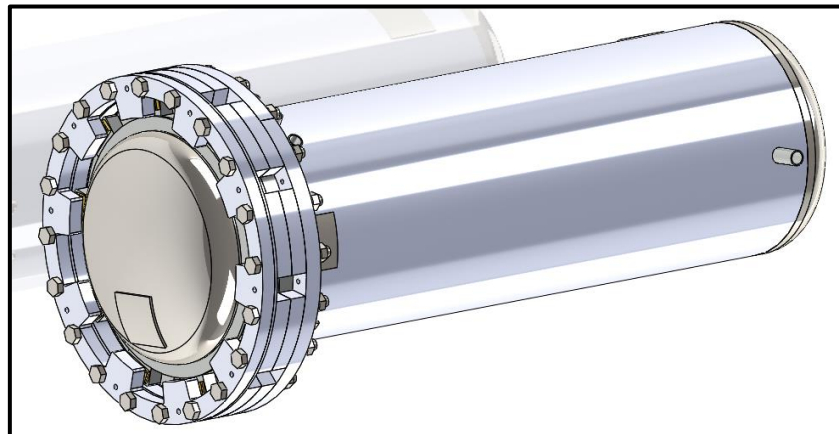


RMW GmbH Dipl.-Ing. (FH) A. Binsau		Seite 1 von 17
Berechnung – Nr.: 1	03 / 2022	Rev.: 0

# Berechnungsbericht Autoklav Druckkammer

---

In dieser Festigkeitsberechnung wurde eine Autoklav Druckkammer mit dem Außendurchmesser 508 mm und einer Wanddicke von 6 mm unter Innendruck berechnet. Das Berechnungsmodell wird durch die Finite Elemente Methode mit der Software ANSYS V19 berechnet.



Die Berechnung wird nach AD2000 durchgeführt.

<b>Planung:</b>					
			Dipl.-Ing. (FH) A. Binsau		
			Tel.: 0179 / 4532466		
			Datum :	15.02.2022	Gerecke
Geprüft von			Geprüft von Binsau-Engineering		
Datum :	Abteilung :	Name :	Datum :	Abteilung :	Name :
			04.12.202		Binsau

RMW GmbH Dipl.-Ing. (FH) A. Binsau				Seite 2 von 17	
Berechnung – Nr.: 1		03 / 2022		Rev.: 0	
<p><b>Inhalt</b></p> <p>1. generelle Bedingungen ..... 4</p> <p>2. Lastannahmen ..... 4</p> <p>3. Festigkeitsberechnung ..... 5</p> <p>    3.1 Berechnungsmodell Vernetzung ..... 5</p> <p>    3.2 Lasten ..... 6</p> <p>    3.3 Material ..... 7</p> <p>4. Berechnungsergebnisse ..... 8</p> <p>    4.2 Lastfallkombination 1 Betriebslastfall ..... 8</p> <p>    4.3 Lastfallkombination 2 Prüflastfall ..... 13</p> <p>    4.4 Schraubenauslegung ..... 16</p> <p>    4.6 Analytisch Kesselmantel Querrohr ..... <b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b></p> <p>    4.7 Prüfdruck ..... 17</p> <p>Abbildung 1: Vernetzung ..... 5</p> <p>Abbildung 6: Spannungsplot Lastfallkombination 1 Betriebslastfall Klörperboden ..... 8</p> <p>Abbildung 7: Spannungsplot Lastfallkombination 1 Betriebslastfall Zylinder ..... 9</p> <p>Abbildung 8: Spannungsplot Lastfallkombination 1 Betriebslastfall Zylinder Pfad .... 10</p> <p>Abbildung 9: Pfadauswertung Zylinder Spannungssingularität ..... 10</p> <p>Abbildung 10: Spannungspfad Klörperboden ..... 11</p> <p>Abbildung 11: Pfadauswertung Klörperboden ..... 12</p> <p>Abbildung 12: Spannung LK2 Prüfdruck in MPa Klörperboden ..... 13</p>					
<b>Planung:</b>					
			Dipl.-Ing. (FH) A. Binsau		
			Tel.: 0179 / 4532466		
		Datum :	15.02.2022	Gerecke	
Geprüft von			Geprüft von Binsau-Engineering		
Datum :	Abteilung :	Name :	Datum :	Abteilung :	Name :
			04.12.202		Binsau

