

# Statische Berechnung

## Subsea Pipeline End Manifold (PLEM)

### Bauvorhaben

PLEM - Wilhelmshaven  
Am Tiefen Fahrwasser  
26388 Wilhelmshaven

### Bauherr

Tree Energy Solutions GmbH  
Emsstraße 20  
26832 Wilhelmshaven

Leistungsphase	4_Genehmigung	Datum	08.09.2023	Projekt-Nr.	232214
Dokumentenumfang	Seite 1 bis 39	Revision			04
Dokumenten-Nummer	FSR_WHV_INW_PE_CAL_CE_0420_1001_04_C_Statik-PLEM				

Aufsteller	Ingenieurgesellschaft Nordwest mbH Beratende Ingenieure Frieslandstraße 2, 26125 Oldenburg Telefon: 0441/96193-0 Telefax: 0441/96193-18	info@ing-nordwest.de www.ing-nordwest.de	
Bearbeiter*In	Herr Björn Groothoff M.Eng. Telefon: 0441/96193-28 E-Mail: bjoern.groothoff@ing-nordwest.de Niederl.: Oldenburg		
	 Unterschrift		

## PROJEKT-INFORMATIONEN

### Revisionsindex

Index	Datum	Beschreibung	erstellt	geprüft
00	21.03.2023	Dokument erstellt	Ghb	Sty
01	28.04.2023	Beschwerungselemente ergänzt, Pos. 105-107 (Stahlbeton) entfernt, Eislaster	Ghb	Sty
02	30.06.2023	Treibeis/Strömung überlagert, Reibungswinkel Boden 25° statt 27,5°	Ghb	Sty
03	06.07.2023	Reibungswinkel 25° im Grundbruchnachweis (Pos. 104) ergänzt	Ghb	Sty
04	08.09.2023	Geometrie PLEM angepasst, Wellenlast ergänzt, Bemessung angepasst	Ghb	Sty

### Projektbeteiligte

Auftraggeber Tree Energy Solutions GmbH  
Emsstraße 20  
26382 Wilhelmshaven

Objektplaner -

Bodengutachter Fugro Germany Land GmbH  
Wolfener Straße 36U  
12681 Berlin

Brandschutzgutachter -

TGA-Planer -

Beteiligter  
Tragwerksplaner -

## INHALTSVERZEICHNIS

Position	Beschreibung	Seite
TB	Titelblatt	1
INFO	Projekt - Informationen	2
	Inhalt	3
<b>KAP 000</b>	<b>ALLGEMEINES</b>	4
010	VORBEMERKUNGEN	5
011	Kurzbeschreibung der Baumaßnahme	5
012	Grundlagen, Literatur & EDV	7
013	Technische Regeln & Normen	9
014	Hinweise zur Statik & Ausführung	10
020	ZEICHNUNGEN / SKIZZEN	11
021	Isometrie	11
022	Ausschnitt Lageplan und Prinzipdarstellung	12
023	Grundriss	14
024	Ansichten	16
040	MATERIALIEN	17
041	Materialbeiwerte	17
050	EINWIRKUNGEN + BEMESSUNGSSITUATIONEN	17
051	Einwirkungen	17
052	Bemessungssituationen	17
052.1	Teilsicherheitsbeiwerte + Widerstände	17
060	BELASTUNGEN	20
061	Ständige Lasten	20
062	Veränderliche Last	22
070	ZUSÄTZLICHE ANGABEN	23
071	Angaben aus dem Bodengutachten	23
072	Kolksicherung	23
<b>KAP 100</b>	<b>BEMESSUNG</b>	26
101	Auftriebsnachweis	26
102	Gleitnachweis	28
103	Kippnachweis	31
104.1	Grundbruchberechnung (BS-P)	32
104.2	Grundbruchberechnung (BS-A)	35
105	Zusammenfassung	39

## KAP 000 ALLGEMEINES

# ALLGEMEINES

Pos. 010 VORBEMERKUNGEN

Pos. 011 Kurzbeschreibung der Baumaßnahme

011.1 Kurzbeschreibung

Der Bauherr plant nördlich des Jade-Weser-Ports und der HES sowie südlich der Umschlaganlage Voslapper Groden die Errichtung eines LNG Terminals am Westufer des Jadebusens. Der Terminal wird mit dem deutschen Gasnetz verbunden und soll ab Herbst 2023 in Betrieb gehen.

Ein "FSRU-Schiff" (Floating Storage Regasification Unit) mit einer Tankkapazität von ca. 138.000 m<sup>3</sup> soll ca. 5 Jahre am Terminal liegen und übernimmt das LNG von "LNG-Carriern" (Ship to Ship) mit Tankkapazitäten von bis zu ca. 180.000 m<sup>3</sup>. Das Gas wird von der FSRU über eine Unterwasserpipeline an Land transportiert. Nach Ablauf der 5 Jahre wird die FSRU entfernt und es sollen noch größere "LNG-carriers", sogenannte "Qmax-Schiffe", mit Tankkapazitäten von bis zu ca. 260.000 m<sup>3</sup> direkt an dem Terminal anlegen.

Des Weiteren sollen nach Ablauf der 5 Jahre an diesem Standort weitere LNG Terminals für den Umschlag grünen Methans errichtet werden.

Die nachfolgende Statische Berechnung beinhaltet die erdstatischen Nachweise Gleiten, Kippen, Grundbruch und Auftrieb für die beiden "Subsea Pipeline End Manifolds" (PLEMs), die auf dem Meeresboden aufgestellt werden. Die Bauteile der PLEM werden in [1.10, Structural Design Report] nachgewiesen.

Die PLEMs dienen als Schnittstelle zwischen den Steigleitungen ("Risern") der FSRU und den thermoplastischen Verbundrohren ("TCPs"), die auf dem Meeresboden über eine Länge von ca. 1.850 m zum Land führen. Die PLEMs verbleiben wie die FSRU für eine Dauer von 5 Jahren an diesem Standort und sollen danach zurück gebaut werden.

Hinweis:

Gegenüber den vorhergehenden Revisionen hat sich die Dok-Nr. geändert.

## 011.2 Konstruktionsbeschreibung

Bei der PLEM handelt es sich um eine Stahlkonstruktion auf der Rohrleitungen befestigt / aufgeständert sind. Die Aufstellung der PLEM erfolgt unter Wasser auf dem Meeresboden, ca. 12,26 m unter SKN (-14,75 mNHN). Auf der einen Seite schließt die Steigleitung ("Riser") an, die vom "Gas Balcony" der FSRU aus kommt. Auf der anderen Seite sind drei Anschlüsse vorhanden, an denen die thermoplastischen Verbundrohre ("TCPs") angeschlossen werden. Die TCPs verlaufen Richtung Land (L 1.850 m) und sollen zur Auftriebssicherheit gem. [1.11] teilweise mit Betonblöcken und abgespannten Seilen gesichert und über den größten Bereich sogar im Meeresboden eingegraben werden. Es werden zwei baugleiche PLEMs vorgesehen, lediglich der Anschluss für die Steigleitung ist spiegelverkehrt angeordnet. Auf der PLEM werden Beschwerungselemente aus Stahl montiert. Vor dem Einheben z.B. von Pontons ist der Meeresboden mittels Naßbaggerung zu begradigen. Zur Verhinderung eines Kolks im Bereich der PLEM's sind Wasserbausteine vorzusehen.

Grundrissabmessung:	b x l = ca. 6,20 x 6,70 m
Bauwerkshöhe:	h = ca. 2,80 m
Gründung:	Aufstellung auf nivelliertem Meeresboden

Die gesamte Konstruktion (PELM + Beschwerungselemente) muss auf den vorher begradigten Meeresbodens aufgestellt werden z.B. mittels eines Stelzenpontons mit Seilbagger. Das Aufstellkonzept wird durch den Lieferanten der PLEM geliefert. An der PLEM sind Anschlagpunkte vorhanden um diese mit einen Kran / Seilbagger anheben zu können. Es muss sichergestellt werden, dass die Anschlagpunkte und die Stahlprofile der PLEM diese Lasten aufnehmen können. Hierzu wird auf den Structural Design Report der PLEM in [1.10] verwiesen.

## Pos. 012 Grundlagen, Literatur & EDV

### 012.1 Berechnungsgrundlagen

- [1.1] NGE 2050 - Baugrunderkundung Schiffsanlegestellen (Vorläufiger Bericht), Fugro Germany Solutions GmbH, 27.01.2023
- [1.2] System Overview - Transfer System for high pressure natural gas - Rev. 01, EConnect Energy AS, 21.11.2022
- [1.3] Drawing-No.: 2020-ECO-N-XD-0001-B "GA cross section of riser and gas balcony on moored FSRU", EConnect Energy AS, 03.02.2023
- [1.4] Drawing-No.: 2020-ECO-N-XD-0002-B "GA top view of riser and gas balcony on moored FSRU", EConnect Energy AS, 03.02.2023
- [1.5] Drawing-No. - Sheet 1/2: SD228-RXD-1000 (Rev. 0) "3-Slot PLEM 1 General arrangement", EConnect Energy AS, 16.05.2023
- [1.6] Drawing-No. - Sheet 2/2: SD228-RXD-1000 (Rev. 0) "3-Slot PLEM 1 General arrangement", EConnect Energy AS, 16.05.2023
- [1.7] Design Basis - 7.4" ID, 110bar TCP Gas Flowlines - Rev. 02, Strohm B. V., 15.02.2023
- [1.8] APPENDIX A. Technical Data Sheet: 7.4" TCP Gas Line Flowline (100 bar), Strohm B. V.
- [1.9] Drawing-No.: 2260059.D001.AS02 (Rev. 01) "General Arrangement Drawing - TCP Flowline", Strohm B- V., 26.01.2023
- [1.10] PLEM Design Basis - Rev. 03, EConnect Energy AS, 30.03.2023  
\*\*  
und  
Structural Design Report - Rev. 04, EConnect Energy AS, 29.06.2023 \*\*

\*\* Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser statischen Berechnung lagen die finalen Berichte noch nicht vor.

- [1.11] Projekt Abwicklungsplan Bau- & Montagebeschreibung wasserseitige Arbeiten, Tree Energy Solutions GmbH, 20.02.2023
- [1.12] Wilhelmshaven FSRU Installation "TCPs, PLEMs & Risers", EConnect Energy AS, 24.04.2023
- [1.13] Drawing-No. - Sheet 1/3: SD228-RXI-0002 (Rev. C) "PLEM Ballast Interface" , EConnect Energy AS, 24.05.2023

## 012.2 Bestandsunterlagen

-

## 012.3 Literatur

- [3.1] Schneider, Bautabellen für Ingenieure
- [3.2] Empfehlungen des Arbeitsausschusses "Ufereinfassungen" Häfen und Wasserstraßen, 12. Auflage (EAU 2020)
- [3.3] Environmental Conditions and Environmental Loads (DNV-RP-C205 ), Det Norske Veritas AS (DNV), April 2014

## 012.4 EDV

- [4.1] mbAEC, Worksuite 2021



## Pos. 013 Technische Regeln & Normen

Allgemein gilt: In der jeweils derzeit gültigen Fassung inklusive Änderungen, Ergänzungen sowie Nationalen Anhängen.

