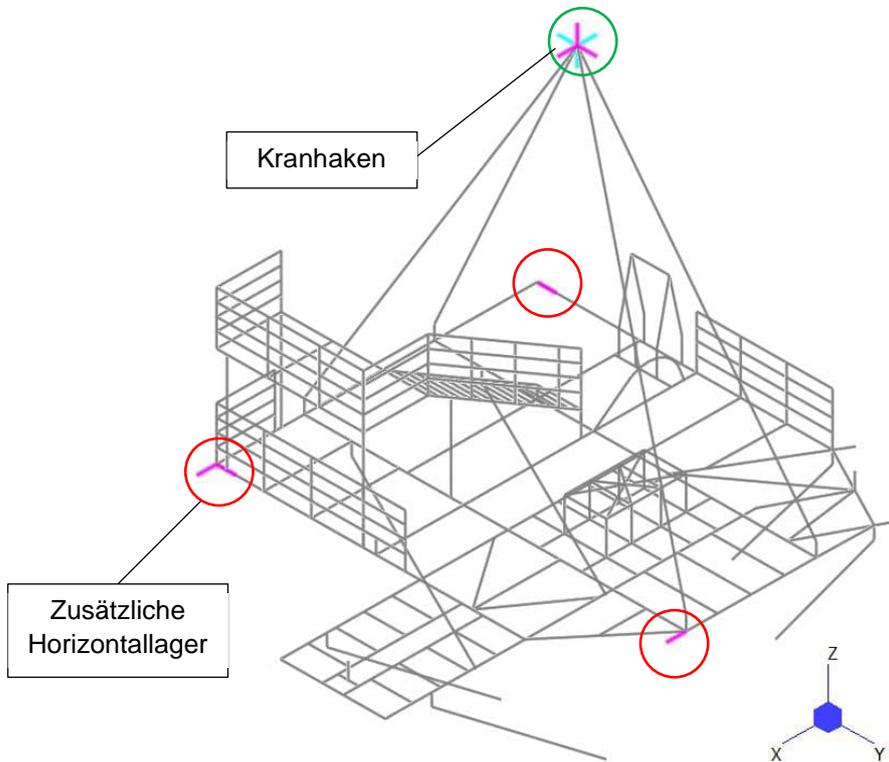


Abbildung 10-13: Randbedingungen, MD4

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 128 von 252

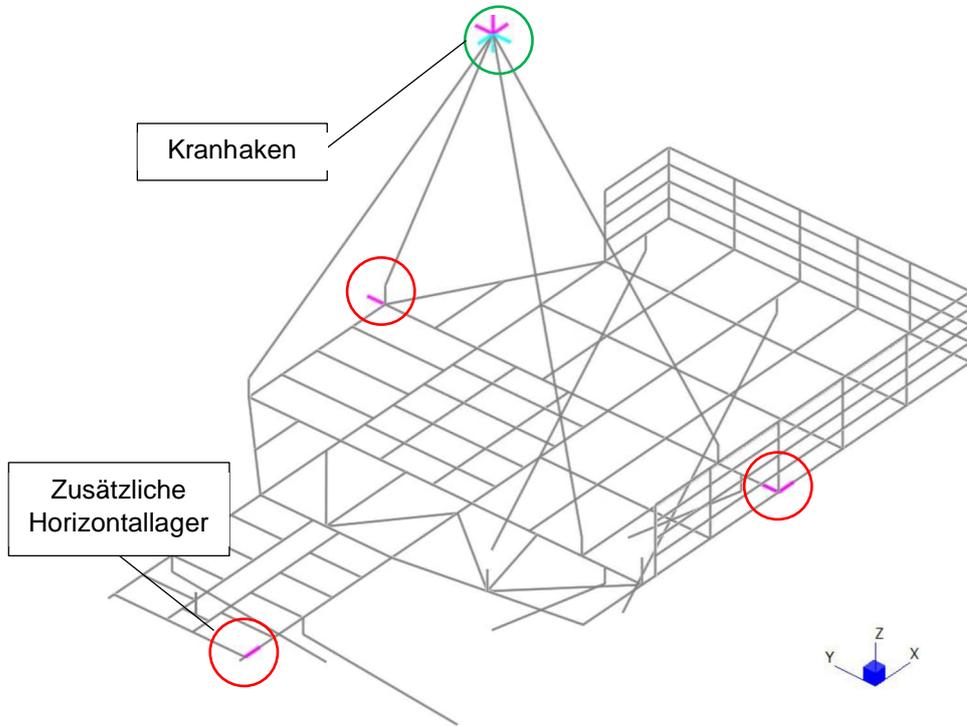


Abbildung 10-14: Randbedingungen, MD6

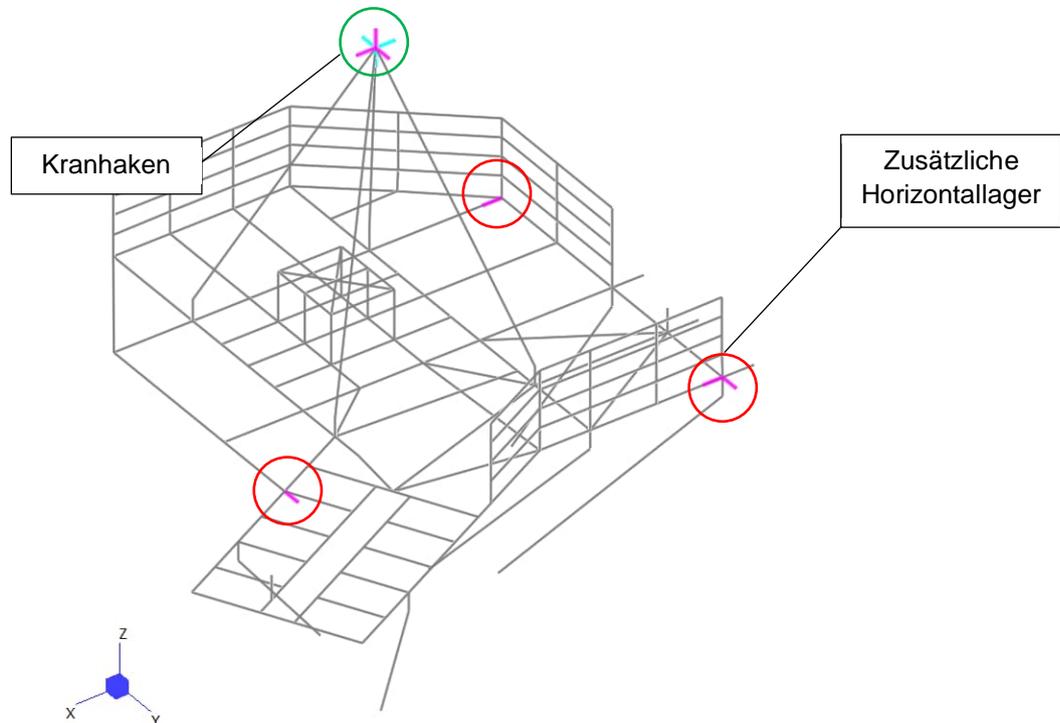


Abbildung 10-15: Randbedingungen, BD1

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 129 von 252

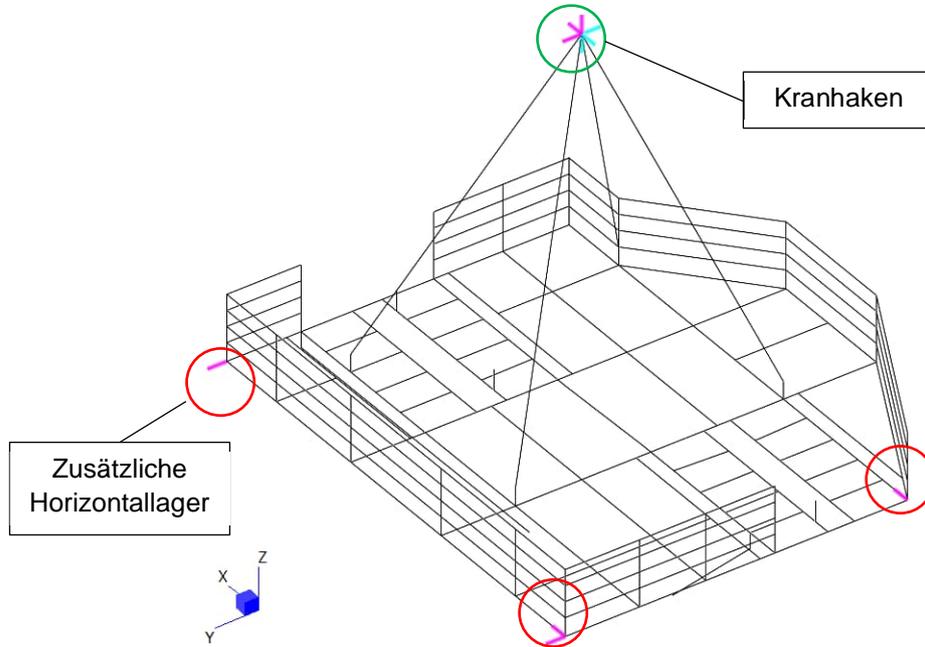


Abbildung 10-16: Randbedingungen, BD2

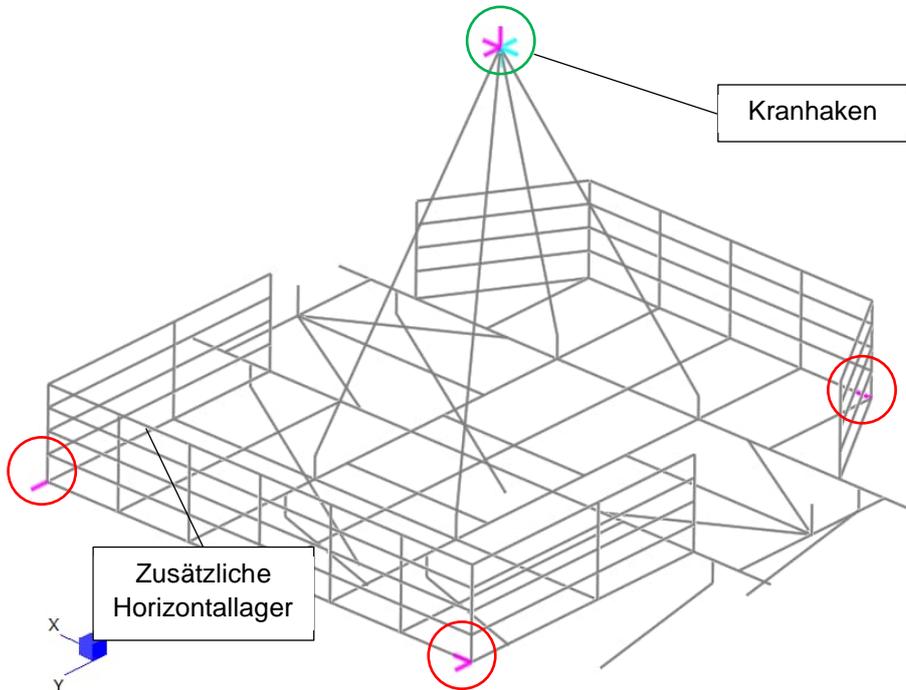


Abbildung 10-17: Randbedingungen, BD3

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 130 von 252

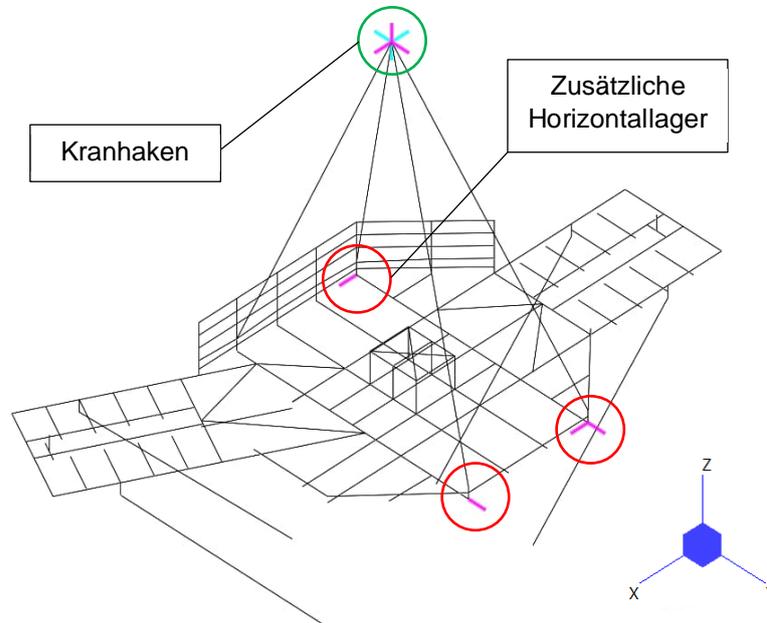


Abbildung 10-18: Randbedingungen, BD4

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.

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	4,3	3,2
LC 2 - Gitterroste	4,3	3,2
LC 3 - Hakengewicht	4,3	3,2

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 131 von 252

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 120,2 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 42%.

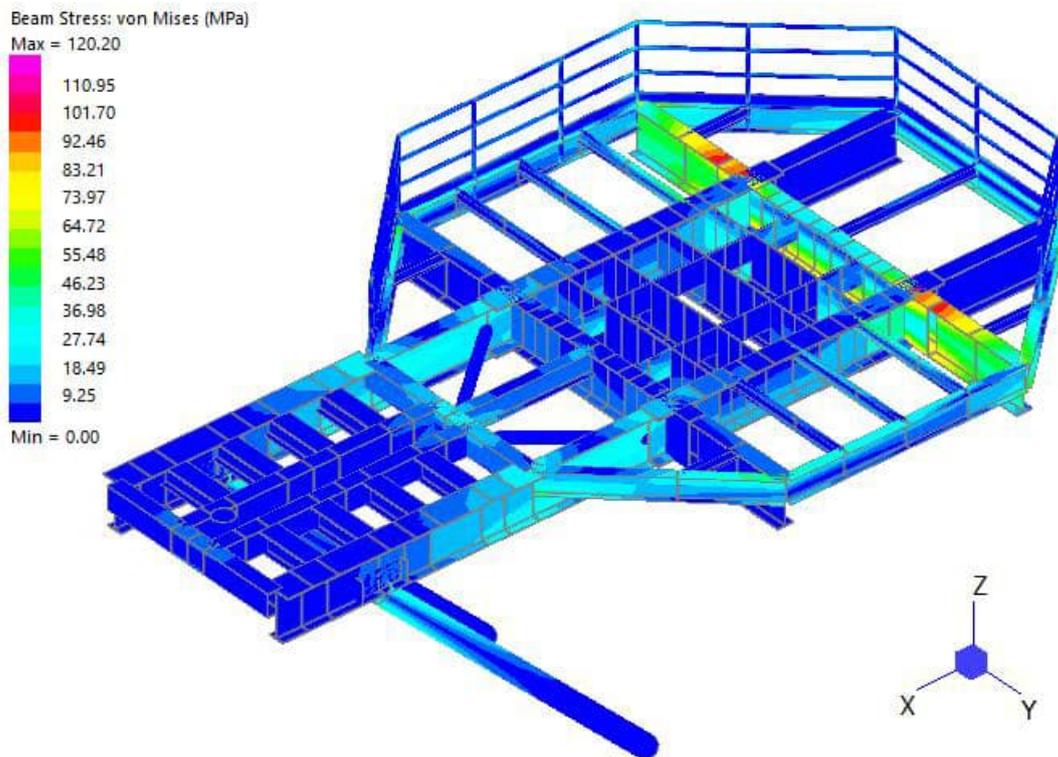


Abbildung 10-19: von Mises Spannung, MD1

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 132 von 252

Die maximale von Mises Spannung für die Balkenelemente der MD2 Plattform beträgt 115,0 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 33%.

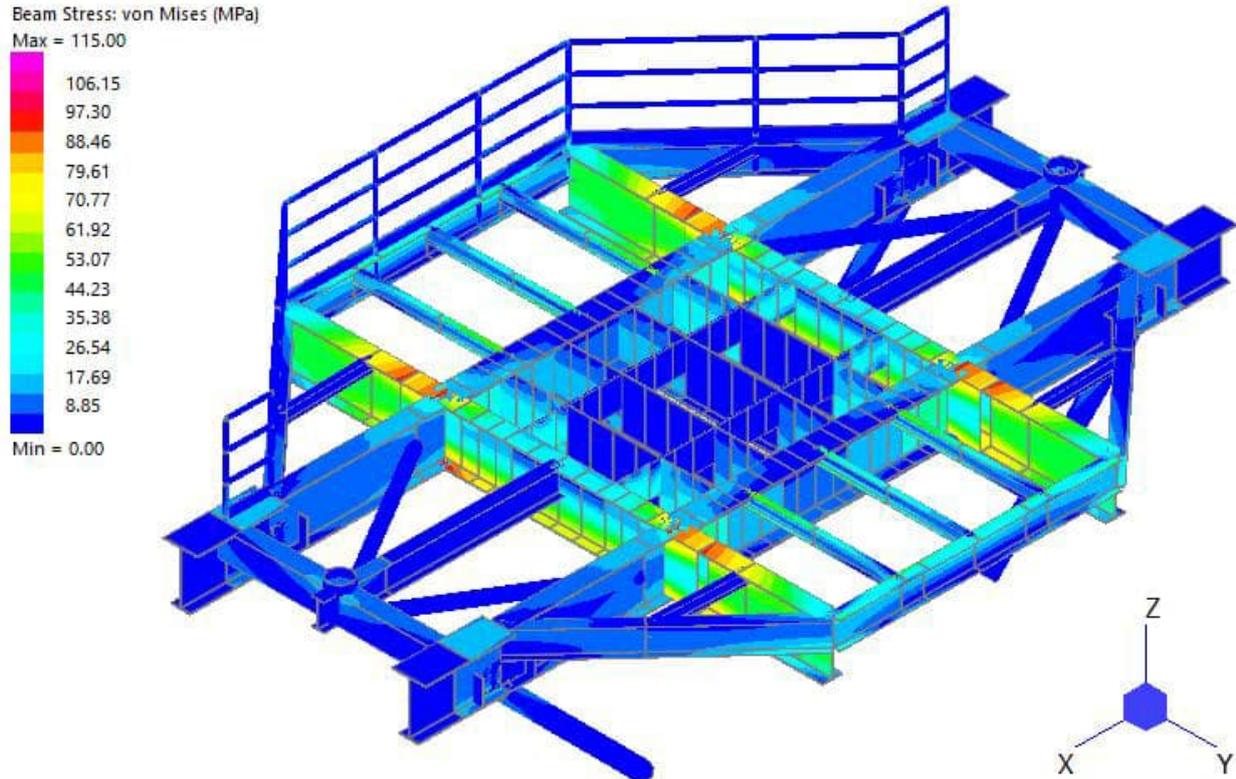


Abbildung 10-20: von Mises Spannung, MD2

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 133 von 252

Die maximale von Mises Spannung für die Balkenelemente der MD3 Plattform beträgt 203,5 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 54%.

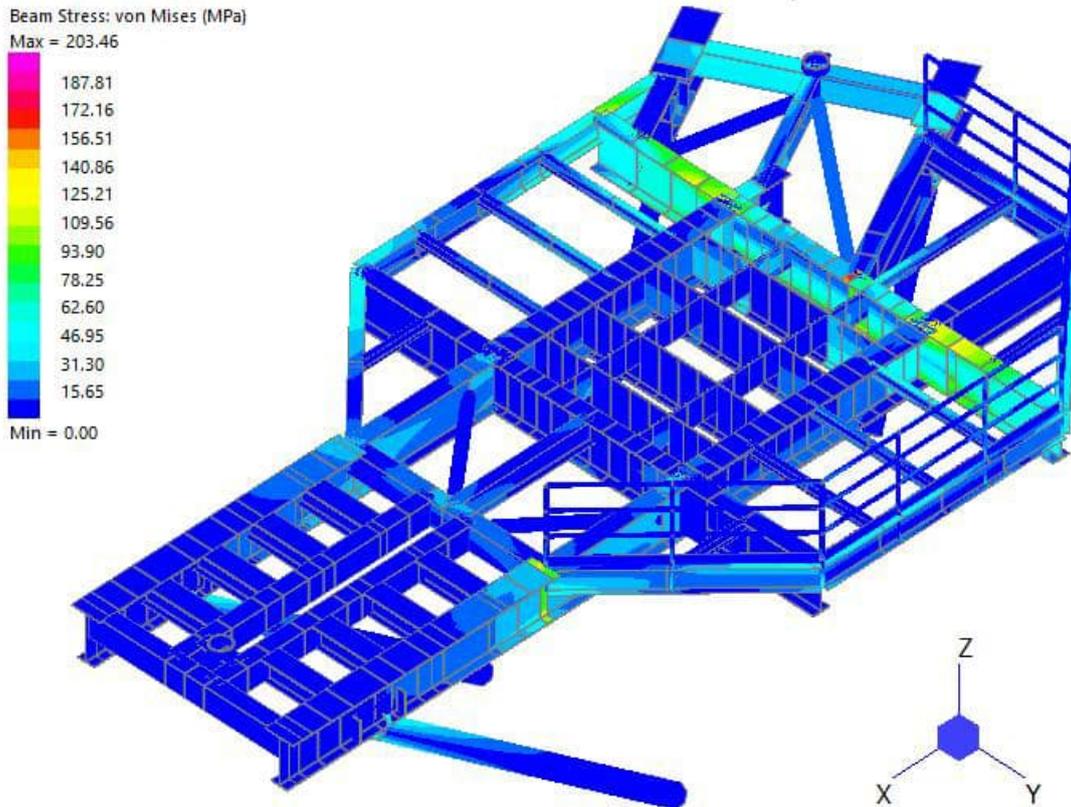


Abbildung 10-21: von Mises Spannung, MD3

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 134 von 252

Die maximale von Mises Spannung für die Balkenelemente der MD4 Plattform beträgt 327,7 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 95%.

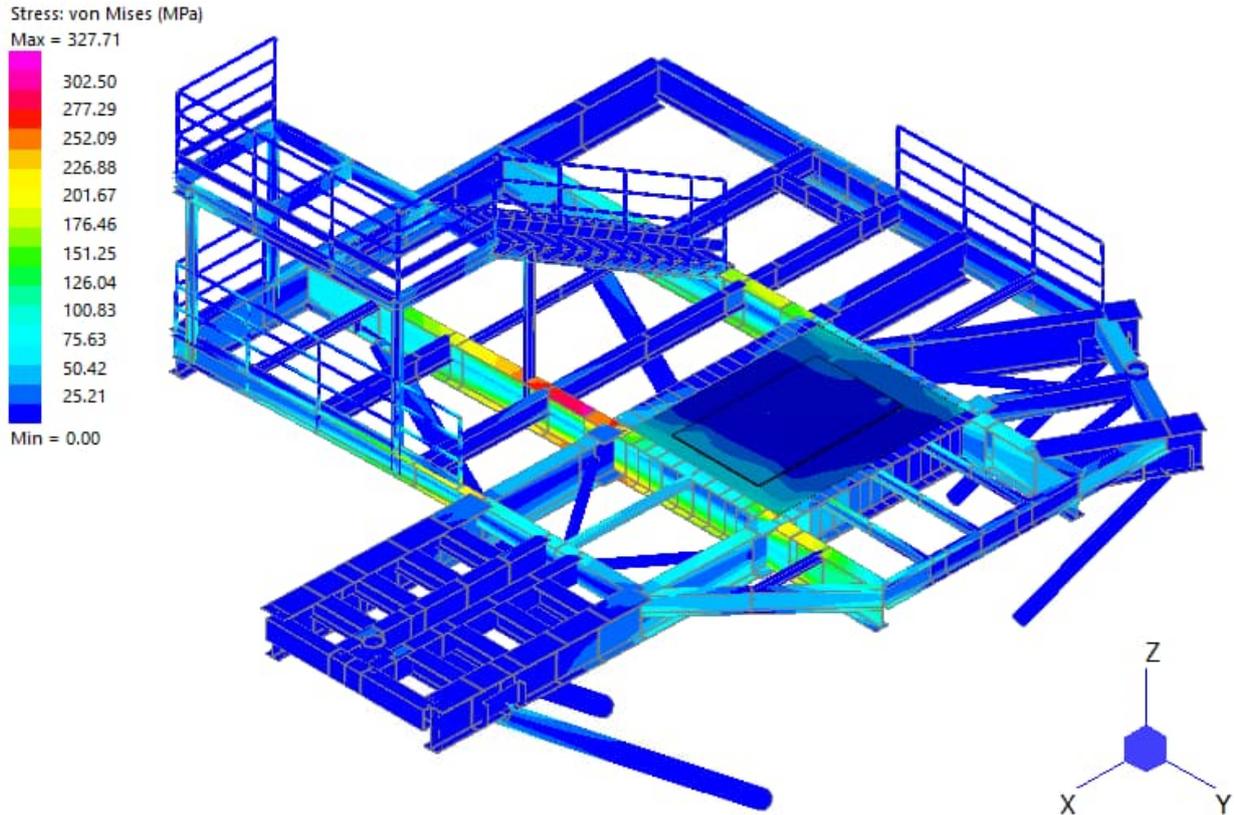


Abbildung 10-22: von Mises Spannung, MD4

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 135 von 252

Die maximale von Mises Spannung für die Balkenelemente der MD6 Plattform beträgt 179,7 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 52%.

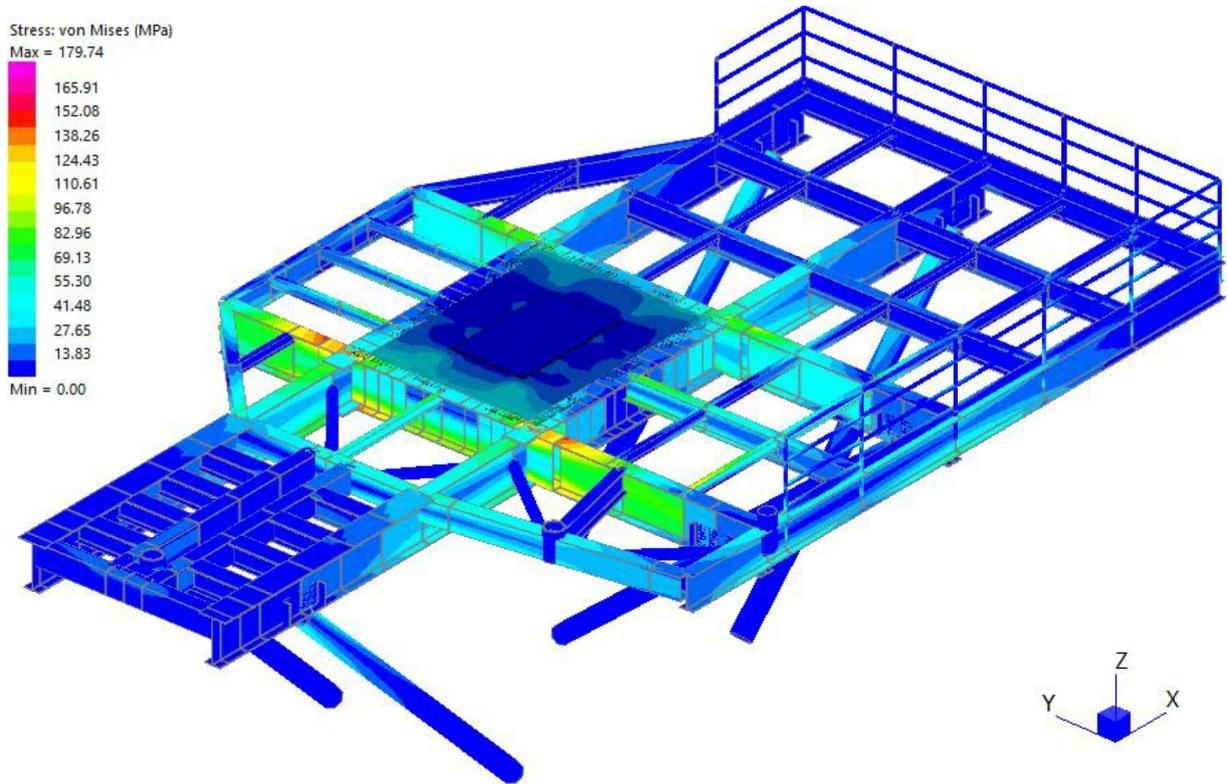


Abbildung 10-23: von Mises Spannung, MD6

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 136 von 252

Die maximale von Mises Spannung für die Balkenelemente der BD1 Plattform beträgt 171,5 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 50%.

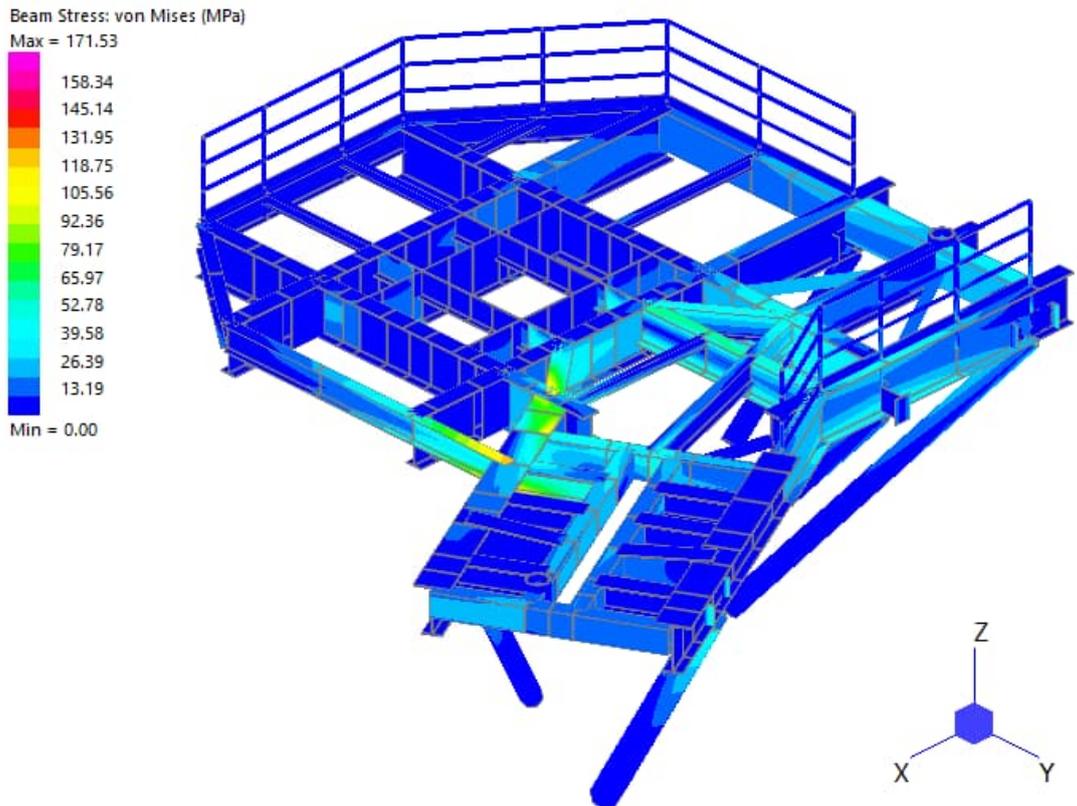


Abbildung 10-24: von Mises Spannung, BD1

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 137 von 252

Die maximale von Mises Spannung für die Balkenelemente der BD2 Plattform beträgt 167,3 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 48%.

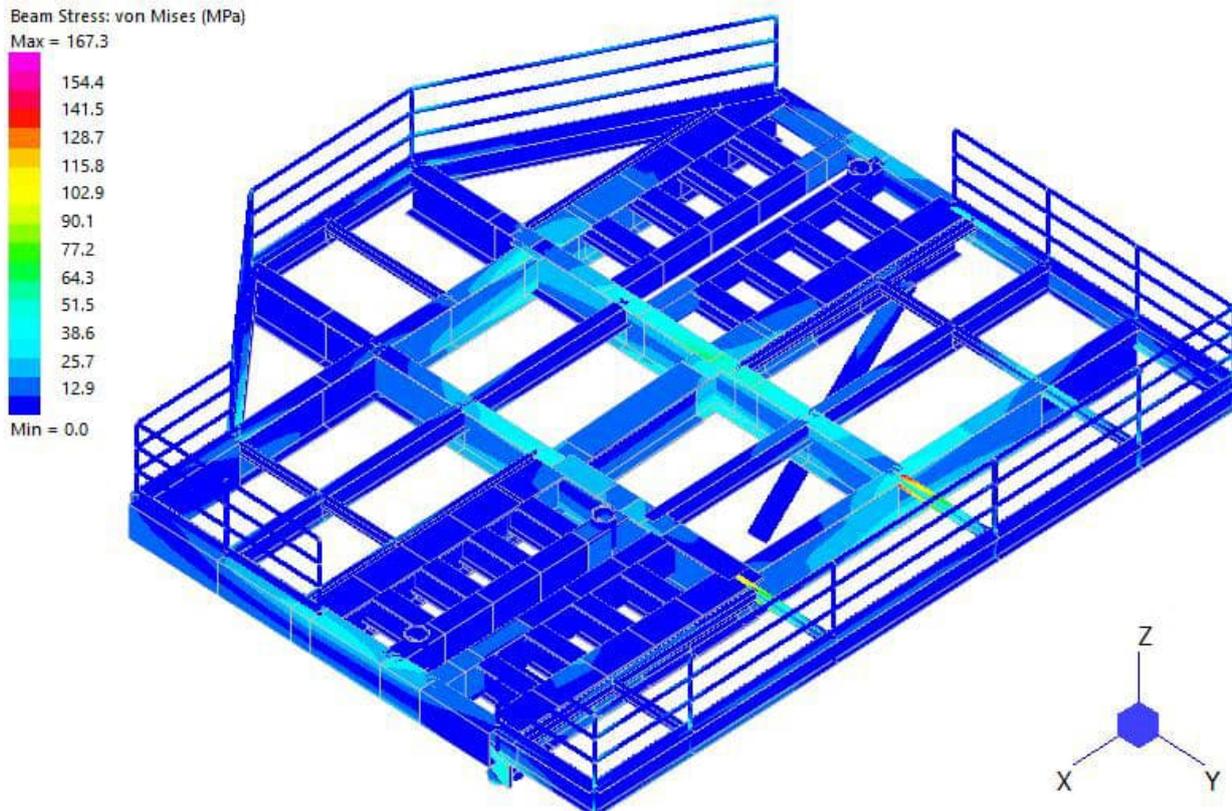


Abbildung 10-25: von Mises Spannung, BD2

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 138 von 252

Die maximale von Mises Spannung für die Balkenelemente der BD3 Plattform beträgt 68,7 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 20%.

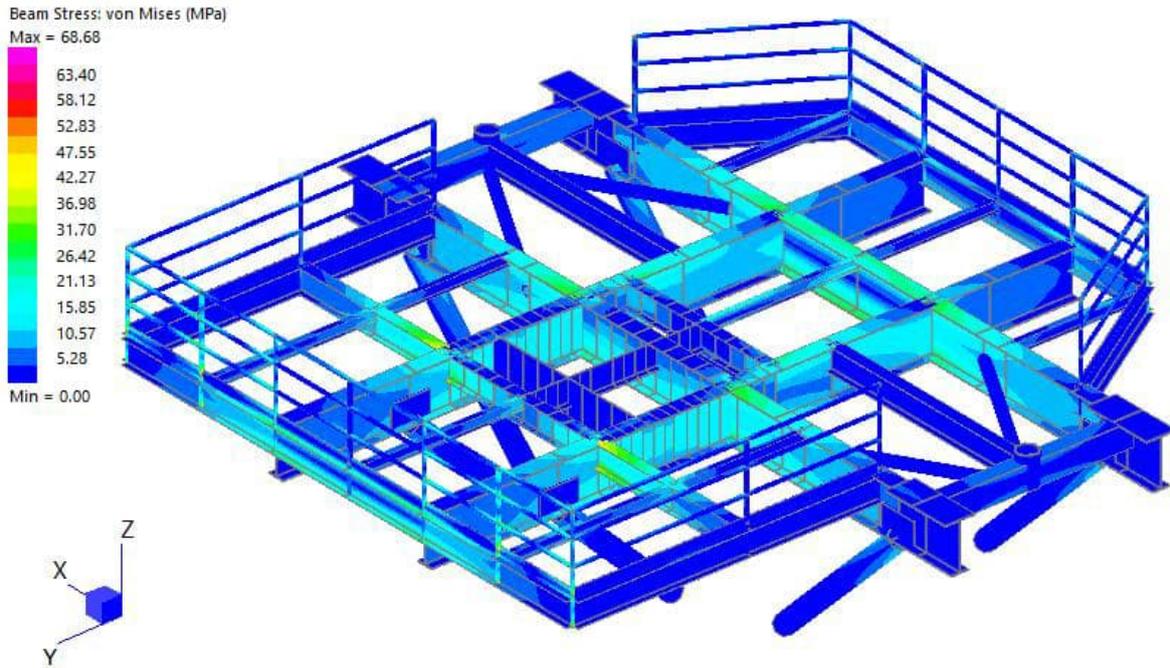
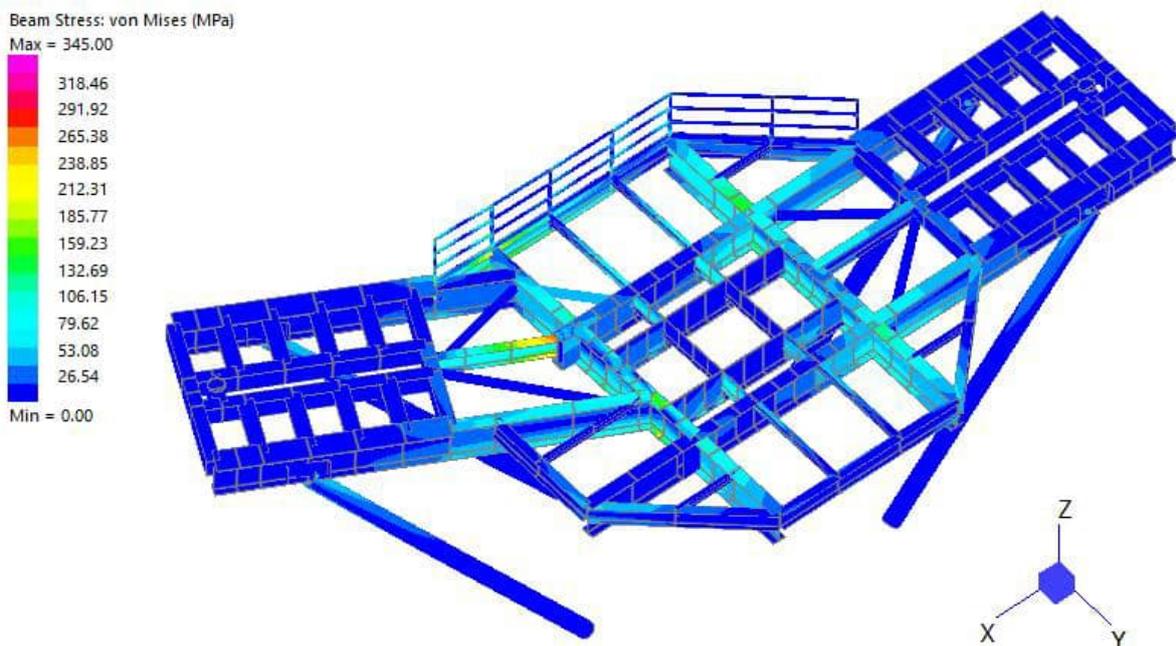


Abbildung 10-26: von Mises Spannung, BD3

In der folgenden Abbildung ist das Spannungsplot von BD4 Plattform bis die erlaubte Spannung von 345,0 MPa skaliert. Die Überspannungen sind in der nächsten Abbildung gezeigt.



  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 139 von 252

Abbildung 10-27: von Mises Spannung, BD4

Die überspannte Bereiche sind sehr klein und kaum sehbar und daher ist es akzeptabel.

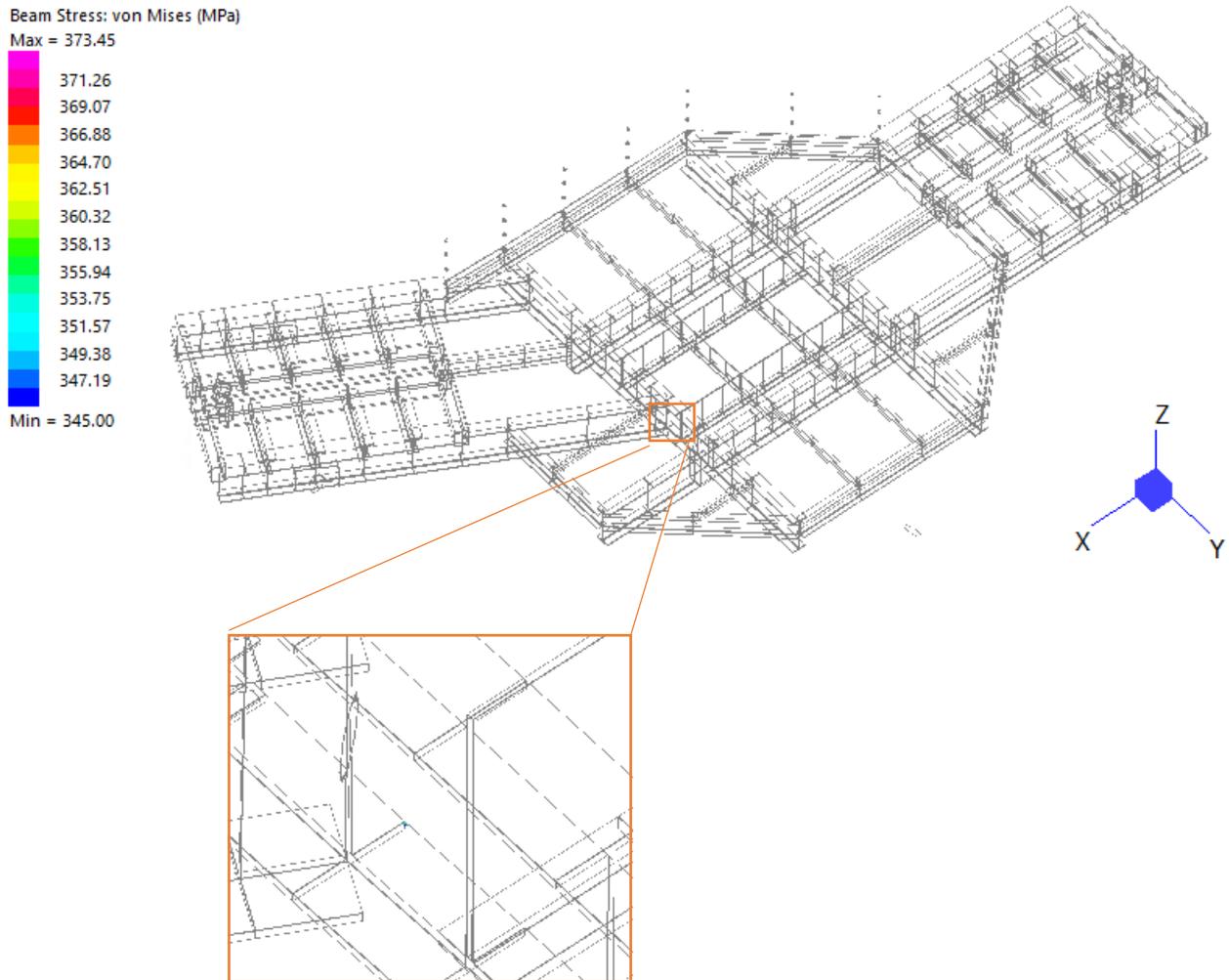


Abbildung 10-28: Überspannungen, BD4

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 140 von 252

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	12,5
MD2	9,3
MD3	23,2
MD4	69,2
MD6	31,5
BD1	29,3
BD2	17,3
BD3	5,8
BD4	24,5