RMW GmbH Dipl.-Ing. (FH) A. Binsau				Seite 3 von 17	
Berechnung – Nr.: 1		03 / 2022		Rev.: 0	
Abbildung 13: Spannungsplot Zylindermantel mit Spannungssingularität ..... 14					
Abbildung 14: Spannungsauswertung Prüflastfall Zylinder..... 14					
Abbildung 15: Spannungsauswertung Klöpperboden Pfad..... 15					
Tabelle 1: Lasten ..... 6					
Tabelle 2: berechnete Lastfallkombinationen ..... 6					
Tabelle 3: E-Modul 1.4571 über Temperatur ..... 7					
<b>Planung:</b>					
		Dipl.-Ing. (FH) A. Binsau			
		Tel.: 0179 / 4532466			
		Datum :	15.02.2022	Gerecke	
Geprüft von		Geprüft von Binsau-Engineering			
Datum :	Abteilung :	Name :	Datum :	Abteilung :	Name :
			04.12.202		Binsau

RMW GmbH Dipl.-Ing. (FH) A. Binsau				Seite 4 von 17	
Berechnung – Nr.: 1		03 / 2022		Rev.: 0	
<p><b>1. generelle Bedingungen</b></p> <p>Betriebsmedium: Luft</p> <p>Betriebstemperatur: 130°C</p> <p>Auslegungsdruck: 6 bar (Überdruck)</p> <p>Aufstellung im Gebäude und nicht durch andere Komponenten beeinflusst (keine Zusatzlasten Axial wie Radial)</p> <p>Zutreffende Norm AD2000</p> <p><b>2. Lastannahmen</b></p> <p>Auslegungstemperatur: 130°C</p> <p>Auslegungsdruck: 6 bar</p> <p>Material: 1.0425 / P265GH, Rp0,2 / T ≤ 16</p> <p>Keine Windlasten, keine Schneelasten, keine Stutzen Belastungen (Aufstellung im Gebäude).</p> <p>Keine Forderungen hinsichtlich Erdbeben.</p> <p>Korrosionsverhalten: - Zur Berücksichtigung der Korrosion wird 1mm von der Wanddicke abgezogen</p>					
<b>Planung:</b>					
			Dipl.-Ing. (FH) A. Binsau		
			Tel.: 0179 / 4532466		
			Datum :	15.02.2022	Gerecke
Geprüft von			Geprüft von Binsau-Engineering		
Datum :	Abteilung :	Name :	Datum :	Abteilung :	Name :
			04.12.202		Binsau

### 3. Festigkeitsberechnung

Die Festigkeitsberechnung wird mit der numerischen Software (Finite-Elemente-Methode) ANSYS 19 durchgeführt.

#### 3.1 Berechnungsmodell Vernetzung

Die Flansche sind durch Volumenelementen (Solid186) alle Zylinderflächen sind durch Schalenelemente (Shell281) diskretisiert. Alle Volumenbauteile wurden mit mindestens drei Elementen über dessen Wanddicke diskretisiert. Bei beiden Elementen wurde eine quadratische Ansatzfunktion gewählt. Das Kesselrohr besitzt einen **Außendurchmesser** von **508 mm** und eine Wanddicke von 6mm (**Berechnungswanddicke** von **5 mm**). Der **Klöpferboden** hat eine Wanddicke von 6mm und ist in dem Nachweis mit **5 mm** berücksichtigt.



Abbildung 1: Vernetzung

<b>Planung:</b>					
			Dipl.-Ing. (FH) A. Binsau		
			Tel.: 0179 / 4532466		
			Datum :	15.02.2022	Gerecke
Geprüft von			Geprüft von Binsau-Engineering		
Datum :	Abteilung :	Name :	Datum :	Abteilung :	Name :
			04.12.202		Binsau

Die Quer Rohre haben einen **Außendurchmesser** von **34mm** die **Berechnungswanddicke** beträgt **2 mm**.

### 3.2 Lasten

Die Einzellasten sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

**Tabelle 1: Lasten**

Nr.		Benennung	Bemerkungen
Last 1	QK1	Drucklast Betriebszustand	6 Bar Überdruck = 0,6 MPa
Last 2	QK2	Prüfdruck	10 Bar Überdruck = 1 MPa

Über die Teilsicherheitsbeiwerte werden die Lasten entsprechend erhöht. Die Lastfälle welche sich aus der Lastkombination mit den Teilsicherheitsbeiwerten ergeben sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

**Tabelle 2: berechnete Lastfallkombinationen**

Nr.		QK1 Drucklast	QK1 Prüfdruck
LK1	Bemessung Betriebsfall 470°C	1,5	0
LK2	Prüfdruck	0	1

Der **Berechnungsdruck** mit dem Teilsicherheitsbeiwert 1,5 beträgt **0,9 MPa**.

