



Hochschule Merseburg

Fakultät für Ingenieur- und Naturwissenschaften

Bachelorarbeit

Im Studiengang Mechatronik, Industrie- u. Physiktechnik

Berechnung und Spannungsanalyse von Rohr-T-Stücken

Moyu Chen

1. Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Wolf-Dietrich Knoll

2. Betreuer: Prof. Dr.-Ing. habil. Wilfried Franke

Vorgelegt von: Moyu Chen

Anschrift: Geusaer Str.88 WH1/239 06217 Merseburg

Matrikelnummer 19274

vorgelegt am: 06.08.2015

Vorwort

Diese Bachelorarbeit entstand nur mit viel Unterstützung und stetiger Hilfe durch all diejenigen. Weiterhin danke ich an dieser Stelle für die sehr abwechslungsreiche Arbeit mit Software ANSYS Workbench 15.0 an HS Merseburg.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinen Betreuern, Herrn Prof. Dr.-Ing. Wolf-Dietrich Knoll und Herrn Prof. Dr. Ing. habil. Wilfried Franke, für das Anbieten meiner Bachelorabschlussarbeit und für die hilfreichen Anregungen während der Bearbeitung des Themas. Außerdem bedanke ich mich herzlich bei Herr Yi Huang und Frau Telepneva Svetlana für die sehr schnelle Rechtschreibung.

Anschließend möchte ich auch meinen Eltern und meiner Familie herzlich danken, die mir das Studium in Deutschland an HS Merseburg und damit auch diese Bachelorarbeit erst ermöglicht haben.

Inhaltverzeichnis

Vorwort

1. Einleitung	1
1.1 Aufgabenstellung	1
1.2 Software ANSYS Workbench15.0	2
2. Grundlagekenntnisse des T- Stücks	3
2.1 Bauarten des Stücks	4
2.2 Berechnungsansatz	4
2.2.1 Bestimmung der Werkstoff-Kennwerte	5
2.2.2 Dimensionierung des Grundrohrs	6
2.2.3 Dimensionierung des Abzweigrohrs	10
2.2.4 Entwurf des T- Stücks	11
3. Numerische Berechnung des Spannungs- und Dehnungszustands ...	15
3.1 Numerische Berechnung des Spannungszustands	15
3.1.1 Eingebung der Material- Kennwerte	15
3.1.2 Modellierung des T- Stücks	17
3.1.3 Eingebung der Randbedienungen	18
3.1.4 Ergebnisse	20
3.2 Numerische Berechnung des Dehnungszustands	23
4. Die Versuche über die Beanspruchung von Zylindern mit eingeschweißten Stutzen	26
4.1 Entwurfskizze und die Messreihe	26
4.2 Einstellungen der Material- Kennwerte	29
4.3 Modellierung	31
4.4 Die numerische Berechnung des Dehnungszustands	33
4.4.1 gerechnete Dehnung mit Randbedienungen der Kräfte	33

4.4.2 tabellarische Darstellung der Ergebnisse des Dehnungszustand	39
4.4.3 Fehleranalyse	42
5. Optimierung des Rohr-T- Stücks	43
5.1 Die Verbesserung der Konstruktion	43
5.2 Verstärkern der Wanddicke	44
Selbständigkeitserklärung zur Bachelorarbeit	49
Literaturverzeichnis	50
Formelzeichenverzeichnis	51
Abbildungsverzeichnis	52
Tabellenverzeichnis	54

1. Einleitung

1.1 Aufgabenstellung

In Rohrleitungsanlagen werden Stoffströme mittels von T-Stücken getrennt bzw. vereinigt. Ein T-Stück besteht aus einem Grund- und einem Abzweigrohr. Zum Anbringen des Abzweiges wird aus dem Grundrohr ein entsprechender Teil der Rohrwandung entfernt und an den entstandenen Hals wird dann das Abzweigrohr geschweißt.

Wird dieses dünnwandige Element mit einem Innendruck beaufschlagt, treten in der Wandung Längs-, Umfangs- und Radialspannungen auf. Infolge des Ausschnittes ist der Spannungs- und Dehnungs- Zustand jedoch anders als im ungestörten Rohr. Der Verlauf dieser Spannungen und Dehnungen ist zu bestimmen. Die Berechnung soll zunächst konventionell mit den dafür vorhandenen Methoden erfolgen und soll anschließend mittels der Finite-Elemente- Methode durchgeführt werden. Dabei sind verschiedene Durchmesser- Zuordnungen und Innendrucke zu betrachten.

Der Schwerpunkt der Bachelorarbeit liegt auf den folgenden Punkten:

1. Darstellung der verschiedenen Berechnungsansätze für Rohrabzweige unter innerem Überdruck
2. Analytische Erfassung des Spannungs- Dehnungszustandes für ein mit Innendruck beaufschlagtes Rohr- T- Stück und Berechnung der erforderlichen Wanddicken

3. Erstellung eines 3D- Parameter-Modells im FE- Programmsystem ANSYS Workbench
4. Numerische Ermittlung des Spannungs- Dehnungszustandes und Vergleich mit der analytischen Lösung
5. Parametervariation und –optimierung für verschiedene Durchmesser und Drücke

1.2 Die Software ANSYS Workbench 15.0

Als eine populäre Finite- Elemente- Software wurde die Software ANSYS (Kurzform für Analysis System) von Dr. John Swanson entwickelt. Sein im Jahr 1970 begründetes Unternehmen SASI, das 1994 in Ansys Inc. umbenannt wurde, entwickelte die ersten Versionen von ANSYS bis zur aktuellen Version 16.1.

In der Bachelorarbeit wird nur ANSYS Workbench in Version 15.0 verwendet.

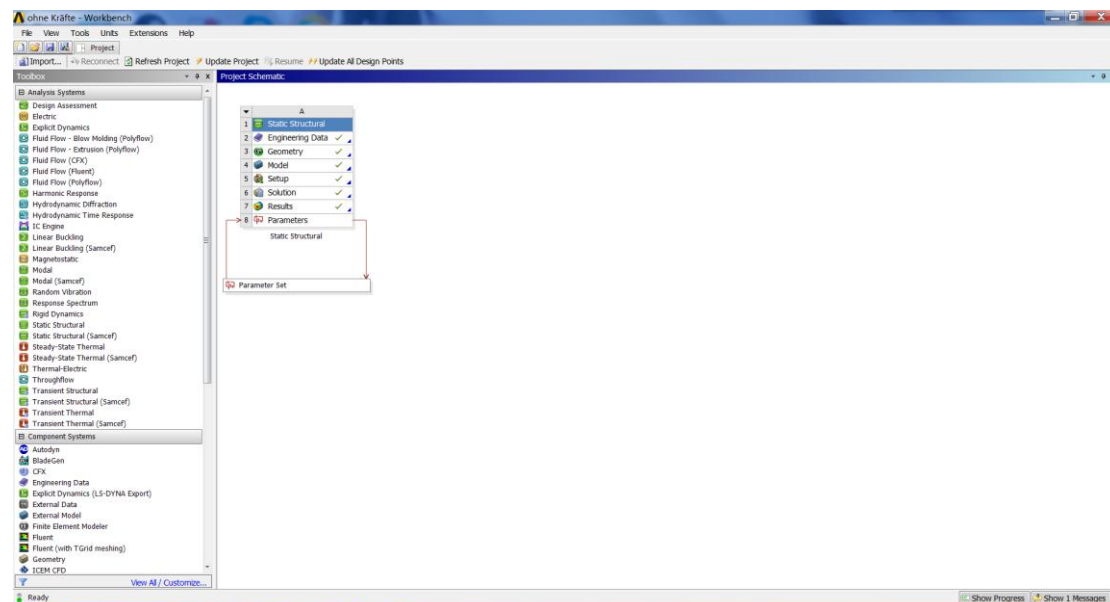


Abbildung 1. Hauptmenü des Projektes der Software ANSYS in Version 15.0

Mit der Software ANSYS Workbench wird die Eingabe der Berechnungsprobleme aus der Strukturmechanik, Fluidmechanik, Akustik, Thermodynamik vereinfacht. Über einen relativ guten Algorithmus verfügt ANSYS Workbench zur Kontaktfindung, Vernetzung sowie Schnittstellen zu diversen CAD-Systemen.

2. Grundlagekenntnisse des T- Stücks

Das T- Stück ist ein Verbindungsteil aus metallischem Material oder Kunststoff. Es ermöglicht normalerweise die Abzweigung an einem Rohr. Das vorher schon bestehende Rohr wird als Grundrohr und das Rohr für die Abzweigung als Abzweigrohr oder Stutzen benannt.



Bild 2.1 Verschiedene T- Stücke [1]

Zum Anbringen eines Abzweigrohrs wird vom Grundrohr ein der abzweigenden Nennweite entsprechender Teil der Rohrwandung entfernt. Das

kann durch Ausbrennen und anschließendes Entgraten oder besser durch Ausdrehen bzw. Ausbohren erfolgen. Auf oder in diesen Wandausschnitt ist dann das abzweigende Rohr zu bringen und mit dem Grundrohr zu verschweißen. [2]

2.1 Bauarten der T- Stücke

Bei der Montage auf den Baustellen werden T- Stücke in unterschiedlichen Ausführungen erzeugt. Abhängig von der Stelle des Abzweigrohrs im Grundrohr werden alle T- Stücke in 3 Varianten gegliedert. Die folgenden von ANSYS- Geometrie erstellten Bilder stellen die 3 Varianten, aufgesetztes, eingestecktes und durchgestecktes T- Stück,dar.

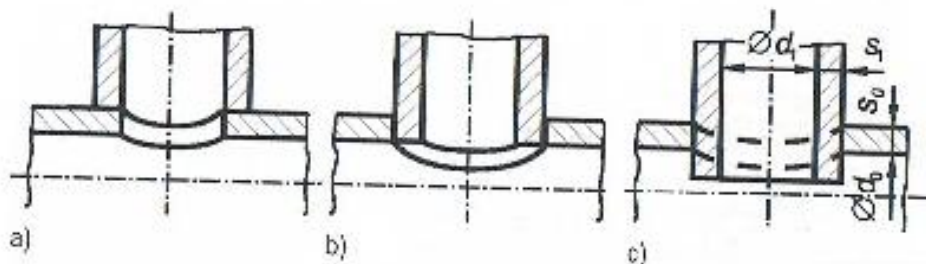


Abb.2.1.1 aufgesetztes(a), eingestecktes(b) und durchgestecktes(c) T- Stücks [3]

2.2 Berechnungsansatz

Bevor man die Spannung berechnet und die Wanddicke des T- Stücks entwirft, sollen der Innendruck und das Material des T- Stücks bestimmt werden. In dem nächsten Schritt wird der manuelle Berechnungsansatz der Spannung mit einem Beispiel ausgeführt.

Beispiel: Von einem Rohr DN 250 soll im rechten Winkel ein Abzweig DN 200 abgehen. Das Rohr unterliegt einem Innendruck von 180 bar. Als Rohrwerkstoff ist P265TR2 (St44.4) vorgesehen. [4]

2.2.1 Bestimmung der Werkstoff-Kennwerte

Die technischen Eigenschaften des Materials P265TR2 (St44.4) werden hier in Tab.2.1 dargestellt.

Tabelle 2.1 Festigkeitskennwerte für P265TR2 bei Raumtemperatur.[5]

Werkstoff-Nr.	Name	R _{eH} (in N/mm ²) Wanddicke (in mm)			R _m (in N/mm ²)	A (in %)	
		≤16	< 16...≤40	< 40		längs	quer
1.0259	P265TR2	265	255	245	410...570	21	19

In diesem Beispiel wird das T- Stück aus P265TR2 nur bei Raumtemperatur eingesetzt und verwendet. Wenn es um den relativ hohen Druck geht schon 18MPa erreicht, wird die Wanddicke zuerst $16\text{mm} < s_{ord} \leq 40\text{mm}$ geschätzt.

Dann bekommt man schon die Werkstoff- Kennwerte:

Streckgrenze: R_{eH} bzw. $K = 255\text{N/mm}^2$

Bruchfestigkeit (Mindestwert) : $R_m = 410\text{N/mm}^2$

Für Stahl P265TR2 ergibt sich die zulässige Spannung aus der folgenden Beziehung:

$$\sigma_{zul} = \min \left\{ \frac{R_{eH}}{1,5} \text{ oder } \frac{R_{p0,2}}{1,5} ; \frac{R_m}{2,4} \right\} \quad (2.1)$$

Die Zahl 1,5 ist der Sicherheitsbeiwert. Ist die Spannung zeitunabhängig, bleibt der Sicherheitsbeiwert immer 1,5. Hier wird die Zahl 2,4 als Sicherheitszahl oder Sicherheitsfaktor verwendet.

$$\sigma_{zul} = \min \left\{ \frac{255}{1,5} ; \frac{410}{2,4} \right\} = \min\{170 ; 170,8\} = 170 \text{ N/mm}^2$$

2.2.2 Dimensionierung des Grundrohrs DN250

Die Nennweite ist in der Aufgabestellung schon gegeben. Nach der Tabelle gemäß DIN 2615-1 wird die entsprechende Nennweite der Außendurchmesser für DN250 sehr schnell ausgewählt. Der genormte Außendurchmesser d_a wird 273mm sein.

Mit Verwendung der SSH wird die anschließende Gleichung abgeleitet:

$$\tau_{erf} = \frac{p \cdot d_a}{2 \cdot \sigma_{zul} \cdot V_n + p} \quad (2.2)$$

Die Schubspannungshypothese (SSH) ist auch unter den Namen von Vergleichsspannung nach Tresca bekannt. Diese Hypothese ist konservativer als die Gestaltänderungsenergiehypothese. Deswegen wird die Schubspannungshypothese besonders im Bereich Maschinen gerne angewendet. Bei dieser Hypothese wird davon ausgegangen, dass das Versagen der Materialien durch die große Hauptspannungsdifferenz hervorgerufen wird. Die Hauptspannungsdifferenz entspricht dem doppelten Wert der maximalen Schubspannung τ_{max} .

Die Vergleichsspannung kann man aber auf verschiedene Art und Weise bilden. Viele unterschiedliche Hypothesen wurden dafür formuliert. Für den Rohrleitungsbau sind 3 Hypothesen sinnvoll:

1. Die Gestaltänderungs- Energie- Hypothese (GEH)
2. Die Schubspannungs- Hypothese (SSH)
3. Die Normalspannungs- Hypothese (NSH)

Hier wenden wir die SSH an. Denn die GEH beschreibt das Versagen des Werkstoffs infolge von plastischem Verformen und Dauerbruch gut. Wenn das Versagen des Werkstoffs infolge von plastischer Verformung und von Gleitbruch zu erwarten ist, ist die SSH formelmäßig einfacher aufgebaut und zweckmäßig. Die NSH findet Anwendung bei wenig verformbaren Werkstoffen. Sie ist aber auch anwendbar, wenn verformungsfähige Werkstoffe gegeben sind und bei dreiaxigem Spannungszustand der Bruch eintritt. [6]

Für das nahtlose Rohr wird auf jeden Fall die Schweißnahtwertigkeit $v_N=1$ sein. Gleichzeitig sollen alle Maßeinheiten nach dem internationalen Einheitssystem in MPa oder mm umgesetzt werden. Daher wird die rechnerisch erforderliche Wanddicke s_{erf} mit den gegebenen Werten ausgerechnet.

$$s_{erf} = \frac{18 \cdot 273}{2 \cdot 170 \cdot 1 + 18} = 13,73 \text{ mm}$$

Schaut man die Tabelle der Normwanddicke nach DIN EN 10216-1, wird die Bestell- Wanddicke s_{ord} zurzeit zu 16mm geschätzt, so dass $s_{ord} / d_a = 16 / 273 = 0,058$ wird. Aus folgender Tabelle 2.2 ergibt es sich der Walz- Zuschlag $x=12,5\%$

Tabelle 2.2 Grenzmaße für Außendurchmesser d_a und Wanddicke s_{ord}

d_a (in mm)	Grenzmaß für d_a	Grenzmaße für Wanddicke bei s_{ord} / d_a			
		$\leq 0,025$	$0,025 \dots 0,004$	$0,005 \dots 0,1$	$\geq 0,1$
$\leq 219,1$	$\pm 1\%$ oder	$\pm 12,5\%$ oder $\pm 0,4\text{mm}$, größerer Wert gilt			
$> 219,1$	$\pm 0,5\text{mm}$, es gilt der größere Wert	$\pm 20\%$	$\pm 15\%$	$\pm 12,5\%$	$\pm 10\%$

In der Praxis wird das Rohr oft mit einer zulässigen negativen Fertigungstoleranz hergestellt. Das wird durch einen Zuschlag c_1 berücksichtigt. Dadurch muss die rechnerische Wanddicke erhöht werden. Außerdem soll der Einfluss der Korrosion oder Abnutzung auf die innere und äußere Rohrwandung auch berücksichtigt werden. Der Zuschlag c_0 , der bei Rohren aus rostfreiem Stahl gleich null und bei nicht- oder niedriglegiertem Stahl oft gleich 1mm ist, berücksichtigt das. Wenn in die Rohrwandung ein Gewinde eingeschnitten werden muss, darf der Zuschlag c_2 zur Wanddicke auch vorgesehen werden.

