

4. Die Dampfleitung

Das folgende Kapitel ist den Dampfleitungen gewidmet. Dabei bleiben manche Dinge zu den eigentlichen Rohrleitungen unerwähnt oder werden nur am Rande gestreift, weil diese Ausführungen lediglich als Ergänzung der sonstigen Fachliteratur gedacht sind; sie können Ausbildung und Berufserfahrung in der Montage von Dampfleitungen nicht ersetzen.

Für den Fachmann soll der Nutzen darin bestehen, dass Erfahrungen der Betriebspraxis weitergegeben werden, die in den Handbüchern oder im Studium zu kurz kommen oder unerwähnt bleiben; für den mehr am Rande Interessierten, z. B. den verantwortlichen Einkäufer, soll die Auswahl und die Erklärung das Verstehen erleichtern. Für beide Personengruppen gilt: Die Praxis ist so vielseitig, dass das Heil nicht in den Rezepten liegen kann, sondern nur im Verständnis der Zusammenhänge.

4.1 Rohrwerkstoff und Nenndruck

Für Dampf- und Kondensatleitungen kommen hauptsächlich nahtlose Rohre nach DIN 1629 in Frage. Die allgemeinen Verwendungshinweise dieser Norm können Sie dem beiliegenden Auszug entnehmen. Welches Material und welche Wanddicke im Einzelfall einzusetzen sind, das muss jeweils anhand der auftretenden Drücke und Temperaturen errechnet bzw. den Berechnungsunterlagen des Herstellers entnommen werden.

Um eine Unzahl von „zulässigen Betriebsüberdrücken“ zu vermeiden, wurden die in der Praxis vorkommenden Drücke in wenige Druckbereiche eingeteilt, deren jeweiliger Höchstwert den Bereich kennzeichnet und *Nenndruck* genannt wird, abgekürzt „PN“.

Die frühere Bezeichnung für den Nenndruck „ND“, die man noch in vielen Unterlagen findet, wurde durch „PN“ ersetzt, um sie im internationalen Gebrauch verwendbar zu machen. „Nenndruck 25“ oder „PN 25“ heißt zunächst „zulässiger Betriebsüberdruck bis 25 bar bei 20 °C“.

Die wichtigsten dieser Nenndrücke sind: PN 6, 10, 16, 25, 40, 63 (früher 64), 100, 160, 250, nähere Angaben siehe DIN EN 1333.

PN	6	Kleinanlagen
	10	
	16	Übliche Dampfanlagen
	25	
	40	
	63	Turbinen/Kraftwerk
	100	
	160	
	250	

Es genügt nun, zu einem Rohrleitungsteil – Rohrstück oder Armatur – den Nenndruck anzugeben, um seinen Einsatz-

bereich zu kennzeichnen: Ein „Ventil PN 25“ ist bei 20 °C bis $p_e = 25$ bar einsetzbar.

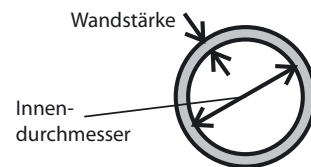
Die Festigkeit der Werkstoffe nimmt mit zunehmender Temperatur ab; deshalb darf ein Ventil PN 25 nicht mit Dampf von $p_e = 25$ bar und 300 °C betrieben werden. DIN EN 10216 gibt Hinweise, bis zu welchen Drücken man Rohrleitungsteile eines bestimmten Nenndrucks bei höheren Temperaturen einsetzen kann. Ist ein Ventil PN 25 beispielsweise aus Stahlguss GS-C 25, dann kann es im Allgemeinen bei 200 °C bis $p_e = 22$ bar, bei 300 °C bis $p_e = 17$ bar, bei 400 °C bis $p_e = 13$ bar eingesetzt werden; über 400 °C ist ein anderes Material, etwa GS-22 Mo 4 zu verwenden.

Aus den genannten Normen ersehen Sie weiter, dass für Dampf- und Kondensatleitungen bis $p_e = 10$ bar/183 °C „nahtlose Stahlrohre in Handelsgüte“ (Werkstoff St 00 DIN 1629) zulässig sind. Bis $p_e = 24$ bar/300 °C können nahtlose Stahlrohre aus St 35 in Ausführung PN 40 oder PN 64 eingesetzt werden (ohne Abnahmezeugnis). Über 300 °C sind Rohre aus „warmfesten“ Stählen zu verwenden (DIN EN 10216).

In den letzten Jahren sind eine Reihe von Werkstoffnormen überarbeitet worden. Wir verwenden die noch weit gebräuchlichen Bezeichnungen, eine Übersicht der neuen finden Sie in Anhang 9 und 10.

4.2 Die Nennweite

Rohre für allgemeine Zwecke des Rohrleitungsbaus werden nicht auf Bestellung angefertigt – das wäre viel zu teuer und würde zu lange dauern – sondern nach Lagerlisten. Dabei muss man natürlich die Zahl der gefertigten Rohrdurchmesser beschränken. Es wäre zu aufwendig, zwischen 10 und 100 mm Innendurchmesser etwa 90 verschiedene Rohrweiten zu liefern. Das ist auch gar nicht nötig, denn die Rohrnetzrechnungen sind ja stets mit Ungenauigkeiten und Sicherheitszuschlägen beladen, so dass es sinnlos wäre, ein genau dem Rechenergebnis entsprechendes Rohr zu verlegen.



Nennweite DN	10	15	20	25	32	40	50	65	80
Innendurchmesser mm	13,6	17,3	22,3	28,5	37,2	43,1	54,5	70,3	82,5

Nennweite DN	100	125	150	200	250	300	350	400	500
Innendurchmesser mm	107,1	131,7	159,3	207,3	260,4	309,7	339,6	388,8	486

Es genügt völlig, wenn Rohrweiten verfügbar sind, deren Querschnitte – und damit die Kapazität der Leitung – sich von Durchmesser zu Durchmesser um etwa 60 bis 100 % erhöhen. Dann benötigt man zwischen 10 und 100 mm nicht beispielsweise 90 Rohrweiten in Abstufungen von 1 mm, sondern nur 10 Rohrweiten mit Innendurchmessern von (etwa) 10, 15, 20, 25, 32, 40, 50, 65, 80 und 100 mm. Hat

man z. B. errechnet, dass eine Leitung von 37,5 mm Innendurchmesser nötig ist, dann nimmt man eben die nächstgrößere (40 mm) oder unter Umständen die nächstkleinere (32 mm) Leitung.

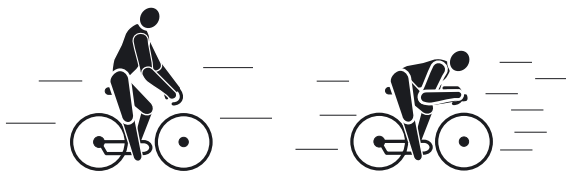
Diese Überlegungen gelten in gleicher Weise für alle Teile, die mit den Leitungsrohren verbunden werden, also für Rohrverbindungen, Formstücke (Fittings) und Armaturen – nur müssen die Größennormen so festgelegt werden, dass diese Teile alle zusammenpassen. Das ist der Zweck der sogenannten *Nennweite*, nach einem internationalen Übereinkommen abgekürzt „DN“ (früher „NW“): Teile einer bestimmten Nennweite und gleicher Druckstufe passen anschlussmäßig zueinander. (Ob sie funktionsmäßig zueinander passen, ist eine ganz andere Sache!)

Nun sind aber je nach Material (Kupfer oder Stahl) und je nach Betriebsüberdruck (2 bar oder 150 bar) unterschiedliche Wanddicken der Rohre und Rohrleitungsteile nötig. Aus diesem Grund konnte man nicht den Innendurchmesser für alle Anwendungsfälle festlegen; um ein Zusammenpassen der Rohrleitungsteile zu erreichen, wird vielmehr der Außendurchmesser festgelegt – die „Nennweite“ gibt nur den ungefähren Innendurchmesser an. DN 50 ist z. B. normalerweise ein Rohr mit 60,3 mm Außendurchmesser und 2,9 mm Wanddicke, also 54,5 mm Innendurchmesser (DIN EN ISO 6708). Die Nennweite ist also nur eine Richtgröße für den Innendurchmesser – aber auch für das Zusammenpassen der Rohrleitungsteile sind weitere Angaben wie Außendurchmesser, Wanddicke, Gewindeart usw. erforderlich. Im Anhang finden Sie einen Auszug aus DIN EN 10220 über Nennweiten.

Für allgemeine Betrachtungen genügt es, den Innendurchmesser eines Rohres DN 50 mit 50 mm anzunehmen. Bei genaueren Berechnungen ist es dagegen besser, den wahren Innendurchmesser der verwendeten Rohrsorte zugrunde zu legen.

4.3 Die Auslegung von Dampfleitungen

Je schneller man mit dem Fahrrad fährt, desto größer werden der Luftwiderstand und die Reibung, desto mehr Energie muss man fürs Treten aufbringen. Ähnlich geht es dem Dampf in der Rohrleitung, wo zwar (hoffentlich) kein Luftwiderstand, dafür aber die Reibung an der Rohrwand zu überwinden ist:



Schickt man 800 kg/h Satttdampf von $p_e = 10$ bar durch eine 300 m lange Leitung DN 65, dann strömt der Dampf darin mit einer Geschwindigkeit von 13 m/s und verliert auf den 300 Metern etwa 0,5 bar Druck, d. h. am Leitungsende herrscht ein Dampfdruck von $p_e = 9,5$ bar. Wird der Druck am Leitungsende aus irgendeinem Grund höher, dann strömt weniger als 800 kg/h, wird der Enddruck niedriger, dann strömt mehr als 800 kg/h – bei 13 m/s brauchen

800 kg/h unter den genannten Umständen eben eine Druckdifferenz bzw. einen Druckabfall von 0,5 bar.

Sollte die gleiche Dampfmenge durch eine Leitung DN 40 geschickt werden, dann ginge das nur, wenn man den Druck am Ende der Leitung auf $p_e = 2,4$ bar ermäßigte; der Dampf würde in dieser Leitung also 7,6 bar seines Druckes verlieren und am Leitungsende mit rund 100 m/s strömen – allerdings nicht lange, denn die Leitung wäre infolge der hohen Strömungsgeschwindigkeit bald zerstört; benötigt man am Leitungsende einen Druck von mindestens $p_e = 8,6$ bar, dann gehen durch die Leitung DN 40 nicht mehr als rund 370 kg/h durch; diese Menge strömt mit rund 17 m/s.

Lange Dampfleitungen müssen deshalb so ausgelegt werden, dass sowohl Druckabfall als auch Geschwindigkeit in den zulässigen Grenzen bleiben. Bei Heißdampfleitungen ist ferner zu beachten, dass der Dampf in der Leitung abkühlt und dass die Überhitzung ganz oder teilweise verlorengeht.

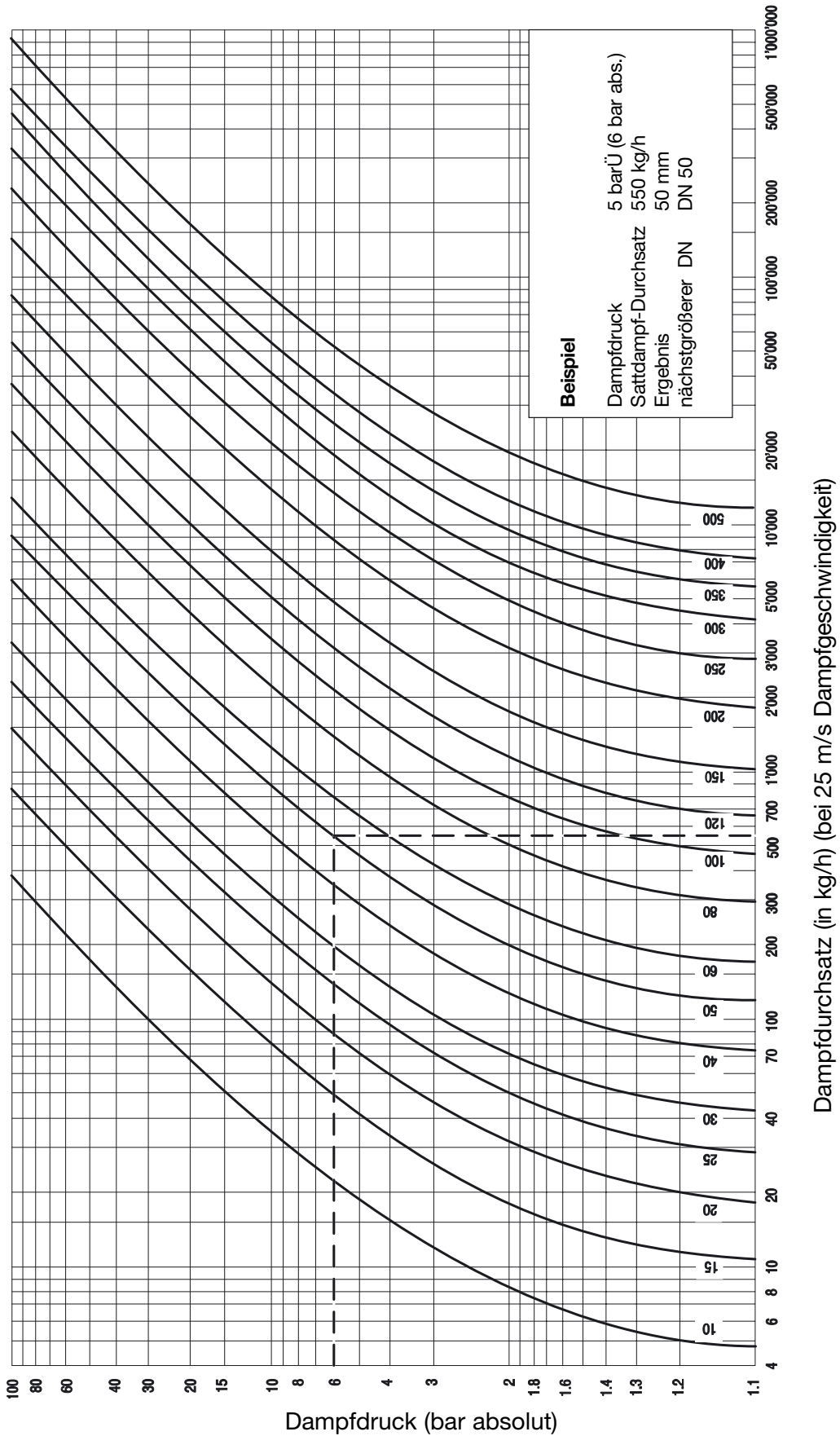
Beispielhafte Druckverluste:

Dampfmenge [kg/h]	Dampfdruck [bar _a]	Nennweite	Druckabfall [bar/100m]
100	2	DN 32	0,20
500	2	DN 80	0,07
1000	2	DN 100	0,07
100	10	DN 20	0,70
500	10	DN 40	0,50
1000	10	DN 65	0,02
5000	10	DN 125	0,12
100	25	DN 15	1,30
500	25	DN 25	2,00
1000	25	DN 40	0,80
5000	25	DN 80	0,60

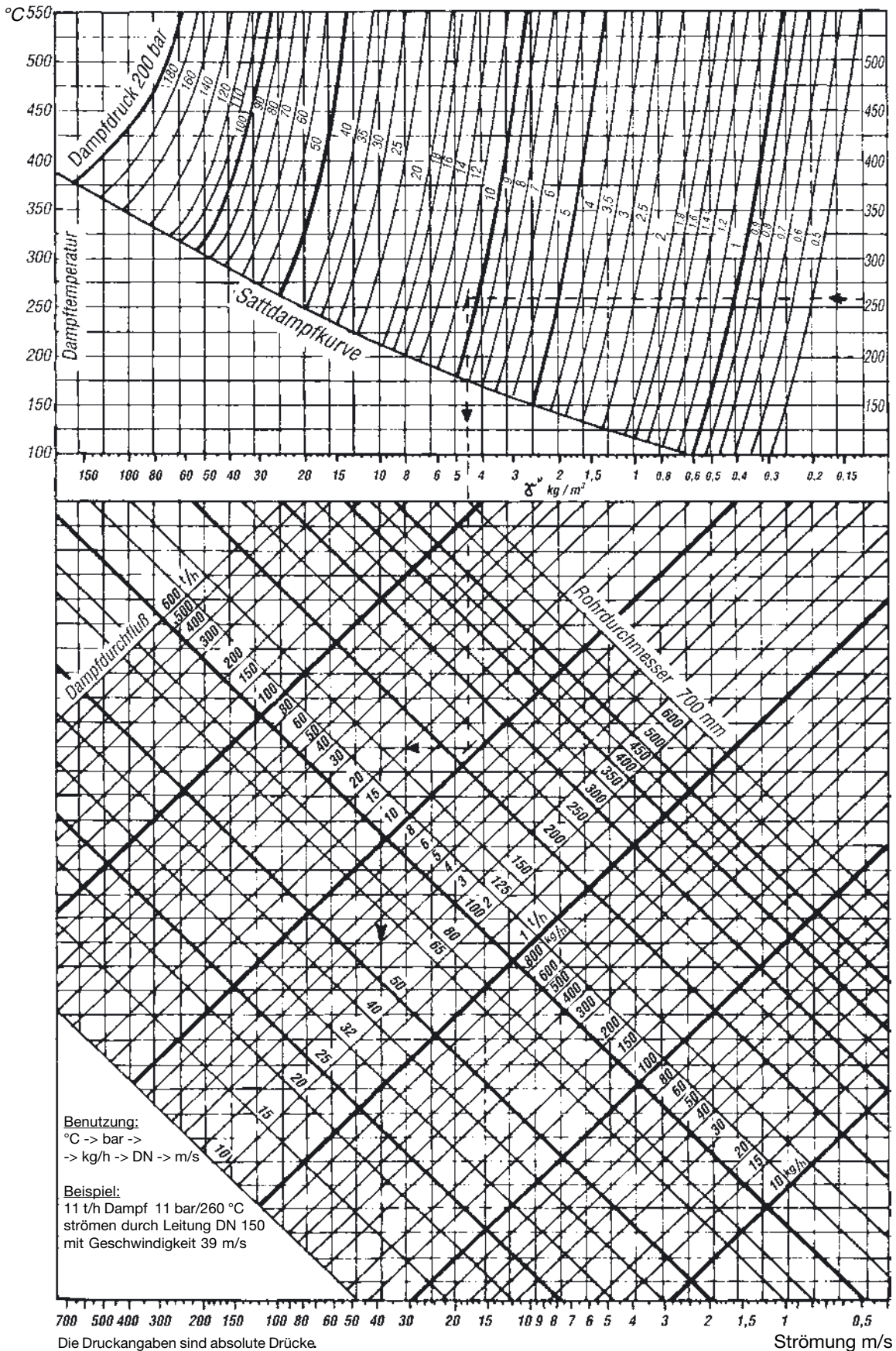
Bei kürzeren Leitungen ist der Druckabfall nicht so wichtig; selbst in der zu kleinen Leitung DN 40 in obigem Beispiel sinkt der Dampfdruck bei 20 m Leitungslänge nur um rund 0,35 bar, also von den angenommenen $p_e = 10$ bar auf rund $p_e = 9,65$ bar. Das ist im Allgemeinen durchaus zulässig. Bei der Auslegung kurzer Leitungen kann man deshalb im Allgemeinen den Druckabfall unberücksichtigt lassen. Wichtig ist jedoch, dass die Dampfgeschwindigkeit nicht zu groß wird, weil sonst die Leitung zu stark beansprucht wird. Andererseits soll die Leitung nicht größer sein als unbedingt nötig, weil sie sonst unnötig teuer wäre.

In den meisten Industrieländern ist es üblich, für Satttdampfleitungen Geschwindigkeiten von 20 bis 30 m/s, mitunter bis 40 m/s zuzulassen: Die Erfahrung hat die Zulässigkeit dieser Werte bestätigt. Bei höheren Geschwindigkeiten dagegen wäre mit Schäden, insbesondere durch die abschleifende Wirkung der vom Satttdampf mitgeführten Wasserteilchen, zu rechnen. Da überhitzter Dampf keine Wasserteilchen enthält, darf er schneller strömen: 40 bis 60 m/s sind gebräuchliche Geschwindigkeiten für Heißdampf. Fassen wir zusammen:

4.3.1 Auslegungsdiagramm für Sattdampfleitungen



4.3.2 Strömungsgeschwindigkeit in Sattdampfleitungen



Dampfgeschwindigkeit

- in kurzen Sattdampfleitungen etwa 25 m/s
- in kurzen Heißdampfleitungen 40 bis 60 m/s

Das Diagramm „Auslegung von Sattdampfleitungen“ 4.3.1. zeigt Ihnen auf einen Blick, welche Leitungsgröße für eine bestimmte Anwendung zu wählen ist, falls man eine Dampfgeschwindigkeit von max. 25m/s zulässt. Auf dem Diagramm ist bereits ein Beispiel angegeben. Hier noch ein weiteres:

Von einer Reduzierstation soll eine 10 m lange Sattdampfleitung für max. 3300 kg/h Dampf von $p_e = 7$ bar verlegt werden. Lässt man max. 25 m/s Dampfgeschwindigkeit zu, dann ist laut Diagramm 4.3.1 eine Leitung DN 125 zu wählen. (Eine Leitung DN 100 fördert laut Diagramm nur 3000 kg/h, bzw. bei 3300 kg/h ergibt sich eine Strömungsgeschwindigkeit von 27,5 m/s, was aber auch noch im Rahmen des Üblichen liegt.)

Zur Auslegung kurzer Heißdampfleitungen dient das Diagramm „Strömungsgeschwindigkeit in Dampfleitungen“ 4.3.2, das aber auch für Sattdampf gilt. Beispiel:

Wie groß muss eine kurze Heißdampfleitung für $p_e = 15$ bar/400 °C ausgelegt werden, wenn bei 500 kg/h eine Dampfgeschwindigkeit von 60 m/s nicht überschritten werden soll? Im Diagramm „Strömungsgeschwindigkeit“ gehen wir vom oberen Teil „Dampftemperatur“ 400 °C waagrecht bis zur Linie 16 bar ($p_e = 15$ bar), von da senkrecht nach unten bis zur Linie 500 kg/h (von links unten nach rechts oben steigend); von da geht's waagrecht nach links bis zu den Linien für DN 25 und DN 20 (von links oben nach rechts unten verlaufend); senkrecht unter dem Schnittpunkt mit der Linie DN 25 finden wir: ca. 55 m/s; unter DN 20 liegt ca. 85 m/s. Es wird also eine Leitung DN 25 gewählt.

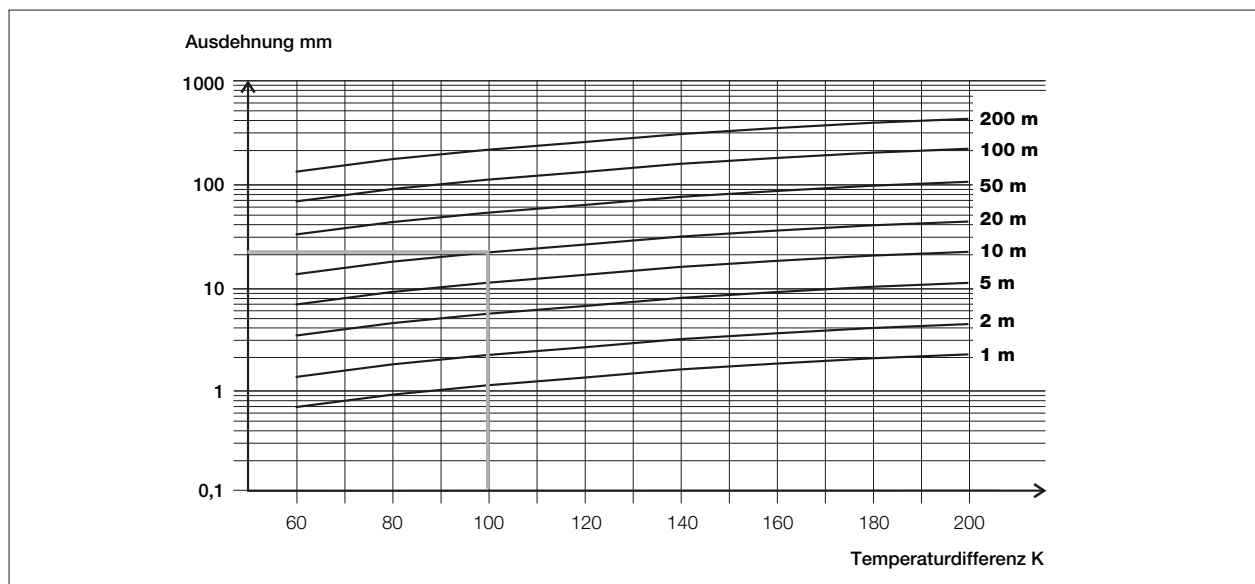
4.4 Die Ausdehnung von Rohrleitungen

Sie wissen, dass die Stoffe sich beim Erwärmen im Allgemeinen ausdehnen. (Dass Wasser zwischen 0 °C und 4 °C das nicht tut, hängt mit physikalisch-chemischen Veränderungen des Wassers zusammen.) Demzufolge werden Rohrleitungen beim Aufheizen ebenso länger wie die Eisenbahnschienen im Sommer. Beim Münzgeld ist dieser Effekt (leider) vernachlässigbar, bei den Rohrleitungen muss man ihn berücksichtigen: Rohrleitungen, die wechselnden Temperaturen unterliegen, müssen so verlegt werden, dass sie sich frei verlängern oder verkürzen können.

Die Kraftwirkung sich verlängernder oder verkürzender Rohre ist so groß, dass behindernde Halterungen losgerissen werden können. Außerdem versuchen unsachgemäß montierte Rohre, die Spannungen durch Verbiegen auszugleichen, so dass mindestens die Verbindungen undicht werden, wenn nicht Risse und Sprünge in Leitungsteilen und Armaturen entstehen. Halterungen gerader Rohrstrecken müssen deshalb eine axiale, d. h. in Längsrichtung des Rohres wirkende Verschiebung der Leitung zulassen.

Dies ist auch schon bei kurzen Leitungsstücken und verhältnismäßig kleinen Temperaturänderungen wichtig. Sicher haben Sie schon Heizungsrohre in Wohnungen knacken hören: Hier sind die Halterungen der Heizungsrohre zu stramm angezogen; dadurch werden sie von der Wärmebewegung (Längsverschiebung) des Rohrs zunächst ein Stück mitgezogen, rutschen dann aber wegen ihres steigenden Widerstandes gegen diese Verbiegung mit einem hörbaren Knackgeräusch auf dem Rohr zurück.