Der **Prüfdruck** ist in der Berechnung mit **1 MPa** angesetzt.

<b>Planung:</b>					
			Dipl.-Ing. (FH) A. Binsau		
			Tel.: 0179 / 4532466		
		Datum :	15.02.2022	Gerecke	
Geprüft von			Geprüft von Binsau-Engineering		
Datum :	Abteilung :	Name :	Datum :	Abteilung :	Name :
			04.12.202		Binsau

### 3.3 Material

1.0425 / P265GH, Rp0,2 / T ≤ 16

Der E-Modul Verlauf über die Temperatur in °C ist in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

**Tabelle 3: E-Modul 1.4571 über Temperatur**

Temp °C	20	100	150
E in Gpa	212	207	203

Bei 130°C Betriebstemperatur wurde der E-Modul mit **204,6 GPa** angesetzt.

Festigkeiten P265GH

$$R_{p0,2}(20^{\circ}C) = 265 \text{ MPa}$$

$$R_{p0,2}(130^{\circ}C) = 218 \text{ MPa}$$

Mit der **Sicherheit** von **1,5** betragen die zulässigen Festigkeiten für die Berechnungsauswertung:  **$\sigma_{zul.}(20^{\circ}C) = 176,7 \text{ MPa}$**

$$\sigma_{zul.}(130^{\circ}C) = 145,3 \text{ MPa}$$

Für die Abminderung der Schweißnähte ist für die Lastfallkombination Betriebslasten ein Faktor von **0,68** und für den Sonderlastfall ein Schweißnaht Abminderungsfaktor von **0,85** angesetzt.

$$\sigma_{zul. \text{ Schweißnaht}}(20^{\circ}C \text{ Sonderlastfall}) = 150,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{zul. \text{ Schweißnaht}}(130^{\circ}C) = 98,8 \text{ MPa}$$

<b>Planung:</b>					
			Dipl.-Ing. (FH) A. Binsau		
			Tel.: 0179 / 4532466		
			Datum :	15.02.2022	Gerecke
Geprüft von			Geprüft von Binsau-Engineering		
Datum :	Abteilung :	Name :	Datum :	Abteilung :	Name :
			04.12.202		Binsau

#### 4. Berechnungsergebnisse

In diesem Kapitel werden die Berechnungsergebnisse aus der FEM ausgewertet.

##### 4.2 Lastfallkombination 1 Betriebslastfall

Bei den Ausgewerteten Spannungen handelt es sich um die Vergleichsspannungshypothese nach von Mises in MPa.

Die maximale Spannung am Klöpperboden beträgt 138,5 MPa

**B: Betriebsdruck**

Vergleichsspannung 3  
 Typ: Vergleichsspannung (von Mises) - Oben/unten  
 Einheit: MPa  
 Zeit: 2  
 Benutzerdefiniert  
 Max: 138,51  
 Min: 1,8179  
 16.02.2022 20:01

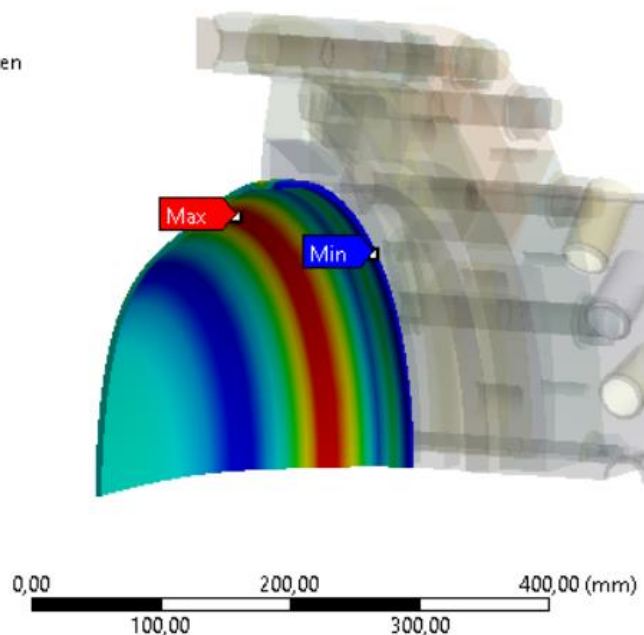
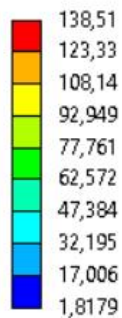


