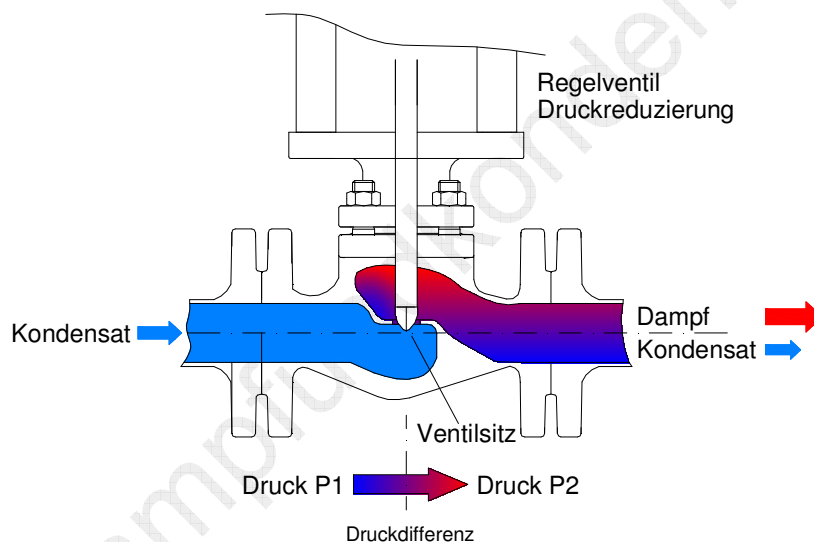


DIE NACHVERDAMPFUNG BEI DRUCKREDUZIERUNGEN

Hinter jeder Druckreduzierung von Kondensat entsteht eine Nachverdampfung. D.h., aus 100% Kondensat wird je nach Druckunterschied z.B. 80 % Kondensat mit 20 % Dampf. Die Menge des entstehenden Dampfes ist abhängig von der Höhe der Druckreduzierung. Die entstehende Dampfmenge wird auch oft als Brüddampf oder Entspannungsdampf bezeichnet.

Generell funktioniert jedes Regelventil als Druckreduzierung (*siehe Kapitel zu Regelventilen*). Dies bedeutet aber auch, dass im Ventilsitz jedes Regelventiles, welches von Kondensat durchströmt wird, Nachverdampfung entsteht.

Die bei der Nachverdampfung entstehende Dampfmenge richtig zu ermitteln, ist für die Auslegung des Regelventils entscheidend.



1) Wie entsteht Nachverdampfung?

Es ist schwierig diesen Vorgang mit einfachen Worten zu erklären.

Kondensat mit einer Temperatur von 155 °C ist nur deshalb flüssig, weil dieses Kondensat mit der gespeicherten Wärmeenergie in einer Rohrleitung oder Behälter mit einem Druck von 4,5 barü „eingesperrt“ ist. D.h. nur bei einem Druck von 4,5 barü (oder höher) ist Kondensat mit einer Temperatur von 155°C flüssig. Wird der Druck z.B. durch das Öffnen eines Ventils um 1 barü auf 2,5barü reduziert, so hat das Kondensat mit einem Druck von 3,5 barü einen höheren Energieinhalt. Der „Gleichgewichtszustand“ zwischen Druck und Temperatur wird dadurch wieder hergestellt, in dem ein Teil des Kondensates verdampft. D.h. die beim Zustand 3,5 barü überschüssige Energie verdampft einen Teil des Kondensates. Je höher die Druckdifferenz, umso höher ist der Anteil des verdampften Kondensates. (*kann es jemand besser erklären...?*)

2) Wo kann Nachverdampfung entstehen?

Besser gefragt, wo treten Druckreduzierungen auf?

Regelventile:

Egal ob Niveauregelventil, Temperaturregelventil oder Druckreduzierventil, im Ventilsitz entsteht, abhängig von der Druckdifferenz, Nachverdampfung.

Kondensatableiter:

Kondensatableiter sollen Kondensat aus der Rohrleitung ableiten. Hinter Kondensatableiter können je nach Druck in der Dampfleitung größere Mengen an Dampf entstehen (siehe Kapitel zu Kondensatableiter).