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

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 141 von 252

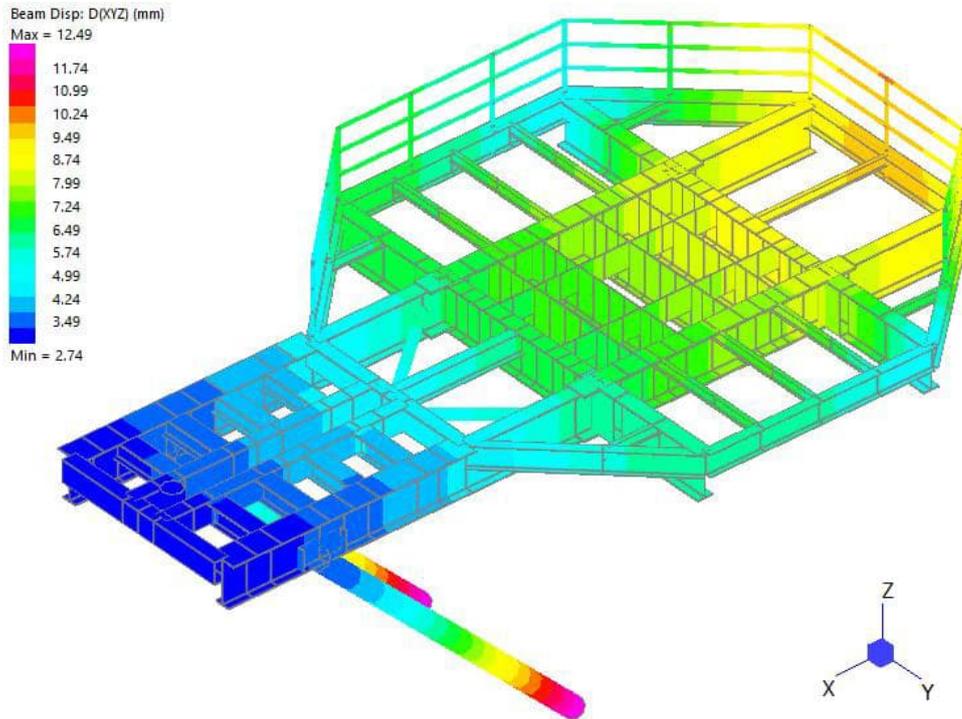


Abbildung 10-29: Verformung, MD1

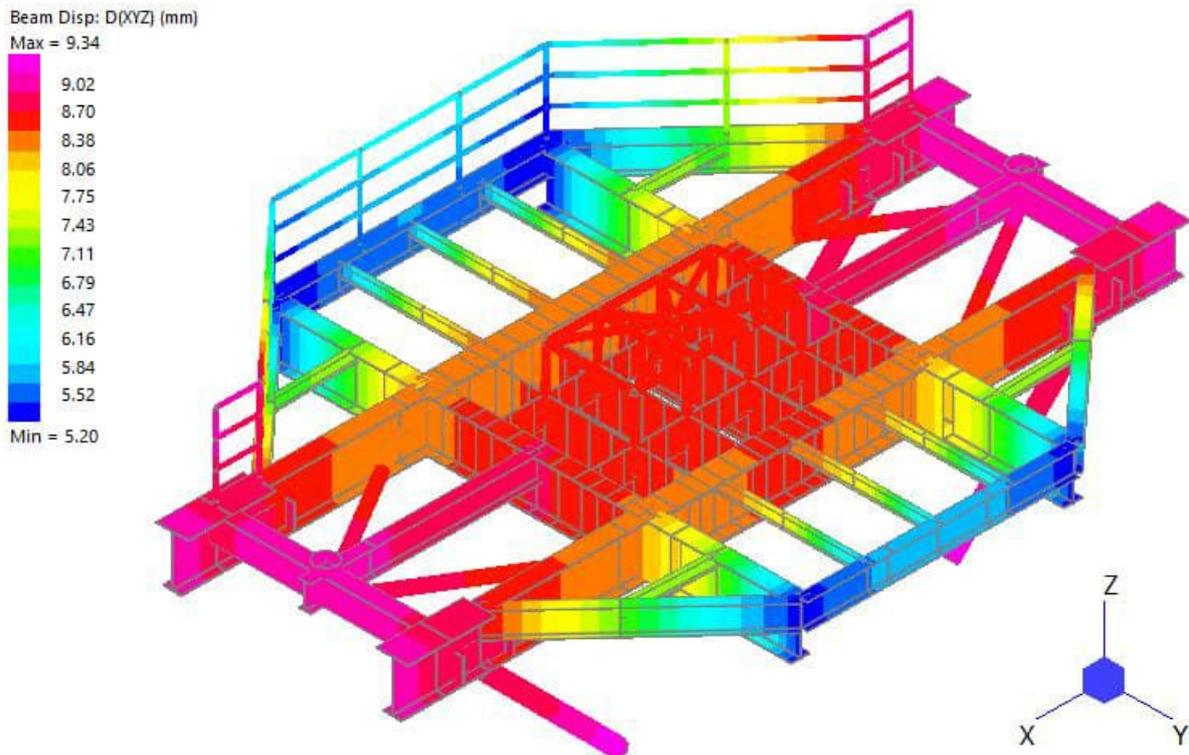


Abbildung 10-30: Verformung, MD2

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 142 von 252

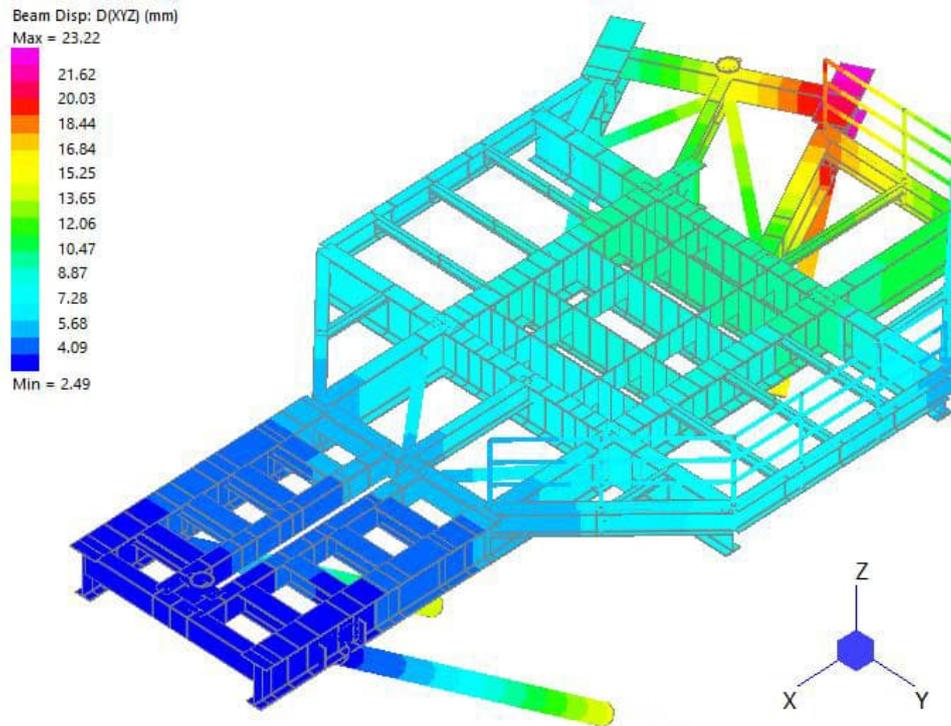


Abbildung 10-31: Verformung, MD3

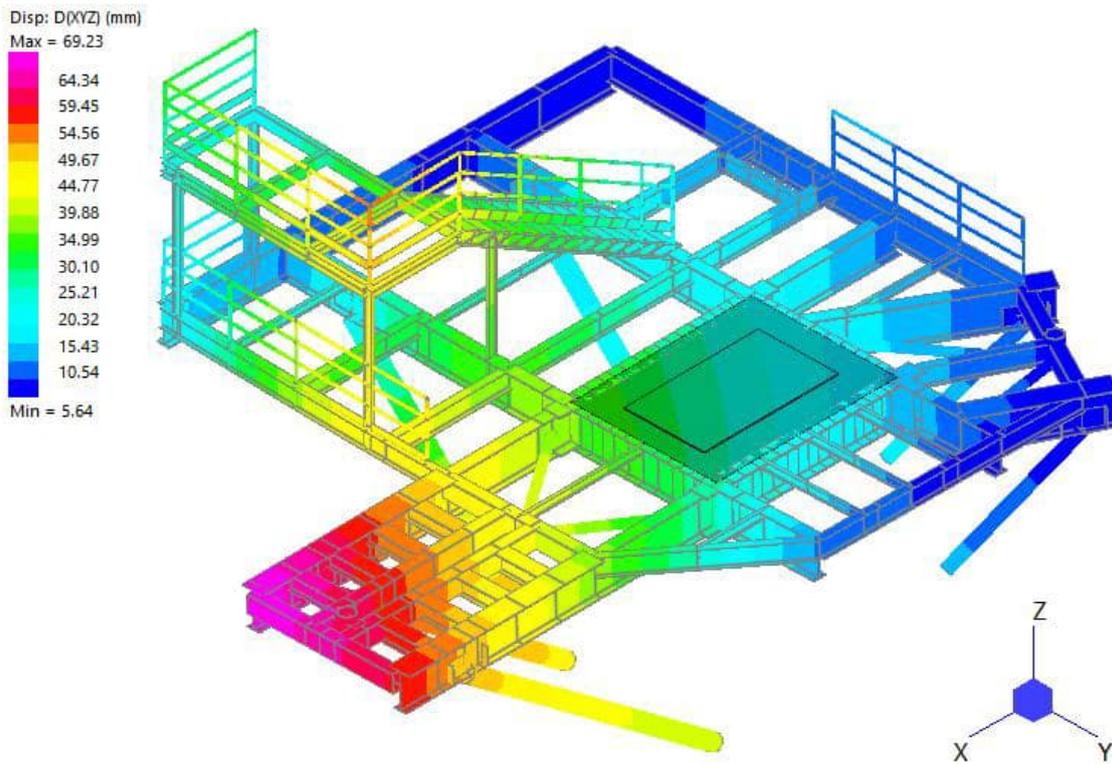


Abbildung 10-32: Verformung, MD4

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU	Seite 143 von 252	

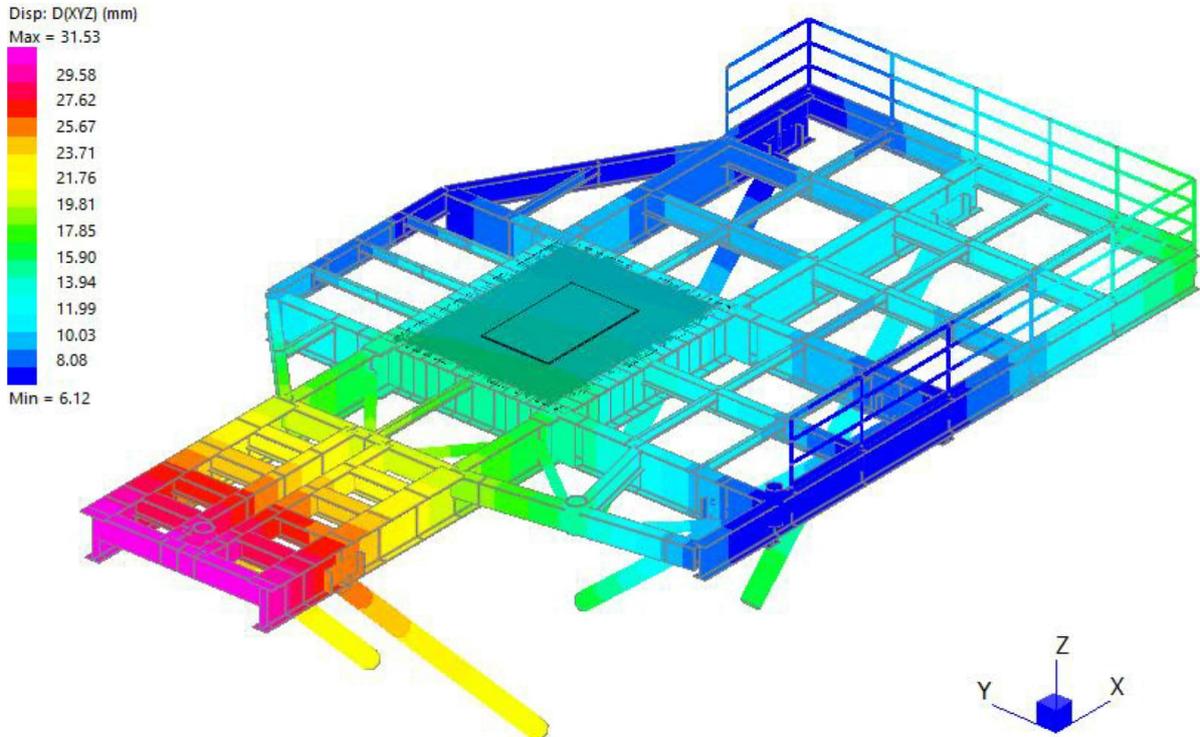


Abbildung 10-33: Verformung, MD6

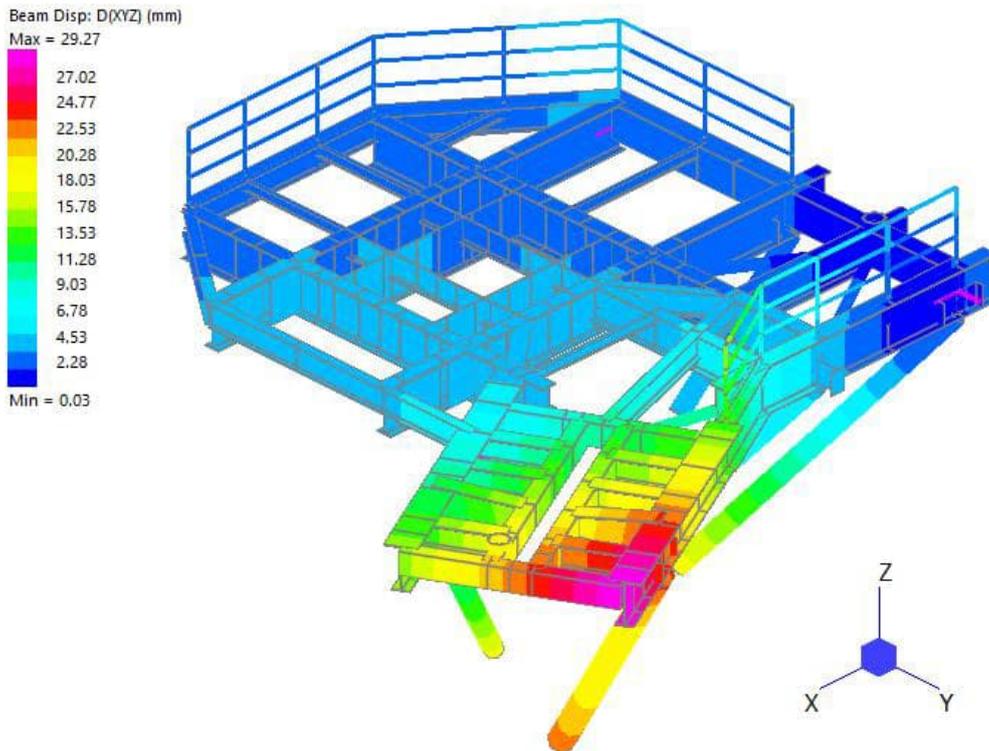


Abbildung 10-34: Verformung, BD1

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 144 von 252

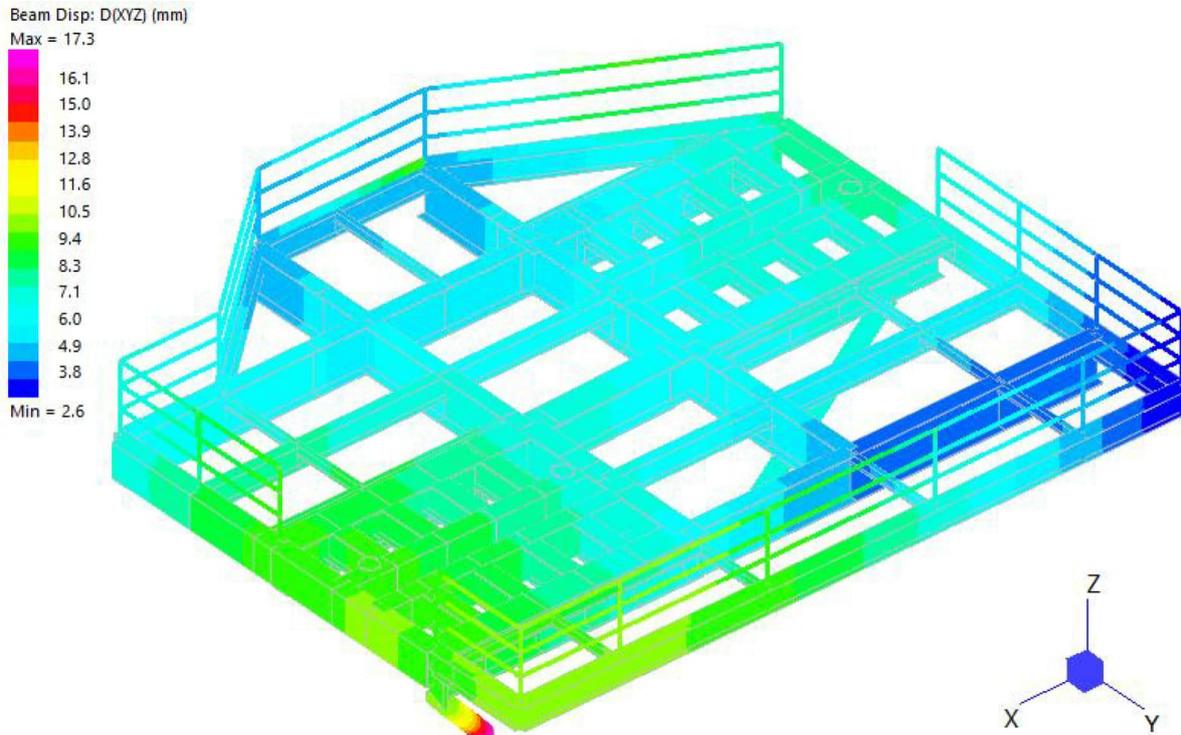


Abbildung 10-35: Verformung, BD2

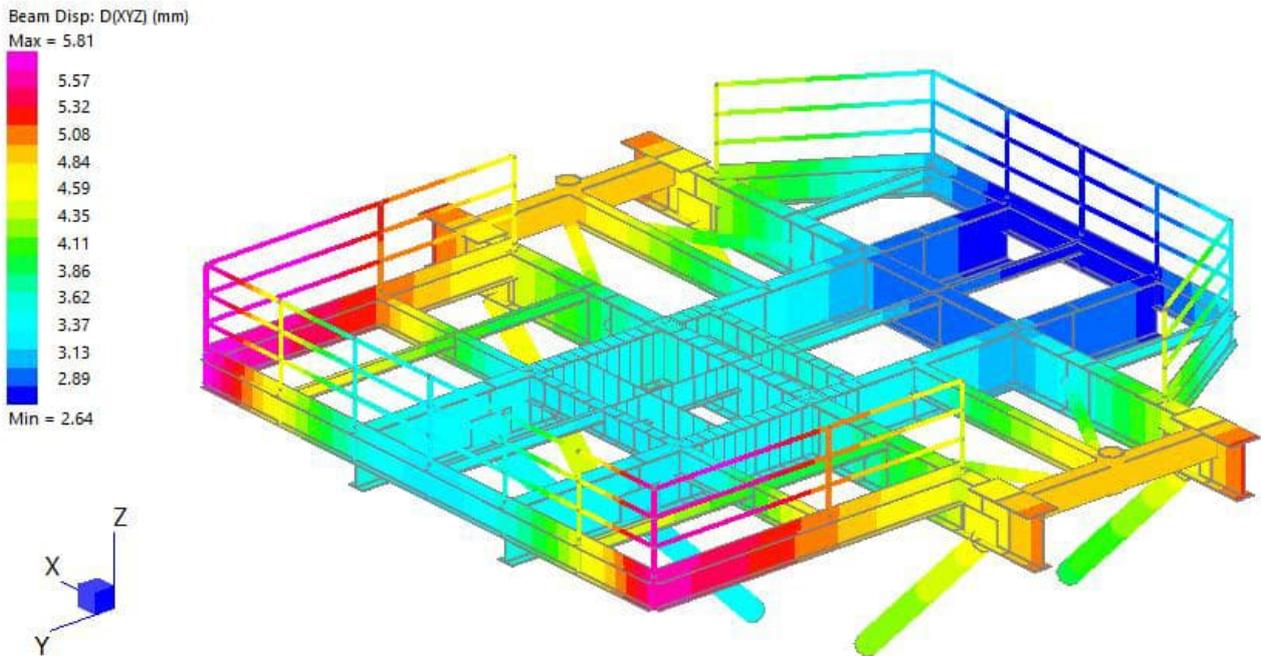


Abbildung 10-36: Verformung, BD3

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 145 von 252

Beam Disp: D(Z) (mm)

Max = 24.47

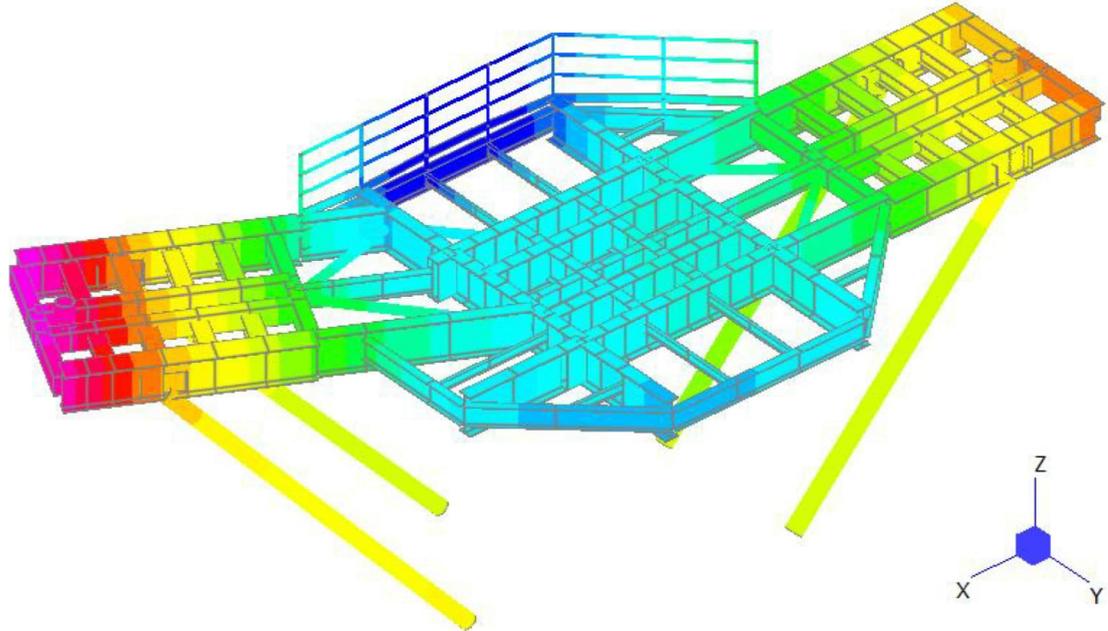
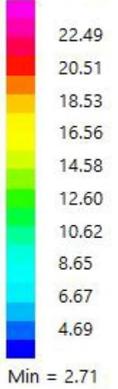


Abbildung 10-37: Verformung, BD4

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 146 von 252

11 Verbindungen zwischen Plattformen und Pfahl

11.1 Allgemeines

In diesem Kapitel werden die Anschlussstrukturen beschrieben und verifiziert.

- Brackets zwischen Plattform und Pfahl
- 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 zwei FE-Modelle mit dem Programm Strand7 [a.] angefertigt.

- Typische Brackets, gültig für alle Plattformen außer BD2 und BD3
- Brackets für BD2 und BD3

Für den Nachweis der Anschlussstruktur unterhalb der Plattform und dem oberen Pfahlende wird das globale Balkenmodell von Kapitel 9 mit einem lokalen Plattenmodell kombiniert. Dieses Modell ist untern dargestellt und besteht aus dem oberen Pfahlsektion (Plattenelement in grau), der globale Deckträger (Balkenelemente in gelb), lokale Deckträger (Plattenelemente in grün) und dem Anschluss zwischen der Deckträger und dem Pfahl (Plattenelemente in blau).

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 147 von 252

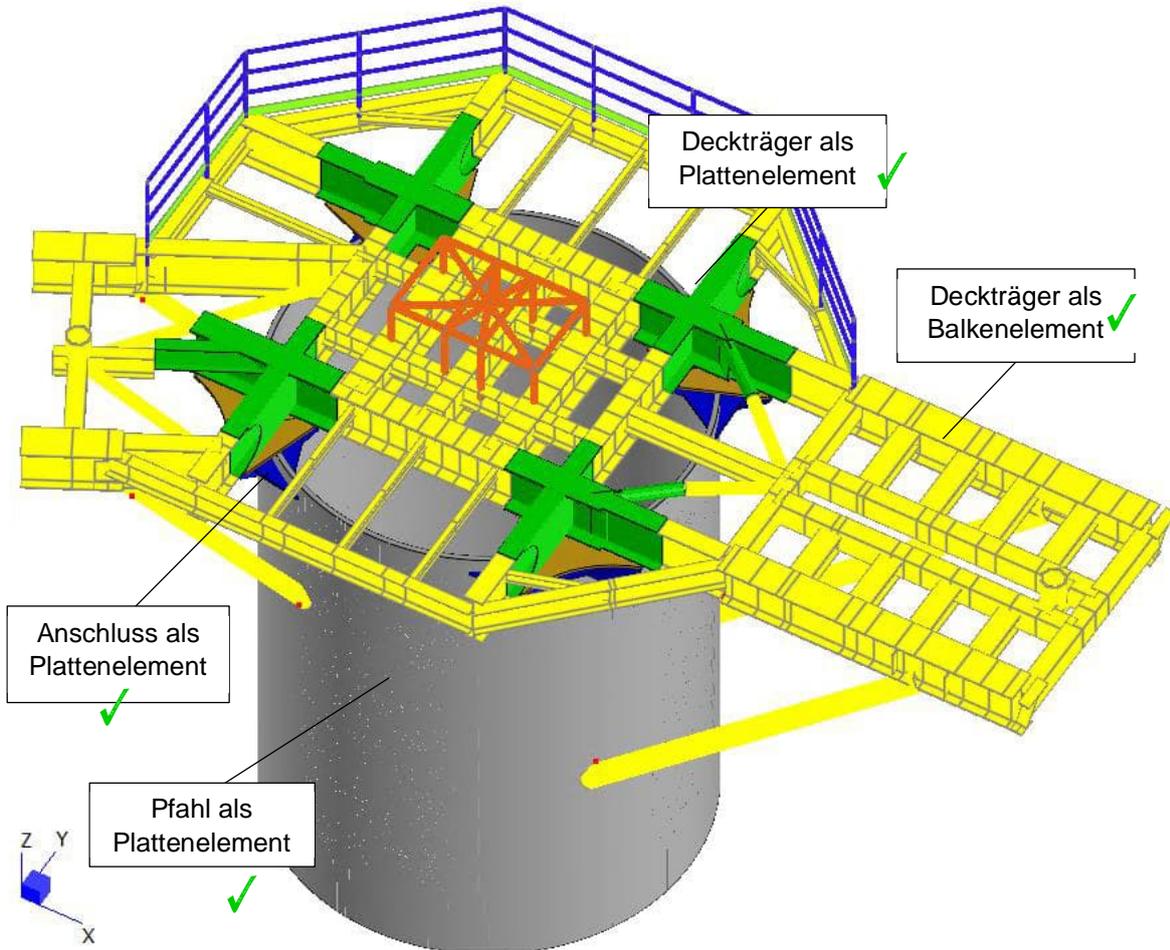


Abbildung 11-1: Detailmodell für Typische Brackets ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 148 von 252

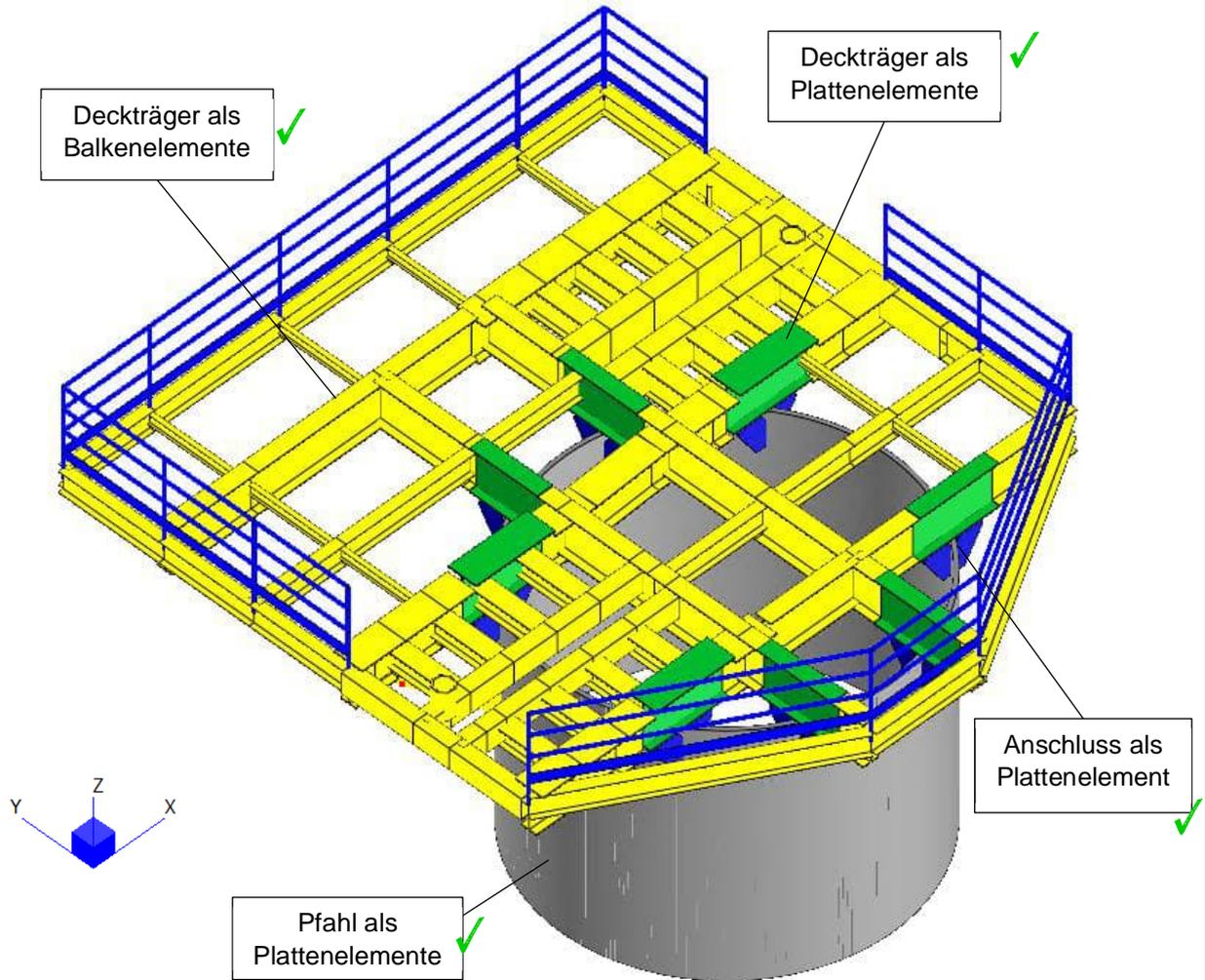


Abbildung 11-2: Detailmodell für Brackets für BD2

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 149 von 252

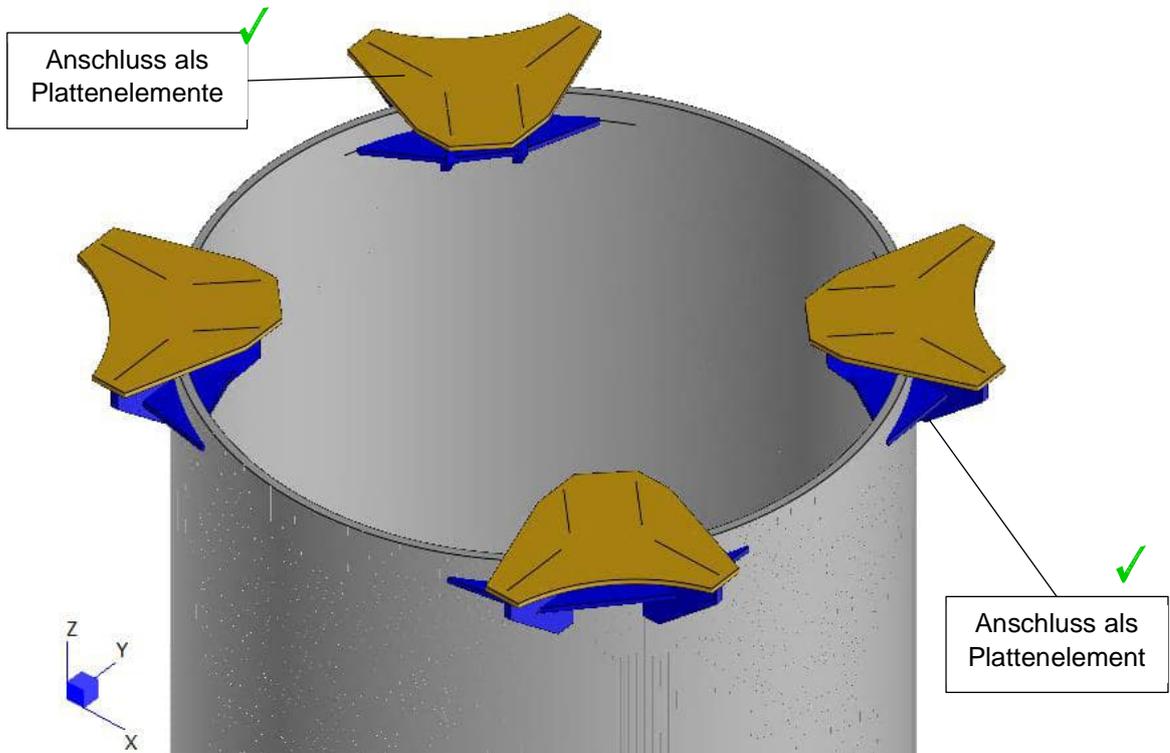


Abbildung 11-3: Detailmodell für Typische Brackets (Deckträger ausgeblendet) ✓

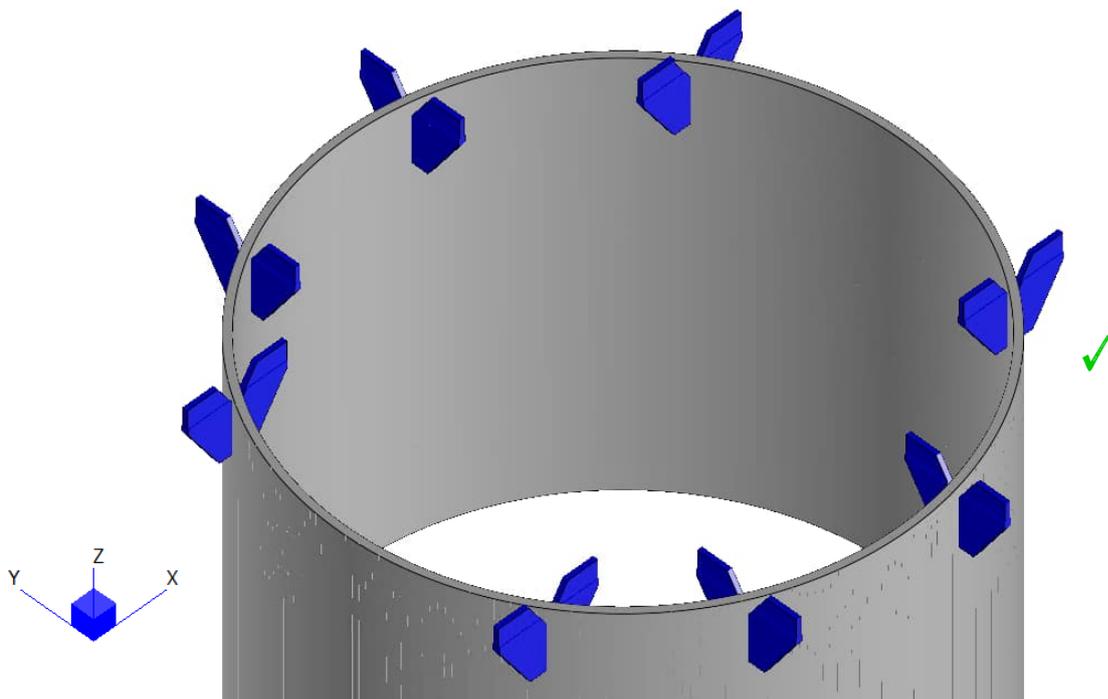


Abbildung 11-4: Detailmodell für Brackets für BD2 und BD3 (Deckträger ausgeblendet)

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 150 von 252

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 Diamantplatte 100 mm über das Pfahl liegen. Unten sind die Positionen exemplarisch dargestellt für die typischen Brackets. ✓

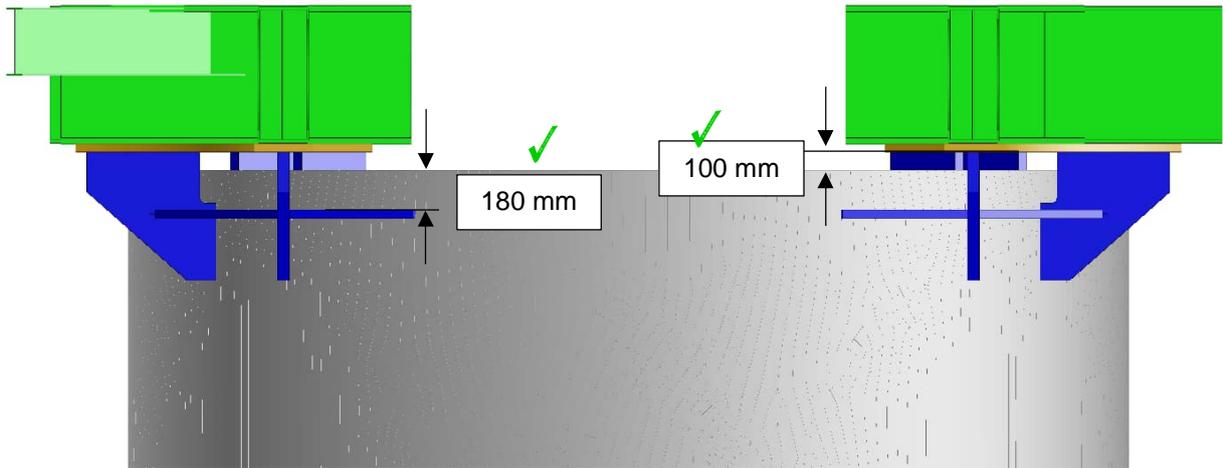


Abbildung 11-5: Position von Deckträger 100 mm über Pfahl ✓

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

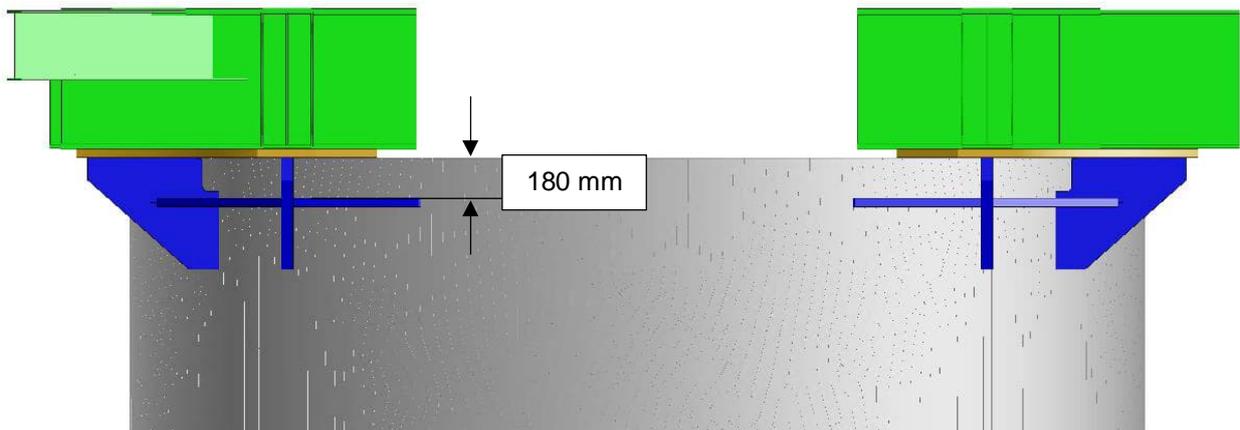


Abbildung 11-6: Ideal Position von Deckträger auf Pfahl ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 151 von 252

11.2.1 Randbedingungen

Das untere Pfahlende wird fixiert, wie in der folgenden Abbildung exemplarisch für die typischen Brackets gezeigt.

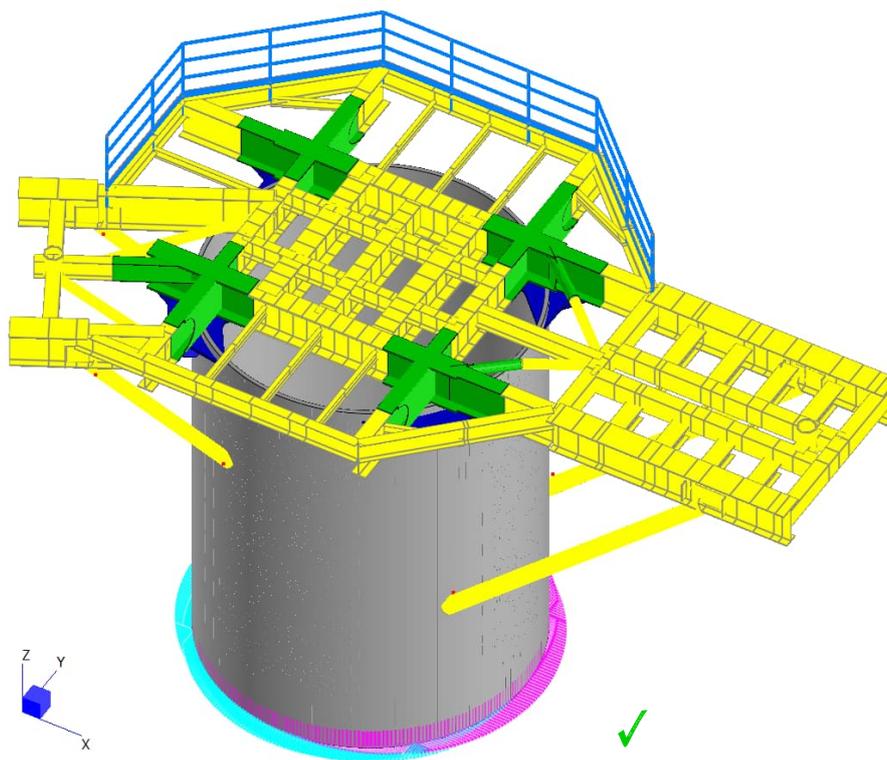


Abbildung 11-7: Randbedingungen

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 152 von 252

11.2.2 Lasten

Die Lasten und Lastkombinationen in Kapitel 9.4 in der Globalanalyse werden für diese Lokalanalyse berücksichtigt.

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.

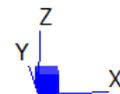
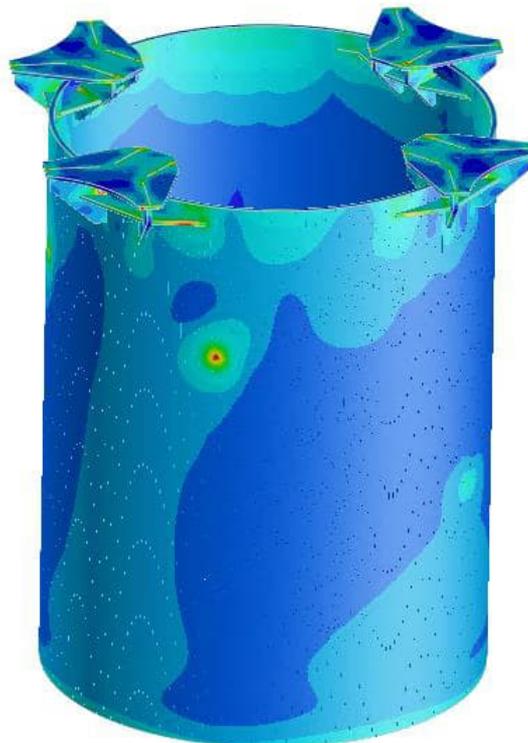
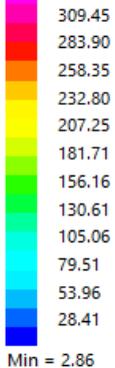
11.2.4 Spannungsergebnisse

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

In der folgenden Abbildungen 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 Krafteinleitung. Die Deckstruktur ist bereits in Kapitel 9 und 10 nachgewiesen und wird hier als unkritisch betrachtet.

Plate Stress: von Mises (MPa)

Max = 335.00



Für die Seiten 152-158:

Abbildung 11-8: Spannungsergebnisse für Typische Brackets, Übersicht

✓ Durch Vergleichsrechnung geprüft

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 153 von 252

Plate Stress: von Mises (MPa)
Max = 335.0
309.3
283.6
258.0
232.3
206.6
180.9
155.2
129.5
103.9
78.2
52.5
26.8
Min = 1.1

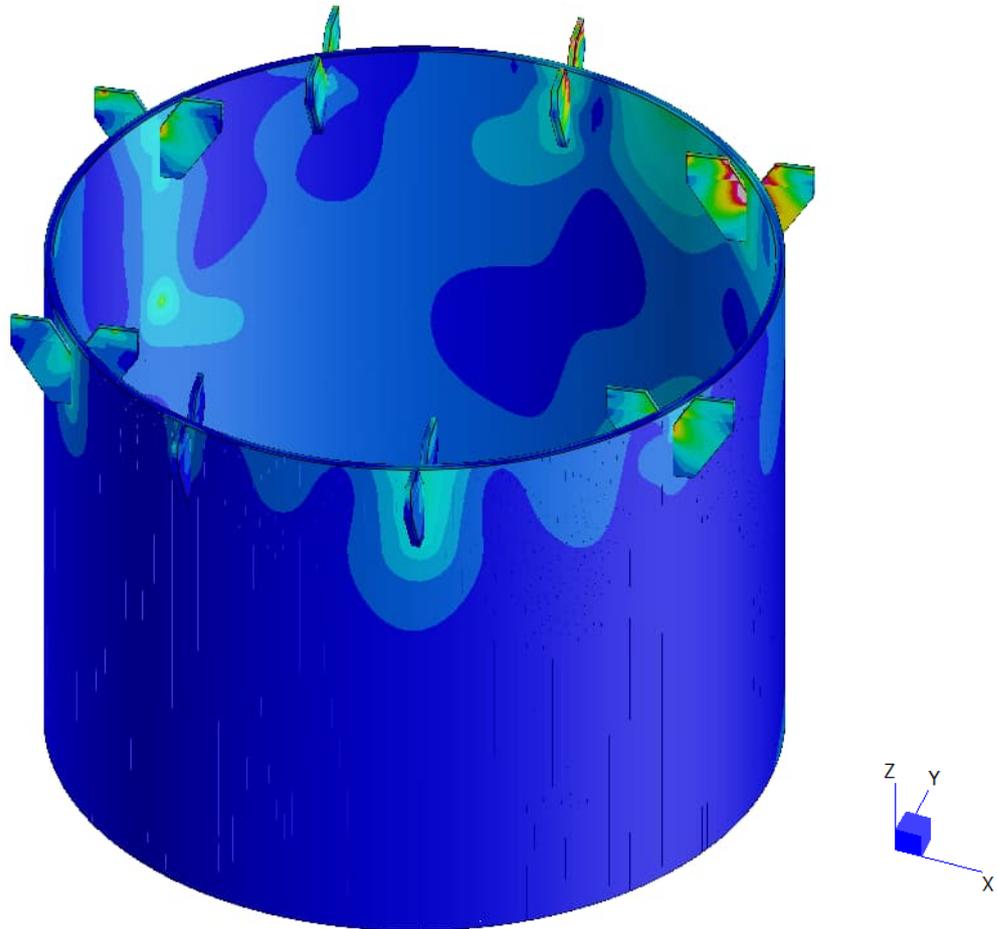


Abbildung 11-9: Spannungsergebnisse für Brackets für BD2, Übersicht



  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 154 von 252

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.

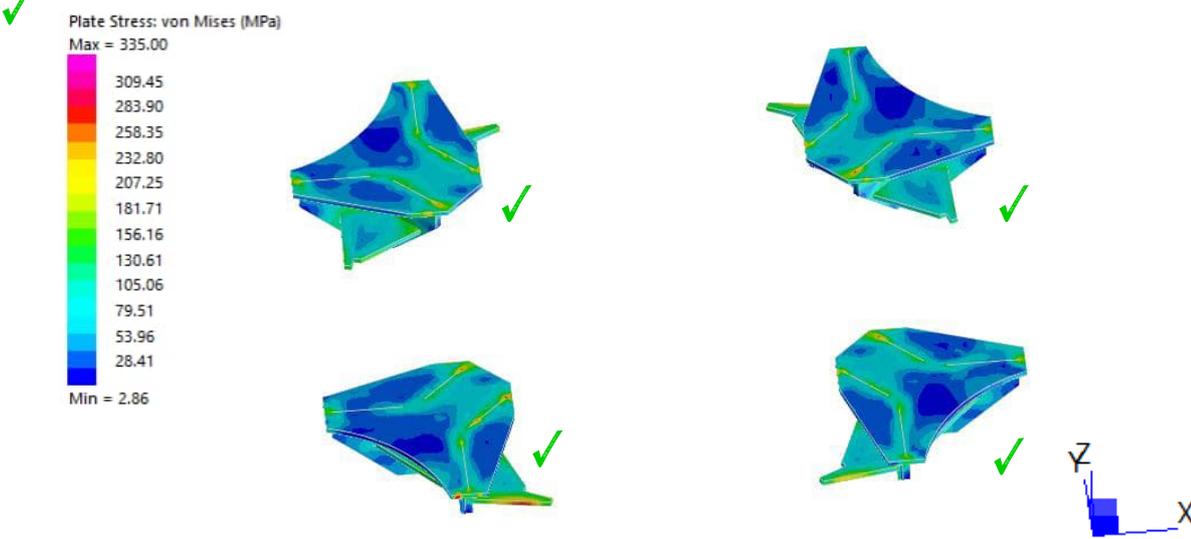


Abbildung 11-10: Spannungsergebnisse für Typische Brackets, Anschlussstruktur

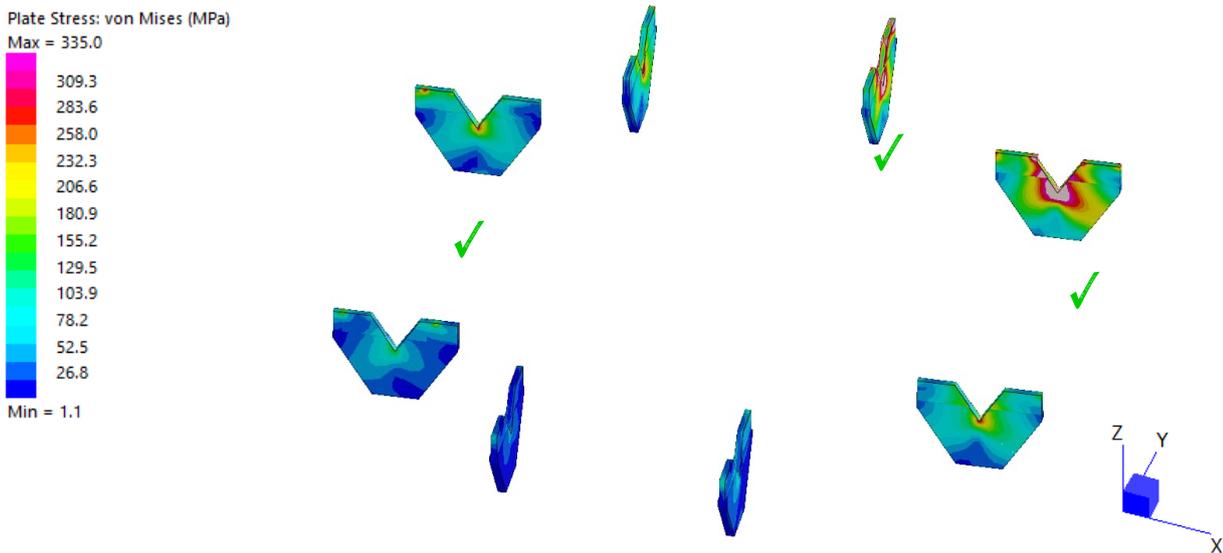


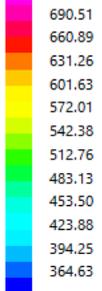
Abbildung 11-11: Spannungsergebnisse für Brackets für BD2, Anschlussstruktur

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.

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 155 von 252

Plate Stress: von Mises (MPa)

Max = 720.14



Min = 335.00

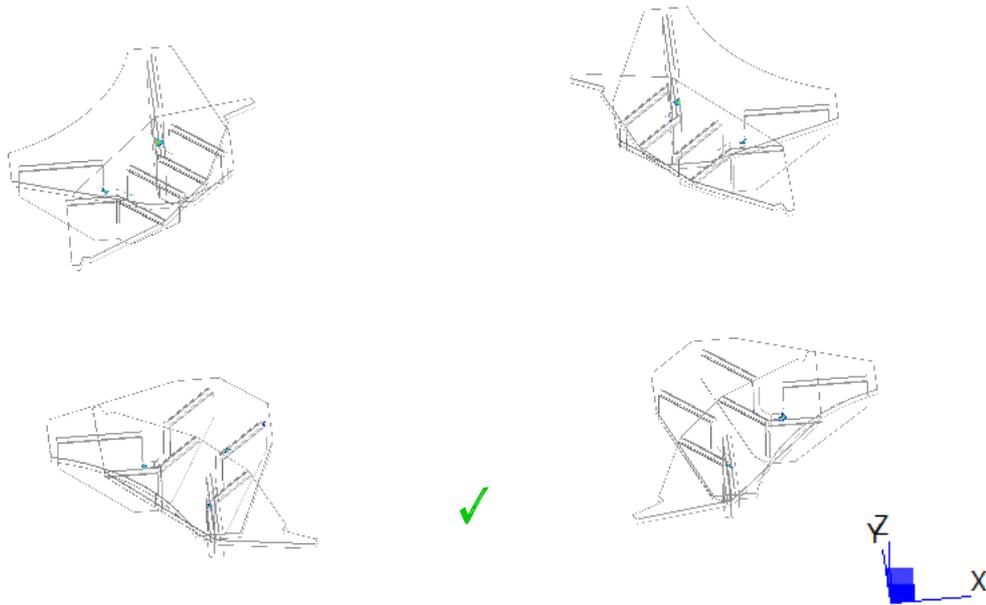
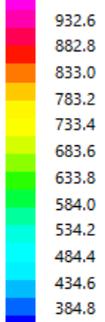


Abbildung 11-12: Überspannungen für Typische Brackets, Anschlussstruktur

Plate Stress: von Mises (MPa)

Max = 982.4



Min = 335.0

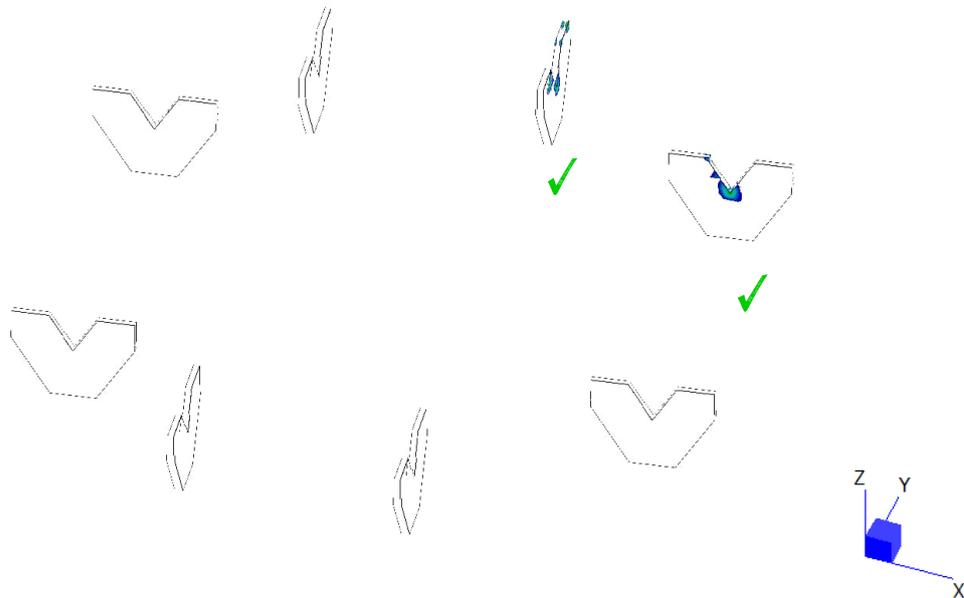


Abbildung 11-13: Überspannungen für Brackets für BD2, Anschlussstruktur

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 156 von 252

Das Spannungsplot von dem Pfahl bei den typischen Brackets ist unten dargestellt. Die maximale von Mises Spannung beträgt 318,1 ✓ MPa und ist in der Abbildung unten dargestellt. Diese Spannung ist kleiner als die erlaubte Spannung von 335,0 MPa. Die maximale Auslastung beträgt somit 92%.

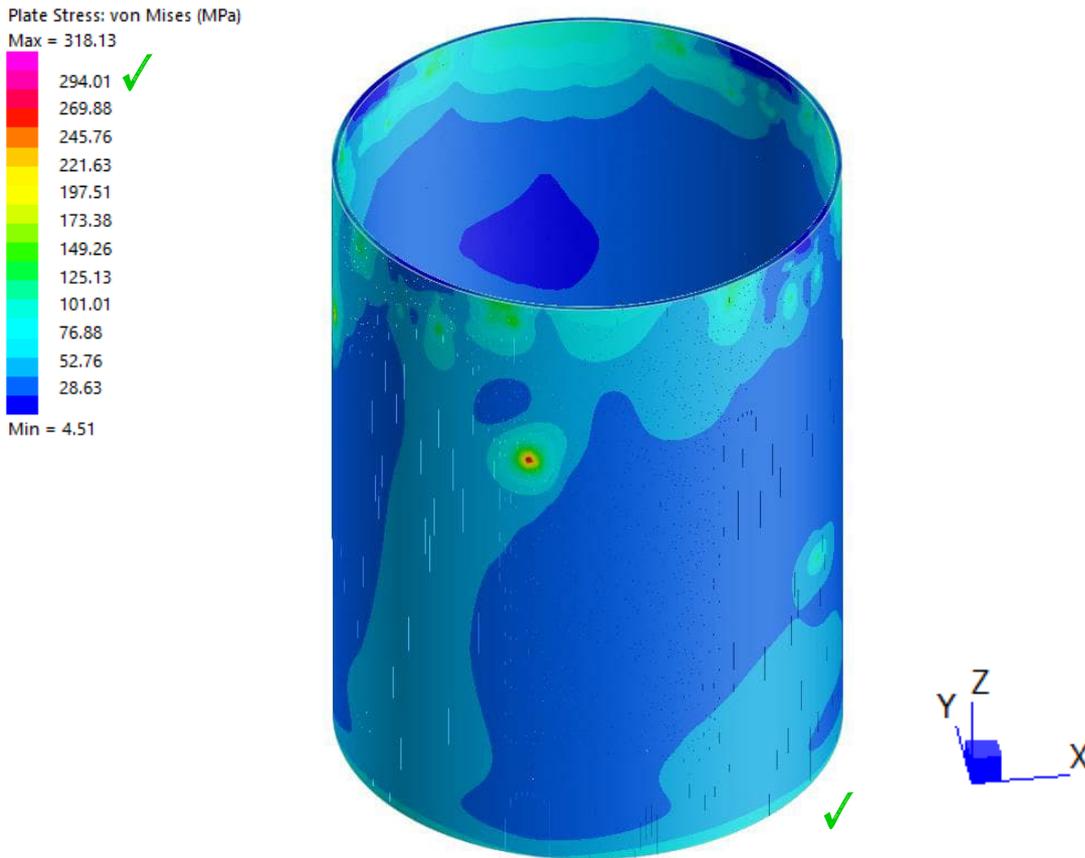


Abbildung 11-14: Spannungsergebnisse für Typische Brackets, Pfahl ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 157 von 252

Das Spannungsplot von dem Pfahl für BD2 ist unten dargestellt und bis die erlaubte Spannung von 335.0 MPa skaliert. Die Überspannungen sind in der nächsten Abbildung gezeigt.

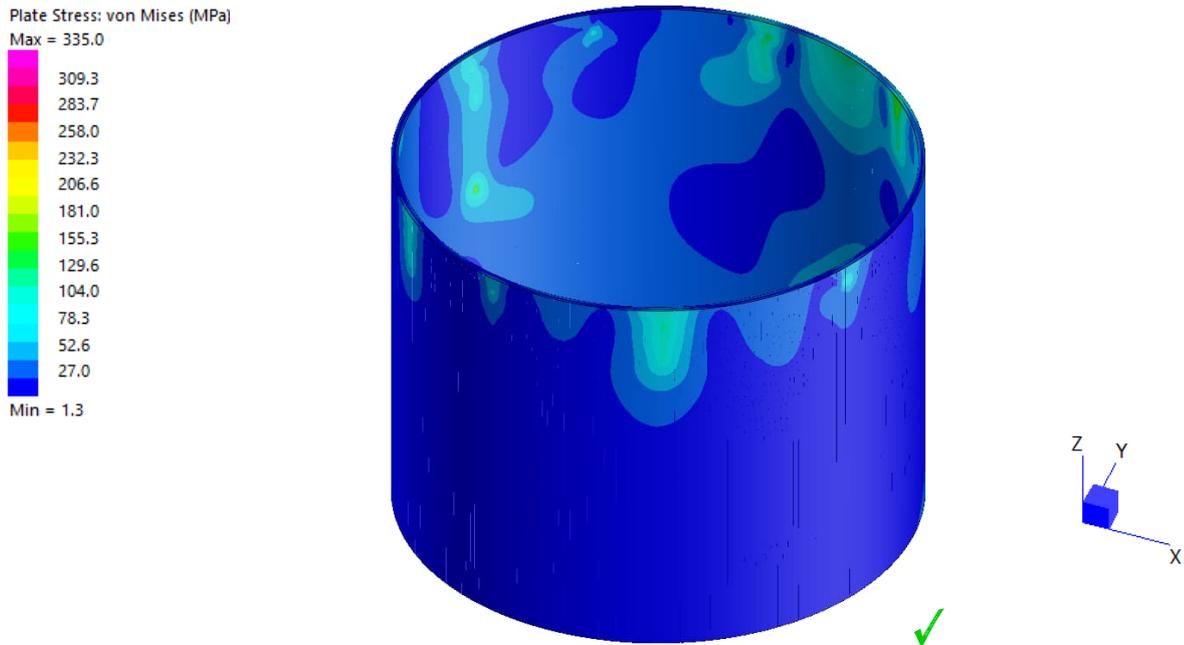


Abbildung 11-15: Spannungsergebnisse für Brackets für BD2, Pfahl

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.

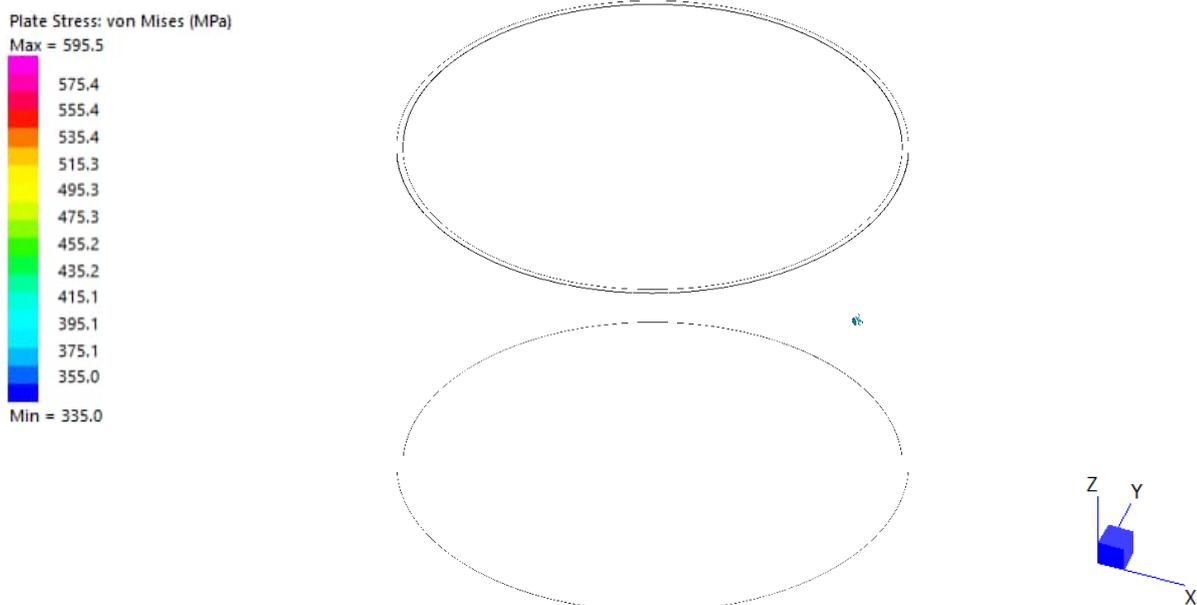


Abbildung 11-16: Überspannungen für Brackets für BD2, Pfahl ✓

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 158 von 252

11.2.5 Verformungen

Die maximale Verformung bei den typischen Anschlüssen ist ca. 5,1 mm und ist vernünftig gesehen. ✓

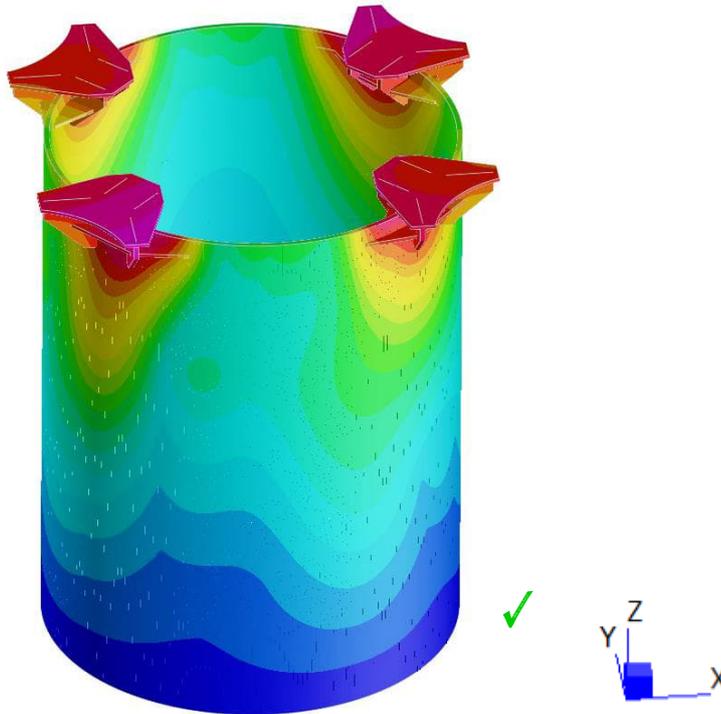
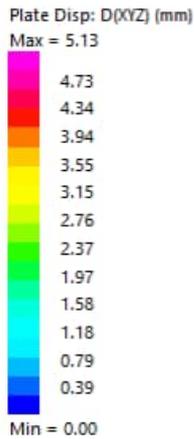


Abbildung 11-17: Verformungen für Typische Brackets

Die maximale Verformung bei den Brackets für BD2 ist 5,3 mm und ist vernünftig gesehen. ✓

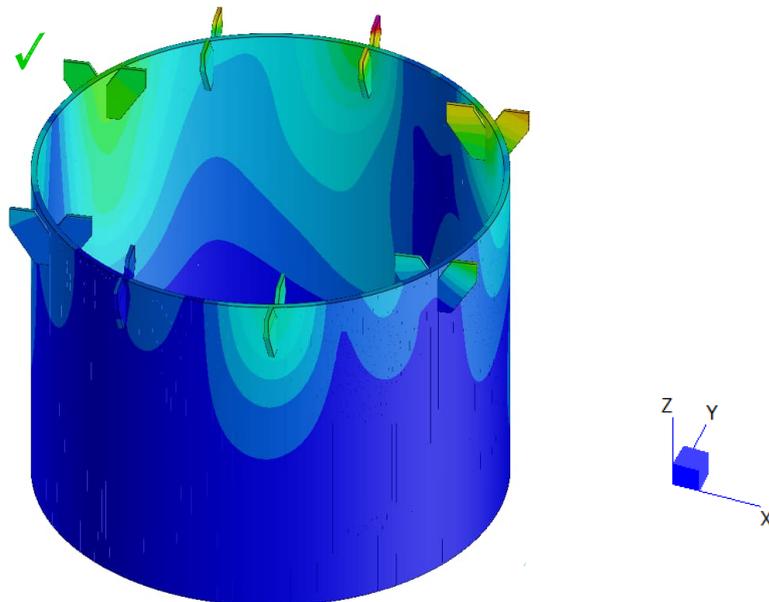
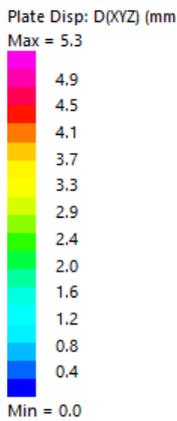


Abbildung 11-18: Verformungen für Brackets für BD2

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 159 von 252

11.3 Anschluss von Diagonalen an Pfahl

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

Dieses Modell besteht aus einer Pfahlsektion, der Sektionen von Diagonale und dem Knotenblech.

