

Diplomarbeit

Rohrstatische Betrachtung von Doppelrohrsystemen

vorgelegt am: 14.08.2024

von: Philipp Forner
09350 Lichtenstein
Schulstraße 4B

Studiengang: Versorgungs- und Umwelttechnik

Studienrichtung: Thermische Energiesysteme

Seminargruppe: TE21-1

Matrikelnummer: 4004390

Praxispartner: CPG Planungsgesellschaft mbH
09113 C
Borssenanger 10

Gutachter: Dipl. -Ing. Uwe-Jens Klausung
Dipl. -Ing. Michael Hüffner

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis (wenn nicht verwendet löschen)	IV
Tabellenverzeichnis (wenn nicht verwendet löschen)	VI
Formelverzeichnis (wenn nicht verwendet löschen)	VII
1 Vorwort	1
2 Grundlagen Doppelrohrsysteme	2
2.1 Aufbau	2
2.1.1 Medienrohr	2
2.1.2 Mantelrohr	3
2.1.3 Gleitkufe	3
2.2 Funktion	3
2.2.1 Doppelrohrsystem als Heizleitung	3
2.2.2 Doppelrohrsysteme als Leckageschutz und –überwachung	5
2.2.3 Doppelrohrsysteme als Dämmung	8
2.3 Materialien	8
3 Rohrstatische Betrachtung	10
3.1 Wanddickenberechnung	10
3.2 Ausdehnung	14
3.3 Kollisionsbetrachtung	21
3.4 Lagerung	30
3.5 Dehnungskompensation	32
3.5.1 L-Dehner	33
3.5.2 Z-Dehner	33
3.5.3 U-Dehner	34
4 Beispielsystem	36
4.1 Systembeschreibung	36
4.1.1 Betriebsparameter	36
4.1.2 Leitungsverlauf	37
4.2 Materialauswahl und Wanddickenberechnung	38
4.3 Stützweiten	41
4.4 Gleitkufen Auslegung	41
4.5 Kollisionsberechnungen	41
4.6 Konzept der Dehnungskompensation	42
4.7 Auslegung der Dehnschenkel und Lagerpositionen	42
4.8 Berechnung des Überwachungsraumes und Auslegung der Überwachungsstellen	47
4.9 Eingabe des Beispielsystems in ROHR2	47
5 Fazit	55

Quellenverzeichnis	56
Anlagenverzeichnis	57

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Modell eines Doppelrohrsystems mit Medienrohr(Hellblau), Mantelrohr(Blau) und Gleitkufe(Grau)	2
Abbildung 2	Ausdehnungsverhalten eines Doppelrohrsystems bei unterschiedlichen Anfahrprozessen	4
Abbildung 3	Bemaßung des Überwachungsraumes	7
Abbildung 4	Bemaßung des unversteiften Rohrs bei Verwendung von Versteifungsscheiben	11
Abbildung 5	geometrische Bemaßung der Doppelrohrkonstruktion	19
Abbildung 6	Kollisionsbetrachtung eines falsch ausgelegten U-Dehners.....	21
Abbildung 7	Kollisionsbetrachtung eines korrekt ausgelegten U-Dehners mit angepassten Mantelrohrverlauf.....	22
Abbildung 8	Kollisionsbetrachtung eines korrekt ausgelegten U-Dehners mit aufgeweitetem Mantelrohr.....	22
Abbildung 9	Kollisionsbetrachtung und Bemaßung eines Rohrbogens.....	23
Abbildung 10	Kollisionsbetrachtung und Bemaßung eines T-Stücks	25
Abbildung 11	Verformungsbetrachtung einer Doppelrohrreduzierung bei Festpunkt an der kleineren Nennweite.....	27
Abbildung 12	Bemaßung der Verformungsbetrachtung einer Doppelrohrreduzierung bei Festpunkt an der kleineren Nennweite..	27
Abbildung 13	Kollisionsbetrachtung und Bemaßung einer Doppelrohrreduzierung bei Festpunkt an der größeren Nennweite	28
Abbildung 14	Bemaßung der Geometrie einer Doppelmantelrohrreduzierung.....	29
Abbildung 15	Darstellung einer Gleitkufe mit Funktion als geführtes Gleitlager.....	30
Abbildung 16	Darstellung einer Gleitkufe mit Funktion als ungeführtes Gleitlager.	31
Abbildung 17	3/6 Festpunkt eines Doppelrohrsystem	31
Abbildung 18	6/6 Festpunkt eines Doppelrohrsystems	32
Abbildung 19	Schenkellängen und Lagerabstand eines L-Dehners.....	33
Abbildung 20	Schenkellängen und Lagerabstände eines Z-Dehners	33
Abbildung 21	Schenkellängen und Lagerabstand eines U-Dehners	34
Abbildung 22	Leitungsverlauf des Beispielsystems.....	38
Abbildung 23	Konzept zur Kompensation der Längendehnung des beispielsystems	42
Abbildung 24	Geometrie des maximal möglichen U-Dehners.....	44
Abbildung 25	Projekteinstellungsfeld ROHR2.....	48
Abbildung 26	Symbol zum Eingabefeld für Mantelrohrleitungen in ROHR2.....	48
Abbildung 27	Eingabefeld der Medienrohrdaten in ROHR2.....	49
Abbildung 28	Eingabefeld der Mantelrohrdaten in ROHR2.....	49

Abbildung 29	Eingabe Mantelrohrisolation in ROHR2.....	50
Abbildung 30	Eingabe Rohrbogendaten des Mantelrohrs in ROHR2.....	50
Abbildung 31	Eingabe Rohrbogendaten des Medienrohrs in ROHR2.....	51
Abbildung 32	Betriebsdaten Primärmedium.....	51
Abbildung 33	Betriebsdaten Ringraum.....	52
Abbildung 34	Zuweisungseingabe der Betriebsdaten für Mantelrohrleitungen	52
Abbildung 35	Eingabefeld Rohrkopplung in ROHR2.....	53
Abbildung 36	Eingabe der Reibwerte und Lagerspiele der Rohrkopplung in ROHR2	53

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Betriebsdaten Beispielsystem	37
Tabelle 2	Materialspezifische Werte für P235GH	39

Formelverzeichnis

Formel 1	Überwachtes Volumen	7
Formel 2	Überwachtes Volumen	7
Formel 3	Überwachte Abschnittslänge	7
Formel 4	Medienrohr Wanddicke innendruck-belastet	10
Formel 5	Medienrohr Wanddicke innendruckbelastet	10
Formel 6	Mantelrohr Wanddicke innendruckbelastet	11
Formel 7	Mantelrohr Wanddicke innendruck-belastet	11
Formel 8	Längenverhältnis	12
Formel 9	Mittlerer Rohrradius	12
Formel 10	Mittlere elastische Umfangsdehnung bei Versagen	12
Formel 11	Beuldruck	12
Formel 12	Fließgrendruck	12
Formel 13	Elastizitätsgrenze	13
Formel 14	Elastizitätsgrenze	13
Formel 15	Druckvergleich	13
Formel 16	kritischer Beuldruck	14
Formel 17	zulässiger Beuldruck	14
Formel 18	Wanddicke außendruckbelastet	14
Formel 19	Mindestbestellwanddicke	14
Formel 20	thermische Längendehnung	15
Formel 21	elastische Längendehnung	15
Formel 22	Axialspannung	15
Formel 23	kombinierte Längendehnung	15
Formel 24	kombinierte Längendehnung	15
Formel 25	thermische Wanddickendehnung	16
Formel 26	elastische Wanddickendehnung	16
Formel 27	Axialspannung	16
Formel 28	kombinierte Wanddickendehnung	16
Formel 29	kombinierte Wanddickendehnung	16
Formel 30	mittlerer Rohrumfang	17
Formel 31	thermische Umfangsdehnung	17
Formel 32	elastische Umfangsdehnung	17
Formel 33	Tangentialspannung	17
Formel 34	kombinierte Umfangsdehnung	17
Formel 35	kombinierte Umfangsdehnung	17
Formel 36	Außendurchmesser	17
Formel 37	maximaler Außendurchmesser	18

Formel 38	maximaler Außendurchmesser	18
Formel 39	maximaler Außendurchmesser	18
Formel 40	Ausdehnung des Außendurchmessers	18
Formel 41	Ausdehnung des Außendurchmessers	18
Formel 42	Gleitkufenausdehnung	19
Formel 43	Gesamtdurchmesser der Medienrohrkonstruktion	20
Formel 44	Gesamtdurchmesser der Medienrohrkonstruktion	20
Formel 45	Gleitkufenausdehnung	20
Formel 46	Bauhöhe der Gleitkufen.....	20
Formel 47	Bauhöhe der Gleitkufen.....	21
Formel 48	Zulässige Längendehnung	23
Formel 49	Zulässige Längendehnung	24
Formel 50	Zulässiger Festpunktabstand	24
Formel 51	Zulässiger Festpunktabstand	24
Formel 52	Mindestinnendurchmesser des Mantelrohrs.....	24
Formel 53	Mindestinnendurchmesser des Mantelrohrs.....	24
Formel 54	Abstand Hauptleitungsfestpunkt bis Abzweig.....	25
Formel 55	Abstand Abzweigsfestpunkt bis Hauptleitung.....	25
Formel 56	Innendurchmesser des Mantelrohrs in der Hauptleitung	26
Formel 57	Innendurchmesser des Mantelrohrs im Abzweig	26
Formel 58	Abstand Hauptleitungsfestpunkt bis Abzweig.....	26
Formel 59	Abstand Abzweigsfestpunkt bis Hauptleitung.....	26
Formel 60	Innendurchmesser des Mantelrohrs in der Hauptleitung	26
Formel 61	Innendurchmesser des Mantelrohrs im Abzweig	26
Formel 62	Kollisionsstreckenbedingung	27
Formel 63	Kollisionsstrecke	28
Formel 64	Neigungswinkel Medienrohrreduzierung	28
Formel 65	Neigungswinkel Mantelrohrreduzierung	29
Formel 66	Kollisionsstreckenberechnung.....	29
Formel 67	Kollisionsstreckenberechnung.....	29
Formel 68	Festpunktabstand.....	30
Formel 69	Festpunktabstand.....	30
Formel 70	Neigungswinkel Medienrohrreduzierung	30
Formel 71	Vereinfachter Elastizitätsnachweis	32
Formel 72	Leitungslänge L-Dehner	33
Formel 73	Lagerabstand L-Dehner	33
Formel 74	Schenkellängen L-Dehner.....	33
Formel 75	Lagerabstand Z-Dehner	34
Formel 76	Vereinfachter Elastizitätsnachweis für Z-Dehner.....	34
Formel 77	Lagerabstand Z-Dehner	34

Formel 78	Leitungslänge Z-Dehner.....	34
Formel 79	Schenkellängen Z-Dehner.....	34
Formel 80	Maximale Aufnehmbare Längendehnung.....	35
Formel 81	Luftdichte.....	37

1 Vorwort

In Anbetracht der immer strenger werdenden Regeln in Bezug auf den Umweltschutz ist es wichtiger denn je, umweltgefährdende Stoffe daran zu hindern, in die Umwelt auszutreten. Allerdings kann nicht einfach auf alle diese Stoffe verzichtet werden, da Rohstoffe wie Öle, Treibstoffe und andere Chemikalien wichtige Grundsteine unserer Gesellschaft sind. Daher ist die beste Lösung, alles daran zu setzen, Leckagen dieser umweltgefährdenden Stoffe zu vermeiden und frühzeitig zu erkennen. Für dieses Problem bieten Doppelrohrsysteme eine Praktische und ökonomische Lösung, bei der ein zweites Rohr um das ursprüngliche Medienrohr verlegt wird. Was allerdings ein simples Konzept ist, stellt in der Realität allerdings ein komplexes System dar, in dem zwei voneinander abhängige Rohre unterschiedlichen Drücken und Temperaturen ausgesetzt sind. Unter Umständen kann das unterschiedliche Verhalten der beiden Rohre zur Beschädigung des Systems führen. Daher muss das System unter Berücksichtigung dieser unterschiedlichen Verhaltensweisen der Rohre und deren Einfluss aufeinander betrachtet werden.

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist es, einen groben Überblick über den Aufbau, die Funktion und die möglichen Anwendungsbereiche von Doppelrohrsystemen zu erhalten, und eine Grundlage über das rohrstatische Auslegen von Doppelrohrsystemen zu geben.

Dazu stellt diese Arbeit das Doppelrohrsystem in ihrem Aufbau und ihrer Funktion vor und geht auf die verschiedenen Verwendungszwecke und ihre Besonderheiten ein.

Danach werden die einzelnen Schritte beschrieben, mit denen sich ein Doppelrohrsystem unter rohrstatischen Aspekten optimal auslegen lässt. Diese Schritte beinhalten die Dimensionierung der Rohre und der Gleitkufen, die Berechnung der Dehnschenkel, sowie die Auswahl und Positionierung der Lager. Des Weiteren befasst sich diese Arbeit mit der Eingabe aller relevanten Daten in das Rohrstatik Programm ROHR2 mit dem Ziel, ein vollständig berechenbares System eingeben zu können.

2 Grundlagen Doppelrohrsysteme

Doppelrohrsysteme, auch als Rohr-in-Rohr-Systeme bezeichnet, sind eine spezielle Form der Verlegung, in der ein kleineres Rohr in ein größeres Rohr eingeführt wird. Dadurch können mehrere Medien direkt nebeneinander fließen, ohne dass sie sich vermischen.

2.1 Aufbau

Ein konventionelles Doppelrohrsystem besteht aus zwei Rohren. Einem inneren Medienrohr (Hellblau), und einem äußeren Mantelrohr (Blau). Die beiden Rohre können aus unterschiedlichen Materialien bestehen, unterschiedliche Nenndurchmesser haben und unterschiedliche Wandstärken aufweisen, je nach Funktion des jeweiligen Rohres. Damit das Medienrohr nicht mit dem Mantelrohr kollidiert, werden Gleitkufen (grau) eingesetzt, welche das Medienrohr in der Rohrachse fixieren, allerdings weiter axiale Bewegung zulassen.

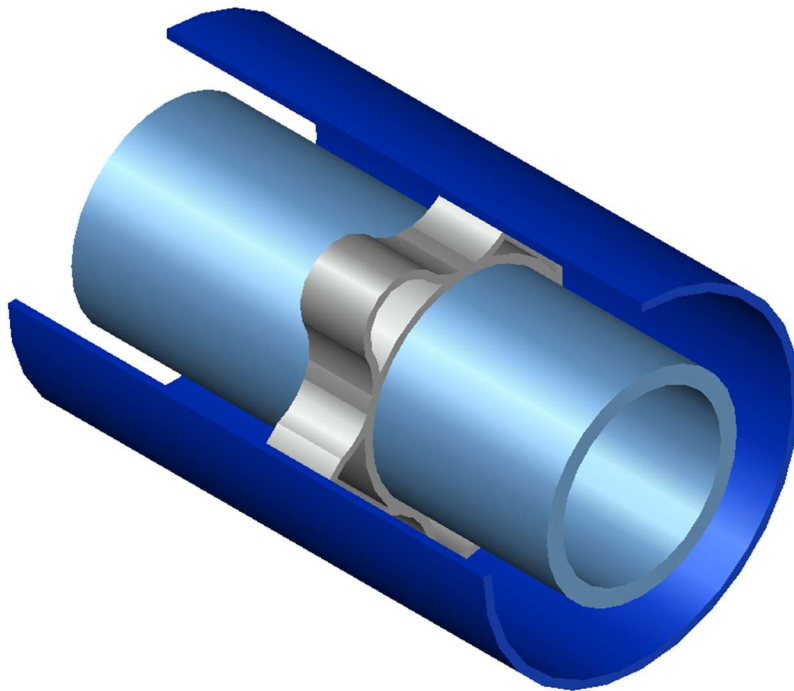


Abbildung 1 Modell eines Doppelrohrsystems mit Medienrohr(Hellblau), Mantelrohr(Blau) und Gleitkufe(Grau)

2.1.1 Medienrohr

Das Medienrohr ist das innere der beiden Rohre eines Doppelrohrsystems und dient dem Transport des Primärmediums. Doppelrohrleitungen verlaufen selten über den gesamten Leitungsverlauf einer Anlage, wobei das Medienrohr an die Hauptleitung der Anlage anschließt.

2.1.2 Mantelrohr

Das Mantelrohr wird um das Medienrohr herum verlegt. Es dient als zweite Barriere zwischen dem Medienrohr und der Umwelt. Zudem entsteht durch den Abstand zwischen den zwei Rohren ein weiterer Bereich, der sogenannte Ringraum. Dieser kann genutzt werden, um ein weiteres Sekundärmedium durch das System fließen zu lassen, oder um vakuumiert als Isolierung des Primärmediums zu dienen.

2.1.3 Gleitkufe

Die Gleitkufe selber wird möglichst klein gefertigt, um die Wärmebrücke zwischen Medien- und Mantelrohr zu minimieren, wobei sie den Spannungen, welche durch mögliche Verformungen des Medienrohres entstehen, standhalten müssen. Sie wird an dem Medienrohr in regelmäßigen Abständen angebracht um Durchbiegen innerhalb des Mantelrohres zu verhindern. Gleitkufen können mit Rollen ausgestattet sein, um die Reibung bei axialer Bewegung des Medienrohres möglichst klein zu halten. Dabei ist es wichtig, dass zwischen den Gleitkufen und dem Mantelrohr noch Platz ist, um Bewegung zu ermöglichen

2.2 Funktion

Dieser spezielle Aufbau, gibt dem Doppelrohrsystem mehrere Eigenschaften, welche auf unterschiedliche Weisen genutzt werden.

Das Medienrohr trennt zwei Bereiche, durch die verschiedene Medien fließen können. Dabei kommt es zu keiner Stoffübertragung, eine Energieübertragung ist allerdings durch die Wand des Medienrohres möglich. Eine besondere Form des Doppelrohrsystems, welche dieses Prinzip maximal ausnutzt, ist der Rohrbündel-Wärmeübertrager, bei dem ein kleines Rohr mehrfach durch einen rohrförmigen Behälter verläuft.

Des Weiteren kann das Mantelrohr als Schutzvorrichtung verwendet werden, welche verhindert, dass bei Leckagen das Medium direkt in die Umwelt gelangt. Zudem kann der Ringraum als Dämmung verwendet werden.

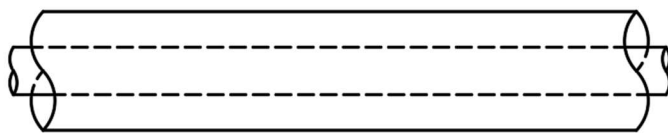
2.2.1 Doppelrohrsystem als Heizleitung

Wenn ein Doppelrohrsystem zum Heizen eines Mediums verwendet wird, werden das zu beheizende Medium innerhalb des Medienrohres und das heizende Medium durch den Ringraum geführt. Damit wird verhindert, dass das zu beheizende Medium Wärme an die Umwelt abgibt.

Anders als bei konventionellen Wärmeübertragern wird der Volumenstrom der einzelnen Medien bei Doppelrohrsystemen nicht auf eine möglichst große Fläche verteilt. Dadurch ist die Effizienz dieser Systeme geringer als bei Wärmeübertragern. Zudem wird die trennende Schicht bei normalen Wärmeübertragern so gering wie möglich ausgelegt, um die Verluste durch die Wärmeleitung zu minimieren. Dadurch sind diese allerdings nicht für hohe Drücke nutzbar. Doppelrohrsysteme hingegen können auch mit höheren Drücken betrieben werden, solange die Wandstärke ausreichend ausgelegt ist. Allerdings kann die Wärme des heizenden Mediums nicht nur zum Heizen des inneren Mediums verwendet werden, sondern auch, um das Mantelrohr zu beheizen. Diese Funktion findet besonders an Gebieten mit Frostgefahr Einsatz, wo das Medium sowie die Leitung gegen Einfrieren geschützt werden müssen.