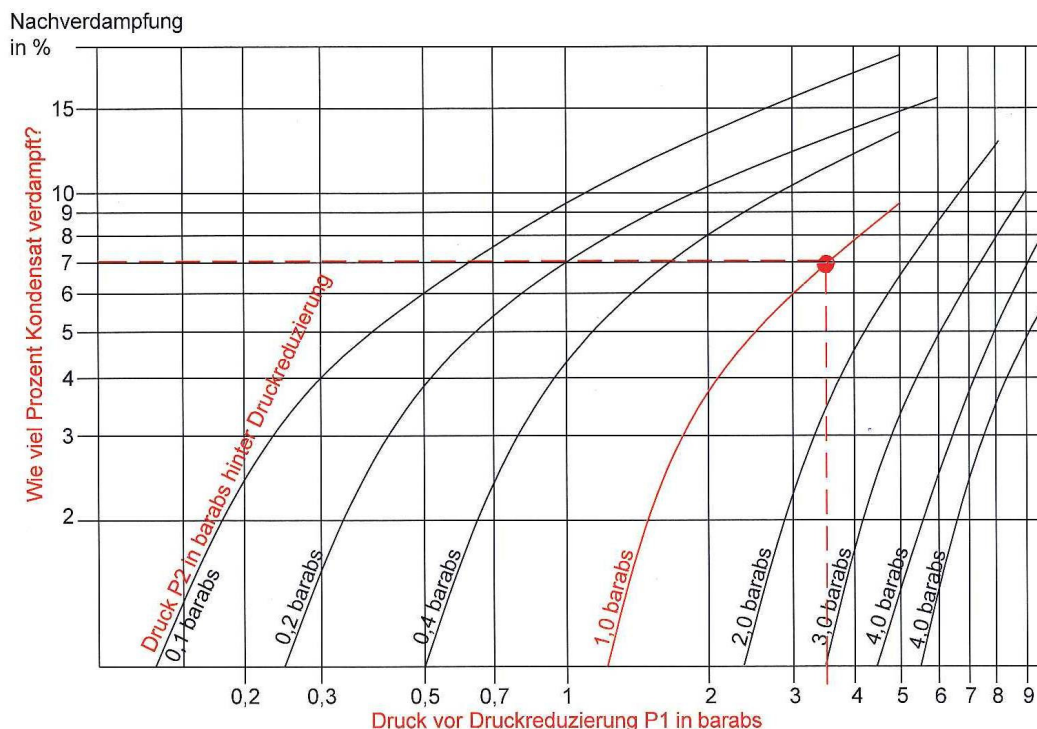
Rohrleitungseinbauten:

Alle Rohrleitungseinbauten erzeugen, abhängig von der Geometrie, einen Druckverlust in der Rohrleitung. Auch an diesen Rohrleitungseinbauten, wie z.B. Rohrbögen, Handabsperrentilen oder ähnlichem, entsteht Nachverdampfung. Wird die Strömungsgeschwindigkeit des Kondensates von ca. 1-3 m/s eingehalten, sind die Druckverluste aber gering und sollen hier nicht weiter betrachtet werden.

3) Wie wird die Nachverdampfung ermittelt?

Die druckabhängige Nachverdampfung wird entweder in Tabellen und Diagrammen dargestellt, oder

Abschrift Tabelle zur Bestimmung der Nachverdampfung / Dampfdruck bis 9bar (Q2)



man kann die Menge des entstehenden Dampfes auch rechnerisch ermitteln.

Graphische Ermittlung:

Druckreduzierung von $p_1 = 3,5$ bara auf $P_2=1,0$ bara es entstehen **ca. 7%** Nachverdampfung. (siehe Grafik oben) D.h., aus 10.000 kg/h Kondensat bleibt nach der Druckreduzierung noch 9300 kg/h übrig und es entstehen 700 kg/h Dampf.

Rechnerische Ermittlung:

Druckreduzierung von $p_1 = 3,5$ bara auf $P_2=1,0$ bara

Energieinhalt Kondensat bei 3,5bara = 584 kJ/kg

Energieinhalt Kondensat bei 1,0 bara = 417 kJ/kg

Welche Energie bewirkt die Verdampfung: $584 - 417 = 167 \text{ kJ/kg}$

Wie viel Kondensat kann verdampfen: $167 \text{ kJ/kg} : 2258 \text{ kJ/kg}$ (Verdampfungswärme Wasser) gleich $0,073 \times 100\% = 7,4\%$.

4) Probleme mit der Nachverdampfung

Dass Probleme mit den entstehenden Dampfmenen in den nachfolgenden Rohrleitungen und Regelventilen entstehen können, ergibt sich aus dem spezifischen Volumen von Kondensat und Dampf.