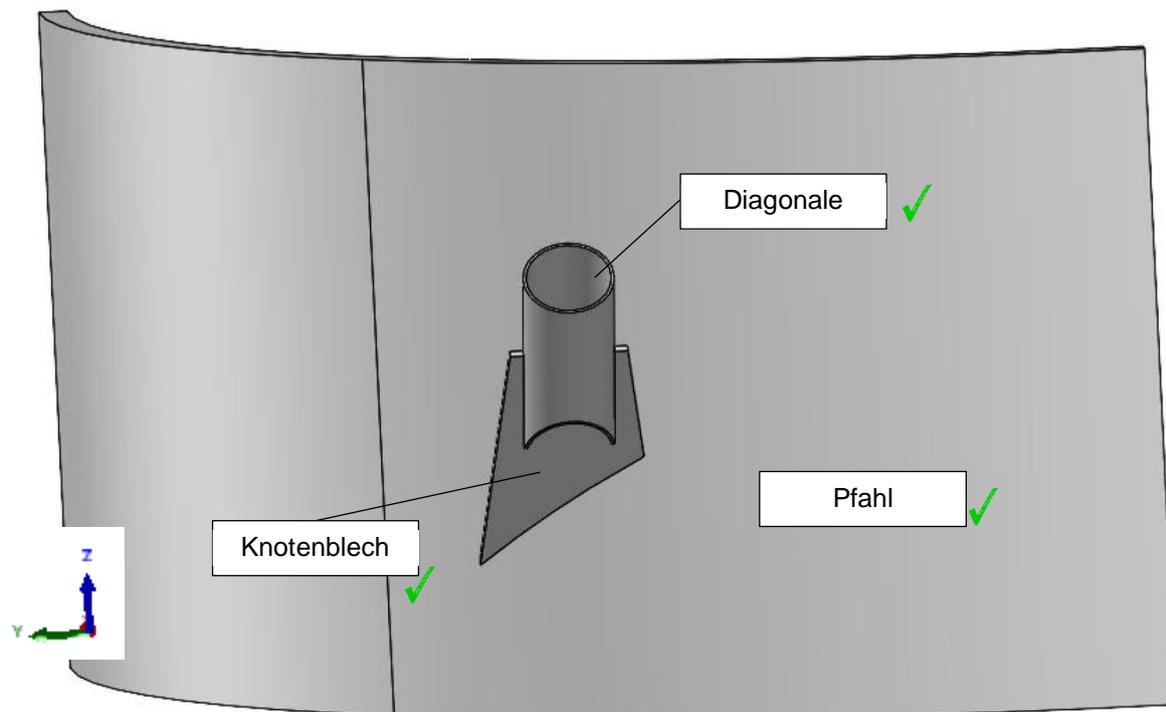


Abbildung 11-19: Detailmodell

Knotenbleche sind mit Rippenbleche 50x10mm zu versehen. siehe zugehörige Pläne.

Es gibt 6 Modellvariante mit unterschiedlichen Diagonalen-Querschnitten: ✓

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

Es wurde alle 6 Modellvarianten untersucht und nachgewiesen. Hier wird im Folgenden exemplarisch für die maßgebende Stütze (Rd244,5x12,5) ✓ die wie in Kapitel gezeigt, mit Abstand an stärksten belastet ist, das Modell, die Vernetzung, die Randbedingungen, die Lastaufbringung sowie die Ergebnisse reportiert.

Nachweis des Anschlusses von Diagonalen an Plattform ist zu ergänzen. siehe Nachtrag.

Nachweis der Stabilität der Knotenbleche ist vorzulegen.

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 160 von 252

11.3.1 Randbedingungen

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

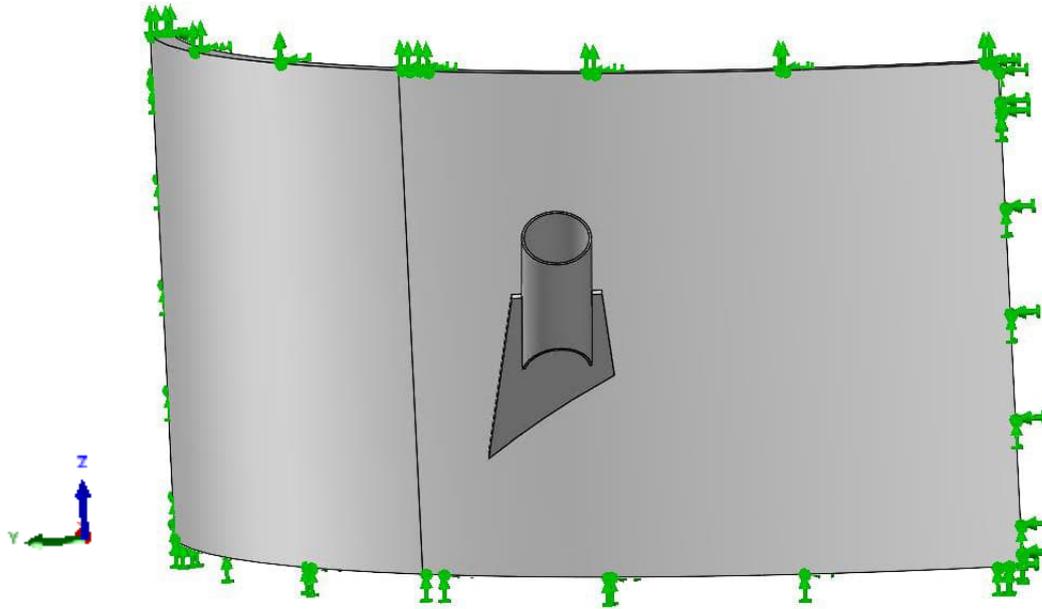


Abbildung 11-20: Randbedingungen ✓

11.3.2 Lasten

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

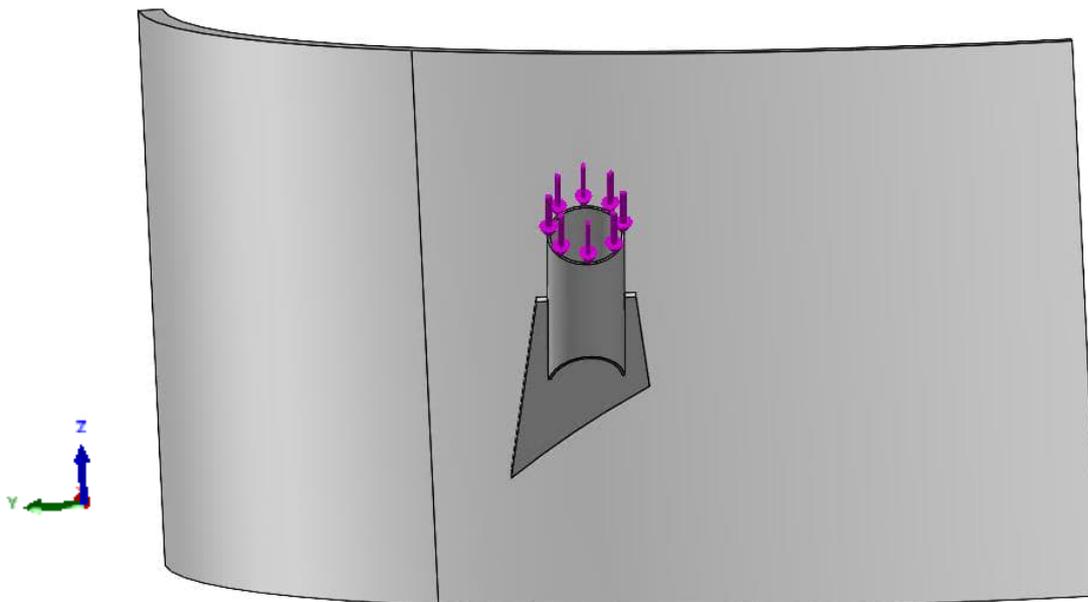


Abbildung 11-21: Lastaufbringung ✓

		Struktur		
				
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN		Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03	
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU			Seite 161 von 252	

Die maximalen Lasten für jede Diagonal-Querschnitte sind der globalen Rechnung, siehe Kapitel 9 entnommen, und in unteren Tabelle aufgelistet. Diese maximalen Axiallasten an den Diagonalstützen für alle Plattformen sind in untere Tabelle gelistet.

Tabelle 11-1: Axiallast in allen Diagonalen *

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	664,80 ✓
	Rd273x8	764,67 ✓
MD6	Rd244,5x8	425,25 ✓
	Rd273x8	714,74 ✓
	Rd323,9x8	495,18 ✓
BD1	Rd244,5x12,5	979,68 ✓
	Rd323,9x8	762,67 ✓
BD2	Rd244,5x12,5	1.338,00 ✓
BD3	Rd244,5x8	504,10 ✓
BD4	Rd273x8	691,08 ✓

Daraus ergeben sich die folgenden maximalen Axiallasten pro Querschnittstyp wie in der Analyse der Diagonal-Anschlüsse berücksichtigt.

Tabelle 11-2: Maximale Axiallast pro Querschnittstyp *

Diagonalstützen	Maximale Axiallast [kN]
Rd193.7x6.3	664,80 ✓
Rd193.7x10	854,32 ✓
Rd244.5x8	425,25 ✓
Rd244.5x12.5	1.338,00 ✓
Rd273x8	764,67 ✓
Rd323.9x8	762,67 ✓

* Durch Vergleichsrechnung geprüft

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 162 von 252

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 11-22: FE-Netz

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.



	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 163 von 252

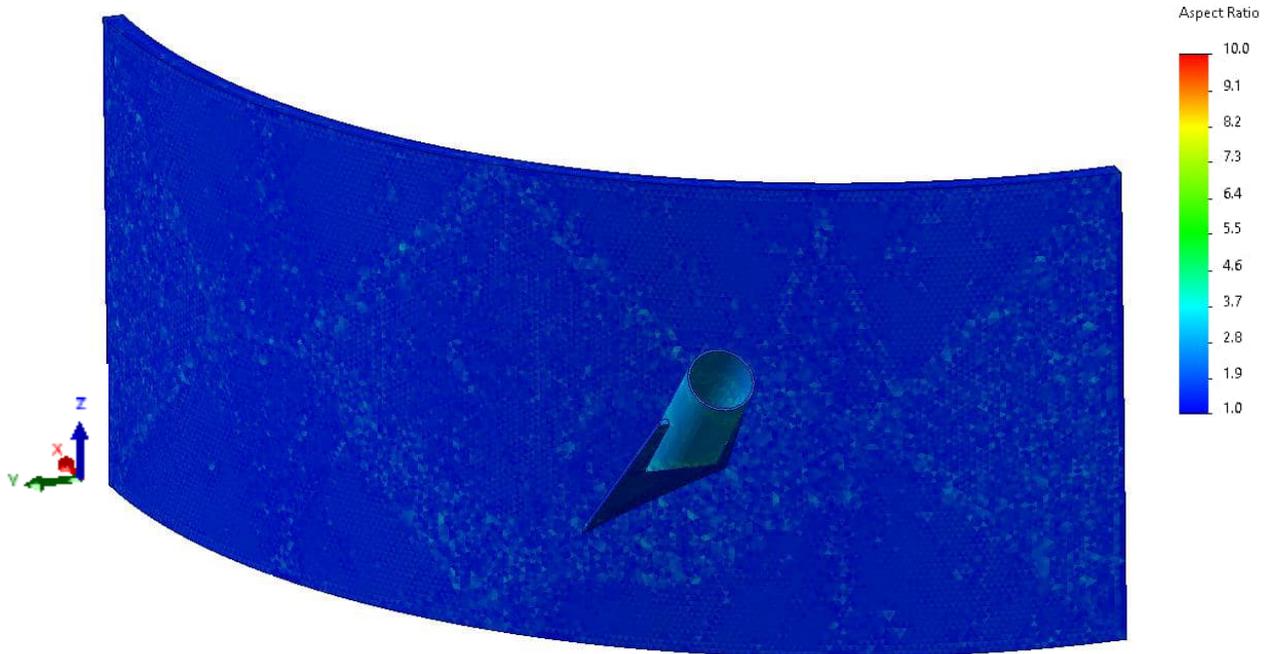


Abbildung 11-23: FE-Netz – Seitenverhältnis der Elemente

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 - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 164 von 252

Tabelle 11-3: 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 - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 165 von 252

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. ✓

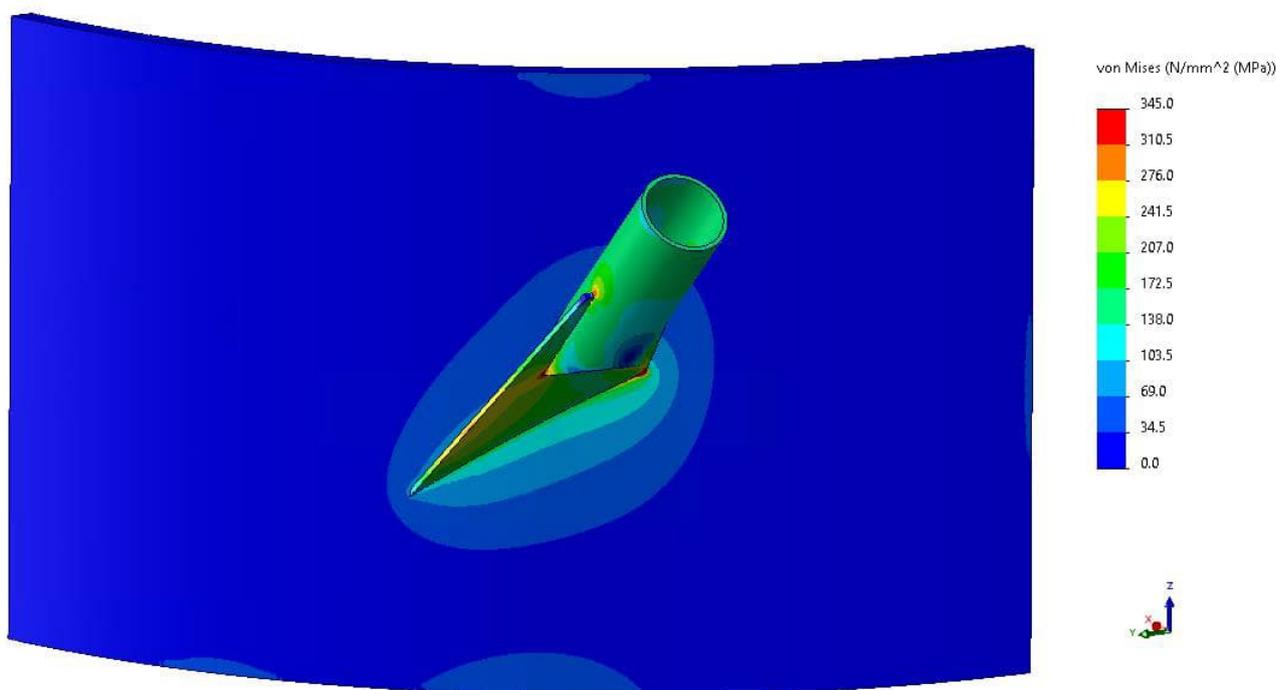


Abbildung 11-24: Spannungsergebnisse

Die leicht überspannte Bereiche sind sehr klein und akzeptabel angenommen. ✓

Durch Vergleichsrechnung geprüft

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 166 von 252

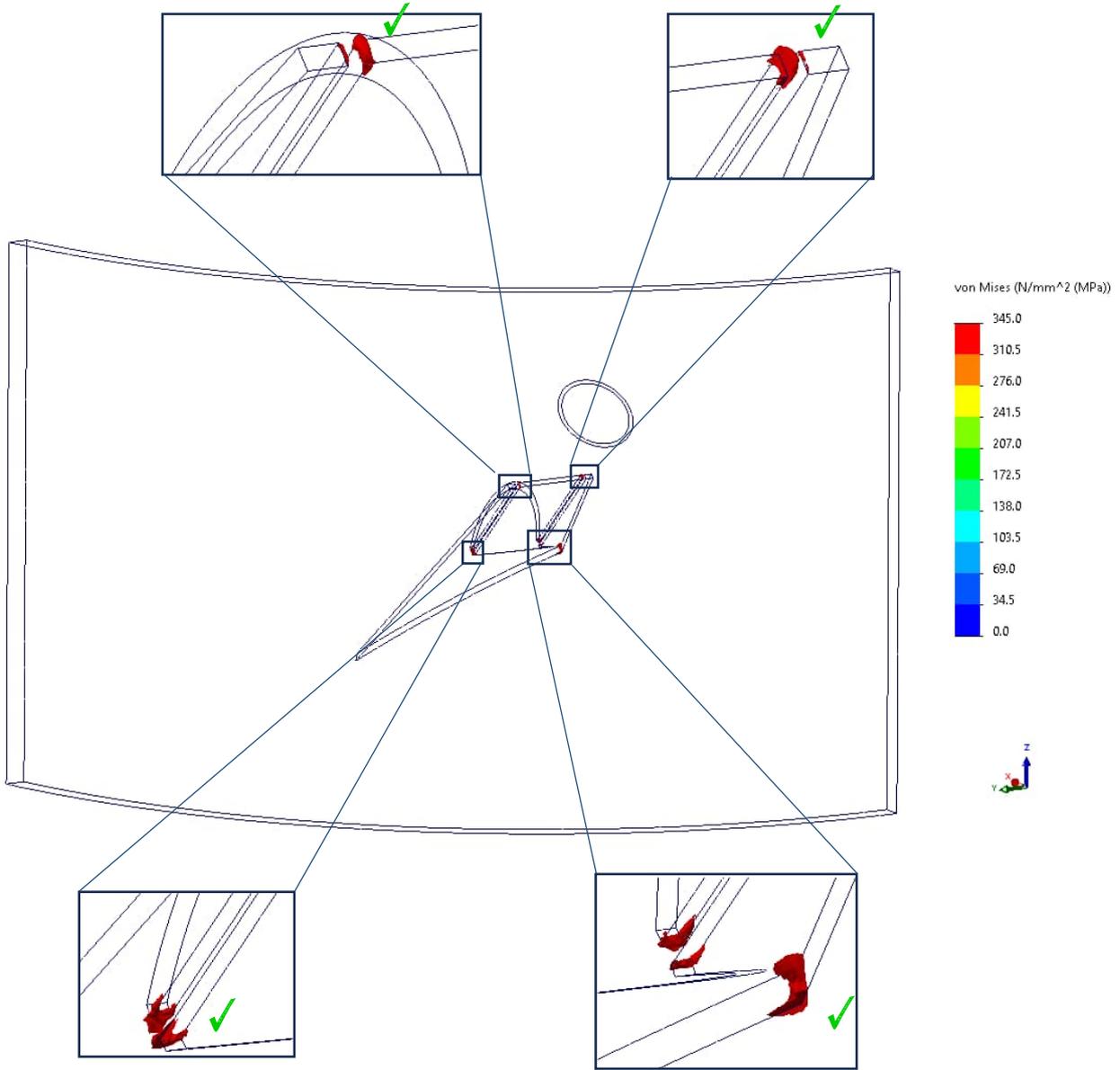


Abbildung 11-25: Überspannungen



Durch Vergleichsrechnung geprüft

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 167 von 252

11.3.6 Verformungen

Die maximale ULS-Verformung in dem Anschluss resultiert zu 1,6 mm, ist nachvollziehbar und liegt in einem angemessenen Rahmen. ✓

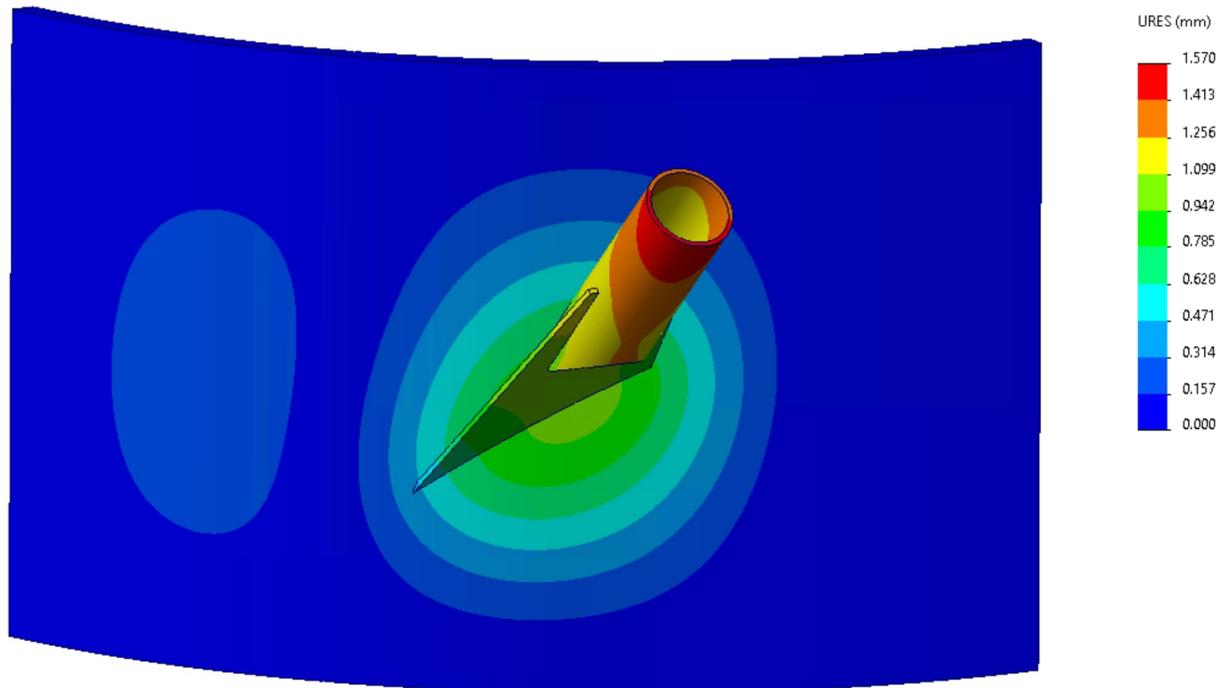


Abbildung 11-26: Verformungen ✓

Durch Vergleichsrechnung geprüft

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 168 von 252

12 Lagerung der Mooring Haken auf der Plattform

12.1 Beschreibung

Wie in Kapitel 6.3.3 beschrieben sind MD1 bis MD6 mit Quadruple Quick Release Hooks (QQRH) und BD1 & BD4 mit Triple Quick Release Hooks (TQRH) ausgestattet. Ein QQRH hat eine gesamte Mooring Safe Working Load (SWL) von $4 \times 150 \text{ t} = 600 \text{ t}$, während ein TQRH eine gesamte SWL von $3 \times 150 \text{ t} = 450 \text{ t}$.

Die Haken werden mit einer Grundplatte und Schrauben geliefert. Mittels dieser werden die Haken zur Plattform verbunden. Die Deckplatte besteht aus einer 40 mm dicke Deckplatte mit verstärkten eingesetzten Platte von 70 mm für QQRH und 60 mm für TQRH an der Stelle von der Hakengrundplatte.

Die geometrischen Abmessungen der Schraubenverbindungen von QQRH und TQRH und die lokale Deckstrukturen unterhalb sind unten dargestellt.

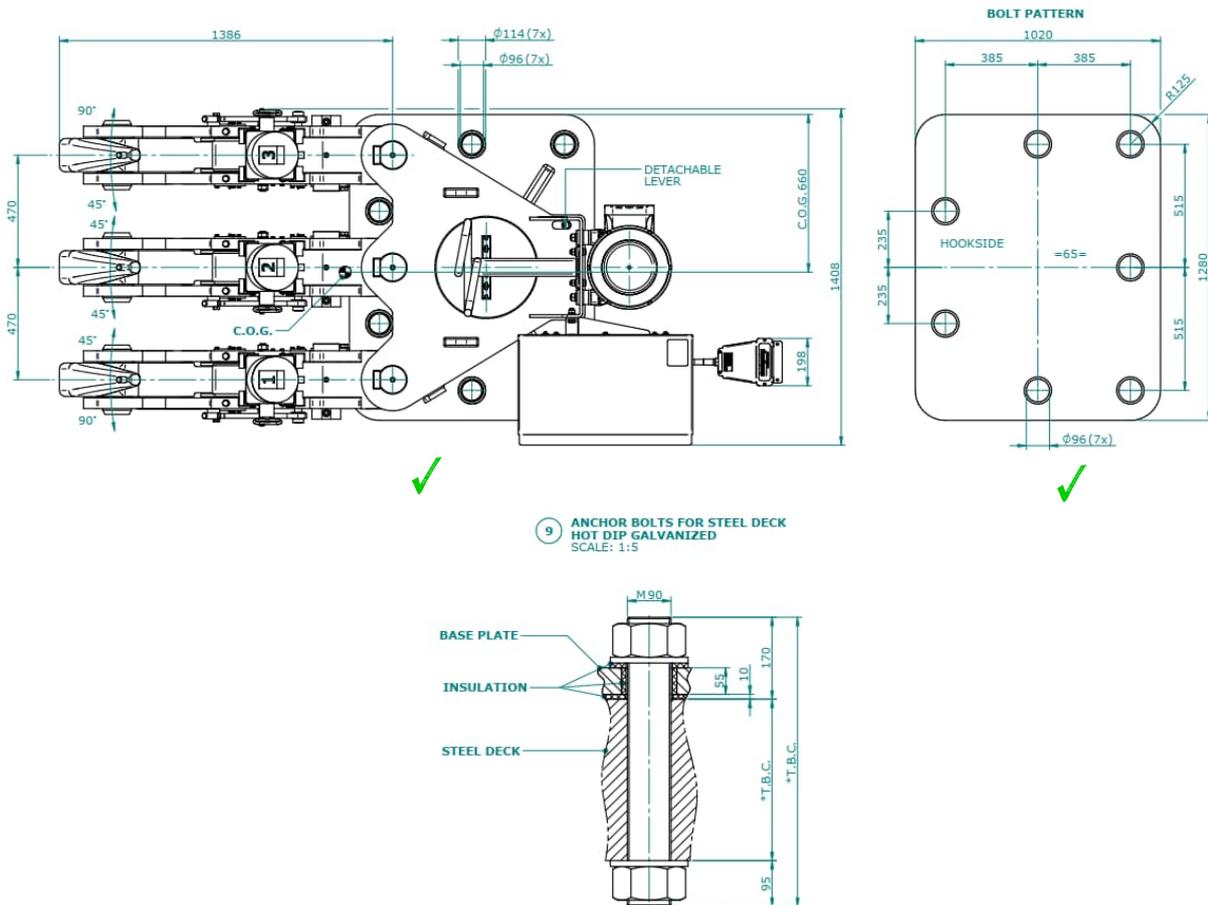


Abbildung 12-1: Geometrische Abmessungen der Schraubenverbindung von TQRH. Ref. [22.] ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 169 von 252

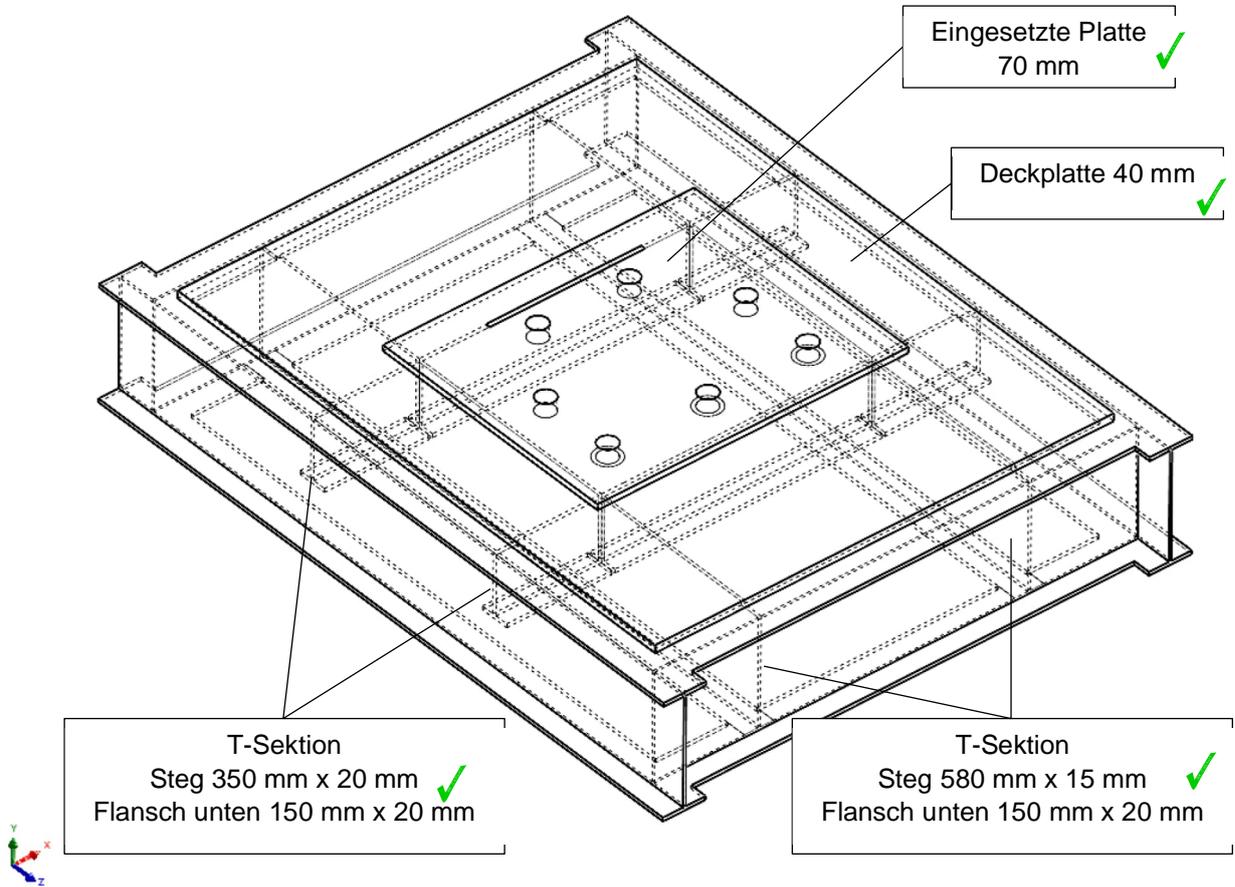


Abbildung 12-2: Lokale Deckstruktur BD1 (ähnlich zu BD4) ✓

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 170 von 252

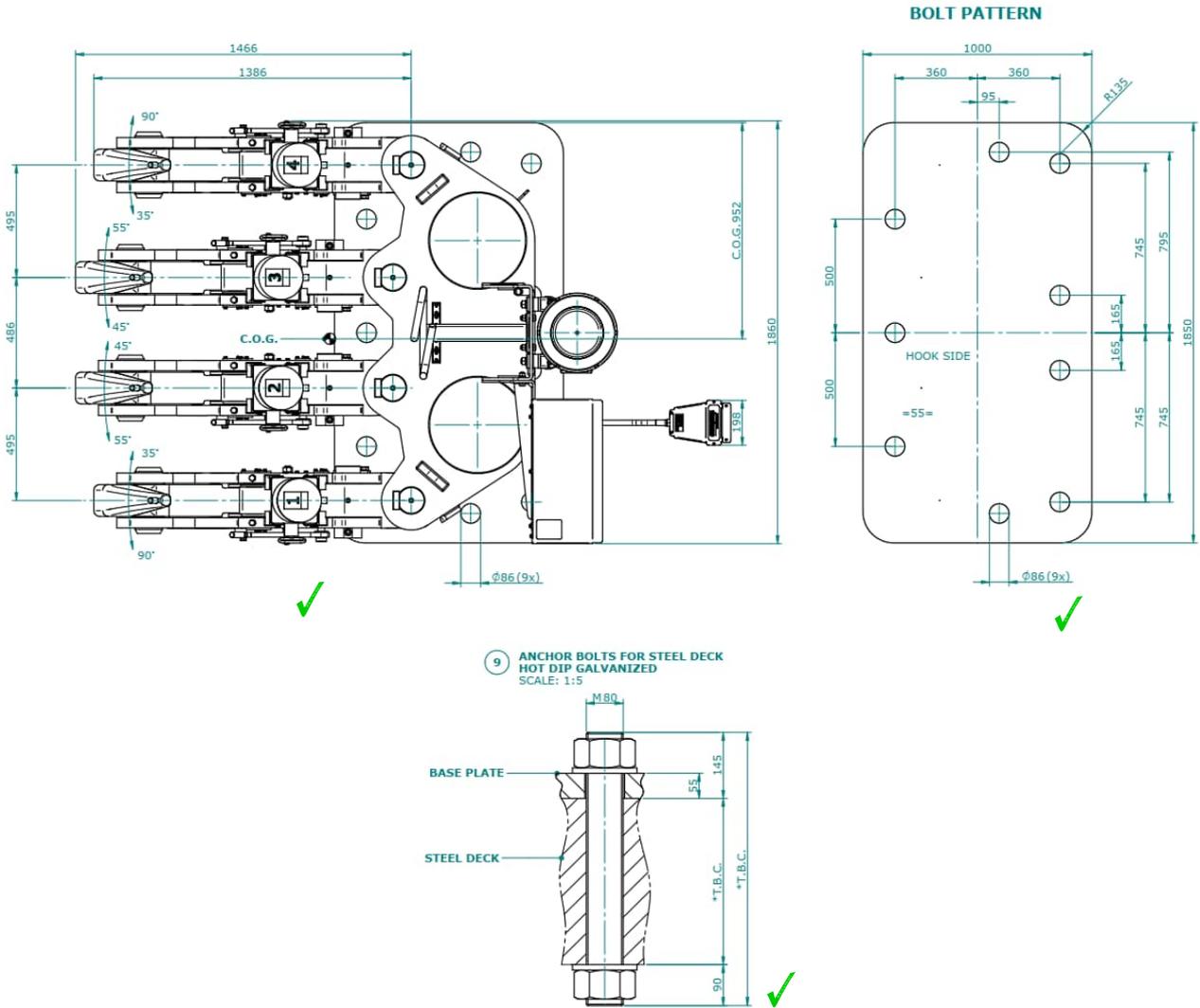


Abbildung 12-3: Geometrische Abmessungen der Schraubenverbindung von QQRH, Ref. [23.] ✓

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 171 von 252

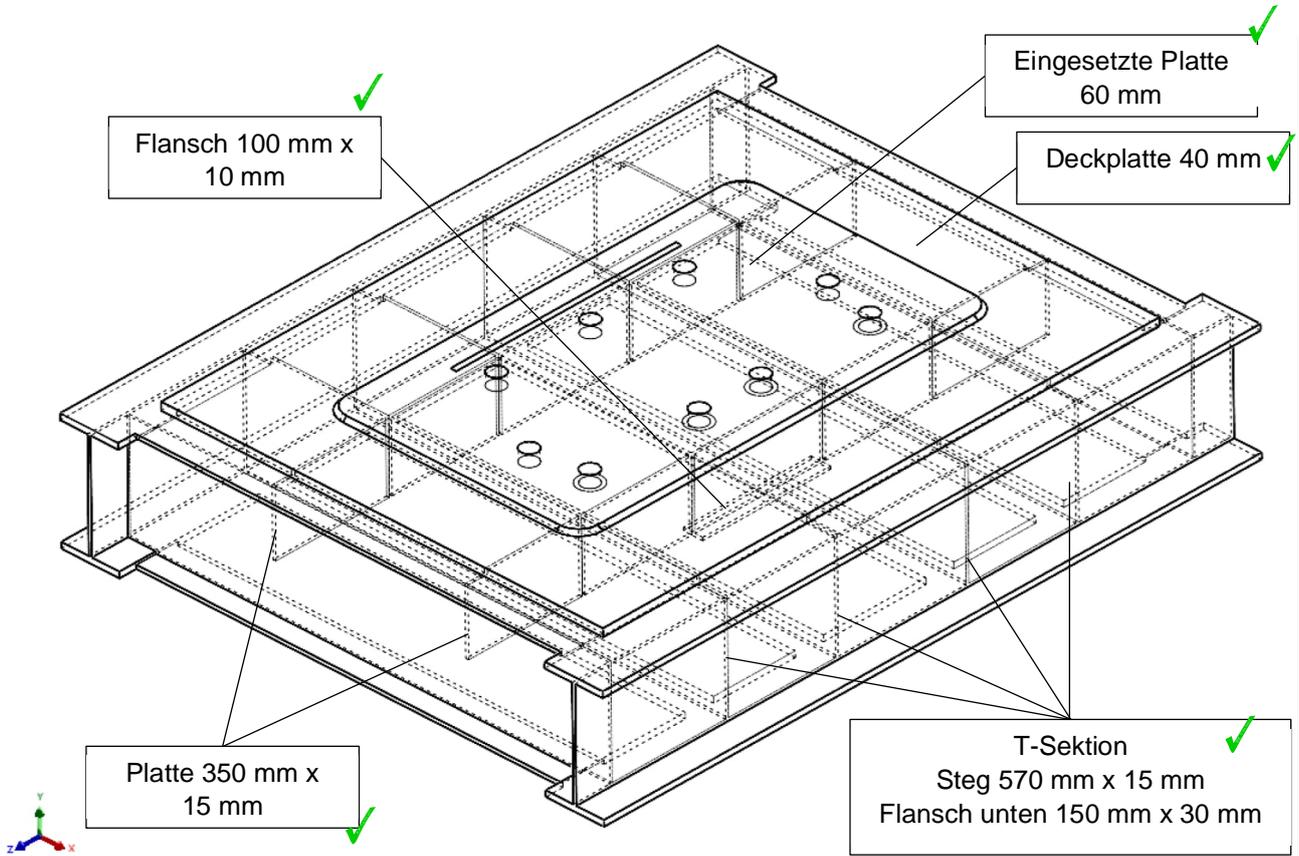


Abbildung 12-4: Lokale Deckstruktur MD1 (ähnlich zu den anderen MDs) ✓

Im Folgenden werden die lokale Deckstrukturen für TQRH und QQRH als dreidimensionales FE Modelle in SolidWorks [b] analysiert. Es ist zu notiert, dass der Nachweis der Schraubenverbindung von dem Haken nicht das Teil dieses Dokument ist.



  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 172 von 252

12.2 Modelbeschreibung

Die Modelle entsprechen die lokale Deckstrukturen unter TQRH und QQRH und bestehen aus den Deckträger, Deckplatte und die Schraubenlöcher (siehe auch Abbildung 12-2 und Abbildung 12-4).

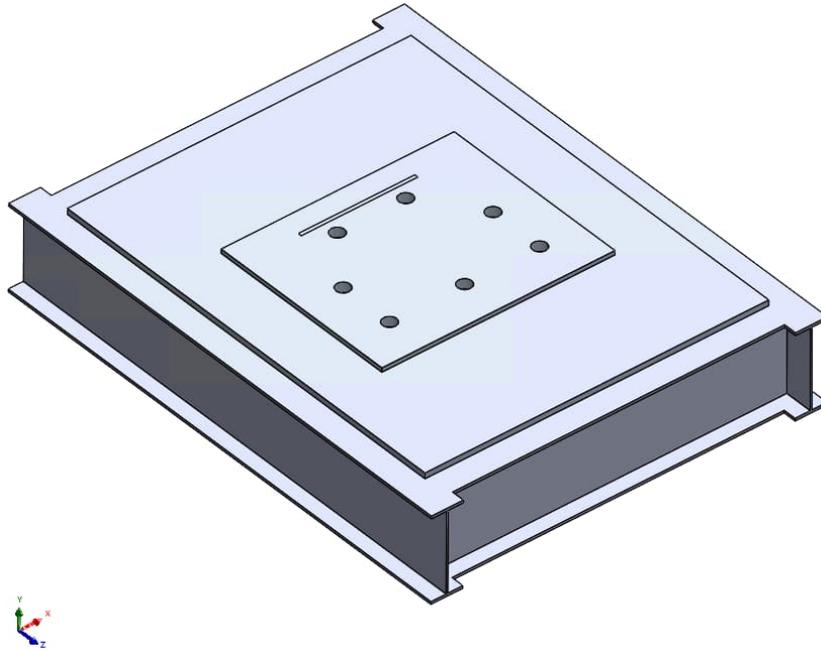


Abbildung 12-5: FE Model BD1 für TQRH (ähnlich zu BD4) ✓

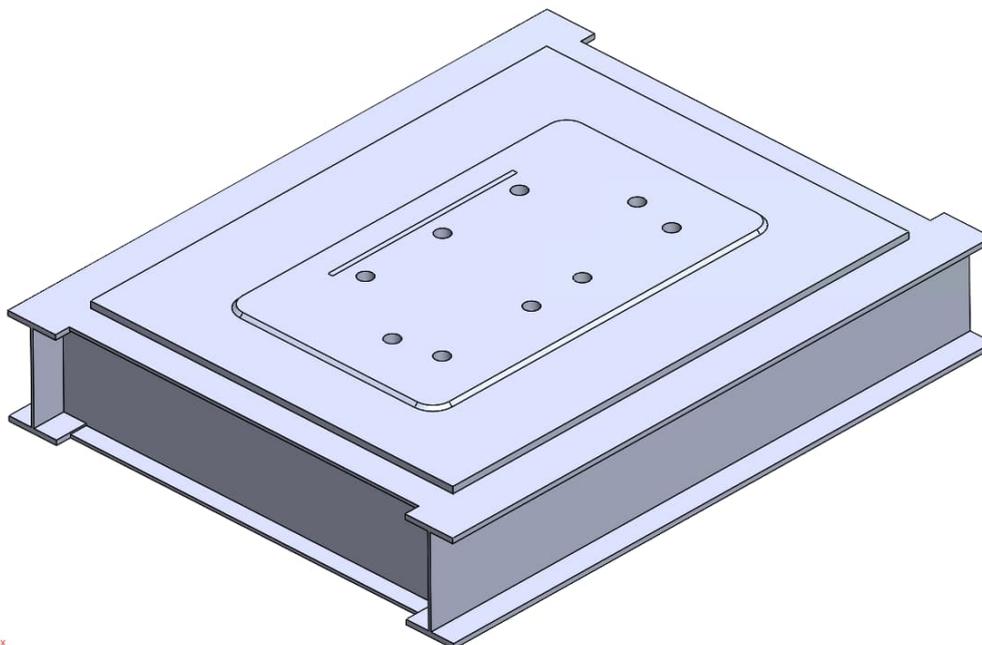


Abbildung 12-6: FE Model MD1 für QQRH (ähnlich zu den anderen MDs) ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 173 von 252

12.3 Randbedingungen

Für den lokalen Nachweis der Befestigung von dem Haken ist das Modell an jeweils seinen Schnittenden in fixiert.

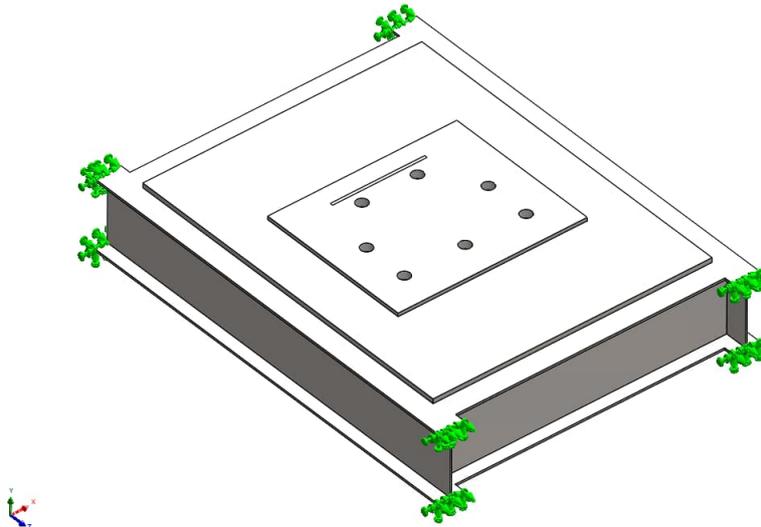


Abbildung 12-7: Randbedingungen BD1 für TQRH (ähnlich zu BD4) ✓

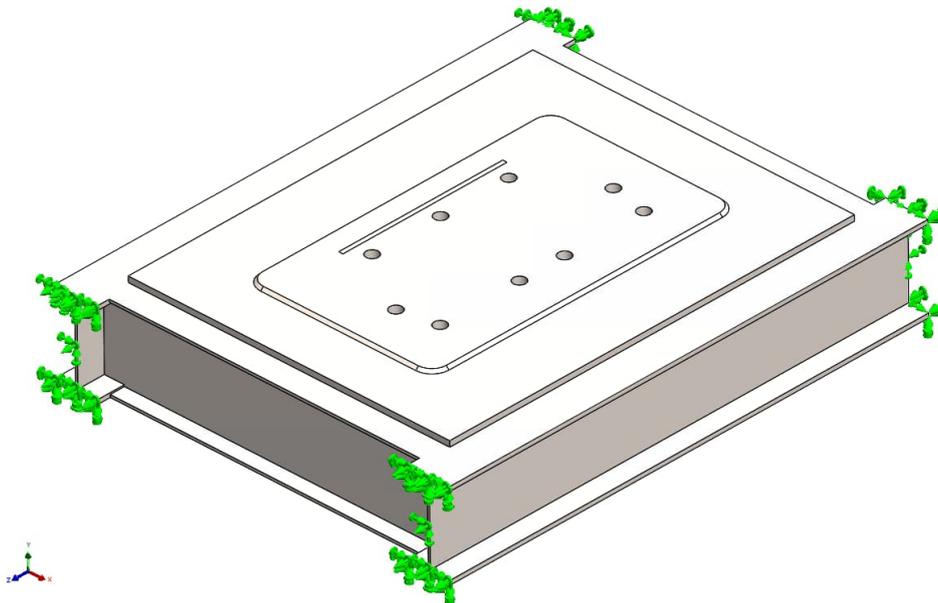


Abbildung 12-8: FE Model MD1 für QQRH (ähnlich zu den anderen MDs) ✓

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 175 von 252

In der Abbildung unten ist die Krafterbringung in FE-Modell dargestellt. Die Scherkraft wird als Lagerbelastung auf die L6cher aufgebracht. Die Zugkraft wird auf die Schraubenk6pfe aufgebracht und die Druckkraft konservativ auf eine Fl6che von 800 mm x 25 mm aufgebracht.

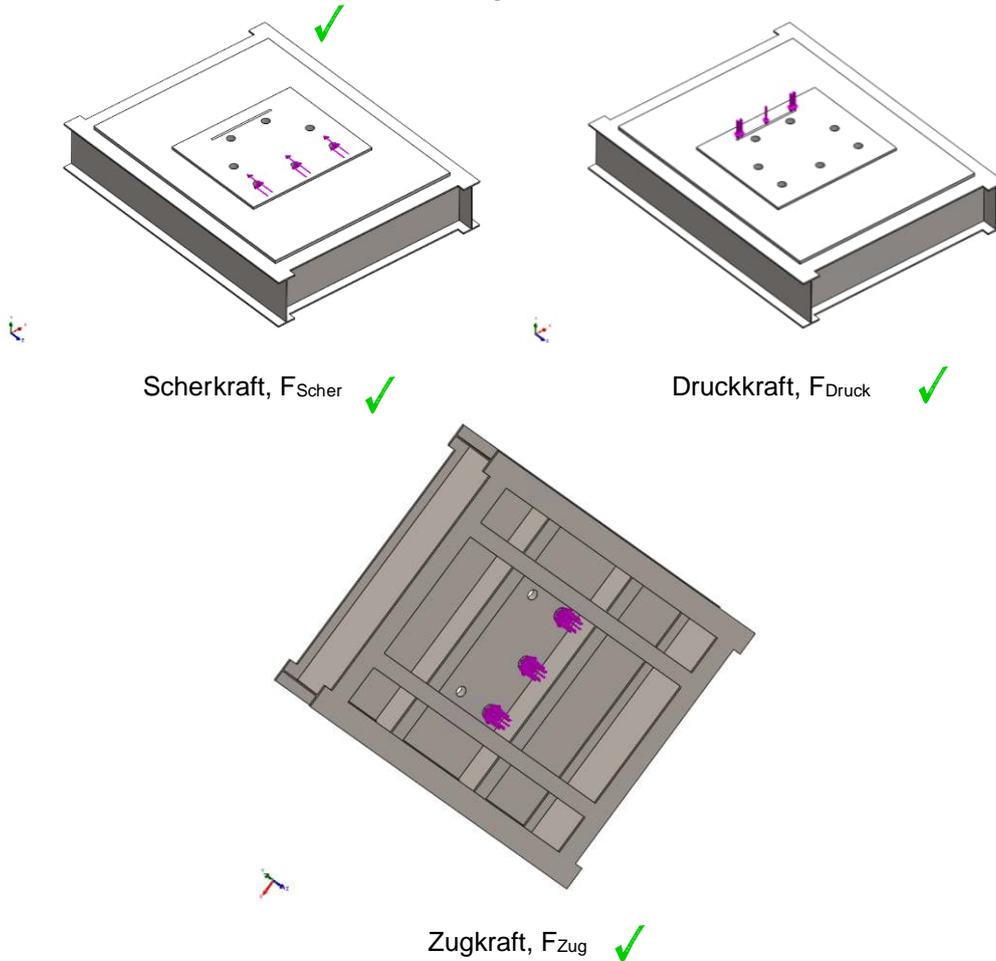


Abbildung 12-10: Krafterbringung in FE-Modell BD1 f6ur TQRH (6hnlich zu BD4) ✓

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 176 von 252

Für QQRH sind die folgenden Kräfte bestimmt. ✓

- Zugkraft pro Schrauben, $F_{Zug,B}$

$$= 1/n_B * H / L * F_{Haken}$$

$$= 1/4 * 550 \text{ mm} / 860 \text{ mm} * 4 * 150 \text{ t} * 10 \text{ m/s}^2 = 960 \text{ kN} \checkmark$$
- Druckkraft auf einer Kante, F_{Druck}

$$= n_B * F_{Zug,B} = 4 * 960 \text{ kN} = 3.840 \text{ kN} \checkmark$$
- Scherkraft pro Schrauben, $F_{Scher,B}$

$$= 1/n_B * F_{Haken}$$

$$= 1/4 * 4 * 150 \text{ t} * 10 \text{ m/s}^2$$

$$= 1.500 \text{ kN} \checkmark$$

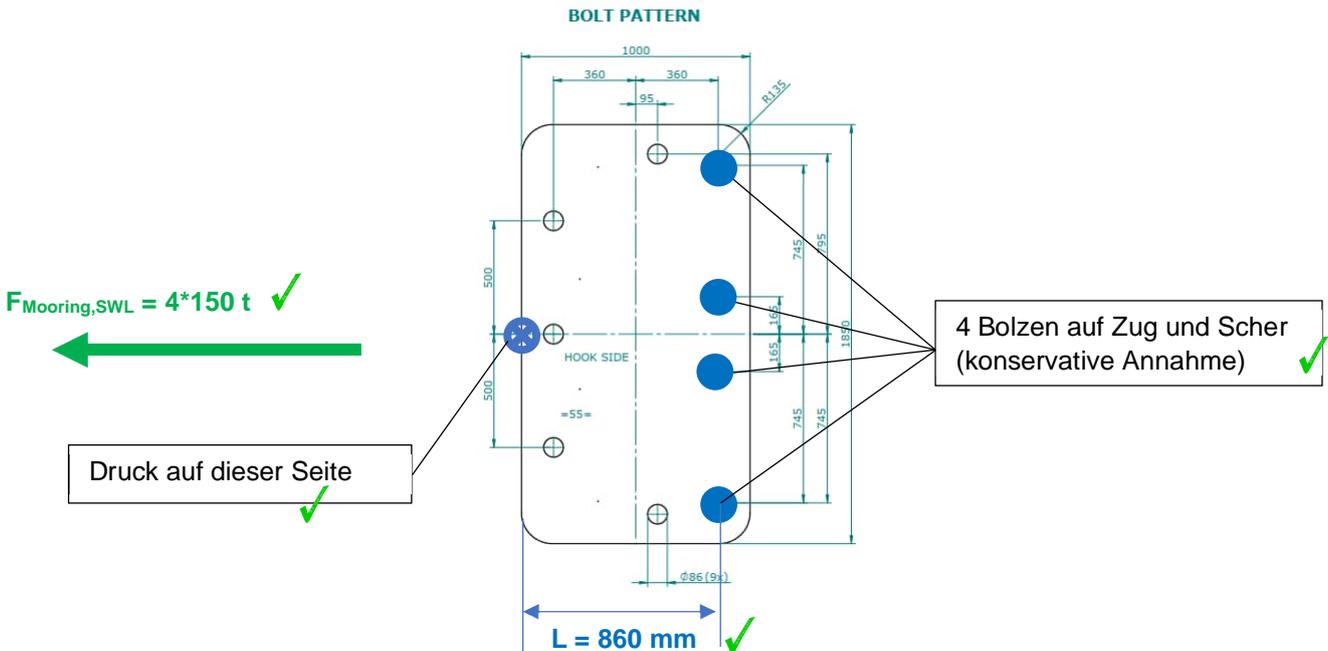
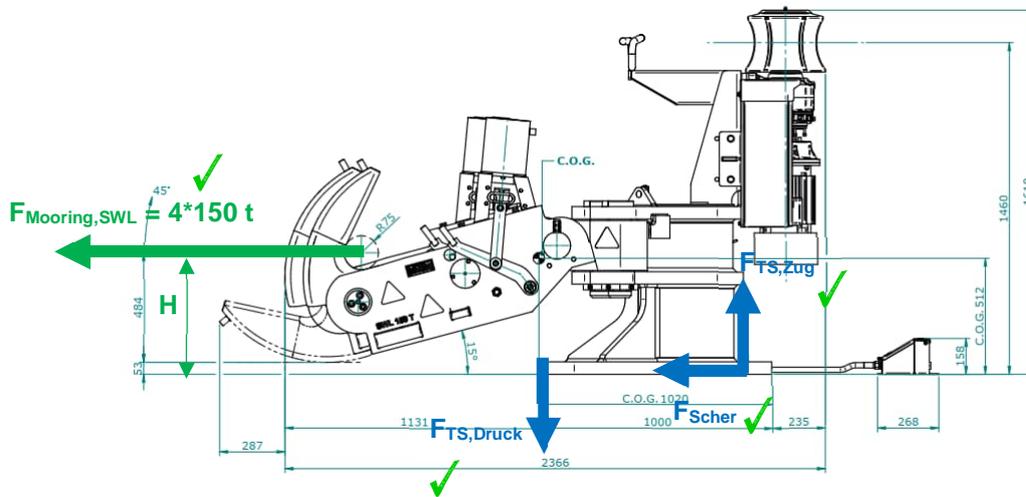


Abbildung 12-11: Lasten MD1 für QQRH (ähnlich zu den anderen MDs) ✓

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 177 von 252

In der Abbildung unten ist die Kraftaufbringung in FE-Modell dargestellt. Die Scherkraft wird als Lagerbelastung auf die Löcher aufgebracht. Die Zugkraft wird auf die Schraubenköpfe aufgebracht und die Druckkraft konservativ auf eine Fläche von 1,200 mm x 30 mm aufgebracht.

