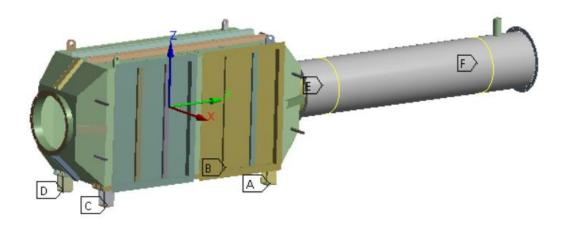
## Berechnung KAT-Gehäuse Rev. 01



Bearbeitet durch: Dip.- Ing. (FH) Adrian Binsau

RMW GmbH

Datum: 08.08.2022

## Inhalt

1.	Α	ufgabenstellung / Angebotsbezug	3
2.	В	erechnungsmodell	4
	2.1	Belastung	6
	2.2	Werkstoffkennwerte	8
	2.3	Randbedingungen / Lastaufbringung	9
3.	Α	uswertung Lastfallkombination 1	12
4.	Α	uswertung Lastfallkombination 2	13
5.	Α	uswertung Lastfallkombination 3	14
6.	Α	uswertung Lastfallkombination 4	16
7.	Α	uswertung Modalanalyse als Berechnungsgrundlage der Antwortspektrumanalyse	17
8.	Α	ntwortspektrum Analyse zur Erbebenberechnung	18
9.	La	agerlasten	19
10	. Zı	usammenfassung / Auswertung	20

## 1. Aufgabenstellung / Angebotsbezug

Für die Berechnung des Gehäuses werden folgende Angaben zur Berechnung zur Verfügung gestellt:

Last 1: Überdruck max. 80 mbar

Last 2: Windlast

Last 3: Schneelast

Last 4: Erdbebensicherheit

Die maximale Temperatur beträgt 280°C.

#### 2. Berechnungsmodell

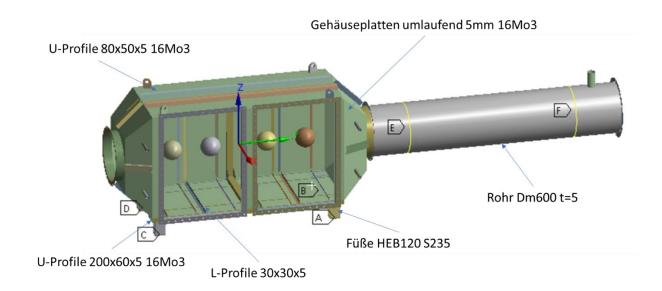


Abbildung 1: Berechnungsmodell

Das Gehäuse wird aus Blechen 1.5415 / 16Mo3 / Rp0,2 /  $0 < T \le 16$  der Dicke 5 mm berechnet. Die Versteifung aus den Profilen (U 80x50x5; L30x30x5) ist ebenso aus 5 mm 16Mo3 aufgebaut.

Die Fußanbindung des HEB Profils an das U-Profil 200x60x5 ist durch eingeschweißte Vierkantprofile und eine Stahlplatte zu verstärken (siehe nachfolgende Abbildung).

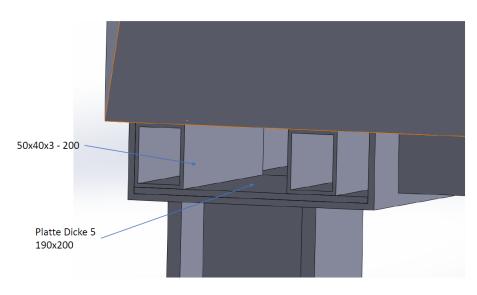


Abbildung 2: Versteifung der Fußanbindung

Das Gehäuse wird als vollständig geschweißt angenommen.

Die Berechnung wird mit der numerischen Berechnungssoftware ANSYS 19 durchgeführt.

Weitere Änderungen zum 3D Modell sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt.