Abbildung 2: Spannungsplot Lastfallkombination 1 Betriebslastfall Klöpperboden

$$\sigma_{max.}(130^{\circ}C) = 138,5 \text{ MPa} < \sigma_{zul.}(130^{\circ}C) = 145,3 \text{ MPa}$$

<b>Planung:</b>					
			Dipl.-Ing. (FH) A. Binsau		
			Tel.: 0179 / 4532466		
			Datum :	15.02.2022	Gerecke
Geprüft von			Geprüft von Binsau-Engineering		
Datum :	Abteilung :	Name :	Datum :	Abteilung :	Name :
			04.12.202		Binsau



Die maximale Spannung am Zylinder beträgt 188,5 MPa

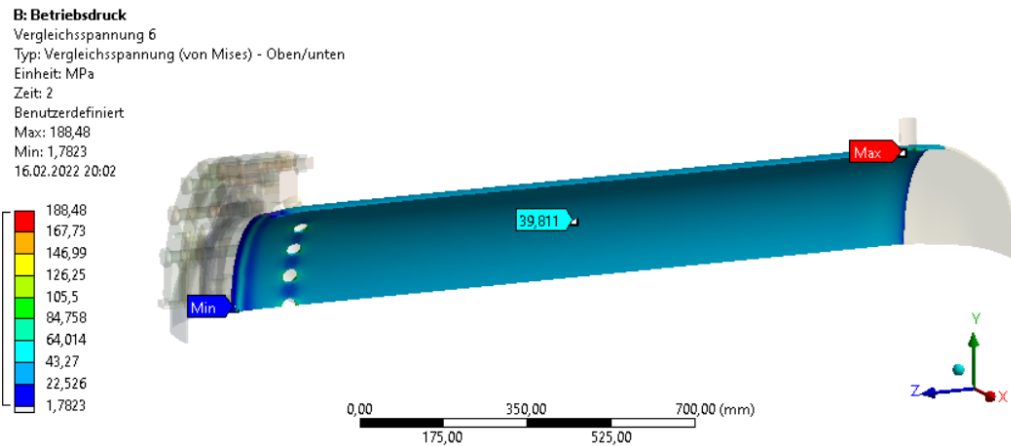


Abbildung 3: Spannungsplot Lastfallkombination 1 Betriebslastfall Zylinder

Im Mittel beträgt die Vergleichsspannung ca. 40 MPa bei der maximalen Spannung von 188,48MPa handelt es sich um eine Singularität. In der nachfolgenden Abbildung ist die Spannung entlang des Pfades ausgewertet.

<b>Planung:</b>					
			Dipl.-Ing. (FH) A. Binsau		
			Tel.: 0179 / 4532466		
			Datum :	15.02.2022	Gerecke
Geprüft von			Geprüft von Binsau-Engineering		
Datum :	Abteilung :	Name :	Datum :	Abteilung :	Name :
			04.12.202		Binsau

Berechnung – Nr.: 1

03 / 2022

Rev.: 0

**B: Betriebsdruck**

Vergleichsspannung 7  
Typ: Vergleichsspannung (von Mises) - Oben  
Einheit: MPa  
Zeit: 2  
Max: 135,91  
Min: 6,5542  
16.02.2022 20:02

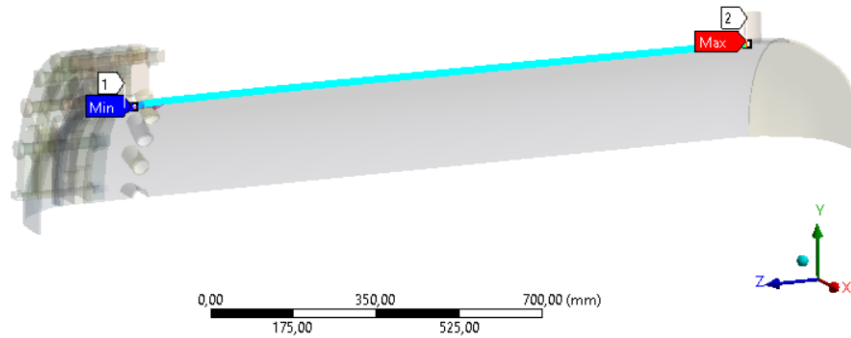
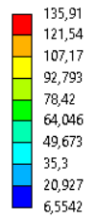