Zu beachten ist, dass beim Anfahren einer heizenden Doppelrohrleitung das heizende Medium vor dem Hauptmedium fließen muss. Dadurch wird verhindert, dass das Hauptmedium, welches durch vorhergegangene Prozesse oder Einflüsse wärmer als die Montagetemperatur sein kann, nur das Medienrohr erwärmt und eine unausgeglichene Wärmedehnung zwischen den beiden Rohren erzeugt. Nach dem gleichen Konzept muss beim Abfahren des Systems das Hauptmedium zuerst abgestellt werden, um zu verhindern, dass sich das Mantelrohr zuerst abkühlt.

Solange diese Anfahr- und Abfahrgrundlagen befolgt werden, ist eine beheizte Doppelrohrleitung in ihrer thermischen Verformung ähnlich einer normalen Rohrleitung anzusehen.



- Leitung ohne Betrieb im Montagezustand



- Ausdehnungsverhalten bei Anfahren über Medienrohr



- Ausdehnungsverhalten bei Anfahren über Mantelrohr

Abbildung 2 Ausdehnungsverhalten eines Doppelrohrsystems bei unterschiedlichen Anfahrprozessen

Allerdings können dennoch Spannungen entstehen, wenn das Medien- und Mantelrohr aus unterschiedlichen Materialien bestehen, welche unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten besitzen

2.2.2 Doppelrohrsysteme als Leckageschutz und –überwachung

Doppelrohrleitungen können auch genutzt werden, um bei einer Beschädigung des Medienrohres ein Austreten des Mediums in die Umwelt zu verhindern. Dabei dient das Mantelrohr als zweite Barriere zwischen dem Medium und der Umwelt. Da der Ringraum nur zum Auffangen der Leckageverluste des Mediums dient, kann die Querschnittsfläche zwischen Medien und Mantelrohr vergleichsweise klein ausgelegt werden.

Des Weiteren wird der Ringraum genutzt, um Leckagestellen zu orten. Dies kann mittels verschiedener Methoden bewerkstelligt werden, welche sich je nach Nutzung des Systems unterscheiden.

Bei drucklosen Leitungen, wie zum Beispiel Abwasserleitungen, kann innerhalb des Mantelrohres eine Leckageortungsleitung verlegt werden, mit welcher man Leckagestellen in vorher festgelegten Bereichen zuordnen kann. Des Weiteren können auch punktuell Sensoren in das Mantelrohr eingebracht werden. Diese müssen je nach Dichte des Primärmediums entweder an den Hochpunkt oder Tiefpunkt der Leitung angebracht werden, wo sich austretendes Medium sammeln würde.

Die Sensoren selber können verschiedene Werte messen, um mögliches ausgetretenes Medium nachzuweisen. Da es sich bei Drucklosen Leitungen meist um Flüssigkeiten handelt, wird für die Sensoren in der Praxis oft eine Widerstandsmessung, welche die Leitfähigkeit des Mediums misst und erkennt, oder eine pH-Wert Messung verwendet. Auch eine Kombination beider Sensoren ist möglich.

Wenn die Doppelrohrleitung überirdisch verläuft, kann zudem einfach eine visuelle Leckageortung erfolgen, indem Schaugläser in das Mantelrohr eingebaut werden, oder das Mantelrohr selbst aus einem durchsichtigen Material besteht.

Bei druckbehafteten Leitungen hingegen können solche Sensoren oder Leitungen nicht verwendet werden. Stattdessen wird im Ringraum ein Differenzdruck zum Mediendruck hergestellt. Dabei kann entweder ein Über-, oder Unterdruck genutzt werden. Der Vorteil eines Überdrucksystems liegt darin, dass auch bei einem Leckagefall kein Medium austritt, und somit die Umwelt geschützt ist. Allerdings tritt bei einem Überdrucksystem das Medium des Ringraums in das Primärmedium ein. Dies ist bei einem Unterdrucksystem nicht der Fall. Bei der Wahl des Druckdifferenzsystems muss daher entschieden werden was wichtiger ist. Hat der Schutz der Umwelt höchste Priorität, so sollte ein Überdrucksystem verwendet werden. Soll das Primärmedium rein gehalten werden, so bietet sich die Verwendung eines Unterdrucksystems an. Über Druckmessungen kann erkannt werden, wenn sich der Druck innerhalb des Ringraumes an den Druck des Primärmediums angleicht, was auf eine Leckagestelle hinweist.

Bis allerdings die Druckänderung groß genug ist um aufzufallen, kann bereits eine relevante Menge des Mediums ausgetreten sein.

Bei sehr flüchtigen Primärmedien (Kraftstoffe, Lösungsmittel, etc.) wird daher die Leckageüberwachung mittels Gasspülung verwendet.

Bei einer Gasspülung wird ein Überwachungsgas konstant durch den Ringraum geführt, und danach durch einen Gasanalysator geleitet wird. Dadurch können bereits kleinste Mengen an austretendem Primärmedium erkannt werden. Allerdings weist diese Methode keine Möglichkeit zur genauen Ortung der Leckagestelle auf.

Ein Problem bei diesem System ist allerdings, dass sich die Wärme des Medienrohres nicht auf das Mantelrohr überträgt, da das wärmste Medium nicht in dem Ringraum fließt, sondern nur innerhalb des Medienrohres. Wenn ein Vakuum in dem besagten Zwischenraum erzeugt wird, so dient dieses zusätzlich als Isolierung zwischen dem beiden Rohren. Dadurch ist bei warmen Medien zwangsläufig die Wärmedehnung des Medienrohrs höher, als die des Mantelrohrs.

Dies kann im schlimmsten Fall bei einer schlecht geplanten Doppelrohrleitung zu einer Kollision der beiden Rohre miteinander, sowie zu Schäden dieser führen. Um dies zu verhindern müssen die beiden Rohre so gelagert werden, dass sie sich mit minimalen Spannungen verbiegen können und damit eine Kollision oder Schäden verhindern.

Verwendet werden Doppelrohrsysteme zur Leckageüberwachung hauptsächlich beim Transport umweltgefährdender Medien. So werden sie für den Transport von aggressiven Fluiden in der Chemieindustrie oder Abwasser verwendet. Auch werden Doppelrohrsysteme auf diese Weise eingesetzt, um die immer strikter werdenden Wasserschutzrichtlinien einzuhalten. So werden Medien durch Wasserschutzgebiete oft mittels Doppelrohrsystemen transportiert.

Nach DIN 13160 sind Druckmessgeräte nur für einen maximalen Überwachungsraum von 10 m³ zugelassen, allerdings gibt es die Möglichkeit, den Überwachungsraum in mehrere theoretische Abschnitte zu unterteilen, und jeden Abschnitt mit seiner eigenen Druckmessstelle auszustatten. Dabei sollten die Druckmessstellen immer in der Mitte, der vom Überwachungsraum bedeckten Rohrlänge platziert werden.

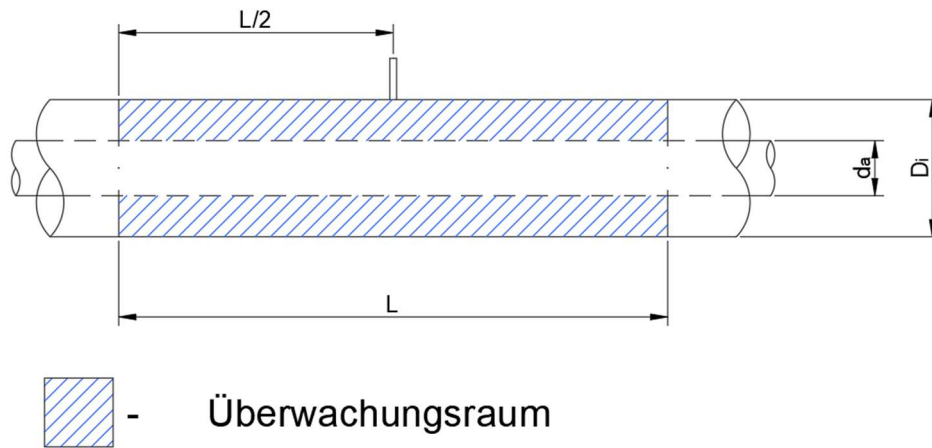


Abbildung 3 Bemaßung des Überwachungsraumes

Der Überwachungsraum lässt sich mittels der Multiplikation der Kreisringfläche des Ringraumes mit der Länge L berechnen.

$$V_{\ddot{U}} = A_{RR} * L_{\ddot{U}R} \quad \text{Formel 1} \quad \text{Überwachtes Volumen}$$

$V_{\ddot{U}}$ überwachtes Volumen [m³]

A_{RR} Grundfläche des Ringraumes [m²]

$L_{\ddot{U}R}$ Länge des überwachten Abschnittes [m]

Mithilfe der Formel für die Kreisringfläche erhält man damit die Gleichung:

$$V_{\ddot{U}} = \pi * \left(\left(\frac{D_i}{2} \right)^2 - \left(\frac{d_a}{2} \right)^2 \right) * L_{\ddot{U}R} \quad \text{Formel 2} \quad \text{Überwachtes Volumen}$$

D_i Innendurchmesser des Mantelrohrs [m]

d_a Außendurchmesser des Medienrohrs [m]

Da es für den Überwachungsraum ein genormtes Maximalvolumen gibt, kann man dieses einsetzen und damit die maximale Rohrlänge des Überwachungsraums berechnen:

$$L_{\ddot{U}R} = \frac{10\text{m}^3}{\pi * \left(\left(\frac{D_i}{2} \right)^2 - \left(\frac{d_a}{2} \right)^2 \right)} \quad \text{Formel 3} \quad \text{Überwachte Abschnittslänge}$$

Die Länge L beschreibt nicht nur den von einer Messstelle überwachbaren Bereich, sondern auch den Abstand der Messstellen voneinander.

2.2.3 Doppelrohrsysteme als Dämmung

In bestimmten Prozessen können die Temperaturen der transportierten Medien stark von der Umgebungstemperatur abweichen. In bestimmten Fällen so stark, dass eine reguläre Dämmung mittels Dämmstoffen keine geeignete Dämmung herstellen kann, oder diese aufgrund der notwendigen Materialdicke unwirtschaftlich wäre.

Eine bessere Alternative in diesen Fällen ist eine Vakuum Dämmung mittels Doppelrohrsystem. Dabei wird innerhalb des Ringraums ein Vakuum erzeugt, welches den Wärmeübergang an die Umwelt minimiert.

Dies wird vor allem bei der Kryotechnik verwendet, bei der Kälteverluste des Mediums kritisch sind, da die minimale Temperatur im Gegensatz zur Maximalen Temperatur von Heizleitungen physikalisch begrenzt ist.

Zu beachten ist, dass bei Doppelrohrsystemen zur Rohrdämmung keine gewöhnlichen Gleitkufen verwendet werden sollten, da diese eine zu große Wärmebrücke darstellen. Stattdessen werden dünne Bleche eingesetzt, welche das Medienrohr innerhalb des Mantelrohrs zentrieren. Diese Bleche sind mit Löchern ausgestattet, um den gesamten Ringraum mittels eines Verdichters vakuumieren zu können.

2.3 Materialien

Doppelrohr-Systeme sind in Ihren Materialeigenschaften sehr flexibel, da Medien- und Mantelrohr nicht aus demselben Material bestehen müssen. Durch den Aufbau, sind beide Rohre vor bestimmten Einflüssen geschützt. So ist zum Beispiel das Medienrohr auch in offener Bauweise vor UV-Strahlung geschützt, während das Mantelrohr keinen direkten Kontakt mit dem Primärmedium hat.

Bei Doppelrohrsystemen zur Leckageüberwachung handelt es sich oft um gefährdende Medien, welche meist bei moderaten Temperaturen verwendet werden. Dadurch eignen sich besonders Kunststoffe, da diese nicht korrodieren.

Am weitesten Verbreitet in der Praxis sind Kunststoffe wie PE-80, PE-100, PE-100 RC, PVC-U und PVC-C.

Allerdings haben Kunststoffe geringe Beständigkeiten in Bezug auf Temperaturen und Drücke. Bei Hohen Temperaturen und Drücken kann Kriechen auftreten. Bei sehr geringen Temperaturen hingegen kommt es zu Kaltversprödung.

Diese Eigenschaften machen Kunststoffe ungeeignet für größere Industrielle Prozessleitungen, in denen Medien mit hohem Druck und oder extremen Temperaturen transportiert werden müssen. In diesen Fällen müssen Leitungen aus Metall eingesetzt werden.

Bei Metallen muss vor allem auf ihre Korrosionsbeständigkeit geachtet werden, da die Primäraufgabe von Doppelrohrleitungen ist, Leckagen zu verhindern. Bei besonders aggressiven Medien eignen sich besonders Edelstähle.

Bei besonders hohen Temperaturen hingegen muss darauf geachtet werden, dass das Metall nicht in einen kunststoffähnlichen Zustand versetzt wird und es zu Kriechen kommt. Um dies zu verhindern sollten in diesen Situationen warmfeste Stähle verwendet werden.

Bei sehr niedrigen Temperaturen besteht die Gefahr, dass das Metall wie bei Kunststoffen verspröden kann. Bei Einsätzen in der Kälte- oder Kryotechnik sind daher kältezähe Stähle von Vorteil.

3 Rohrstatistische Betrachtung

3.1 Wanddickenberechnung

Doppelrohrsysteme sind in ihrer Rohrstatistischen Betrachtung komplexer als normale Rohrleitungen, da sich beide Rohre gegenseitig beeinflussen. Anders als bei normalen Rohren spielt hierbei nicht nur der Innendruck des Primärmediums eine Rolle, sondern auch der Druck innerhalb des Innenraums. Zudem wird für die Dimensionierung des Medienrohres der Innendruck nicht mit dem Luftdruck, sondern mit dem Druck innerhalb des Ringraumes verglichen.

Daraus entsteht nach DIN EN 13480 eine errechnete Mindestwandstärke für das Medienrohr mit folgenden Gleichungen.

Unter der Bedingung $\frac{d_a}{d_i} \leq 1,7$:

$$e = \frac{(p_{cM} - p_{cR}) * d_a}{2 * f * z + (p_{cM} - p_{cR})}$$

Formel 4 Medienrohr Wanddicke
innendruck-belastet

e	errechnete Mindestrohrwanddicke	[m]
p_{cM}	Berechnungsdruck innerhalb des Medienrohres	[Pa]
p_{cR}	Berechnungsdruck innerhalb des Ringraumes	[Pa]
d_a	Außendurchmesser des Medienrohres	[m]
f	Auslegungsspannung	[Pa]
z	Schweißnahtfaktor	[-]

Unter der Bedingung $\frac{d_a}{d_i} \geq 1,7$:

$$e = \frac{d_a}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{f * z - (p_{cM} - p_{cR})}{f * z + (p_{cM} - p_{cR})}} \right)$$

Formel 5 Medienrohr Wanddicke
innendruckbelastet

Die Wandstärke des Mantelrohres wird hingegen nicht von dem Innendruck des Medienrohres beeinflusst, da dieses die Innendruckreaktionskräfte aufnimmt. Daher berechnet sich die errechnete Mindestwanddicke nach den herkömmlichen Gleichungen.

Bei $\frac{d_a}{d_i} \leq 1,7$:

$$e = \frac{p_{CR} * D_a}{2 * f * z + p_{CR}}$$

Formel 6

Mantelrohr Wanddicke
innendruckbelastet

D_a Außendurchmesser des Mantelrohrs

[m]

Bei $\frac{d_a}{d_i} \geq 1,7$:

$$e = \frac{D_a}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{f * z - p_{CR}}{f * z + p_{CR}}} \right)$$

Formel 7

Mantelrohr Wanddicke
innendruck-belastet

Diese Berechnungen sind allerdings nur unter der Bedingung gültig, dass der Druck innerhalb des Medienrohrs größer ist als der Druck innerhalb des Ringraumes, und dieser Druck wiederum größer ist, als der Luftdruck. In der Praxis ist dies nicht der Fall, da zur Leckageortung entweder ein Unterdruck im Ringraum erzeugt wird oder ein Druck, welcher größer als der im Medienrohr ist.

Im ersten Fall ist das Mantelrohr einem höheren Außendruck als Innendruck ausgesetzt ist. Bei dem zweiten Fall ist das Medienrohr einem größeren Außendruck als Innendruck ausgesetzt. In beiden Fällen muss eine Rohrwanddicke der Rohre unter Beachtung des Außendrucks berechnet werden.

Da es sich bei dieser Berechnung um ein iteratives Verfahren handelt, muss zuerst eine Wanddicke e_a angenommen werden. Allerdings besagt die DIN EN 13480-3 auch, dass für eine Wanddickenberechnung unter Außendruck auch eine Berechnung der Wanddicke bei einem theoretisch gleichgroßen Innendruck berechnet werden muss und der größere Wert zu wählen ist.

Daher bietet es sich an, zuerst eine Berechnung der Wanddicke mit einem gleichgroßen Innendruck durchzuführen und die dadurch errechnete Wanddicke als erste angenommene Wandstärke e_a zu verwenden

Um die Rohrwanddicke zu berechnen, muss zuerst der Abstand der Versteifungen bestimmt werden.

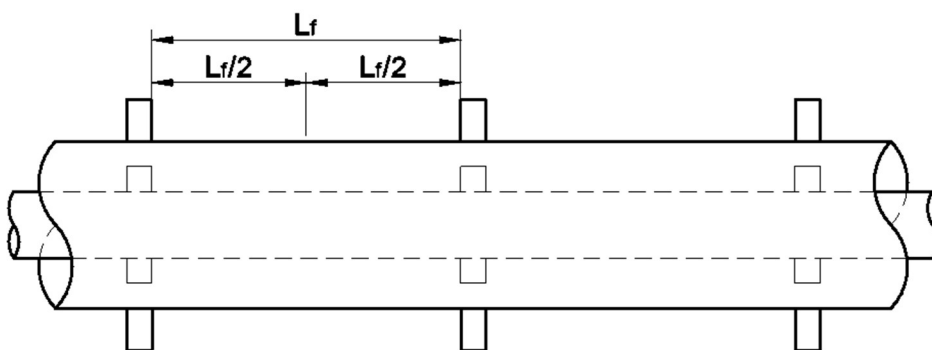


Abbildung 4 Bemaßung des unverstärkten Rohrs bei Verwendung von Versteifungsscheiben

Über das gesamte System muss der größte Abstände L_f betrachtet werden, um die Wanddicke für den ungünstigsten Fall auszulegen.

Mithilfe dieser Längen lässt sich ein Verhältnis Z errechnen, welches dazu dient, die mittlere elastische Dehnung in Umfangsrichtung bei Versagen ε zu ermitteln.

$$Z = \frac{\pi * r_m}{L_f} \quad \text{Formel 8} \quad \text{Längenverhältnis}$$

r_m mittlerer Rohrradius [m]

L_f Länge des freien unverteiften Rohrs zwischen zwei Versteifungsscheiben [m]

$$r_m = \frac{d_a}{2} - \frac{e_a}{2} \quad \text{Formel 9} \quad \text{Mittlerer Rohrradius}$$

e_a Angenommene Wandstärke [m]

$$\varepsilon = \frac{1}{n_{cyl}^2 - 1 + \frac{Z^2}{2}} \left(\frac{1}{\left(\frac{n_{cyl}^2}{Z^2} + 1\right)^2} + \frac{e_a^2}{12r_m^2(1-\nu^2)} (n_{cyl}^2 - 1 + Z^2)^2 \right)$$

Formel 10 Mittlere elastische Umfangsdehnung bei Versagen

ε mittlere elastische Umfangsdehnung bei Versagen [-]

n_{cyl} Anzahl Beulwellen in Umfangsrichtung in unverteiften Abschnitt. ≥ 2 [-]

ν Querkontraktionszahl [-]

Mit diesen werten lässt sich nun der theoretische elastische Beuldruck beim Versagen des Rohres p_m berechnen

$$p_m = \frac{E_t * e_a * \varepsilon}{R_m} \quad \text{Formel 11} \quad \text{Beuldruck}$$

p_m theoretischer elastischer Beuldruck bei Versagen des Rohrs [Pa]

E_t Elastizitätsmodul bei Temperatur t [Pa]

Zusätzlich zu diesem Druck kommt der Druck, bei dem die mittlere Umfangsspannung des Rohres in der Mitte zwischen zwei Gleitkufen die Fließgrenze des Rohrwerkstoffes erreicht p_y

$$p_y = \frac{S * e_a}{R_m} \quad \text{Formel 12} \quad \text{Fließgrenzdruck}$$

p_y Fließgrenzdruck [Pa]

S Elastizitätsgrenze des Rohrs [Pa]

Die Elastizitätsgrenze lässt sich je nach Art des Materials unterschiedlich berechnen

Nicht austenitische Stähle:

$$S = R_{p0,2t} \quad \text{Formel 13} \quad \text{Elastizitätsgrenze}$$

$R_{p0,2t}$ 0,2% Dehngrenze bei Berechnungstemperatur [Pa]

Austenitische Stähle:

$$S = \frac{R_{p0,2t}}{1,25} \quad \text{Formel 14} \quad \text{Elastizitätsgrenze}$$

Wenn beide Drücke p_m und p_y berechnet sind, wird aus ihnen das Verhältnis $\frac{p_m}{p_y}$ gebildet. Innerhalb der DIN EN 13480-3 gibt es die Tabelle 9.3.2-1, in der diese Verhältnisse mit den korrespondierenden Verhältnissen $\frac{p_r}{p_y}$ aufgelistet sind.