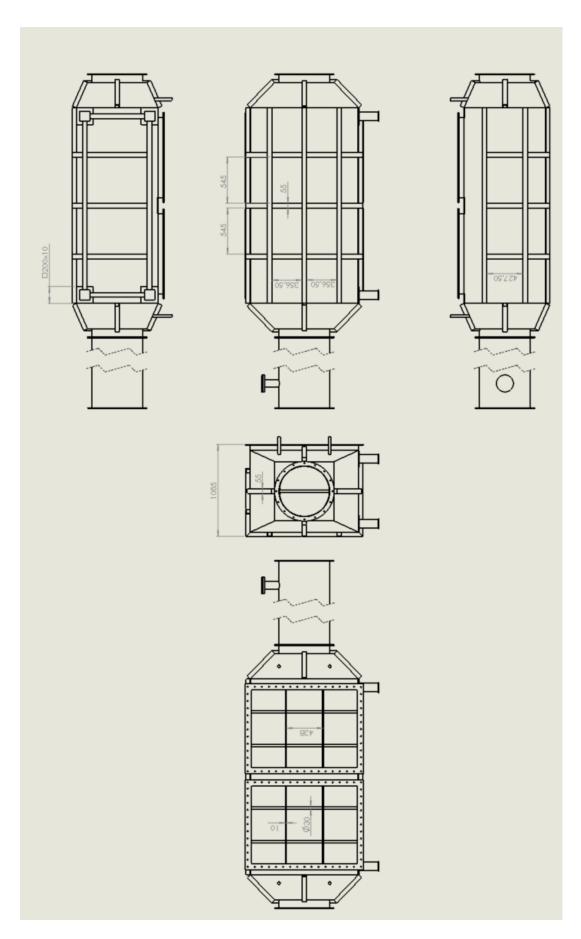


Abbildung 3: Berechnungsgeometrie

#### 2.1 Belastung

In Absprache mit dem Auftraggeber werden vier Betriebslasten und ein Sonderlast definiert.

Tabelle 1: Lastenübersicht

Nr.		Benennung	Bemerkungen			
			Gesamtmasse Gehäuse 860 kg			
			Masse KATs 800 kg			
Last 1	GK1	Eigenlasten	Berechnungsdichte 11,78 kg/dm³			
			Masse überhalb 11000 Kg			
			Masse unterhalb 9000 Kg			
Last 2	ast 2 QK1 Drucklast Betriebszustand		Innerer Überdruck von 80mbar = 0,008 MR			
Last 3 QK2		Windlast in MPa	0,00032			
Last 4	ast 4 QK4 Schneelast in MPa		0,00065			
Last 6 Ak2		Erdbebenanregung	y Fußpunktanregung			

Der Winddruck wird aus der Windlastzone für den Aufstellungsort und der Aufstellung unter 10m berechnet.

Tabelle 2Windlasten

Windlastzone	Ī	
Windgeschwindigkeit	22,5	m/s
Staudruck	0,32	kN/m²
Geländekategorie	III	
Böhengeschwindigkeit	100	km/h
Dichte Luft	1,25	kg/m³
Bezugsstaudruck	316,41	Pa
Bezugsstaudruck	0,00032	MPa
Bezugsstaudruck gewählt	320,00	Pa
Bezugsstaudruck	0,00032	MPa

Der Schneedruck wird aus der Schneelastzone für den Aufstellungsort berechnet.

Tabelle 3: Schneelasten

Schneelastzone	I	
Charakteristische Schneelast	0,65	kN/m²
Charakteristische Schneelast	650	Pa
Charakteristische Schneelast	0,00065	MPa

Die Teilsicherheitsbeiwerte werden aus den Lasten die Lastfallkombinationen (LK) ermittelt.

Tabelle 4: Lastfallkombinationen

Tei	lsicherheitsbeiwerte					
		GK1	QK1	QK2	QK3	
	Nr.	Eigenlast	Drucklast	Windlast	Schneelast	AK1
LK1		1,35	1,5	0	0	
LK2	Bemessung	1,35	0	1,5	1,5	
LK3	Betrtiebsfall 280°C	1,35	1,5	1,35	1,35	
LK4		1,35	1,35	1,5	1,5	
LK5	Außergewöhnlich e Einwirkungen	1				1

Last 5: Für die Sonderlast wird eine Antwortspektrumanalyse durchgeführt. Es handelt sich bei dem Gehäuse um eine Primärstruktur, welche auf dem Boden (Fundament) verschraubt ist.