### 013.1 Grundlagen Tragwerksplanung und Einwirkungen

- Eurocode 0                      DIN EN 1990 - Grundlagen der Tragwerksplanung
- Eurocode 1                      DIN EN 1991 - Einwirkungen auf Tragwerke

### 013.2 Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonbau

-

### 013.3 Metall- und Verbundbau

- Eurocode 3                      DIN EN 1993 - Stahlbauten

### 013.4 Holzbau

-

### 013.5 Mauerwerksbau

-

### 013.6 Grundbau

- Eurocode 7                      DIN EN 1997 - Geotechnik
- DIN 1054                      Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau  
Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1

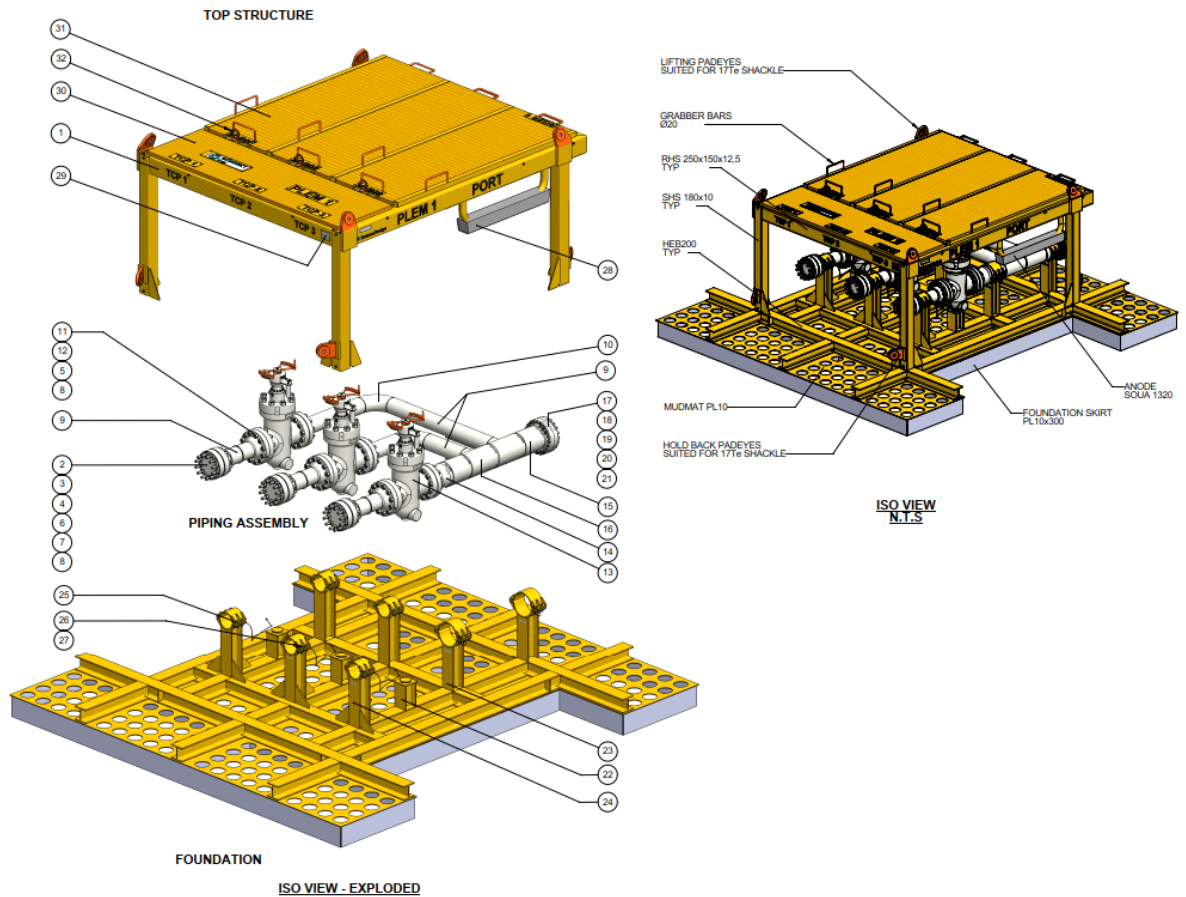
## Pos. 014 Hinweise zur Statik & Ausführung

- 014.1 Haftung** Ohne Genehmigung des Aufstellers dürfen Änderungen nicht vorgenommen werden. Bei nicht genehmigten Änderungen wird jede Haftung abgelehnt. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass nur nach vom Aufsteller geprüften und genehmigten Plänen gearbeitet werden darf. Bei Unstimmigkeiten der Berechnung bzw. der Konstruktionspläne mit den Entwurfsplänen oder bei nicht zutreffenden rechnerischen Annahmen ist der Aufsteller zu benachrichtigen.
- 014.2 Urheberrechte** Diese bautechnischen Unterlagen gelten für die einmalige Ausführung des zuvor beschriebenen Bauvorhabens und sind standortbezogen. Die Übernahme dieser Unterlagen für andere Vorhaben oder Standorte bedarf der Genehmigung des Aufstellers. Die vorliegende Berechnung ist nur gültig mit Originalunterschrift (blau). Alle Inhalte dieses Dokumentes, insbesondere Texte, Grafiken und Berechnungen sind urheberrechtlich geschützt. Das Urheberrecht liegt, soweit nicht ausdrücklich anders gekennzeichnet, bei der Ingenieurgesellschaft Nordwest mbH aus Oldenburg.
- 014.3 Bauzustände** Für alle nicht nachgewiesenen Bauzustände während der Baumaßnahme ist von den ausführenden Unternehmen die Stabilität aller Bauteile durch entsprechende Abstützungen und Versteifungen sicherzustellen. Die in dieser Statik berechneten Bauteile sind für den späteren Endzustand nachgewiesen.
- 014.4 Überwachung** Können Konstruktionsausbildungen an einem Gebäudeteil oder Tragwerksglied nach der Fertigstellung nicht mehr eingesehen, beurteilt und geprüft werden, so hat der ausführende Unternehmer eine Kontrolle im Ausführungsstadium anzuordnen, in der die Konstruktion zweifelsfrei auf ihre Richtigkeit hin überprüft werden kann. Dies gilt insbesondere für die Überwachung der Bewehrung von Betonkonstruktionen vor dem Einbringen des Betons. Erfolgt eine solche Anforderung nicht, so hat der Unternehmer den Nachweis der Fehlerlosigkeit und Richtigkeit seiner Ausführung mittels einer zerstörungsfreien Prüfung durch eine staatlich anerkannte Prüfanstalt nachzuweisen.
- 014.5 Produkte** -

Pos. 020 ZEICHNUNGEN / SKIZZEN

Pos. 021 Isometrie

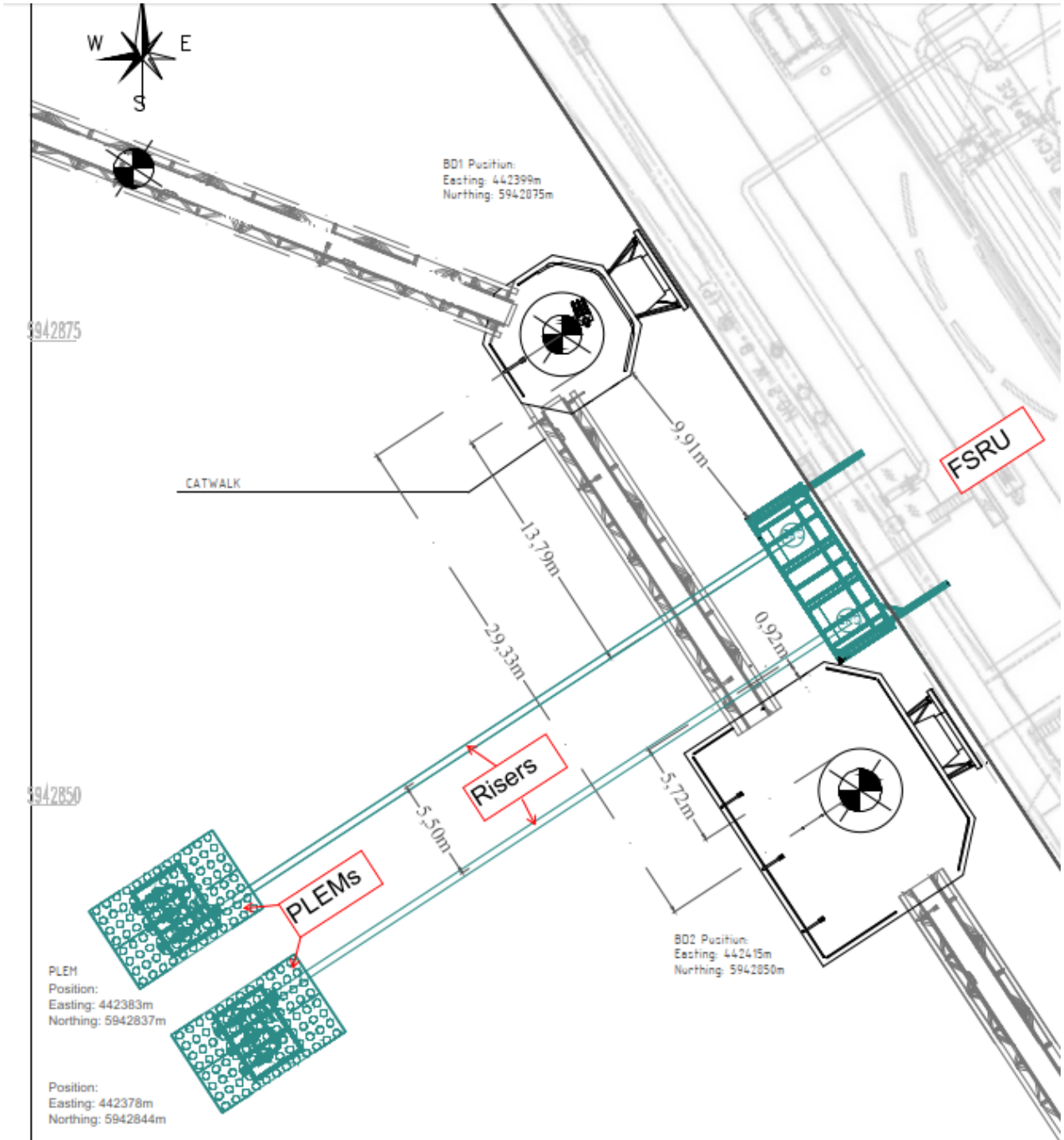
Die Beschwerungselemente aus Stahl sind nicht dargestellt. Eine Skizze ist aber in Pos. 023 enthalten. Es wird nur eine PELM dargestellt, da diese baugleich sind. Lediglich der Anschluss für die Steigleitung ist spiegelverkehrt angeordnet.



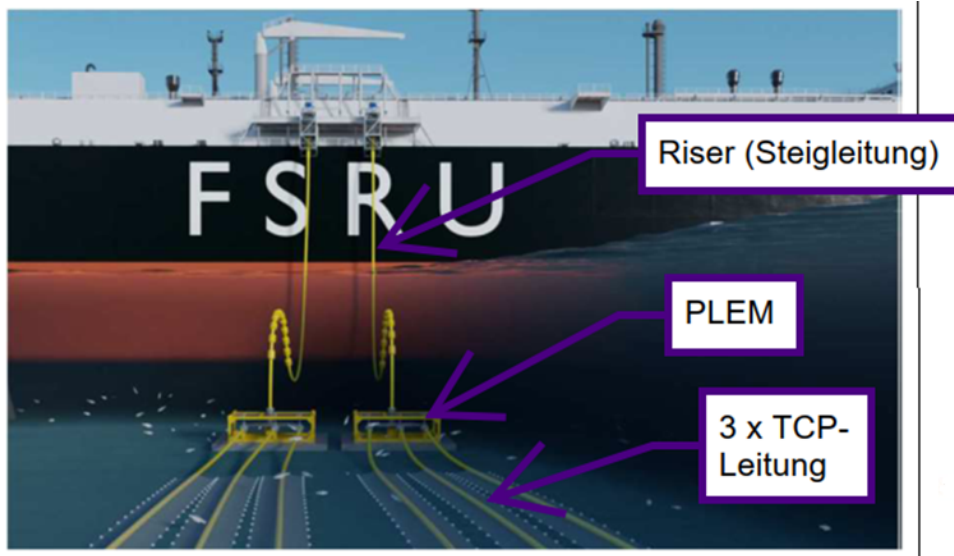
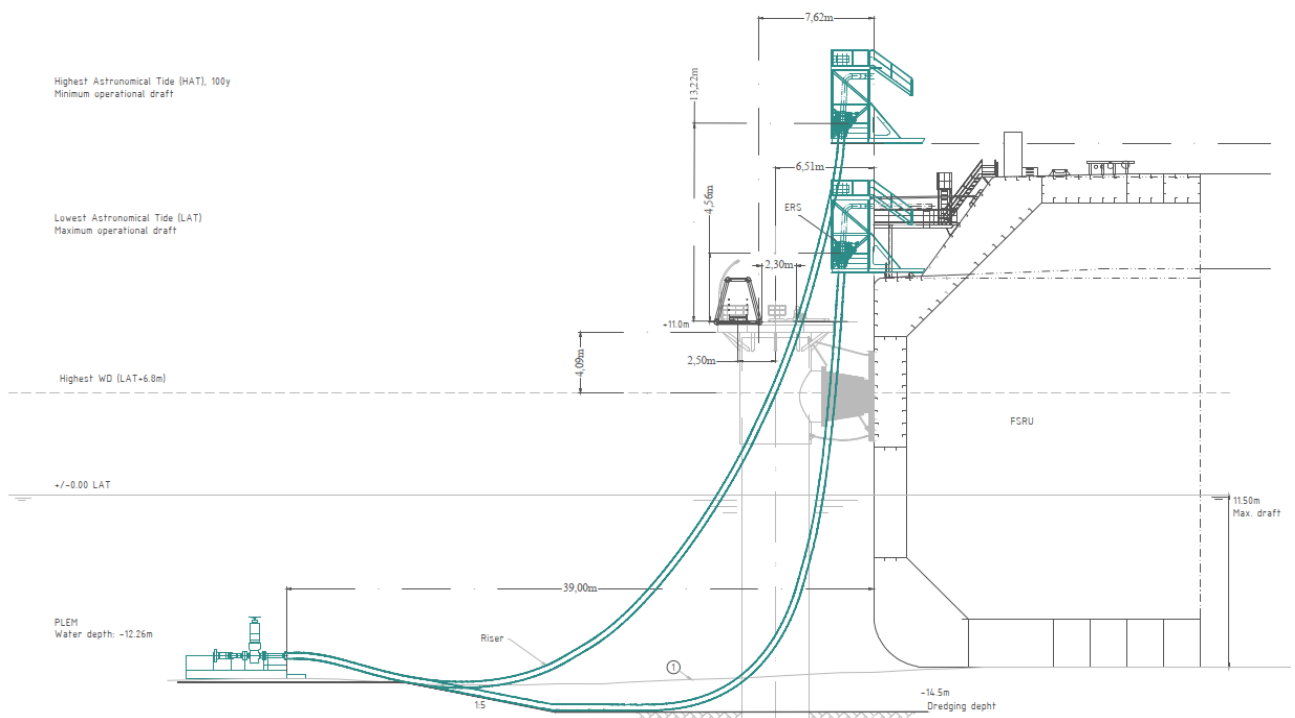
Darstellung gemäß [1.5]

Pos. 022 Ausschnitt Lageplan und Prinzipdarstellung

Für die Kalksicherung im Bereich der PELMs vgl. Pos. 072.