Wie groß sind solche Längenänderungen? Stahlrohre (und Gussteile) verändern ihre Länge je Meter Rohrlänge und je Grad Temperaturänderung um rund 0,011 mm (Kupfer und rostfreier Stahl etwa 0,016 bis 0,019 mm). Da sich jeder Meter Rohr um diesen Betrag verlängert, ist die Längenänderung der Leitung ($L_2 - L_1$ in mm) um so größer, je länger die



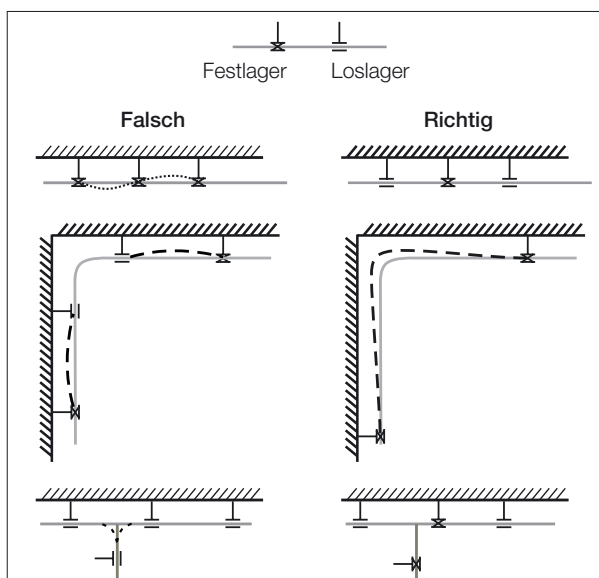
Leitung ist (Länge L_1 in Meter) und je stärker die Temperatur verändert wird (Temperaturänderung $[t_2 - t_1]$ in Kelvin). Wenn Sie's als Formel mögen:

Verlängerung von Stahlrohren bei Temperaturerhöhung:
 $(L_2 - L_1) = 0,011 \cdot L_1 \cdot (t_2 - t_1)$ mm

Beispiele:

1. Kühlt sich ein nur 10 m langes Heizungsrohr, das zunächst von Wasser mit 90°C durchflossen wurde, auf 20°C ab – z. B. weil das Heizkörperventil geschlossen wurde – dann verkürzt sich dieses Rohrstück um $(L_2 - L_1) = 0,011 \cdot 10 \cdot (90 - 20) = 7,7$ mm. Das gibt dem Rohr reichlich Gelegenheit, sich über etwaige „Beklemmungen“ laut vernehmlich zu beschweren!
2. Wird eine nur 100 m lange Dampfleitung, die zunächst außer Betrieb eine Temperatur von -10°C hat, mit Dampf von 300°C beschickt, dann vergrößert sich die Gesamtlänge um $100 \cdot 0,011 = 1,1$ mm pro Grad Temperaturerhöhung und um $1,1 \cdot 310 = 341$ mm bei Erwärmung um 310° Grad (von -10 auf $+300^\circ\text{C}$). Sie können sich denken, dass eine Verschiebung eines Rohrstücks um 341 mm nicht zulässig ist, wenn z. B. Anschlussstellen (Dampfentnahmeleitung, Kondensatstutzen) oder Krümmungen vorhanden sind: Würde eine senkrecht nach unten abzweigende Entwässerungsleitung, die nach 3 m Länge in eine andere Leitung mündet, um 34 cm seitlich weggebogen, dann müssten Schweißnähte reißen und Flanschverbindungen undicht werden. Man fängt die Rohrverlängerung deshalb bei längeren Leitungen in sogenannten Dehnungsausgleichern auf, ehe sie zu groß wird.
3. Bei einer Temperaturdifferenz von 100 K dehnt sich ein 20 m langes Stahlrohr um ca. 22 mm aus (Beispiel aus dem Diagramm).

Wir wollen nun nicht die Einzelheiten sachgemäßen Dehnungsausgleichs behandeln, dazu gibt es entsprechende Fachliteratur. Lediglich die Grundprinzipien sollen durch einige Skizzen erläutert werden.



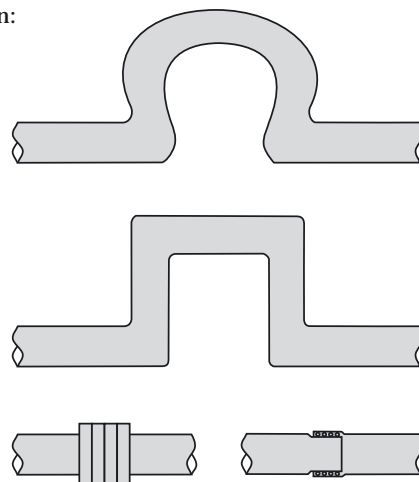
Regel:

Die Rohrhalterungen müssen Längsbewegungen der Rohre zulassen. In längeren Leitungen müssen Dehnungsausgleicher dafür sorgen, dass sich einzelne Rohrabschnitte nicht zu stark bewegen. Durch Festpunkte ist dafür zu sorgen, dass die Rohrbewegungen keinen Schaden anrichten.

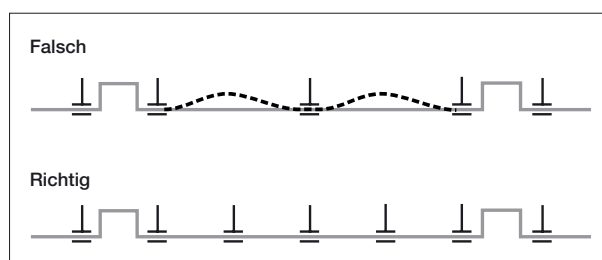
Natürlich verändern die Rohre bei Temperaturveränderung auch ihren Querschnitt. Das ist bei der Montage der Rohrhalterungen ebenfalls zu beachten. Wo Spiel zwischen Rohr und Führung benötigt wird, muss es auch bei heißer Leitung noch vorhanden sein. Dies kann man z. B. durch Zwischenlegen einer zusammendrückbaren Zwischenlage, etwa eine 3 bis 5 mm dicke Isolierschicht, erreichen.

Rohrstellen, die sich nicht bewegen dürfen, werden durch stramm sitzende Halterungen festgehalten, z. B. an Abzweigungen. Dann muss aber an anderer Stelle für Bewegungsmöglichkeit gesorgt werden. Bei kürzeren Leitungen genügt es im Allgemeinen, Verbiegungsmöglichkeiten des Rohres vorzusehen. Diese Verbiegungen dürfen aber nicht zu Wassersäcken führen; sie müssen deshalb durch geeignete Führungen in waagerechte Richtung gelenkt werden.

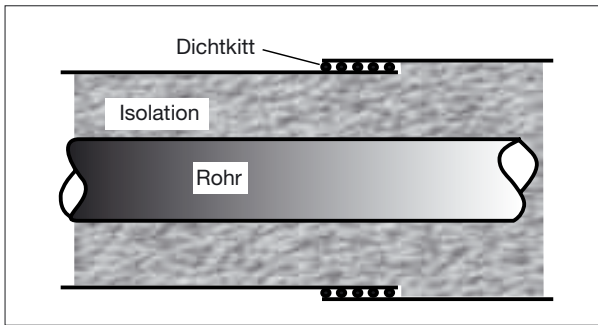
Bei längeren Leitungen sind die erwähnten Dehnungsausgleicher erforderlich, die die Wärmedehnung der Rohre aufnehmen:



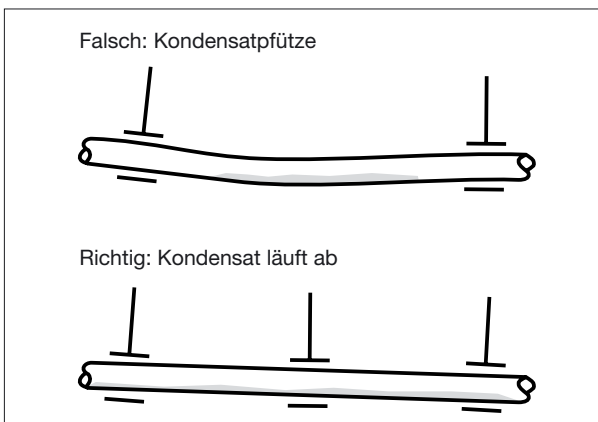
Dabei ist aber zu beachten, dass sich ein längeres Leitungsstück leichter durchbiegt als ein Dehnungsaufnehmer nachgibt. Durch eine geeignete Rohrführung kann die Leitung jedoch gezwungen werden, die Verlängerung nur dort wirken zu lassen, wo sie keinen Schaden anrichtet: bei den Dehnungsaufnehmern.



Was für die Rohrleitung gilt, trifft übrigens auch für den Blechmantel zu, der die Isolation schützend umgibt. Auch dieser Mantel hat eine Wärmedehnung, die man dadurch berücksichtigen kann, dass man den Mantel überlappend (teleskopartig) so verlegt, dass sich die Mantelteile ineinanderschieben können. Der dadurch entstehende Spalt muss aber mit dauerelastischem Material gut abgedichtet werden, um das Eindringen von Feuchtigkeit zu verhindern.

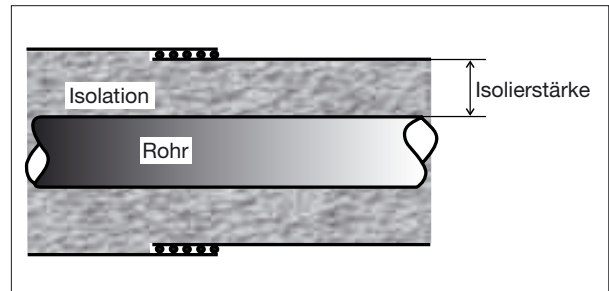


Der Abstand der Rohrhalterungen voneinander muss stets so gewählt werden, dass die restlose Entwässerung der Leitung nicht durch das Durchhängen zwischen den Halterungen verhindert wird – sei es durch das Leitungsgewicht oder durch Wärmedehnung hervorgerufen.



4.5 Die Isolation von Dampfleitungen

Leitungen, die heiße Medien transportieren, geben Wärme an die Umgebung ab. Dieser Wärmeverlust ist stets vorhanden und lässt sich durch eine geeignete Isolierung nur sehr stark vermindern, niemals ganz beseitigen. Man erstrebt daher einen Kompromiß zwischen laufenden Betriebskosten durch Wärmeverluste und den Installations- und Unterhaltskosten für die Isolierung. Diese sogenannte „wirtschaftliche Isolierdicke“, die also eine gute Verminderung der Verluste bei tragbarem Aufwand für die Isolierung und die Wartung der Leitung erbringt, liegt je nach Leitungsgröße, Dampftemperatur und örtlichen Verhältnissen (Windanfall, Umgebungstemperatur) bei 3 bis 10 cm Dicke der Isolierung (bei hohen Innentemperaturen und größeren Nennweiten auch mehr). Für den Einzelfall geben die Hersteller von Isoliermaterial genaue Hinweise.



Wichtiger als die Dicke der Isolierung ist es aber, die Leitung überhaupt zu isolieren und die Isolation vor Feuchtigkeit zu schützen (feuchte Isolierung verliert in nennenswertem Maße die Isolierfähigkeit und wird auf Dauer irreparabel zerstört).

Die Isolation der Hauptleitungen des Dampfnetzes dürfte für jeden selbstverständlich sein. Aber wie steht es mit den kürzeren und kleineren Nebenleitungen? Schätzen Sie einmal, was eine 15 m lange, nicht isolierte Sattldampfleitung, $p_e = 12$ bar, DN 25, pro Jahr mehr kostet als eine isolierte Leitung unter den gleichen Umständen! Für eine Halle mit einer Raumtemperatur von rd. 20 °C lässt sich dies überschlägig berechnen mit Hilfe unseres Diagrammes „Wärmeverluste in Räumen von ca. 20 °C“. Dieses Diagramm geht auf gesammelte Erfahrungswerte zurück und gilt nur für überschlägige Berechnungen. Genauere Wärmeverlustrechnungen sind auszuführen nach Diagrammen der „Wärmetechnischen Arbeitsmappe“, herausgegeben vom VDI-Verlag.

Nach dem Diagramm lässt sich der Wärmeverlust wie folgt berechnen:

Wärmeverlust für Rohr $p_e = 12$ bar

Temperatur nach Dampftafel 192 °C 3,3 kW/m²
(Kilowatt pro m² Rohroberfläche)

Rohroberfläche DN 25
(äußerer Durchmesser 33,7 mm) 0,106 m²/m

Wärmeverlust pro 1 m Rohr 0,35 kW/m
dgl. für 15 m Rohr 5,2 kW
1 kW = 1 kJ/s 5,2 kJ/s

stündlicher Wärmeverlust 5,2 · 3600 18 720 kJ/h

Verdampfungswärme Δh_v 1971 kJ/kg
bei $p_e = 12$ bar (lt. Dampftafel Sp. 5)

Benötigte Dampfmenge zur Deckung
des Wärmeverlustes 18 720 / 1971 9,5 kg/h

Eine Isolierung der Dampfleitung mit einer Dicke von 50 mm reduziert den Wärmeverlust auf etwa $\frac{1}{10}$, damit errechnet sich der Wärmeverlust gegenüber einer so isolierten Rohrleitung.

Dampfverlust stündlich $9,5 - 0,95 = 8,55 \text{ kg/h}$

im Jahr bei einschichtigem Betrieb
von 2000 Betriebsstunden $17,1 \text{ t/a}$

Wärmeverlustkosten bei einem
Dampfpreis von $30,- \text{ €/t}$ 513 €/a

Das heißt, bei nur einschichtigem Betrieb verprasst dies lächerliche Röhrchen von 15 m Länge gut 500 € im Jahr. Was hatten Sie geschätzt?

Eine Isolierung ist bei den heutigen Energiepreisen dringlich notwendig und bezahlt sich durch die Kosteneinsparung von selbst, meist schon in einem halben Jahr, stets aber in einem Jahr. Dies ist abhängig von den Jahresbetriebsstunden.

