

1. Überarbeitung (Rev. 1) vom 08.06.2022



Nachrichtlich
Seite 1-15

Statische Berechnung Rohrbrücke Elbhafenknoten


Auftrags-Nr.: 10-22-117

Bauvorhaben: Neubau Energietransportleitung
ETL 185 - FSRU

Bauherr: Gasunie Deutschland GmbH & Co. KG
Pasteurallee 1
D-30655 Hannover


Tragwerksplanung: BPM Ingenieurgesellschaft mbH
Waisenhausstrasse 10, 09599 Freiberg
Tel.: +49 3731 7832667
E-Mail:

Auftraggeber: ARGE-GME GbR c/o Giftge Consult GmbH
Stephanstraße 12
D-31135Hildesheim

BPM Ingenieurgesellschaft mbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg 	10-22-117 Neubau Energietransportleitung ETL 185 - FSRU	S.	2
		Pos.	

Inhaltsverzeichnis

Position	Beschreibung	Seite
TB	Titelblatt	1
	Inhalt	2
R	Revisionsübersicht	3
.	Vorbemerkungen	4
T1	HEB 120	11
T2	HEB 220	12
T3	HEB 200 Obergurt	13
Z	Zusammenfassung	14
SB	Schlussblatt	15

BPM Ingenieurgesellschaft mbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg 	10-22-117 Neubau Energietransportleitung ETL 185 - FSRU	S.	3
		Pos.	R

Pos. R

Revisionsübersicht

Rev.	Datum	Verfasser	gesehen	Bemerkungen
1	08.06.2022	Dipl.-Ing. Jürgen Konrad	Dipl.-Ing. Thomas Grambow	Einarbeitung der Lagerlasten von EPC vom 01.06.2022

BPM Ingenieurgesellschaft mbH waisenhausstraße 10 09599 Freiberg	10-22-117 Neubau Energietransportleitung ETL 185 - FSRU	S. 4 POS. .
---	--	----------------

Pos. .

Vorbemerkungen

1. Allgemeine Bemerkungen

Die vorliegende statische Berechnung weist nach, dass die bestehende Bestandbrücke die zusätzliche Last der neu zu verlegenden Rohrleitung sicher aufnehmen kann und die Standsicherheit für alle auftretende Lastfälle jederzeit gegeben ist. Dieser Nachweis wird auf Grund der geprüften Statik von KWE (Köln-Wesseling Eisenbau) vom 2. September 1976 geführt.

Die Lastannahmen sowie die Nachweise der Bauteile werden als richtig vorausgesetzt und nicht nochmal durch Vergleichsrechnungen nachgewiesen.

Es wird ebenfalls vorausgesetzt, dass alle Tragteile der Brückenkonstruktion keine Verschleißerscheinungen aufweisen, die die Tragfähigkeit der einzelnen Bauteile entscheidend beeinflusst. Sollten Bauteile bzw. Verbindungselemente (Schrauben, Schweißnähte u.ä.) starke Verschleißerscheinungen aufweisen, so ist vor Beginn der Bauarbeiten eine Begutachtung der betreffenden Bereiche zwingend notwendig.

2. Berechnungsgrundlagen

Der statischen Berechnung lagen folgende Unterlagen zugrunde:

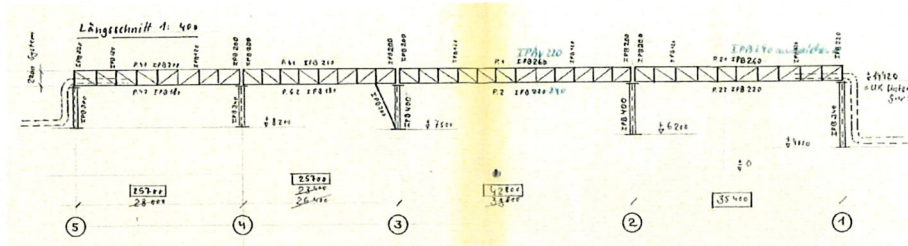
- geprüfte Statik von KWE (Köln-Wesseling Eisenbau) vom 2. September 1976.
- Die bauaufsichtlich eingeführten technische Baubestimmungen in der aktuellen Fassung:
 - DIN EN 1990, einschließlich NA
 - DIN EN 1991, einschließlich NA
 - DIN EN 1992, einschließlich NA
 - DIN EN 1993, einschließlich NA
- allgemeine Literatur (Bautabellen etc.)