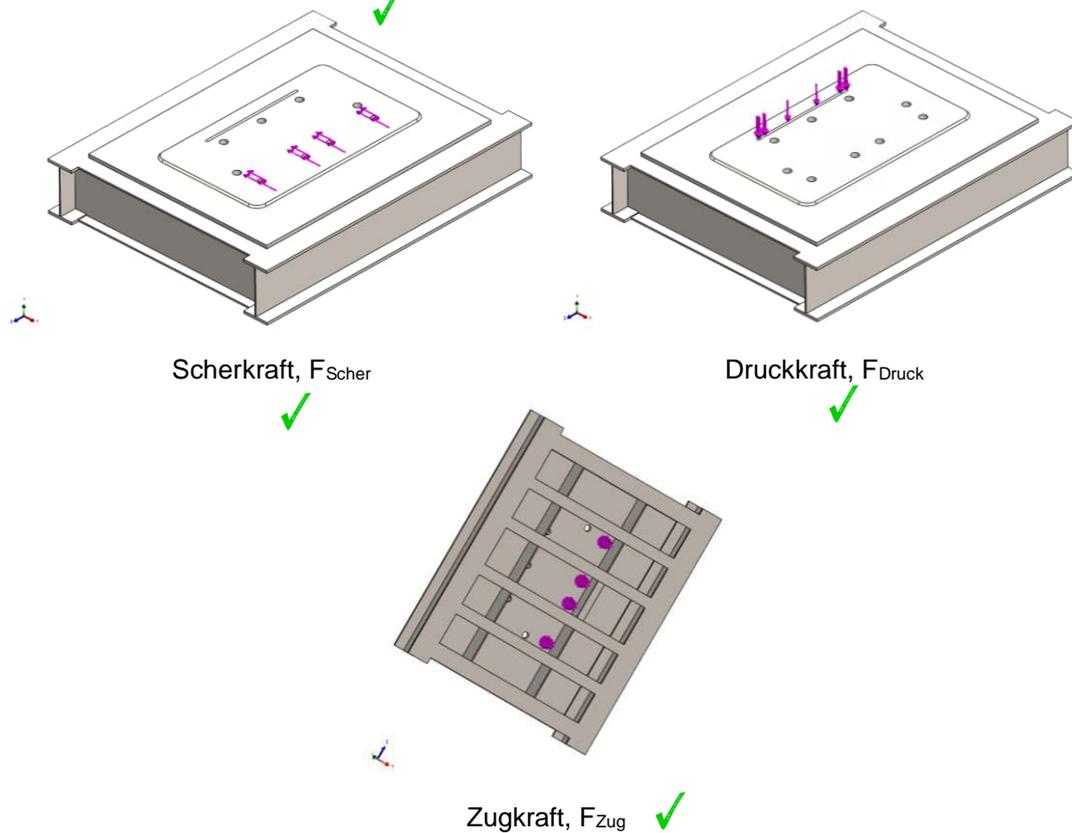


Abbildung 12-12: Kraftaufbringung in FE-Modell MD1 für QQRH (ähnlich zu den anderen MDs) ✓

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 178 von 252

12.5 FE-Netz

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

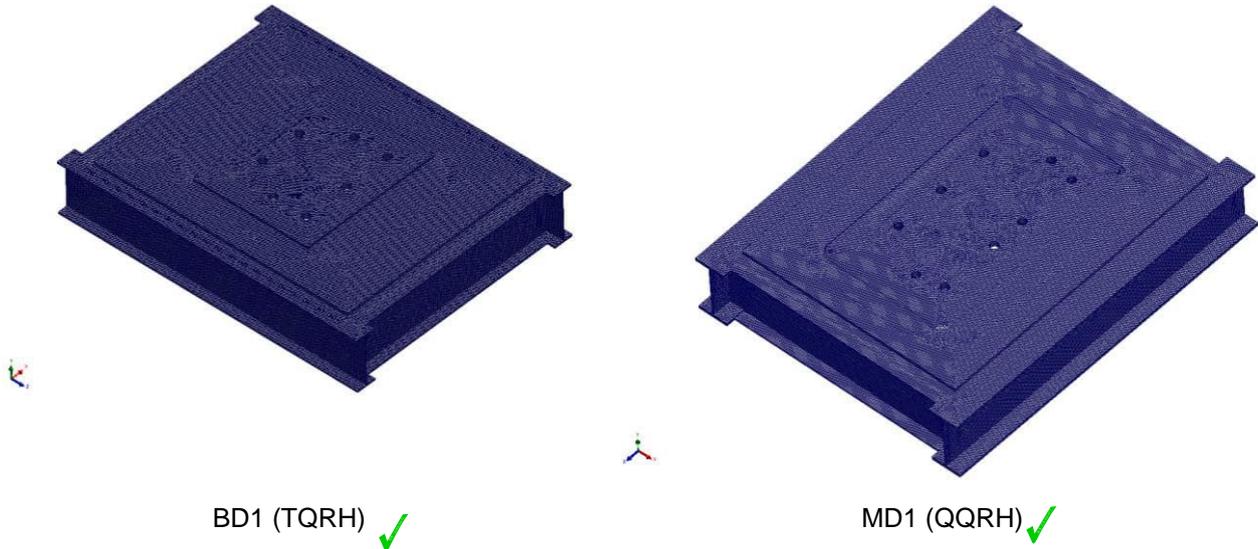


Abbildung 12-13: FE-Netz

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.

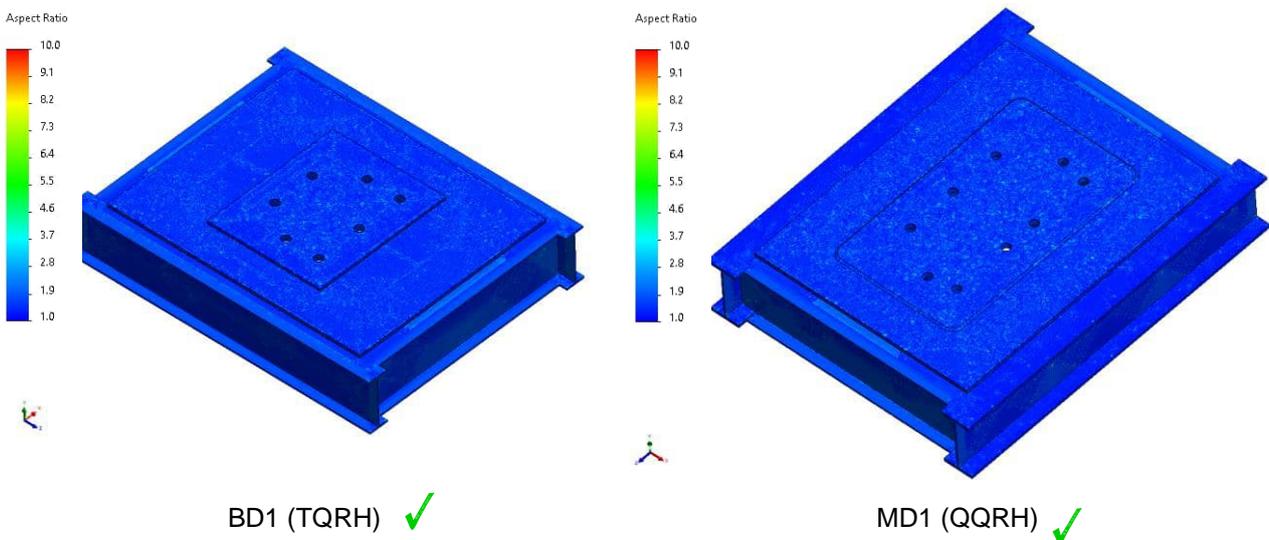


Abbildung 12-14: FE-Netz – Seitenverhältnis der Elemente

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 179 von 252

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 12-1: Netzdetails

Beschreibung	BD1 (TQRH)	MD1 (TQRH)
Netztyp	Volumen-Netz	Volumen-Netz
Verwendeter Netzgenerator	Kurvengestütztes Misch-Netz	Kurvengestütztes Misch-Netz
Jakobi-Punkte	16	16
Max. Elementgröße	20 mm	20 mm
Min. Elementgröße	2.5 mm	2.1 mm
Netzqualität	Hoch (10 Knoten)	Hoch (10 Knoten)
Anzahl Knoten	1.282.272	1.456.860
Anzahl Elemente	741.733	845.159
Max. Seitenverhältnis	19,5	7,7
Anteil Elemente mit Seitenverhältnis < 3	99,9	99,9
Anteil Elemente mit Seitenverhältnis > 10	0	0



	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 180 von 252

12.6 Ergebnisse

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

12.6.1 Spannungsergebnisse

Die folgende Abbildung zeigt die resultierenden von Mises Spannungen. Der Spannungsplot ist auf die zulässige Vergleichsspannung von 325 MPa limitiert. Alle Spannungen, die diesen Wert überschreiten werden in weiß dargestellt. Im Bereich der Schraubenköpfe wird die zulässige Spannung leicht überschritten. Ein zweiter Plot zeigt nur diese Überspannungen. Die Überspannungen an der fixierten Fläche sind nicht realistisch und tauchen aufgrund der angenommen Randbedingungen. In dieser Lokalanalyse wird nur der Bereich von dem Haken betrachtet.

Die leichten kleinen überspannten Bereiche auf der Oberseite der Schraubenlöcher werden als unkritisch betrachtet, denn in der Realität wird dieser Bereich zusätzlich durch Gegenplatte am Hook gestützt, und der Spannungsverlauf resultiert aus sehr konservativen Lastannahmen.

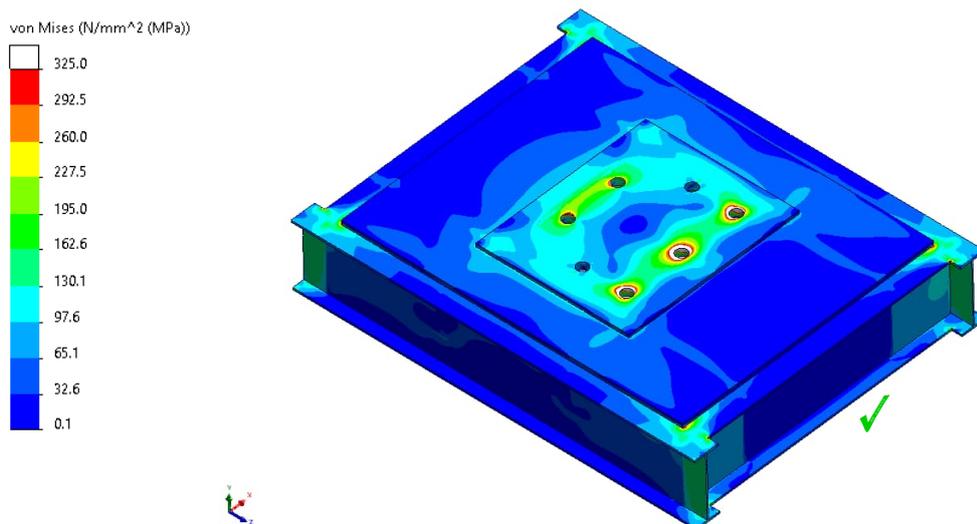


Abbildung 12-15: Spannungsergebnisse in FE-Modell BD1 für TQRH (ähnlich zu BD4) ✓

Durch Vergleichsrechnung geprüft

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 181 von 252

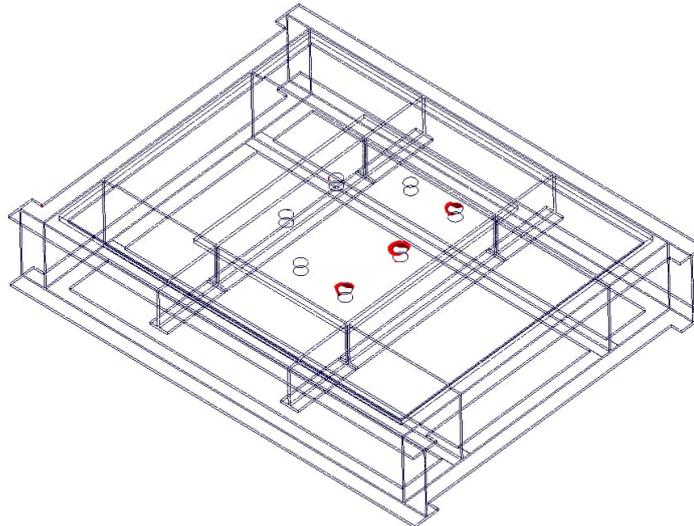
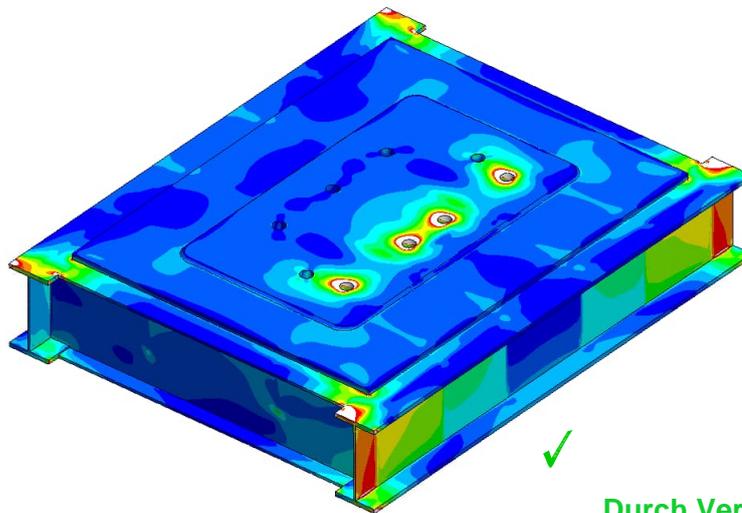
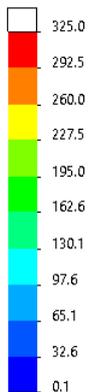


Abbildung 12-16: Überspannungen in FE-Modell BD1 für TQRH (ähnlich zu BD4) ✓

von Mises (N/mm² (MPa))



Durch Vergleichsrechnung geprüft ✓

Abbildung 12-17: Spannungsergebnisse in FE-Modell MD1 für QQRH (ähnlich zu den anderen MDs) ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 182 von 252

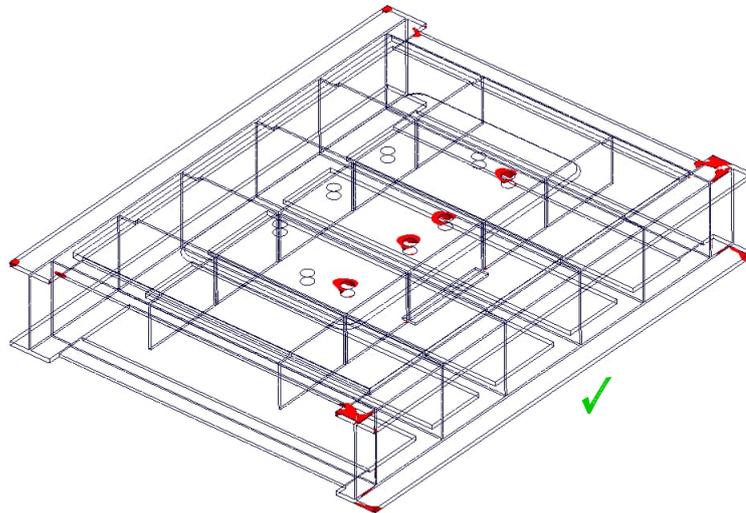


Abbildung 12-18: Überspannungen in FE-Modell MD1 für QQRH (ähnlich zu den anderen MDs) ✓

Durch Vergleichsrechnung geprüft

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 183 von 252

12.6.2 Verformungsergebnisse

Die folgende Abbildung zeigt die resultierenden Verformungen. Um die Verformung sichtbar zu machen, wurde diese mit dem Faktor 50 skaliert.

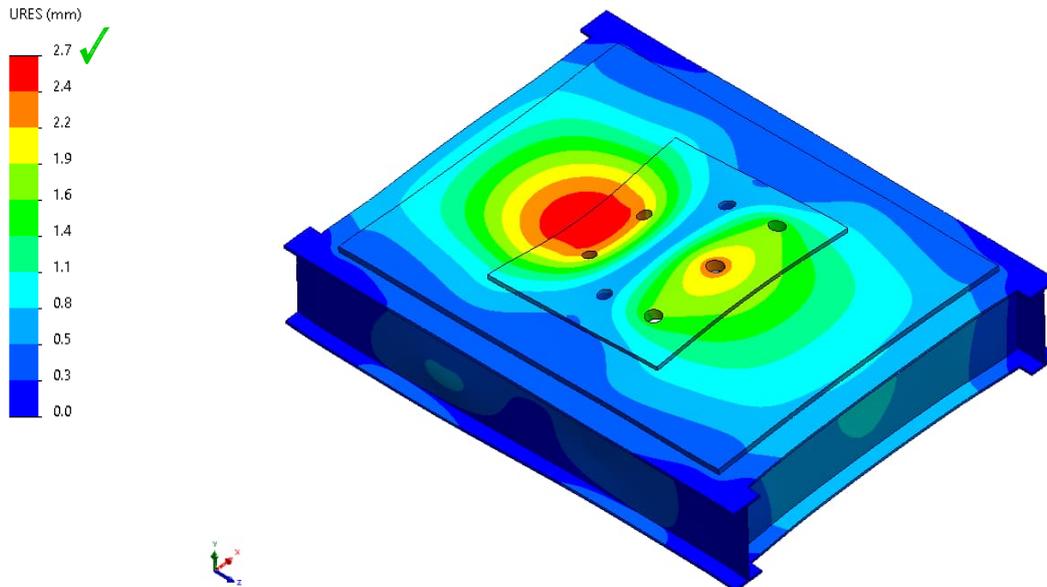
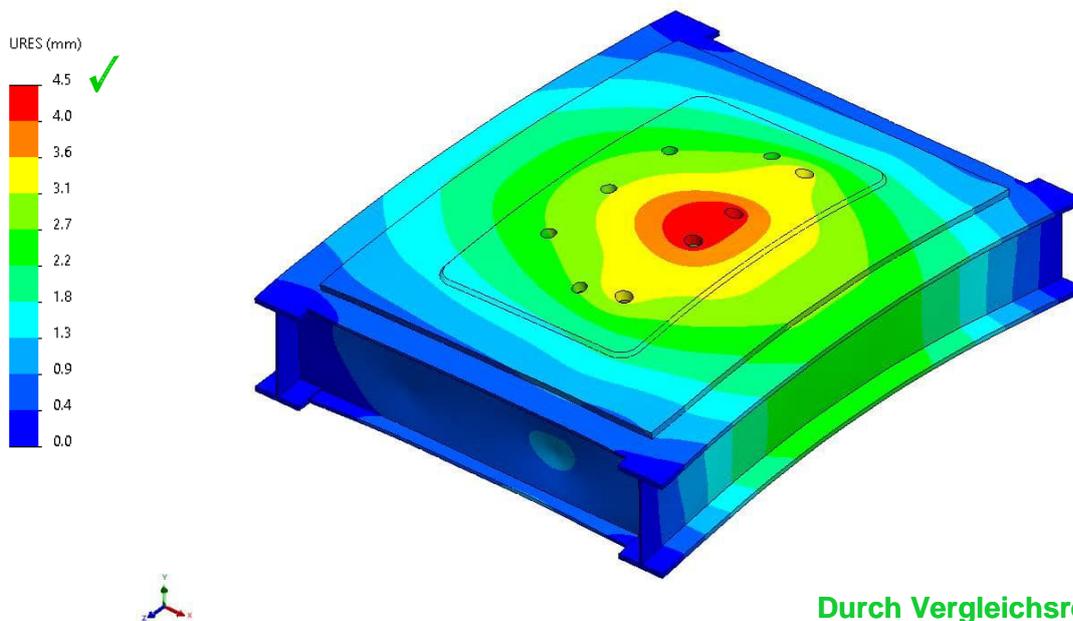


Abbildung 12-19: Verformungen in FE-Modell BD1 für TQRH (ähnlich zu BD4) ✓



Durch Vergleichsrechnung geprüft

Abbildung 12-20: Verformungen in FE-Modell MD1 für QQRH (ähnlich zu den anderen MDs) ✓

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 184 von 252

13 Lagerung der Gangwayturm auf der Plattform BD3

13.1 Beschreibung

Wie in Kapitel 6.3.4 beschrieben ist BD3 mit einem Treppenturm und dem Laufsteg zum FSRU ausgestattet. Dieser Gangwayturm ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

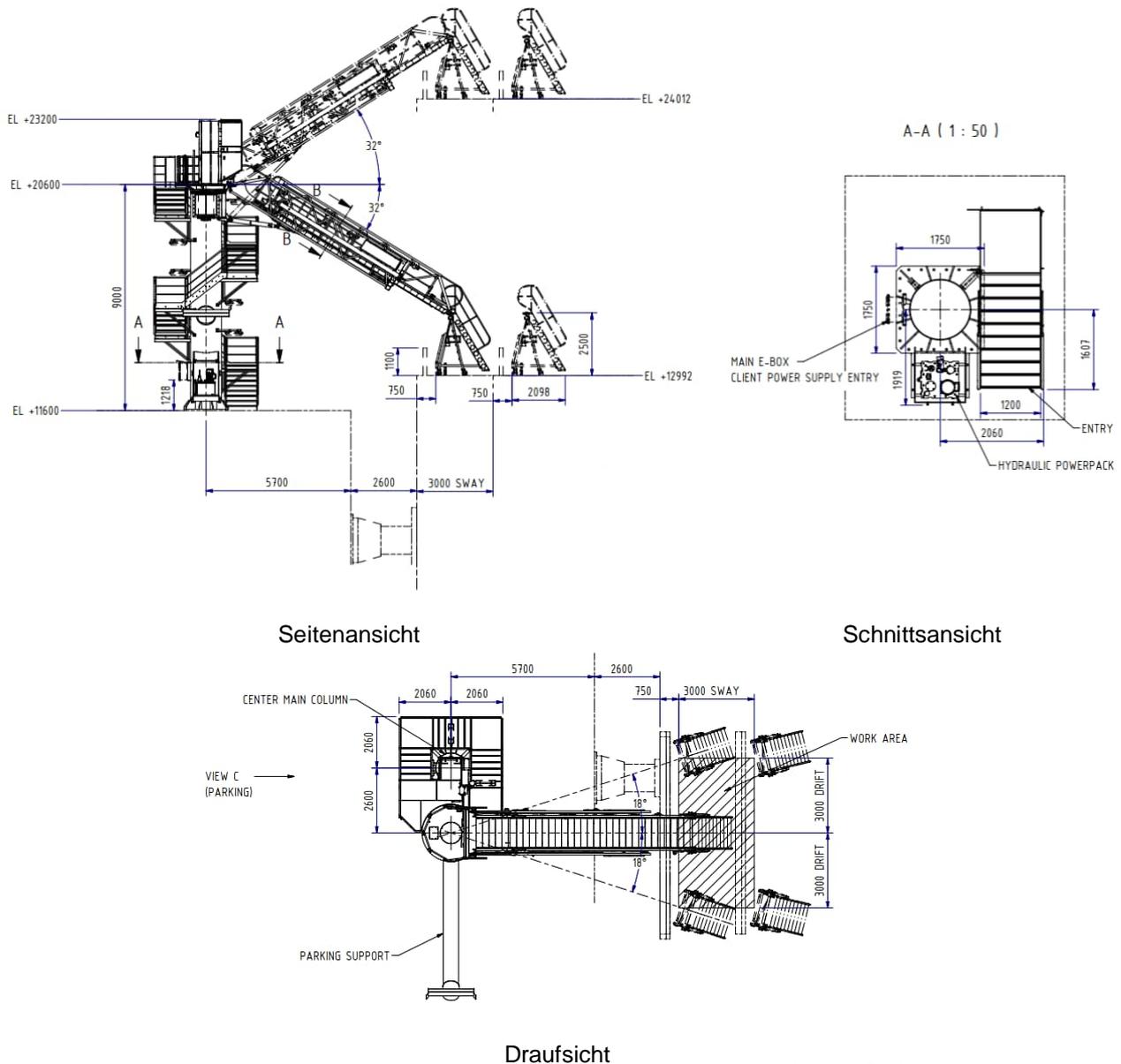


Abbildung 13-1: Gangwayturm, Ref.

siehe Seite 35

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 185 von 252

Der Gangwayturm wird mit einer Grundplatte und Schrauben geliefert. Mittels dieser werden der Turm zur Plattform verbunden. Die Deckplatte besteht aus einer 40 mm dicke Deckplatte.

Die geometrischen Abmessungen der Schraubenverbindungen und die lokale Deckstrukturen unterhalb sind unten dargestellt.

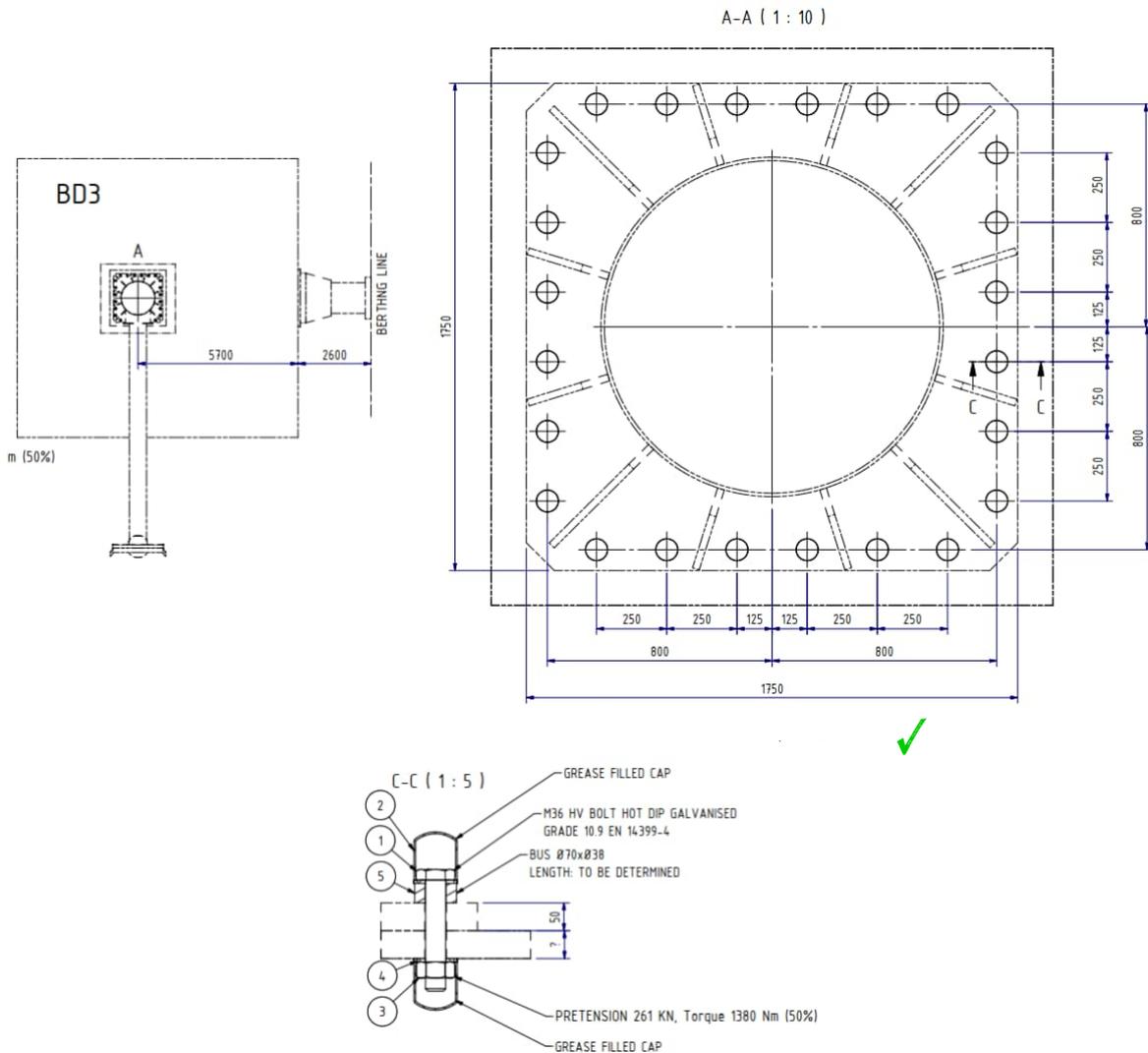


Abbildung 13-2: Geometrische Abmessungen der Schraubenverbindung von Gangwayturm, Ref. [26.] ✓

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 186 von 252

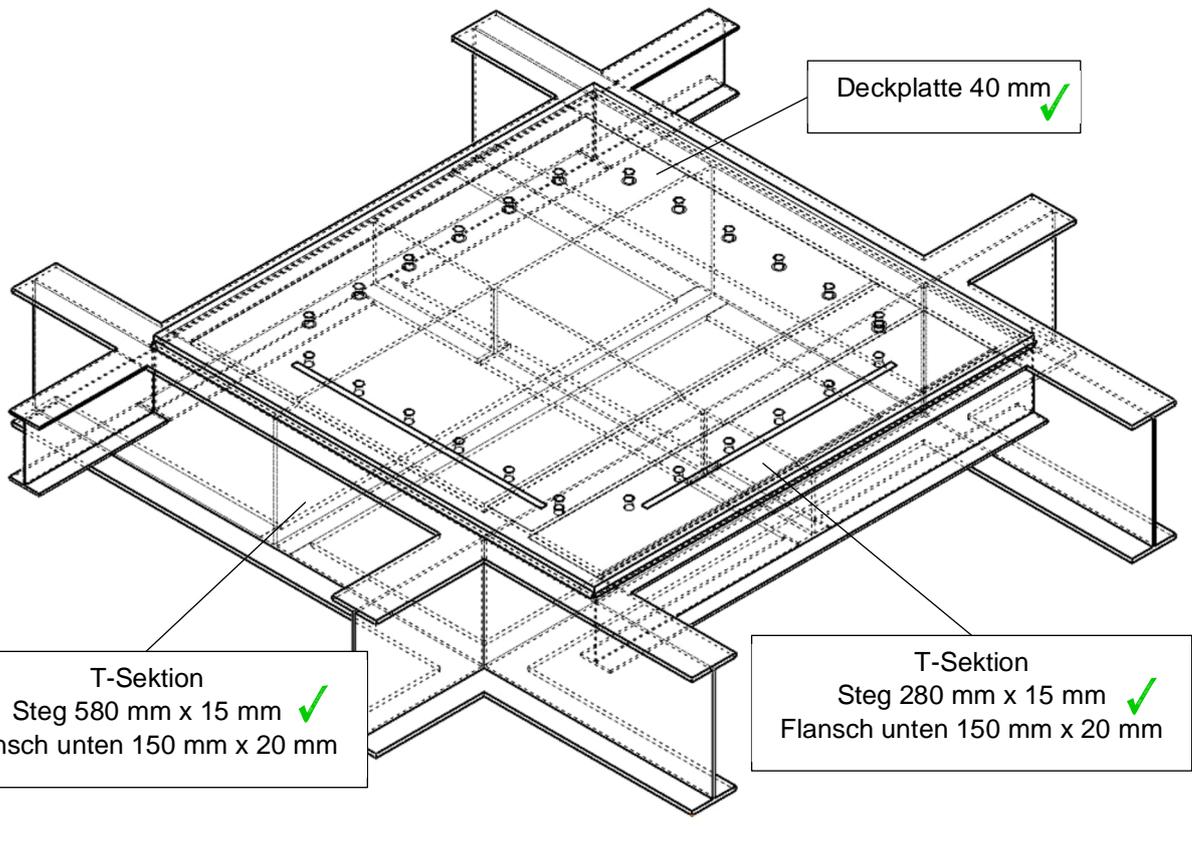


Abbildung 13-3: Lokale Deckstruktur BD3 unter dem Gangwayturm ✓

Im Folgenden werden die lokale Deckstruktur als dreidimensionales FE Modelle in SolidWorks [b] analysiert. Es ist zu notiert, dass der Nachweis der Schraubenverbindung von dem Gangwayturm nicht das Teil dieses Dokument ist.

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 187 von 252

13.2 Modelbeschreibung

Die Modelle entsprechen die lokale Deckstrukturen unter dem Gangwayturm und bestehen aus den Deckträger, Deckplatte und die Schraubenlöcher (siehe auch Abbildung 13-2).

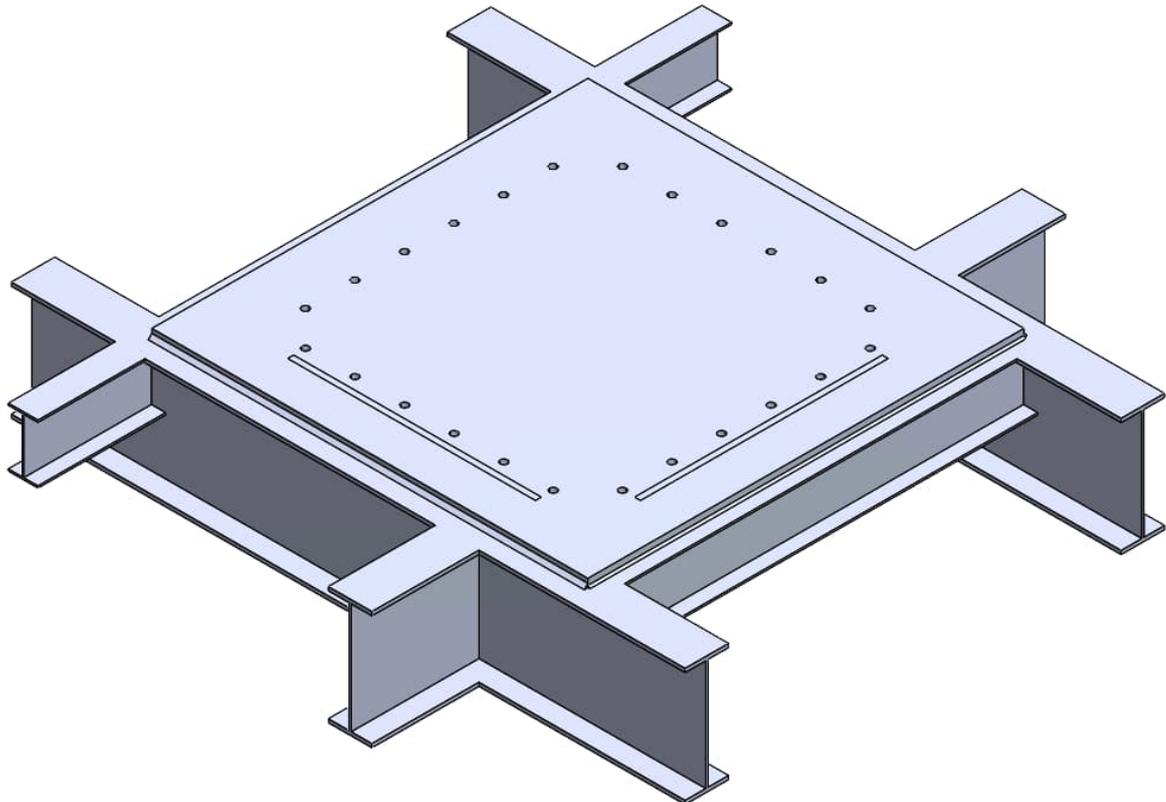


Abbildung 13-4: FE Model Lokale Deckstruktur BD3 ✓

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 188 von 252

13.3 Randbedingungen

Für den lokalen Nachweis der Deckstruktur aufgrund der Lasten von Gangwayturm ist das Modell an jeweils seinen Schnittenden in fixiert.

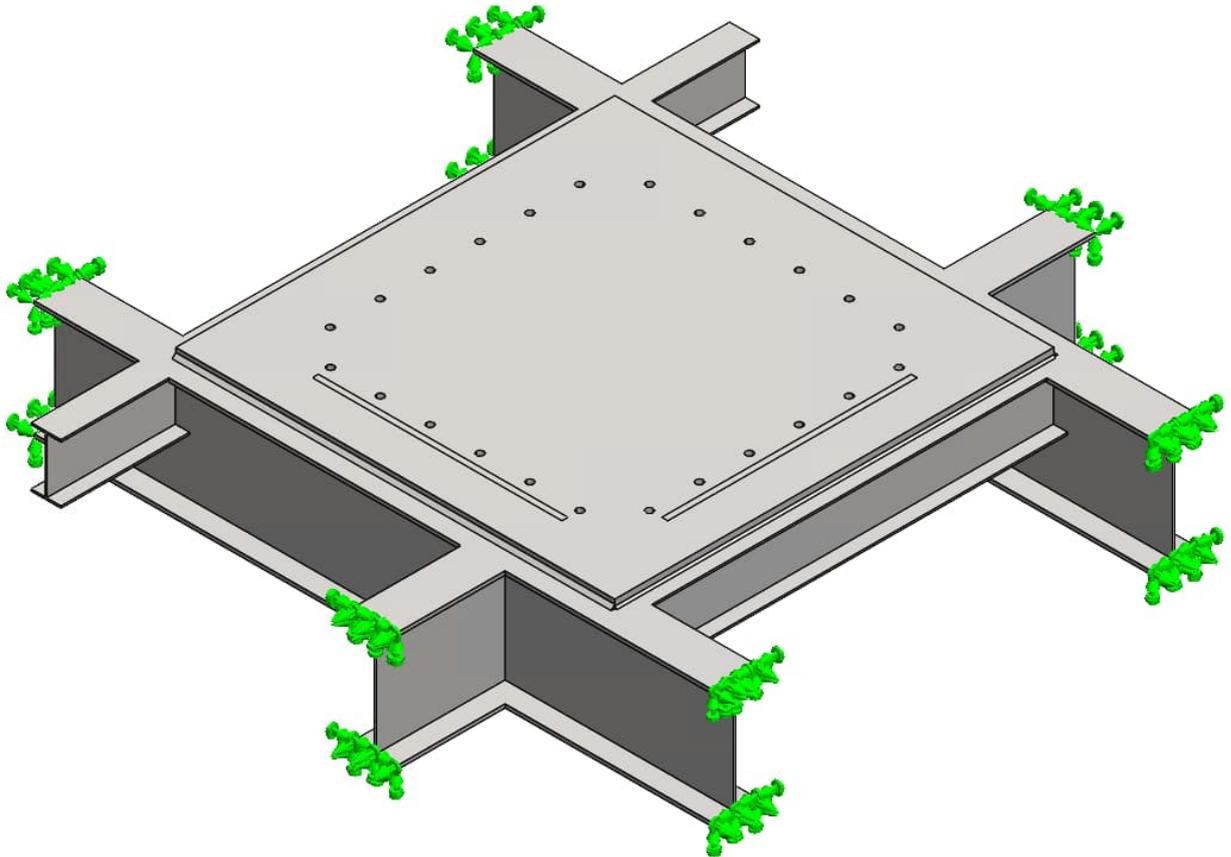


Abbildung 13-5: Randbedingungen Lokal Deckstruktur BD3 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 189 von 252

13.4 Lasten

Die Lagerlasten des Treppenturms sind nach Ref. [27.] extrahiert.

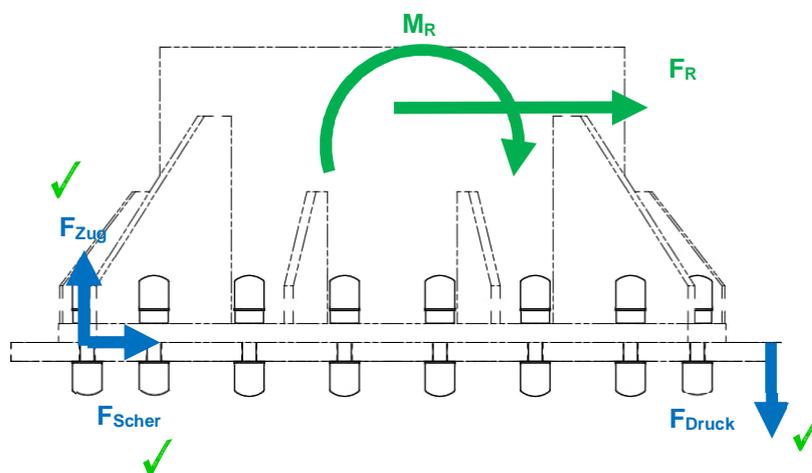
Tabelle 13-1: Schnittstellenlasten

Lastfall (LC)	Resultierende Horizontallast, F_R [kN]	Vertikal -Last, F_z [kN]	Resultierendes Biegemoment, M_R [kNm]	Drehmoment, M_z [kNm]
LC 17	22,9	348,5	968,9	19,5
LC1	32,9	348,5	780,7	19,5
LC 2	138,4	432,7	1.837,8	1,0
LC 6	174,0	432,7	1.443,6	656,0
Max.	174,0	432,7	1.837,8	656,0

Um das Biegemoment, M_R aufzunehmen, kommt es zu Zugkräften in den Schrauben. Die Zugkraft, F_{Zug} wird konservativ gleichmäßig verteilt auf nur die hinteren Schrauben. Für die Aufnahme der Druckkraft, F_{Druck} wird die Kante auf der Seite des Gangways angesetzt. Die Länge, L zwischen der Druckkraft und Zugkraft ist in der Abbildung unten angegeben. Die Scherkräfte, F_{Scher} aufgrund der Horizontallast, F_R und des Drehmoment, M_z wird konservativ gleichmäßig verteilt auf die 12 Schrauben, wie in der nächsten Abbildung gezeigt. Der Mindestabstand zwischen den Schrauben und der Mitte von Säule ist als der Radius, R für das Drehmoment genommen (siehe auch die Abbildung unten).

Die folgenden Schraubenkräfte sind bestimmt. Maximale Werte von den Schnittstellenlasten von aller Lastfälle in der Tabelle oben sind für die Bestimmung von den Kräfte berücksichtigt.

- Zugkraft pro Schrauben, $F_{Zug,B}$ = $M_R / (L * n_B)$
 = $1.837,8 \text{ kNm} / (1,68 \text{ m} * 6) = 182,3 \text{ kN}$ ✓
- Druckkraft auf einer Kante, F_{Druck} = $n_B * F_{Zug,B} = 6 * 182,3 \text{ kN} = 1.093,9 \text{ kN}$ ✓
- Scherkraft pro Schrauben, $F_{Scher,B}$ = $(F_R + M_z/R) / n_B$
 = $(174,0 \text{ kN} + 656,0 \text{ kNm} / 0,8\text{m}) / 12 = 82,8 \text{ kN}$ ✓



  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 190 von 252

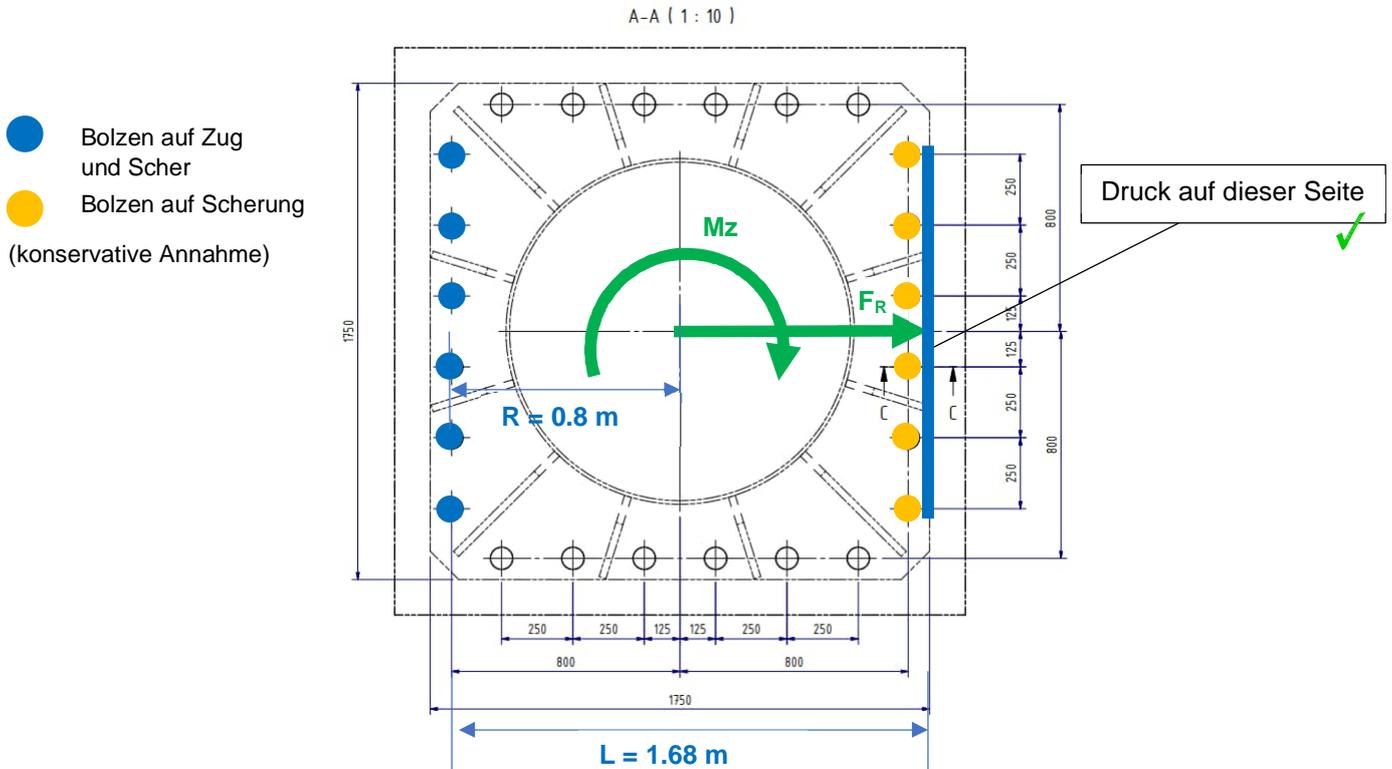


Abbildung 13-6: Lasten Gangway ✓

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 191 von 252

In der Abbildung unten ist die Kraftaufbringung in FE-Modell dargestellt. Die Scherkraft wird als Lagerbelastung auf die Löcher aufgebracht. Die Zugkraft wird auf die Schraubenköpfe aufgebracht und die Druckkraft konservativ auf eine Fläche von 1,250 mm x 30 mm aufgebracht.

Hier sind 2 LCOMs untersucht. Die LCOM1 entspricht der Gangway Position im Betrieb während die LCOM2 entspricht der Gangway Position im Staustellung.

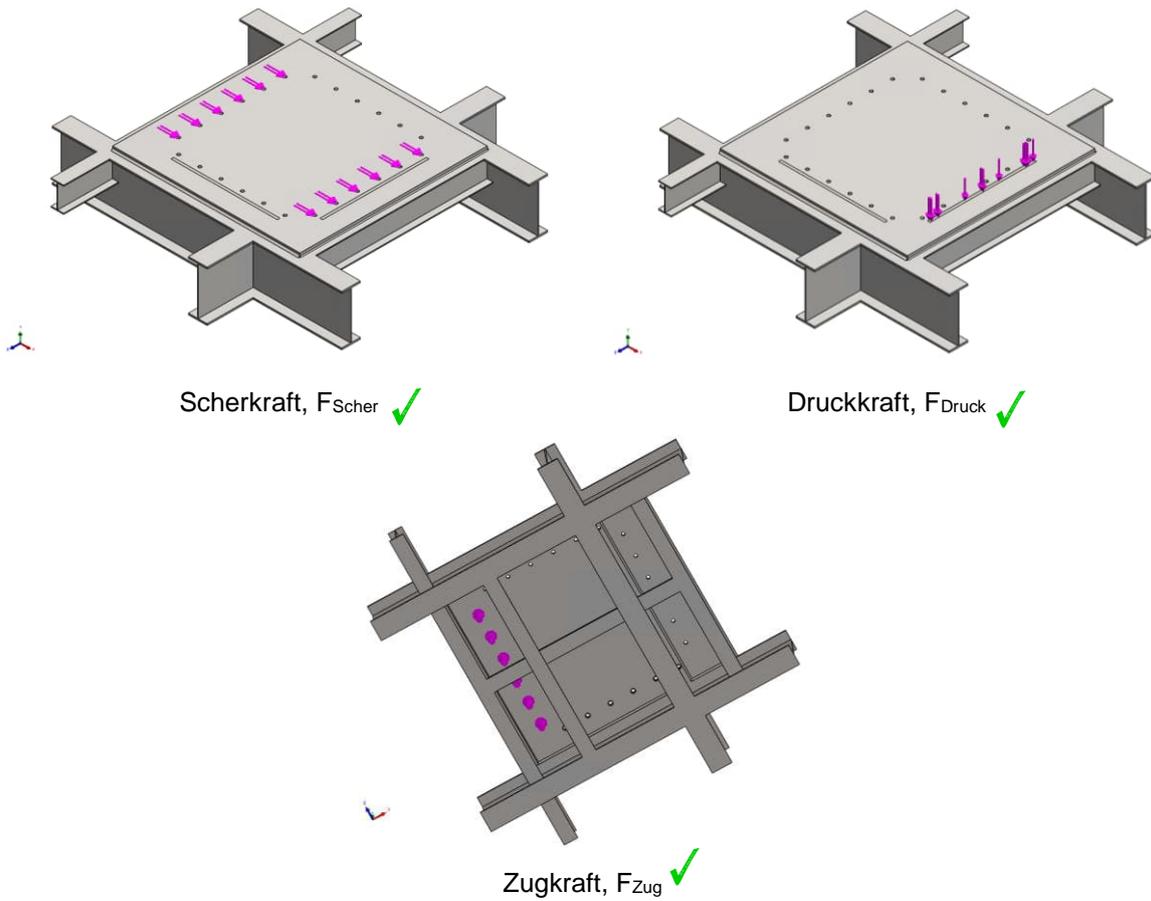


Abbildung 13-7: Kraftaufbringung LCOM1 in FE-Modell BD3

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 192 von 252

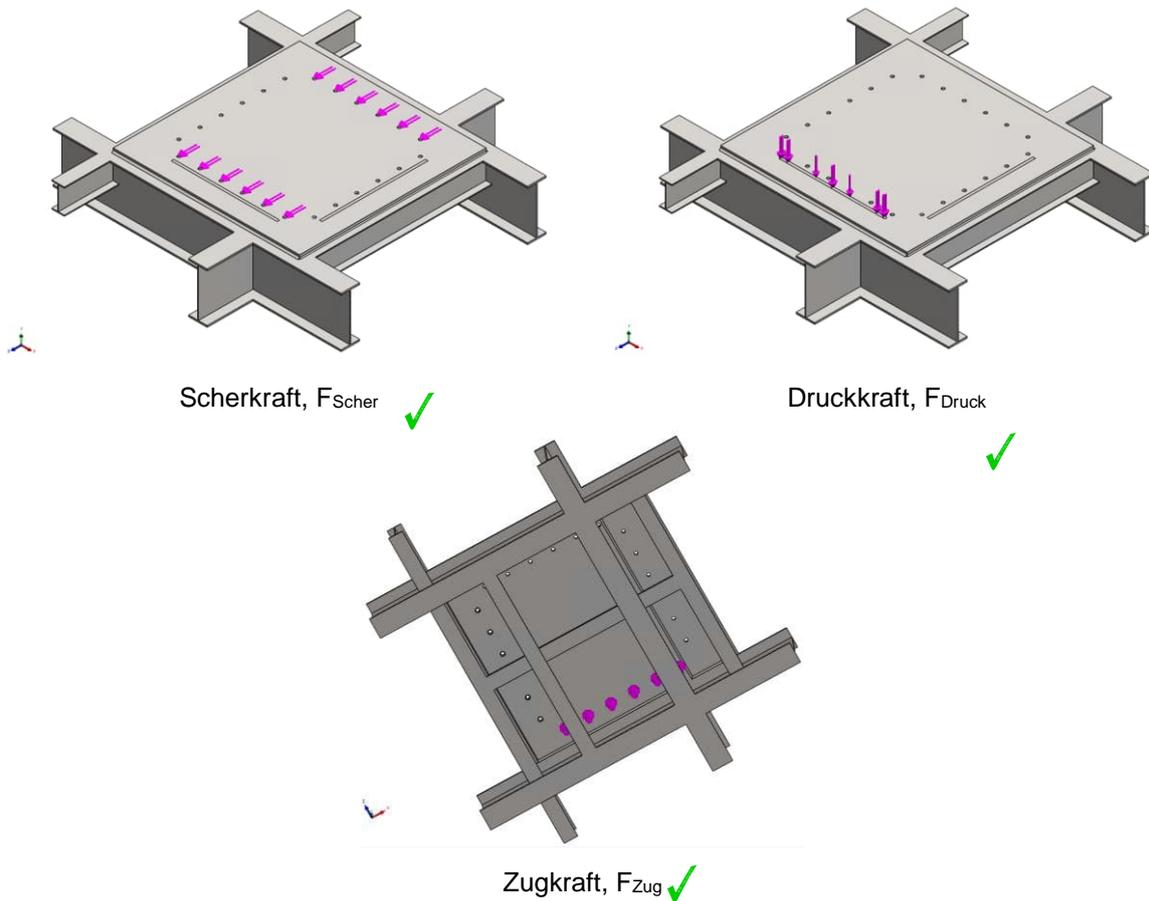


Abbildung 13-8: Kraftaufbringung LCOM2 in FE-Modell BD3 ✓

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 193 von 252

13.5 FE-Netz

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

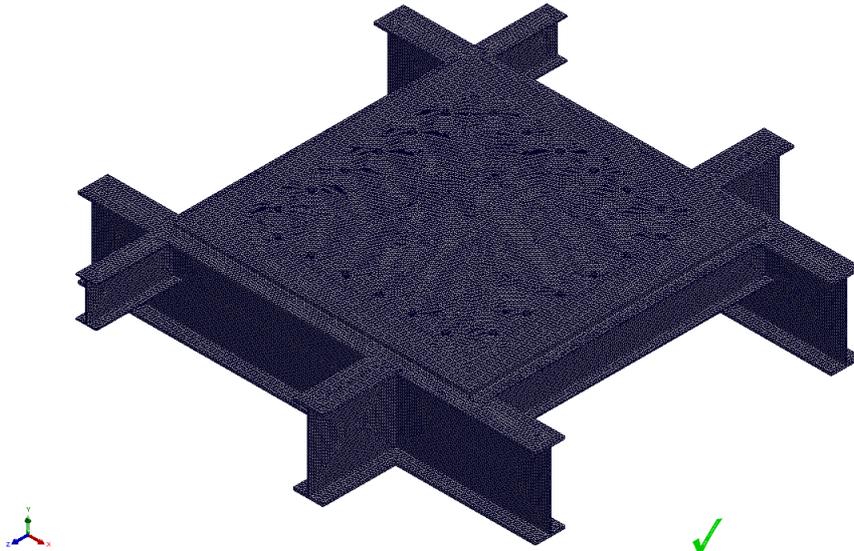


Abbildung 13-9: FE-Netz

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.