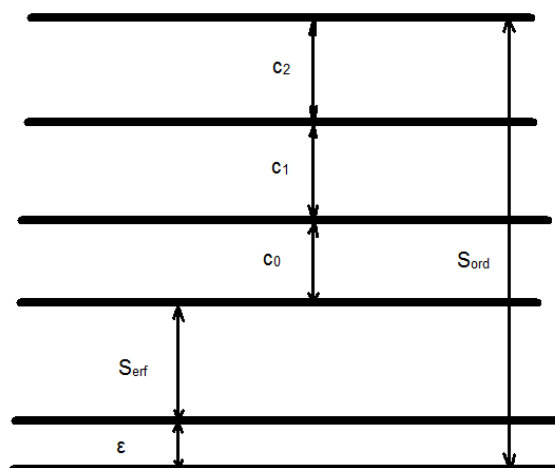


Bild 2.2 Schematische Darstellung der Wanddickenzuschläge

Mit der obigen Abb.2.2 kann man sehr einfach verstehen, dass die Bestell-Wanddicke der Summer von verschiedenen Zuschlägen (c_0 , c_1 , c_2 und ϵ) und der rechnerischen erforderlichen Wanddicke entspricht (s_{erf}).

Nach der vorgeschriebenen Ausführung gilt:

$$s_{ord} = s_{erf} + c_0 + c_1 + c_2 + \epsilon \quad (2.3)$$

c_1 ist nach Tabelle 2.2 als Prozentsatz x schon eindeutig vorgegeben

$$c_1 = \frac{x}{100} * s_{ord} \quad (2.4)$$

Danach kann man die Bestell- Wanddicke bestimmen.

$$s_{ord} \geq (s_{erf} + c_0 + c_2) \frac{100}{100 - x} \quad (2.5)$$

In diesem Beispiel wird die Bestell- Wanddicke:

$$s_{ord} \geq (s_{erf} + c_0 + c_2) \frac{100}{100 - x} = (13,73 + 1 + 0) \frac{100}{100 - 12,5} = 16,83\text{mm}$$

Aus der Tabelle für Normwanddicke des T- Stücks nach DIN EN 10216-1 ist deutlich, dass die genormte Bestell- Wanddicke leicht gefunden wird:

$$s_{ord} = 17,5\text{mm}.$$

$$\text{Innendurchmesser } d_0 = d_a - 2s_{ord} = 273 - 2 * 17,5 = 238\text{mm}$$

Das an das Grundrohr des T- Stücks anschließende ungeschwächte Rohr ist 273 x 17,5.

Zur Bestimmung des Verschwächungsbeiwerts werden einige Daten auch berechnet.

Für die Spannungsübertragung steht damit die Wanddicke:

$$s_{act} = s_{erf} + \epsilon \quad (2.6)$$

Mit der Gl. 2.6 ,2.3 und 2.4 wird die anschließende Gleichung abgeleitet.

$$s_{act} = s_{ord} \left(1 - \frac{x}{100}\right) - c_0 \quad (2.7)$$

In diesem Beispiel wird die rechnerisch erforderliche Wanddicke eines ungeschwächten Rohrs s gleich die aktuelle Wanddicke s_{act}

$$s = s_{act} = 17,5 \left(1 - \frac{12,5}{100}\right) - 1 = 14,31 \text{ mm}$$

Damit ergibt sich: $s / d_0 = 14,31 / 238 = 0,0601$

2.2.3 Dimensionierung des Abzweigrohrs DN200

Schaut man die Tabelle nach DIN 2615 nach, wird für die geforderte DN200 der Rohr-Außendurchmesser zu $d_a = 219,1 \text{ mm}$ angenommen. Nach der Gl.2.2

ist $s_{1,erf} = \frac{18 \cdot 219,1}{2 \cdot 170 \cdot 1 + 18} = 11,02 \text{ mm}$. Danach wird die Bestell-Wanddicke $s_{1,ord}$ nun zeitweilig $14,2 \text{ mm}$ geschätzt.

$$s_{1,ord} / d_a = 14,2 / 219,1 = 0,0648$$

Nach Tab. 2.2 gilt der Walz-Zuschlag $x = 12,5\%$. Mit $c_0 = 1 \text{ mm}$ $c_2 = 0$ ergibt:

$$s_{1,ord} \geq (s_{1,erf} + c_0 + c_2) \frac{100}{100 - x} = (11,02 + 1 + 0) \frac{100}{100 - 12,5} = 13,74 \text{ mm}$$

Die vorher geschätzte Bestell- Wanddicke erreicht $14,2$, die aber die obige geschriebene Bedienung erfüllt hat.

$$\text{Innendurchmesser } d_1 = d_a - 2 s_{1,ord} = 219,1 - 2 \cdot 14,2 = 190,7 \text{ mm}$$

Die Maße des an das Abzweigrohr des T- Stücks anschließenden Rohrs mit ungeschwächter $219,1 \times 14,2$ werden bestimmt.

Tragende Wanddicke: $s_1 = s_{1,act} = 14,2 \left(1 - \frac{12,5}{100}\right) - 1 = 11,43\text{mm}$

2.2.4 Entwurf des T- Stücks

Die Maße des an das Abzweigrohr und Grundrohr des T- Stücks anschließenden Rohres wird derzeit durch folgende Daten dargestellt:

- an das Grundrohr des T- Stücks anschließenden Rohrs: $\phi 273 \times 17,5$
- an das Abzweigrohr des T- Stücks anschließenden Rohrs: $\phi 219,1 \times 14,2$

Um die Maße des T- Stücks auszurechnen, wird zuerst der Verschwächungsbeiwert vorgestellt. Die Wanddicke s_0 des durch einen Ausschnitt geschwächten Rohrs ergibt sich folglich nach Division dieser Wanddicke s durch den Verschwächungsbeiwert:

$$s_0 = \frac{s}{v} \quad (2.8)$$

Normalerweise haben die technischen Regelwerke 0,2% bleibende Dehnung als bestimmend festgelegt. Mit dieser Voraussetzung wird die Gleichung für Berechnung des Verschwächungsbeiwerts auf Basis des Flächenvergleichsverfahrens abgeleitet.

$$v = \frac{\sqrt{\frac{d_0}{s_0} + 1 + \frac{s_1}{s_0} \left[1 + 1,25 \sqrt{\left(\frac{d_1}{d_0} \frac{d_0}{s_0} + \frac{s_1}{s_0}\right) \frac{s_1}{s_0}} \right]}}{\sqrt{\frac{d_0}{s_0} + 1 + \frac{s_1}{s_0} + \frac{d_1}{d_0} \left[1,25 \sqrt{\left(\frac{d_1}{d_0} \frac{d_0}{s_0} + \frac{s_1}{s_0}\right) \frac{s_1}{s_0} + 1 \right] + \frac{1}{2} \frac{d_1}{d_0} \frac{d_0}{s_0}}} \quad (2.9)$$

In der obigen Gleichung stehen leider aber zwei unbekannte Größen v und s_0 . Sie sind mithilfe der vorgeschriebenen Gl. (2.8) und (2.9) bestimmbar. Setzt man Gl. (2.8) in Gl. (2.9) ein, ergibt sich die folgende implizite Gleichung:

$$v = \frac{\sqrt{\frac{v}{s} + 1 + v \frac{s_1}{s}} \left[1 + 1,25v \sqrt{\frac{d_1}{d_0}} \right]}{\sqrt{\frac{v}{s} + 1 + v \frac{s_1}{s} + \frac{d_1}{d_0}} \left[1 + 1,25v \sqrt{\left(\frac{d_1}{d_0} + \frac{s_1}{s} \right) \frac{s_1}{s}} \right] + \frac{d_1}{2} \frac{v}{s} \frac{d_1}{d_0}} \quad (2.10)$$

Hierin sind die Terme s/d_0 , s_1/s , d_1/d_0 drei dimensionslose Parameter, mit denen man den Verschwächungsbeiwert v berechnen kann. Die Größe von s , d_0 , d_1 sind schon bekannt.

$$s = 14,31 \text{ mm}$$

$$d_0 = 238 \text{ mm}$$

$$d_1 = 190,7 \text{ mm}$$

Werden alle Werte in Gl.(2.10) eingesetzt, wird die Größe des Verschwächungsbeiwerts v berechnet:

$$v = 0,46065$$

Nach Gl 2.8 ergibt sich:

$$s_0 = \frac{s}{v} = 14,31 / 0,46065 = 31,06 \text{ mm}$$

Schätzung der Bestell- Wanddicke: $s_{0,ord} = 36 \text{ mm}$, damit $s_{0,ord} / d_{0,a} = 36 / 273 = 0,13$. Schaut man die Tabelle 2.2 nach, ist Wahl- Zuschlag $x = 10\%$ bestimmbar. So wird $s_{0,ord} \geq (31,06 + 1 + 0) \cdot 100 / (100 - 10) = 35,62$. Der geschätzte Wert erfüllt diese Bedienung.

Entsprechend den jetzt für das Grundrohr des T- Stücks 273 x 36 und für den Abzweig 219,1 x 14,2 gefundenen Maßen könnte nun das T- Stück konstruiert werden. Aber aus schweißtechnischer Sicht ist die relativ große Differenz der zu verbindenden Wanddicken nicht erwünscht. Aus dem Grund wird eine

andere Variante untersucht: Der Abzweig soll in dem Bereich, der nahe bei Schweißnaht zur Verbindung der beiden Rohre ist, verstärkt ausgeführt werden, um damit das Grundrohr zu entlasten. Die Wanddicke des Grundrohrs wird sich in diesem Zusammenhang verringern.

Wahl des Abzweigrohrs: 219,1 x 22,2

$$s_{1,ord} / d_a = 22,2 / 219,1 = 0,101$$

Wird Tabelle 2.2 wieder nachgeschlagen, ergibt es sich:

$$x = 12,5\%$$

$$s_1 = s_{1,act} = 22,2 * \frac{100}{100 - 12,5} = 19,42 \text{ mm}$$

$$d_1 = 219,1 - 2 * 22,2 = 174,7 \text{ mm}$$

Dann werden die anschließenden Verhältnisse zur Berechnung der neuen Verschwächungsbeiwerte berechnet:

$$s_1 / s = 19,42 / 14,31 = 1,3571$$

$$d_1 / d_0 = 174,7 / 238 = 0,734$$

$$\text{Nach Gl.(2.10) } v = 0,631$$

Aus schweißtechnischer Sicht wird die Bestell- Wanddicke $s_{ord} = 28 \text{ mm}$ geschätzt. Damit ergibt sich mit dem neuen erhaltenen Verschwächungsbeiwert:

$$s_{0,ord} / d_{0,a} = 28 / 273 = 0,103$$

$$s_0 = 14,31 / 0,631 = 22,66 \text{ mm}$$

Schlagen die Tabelle 2.2 nach: $x = 10\%$

$$s_{ord} \geq (22,66 + 1 + 0) * 100 / (100 - 10) = 26,28 \text{ mm}$$

Danach kann die vermutete Bestell- Wanddicke $s_{ord} = 28\text{mm}$ beibehalten werden.

Bisher kann die Entwurfsskizze des T- Stücks mit folgenden berechneten Daten gezeichnet werden.

1. an das Grundrohr des T- Stücks anschließende Rohr: $\phi 273 \times 17,5$
2. an das Abzweigrohr des T- Stücks anschließende Rohr: $\phi 219,1 \times 14,2$
3. Grundrohr des T- Stücks: $\phi 273 \times 28$
4. Abzweigrohr des T- Stücks: $\phi 219,1 \times 22,2$

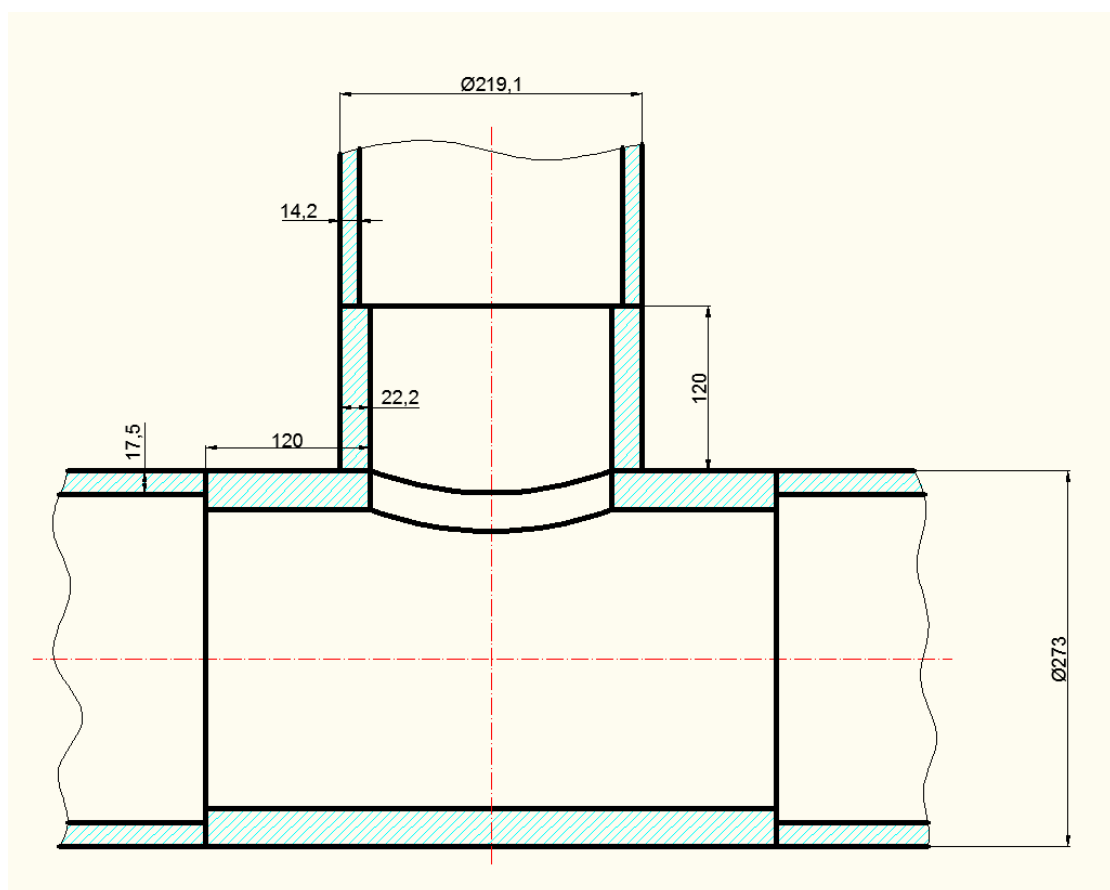


Bild 2.3 Entwurfsskizze des T- Stücks für dieses Beispiel

3. Numerische Berechnung des Spannungs- und Dehnungszustands

In diesem Abschnitt wird für das im 2. Abschnitt entworfene T- Stück durch die Software ANSYS 15.0 der Spannungs- und Dehnungszustand analysiert. Die Ergebnisse des Spannungs- und Dehnungszustandes werden mit der zulässigen Spannung und Dehnung verglichen. Sie dienen im letzten Teil der Bachelorarbeit zur Optimierung des im 2. Abschnitt entworfenen T- Stücks.