3. Bauaufgabe bzw. Baubeschreibung

Im Rahmen des Projektes des Neubaus einer Energietransportleitung ETL 185 -FSRU sind Querungen in Form von Rohrbrücken notwendig. Neben dem Neubau von Rohrbrücken ist auch in Einzelfällen zu prüfen, inwieweit vorhandene Rohrbrücken für die Verlegung der Energietransportleitung genutzt werden können. Die vorliegende Statik überprüft die mögliche Nutzung der Rohrbrücke über die Hamburger Straße (rote Linie)



Aufbau der Bestandsrohrbrücke (Auszug stat. Berechnung von KWE -Blatt I)



5. Statischer Nachweis

Abb. 1 : Lastannahmen (Auszug stat. Berechnung von KWE -S.4)

KWE
Köln-Wessellinger Eisenbau
Köln 3152

1. Rohrbrücke im Elbehafen Knoten
Übersicht Bl. I ; Fund. lasten Bl. II
nach Bayer - 2. hr. BR 4999 - 0,3

1.1 Belastung und Ermittlung der Fundamentlasten

$$\text{Rohrnutlast} = p_R = 1,5 \text{ t/m}$$

$$(\text{davon Rohreigengewicht} = 25\% = 0,375 \text{ t/m})$$

$$\text{Füllung} = 75\% = 1,125 \text{ t/m}$$

$$\text{Laufsteg einseitig} = p_L = 0,1 \text{ t/m}$$

$$\text{Eigengewicht der Brücke} = 0,55 \text{ t/m}$$

$$\text{Eigengewicht Laufsteg} = 0,05$$

$$\text{Untergehängte Blechwanne (geplant)} = 0,15 \text{ t/m}$$

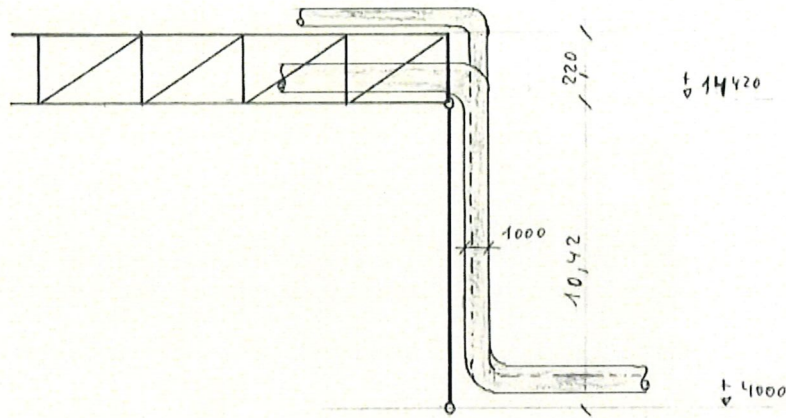


Abb. 2: Auszug stat. Berechnung von KWE -S.33

Der nachfolgende Bildausschnitt zeigt, dass der geplante Laufsteg sowie die geplante untergehängte Blechwanne nicht ausgeführt wurden. Desweiterem ist der geplante bzw. in der Lastannahme angenommene Rohrquerschnitt (1x DN 1000 + 1x DN 600) nicht umgesetzt worden. Es wurde stattdessen eine DN 800 Leitung in der Brücke installiert. Die daraus resultierenden Minderlasten können direkt als Reserve für die zusätzliche Brückenbelastung berücksichtigt werden. Die Lastannahme Eigengewicht wurde als richtig angenommen und nicht erneut berechnet.