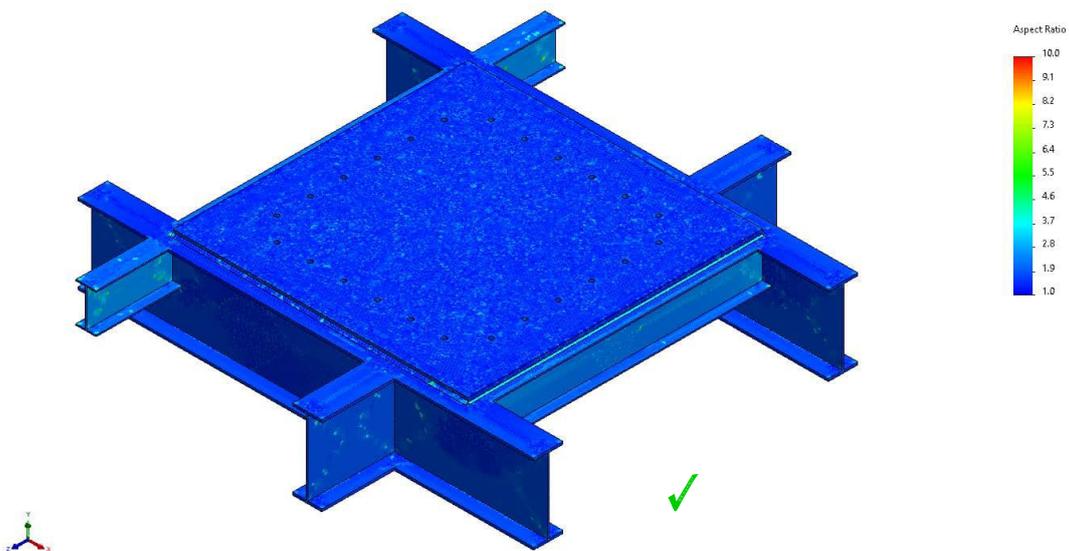


Abbildung 13-10: FE-Netz – Seitenverhältnis der Elemente

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 194 von 252

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	Lokal BD3
Netztyp	Volumen-Netz
Verwendeter Netzgenerator	Kurvengestütztes Misch-Netz
Jakobi-Punkte	16
Max. Elementgröße	20 mm
Min. Elementgröße	2.2 mm
Netzqualität	Hoch (10 Knoten)
Anzahl Knoten	952.844
Anzahl Elemente	531.644
Max. Seitenverhältnis	27,3
Anteil Elemente mit Seitenverhältnis < 3	98,1
Anteil Elemente mit Seitenverhältnis > 10	0,9



 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 195 von 252

13.6 Ergebnisse

In den folgenden Kapiteln werden die resultierenden Spannungen und Verformungen für die Deckstruktur gezeigt. Nur die Ergebnisse von dem schlimmsten Fall (hier LCOM2) sind in den folgenden Kapitel dargestellt.

13.6.1 Spannungsergebnisse

Die folgende Abbildung zeigt die resultierenden von Mises Spannungen. Der Spannungsplot ist auf die zulässige Vergleichsspannung von 345 MPa limitiert. Alle Spannungen, die diesen Wert überschreiten werden in weiß dargestellt. Im Bereich der Schraubenköpfe wird die zulässige Spannung leicht überschritten. Ein zweiter Plot zeigt nur diese Überspannungen. Die hier dargestellten Überspannungen werden als unkritisch eingestuft, weil die Bereich sehr lokal begrenzt sind, weil die Lastannahmen (maximale Schnittgrößen pro globalem Lastfall konservativ überlagert und in 2 Richtungen konservativ aufgebracht) und weil in der Realität die Gegenplatte an der Basis des Gangwayturms gegenwirkt und stabilisiert.

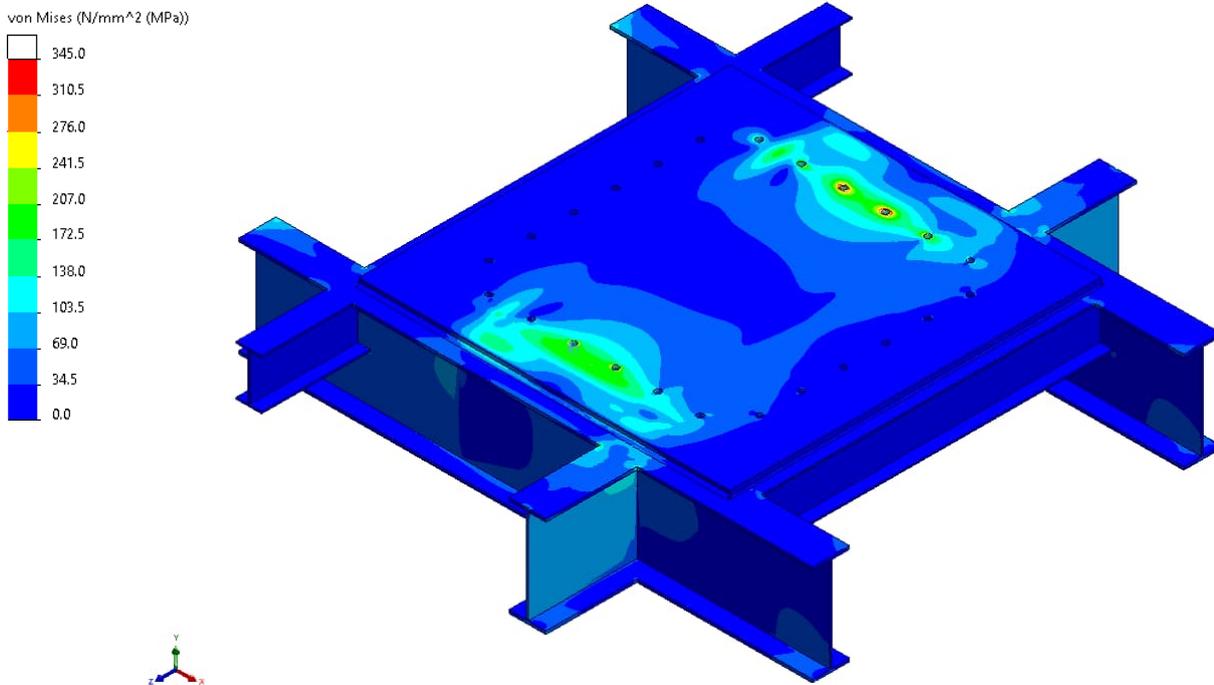


Abbildung 13-11: Spannungsergebnisse in FE-Modell BD3, LCOM2 ✓

Durch Vergleichsrechnung geprüft

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 196 von 252

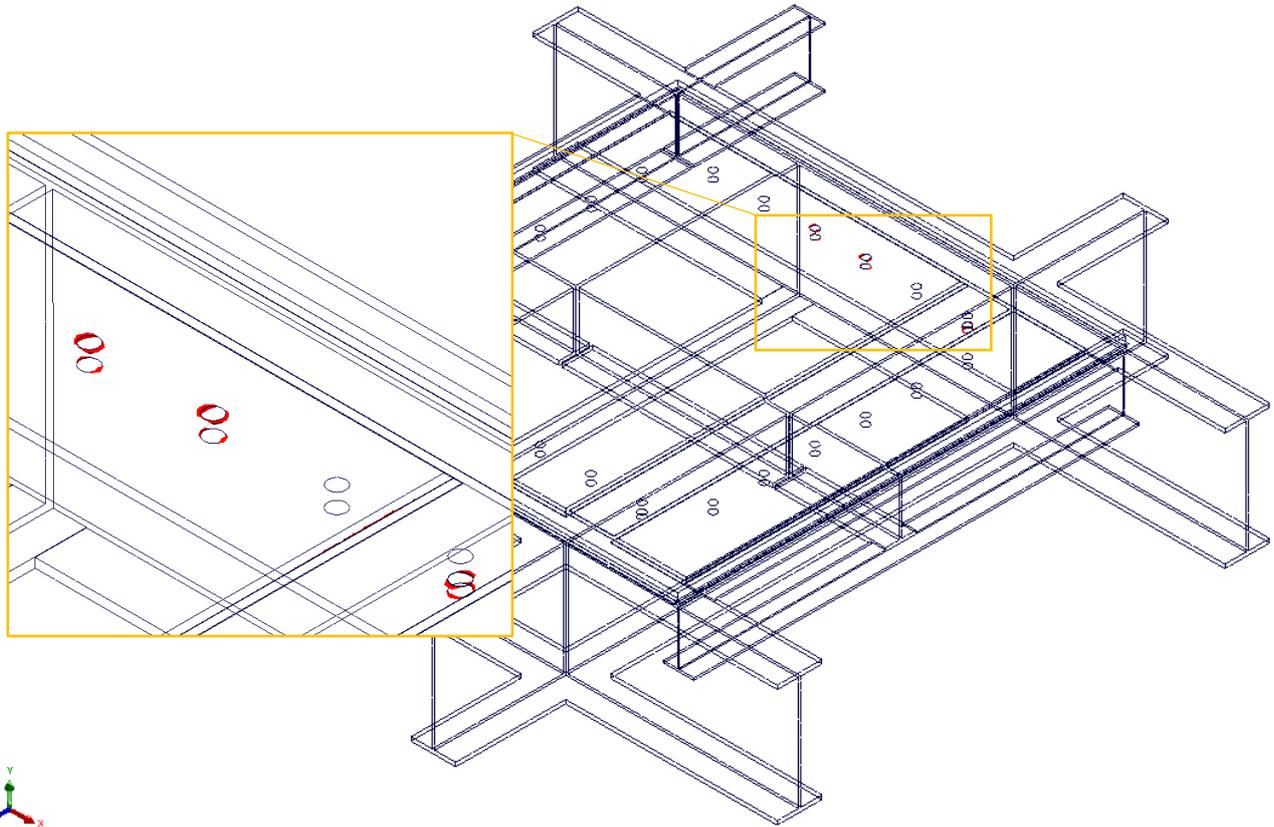


Abbildung 13-12: Überspannungen in FE-Modell BD3 ✓

Durch Vergleichsrechnung geprüft

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 197 von 252

13.6.2 Verformungsergebnisse

Die folgende Abbildung zeigt die resultierende Verformungen. Um die Verformung sichtbar zu machen, wurde diese mit dem Faktor 50 skaliert.

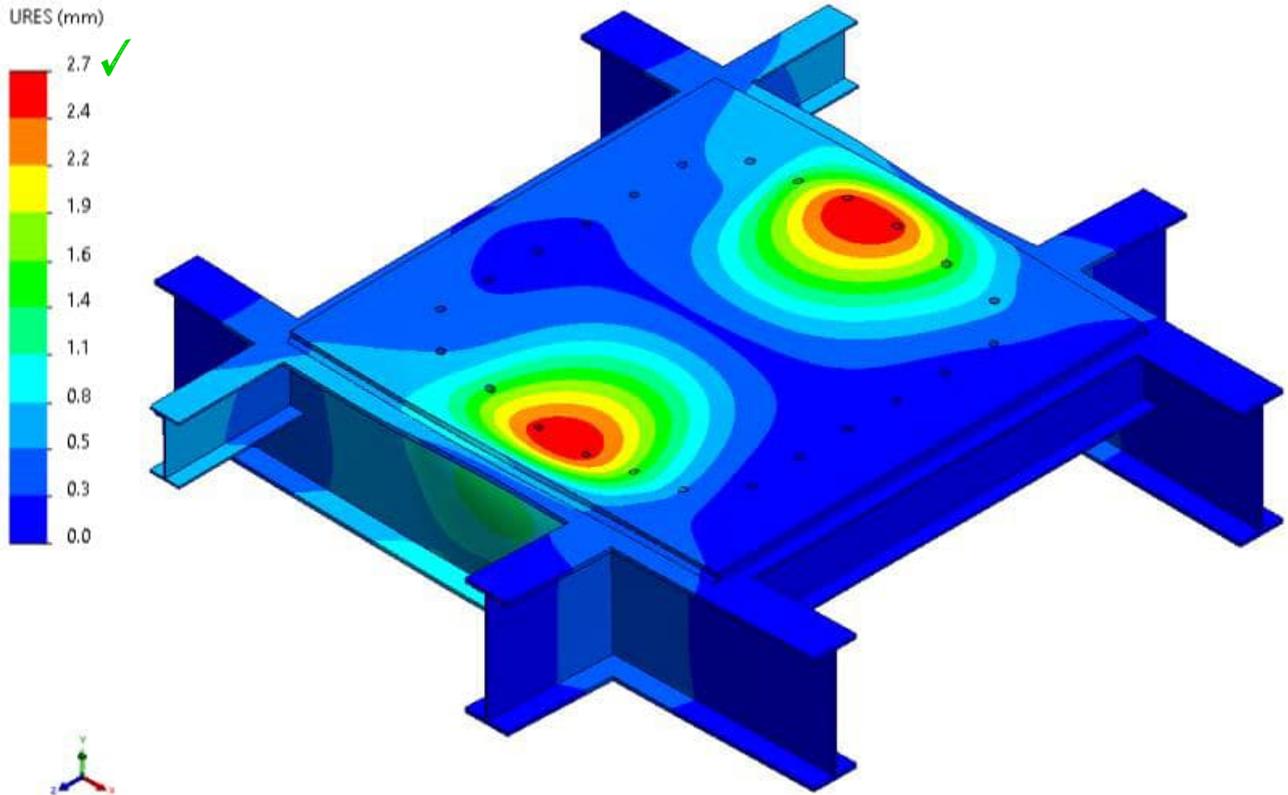


Abbildung 13-13: Verformungen in FE-Modell BD3



Durch Vergleichsrechnung geprüft

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 198 von 252

14 Lokale Nachweise der Brückenlager

14.1 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 Brücken außer Brücke 4. Die Brücke 4 wird aufgrund der signifikant höheren Reaktionslasten gesondert analysiert.

14.2 Strukturelle Berechnung

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

14.2.1 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 (horizontal Lastabtrag) und die Größe der seitlichen Vertikal-Auflagerflächen reduziert. An den Seiten befindet sich jeweils eine Gleitplatte für den vertikalen Lastabtrag.

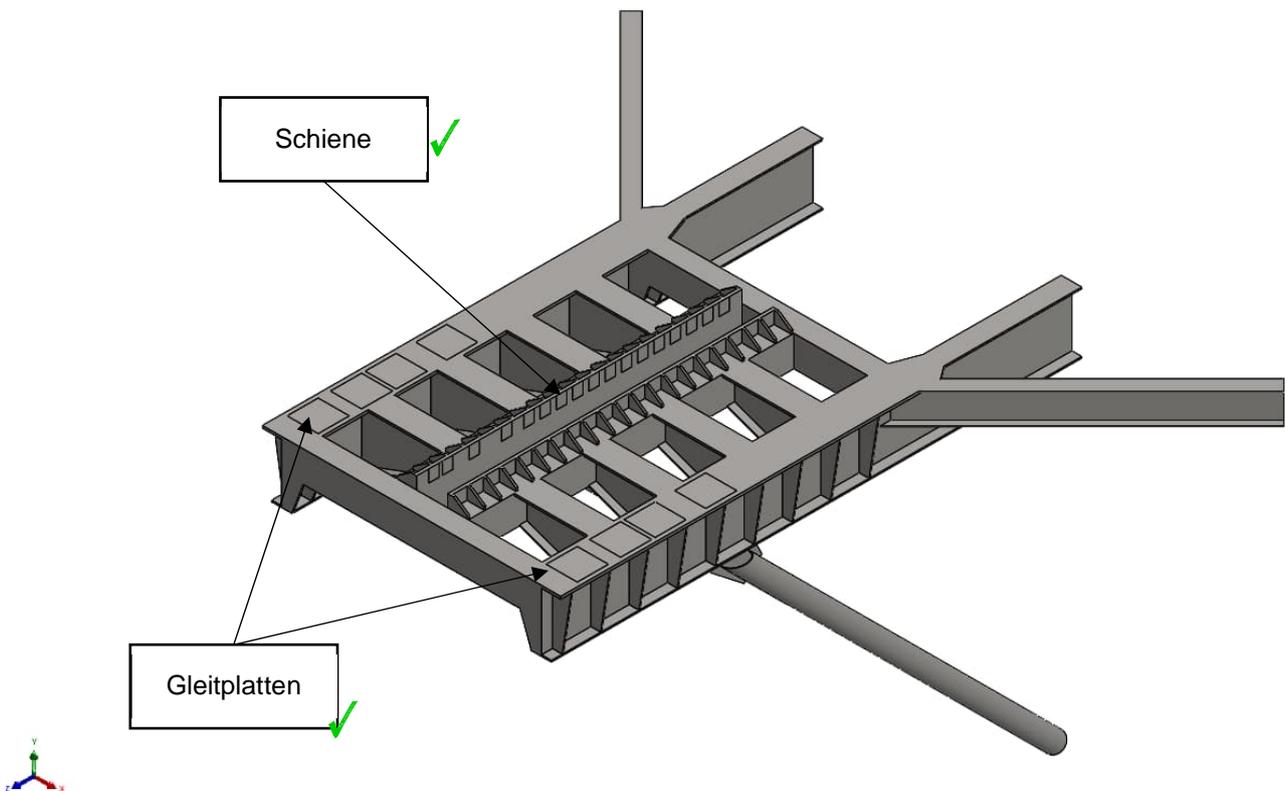


Abbildung 14-1: Gleitlager für alle Brücken außer Brücke B4 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		

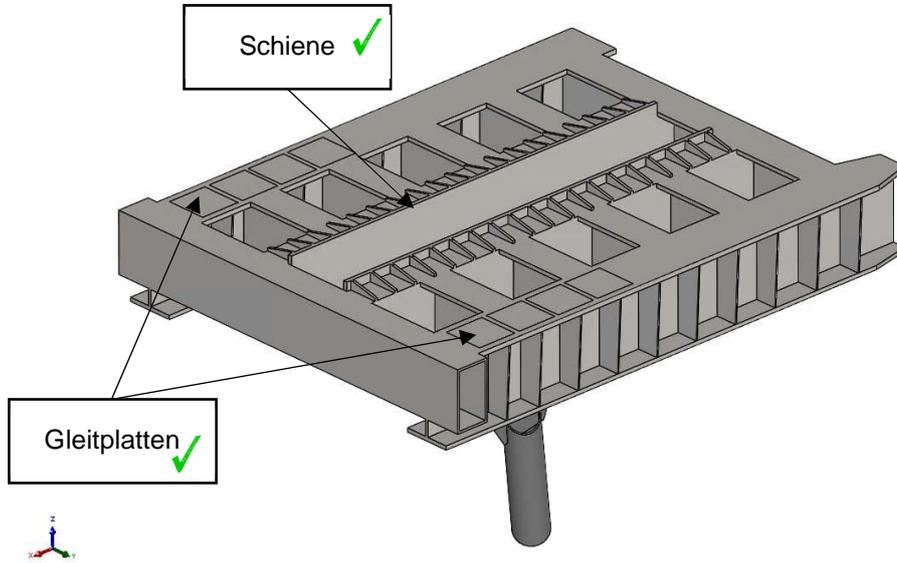


Abbildung 14-2: Gleitlager für Brücke B4 ✓

14.2.2 Gelenklager

Das Gelenklager besteht aus einer Hülse für den Pin (horizontal Lastabtrag) sowie zwei seitlich angeordneten Gleitplatten (vertikaler Lastabtrag).

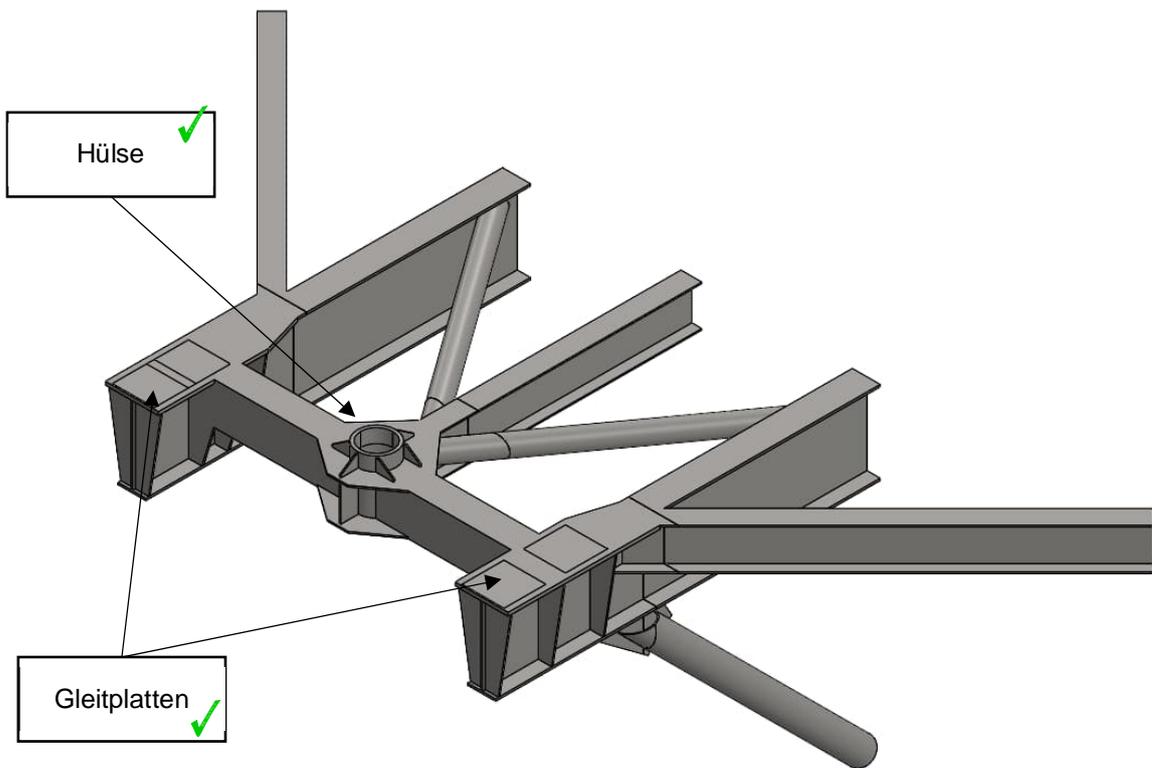


Abbildung 14-3: Gelenklager für alle Brücken außer Brücke B4 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 200 von 252

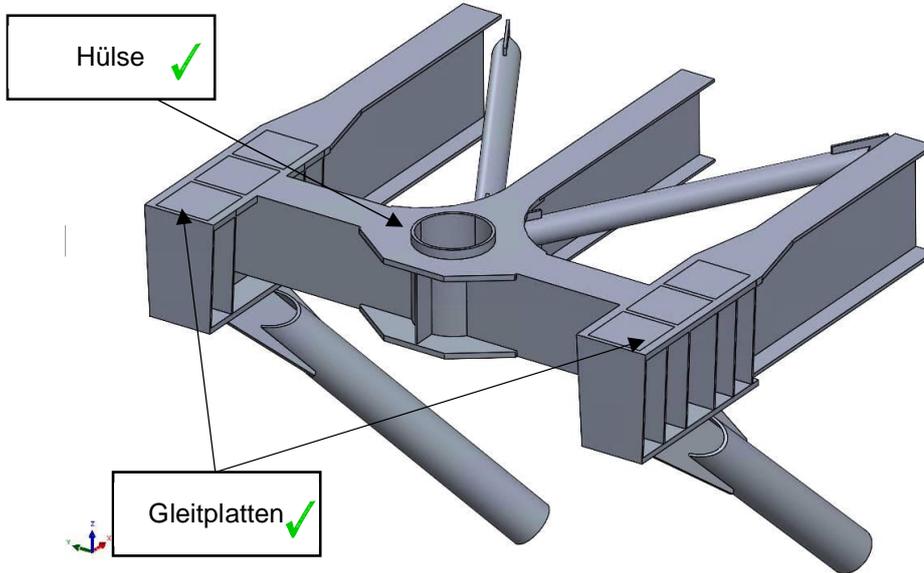


Abbildung 14-4: Gelenklager für Brücke B4

14.2.3 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.

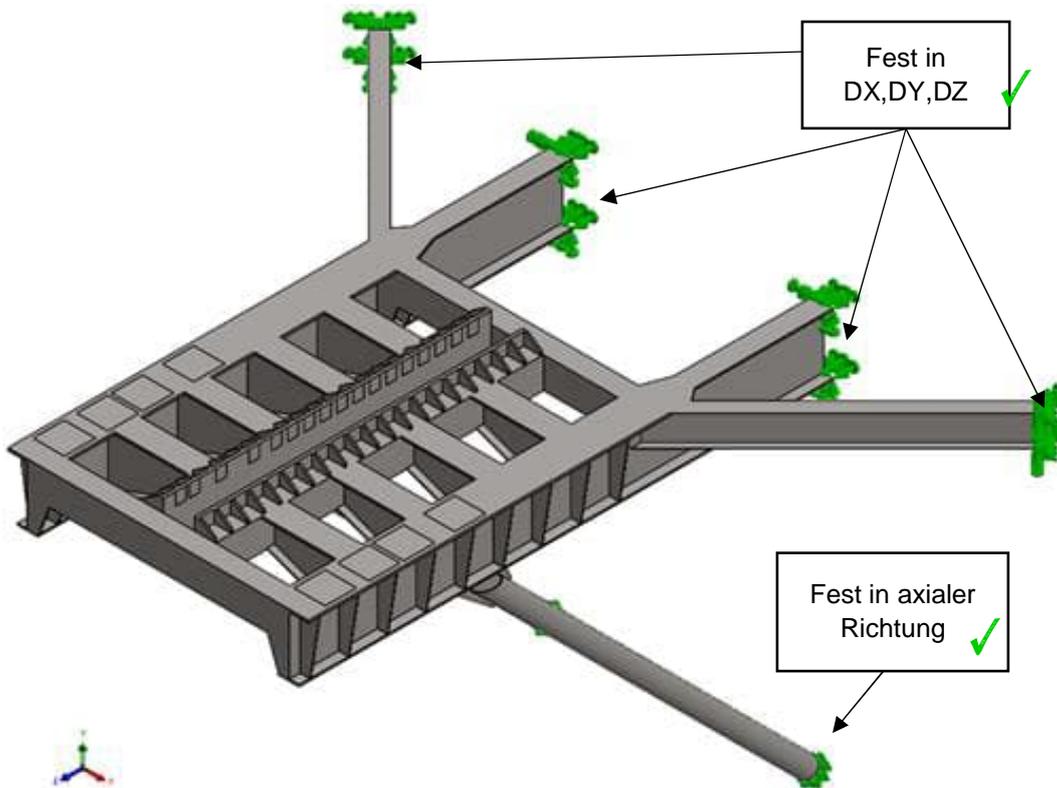


Abbildung 14-5: Randbedingungen Gleitlager für alle Brücken außer B4 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 201 von 252

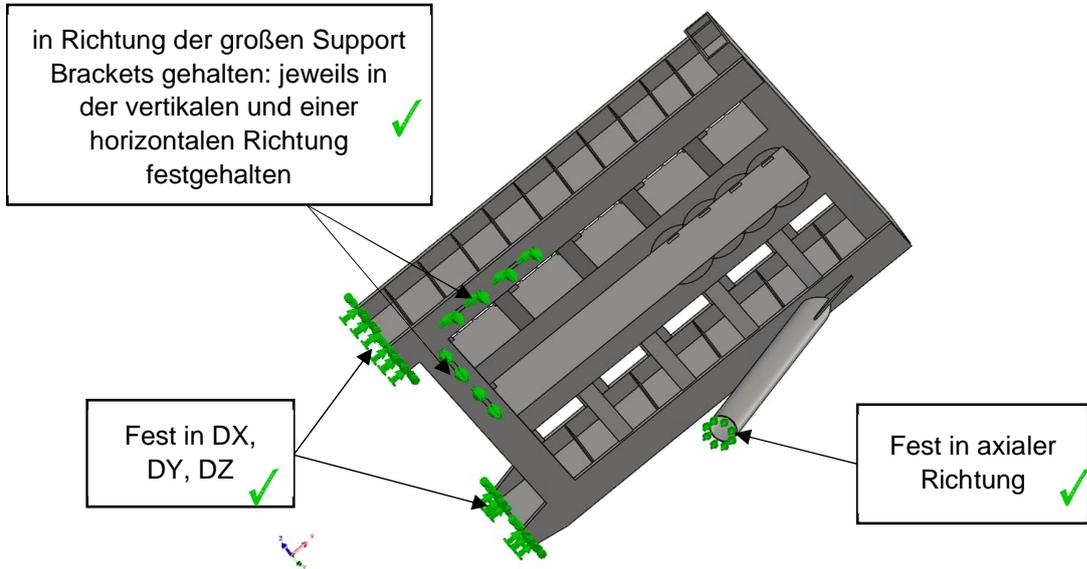


Abbildung 14-6: Randbedingungen Gleitlager für Brücke B4 ✓

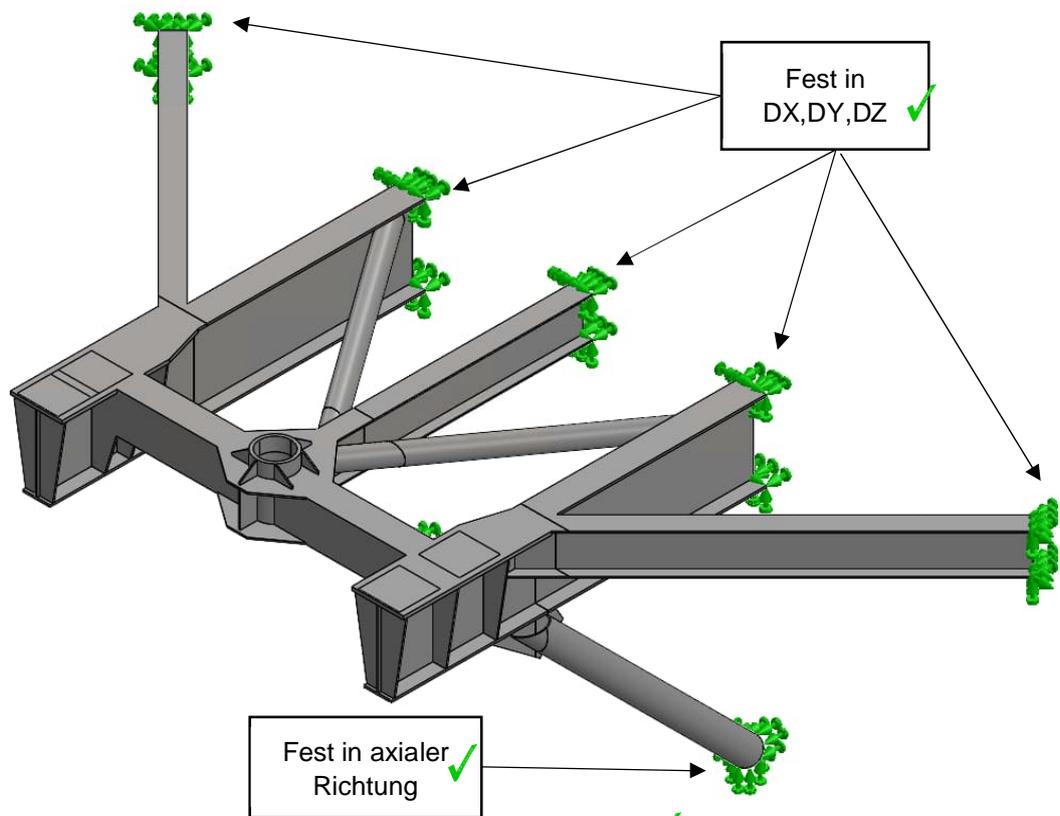


Abbildung 14-7: Randbedingungen Gelenklager für alle Brücken außer Brücke B4 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 202 von 252

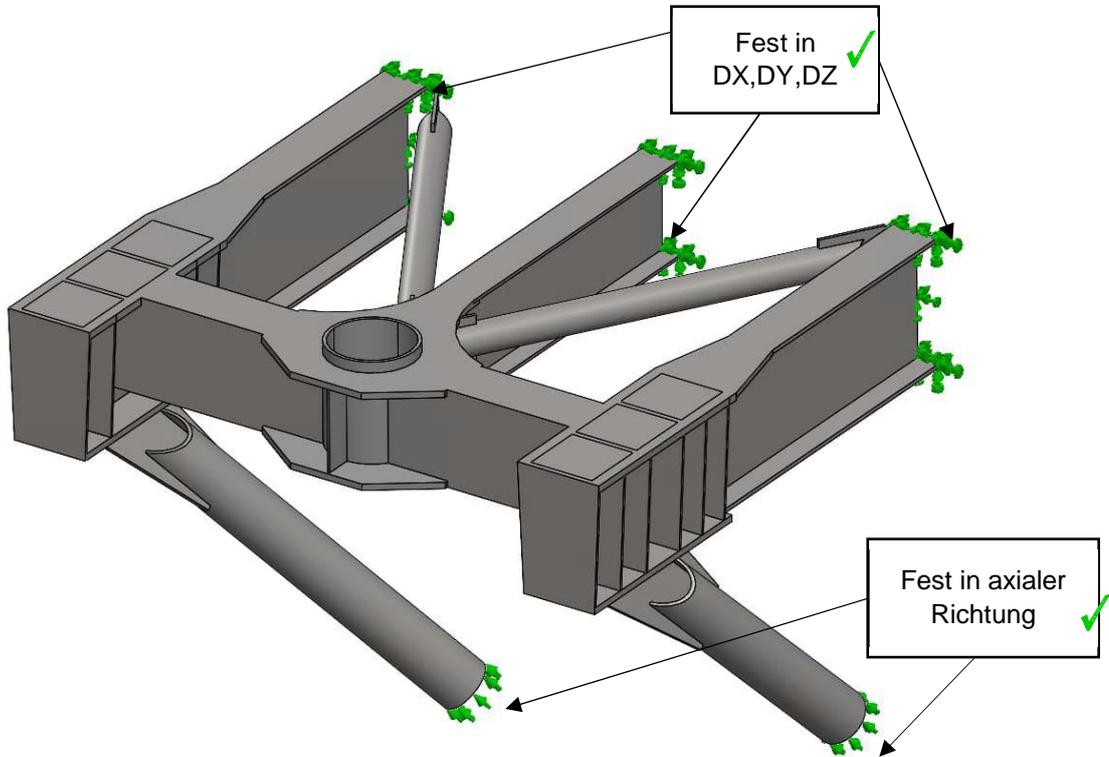


Abbildung 14-8: Randbedingungen Gelenklager für Brücke B4

14.2.4 Lasten

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

Tabelle 14-1: DesignLasten für die Brückenlager ✓

Reaktionslasten	Designlast [kN]
Vertikal (Druck)	500 ✓
Horizontal (y-Richtung)	320 ✓
Horizontal (x-Richtung)	150 ✓

Tabelle 14-2: DesignLasten für die Brückenlager für Brücke B4 ✓

Reaktionslasten	Designlast [kN]
Vertikal (Druck)	1,523 ✓
Vertikal (Auftrieb)	-1,050 ✓
Horizontal (y-Richtung)	323 ✓
Horizontal (x-Richtung)	457 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 203 von 252

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.

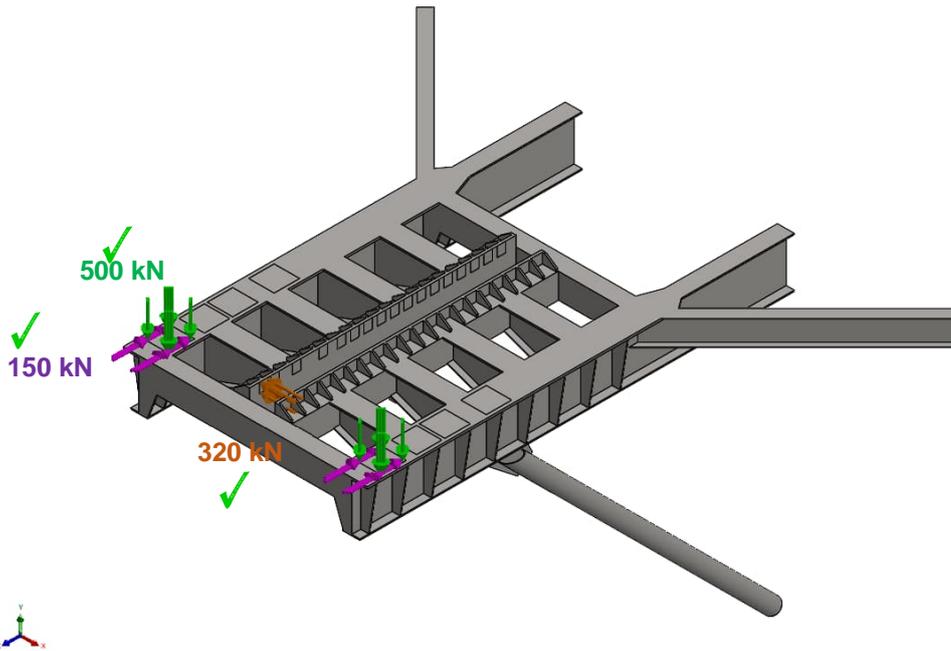


Abbildung 14-1: Lastaufbringung Gleitlagre für alle Brücken außer B4 – Position 1 ✓

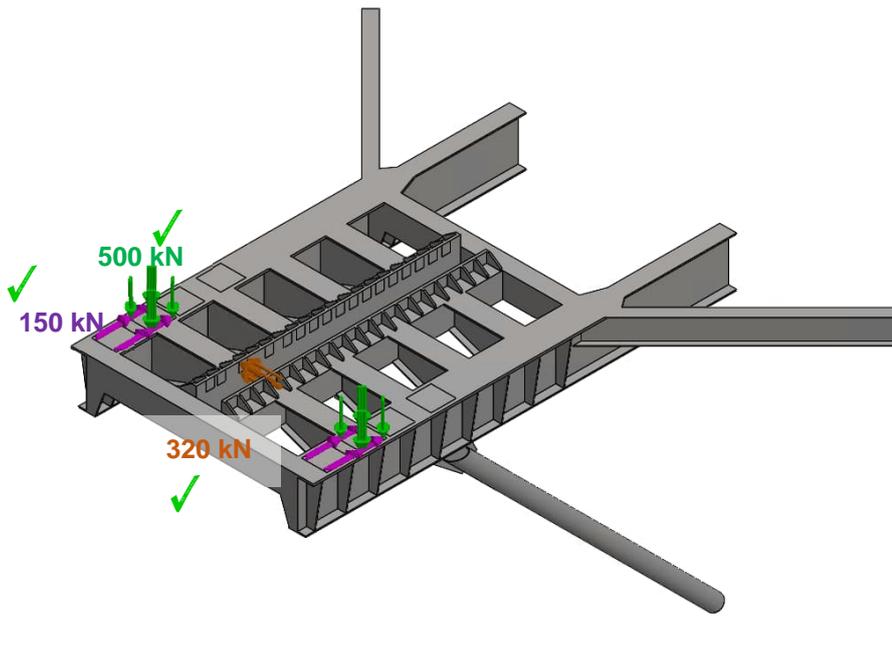


Abbildung 14-2: Lastaufbringung Gleitlager für alle Brücken außer B4 – Position 2 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 204 von 252

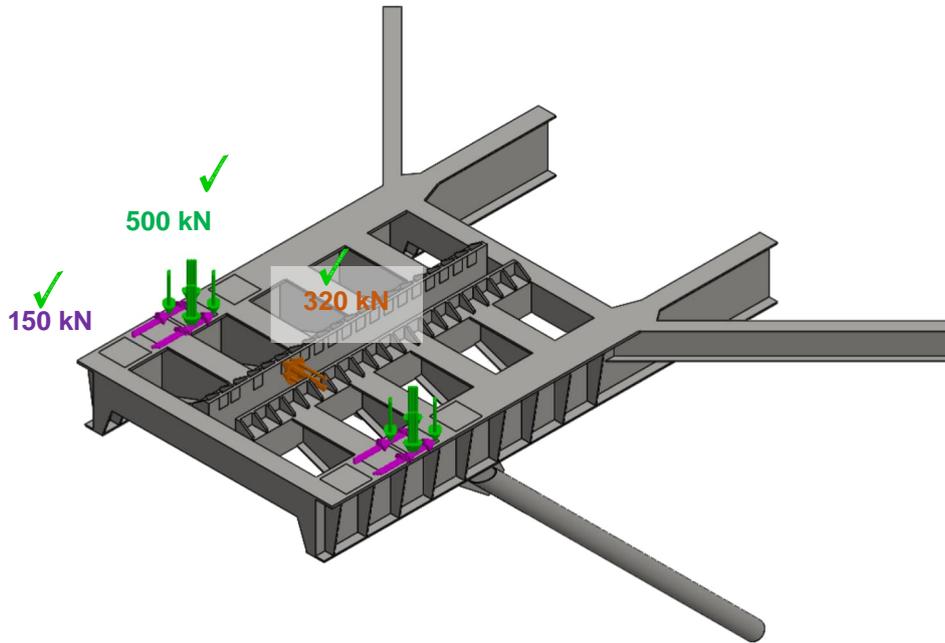


Abbildung 14-3: Lastaufbringung Gleitlager für alle Brücken außer B4 – Position 3 ✓

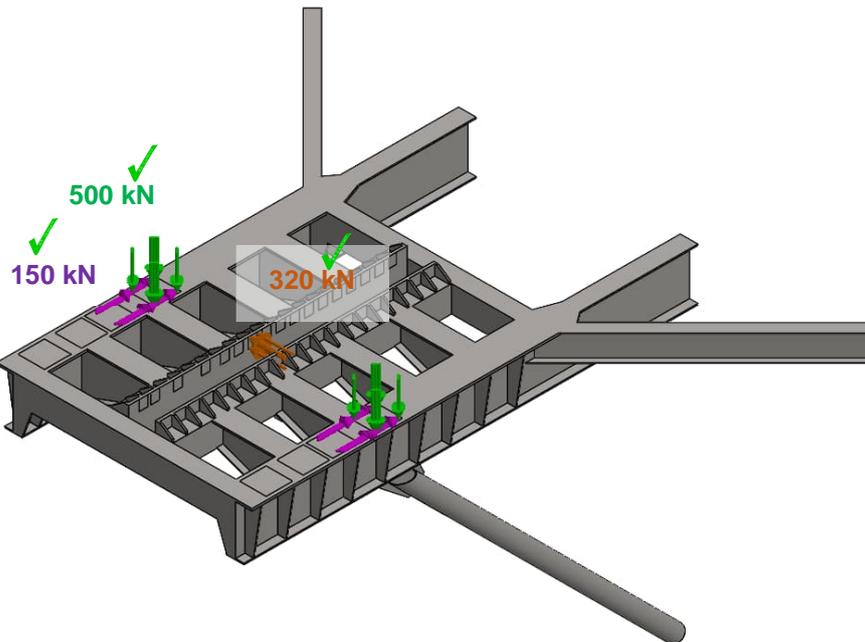


Abbildung 14-4: Lastaufbringung Gleitlager für alle Brücken außer B4 – Position 4 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 205 von 252

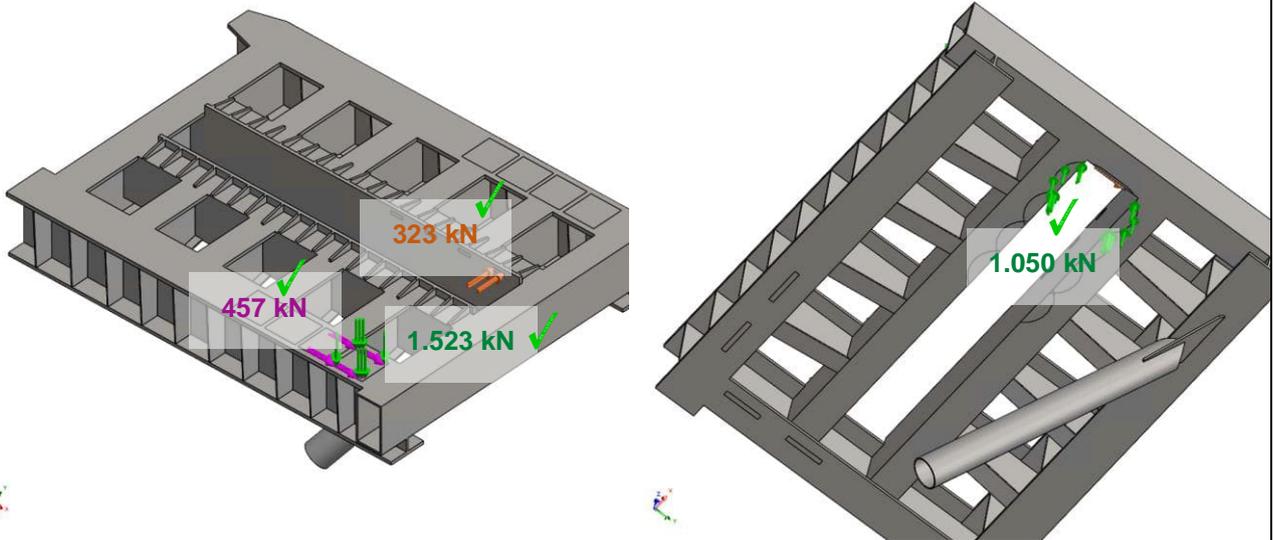


Abbildung 14-5: Lastaufbringung Gleitlager für Brücke B4 – Position 1 ✓

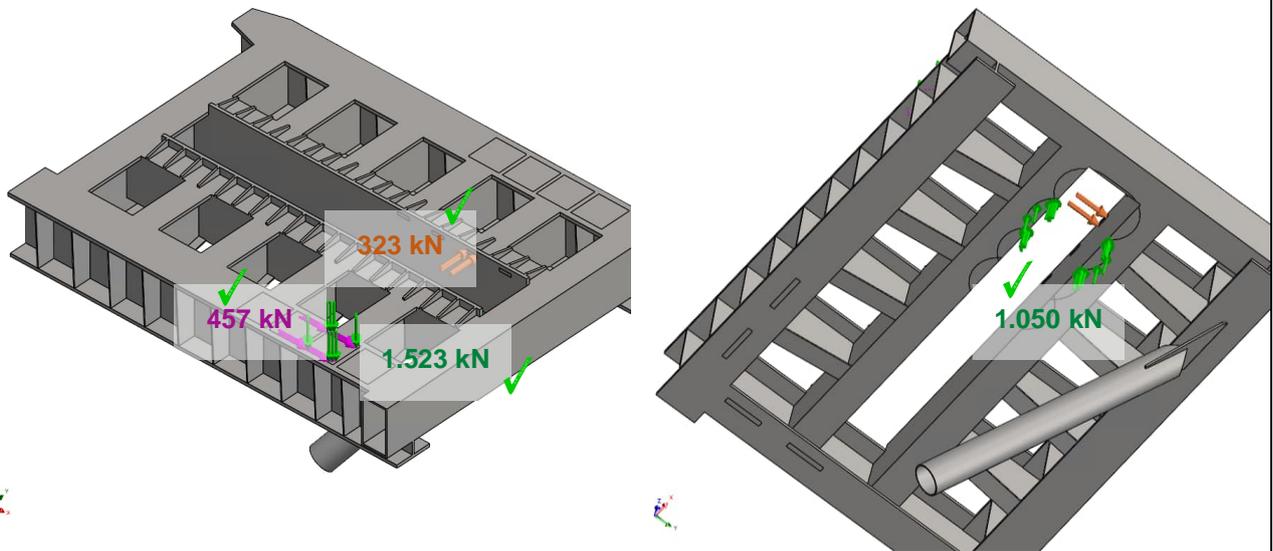


Abbildung 14-6: Lastaufbringung Gleitlager für Brücke B4 – Position 2 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 206 von 252

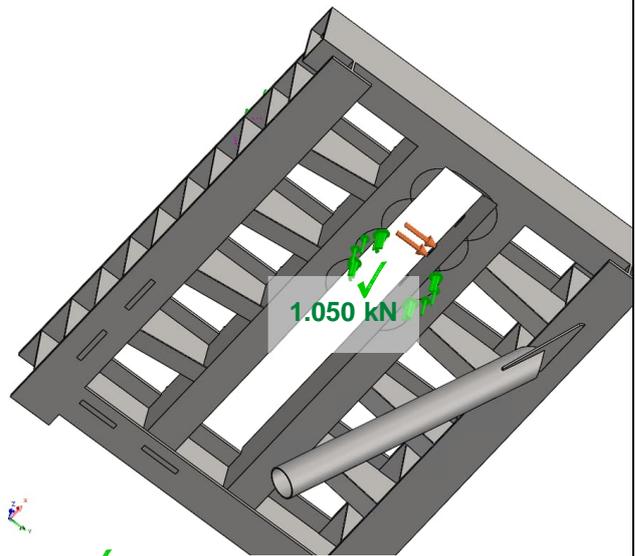
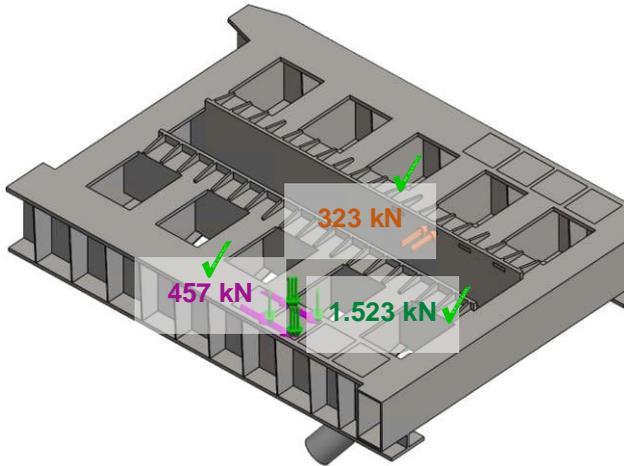


Abbildung 14-7: Lastaufbringung Gleitlager für Brücke B4 – Position 3 ✓

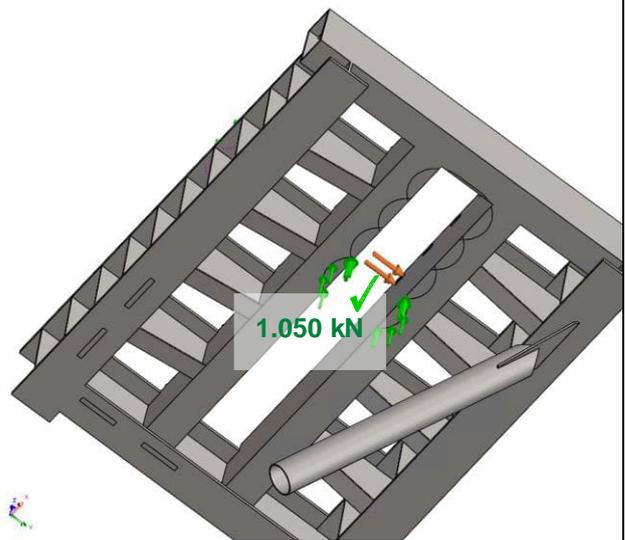
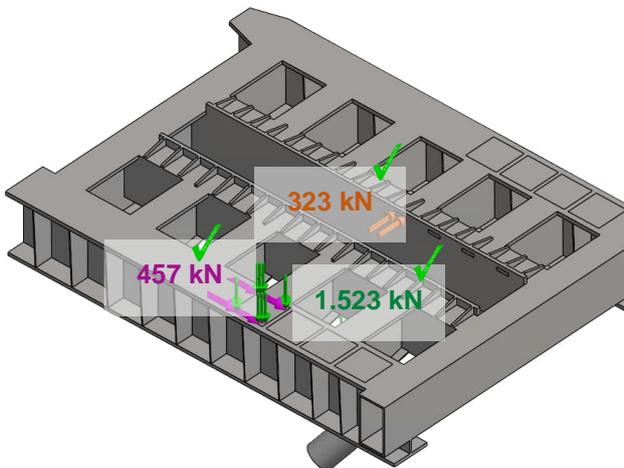


Abbildung 14-8: Lastaufbringung Gleitlager für Brücke B4 – Position 4 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 207 von 252

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

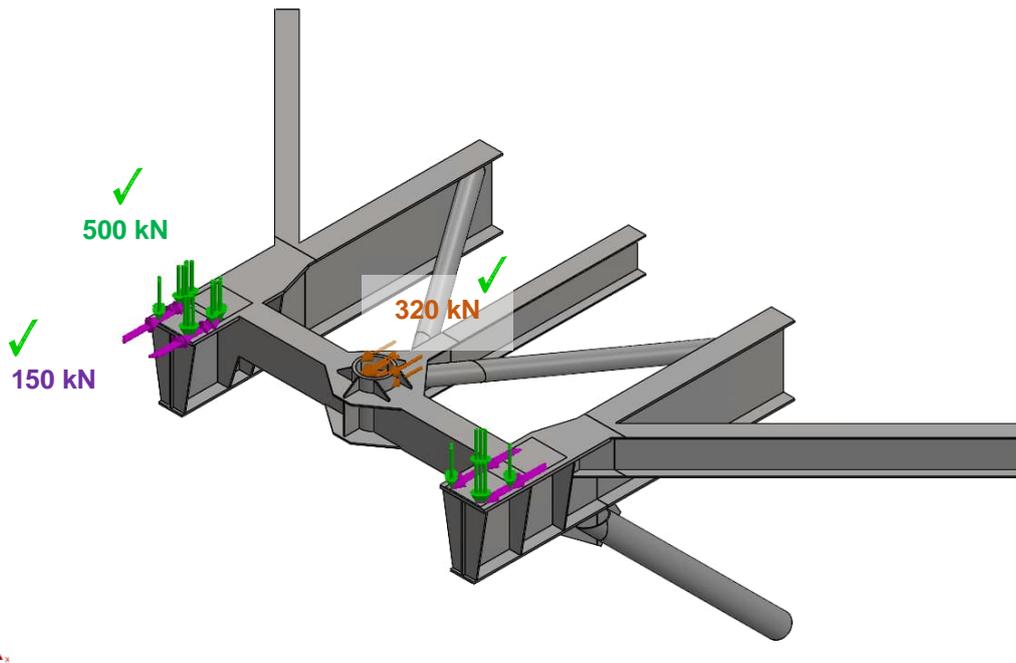


Abbildung 14-9: Lastaufbringung Gelenklager für alle Brücken außer B4 – Position 1 ✓