Aus diesem Verhältnis und dem Druck p_y lässt sich der berechnete untere Versagensdruck p_r berechnen.

Dieser Druck muss größer sein, als der mit dem Sicherheitsfaktor k multiplizierte Berechnungsdruck p .

$$p_r \geq k * p \quad \text{Formel 15} \quad \text{Druckvergleich}$$

p_r unterer Versagensdruck [Pa]

p Berechnungsdruck des Rohres [Pa]

k Sicherheitsfaktor [-]

Dabei gilt

$$k = 1,5$$

Ausnahmen:

Stahlguss: $k = 1,875$ oder Anwendungen, bei denen k mit Zustimmung aller Beteiligten erhöht wird.

Ist diese Bedingung erfüllt, sind die Rohrwandstärke und der maximale Versteifungsabstand korrekt dimensioniert. Ist diese Bedingung allerdings nicht erfüllt, so muss entweder das betroffene Rohr stärker dimensioniert werden, oder der Abstand der Versteifungen zueinander muss reduziert werden. Es müssen neue Annahmen getroffen werden, und die gesamte Berechnung muss von Neuem durchgeführt werden, bis die Bedingung erfüllt ist. Somit erhält man einen Maximalabstand der Versteifungen sowie die minimalen errechneten Wanddicken für beide Rohre. Das e_a des letzten Durchlaufs der Berechnung wird dabei die wandstärke e des berechneten Rohres.

Es ist allerdings auch möglich, ein Rohr ohne Versteifungen gegen Außendruck auszulegen. Diese Formeln sind zwar nicht normativ festgehalten, jedoch in sich schlüssig und führen zu praktikablen Ergebnissen für die Rohrwanddicke.

Bei den Formeln wird der kritische Beuldruck des Rohres berechnet.

$$p_{a,kr} = \left(\frac{E_t}{4 * (1 - \nu^2)} \right) * \left(\frac{e}{r_m} \right)^3$$

Formel 16 kritischer Beuldruck

$p_{a,kr}$ Kritischer Beuldruck [Pa]

Der zulässige Beuldruck, welcher mit dem Außendruck gleichzustellen ist, berechnet sich über einen Sicherheitsfaktor. Dieser Sicherheitsfaktor wird mit 3 angenommen, sofern keine Absprache mit dem Rohrhersteller oder dem Auftraggeber einen anderen Wert festlegt.

$$p_{a,zul} = \frac{p_{a,kr}}{S}$$

Formel 17 zulässiger Beuldruck

$p_{a,zul}$ Zulässiger Beuldruck [Pa]

S Sicherheitsfaktor [-]

Nach Einsetzen der Formeln ineinander und Umstellen nach der Wanddicke e erhält man somit die Formel:

$$e = \sqrt[3]{\left(\frac{p_{a,zul} * S}{\left(\frac{E}{4 * (1 - \nu^2)} \right)} \right) * r_m}$$

Formel 18 Wanddicke außendruckbelastet

Allerdings müssen dazu noch die Toleranzen dazu berechnet werden.

$$e_{ord} \geq e + C_0 + C_2$$

Formel 19 Mindestbestellwanddicke

$p_{a,zul}$ Mindestbestellwanddicke [m]

e errechnete minimale Rohrwanddicke [m]

C_0 Korrosionszuschlag [m]

C_2 Fertigungstoleranz [m]

Die errechnete Mindestbestellwanddicke ist in der Regel keine runde Zahl, daher wird die nächsthöhere bestellbare Wanddicke des Rohres gewählt. Diese Wanddicken sind in spezifischen Normen und Tabellen festgehalten.

3.2 Ausdehnung

Wie bereits in meiner Arbeit über die Grundlagen der Dehnungskompensation erwähnt, dehnen sich Materialien thermisch und elastisch aus.

Die Längendehnung eines zu betrachtenden Bereiches lässt sich daher aus der Formel für die thermische Längenausdehnung:

$$\Delta L_{Therm} = L * \alpha * \Delta T$$

Formel 20

thermische Längendehnung

ΔL_{Therm} Thermische Längendehnung [m]

L Länge des betrachteten Rohrabschnitts bei Montagetemperatur [m]

α Materialspezifischer Wärmedehnungskoeffizient $\left[\frac{m}{mK}\right]$

ΔT Temperaturunterschied Betriebstemperatur - Montagetemperatur [K]

und der Formel für die elastische Längenausdehnung:

$$\Delta L_{EL} = \frac{\sigma_{Ax} * L}{E}$$

Formel 21

elastische Längendehnung

ΔL_{EL} Elastische Längendehnung [m]

σ_{Ax} Axialspannung innerhalb der Rohrwandung [Pa]

E Materialspezifisches Elastizitätsmodul [Pa]

zusammenrechnen.

Zusammen mit der Formel für die Axiale Spannung des Rohres:

$$\alpha_{Ax} = \frac{p_c * d_i}{4e}$$

Formel 22

Axialspannung

p_c Berechnungsdruck [Pa]

Dabei ist zu bemerken dass die Elastische Längendehnung nur bei innendruckbehafteten Rohren auftritt, da bei außendruckbehafteten Rohren die Längenänderung der thermischen Ausdehnung entgegenwirken würde, was zu kleineren Ausdehnungen führen würde. Aus Sicherheitsgründen wird diese druckbehaftete Längenstauchung vernachlässigt.

Damit ergibt sich bei Innendruckbehafteten Rohren:

$$\Delta L = L * \left(\alpha * \Delta T + \frac{p * (d_a - 2e)}{4 * E * e} \right)$$

Formel 23

kombinierte Längendehnung

ΔL Kombinierte Längendehnung [m]

und bei außendruckbehafteten Rohren:

$$\Delta L = L * \alpha * \Delta T$$

Formel 24

kombinierte Längendehnung

Da in dieser Arbeit nur ein Rohr betrachtet wurde, wurde jede Ausdehnung außer der axialen Längendehnung vernachlässigt. Da der Ausdehnungsraum des Medienrohres allerdings in Form des Innendurchmessers des Mantelrohres begrenzt ist und die Gleitkufen sehr nah an diesen herankommen, können diese Längenänderungen bei Doppelrohrsystemen nicht vernachlässigt werden. Die radiale und tangentielle Dehnung zusammen führen zu einer Vergrößerung des Außendurchmessers des Medienrohres. Zudem dehnt sich die Gleitkufe selbst auch thermisch aus, da sie fest mit dem Medienrohr verbunden ist. Theoretisch geht ein Teil der Wärme auch in das Mantelrohr über, aber um den ungünstigsten Fall zu

betrachten, wird die ohnehin geringe Vergrößerung des Innendurchmessers des Mantelrohres vernachlässigt.

Um die gesamte Ausdehnung des Medienrohrs zu berechnen, muss zuerst die Ausdehnung der Rohrwand selbst betrachtet werden. Dabei bleiben die Gleichungen ähnlich der axialen Ausdehnung, nur dass anstelle eines Rohrabschnittes der Länge L die Rohrwand mit der Wandstärke e betrachtet wird. Der Materialspezifische Längenausdehnungskoeffizient und die thermische Differenz vom Montagezustand bleiben gleich, allerdings wirkt nun nicht die axiale, sondern die radiale Spannung des Innendruckes.

Somit entstehen die Formel für die thermische Wandstärkendenkung:

$$\Delta e_{Therm} = e * \alpha * \Delta T \quad \text{Formel 25} \quad \text{thermische Wanddickendenkung}$$

$$\Delta e_{Therm} \quad \text{Thermische Wanddickendenkung} \quad [m]$$

und die Formel für die elastische Wandstärkendenkung:

$$\Delta e_{El} = \frac{\sigma_{Rad} * e}{E} \quad \text{Formel 26} \quad \text{elastische Wanddickendenkung}$$

$$\Delta e_{El} \quad \text{Elastische Wanddickendenkung} \quad [m]$$

$$\sigma_{Rad} \quad \text{Radialspannung innerhalb der Rohrwandung} \quad [Pa]$$

Dazu kommt die Formel für die radiale Spannung des Rohres, bei der beachtet werden muss, dass ihre Richtung nicht berücksichtigt wird, da der Innendruck die verformende Kraft ist und nicht die Radialspannung:

$$\sigma_{Rad} = -\frac{p}{2} \quad \text{Formel 27} \quad \text{Axialspannung}$$

Daraus ergeben sich die Formel für innendruckbehaftete Rohre:

$$\Delta e = e * \left(\alpha * \Delta T + \frac{p}{2E} \right) \quad \text{Formel 28} \quad \text{kombinierte Wanddickendenkung}$$

$$\Delta e \quad \text{Kombinierte Wanddickendenkung} \quad [m]$$

und für außendruckbehaftete Rohre:

$$\Delta e = e * \alpha * \Delta T \quad \text{Formel 29} \quad \text{kombinierte Wanddickendenkung}$$

Die Tangentiale Längendenkung wirkt entlang des Rohrumfanges, wodurch sich dieser verlängert und einen größeren Rohrdurchmesser herbeiruft. Da der Innen- und Außenumfang des Rohrs unterschiedlich groß ist, wird der mittlere Rohrumfang U_m betrachtet, welcher sich wie folgt berechnet:

$$U_m = \pi * (d_a - e) \quad \text{Formel 30} \quad \text{mittlerer Rohrumfang}$$

$$U_m \quad \text{Mittlerer Rohrumfang} \quad [m]$$

Betrachtet man dessen thermische und elastische Verformungen, so erhält man die:
Gleichung für die thermische Umfangsdehnung:

$$\Delta U_{m; Therm} = \pi * (d_a - e) * \alpha * \Delta T \quad \text{Formel 31} \quad \text{thermische Umfangsdehnung}$$

$$\Delta U_{m; Therm} \quad \text{Thermische Umfangsdehnung} \quad [m]$$

sowie die Gleichung für die elastische Umfangsdehnung:

$$\Delta U_{m; El} = \frac{\pi * (d_a - e) * \sigma_{Tan}}{E} \quad \text{Formel 32} \quad \text{elastische Umfangsdehnung}$$

$$\Delta U_{m; El} \quad \text{Elastische Umfangsdehnung} \quad [m]$$

$$\sigma_{Tan} \quad \text{Tangentialspannung innerhalb der Rohrwandung} \quad [Pa]$$

Zusammen mit der Gleichung für die tangentielle Spannung:

$$\sigma_{Tan} = \frac{p * d_i}{2e} \quad \text{Formel 33} \quad \text{Tangentialspannung}$$

ergibt sich somit eine Gleichung für Innendruckbehaftete Rohre:

$$\Delta U_m = [\pi * (d_a - e)] * \left(\alpha * \Delta T + \frac{p * (d_a - 2e)}{2 * E * e} \right) \quad \text{Formel 34} \quad \text{kombinierte Umfangsdehnung}$$

$$\Delta U_m \quad \text{Kombinierte Umfangsdehnung} \quad [m]$$

und für Außendruckbehaftete Rohre:

$$\Delta U_m = [\pi * (d_a - e)] * \alpha * \Delta T \quad \text{Formel 35} \quad \text{kombinierte Umfangsdehnung}$$

Allerdings ist nur mit diesen Gleichungen nicht genau zu berechnen, wie weit sich der Außendurchmesser des Rohres selbst ausdehnt. Dafür muss zuerst der Einfluss der Wandstärke und des Umfangs rechnerisch bestimmt werden, dazu wird die Gleichung für den mittleren Umfang nach dem Außendurchmesser des Rohres umgestellt:

$$d_a = \frac{U_m}{\pi} + e \quad \text{Formel 36} \quad \text{Außendurchmesser}$$

Auf Grundlage dieser Gleichungen lässt sich ein neuer maximal ausgedehnter Außendurchmesser berechnen:

$$d_{a; neu} = \frac{(U_m + \Delta U_m)}{\pi} + (e + \Delta e) \quad \text{Formel 37} \quad \text{maximaler Außendurchmesser}$$

$d_{a; neu}$ Außendurchmesser des Rohrs bei thermischer und elastischer Ausdehnung [m]

Setzt man nun die Gleichungen für die Ausdehnung von Wandstärke und Umfang ein, so erhält man eine Gleichung für innendruckbeaufschlagte Rohre:

$$d_{a; neu} = \frac{[\pi * (d_a - e)] * \left(\alpha * \Delta T + \frac{p * (d_a - 2e)}{2 * E * e} + 1 \right)}{\pi} + e * \left(\alpha * \Delta T + \frac{p}{2E} + 1 \right)$$

Formel 38 maximaler Außendurchmesser

und eine Gleichung für außendruckbeaufschlagte Rohre.

$$d_{a; neu} = \frac{[\pi * (d_a - e)] * (\alpha * \Delta T + 1)}{\pi} + e * (\alpha * \Delta T + 1)$$

Formel 39 maximaler Außendurchmesser

Um die genaue Ausdehnung des Außendurchmessers zu berechnen, muss von beiden Formeln der ursprüngliche Außendurchmesser abgezogen werden und es ergeben sich die Gleichungen:

$$\Delta d_a = \left(\frac{[\pi * (d_a - e)] * \left(\alpha * \Delta T + \frac{p * (d_a - 2e)}{2 * E * e} + 1 \right)}{\pi} + e * \left(\alpha * \Delta T + \frac{p}{2E} + 1 \right) \right) - d_a$$

Formel 40 Ausdehnung des Außendurchmessers

Δd_a Ausdehnung des Außendurchmessers [m]

für innendruckbeaufschlagte Rohre und

$$\Delta d_a = \left(\frac{[\pi * (d_a - e)] * (\alpha * \Delta T + 1)}{\pi} + e * (\alpha * \Delta T + 1) \right) - d_a$$

Formel 41 Ausdehnung des Außendurchmessers

für außendruckbeaufschlagte Rohre.

Zu dieser Ausdehnung zusätzlich kommt noch die Gleitkufe. Da diese nicht Innendruckbelastet ist, ist nur Ihre thermische Höhenausdehnung zu beachten. Die genaue Ausdehnung ist von der Geometrie der Gleitkufe abhängig. Vereinfacht kann allerdings angenommen werden, dass sich die Höhe linear um den Faktor des Längenausdehnungskoeffizienten des Gleitkufenmaterials und der Temperaturdifferenz ausdehnt:

$$\Delta h = h * \alpha * \Delta T$$

Formel 42

Gleitkufenausdehnung

Δh Höhendehnung der Gleitkufe

[m]

h Bauhöhe der Gleitkufe

[m]

Mittels dieser errechneten Werte lässt sich der Gesamtdurchmesser der Medienrohrkonstruktion bei maximaler Ausdehnung berechnen.

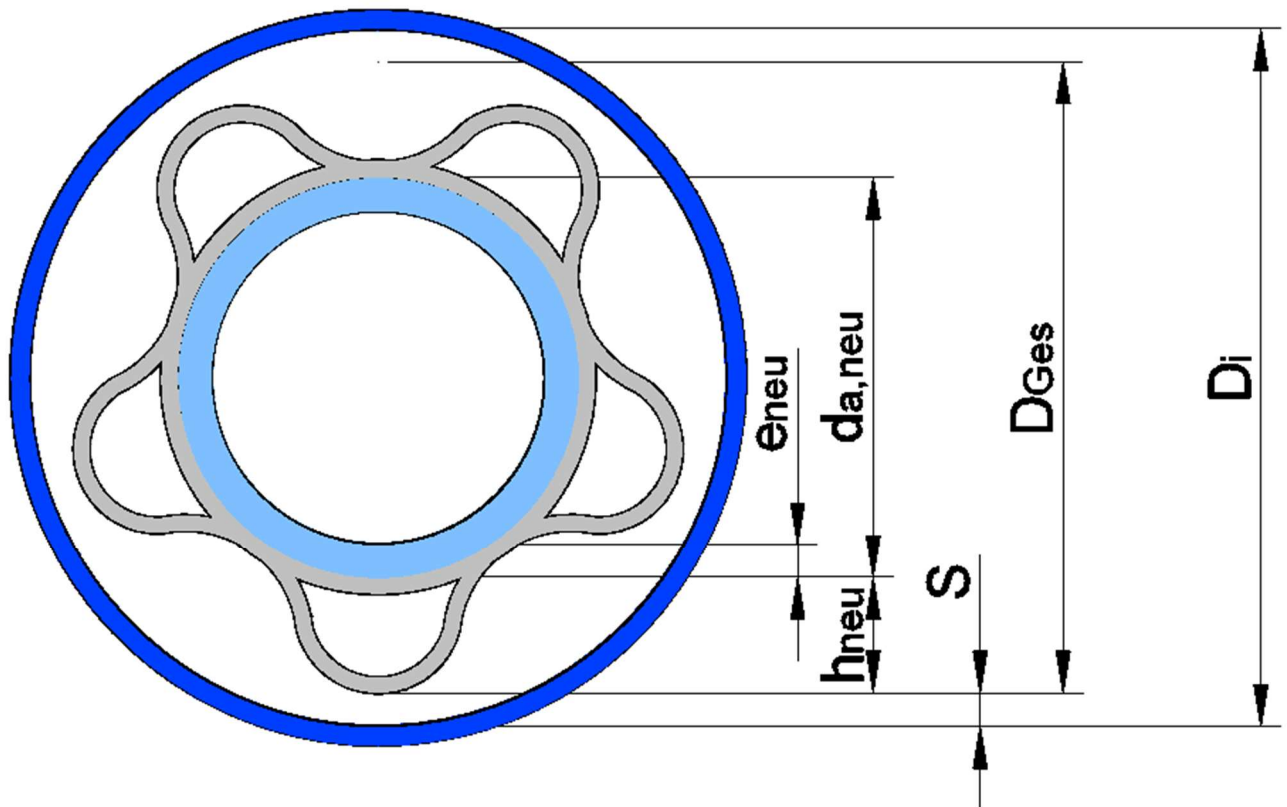


Abbildung 5 geometrische Bemaßung der Doppelrohrkonstruktion

Dabei kommt es durch die unterschiedliche Ausdehnung des Medienrohres erneut zu einer Unterteilung zwischen innendruckbehafteten Rohren:

$$D_{Ges} = \frac{[\pi * (d_a - e)] * \left(\alpha * \Delta T + \frac{p_c * (d_a - 2e)}{2 * E * e} + 1 \right)}{\pi} + e * \left(\alpha * \Delta T + \frac{p}{2E} + 1 \right) + 2 * h * (\alpha_{GK} * \Delta T + 1)$$

Formel 43 Gesamtdurchmesser der Medienrohrkonstruktion

D_{Ges}	Gesamtdurchmesser der Medienrohrkonstruktion	[m]
d_a	Außendurchmesser des Medienrohres	[m]
α	Materialspezifischer Wärmedehnungskoeffizient des Medienrohres	$\left[\frac{m}{mK} \right]$
ΔT	Temperaturunterschied Betriebstemperatur - Montagetemperatur	[K]
e	Wanddicke des Medienrohres	[m]
E	Elastizitätsmodul des Medienrohrmaterials	[Pa]
p_c	Berechnungsdruck (Differenzdruck Medienrohr - Ringraum)	[Pa]
h	Bauhöhe der Gleitkufe	[m]
α_{GK}	Materialspezifischer Wärmedehnungskoeffizient der Gleitkufe	$\left[\frac{m}{mK} \right]$

und außendruckbehafteten Rohren:

$$D_{Ges} = \frac{[\pi * (d_a - e)] * (\alpha * \Delta T + 1)}{\pi} + e * (\alpha * \Delta T + 1) + 2 * h * (\alpha_{GK} * \Delta T + 1)$$