Das Seekartennull (SKN bzw. LAT) liegt im Planungsgebiet auf -2,49 mNHN.



Die TCPs verlaufen von der PLEM aus ca. 20 m horizontal und werden gemäß [1.11] mit Betonblöcken und abgespannten Seilen gegen Auftrieb gesichert. Danach werden die TCPs bis zum Land im Meeresboden verlegt. Die Untersuchung ist nicht Gegenstand dieser statischen Berechnung.

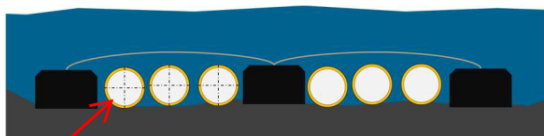
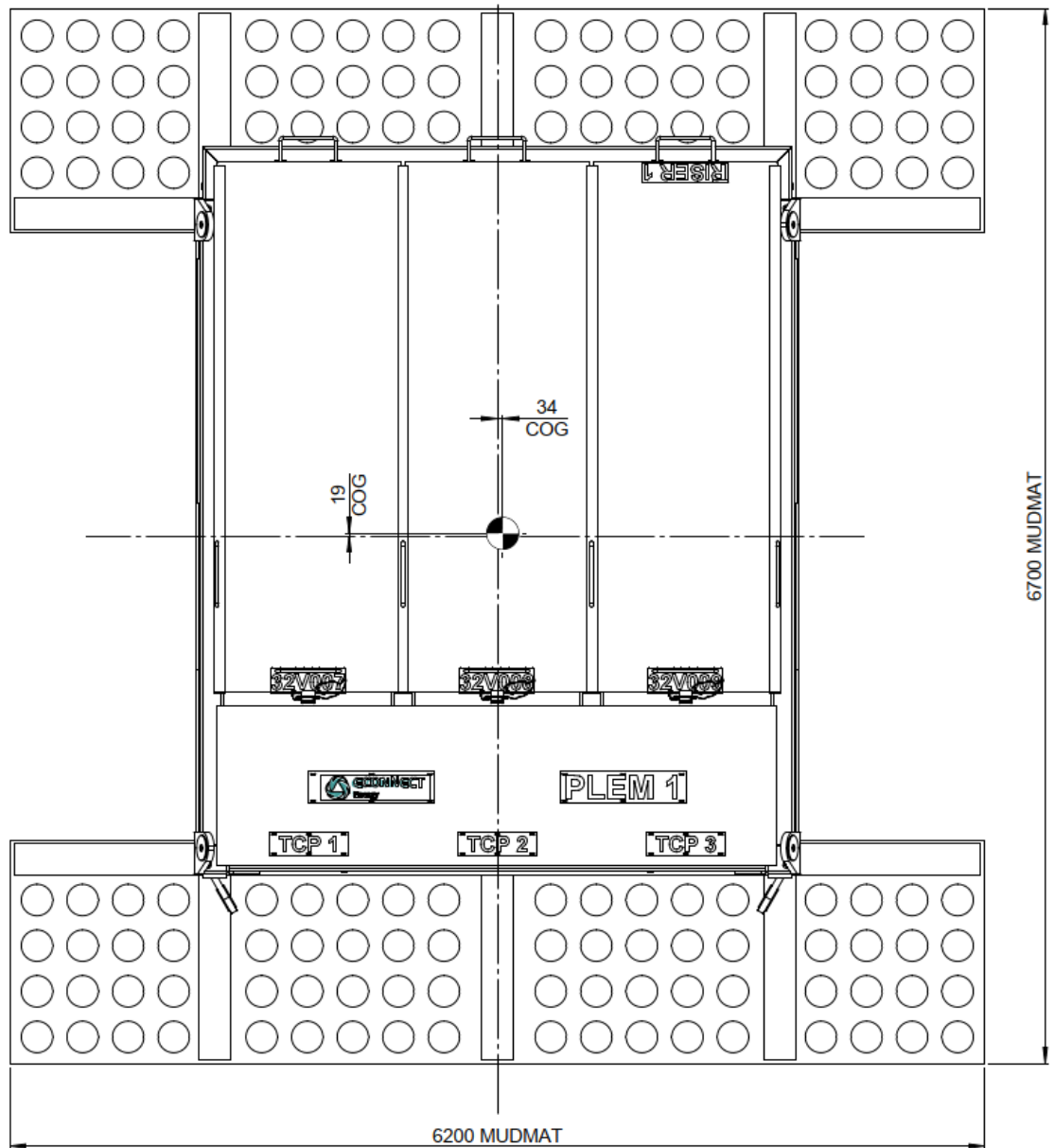


Abbildung: Betonblöcke mit abgespannten Seilen

TCPs

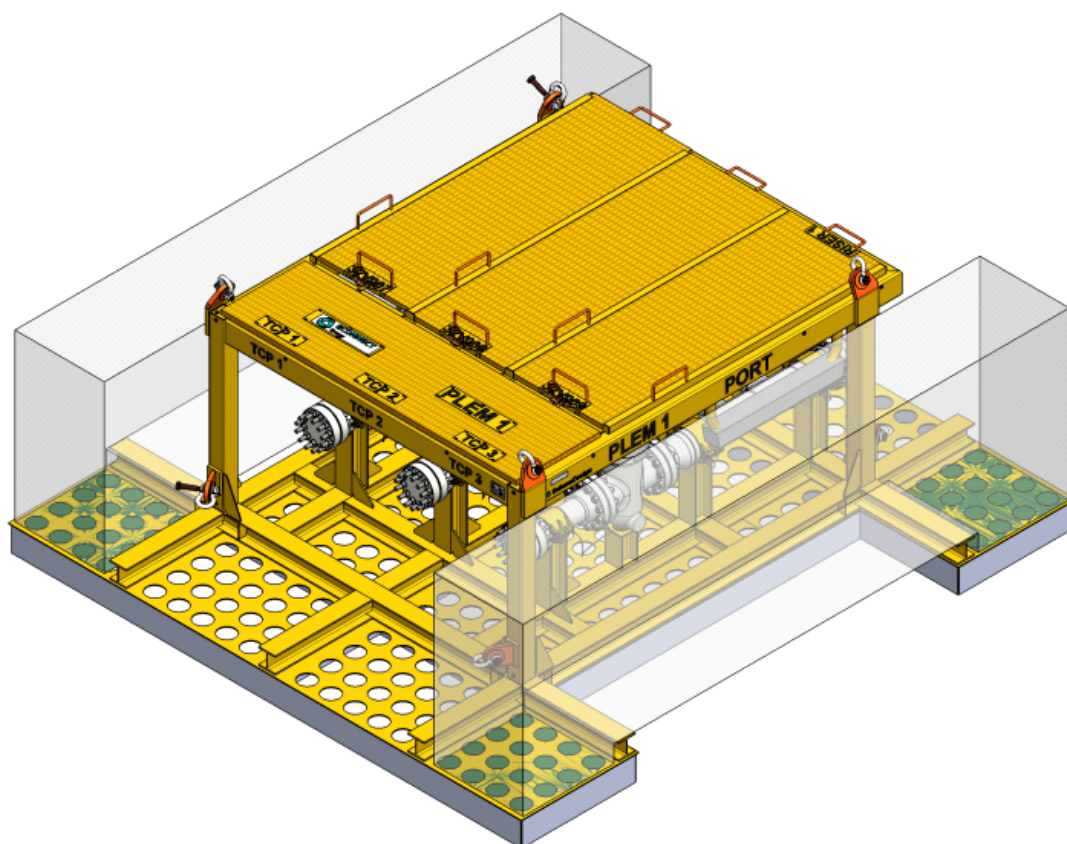
Pos. 023 Grundriss

Es wird nur eine PLEM dargestellt, da diese baugleich sind. Lediglich der Anschluss für die Steigleitung ist spiegelverkehrt angeordnet.

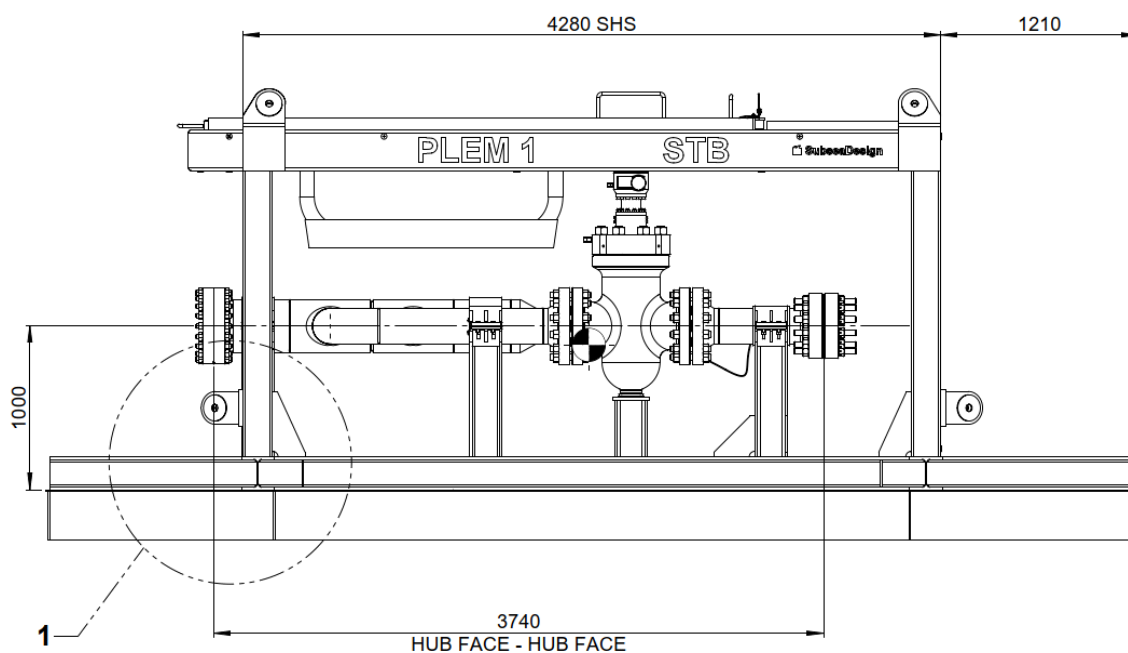
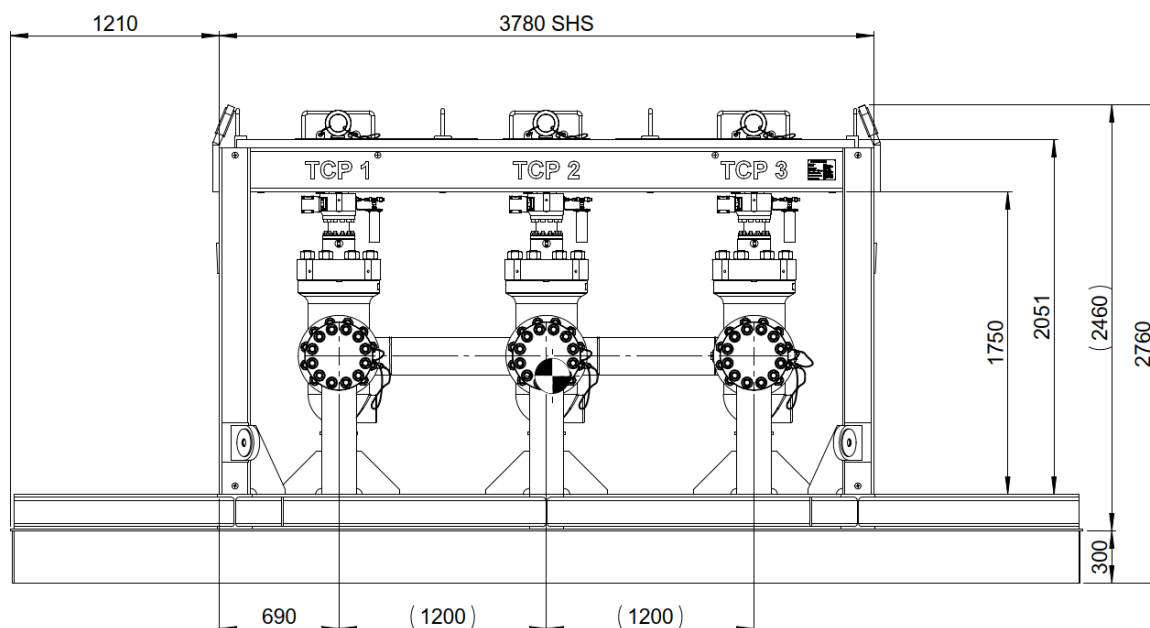


Darstellung gemäß [1.6]

Eine skizzenhafte Darstellung der Beschwerungelemente aus Stahl ist in [1.13] enthalten.



