

9. Die Kondensatwirtschaft

Zugegeben: Sie ist nicht so wichtig wie die Landwirtschaft; ihre volkswirtschaftliche Bedeutung reicht vielleicht auch nicht an die Milchwirtschaft heran – aber da Sie keine zu melkenden Kühe im Stall stehen haben, sondern zu entwässernde Dampfverbraucher, werden Sie sicher größeres Interesse an der Kondensatwirtschaft haben: In den meisten kleinen, mittleren und großen Betrieben lassen sich durch konsequente Ausnutzung aller Möglichkeiten rationellen Energieeinsatzes bemerkenswerte Einsparungen erzielen. Die erforderlichen Aufwendungen für Material und Montage sind im Allgemeinen in weniger als einem Jahr amortisiert, so dass sich die sorgfältige Planung der Kondensatanlage selbst dort in der chemischen Industrie lohnt, wo auf schnellste Abschreibung der Produktionsanlagen geachtet werden muss.

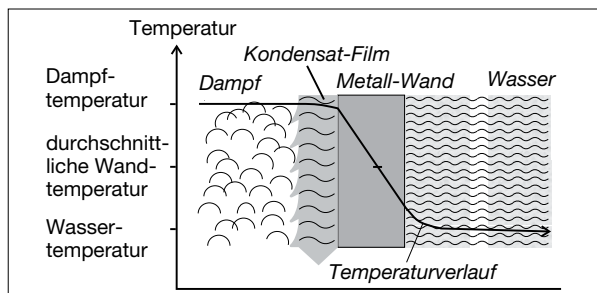
Das Geld, das sich in Form von ungenutzter Wärme sozusagen in Nichts auflöst, kann gespart werden bzw. nützlicherer Verwendung zugeführt werden, wenn man erkennt, wo ungenutzte Energie verfügbar ist, weiß, wie sie nutzbar gemacht werden kann, plant, so dass sie den größten Nutzen bringt.

Dafür sollen die folgenden Kapitel Hinweise geben.

9.1 Die Kondensattemperatur

Betrachten wir das Kondensat zunächst dort, wo es entsteht: im Dampfraum vor dem Kondensatableiter. Sattdampf gibt Wärme ab, indem er kondensiert. Dabei entsteht Kondensat von genau der gleichen Temperatur. Im Augenblick des Entstehens hat das Kondensat also genau die zum jeweiligen Druck im Dampfraum gehörende Sattdampf Temperatur, wie sie in der Wasserdampftafel angegeben ist: zum Überdruck von 0,5 bar rd. 111 °C, bei 7 bar 170 °C, bei 15 bar 201 °C usw.

Nun kann der Dampf aber, wie jeder andere Stoff, nur Wärme abgeben, wenn er mit einem Körper niedrigerer Temperatur in Berührung kommt. (Die Wärmestrahlung soll hier unberücksichtigt bleiben). Dieser Körper niedrigerer Temperatur ist im Allgemeinen die Wandung des Dampfraums. Das Kondensat bildet sich an den kälteren Flächen und läuft dort ab – ebenso wie im Winter der Wasserdampf an den kalten Autoscheiben kondensiert und abläuft. Auf der Wand entsteht also ein Kondensatfilm. Dieser gibt Wärme an die kältere Wand ab, seine Temperatur sinkt deshalb unter die Sattdampf Temperatur. Dadurch kann weiterhin Sattdampf auf dem Kondensatfilm kondensieren. Die Kondensatschicht wird dicker, das Kondensat läuft schneller ab, bis schließlich ebenso viel Kondensat abläuft wie neu gebildet wird.



Die mittlere Kondensattemperatur muss bei diesem Vorgang notwendig unter der Sattdampf Temperatur und über der Wandtemperatur liegen. Wir unterscheiden drei Fälle:

1. Ist der Temperaturunterschied zwischen Dampf und beheiztem Stoff gering, dann wird auch die Kondensattemperatur nur wenig unter der Sattdampf Temperatur liegen. Außer in Wärmetauschern ist dies z. B. auch der Fall, wenn der „beheizte Stoff“ Isoliermaterial und der Dampfraum eine Dampfleitung ist. Gleiches gilt, wenn das Kondensat sehr eng mit dem Dampf in Berührung bleibt oder gar durch eine im Dampfraum liegende, also unfreiwillig beheizte Leitung abfließen muss, wie bei den rotierenden Zylindern von Papiermaschinen und Textiltrocknern.
2. Eine geringe Unterkühlung, das heißt Kondensattemperaturen etwa 1 bis 10 K unter der Sattdampf Temperatur, erhält man bei der zweckentsprechenden Entwässerung der meisten Wärmetauscher. Das Kondensat soll ja schnell aus dem Wärmetauscher heraus, weil dann der Wärmeübergang und damit die Produktionsleistung der Anlage größer wird; Verdampfer bzw. Kocher, Trockner aller Art, Wäschemangeln sind Beispiele dafür. Außerdem ist es oft wichtig, dass die Beheizung gleichmäßig erfolgt, um eine gute Produktqualität, z. B. in Etagenpressen für Holz- oder Kunststoffplatten, bei Vulkanisierpressen oder in Heizformen für Betonfertigteile, zu erreichen. Auch hierfür ist eine möglichst unverzögerte Ableitung des Kondensates unerlässlich, weil sich das Kondensat bei der Wärmeabgabe abkühlt, was der kondensierende Dampf nicht tut. Aus diesen Gründen wäre es günstig, wenn man eine „Tropfenkondensation“ erreichen könnte: Das Kondensat soll sich nicht in einer Schicht auf die Wärmetauscherfläche legen und so den Wärmeübergang verhältnismäßig stark behindern, sondern ohne die Heizfläche zu benetzen, in Tropfen abperlen wie das Regenwasser von einem gut imprägnierten Mantel oder wie das Quecksilber auf dem Fußboden, wenn das Thermometer zu hart gefallen ist. Der Dampf kann große Teile der Wand direkt berühren. Die Wandtemperatur ist daher höher als bei der „Filmkondensation“, und das Kondensat ist nur wenig unterkühlt. Von der Tropfenkondensation wird 4- bis 8-fach größerer Wärmeübergang als bei der üblichen Filmkondensation berichtet. Aber offensichtlich sind die erforderlichen Voraussetzungen so exklusiv, dass Tropfenkondensation für „Normalverbraucher“ nicht erreichbar ist.

3. In Sonderfällen ist es zulässig, das Kondensat schon im Wärmetauscher merklich abkühlen zu lassen, so dass das Kondensat mit 10, 20, 30 K und mehr unter der Satt-dampftemperatur zum Kondensatableiter kommt. Vor allem bei billigen Wärmetauschern (Radiatoren, Heiz-schlangen) und einfachen Beheizungen (Begleitheizung von Produktleitungen, Behälterheizung) wird diese Mög-lichkeit verwirklicht.

Unfreiwillig tritt eine derart starke Abkühlung des Kon-densates im Wärmetauscher auf, wenn der Kondensat-ableiter zu stark anstaut, wenn er zu klein oder von der falschen Sorte ist. Schließlich kommt das Kondensat auch dann mit größerer Unterkühlung zum Kondensatableiter, wenn der Ableiter absichtlich oder unbeabsichtigt weiter von dem Wärmetauscher entfernt ist, weil sich dann das Kondensat in der Leitung zwischen Wärmetauscher und Ableiter abkühlt.

Die Kondensatunterkühlung im Dampfraum hängt also von der Oberflächenbeschaffenheit und Lage der Heizfläche, von den Strömungsverhältnissen im Dampfraum, von der Art und Einstellung der Kondensatableiter, von der Rege-lung von Dicke und Material der Heizfläche, von der sekun-därseitigen Temperatur usw. ab. Eine genaue Vorhersage ist deshalb nicht möglich. Systematische Untersuchungen einzelner Fälle sowie Beobachtungen in der Praxis haben gezeigt, dass das Kondensat im Allgemeinen – bei zweckmä-ßiger Ausführung der Anlage – mit nur geringer Unterküh-lung zum Ableiter kommt und so von diesem in die Kondensatleitung ausgeschleust wird.