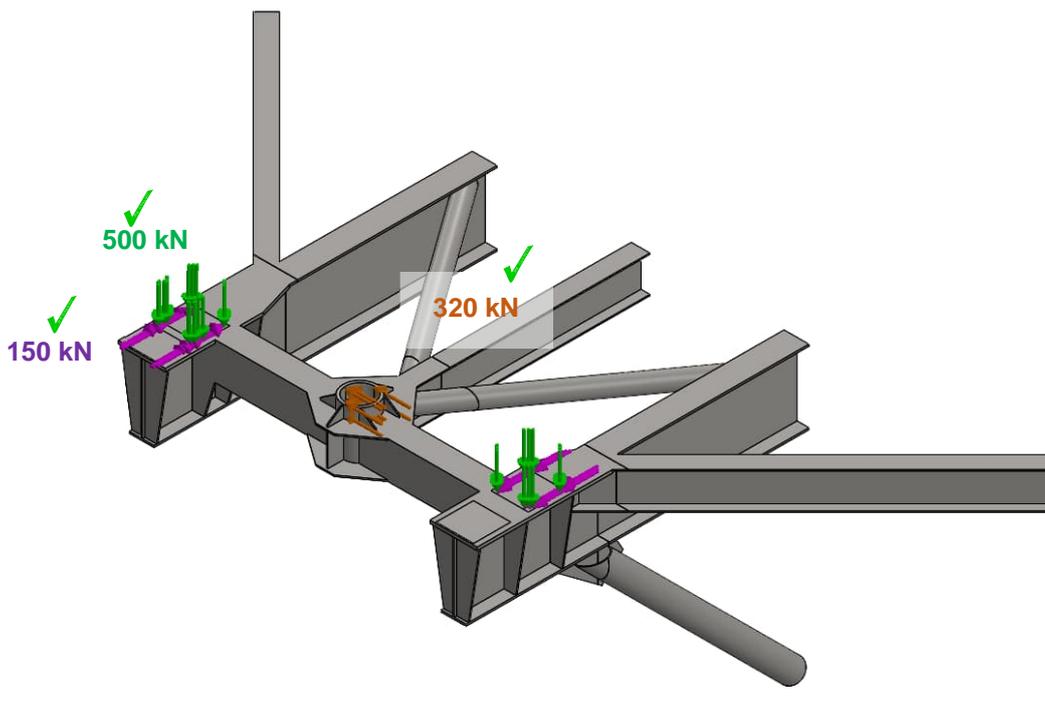


Abbildung 14-10: Lastaufbringung Gelenklager für alle Brücken außer B4 – Position 2 ✓

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 208 von 252

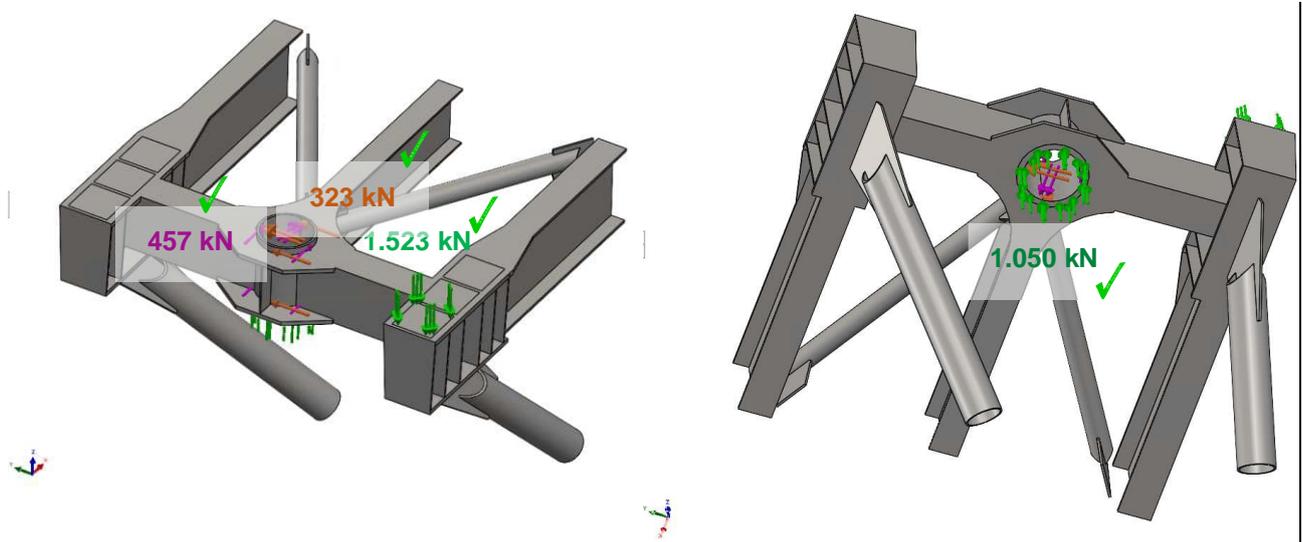


Abbildung 14-11: Lastaufbringung Gelenklager für Brücke B4 – Position 1 ✓

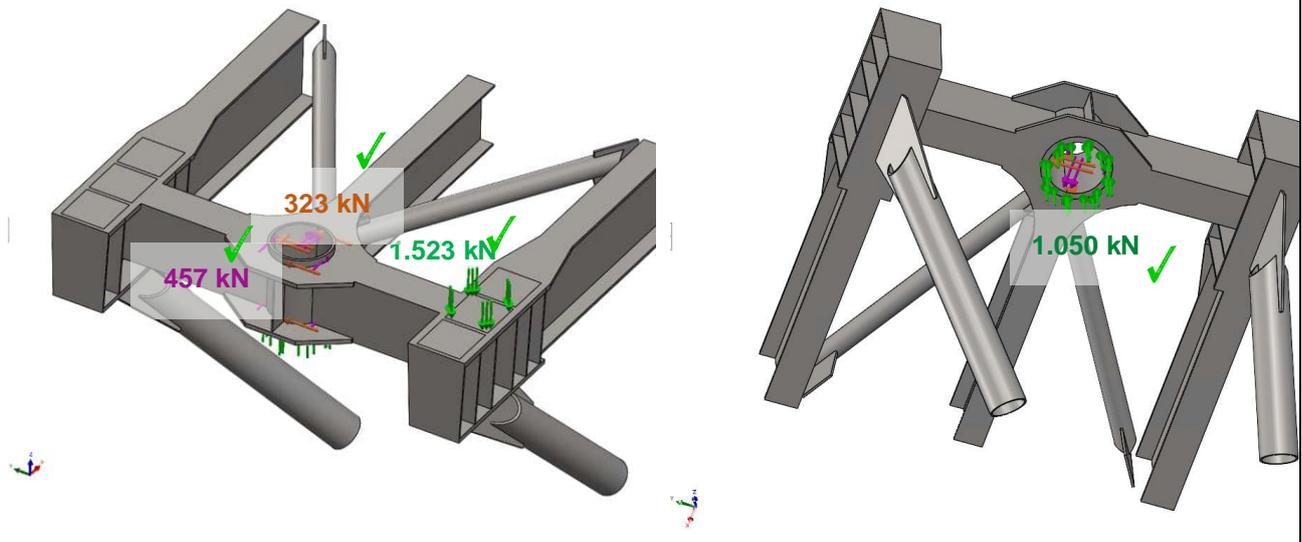


Abbildung 14-12: Lastaufbringung Gelenklager für Brücke B4 – Position 2 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 209 von 252

14.2.5 FE-Netz

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

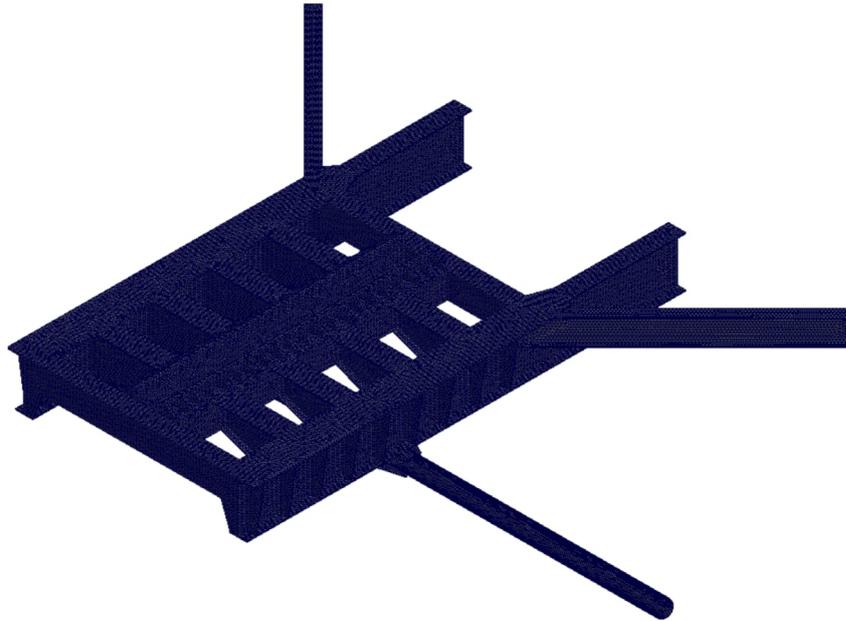


Abbildung 14-9: FE-Netz Gleitlager ✓

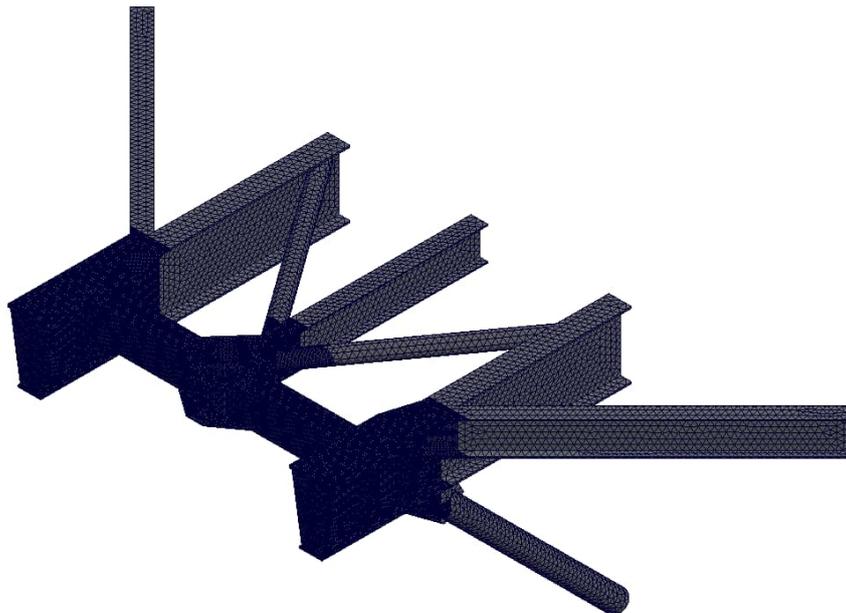


Abbildung 14-10: FE-Netz Gelenklager ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 210 von 252

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. Das Seitenverhältnis ist exemplarisch für die typischen Lager für alle Brücken außer Brücke B4 dargestellt.

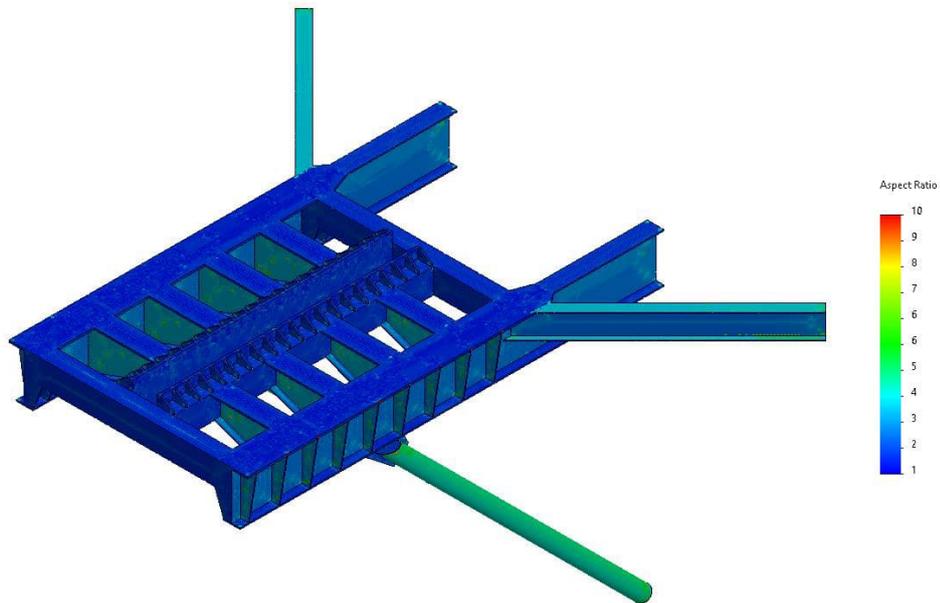


Abbildung 14-11: FE-Netz, Seitenverhältnis der Elemente - Gleitlager ✓

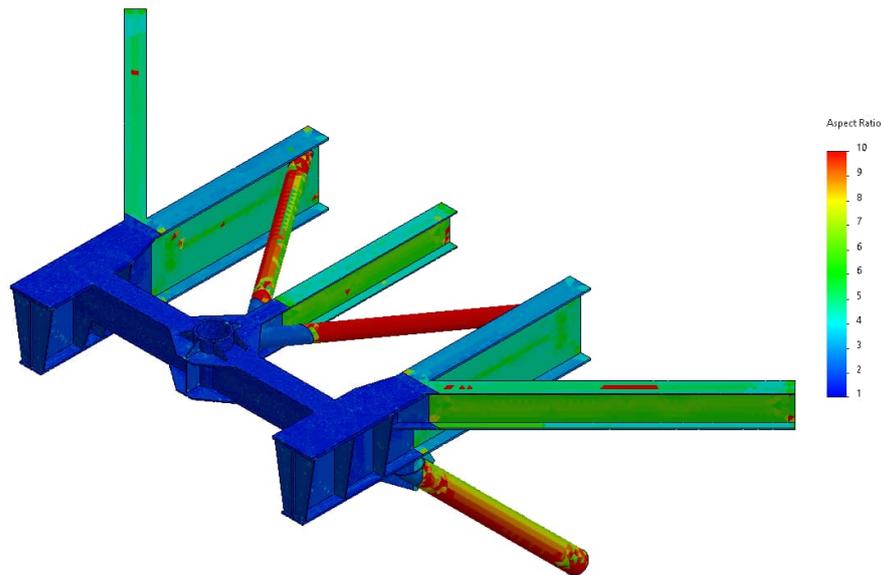


Abbildung 14-12: FE-Netz, Seitenverhältnis der Elemente - Gelenklager ✓

		Struktur		
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN		Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03	
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU			Seite 211 von 252	

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 14-3: Netzdetails

Beschreibung	Gleitlager		Gelenklager	
	Alle außer B4	B4	Alle außer B4	B4
Netztyp	Volumen-Netz	Volumen-Netz	Volumen-Netz	Volumen-Netz
Verwendeter Netzgenerator	Kurvengestütztes Misch-Netz	Kurvengestütztes Misch-Netz	Kurvengestütztes Misch-Netz	Kurvengestütztes Misch-Netz
Jakobi-Punkte	16	16	16	16
Max. Elementgröße	30 mm	30 mm	50 mm	30 mm
Min. Elementgröße	15 mm	10 mm	25 mm	10 mm
Netzqualität	Hoch (10 Knoten)	Hoch (10 Knoten)	Hoch (10 Knoten)	Hoch (10 Knoten)
Anzahl Knoten	607193	586.339	839531	285.111
Anzahl Elemente	304292	304.313	517412	144.469
Max. Seitenverhältnis	81,062	45,834	32,401	53,843
Anteil Elemente mit Seitenverhältnis < 3	72,9	84,9	94,1	87,4
Anteil Elemente mit Seitenverhältnis > 10	0,09	0,02	0,391	0,1



 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 212 von 252

14.3 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.

14.3.1 Spannungsergebnisse – alle außer B4

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.

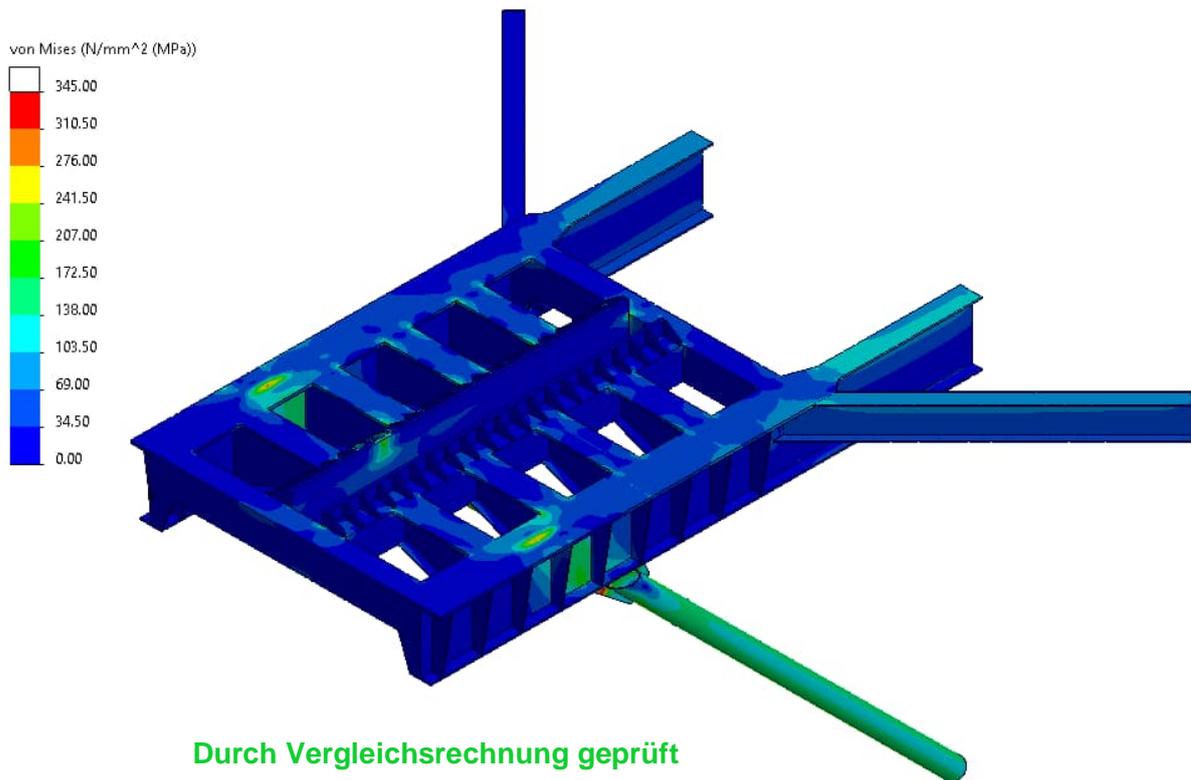


Abbildung 14-13: Spannungsergebnisse Gleitlager für alle Brücken außer B4 - Position 3 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 213 von 252

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.

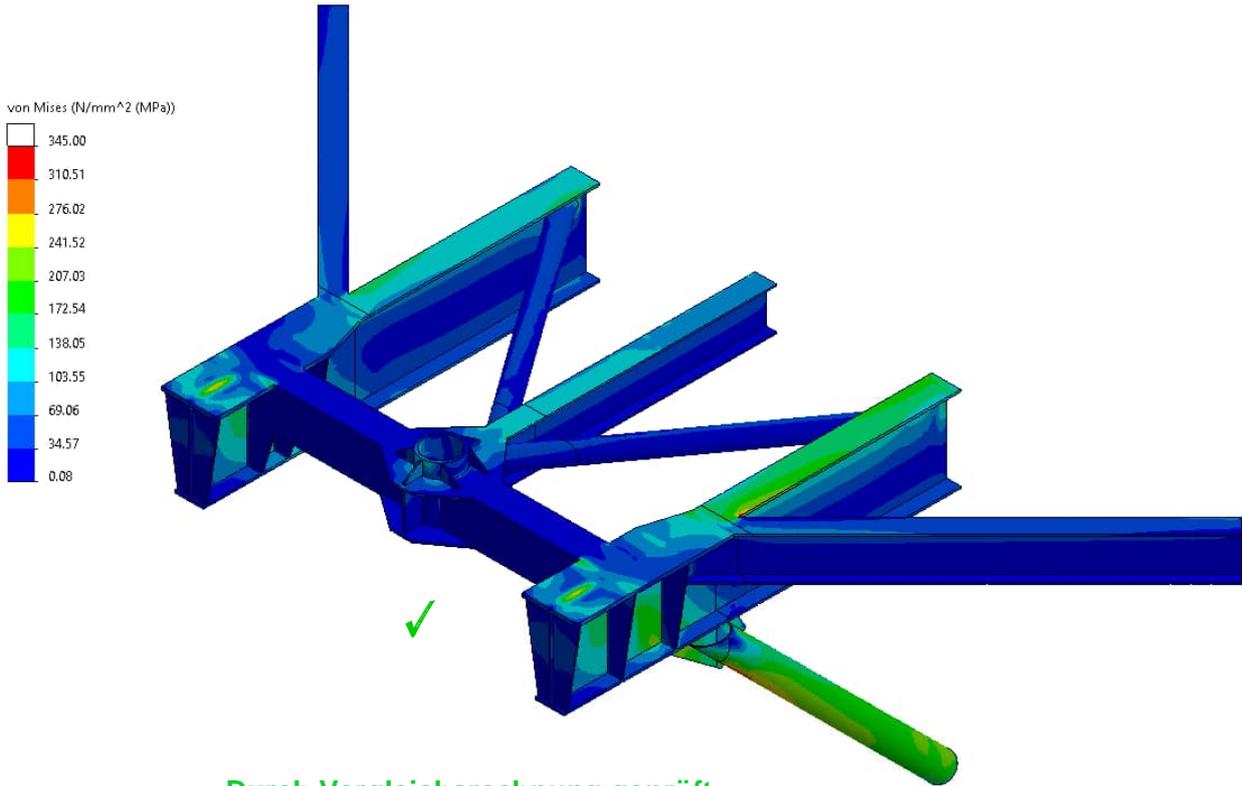


Abbildung 14-14: Spannungsergebnisse - Detailmodell der Brückenlager für alle Brücken außer B4 ✓

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 214 von 252

14.3.2 Spannungsergebnisse – B4

Die folgenden Spannungsplos 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 1 am kritischsten. Die auftretenden Spannungen sind moderat und größtenteils unterhalb des zulässigen Limits. Die Überspannungen treten am unteren Hohlprofil als Druckspannung auf. Diese Überspannungen treten nur oberflächlich auf und nicht durch die Elementdicke. Aufgrund der konservativen Last- und Lagerungs-Annahmen sind diese lokalen oberflächlichen Überspannungen unkritisch. Die sehr lokalen Überspannungen am Untergurt des I-Profiles sind ebenfalls wegen der gewählten konservativen Randbedingungen unkritisch.

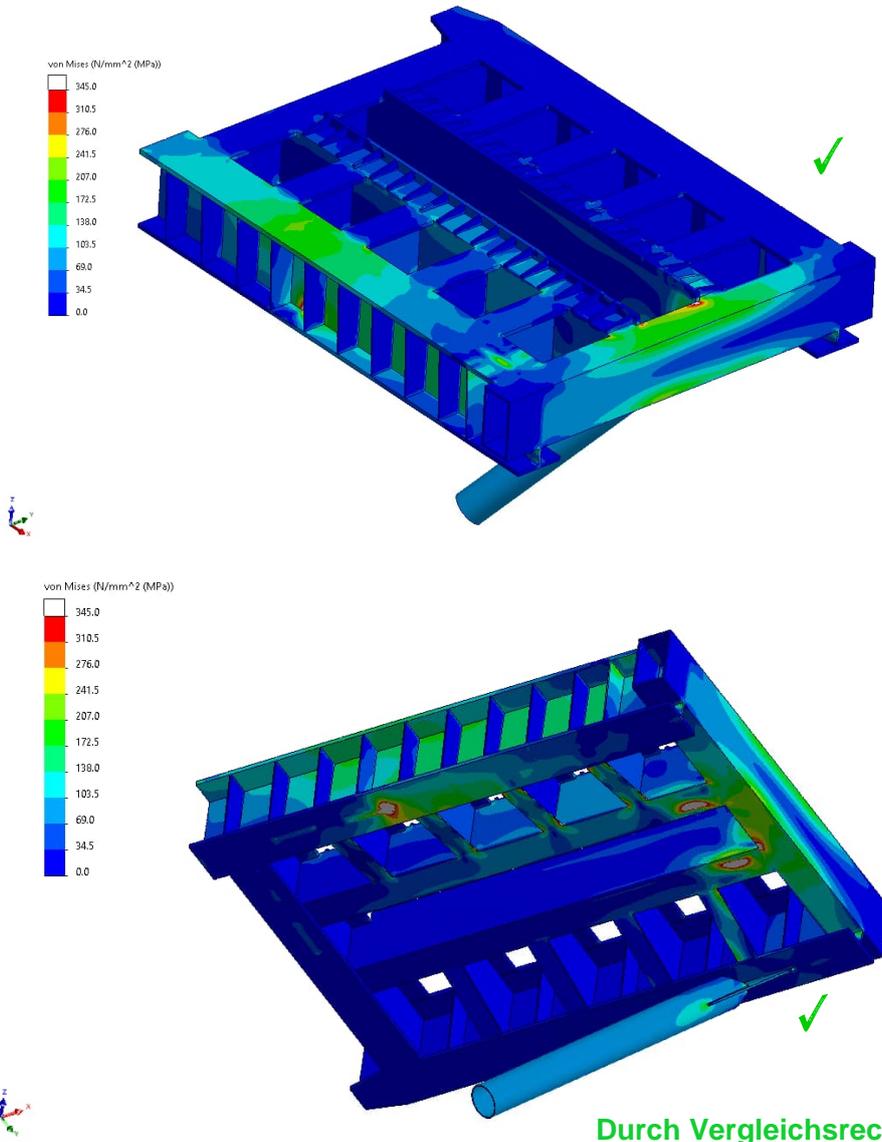
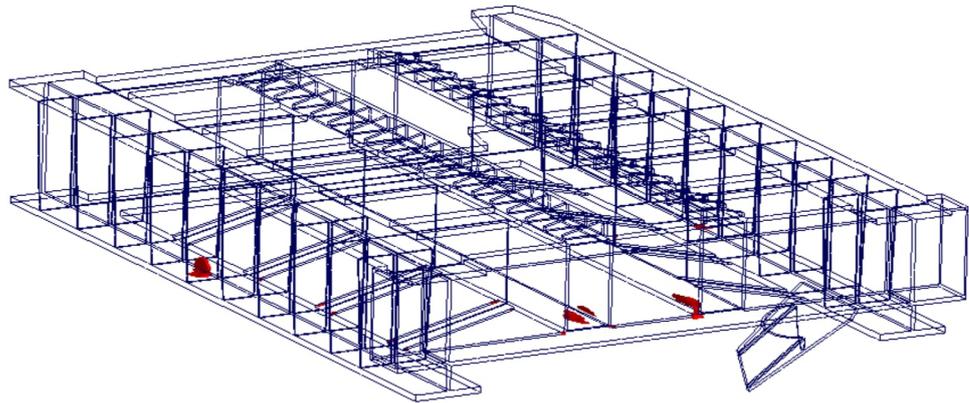
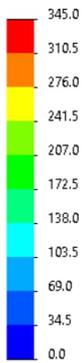


Abbildung 14-15: Spannungsergebnisse Gleitlager für Brücke B4 - Position 1 ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 215 von 252

von Mises (N/mm² (MPa))



Durch Vergleichsrechnung geprüft



Abbildung 14-16: Überspannungen Gleitlager für Brücke B4 – Position 1 ✓

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 216 von 252

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. Die Überspannungen sind sehr klein und aufgrund der konservativen Last- und Lagerungs-Annahmen vernachlässigbar.

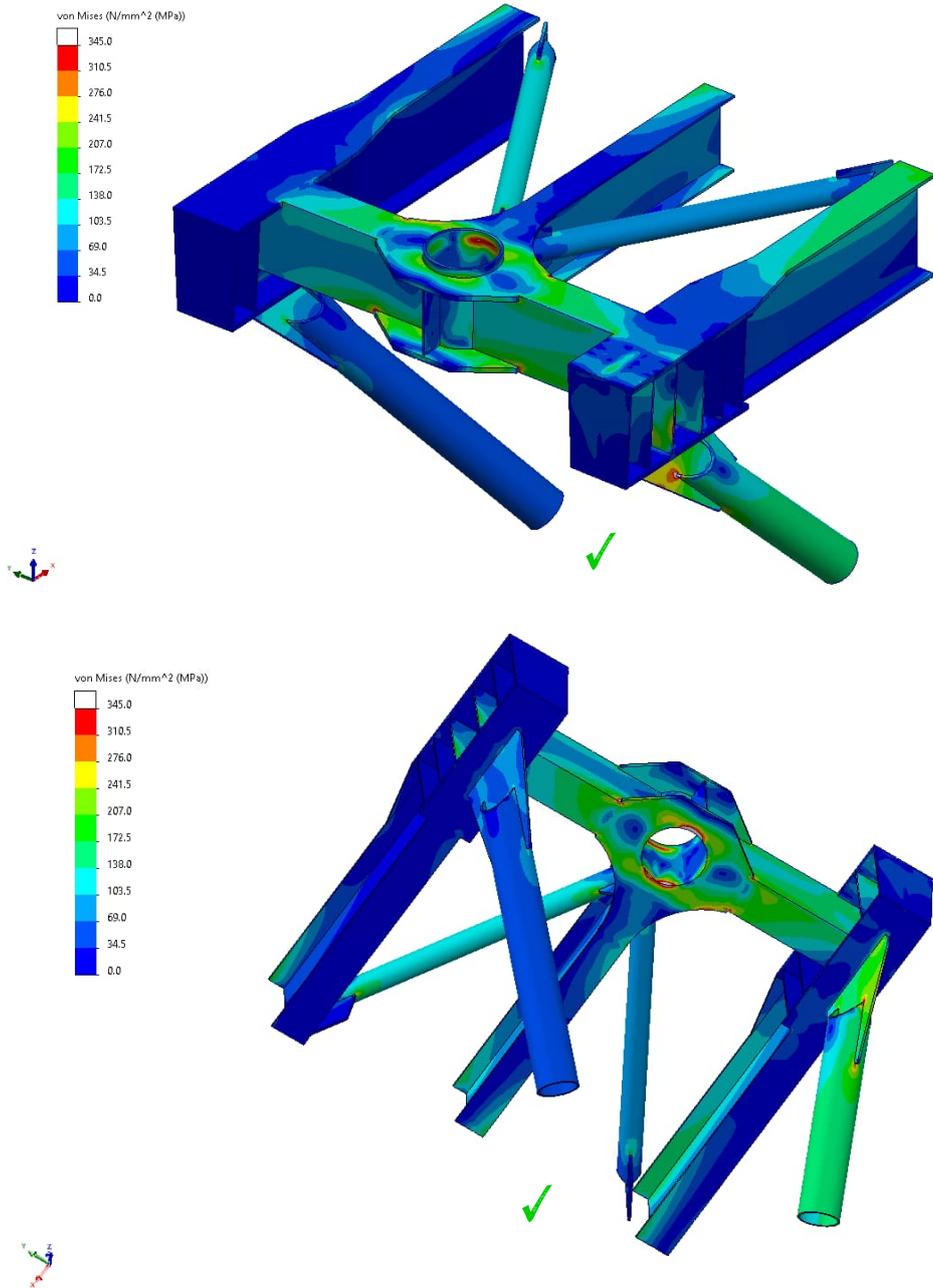


Abbildung 14-17: Spannungsergebnisse - Detailmodell der Brückenlager für Brücke B4 ✓

Durch Vergleichsrechnung geprüft

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 217 von 252

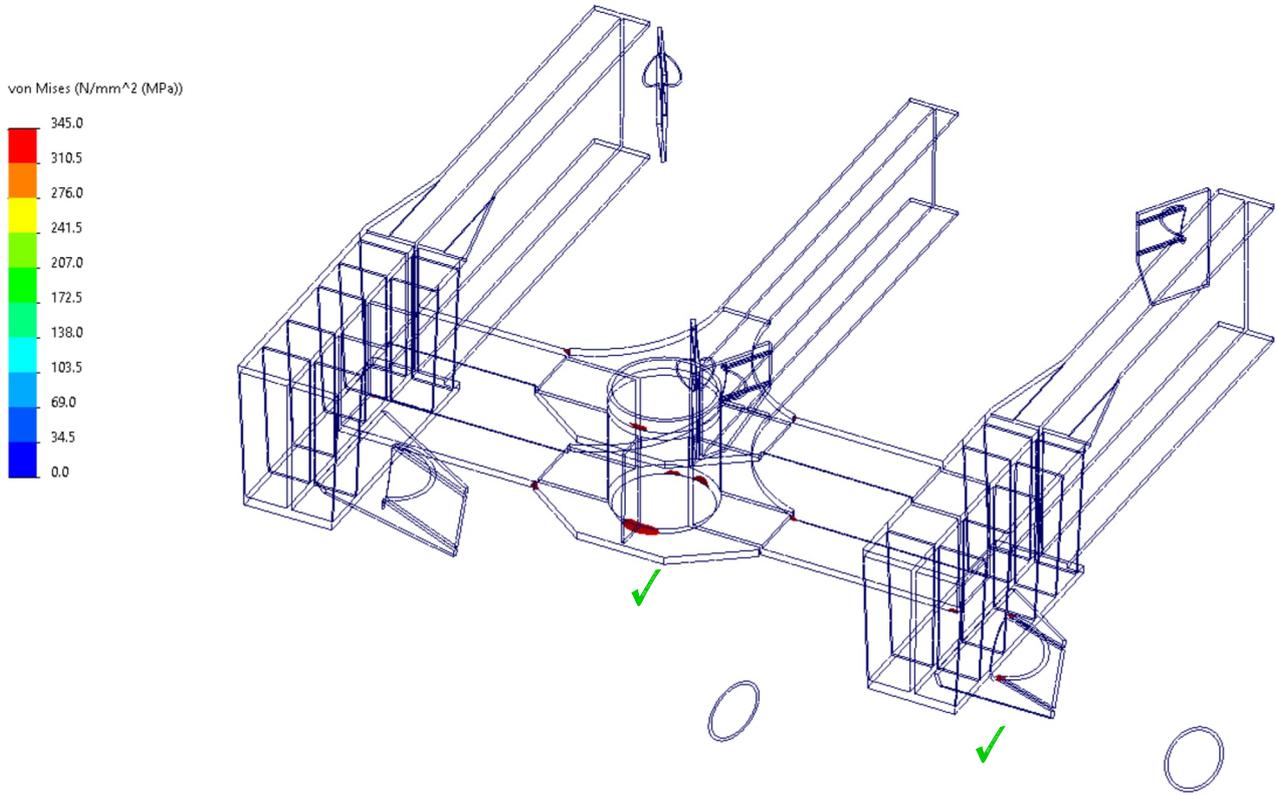


Abbildung 14-18: Überspannungen Gelenklager für Brücke B4 – Position 1 ✓

Durch Vergleichsrechnung geprüft

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 218 von 252

14.3.3 Verformungen – alle außer B4

Gleitlager

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

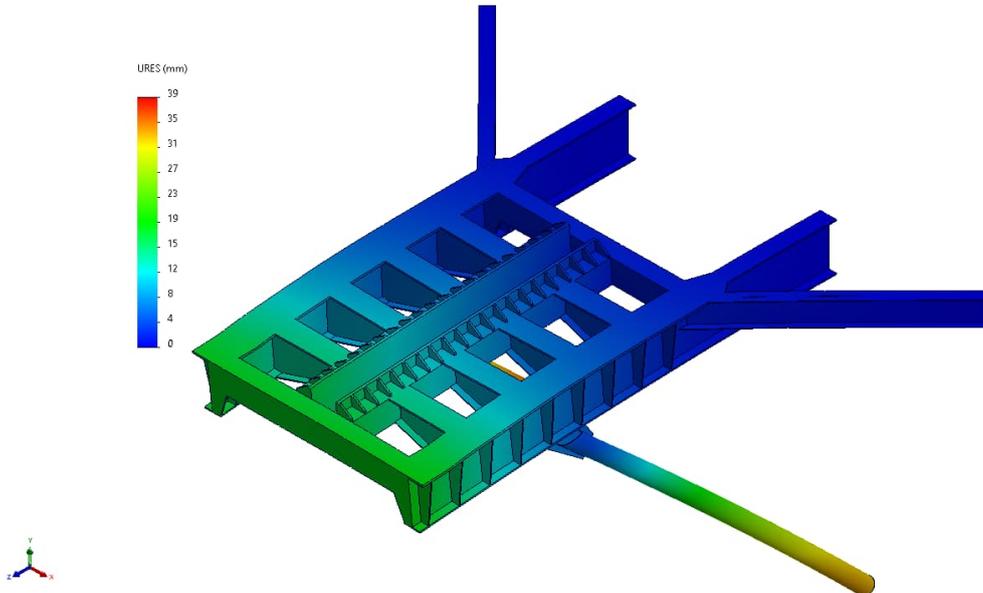


Abbildung 14-19: Verformungen Gleitlager für alle Brücken außer Brücke B4 - Position 1 ✓

Gelenklager

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

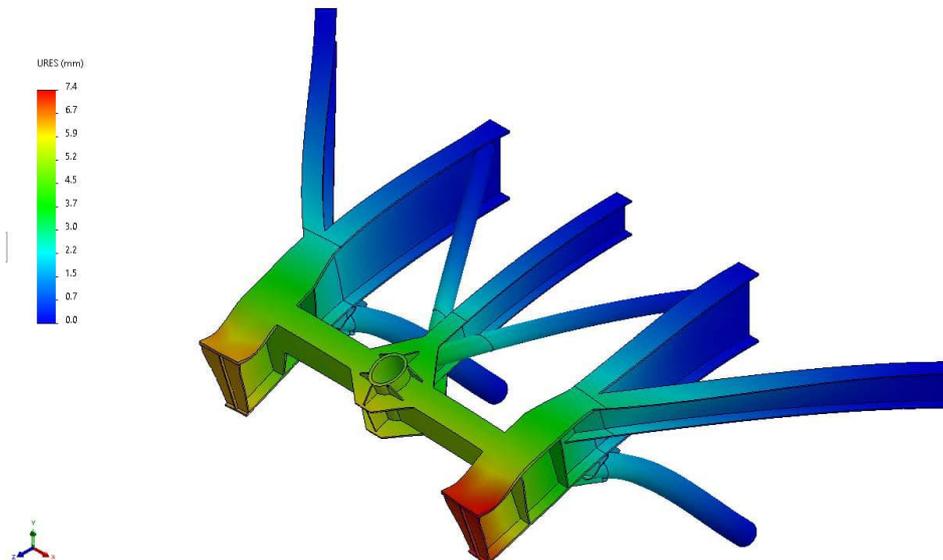


Abbildung 14-20: Verformungsergebnisse Gelenklager für alle Brücken außer Brücke B4 (Verformungsrate 88.6) ✓

Durch Vergleichsrechnung geprüft

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 219 von 252

14.3.4 Verformungen – Brücke B4

Gleitlager

Die Verformung ist für die Position 1 mit 13,6 mm am größten und im Folgenden dargestellt.

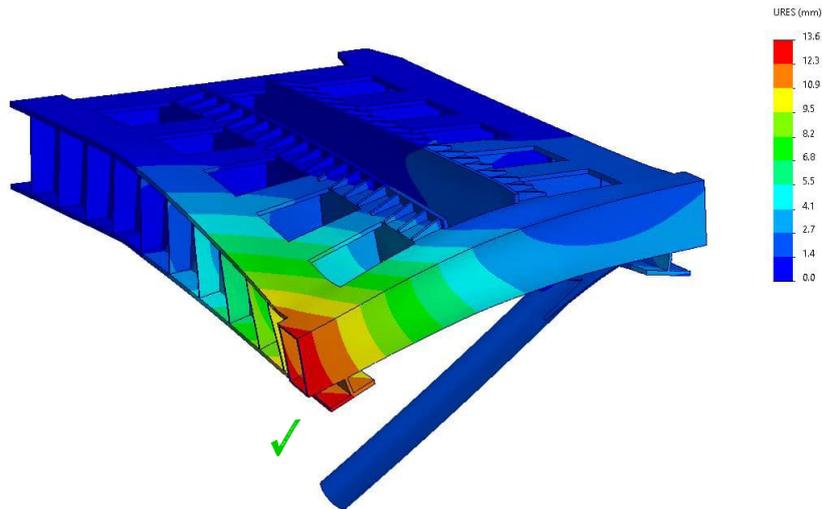


Abbildung 14-21: Verformungen Gleitlager für Brücke B4 (Verformungsrate 50) ✓

Gelenklager

Die maximale Verformung an den Lagern tritt für Position 1 auf und beträgt 8,7 mm und ist in der folgenden Abbildung gezeigt.

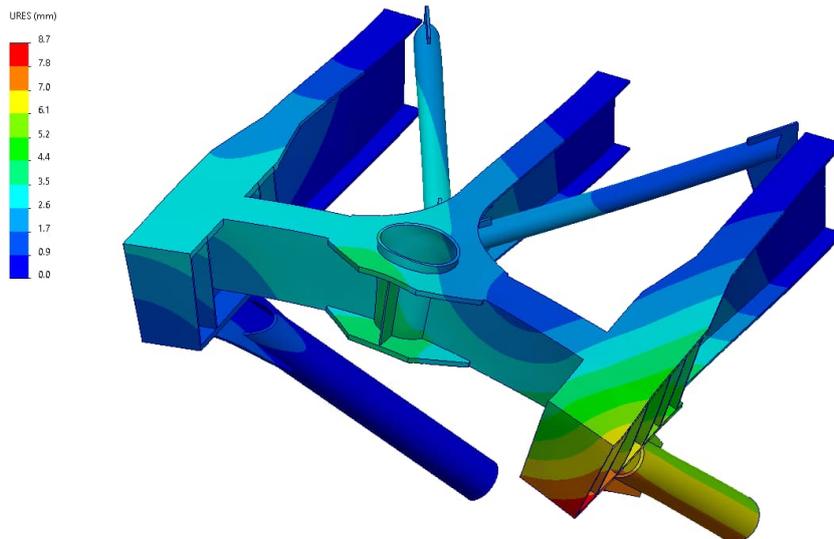


Abbildung 14-22: Verformungsergebnisse Gelenklager für Brücke B4 (Verformungsrate 50) ✓

Durch Vergleichsrechnung geprüft

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 220 von 252

15 Brückenlager - Details

15.1 Allgemeine Beschreibung der untersuchten Details

In Ergänzung zu den in Kapitel 14 „Brückenlager“ gezeigten Analysen der lokalen Brückenlager (Gleit-Lager und Gelenk-Lager), werden in diesem Kapitel noch folgende weitere Detail-Nachweise (für alle Brückenlager) beschrieben und ausgewertet.

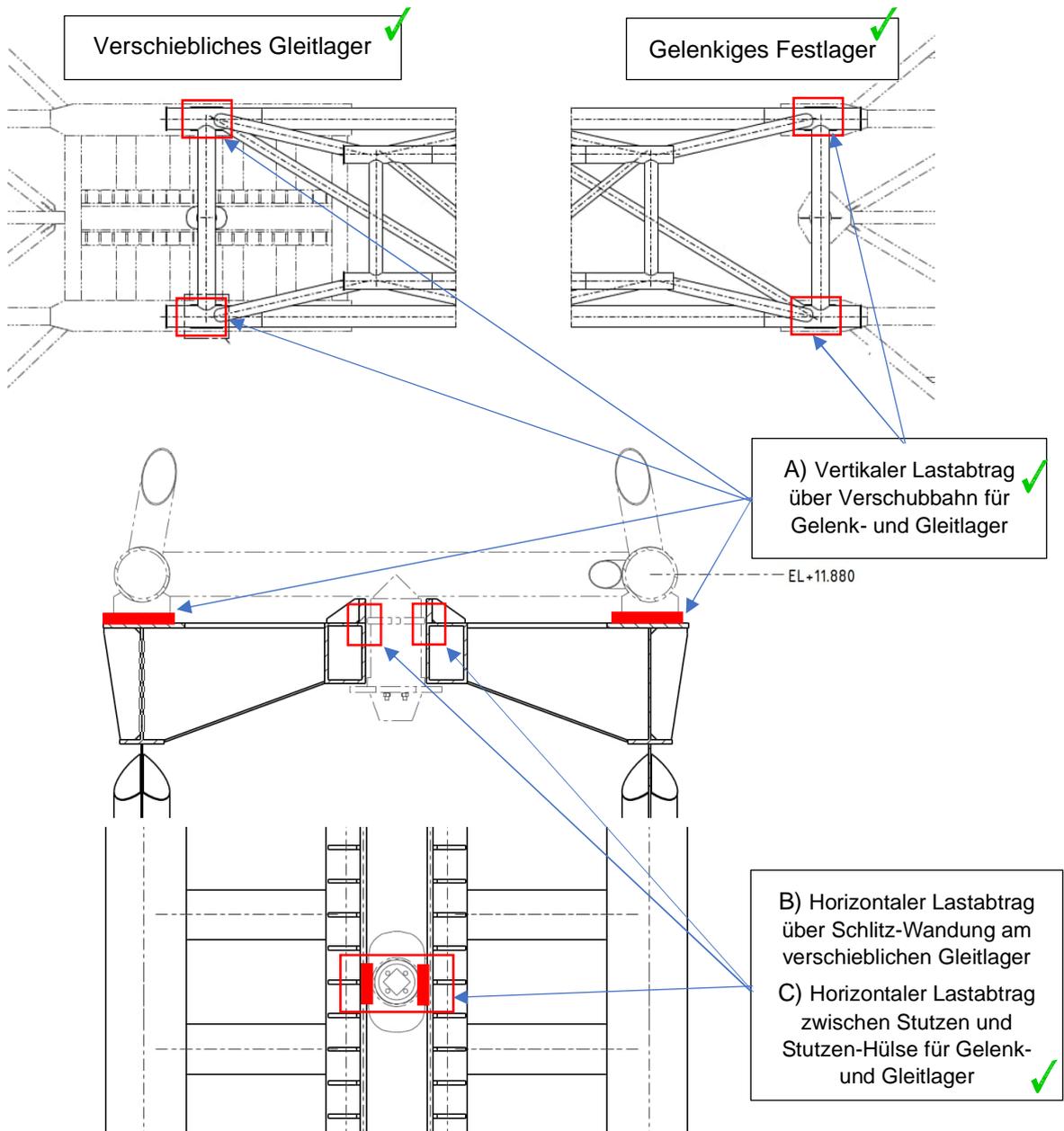


Abbildung 15-1: Übersicht der untersuchten Details ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 221 von 252

Detail-Nachweis für:

- A) Vertikaler Lastabtrag über Verschubbahn für Gelenk- und Gleitlager (vertikaler Kontaktdruck und lokale Spannungsverteilung im Plattform Träger), Kapitel 15.2, ✓
- B) Horizontaler Lastabtrag über Schlitz-Wandung am verschieblichen Gleitlager (horizontaler Kontaktdruck in der Schlitz-Wandung), Kapitel 15.3, ✓
- C) Horizontaler Lastabtrag über Stutzen-Hülse für Gelenk- und Gleitlager (horizontaler Kontaktdruck in Stutzen-Hülse), Kapitel 15.4. ✓

Es wird hier ebenfalls nicht zwischen den Brückentypen (außer Brücke B4) unterschieden, sondern es wird für die maximale Designlasten in Kapitel 9.4.7 und 14.2.4 für die Detail-Nachweise herangezogen. Der generelle Lastabtrag der Brücken-Lager ist schon in den vorigen Kapiteln ausreichend beschrieben. Die Details für Brücke B4 werden separat aufgrund der signifikant höheren Lasten nachgewiesen.

15.2 Vertikaler Lastabtrag über Verschubbahn

Die detaillierte Nachweisführung für den vertikalen Lastabtrag über die Verschubbahn gilt für beide Brückenlagertypen: für Gelenkiges Festlager als auch für die verschieblichen Gleitlager (siehe Abbildung 15-1).

15.2.1 Beschreibung der Lagerung und Lasten

Für den lokalen Nachweis der Verschubbahn ist konservativ das unten gezeigte Modell an jeweils seinen Schnittenden in all 3 Richtungen unverschieblich gelagert. Die maximale vertikale Auflager-Kraft von 500 kN (siehe Kapitel 9.4.7 und 14.2.4; zugehörige Reibkraft in Brücken-Längsrichtung wird hier vernachlässigt) wird auf die über den Kontaktdruck-Nachweis (siehe Anhang A) ermittelte Breite von 20 mm (siehe Kapitel 15.2.2) gleichmäßig nach unten gerichtet aufgebracht.

Um die möglichen unterschiedlichen Lastpositionen aus einem evtl. schrägen und verschobene Gleitschuh zu berücksichtigen sind hier 3 konservative gewählte Lastpositionen betrachtet (siehe nächste Abbildung).

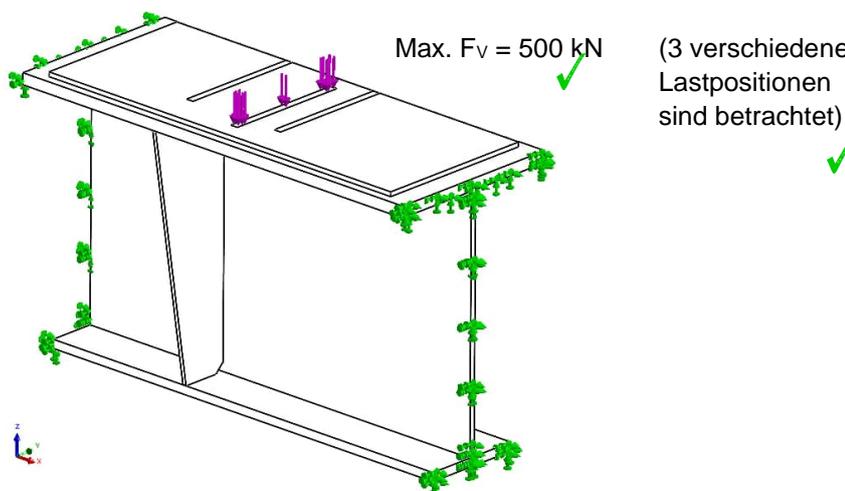


Abbildung 15-2: Verschubbahn für alle Brücken außer B4 – Übersicht, Lagerung, Lasten ✓

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 222 von 252

Die maximale vertikalen Auflager-Kraft für Brücke B4 von 1.523 kN und die zugehörige Reibkraft in Brücken-Längsrichtung (siehe Kapitel 9.4.7 und 14.2.4; zugehörige Reibkraft in Brücken-Längsrichtung wird hier vernachlässigt) wird auf über den Kontaktdruck-Nachweis (siehe Anhang A) ermittelte Breite von 33 mm (siehe Kapitel 15.2.2) gleichmäßig nach unten gerichtet aufgebracht.

Um die möglichen unterschiedlichen Lastpositionen aus einem evtl. Schrägen und verschobene Gleitschuh zu berücksichtigen, sind hier 4 konservativ gewählte Lastpositionen betrachtet (siehe nächste Abbildung).

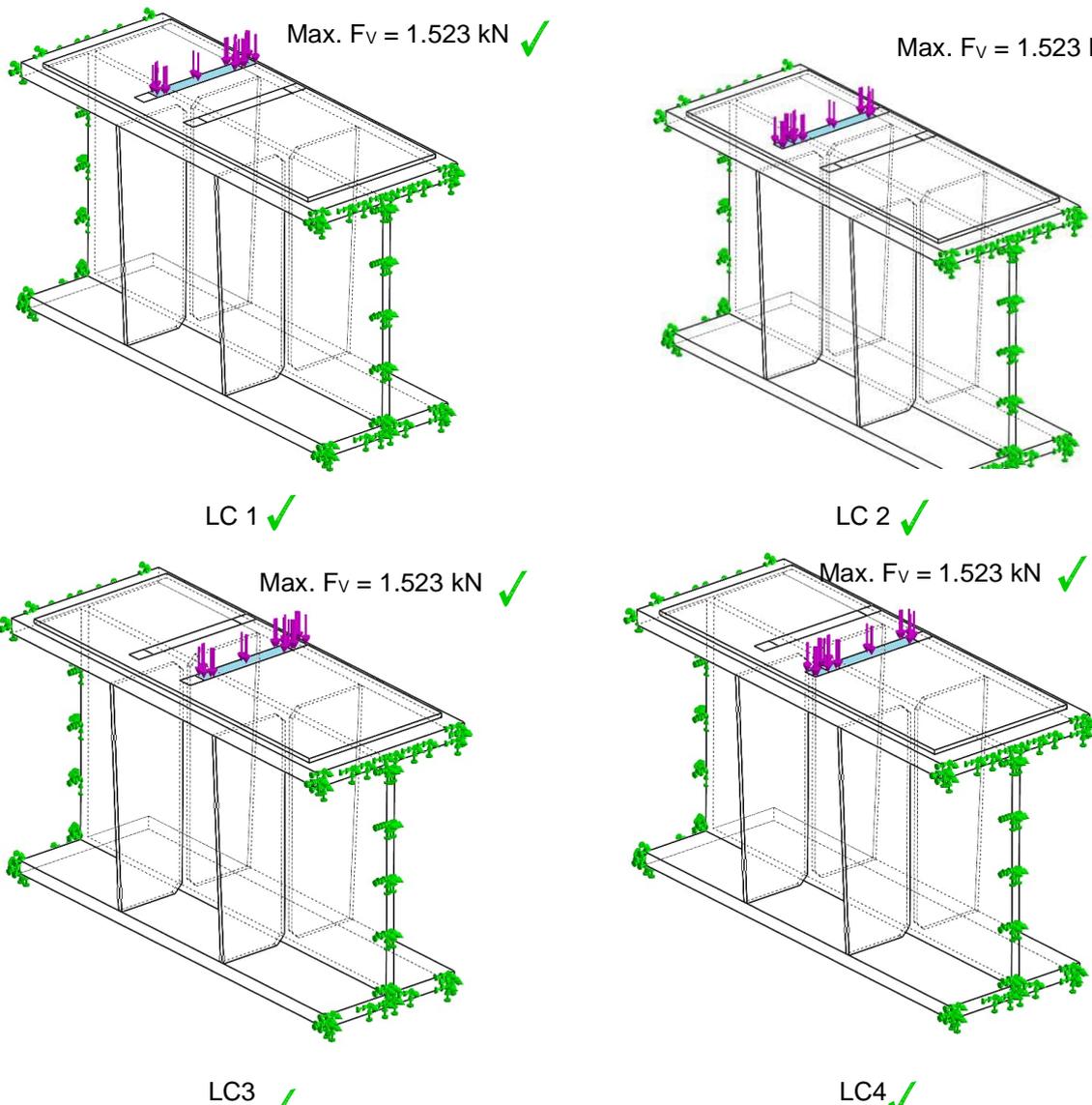


Abbildung 15-3: Verschubbahn für alle Brücken außer B4 – Übersicht, Lagerung, Lasten

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 223 von 252

15.2.2 Ermittlung / Nachweis der Kontaktdruck-Fläche

Für die Ermittlung der anzusetzenden Kontaktdruckfläche ist in diesem Kapitel bzw. dem referenzierten Anhang A der Nachweis der „Herzschen Pressung“ geführt. Daraus wird auch die zu erwartende Kontaktflächen-Breite unter Ansatz der folgenden Randbedingungen ermittelt:

- Max. Vertikalkraft
 - o (siehe Kapitel 9.4.7 und 14.2.4) $F_v = 500 \text{ kN}$, ✓ für alle Brücken außer Brücke B4
 - o (siehe Kapitel 9.4.7 und 14.2.4) $F_v = 1.523 \text{ kN}$, ✓ für Brücke B4
- 2 starre Kontaktflächen, ✓
 - o 1 ebene Fläche, ✓
 - o 1 leicht gebogenen Fläche (Radius 2.500 mm), ✓ als richtig vorausgesetzt.