Abbildung 4: Spannungsplot Lastfallkombination 1 Betriebslastfall Zylinder Pfad

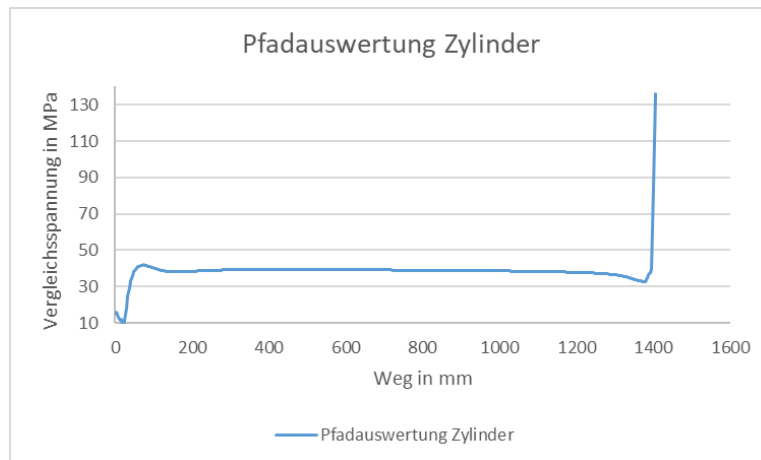


Abbildung 5: Pfadauswertung Zylinder Spannungssingularität

**Zylinder:  $\sigma_{zul. \text{Schweißnaht}}(130^\circ\text{C}) = 98,8 \text{ MPa} > \sigma_{max}(130^\circ\text{C}) = 40 \text{ MPa}$**

<b>Planung:</b>			Dipl.-Ing. (FH) A. Binsau		
			Tel.: 0179 / 4532466		
			Datum :	15.02.2022	Gerecke
Geprüft von			Geprüft von Binsau-Engineering		
Datum :	Abteilung :	Name :	Datum :	Abteilung :	Name :
			04.12.202		Binsau

Zur Schweißnahtbewertung am Klöpperboden wurde auch hier ein Spannungspfad ausgewertet. Siehe nachfolgende Abbildung

**B: Betriebsdruck**

Vergleichsspannung 9  
Typ: Vergleichsspannung (von Mises) - Oben  
Einheit: MPa  
Zeit: 2  
Max: 86,171  
Min: 11,101  
16.02.2022 20:04

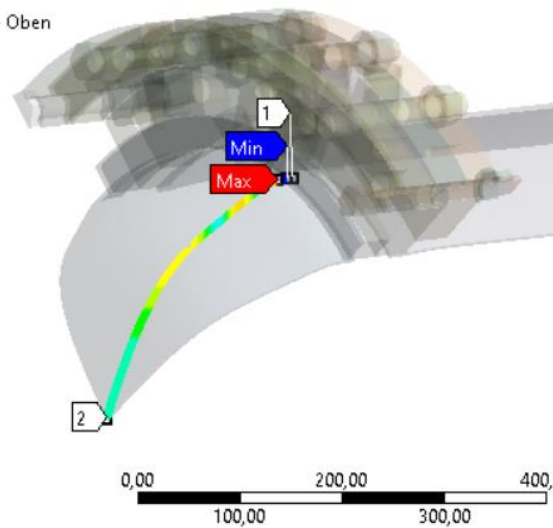
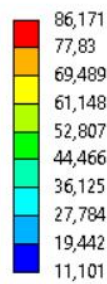