Formel 44 Gesamtdurchmesser der Medienrohrkonstruktion

Dazu kommt noch eine minimale Lücke S , welche sicherstellt, dass sich das Medienrohr immer in axiale Richtung bewegen kann, ohne dabei das Mantelrohr zu beschädigen. Die Summe des Gesamtdurchmessers der Medienrohrkonstruktion und dem Zweifachen Wert der Lücke ergibt den Innendurchmesser des Mantelrohres

$$D_i = D_{min} + 2S$$

Formel 45 Gleitkufenausdehnung

D_i	Innendurchmesser des Mantelrohres	[m]
S	Lücke zwischen Mantelrohr $S \geq 1mm$	[m]

Bei einem gegebenen Innendurchmesser des Mantelrohres kann diese Gleichung auch nach h umgestellt werden, um die maximale Gleitkufenhöhe zu bestimmen:

$$h = \frac{D_i - 2s - \frac{[\pi * (d_a - e)] * \left(\alpha * \Delta T + \frac{p * (d_a - 2e)}{2 * E * e} + 1 \right)}{\pi} - e * \left(\alpha * \Delta T + \frac{p}{2E} + 1 \right)}{2 * (\alpha * \Delta T + 1)}$$

Formel 46 Bauhöhe der Gleitkufen

Bei innendruckbehafteten Rohren oder:

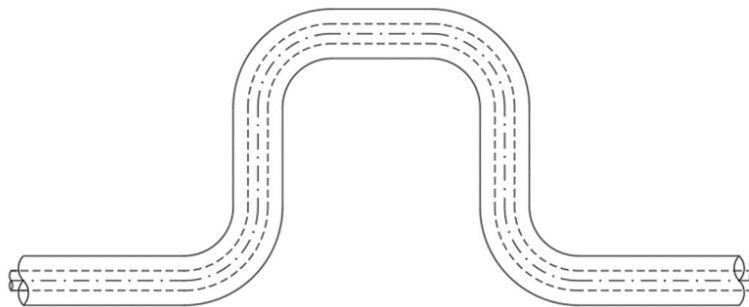
$$h = \frac{D_i - 2s - \frac{[\pi * (d_a - e)] * (\alpha * \Delta T + 1)}{\pi} - e * (\alpha * \Delta T + 1)}{2 * (\alpha * \Delta T + 1)}$$

Formel 47 Bauhöhe der Gleitkufen

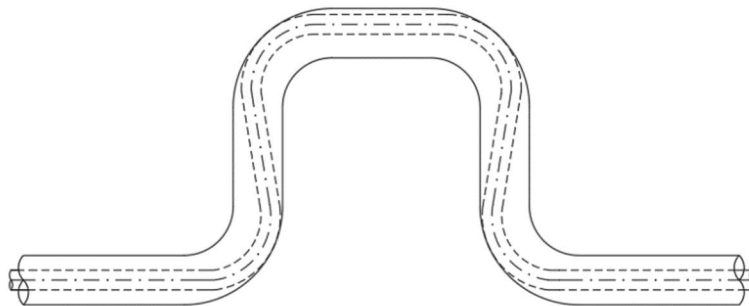
bei außendruckbehafteten Rohren

3.3 Kollisionsbetrachtung

Das größte rohrstatische Problem bei Doppelrohrleitungen ist die Unterschiedliche Ausdehnung der beiden Rohre, welche durch die potenziell unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten, sowie die unterschiedliche thermische Belastung der Rohre durch die Medien entsteht. Diese Verformungen können bei schlechter Planung zu Kollisionen führen, was beide Rohre beschädigen kann.



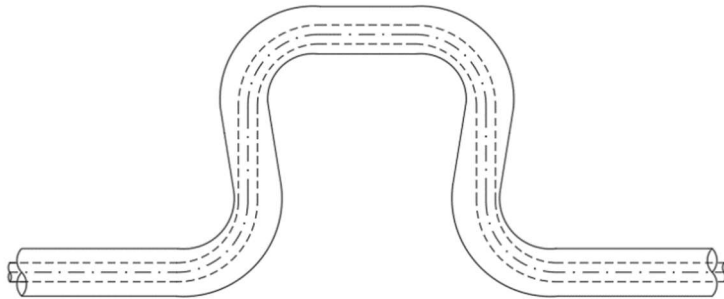
- Doppelrohr U-Dehner ohne Verformung



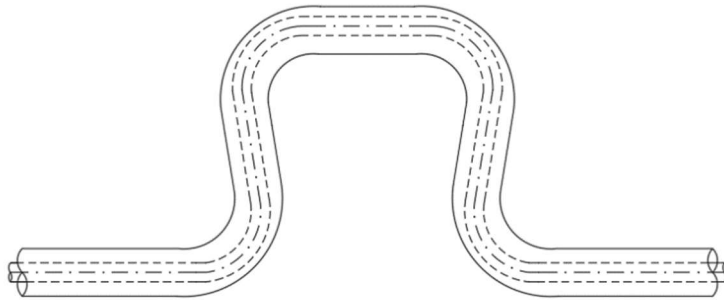
- Doppelrohr U-Dehner mit kritischer Verformung des Medienrohrs und Kollision mit Mantelrohr.

Abbildung 6 Kollisionsbetrachtung eines falsch ausgelegten U-Dehners

Um eine Kollision bei größeren Leitungen zu umgehen, kann der Verlauf des Mantelrohres an die Verformung angepasst werden. Dabei muss beachtet werden, dass das Mantelrohr das Medienrohr weder im thermisch belasteten, noch im thermisch unbelasteten Zustand berühren darf. Dies bedarf allerdings meist Sonderbauteilen, welche die Kosten stark erhöhen können.



- Angepasster Doppelrohr U-Dehner ohne Verformung des Medienrohres

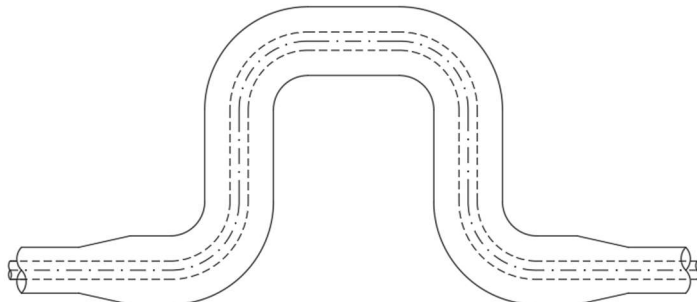


- Angepasster Doppelrohr U-Dehner mit Verformung des Medienrohres

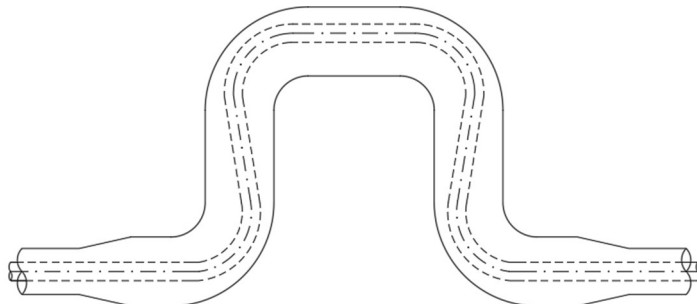
Abbildung 7 Kollisionsbetrachtung eines korrekt ausgelegten U-Dehners mit angepassten Mantelrohrverlauf

Abb. 1 - Kollisionsbetrachtung eines korrekt ausgelegten U-Dehners mit angepassten Mantelrohrverlauf.

Eine weitere Option ist es, den Innendurchmesser des Mantelrohres im Bereich der Verschiebung zu vergrößern, um damit dem Medienrohr mehr Raum zum Verformen bereitzustellen. Hierbei ist der Vorteil, dass die Geometrie des Mantelrohres weiter mit Standardfittingen herstellbar ist.



- Doppelrohr U-Dehner mit aufgeweitetem Mantelrohr ohne Verformung



- Doppelrohr U-Dehner mit aufgeweitetem Mantelrohr mit Verformung des Medienrohres

Abbildung 8 Kollisionsbetrachtung eines korrekt ausgelegten U-Dehners mit aufgeweitetem Mantelrohr

Innerhalb des Rohrverlaufes gibt es mehrere Bauteile, bei denen die Kollisionsgefahr besonders groß ist. Dazu zählen Rohrbögen, T-Stücke, Reduzierungen und Armaturen. Bei diesen Bauteilen ist es wichtig zu ermitteln, ab welcher Verformung des Medienrohrs es zu Kollisionen kommt, um diese zu verhindern.

Bei Rohrbögen besteht das Problem bei der Richtungsänderung. Dadurch ist das gerade Medienrohr in seiner axialen Ausdehnung durch das Mantelrohr behindert. Dies kann im schlimmsten Fall zu einer Kollision führen. Um dies zu verhindern, darf die Maximale Dehnung in einen Doppelrohrbogen hinein nicht größer sein, als der kleinste Raum zwischen dem Medien- und Mantelrohr

$$\Delta L_{zul} < \frac{D_i - d_{a,neu}}{2}$$

Formel 48 Zulässige
Längendehnung

ΔL_{zul} Maximal zulässige Längendehnung [m]

D_i Innendurchmesser des Mantelrohres [m]

$d_{a,neu}$ Außendurchmesser des Rohrs bei thermischer und elastischer Ausdehnung [m]

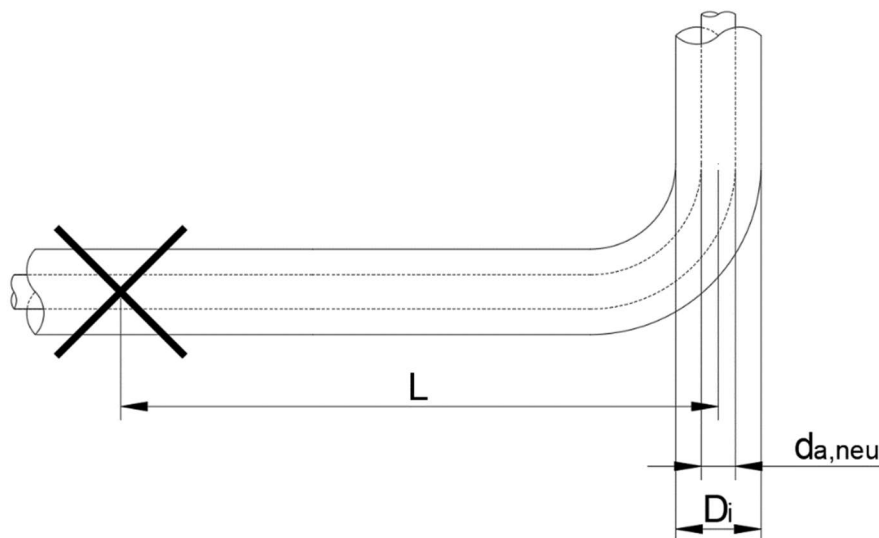


Abbildung 9 Kollisionsbetrachtung und Bemessung eines Rohrbogens

Unter dieser Bedingung lässt sich bei einem vorgegebenen Mantelrohr der Abstand der nächsten Festpunkte oder bei vorgegebenen Festpunktpositionen der minimal notwendige Innendurchmesser des Mantelrohres, welcher die Verformung des Medienrohres nicht behindert, berechnen. Für diese Vorbetrachtung wird grundlegend angenommen, dass genügend Platz für die notwendigen Schenkellängen vorhanden ist.

Dazu werden zu dem kleinstmöglichen Abstand der beiden Rohre zueinander ein Sicherheitsabstand von 1mm dazu gerechnet und dieser Gesamtabstand mit der axialen Längenänderung gleichgesetzt.

$$\Delta L_{zul} = \frac{D_i - d_{a; neu}}{2} - 1mm$$

Formel 49 Zulässige
Längendehnung

Setzt man diese Gleichung mit der Berechnung der Längendehnung gleich und stellt diese nach der ursprünglichen Länge um, so erhält man den Abstand des nächsten Festpunktes von dem Rohrbogen.

Da es für die Berechnung der axialen Längendehnung eine Gleichung für innendruckbehaftete und außendruckbehaftete Rohre gibt, entstehen auch für den Festpunktabstand zwei Gleichungen.

Innendruckbehaftetes Medienrohr:

$$L_{zul} = \frac{\left(\frac{D_i - d_{a; neu}}{2} - 1mm\right)}{\left(\alpha * \Delta T + \frac{p * (d_a - 2e)}{4 * E * e}\right)}$$

Formel 50 Zulässiger
Festpunktabstand

Außendruckbehaftetes Medienrohr:

$$L_{zul} = \frac{\left(\frac{D_i - d_{a; neu}}{2} - 1mm\right)}{(\alpha * \Delta T)}$$

Formel 51 Zulässiger
Festpunktabstand

Bei vorgegebenen Festpunktpositionen, welche beispielsweise durch baulich bedingte Faktoren wie Wanddurchführungen entstehen können, können dieselben Gleichungen ineinander eingesetzt werden. Allerdings wird hierfür die Gleichung nicht nach dem Abstand des Festpunktes zum Rohrbogen, sondern nach dem Innendurchmesser des Mantelrohrs umgestellt.

Innendruckbehaftetes Medienrohr:

$$D_{i; min} \geq \left(L * \left(\alpha * \Delta T + \frac{p * (d_a - 2e)}{4 * E * e}\right) + 1mm\right) * 2 + d_{a; neu}$$

Formel 52 Mindestinnendurchmesser des Mantelrohrs

$D_{i; min}$ Mindestinnendurchmesser des Mantelrohres [m]

Außendruckbehaftetes Medienrohr:

$$D_{i; min} = (L * \alpha * \Delta T + 1mm) * 2 + d_{a; neu}$$

Formel 53 Mindestinnendurchmesser des Mantelrohrs

Diese Gleichungen sind allerdings nicht nur bei Dehnungsschenkeln notwendig, sondern auch bei anderen Fittings wie T-Stücken oder Reduzierungen.

Bei T-Stücken ist zum einen die Verschiebung des Rohres entlang der Hauptleitung wichtig, allerdings muss auch eine mögliche Ausdehnung des Abzweigs in Betracht gezogen werden, wenn zwischen dem T-Stück und dem nächsten Festpunkt keine Form der Dehnungskompensation geplant wird.

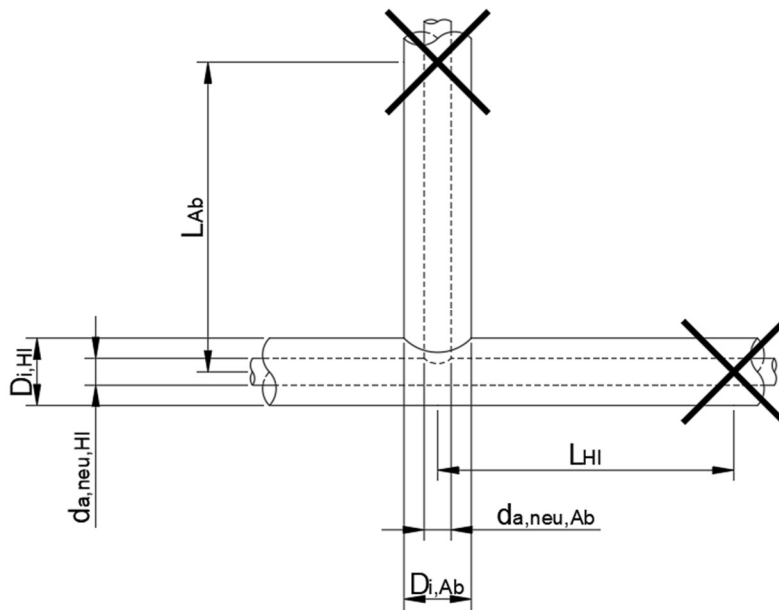


Abbildung 10 Kollisionsbetrachtung und Bemaßung eines T-Stücks

Unter diesen Gesichtspunkten folgen die Gleichungen:

für innendruckbehaftetes Medienrohr:

$$L_{HI} = \frac{\left(\frac{D_{i,Ab} - d_{a,neu,Ab}}{2} - 1mm \right)}{\left(\alpha * \Delta T + \frac{p * (d_{a,Ab} - 2e_{Ab})}{4 * E * e_{Ab}} \right)}$$

Formel 54 Abstand
Hauptleitungsfestpunkt
bis Abzweig

L_{HI} Abstand Festpunkt in der Hauptleitung bis Abzweig [m]

$D_{i,Ab}$ Innendurchmesser des Mantelrohres im Abzweig [m]

$d_{a,neu,Ab}$ Außendurchmesser des Rohrs bei Ausdehnung im Abzweig [m]

e_{Ab} Wanddicke des Medienrohres im Abzweig [m]

Die Materialspezifischen Werte α und E Beziehen sich auf das Material des Medienrohres

$$L_{Ab} = \frac{\left(\frac{D_{i,HI} - d_{a,neu,HI}}{2} - 1mm \right)}{\left(\alpha * \Delta T + \frac{p * (d_{a,HI} - 2e_{HI})}{4 * E * e_{HI}} \right)}$$

Formel 55 Abstand
Abzweigsfestpunkt bis
Hauptleitung

L_{Ab} Abstand Festpunkt in dem Abzweig bis Hauptleitung [m]

$D_{i,HI}$ Innendurchmesser des Mantelrohres in der Hauptleitung [m]

$d_{a,neu,HI}$ Außendurchmesser des Rohrs bei Ausdehnung in der Hauptleitung [m]

e_{HL} Wanddicke des Medienrohrs in der Hauptleitung [m]

$$D_{i;HL} = \left(L_{Ab} * \left(\alpha * \Delta T + \frac{p * (d_{a;HL} - 2e_{HL})}{4 * E * e_{HL}} \right) + 1mm \right) * 2 + d_{a;neu;HL}$$

Formel 56 Innendurchmesser des Mantelrohrs in der Hauptleitung

$$D_{i;Ab} = \left(L_{HL} * \left(\alpha * \Delta T + \frac{p * (d_{a;Ab} - 2e_{Ab})}{4 * E * e_{Ab}} \right) + 1mm \right) * 2 + d_{a;neu;Ab}$$

Formel 57 Innendurchmesser des Mantelrohrs im Abzweig

für außendruckbehaftetes Medienrohr:

$$L_{HL} = \frac{\left(\frac{D_{i;Ab} - d_{a;neu;Ab} - 1mm}{2} \right)}{(\alpha * \Delta T)}$$

Formel 58 Abstand Hauptleitungsfestpunkt bis Abzweig

$$L_{Ab} = \frac{\left(\frac{D_{i;HL} - d_{a;neu;HL} - 1mm}{2} \right)}{(\alpha * \Delta T)}$$

Formel 59 Abstand Abzweigsfestpunkt bis Hauptleitung

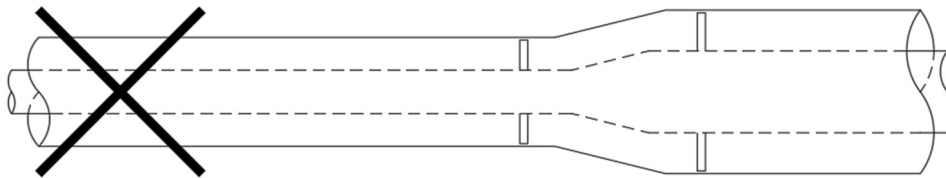
$$D_{i;HL} = (L_{Ab} * \alpha * \Delta T + 1mm) * 2 + d_{a;neu;HL}$$

Formel 60 Innendurchmesser des Mantelrohrs in der Hauptleitung

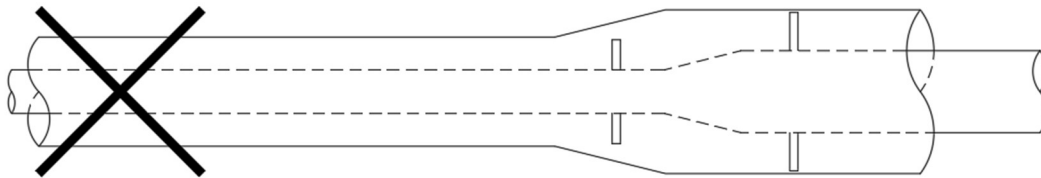
$$D_{i;Ab} = (L_{HL} * \alpha * \Delta T + 1mm) * 2 + d_{a;neu;Ab}$$

Formel 61 Innendurchmesser des Mantelrohrs im Abzweig

Bei Reduzierungen muss zunächst festgelegt werden, ob sich die Leitung in Richtung der größeren oder der kleineren Nennweite verformt. Bei einer Verformung der Leitung in Richtung der größeren Nennweite besteht keine Kollisionsgefahr, allerdings muss darauf geachtet werden, dass die nächstgelegene Gleitkufe aus Richtung der kleineren Nennweite nicht in die Reduzierung des Mantelrohres eintritt, da sie ihre Funktion mit der wachsenden Distanz zum Mantelrohr nicht mehr erfüllen kann.