Lastannahme IST: DN 800 (Rohr Ø813 x 12,5) Eigenlast = 2,24 kN/m (0,25 t/m)

Querschnittsfläche A = 0,50 m² Füllung = 1000 kg/m³ * A
Füllung = 4,93 kN/m (0,50 t/m)

Lastannahme NEU: DN 600 (Rohr Ø610 x 12,5) Eigenlast = 1,84 kN/m (0,18 t/m)

Querschnittsfläche A = 0,28 m² Füllung = 1000 kg/m³ * A (für Druckprobe)
Füllung = 2,77 kN/m (0,28 t/m)

BPM Ingenieurgesellschaft mbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg	10-22-117 Neubau Energietransportleitung ETL 185 - FSRU	S. 7 POS. .
---	---	----------------

Daraus ergibt sich folgende Veränderungen der tatsächlichen Vertikallasten:

Statisch nachgewiesen:	Rohrgewicht g 0,375 t/m	= 3,75 kN/m
	Rohrfüllung p 1.125 t/m	= 11,25 kN/m
	Eigengewicht Brücke 0,55 t/m	= 5,50 kN/m
	Laufsteg p 0,1 t/m	= 1,00 kN/m
	Laufsteg g 0,05 t/m	= 0,50 kN/m
	Blechwanne 0,15 t/m	<u>= 1,50 kN/m</u>
	Gesamt	= 23,50 kN/m

Statisch erforderlich	Rohrgewicht g (1x DN800)	1 x 2,24 kN/m	= 2,24 kN/m
	Rohrfüllung p (1x DN800)	1 x 4,93 kN/m	= 4,93 kN/m
	Rohrgewicht g (1x DN600)	1 x 1,84 kN/m	= 1,84 kN/m
	Rohrfüllung p (1x DN600)	1 x 2,77 kN/m	= 2,77 kN/m
	Eigengewicht Brücke 0,55 t/m		= 5,50 kN/m
	Zusätzliche Installationen (Rohrlager etc.)		<u>= 1,00 kN/m</u>
	Gesamt		= 18,28 kN/m

Die korrigierten vertikalen Lasten inkl. der zusätzlichen Ausbaulast einer zusätzlichen Rohrleitung DN 600 sind ca. 22% geringer als die für die Berechnung der Brückenkonstruktion angenommen Lasten.

Die heutigen Nachweisverfahren ermitteln die Einwirkungen auf Tragwerke auf Grundlage der DIN 1990. Damit wir zwischen verschiedenen Lastfaktoren hinsichtlich der Art der Einwirkung unterschieden. Die mittels dieser Lastfaktoren ermittelte Einwirkung ist für den Nachweis der Stahlkonstruktion bestimmend. Auch in diesem Falle sind die vertikalen Einwirkungen der geplanten zusätzlichen Ausbaulast geringer als die für die Berechnung angenommen Lasten.

Design-Lasten

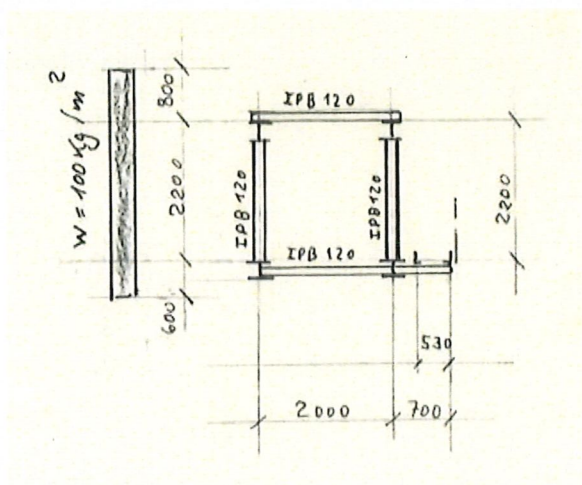
$$\text{Zulässige Last lt. Statik : } V_d = 1,35 * (3,75 + 5,50 + 0,50 + 1,50) + 1,5 * (11,25 + 1,00) = 33,56 \text{ kN}$$

$$\text{Geplante Last: } V_d = 1,35 * (2,24 + 1,84 + 5,50 + 1,00) + 1,5 * (4,93 + 2,77) = 25,83 \text{ kN}$$

Die Brückenkonstruktion ist somit hinsichtlich der vertikalen Fachwerkkonstruktion standsicher.

Windbelastung

Die Bemessung der Stützrahmenkonstruktion und der Windverbände in der Brückenkonstruktion wurde auf Grundlage des nachfolgenden Bildes geführt. Bei der Windbelastung wurde eine Bezugshöhe von 3,60m angesetzt. Diese Bezugshöhe beinhaltet neben der Brückenkonstruktion (2200 mm) eine Unterhangwanne (600mm) und die damals geplante zusätzliche Leitung DN 600 (800 mm).