Abbildung 6: Spannungspfad Klöpperboden

**Planung:**

Dipl.-Ing. (FH) A. Binsau

Tel.: 0179 / 4532466

Datum : 15.02.2022 Gerecke

Geprüft von

Geprüft von Binsau-Engineering

Datum :	Abteilung :	Name :	Datum :	Abteilung :	Name :
			04.12.202		Binsau

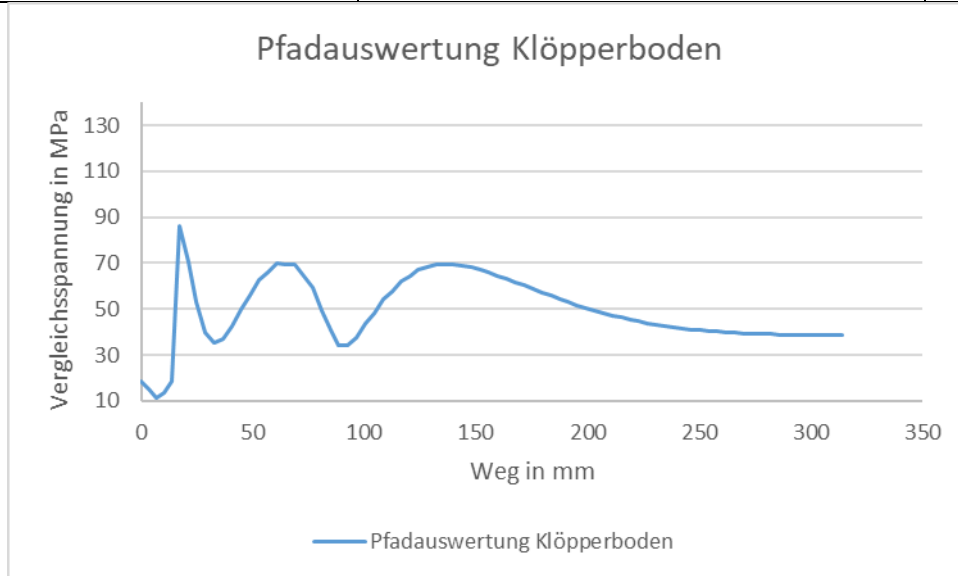


Abbildung 7: Pfadauswertung Klöpperboden

**Zylinder:  $\sigma_{zul. \text{ Schweißnaht}}(130^\circ\text{C}) = 98,8 \text{ MPa} > \sigma_{max}(130^\circ\text{C}) = 86 \text{ MPa}$**

Der Spannungsnachweis für den Zylinder und den Böden ist erfüllt die Auslastung beträgt 95%.

<b>Planung:</b>					
			Dipl.-Ing. (FH) A. Binsau		
			Tel.: 0179 / 4532466		
			Datum :	15.02.2022	Gerecke
Geprüft von			Geprüft von Binsau-Engineering		
Datum :	Abteilung :	Name :	Datum :	Abteilung :	Name :
			04.12.202		Binsau

### 4.3 Lastfallkombination 2 Prüflastfall

Bei den ausgewerteten Spannungen handelt es sich um die Vergleichsspannungshypothese nach von Mises in MPa.

Die maximale Spannung beträgt 172 MPa

**A: Prueflast**

Vergleichsspannung 3  
 Typ: Vergleichsspannung (von Mises) - Oben/unten  
 Einheit: MPa  
 Zeit: 2  
 Benutzerdefiniert obsolet  
 Max: 172,13  
 Min: 0,078675  
 16.02.2022 19:31

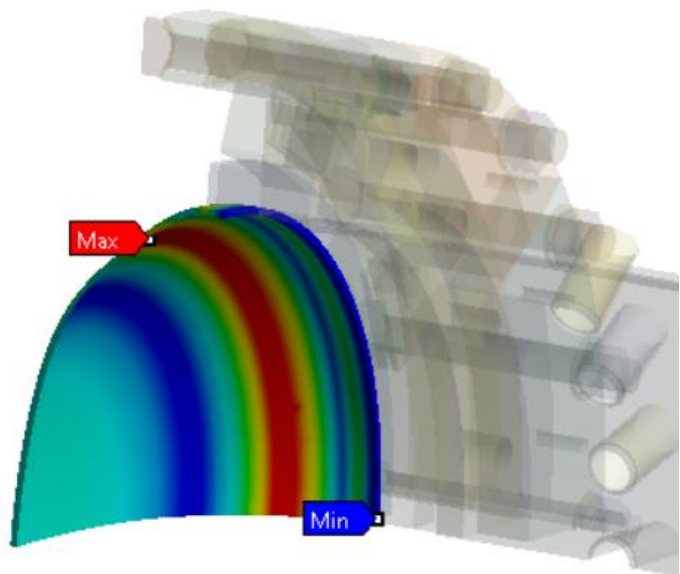
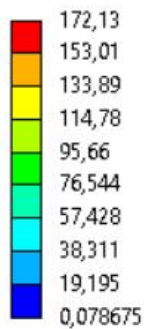
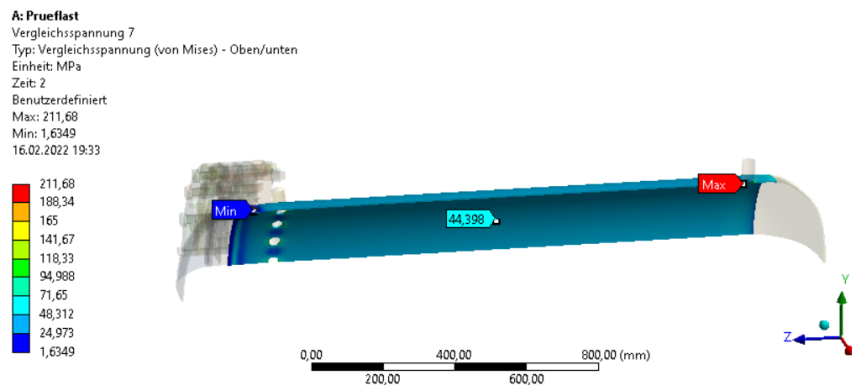