- Reduzierung Doppelrohrsystem ohne thermische Belastung



- Reduzierung Doppelrohrsystem mit thermischer Belastung

Abbildung 11 Verformungsbetrachtung einer Doppelrohrreduzierung bei Festpunkt an der kleineren Nennweite

Um dies zu verhindern muss der Abstand der Gleitkufe zu der Reduzierung des Mantelrohrs die Längendehnung des Abschnitts zwischen dem nächsten Festpunkt und der Reduzierung überschreiten.

$$\Delta L < a$$

Formel 62 Kollisionsstreckenbedingung

ΔL Längenausdehnung vom Festpunkt bis zu letzten Gleitkufe vor der Reduzierung [m]

a Abstand der Gleitkufe bis zum Beginn der Reduzierung des Mantelrohrs [m]

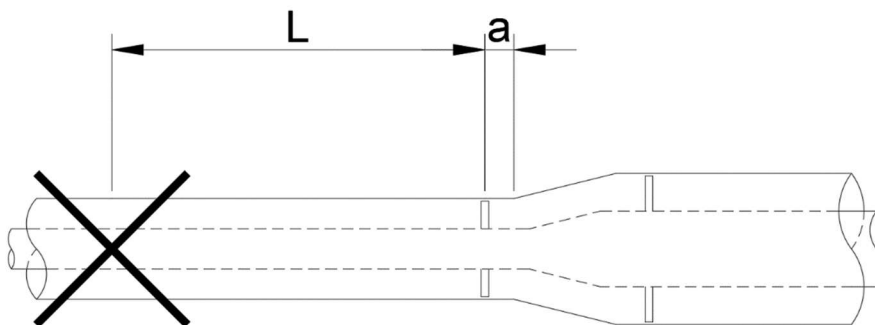


Abbildung 12 Bemaßung der Verformungsbetrachtung einer Doppelrohrreduzierung bei Festpunkt an der kleineren Nennweite

Dehnt sich die Leitung in Richtung der kleineren Nennweite aus, muss die nahe liegendste Störstelle festgestellt werden, welche diese Ausdehnung behindert. Diese Störstelle kann entweder die nächste Gleitkufe innerhalb der großen Nennweite, oder die Reduzierung des Medienrohres selbst.

Um dies festzustellen, muss der maximale Außendurchmesser des Medienrohres mit der größeren Nennweite mit dem Innendurchmesser des Mantelrohrs mit der kleineren Nennweite verglichen werden.

Wenn der Innendurchmesser des Mantelrohres der kleineren Nennweite größer ist als der maximale Außendurchmesser der größeren Nennweite, so ist die Störstelle die nächstgelegene Gleitkufe innerhalb der größeren Nennweite. Die Ausdehnung der Strecke von Festpunkt bis zu dieser Gleitkufe muss den Abstand der Gleitkufe bis zur Reduzierung unterschreiten.

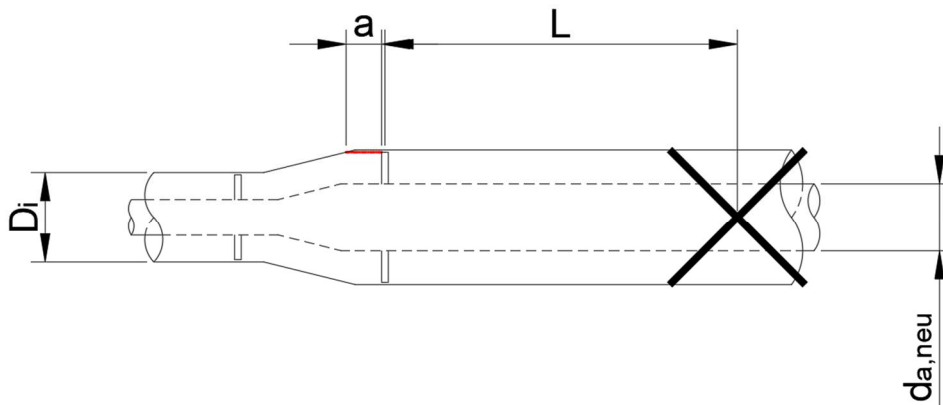


Abbildung 13 Kollisionsbetrachtung und Bemaßung einer Doppelrohrreduzierung bei Festpunkt an der größeren Nennweite

Ist der Außendurchmesser des größeren Medienrohrs größer als der Innendurchmesser des kleineren Mantelrohrs, ist es möglich, dass entweder die Reduzierung oder die Gleitkufe die kritische Störstelle sind. Es müssen beide Kollisionsstrecken ermittelt werden, wobei die kürzere Strecke entscheidend ist.

$$a = \min \{ a_{GK} ; a_{red} \}$$

Formel 63 Kollisionsstrecke

a Kollisionsstrecke [m]

a_{GK} Kollisionsstrecke mit der Gleitkufe als angenommene Störstelle [m]

a_{Red} Kollisionsstrecke mit der Medienrohrreduzierung als angenommene Störstelle [m]

Die Kollisionstrecke der Gleitkufe a_{GK} entspricht ihrem Abstand zur Reduzierung des Mantelrohrs. Die Kollisionsstrecke der Medienrohrreduzierung kann mittels geometrischer Berechnungen ermittelt werden. Dazu müssen zuerst die Neigungswinkel beider Reduzierungen berechnet werden:

$$\beta_i = \arctan \left(\frac{\left(\frac{d_{a,2} - d_{a,1}}{2} \right)}{l_i} \right)$$

Formel 64 Neigungswinkel Medienrohrreduzierung

β_i Neigungswinkel der Medienrohrreduzierung [°]

$$\beta_a = \arctan\left(\frac{\left(\frac{D_{i,2} - D_{i,1}}{2}\right)}{l_a}\right)$$

Formel 65 Neigungswinkel
Mantelrohrreduzierung

β_a Neigungswinkel der Mantelrohrreduzierung [°]

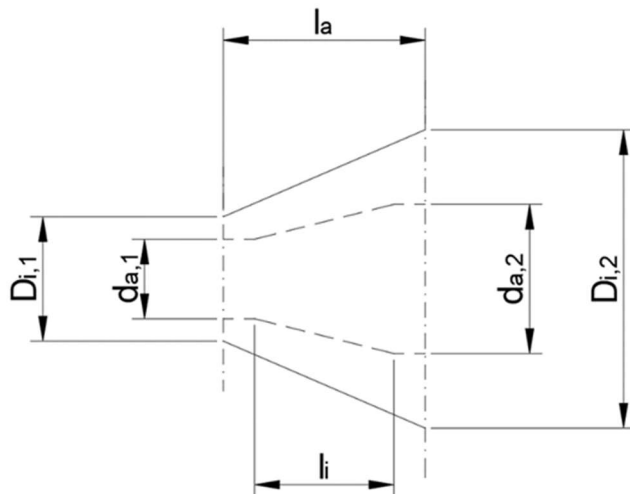


Abbildung 14 Bemaßung der Geometrie einer Doppelmantelrohrreduzierung
Mithilfe der Neigungswinkel lässt sich sagen, welche Kante die Kollision herbeiführt. Ist der Neigungswinkel der Medienrohrreduzierung β_i größer, kollidiert die Kante der größeren Nennweite der Medienrohrreduzierung mit der Schale der Mantelrohrreduzierung.

Die Länge der Kollisionsstrecke a lässt sich wie folgt berechnen.

$$a_{red} = \frac{\left(\frac{D_{i,2} - d_{a,2}}{2}\right)}{\tan \beta_a} - \frac{l_a - l_2}{2} \quad \text{Formel 66} \quad \text{Kollisionsstreckenberechnung}$$

Ist der Neigungswinkel der Mantelrohrreduzierung größer, kollidiert die Kante der kleineren Nennweite der Mantelrohrreduzierung mit der Schale der Medienrohrreduzierung. Die Länge der Kollisionsstrecke a lässt sich wie folgt berechnen.

$$a_{red} = \frac{\left(\frac{D_{i,1} - d_{a,1}}{2}\right)}{\tan \beta_i} + \frac{l_a - l_2}{2} \quad \text{Formel 67} \quad \text{Kollisionsstreckenberechnung}$$

Diese Berechnungen gehen davon aus, dass im Montagezustand beide Reduzierungen denselben geometrischen Mittelpunkt besitzen

Mittels der berechneten Kollisionsstrecken kann man letztlich einen maximalen Abstand der Festpunkte berechnen. Dabei unterscheiden sich die Gleichungen wie auch bei T-Stücken und Bögen nach dem Druckverhalten des Rohres.

Für Innendruckbehaftetes Medienrohr:

$$L = \frac{(-1mm)}{\left(\alpha * \Delta T + \frac{p * (d_a - 2e)}{4 * E * e}\right)}$$

Formel 68 Festpunktabstand

Für außendruckbehaftetes Medienrohr:

$$L = \frac{(a - 1mm)}{(\alpha * \Delta T)}$$

Formel 69 Festpunktabstand

Diese Berechnungen sind zudem nur dann anzuwenden, wenn die Gleitkufen weit genug von den entsprechenden Störstellen entfernt sind, um die Verformung des Rohres in diesem Bereich möglich zu machen. Anderen falls ist die maximale mögliche Dehnung mit dem Sicherheitsabstand zwischen Gleitkufe und Mantelrohr gleichzusetzen.

$$\Delta L \leq S$$

Formel 70 Neigungswinkel
Medienrohrreduzierung

S Sicherheitsabstand zwischen Gleitkufe und Mantelrohr [m]

3.4 Lagerung

Das Lagern von Doppelrohrsystemen stellt eine weitere Herausforderung dar, da das Medienrohr keinen Kontakt mit der Umwelt hat, und daher nicht mit Stahlbau herkömmlich gelagert werden kann. Die einzigen Möglichkeiten zum begrenzen der Bewegung innerhalb des Mantelrohres stellen die Gleitkufen dar, welche das Medienrohr innerhalb des Mantelrohres zentrieren. Da die Gleitkufen Jede Bewegung des Medienrohres senkrecht zur Achse blockieren, fungieren sie als geführte Gleitlager des Medienrohres.

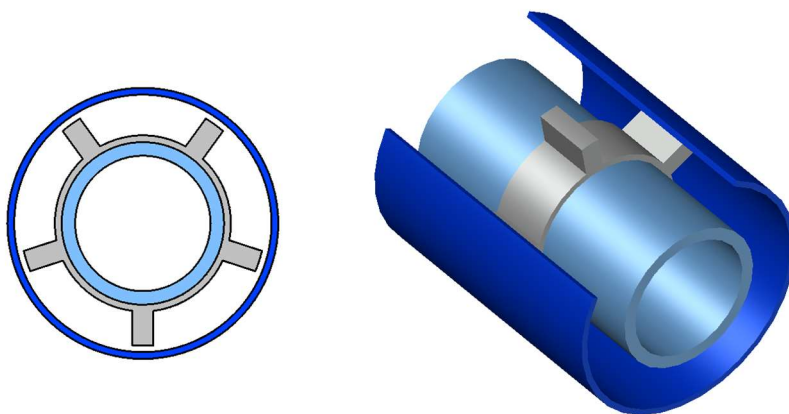


Abbildung 15 Darstellung einer Gleitkufe mit Funktion als geführtes Gleitlager

Eine ungeführte Lagerung des Medienrohres ist konventionell nicht möglich, da durch die Krümmung des Mantelrohres eine horizontale Bewegung ohne korrespondierende vertikale Bewegung nicht möglich ist. Unter der Berücksichtigung dieses Verhaltens kann allerdings ein horizontales Spiel des Medienrohres ermöglicht werden, indem die Höhe der Gleitkufen verringert und das Medienrohr tiefer innerhalb des Mantelrohres platziert wird.

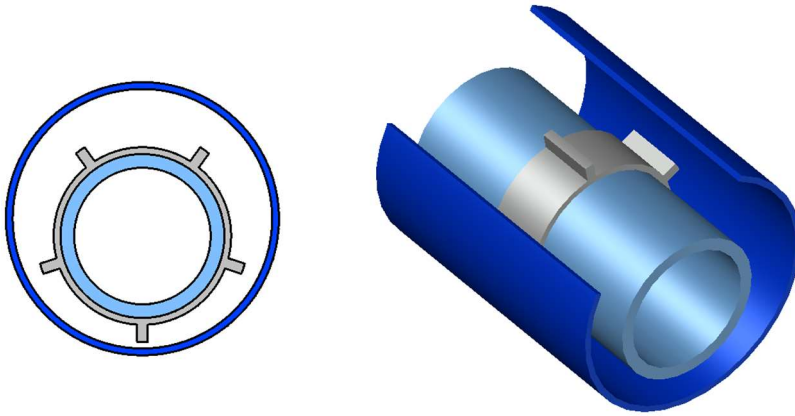


Abbildung 16 Darstellung einer Gleitkufe mit Funktion als ungeführtes Gleitlager. Bei einer horizontalen Verschiebung wandert das Rohr entlang dem Mantelrohr.

Für die Herstellung von Festpunkten gibt es keine Norm, welche den genauen Aufbau beschreibt oder festlegt. Um einen Festpunkt für das Medienrohr herzustellen gibt es zwei Variationen. Die erste Variante besteht daraus, an der Innenfläche des Mantelrohres Knacken anzuschweißen, welche als Axialstops für die Gleitkufen dienen. Die Gleitkufe muss dafür allerdings fest mit dem Medienrohr verbunden sein. Dies erschafft einen 3/6 Festpunkt.

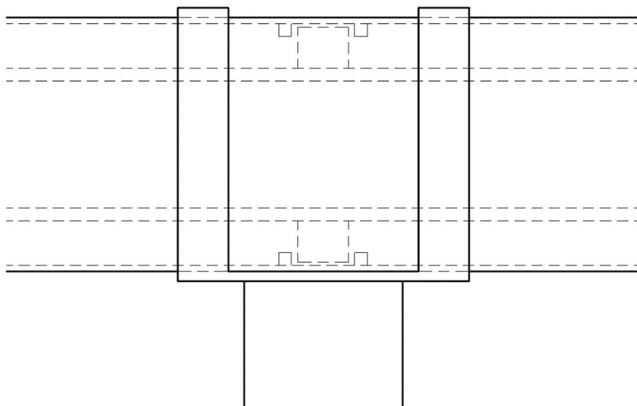


Abbildung 17 3/6 Festpunkt eines Doppelrohrsystem

Die andere Methode befasst sich damit, das Medienrohr Fest mit dem Mantelrohr zu verbinden. Dadurch werden alle Kräfte und Momente auf das Mantelrohr übertragen und es entsteht ein 6/6 Festpunkt. Praktisch kann dies auf verschiedene Weisen je nach Hersteller gelöst werden. Eine Lösung bietet eine durchgehende Lochscheibe, welche sowohl an dem Medienrohr, als auch an dem Mantelrohr festgeschweißt ist. Diese Scheibe benötigt allerdings Löcher, welche dafür sorgen, dass sich Druck oder Medium weiterhin frei im Ringraum ausbreiten können. Die Scheibe kann zusätzlich einen größeren Außendurchmesser als das Mantelrohr haben, wobei dieses durch die Scheibe unterbrochen, und an beiden Seiten jeweils fest angeschweißt werden muss. Dies hat den Vorteil, dass die Scheibe dadurch als Axialstop für den Mantelrohrfestpunkt fungiert. Durch das Anbringen einer Knacke als weiterer Axialstop auf der anderen Seite des Mantelrohrfestpunktes ist dieser gegen axiale Verschiebungen gesichert.

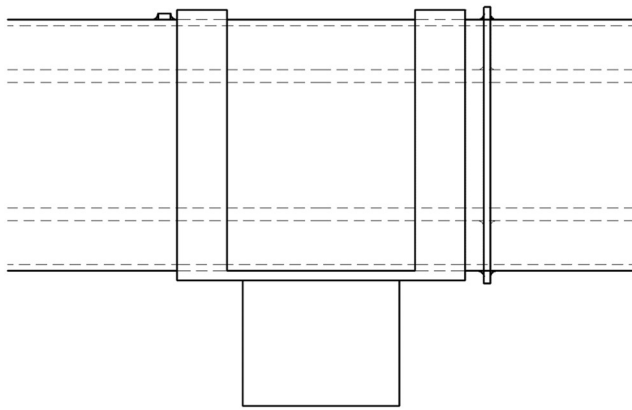


Abbildung 18 6/6 Festpunkt eines Doppelrohrsystems

3.5 Dehnungskompensation

Die Dehnungskompensation von Doppelrohrsystemen ist Ähnlich wie bei herkömmlichen Rohrleitungen, wobei Hier zusätzlich zur Elastizität des Rohres auch die Kollisionsbetrachtung von Bedeutung ist. Der größte Unterschied von Doppelrohrsystemen ist allerdings, dass Systeme, welche in dem Ringraum einen Höheren Druck als in dem Medienrohr haben, problemlos Axialkompensatoren zur Dehnungskompensation verwenden können. Dies liegt daran, dass der Balg des Axialkompensators nicht nur den Innendruckreaktionskräften ausgesetzt ist, sondern auch den Außendruckreaktionskräften. Diese negieren die Innendruckreaktionskräfte, wodurch die nächstgelegenen Festpunkte diese nicht aufnehmen müssen.

Grob kann die natürliche Dehnungskompensation mittels des vereinfachten Elastizitätsnachweises berechnet werden. Dieser ersetzt allerdings keine ausführliche Spannungsanalyse, welche in jedem Fall zum Nachweis des Systems durchgeführt werden muss.

Der vereinfachte Elastizitätsnachweis des Dehnschenkels erfolgt nach der DIN EN 13480-3 Abschnitt 12.2.10.1 nach der Gleichung:

$$\frac{d_a * \Delta L}{(L - l)^2} \leq 208,3$$

Formel 71 Vereinfachter Elastizitätsnachweis

d_a	Außendurchmesser des Medienrohrs	[mm]
ΔL	Vom Dehner aufzunehmende Längenänderung	[mm]
L	Leitungslänge innerhalb des Dehners	[m]
l	Abstand der Dehner begrenzten Lager zueinander	[m]

Diese Formel lässt sich für alle Dehnungsvarianten umstellen, wobei unter bestimmten Annahmen die einzelnen Schenkellängen berechnet werden können.

