

DAMPF UND KONDENSAT IN ROHRLEITUNGEN

Durch Rohrleitungen strömt Dampf oder Kondensat zum Verbraucher. Die Rohrleitungen sollten nicht zu klein und nicht zu groß sein. Ist die Rohrleitung zu klein, „passt“ der Dampf auf Grund seines Volumens nicht durchs Rohr. Ist die Rohrleitung zu groß, werden die Beschaffung und die Montage der Rohrleitung zu teuer.

- **Entscheidungskriterium für die Dimension der Rohrleitung ist die Strömungsgeschwindigkeit in der Rohrleitung.**

Hier nun einige wichtige Hinweise zur Auslegung von Dampf- und Kondensatleitungen.

1) Nennweite und Druckstufen von Rohrleitungen

Beim Einsatz von Rohrleitungen sowie Rohrformteilen (z.B. Flansche und Rohrbögen) müssen je nach Einsatzbedingungen entsprechende Druckstufen beachtet werden. Mit Einsatzbedingungen sind der Druck und die Temperatur des durch die Rohrleitung strömenden Mediums gemeint. Bei Dampf mit einem Druck von z.B. 20 barü und einer Temperatur von 220 °C werden andere Abmessungen verwendet als bei einem Druck von 3barü. Ähnlich wie bei Behältern, Wärmetauscher usw. gilt auch für Rohrleitungen ein maximal zulässiger Betriebsüberdruck. Dieser zulässige Betriebsüberdruck ist abhängig von den Festigkeitskennwerten des Werkstoffes.

Um den Einsatz von Rohrleitungen und Rohrformteilen hinsichtlich z.B. der Wandstärke und Abmessungen sowie dem Material zu standardisieren, wurden diese in Normen entsprechend der Druckstufe **PN** (pressure nominal, oder übersetzt: Nenndruck) und der Größe **DN** (diameter nominal, oder übersetzt Nennweite) festgelegt. Die Bezeichnung PN ist eine Kenngröße, welche mechanische und maßliche Eigenschaften von Rohrteilen bei einer Temperatur von 20 °C beschreibt. In der praktischen Anwendung bedeutet dies, dass ein Flansch DN40/**PN16** für einen Druck von 3 barü und 140 °C ausreichend stabil ist. Die Verwendung des gleichen Flansches bei einem Druck von 3 barü und einer Temperatur von 300 °C wäre aber zu überdenken.

Bei Dampf- und Kondensatanlagen zum Beheizen von Anlagenteilen sind die Druckstufen PN10, PN16 und PN40 üblich. Druckstufen PN63, PN100 und darüber hinaus sind eher im Kraftwerksbereich zu finden.

Als Betreiber einer Dampf- und Kondensatanlage wird man sich nicht mit Werkstoffkennzahlen von Rohrleitungen beschäftigen. Es genügt wenn man die Druckstufen kennt und entsprechend der gültigen Norm benötigtes Rohrmaterial bestellt.

Ist man sich nicht sicher, so können bei der Bestellung auch der maximale Druck und die maximale Temperatur angegeben werden. Der Lieferant bestimmt dann selber die entsprechende Druckstufe. Eine weitere Möglichkeit, die Druckstufe zu ermitteln, wäre beim bisher eingesetzten Rohrmaterial nachzusehen. Auf jedem Flansch ist die Druckstufe seitlich eingeschlagen. Bei gleichen Betriebsbedingungen kann auch das gleiche Rohrmaterial wieder verwendet werden. **Übertriebene Sicherheit treibt die Kosten einer Rohrleitungsmontage in die Höhe. Wird z.B. Rohrmaterial in PN40 verwendet wo eigentlich Wandstärken und Flanschabmaße in PN16 genügen erhöhen sich deutlich die Material- und Montagekosten.**

Nennweiten von Rohrleitungen
nach DIN 2402

DN	Außendurchmesser (mm)
10	17,2
15	21,3
20	26,9
25	33,7
32	42,4
40	48,3
50	60,3
65	76,1
80	88,9
100	114,3
125	139,7
150	168,3
200	219,1
250	273
300	323,9
bis	
DN4000	4020

Weitere Abmaße und Informationen zu Rohrleitungen siehe unter „Nachschlagewerk“.

2) Die Dampfleitung

Dampf ändert, entsprechend des Dampfdruckes, das Volumen. Ist der Druck hoch, ist das Volumen des Dampfes klein und umgekehrt.

Volumen von Sattdampf:

Druck 1,0 barü - Volumen 0,88 m³/kg

Druck 3,0 barü - Volumen 0,46 m³/kg

Druck 6,0 barü - Volumen 0,27 m³/kg

Je größer der Druck, desto kleiner ist das Volumen (desto mehr passt durch das Rohr).