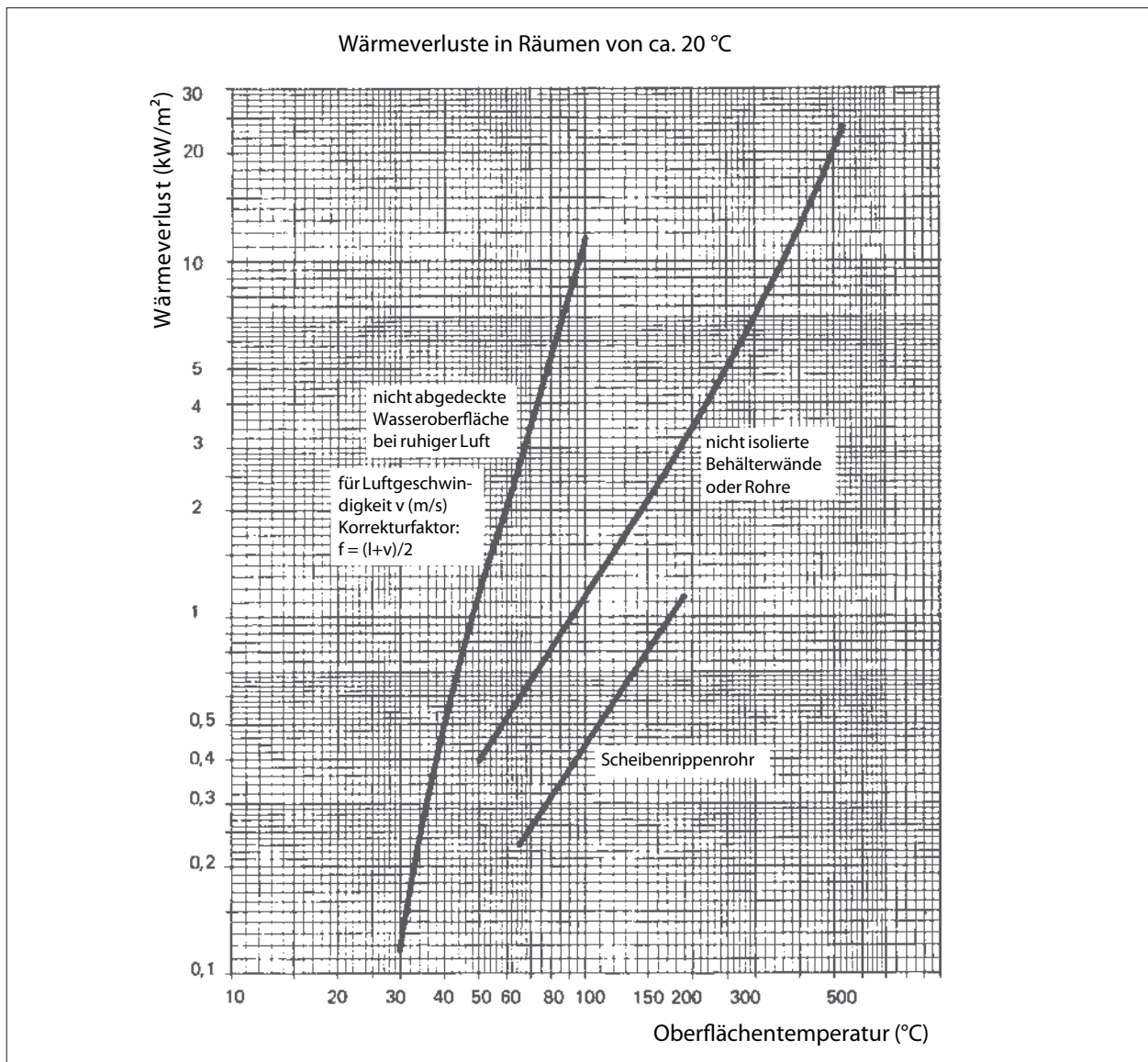
In diesem Zusammenhang noch ein Hinweis: Die Wärmeverluste einer isolierten Rohrleitung können ganz erheblich über dem erwarteten Wert liegen, um 50 bis 100 %, wenn

nicht schon bei der Montage der Leitung auf die Dicke der späteren Isolation Rücksicht genommen wird: Die Leitung muss von Wand und Decke bzw. Boden genügend Abstand haben und die Leitung muss auch an den Haltevorrichtungen, Rohrverbindungen und Armaturen etc. gut isoliert werden können. Schließlich ergibt eine 70 mm starke Isolation um eine Leitung von 50 mm Durchmesser einen Außendurchmesser von rund 200 mm.

Nochmals sei's gesagt: Dicke allein ist noch nicht einmal bei der Isolation gesund; die sorgfältige Ausführung ist fast noch wichtiger. Meist ist es am billigsten, Isolierarbeiten einer bewährten Fachfirma zu überlassen.

4.6 Die Kondensation in Dampfleitungen

Wird eine Dampfleitung in Betrieb genommen, so erwärmt der einströmende Dampf die Leitung und kondensiert dabei. Deshalb entsteht beim „Anfahren“ einer Dampfleitung zunächst verhältnismäßig viel Kondensat: In einer Leitung



DN 100 fällt je Meter Leitungslänge etwa 0,5 kg Kondensat innerhalb z. B. 15 Minuten (= Aufheizzeit) an, wenn sie mit Dampf von 190 °C beschickt wird. Wenn der Vorgang 1 Stunde in diesem Ausmaß andauern würde, fielen demnach 2 kg Kondensat pro Meter an (50 kg in einer 25 m langen Leitung). Man sagt deshalb, die „Kondensationsgeschwindigkeit“ beträgt während der ersten 15 Minuten 2 kg/h. Dieser Vorgang ist jedoch abgeschlossen, wenn die Leitung annähernd Dampftemperatur erreicht hat.

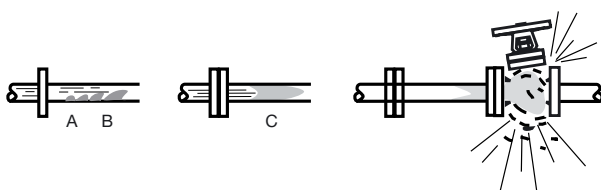
Setzt man eine gute Isolierung voraus, dann beträgt der Wärmeverlust einer Dampfleitung DN 100 bei 190 °C Betriebstemperatur im Freien nicht mehr als 0,17 kW/m (Kilowatt pro Meter Leitungslänge) einschließlich Armaturen und Halterungen, d. h. der stündliche Kondensatanfall liegt höchstens bei etwa 0,3 kg je Meter Leitungslänge; das ist rund $\frac{1}{7}$ der Kondensationsgeschwindigkeit beim Aufheizen.

Wenn der Dampf in unserem Beispiel überhitzt ist, fällt bei entsprechender Berechnung im Dauerbetrieb überhaupt kein Kondensat an, weil zunächst nur die Überhitzung des Dampfes sinkt, ohne dass er kondensiert. Die Wärme, die in den Sattdampf hineingesteckt wurde, um ihn zu überhitzen, d. h. seine Temperatur bei gleichbleibendem Druck über die Sattdampftemperatur zu erhöhen, wird nun als Verlust an die Umgebung abgegeben, wobei zunächst nur die Temperatur des Dampfes sinkt; solange die Dampftemperatur über der Sattdampftemperatur beim jeweiligen Druck liegt, kondensiert der Dampf nicht.

Im Dauerbetrieb fällt in unserem Beispiel also höchstens $\frac{1}{7}$ der Kondensatmenge pro Zeiteinheit (z. B. pro Minute) an, die beim Aufheizen zu bewältigen ist.

Was wir an einem Beispiel herausfanden, gilt ganz allgemein: Beim Anfahren von Dampfleitungen tritt stets ein gewisser Kondensatanfall auf, während im Dauerbetrieb einer richtig isolierten Dampfleitung wesentlich weniger oder – bei ausreichend überhitztem Dampf – fast kein Kondensat anfällt. (Siehe auch Kap. 4.9)

Könnte man unter diesen Umständen nicht auf die Entwässerung der Dampfleitung verzichten? Das folgende Bild zeigt die Folgen solcher Unterlassung: Wasserschlag zerstört Leitungen und Armaturen.



Wenn das Kondensat aus der Dampfleitung nicht rechtzeitig entfernt wird, sammelt es sich allmählich an (A); der schnellströmende Dampf kräuselt die Wasseroberfläche (B), bis das Kondensat schließlich den Dampfstrom so stark be-

hindert, dass ein Wasserpfropfen losgerissen wird (C). Dieser Wasserpfropfen wird mit Dampfgeschwindigkeit durch die Leitung getrieben.

Für trockenen Dampf ist 25 m/s (= 90 km/h) eine durchaus normale Geschwindigkeit (Kapitel 4.3). Wird aber ein mit 90 km/h bewegter Wasserpfropfen durch ein Hindernis plötzlich abgebremst, dann sind die Folgen ähnlich, wie wenn ein Kraftwagen mit 90 km/h gegen eine Wand fährt: In der Leitung entsteht ein Wasserschlag, bei dem örtlich Drücke von mehreren tausend bar auftreten können. Temperaturregler, Reduzierventile oder auch nur ein Rohrkrümmer werden zerrissen. Viele Unglücksfälle, teils mit tödlichen Verletzungen, beweisen die Bedeutung dieser Vorgänge.

Gleiches gilt übrigens auch für Wasserleitungen, wenn die Strömung plötzlich in Gang gesetzt oder abgebremst wird, z. B. durch Magnetventile. Nur sind die Strömungsgeschwindigkeiten viel kleiner und die Abbremszeiten größer als in der Dampfleitung, so dass die Folgen nicht so katastrophal sind. Vielleicht haben Sie selbst schon die „Klopfgeister“ in den Leitungen gehört? (Das soll natürlich nicht heißen, dass Magnetventile grundsätzlich schlecht seien – sie müssen nur für die jeweilige Anwendung ausreichend langsam öffnen und schließen.)

Auf die Entwässerung einer Dampfleitung zu verzichten – selbst wenn es eine Heißdampfleitung ist – wäre also ebenso riskant, wie mit dem Auto in der Stadt „nur einige hundert Meter“ mit 100 km/h zu fahren: Ein Unfall oder Führerscheinentzug wäre nicht verwunderlich. Die Dampfleitung muss vielmehr so verlegt und betrieben werden, dass keine Wasserschläge auftreten. In jedem Fall muss für gute Entwässerung gesorgt werden. Ob die Entwässerung von Hand nur während des Anfahrens oder automatisch erfolgt, ist eine andere Frage, auf die in Kapitel 7 noch eingegangen wird.

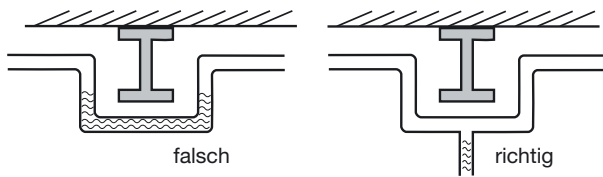
4.7 Die Verlegung von Dampfleitungen

Neben der Zweckmäßigkeit ist die Betriebssicherheit der wichtigste Gesichtspunkt bei der Erstellung von Dampfleitungen. Dazu ist, wie im vorhergehenden Kapitel gezeigt wurde, eine gute Entwässerung der Dampfleitung unerlässlich. Wo und wie wird die Leitung richtig entwässert?

Wasser und damit auch das Kondensat fließt freiwillig nur bergab, nicht bergauf. Deshalb sammelt sich das Kondensat an allen Tiefpunkten einer Leitung, wenn die Leitung außer Betrieb ist. Auch in der Heißdampfleitung kühlt der Dampf sich bei der Außerbetriebnahme ab und kondensiert. Werden diese Kondensatpfützen nicht beseitigt, dann erschweren sie das Anfahren der Leitung erheblich und rufen Wasserschläge hervor. Deshalb gilt als Grundregel für Heißdampf- wie für Sattdampfleitungen:

Alle Tiefpunkte einer Dampfleitung müssen entwässert werden.

Die beiden folgenden Bilder zeigen als Beispiel, wie ein Hindernis umgangen wird.

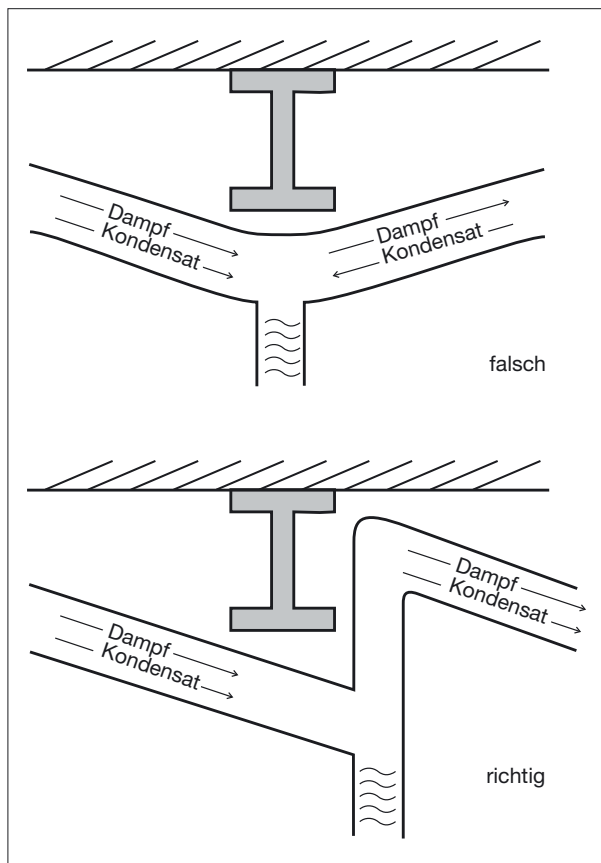


Die natürliche Bewegungsrichtung des Wassers – bergab – führt zur nächsten Grundregel:

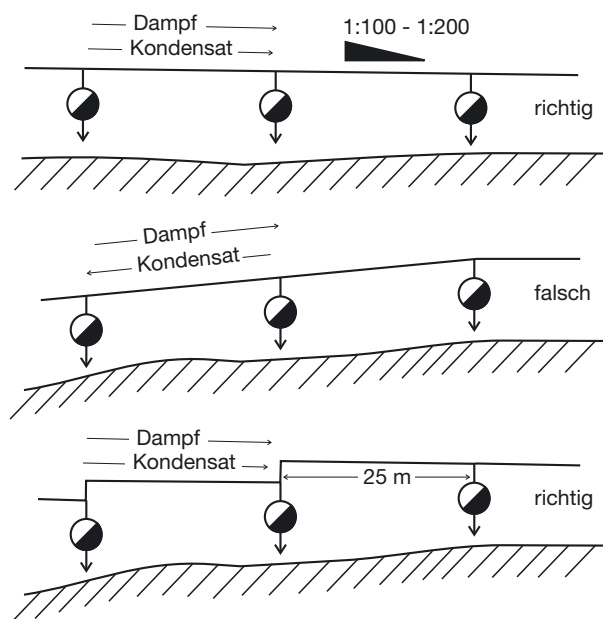
Dampfleitungen sind mit *Gefälle* zum Entwässerungspunkt zu verlegen; die Leitung soll in Strömungsrichtung des Dampfes fallen. Gefälle nicht kleiner als 1:100 bis 1:200.