3.5.1 L-Dehner

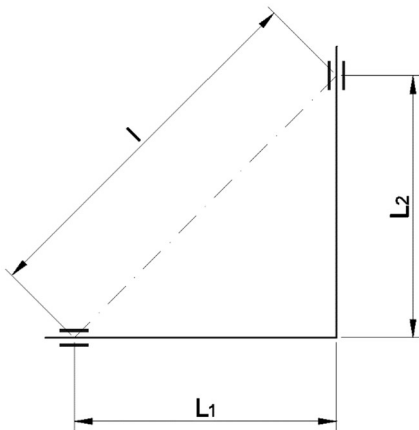


Abbildung 19 Schenkellängen und Lagerabstand eines L-Dehners

Für die Berechnung von L-Dehnern lassen sich vereinfacht folgende Annahmen stellen:

$$L = L_1 + L_2 \quad \text{Formel 72} \quad \text{Leitungslänge L-Dehner}$$

$$l = \sqrt{L_1^2 + L_2^2} \quad \text{Formel 73} \quad \text{Lagerabstand L-Dehner}$$

Unter der vereinfachten Annahme, dass beide Schenkellängen gleich sind, lässt sich die Gleichung des vereinfachten Elastizitätsnachweises somit nach dieser Schenkellänge umstellen:

$$L_1 = L_2 = \sqrt{\frac{d_a * \Delta L}{208,3}} * 1,706 \quad \text{Formel 74} \quad \text{Schenkellängen L-Dehner}$$

3.5.2 Z-Dehner

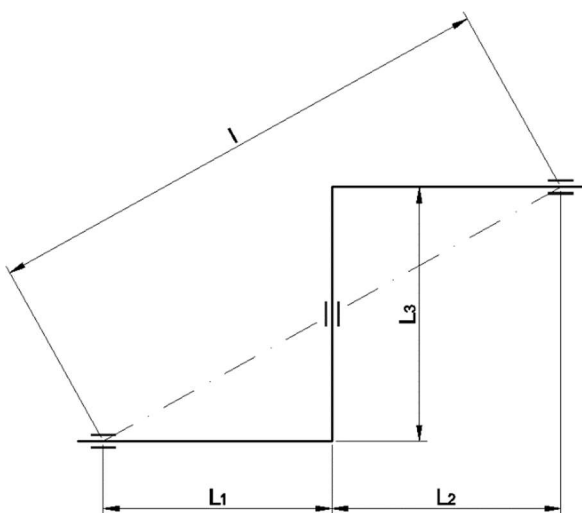


Abbildung 20 Schenkellängen und Lagerabstände eines Z-Dehners

Der Abstand der Lager voneinander lässt sich hierbei geometrisch bestimmen.

$$l = \sqrt{(L_1 + L_2)^2 + L_3^2} \quad \text{Formel 75} \quad \text{Lagerabstand Z-Dehner}$$

Es kann erneut davon ausgegangen werden, dass die Schenkellängen L_1 und L_2 gleichlang sind, allerdings ist die Länge L_3 meist durch den Leitungsverlauf festgelegt. Es muss daher die Gleichung nach den fehlenden Schenkellängen individuell aufgelöst werden.

$$(L_1 + L_2 + L_3) - \sqrt{(L_1 + L_2)^2 + L_3^2} = \sqrt{\frac{d_a * \Delta L}{208,3}}$$

Formel 76 Vereinfachter Elastizitätsnachweis für Z-Dehner

3.5.3 U-Dehner

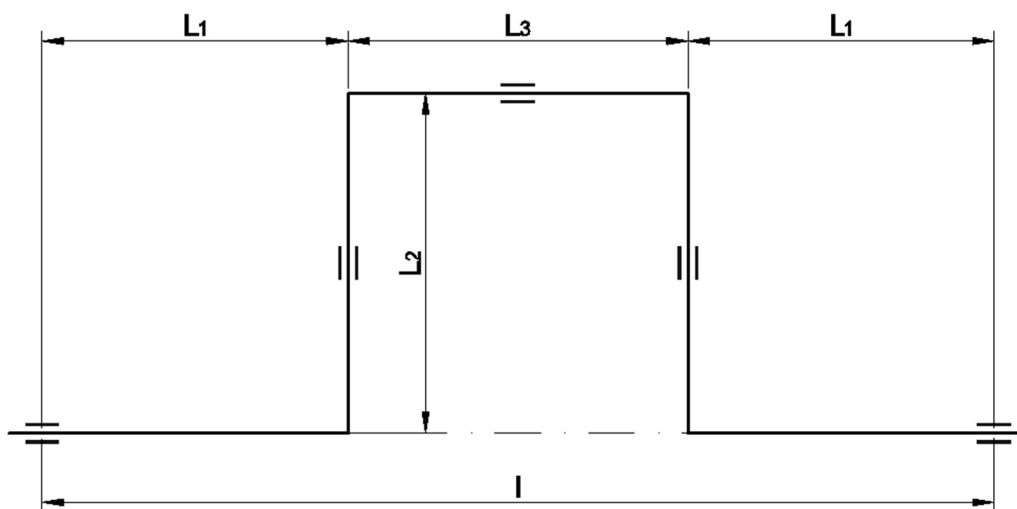


Abbildung 21 Schenkellängen und Lagerabstand eines U-Dehners

Wie aus der Skizze zu entnehmen ist, berechnet sich der Abstand der begrenzenden Lager folgendermaßen:

$$l = 2 * L_1 + L_3 \quad \text{Formel 77} \quad \text{Lagerabstand Z-Dehner}$$

Die Gesamtlänge L hingegen lässt sich wie folgt beschreiben:

$$L = l + 2 * L_2 \quad \text{Formel 78} \quad \text{Leitungslänge Z-Dehner}$$

Da sich der mithilfe dieser Annahmen der Wert l kürzen lässt, ergibt sich die Formel:

$$L_2 = \sqrt{\frac{d_a * \Delta L}{208,3}} * 0,5 \quad \text{Formel 79} \quad \text{Schenkellängen Z-Dehner}$$

Zur vereinfachten Auslegung des U-dehners kann L_3 mit derselben Länge wie L_2 angesetzt werden und L_1 mit der Hälfte der Länge von L_2 .

Bei bereits gegebenen oder gewählten Schenkellängen lassen sich die maximal kompensierbaren Längenänderungen mittels folgender Gleichung berechnen

$$\Delta L = \frac{208,3 * (L - l)^2}{d_a}$$

Formel 80

Maximale Aufnehmbare
Längendehnung

4 Beispielsystem

Um die theoretischen Betrachtungen an einem Beispiel anzuwenden, wird ein nicht reales Doppelrohrsystem betrachtet, welches in das Rohrstatikprogramm ROHR 2 eingegeben wird. Das Ziel ist es, mithilfe der in dieser Arbeit dargestellten Fakten und Gleichungen ein funktionsfähiges Doppelrohrsystem zu planen und dieses innerhalb von ROHR2 mit allen relevanten Daten darzustellen. Das System basiert auf keinem realen Rohrleitungssystem und dient lediglich der Darstellung einer Musterauslegung für Doppelrohrsysteme.

4.1 Systembeschreibung

Das System selbst soll heißes Wasser transportieren unter einem erhöhten Druck transportieren. Das Medium soll in einem Rohr der Nennweite 80 transportiert werden, wobei für den Leckageschutz ein Mantelrohr der Nennweite 150 um die Leitung herum verlegt werden sollte. Das DN 150 Rohr soll zudem mit einer 40mm Dämmung versehen werden, um den Wärmeverlust an die Umwelt zu minimieren. Die Dämmung wird vergleichsweise gering ausgelegt, da der mit Pressluft gefüllte Ringraum bereits als eine erste Dämmung fungiert.

4.1.1 Betriebsparameter

Die Betriebsparameter für das Primärmedium sind wie folgt:

Eine Medientemperatur von 150°C bei einem Absolutdruck von 11 Bar. Die Mediendichte wird vereinfacht mit $1000 \frac{kg}{m^3}$ angenommen.

Aufgrund des Drucks ist eine normale Sensorüberwachung ungeeignet. Das Medium selbst ist nicht reaktiv und muss in dieser Annahme auch nicht rein gehalten werden. Um die Umwelt möglichst effektiv zu schützen, wird daher ein Überdrucksystem verwendet.

In dem Mantelrohr wird Druckluft eingeschleust mit einem Absolutdruck von 15 Bar. Obwohl die Luft durch den Verdichtungsprozess aufgewärmt wird, wird für dieses System die Lufttemperatur mit der Umwelttemperatur gleichgesetzt. Diese Temperatur ist zugleich die Montagetemperatur und wird mit 15°C gewählt.

Da Luft kompressibel ist, kann als die Dichte nicht der Normalwert von $1,204 \frac{kg}{m^3}$ bei 20°C und atmosphärischem Druck verwendet werden.

Der Wert muss über die Formel:

$$\rho = \frac{P}{R * T}$$

Formel 81 Luftdichte

P Druck [PA]

R Gaskonstante $\left[\frac{J}{kg * K} \right]$

T Lufttemperatur [K]

berechnet werden

Mithilfe der Gaskonstante für Trockene Luft $R = 287,05 \frac{J}{kg * K}$ ergibt sich somit eine Dichte für die verdichtete Luft innerhalb des Ringraums von $18,14 \frac{kg}{m^3}$ (Anhang A-1).

	Primärmedium (Medienrohr)	Ringraummedium (Mantelrohr)
Temperatur [°C]	150	15
Druck(abs.) [bar]	11	15
Dichte $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$	1000	18.14

Tabelle 1 Betriebsdaten Beispielsystem

4.1.2 Leitungsverlauf

Das Doppelrohrsystem soll nach der Folgenden Isometrie verlaufen, wobei die Möglichkeit besteht, Dehnungsbögen einzufügen.

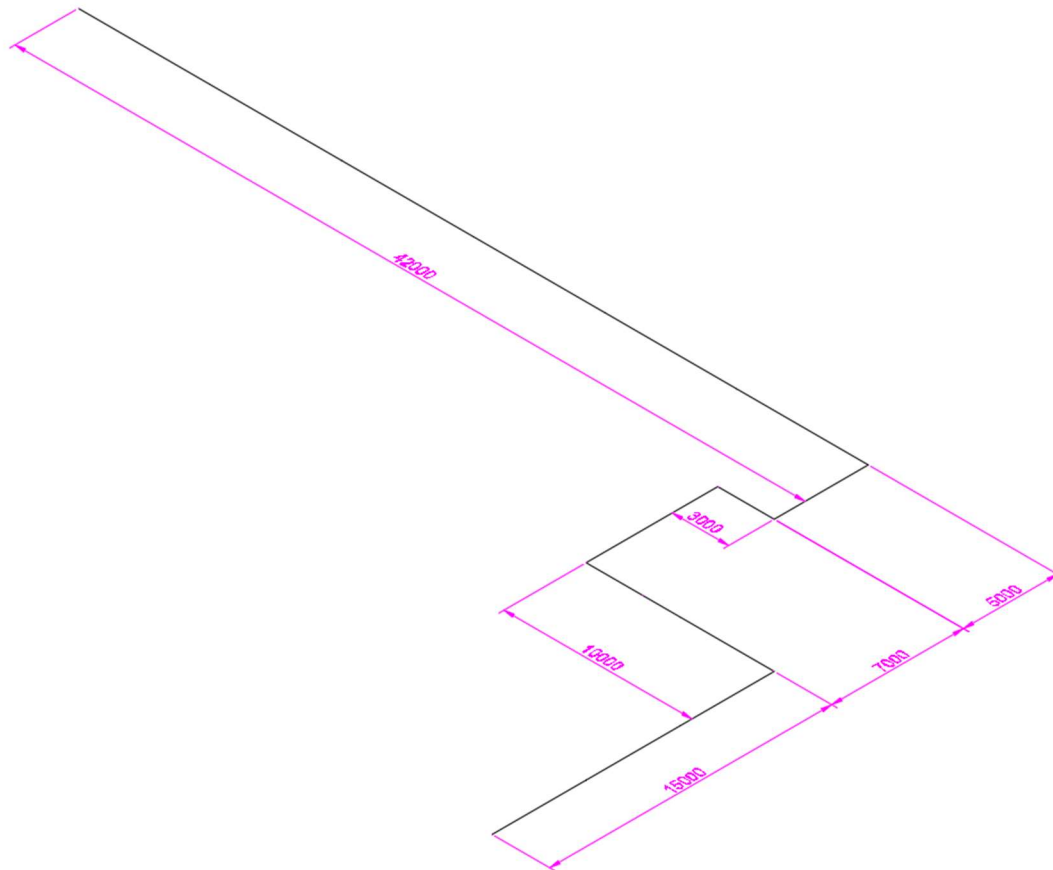


Abbildung 22 Leitungsverlauf des Beispielsystems

4.2 Materialauswahl und Wanddickenberechnung

Der Druck innerhalb des Medienrohrs ist geringer als der Druck des Ringraums. Beide Drücke sind höher als der Atmosphärische Druck. Die Mindestwanddicke des Medienrohrs muss daher unter Außendruckeinfluss und die Mindestwanddicke des Mantelrohrs unter Innendruckeinfluss berechnet werden.

Da das Primärmedium eine hohe Temperatur aufweist, wird als Material der warmfeste Stahl P235 GH verwendet.

Für die Berechnungen der Wanddicken werden die Materialdaten benötigt, welche sich aus den Normen DIN EN 13480-3 (Anhang C-1 und C-2) und DIN EN 10217-2 (Anhang C-3 und C-4) entnehmen lassen. Für den Werkstoff P235GH lassen sich folgende Werte entnehmen:

E	$202 \frac{kn}{mm^2}$
R_{eH} bei $e < 16mm$	$\geq 235MPa$
R_m	$360 - 500 MPa$
$R_{p0,2}$ bei $150^\circ C$ und $e \leq 16mm$	$\geq 187 MPa$
α	$12,237 * 10^{-6} \frac{m}{mK}$

Tabelle 2 Materialspezifische Werte für P235GH

Die Wandstärke des Mantelrohrs wird nach Formel 6 oder 7 berechnet, wobei der Schweißnahtfaktor, die zulässige Spannung, der Rohraußendurchmesser und der Berechnungsdruck bestimmt werden müssen.

Der Schweißnahtfaktor wird nach Abschnitt 4.5 der DIN EN 13480-3 gewählt. Bei diesem theoretischen System wird davon ausgegangen, dass alle Schweißnähte auf Fehler überprüft wurden. Daher wird für den Schweißnahtfaktor Z der Wert 1 gewählt.

Die zulässige Spannung des Rohrs wird nach Abschnitt 5.2.1.1 der DIN EN 13480-3 berechnet, wobei sich mit den in Tabelle 2 gegebenen Materialwerten für die zulässige Auslegungsspannung folgender Wert ergibt(Anhang A-2).

$$f = 124,6 \text{ MPa}$$

Der Rohraußendurchmesser eines DN 150 Rohres beträgt standartmäßig 168,3mm

Der Berechnungsdruck ergibt sich aus der Differenz des Außendrucks von dem Innendruck des Rohres. Bei dem Mantelrohr bedeutet dies, dass von dem Ringraumdruck der atmosphärische Druck abgezogen werden muss. Vereinfacht ergibt sich damit ein Druck von 14 Bar oder 1,4 MPa.

Damit ein Verhältnis von d_a zu d_i größer als 1,7 sein könnte müsste die Wandstärke über 34mm betragen. Bei dem angegebenen Überdruck von 14 bar und der Nennweite wird diese Wandstärke vermutlich stark unterschritten. Daher wird die Formel 6 für ein Durchmesser Verhältnis von unter 1,7 verwendet. Mit den gegebenen Werten erhält man somit eine minimale errechnete Wandstärke von:

$$e = 0,94 \text{ mm (Anhang A-3)}$$

Zu dieser errechneten Wandstärke kommen zusätzlich noch der Korrosionszuschlag und die Herstellungstoleranz der Wanddicke. Als Korrosionszuschlag wird hier 1mm gewählt.

Die Herstellungstoleranz wird nach DIN EN 10217-2 Abschnitt 8.7.4.1 Tabelle 7 bestimmt(Anhang C-5). Da die Wanddicke e unter 3mm ist, ergibt sich eine Toleranz von 0,3 mm.

Somit errechnet sich die Mindestbestellwanddicke des Rohres nach Formel 19.

$$e_{ord} = 2,24 \text{ mm (Anhang A-4)}$$

Die nächsthöhere Wanddicke nach DIN EN 10217-2 wäre 2,3 mm(Anhang C-6). Allerdings ist zu beachten, dass Formstücke der Nennweite 150 nach der DIN EN 10253-2 Anhang B Tabelle B.1 eine minimale Wanddicke von 4mm aufweisen(Anhang C-7). Um Wandstärkensprünge an Schweißnähten zu verhindern wird daher für das gesamte Rohr DN 150 eine Wandstärke von 4mm ausgewählt.

Die Dimensionierung des Mantelrohres beläuft sich somit auf DN 150: 168,30 x 4,00. Das Medienrohr kann nach den Formeln 8 bis 15 oder nach der Formel 18 berechnet werden. Um das System zu vereinfachen wird allerdings auf Versteifungen verzichtet. Daher kommt nur die Formel 18 in Frage.

Für die Berechnung werden zusätzlich der mittlere Rohrradius, die Querdehnungszahl, und der zulässige Beuldruck benötigt.

Für die Berechnung des mittleren Rohrradius' wird ein angenommener Wert e_a benötigt. Da die Formstücke ähnlich wie bei dem Mantelrohr nach DIN EN 10253-2 ausgelegt werden, kann für diesen angenommenen Wert die mindestwanddicke von 3,2mm eingesetzt werden(Anhang C-7).

Somit ergibt sich ein mittlerer Rohrradius:

$$r_m = 42,85 \text{ mm (Anhang A-5)}$$

Die Querdehnungszahl, ergibt sich aus der DIN EN 13480-3 Anhang G.2.5 mit dem Wert 0,3. Da es sich um einen Verhältnis handelt, ist der Wert einheitenlos.

Der zulässige Beuldruck ist der Druck, welcher von außerhalb gegen das Rohr drückt. Da der eigene Innendruck diesem entgegenwirkt und teilweise negiert, muss der Medienrohrinnendruck von dem Außendruck abgezogen werden. Damit beträgt dieser 4 bar.

Diese Werte werden in die Formel eingesetzt, womit sich eine Mindestwanddicke von 1,19 mm errechnen lässt(Anhang A-6).

Zu dieser errechneten Wanddicke kommen nach Formel 19 noch die Wanddickentoleranz nach DIN EN 10217-2 und der Korrosionszuschlag von 1mm.

Da die gewählte Mindestwanddicke von 3,2 mm größer als 3mm ist, ergibt sich die Wanddickentoleranz aus 10% der Wanddicke. Somit ergibt sich eine Wanddickentoleranz von 0,32 mm.

Die mindestbestellwanddicke beträgt somit:

$$e_{ord} = 2,51 \text{ mm (Anhang A-7)}$$

Da die Mindestbestellwanddicke kleiner ist als die kleinste genormte Wanddicke für Formstücke dieser Nennweite, bleibt sie als Bestellwanddicke bestehen.

Für das Medienrohr ergibt sich somit eine Dimensionierung von DN 80: 88,9 x 3,2.

4.3 Stützweiten

Die Stützweiten der zwei Rohre ergeben sich nach DIN EN 13480-3 Tabelle Q.1(Anhang C-8). Dabei sind jeweils die Längen L_1 zu wählen(Anhang C-9).

Das Medienrohr besitzt keine Dämmung und ist mit Wasser gefüllt. , wodurch sich eine maximale Stützweite von 4,6m ergibt.

Das Mantelrohr hingegen besitzt keine Dämmung und führt selbst kein Wasser. Da es allerdings das Gewicht des Medienrohrs mittragen muss, wird es als mit Wasser gefüllt, betrachtet. Somit ergibt sich für das Mantelrohr eine Stützweite von 5,4m.

Zur Vereinfachung des Systems wird für beide Rohre die gleiche Stützweite von 4,6m gewählt.

4.4 Gleitkufen Auslegung

Die Gleitkufen müssen so ausgelegt sein, dass Sie auch bei thermischer Belastung einen kleinen Sicherheitsabstand zum Mantelrohr halten, um so die freie axiale Bewegung des Medienrohres innerhalb des Mantelrohres zu gewährleisten.

Dazu muss zuerst der Außendurchmesser des Medienrohrs unter thermischer Belastung berechnet werden. Da das Medienrohr außendruckbehaftet ist, spielt die spannungsbedingte elastische Dehnung hierbei keine Rolle.

Nach der Formel 39 ist der maximale Durchmesser des Medienrohres unter thermischer Belastung ist 89mm(Anhang A-8).

Mithilfe dieses Außendurchmessers lässt sich eine maximale Gleitkufenhöhe von 34,7mm für das Mantelrohr DN 150 bestimmen(Anhang A-9). Aus praktischen Gründen wird eine Gleitkufenhöhe von 34mm gewählt.