Soll die gleiche Menge Dampf durch eine lange Rohrleitung transportiert werden, so wäre der Zustand mit einem Dampfdruck von 6,0 barü am wirtschaftlichsten anstatt Dampf mit 1,0 barü zu verwenden (siehe oben). Bei einem Dampfdruck von 6,0 barü würde man eine viel kleinere Rohrleitung benötigen, da das Volumen kleiner ist als bei einem Dampfdruck von 1,0 barü (*deshalb wird Dampf mit hohem Druck für den Transport in langen Rohrleitungen verwendet*).

In Dampfleitungen sollten je nach Nennweite Strömungsgeschwindigkeiten von 15 m/s bis 30 m/s vorliegen. Es geht auch schneller, aber ab 40 m/s kommt es auf Grund der hohen Geschwindigkeit vermehrt zu Geräuschen in der Rohrleitung. Mitgerissene Wassertröpfchen in der Dampfströmung führen bei höheren Geschwindigkeiten zur Materialschädigung. Die Druckverluste in der Rohrleitung steigen ebenfalls an (*dazu später mehr*).

► **BEISPIEL:**

Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeit für eine Rohrleitung DN200 bei einer Dampfmenge von 10 t/h:

Zustand 1: Druck 3,0 barü Dampfmenge: 10 t/h (Sattdampf)

Zustand 2: Druck 6,0 barü Dampfmenge: 10 t/h (Sattdampf)

Abschrift aus Wasserdampf tabel (Q1):

Druck [bar]		Temperatur [°C]	Wärmeinhalt [kJ/kg]		Volumen [m ³ /kg]	Dichte [kg/m ³]
Überdruck	absoluter Druck		Wasser	Dampf	Dampf	Dampf
	0,5	82	341	2646	3,25	0,30
0,0	1,0	100	418	2675	1,70	0,59
0,3	1,3	107	450	2687	1,30	0,75
0,5	1,5	111	467	2694	1,16	0,86
0,8	1,8	117	491	2702	0,98	1,02
1,0	2,0	120	505	2707	0,88	1,13
1,5	2,5	128	535	2715	0,72	1,40
2,0	3,0	134	562	2725	0,60	1,65
2,5	3,5	139	584	2733	0,52	2,00
3,0	4,0	144	605	2740	0,46	2,20
3,5	4,5	148	623	2744	0,42	2,50
4,0	5,0	152	640	2747	0,38	2,70
4,5	5,5	156	656	2752	0,35	3,00
5,0	6,0	159	670	2755	0,32	3,20
6,0	7,0	165	697	2763	0,28	3,70
7,0	8,0	170	721	2768	0,24	4,20
8,0	9,0	175	745	2773	0,22	4,60
9,0	10,0	180	765	2775	0,19	5,20

Meistens liegen die Angaben zur Dampfmenge als Massendurchsatz in Kilogramm pro Stunde oder in Tonnen pro Stunde vor. Zur Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeit wird aber das Volumen des Dampfes benötigt. Deshalb muss nun erst einmal das Volumen ermittelt werden. Dazu wird ein Nachschlagewerk benötigt, in welcher die Stoffdaten des Dampfes zu finden sind. In der Tabelle oben sind einige Daten zusammengestellt.

Ermittlung des Volumens:

Zustand 1: Druck: 3,0 barü Volumen: 0,46 m³/kg

Zustand 2: Druck: 6,0 barü Volumen: 0,28 m³/kg

Dampfmenge x spezifisches Volumen = Volumenstrom

$$10.000 \text{ kg/h} \times 0,46 \text{ m}^3/\text{kg} = 4600 \text{ m}^3/\text{h}$$

Ergebnis 1: 10 t/h bei einem Druck von 3,0 barü ergeben ein Volumenstrom von 4600 m³/h.

Ergebnis 2: 10 t/h bei einem Druck von 6,0 barü ergeben ein Volumenstrom von 2800 m³/h.

Mit diesen beiden Werten kann nun die Strömungsgeschwindigkeit ermittelt werden.

Berechnung der Strömungsgeschwindigkeit:

Mit Hilfe einer Gleichung (sog. Kontinuitätsgleichung) könnte man nun die Geschwindigkeit in Abhängigkeit vom Querschnitt der Rohrleitung berechnen. Mit der nachfolgenden Tabelle geht es aber schneller.

Nennweite	Durchfluss*)
	$\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ m/s
15	1
20	1,5
25	2,5
32	4
40	5,5
50	9
65	14
80	19,5
100	33
125	50
150	72
200	125
250	195
300	275
350	330
400	435
500	670

*) Bei einer Strömungsgeschwindigkeit von einem Meter pro Sekunde

(▶) Durch eine Rohrleitung DN200 können bei einer Geschwindigkeit von 1 m/s 125 m³/h Dampf / Kondensat / Wasser strömen.