► BEISPIEL:

Kondensat: 10.000 kg/h mit Druck 3,5 bara und einer Temperatur von 140°C

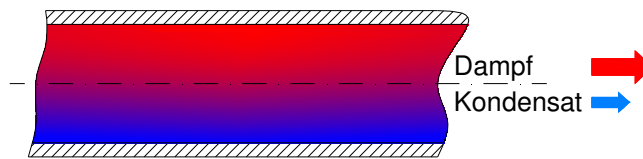
Nach einer Druckreduzierung von $p_1 = 3,5$ bara auf $P_2=1,0$ bara entstehen ca. 7% Nachverdampfung. (siehe Grafik oben) D.h., aus 10.000 kg/h Kondensat bleibt nach der Druckreduzierung noch 9300 kg/h übrig und es entstehen 700 kg/h Dampf.

9300 kg/h Kondensat entsprechen einem Volumendurchfluß von $9,3 \text{ m}^3/\text{h}$.

700 kg/h Dampf entsprechen bei einem Druck von 1,0 bara einem Volumendurchfluß von $1190 \text{ m}^3/\text{h}$. ($700 \text{ kg/h} \times 1,7 \text{ m}^3/\text{kg}$)

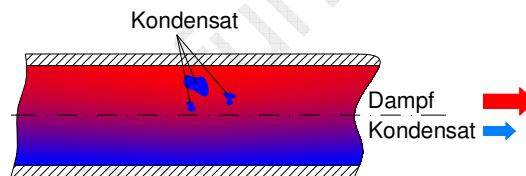
$9,3 \text{ m}^3/\text{h}$ Kondensat können bei einer Strömungsgeschwindigkeit von ca. 1 m/s durch ein Rohr DN50 strömen (siehe dazu auch Kapitel zu Rohrleitungen).

Sollen die $1190 \text{ m}^3/\text{h}$ Dampf ebenfalls durch die Rohrleitung DN50 strömen, so würde die Strömungsgeschwindigkeit auf 140 m/s (!) ansteigen.



Nun wird's eng im Rohr

Die Dampfmenge von nur 7% des Massendurchsatzes will sich auf Grund des sehr viel größeren Volumens im ganzen Rohr ausdehnen und strömt deshalb schneller. Dadurch wird es recht turbulent im Rohr und der schneller strömende Dampf wird Teile des Kondensats mitreißen. Je länger nun die Rohrleitung ist, desto mehr Kondensat wird durch den Dampf „mitgenommen“. Ab Strömungsgeschwindigkeiten über 3 m/s wirkt Kondensat aber zerstörend. Das Rohr wird innen ausgewaschen und die Wandstärke verringert sich. In kurzer Zeit können Leckagen auf Grund von Auswaschungen auftreten. Unabhängig davon würde die sehr hohe Strömungsgeschwindigkeit einen hohen Geräuschpegel hervorrufen und die Druckverluste in der Rohrleitung steigen an.



Die Nachverdampfung hinter Druckreduzierungen kann man nicht verhindern. Um die Strömungsgeschwindigkeit zu verringern, lässt sich aber die Rohrdimension vergrößern. Aus wirtschaftlichen Gründen geht dies aber nur bis zu einem bestimmten Maß (*siehe dazu auch Kapitel zu Rohrleitung*).

Zur Auslegung einer Kondensatleitung ist demnach die Größe der Nachverdampfung entscheidend.

Die Nennweite einer Kondensatleitung wird auch durch die Dampfmenge bestimmt, welche bei der Nachverdampfung entsteht.

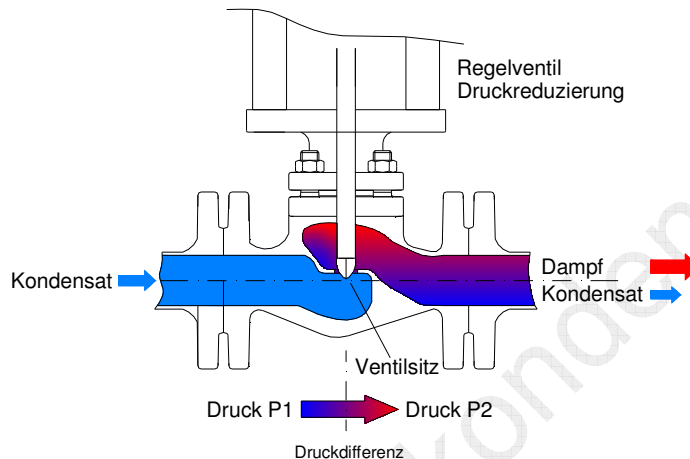
- **Auswaschungen in Kondensatleitungen auf Grund von Nachverdampfung können nur begrenzt aber nicht verhindert werden.**

5) Nachverdampfung in Regelventilen

Noch problematischer ist die Auslegung von Kondensat-Regelventilen.