Daraus resultiert (siehe Anhang A): ✓

Für alle Brücken außer Brücke B4

- Max. Kontaktdruck (Hertz) $p_H = 229 \text{ N/mm}^2$ ✓ → $p_H/p_{zul} = 0.53 < 1.0$
- Breite der Kontaktfläche $b = 2 \cdot a = 2 \cdot 9.9 \text{ mm}$ → $b = 20 \text{ mm}$ ✓

Für Brücke B4

- Max. Kontaktdruck (Hertz) $p_H = 400 \text{ N/mm}^2$ ✓ → $p_H/p_{zul} = 0.92 < 1.0$ ✓

Breite der Kontaktfläche $b = 2 \cdot a = 2 \cdot 16.5 \text{ mm}$ → $b = 33 \text{ mm}$ ✓

15.2.3 FE-Netz

Zur Vorbereitung der FE-Analyse wird das Modell mit tetraedrischen Volumenkörperelementen vernetzt. Für das Detailmodell wird ein hochqualitatives Netz angewandt. Das Netz ist exemplarisch für die typische Details für alle Brücken außer Brücke B4 dargestellt.

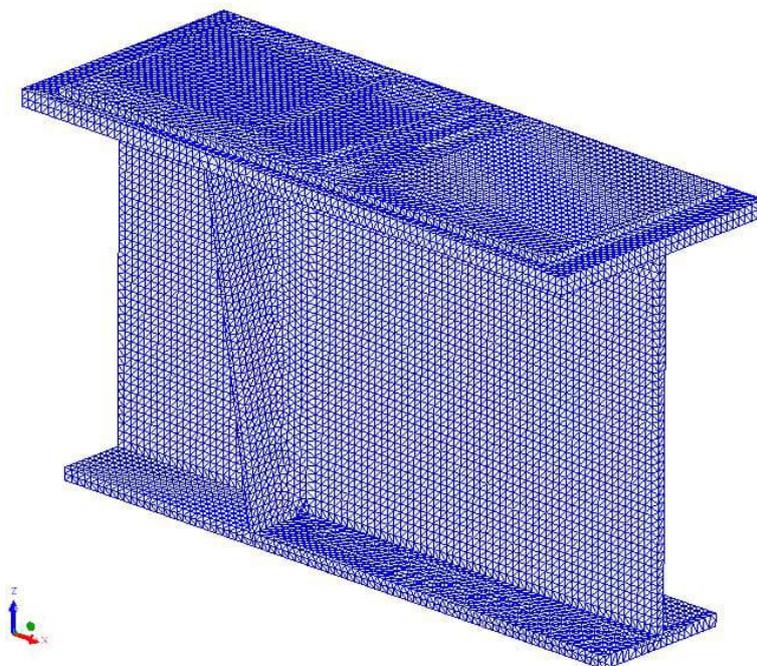


Abbildung 15-4: FE-Netz - Verschubbahn ✓

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 224 von 252

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. Das Seitenverhältnis ist exemplarisch für die typische Details für alle Brücken außer Brücke B4 dargestellt.

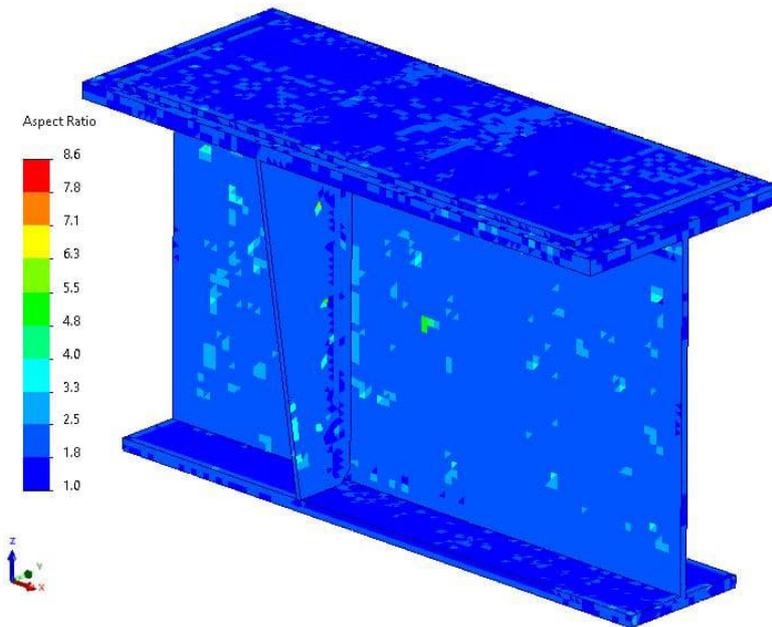


Abbildung 15-5: FE-Netz – Seitenverhältnis der Elemente – Vershubbahn ✓

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 15-1: Netzdetails

Netztyp	Details für alle Brücken außer B4	Details für Brücke B4
Verwendeter Netzgenerator	Standard Netz	Standard Netz
Jakobi-Punkte	16	16
Max. Elementgröße	12,2281 mm	12,2281 mm
Min. Elementgröße	0,611406 mm	0,611406 mm
Netzqualität	Hoch (10 Knoten)	Hoch (10 Knoten)
Anzahl Knoten	194.150	275.594

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 225 von 252

Anzahl Elemente	116.915	171.058
Max. Seitenverhältnis	8,5634	5,8854
Anteil Elemente mit Seitenverhältnis < 3	99,6	99,8
Anteil Elemente mit Seitenverhältnis > 10	0	0

15.2.4 Ergebnisse ✓

In den folgenden Unterkapiteln werden die resultierenden Spannungen und Verformungen für das brückenseitige Lager gezeigt. Die maximale zulässige Spannung ergibt sich aus den zulässigen Spannungen aus Kapitel 4.6 reduziert um den Materialfaktor 1,25 für Detailnachweise. Daraus ergibt sich für Plattenstärken < 40 mm eine maximale zulässige Spannung von 276,0 MPa. ✓

15.2.4.1 Spannungsergebnisse – alle außer B4

Die folgende SpannungspLOTS zeigen den Verlauf der „von Mises“-Spannungen.

Die auftretende Spannungen sind moderat und unterhalb der erlaubten Spannungsgrenze von 345 MPa.

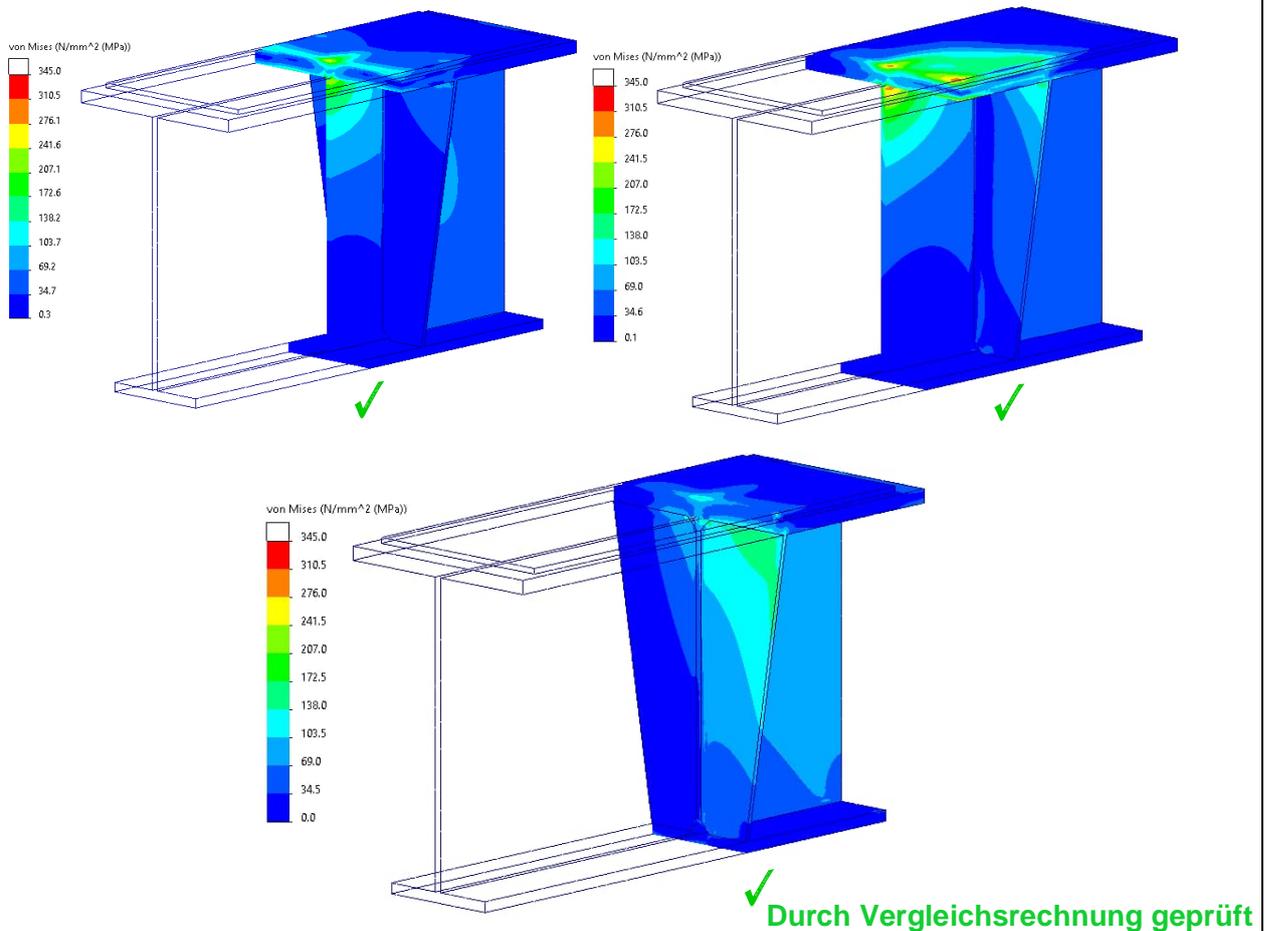


Abbildung 15-6: Spannungsergebnisse – Verschubbahn, Lastposition 1, 2 und 3 ✓

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 226 von 252

15.2.4.2 Spannungsergebnisse – Brücke B4

Die folgende Spannungsplots zeigen den Verlauf der „von Mises“-Spannungen.

Die auftretende Spannungen sind moderat und im allgemein unterhalb der erlaubten Spannungsgrenze von 345 MPa. Die auftretende Überspannungen treten als Druckspannungen sowohl oberflächlich auf der Verschubplatte als auch als Druckzwickel im Trägersteg in Lastposition 3 und 4 auf. Beide Stellen mit den leichten Überspannungen werden als unkritisch eingeschätzt.

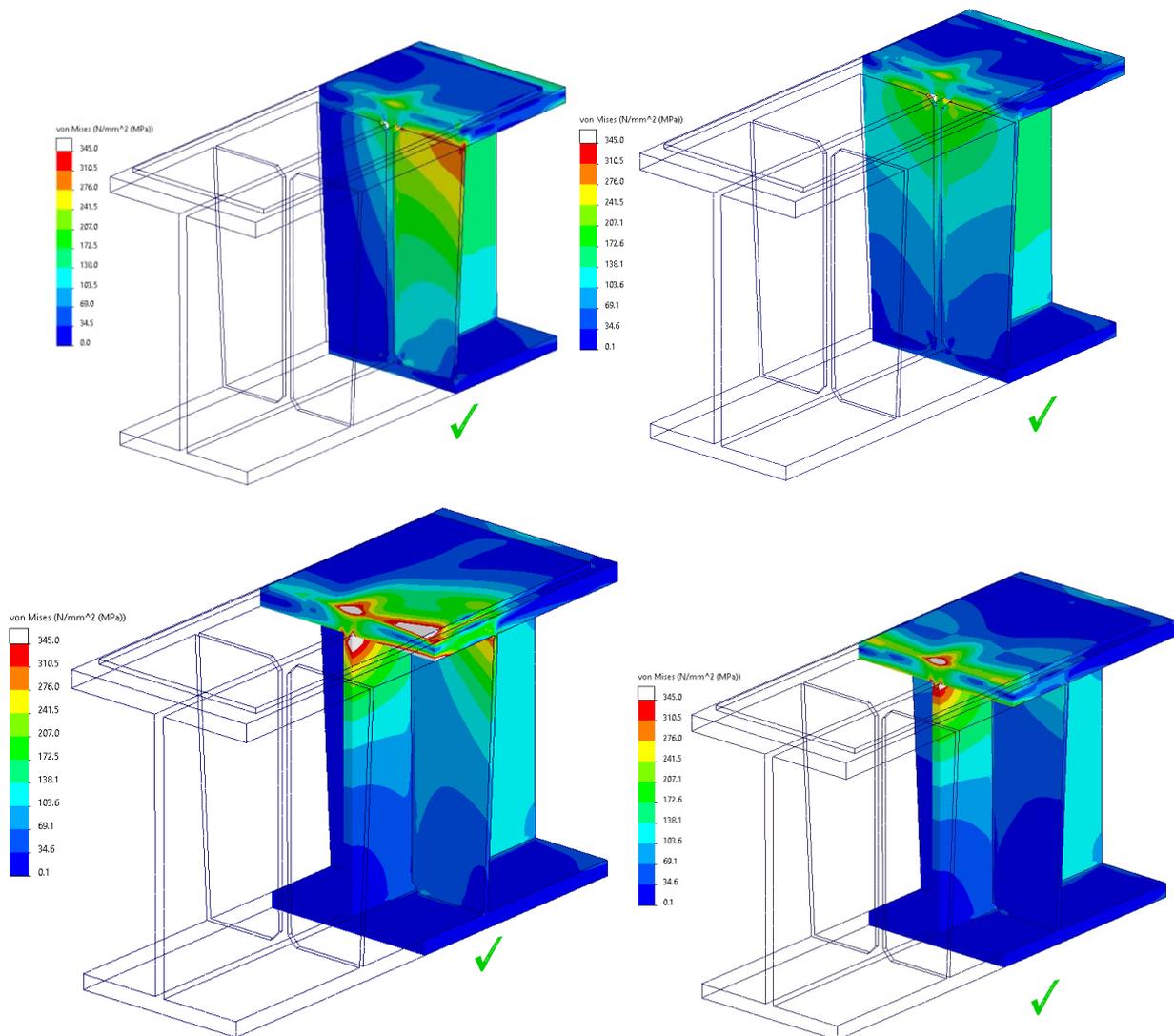


Abbildung 15-7: Spannungsergebnisse – Verschubbahn, Lastposition 1, 2, 3 und 4 ✓

Durch Vergleichsrechnung geprüft

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 227 von 252

15.2.4.3 Verformungen

Die Verformungen in der Verschubbahn für alle Brücken außer B4 sind in der folgenden Abbildung exemplarisch für Lastposition 1 gezeigt. ✓

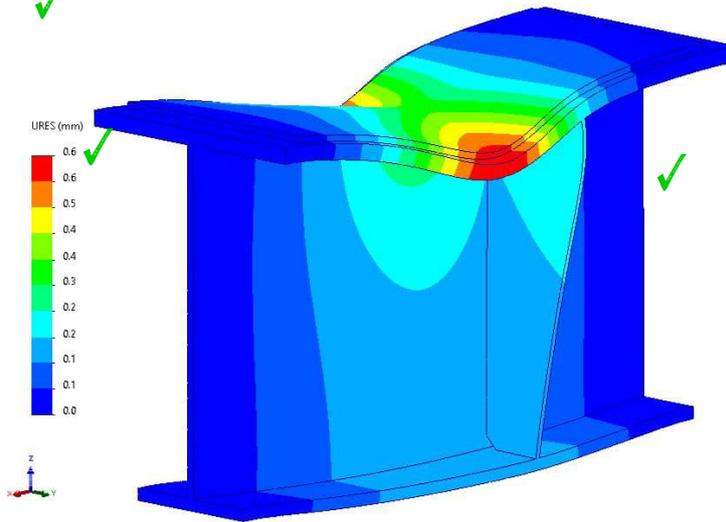


Abbildung 15-8: Verformungsergebnisse – Verschubbahn ✓

Die Verformungen in der Verschubbahn für Brücke B4 sind in der folgenden Abbildung exemplarisch für Lastposition 3 gezeigt. ✓

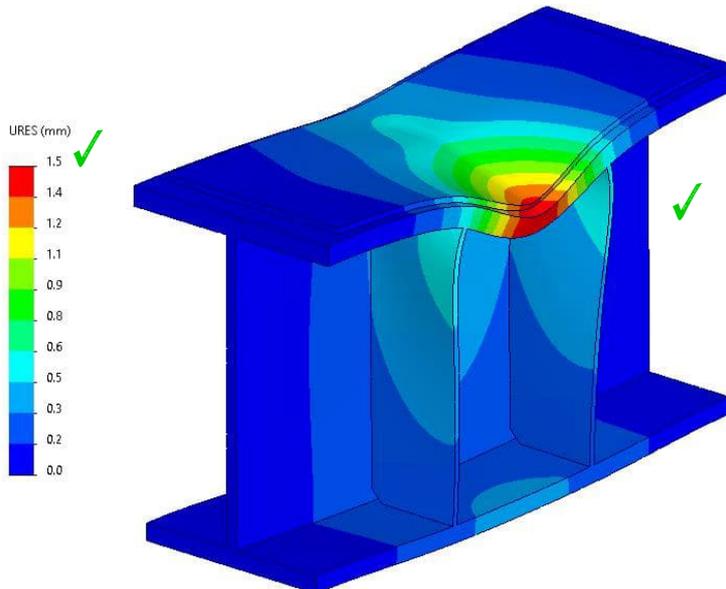


Abbildung 15-9: Verformungsergebnisse – Verschubbahn für Brücke B4 ✓

Durch Vergleichsrechnung geprüft

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 228 von 252

15.3 Horizontaler Lastabtrag über Schlitz-Wandung am verschieblichen Gleitlager

15.3.1 Allgemeine Beschreibung

Wie auch schon in Abbildung 15-1 dargestellt und in den vorigen Kapiteln beschrieben, wird das Gleitlagerende der Brücke mit seinem Gelenkstützen (gelb) in Längsrichtung über einen Verschub-Schlitten (grün) in einem plattformseitig strukturellen Schlitz (grau) verschieblich gehalten.

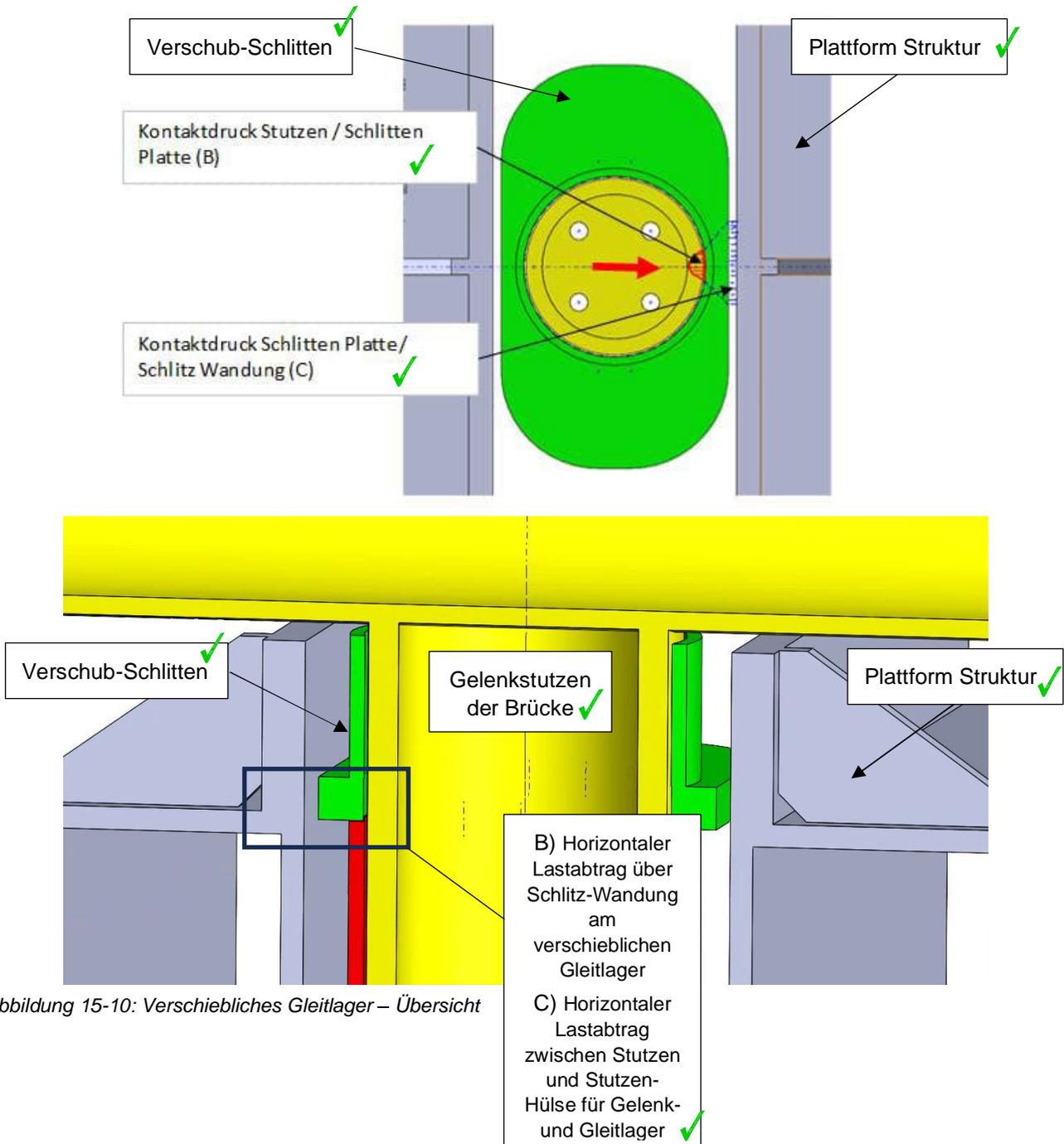


Abbildung 15-10: Verschiebliches Gleitlager – Übersicht

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 229 von 252

15.3.2 Beschreibung der Nachweisführung

Der lokale Nachweis des Kontaktdrucks zwischen dem brückenseitigem Lager-Stutzen mit Schlittenplatte (Gleit-Lager) und der plattformseitigen Schlitz-Wandung (siehe auch Abbildung 15-10) wird vereinfacht wie unten beschrieben geführt.

Die Abmessung der Schlittenplatte für alle Brücken außer Brücke B4 sind exemplarisch in der folgenden Abbildung dargestellt.

Für weitere Abmessungen der Lagerdetails siehe Ref. [24.].

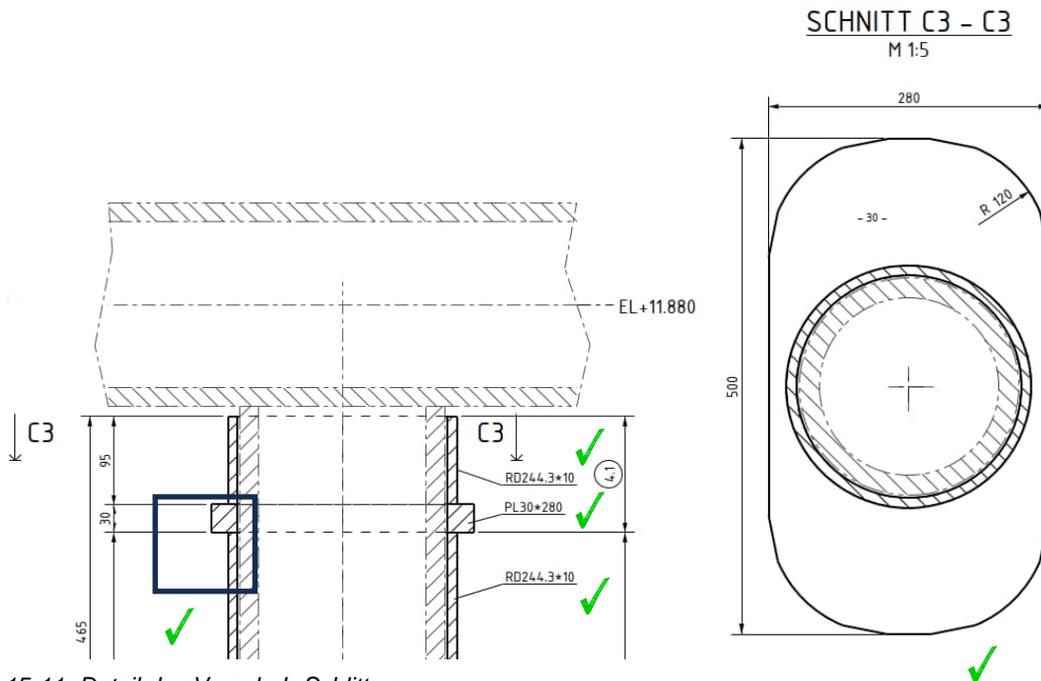


Abbildung 15-11: Detail des Vershub-Schlittens

Die maximale horizontale Lager-Kraft von 320 kN (siehe Kapitel 9.4.7 und 14.2.4) wird über eine rechnerische Länge von $b = 104$ mm und die Dicke der Schlittenplatte $t = 30$ mm (siehe Abbildung 15-11 und Anhang B) für alle Brücken außer Brücke B4 als gleichmäßig übertragen betrachtet.

Für die Brücke B4 ist die maximale horizontale Lager-Kraft von 323 kN (siehe Kapitel 9.4.7 und 14.2.4), die rechnerische Länge von $b = 115$ mm und die Dicke der Schlittenplatte $t = 30$ mm (siehe Anhang B).

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 230 von 252

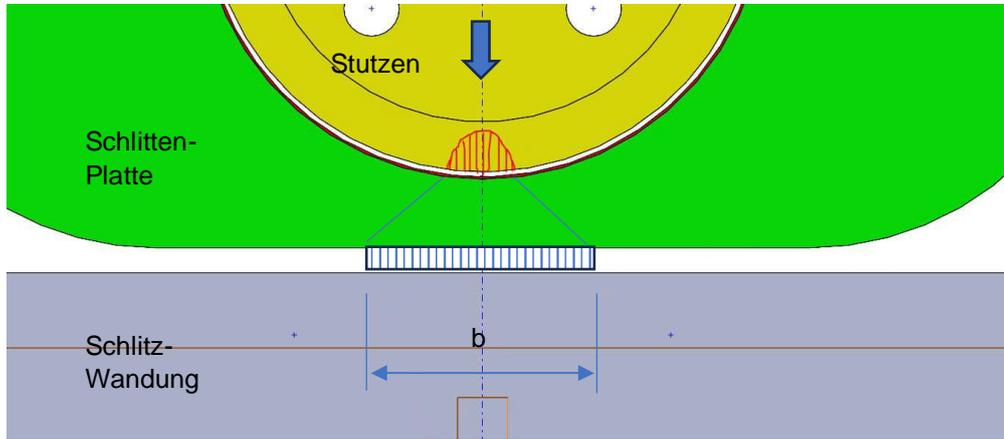


Abbildung 15-12: Detail Draufsicht der Schlitz-Wandung – Kontaktdrücke ✓

Aus dieser konservativen reduzierten Druckfläche resultiert ein rechnerischer Kontaktdruck von 103 N/mm² und somit ein Auslastungsgrad von 24% (siehe Anhang A3) für die typischen Details für alle Brücken außer Brücke B4.

Für Brücke B4 resultiert ein rechnerischer Kontaktdruck von 96 N/mm² und somit ein Auslastungsgrad von 22% (siehe Anhang A3).

Auf eine detaillierte FE-Analyse wird hier verzichtet, da in der Realität die Horizontalkraft über eine deutlich größere Fläche in die steife Struktur übertragen wird und somit keine Spannungsspitzen zu erwarten sind.

Durch Vergleichsrechnung geprüft

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 231 von 252

15.4 Horizontaler Lastabtrag über Stutzen-Hülse im Gelenk- und Gleitlager

15.4.1 Allgemeine Beschreibung

Wie auch schon in Abbildung 15-1 dargestellt und in den vorigen Kapiteln beschrieben, wird sowohl das gelenkige Festlager als auch das Gleitlager mittels eines Gelenkstutzens (gelb; RD 219.1*20 (für alle Brücken außer B4) und RD 355.3*30 (für Brücke B4)) in einer entweder verschieblichen oder einer fixierten Hülse (grau; RD 244.3*10 (für alle Brücken außer B4) und RD 406.4*16 (für Brücke B4)) gelenkig gelagert.

Im Folgenden wird der entstehende Kontaktdruck zwischen der konvexen Außenoberfläche des Stutzens und der konkaven Innenoberfläche der Hülse mittels dem Nachweis der Herzschen Pressung ermittelt.

Für weiter Abmessungen der Lagerdetails siehe Ref. [24.] ✓

15.4.2 Beschreibung der Nachweisführung

Der lokale Nachweis des Kontaktdrucks zwischen dem brückenseitigem Lager-Stutzen (beide Lager) und der Hülse wird vereinfacht wie unten beschrieben geführt. Die maximale horizontale Lager-Kraft von 320 kN (für die typische Details) und 323 kN (für Brücke B4) (siehe Kapitel 9.4.7 und 14.2.4) wird über eine rechnerisch ermittelte Kontaktflächenbreite und die konservative angenommene Kontaktflächenhöhe $t = 30 \text{ mm}$ (siehe Anhang C2) als gleichmäßig übertragen betrachtet. ✓

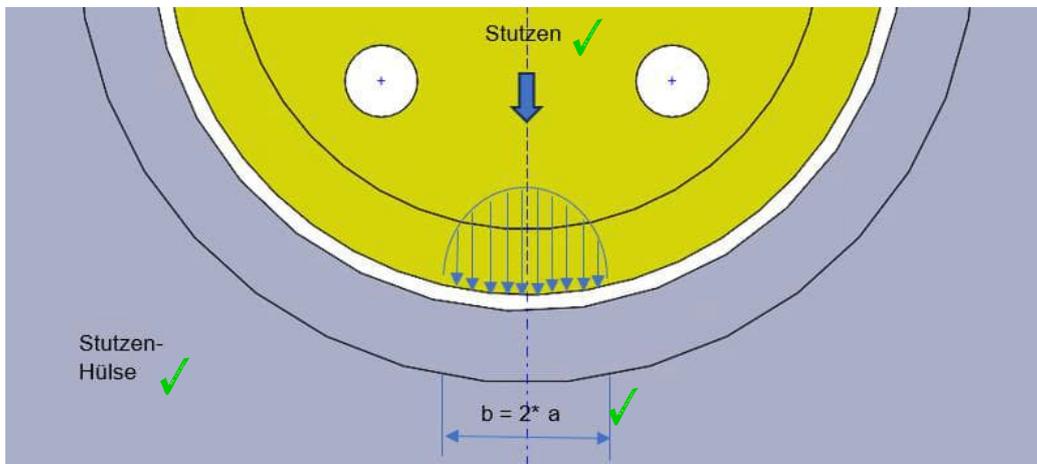


Abbildung 15-13: Stutzen-Hülse – Kontaktdruck ✓

Aus dieser konservativen reduzierten Druckfläche resultiert ein rechnerischer Kontaktdruck von 283 N/mm² (für die typischen Details) und 341 N/mm² (für Brücke B4) und somit ein Auslastungsgrad von 65% (für die typischen Details und 78% (für Brücke B4) (siehe Anhang B).

Auf eine detaillierte FE-Analyse wird hier verzichtet, da in der Realität die Horizontalkraft über eine deutlich größere Fläche in die steife Struktur übertragen wird und somit keine Spannungsspitzen zu erwarten sind.

Durch Vergleichsrechnung geprüft

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		

16 Nachweis des Fenderanschlusses (Fenderstüb) an den Pfahl

16.1 Allgemeines

Wie in Kapitel 0 beschrieben sind die Anlegedalben (BD1 bis BD4) mit Fender SCN 2250 F1.4 ausgestattet, an den sich das FRSU legen kann. Der Fender liegt bei EL + 6,5 m SKN / LAT. In der folgenden Abbildungen ist das Fenderanschluss am Pfahl exemplarisch bei BD1 dargestellt. Der Fender wird mittels Schraubenverbindung zu dem Fenderstüb verbunden.

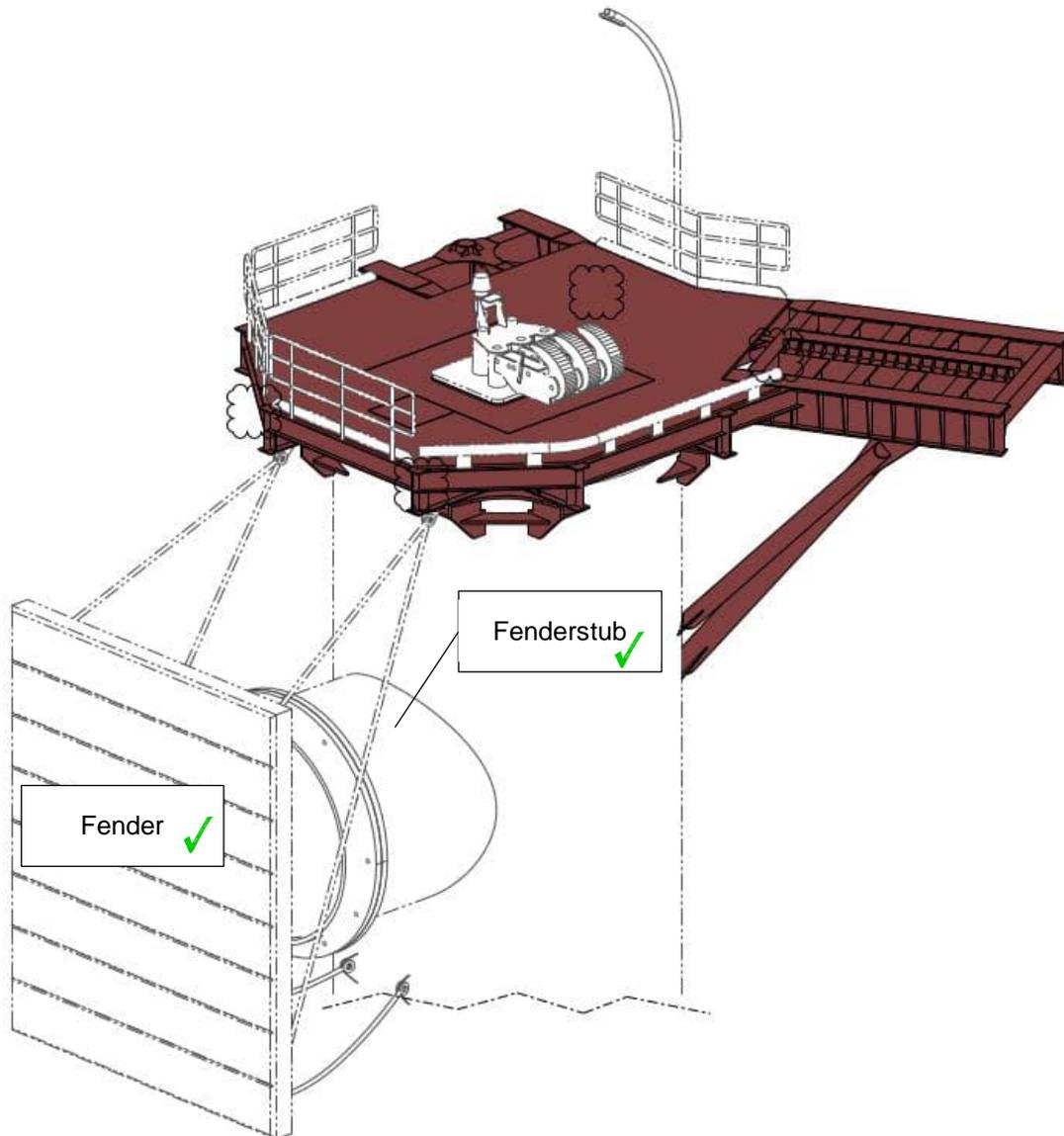


Abbildung 16-1: Übersicht Fenderanschluß an Pfahl, Ref. [13.] ✓

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 233 von 252

Das Fenderstübchen wird erst nach Pfahlinstallation auf der richtigen Länge geschnitten, damit alle Fender auf einer Linie liegen. Das Stübchen wird an dem Pfahl angeschweißt. Der nominale Abstand zwischen Fenderplattende und Pfahlmitte ist 6,5 m. Eine Pfahltoleranz von ± 500 mm wurde berücksichtigt. Laut Ref [6.] ist die Fenderlänge von 2,250 mm und die Fenderplattendicke von 330 mm berücksichtigt.

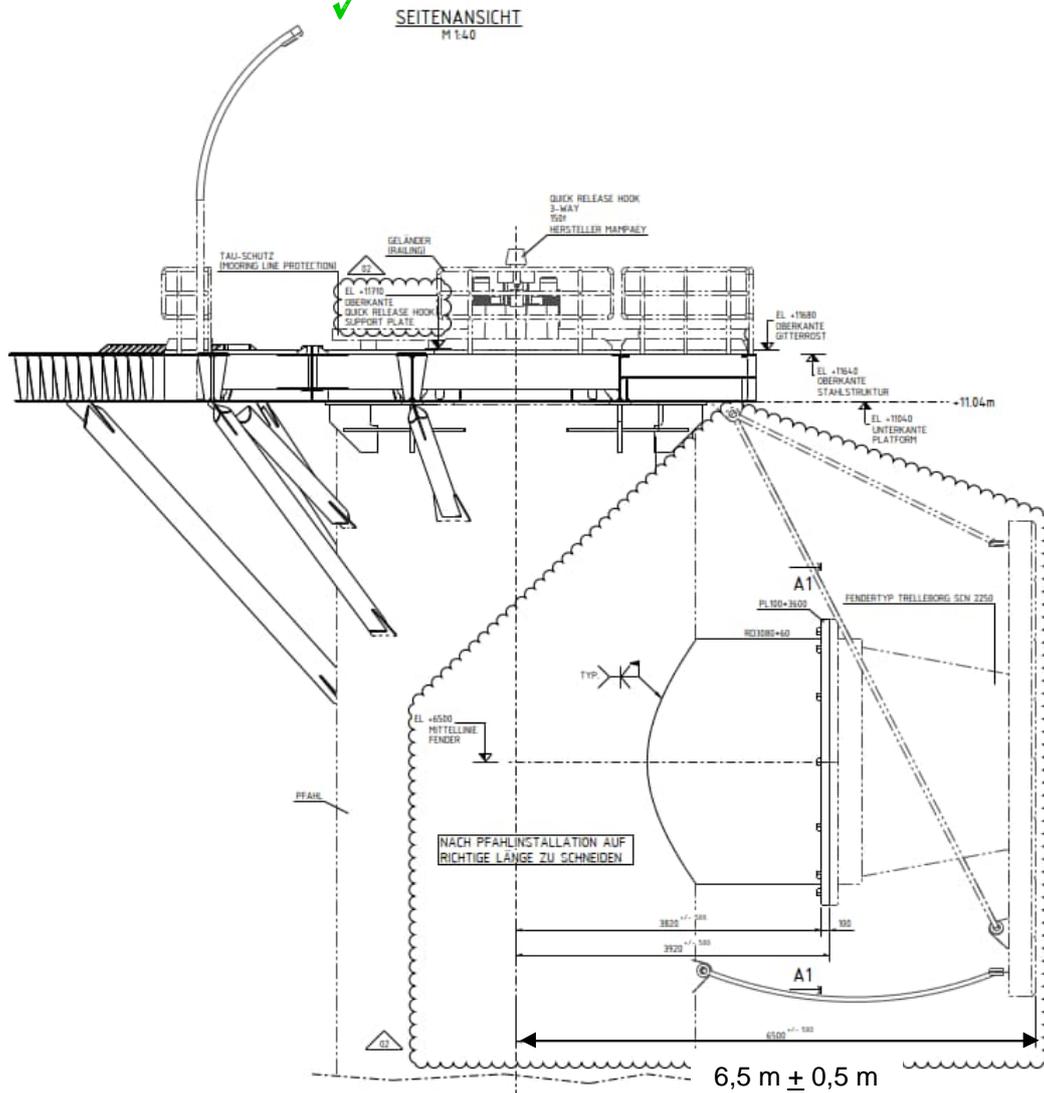


Abbildung 16-2: Übersicht des Fenderanschlusses am Pfahl, Seitenansicht, Ref. [13.]

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 234 von 252

16.2 Modelbeschreibung

Im Folgenden wird der Fenderanschluss am Pfahl als dreidimensionales FE Modelle in SolidWorks [b] analysiert. Es ist zu notiert, dass der Nachweis der Schraubenverbindung zwischen Fender und Fenderstüb nicht das Teil dieses Dokument ist.

Das Modell besteht aus dem Fenderstüb, Pfahl und Deckhauptträger. Die Deckhauptträger sind mitmodelliert, um die Steifigkeit oben auf dem Pfahl zu berücksichtigen. Die maximale Länge von Fenderstüb aufgrund Pfahltoleranz ist hier berücksichtigt.

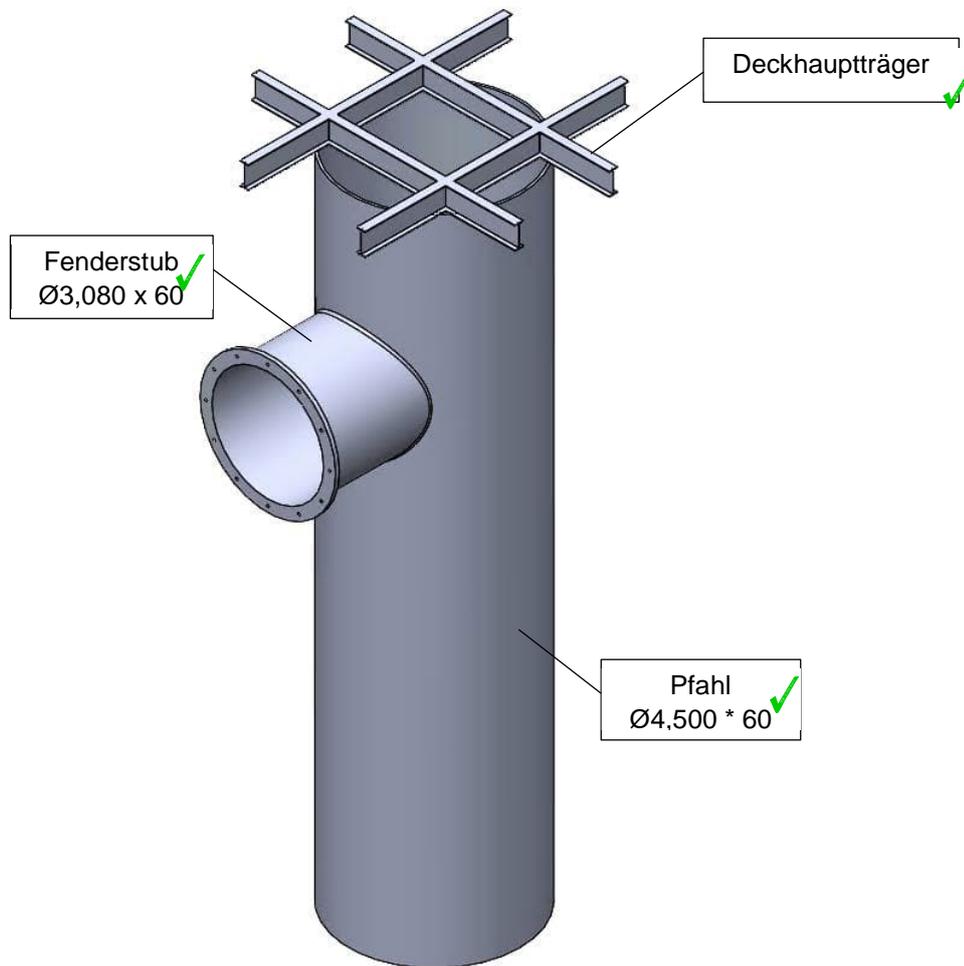


Abbildung 16-3: FE Model ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 235 von 252

16.3 Randbedingungen

Für den Nachweis des Fenderanschlusses ist das Modell an unterem Schnittende fixiert. ✓

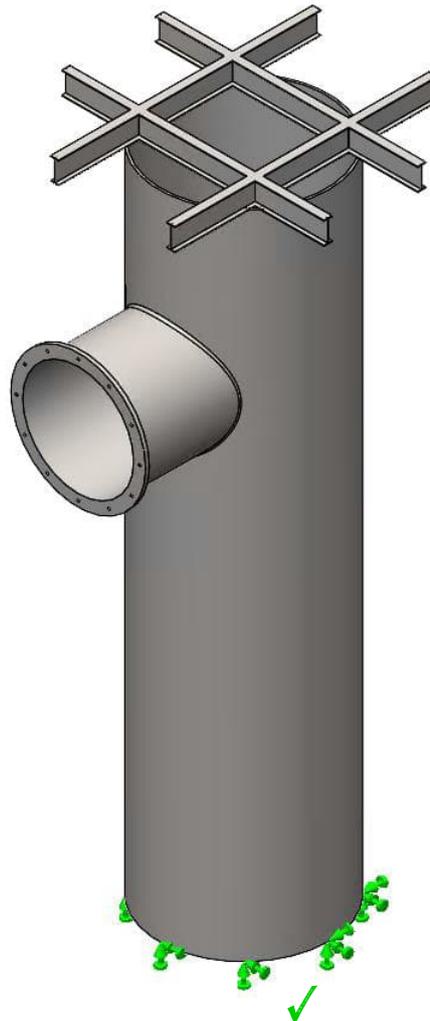


Abbildung 16-4: Randbedingungen ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 236 von 252

16.4 Lasten als richtig vorausgesetzt.

Die Lasten in Kapitel 6.3.2 sind für den Nachweis des Fenderanschluss berücksichtigt. Die Fenderlasten sind in der Tabelle unten dargestellt.

Tabelle 16-1: Fenderlasten

Fenderlasten	Wert [kN]
Axiale Drucklast, $F_{Fender,X,ch}$	4.711 ✓
Horizontale Last (infolge Reibung), $F_{Fender,H,ch}$	942 ✓
Vertikale Last (infolge Reibung), $F_{Fender,V,ULS}$	942 ✓
Fender-Gewicht, W_{Fender}	159 ✓

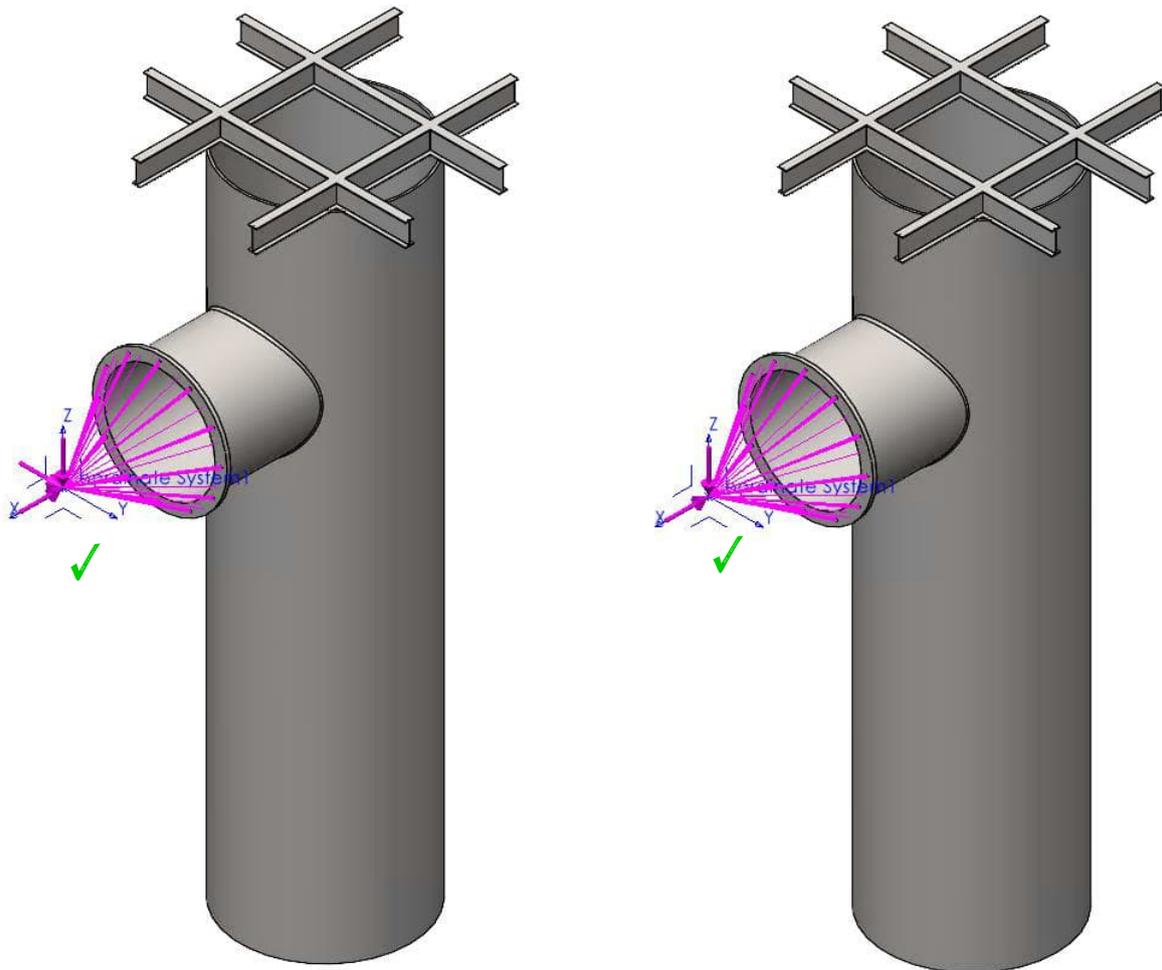
Für den Festigkeitsnachweis nach dem Eurocode werden folgende ULS Lastfallkombinationen (LCOM) gebildet.

Tabelle 16-2: ULS Lastfallkombinationen (LCOM)

Lastfall (LC)	LCOM 1 ✓	LCOM 2 ✓
LC 1 – Axiale Drucklast	1.5	1.5
LC 2 – Horizontale Last (infolge Reibung)	1.5	
LC 3 – Vertikale Last (infolge Reibung)		1.5
LC 4 – Fender-Gewicht	1.35	1.35

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 237 von 252

In der Abbildung unten ist die Kraftaufbringung in FE-Modell dargestellt. Die Kräfte werden als Remote Load an der Stelle von Fenderplattenende aufgebracht.



LCOM 1 ✓

LCOM 2 ✓

Abbildung 16-5: Kraftaufbringung in FE-Modell ✓

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 238 von 252

16.5 FE-Netz

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

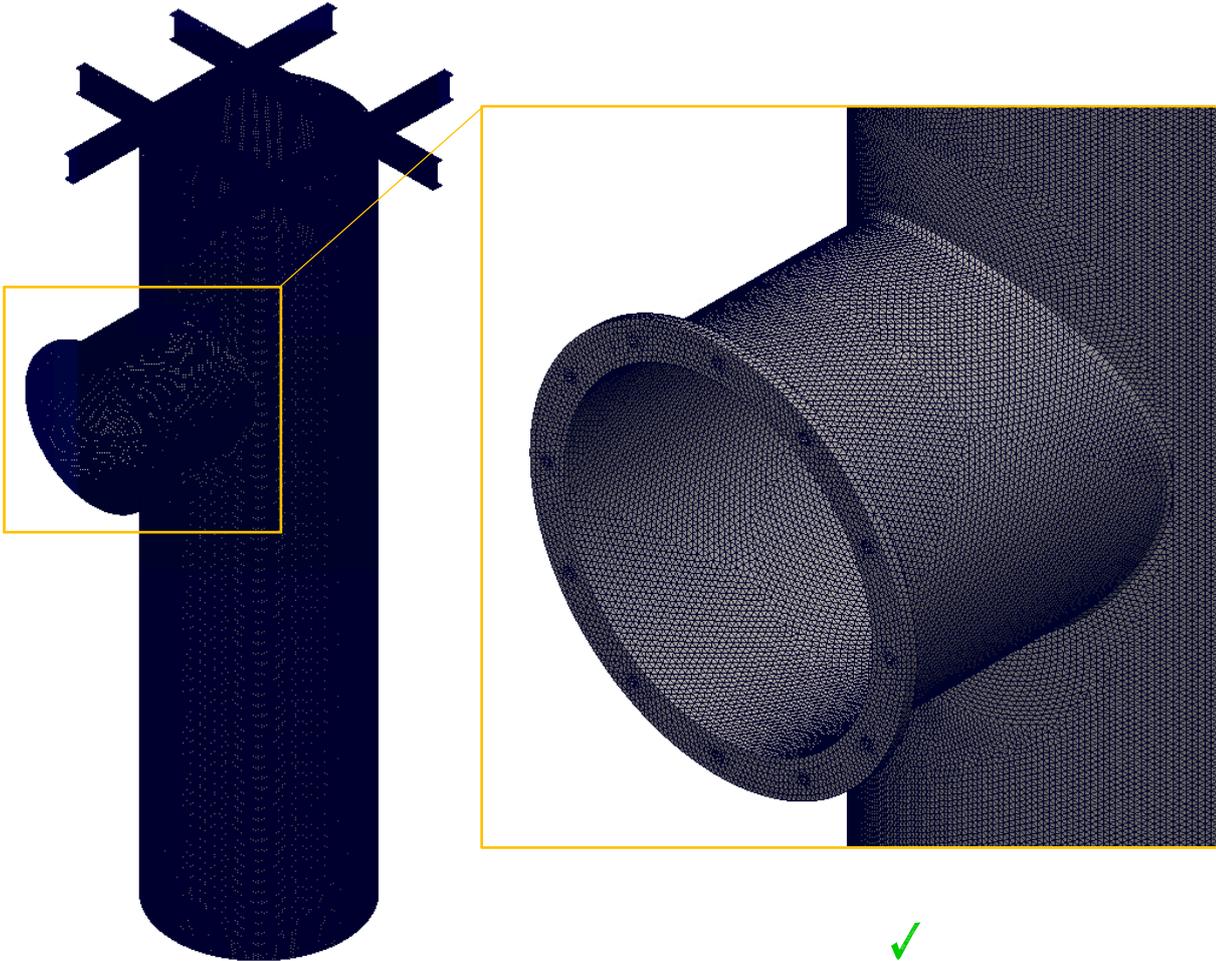


Abbildung 16-6: FE-Netz ✓

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 239 von 252

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.