4.5 Kollisionsberechnungen

Um die Festpunkte möglichst effizient entlang der Leitung zu platzieren, muss bekannt sein, wie weit sich das Medienrohr an Störstellen wie Rohrbögen bewegen darf.

In diesem Beispielsystem gibt es nur Rohrbögen und Reduzierungen. Da die Reduzierungen nur für die Aufweitung der Dehnschenkel dienen, sind sie immer so gerichtet, dass sie in Richtung der Medienrohrverschiebung größer werden. Dadurch entfällt die Möglichkeit einer ausdehnungsbedingten Kollision, und es muss nur beachtet werden, dass die nächstgelegene Gleitkufe des Medienrohres bei thermischer Belastung nicht in den Bereich der Mantelrohrreduzierung gelangt.

Für Rohrbögen sind die Kollisionsstrecken nahezu gleich mit den Gleitkufenhöhen der korrespondierenden Nennweiten. Die maximale Ausdehnung bei dem Rohrbogen mit dem Mantelrohr DN 150 beläuft sich daher auf 34,7mm(Anhang A-9).

Diese Kollisionsstrecken können in die Formel 51 anstelle der Formel 49 für die Berechnung von Kollisionsstrecken eingesetzt werden. Somit ergeben sich für die DN 150 Rohrbögen maximale Festpunktabstände von 21m(Anhang A-10).

4.6 Konzept der Dehnungskompensation

Mithilfe der errechneten maximalen Festpunktabstände lässt sich ein erstes Konzept für die Dehnungskompensation des Systems erstellen. Dabei ist zu beachten, dass die Gerade mit der Länge von 42m zu lang ist, um den anschließenden Bogen als L-Dehner zu verwenden. Daher muss innerhalb der Geraden mittig ein U-Dehner eingebracht werden. Die genauen Maße sind noch nicht bestimmbar, da die Lagerpositionen noch nicht festgelegt sind. Um genauere Lagerpositionen und Schenkellängen zu berechnen, erhält jede Gerade und jeder Dehnschenkel eine Bezeichnung. Die einzigen bekannten Lager, von denen ausgegangen werden kann, sind die Festpunkte jeweils am Anfang und Ende des Systems.

Mithilfe all dieser Informationen erschließt sich daraus das erste Konzept zur Dehnungskompensation.

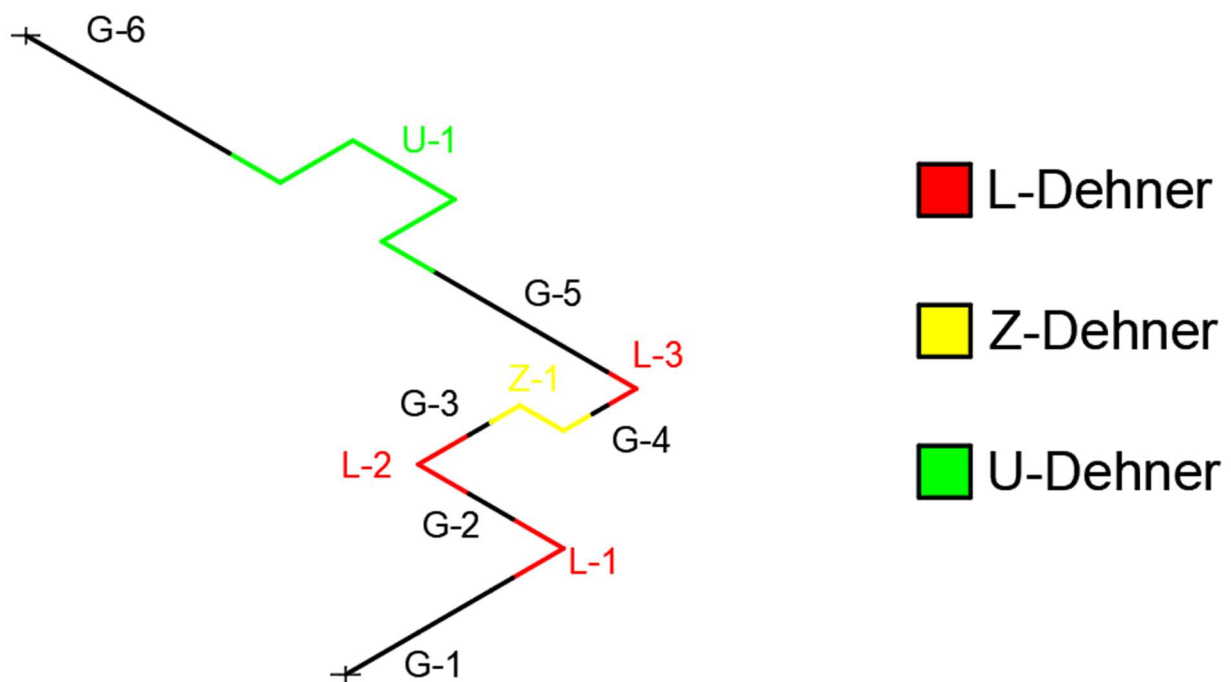


Abbildung 23 Konzept zur Kompensation der Längendehnung des Beispielsystems

4.7 Auslegung der Dehnschenkel und Lagerpositionen

Dehnschenkel und Lagerpositionen beeinflussen sich gegenseitig. Daher ist es notwendig, beide Aspekte der Rohrleitung parallel zueinander zu entwickeln.

Begonnen wird mit der Auslegung des Dehners L-1. Der Dehner L-1 muss Längenänderungen aus den beiden Geraden G-1 und G-2 aufnehmen. Die Gerade G-1 ist kurz genug, um keine Kollision des Medienrohrs mit dem Mantelrohr zu gefährden. Zudem ist zu beachten, dass der Dehnschenkel L-1 der einzige Dehnschenkel ist, welcher in der Lage ist, Längenausdehnung aus der Gerade G-1 aufzunehmen. Daher nimmt der Dehner L-1 die gesamte Längendehnung von G-1 auf.

Innerhalb der Gerade G-2 ist kein Festpunkt vorgesehen, daher kann davon ausgegangen werden, dass sich die Längendehnung Gleichmäßig auf die Dehner L-1 und L-2 aufteilt. Somit ist die gesamte Längendehnung, welche von dem Dehner L-1 kompensiert werden muss die gesamte Dehnung der Gerade G-1 und die Hälfte der Dehnung der Gerade G-2. Mithilfe dieser Annahmen lassen sich nach Formel 74 die Schenkellängen des Dehners L-1 berechnen.

Die Schenkellänge beträgt nach diesen Berechnungen 6,41m(Anhang A-11). Diese Länge ist allerdings zu groß. Das Problem bei der Lagerung in diesem Fall ist, dass Innerhalb eines Doppelrohrsystems keine ungeführten Gleitlager verbaut werden können. Daher ist jedes Lager ein geführtes Gleitlager. Allerdings muss das Gleitlager in regelmäßigen Abständen abgestützt werden. Hierbei entsteht ein Konflikt zwischen dem Absichern des Rohres gegen das Absinken durch das Eigengewicht und der Gewährleistung der nötigen Flexibilität zur Kompensation der axialen Leitungsausdehnung.

Die maximale Stützweite des Medienrohres beträgt 4,6m. Aufgeteilt auf beide Schenkel des Dehners, ergibt sich eine maximale Schenkellänge von 2,3m. Mit diesen Schenkellängen lässt sich die maximale kompensierbare Längenänderung des Medienrohrs berechnen.

Die maximale kompensierbare Schenkellänge ist damit 4,25mm oder 2,125mm pro Schenkel(Anhang A-12). Damit bleiben von der Geraden G-1 noch 22,6mm an zu kompensierender Leitung.

Ein Lösungsansatz wäre, das abgrenzende geführte Lager innerhalb der Gerade G-1 so nahe wie möglich an den Rohrbogen heranzuführen. Dadurch wäre es möglich, mehr Dehnung aus der Gerade G-1 aufzunehmen, allerdings keine Dehnung aus der Gerade G-2 aufnehmen zu können. Für diesen Fall kann allerdings kein vereinfachter Elastizitätsnachweis nachgewiesen werden.

Eine andere Lösung stellt das Einbringen von U-Dehnern innerhalb der Gerade G-1 dar. Auch diese haben durch die maximalen Stützweiten begrenzte Schenkellängen, welche sich berechnen lassen. Dabei muss beachtet werden, dass jeder Schenkel nur ein geführtes Gleitlager in der Mitte haben darf. Der resultierende U-Dehner besitzt folgende Maße.

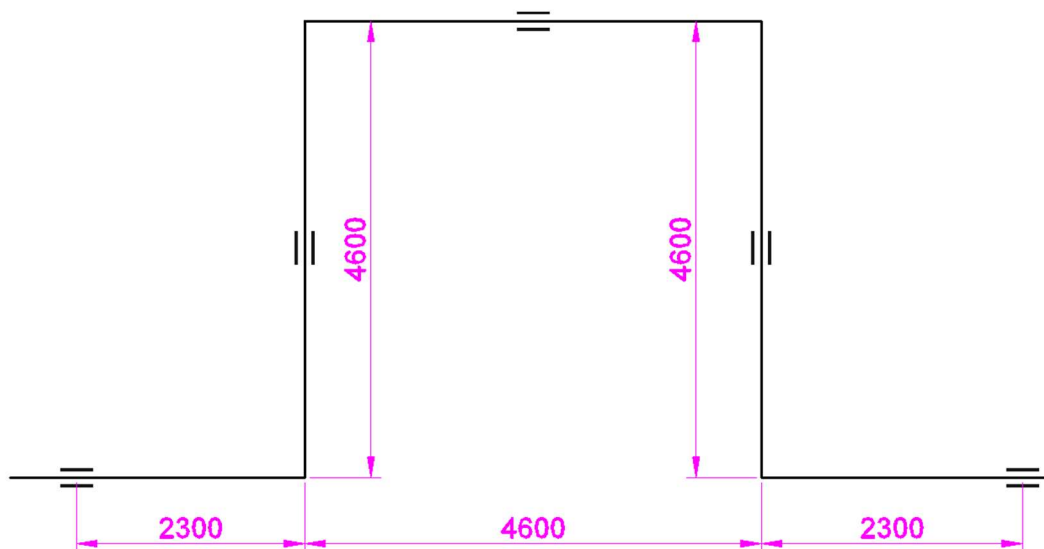


Abbildung 24 Geometrie des maximal möglichen U-Dehners und kann nach dem Elastizitätsnachweis eine maximale Längendehnung von 198,3mm aufnehmen(Anhang A-13).

In diesem Fall wird ein U-Dehner verbaut, welcher die gesamte Längendehnung der Gerade G-1 aufnehmen kann und der L-Dehner stattdessen so ausgelegt wird, dass er so viel Längendehnung der Gerade G-2 wie möglich kompensieren kann.

Der neue U-Dehner U-1 wird nach der Formel 79 ausgelegt, womit sich die Schenkellängen von:

$$L_1 = 0,95m$$

$$L_2 = 1,9m$$

$$L_3 = 1,9m$$

ergeben(Anhang A-14). Eingbracht wird der U-Dehner in der Mitte der Gerade G-1.

Der Dehner L-1 hingegen wird aufgrund der neuen Geometrie vorerst die gewählten Schenkellängen

$$L_1 = 2,8m$$

$$L_2 = 1m$$

erhalten. Innerhalb der Gerade G-3 soll ein weiterer Festpunkt möglichst nahe an dem Dehner L-2 gesetzt werden, um die von G-3 aufgenommenen Längenänderungen zu minimieren und in den flexibleren Dehner Z-1 umzulenken.

Der Dehner L-2 muss allerdings dadurch die Längenänderungen seines eigenen Schenkels aufnehmen können. Daher wird der Dehner L-2 mit den größtmöglichen gleichwertigen Dehnschenkellängen ausgelegt.

$$L_1 = 2,3m$$

$$L_2 = 2,3m$$

Um zu verhindern, dass Längendehnung der Gerade G-3 den Dehner L-2 zu stark belastet wird 200mm nach dem Dehner L2 innerhalb der Gerade G-3 ein Festpunkt gesetzt. Dadurch teilt sich die Gerade G-3 auf in zwei Teilabschnitte der Längen 2,5m und 4,5m aufgeteilt.

Für den anschließenden Dehner Z-1 ist bereits die Schenkellänge L_2 durch den natürlichen leitungsverlauf festgelegt. In Zusammenhang mit den maximalen Stützweiten und einer Gleitkufe in der Mitte des Schenkels L_2 ergeben sich somit die Schenkellängen von Z-1:

$$L_2 = 3m$$

$$L_1 \leq 3,1m \text{ Gewählt: } 3m$$

Mittels dieser Längen ergibt sich für den Dehner Z-1 nach der Formel 80 eine maximale kompensierbare Längenänderung von 12,3 mm (Anhang A-15).

Diese Längendehnung ist mit der Längendehnung aus dem Teilabschnitt G-3 nach dem gesetzten Festpunkt zu vergleichen, welche sich nach der Formel 24 berechnen lässt. Mit den gegebenen werten ergibt sich für diesen Abschnitt eine Längenausdehnung von 7,4mm (Anhang A-16).

Da diese tatsächliche Dehnung geringer ist, als die mögliche kompensierbare Dehnung des Dehners Z-1, ist dieser Abschnitt in Ordnung. Zudem bleiben noch 3,4mm an kompensierbarer Dehnung für die Gerade G-4 übrig.

Die Gerade G-4 hat eine berechnete Längendehnung von 8,3mm (Anhang A-17).

Abzüglich der Dehnung, welche der Dehner Z-1 aufnimmt, bleiben noch 3,4mm an Längendehnung übrig, welche der Dehner L-3 kompensieren muss.

Mit dieser Dehnung ergibt sich für einen gleichschenkligen L-Dehner L-3 eine der folgenden Mindestschenkelängen (Anhang A-18):

$$L_1 = 2,1m$$

$$L_2 = 2,1m$$

Nach dem Dehner L-3 soll ein weiterer Festpunkt gesetzt werden, um zu verhindern, dass die Längendehnung der langen Geraden G-5 den Dehner L-3 zu stark belastet. Um sicherzugehen, dass das System flexibel genug ist werden die Schenkellängen des Dehners L-3 auf ihren Maximalwert von 2,3m erhöht.

Durch den Festpunkt selber wird die Gerade G-5 um 2,3m verkürzt, wobei die Strecke von 2,3m, welche dem Dehner L-3 zugehört, keine neue Bezeichnung erhält.

Zwischen der Geraden G-5 und G-6 muss ein U-Dehner eingesetzt werden, welcher selbst noch nicht positioniert oder dimensioniert ist. Durch diese fehlenden Informationen können auch noch keine Aussagen über die Längen der Geraden G-5 und G-6 gemacht werden. Beide Geraden sind daher vorläufig als eine Gerade G-56 zu betrachten. Für die Dimensionierung des U-Dehners muss zuerst die Längenänderung dieser zusammengefassten Geraden berechnet werden (Anhang A-19).

$$\Delta L_{G-56} = 66mm$$

Da dieser Wert kleiner ist als die maximale Dehnungskompensation eines einzelnen U-Dehners mit den maximal möglichen Stützweiten, Reicht für die Dehnungskompensation der Geraden G-5 und G-6 ein U-Dehner. Dieser Dehner U-2 wird mittels der berechneten Dehnung von 66m ausgelegt(Anhang A-20).

$$L_1 = 1,35m$$

$$L_2 = 2,7m$$

$$L_3 = 2,7m$$

Damit sind alle Dehnschenkel ausreichend ausgelegt. Der letzte Schritt für die Auslegung des Lagerungskonzeptes ist, die noch ungelagerten Strecken zwischen den Dehnern in ausreichenden und regelmäßigen Abständen mit Lagern zu versehen. Dazu müssen zuerst diese Strecken identifiziert und gemessen werden. Nach dem neuen Dehnungskompensationskonzept(Anhang B-1) ergeben sich folgende freie Geraden:

G-1.1: 5,6m

G-1.2: 2,6m

G-2: 6,7m

G-3: 2,5m

G-4: 0,7m

G-5: 16,0m

G-6: 18,3m

Diese Strecken müssen so mit Lagern versehen werden, dass es keine Strecke mehr gibt, welche die maximale Stützweite des Medienrohres überschreitet.

Die Geraden G-1.2, G-3 und G-4 sind bereits kürzer als die Stützweiten. Daher werden innerhalb dieser Strecken keine weiteren Lager benötigt. Die Strecken der Geraden G-1.1 und G-2 sind nur geringfügig größer als die Stützweiten. Daher wird innerhalb der Geraden jeweils ein Lager eingefügt.

Für die Geraden G-5 und G-6 muss zuerst die Menge an Lagern berechnet werden, bevor die Lagerpositionen gewählt werden können. Zur Berechnung der Lageranzahl wird die Länge der geraden durch die maximale Stützweite geteilt. Dadurch ergeben sich für die Geraden jeweils:

G-5: 4 Lager

G-6: 4 Lager

(Anhang A-21)

Um regelmäßige Stützweiten zu erhalten, werden die Längen der geraden jeweils durch die Anzahl der Lager geteilt. Dadurch ergeben sich die Folgenden Stützweiten:

G-5: 4,0m

G-6: 4,575m

(Anhang A-22)

Mithilfe dieser Längen lässt sich ein volles Lagerungskonzept des Systems aufstellen, wobei das Medienrohr an allen Lagerpositionen Gleitkufen erhält und das Mantelrohr außerhalb der Dehner ungeführte Gleitlager (Anhang B-2).

Damit ist die Grundlage für die Eingabe und Berechnung des Systems mittels dem Rohrstatik Programm ROHR2 geschaffen.

Zudem ist damit der gesamte Leitungsverlauf klar. Damit lässt sich das Ringraumvolumen der gesamten Leitung und damit auch die notwendige Anzahl der Überwachungsstellen berechnen

4.8 Berechnung des Überwachungsraumes und Auslegung der Überwachungsstellen

Mittels der Formel 3 und den gegebenen Durchmessern des Medienrohrs und Mantelrohrs lässt sich die maximale Länge des Überwachungsraums mit einer einzigen Überwachungsstelle berechnen. Die maximale Überwachungslänge für die gegebenen Nennweiten nach der Berechnung ist 715,6m. (Anhang A-24)

Diese Länge ist wesentlich größer als die Gesamtlänge des Beispielsystems. Daher wird jeweils eine Messstelle an jedem Ende der Doppelrohrleitung angebracht.

4.9 Eingabe des Beispielsystems in ROHR2

Das Anlegen eines Projektes und die Projekteinstellungen verlaufen wie bei normalen Systemen. Als Eingabeeinheiten werden SI-Einheiten gewählt und als Montagetemperatur wie bereits festgelegt 15°C.