Pos. 024 Ansichten



Darstellungen gemäß [1.6]



## Pos. 040 MATERIALIEN

Gemäß [1.10] (PELM Design Basis) besteht die PELM Konstruktion aus Baustahl S355, Angaben zu einer Beschichtung sind nicht vorhanden.

Das Material der aufgeständerten Rohrleitungen soll gemäß [1.10] (PELM Design Basis) als nichtrostender Stahl (API 5L X52) ausgeführt werden.

Die Materialgüten spielen für die erdstatischen Nachweise jedoch keine Rolle.

## Pos. 041 Materialbeiwerte

Materialbeiwerte werden bei den erdstatischen Nachweisen nicht benötigt.

## Pos. 050 EINWIRKUNGEN + BEMESSUNGSSITUATIONEN

### Pos. 051 Einwirkungen

Einwirkungen Einwirkungen nach DIN EN 1990:2010-12

Gk Eigenlasten  
Ständige Einwirkungen

Gk.H Wasserdruck  
Ständiger Wasserdruck

## Pos. 052 Bemessungssituationen

Es wird die ständige Bemessungssituation (BS-P) berücksichtigt.

Der Lastfall Ankerwurf und Treibeis ist in der außergewöhnlichen Bemessungssituation zu betrachten.

Eine Überlagerung von Strömungskräften (Gewässer + Welle) mit dem Treibeis wird in BS-E berücksichtigt.

### Pos. 052.1 Teilsicherheitsbeiwerte + Widerstände

Die Nachweise Gleiten, Kippen, Grundbruch und Auftrieb werden in verschiedene Grenzzustände der Tragfähigkeit eingeordnet:

UPL - Aufschwimmen / Auftriebsnachweis  
EQU - Kippen  
GEO-2 - Gleiten und Grundbruch

Die Teilsicherheitsbeiwerte werden der EAU [3.2] S. 8/9 entnommen und sind nachfolgend dargestellt.

**Tab. 1.1** Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Beanspruchungen (nach DIN 1054:2010-12, Tab. A 2.1 mit Ergänzungen) für Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit.

Einwirkung bzw. Beanspruchung	Formelzeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A
<b>HYD und UPL: Grenzzustand des Versagens durch hydraulischen Grundbruch und Aufschwimmen</b>				
Destabilisierende ständige Einwirkungen <sup>a)</sup>	$\gamma_{G,dst}$	1,05	1,05	1,00
Stabilisierende ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,stb}$	0,95	0,95	0,95
Destabilisierende veränderliche Einwirkungen	$\gamma_{Q,dst}$	1,50	1,30	1,00
Stabilisierende veränderliche Einwirkungen	$\gamma_{Q,stb}$	0	0	0
Strömungskraft bei günstigem Untergrund	$\gamma_H$	1,45	1,45	1,25
Strömungskraft bei ungünstigem Untergrund	$\gamma_H$	1,90	1,90	1,45
<b>EQU: Grenzzustand des Verlusts der Lagesicherheit</b>				
Ungünstige ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,dst}$	1,10	1,05	1,00
Günstige ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,stb}$	0,90	0,90	0,95
Ungünstige veränderliche Einwirkungen	$\gamma_Q$	1,50	1,25	1,00
<b>STR und GEO-2: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund</b>				
Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen allgemein <sup>d)</sup>	$\gamma_G$	1,35	1,20	1,00
Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen für die Bemessung der Verankerung <sup>b)</sup>	$\gamma_G$	1,35	1,20	1,10
Beanspruchungen aus günstigen ständigen Einwirkungen <sup>e)</sup>	$\gamma_{G,inf}$	1,00	1,00	1,00
Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen aus Erdruhedruck	$\gamma_{G,EO}$	1,20	1,10	1,00
Wasserdruck bei bestimmten Randbedingungen <sup>d)</sup>	$\gamma_{G,red}$	1,20	1,10	1,00
Wasserdruck bei bestimmten Randbedingungen für die Bemessung der Verankerung <sup>b)</sup>	$\gamma_{G,red}$	1,20	1,10	1,10
Beanspruchung aus ungünstigen veränderlichen Einwirkungen <sup>e)</sup>	$\gamma_Q$	1,50	1,30	1,00
Beanspruchungen aus ungünstigen veränderlichen Einwirkungen <sup>f)</sup> für die Bemessung der Verankerung <sup>b)</sup>	$\gamma_Q$	1,50	1,30	1,10
Beanspruchung aus günstigen veränderlichen Einwirkungen	$\gamma_Q$	0	0	0
<b>GEO-3: Grenzzustand des Versagens durch Verlust der Gesamtstandsicherheit</b>				
Ständige Einwirkungen	$\gamma_G$	1,00	1,00	1,00
Ungünstige veränderliche Einwirkungen	$\gamma_Q$	1,30	1,20	1,00
<b>SLS: Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit</b>				
$\gamma_G = 1,00$ für ständige Einwirkungen bzw. Beanspruchungen				
$\gamma_Q = 1,00$ für veränderliche Einwirkungen bzw. Beanspruchungen				

- Die ständigen Einwirkungen verstehen sich einschließlich ständigen und veränderlichen Wasserdrucks. In BS-A gilt abweichend von DIN 1054:2010-12  $\gamma_G = 1,00$ , außer für die Nachweise der Verankerung.
- Die Bemessung der Verankerung (Verpressanker, Mikropfähle, Zuggpfähle) umfasst bei verankerten Stützbauwerken auch den Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge (Abschn. 9.3).
- Wenn bei der Ermittlung der Bemessungswerte der Zugbeanspruchung eine gleichzeitig wirkende charakteristische Druckbeanspruchung aus günstigen ständigen Einwirkungen angesetzt wird, ist diese mit dem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_{G,inf}$  zu berücksichtigen (DIN 1054, 7.6.3.1 A(2)).
- Bei Uferereinfassungen, bei denen größere Verschiebungen schadlos aufgenommen werden können, dürfen die Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_{G,red}$  für den Wasserdruck verwendet werden, wenn die Voraussetzungen nach Abschn. 8.2.1.3 gegeben sind (DIN 1054, A 2.4.7.6.1 A(3)).
- In BS-A gilt abweichend von DIN 1054:2010-12  $\gamma_Q = 1,00$ , außer für die Nachweise der Verankerung.
- Die ständigen Einwirkungen verstehen sich einschließlich ständigen und veränderlichen Wasserdrucks.

**Tab. 1.3** Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände (nach DIN 1054:2010-12, Tab. A 2.3 mit Ergänzungen).

Widerstand	Formelzeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A
<b>STR und GEO-2: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund</b>				
<b>Bodenwiderstände</b>				
Erdwiderstand und Grundbruchwiderstand	$\gamma_{R,e}, \gamma_{R,v}$	1,40	1,30	1,20
Erdwiderstand bei der Ermittlung des Biegemomentes <sup>a)</sup>	$\gamma_{R,e,red}$	1,20	1,15	1,10
Gleitwiderstand	$\gamma_{R,h}$	1,10	1,10	1,10
<b>Pfahlwiderstände aus statischen und dynamischen Pfahlprobelastungen</b>				
Fußwiderstand	$\gamma_b$	1,10	1,10	1,10
Mantelwiderstand (Druck)	$\gamma_s$	1,10	1,10	1,10
Gesamtwiderstand (Druck)	$\gamma_t$	1,10	1,10	1,10
Mantelwiderstand (Zug)	$\gamma_{s,t}$	1,15	1,15	1,15
<b>Pfahlwiderstände auf der Grundlage von Erfahrungswerten</b>				
Druckpfähle	$\gamma_b, \gamma_s, \gamma_t$	1,40	1,40	1,40
Zugpfähle (nur in Ausnahmefällen)	$\gamma_{s,t}$	1,50	1,50	1,50
<b>Herausziehwiderstände</b>				
Boden- bzw. Felsnägel	$\gamma_a$	1,40	1,30	1,20
Verpresskörper von Verpressankern	$\gamma_a$	1,10	1,10	1,10
Flexible Bewehrungselemente	$\gamma_a$	1,40	1,30	1,20

a) Abminderung ausschließlich bei der Ermittlung des Biegemomentes. Bei Ufereinfassungen, bei denen größere Verschiebungen schadlos aufgenommen werden können, dürfen die Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_{R,e,red}$  für den Erdwiderstand verwendet werden, wenn die Voraussetzungen nach Abschn. 8.2.1.2 gegeben sind (DIN 1054, A 2.4.7.6.1A(3)).

Ausschnitt zu BS-E gemäß EAU [3.2] S. 3/4:

#### 1.1.4.4 Extremfall

Beim Zusammentreffen äußerst unwahrscheinlicher Einwirkungskombinationen können nach DIN 1054, Abschn. A 2.4.7.6.1 A(4) und A 2.4.7.6.3 A(5) die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände  $\gamma_F = \gamma_R = 1,0$  gesetzt werden. Die Kombinationsbeiwerte werden nach Abschn. 1.2.4 zu  $\psi = 1,0$  gesetzt.

Pos. 060 BELASTUNGEN

Pos. 061 Ständige Lasten

Eigengewicht

Das Eigengewicht der PLEM inklusive Rohrleitungen kann den Zeichnungen [1.5] und [1.6] entnommen werden:

$$G_{k,PLEM} = 14.897 \text{ kg} \quad 149 \text{ kN}$$

Das Gewicht unter Berücksichtigung des Auftriebs ("submersible weight") ist ebenfalls auf den Zeichnungen angegeben:

$$G_{k,PLEM} = 12.111 \text{ kg} \quad 122 \text{ kN}$$

Wasser: Dichte / Wichte

$$w = 1.025 \text{ kg/m}^3$$

$$w = 10,25 \text{ kN/m}^3$$

Stahl: Dichte / Wichte

$$s = 7.850 \text{ kg/m}^3$$

$$s = 78,50 \text{ kN/m}^3$$

Strömungskraft (Gewässer + Welle)

Die Ermittlung der Strömungskraft aus den Strömungsgeschwindigkeiten erfolgt in Pos. 102. Gemäß [3.3] Kapitel 6.1.2.3 werden dabei die beiden Strömungsgeschwindigkeiten aus dem Gewässer und der Welle aufaddiert.

Die Strömungsgeschwindigkeit des Gewässers wird [1.10] (PLEM Design Basis) entnommen und beträgt max.  $v_s = 1,8 \text{ m/s}$ .

Die Strömungsgeschwindigkeit ("Geschwindigkeit der Wasserteilchen") aus der Welle wird nachfolgend ermittelt. Es wird das Berechnungsverfahren nach Morison gemäß EAU [3.2] Kapitel 4.7.1 und 4.7.2 (S. 102/103) angewendet.

Die Daten zur Bemessungswelle werden dem PLEM Design Basis [1.10] entnommen, die Wellenlänge beträgt 48,25 m. Die nachfolgende Abbildung ist noch dem Structural Design Report Revision 01 entnommen, da dort eine Angabe zur Wellenlänge vorhanden ist.