In der nachfolgenden Abbildung wird das Antwortspektrum als Eingangsgröße dargestellt.



Abbildung 4: Antwortspektrum

Die Kennwerte zur Aufstellung des Antwortspektrums sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Es handelt sich beim Aufstellungsort um die Erdbebenzone 1 mit einem Referenz- Spitzenwert der Bodenbeschleunigung von 0,4 m/s². Für die Berechnung wird jedoch 0,8m/s² verwendet.

agR	0,8	m/s²	Ref. Spitzenwert Bodenbeschleunigun
У	1,6		Bedeutungsbeiwert (VCI Leitfaden Erdbeben im Anlagenbau)
ag = y*agr	1,28	m/s²	Bemessungsbodenbeschleunigung
S	0,75		Goelogische Untergrundklasse Bodenparameter S tief-sedimentär Untergrundkombination C-S
TB	0,1	S	
TC	0,5	S	Kontrollperioden des Spektrums
TD	2	S	
Betha 0			
η	1	Korrekturbe	eiwert für Dämpfungswerte
β0	2,5	für 5% Däm	pfung

Für den Lastfall Erdbeben sind die Angaben nach VCI "DER LASTFALL ERDBEBEN IM

ANLAGENBAU" unter Punkt 4b zu berücksichtigen. Das heißt, alle Anschlüsse an den Behälter müssen ausreichend verformungsfähig sein.

Der Bedeutungsbeiwert ist dieser VCI Tabelle 5.1 entnommen und konservativ angesetzt.

Nach VCI wird die Kesselwandung am Fußanschluss entsprechend Abbildung 2 verstärkt, um einen besseren Kraftfluss realisieren zu können (VCO Erläuterungen-leitfaden-erdbeben Abbildung 4.1.2).

#### 2.2 Werkstoffkennwerte

Als Werkstoff wird S235JRG1 / ≤ 16 mit der Nummer 1.0036 für den HEB Träger eingesetzt.

Die für die FEM benötigten temperaturabhängigen Eingabeparameter sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle 5: Werkstoffkennwerte \$235

280°C	E-Modul	Festigkeit	Zul Festigkeit mit einer Sicherheit von 1,5
1.0036 / S235JRG1 / ≤ 16	193,4	130,4	86,93

Für alle weiteren Profile und die Kesselwandung wird 1.5415 / 16Mo3 / Rp0,2 / 0 <T ≤ 16 eingesetzt. Die Berechnungskennwerte sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 6: Werkstoffkennwerte 16Mo3

280°C	E-Modul	Festigkeit	Zul Festigkeit mit einer Sicherheit von 1,5		
1.5415 / 16Mo3 / 0 <t 16<="" td="" ≤=""><td>198,4 GPa</td><td>201,6 MPa</td><td>134,40 MPa</td></t>	198,4 GPa	201,6 MPa	134,40 MPa		

#### 2.3 Randbedingungen / Lastaufbringung

Die Lagerbedingungen mit Darstellung der Fixierung der einzelnen Freiheitsgrade ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Bei den Loslagern ist darauf zu achten, dass **ein Abheben unterbunden werden muss** (Fixierung in Z-Richtung).

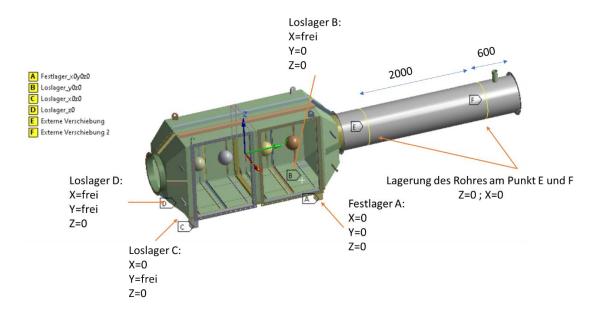


Abbildung 5: Lagerungen

Die Massen der Kat-Elemente 800kg werden in vier Einzelmassen mit 200kg (A, B, C, D) geteilt. Die Massen wirken auf die am Boden geschweißten I-Profile. Eine Abheben der KAT Massen im Gehäuse ist konstruktiv zu unterbinden.