3.1 Numerische Berechnung des Spannungszustands

Bei Berechnung der Spannungssituation des T- Stücks werden zuerst die Material- Kennwerte und die Randbedingungen eingegeben und die Geometrie nach der Entwurfsskizze in der Software erstellt. Das Verfahren der numerischen Berechnung der Spannung wird hier Schritt für Schritt dargestellt.

3.1.1 Eingebung der Material- Kennwerte

Einige Kennwerte des Materials P265TR2 sind schon nach Tabelle.2.1 gegeben.

Streckgrenze: $R_e = 255 \text{ N/mm}^2$

Zugfestigkeit: $R_m = 410 \text{ N/mm}^2$

Die Werte der isotropen Elastizität und bilinearen isotropen Plastizität sollen auch in die Software eingegeben werden. Für Stahl ist $E = 210 \text{ kN/mm}^2$ (210000 MPa) und die Poissonzahl erreicht 0,3.

Mittels der Streckgrenze und Zugfestigkeit wird der Tangentenmodul einfach mit dem folgenden Diagramm ausgerechnet.

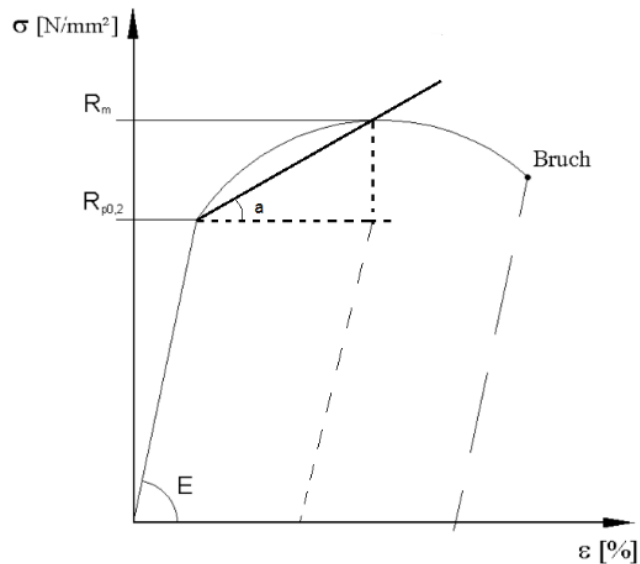


Abb.3.1 Berechnung des Tangentenmoduls

Aus Tabelle 2.1 ist es deutlich zu sehen, dass die Bruchdehnung des Materials P265TR2 bei Raumtemperatur 0,21% erreicht. Dann können wir den angenäherten Wert des Tangentenmoduls schaffen.

$$\tan a = \frac{R_m - R_{p0,2}}{A/2} = \frac{410 - 255}{0,21 / 2} = 1476,2$$

Danach werden alle Daten Software eingegeben:

Eigenschaften von Überblickzeile 3: P265TR2				
	A	B	C	D E
1	Eigenschaft	Wert	Einheit	
2	Isotrope Elastizität			
3	Ableiten von	E-Modul und Querkontraktionszahl		
4	E-Modul	2,1E+05	MPa	
5	Querkontraktionszahl	0,3		
6	Kompressionsmodul	1,75E+11	Pa	
7	Schubmodul	8,0769E+10	Pa	
8	Bilineare isotrope Verfestigung			
9	Streckgrenze	255	MPa	
10	Tangentenmodul	1476	MPa	

Abb. 3.2 eingegebene Material-Kennwerte

3.1.2 Modellierung des T- Stücks

Nach den Bemaßungen der Entwurfsskizze werden die Geometrie sowie die anschließende Abbildung gezeichnet:

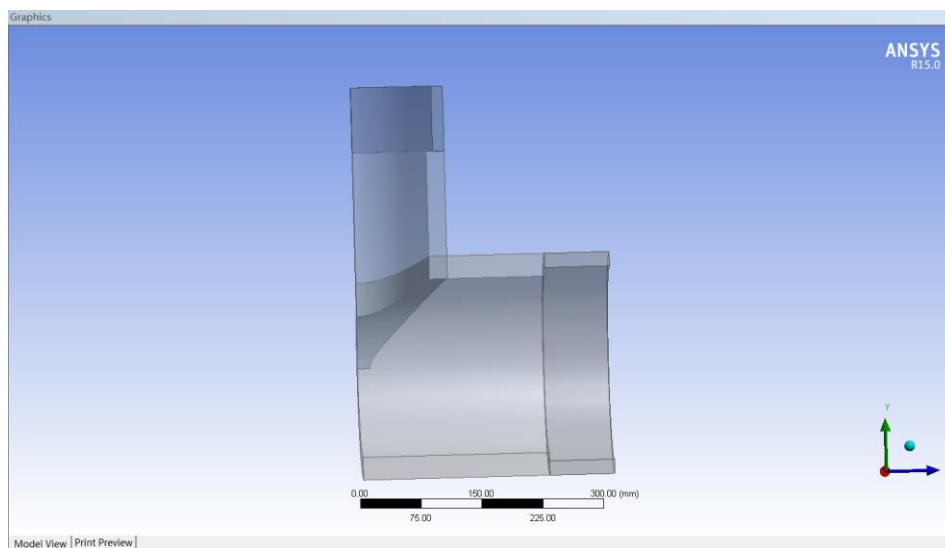


Abb. 3.3 Geometrie

Die Geometrie wird durch 4 Grundelemente von Zylinder mit der Wand erstellt. Am Ende der Modellierung werden alle 4 Grundelemente von Zylinder als eine Baugruppe eingesetzt.

Um die Berechnung zu vereinfachen, wird doppelte Symmetrie angewendet. Deswegen wird das modellierte T- Stück in Viertel in Abb 3.3 gezeigt.

3.1.3 Eingebung der Randbedingungen

Wenn es um die praktische Situation des benutzten T- Stücks geht, sollten die folgenden Randbedingungen eingegeben.

Reibungsfreie Lagerungen: Die Bewegungen (Schwingungs-, Drehungs- oder Gleitvorgänge) ohne Verlust an nutzbarer Energie in einem reibungsfreien System laufen in einem reibungsfreien System ab. Das heißt, dass die von reibungsfreien Lagerungen beschränkte Ebene nicht mehr nach die Richtung, welche senkrecht auf die Ebene ist, verschieben. Nach Abb. 3.3 ist es zu sehen, dass sich das ganze Modell nicht in X- oder Z-Richtung bewegen kann.

Externe Lagerungen: Die externen Lagerungen können die Verschiebung oder Rotation um eine bestimmte Achse definieren. Hier wird die Verschiebung einer Seite von Grundrohr in Y- Richtung 0mm eingesetzt.

In Praxis werden die Rohrleitung bei Verlegung an die Wand sowie die folgende Abbildung angehängt.



Abb. 3.4 Halterung von Rohrleitung [7]

Mit Hilfe der Halterungen wird die Rohrleitung festgelegt. In meiner Bachelorarbeit soll die Bewegung der beiden Seiten des Grundrohrs auch von den Halterungen eingegrenzt werden. Aus dem Grund der reibungsfreien Lagerungen kann das ganze T- Stück sich schon nicht mehr in X- oder Z- Richtung bewegen. Die extra Lagerung begrenzt, dass die beiden Seiten nicht mehr nach oben oder unten (Y- Achse) verschoben werden können.

Druck: Der Innendruck ist schon in 2.Abschnitt gegeben. Die Größe des Innendrucks ist 18 MPa.

2 Kräfte: Bei Montage wird das T- Stück normalerweise mit der weiteren Rohrleitung geklebt oder eingeschweißt. Unter dem Innendruck entsteht eine bestimmbare Längsspannung in der Rohrleitung. Deshalb erstellen wir zwei Kräfte in die 2 Flächen, um die praktische Situation zu simulieren.

$$F = p \cdot (da - 2s)^2 \cdot \frac{\pi}{4} \quad (3.1)$$

Laut der obigen Gl.3.1 können die Kräfte sehr leicht ausgerechnet werden, weil das Modell des T- Stücks schon mit doppelter Symmetrie in Viertel dargestellt wurde. Wegen der doppelten Symmetrie folgt hieraus dass die eingegebene Kraft nach oben ist nur Viertel der nach Gl.3.1 gerechnete Wert und die Kraft in der Modell nach rechts nur halbe der gerechnete Wert der Kraft nach rechts.

Danach geben wir alle Bedingungen ein, ergibt sich das folgende Bild:

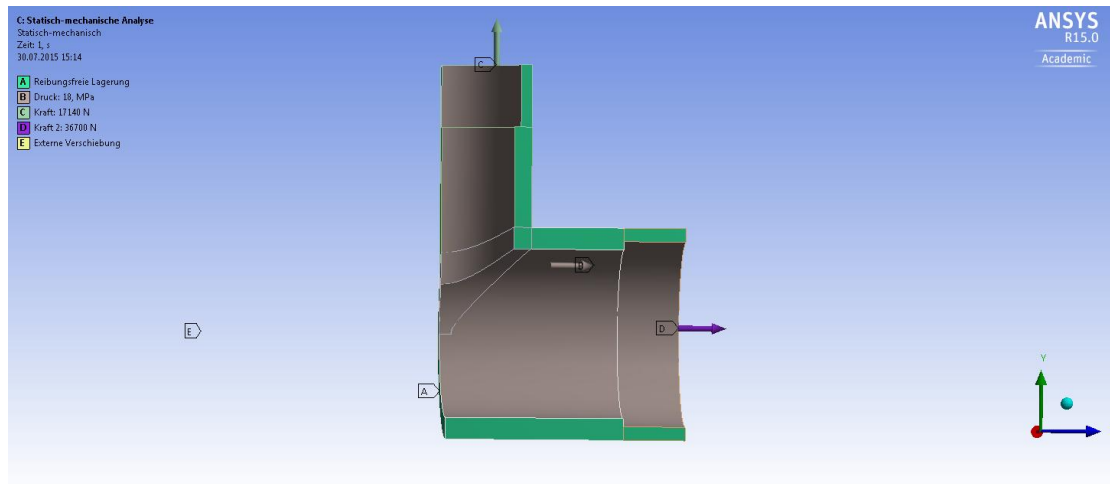


Abb. 3.5 Randbedingungen des Modells

3.1.4 Ergebnisse

Bei Erstellung des Netzes werden die Elemente in der Nähe von der Verbindung verfeinert. Mit 112288 Knoten und 64786 Elementen wird die Spannung des Modells durch ANSYS berechnet.

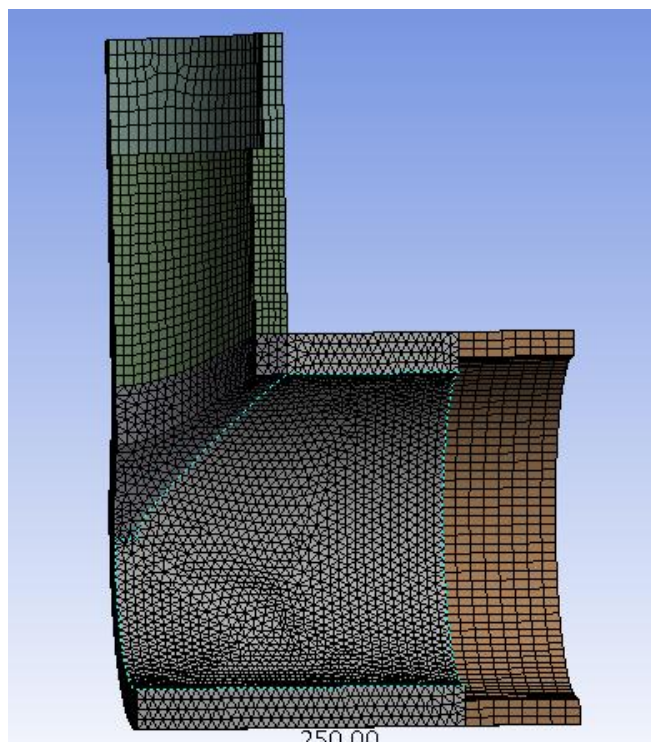


Abb. 3.6 Vernetzung des T- Stücks

Nach der Vernetzung kann man nun direkt zur numerischen Berechnung des Spannungszustands gehen

Die geschätzte Intensitätsspannungszustand wird in Abbildung 3.7 gezeigt:

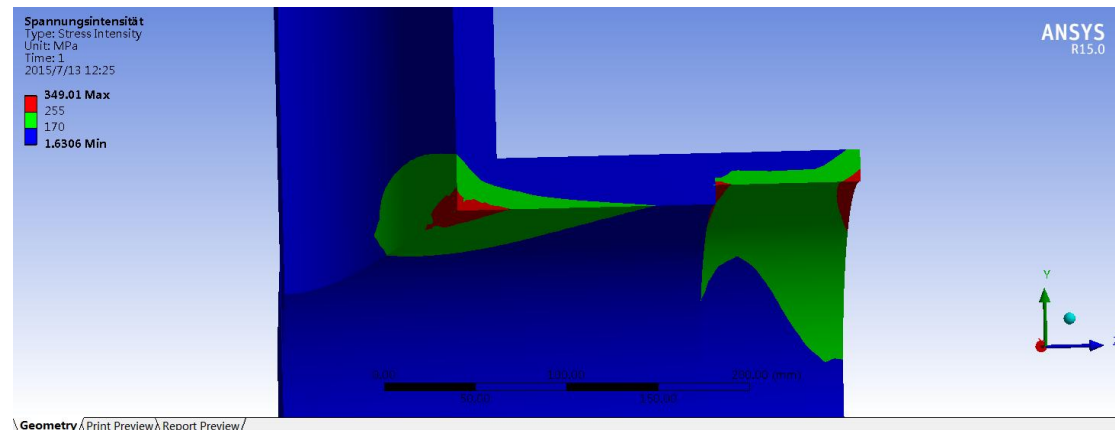


Abb. 3.7 Intensitätsspannungszustand

Die Spannung im blauen Gebiet hat nicht die zulässige Spannung 170MPa überschritten. In der Theorie soll das ganze T- Stück nach der Berechnung im vorgeschriebenen Teil blau sein. Die sehr ungünstige Konstruktion (Ecken mit rechtem Winkel) führt zu der stärksten Kerbwirkung. Zur Verbesserung dieser Konstruktion werden die Ergebnisse im Abschnitt der Optimierung des T- Stücks nochmal analysiert.

Außerdem wird die Spannung der T- Stücke von unterschiedlichen Bauarten auch analysiert. Mit folgenden Abbildungen können wir einfach ermitteln, dass das eingesetzte T- Stück nicht eine gute Wahl für dieses Beispiel ist. Obwohl das eingesetzte T- Stück relative kleine Spannung hat, ist das Gebiet, in dem die Spannung höher als die zulässige Spannung ist, leider zu groß.