Windeinflusshöhe bei Installation einer Gasleitung DN 600 oberseitig auf IPB 120:

$$H = 2,20 \text{ m} + h_{\text{Unterfurt}} + h_{\text{IPB120}} + h_{\text{DN600}}$$

$$H = 2,20 \text{ m} + 0,24 \text{ m} + 0,12 \text{ m} + 0,65 \text{ m}$$

$$H = 3,21 \text{ m}$$

Die geplante Windeinflusshöhe ist durch den Wegfall der Wannenkonstruktion mit 3,21m geringer als die in der Statik nachgewiesene Windeinflusshöhe von 3,60 m. Die angesetzte Windlast von 100 kg/m² bzw. 1 kN/m² wird als richtig vorausgesetzt.

BPM Ingenieurgesellschaft mbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg 	10-22-117 Neubau Energietransportleitung ETL 185 - FSRU	S. 10
		Pos. .

Extremwerte Lagerkräfte HEB 120 (charakteristisch)

Lager 647 (Statik EPC vom 01.06.2022 S. 9)

$X = 3,231 \text{ kN}$ $Y = 25,909 \text{ kN}$ $Z = -10,670 \text{ kN}$

Extremwerte Lagerkräfte HEB 220 (charakteristisch)

Lager 651 (Statik EPC vom 01.06.2022 S. 7)

$X = -11,467 \text{ kN}$ $Y = -15,335 \text{ kN}$ $Z = -38,974 \text{ kN}$

Extremwerte Lagerkräfte Obergurt HEB 240 (charakteristisch)

Lager 645 (Statik EPC vom 23.05.2022 S. 10)

$X = -10,698 \text{ kN}$ $Y = 72,770 \text{ kN}$ $Z = -35,917 \text{ kN}$

Pos. T1

HEB 120

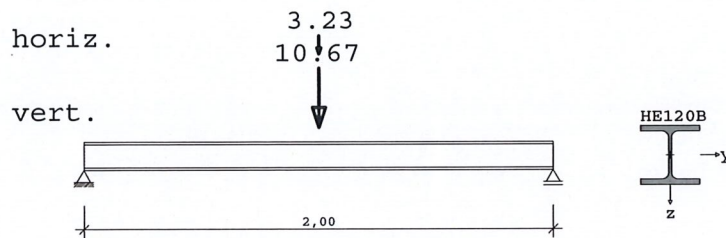
EINFELDTRÄGER STAHL ST2 10/2002 WinNT4.0

EINFELDTRÄGER HE 120 B

L = 2.00 m

S235

Maßstab 1 : 25



(Die Lasten werden nicht an ihren Lastangriffspunkten dargestellt.)

Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_M = 1.10$ Eigengewicht $g = 0.267$ kN/m

EINWIRKUNGEN

Nr.	Bezeichnung	γ_{MF}	Art
1	Wohnräume	1.50	veränderlich

Nr.	Ric	zp	G (kN)	Q (kN)	Abst (m)	von	Gruppen
1	in z	0	0.00	10.67	1.00	links	1
2	in y	0	0.00	3.23	1.00	links	1

zp = 0 : Schubmittelpunkt , zp = 1 : Oberseite , zp = 2 : Unterseite

AUFLAGERKRÄFTE (γ_{MF} -fach)

* = Maximum

Lager	V (kN)	Hx (kN)	Hy (kN)	Psi0	G	Q
links	8.36*	0.00	0.00	1.0	g	1
	0.27	0.00	2.42*	1.0		2
rechts	8.36*	0.00	0.00	1.0	g	1
	0.27	0.00	2.42*	1.0		2

GRUNDKOMBINATION aus Lasten: **) mit $\Psi_{i0} = 1.0$

G: g

Q: 1 2

AUFLAGERKRÄFTE Grundkomb.