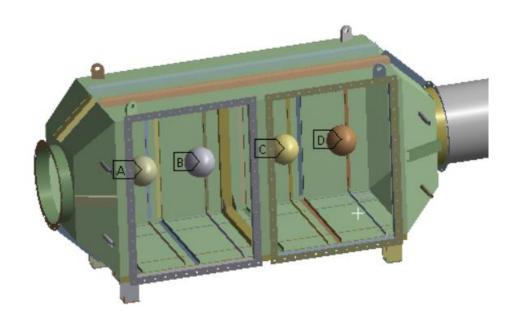


Abbildung 6: Massen

Zur Berücksichtigung des Teilsicherheitsbeiwertes von 1,35 für das Eigengewicht des Gehäuses wird die Dichte des Werkstoffes auf 10,6 kg/dm³ gesetzt.

Der im Gehäuse wirkende Überdruck wird als Drucklast senkrecht zur Gehäusewandung und Rohrwandung aufgebracht (rot markierte Flächen in der nachfolgenden Abbildung). Die Türen sind gedrehte Flächen daher sind diese nicht rot markiert, jedoch wirkt auch hier der Innendruck.

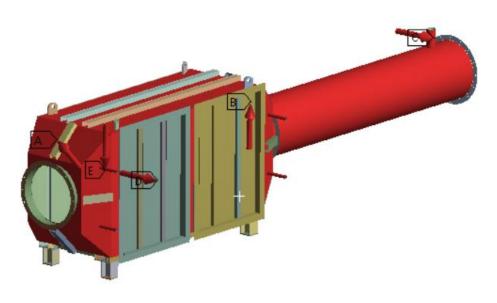


Abbildung 7: Drucklast

Die Windlasten werden als Staudrucklasten in negativer x-Richtung aufgebracht (siehe nachfolgende Abbildung). Auch hier sind die Türen nicht rot markiert, da die Flächen gedreht sind. Der Winddruck wirkt aber hier senkrecht auf die Tür in negativer x-Richtung, wie auch auf das Rohr und die Mantelfläche des Gehäuses.

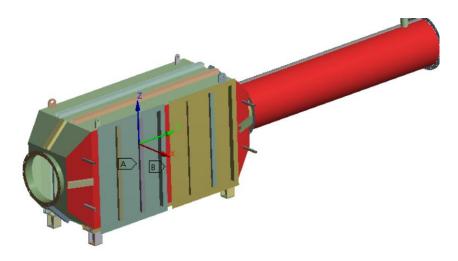


Abbildung 8: Windlast

Die Schneelast wird als Drucklast vertikalwirkend (negative z-Richtung) auf das Modell aufgebracht.

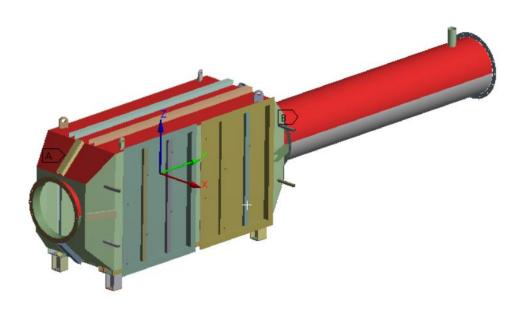


Abbildung 9: Schneelast

Die maximale Verformung in der Lastfallkombination 1 beträgt 1,4mm.

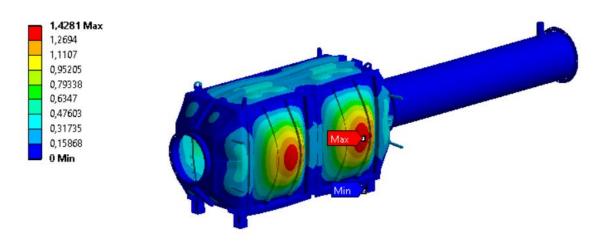


Abbildung 10: Verformung in mm LK1

Die maximale Vergleichsspannung (von Mieses) in der Lastfallkombination 1 beträgt 91,7 MPa (16Mo3).