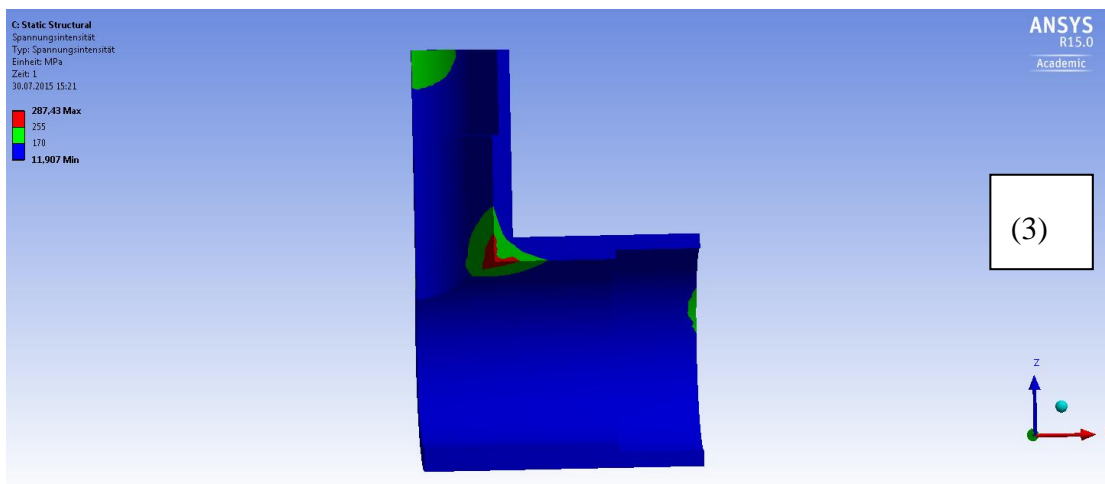
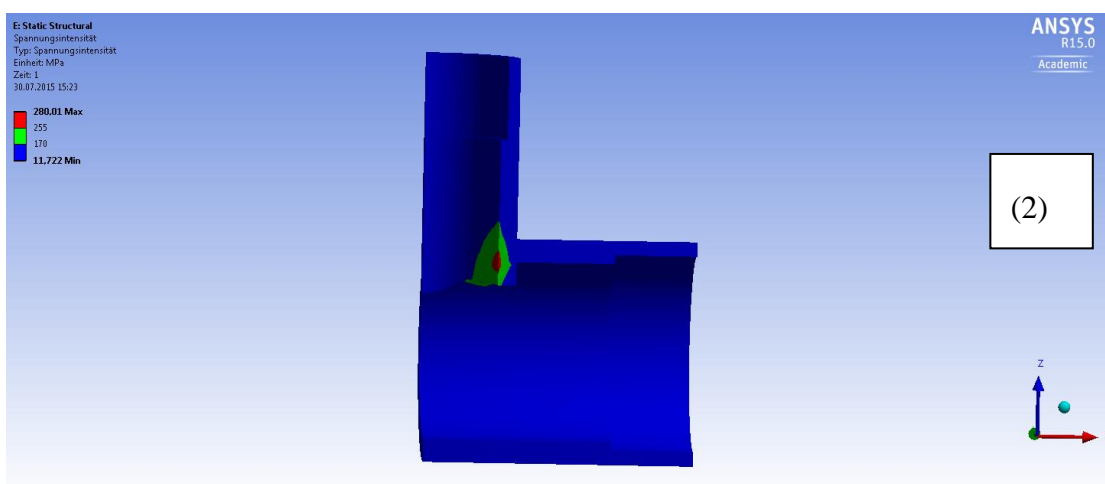
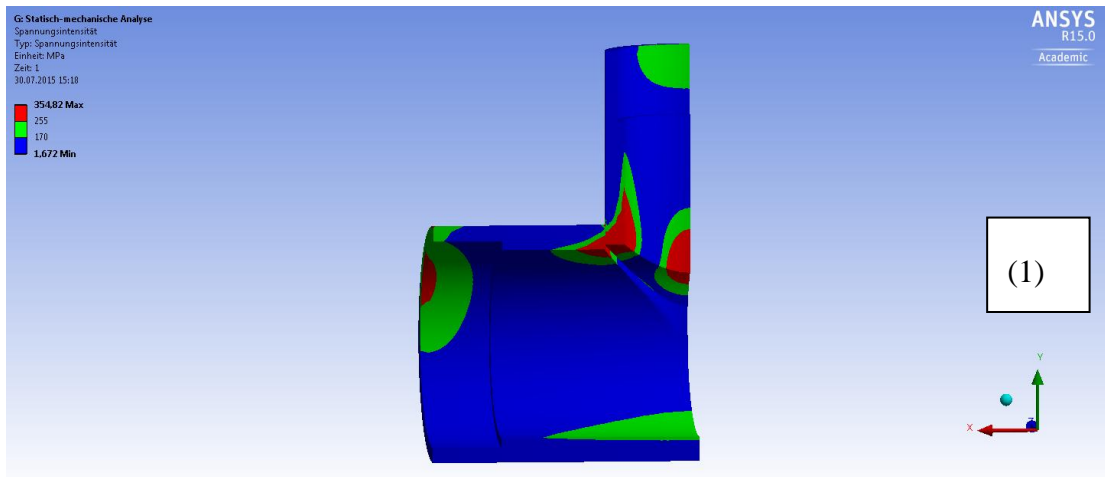


Abb. 3.8 Spannungszustand des eingesteckten(1), durchgesteckten(2) und aufgesetzten(3) T- Stücks

Der Spannungszustand des durchgesteckten und aufgesetzten T- Stücks sieht aber sehr ähnlich aus.

Aus montagetechnischer Sicht wird das eingesetzte T- Stück auch sehr schwer hergestellt. Verglichen mit dem eingesetzten und aufgesetzten T- Stück wird das durchgesteckte T- Stück relativ einfach gefertigt und montiert.

3.2 Numerische Berechnung des Dehnungszustands

In der Regel gilt bei technischen Werkstoffen die 0,2%-Dehngrenze, da sie immer sehr eindeutig aus dem Spannungs-Dehnungs-Diagramm herausgefunden werden kann. Hierin setzen wir die 0,2% als die zulässige Dehnung ein.

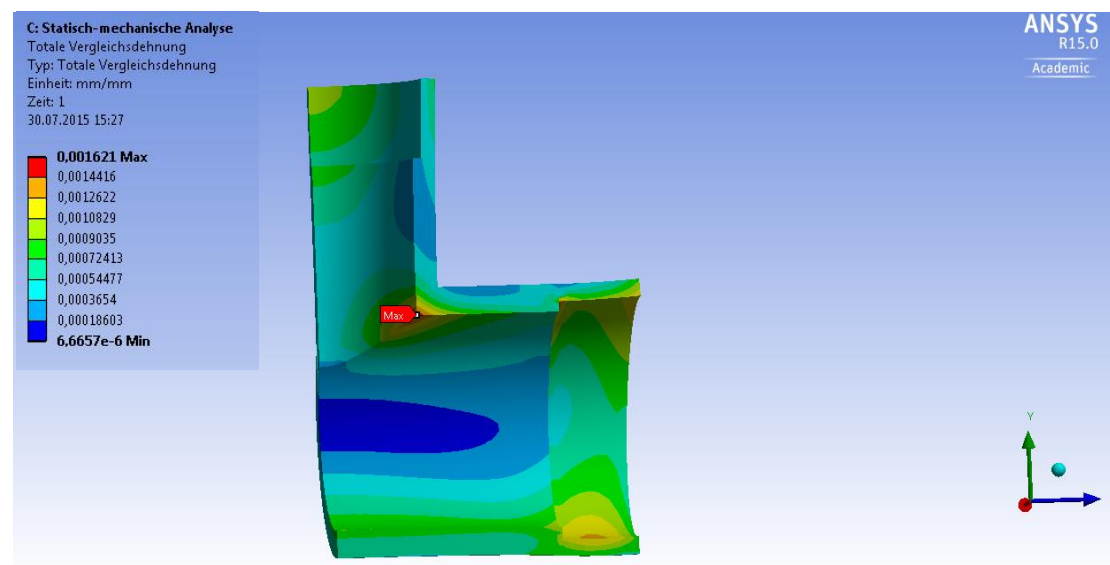


Abb. 3.9 Dehnungszustand

Die obige Abbildung stellt den Dehnungszustand des T- Stücks dar. Die maximale Dehnung liegt an den Ecken und erreicht 0,162%. Sie ist aber kleiner als die geforderte zulässige Dehnung

Die Bauarten der T- Stücke beeinflussen natürlich auch den Dehnungszustand. Verglichen mit folgenden drei Abbildungen, können wir sehr eindeutig verstehen, dass das durchgesteckte T- Stück den besten Dehnungszustand hat. Der in das Grundrohr gesteckte Teil des Abzweigrohrs verstärkt die Fähigkeit des Bauteils gegen den Innendruck.

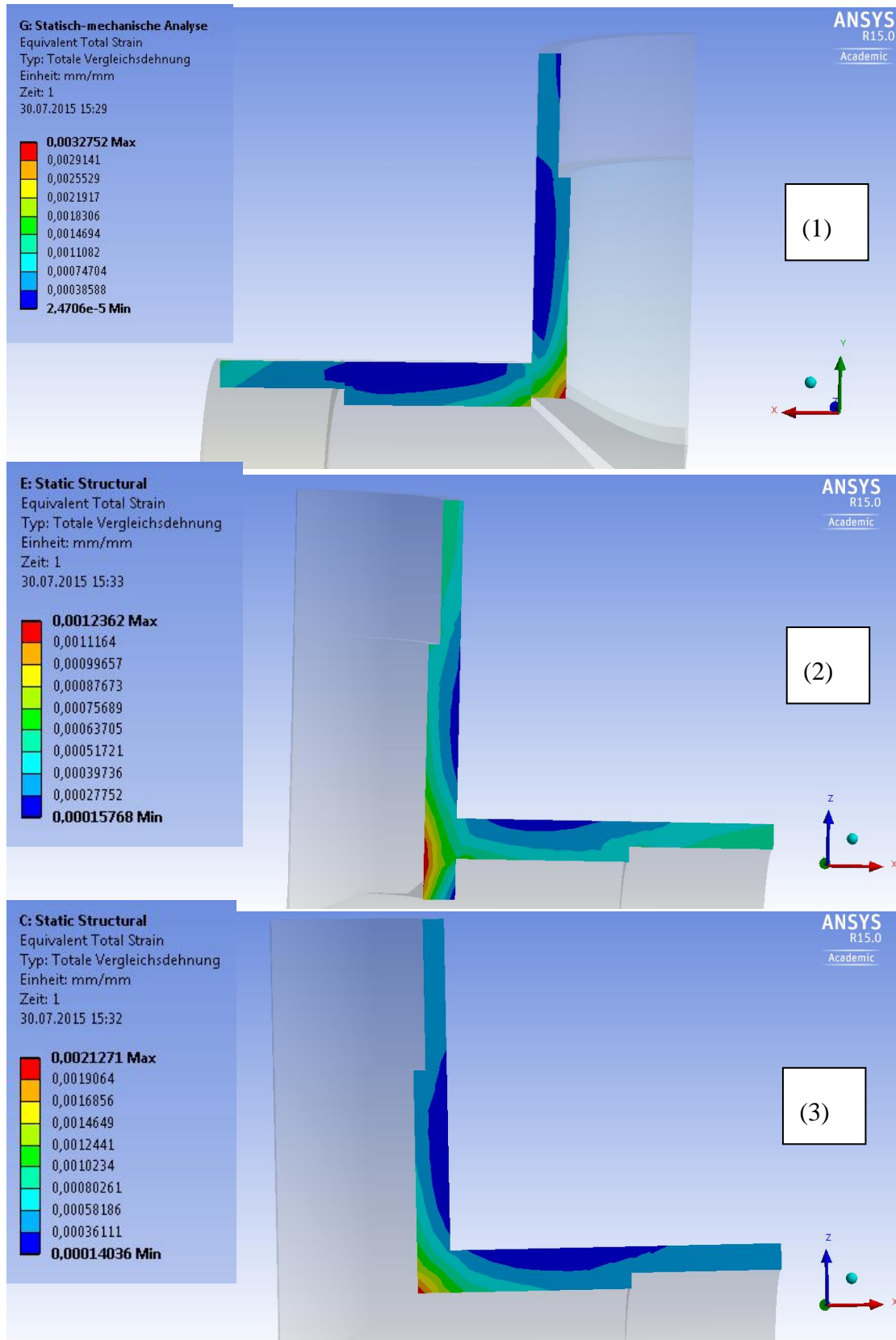


Abb. 3.10 Dehnungszustand des eingesteckten(1), durchgesteckten(2) und aufgesetzten(3) T- Stücks

4. Die Versuche über die Beanspruchung von Zylindern mit eingeschweißten Stutzen

Im Auftrag des GWK- Verbandes wurden in der Materialprüfungsanstalt die Versuche mit eingeschweißten Stutzen durchgeführt mit dem Ziel, die Verschwächungsbeiwerte für die verschiedenen Stutzenverhältnisse d_1/dm_0 von Stutzendurchmesser d_1 und Grundrohrdurchmesser dm_0 für verschiedene Wanddickenverhältnisse s_1/s_0 des Stutzenrohres und Grundrohres zu ermitteln.[8] Die Versuche wurden an drei im folgenden Abschnitt dargestellten Behältern aus Kesselblech H I (P2356H) mit dem mittleren Durchmesser von ungefähr 550mm durchgeführt, in welche die Stutzen aus St35.29 nacheinander eingeschweißt wurden.

4.1 Entwurfskizze und die Messreihe

In anschließenden Abbildungen, die zugleich erkennen lassen, mit welcher Methode die Stutzen elektrisch eingeschweißt waren, sind die für jeden der 3 Grundrohre vorgesehenen Stutzenabmessungen zusammengestellt.

Für verschiedene Behälter werden die Abmessungen des Grundrohres immer eine bestimmte Konstante bleiben und die Stutzen-durchmesser und -wanddicke sich verändern.

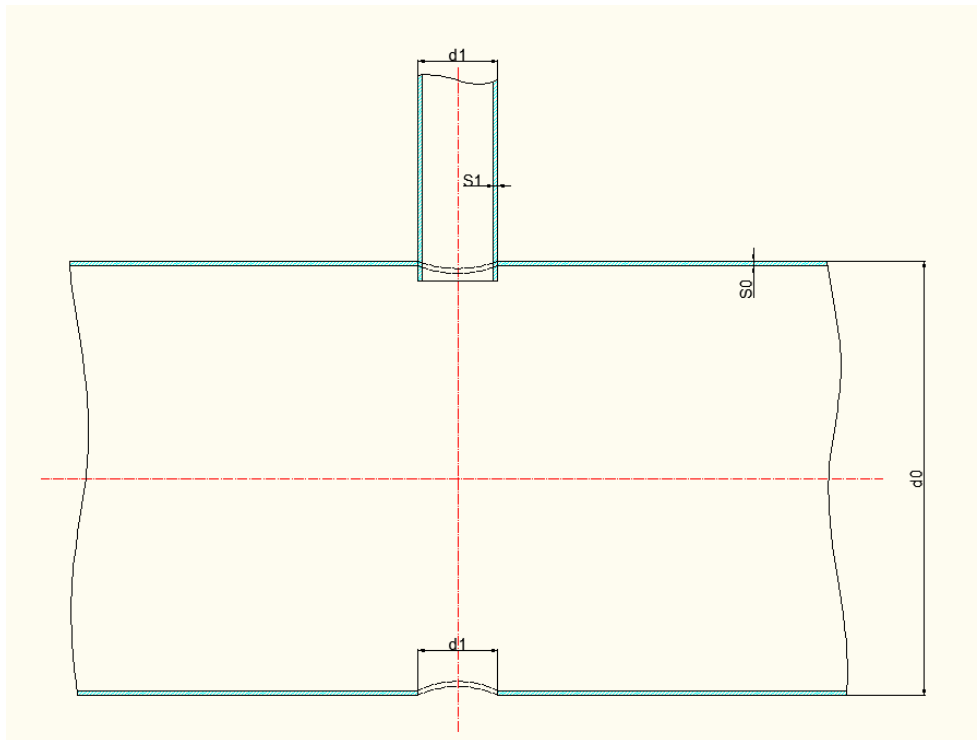


Abb. 4.1 Behälter A

Die Abmessungen des Grundrohrs ergeben sich:

$$d_0 = 552 \text{ mm}$$

$$s_0 = 6 \text{ mm}$$

$$d_m = 546 \text{ mm}$$

Das Loch in der unteren Seite des Grundrohrs ist der Ausschnitt, der in meiner Berechnung ignoriert wird.

Tabelle.4.1 Messreihe für Behälter A

Messreihe	Ausschnitt	Stutzen		$\frac{d_1}{d_m}$	$\frac{s_1}{d_m} * 10^2$	$\frac{s_1}{s_0}$
		d_1	s_1			
I		102	3,5	0,187	0,641	0,58
II		102	5,0	0,187	0,916	0,83
VII		300	12	0,550	2,2	2,0

Eigentlich stehen zumindest 7 Messreihen für jeden Behälter. Wegen Raummangels konnte die Menge der berechneten Messreihe verringert werden.