In unserem Beispiel haben wir aber ein Volumen von 4600 m³/h und 2800 m³/h. Wie hoch ist für diese Volumen die Geschwindigkeit in der Rohrleitung?

$$4600 \text{ m}^3/\text{h} : 125 = 36,8 \text{ m/s (bei 3,0 barü)}$$

$$2800 \text{ m}^3/\text{h} : 125 = 22,4 \text{ m/s (bei 6,0 barü)}$$

Ergebnis der Überprüfung der Strömungsgeschwindigkeit für eine Rohrleitung DN200:

Bei einem Dampfdruck von 3,0 barü beträgt die Strömungsgeschwindigkeit ca. 37 m/s.

Bei einem Dampfdruck von 6,0 barü beträgt die Strömungsgeschwindigkeit ca. 23 m/s.

Obwohl die Strömungsgeschwindigkeit mit ca. 37 m/s schon recht hoch ist, wäre die Rohrleitung DN200 immer noch geeignet.

3) Die Kondensatleitung:

Zur Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeit wird das Kondensat wie Wasser behandelt. Dies ist nicht ganz richtig, da die Dichte von Wasser von dessen Temperatur abhängig ist. Für unsere Berechnungen führt die Annahme aber zu hinreichend genauen Ergebnissen. Wir gehen davon aus, dass wirklich nur heißes Wasser durch die Rohrleitung strömt. *(Im Kapitel zur Nachverdampfung werden wir merken, dass dies nicht immer so ist !!!)*

Für Kondensatleitungen sollte die Strömungsgeschwindigkeit in der Rohrleitung zwischen 1 m/s und 3 m/s liegen.

Kondensat mit zu hohen Strömungsgeschwindigkeiten führt schnell zu Materialschäden in der Rohrleitung. Zerschneidet man so ein Rohr und betrachtet den Querschnitt und die Innenoberfläche, so bemerkt man einen großflächigen Materialabtrag. Die Rohrleitung wirkt innen wie poliert. Die Wandstärke der Rohrleitung verringert sich dadurch bis zur Leckage.

► **BEISPIEL:**

Wie viel Kondensat kann durch eine Rohrleitung DN200 strömen?

Berechnung der Strömungsgeschwindigkeit:

Die Bestimmung des Volumens entfällt. (wie Wasser: $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ kg}$)

Es wird wieder die oben aufgeführte Tabelle benötigt.

Ergebnis: Durch eine Rohrleitung DN200 können bei einer Geschwindigkeit von 1 m/s $125 \text{ m}^3/\text{h}$ Kondensat strömen. ($125 \text{ m}^3/\text{h} = 125 \text{ t/h}$)

Bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 2 m/s könnten $250 \text{ m}^3/\text{h}$ fließen.

Anders als beim Dampf, ist das Volumen von Kondensat nicht vom Druck und der Temperatur abhängig. Deshalb werden diese beiden Angaben nicht zur Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeit benötigt.

4) Druckverluste in Rohrleitungen

Die Ermittlung der Druckverluste ist für Dampf- u. Kondensatrohrleitungen gleich. Nach der Berechnung der Strömungsgeschwindigkeit müssen anschließend die Summen der Einzeldruckverluste von Rohrbögen, Armaturen usw. addiert werden. Dazu werden die sog. Zeta-Werte (Druckverlustwerte) der Einbauten benötigt. *(etwas ausführlicher: siehe auch Kapitel Theorie)*

Will man diese Berechnungen „zu Fuß“, also ohne ein entsprechendes Berechnungsprogramm ausführen, so wird es kompliziert. Bei der Auslegung von z.B. Pumpen können diese Druckverlust-Berechnungen vom Pumpenhersteller ausgeführt werden. Bei großen Pumpen oder wenn eine Vielzahl von Pumpen zum Einsatz kommen, sollte die sog. Förderhöhe der Pumpen möglichst genau ermittelt werden. Dadurch wird elektrische Energie gespart *(siehe Kapitel zu Kondensatpumpen)*.

Für den „Hausgebrauch“ reicht es aber, wenn man die Strömungsgeschwindigkeiten in der Rohrleitung beachtet.

Dampfleitung: ca. 15 m/s bis 30 m/s
Kondensatleitung: ca. 1 m/s bis 3 m/s

Werden diese Strömungsgeschwindigkeiten nicht überschritten, so kann man den Druckverlust in der Rohrleitung vernachlässigen.

5) **Zusammenfassung:**

- **Für die Dimensionierung einer Rohrleitung muss die Strömungsgeschwindigkeit beachtet werden.**

Dampfleitung: ca. 15 m/s bis ca. 30 m/s

Kondensatleitung: ca. 1 m/s bis max. 3 m/s

(Anmerkung vom Verfasser: Ich plane seit fast 20 Jahren Dampf- und Kondensatsysteme. Außer bei der Auslegung von Ausblaseleitungen von Sicherheitsventilen habe ich noch nie die Druckverluste in Rohrleitungen bestimmt, oder hatte auf Grund deren Nichtbeachtung Probleme. Ich habe aber immer die Strömungsgeschwindigkeiten bei den verschiedenen Betriebsbedingungen in der Rohrleitung errechnet und beachtet.)