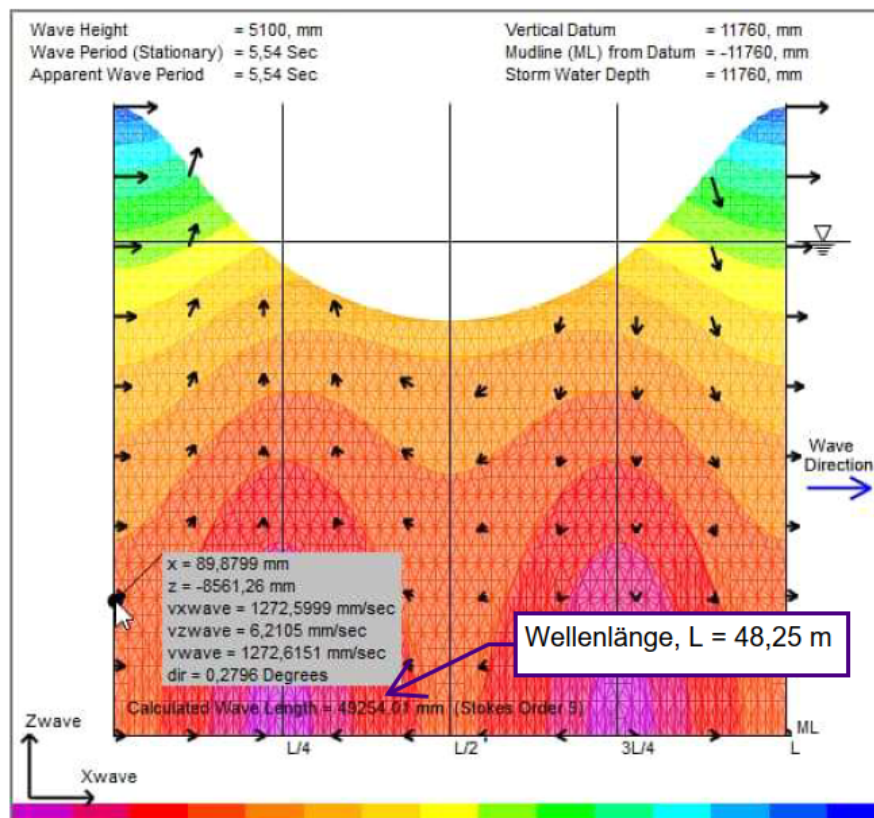


Figure 6-4: Water particle velocity due to wave

Die Formel für die Strömungsgeschwindigkeit wird der EAU [3.2] Tabelle 4.4 (S. 102) für den Übergangsbereich entnommen.

$$u = \frac{H}{2} \cdot \omega \cdot \frac{\cosh[k(z+d)]}{\sinh(kd)} \cdot \cos \vartheta$$

Mit der Formel ergibt sich im Aufstellbereich der PLEM (ca. 11,76 m unter Wasser) eine Strömungsgeschwindigkeit aus der Welle von  $v_w = 1,28 \text{ m/s}$ .

1	2	3	4	5
z	D	$k \cdot (z+d)$	$\cosh(k \cdot (z+d))$	u
m	m	-		m/s
0,00	0,434	1,531	2,42	3,10
-11,76	0,434	0,00	1,00	1,281

$d = 11,76 \text{ [m]}$   
 $\vartheta = 13^\circ$   
 $H = 5,10 \text{ [m]}$   
 $T = 5,54 \text{ [s]}$   
 $L = 48,25 \text{ [m]}$   
 $k = 2\pi/L = 0,130 \text{ [1/m]}$   
 $\omega = 2\pi/T = 1,135 \text{ [1/s]}$   
 $\sinh(k \cdot d) = 2,20$

**Pos. 062 Veränderliche Last**

Lasten aus Schiffstoß werden nicht angesetzt, da die PLEM ständig tief im Wasser liegt. Der Stoß aus Treibeis deckt auch den Treibgutstoß ab.

Ankerwurf

Der Ankerwurf wird in Abstimmung mit dem Bauherrn wie folgt gewählt:

$A_k = 4 \text{ t} = 40 \text{ kN}$

Treibeis

Ein direkter Stoß auf die PLEM durch Treibeis kann nicht auftreten, da die PLEM ständig tief im Wasser liegt. Die Last aus Treibeis wird über einen Stoß auf die Steigleitung ("Riser") in die PLEM eingeleitet. Die Ermittlung der Eislast erfolgt nach EAU [3.2] Kapitel 4.11.2 (S.123/124) und 4.11.4 (S. 126/127). Es wird angenommen, dass 40% der Last in die PLEM eingeleitet werden, die übrigen 60% werden nach oben in die FSRU eingeleitet.

**Einaxiale Eisdruckfestigkeit**

$$\sigma_o = 2700 \cdot \varepsilon^{\frac{1}{3}} \cdot \varphi_B^{-1}$$

Epsilon Dehnungsgeschwindigkeit	0,001 s <sup>-1</sup>
$\varphi_B$ Porosität	165,2 ‰
$\sigma_o$	1,67 MN/m <sup>2</sup>

**Porosität**

$$\varphi_B = 19,37 + 36,18 \cdot S_B^{0,91} \cdot |\vartheta_m|^{-0,69}$$

Salinität $S_B$	18 ‰
$\vartheta_m$ Temp	6 °C
Porosität	165,2 ‰

**Eislast (auf lotrechte Pfähle)**

$$P_p = k \cdot \sigma_o \cdot d^{0,5} \cdot h^{1,1}$$

k	0,564	Kontaktbeiwert
$\sigma_o$	1,67	Eisdruckfestigkeit
d	0,434 m	Durchmesser "Riser"
h	0,4 m	Eisdicke
$P_p$	0,2265 MN	
	226,47 kN	
$P_p$ (40%)	90,59 kN	

Die Last aus Treibeis wird nicht maßgebend, da die Belastung aus den Strömungskräften (Gewässer + Welle) größer ist. Hierzu wird auf Pos. 102 verwiesen.

## Pos. 070 ZUSÄTZLICHE ANGABEN

### Pos. 071 Angaben aus dem Bodengutachten

Für das Baufeld liegt ein vorläufiger Bericht für die Baugrunderkundung [1.1] vor. Bei dem angetroffenen Boden handelt es sich vorwiegend um Sande. Bodenkennwerte sind nicht angegeben, werden gemäß Structural Design Report, Anlage 1[1.10] aber wie folgt gewählt:

$$\begin{aligned} / ' &= 20,0/10,0 \text{ kN/m}^3 \\ &= 25,0^\circ \end{aligned}$$

Die Bodenkennwerte sind vor Baubeginn noch mit dem finalen Baugrundgutachten abzugleichen.

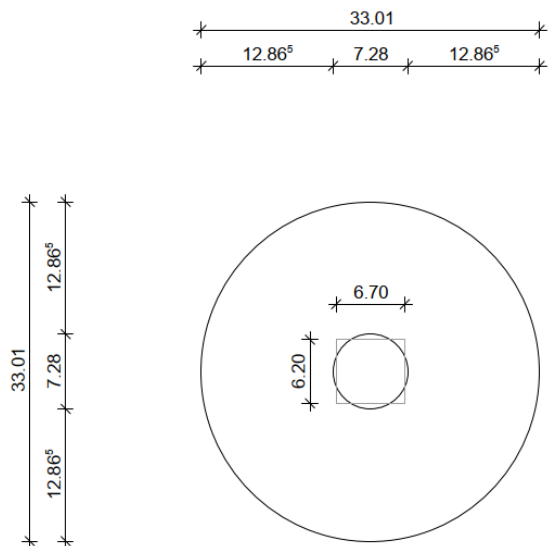
### Pos. 072 KOLKSICHERUNG

Die Entstehung eines Kolks hat wesentlichen Einfluss auf die Nachweise Gleiten, Kippen und Grundbruch. Daher ist die Kolkentstehung zwingend zu verhindern. Die Kolkentstehung wird hier durch Verlegung eines konstruktiven Kolkschutzes verhindert. Die Kolkentiefe wird in Abstimmung mit dem Bauherrn und aus Erfahrung der benachbarten Bauwerke (Terminal Uniper) mit 6 m angenommen. Anhand des Bodenreibungswinkels wird eine Fläche ermittelt in der eine Kolksicherung vorzusehen ist. Die Kolksicherung soll aus Wasserbausteinen LMB<sub>5/40</sub> bestehen und konstruktiv eine Dicke von mindestens 1,0 m haben. Die Funktionalität des Kolkschutzes ist im Rahmen der üblichen Peilungen z.B. durch NPorts zu kontrollieren.

# Abschätzung Kolkabmessungen

Draufsicht

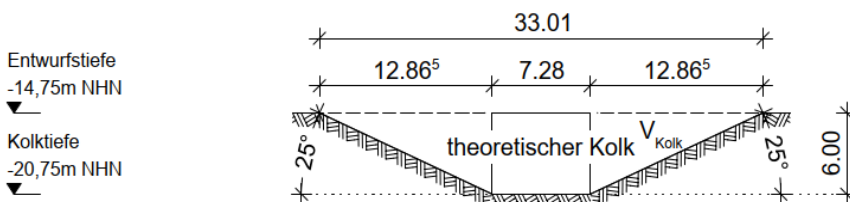
M. 1:500



## Kolk H=6m

Schnitt ohne Sohlsicherung

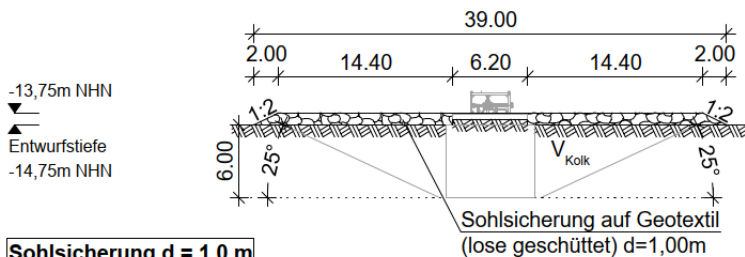
M. 1:500



## Kolkschutz LMB 5/40

Schnitt mit Sohlsicherung

M. 1:500



<b>Sohlsicherung d = 1,0 m</b>
Wasserbausteine LMB <sub>5/40</sub>
Rohdichte 2.650 kg/m <sup>3</sup>
Hohraumgehalt 50%
Geotextil





## KAP 100 BEMESSUNG

### Pos. 101 Auftriebsnachweis

Der Auftriebsnachweis ist erfüllt, wenn unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsbeiwerte das Eigengewicht der Konstruktion größer ist als die Auftriebskraft:

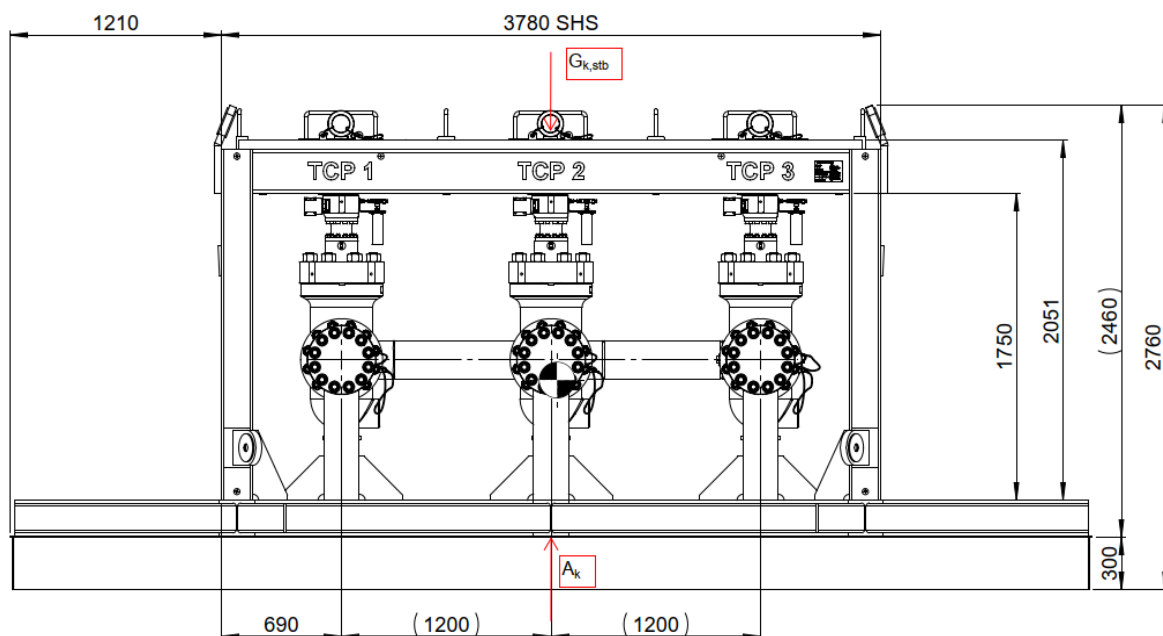
$A_k$   $G_{k,dst}$   $G_{k,stab}$   $G_{k,stab}$  (UPL)

mit

$$G_{k,stab1} = G_{k,PELM} = 14.897 \text{ kg} = 149,00 \text{ kN}$$

$$G_{k,stab2} = G_{k,Stahlkörper} = 7.850 \text{ kg/m}^3 \cdot 6,70 \text{ m} \cdot 6,20 \text{ m} \cdot 0,188 \text{ m} = 61.305 \text{ kg} = 610,00 \text{ kN}$$

Für die Anzahl, Dicke und Anordnung der Beschwerungselemente wird auf [1.13] verwiesen. Das hier angegebene Stahlgewicht von 61.000 kg muss mindestens erreicht werden.