Abbildung 8: Spannung LK2 Prüfdruck in MPa Klöpperboden

$$\sigma_{max.}(20^{\circ}C) = 172,13 \text{ MPa} < \sigma_{zul.}(20^{\circ}C) = 176,7 \text{ MPa}$$

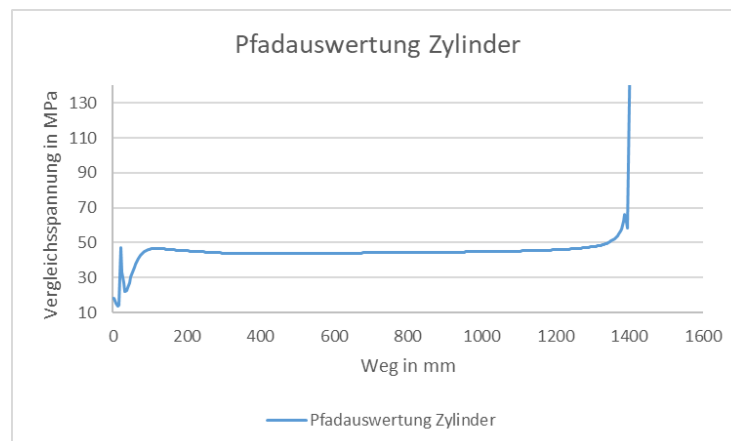
<b>Planung:</b>					
			Dipl.-Ing. (FH) A. Binsau		
			Tel.: 0179 / 4532466		
			Datum :	15.02.2022	Gerecke
Geprüft von			Geprüft von Binsau-Engineering		
Datum :	Abteilung :	Name :	Datum :	Abteilung :	Name :
			04.12.202		Binsau

Auf dem Zylinder zeigt sich wieder die Spannungssingularität mit einer Spannung von 211,6MPa. Im Mittel liegt die Spannung der Zylinderwandung jedoch bei 50 MPa.



**Abbildung 9: Spannungsplot Zylindermantel mit Spannungssingularität**

Zur Auswertung der Spannungen im Zylinder wurde wie beim Betriebslastfall die Maximalspannung über den Pfad dargestellt.



**Abbildung 10: Spannungsauswertung Prüflastfall Zylinder**

<b>Planung:</b>					
			Dipl.-Ing. (FH) A. Binsau		
			Tel.: 0179 / 4532466		
			Datum :	15.02.2022	Gerecke
Geprüft von			Geprüft von Binsau-Engineering		
Datum :	Abteilung :	Name :	Datum :	Abteilung :	Name :
			04.12.202		Binsau

Zur Schweißnahtbewertung am Klöpperboden wurde auch hier ein Spannungspfad ausgewertet. Siehe nachfolgende Abbildung