Der zweite Teil dieser Regel, dass Kondensat und Dampf in gleicher Richtung strömen sollen, ist erforderlich, weil sonst der Dampf Kondensat mitreißt und wenn nicht zu Wasserschlag, dann doch zu erhöhter Erosion führt (das wird später noch behandelt). In den beiden folgenden Bildern ist das Gefälle der Leitung der Deutlichkeit wegen übertrieben stark gezeichnet.

Die Anordnung ganz oben ergibt im rechten Leitungsteil ungünstige Strömungsverhältnisse. Besser ist es deshalb, die Leitung kurz senkrecht nach oben zu führen und dann wieder mit Gefälle in Strömungsrichtung verlaufen zu lassen.



Die Entwässerung einer Dampfleitung sollte schematisch also so aussehen:



Das Gefälle der Leitung darf nicht zu klein sein, einerseits weil sonst das Kondensat an der Rohrwand klebenbleibt (die Rohrreibung ist größer als die Wirkung der Schwerkraft), andererseits weil das Gefälle sonst durch die Durchbiegung der Leitung zwischen den Halterungen wirkungslos gemacht werden kann, wie es in Kap. 4.4 gezeigt wurde. Ein Gefälle von 1:100 bis 1:200 hat sich als zweckmäßig erwiesen, d. h. 0,5 bis 1 cm Absenkung auf 1 m Länge oder 0,6 bis 1 m Absenkung je 100 Leitungslänge. Gefälle von weniger als 1:500 sind praktisch wirkungslos, in besonderen Fällen kann sogar ein Gefälle von 1:50 sinnvoll sein.

Nun kann es aber sein, dass das Gelände in Strömungsrichtung ansteigt oder dass aus anderen Gründen z. B. bei einer 1000 m langen Leitung ein Höhenunterschied von 10 m zwischen Anfang und Ende der Leitung nicht möglich ist. In diesen Fällen verlegt man den erforderlichen Anstieg der Leitung in ein kurzes, senkrecht nach oben verlaufendes Rohrstück. Wird dies bei einer längeren Leitung mehrmals wiederholt, so entsteht ein sägezahnförmiger Leitungsverlauf:

Der Abstand der Entwässerungsstellen darf nicht zu groß gewählt werden, weil sonst die Gefahr von Wasserschlägen besteht. Eine genaue Berechnung des richtigen Abstandes ist wegen der Vielzahl der Einflussgrößen nicht möglich und systematische Untersuchungen liegen aus dem gleichen Grund nicht vor. Auch kann bei langsamem Aufheizen der Abstand größer sein als bei raschem Anfahren. Man muss deshalb von den bisherigen Erfahrungen ausgehen, die bei richtiger Ausführung der Entwässerungsstellen einen Abstand von 25 bis 50 m als angebracht erscheinen lassen. Dann wird auch der im nächsten Kapitel beschriebene Kondensatstutzen nicht unhandlich groß.

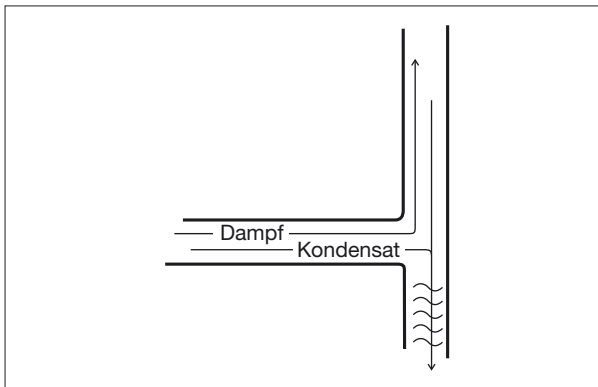
4.8 Die Entwässerung von Dampfleitungen

Häufig wird zur Ableitung des Kondensates eine viel zu kleine Leitung an die Dampfleitung angeschlossen. Ein beträchtlicher Teil des Kondensates kann über eine zu kleine Entwässerungsöffnung hinwegfließen. Wird dagegen ein Kondensatstutzen gleicher Nennweite wie die Dampfleitung verwendet, dann kann das Kondensat die „Falle“ nicht umgehen. Unsere nächste Regel lautet daher:

Kondensatstutzen sollen die gleiche Nennweite wie die Dampfleitung haben.

Eine Ausnahme bilden lediglich Leitungen mit Nennweiten über etwa DN 200, für die ein Stutzen DN 200 ausreicht, weil nicht so viel Kondensat anfällt, dass der ganze Rohrdurchmesser benötigt wird.

Wenn die Dampfleitung nach oben geführt werden muss, dann wird sinngemäß ebenso verfahren:

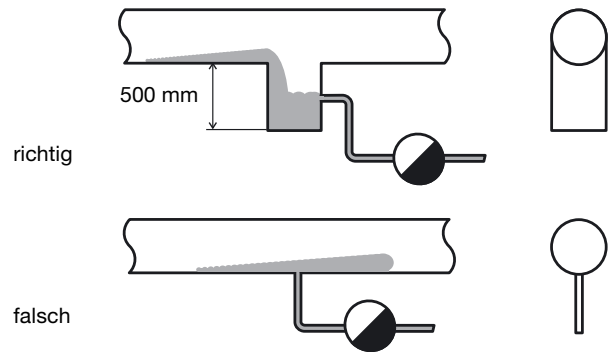


Beim Aufheizen der Dampfleitung fällt durch die zuerst kalten Rohrwandungen sehr viel mehr Kondensat an als im Dauerbetrieb. Würde der Kondensatableiter nach der Kondensationsgeschwindigkeit während der Anwärmszeit, also z. B. für die ersten 15 Minuten ausgewählt, dann wäre er in den ersten fünf Minuten noch zu klein, für 99 % der Betriebszeit aber zu groß, also unnötig teuer und häufig auch schlechter als ein kleinerer Ableiter. Ein kleinerer Ableiter würde aber beim Anfahren die gefürchteten Wasserschläge nicht verhindern, weil er das Kondensat nicht so schnell abführen kann wie es anfällt. Zum größeren Kondensatanfall kommt nämlich noch die Tatsache hinzu, dass die Druckdifferenz beim Aufheizen kleiner ist, so dass der Ableiter erheblich weniger leistet als beim Betriebsdruck. (Siehe Diagramm Kapitel 4.9)

Dieses Problem kann jedoch sehr einfach gelöst werden: Man sammelt das Kondensat außerhalb der eigentlichen Dampfleitung im Kondensatstutzen, der zu diesem Zweck genügend lang sein muss: Hat der Kondensatstutzen die Nennweite der Dampfleitung, dann sollte er etwa 50 cm lang sein. Sind die Entwässerungsstellen weiter als 25 m voneinander entfernt, so muss der Stutzen entsprechend

länger gemacht werden (1 m Länge bei 50 m Abstand). Auf die Berechnung eines solchen Kondensatstutzens soll verzichtet werden; zunächst mag der Hinweis genügen, dass die angegebene Stutzengröße ausreicht, das beim Aufheizen aus der Dampfleitung kommende Kondensat so lange aufzunehmen, bis die Rohrtemperatur etwa $\frac{3}{4}$ des Endwerts erreicht hat. Dann muss der Kondensatableiter genügend Leistung haben, das weiterhin anfallende Kondensat abzuführen und das vorher angesammelte Kondensat allmählich aus dem Stutzen zu entfernen.

Schließt man nun noch die Leitung zum Kondensatableiter seitlich etwas über dem Boden an den Stutzen an, so dient der Stutzenboden gleichzeitig als Schmutzsammelraum; ein abnehmbarer Boden (Blindflansch) ermöglicht die gelegentliche Reinigung. Das Bild zeigt die nach diesen Hinweisen ausgeführte und in der Praxis gut bewährte Ausführung der Leitungsentwässerung.



Der Vorteil der doppelten Sicherung gegen die Verstopfung von Armaturen durch Schmutzsammelraum und Schmutzfänger sollte nicht unterschätzt werden. Die Hoffnung, durch Weglassen dieser Einrichtungen Installationskosten und Wartungszeit zu sparen – „der Schmutz soll sich (durch Regel- und Absperrarmaturen, Wärmetauscher und Leitungen) seinen Weg bis zum Kondensatsammelgefäß suchen“, so hört man mitunter –, wird nur selten erfüllt. Denn in diesem Fall treten Verstopfungen auf, die Betriebsunterbrechungen zur falschen Zeit erforderlich machen. Oder eine wandernde Schweißperle macht eine Armatur unbrauchbar. Oder Wasserschläge verkünden weithin hörbar, dass bei der Installation gefpuscht wurde. Ein Schmutzfänger ist ohnehin billiger als eine Schweißperle, die eine Riefe in den Ventilsitz des Kondensatableiters gräbt. Der solcherart bedingte Wartungsaufwand (Dampfverlust bis der Schaden bemerkt wird, Fehlersuche, Montagezeit, Ersatzteile) ist zwar nicht regelmäßig, dafür aber um so störender und kostspieliger, verspricht also dem Installateur wie dem Betrieb allerhand Ärger.

Werden dagegen die Böden der Kondensatstutzen vor der Inbetriebnahme abgenommen, dann entweichen beim Durchblasen der Leitungen etwa noch vorhandene Fremdkörper wie Schweißperlen, Muttern, Dichtungsreste, Sand auf dem kürzesten Weg und ohne Schaden anzurichten.

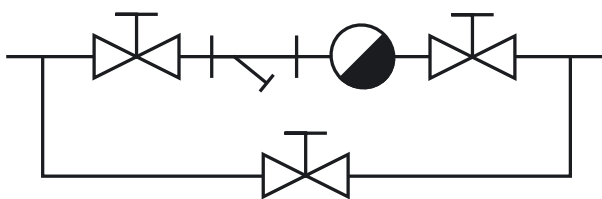
Das „reibungslöse“ Anfahren der Leitung ist also gesichert. Der Schmutzsammelraum zwischen Stutzenboden und seitlichem Abgang der Kondensatableitung bietet bis zur nächsten Überholung der Anlage Platz für später abgerostete Schweißperlen, Walzhaut, Schlamm. Der Schmutzfänger vor dem Kondensatableiter – wie vor jeder anderen Regelarmatur – ist die letzte Sicherung gegen mitgerissene Schädlinge in der Leitung.



Der Dampf strömt durch den Eingang in das zylindrische Sieb und durch die Löcher zum Ausgang. Fremdkörper werden durch das Sieb festgehalten. Wichtig ist, dass der „freie Siebquerschnitt“, das ist die Summe aller Lochflächen im Sieb, mehrfach größer ist als der Querschnitt der Leitung; dadurch bleibt der Widerstand, den der Schmutzfänger der Strömung entgegensetzt, auch dann noch klein (d. h. nicht wesentlich größer als ein gleich langes gerades Leitungsstück), wenn ein Teil des Siebes mit Schmutz gefüllt ist. In Kapitel 11.1.4 werden wir nochmals auf dieses Gerät, seine Ausführungsformen (z. B. Abblasevorrichtung, Reinigungsmechanik) und die richtige Montage eingehen.

Ist im Kondensatableiter bereits ein Schmutzfänger eingebaut, dann kann auf die Montage eines getrennten Schmutzfängers verzichtet werden.

Wenn eine Dampfleitung längere Zeit, etwa mehrere Monate, ununterbrochen in Betrieb sein muss und eine zeitweilige Betriebsunterbrechung kostspielig ist, ist es empfehlenswert, die Regelarmaturen, wie z. B. Temperaturregler, Reduzierventile, Kondensatableiter, die irgendwann einmal ausfallen können, mit Absperrventilen und einer „Umgehungsleitung“, auch „Umführung“ oder „Bypass“ genannt, zu versehen.

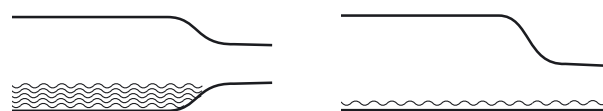


Bei einer Störung am Kondensatableiter wird das Ventil in der Umgehungsleitung wenig geöffnet und die Ventile vor und hinter dem Kondensatableiter geschlossen. Nun kann

der Ableiter ausgetauscht oder repariert werden, ohne dass die Entwässerung der Dampfleitung unterbrochen wird. Sind die Entwässerungspunkte der Dampfleitung nicht zu weit voneinander entfernt, dann kann man auf die Umgehungsleitung verzichten: Bis zur nächsten Entwässerungsstelle wird kein Wasserschlag auftreten, und der nächste Kondensatableiter wird auch genügend Kapazität haben, den zusätzlichen Kondensatanfall zu bewältigen, wie im nächsten Kapitel gezeigt wird. Die Absperrorgane vor und hinter dem Ableiter sind allerdings auch unter diesen Umständen nicht entbehrlich. Sie ermöglichen übrigens auch eine regelmäßige Wartung des Schmutzfängers und des Kondensatableiters während des Betriebes der Anlage. So ist eine bessere Arbeitsverteilung für das Wartungspersonal möglich, die allein schon die etwas höheren Kosten der Installation rechtfertigen kann. Eine besonders kostengünstige Variante ist der Einsatz dampftauglicher Kugelhähne.

Die im vorigen Bild benutzten Symbole für verschiedene Rohrleitungssteile entsprechen der Norm DIN 2429 „Sinnbilder für Rohrleitungsanlagen“. Durch die Vereinbarung solcher Zeichen ist es möglich, Rohrleitungspläne herzustellen, die übersichtlich und für jeden Fachmann ohne lange Erklärungen verständlich sind. Wir wollen deshalb die genormten Zeichen in Zukunft benutzen, ohne jedesmal ihre Bedeutung anzugeben. Die Erklärung finden Sie in Anhang 3, „Zeichnungssymbole in Anlehnung an DIN 2429“.

Das Kondensat fließt, zumindest beim Anfahren und nach dem Abstellen der Anlage, am Boden der Rohrleitung. Deshalb ist es besser, den Rohrboden gerade durchgehen zu lassen und nur die Oberseite entsprechend einzuziehen, also exzentrisch zu reduzieren:



Reduzierungen kurz vor oder nach Regelventilen können zentrisch ausgeführt werden, da in der Rohrleitung turbulente Strömung herrscht und die Druckreduzierung durch das Regelventil eine (leichte) Überhitzung verursacht (siehe Kap. 6.8). Unabhängig davon ist eine gute Entwässerung natürlich hilfreich.