(ohne γ_{MF})

* = Maximum

Lager	Ew	V (kN)	Hx (kN)	Hy (kN)	aus Lasten **)
links	G	0.27	0.00	0.00	
	Q	5.34*	0.00	0.00	1
		0.00	0.00	1.62*	2
rechts	G	0.27	0.00	0.00	
	Q	5.34*	0.00	0.00	1
		0.00	0.00	1.62*	2

SPANNUNGEN Grundkomb. nach Th.1.0. , $x_0 = 1.00$ m γ_{MF} -fach

vorh.SigmaX / $f_{yd} = 102.55 / 218.2 = 0.47 < 1$
 vorh.Tau / $\tau_{Rd} = 11.77 / 126.0 = 0.09 < 1$
 vorh.SigmaV / $f_{yd} = 102.55 / 218.2 = 0.47 < 1$

NACHWEIS BIEGEKNICKEN DIN 18800 T2

Grundkomb. Nd = 0.00 kN Myd = 8.18 Mzd = 2.42 kNm
 Vz = 8.00 Vy = 2.42 kN

Gleichung 29 : $\eta = 0.39 < 1$

NACHWEIS BIEGEDRILLKNICKEN DIN 18800 T2 (Ersatzstab nach BTII)

Grundkomb. Nd = 0.00 kN Myd = 8.18 Mzd = 2.42 kNm
 Nkiz = 0.00 kN Mkiy = 220.96 kNm

Gleichung 30 : $\eta = 0.37 < 1$

DURCHBIEGUNGEN für 1-fache Lasten , $x_0 = 1.00$ m zul f = L / 300

vorh.fRes / zul f = 0.13 / 0.67 = 0.19 < 1

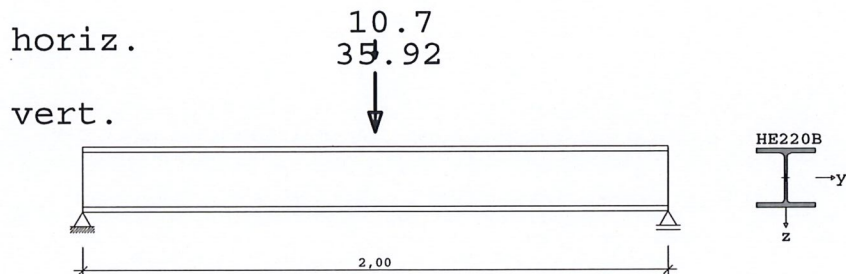
Pos. T2

HEB 220

EINFELDTRÄGER STAHL ST2 10/2002 WinNT4.0

EINFELDTRÄGER HE 220 B L = 2.00 m S235

Maßstab 1 : 20



(Die Lasten werden nicht an ihren Lastangriffspunkten dargestellt.)

Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M1} = 1.10$ Eigengewicht $g = 0.715$ kN/m

EINWIRKUNGEN

Nr.	Bezeichnung	γ_{M1}	Art
1	Wohnräume	1.50	veränderlich

EINZELLASTEN	Ric	zp	G	Q	Abst	von	Gruppen
Nr.			(kN)	(kN)	(m)		EwG Zus Alt
1	in z	0	0.00	35.92	1.00	links	1
2	in y	0	0.00	10.70	1.00	links	1

zp = 0 : Schubmittelpunkt , zp = 1 : Oberseite , zp = 2 : Unterseite

AUFLAGERKRÄFTE (γ_{M1} -fach) * = Maximum

Lager	V	Hx	Hy	aus Lasten **)
	(kN)	(kN)	(kN)	
links	27.90*	0.00	0.00	1.0 g
	0.72	0.00	8.02*	1.0
rechts	27.90*	0.00	0.00	1.0 g
	0.72	0.00	8.02*	1.0

GRUNDKOMBINATION aus Lasten: **) mit $\psi_{10} = 1.0$

G: g Q: 1 2

AUFLAGERKRÄFTE Grundkomb. (ohne γ_{M1}) * = Maximum

Lager	Ew	V	Hx	Hy	aus Lasten **)
		(kN)	(kN)	(kN)	
links	G	0.72	0.00	0.00	
	Q	17.96*	0.00	0.00	1
		0.00	0.00	5.35*	2
rechts	G	0.72	0.00	0.00	
	Q	17.96*	0.00	0.00	1
		0.00	0.00	5.35*	2