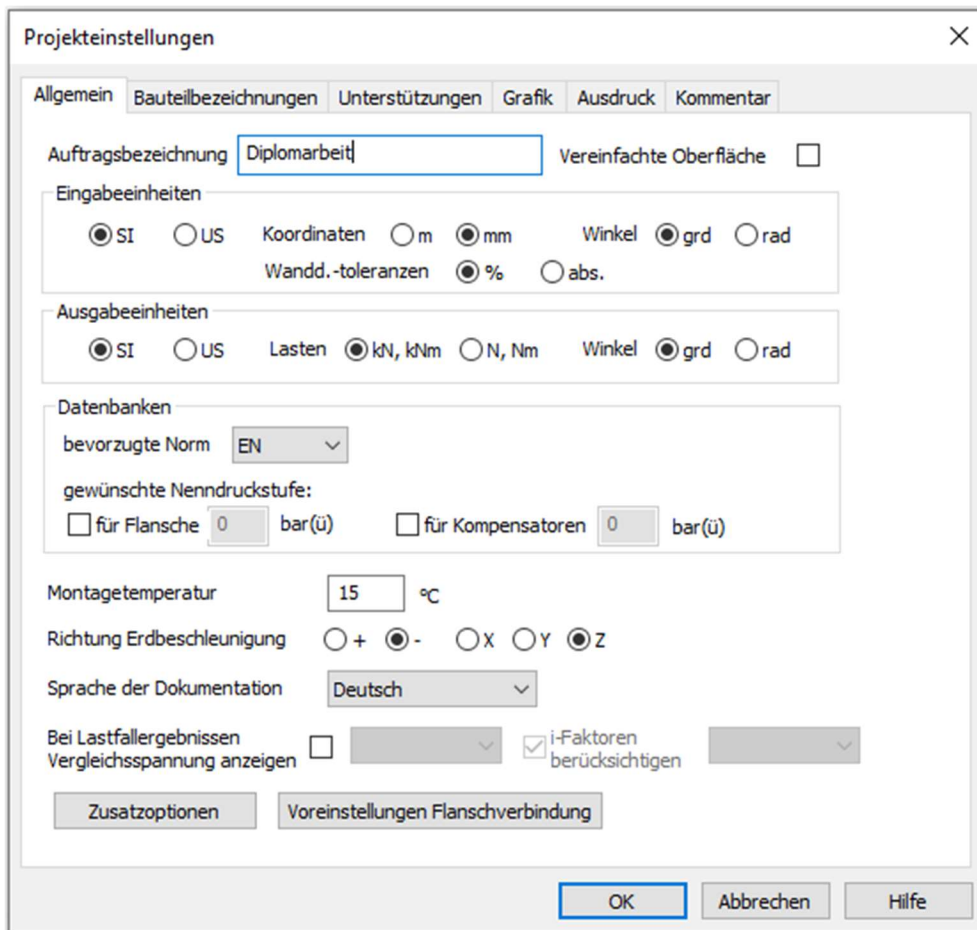


Abbildung 25 Projekteinstellungsfeld ROHR2

Der erste zu beachtende Unterschied ist die Eingabe der Rohre in das System. Innerhalb von ROHR2 ist es nicht möglich 2 unterschiedliche Rohrklassen entlang derselben Rohrachse zu verlegen. Daher müssen beide Rohre als ein Mantelrohrsystem festgelegt werden. Die Eingabe der Mantelrohrleitungen befindet sich rechts neben der Eingabe der herkömmlichen Rohrleitung.

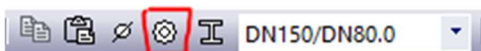


Abbildung 26 Symbol zum Eingabefeld für Mantelrohrleitungen in ROHR2

Die Eingabe des Rohrs selbst ist Identisch, nur dass bei dem Mantelrohr ein Innen- und Außenrohr eingegeben werden muss. Bei dem Innenrohr handelt es sich um das Medienrohr mit den berechneten Dimensionen von 88,9 x 3,2mm nach der DIN 10217-2 für geschweißte Rohre. Alle angenommenen Werte und Normen müssen in die Felder eingetragen werden, wobei die Fertigungstoleranz berücksichtigt werden soll.

Abmessungen Rohre - DN150/DN80.0

Rohr Bogen Isolierung Material Rohr Material Bogen

Abmessungen

benutzerdefiniert Norm EN 10217-2 Norm

Außendurchmesser vorgeben Innendurchmesser vorgeben

Außendurchmesser 88.9 mm Innendurchmesser 82.5 mm

Wanddicke 3.2 mm

Wanddickentoleranzen, Zuschläge für Innendrucknachweise und FE-Analysen

Minus-Fertigungstoleranz 10 % mm EN 10217-2

Korrosionszuschlag 1 mm Schweißnahtfaktor 1

Wanddickentoleranzen für Spannungsanalyse

Fertigungstoleranz berücksichtigen Korrosionszuschlag berücksichtigen

Toleranzen benutzerdefiniert vorgeben

Toleranz Innen 41.25 % Toleranz Außen 0 %

Auskleidung innen

Auskleidung berücksichtigen Dicke 0 mm Dichte 0 kg/m³

Streckenmasse vorgeben Streckenmasse 6.7632 kg/m

Innendrucknachweis durchführen

maximale unversteifte Länge für Nachweis gegen äußeren Überdruck mm

Streckenmasse gesamt

gerades Rohr 6.7632 kg/m Bogen 6.7632 kg/m

Berechnungsdaten

extreme Betriebsdaten als Berechnungsdaten verwenden

Berechnungsdruck Pc 10 bar(i) Berechnungstemperatur Tc 150 °C

Innenrohr Außenrohr Innendrucknachweis OK Abbruch

Abbildung 27 Eingabefeld der Medienrohrdaten in ROHR2
Das Außenrohr ist das Mantelrohr und wird mit diesen Werten eingegeben.

Abmessungen Rohre - DN150/DN80.0

Rohr Bogen Isolierung Material Rohr Material Bogen

Abmessungen

benutzerdefiniert Norm EN 10217-2 Norm

Außendurchmesser vorgeben Innendurchmesser vorgeben

Außendurchmesser 168.3 mm Innendurchmesser 160.3 mm

Wanddicke 4 mm

Wanddickentoleranzen, Zuschläge für Innendrucknachweise und FE-Analysen

Minus-Fertigungstoleranz 10 % mm EN 10217-2

Korrosionszuschlag 1 mm Schweißnahtfaktor 1

Wanddickentoleranzen für Spannungsanalyse

Fertigungstoleranz berücksichtigen Korrosionszuschlag berücksichtigen

Toleranzen benutzerdefiniert vorgeben

Toleranz Innen 35 % Toleranz Außen 0 %

Auskleidung innen

Auskleidung berücksichtigen Dicke 0 mm Dichte 0 kg/m³

Streckenmasse vorgeben Streckenmasse 16.2075 kg/m

Innendrucknachweis durchführen

maximale unversteifte Länge für Nachweis gegen äußeren Überdruck mm

Streckenmasse gesamt

gerades Rohr 21.725 kg/m Bogen 21.725 kg/m

Berechnungsdaten

extreme Betriebsdaten als Berechnungsdaten verwenden

Berechnungsdruck Pc 10 bar(i) Berechnungstemperatur Tc 150 °C

Innenrohr Außenrohr Innendrucknachweis OK Abbruch

Abbildung 28 Eingabefeld der Mantelrohrdaten in ROHR2
Des Weiteren muss bei dem Mantelrohr die Isolierung von 40mm zusätzlich eingegeben werden.

Abbildung 29 Eingabe Mantelrohrisolation in ROHR2

Bei dem Medienrohr selbst muss keine Isolierung beachtet werden, allerdings muss der Rohrbogen angepasst werden.

Für beide Rohre werden Rohrbögen nach der Norm DIN EN 10253-2 Typ A verwendet, allerdings muss der Bogenradius des Medienrohrs an den des Mantelrohrs angepasst werden. Daher muss der Medienrohrbogen erst nach der Norm ausgelegt werden und danach einen benutzerdefinierten Bogenradius erhalten.

In der Praxis ist dies schwer umzusetzen, da die Herstellung von Rohrbögen außerhalb der Norm-Biegeradien Einzelanfertigungen sind. Eine kostensparende Alternative dazu ist es, die Bauart des Medienrohrbogens so zu wählen, dass dessen Biegeradius möglichst nahe an den des Mantelrohrbogens herankommt.

Abbildung 30 Eingabe Rohrbogendaten des Mantelrohrs in ROHR2

Abbildung 31 Eingabe Rohrbogendaten des Medienrohrs in ROHR2

Nachdem die Nennweiten eingegeben sind, kann die Geometrie des Systems wie bei normalen Rohrleitungen eingegeben werden.

Der nächste Schritt in der Eingabe des Systems sind die Betriebsdaten. Dabei ist zu beachten, dass der einzugebende Betriebsdruck des Medienrohrs nicht dessen wahrer Betriebsdruck, sondern der Differenzdruck zum Betriebsdruck des Ringraumes ist. Bei diesem System ist der Betriebsdruck des Medienrohrs also nicht 10 bar, sondern -4 bar. Das negative Vorzeichen beschreibt das Unterdruckverhalten innerhalb des Medienrohrs.


Abbildung 32 Betriebsdaten Primärmedium

Abbildung 33 Betriebsdaten Ringraum

Für die Zuordnung der Betriebsdaten wird der betroffene Rohrbereich ausgewählt, die zutreffenden Betriebsdaten ausgewählt und zugewiesen. Bei einem Doppelrohrsystem erfragt das Programm automatisch, auf welches Rohr die Betriebsdaten übertragen werden sollen.

Abbildung 34 Zuweisungseingabe der Betriebsdaten für Mantelrohrleitungen

Nachdem die Betriebsdaten zugewiesen sind, können die Lager und Gleitkufen eingetragen werden. Die Gleitkufen sind innerhalb von ROHR2 als Kopplungen einzutragen.

Kopplungen lassen sich mittels diesem Symbol  einfügen.

Die Kopplung wird an den bestimmten Lagerpositionen eingesetzt, woraufhin ein Menü erscheint, in dem die zu koppelnden Bewegungen auszuwählen sind.

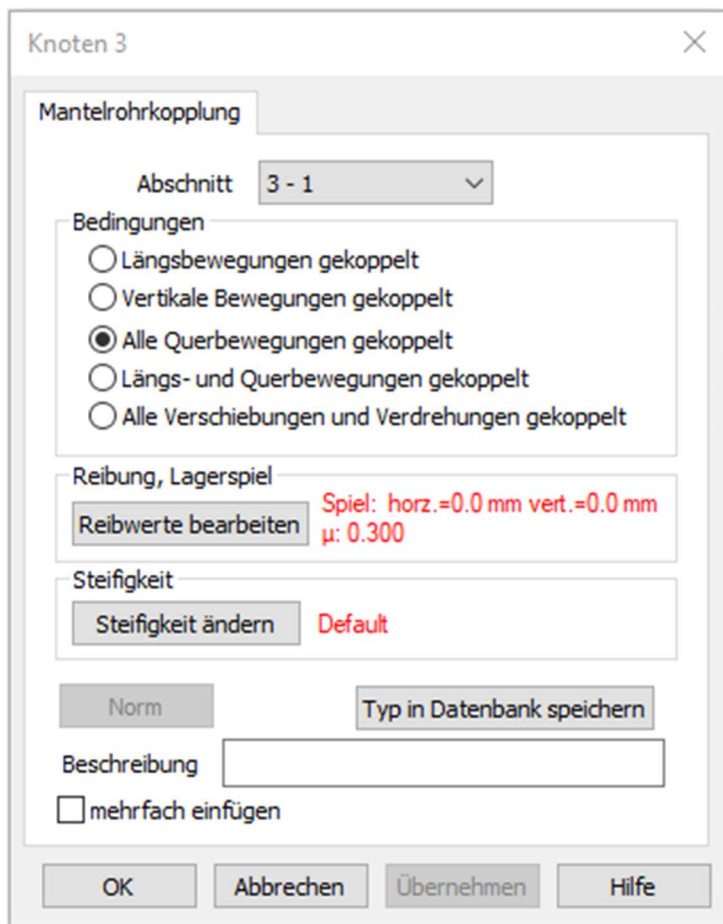


Abbildung 35 Eingabefeld Rohrkopplung in ROHR2

Da die Gleitkufen als geführte Gleitlager fungieren, müssen alle Querbewegungen gekoppelt werden. Da die Gleitkufen allerdings einen Sicherheitsabstand zum Mantelrohr besitzen, muss dieser als Lagerspiel mit berücksichtigt werden.

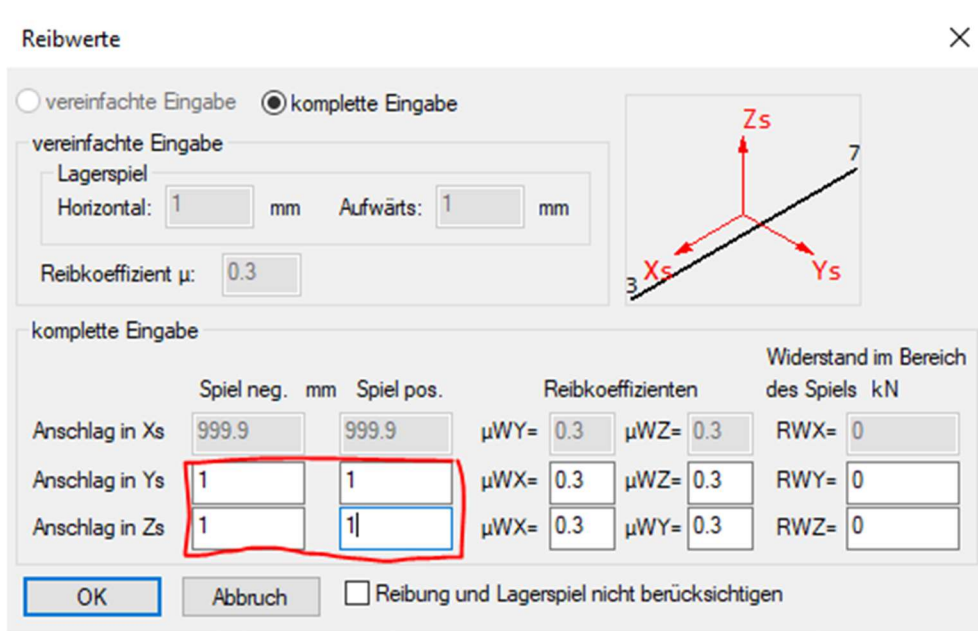


Abbildung 36 Eingabe der Reibwerte und Lagerspiele der Rohrkopplung in ROHR2

An den Festpunkten wird anstelle einer Gleitkufe eine Lochscheibe eingesetzt, welche das Medienrohr fest mit dem Mantelrohr verbindet. In diesem Fall wird eine Kopplung eingesetzt, welche alle Verschiebungen und Verdrehungen des Medienrohres mit dem Mantelrohr koppelt.

Die Lagerung des Mantelrohrs erfolgt an denselben Positionen. Allerdings werden hierbei gewöhnliche starre Stützen verwendet. Die Auswahl dieser Stützen kann ähnlich der Lagerung für das Medienrohr ausgelegt werden, allerdings können einige der geführten Gleitlager ohne Führung gestaltet werden.

Da das System keine weiteren Lastfälle besitzt, ist es hiermit fertig eingegeben und kann berechnet werden.

5 Fazit

Doppelrohrsysteme sind ein einfaches Konzept, welches in der Praxis allerdings komplexe Probleme mit sich bringen kann. Bei der Verwendung des Doppelrohrsystems als Isolierung oder Leckage kann es zu großen Temperaturunterschieden zwischen den zwei Rohren kommen. Da dies zu unterschiedlichen Wärmeausdehnungen führen kann, was wiederum zu einer Kollision der beiden Rohre miteinander führen kann, muss die Dehnungskompensation von Doppelrohrsystemen genauer betrachtet werden, als bei normalen Systemen.

Die rohrstatischen Unterschiede im Vergleich zu normalen Rohren beginnen bereits bei der Wanddickenberechnung. Der Berechnungsdruck des Medienrohres ist nicht der Differenzdruck des Mediendrucks gegen den Atmosphärischen Druck, sondern gegen den Druck innerhalb des Ringraumes. Dadurch kann es zu einem relativ gesehenen Unterdruck innerhalb des Medienrohres kommen, wodurch die Wanddicke anders berechnet werden muss.

Ein weiterer Unterschied im Vergleich zu normalen Rohrleitungen ist die konstante Einschränkung des Medienrohres durch das Mantelrohr. Gerade bei Dehnungsschenkeln beeinträchtigt das Mantelrohr die mögliche Dehnungskompensation des Medienrohres. Dies kann umgangen werden, indem der Verlauf des Mantelrohrs an den veränderten Verlauf des Medienrohres unter thermischer Belastung angepasst wird oder die Nennweite des Mantelrohrs in kritischen Stellen erhöht wird. Beide Variationen gehen allerdings mit höheren Kosten einher. Daher muss genau berechnet werden, ab welcher Verformung es zu einer Kollision kommen kann. Je nach den Ergebnissen dieser Kollisionsanalyse kann demnach geklärt werden ob und wenn ja, welche Vorkehrungen getroffen werden müssen.

Des Weiteren ist die Lagerungssituation des Medienrohres kompliziert, da es keine richtigen Gleitlager gibt. Grundlegend muss jede Gleitkufe als geführtes Gleitlager dargestellt werden. Im Verlauf der rohrstatischen Berechnung kann allerdings die Gleitkufenhöhe reduziert werden. Dadurch kann dem System mehr Flexibilität gegeben werden. Allerdings darf auch die Abstützfunktion der Gleitkufe nicht zu weit beeinträchtigt werden.

Die Lagerung des Mantelrohrs hingegen verläuft weiterhin wie bei normalen Rohren.

Quellenverzeichnis

DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 13480-3:2017-12, Metallische industrielle Rohrleitungen - Teil 3: Konstruktion und Berechnung; Deutsche Fassung EN 13480-3:2017, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2017

DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 10217-2:2019-08, Geschweißte Stahlrohre für Druckbeanspruchungen – Technische Lieferbedingungen – Teil 2: Elektrisch geschweißte Rohre aus unlegiertem und legiertem Stahl mit festgelegten Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen; Deutsche Fassung EN 10217-2:2019, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2019

DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 10253-2:2008-09, Formstücke zum Einschweißen – Teil 2: Unlegierte und legierte ferritische Stähle mit besonderen Prüfanforderungen; Deutsche Fassung EN 10253-2:2008, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2008

Werkstoffkombinationen und Verbindungstechniken von Doppelrohrsystemen; Fachverband der Kunststoff-Rohr-Industrie; Zuletzt überprüft: 11.08.2024 15:40 Uhr
<https://www.krv.de/wissen/werkstoffkombinationen-und-verbindingstechniken>

Rohre und Formstücke, Leckageüberwachung; Fachverband der Kunststoff-Rohr Industrie; Zuletzt überprüft: 11.08.2024 15:40 Uhr
<https://www.krv.de/wissen/rohre-und-formstuecke-leckageueberwachung>

Formelsammlung und Berechnungsprogramme für Maschinen- und Anlagenbau – Berechnung eines Rohrleitungssystems – Beuldruck – Unterdruck; Zuletzt überprüft: 11.08.2024 15:40 Uhr
<https://www.schweizer-fn.de/rohr/rohrleitung/rohrleitung.php#rohrspannungen>

Anlagenverzeichnis

A Berechnungen

- A-1 Luftdichte bei 15 bar Absolutdruck
- A-2 Auslegungsspannung für P235GH bei 150°C
- A-3 Errechnete Mindestwanddicke Mantelrohr DN 150
- A-4 Mindestbestellwanddicke Mantelrohr DN 150
- A-5 Mittlerer Rohrradius des Medienrohrs DN 80
- A-6 Errechnete Mindestwanddicke Medienrohr DN 80
- A-7 Mindestbestellwanddicke Medienrohr DN 80
- A-8 Maximaler Außendurchmesser des Medienrohrs bei Ausdehnung
- A-9 Bauhöhe der Gleitkufe
- A-10 Zulässiger Abstand Festpunkte von Doppelrohrbögen
- A-11 Schenkellängen L-Dehner L-1
- A-12 Maximale kompensierbare Dehnung des L-Dehners L-1
- A-13 Maximale kompensierbare Dehnung des größtmöglichen U-Dehners
- A-14 Schenkellängen des U-Dehners U-1
- A-15 Maximale kompensierbare Dehnung des Z-Dehners Z-1
- A-16 Längendehnung der Gerade G-3 nach dem Festpunkt
- A-17 Längendehnung der Gerade G-4
- A-18 Schenkellängen L-Dehner L-3
- A-19 Längendehnung der Gerade G-56
- A-20 Schenkellängen des U-Dehners U-2
- A-21 Lageranzahl für die Geraden G-5 und G-6
- A-22 Lagerabstände für die Geraden G-5 und G-6
- A-23 Maximale Länge des Überwachungsraumes mittels einer Messstelle

B Zeichnungen:

- B-1 Isometrie Dehnungskompensationskonzept
- B-2 Isometrie Lagerungskonzept

C Normenausschnitte:

- C-1 DIN EN 13480-3 Grafik G.3-1
- C-2 DIN EN 13480-3 Grafik G.3-2
- C-3 DIN EN 10217-2 Tabelle 4
- C-4 DIN EN 10217-2 Tabelle 5
- C-5 DIN EN 10217-2 Tabelle 7
- C-6 DIN EN 10217-2 Tabelle 6
- C-7 DIN EN 10253-2 Tabelle B.1
- C-8 DIN EN 13480-3 Tabellen Q.1 und Q.2