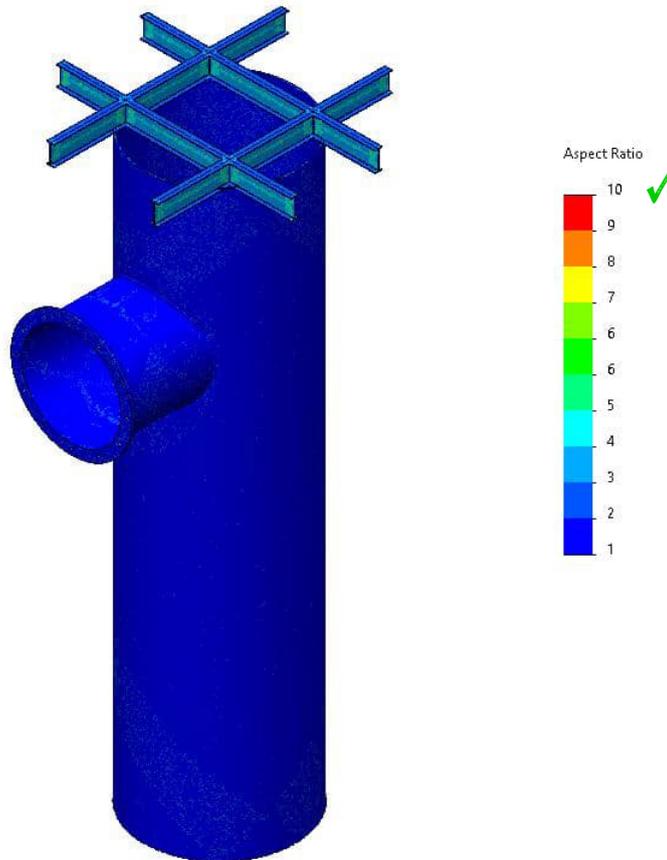


Abbildung 16-7: FE-Netz – Seitenverhältnis der Elemente

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



	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 240 von 252

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

Tabelle 16-3: Netzdetails

Beschreibung	Fenderanschluss
Netztyp	Volumen-Netz
Verwendeter Netzgenerator	Kurvengestütztes Misch-Netz
Jakobi-Punkte	16
Max. Elementgröße	50 mm
Min. Elementgröße	2.5 mm
Netzqualität	Hoch (10 Knoten)
Anzahl Knoten	2.577.263
Anzahl Elemente	1.517.890
Max. Seitenverhältnis	41,2
Anteil Elemente mit Seitenverhältnis < 3	96,8
Anteil Elemente mit Seitenverhältnis > 10	0



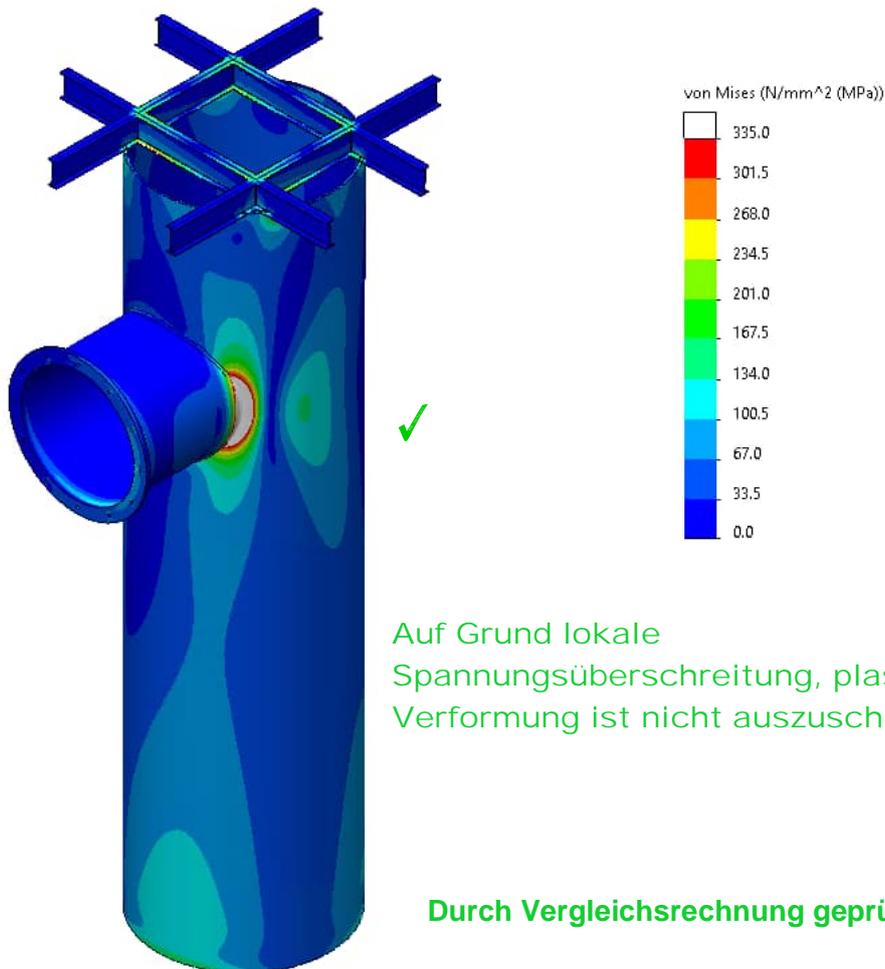
 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 241 von 252

16.6 Ergebnisse

In den folgenden Kapiteln werden die resultierenden Spannungen und Verformungen für den Fenderanschluss bei der schlimmsten Lastkombination gezeigt. Die Lastkombination LCOM1 ist der schlimmste Fall.

16.6.1 Spannungsergebnisse

Die folgende Abbildung zeigt die resultierenden von Mises Spannungen. Der Spannungsplot ist auf die zulässige Vergleichsspannung von 335 MPa limitiert. Alle Spannungen, die diesen Wert überschreiten werden in weiß dargestellt. Ein zweiter Plot zeigt diese Überspannungen im Detail. Die Überspannungen tauchen nur an die Oberflächen auf und gehen nicht durch die Dicke der Elemente. Es ist zu notieren, dass in der Analyse maximale Kapazität von dem Fender SCN 2250 F1.4 mit den Winkel-, Temperatur-, Geschwindigkeits- und Toleranz-Faktor berücksichtigt sind. Außerdem ist die maximale mögliche Länge des Stubs aufgrund der Pfahltoleranz betrachtet. Für die Bestimmung von der Reibungskraft ist auch konservativ ein Beiwert von $\mu = 0,2$ angenommen. Aufgrund dieser konservativen Annahmen sind die Überspannungen nicht kritisch gesehen. ✓



Auf Grund lokale Spannungsüberschreitung, plastische Verformung ist nicht auszuschließen.

Durch Vergleichsrechnung geprüft

Abbildung 16-8: Spannungsergebnisse in FE-Modell

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 242 von 252

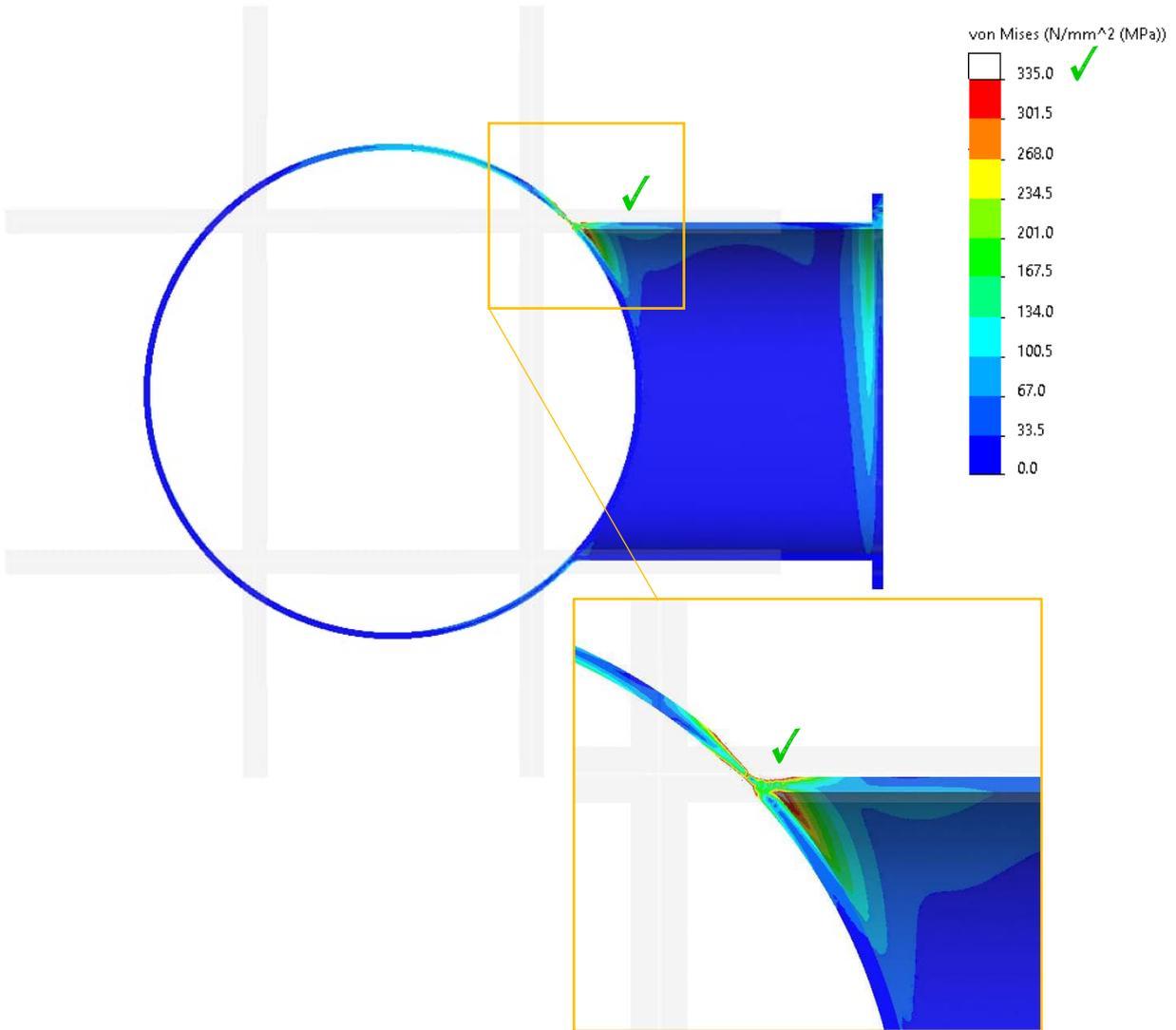
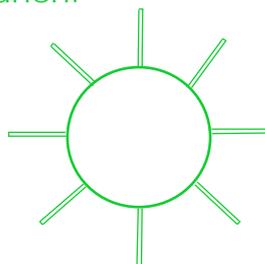


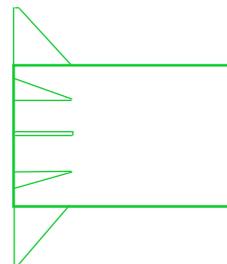
Abbildung 16-9: Überspannungen in FE-Modell ✓

Durch Vergleichsrechnung geprüft

Empfohlen: Leitungsbleche anordnen.



Frontansicht



Seitenansicht

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 243 von 252

16.6.2 Verformungsergebnisse

Die folgende Abbildung zeigt die resultierende Verformungen. Um die Verformung sichtbar zu machen, wurde diese mit dem Faktor 50 skaliert.

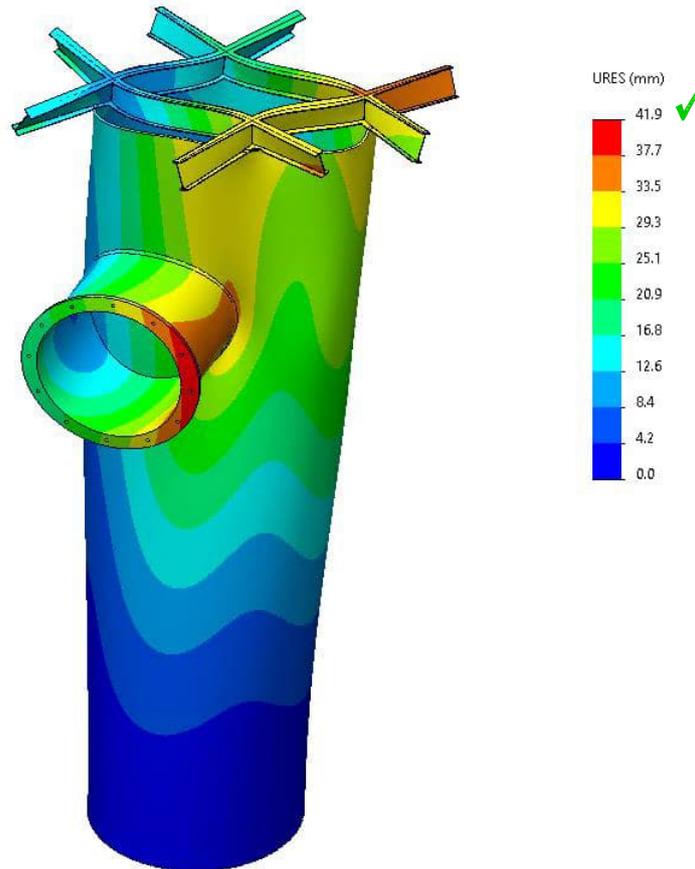


Abbildung 16-10: Verformungen in FE-Modell

Durch Vergleichsrechnung geprüft

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 244 von 252

17 Nachweis des Zugangsplattform unter Haken

17.1 Allgemeines

Alle MDs, BD1 und BD4 sind mit Zugangsplattform unter dem Deck ausgestattet. Dieses Zugangsplattform dient dem Zugang zu der Schraubenverbindung des Hakens. Die Struktur besteht aus ein Plattform, das mittels Stützen unter dem Deck geschraubt. ✓

Die Deckflächen und die Hauptabmessungen des Plattform sind in der folgenden Abbildungen gezeigt. Es ist zu notieren, dass das Zugangsplattform bei MD1 ähnlich wie bei den anderen MDs ist. ✓

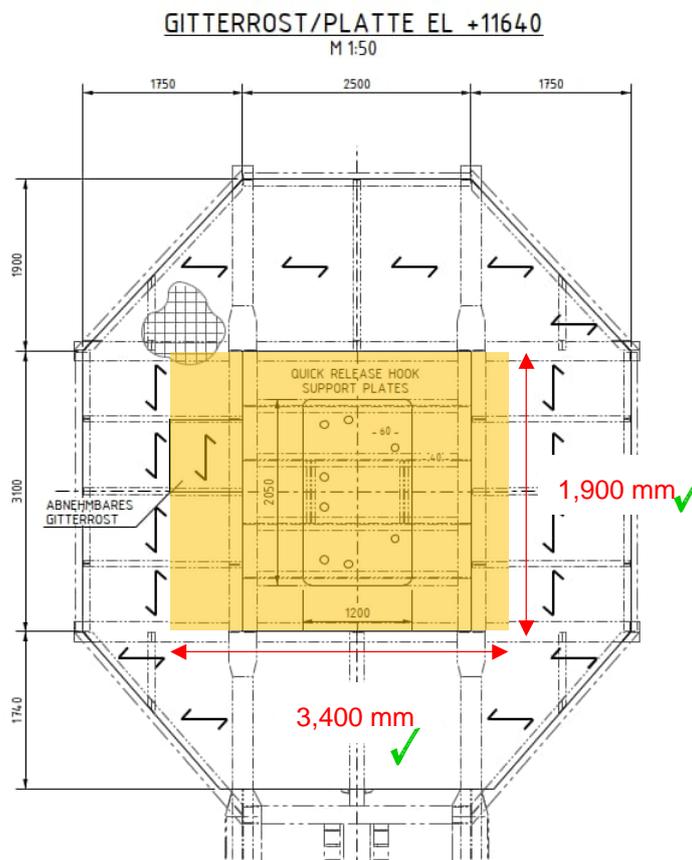


Abbildung 17-1: Hauptabmessungen des Zugangsplattform, MD1 (Draufsicht) ✓

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 245 von 252

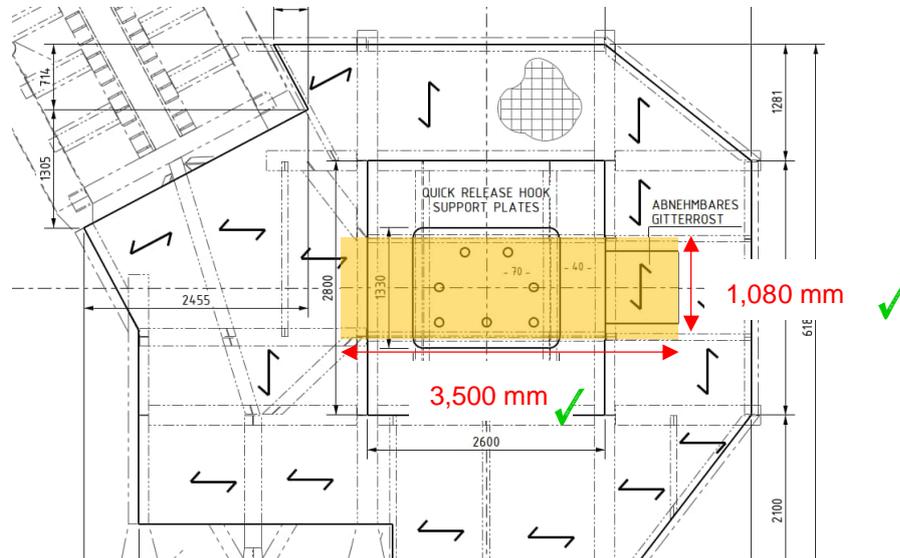


Abbildung 17-2: Hauptabmessungen des Zugangsplatforms, BD1 (Draufsicht) ✓

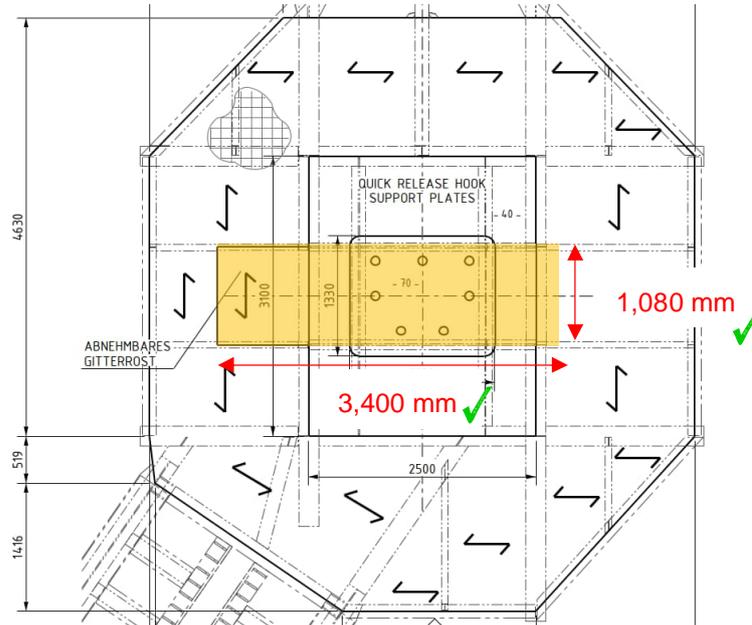


Abbildung 17-3: Hauptabmessungen des Zugangsplatforms, BD4 (Draufsicht) ✓

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 246 von 252

In der Abbildung unten sind weitere Angaben von dem Zugangsplattform bei MD1 exemplarisch gezeigt. Diese sind ähnlich wie bei den anderen Zugangsplattformen. Die Schraubenverbindung zwischen dem Zugangsplattform und Deck ermöglicht, dass das Zugangsplattform und Dalben separat zu transportieren.

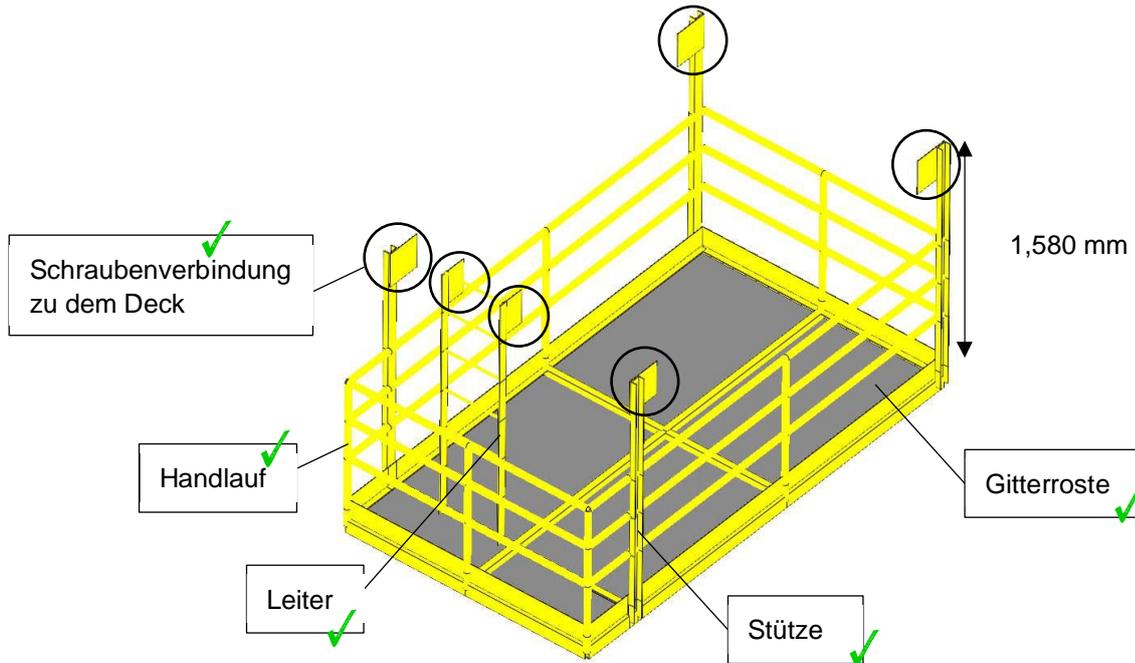


Abbildung 17-4: Höhe des Zugangsplattform, MD1

17.2 Modelbeschreibung

Für den Festigkeitsnachweis sind das Zugangsplattform zusammen mit dem Dalben berücksichtigt. Das entsprechende FE-Modell, gezeigt, in der Abbildungen unten, besteht hauptsächlich aus Balkenelementen. Die „Load Patch“ Elemente werden verwendet, um die Laufwegplatten zu modellieren. Dieser Elementtyp ist masselos und dient der Lastverteilung auf die angrenzenden Balken. Es wird angenommen, dass die Lasten von Laufwegplatten nur über die kurze Seite auf zwei Seiten von den Balken abgetragen werden. Bei der Schraubenverbindungen zwischen dem Zugangsplattform und Dalben sind die Balken so definiert, sodass hier keine Momente übertragen werden.

Es ist zu notieren, dass nur das Zugangsplattform bei MD1 in dieser Analyse berücksichtigt ist, weil dieses Plattform ähnlich wie bei den anderen MDs und zweimal größer als das Zugangsplattform bei BD1 und BD4 ist.

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 247 von 252

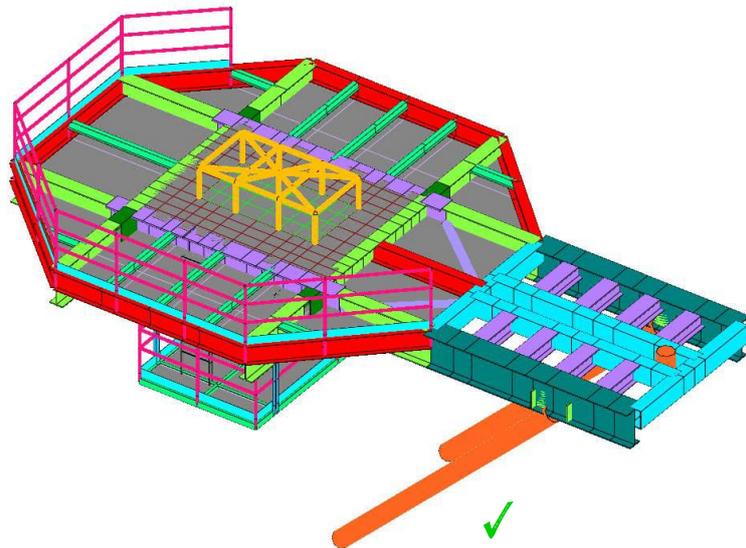


Abbildung 17-5: FE Modell, Betriebszustand ✓

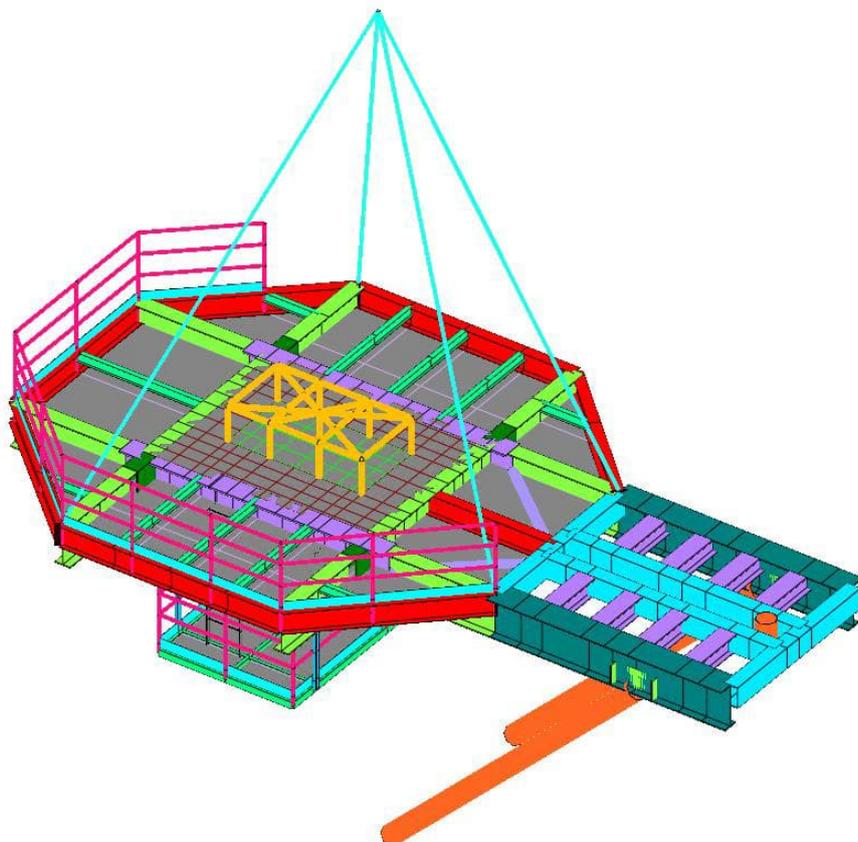


Abbildung 17-6: FE Modell, Einheben ✓

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 248 von 252

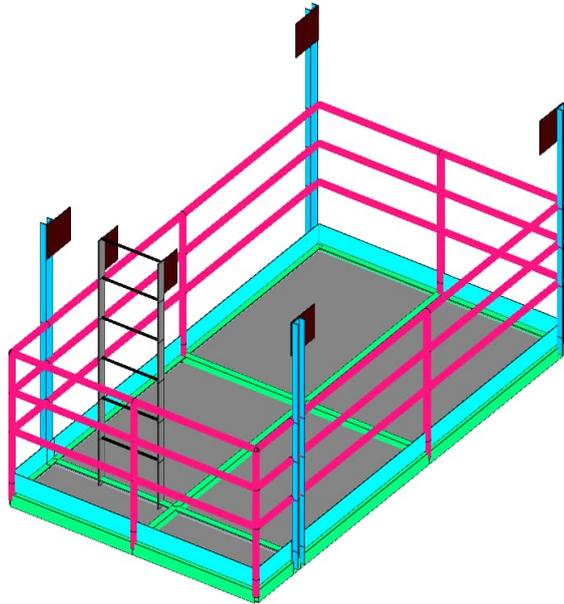


Abbildung 17-7: FE Modell, nur Zugangsplattform eingeblendet ✓

17.3 Randbedingungen

Für den Nachweis des Zugangsplattform für Betriebszustand und Einheben sind die Randbedingungen wie in Kapitel 9.3 und 10.3 berücksichtigt.

17.4 Lasten

Die Lasten in Kapitel 9.4 und 10.4 sind für den Nachweis des Zugangsplattform berücksichtigt. Es ist zu notieren, dass bei der Zugangsplattform keine Umweltlasten angesehen, weil das Plattform in dem Pfahl abgeschirmt ist. ✓

 ECONNECT Energy EXCELERATE ENERGY	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 249 von 252

17.5 Ergebnisse

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

17.5.1 Spannungsergebnisse

Die folgende Abbildung zeigt die resultierenden von Mises Spannungen. Die maximale Spannung für Betriebszustand und Einheben sind jeweils 80.8 MPa und 42.6 MPa und weit unter die zulässige Vergleichsspannung von 355 MPa. ✓

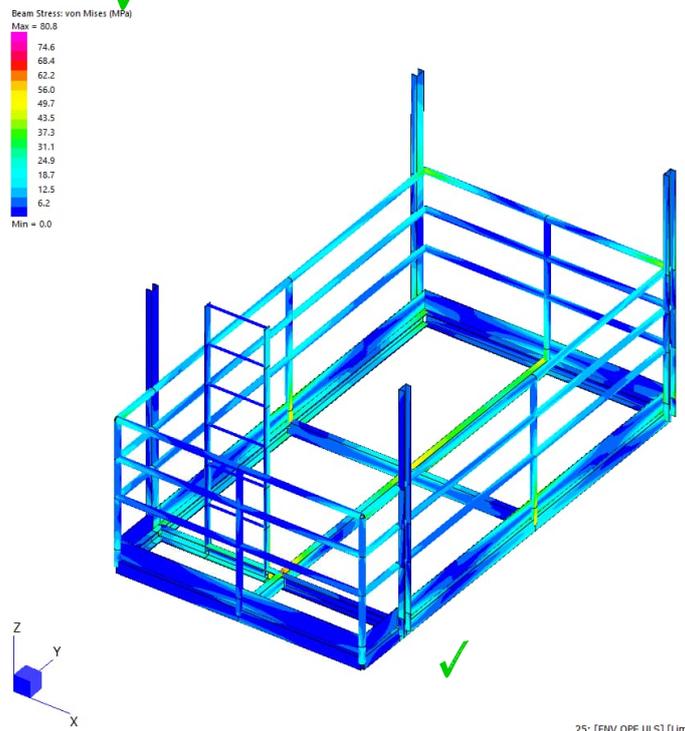


Abbildung 17-8: Spannungsergebnisse, Betriebszustand ✓

Durch Vergleichsrechnung geprüft

	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 250 von 252

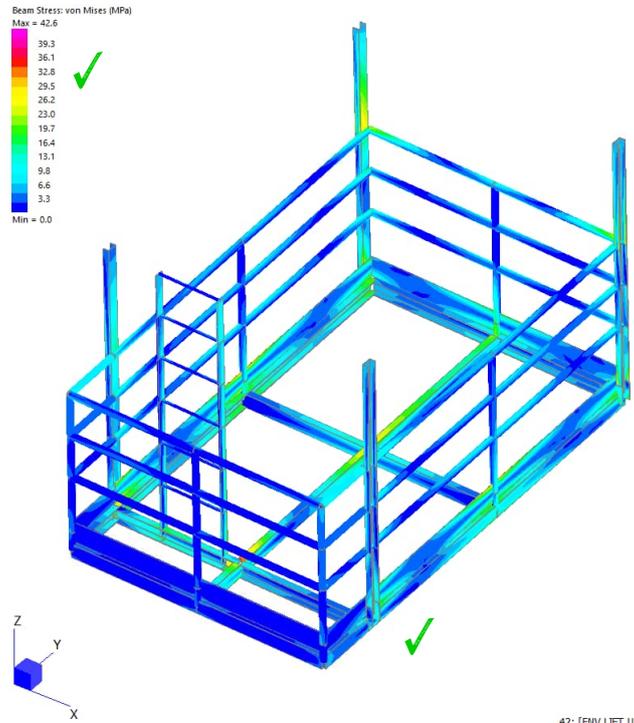


Abbildung 17-9: Spannungsergebnisse, Einheben

17.5.2 Verformungsergebnisse

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

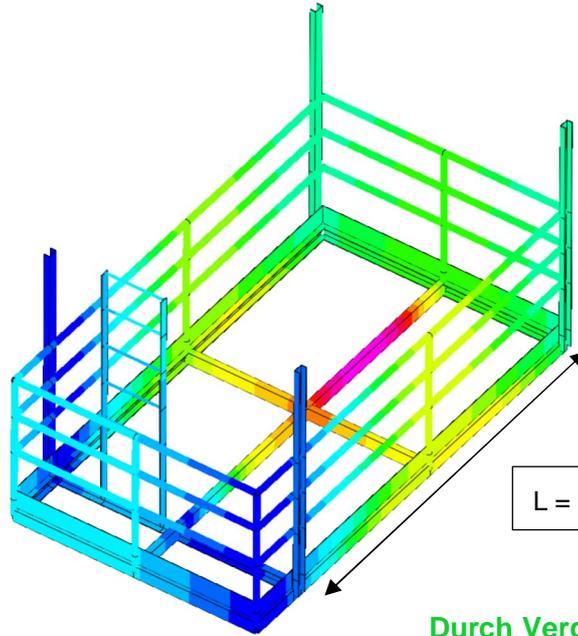
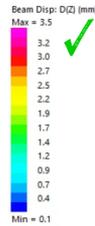
- für Einfeldträger $\delta < L / 200$, ✓

Die maximale Durchbiegung des Zugangsplattformen der MD1 beträgt 3,5 mm. Die Verformung ist in der Abbildung unten dargestellt. Diese maximale Durchbiegung ist weniger als $L / 200 = 12,5$ mm. ✓

Durch Vergleichsrechnung geprüft

Nachweis der Steigeleiter der Zugangsplattform ist zu ergänzen.

  	Struktur	
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 251 von 252



L = 2,500 mm ✓

Durch Vergleichsrechnung geprüft ✓

Abbildung 17-10: Verformungen ✓

Die maximale Scherkraft bei der Schraubenverbindung beträgt 8,3 kN. Das Schrauben M12 ist für die Verbindung gewählt. Für das Schraubencheck siehe Anhang C. ✓

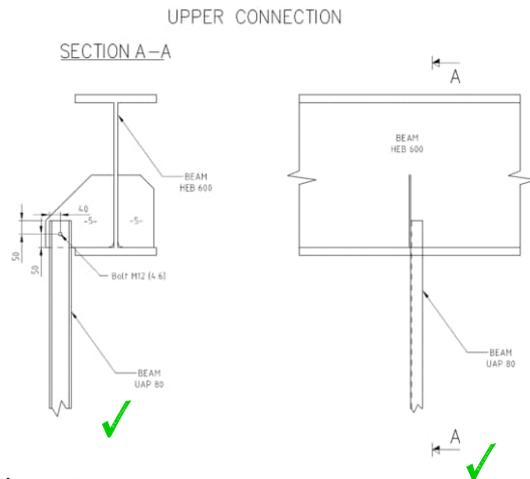


Abbildung 17-11: Schraubenverbindung ✓

  	Struktur	 
TES Proj. Nr.: TES-WHV-VGN	Wilhelmshaven FSRU: Statische Berechnungen der Dalben Plattformen	Doc. Nr: TES-WHV-VGN-FSRU-ST-DOC - 2028.03
TES Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 252 von 252

18 Übersicht zu den Anhängen

Anhang A – Verschubbahn - Kontaktdruck / -fläche

Anhang B - Schlitz-Wandung - Kontaktdruck / -fläche

Anhang C - Schraubenverbindung des Zugangsplattform

Anhang D – Datenblatt zum Quick Release Hook TQRH - Mampaey

Anhang E - Datenblatt zum Quick Release Hook QQRH - Mampaey

OVERDICK

Project No.: C1150
 Project Title: ENGIE LNG Wilhelmshaven
 Client: ENGIE
 Doc. No.: C1150-REP-30-002-03

Prepared by: AK
 Prepared on: 29/9/2023
 Revision: 03
 Attachment No. A

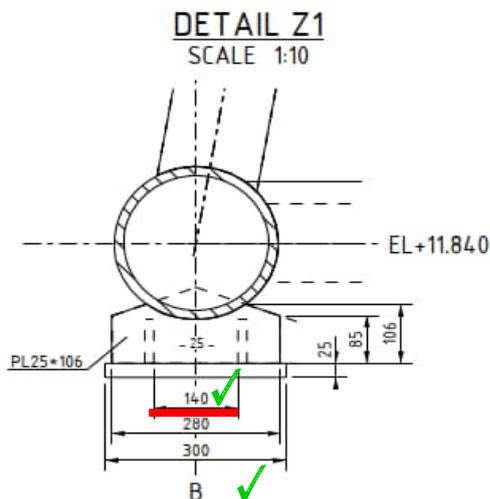
Nachweis des Vertikalen Verschub-Schuhs für das Festlager und das Loslager

A1) Eingabe Parameter

Kontakt Körper 1	Verschub-Schuh Brücke			
Material	S355 ✓			
E-Modul	E1 =	210000 N/mm ²		
Poisson Zahl	v1 =	0.3 -		
Krümmungsradius	ρ1 =	2500 mm ✓	(Platte gebogen mit R = 2.5 m)	
Kontakt Körper 2	Verschub-Fläche Plattform			
Material	S355 ✓			
E-Modul	E2 =	210000 N/mm ²		
Poisson Zahl	v2 =	0.3 -		
Krümmungsradius	ρ2 =	1000000 mm	(ebene Platte)	
Minimale Schmierfilm Dicke	h _{min} =	0 mm ✓	(konservative Annahme: kein Schmierfilm)	
Mittlere Oberflächen Rauheit	Ra =	1.6 mm ✓	(angenommen für Fläche gesäubert und geschliffen)	
Länge der Kontaktfläche	l =	140 mm ✓	(geschätzt; 0.5 * Verschub-Schuh Breite = 0.5*280mm)	
Reibzahl	μ =	0.3 ✓	(Stahl auf Stahl)	
Max. Vertikale Lagerkraft	F _v =	500000 N ✓	(max. Vertikalkraft)	
			(von Lagerreaktion der Brücken Fest- / Loslager, incl. EC3 Faktoren)	

A2) Nachweis des Kontaktdruck nach Hertz

reduzierter Krümmungsradius	ρ =	2494 mm ✓	$\rho_1 \cdot \rho_2 / (\rho_1 + \rho_2)$
reduzierter E-Modul	E =	230769 N/mm ² ✓	$2 \cdot E_1 \cdot E_2 / [(1 - \nu_1^2) \cdot E_2 + (1 - \nu_2^2) \cdot E_1]$
spezifische Schmierfilm Dicke	λ =	0 -	h _{min} / Ra
			λ < 2: Limit Friction
			2 ≤ λ ≤ 3: Mixed Friction
			λ > 3: Liquid Friction
Kontaktdruck nach Hertz	p _H =	229 N/mm ² ✓	$\sqrt{((F_v \cdot E) / (2 \cdot \pi \cdot \rho^3))}$
Halbe Breite der Kontaktfläche	a =	9.9 mm	$\text{SQRT}[(8 \cdot (1 - \mu^2) \cdot F_v \cdot \rho) / (\pi \cdot E \cdot l)]$
Nominale Zugfestigkeit	R _{mN} =	490 N/mm ² ✓	
min. Streckgrenze	R _{p0.2} =	355 N/mm ² ✓	
Brinell Härte	HB =	145 - ✓	(acc. DIN EN ISO 18265)
zul. Kontaktdruck nach Hertz	p _{max,dyn} =	435 N/mm ² ✓	p _{max,dyn} = 3 * HB
Nachweis	p _H / p _{max,dyn} =	0.53 < 1.0 ✓	



Durch Vergleichsrechnung geprüft

OVERDICK

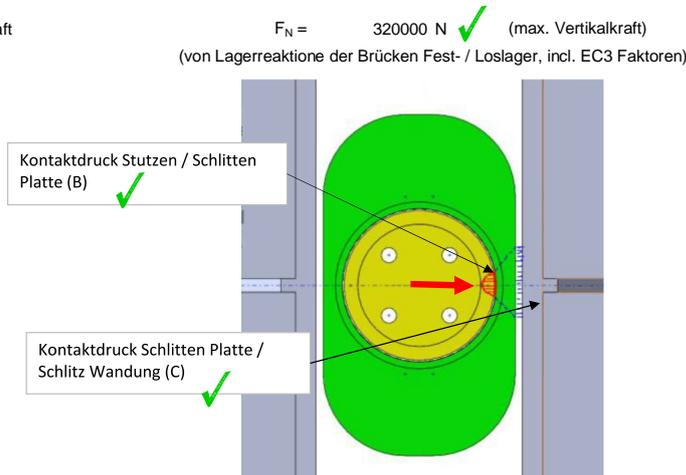
Project No.: C1150
 Project Title: ENGIE LNG Wilhelmshaven
 Client: ENGIE
 Doc. No.: C1150-REP-30-002-03

Prepared by: AK
 Prepared on: 29/9/2023
 Revision: 03
 Attachment No. B

Nachweis der Kontaktdrücke zwischen Stützen und Schlitten-Platte bzw. Schlitten-Platte und Plattform Schlitz

B1) Allgemeines

Maximale Horizontale Lagerkraft



B2) Nachweis des Kontaktdruck nach Hertz - Stützen / Schlitten

Kontakt Körper 1	Stützen - OD = 219.1 mm	
Material	S355	
E-Modul	$E1 = 210000 \text{ N/mm}^2$	
Poisson Zahl	$\nu1 = 0.3$	
Krümmungsradius	$\rho1 = 109.5 \text{ mm}$	(OD = 219 mm) *
Kontakt Körper 2	Ebene Innen-Oberfläche des Plattform Schlitzes	
Material	S355	
E-Modul	$E2 = 210000 \text{ N/mm}^2$	
Poisson Zahl	$\nu2 = 0.3$	
Krümmungsradius	$\rho2 = -112 \text{ mm}$	(ID = 224 mm, konkave)
Minimale Schmierfilm Dicke	$h_{min} = 0 \text{ mm}$	(konservative Annahme: kein Schmierfilm)
Mittlere Oberflächen Rauheit	$Ra = 1.6 \text{ mm}$	(angenommen für Fläche gesäubert und geschliffen)
Länge der Kontaktfläche	$l = 30 \text{ mm}$	(geschätzt; nur über die Höhe der Schlitten Platte = 30 mm)
Reibzahl	$\mu = 0.3$	(Stahl auf Stahl)
reduzierter Krümmungsradius	$\rho = 4906 \text{ mm}$	$\rho1 \cdot \rho2 / (\rho1 + \rho2)$
reduzierter E-Modul	$E = 230769 \text{ N/mm}^2$	$2 \cdot E1 \cdot E2 / [(1 - \nu1^2) \cdot E2 + (1 - \nu2^2) \cdot E1]$
spezifische Schmierfilm Dicke	$\lambda = 0$	h_{min} / Ra

* Der Wert auf den zugehörigen Plan ergänzen.

Kontaktdruck nach Hertz

$p_H = 283 \text{ N/mm}^2$

Halbe Breite der Kontaktfläche

$a = \text{SQRT}[(8 \cdot (1 - \mu^2) \cdot F_N \cdot \rho) / (\pi \cdot E \cdot l)]$
 24.0 mm

Nominale Zugfestigkeit

$R_{mN} = 490 \text{ N/mm}^2$

min. Streckgrenze

$R_{p0.2} = 355 \text{ N/mm}^2$

Brinell Härte

$HB = 145$ (acc. DIN EN ISO 18265)

zul. Kontaktdruck nach Hertz

$p_{max,dyn} = 435 \text{ N/mm}^2$ ($p_{max,dyn} = 3 \cdot HB$)

Nachweis

$p_H / p_{max,dyn} = 0.65 < 1.0$

Durch Vergleichsrechnung geprüft

OVERDICK

Project No.: C1150
Project Title: ENGIE LNG Wilhelmshaven
Client: ENGIE
Doc. No.: C1150-REP-30-002-03

Prepared by: AK
Prepared on: 29/9/2023
Revision: 03
Attachment No. B

B3) Nachweis des Kontaktdruck - Schlitzen / Schlitz Wandung

Länge der Kontaktfläche	l =	30 mm	✓✓	(geschätzt; nur über die Höhe der Schlitten Platte = 30 mm)
Abstand Innenwandung Schlitten-Rohr zu Außenkante	c =	28 mm	✓✓	(3D Model)
Breite der Kontaktfläche	b =	104 mm	✓✓	(geschätzt; $b = 2 \cdot a + 2 \cdot c$)
Kontaktfläche	$A_c = l \cdot b =$	3122 mm ²	✓✓	
Kontaktdruck	$p_H = F_H / A_c =$	103 N/mm²	✓	
Nominale Zugfestigkeit	$R_{mN} =$	490 N/mm ²	✓✓	
min. Streckgrenze	$R_{p0.2} =$	355 N/mm ²	✓✓	
Brinell Härte	HB =	145	✓	(acc. DIN EN ISO 18265)
zul. Kontaktdruck nach Hertz	$p_{max,dyn} =$	435 N/mm ²	✓	$p_{max,dyn} = 3 \cdot HB$
Nachweis	$p_H / p_{max,dyn} =$	0.24	< 1.0	✓

Durch Vergleichsrechnung geprüft

Nachweis der Kontaktdrücke zwischen Stützen und Schlitten-Platte bzw. Schlitten-Platte und Plattform Schlitz für Brücke 4 (bzw. Anhang B4) ist zu ergänzen.

OVERDICK

Project No.: C1150
 Project Title: LNG WHV
 Client: IMDC
 Doc. No.: C1150-REP-30-002-03

Prepared by: MIZ
 Prepared on: 29/9/2023
 Revision: 03
 Attachment No. C

Check of Bolt Connection according to EC 3

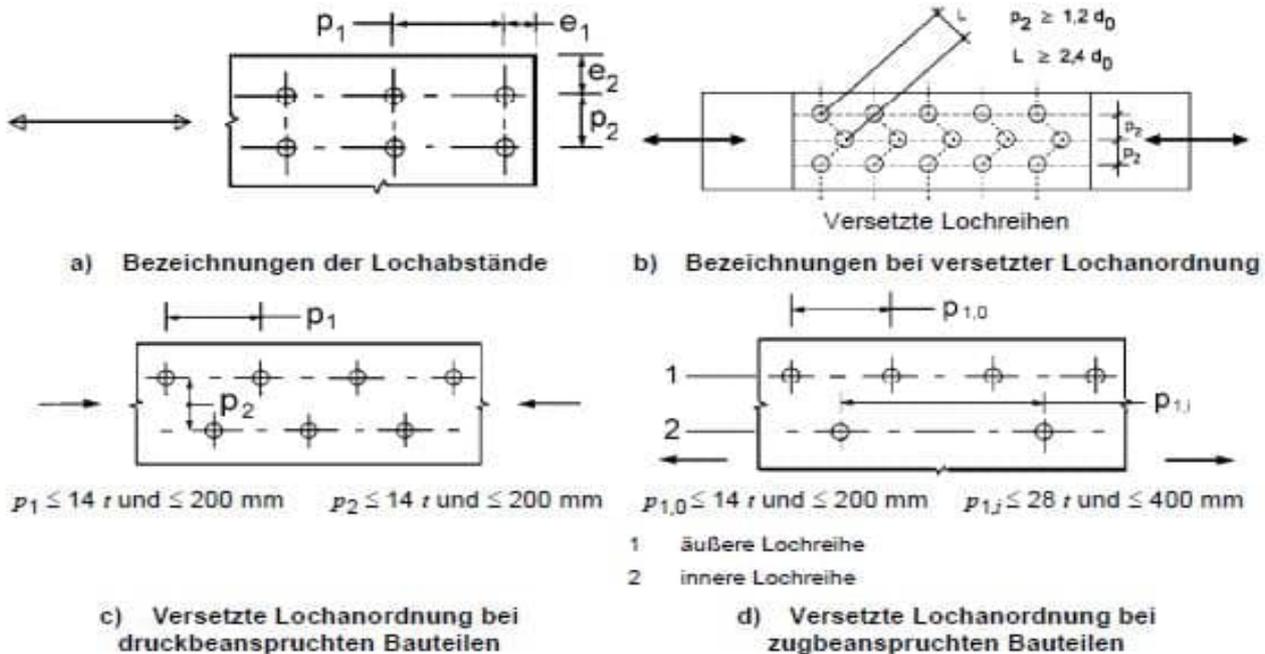
(according to Eurocode 3, EN 1993 EC 3 - "Design of Steel Structures" - from 2008)
 (according to DIN EN 14399-4(normal Bolt); DIN EN 14399-8(fitted Bolt))

A) Definition of Tension and Shear Loads PER bolt(design loads, incl. Load factors)

Bolt Load Case	Description	Shear Force per Bolt $F_{v,Ed}$ [kN]	Tension Force per Bolt $F_{t,Ed}$ [kN]
1	connection bolt	8.30	0.00

B) Plate Parameters

plate thickness $t = 5$ mm
 distance between holes in load direction $p_1 = 0$ mm
 distance between holes transv.to load direction $p_2 = 0$ mm
 distance edge to hole in load direction $e_1 = 50$ mm
 distance edge to hole transv. to load direction $e_2 = 40$ mm
 plate material S355 ✓
 characteristic plate yield strength $f_{y,k} = 355$ N/mm² ✓
 characteristic plate breaking strength $f_{u,k} = 490$ N/mm² ✓



C) Bolt Parameters

Bolt type (prestressed grip bolt or standard shear) standard shear ✓
 bolt size M 12 ✓
 bolt strength class 4.6 ✓
 characteristic bolt yield strength $f_{y,b,k} = 240$ N/mm² ✓
 characteristic bolt tensile strength $f_{u,b,k} = 400$ N/mm² ✓

OVERDICK

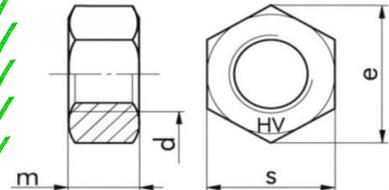
Project No.: C1150
 Project Title: LNG WHV
 Client: IMDC
 Doc. No.: C1150-REP-30-002-03

Prepared by: MIZ
 Prepared on: 29/9/2023
 Revision: 03
 Attachment No. C

Check of Bolt Connection according to EC 3

D) Resulting Connection Parameters

hole diameter (normal Bolt)	$d_o =$	13 mm ✓	
shaft diameter (normal Bolt)	$D_s =$	12 mm ✓	
hole diameter (fitted Bolt)	$d_{o*} =$	13 mm ✓	
shaft diameter (fitted Bolt)	$D_{s*} =$	13 mm ✓	
edge distance of bolt head	$s =$	19 mm ✓	
side length of bolt head	$\min e =$	21.1 mm ✓	
mean value of side length and edge distance	$d_m = (s + \min e) / 2$		
	$d_m =$	20.05 mm ✓	
cross sectional area in shaft	$A = D_s^2 * \pi / 4$		
	$A =$	113.1 mm ² ✓	
cross sectional stress area	$A_s =$	84.3 mm ² ✓	
shear reduction factor	$\alpha_v =$	0.60 [-] ✓	
material factor	$\gamma_M =$	1.10 [-] ✓	
material factor	$\gamma_{M2} =$	1.25 [-] ✓	
material factor	$\gamma_{M3} =$	1.25 [-] ✓	
		normal Bolt[-]	fitted Bolt[-]
bearing coefficients	$\alpha_{b,1} = 1 =$	1.00 ✓	
	$\alpha_{b,2} = f_{u,b,k} / f_{u,k} =$	0.82 ✓	
	$\alpha_{b,3} = e_1 / (3d_o) =$	1.28 ✓	1.28
	$\alpha_{b,4} = p_1 / (3d_o) - 1/4 =$	-0.25 ✓	-0.25
	$\alpha_b = \min(\alpha_{b,1}, \alpha_{b,2}, \alpha_{b,3}, \alpha_{b,4}) =$	-0.25 ✓	-0.25
	$k_{1,1} = 2.5 =$	2.50 ✓	
	$k_{1,2} = 1.4 * p_2 / d_o - 1.7 =$	-1.70 ✓	-1.70
	$k_{1,3} = 2.8 * e_2 / d_o - 1.7 =$	6.92 ✓	6.92
	$k_1 = \min(k_{1,1}, k_{1,2}, k_{1,3}) =$	-1.70 ✓	-1.70
bolt / hole coefficient	$k_s =$	0.76 [-] ✓	(min of all values is 0.63)
number of friction areas	$n =$	1.00 [-] ✓	(conservative set to 1)
friction coefficient	$\mu =$	0.20 [-] ✓	(min of all values is 0.2)



E) Connection Capacities

Bolt Tension Capacity	$F_{t,Rd} = 0.9 * A_s * f_{u,b,k} / \gamma_{M2}$		EC3-1-8: 3.6.1 Tab 3.4
	$F_{t,Rd} =$	24.28 kN ✓	
Bolt Shear Capacity	$F_{v,Rd} = A_s * \alpha_v * f_{u,b,k} / \gamma_{M2}$		EC3-1-8: 3.6.1 Tab 3.4
(for standard shear connections only)	$F_{v,Rd} =$	16.19 kN ✓	
Bolt Sliding Capacity	$F_{S,Rd} = k_s * n * \mu * (F_{p,c,s} - 0.8 * F_{t,Ed}) / \gamma_{M2}$		EC3-1-8: 3.9.2(3.8b)
(for prestressed grip connections only)			
Bolt Load Case 1	$F_{S,Rd} =$	2.44 kN ✓	

Durch Vergleichsrechnung geprüft

OVERDICK

Project No.: C1150
 Project Title: LNG WHV
 Client: IMDC
 Doc. No.: C1150-REP-30-002-03

Prepared by: MIZ
 Prepared on: 29/9/2023
 Revision: 03
 Attachment No. C

Check of Bolt Connection according to EC 3

Bolt Pretension Capacity

(for prestressed grip connections only)

$$F_{p,c} = 0.7 * A_s * f_{ub,k} \quad \checkmark$$

EC3-1-8: 3.6.1 (2)

(pre-tension loss needs to be assessed for coated parts)

$$F_{p,c} = 23.60 \text{ kN} \quad \checkmark$$

chosen pre-tension

$$F_{p,c,s} = 0.85 * F_{p,c}$$

$$F_{p,c,s} = 20.06 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Plate Bearing Capacity

$$F_{b,Rd} = k_1 * t * D_s * \alpha_b * f_{u,k} / \gamma_{M2}$$

normal Bolt [kN]

EC3-1-8: 3.6.1 Tab 3.4
fitted Bolt[kN]

$$F_{b,Rd} = 10.00 \text{ kN} \quad \checkmark$$

10.83

Plate Punch Through Capacity

$$B_{p,Rd} = 0.6 * \pi * d_m * t * f_{u,k} / \gamma_{M2}$$

EC3-1-8: 3.6.1 Tab 3.4

$$B_{p,Rd} = 74.07 \text{ kN} \quad \checkmark$$

F) Check of Bolt Tension Capacity

(For prestressed bolts: $F_{t,ED} = F_{t,Ed} + F_{p,c}$)

Bolt Load Case 1

$$F_{t,Ed}/F_{t,Rd} = 0.000 < 1 \quad \text{ok} \quad \checkmark$$

G) Check of Bolt Shear Capacity

Bolt Load Case 1

$$F_{v,Ed}/F_{v,Rd} = 0.513 < 1 \quad \text{ok} \quad \checkmark$$

H) Check of Combined Bolt Capacity (Shear & Tension)

Bolt Load Case 1

$$(F_{v,Ed}/F_{v,Rd}) + (F_{t,Ed}/1.4 * F_{t,Rd}) = 0.513 < 1 \quad \checkmark \text{ok}$$

I.1) Check of Plate Bearing Capacity normal Bolt

Bolt Load Case 1

$$F_{v,Ed}/F_{b,Rd} = 0.830 < 1 \quad \checkmark \text{ok}$$

J) Check of Plate Punch Through Capacity

Bolt Load Case 1

$$F_{t,Ed}/B_{p,Rd} = 0.000 < 1 \quad \checkmark \text{ok}$$

K) Check of Hole Distances

Edge Distance $\min\{e_1 \& e_2\}$

min e	>	1.2 * d ₀ \checkmark
40 mm	>	15.6 mm $\checkmark \text{ok}$
max e	<	4 * t + 40 mm
50 mm	<	60 mm $\checkmark \text{ok}$

Durch Vergleichsrechnung geprüft

Anhang D –
Datenblatt zum Quick Release Hook TQRH - Mampaey

Anlage 1: Seite 1-3:

1. Ausfertigung	
Anlage hat bei der statischen Prüfung vorgelegen	
Prüfnummer	Hamburg, den
2023-D122	07.12.2023
Dr.-Ing. Rainer Grzeschkowitz	
Dr.-Ing. Olaf Drude (SFI)	
Dipl.-Ing.(FH) Karsten Holste	
Prüfingenieure für Bautechnik	

Anhang E –
Datenblatt zum Quick Release Hook QQRH - Mampaey

Anlage 2: Seite 1-3:

1. Ausfertigung	
Anlage hat bei der statischen Prüfung vorgelegen	
Prüfnummer	Hamburg, den
2023-D122	07.12.2023
Dr.-Ing. Rainer Grzeschkowitz	
Dr.-Ing. Olaf Drude (SFI)	
Dipl.-Ing.(FH) Karsten Holste	
Prüfingenieure für Bautechnik	