Der Druck in der Kondensatleitung ist geringer als der Druck im Dampfraum, denn sonst würde das Kondensat nicht in die Kondensatleitung strömen. Flüssiges Wasser, also auch Kondensat, kann aber keine höhere Temperatur haben als die zum jeweiligen Druck gehörende Satt-dampftemperatur. Hat das Kondensat vor dem Ableiter bei einem Druck von $p_e = 7$ bar (Satt-dampftemperatur 170°C) eine Temperatur von z. B. 160°C und kommt es so in eine Kondensatleitung oder in einen Behälter unter einem Druck von $p_e = 0,5$ bar, dann muss die Kondensattemperatur auf die zu diesem Überdruck gehörende Satt-dampftemperatur von rd. 111°C absinken, vorausgesetzt, der Druck in der Leitung oder im Behälter steigt durch die Kondensateinspeisung nicht an. Wenn in unserem Beispiel die Kondensattemperatur aber schon vor der Entspannung unter 111°C liegen würde und z. B. 95°C betrüge, dann würde sich die Temperatur bei der Entspannung nicht merklich verändern (genaugenommen sinkt sie um winzige Bruchteile eines Grades infolge der Vo-lumenvergrößerung des Wassers bei der Drucksenkung).

Das Kondensat verlässt den Dampfraum gewöhnlich mit einer Temperatur, die nur wenig unterhalb der Satt-dampf-temperatur liegt. Es ist „Siedekondensat.“ In der Kondensat-leitung kann die Temperatur wohl kleiner, aber nicht höher sein als die zum örtlichen Leitungsdruck gehörende Satt-dampftemperatur.

9.2 Die Nachverdampfung

Bei der Entspannung, d. h. Verringerung des Druckes von Siedekondensat, sinkt die Temperatur. Bei $p_e = 7$ bar hat Siedekondensat von 170°C einen Wärmeinhalt (Enthalpie) von $720,94$ kJ je kg Kondensat (Dampf-tafel Spalte 4). Wird dieses Kondensat auf $p_e = 0,5$ bar entspannt, dann sinkt die Temperatur nach Spalte 3 der Dampf-tafel auf rd. 111°C . Die Enthalpie dieses Wassers beträgt aber nur noch $467,13$ kJ/kg. Bei der Entspannung wird also je Kilogramm Wasser eine Wärmemenge von $720,94 - 467,13 = 253,81$ kJ frei. *Wo bleibt diese Energie?*

Es geschieht das Gleiche, was geschähe, wenn wir in siedend heißes Wasser plötzlich sehr viel Wärme hineinstecken wür-den, etwa indem wir einen glühenden Eisenklotz hineinfal-len ließen: Das Wasser fängt plötzlich sehr stark zu kochen an, die überschüssige Wärme verwandelt einen Teil des Wassers in Dampf – Dampf von rd. 111°C und $p_e = 0,5$ bar.

Wir haben gesehen, dass in diesem Beispiel je kg Wasser $253,81$ kJ frei werden. Um 1 kg Wasser bei $p_e = 0,5$ bar zu verdampfen, sind lt. Spalte 5 der Dampf-tafel $2226,2$ kJ erforder-lich; die je kg Kondensat frei werdenden $253,81$ kJ ver-wandeln also $253,81 / 2226,2 = 0,1140$ kg Wasser zu Dampf. Das heißt: Bei der Entspannung von Siedekondensat von $p_e = 7$ bar auf $0,5$ bar werden rd. $11,4$ Gewichtsprozent des Kondensates in Dampf von $p_e = 0,5$ bar umgeformt.