4.9 Die Kondensatableitung aus Dampfleitungen

Welche Anforderungen stellt die Leitungsentwässerung an den Ableiter? Wie gezeigt wurde, muss frühzeitiger Verschleiß der Anlage durch Erosion und Beschädigung durch Wasserschlag verhindert werden, indem für rasche Entfernung des Kondensates aus den Dampfleitungen gesorgt wird. In den Dampfleitungen ist das Kondensat aber in so engem Kontakt mit dem Dampf, dass das Kondensat praktisch immer nahezu Siedetemperatur besitzt.

Werden thermische Kondensatableiter, wie z. B. der Bimetall-Kondensatableiter, für die Entwässerung von Leitungen verwendet, ist auf die richtige Ausführung der Entwässerung besonderen Wert zu legen. Der Bimetall-Kondensatableiter staut das Kondensat insbesondere auch bei Schwankungen des Gegendruckes an, die in längeren Kondensatleitungen mit Verzweigungen häufig sind; er sollte nur bei ausreichend großem Kondensatsammelraum vorgesehen werden.

Thermische Kapsel-Kondensatableiter sollten ebenfalls einen großen Anstauraum aufweisen, um die notwendige Unterkühlung ohne Rückstau in die Dampfleitung zu ermöglichen. Nähere Angaben finden Sie hierzu in Kapitel 7.

Der Thermodynamische Kondensatableiter ist dagegen für die Leitungsentwässerung sehr gut geeignet, weil er große Robustheit mit verzögerungsfreier Kondensatableitung verbindet. Ungeeignet ist er jedoch dort, wo der Druck in der Kondensatleitung mehr als etwa 50 % des Druckes in der Dampfleitung beträgt.

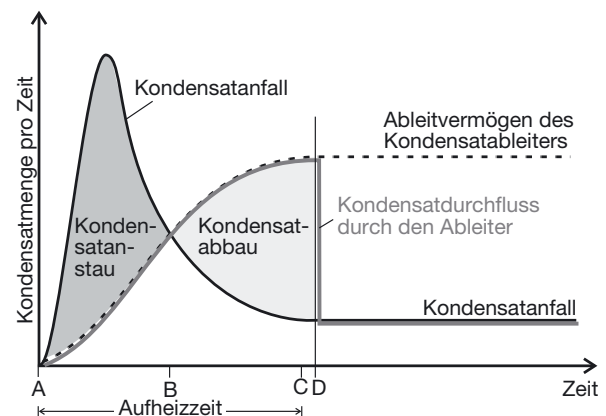
Entwässerungstechnisch ideal aber wesentlich teurer sind Kugelschwimmerableiter. Ein Blick auf Kapitel 7.4.1 und Anhang 6 zeigt uns außerdem, dass der Kugelschwimmerableiter wegen der Empfindlichkeit gegen Wasserschlag oder Frost als erste Wahl für die Leitungsentwässerung nicht in Frage kommt. Als Alternative kommt gelegentlich der Glockenschwimmerableiter zum Einsatz.

Für Dampf geringerer Überhitzung sind die normalen thermodynamischen und Kugelschwimmerableiter geeignet. Bei stärkerer Überhitzung (etwa wenn die Dampftemperatur mehr als ca. 50 K über der Sattdampf­temperatur liegt), sind die Sonderausführungen zu wählen. Notfalls kann aber auch ein Normalgerät bei stärkerer Überhitzung eingesetzt werden, wenn der Ableiter 1 bis 3 Meter vom Kondensatstutzen entfernt angebracht und die Zuleitung nicht isoliert wird. Dann genügt nämlich schon der Wärmeverlust der Zuleitung, um dem Dampf die Überhitzung zu nehmen. Die gleiche Anordnung, nur mit etwas längerer Zuleitung, kann gewählt werden, wenn einmal die Verwendung eines Bimetallableiters zur Leitungsentwässerung nicht zu umgehen ist. Das Kondensat kann sich dann in der Zuleitung so weit abkühlen, dass die Öffnungstemperatur des Bimetallableiters erreicht wird.

Welche Leistung muss der Kondensatableiter haben? Setzen wir voraus, dass gemäß Kapitel 4.8 ein Kondensatstutzen von 50 cm Länge und gleicher Nennweite wie die Dampfleitung den Kondensatanfall bis zur Erwärmung der Leitung auf etwa $\frac{3}{4}$ der Endtemperatur aufnimmt. Dann genügt ein Kondensatableiter, der beim Enddruck etwa das Doppelte der beim Aufheizen durchschnittlich anfallenden Kondensatmenge abführt.

Wird der Ableiter derart bemessen, dann stellt die folgende Grafik schematisch die Vorgänge beim Aufheizen dar: Zuerst

ist die Leitung kalt, es bildet sich schnell viel Kondensat. Der Ableiter kann aber wegen des noch kleinen Leitungsdruckes nur wenig ableiten. Der Überschuss (die im Diagramm zwischen A und B liegende Fläche) bleibt teils in der Rohrleitung hängen, teils wird er so lange vom Kondensatstutzen aufgenommen, bis die Abführleistung des Ableiters größer wird als der Kondensatanfall. Von der Zeit B an baut der Ableiter den Kondensatvorrat im Stutzen ab, bis er nach dem Zeitpunkt D nur noch den laufenden Kondensatanfall im Dauerbetrieb abzuführen hat. Dieser Zustand (Zeit D) wird je nach Anfahrgeschwindigkeit etwa zum Ende der Aufheizzeit bis etwa nach der doppelten Zeit erreicht. Das Ableitvermögen des Kondensatableiters beim Betriebsdruck der Leitung ist etwa doppelt so groß wie der durchschnittliche Kondensatanfall während der Aufheizzeit. Siehe auch Kapitel 4.6.



Wie das Diagramm auch zeigt, ist der Ableiter für den Dauerbetrieb etliches zu groß; aber wenn er weniger leistete, müsste der Kondensatstutzen größer gemacht werden, um ein Überlaufen während der Zeit A bis B – und damit Wasserschläge usw. – zu verhindern; dann würde der Stutzen störend groß. Vor allem aber: Es gibt kaum einen Ableiter kleinerer Leistung! Wenn man nämlich für verschiedene Betriebsdrücke den durchschnittlichen Kondensatanfall während der Aufheizzeit berechnet und aus den Geräteprospekten (auch verschiedener Hersteller) nach der genannten Regel einen Ableiter aussucht, dann landet man im Allgemeinen bei der kleinsten Größe des jeweiligen Typs. Wir können unsere Regel also erfreulich einfach fassen:

Zur Dampfleitungsentwässerung genügt im Allgemeinen der kleinste Kondensatableiter eines Typs, wenn ein Kondensatstutzen von etwa 50 cm Länge in der Nennweite der Dampfleitung vorgesehen und die Leitung alle 25 m entwässert wird.

Umgekehrt zeigt Ihnen das Diagramm auch, dass der Kondensatableiter für den Dauerbetrieb vielfach zu groß würde, wenn Sie ihn absichtlich größer machten, um den Stutzen verkleinern oder weglassen zu können.

Typischer Kondensatanfall beim Anfahren einer Dampfleitung:

Kondensatanfall nicht isolierte Leitung [kg/h m]

Druck [bar _a]	DN 25	DN 50	DN 100	DN 250
2	0,26	0,47	0,88	2,11
5	0,33	0,59	1,11	2,65
8	0,37	0,67	1,26	3,02
13	0,43	0,77	1,47	3,51
32	0,59	1,06	2,01	4,81

Bei isolierten Leitungen verringern sich die Werte auf z. B. 25 %.

4.10 Luft im Dampfraum

In kaltem Zustand ist fast jede Dampfanlage mit Luft gefüllt. Denn wenn die Dampfzufuhr bei der Außerbetriebnahme abgestellt wird, kondensiert der in den Leitungen stehende Dampf, und der Druck nimmt rasch ab. Könnte überhaupt nichts in die Anlage einströmen, dann würde der Dampfdruck bei Abkühlung auf 20 °C auf einen absoluten Druck von etwa 0,023 bar sinken (Dampf tabel, Spalte 2 und 3), d. h. der Druck in den Leitungen würde nun stark unter dem Atmosphärendruck liegen. So weit kommt es jedoch fast nie, weil die Dampf-Kondensat-Anlage Bauteile enthält, die zwar gegen einen inneren Überdruck einwandfrei abdichten, in umgekehrter Richtung, also bei einem Überdruck von außen, aber nicht oder nur unvollständig dichten. Deshalb strömt, sobald der Innendruck unter den Atmosphärendruck sinkt, Luft von außen in die Dampf-Kondensat-Anlage: durch Stopfbuchsen und Flanschverbindungen, durch die Kondensatleitungen und Kondensatableiter vom Kondensatsammler her, durch Entlüfter und Belüfter.

Wird die Anlage wieder in Betrieb genommen, dann strömt Dampf ein, der dank seines höheren Druckes die Luft zusammenpresst; der Druck in der Anlage steigt. Nun muss aber die Luft entweichen können, denn da sie nicht kondensiert, würde sie den weiteren Zustrom von Dampf unmöglich machen. Nehmen wir an, die Luft kann über Entlüfter und Kondensatableiter aus der Dampfanlage abströmen; Dampf strömt dann nach und schiebt die Luft vor sich her.

Nun kann man aber nicht an jeder Ecke einen Entlüfter anbringen. Deshalb werden in strömungsungünstigen Ecken Luftreste zurückbleiben. Ferner strömt der Dampf ja mit Turbulenz in und durch die Leitungen, so dass er sich teilweise mit der Luft vermischt.

Aus diesen Gründen ist auch nach der ersten Phase der Inbetriebnahme und der dabei erfolgten Entlüftung noch Luft in der Anlage.

Schließlich kann auch während des Dauerbetriebs laufend eine geringe Menge Luft mit dem Dampf ins System gelangen, denn das Rohwasser enthält geringe Mengen Luft ge-

löst, die bei der Dampferzeugung als Gas frei werden und vom Dampf in die Leitungen mitgenommen werden, wenn das Speisewasser vorher nicht ganz sorgfältig entgast wurde. Diese Luftmenge ist zwar klein im Vergleich zur erzeugten Dampfmenge (in nicht entgastem heißem Wasser sind einige Milligramm Luft je Liter Speisewasser gelöst), da diese Luft aber im Dampfraum nicht kondensiert, sammelt sie sich ausgerechnet dort, wo sie am meisten stört: an der Wärmetauscherfläche.

Der Dampf strömt sozusagen freiwillig dorthin, wo er benötigt wird, nämlich zur Heizfläche. Deshalb wird auch Luft, die der Dampf mitführt, zur Heizfläche transportiert. Dort kondensiert der Dampf und läuft als Kondensat ab. Die Luft kann aber bei diesen Temperaturen nicht kondensieren, sie legt sich vielmehr in einer Schicht über die Heizfläche. Die Folge ist eine ganz erhebliche Verringerung der Heizleistung, weil Luft die Wärme sehr schlecht leitet. (Deshalb ist Luft ja der wichtigste Bestandteil von Isolierstoffen.) Eine (reine) Luftschicht von nur einem Zehntel Millimeter Dicke setzt dem Wärmedurchgang den gleichen Widerstand entgegen wie eine etwa 10 Millimeter dicke Schmutzschicht auf der Heizfläche oder wie eine 16 Zentimeter starke Stahlwand – das heißt, schon eine geringe Luftmenge kann den Wärmetauscher weitgehend unbrauchbar machen.

Wird die Luft in eine Ecke des Dampfraums gedrängt, aus der sie aufgrund der Strömungsverhältnisse nicht entweichen kann, dann sinkt ihre Temperatur erheblich unter die Temperatur des Sattdampfes beim jeweiligen Druck ab; die hiervon betroffenen Teile der Heizfläche werden demzufolge eine erheblich tiefere Temperatur aufweisen als man erwartet, wenn man lediglich auf den Dampfdruckmesser schaut (denn gewöhnlich erwartet man die zum herrschenden Dampfdruck gehörende Sattdampf temperatur).

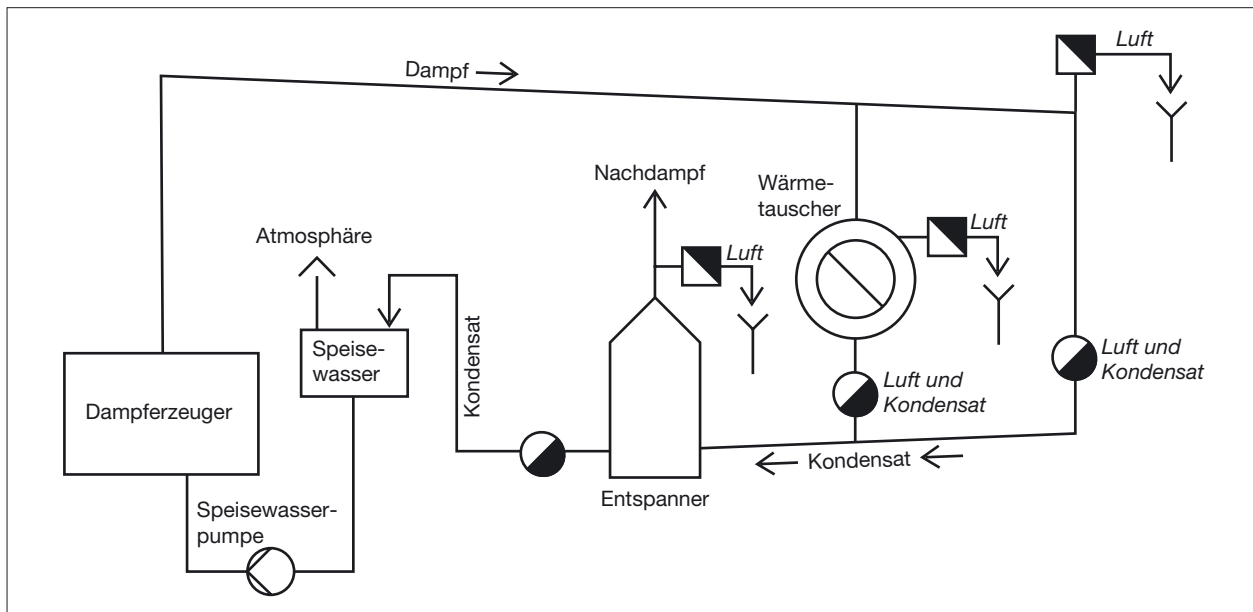
Darüber hinaus begünstigt die Luft wegen des in ihr enthaltenen Sauerstoffes die Korrosion, setzt also die Lebensdauer der Apparate herab.