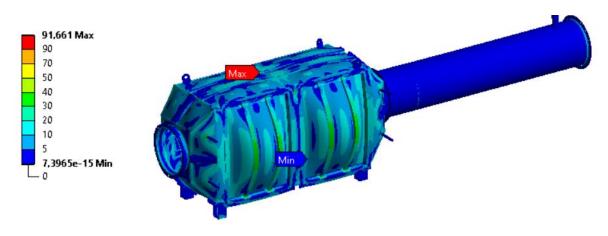


Abbildung 11: Vergleichsspannung (von Mieses) LK1 in MPa

 $\sigma_{vorhanden} = 91,7~MPa < \sigma_{zul} = 134,4~MPa~(16Mo3)~$  Nachweis erfüllt

Die maximale Verformung beträgt 0,7mm.

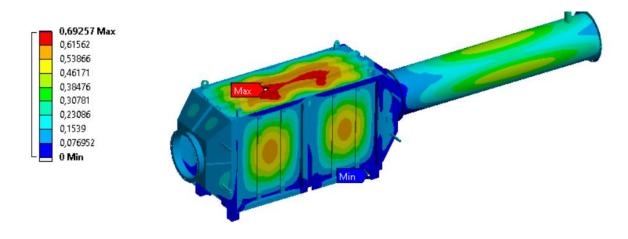


Abbildung 12: Verformung in mm LK2

Die maximale Vergleichsspannung (von Mieses) liegt bei 96,5 MPa.

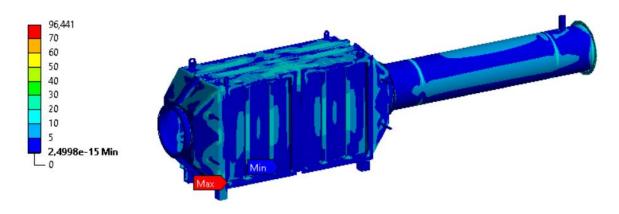


Abbildung 13: : Vergleichsspannung (von Mieses) LK2 in MPa

 $\sigma_{vorhanden} = 96,5 \ MPa < \sigma_{zul} = 134,4 \ MPa \ (16Mo3)$  Nachweis erfüllt

Die maximale Verformung in der Lastfallkombination 3 beträgt 0,94mm.

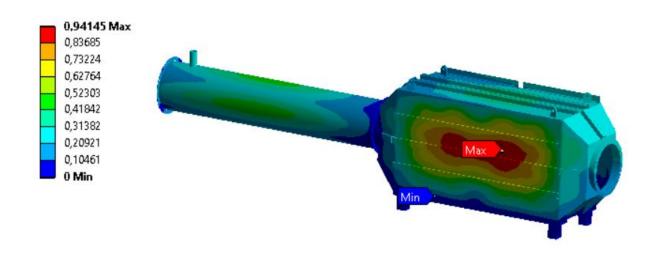


Abbildung 14: : Verformung in mm LK3

Die maximale Vergleichsspannung (von Mieses) liegt bei 108,9 MPa und befindet sich am offenen Ende des U200x60x5 am Übergang zum Gehäuse (siehe Detailabbildung).

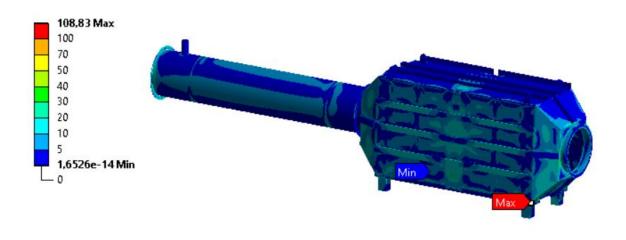


Abbildung 15: Vergleichsspannung (von Mieses) LK3 in MPa

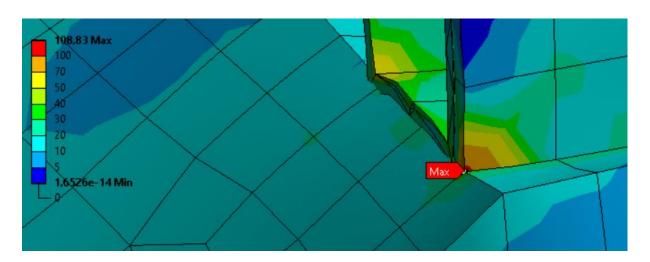


Abbildung 16: Detail Vergleichsspannung (von Mieses) LK3 in MPa

Die maximale Verformung beträgt 0,95mm.

