

8. Die Kondensatleitung

Dass das Kondensat, wenn irgend möglich, zurückgeführt werden sollte, war bereits zu Beginn des Buches betont worden. Denn Kondensat ist heißes destilliertes Wasser, das am Dampferzeuger dringend benötigt wird und dessen Neuaufbereitung aus Roh- bzw. Frischwasser teuer ist. (Sollte das Kondensat so verunreinigt anfallen, dass es als Kesselspeisewasser nicht mehr brauchbar ist, dann ist ein Fehler in der Anlage zu vermuten.) Zum Rückführen des Kondensates braucht man Rohrleitungen – nämlich das Kondensatnetz –, einen ausreichenden Differenzdruck und eine Ausführung der Anlage, die störungsfreien Betrieb gewährleistet. Darüber soll nun gesprochen werden.

8.1 Dampf in Kondensatleitungen

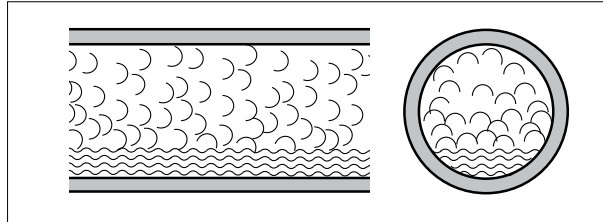
Durch die Kondensatrückführung lassen sich die Kosten für Wasser, Wasseraufbereitung und Wassererwärmung ganz erheblich senken. (Lediglich bei geringen Kondensatmengen, die in großer Entfernung vom Kesselhaus anfallen, lohnt sich das Zurückführen mitunter nicht.) Man bringt deshalb das von den einzelnen Wärmetauschern kommende Kondensat in Kondensatsammelleitungen, die das Kondensat zum Kesselspeisewasserbehälter leiten.

Leider ist das nicht ganz einfach, weil die Kondensatleitungen nicht nur Kondensat, das heißt Wasser, zu transportieren haben, sondern auch den Nachdampf. Das Kondensat tritt ja mit annähernd Siedetemperatur aus dem Dampfraum durch den Kondensatableiter in die Kondensatleitung ein. Da der Druck in der Kondensatleitung erheblich kleiner sein sollte als der Druck im Dampfraum – dies wird gleich noch ausführlicher begründet werden –, verdampft ein Teil des Kondensates:

Je nach Druckverhältnissen werden 5 bis 10 oder gar 15 Gewichtsprozent Kondensat wieder zu Dampf, dem sogenannten Nachdampf (Kapitel 9.2). Das scheint zunächst nicht viel; z. B. entstehen aus jedem Kilogramm Siedekondensat von $p_e = 8$ bar bei Entspannung auf $p_e = 0,5$ bar rund 0,12 kg Nachdampf von $p_e = 0,5$ bar, und es bleiben 0,88 kg Siedekondensat $p_e = 0,5$ bar.

Aber: 1 kg Siedekondensat von 110 °C/0,5 bar hat laut Dampftafel (Kap. 1.7) ein Volumen von 0,00105 m³ oder 1,05 Liter; 0,88 kg demnach $0,88 \cdot 1,05 = 0,92$ Liter. Der (Nach-) Dampf von $p_e = 0,5$ bar beansprucht dagegen einen Raum von 1,16 m³/kg (Dampftafel Spalte 7), d. h. 0,12 kg Dampf von $p_e = 0,5$ bar haben ein Volumen von $1,16 \cdot 0,12 = 0,139$ m³ oder 139 Liter. In diesem Beispiel hat die Kondensatleitung gewichtsmäßig nur 12 % Nachdampf und 88 % Kondensat zu fördern – volumenmäßig aber, und darauf kommt es bei der Berechnung des Rohrquerschnitts an $139 / 139,9 = 99,4$ % Dampf und nur 0,6 % Kondensat. Das heißt:

Eine heiße Kondensatleitung ist keinesfalls eine Wasserleitung, sondern vielmehr eine Dampfleitung mit besonders hohem Wassergehalt!