Nochmals: Luft behindert den Wärmedurchgang sehr stark, setzt die Temperatur herab und bewirkt erhöhte Korrosion. Aus diesen Gründen ist Luft in einer Dampfanlage höchst unerwünscht und man versucht, sie möglichst restlos aus den Dampfäumen zu entfernen und fernzuhalten.

Die wichtigsten Gesichtspunkte für die Entlüftung ergeben sich aus den vorstehenden Betrachtungen:

- **Bei Inbetriebnahme die Luft möglichst rasch abführen**
- **Vermischung von Dampf und Luft möglichst vermeiden**
- **Tote Ecken entlüften**
- **Das Speisewasser gut aufbereiten**

Für den Konstrukteur von Wärmetauschern ist noch wichtig, dass er tote Ecken zu vermeiden sucht und durch Führung der Dampfströmung entlang der Heizfläche (nicht senkrecht zu ihr) der Ausbildung von Luftfilmen an der Heizfläche entgegenwirkt.



Die Speisewasserentgasung ist bei allen größeren Anlagen selbstverständlich. Bei kleinen Anlagen wird von einer Entgasungsanlage aus Kostengründen häufig abgesehen. Hier sollte zumindest das Speisewasser auf 80 bis 90 °C erwärmt werden, um wenigstens den größten Teil der Gase auszutreiben.

4.10.1 Zweckmäßige Entlüftung

Betrachten wir zunächst die gesamte Dampfanlage:

Der Kreislauf führt vom Kessel durch die Dampfleitungen und durch die Wärmetauscher über die Kondensatableiter und durch das Kondensatnetz zurück zum Speisewassergefäß. In jedem Fall wird also Luft zu den Kondensatableitern gelangen. Deshalb sollen diese Geräte eine ausreichende Entlüftungsleistung aufweisen.

Bei der Inbetriebnahme fällt aber oft so viel Luft innerhalb sehr kurzer Zeit an, dass die Kondensatableiter, deren Hauptaufgabe ja nicht Entlüftung, sondern Kondensatableitung ist, mehr oder weniger überfordert sind.

Man entfernt deshalb einen Teil der Luft schon vorher, indem man mindestens am Ende der Dampfleitung, bei größeren Leitungslängen auch schon vorher, Entlüfter anbringt. Dadurch wird die beim Aufheizen in der Anlage vorhandene Luft rascher abgeführt, und der Dampf hat weniger Gelegenheit, sich mit der Luft zu vermischen. Im obigen Bild sind die für die Entlüfter notwendigen Trichter gezeichnet, die das möglicherweise mit der Luft austretende Kondensat über eine Rohrleitung in den Kanal führen sollen. Bei den folgenden Bildern sind zur Vereinfachung die Trichter weggelassen.

Hat der Wärmetauscher einen größeren Dampfraum, dann sollte aus dem gleichen Grund auch der Dampfraum mit einem oder mehreren Entlüftern versehen sein. Dies ist

auch dann erforderlich, wenn der Dampfraum „tote Ecken“ aufweist, in die sich die Luft verkriechen könnte.

Eine gut entlüftete Anlage kommt schneller auf ihre volle Leistung als ein schlecht entlüftetes System, weil die Satt-dampf-temperatur im Dampfraum früher erreicht wird. Dies rechtfertigt den Einsatz getrennter Entlüfter, zumal die Kondensatableiter während des Anfahrvorgangs durch den mehrfach höheren Kondensatanfall bei noch niedriger Druckdifferenz meist voll belastet sind.

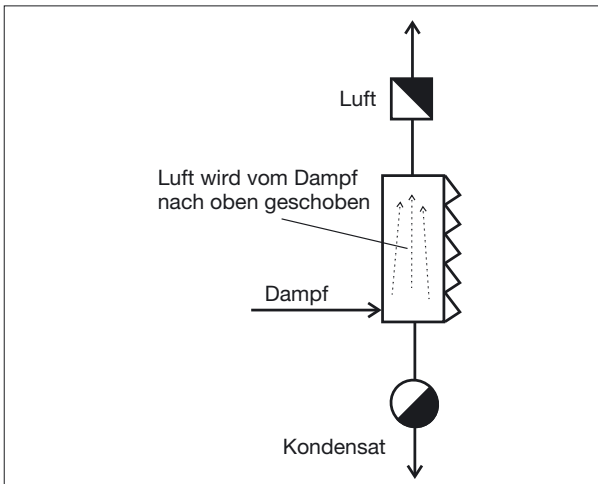
Wird das Kondensat einem Sammler zugeführt, aus dem der Nachdampf zur weiteren Verwendung abgezogen wird, dann sollte der Sammler natürlich ebenfalls entlüftet werden, um eine unnötige „Vergiftung“ der mit dem Nachdampf beheizten Verbraucher mit Luft zu vermeiden.

In der Dampfleitung schiebt der Dampf die Luft vor sich her, und es gibt kaum tote Ecken. Deshalb ist hier das Ende der Leitung bzw. sind die Enden von Entnahmeleitungen zweifellos der richtige Platz für die Entlüftung.

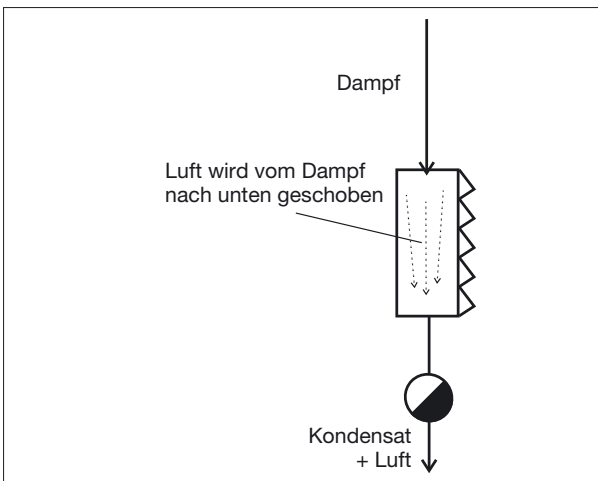
Das gleiche Prinzip gilt aber auch für die Entlüftung von Wärmetauschern:

Entlüfter werden dort angebracht, wo die Dampfleitung zu Ende ist sowie an strömungsarmen Ecken, in welche die Luft abgedrängt wird.

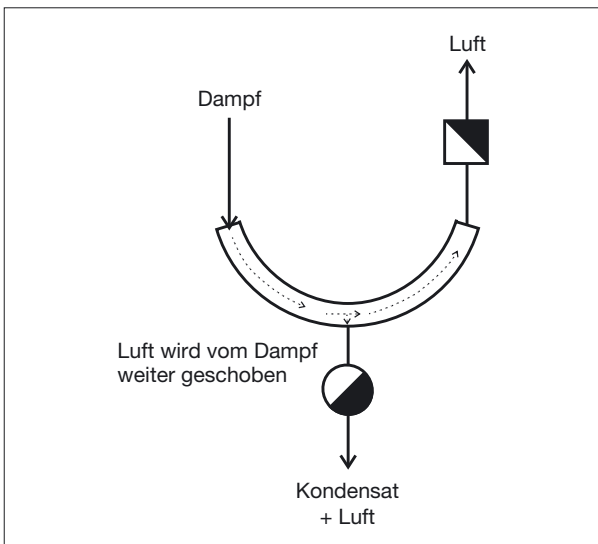
Betrachten wir das an einigen schematischen Beispielen:



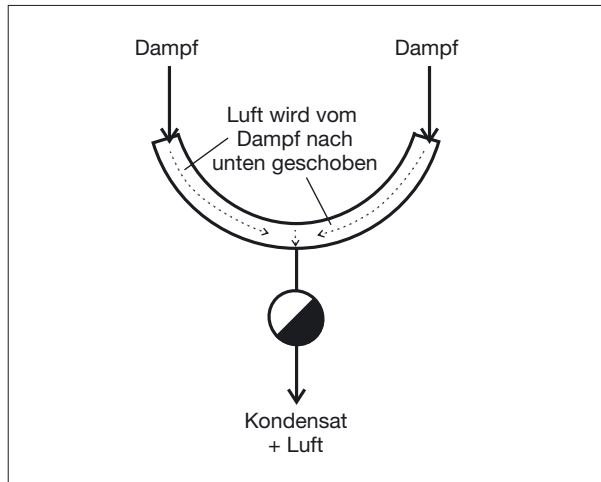
In dem von unten mit Dampf versorgten Heizregister (kleiner Querschnitt!) wird die Luft vor dem Dampf hergeschoben. Der Entlüfter muss deshalb oben angebracht werden.



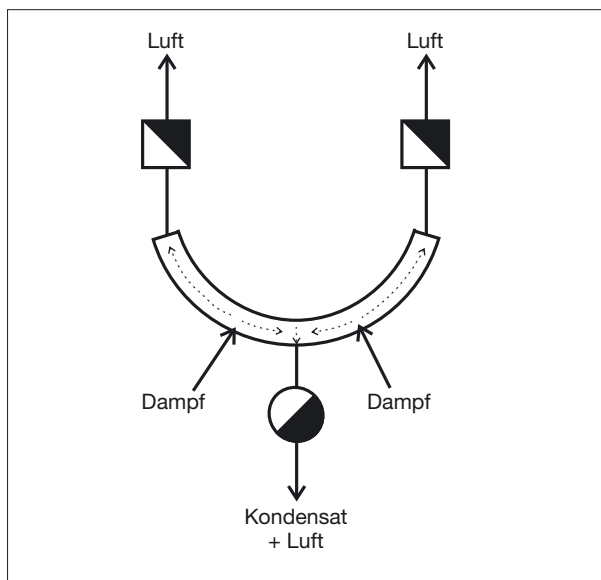
Das von oben mit Dampf beaufschlagte Heizregister zwingt die Luft nach unten; die Entlüftung muss hier unten erfolgen, also vom Kondensatableiter wahrgenommen werden.



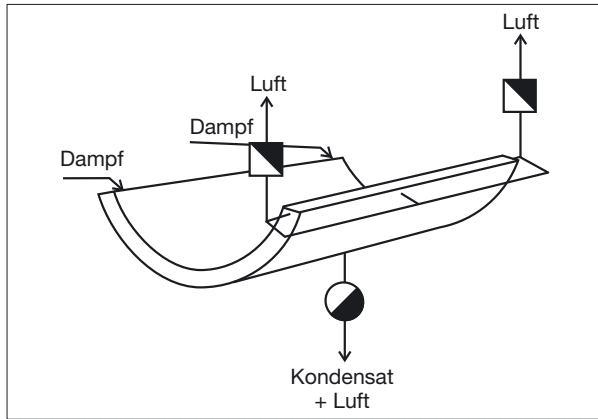
Hier handelt es sich um die Mulde einer Heißmangel oder um eine Kocheinrichtung, die von einer Seite mit Dampf be- schickt wird. Der Dampf schiebt die Luft vor sich her, reißt dabei auch den Luftfilm von der Wärmetauscherfläche mit und drückt die Luft zum Kondensatableiter und in die ent- gegengesetzte Ecke; dorthin gehört deshalb ein Entlüfter.



In diesem Beispiel wird der Dampfraum von zwei Seiten mit Dampf gespeist. Die Luft wird nach unten zum Kondensatableiter gedrückt, der gleichzeitig als automatischer Entlüfter wirken muss oder einen solchen Entlüfter eingebaut hat.

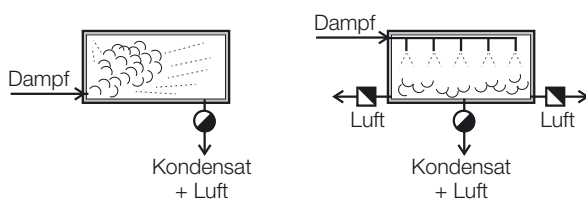


Die Dampfzuführung unten seitlich wird z.B. bei Würzepfannen in Brauereien angewendet. Der Dampf drückt die Luft sowohl nach oben – deshalb müssen dort Entlüfter angebracht werden – als auch nach unten zum Kondensatableiter, der dieser Aufgabe gewachsen sein muss.



Aus der im vorherigen Bild gezeigten Dampfzuführung an zwei Punkten ergeben sich andere Verhältnisse, die eine Entlüftung an der gegenüberliegenden Seite erfordern. Die Entlüftungsöffnungen sollten gegenüber den Dampf Eintrittsöffnungen versetzt sein, weil dadurch Luftpolster am besten vermieden werden.

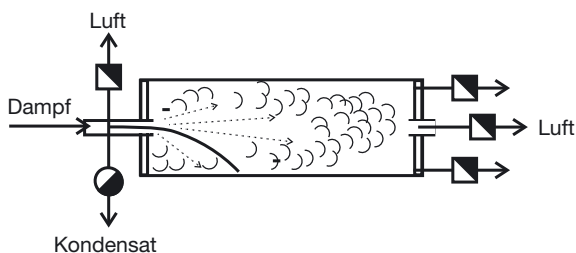
Bei großräumigen Dampfverbrauchern empfiehlt es sich, durch geeignete Dampfzuführung eine gleichmäßige Dampfströmung und damit auch eine eindeutige Entlüftung zu ermöglichen, wie die beiden folgenden Abbildungen andeuten sollen. Sterilisierkammern und Trockenräume gehören zu dieser Gruppe.