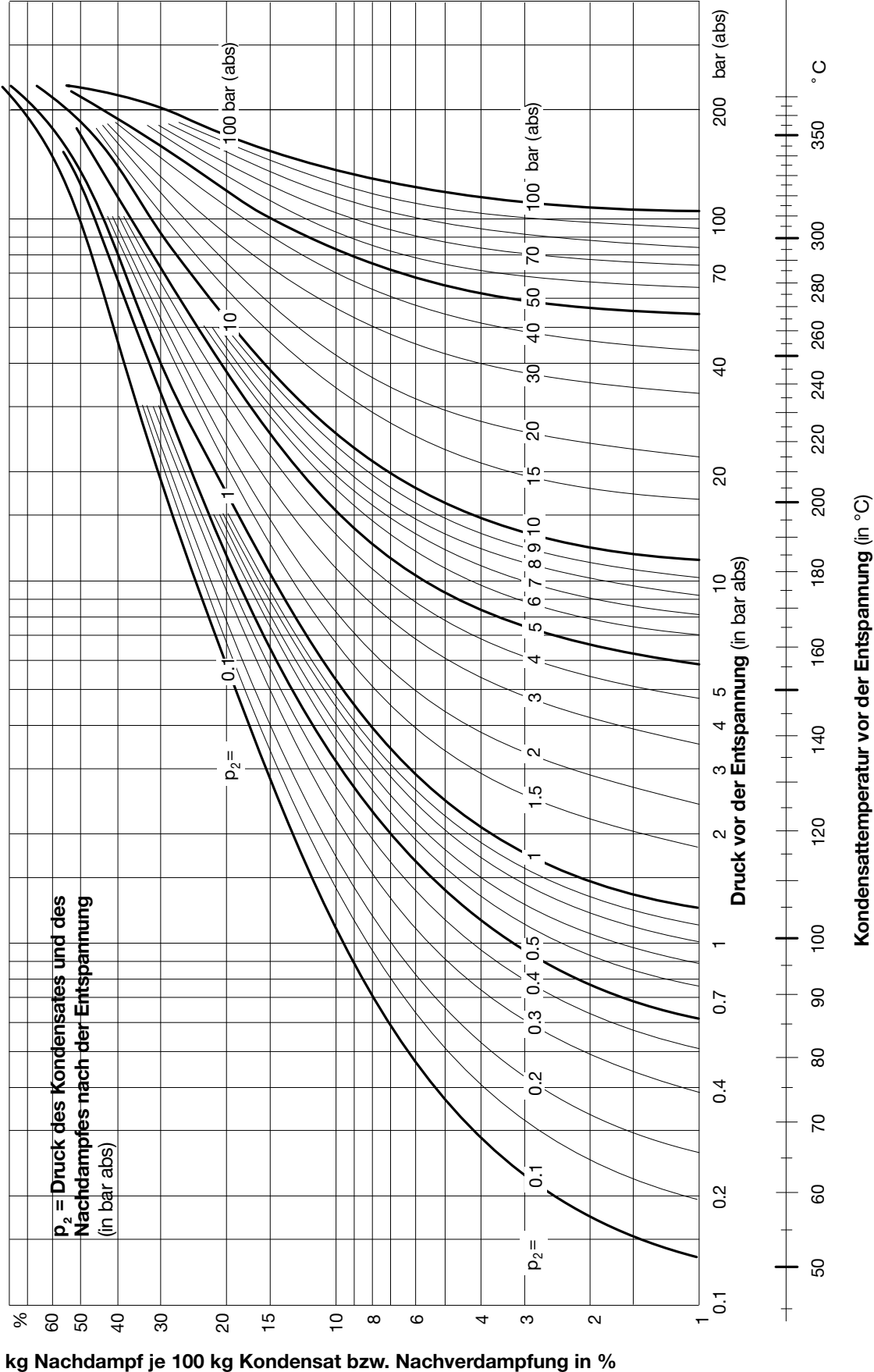
Diese Nachverdampfung ist ein Naturgesetz und unvermeidlich.

Wie im vorgenannten Beispiel kann man für jeden gege-benen Betriebszustand die entstehende Nachdampfmenge leicht errechnen. Bequemer geht es, wenn Sie das folgende Diagramm „Nachverdampfung bei der Entspannung von Kondensat“ (9.2.1) zu Hilfe nehmen: Aus der Temperatur des Kondensates vor der Entspannung – oder aus dem Druck des Siedekondensates vor der Entspannung – und aus dem Druck nach der Entspannung können Sie ohne Rechnung ablesen, wieviel Gewichtsprozent Nachdampf entstehen.

Das Diagramm zeigt: Aus Siedekondensat von $p_e = 3$ bis 12 bar entsteht bei Entspannung auf $p_e = 0$ bis 1 bar rund 5 bis 15% Nachdampf. Bei Dampfdrücken bis $p_e = 50$ bar bil-det das Siedekondensat bei Entspannung bis zu 30% Nach-dampf. Diese Angaben sind Gewichtsprozent!

Sehen wir uns aufgrund eines Gedankenexperimentes den Weg des Dampfes an, der unter einem bestimmten Druck in den Wärmetauscher eintritt, dort seine Verdampfungs-/ Kondensationswärme r abgibt und zum Kondensatableiter gelangt. Dieser arbeitet ordnungsgemäß, d. h. er lässt keinen Dampf durchströmen, sondern nur Kondensat von Siede-temperatur. Im Regelventil des Ableiters wird das Kondensat auf den Gegendruck hinter dem Gerät entspannt; der Kondensatableiter ist also die Druckgrenze. Die Zahlenwerte dieses Experiments werden Sie vielleicht überraschen:

9.2.1 Nachverdampfung bei Kondensatentspannung



Alle Druckangaben in bar absolut