Genauere Angaben zur entstehenden Nachdampfmenge entnehmen Sie Kapitel 9.2.

Leider hat sich diese Tatsache noch nicht allgemein herumgesprochen und deshalb haben nicht wenige Betriebe Schwierigkeiten mit der Entwässerung von Wärmetauschern, mit Wasser- und Dampfschlägen, mit raschem Verschleiß der Kondensatleitungen, mit frostzerstörten Anlagen.

Die Nachdampfmenge in der Kondensatleitung wird allerdings geringer oder verschwindet sogar ganz, wenn das Kondensat stärker abgekühlt wird, sei es schon im Wärmetauscher oder sei es beim Transport in einer längeren Kondensatleitung.

Wir wollen im Folgenden die soeben getroffenen Feststellungen etwas näher untersuchen und die Konsequenzen für die Praxis ziehen.

8.2 Druck in der Kondensatleitung

Wenn der Druck in der Kondensatleitung nicht kleiner ist als der Druck im Dampfraum, kann das Kondensat nicht aus dem Dampfraum ausfließen. Das ist verständlich. Aber um wieviel soll der Druck der Kondensatleitung unter dem Druck im Wärmetauscher liegen?

Ein Dampf-Kondensat-Netz besteht fast immer aus mehreren Verbrauchern und der Weg des Dampfes und des Kondensates ist im Allgemeinen nicht kurz. Außerdem kondensiert ein Wärmetauscher nicht zu allen Zeiten genau gleich viel Dampf. Und mit genau gleichem Kondensatanfall aller Wärmetauscher kann man schon gar nicht rechnen – nicht einmal dann, wenn es theoretisch zu erwarten wäre.

Deshalb wird der Kondensatanfall schwanken und damit notwendig auch der Druck an verschiedenen Stellen des Kondensatnetzes; denn je mehr heißes Kondensat an einem Punkt in die Kondensatleitung einströmt, desto höher steigt an dieser Stelle der Druck. Dadurch wird das Ableitvermögen des davor liegenden Kondensatableiters geringer, weil die am Ableiter verfügbare Druckdifferenz kleiner wird.

Aber die Druckerhöhung in der Kondensatleitung wirkt sich auch auf benachbarte Wärmetauscher aus, indem sie deren Entwässerung behindert – wenn der Druck in der Kondensatleitung nicht so weit unter dem Druck im Dampfraum liegt, dass derartige Druckschwankungen im Kondensatnetz nur einen verhältnismäßig kleinen Einfluss auf die Entwässerung ausüben können.

Mit anderen Worten:

Im Kondensatnetz treten immer Druckschwankungen auf. Deshalb soll der Druck in den Kondensatleitungen klein sein im Verhältnis zum Druck im Dampfraum. Dann können die Druckschwankungen in der Kondensatleitung die Entwässerung einzelner Wärmetauscher nicht behindern.

Diese Forderung stößt zunächst auf verständlichen Widerstand: Bei hohem Kondensatleitungsdruck könnte die Leitung kleiner und deshalb billiger sein. Auch die Betriebskosten des Kondensatnetzes würden bei hohem Kondensatdruck günstiger, wenn es gelänge, diesen Druck aufrecht zu erhalten bis das Kondensat wieder in den Kessel als Speisewasser eingeführt wird. Denn es entstünde weniger Nachverdampfung und man bräuchte selbstverständlich weniger Heizöl, wenn das Speisewasser mit 160 °C in den Kessel käme anstatt mit nur 100 °C. Höheren Wärmeverlust der Leitung könnte man durch entsprechend dickere Isolation zum Teil ausgleichen. Hielte man das gesamte Kondensatnetz einschließlich Kesselspeisewassergefäß unter höherem Druck, so hätte man schließlich auch den Eintritt von Luft bzw. Sauerstoff in das System, zumindest während des Betriebes, verhindert.