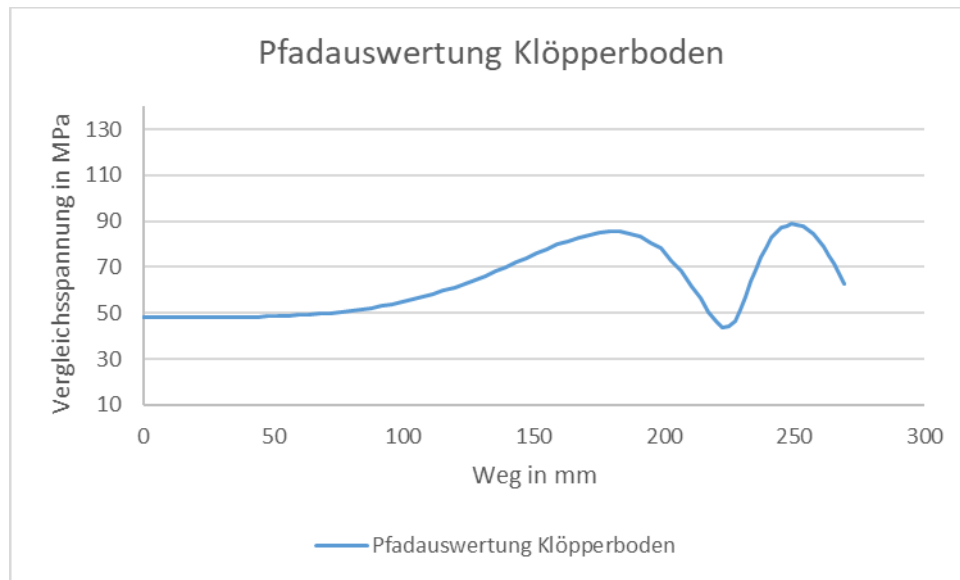


Abbildung 11: Spannungsauswertung Klöpperboden Pfad

$$\sigma_{max.}(20^{\circ}C) = 90 \text{ MPa} < \sigma_{zul.}(20^{\circ}C) = 150,2 \text{ MPa}$$

**Planung:**

Dipl.-Ing. (FH) A. Binsau

Tel.: 0179 / 4532466

Datum : 15.02.2022 Gerecke

Geprüft von

Geprüft von Binsau-Engineering

Datum :

Abteilung :

Name :

Datum :

Abteilung :

Name :

04.12.202

Binsau

RMW GmbH Dipl.-Ing. (FH) A. Binsau		Seite 16 von 17
Berechnung – Nr.: 1	03 / 2022	Rev.: 0

#### 4.4 Schraubenauslegung

Die Schraubenauslegung mit einem fiktiven Deckel durchgeführt um die maximale Axiallast anzusetzen.

Die Schrauben sind mit einem Mindestdrehmoment von 108 Nm anzuziehen. Durch dieses Anzugsmoment wird auch der Verschluss entsprechend verspannt und die Verformung im Verschluss wird somit reduziert.

Die analytische Auslegung ist in der Nachfolgenden Berechnung dergestellt.

Analytische Berechnung wurde aus diesem Dokument entnommen

<b>Planung:</b>					
			Dipl.-Ing. (FH) A. Binsau		
			Tel.: 0179 / 4532466		
			Datum :	15.02.2022	Gerecke
Geprüft von			Geprüft von Binsau-Engineering		
Datum :	Abteilung :	Name :	Datum :	Abteilung :	Name :
			04.12.202		Binsau



## 4.7 Prüfdruck

### Berechnung des Flüssigkeits-Prüfdruckes

AD 2000 Merkblatt-HP30: 2003-01

**Sicherheitskonzept . . . : 1** - nach AD-2000

Im Zeitstandsbereich mit extrapolierten Rp..-Werten rechnen : 0 - Nein

**Betriebsdaten**

p	=	6 bar	maximal zulässiger Überdruck
T	=	130 °C	Berechnungstemperatur
T'	=	20 °C	Temperatur im Prüfzustand
v P	=	1 daN/dm <sup>3</sup>	spez. Gewicht Prüfmedium
v F	=	1 daN/dm <sup>3</sup>	spez. Gewicht Betriebsmedium

Behälter im Betrieb liegend

Verhältniss K'/K minimal

**Werkstoffdaten**

**1. 1.0425 P265 GH**

se	=	6 mm	massgebliche Wanddicke
K	=	218 MPa	Festigkeit bei 130°C
K20	=	265 MPa	Festigkeit bei T'

**Ergebnis**

Geltungsbereich: Nur gültig für eine Flüssigkeits-Druckprüfung! **Achtung!**

**Es wird vorausgesetzt, dass das Manometer während des Prüfvorganges am höchsten Punkt des stehenden oder liegenden Behälters angeordnet ist.**

Nr.	Werkstoff	Wanddicke in mm	Faktor K20/K	Fp	Prüfdruck in bar	Prüfdruck in bar gewählt
1	1.0425	6	1,22	1,52	9,12	10

Der Prüfdruck beträgt pT = 10 bar, massgebliches Bauteil lfd. Nr 1

Es wurde kein Druck aus statischer Flüssigkeitssäule berücksichtigt.

Fp= Prüfdruckfaktor = max(1,43; 1,25\*K20/K)

**Achtung: Es ist zu überprüfen, ob alle Komponenten des Druckgerätes für diesen Prüfdruck ausreichend bemessen sind.**

<b>Planung:</b>					
Dipl.-Ing. (FH) A. Binsau					
Tel.: 0179 / 4532466					
Datum :		15.02.2022		Gerecke	
Geprüft von Binsau-Engineering					
Datum :	Abteilung :	Name :	Datum :	Abteilung :	Name :
			04.12.202		Binsau