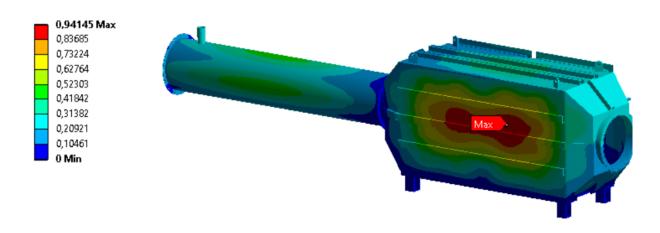


Abbildung 17: Verformung in mm LK4

Die maximale Vergleichsspannung (von Mieses) liegt bei 108,9 MPa und befindet sich am offenen Ende des U200x60x5 am Übergang zum Gehäuse (siehe Detailabbildung).

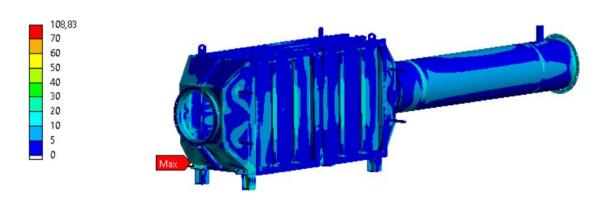


Abbildung 18: Vergleichsspannung (von Mieses) LK4 in MPa

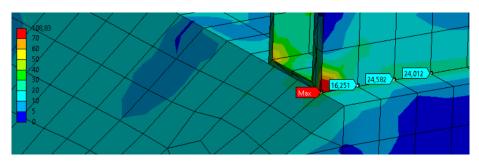


Abbildung 19: Detail Vergleichsspannung (von Mieses) LK4 in MPa

 $\sigma_{vorhanden} = 108,9 \ MPa < \sigma_{zul} = 134,4 \ MPa \ (16Mo3)$  Nachweis erfüllt

# 7. Auswertung Modalanalyse als Berechnungsgrundlage der Antwortspektrumanalyse

Die erste Eigenschwingungsform liegt bei einer Eigenfrequenz von 47,3 Hz. Hierbei handelt es sich um eine horizontale Bewegungsform (Mode 1 nachfolgende Tabelle) des Gehäuses.

Besonders dieser horizontale Bewegungsmode wird in der nachfolgenden Antwortsprektrumanalyse angeregt.

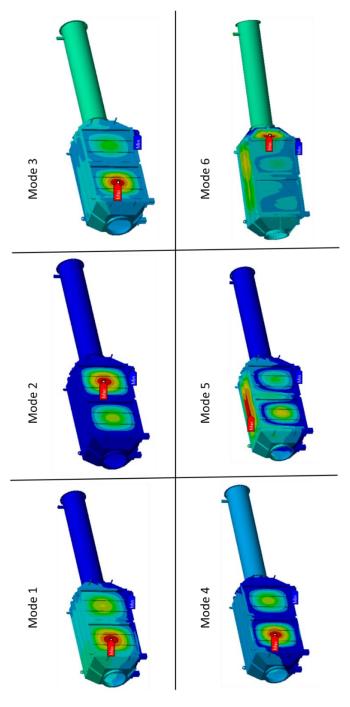


Abbildung 20: Bewegungsformen / Moden aus der Modalanalyse

Die zu den Moden / Bewegungsformen zugehörigen Frequenzen sind in der nachfolgenden Tabelle aufgelistet.