Die auf einen Körper wirkende Auftriebskraft ist gleich der Gewichtskraft der von ihm verdrängten Flüssigkeitsmenge. Konservativ werden die Auftriebskräfte getrennt für die PELM und die Beschwerungselemente ermittelt.

Die Auftriebskraft der PELM lässt sich über die Gewichtsangaben auf den Plänen [1.5] und [1.6] ermitteln:

$$A_{k,PELM} = 14.897 \text{ kg} - 12.111 \text{ kg} = 2.786 \text{ kg} = 28,00 \text{ kN}$$

Die Auftriebskraft auf die Stahlkörper (Beschwerungselemente) ergibt sich wie folgt:

$$A_{k,Stahlkörper} = 1.025 \text{ kg/m}^3 \cdot 6,70 \text{ m} \cdot 6,20 \text{ m} \cdot 0,188 \text{ m} = 8.005 \text{ kg} = 80,00 \text{ kN}$$

Die Steigleitung ("Riser") wird im Nachweis nicht mit angesetzt, da die Leitung gemäß Datenblatt (vgl. [1.2]) im nicht gefüllten Zustand unter Wasser auftriebssicher ist:

$G_k = 197,7 \text{ kg/m}$  --> Gewicht Leitung an der Luft "nicht gefüllt"

$G_k = 45,4 \text{ kg/m}$  --> Gewicht Leitung unter Wasser "nicht gefüllt" ( $G_k > 0$ , Leitung sinkt)

Die TCP's werden ebenfalls nicht angesetzt, da diese gemäß [1.11] zur Auftriebssicherung entweder im Meeresboden eingegraben werden oder mit Betonblöcken und abgespannten Seilen gesichert sind.

#### Nachweis: (BS-P)

$A_k$	$G_{,dst}$		$G_{k, stb}$	$G_{,stb}$
(28,00 kN + 80,00 kN)	1,05		(149,00 kN + 610,00 kN)	0,95
113,40 kN			721,05 kN	
		=		0,16

Das Eigengewicht ist größer als die wirkende Auftriebskraft. Die PLEM bleibt somit auf dem Meeresboden stehen.

**Pos. 102 Gleitnachweis**

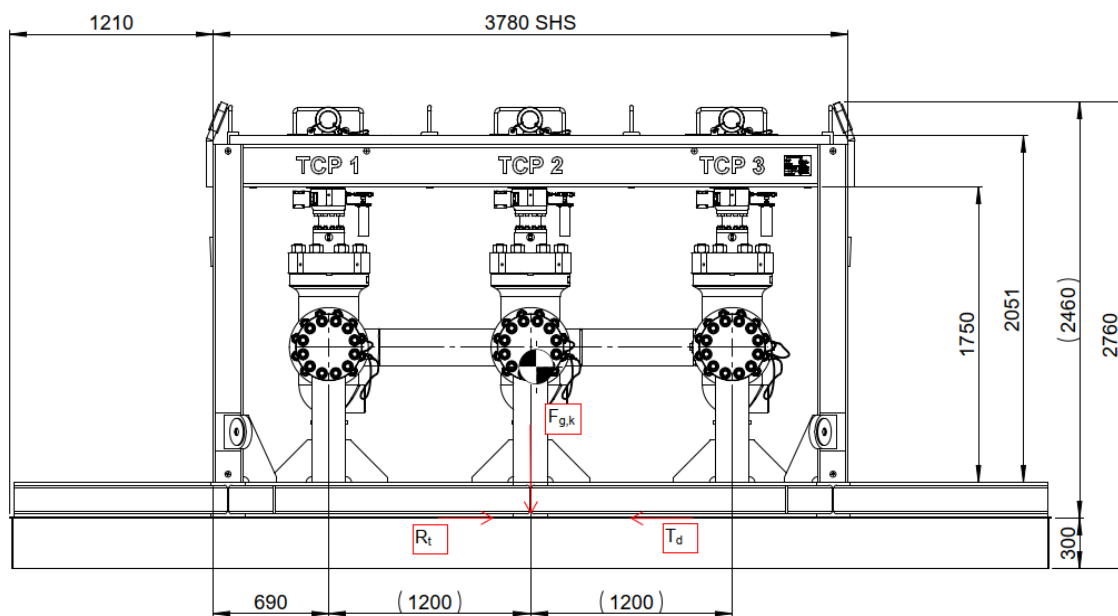
Der Nachweis für Gleiten ist erfüllt, wenn unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsbeiwerte die Reibung aus dem Eigengewicht der Konstruktion größer ist als die horizontal angreifende Last (hier: Strömungskraft):

$$\frac{T_{k,S}}{T_d} \geq \frac{F_{g,k}}{R_t} \cdot \tan \varphi_{s,k} \quad (GEO-2)$$

mit

$$\varphi_{s,k} = 25,0^\circ$$

Der Reibungswinkel ist noch mit dem finalen Baugrundgutachten abzugleichen.



Da das alleinige Eigengewicht der PLEM nicht ausreicht werden Stahlkörper zur Beschwerung vorgesehen. Die Eigengewichtslast unter Berücksichtigung des Auftriebes wird wie folgt ermittelt: (Ak gem. Pos. 101)

$$\begin{aligned} F_{g,k} &= (G_{k,PELM} + G_{k,Stahlkörper}) - (A_{k,PELM} + A_{k,Stahlkörper}) \\ F_{g,k} &= (149,00 \text{ kN} + 610,00 \text{ kN}) - (28,00 \text{ kN} + 80,00 \text{ kN}) = 651 \text{ kN} \end{aligned}$$

Die PLEM bindet nur ca. 30 cm in den Meeresboden ein, ein seitlich wirkender Erddruck (aktiv/passiv) wird nicht angesetzt. Zusätzlich ist zur Verhinderung eines Kolks eine Sohlsicherung mit Wasserbausteinen vorzusehen, vgl. Pos. 072.

Aus der Strömungsgeschwindigkeit (vgl. Pos. 061) ergibt sich eine Strömungskraft mit folgender Formel:

$$T_{k,S} = F_w = 0,5 \cdot c_w \cdot w \cdot A \cdot (v_s + v_w)^2$$

Anmerkung zu den Anströmflächen:

Die nachfolgenden Anströmflächen werden noch anhand des alten PLEM Designs (LxB = 8,1x6,8m) ermittelt und sind somit konservativ ermittelt.

Die größte Strömungskraft auf die PLEM ergibt sich über die 8,10 m lange Seite. Der  $c_w$  - Wert wird konservativ mit 1,0 angenommen. Die Anströmung erfolgt auf die PLEM und zum Teil auch auf die Riser und die TCPs. Die Anströmfläche wird wie folgt ermittelt (Abmessungen und Flächenbezeichnung siehe nächste Seite):

Anströmfläche PLEM:

$A_1 = 2 \cdot 0,18 \text{ m} \cdot 2,12 \text{ m} =$	0,763 m <sup>2</sup>	
$A_2 = 3,92 \text{ m} \cdot 0,25 \text{ m} =$	0,980 m <sup>2</sup>	
$A_3 = 6 \cdot (0,25 \text{ m} \cdot 0,25 \text{ m} / 2) =$	0,188 m <sup>2</sup>	
$A_4 = 4,36 \text{ m} \cdot 0,46 \text{ m} =$	2,006 m <sup>2</sup>	
$A_5 = 0,74 \text{ m} \cdot 0,50 \text{ m} =$	0,370 m <sup>2</sup>	
$A_6 = 3 \cdot (0,20 \text{ m} \cdot 0,56 \text{ m}) =$	0,336 m <sup>2</sup>	
$A_7 = 2,50 \text{ m} \cdot 0,16 \text{ m} =$	0,400 m <sup>2</sup>	
$A_8 = 8,12 \text{ m} \cdot 0,71 \text{ m} =$	<u>5,765 m<sup>2</sup></u>	
$A_{P,ges} =$	10,81 m <sup>2</sup>	11,00 m <sup>2</sup>

Anströmfläche Riser:

(gemäß [1.2]  $d_{Riser} = 0,434 \text{ m}$ ,  $L_{Riser} = 60 \text{ m}$ , davon ca. 45 m im Wasser)  
 Die Anströmung wird auf die Hälfte der Länge angenommen.

$$A_{Ri} = 0,434 \text{ m} \cdot 45 \text{ m} / 2 = 9,77 \text{ m}^2 \quad 9,80 \text{ m}^2$$

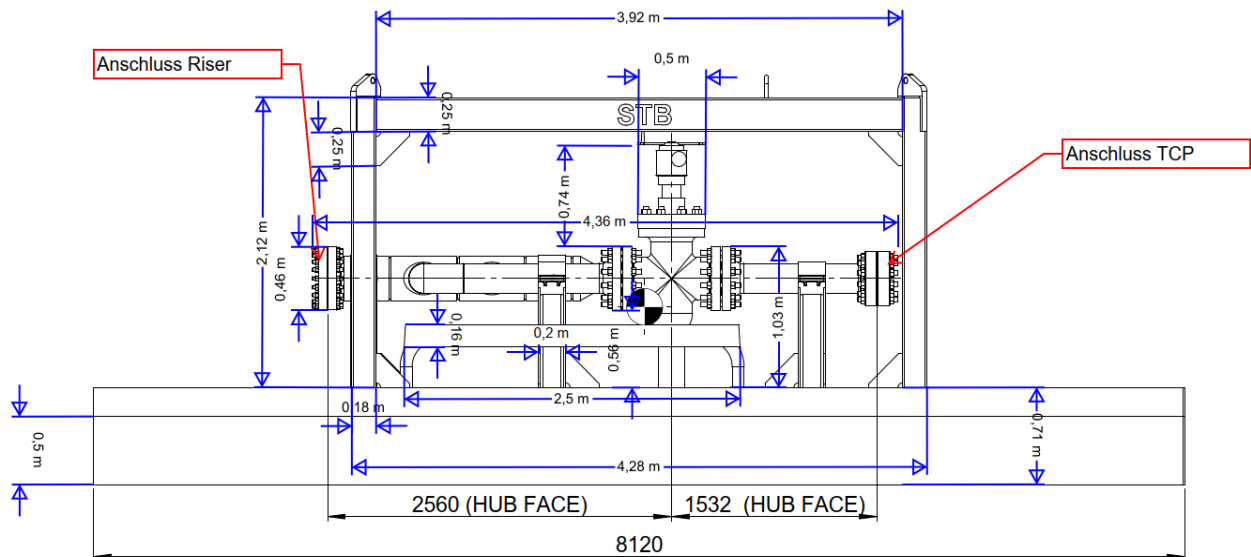
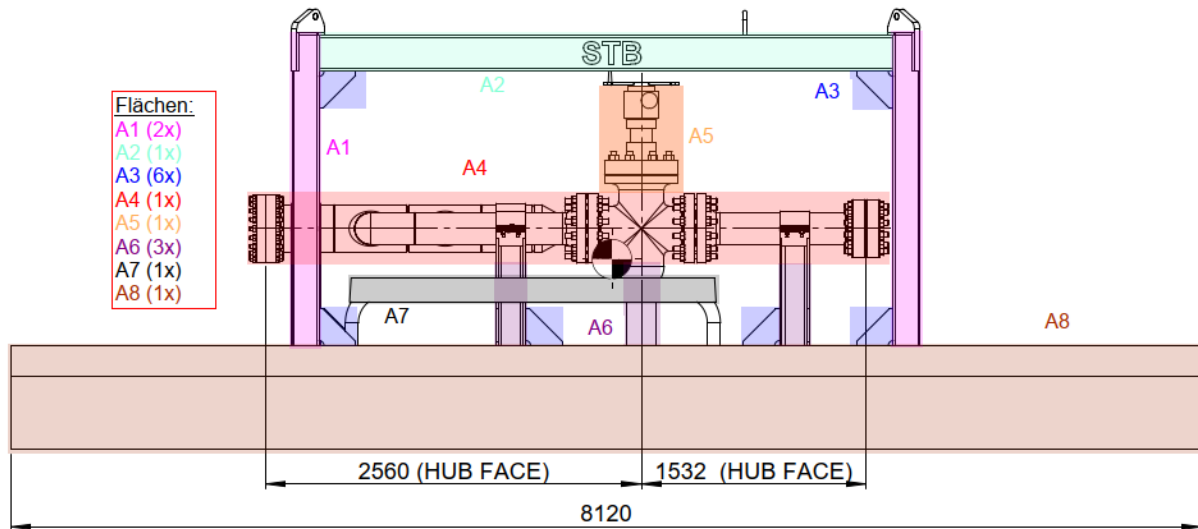
Anströmfläche TCPs:

(gemäß [1.8]  $d_{TCP} = 0,236 \text{ m}$ ,  $L_{TCP} = 20 \text{ m}$ )

$$A_{TCP} = 0,236 \text{ m} \cdot 20 \text{ m} = 4,72 \text{ m}^2 \quad 4,80 \text{ m}^2$$

Um bei der PLEM und den TCPs die hinteren Leitungen mit zu erfassen werden die Anströmflächen konservativ verdreifacht:

$$A_{ges} = 3 \cdot A_{P,ges} + A_{Ri} + 3 \cdot A_{TCP} = 57,20 \text{ m}^2$$



**Strömungskraft:**

$$T_{k,s} = 0,5 \cdot 1,0 \cdot 1.025 \text{ kg/m}^3 \cdot 57,2 \text{ m}^2 \cdot (1,8 \text{ m/s} + 1,28 \text{ m/s})^2 = 278.094 \text{ kg m/s}^2 = 278.094 \text{ N} = 278,10 \text{ kN}$$

( 91 kN aus Treibeis)

Die hier ermittelte Strömungskraft ist aufgrund der etwas grob geschätzten Flächen leicht konservativ ermittelt worden. Für den Nachweis wird die Designlast aus dem Structural Design Report, Anlage 1 (Page 12) [1.10] angesetzt,  $F_{x,d} = 265,9 \text{ kN}$ . Die Designlast beinhaltet jedoch einen Teilsicherheitsbeiwert von  $\gamma = 1,30$  und muss für die BS-P der EAU noch umgerechnet werden. Konservativ wurde in einer Nebenrechnung die Strömungskraft auch mit der Eislast in BS-E überlagert ( $\gamma_{R,h} = 1,0$ ), wird aber nicht maßgebend.