SPANNUNGEN Grundkomb. nach Th.1.0. , $x_0 = 1.00$ m γ_{M1} -fach

vorh. σ_{xX} / f_{yd}	=	68.36 / 218.2	=	0.31 < 1
vorh. τ_{xy} / τ_{Rd}	=	14.49 / 126.0	=	0.12 < 1
vorh. σ_{yV} / f_{yd}	=	68.36 / 218.2	=	0.31 < 1

NACHWEIS BIEGEKNICKEN DIN 18800 T2

Grundkomb.	Nd =	0.00 kN	Myd =	27.42	Mzd =	8.02 kNm
			Vzd =	26.94	Vyd =	8.02 kN

Gleichung 29 : $\eta_t = 0.27 < 1$

NACHWEIS BIEGEDRILLKNICKEN DIN 18800 T2 (Ersatzstab nach BTII)

Grundkomb.	Nd =	0.00 kN	Myd =	27.42	Mzd =	8.02 kNm
	Nkiz =	0.00 kN	Mkiy =	2418.35		kNm

Gleichung 30 : $\eta_t = 0.24 < 1$

DURCHBIEGUNGEN für 1-fache Lasten , $x_0 = 1.00$ m zul $f = L / 300$

vorh. f_{Res} / zul f	=	0.05 / 0.67	=	0.07 < 1
---------------------------	---	-------------	---	----------

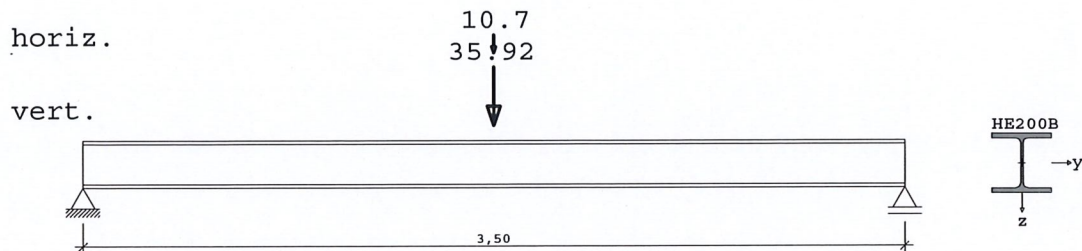
Pos. T3

HEB 200 obergurt

EINFELDTRÄGER STAHL ST2 10/2002 WinNT4.0

EINFELDTRÄGER HE 200 B L = 3.50 m S235

Maßstab 1 : 25



(Die Lasten werden nicht an ihren Lastangriffspunkten dargestellt.)

Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_M = 1.10$ Eigengewicht $g = 0.613$ kN/m

EINWIRKUNGEN						
Nr.	Bezeichnung		γ_{MF}	Art		
1	Wohnräume		1.50	veränderlich		

EINZELLASTEN	Ric	zp	G (kN)	Q (kN)	Abst (m)	von	Gruppen
Nr.							EwG Zus Alt
1	in z	0	0.00	35.92	1.75	links	1
2	in y	0	0.00	10.70	1.75	links	1

zp = 0 : Schubmittelpunkt, zp = 1 : Oberseite, zp = 2 : Unterseite

AUFLAGERKRÄFTE	(γ_{MF} -fach)						* = Maximum
Lager	V (kN)	Hx (kN)	Hy (kN)	aus Lasten **)			
links	28.39*	0.00	0.00	1.0	g	Q	
	1.07	0.00	8.02*	1.0			2
rechts	28.39*	0.00	0.00	1.0	g		1
	1.07	0.00	8.02*	1.0			2

GRUNDKOMBINATION aus Lasten: **) mit $\psi_{i0} = 1.0$

G: g Q: 1 2

AUFLAGERKRÄFTE Grundkomb.	(ohne γ_{MF})						* = Maximum
Lager	Ew	V (kN)	Hx (kN)	Hy (kN)	aus Lasten **)		
links	G	1.07	0.00	0.00			
	Q	17.96*	0.00	0.00	1		
		0.00	0.00	5.35*	2		
rechts	G	1.07	0.00	0.00			
	Q	17.96*	0.00	0.00	1		
		0.00	0.00	5.35*	2		