Die Tatsache, dass trotz dieser verlockenden Vorteile mögliche geschlossene Kondensatanlagen in der Praxis nicht so oft anzutreffen sind, liegt darin, dass nur wenige Planer verstehen, solche Anlagen auszulegen. Die Druckverhältnisse in der Dampf- und Kondensatanlage, der Einsatz der richtigen Geräte, die Verwendung von Pumpen mit entsprechenden Leistungsdaten und nicht zuletzt die Beachtung essentieller Montagehinweise sind sehr aufwändig. Bevor Sie sich daher zu einer geschlossenen Kondensatanlage entscheiden, empfehlen wir Ihnen dringend, mit Spirax Sarco-Fachleuten oder entsprechenden Experten Rücksprache zu halten.

Am Ende der Kondensatleitung steht normalerweise ein Sammelgefäß, das entweder unter Atmosphärendruck oder wegen der thermischen Entgasungsanlage unter einem geringen Überdruck von 0,1 bis 0,2 bar steht. Damit das Kondensat überhaupt zum Sammelgefäß fließt, muss der Druck in der Kondensatleitung etwas höher liegen als der Druck im Sammelgefäß.

Nun ist es schon vorgekommen, dass eine großräumige Dampf- und Kondensatanlage mit einem Dampfüberdruck von 4 bar für einen Überdruck in der Kondensatleitung von 3,6 bar ausgelegt wurde. Dazu muss man „Viel Glück!“ wün-

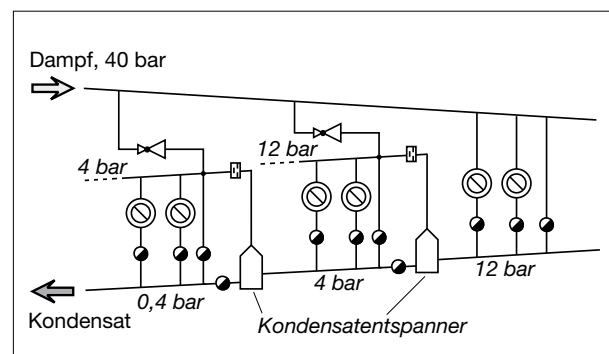
schen, denn eine solche Planung grenzt an Lotteriespiel. Warum? Die Drücke in Rohrleitungen lassen sich nicht exakt berechnen, die Ergebnisse sind stets mit Fehlern behaftet. Dies trifft ganz besonders für Kondensatleitungen zu: die tatsächlich auftretenden Drücke weichen von den erwarteten stets mehr oder weniger stark ab – am meisten in großräumigen Anlagen bzw. langen Rohrleitungen.

Im genannten Planungsbeispiel muss man also erwarten, dass der Vordruck in der Dampfleitung an einigen Stellen nur z. B. $p_e = 3,7$ bar beträgt, während an einigen Stellen im Kondensatnetz anstatt der errechneten $p_e = 3,6$ bar sogar 3,9 bar nötig wären, um das Kondensat zurückzuführen. Spätestens der erste strengere Frost wird es an den Tag bringen: Die behinderten Leitungsteile frieren ein. Man kann also nur hoffen, dass so hohe Sicherheitszuschläge – hier treffender „Angstzuschläge“ genannt – gemacht wurden, dass die Anlage trotz(!) der Planung gut arbeitet.

Da die Dampf-Kondensat-Anlagen praktisch alle verschieden sind, kann man leider nicht sagen, dass 80 % Gegendruck in der Kondensatleitung Unfug sei, 40 % Gegendruck aber zulässig. Denn hoher Gegendruck wird dann unzulässig, wenn er die Entwässerung einzelner Wärmetauscher zeitweise oder immer behindert. Wann dieser Fall eintritt, lässt sich aber nicht genau vorhersagen, weil sowohl der Druck in der Dampfleitung als auch der Druck in der Kondensatleitung schwankt, je nach dem augenblicklichen Dampfverbrauch und je nachdem wie der Dampfverbrauch auf die einzelnen Wärmetauscher verteilt ist.