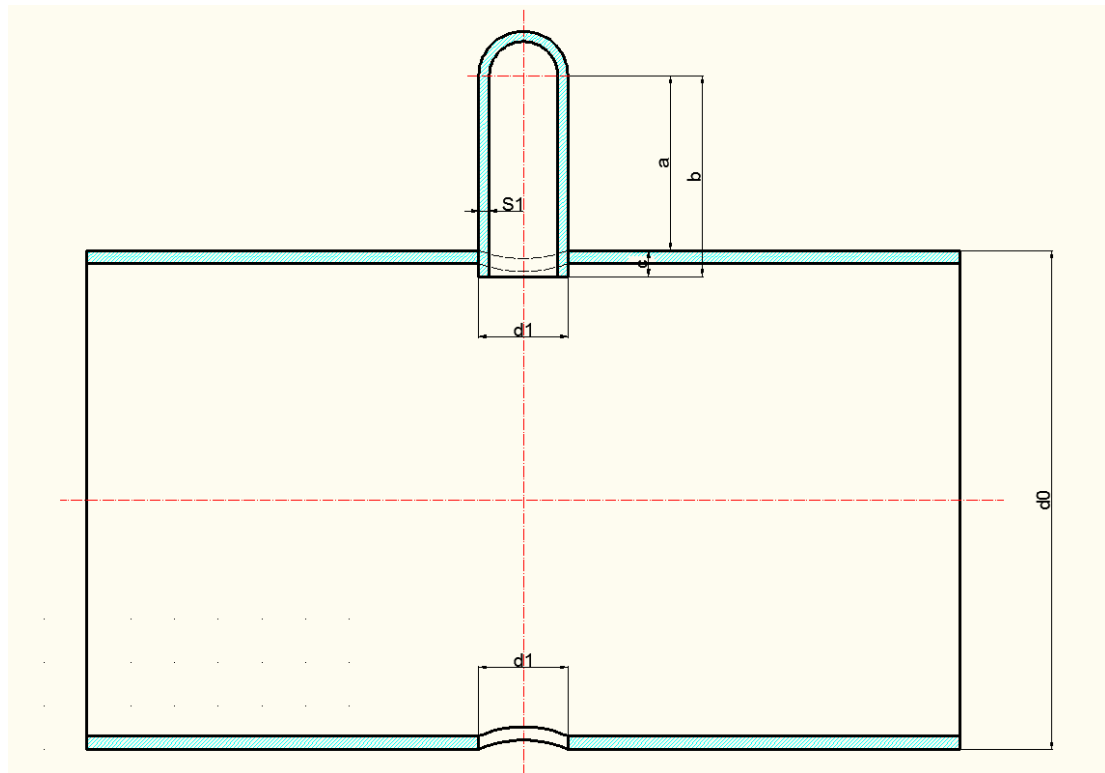


Abb. 4.2 Behälter B (Versuchskessel 600 x 15)

Tabelle 4.2 Messreihe für Behälter B

Messung	d_0	d_{m0}	d_1	s_0	s_1	a	b	c
I	571	556	102	15	4	200	230	30
VI	571	556	301	15	12	240	290	50

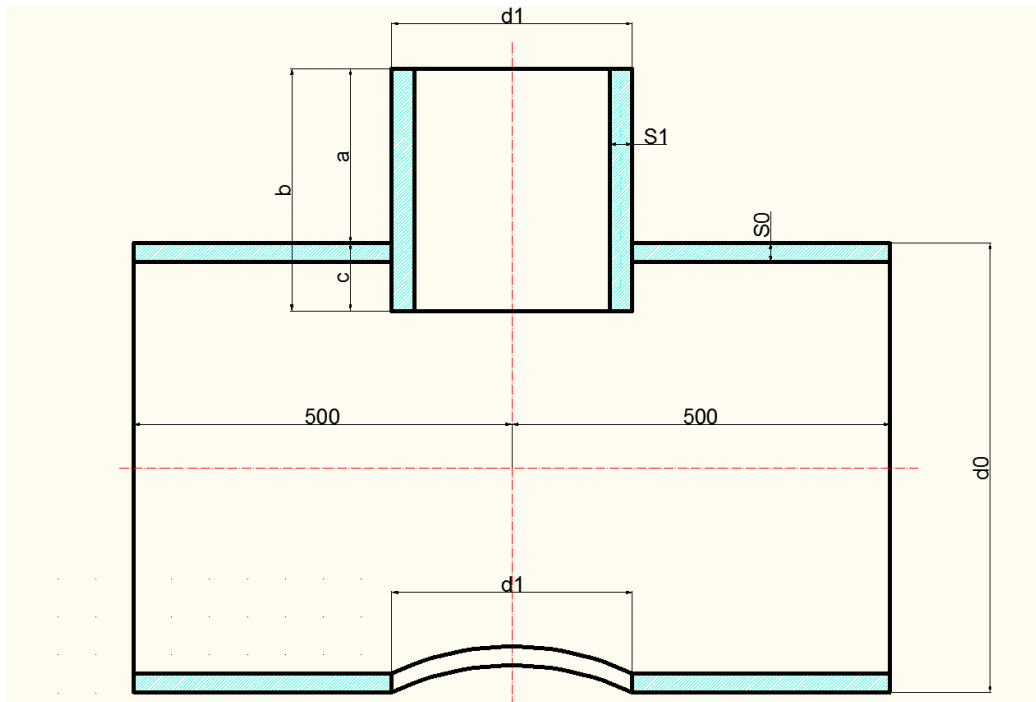


Abb. 4.3 Behälter C (Versuchskessel 600 x 25)

Für Behälter C (Versuchskessel 600 x 25) erreicht die Wanddicke des Grundrohrs s_0 25mm und der mittlere Durchmesser d_{m0} 269mm.

Tabelle. 4.3 Messreihe für Behälter C

Messung	d_1	s_1	a	b	c
I	102	8,5	200	240	40
V	318	30	230	320	90

4.2 Einstellungen der Material- Kennwerte

Der Stutzen besteht aus St35.29. Gemäß der folgenden Tabelle können wir einfach die Material- Kennwerte ermitteln.

**CARBON AND
ALLOY STEEL**

GERMAN

Standard	Tensile Strength	Yield Point	Elongation Min. %	C %	Si %	Mn %	P=max %	S=Max %	Mo %	Cr %	Ni %	Size and Tolerance Standard	Technical Spec.
St.00,29	ca.35-45	ca.24	ca.25	-	-	-	-	-	-	-	-	DIN 2448	DIN 1692/2
St.35,29	35-45	24	25	≤ 0.18	-	-	0.05	0.05	-	-	-	DIN 2448	DIN 1629/3
St.45,29	45-55	26	21	≤ 0.25	-	-	0.05	0.05	-	-	-	DIN 2448	DIN 1629/3
St.55,29	55-65	30	17	≤ 0.36	-	-	0.05	0.05	-	-	-	DIN 2448	DIN 1629/3
St.52	52-62	34	22	≤ 0.20	<0.55	<1.50	0.05	0.05	-	-	-	DIN 2448	DIN 1629/3
St.35,8	35-45	24	25	≤ 0.17	<0.35	>0.40	0.05	0.05	-	-	-	DIN 2448	DIN 17175
St.45,8	45-55	26	21	≤ 0.22	0.10/0.35	>0.45	0.05	0.05	-	-	-	DIN 2448	DIN 17175

Abb. 4.4 Material- Kennwerte des legierten Stahls

Nach Tab.4.4 ergibt es sich für Stahl St35.29 :

Streckgrenze: $R_e = 240 \text{ N/mm}^2$

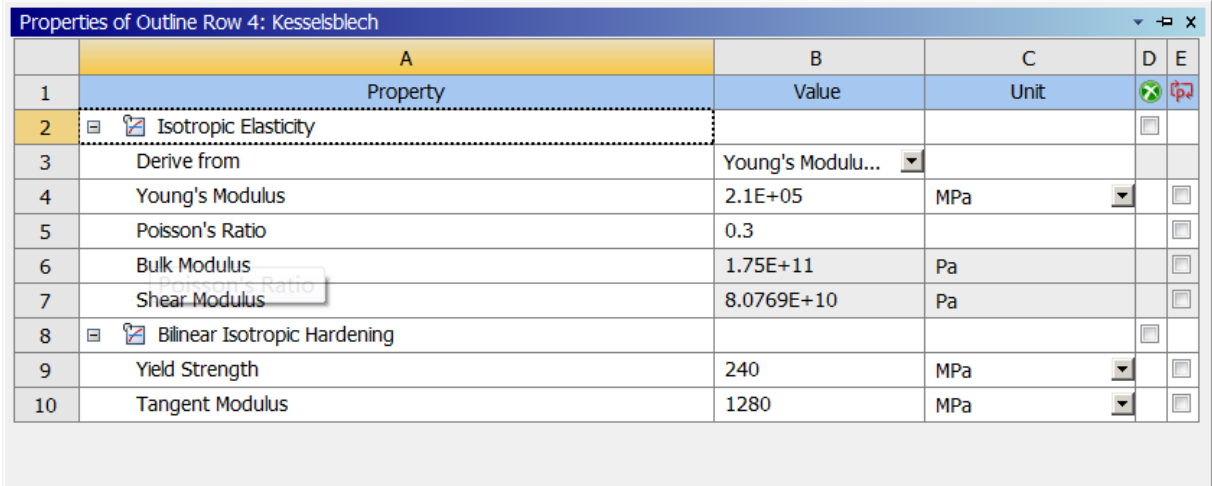
Zugfestigkeit: $R_m = 400 \text{ N/mm}^2$

Bruchdehnung: $\epsilon_B = 0,25\%$

In Abb.2.1 wird der Tangentenmodul schnell ausgerechnet.

Tangentenmodul: $\tan a = 1280 \text{ MPa}$

Die Poissonzahl und der E-Modul sind für alle Stähle üblich gleich. Die Poissonzahl ist 0,3 und der E-Modul erreicht 210000MPa. Danach geben wir alle Material-Kennwerte Software ANSYS ein. Die technischen Daten werden in der folgenden Abbildung dargestellt.



The screenshot shows a window titled 'Properties of Outline Row 4: Kesselsblech'. It contains a table with 5 columns: A (Property), B (Value), C (Unit), D, and E. The table lists various material properties for 'Kesselsblech'.

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Isotropic Elasticity			<input type="checkbox"/>	
3	Derive from	Young's Modulu...			
4	Young's Modulus	2.1E+05	MPa	<input type="checkbox"/>	
5	Poisson's Ratio	0.3		<input type="checkbox"/>	
6	Bulk Modulus	1.75E+11	Pa	<input type="checkbox"/>	
7	Shear Modulus	8.0769E+10	Pa	<input type="checkbox"/>	
8	Bilinear Isotropic Hardening			<input type="checkbox"/>	
9	Yield Strength	240	MPa	<input type="checkbox"/>	
10	Tangent Modulus	1280	MPa	<input type="checkbox"/>	

Abb. 4.5 eingegebene Material- Kennwerte

4.3 Modellierung

Die erstellten Modelle werden auch in Viertel analysiert, um die Berechnung zu vereinfachen. Dieses Mal definieren wir aber noch zwei Kanten, die bei Analysieren helfen, die Ergebnisse eindeutiger zu sehen.

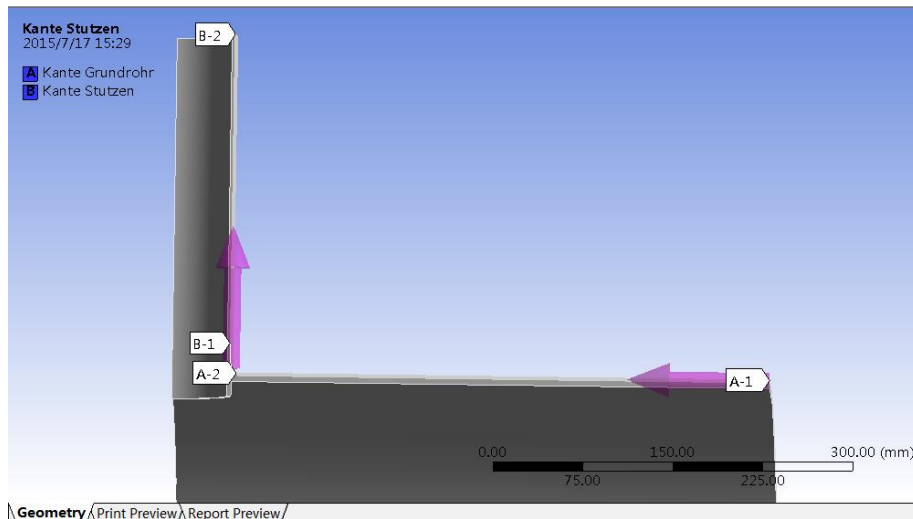


Abb. 4.6 Modell und Kanten definieren

Nach der Aufgabestellung der technischen Mitteilungen der Versuche über die Beanspruchung von Zylindern mit eingeschweißten Stutzen sollen die an Abzweigrohr und Grundrohr belasteten Kräfte auch berücksichtigt werden.

So werden die Randbedingungen der Innendruck (mit Größe 40atü ungefähr 4,02MPa), reibungsfreie Lagerung (Die Lagerung an Schnittebene), extra Lagerung (Die Lagerung an Grundrohr) und 2 Kräfte (eine nach oben, andere nach rechts) .

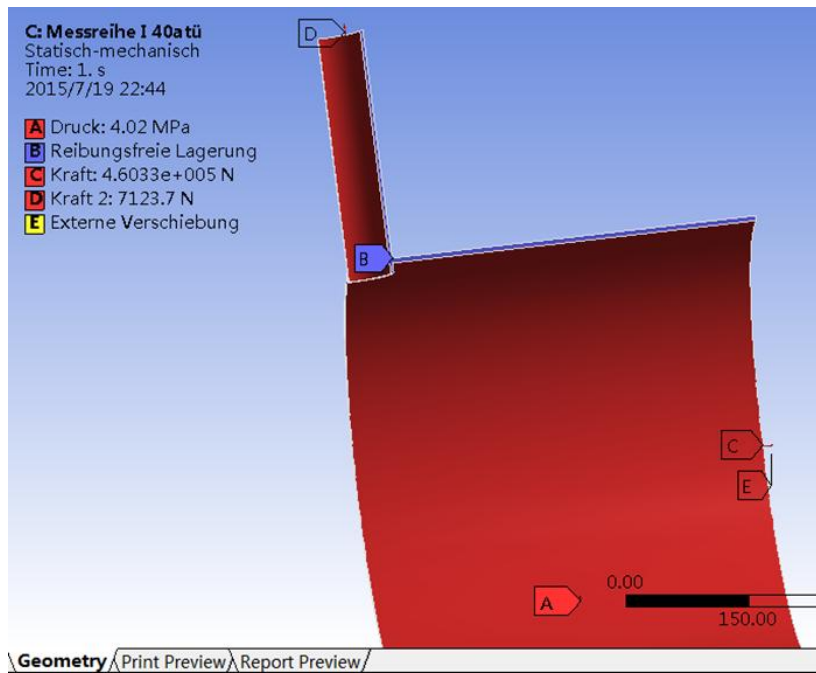


Abb. 4.7 eingegebene Randbedingungen für die Versuche

4.4 Die numerische Berechnung des Dehnungszustands

Wegen Raummangels analysiere ich hier nur eine Messreihe I von Behälter A als ein Beispiel. Die Ergebnisse der anderen Messreihen oder Behälter werden nicht mehr diagrammisch sondern tabellarisch dargestellt.

4.4.1 gerechnete Dehnung ohne Randbedingungen der Kräfte

Die Totaldehnung eines Gegenstands setzt sich aus der elastischen Dehnung und der plastischen Dehnung zusammen. Wenn die Dehnung die maximale erreichbare elastische Dehnung ist, wird die elastische Dehnung eine Konstante bleiben und gleichzeitig die plastische Dehnung sehr rasant ansteigen. Die folgenden Diagramme erklären das.