SPANNUNGEN Grundkomb. nach Th.1.0., $x_0 = 1.75$ m γ_{MF} -fach

vorh. $\sigma_{X} / f_{yd} = 155.13 / 218.2 = 0.71 < 1$
 vorh. $\tau_{X} / \tau_{Rd} = 16.87 / 126.0 = 0.13 < 1$
 vorh. $\sigma_{V} / f_{yd} = 155.13 / 218.2 = 0.71 < 1$

NACHWEIS BIEGEKNICKEN DIN 18800 T2

Grundkomb. $N_d = 0.00$ kN $M_{y,d} = 48.41$ kNm $M_{z,d} = 14.04$ kNm
 $V_{z,d} = 26.94$ kN $V_{y,d} = 8.02$ kN

Gleichung 29 : $\eta_a = 0.60 < 1$

NACHWEIS BIEGEDRILLKNICKEN DIN 18800 T2 (Ersatzstab nach BTII)

Grundkomb. $N_d = 0.00$ kN $M_{y,d} = 48.41$ kNm $M_{z,d} = 14.04$ kNm
 $N_{kiz} = 0.00$ kN $M_{kiy} = 692.18$ kNm

Gleichung 30 : $\eta_a = 0.56 < 1$

DURCHBIEGUNGEN für 1-fache Lasten, $x_0 = 1.75$ m $z_{ul} f = L / 300$

vorh. $f_{Res} / z_{ul} f = 0.36 / 1.17 = 0.31 < 1$

BPM Ingenieurgesellschaft mbH waisenhausstraße 10 09599 Freiberg	10-22-117 Neubau Energietransportleitung ETL 185 - FSRU	S. 14 Pos. Z
---	---	-----------------

Pos. Z

Zusammenfassung

Die vorhandene Rohrbrücke im Elbehafenknoten wurde dahingehend überprüft, ob die Standsicherheit der Brücke durch eine zusätzliche Gasleitung DN 600 noch gewährleistet ist. Grundlage hierfür war die Statische Berechnung von KWE (Köln-Wesseling Eisenbau) vom 2. September 1976.


Die Untersuchung ergab, dass die Rohrbrücke mit höheren Lastannahmen gerechnet wurde die nicht zur Ausführung kamen. Die Vertikallasten sowie die Windlasten weisen Reserven auf, die eine zusätzliche Leitung DN 600 vollständig ohne zusätzliche Maßnahmen abdecken (s. Kap. Vorbemerkung)

Die Brücke wird für die zusätzliche Last der geplanten DN 600 Leitung im Regelbetrieb als standsicher eingestuft.

Wichtiger Hinweis! Die Grundlage für die Einstufung ist die Gewährleistung, dass alle Tragelemente sich in einen einwandfreien Zustand befinden. Diese Einschätzung sollte im Vorfeld noch durch einen sachkundigen Ingenieur überprüft und protokolliert werden.

Auf Grundlage des Einbinde- und Auflagerkonzeptes von EPC wurde die Konstruktion nochmals bezüglich der Auflagerteile geprüft. Alle konzipierten Auflagerpunkte wurden auf ihre Tragfähigkeit überprüft und statisch nachgewiesen.

Die geplante Einbindung mit den entsprechenden ermittelten Lagerlasten nach von EPC vom 01.06.2022 kann ohne zusätzliche Verstärkungsstrukturen der Rohrbrücke realisiert werden.

BPM Ingenieurgesellschaft mbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg 	10-22-117 Neubau Energietransportleitung ETL 185 - FSRU	S.	15
		Pos.	SB

Pos. SB

Schlussblatt

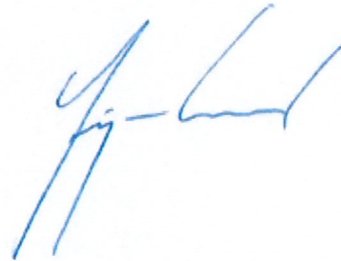
Schlussblatt

Diese Statische Berechnung wurde am 08.06.2022 aufgestellt

gesehen:

bearbeitet:





Dipl.-Ing. Thomas Grambow
Tragwerksplaner TP-0850-2013

Dipl.-Ing. Jürgen Konrad