Je kleiner der Druck in der Kondensatleitung ist, desto besser (= höhere Leistung) und desto sicherer (= weniger Betriebsstörungen) „läuft“ die Anlage. Gegendrucke bis zu etwa $\frac{1}{4}$ oder u. U. $\frac{1}{3}$ des Vordruckes haben sich bei zweckentsprechender Auslegung des Rohrnetzes als annehmbar erwiesen; die Anlage ist dann „optimal“ ausgelegt: Mit möglichst geringen Anlagekosten werden gute Betriebsergebnisse erzielt.

So wird in großen Anlagen z.B. das Kondensat aus dem 40-bar-Netz über einen Kondensat-Entspanner in das 12-bar-Netz eingespeist, aus diesem über einen weiteren Entspanner in das 4-bar-Netz, aus dem es dann zum Kesselhaus zurückgebracht wird. Das folgende Bild zeigt eine derartige Anordnung.



Im kleineren Betrieb wird zur Ausnutzung der Nachverdampfung z. B. von 10 bar auf 0,5 bis 1,5 bar entspannt.

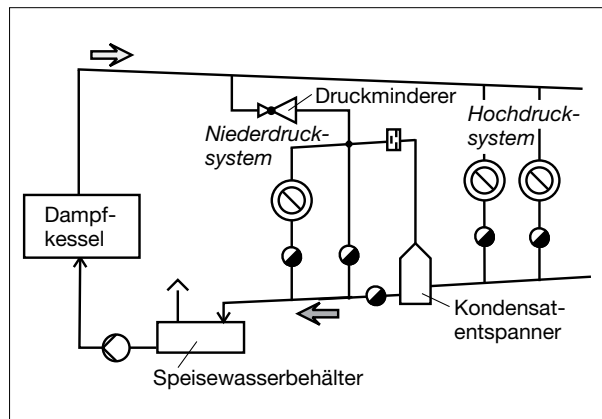
Bei der Auswahl der Kondensatableiter für solche mit Gegendruck arbeitenden Anlagen sind die Besonderheiten der verschiedenen Ableitersysteme zu beachten. Bei allen Ableitern sinkt die Leistung mit steigendem Gegendruck, unschwer zu erkennen anhand der Datenblätter in Anhang 7. Beim Kugelschwimmerableiter muss der Druckbereich nach dem höchsten Vordruck (nicht nach dem höchsten Differenzdruck) ausgewählt werden. Der thermodynamische Kondensatableiter ist unabhängig von Schwankungen des Vor- und Gegendruckes, solange der Gegendruck nicht ca. 80 % des Vordruckes überschreitet. Der Bimetall-Kondensatableiter hat zwar keine Grenze für den Gegendruck, doch ist seine Arbeitsweise so stark vom Gegendruck abhängig, dass er bei stärker schwankendem Druck in der Kondensatleitung nicht eingesetzt werden sollte. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass für die Betriebsweise mit Gegendruck am besten geeignet sind:

- der thermodynamische Kondensatableiter (unter Beachtung der 80-%-Grenze)
- der thermische Kapsel-Kondensatableiter
- der Kugelschwimmer-Kondensatableiter