Ungünstig: Die Luft kann sich über den Dampfraum verteilen

Günstig: Die Luft wird zu den Entlüftungsstellen gedrängt

Einen der schwierigsten Fälle für die Anbringung von Entlüftern bilden die rotierenden Trockenzylinder (Kalander).



Hier bleibt nichts anderes übrig, als einen Entlüfter an das Ende des Steigrohrs anzuschließen, um wenigstens dieje-

nige Luft vollständig abzuführen, die ins Steigrohr gelangt. Zwar hat man auch schon Entlüfter in die gegenüberliegende Stirnwand des Zylinders eingesetzt, wo sie aufgrund der Strömungsverhältnisse hingehören, doch kann diese Anordnung wegen der damit verbundenen Unfallgefahr nicht empfohlen werden. Auch ein Entlüfteranschluss am gegenüberliegenden Lager, rechts im Bild, ist im Allgemeinen nicht möglich.

Anmerkung: Mitunter wird unter Hinweis darauf, dass bei gleichem Druck und gleicher Temperatur Luft schwerer ist als Wasserdampf, gefordert, dass die Entlüfter möglichst unten angebracht werden sollen. Das ist aber nicht richtig: einerseits weil die Voraussetzung gleichen Druckes praktisch nie zutrifft (nach dem Partialdruckgesetz), andererseits weil der vermischende Einfluss der Strömungen im Dampfraum und der Molekularbewegung sehr viel größer ist als das Trennbestreben aufgrund der unterschiedlichen Molekulargewichte. Wenn das nicht so wäre, dann müsste in einem abgeschlossenen Zimmer die Luft am Boden trocken sein, an der Zimmerdecke müsste sich der Wasserdampf sammeln. Das ist aber, wie Sie wissen, nicht der Fall (dass der Wasserdampf vom Kochtopf rasch aufsteigt, liegt daran, dass er wie auch die umgebende Luft, eine sehr viel höhere Temperatur hat als die Zimmerluft). Im Dampfsystem wird die Luft vielmehr, wie gesagt, teils vor dem Dampf hergeschoben, teils ist sie mit dem Dampf vermischt und wird von diesem an die Heizfläche getragen sowie in Bereiche geringerer Strömung (tote Ecken) abgedrängt.

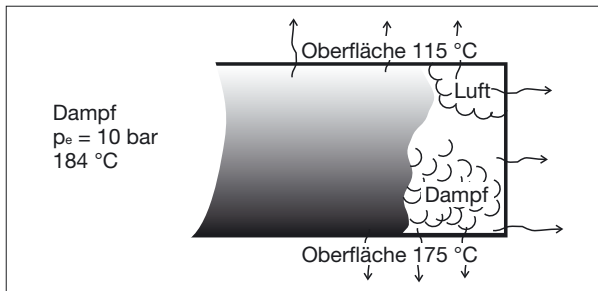
Über diese grundsätzlichen Erwägungen hinaus ist bei der Montage von Entlüftern zu bedenken, dass die Entlüfter meistens nicht nur Luft durchtreten lassen. In kaltem Zustand sind sie geöffnet, leiten bei einer Überflutung der Leitung oder des Wärmetauschers also außer Luft auch Wasser ab, und während des Betriebes öffnen die Entlüfter in gewissen Zeitabständen, um Luft-Dampf-Gemische abzulassen. Gelegentlicher Dampfaustritt ist deshalb keine Fehlfunktion, sondern gehört zur normalen Arbeitsweise der Geräte. Da aber niemand gern Wasser- und Dampfspeicher im Betrieb hat, wird der Ausgang der Entlüfter über einen offenen Trichter an die Kanalisation angeschlossen oder, weniger günstig, aber manchmal das kleinere Übel, fest mit der Kondensatleitung verbunden.

4.10.2 Entlüfter

Die Zeiten, in denen man von Hand eine Entlüftungsschraube an der Dampfleitung und am Wärmetauscher einige Zeit öffnete, bis man glaubte, dass nun alle Luft und alles Luft-Dampf-Gemisch abgelassen sei, sind vorbei. Denn eine einfache und zuverlässige Möglichkeit, die richtige Zeitdauer der Handentlüftung zu bestimmen, gibt es nicht – abgesehen davon, dass ja auch während des Betriebes der Anlage entlüftet werden sollte, um auch geringe Mengen Luft von der Heizfläche fernzuhalten. Deshalb verwendet man heute nur noch automatische Dampfentlüfter, also Geräte, die Luft und Luft-Dampf-Gemische selbsttätig ablassen, reinen

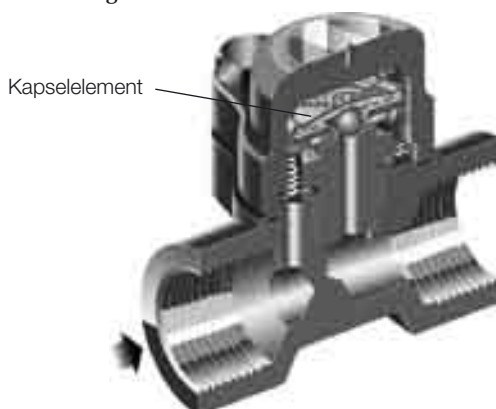
Dampf aber zurückhalten. Das gelingt aufgrund der Tatsache, dass sich die Luft und auch Dampf-Luft-Gemische unter die Sättigungstemperatur abkühlen, während luftfreier Satttdampf stets die (laut Dampftafel, Spalte 3) zum jeweiligen Druck gehörende Temperatur hat.

Betrachten wir als Beispiel eine Mangelwalze, die mit Satttdampf $p_e = 10$ bar betrieben wird, also mit Dampf von 184°C . Sammelt sich in einer Ecke Luft, dann gibt diese Wärme ab, wie an anderen Stellen der Dampf; da sie dabei aber nicht kondensiert, kann kein Dampf nachströmen; die an der Heizfläche liegende Luft kann deshalb Wärmenachschub nur durch Wärmeleitung durch die davor stehende Luft hindurch erhalten. Da Luft die Wärme aber sehr schlecht leitet, kommt nicht genügend Wärme nach, um die hohe Anfangstemperatur der Luft aufrecht zu erhalten, und die Luft kühlt sich an der Heizfläche ab, die Heizfläche wird sich auf z. B. 115°C oder gar noch weniger abkühlen.



Diese für den Betreiber der Maschine so ungünstige Eigenschaft der Luft wird andererseits ausgenutzt, um die Luft und Luft-Dampf-Gemische zu entfernen. Die in Kapitel 7 beschriebenen thermischen Kondensatableiter (Schnellentleerer, thermische Kapsel- und Bimetall-Kondensatableiter) öffnen, wenn die Temperatur um einen bestimmten Betrag unter die jeweilige Satttdampf-Temperatur fällt oder wenn eine bestimmte Temperatur unterschritten wird. Deshalb lassen sich diese Geräte ohne jede Änderung als automatische Entlüfter verwenden.

Entlüfter nach dem Schnellentleerer-Prinzip (folgendes Bild) in moderner Ausführung als thermischer Kapsel-Kondensatableiter (Kapitel 7) öffnen wenige Grad unter Satttdampf-Temperatur, leiten also auch Dampf-Luft-Gemische zuverlässig ab.



Entlüfter mit Bimetallsteuerung sind robust und für hohe Drücke und überhitzten Dampf verwendbar, werden heute aber nicht mehr so häufig eingesetzt.

4.11 Die Inbetriebnahme von Dampfleitungen

Wird der Dampf in eine kalte Leitung geschickt, dann fällt zunächst sehr viel Kondensat an, wie wir soeben gesehen haben. Steigt der Druck in der Dampfleitung zu schnell an, dann wird das Kondensat mit viel zu hoher Geschwindigkeit durch die Leitungen gejagt und verursacht Schäden an Leitungen, Armaturen und Wärmetauschern – auch bei richtiger Anordnung der Entwässerungseinrichtungen. Deshalb muss die Inbetriebnahme kleiner wie großer Anlagen *langsam* erfolgen.

Noch ein anderer wichtiger Grund spricht für langsames Aufheizen: Das Leitungsrohr erwärmt sich dann gleichmäßiger, so dass die Spannungen im Material klein bleiben. Wird der Dampfdruck dagegen rasch erhöht, dann sammelt sich unten im Rohr kühleres Kondensat, während die Rohroberseite von merklich heißerem Dampf berührt wird. Unter- und Oberseite des Rohrs haben dann unterschiedliche Temperaturen und verlängern sich demzufolge unterschiedlich, so dass sich die Leitung u. U. trotz einwandfreier Montage verbiegt; undichte Flanschverbindungen sind die Folge.

Wie unvermutet groß dieses Bestreben, sich zu verlängern, ist, zeigt eine kurze Rechnung: Eine 25 m lange Rohrleitung DN 50 führe unten Kondensat von 145°C , oben Satttdampf von 170°C ($p_e = 7$ bar), so dass der Temperaturunterschied zwischen Rohroberseite und Rohrunterseite im Mittel nur etwa 25 K beträgt; nach der Formel von Kapitel 4.4 wird sich die Oberseite um 7 mm mehr verlängern als die Unterseite. Dies hat zur Folge, dass sich das Rohr in der Mitte des 25 m langen Stücks um rd. 400 (vierhundert) mm aus der Normallage anheben möchte. Zwar wirken Halterungen, Rohrgewicht und entstehende zusätzliche Rohrspannungen dieser Verbiegung entgegen, aber Sie werden wohl nicht bezweifeln, dass erhebliche Materialbeanspruchungen auftreten.

In den dickwandigeren Rohrleitungsteilen wie Flanschen und Armaturen entsteht beim raschen Anwärmen auch eine beträchtliche Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenseite. So entsteht wieder ein Verbiegungsbestreben, das gefährliche Schäden zur Folge haben kann, zumal die dickwandigeren Armaturen häufig aus weniger elastischen Gußwerkstoffen bestehen.

Größere, selten anzufahrende Leitungen werden häufig „von Hand“ in Betrieb genommen: An den Entwässerungsstellen werden Ablassventile von Hand geöffnet (eigentlich müssen sie schon von der Außerbetriebnahme her geöffnet sein), dann der Dampf in die Leitung gelassen und der Druck lang-

sam erhöht. Wenn kein Kondensat mehr anfällt, werden die Entwässerungsventile wieder von Hand geschlossen.

Diese Handhabung ist vor allem bei Dampfleitungen zu Turbinen wichtig. Jede Automatik kann nämlich einmal ausfallen, und dann wäre der Schaden an der Turbine sehr groß.

Werden Leitungen, die im Dauerbetrieb stets ausreichend überhitzten Dampf führen, beim Anfahren von Hand entwässert, dann genügen wenige Kondensatableiter, denn es fällt nach dem Aufheizen praktisch kein Kondensat mehr an. Voraussetzung ist allerdings, dass stets so viel Dampf strömt, dass die Überhitzung tatsächlich nicht verloren geht; strömt nämlich weniger als bei der Berechnung der Leitung angenommen wurde, dann kühlt sich der Dampf durch die immer vorhandenen Wärmeverluste der Leitung rasch ab und es bildet sich Kondensat. Dass alle Tiefpunkte entwässert werden müssen, wurde bereits gesagt.

In den meisten Fällen wird jedoch die automatische Anfahr Entwässerung der Leitungen durch Kondensatableiter größere Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit ermöglichen. Dies gilt besonders für alle häufig aufzuheizenden Dampfnetze.

Ob von Hand oder automatisch „angefahren“ wird, ob die Anlage groß oder klein ist, stets gilt die Regel:

Dampfleitungen dürfen nur langsam aufgeheizt werden.

Freilich, mit der Angabe „langsam“ können Sie nicht viel anfangen, wenn Sie nicht schon erhebliche Erfahrungen haben (und dann brauchen Sie solche Regeln nicht). Derartige Erfahrungen lassen sich aber nicht von einer Anlage auf eine andere übertragen. Betrachten Sie es deshalb nur als Anhaltspunkt – und natürlich unverbindlich –, wenn wir Ihnen vorschlagen, den Druck niemals schneller als in 3 bis 5 Minuten von null auf den Enddruck zu erhöhen; je nach Verhältnissen sind bis zu 20 Minuten, bei großen Anlagen noch mehr Aufheizzeit vorzusehen. Die Aufheizzeit ist nicht schon dann richtig, wenn keine Wasserschläge und Undichtigkeiten auftreten, sondern wenn sich Leitungen und Armaturen gleichmäßig erwärmen können und wenn keine hohen Strömungsgeschwindigkeiten auftreten.

4.12 Der Lufteinfluss im Dampf

Der Druck eines Gasgemisches ergibt sich aus der Summe der Einzeldrücke. Bei einem Gemisch aus Luft und Dampf ist daher

$$\text{Gesamtdruck} = \text{Partialdruck Dampf} + \text{Partialdruck Luft}$$

Beispiel:

10 bar Druckanzeige am Manometer

10 % Luftanteil

$$\text{Gesamtdruck } 10 \text{ bar} = 9 \text{ bar Dampfdruck} + 1 \text{ bar Luftdruck}$$

Bei 10 bar Druck würde man eine Dampftemperatur von 184,1 °C erwarten (Wasserdampf tabel Kap. 1.7). Tatsächlich ist jedoch nur 9 bar Dampf-Partialdruck vorhanden, d. h. die Temperatur beträgt nur 179,9 °C!

Zusätzlich zur Herabsetzung der Temperatur führt die Luft zu schlechteren Wärmedurchgangskoeffizienten, Beispiel:

Luftanteil [%]	Wärmedurchgangskoeffizient [W/m²K]
0	1800
1	1590
2	1430
3	1300
4	1180

Schlechte Entlüftung ändert also sämtliche Berechnungsgrundlagen für einen Wärmetausch. Schlechte Entlüftung ist viel öfter die Ursache für Fehlstörungen von Prozessen als man gemeinhin denkt. Wer am kleinen Entlüfter spart, der spart an der falschen Stelle und muss überdimensional mehr für den Wärmetauscher ausgeben.