Tabelle 7: Eigenfrequenzen der ersten 6 Moden

Mode	Frequenz in Hz
1	47,3
2	56,2
3	59,7
4	61,2
5	72,1
6	81,3

#### 8. Antwortspektrum Analyse zur Erbebenberechnung

Die resultierende Bewegung (Verformung in mm) aus der Erdbebenanregung entspricht dem Mode 1 der zuvor durchgeführten Modalanalyse und ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

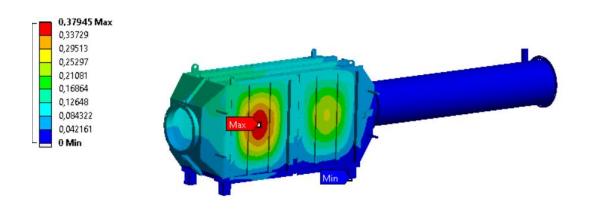


Abbildung 21: Verformungsplot in mm durch Antwortspektrumanalyse

Die maximale Spannung befindet sich am Übergang vom Fuß zum Gehäuse. Die Füße sind sehr kurz und massiv mit einer entsprechenden Fußversteifung ausgeführt, dann wird eine Übergangsplatte zum U-Profil eingesetzt. Die maximale Vergleichsspannung bei doppelter Anregung der Abbildung 4 (Sicherheit 2) liegt bei 21,4 MPa.

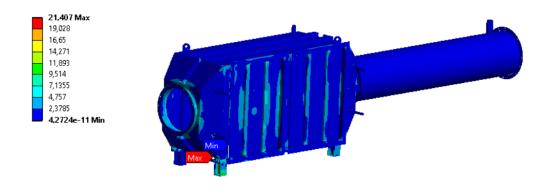
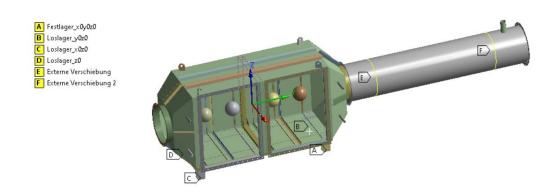


Abbildung 22: Vergleichsspannung als Ergebnis der Antwortspektrumanalyse

$$\sigma_{vorhanden} = 21,4 \ MPa < \sigma_{zul} = 134,4 \ MPa \ (16Mo3)$$
 Nachweis erfüllt

## 9. Lagerlasten

In der nachfolgenden Abbildung sind die Lagerlasten aus der Berechnung dargestellt.



Kraft in kN	Α		B (x frei)		C (y frei)		D (x y frei)	E (y frei)		F (y frei)		
Lagerung	х	У	Z	у	Z	Х	Z	Z	Х	Z	Х	Z
LK1	0,15	0,29	3,65	-0,3	8,8	5,9	2,4	7,6	5,2	-0,5	-0,9	2
LK2	0,82	0,09	10,02	-0,09	8,7	-10,9	14,4	15,1	4,6	26,1	7,6	16,3
LK3	2,3	2,5	4,8	-2,5	18,9	15,7	6,3	22,3	19,1	21,2	4,7	17,3
LK4	2,3	2,5	4,8	-2,5	18,9	14,7	6,3	22,3	19,1	21,2	4,7	17,3

Abbildung 23: Lagerlasten

Die Lager E und F sind ebenfalls mit Rohrschellen am Rohr (axial gleitend, jedoch nicht abhebend) und fest mit einem Fundament zu verbinden.

#### 10. Zusammenfassung / Auswertung

Die vorhandenen Spannungen (siehe Kapitel 3 / 4 / 5 / 6 / 8) nach den vier Lastfallkombinationen mit den Teilsicherheitsbeiwerten (siehe Kapitel 2.1) liegen unterhalb der mit der Sicherheit 1,5 reduzierten zulässigen Festigkeit (siehe Kapitel 2.2).

Somit ist der Festigkeitsnachweis für dieses Gehäuse erbracht.

Bei der Umsetzung ist darauf zu achten, dass ein Abheben der Lager, welche als Loslager ausgeführt werden, vermieden wird. Hier sollten Kunststoffgleiter zum Einsatz kommen. Auch die Rohrlager müssen vor Abheben gesichert werde.