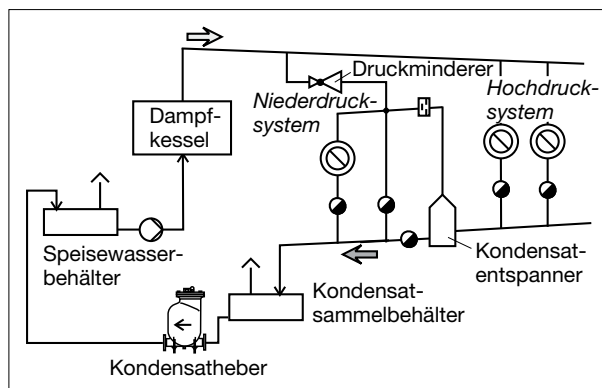
Für die Wahl der Ableitergröße ist die am Ableiter mindestens verfügbare Druckdifferenz zugrunde zu legen. Sie ergibt sich aus dem kleinsten Vordruck und dem höchsten Druck, der unmittelbar nach dem betreffenden Kondensatableiter zu erwarten ist, das ist der bekannte Druck am Ende der Kondensatleitung nebst einem Zuschlag für den Druckabfall in der Kondensatleitung. Wird die Kondensatleitung nach den Vorschlägen der folgenden Kapitel ausgelegt, dann beträgt dieser Zuschlag je nach Leitungslänge null bis einige Zehntel Atmosphären. Bei zu kleiner Kondensatleitung oder bei ungünstiger Leitungsführung kann der Gegendruck dagegen überraschend hoch werden – und solche Überraschung ist unangenehm.

8.3 Das Kondensatnetz

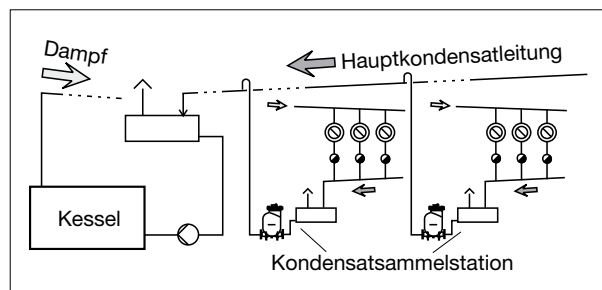
Wie sieht also das Kondensatnetz in der Praxis prinzipiell aus? Möglichst alles Kondensat wird gesammelt und zum Kesselhaus zurückgeführt. Besonders wirtschaftliche Lösungen ergeben sich, wenn Kondensat aus höheren Druckstufen in ein Niederdrucksystem eingespeist wird, wo die Nachverdampfung ausgenutzt wird. Zuletzt läuft das Kondensat durch Schwerkraft in den belüfteten Kesselspeisewasserbehälter, so dass das Kondensatnetz bei Außerbetriebnahme leerläuft. Vom Kesselspeisewassergefäß wird es über die Speisepumpe wieder in den Kessel gedrückt. (Von Einzelheiten wie etwa den grundsätzlich erforderlichen Sicherheitsventilen oder der Speisewasseraufbereitung ist in diesen Prinzipskizzen ebenso abgesehen wie von den Besonderheiten großräumiger Anlagen.)



Häufig liegt das Kesselspeisewasser-Gefäß oberhalb der Kondensatsammelleitung, so dass ein Leerlaufen der Leitung durch Schwerkraft nicht möglich ist. Dann sieht man am Leitungsende ein kleines entlüftetes Sammelgefäß vor, zu dem das Kondensat durch Schwerkraft fließt und von dem aus es mit einem Kondensatheber in den Kesselspeisewasser-Behälter gefördert wird.



Aus etwas verzweigten Anlagen kann man das Kondensat zurückführen, indem man es an verschiedenen Knotenpunkten sammelt und dort in die ausreichend bemessene Hauptkondensatleitung einspeist.



Ließe man hier die örtlichen Kondensat-Sammelstationen weg und führte das Kondensat direkt in die Hauptleitung, dann würde die Anlage zunächst einfacher und billiger; billiger auch deshalb, weil die Hauptleitung nun mit höherem Druck (z. B. 2 bar, wenn der niedrigste Dampfdruck 10 bar beträgt) gefahren werden könnte und dadurch ein kleinerer Leitungsquerschnitt möglich wäre.