**Nachweis: (BS-P)**

$T_{k,s} \cdot \gamma$	$F_{g,k} \cdot \tan \alpha_{s,k} \cdot \gamma_{R,h}$	
(265,9 kN / 1,30)	651 kN $\tan(25^\circ) / 1,1$	
276,50 kN	276,00 kN	
=	1,00	

**Pos. 103 Kippnachweis**

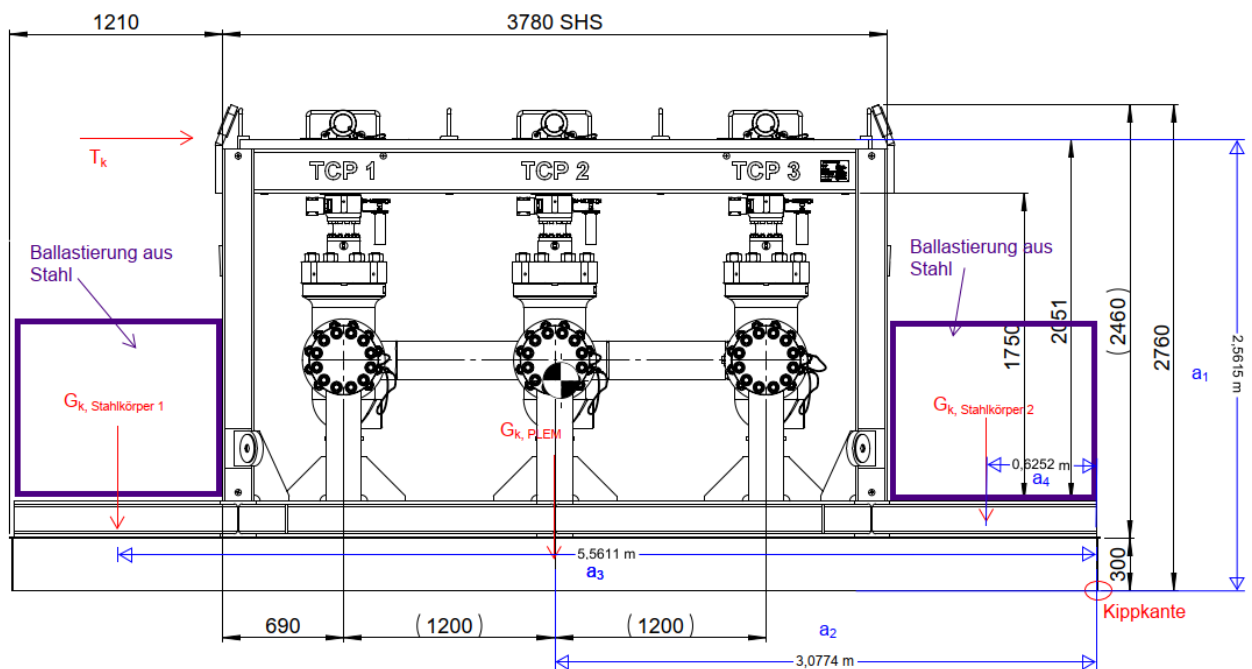
Der Kippnachweis ist erfüllt, wenn unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsbeiwerte das stabilisierende Moment aus dem Eigengewicht größer ist als das destabilisierende Moment aus der Strömungskraft + Eislast ( $T_k$ ). Das Kippen wird für die kürzere Fundamentseite untersucht, die Kippkante wird am unterem Fundamentrand (vgl. Skizze) gewählt:

$$\frac{[T_k \cdot a_1]}{M_{g,d}} \cdot G_{,dst} = \frac{[G_{k,stab1} \cdot a_2 + G_{k,stab2} \cdot a_3 + G_{k,stab3} \cdot a_4]}{M_{s,d}} \cdot G_{,stb} \quad (EQU)$$

mit

$$\begin{aligned} G_{k,stab1} &= G_{k,PELM} \text{ (aus Pos. 102)} = & 149,00 \text{ kN} - 28,00 \text{ kN} = & 121,00 \text{ kN} \\ G_{k,stab2} &= G_{k,Stahlkörper1} \text{ (aus Pos. 102)} = & (610,00 \text{ kN} - 80,00 \text{ kN}) / 2 = & 265,00 \text{ kN} \\ G_{k,stab3} &= G_{k,Stahlkörper2} \text{ (aus Pos. 102)} = & (610,00 \text{ kN} - 80,00 \text{ kN}) / 2 = & 265,00 \text{ kN} \\ T_k &= T_{k,S} + T_{k,Eis} = & 265,9 \text{ kN} / 1,3 + 91 \text{ kN} = & 296,00 \text{ kN} \end{aligned}$$

Konservativ wird die volle Strömungskraft und die Eislast ( $T_k$ ) auf Oberkante der PELM angesetzt.



**Nachweis:** (Konservativ in BS-A für Überlagerung Strömung/Eislast --> gem. Pos. 052 in BS-E)

$$\frac{[T_k \cdot a_1]}{[296 \text{ kN} \cdot 2,60 \text{ m}]} \cdot 1,00 = \frac{[G_{k,stab1} \cdot a_2 + G_{k,stab2} \cdot a_3 + G_{k,stab3} \cdot a_4]}{[121,00 \text{ kN} \cdot 3,05 \text{ m} + 265,00 \text{ kN} \cdot 5,55 \text{ m} + 265,00 \text{ kN} \cdot 0,60 \text{ m}]} \cdot 0,95$$

$$\frac{770 \text{ kNm}}{1.899 \text{ kNm}} = 0,41$$

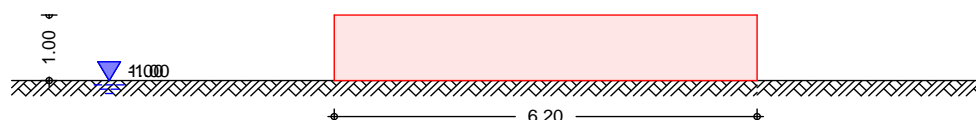
**Pos. 104.1 Grundbruchberechnung (BS-P)**

**Vorbemerkung**

Die Wichte des Bodens unter Auftrieb  $\gamma'$  ist noch mit dem finalen Baugrundgutachten abzugleichen. Diese Berechnung erfolgt unter der Annahme eines Kolkschutzes. Das Abrutschen des Fundaments durch einen Kolk ist zu vermeiden.

In dieser Position erfolgt der Grundbruchnachweis für die Belastung Strömungskraft in BS-P.

System  
 M 1:110



Fundament	Form	$b_x$ [m]	$b_y$ [m]	$h$ [m]	$[\circ]$
	Rechteck	6.20	6.80	1.00	0.00

Baugrund

Gelände	Form	$[\circ]$	$d$ [m]
	eben	0.0	0.00

Boden	$h$	$\gamma$	$\gamma'$	$c$	$\phi$
	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	$[\circ]$
	999.0	20.0	10.0	0.0	25.0

Einwirkungen Einwirkungen nach DIN EN 1990:2010-12

Gk Eigenlasten  
 Ständige Einwirkungen  
 Gk.H Wasserdruck  
 Ständiger Wasserdruck

**Belastungen**

Auflagerlast	EW	N	$M_x$	$M_y$	$T_x$	$T_y$
		[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]
Gk.H		0.00	0.00	531.80	204.54	0.00
Gk		651.00	0.00	0.00	0.00	0.00

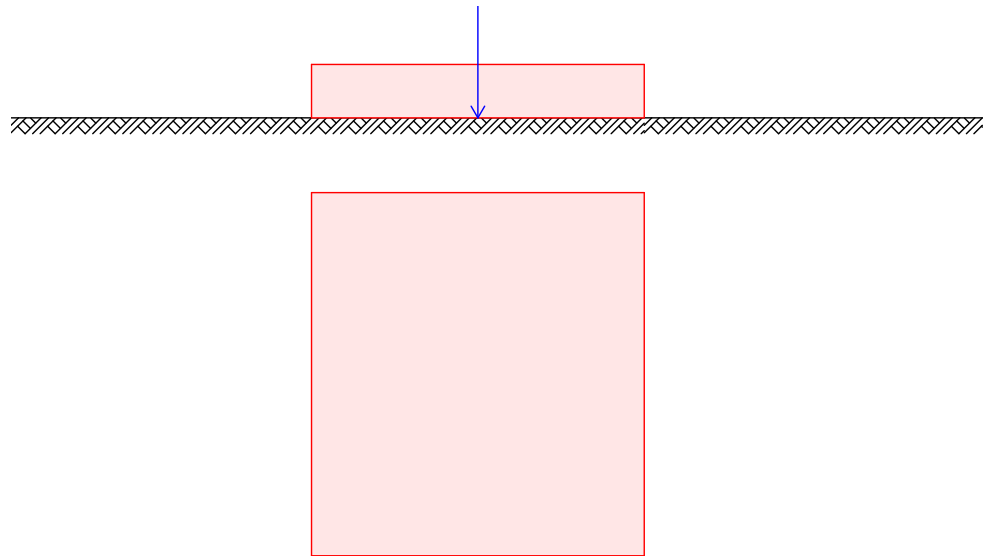
Gk.H : Auflagerlast Moment aus Pos. 103  
 $(265.9/1.3) \cdot 2.60 = 531.80$  kNm

Gk.H : Auflagerlast Strömungskraft aus Pos. 102  
 $265.9/1.3 = 204.54$  kN

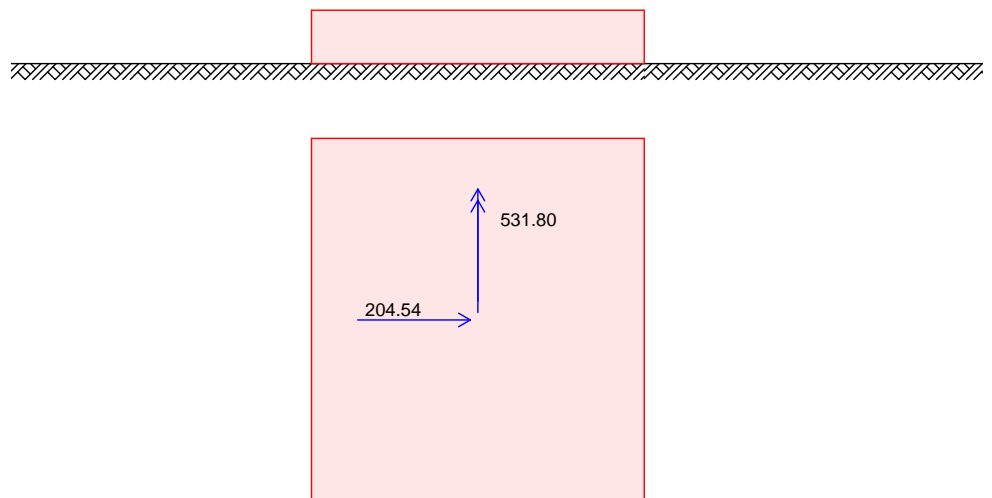
Gk : Auflagerlast Gewicht PLEM unter Auftrieb gem. Pos. 102  
 $651 = 651.00$  kN