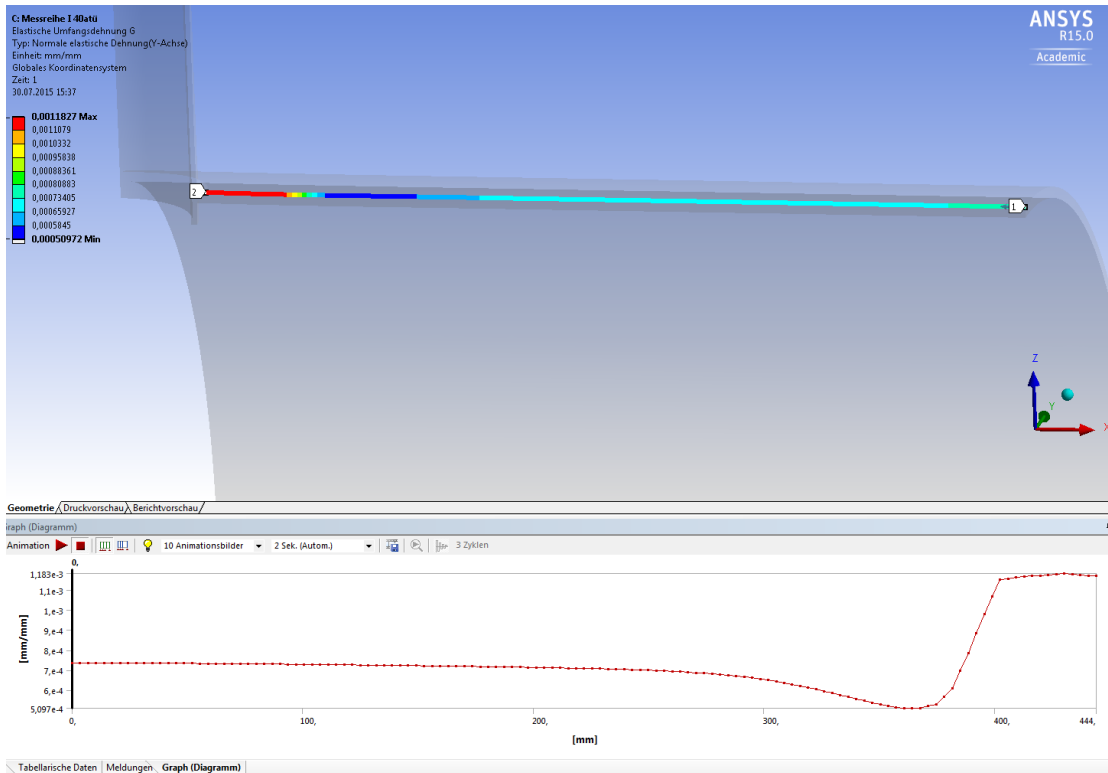


Abb. 4.8 Elastische Dehnung des Grundrohrs für Behälter A Messreihe I

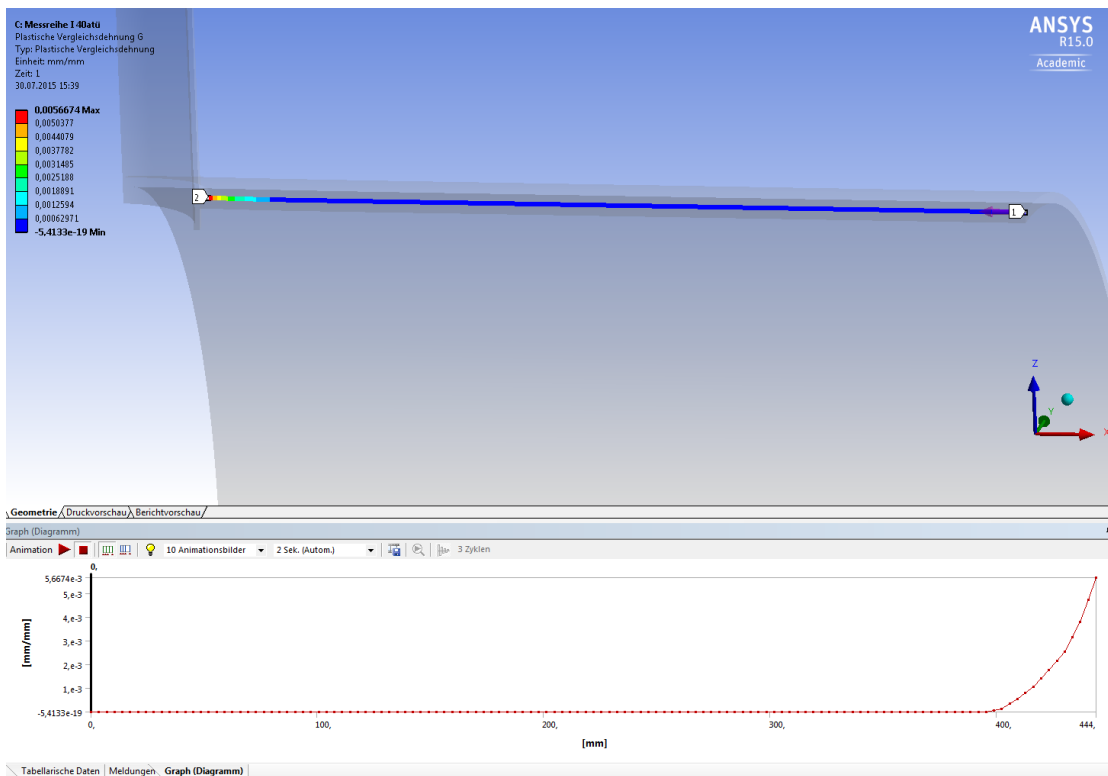


Abb. 4.9 Plastische Dehnung des Grundrohrs für Behälter A Messreihe I

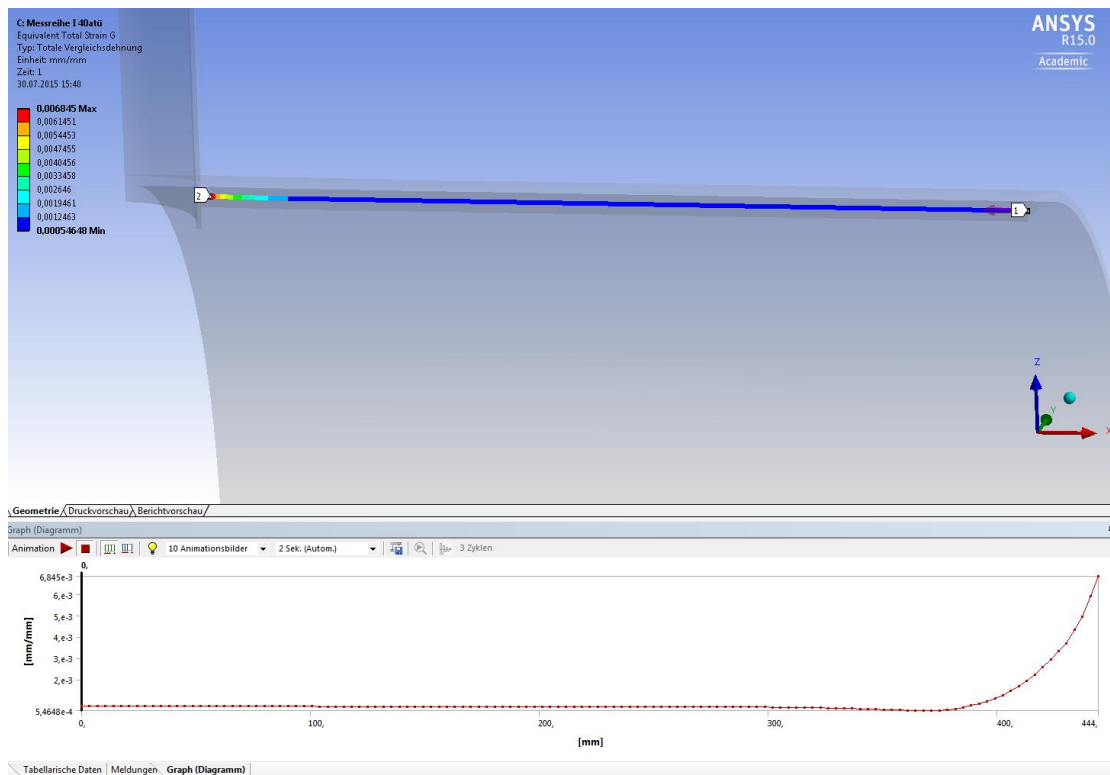


Abb. 4.10 Totaldehnung des Grundrohrs für Behälter A Messreihe I

Die Totaldehnung wird aus der gesamten Längenänderung in Bezug auf die Ursprungslänge der Messstrecke bestimmt. Hier umfasst die Totaldehnung alle elastischen und plastischen Dehnungen in allen Richtungen.

Die Software ANSYS kann leider die Totaldehnung in einer Richtung (z.B. X-, Y- oder Z- Richtung) nicht ausrechnen. Deswegen werden die in den technischen Mitteilungen gemessene Umfangsdehnung und Radialdehnung mit der anschließenden Gleichung 4.1 in Totaldehnung umgesetzt, um die gemessenen Daten und die von Software berechneten Daten besser zu vergleichen.

$$\epsilon_v = \sqrt{\epsilon_u^2 + \epsilon_l^2 + \frac{1}{8} \epsilon_u * \epsilon_l} \quad (4.1)$$

Mit dem in den technischen Mitteilungen gezeigten Diagramm Abb.4.11 können die Umfangsdehnungen und Radialdehnungen von verschiedenen Punkten gemessen werden. Hier werden 8 Punkte ausgewählt, um die Dehnung senkrecht zur Schnittebene und die in der Schnittebene nach Abb.4.11 zu messen.

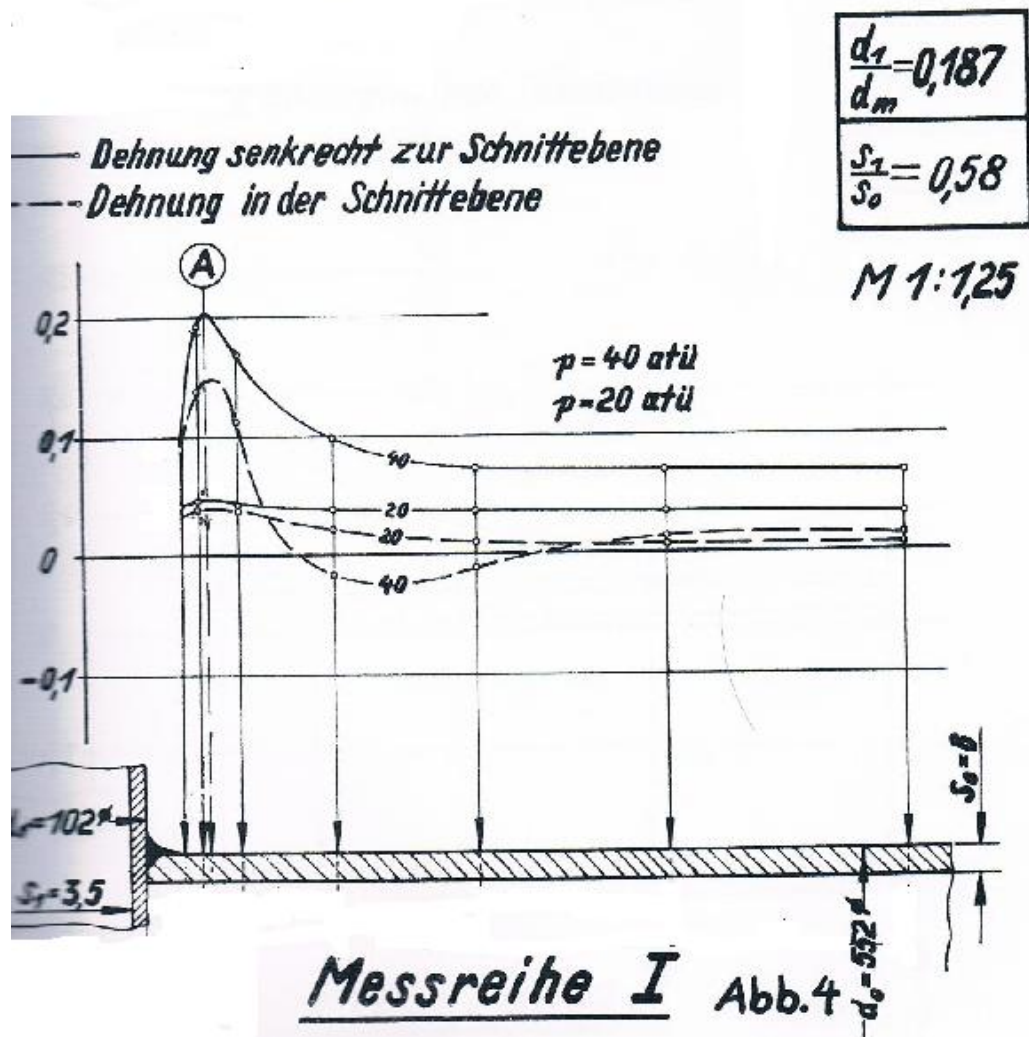


Abb.4.11 technische Mitteilung gegebene Diagramm für Die Dehnung am Grundrohr [9]

Tabelle 4.4 stellt die Umfangsdehnung, Radialdehnung und die mit Gl.4.1 gerechnete Totaldehnung dar. Der ‚Abstand‘ in Tabelle bedeutet die Distanz zwischen dem gemessenen Punkt und der Schweißnaht.

Tabelle 4.4 Die gemessene Umfangs-, Radial- und Vergleichsdehnung des Grundrohrs für Behälter A Messreihe I

Abstand in mm	0	3,75	5	12,5	32,5	62,5	102,5	152,5
ϵ_u in %	0,09	0,19	0,205	0,17	0,1	0,07	0,07	0,65
ϵ_r in %	0,09	0,14	0,145	0,11	-0,02	-0,01	0,015	0,015
ϵ_v in %	0,1312	0,2430	0,2584	0,2082	0,1007	0,0701	0,0725	0,676

Die von der Software ausgerechneten Daten werden exportiert und in Excel importiert. Gleichzeitig geben wir die behandelten gemessenen Daten auch Excel ein. Dann können wir das folgende Diagramm zeichnen.

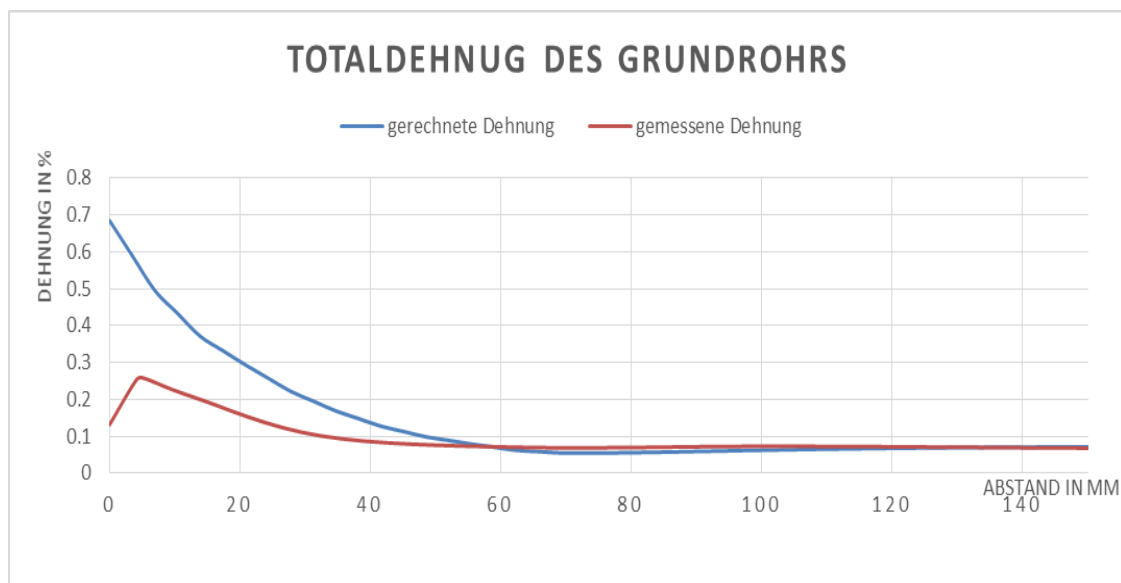


Abb. 4.12 Vergleich der berechneten und gemessenen Totaldehnung vom Grundrohr

Verwenden wir die gleiche Vorgehensweise, kann der Dehnungszustand des Abzweigrohrs auch grafisch dargestellt werden.