► BEISPIEL:

Es sollen 10.000 kg/h Kondensat mit 152 °C / 4,0 barü auf einen Druck von 1,0 barü reduziert werden. Dadurch entstehen ca. 7 % Nachverdampfung. D.h., aus 10.000 kg/h Kondensat bleibt nach der Druckreduzierung noch 9200 kg/h übrig und es entstehen ca. 700 kg/h Dampf.



Die Größe eines Regelventils wird durch dessen Kv - Wert bestimmt.

Wird im Beispiel oben, nur mit Kondensat gerechnet, so erhält man einen Kv - Wert von 5,8 (siehe Kapitel zu Regelventilen).

Wird aber die Dampfmenge der 8% Nachverdampfung berücksichtigt, erhält man einen Kv - Wert von 13.

Würde man nun ein Regelventil für Kondensat mit dem Kv-Wert von 5,8 bestellen, würde man sich wundern, warum es nicht richtig bzw. gar nicht funktioniert. Es wäre vom zu realisierenden Massedurchsatz zu klein.

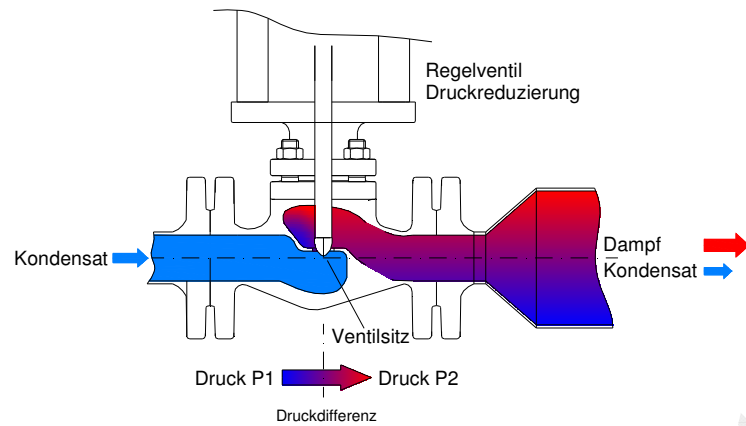
Zusammenfassung:

Bei der Auslegung eines Kondensatventiles werden bei kleinen Kondensatmengen mit geringer Nachverdampfung beide Kv - Werte ermittelt und dann wird der größere Kv - Wert zur Auswahl eines Regelventils genommen.

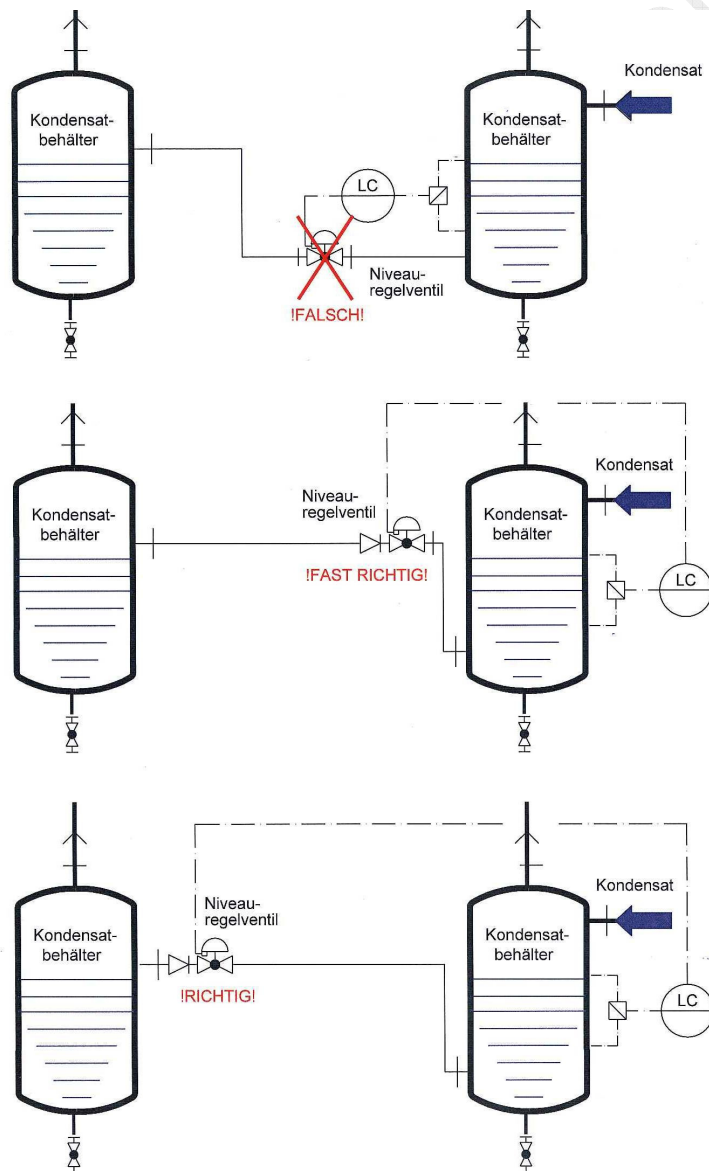
Bei großen Kondensatmengen mit viel Nachverdampfung wird generell nur mit dem Wert der Nachverdampfung gerechnet.