M 1:140 EW Gk



M 1:140 EW Gk.H



Kombinationen

Kombinationsbildung nach DIN EN 1997-1

	Ek	( * *EW)	
GZ GEO-2, BS-P	1	1.35*Gk	+1.35*Gk.H
GZ SLS	2	1.00*Gk	+1.00*Gk.H

Bem.-schnittgrößen  
 GZ GEO-2

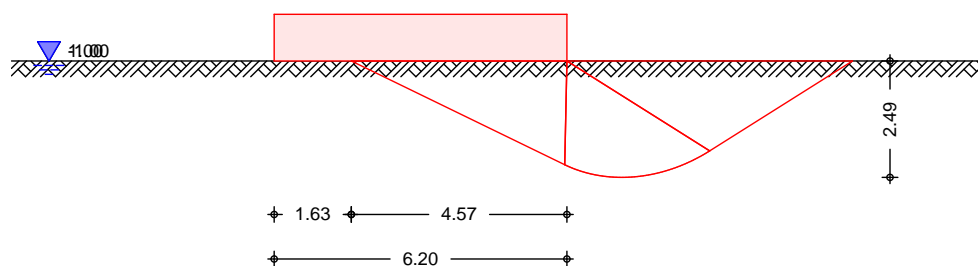
Ek	N <sub>d</sub> [kN]	M <sub>x,d</sub> [kNm]	M <sub>y,d</sub> [kNm]	T <sub>x,d</sub> [kN]	T <sub>y,d</sub> [kN]
1	878.85	0.00	717.93	276.13	0.00

GZ SLS	Ek	N <sub>d</sub> [kN]	M <sub>x,d</sub> [kNm]	M <sub>y,d</sub> [kNm]	T <sub>x,d</sub> [kN]	T <sub>y,d</sub> [kN]
	2	651.00	0.00	531.80	204.54	0.00

Standsicherheit Standsicherheitsnachweise nach DIN EN 1997-1:2014-03  
 ständige Situationen

Grundbruch nach DIN EN 1997-1:2014-03, GZ GEO-2

M 1:159



Grundrissform: Rechteck

a'	b'	d		
[m]	[m]	[m]	[°]	[°]
6.80	4.57	0.00	0.00	0.00

Z <sub>max</sub>		c	1	2
[m]	[°]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]
2.49	25.00	0.00	0.00	10.00

T <sub>a</sub>	T <sub>b</sub>	N			m
[kN]	[kN]	[kN]	[°]	[°]	[-]
0.00	204.54	651.00	17.44	90.00	1.60

Einfluß	N <sub>0</sub>		i			N
Breite	4.51	0.799	0.375	1.000	1.000	1.35
Tiefe	10.66	1.284	0.547	1.000	1.000	7.49
Kohäsion	20.72	1.313	0.500	1.000	1.000	13.62

Ek	V <sub>d</sub>	R <sub>k</sub>	R <sub>v</sub>	R <sub>d</sub>	
	[kN]	[kN]	[-]	[kN]	[-]
1	878.85	1914.61	1.40	1367.58	0.64

2. Kernweite

nach DIN EN 1997-1:2014-03, GZ SLS

Ek	M <sub>Ed</sub>	V <sub>Ed</sub>	e/b	zul e/b	
	[kNm]	[kN]	[-]	[-]	[-]
2	531.80	651.00	0.132	1/3	0.40

**Pos. 104.2 Grundbruchberechnung (BS-A)**

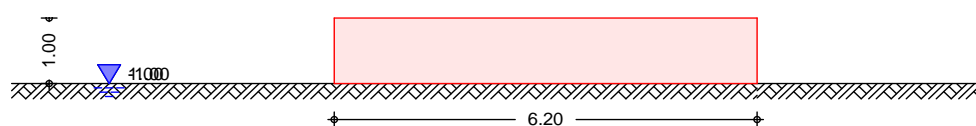
**Vorbemerkung**

Die Wichte des Bodens unter Auftrieb  $\gamma'$  ist noch mit dem finalen Baugrundgutachten abzugleichen. Diese Berechnung erfolgt unter der Annahme eines Kolkschutzes. Das Abrutschen des Fundaments durch einen Kolk ist zu vermeiden.

In dieser Position erfolgt der Grundbruchnachweis für die Belastung Strömungskraft + Eislast in BS-A. Die Bemessung ist konservativ, da die Einordnung der Belastung gem. Pos. 052 in BS-E erfolgt.

Nach Pos. 052.1 kann der Teilsicherheitsbeiwert der ständigen Lasten für BS-A mit  $\gamma_G = 1,0$  angesetzt werden. Dies wird bei der Lasteingabe berücksichtigt, da das Modul  $\gamma_G = 1,1$  berücksichtigt.

System  
 M 1:110



Fundament	Form	$b_x$ [m]	$b_y$ [m]	$h$ [m]	[°]
	Rechteck	6.20	6.80	1.00	0.00

Baugrund

Gelände	Form	[°]	$d$ [m]
	eben	0.0	0.00

Boden

$h$	$\gamma$	$\gamma'$	$c$	[°]
[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[°]
999.0	20.0	10.0	0.0	25.0

Einwirkungen

Einwirkungen nach DIN EN 1990:2010-12

Gk

Eigenlasten  
 Ständige Einwirkungen

Gk.H

Wasserdruck  
 Ständiger Wasserdruck

**Belastungen**

**Auflagerlast**

EW	N [kN]	M <sub>x</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	T <sub>x</sub> [kN]	T <sub>y</sub> [kN]
Gk.H	0.00	0.00	672.73	269.09	0.00
Gk	591.82	0.00	0.00	0.00	0.00

Gk.H : Auflagerlast

Moment aus Pos. 103 / a1 = 2.5m

$$296 * 2.5 / 1.1 = 672.73 \text{ kNm}$$

Gk.H : Auflagerlast

Strömungskraft + Eislast aus Pos. 103

$$296 / 1.1 = 269.09 \text{ kN}$$

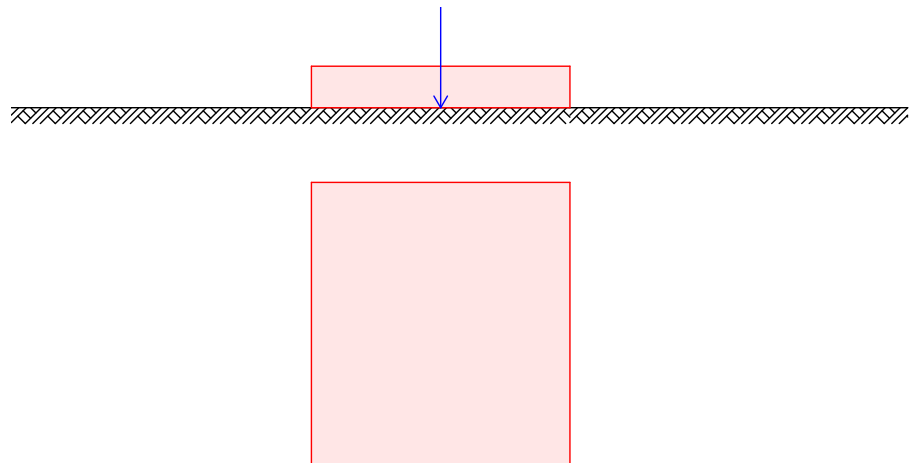
Gk : Auflagerlast

Gewicht PLEM unter Auftrieb gem. Pos. 102

$$651 / 1.1 = 591.82 \text{ kN}$$

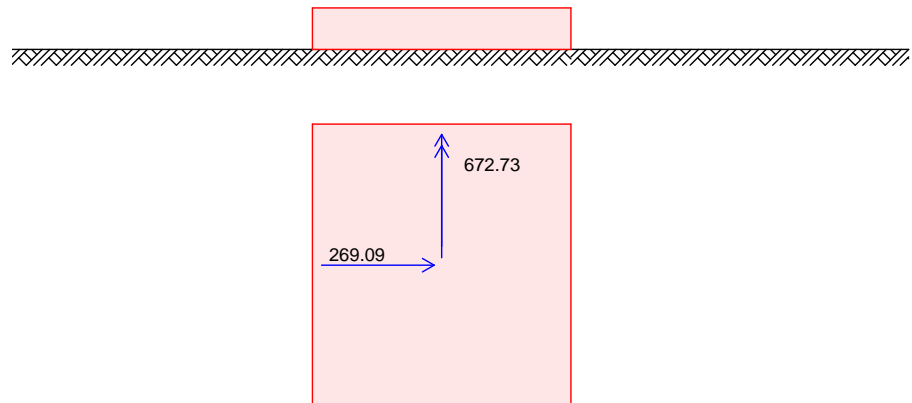
M 1:180

EW Gk



EW Gk.H

M 1:180



Kombinationen

Kombinationsbildung nach DIN EN 1997-1

GZ GEO-2, BS-A

Ek	( * *EW)
1	1.10 * Gk +1.10 * Gk.H

Bem.-schnittgrößen

GZ GEO-2

Ek	N <sub>d</sub> [kN]	M <sub>x,d</sub> [kNm]	M <sub>y,d</sub> [kNm]	T <sub>x,d</sub> [kN]	T <sub>y,d</sub> [kN]
1	651.00	0.00	740.00	296.00	0.00

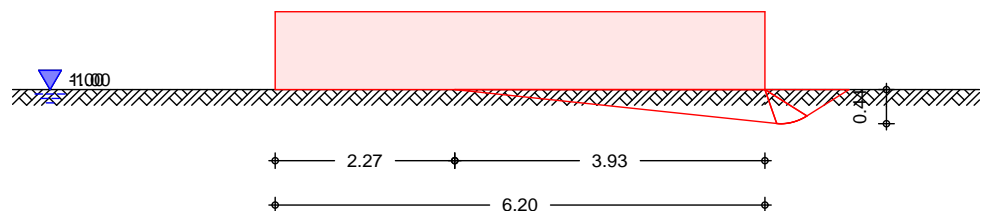
Standsicherheit

Standsicherheitsnachweise nach DIN EN 1997-1:2014-03  
 außergewöhnliche Situation

Grundbruch

nach DIN EN 1997-1:2014-03, GZ GEO-2

M 1:95



Grundrissform: Rechteck

a'	b'	d	[°]	[°]
6.80	3.93	0.00	0.00	0.00

Z <sub>max</sub>	c	1	2
0.44	25.00	0.00	10.00

$T_a$ [kN]	$T_b$ [kN]	N [kN]	[°]	[°]	m [-]
0.00	269.09	591.82	24.45	90.00	1.63

Einfluß	$N_0$		i			N
Breite	4.51	0.827	0.202	1.000	1.000	0.75
Tiefe	10.66	1.244	0.371	1.000	1.000	4.92
Kohäsion	20.72	1.269	0.306	1.000	1.000	8.05

$E_k$	$V_d$ [kN]	$R_k$ [kN]	$R_{v}$ [-]	$R_d$ [kN]	[-]
1	651.00	790.70	1.20	658.92	0.99

## Pos. 105 Zusammenfassung

Die Nachweise Auftrieb, Gleiten, Kippen und Grundbruch wurden geführt und sind eingehalten, wobei das Gleiten maßgebend wird.

Damit die Gleitsicherheit sichergestellt ist, muss die PLEM mit Stahlelementen von 61 t beschwert werden.

Es wird empfohlen, die beiden PLEM's mit Wasserbausteinen konstruktiv gegen Kolk zu schützen, da dies die Nachweise Gleiten, Kippen und Grundbruch gravierend gefährdet. Für den Kolkchutz ist möglichst ein Einbaukonzept durch einen fachkundigen AN auszuarbeiten.

Die Funktionalität des Kolk schutzes ist im Rahmen der üblichen "Hafen-" Peilungen zu kontrollieren. Ggf. ist im Rahmen des HAZARD-Konzepts der Kolk schutz auszubessern. Die Kolk tiefe wird in Abstimmung mit dem Bauherrn und aus Erfahrung der benachbarten Bauwerke (Terminal von "Uniper") mit 6 m angenommen. Dies wird hier durch Verlegung eines konstruktiven Kolk schutzes verhindert.

Vor Baubeginn sind die Bodenkennwerte (vgl. Pos. 071) zu verifizieren.

Die gesamte Konstruktion (PEM + Beschwerungelemente) muss auf den vorher begrabten Meeresboden aufgestellt werden z.B. mittels eines Stelzenpontons mit Seilbagger. Das Aufstellkonzept wird durch den Lieferanten der PLEM geliefert. An der PLEM sind Anschlagpunkte vorhanden um diese mit einem Kran / Seilbagger anheben zu können. Es muss sichergestellt werden, dass die Anschlagpunkte und die Stahlprofile der PLEM diese Lasten aufnehmen können. Hierzu wird auf den Structural Design Report der PLEM in [1.10] verwiesen.