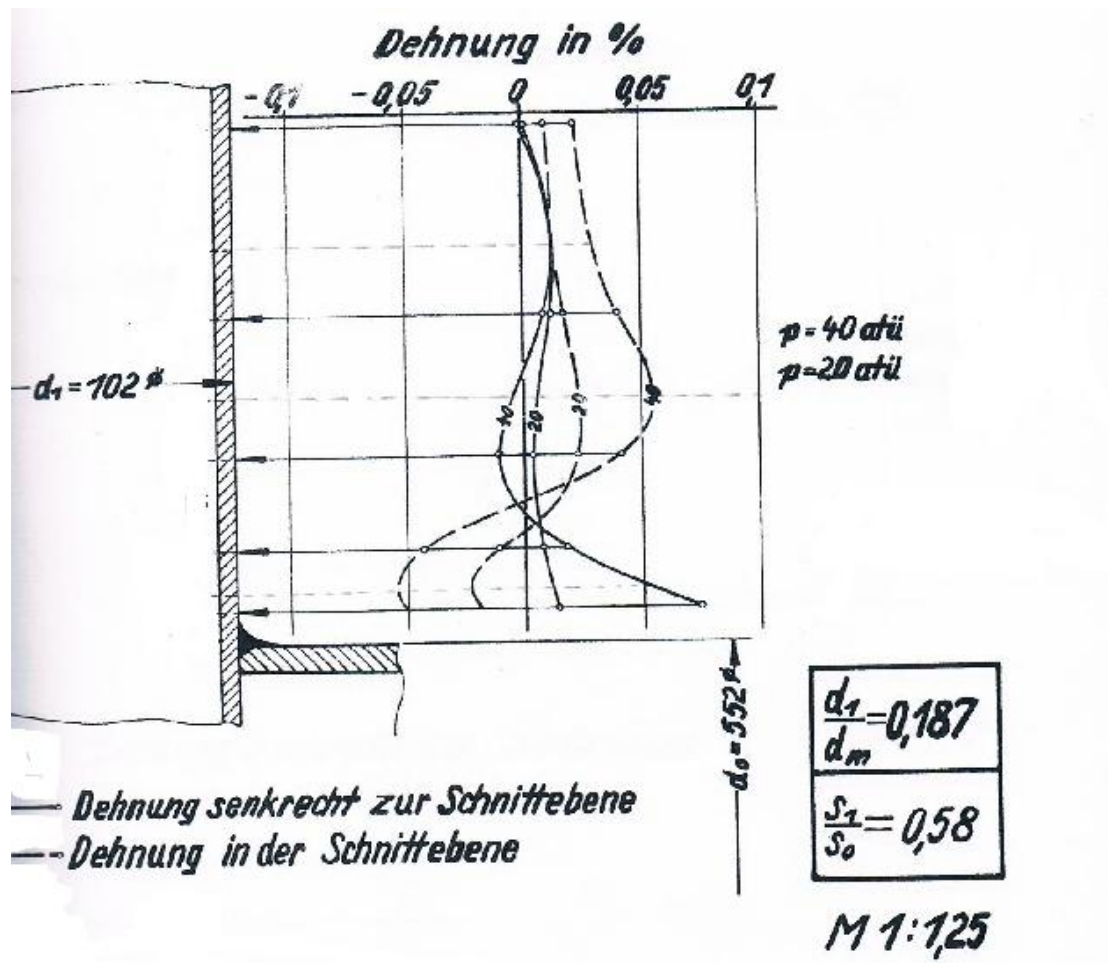


Abb.4.13 technische Mitteilung gegebene Diagramm für Die Dehnung am Abzweigrohr [10]

Tabelle 4.5 Die gemessene Umfangs-, Radial- und Vergleichsdehnung des Abzweigrohrs für Behälter A Messreihe I

Abstand in mm	0	2,5	12,5	39,5	44,5	61	76,25	101,25
ϵ_u in %	0,075	0,05	0,02	-0,01	-0,005	0,0075	0,0125	0
ϵ_i in %	-0,05	-0,055	-0,0425	0,04	0,055	0,04	0,03	0,0225
ϵ_v in %	0,0875	0,0720	0,0458	0,0406	0,0549	0,0412	0,0332	0,0225

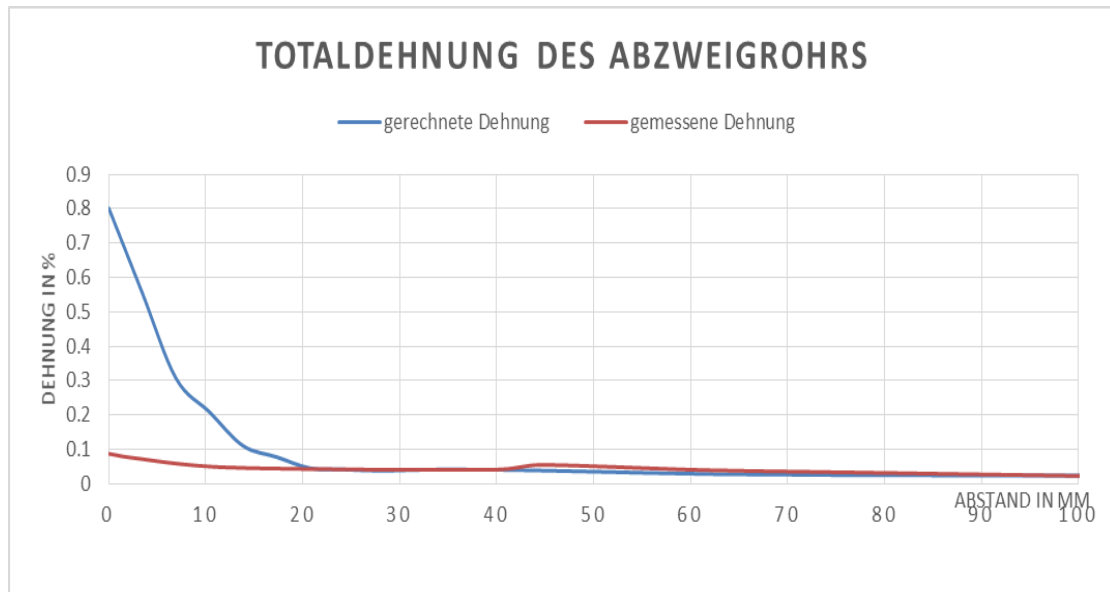


Abb. 4.14 Vergleich der berechneten und gemessenen Totaldehnung vom Abzweigrohr

Die ausgerechnete Dehnung ist aber an der Verbindung viel größer als die gemessene Dehnung. Hierzu möchte ich bemerken, dass die Werte der gemessenen Dehnung, die mit einem Zollstock durch Messen des in technischer Mitteilung gezeichneten Diagramms ermittelt wird, nur die angenäherten Werte sind.

4.4.2 tabellarische Darstellung der Ergebnisse des Dehnungszustands

Alle Dehnungen (gemessene, gerechnete ohne/ mit Randbedingung der Kräfte) werden nach der vorgeschriebenen Methode ausgerechnet und zusammengelegt. Damit können wir einfach die Ergebnisse vergleichen.

		Dehnung des Grundrohrs											
Druck		20atü	40atü	50atü	70atü	75atü	95atü	110atü	120atü	205atü			
gerechnete Daten	Behälter A	Messreihe I	0,0807%	0,6845%									
		Messreihe II	0,0652%	0,9442%									
		Messreihe VII	0,1021%	4,3979%									
	Behälter B	Messreihe I		0,0503%	0,0774%				0,4444%				
		Messreihe VI		0,0706%		0,1424%	0,6424%						
		Messreihe I							0,0731%		0,4662%		
	Behälter C	Messreihe V								0,0583%	0,1612%		
		Messreihe I	0,0660%	0,2584%									
		Messreihe II	0,0692%		0,3330%								
gemessene Daten	Behälter A	Messreihe VII	0,1057%	1,3395%									
		Messreihe I		0,0700%	0,1000%				1,0980%				
		Messreihe VI		0,0800%			0,1397%	0,9334%					
	Behälter B	Messreihe I											
		Messreihe VI							0,0837%		0,5952%		
		Messreihe V								0,0664%	0,2776%		

Tabelle 4.6 Dehnung des Grundrohrs für verschiedene Behälter und Messreihe

		Dehnung des Abzweigrohrs											
Druck		20atü	40atü	50atü	70atü	75atü	95atü	110atü	120atü	205atü			
gerechnete Daten	Behälter A	Messreihe I	0,0892%	0,8012%									
		Messreihe II	0,0637%		0,7992%								
		Messreihe VII		0,1021%	4,6554%								
	Behälter B	Messreihe I			0,0454%	0,0665%			0,3448%				
		Messreihe VI			0,0897%		0,1901%	1,0099%					
		Messreihe I							0,0547%		0,3104%		
	Behälter C	Messreihe V								0,0627%	0,1663%		
		Messreihe I	0,0250%	0,0875%									
		Messreihe II	0,0479%		0,1656%								
gemessene Daten	Behälter A	Messreihe VII		0,0900%	0,8894%								
		Messreihe I			0,1100%	0,1300%			1,2980%				
		Messreihe VI			0,1100%		0,2600%	1,3600%					
	Behälter B	Messreihe I							0,1127%		0,3332%		
		Messreihe I								0,0893%	0,2748%		
		Messreihe V											

Tabelle 4.7 Dehnung des Abzweigrohrs für verschiedene Behälter und Messreihe

Obige Tabelle zeigt die maximale Dehnung für verschiedene Behälter mit unterschiedlichen Randbedingungen.

Hinweis: Die mit kleinen grünen Dreiecken markierten Daten sind so wie andere nicht markierten Daten. Wegen der verschiedenen Darstellung von Komma zwischen Deutsch und Englisch entstehen die kleinen grünen Dreiecke.

4.4.3 Fehleranalyse

Nach Tab 4.6 und 4.7 werden die berechneten Daten mit den gemessenen Daten verglichen. Die berechneten und gemessenen Daten für einige Behälter oder Messreihe (z.B. Behälter A Messreihe I bei 20atü) sind fast gleich. Gleichzeitig steht auch die Gruppe(z.B. Behälter A Messreihe I bei 40atü), die Differenz zwischen berechneten und gemessenen Werten ist sehr groß. Bei der numerischen Berechnung kann man sehr einfach finden, dass die plastische Dehnung die Differenz sehr stark beeinflusst. Je größer ist die plastische Dehnung, desto größer wird auch die Differenz.

Die folgenden Möglichkeiten führen zu den Fehlern zwischen berechneten und gemessenen Werten:

1. Der Werkstoff von T- Stück: Bei Berechnung werden die Werkstoffe von Grundrohr und Abzweigrohr sowie die Schweißnaht als St.35, 29 eingesetzt. Tatsächlich besteht das Grundrohr aus Material Kesselblech H I (P2356H) und die Schweißnaht aus unbekanntem metallischem Material. Die ungenauen Werkstoff- Kennwerte können zum Fehler führen.
2. Die Stelle von Abzweigrohr: Bei Fertigung bzw. Anbauen des T- Stückes weiß man nicht genau, wie viele mm das Abzweigrohr in das Grundrohr eingesteckt wird. Bei Berechnung ist der Abstand nach Abb.4.11 und 4.13 gemessen. Der Wert ist nur ein Nahrungswert.

3. Die verschiedenen Berechnungsansätze: Wie vorher gezeigt, werden bei Berechnung der gemessenen Vergleichsdehnung nur die Umfangsdehnung und Längsdehnung berücksichtigt. Der Berechnungsansatz von ANSYS Workbench 15.0 ist unbekannt, aber die von der Software berechnete Wert beinhaltet Umfangs-, Radial und Längsdehnung.

5. Optimierung des Rohr-T- Stücks

Wegen der Kerbwirkung ist die Spannung des Modells von T- Stücks, das in Abb.3.3 gezeigt hat, immer höher als die zulässige Spannung. Deswegen gebe ich hier einige Optimierungsmethoden, um die maximale Spannung des T- Stück zu verringern.

5.1 Die Verbesserung der Konstruktion

Zur Verringerung der Spannung ist die Verbesserung der Konstruktion eine Methode. Beim Schweißen des Grundrohrs und Abzweigrohrs wird die Wanddicke durch die Schweißnaht verstärkt. In folgender Abbildung wird die Schweißnaht in Form der Rundung (10mm Radius) dargestellt.

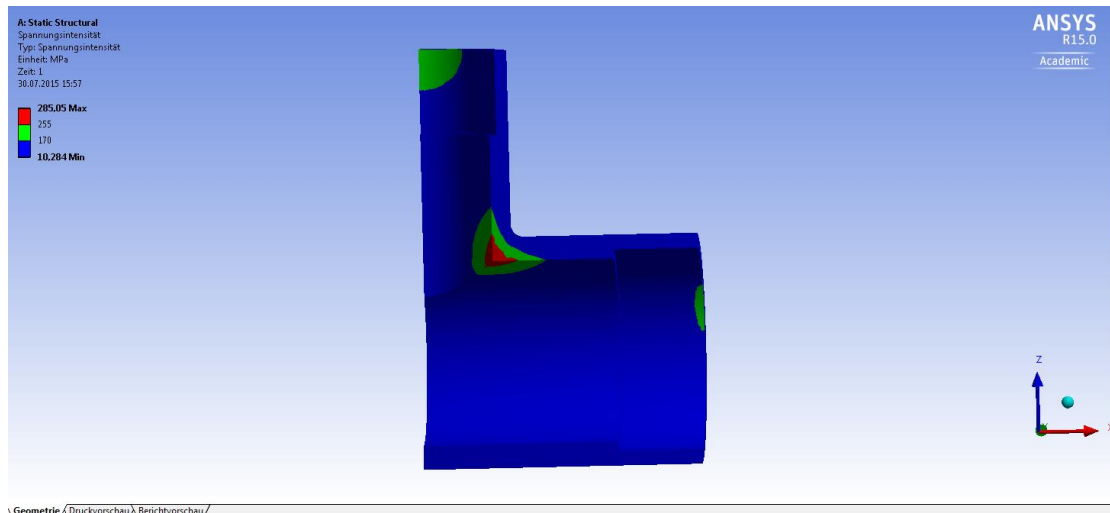


Abb. 5.1 die verbesserte Modell des T-Stücks

Die Kerbwirkung beeinflusst noch die maximale Spannung. Verglichen mit der vorher berechneten Spannung ist die Spannung der verbesserten Konstruktion schon ein bisschen kleiner. Außerdem vergrößert das in Abb.5.1 gezeigte blaue Gebiet sich durch die Schweißnaht. Damit kann die Konstruktion robuster sein und mehr Belastung ertragen.

Natürlich kann man direkt das durchgesteckte T- Stück anwenden. Nach Abb.3.8 wissen wir, dass das durchgesteckte T- Stück die bessere Fähigkeit gegen die Belastung hat.

5.3 Verstärken der Wanddicke

Wenn der Innendruck und die Konstruktion des T- Stücks schon bestimmt werden, wird die Wanddicke zum Verringern der maximalen Spannung verstärkt. Das Modell nach Abb.2.3 wird vereinfacht, wie folgende Abbildung zeigt.

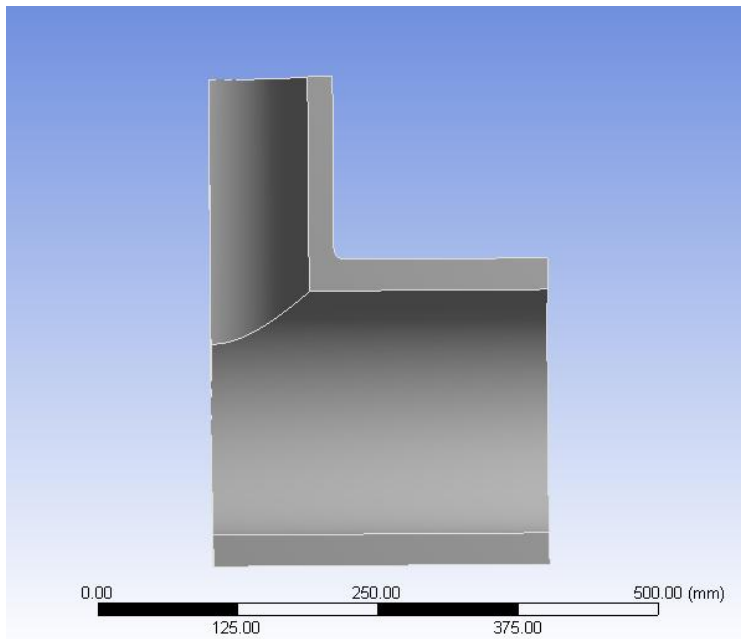


Abb. 5.3 Vereinfachtes Modell

Aus schweißtechnischer Sicht soll die Differenz zwischen Wanddicke von Grundrohr und Abzweigrohr nicht zu groß sein. Bei Verstärken der Wanddicke wird zuerst die Wanddicke von Grund- oder Abzweigrohr konstant bleiben und andere verändern sich. Gleichzeitig soll die Wanddicke natürlich auch die Norm DIN- EN 10216-1 einhalten.