Durch ein Kondensat-Regelventil z.B. für eine Niveauregelung soll Kondensat abgeführt werden. Damit es dabei zu keiner „Behinderung“ durch die Nachverdampfung kommt, muss auch die Rohrgeometrie entsprechend ausgeführt werden. Hinter Kondensatregelventilen wird deshalb immer die Rohrleitung durch ein Rohrformstück erweitert.

Die Vergrößerung der Rohrnennweite der Kondensatleitung ergibt sich aus der Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeiten der Nachverdampfung.



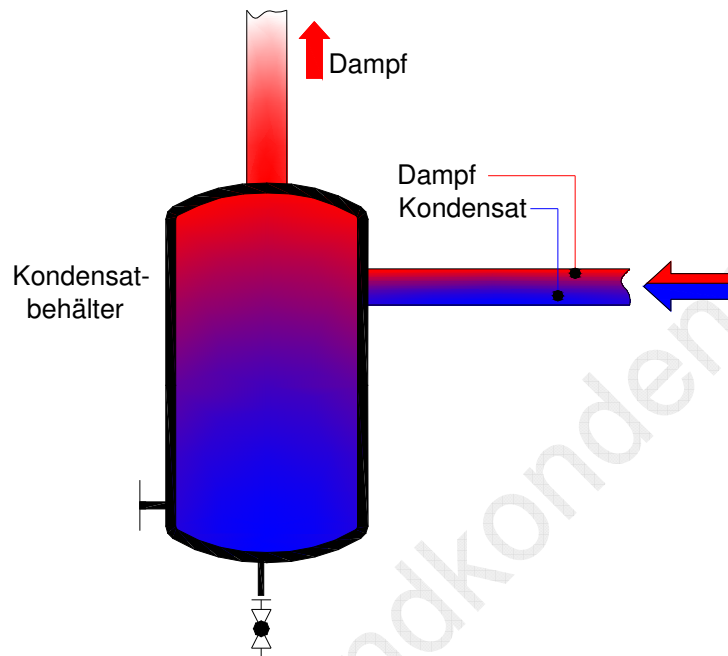
Die Dampfmenge der Nachverdampfung muss so schnell wie möglich abgeführt werden. Dazu könnte man auch das Niveauregelventil direkt an einen Behälter montieren (siehe Beispiele unten).



6) Wohin mit der Nachverdampfung

Aus Gründen der Energieeinsparung sollte man die entstehende Dampfmenge hinter einem Kondensatableiter wieder im Prozess verwenden.

Die Nachverdampfung hinter einem Regelventil verbleibt zwangsläufig in der Rohrleitung.



Wo möglich, können mehrere Kondensatableiter zusammen angeordnet werden, und diese „entwässern“ dann in eine gemeinsame Rohrleitung. Die Dimension der Rohrleitung ermittelt sich aus der Summe der anfallenden Dampfmenen.

Je nach den Bedingungen der Nachverdampfung, kann man die entstehende Dampfmenge im Prozess wieder verwenden.

Oftmals ist es aber schwierig, die Dampfmenge zu sammeln und wieder dem Prozess zuzuführen. Meist ist der Dampfdruck und somit der Energieinhalt gering. Eine Alternative bietet da der Einsatz eines Thermoverdichters (*siehe Kapitel Verdichter*).

- **Der Einsatz eines Thermoverdichters zur Wiederverwendung von Dampf mit niedrigem Druck ist eine echte Maßnahme zur Energieeinsparung.**

7) Aufbau eines Kaskadensystems zur Nutzung der Nachverdampfung

Lassen sich Verbraucher zu einer Heizgruppe zusammenfassen, weil diese mit derselben oder geringfügig abweichenden Temperatur betrieben werden, so ist es möglich ein Kaskadensystem aufzubauen. In der Papierindustrie ist solch eine Zusammenfassung von Verbrauchern an jeder Papiermaschine zu finden. Mit Hilfe eines Kaskadensystems kann die Dampfmenge, welche bei der Nachverdampfung entsteht, sinnvoll zur Beheizung verwendet werden (siehe Kapitel Kaskadensystem).