Für Test 1 wird die Wanddicke von Grundrohr nicht geändert und die Wanddicke des Abzweigrohrs immer größer sein. Folgende Tab.5.1 zeigt die Wanddicke des Grundrohrs und Abzweigrohrs für Test 1

Tabelle 5.1. Ausgewählte Wanddicke für Test 1

Wanddicke des Grundrohrs	28mm	28mm	28mm	28mm	28mm	28mm
Wanddicke des Abzweigrohrs	20mm	22,2mm	25mm	28mm	30mm	32mm

Gibt man alle Wanddicke als die Design Point die Software ein, werden die folgenden Abbildungen durch Software ausgezeichnet.

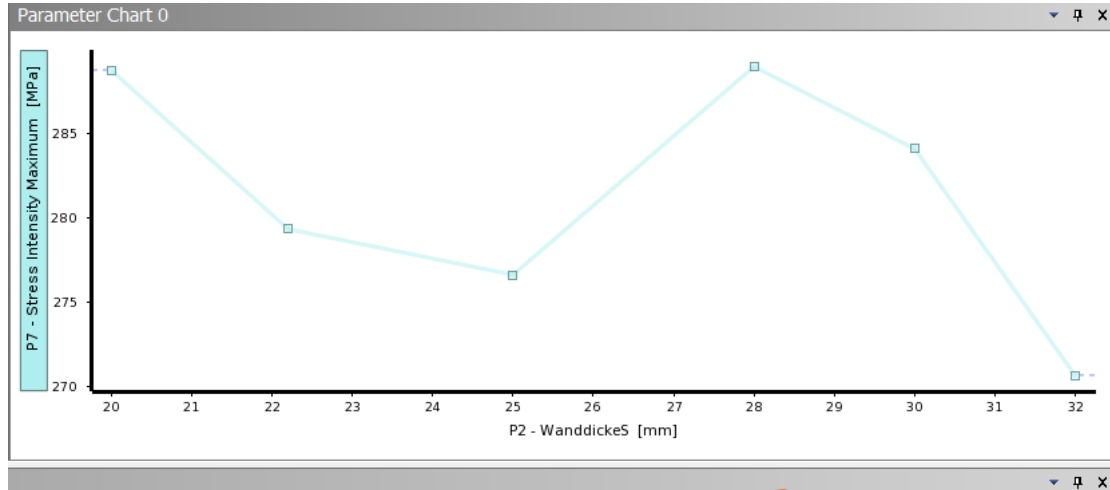


Abb. 5.4 Diagramm der Wanddicke des Abzweigrohrs und maximale Spannung

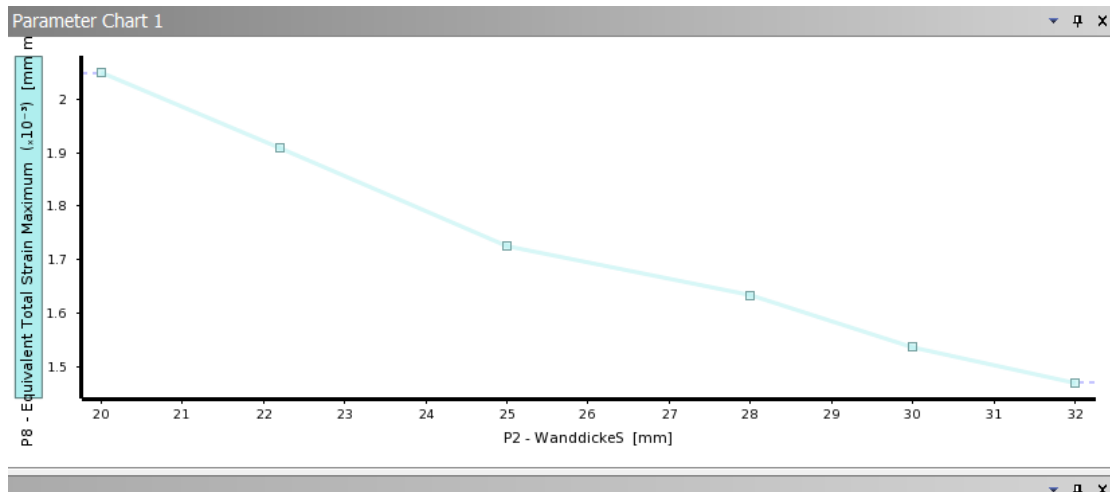


Abb. 5.5 Diagramm der Wanddicke des Abzweigrohrs und maximale Dehnung

Für Test 2 wird die Wanddicke von Abzweigrohr nicht geändert und die Wanddicke des Grundrohrs immer größer sein. Folgende Tab.5.2 stellt die Wanddicke des Grundrohrs und Abzweigrohrs für Test 2 dar.

Tabelle 5.2. ausgewählte Wanddicke für Test 2

Wanddicke des Grundrohrs	22,2mm	25mm	28mm	30mm	32mm	36mm
Wanddicke des Abzweigrohrs	22,2mm	22,2mm	22,2mm	22,2mm	22,2mm	22,2mm

Gibt man alle Wanddicken als die Design Point die Software ein, werden die folgenden Abbildungen durch Software ausgezeichnet.

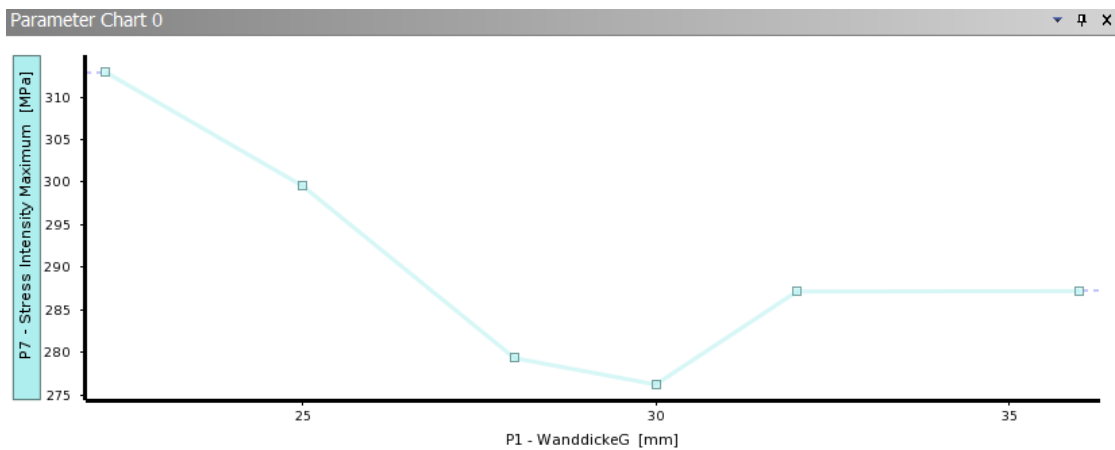


Abb. 5.6 Diagramm der Wanddicke des Grundrohrs und maximale Spannung

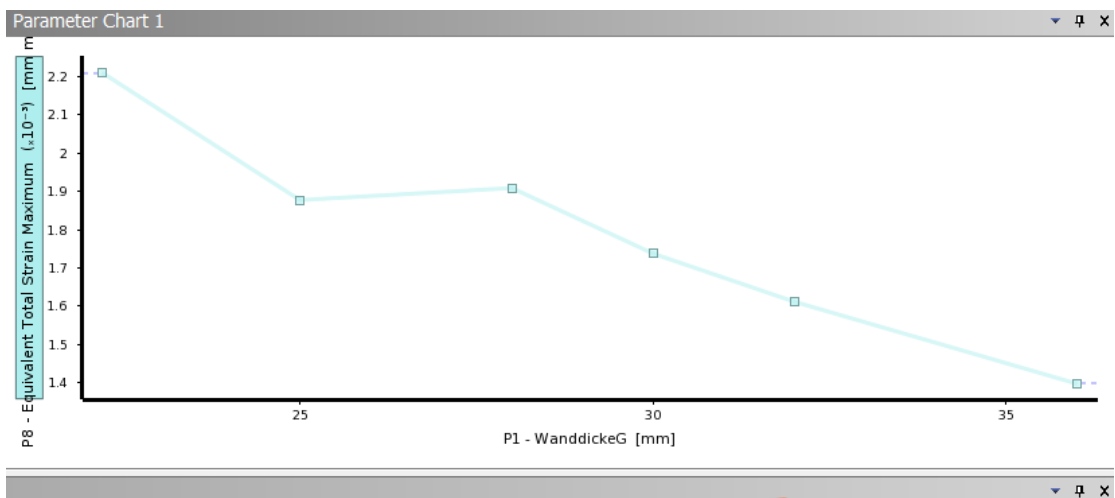


Abb. 5.7 Diagramm der Wanddicke des Grundrohrs und maximale Dehnung

Mit größerer Wanddicke von Abzweigrohr oder Grundrohr wird die maximale Totaldehnung des T- Stücks immer kleiner. Aber maximale Intensitätsspannung ist ganz anders. Die steigende Wanddicke kann auch zu einer größeren maximalen Spannung führen. Deswegen sollte man bei Herstellung ein Rohr- T- Stück die geeignete Wanddicke wählen, um die Wirtschaftlichkeit und die Festigkeit des Produktes gleichzeitig zu berücksichtigen.

Selbständigkeitserklärung zur Bachelorarbeit

Hier versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die unter angegebene Literatur und Hilfsmittel verwendet habe.

Merseburg, 04.08.2015

Moyu Chen

Literaturverzeichnis

[1] [http:// upload.wikimedia.org/ wikipedia/ commons/ a/a6/ T-Stuecke-4052](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a6/T-Stuecke-4052)

[2] Wilfried Franke/ Bernd Platzer, Rohrleitungen Grundlagen- Planung- Montage. 1.Auftralge, Verlag Hanser, ISBN 978-3-446-42450-0

[3] Wilfried Franke/ Bernd Platzer, Rohrleitungen Grundlagen- Planung- Montage. 1.Auftralge, Verlag Hanser, ISBN 978-3-446-42450-0

[4] Wilfried Franke/ Bernd Platzer, Rohrleitungen Grundlagen- Planung- Montage. 1.Auftralge, Verlag Hanser, ISBN 978-3-446-42450-0

[5] Wilfried Franke/ Bernd Platzer, Rohrleitungen Grundlagen- Planung- Montage. 1.Auftralge, Verlag Hanser, ISBN 978-3-446-42450-0

[6] Wilfried Franke/ Bernd Platzer, Rohrleitungen Grundlagen- Planung- Montage. 1.Auftralge, Verlag Hanser, ISBN 978-3-446-42450-0

[7] [http:// www.sbz-online.de/ GENTNER/ 10024](http://www.sbz-online.de/GENTNER/10024)

[8] E.Siebel/ H.Hauser, Technische Mitteilungen aus dem Dampfkessel-, Behälter- und Rohrleitungsbau – Versuche über die Beanspruchung von Zylindern mit eingeschweißten Stutzen

[9] E.Siebel/ H.Hauser, Technische Mitteilungen aus dem Dampfkessel-, Behälter- und Rohrleitungsbau – Versuche über die Beanspruchung von Zylindern mit eingeschweißten Stutzen

[10] E.Siebel/ H.Hauser, Technische Mitteilungen aus dem Dampfkessel-, Behälter- und Rohrleitungsbau – Versuche über die Beanspruchung von Zylindern mit eingeschweißten Stutzen

Formelzeichenverzeichnis

R_{eH} bzw. K	in N/mm^2	Streckgrenze
R_m	in N/mm^2	Bruchfestigkeit
s_{ord}	in mm	Bestell- Wanddicke
σ_{zul}	in N/mm^2	zulässige Spannung
d_a	in mm	Außendurchmesser
s_{erf}	in mm	erforderliche Wanddicke
T_{max}	in N/mm^2	maximale Schubspannung
V_N		Schweißnahtwertigkeit
C_0, C_1, C_2, ϵ	in mm	Zuschläge für Rohrwandung
x	in %	Prozentsatz
s_{act}	in mm	aktuelle Wanddicke
v		Verschwächungsbeiwert
F	in N	Kraft
p	in Pa	Druck

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1. Hauptmenü des Projektes der Software ANSYS in Version 15.0	2
Abb. 2.1 Verschiedene T- Stücke	3
Abb. 2.1.1 aufgesetztes, eingestecktes und durchgestecktes T-Stück	4
Abb. 2.2 Schematische Darstellung der Wanddickenzuschläge	8
Abb. 2.3 Entwurfsskizze des T- Stücks für dieses Beispiel	14
Abb. 3.1 Berechnung des Tangentenmoduls	17
Abb. 3.2 eingegebene Material-Kennwerte	17
Abb. 3.3 Geometrie	17
Abb. 3.4 Halterung von Rohrleitung	18
Abb. 3.5 Randbedienungen des Modells	20
Abb. 3.6 Vernetzung des T- Stücks	20
Abb. 3.7 Intensitätsspannungszustand	21
Abb. 3.8 Spannungszustand des eingesteckten, durchgesteckten und aufgesetzten T- Stücks	22
Abb. 3.9 Dehnungszustand	23
Abb. 3.10 Dehnungszustand des eingesteckten, durchgesteckten und aufgesetzten T- Stücks	25
Abb. 4.1 Behälter A	27
Abb. 4.2 Behälter B (Versuchskessel 600 x 15)	28
Abb. 4.3 Behälter C (Versuchskessel 600 x 25)	29
Abb. 4.4 Material- Kennwerte des legierten Stahls	30

Abb. 4.5 eingegebene Material- Kennwerte	31
Abb. 4.6 Modell und Kanten definieren	32
Abb. 4.7 eingegebene Randbedingungen für die Versuche	33
Abb. 4.8 Elastische Dehnung des Grundrohrs für Behälter A Messreihe I	34
Abb. 4.9 Plastische Dehnung des Grundrohrs für Behälter A Messreihe I	34
Abb. 4.10 Totaldehnung des Grundrohrs für Behälter A Messreihe I	35
Abb. 4.11 technische Mitteilung gegebene Diagramm für Die Dehnung am Grundrohr ..	36
Abb. 4.12 Vergleich der berechneten und gemessenen Totaldehnung vom Grundrohr...	37
Abb.4.13 technische Mitteilung gegebene Diagramm für Die Dehnung am Abzweigrohr.	38
Abb. 4.14 Vergleich der berechneten und gemessenen Totaldehnung vom Abzweigrohr	39
Abb. 5.1 die verbesserte Modell des T-Stücks	44
Abb. 5.3 Vereinfachtes Modell	45
Abb. 5.4 Diagramm der Wanddicke des Abzweigrohrs und maximale Spannung	46
Abb. 5.5 Diagramm der Wanddicke des Abzweigrohrs und maximale Dehnung	46
Abb. 5.6 Diagramm der Wanddicke des Grundrohrs und maximale Spannung	47
Abb. 5.7 Diagramm der Wanddicke des Grundrohrs und maximale Dehnung	47

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1 Festigkeitskennwerte für P265TR2 bei Raumtemperatur	5
Tab. 2.2 Grenzmaße für Außendurchmesser d_a und Wanddicke s_{ord}	8
Tab. 4.1 Messreihe für Behälter A	27
Tab. 4.2 Messreihe für Behälter B	28
Tab. 4.3 Messreihe für Behälter C	29
Tab 4.4 Die gemessene Umfangs-, Radial- und Vergleichsdehnung des Grundrohrs für Behälter A Messreihe I	37
Tab 4.5 Die gemessene Umfangs-, Radial- und Vergleichsdehnung des Abzweigrohrs für Behälter A Messreihe I	38
Tab. 4.6 Dehnung des Grundrohrs für verschiedene Behälter und Messreihe	40
Tab. 4.7 Dehnung des Abzweigrohrs für verschiedene Behälter und Messreihe	41
Tab. 5.1. Ausgewählte Wanddicke für Test 1	45
Tab. 5.2. ausgewählte Wanddicke für Test 2	47