

GESTRA Steam Systems

GESTRA Information C 1.2

Ausnutzung der Kondensatwärme

Beispiele zweckmäßiger Gestaltung von Dampfanlagen und ihrer Apparaturen

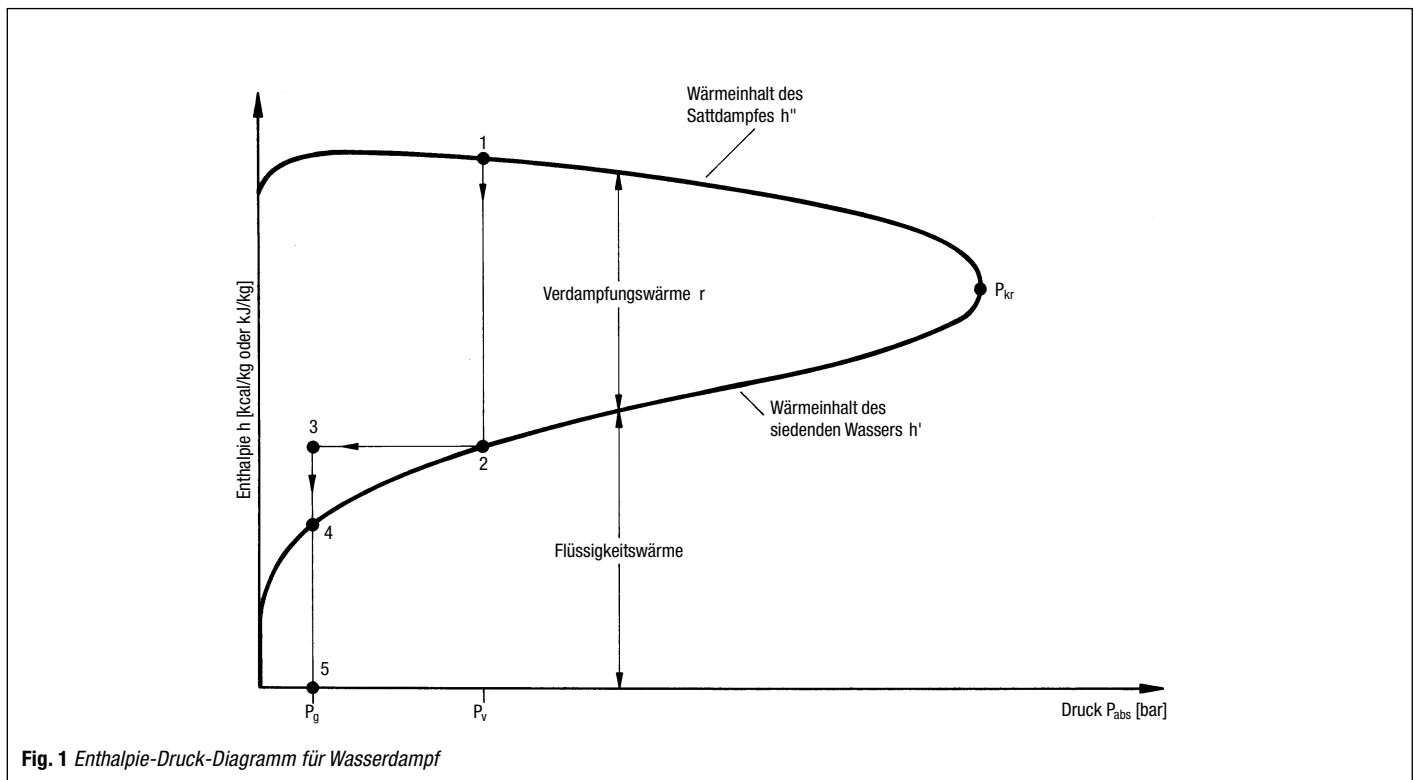


Fig. 1 Enthalpie-Druck-Diagramm für Wasserdampf

Fast alle Anlagen sind unterschiedlich. Sie werden auch nicht gleichermaßen betrieben.

Erforderliche Umbaukosten sollen möglichst niedrig sein.

Im Folgenden sind daher verschiedene Möglichkeiten der Kondensatwärmeausnutzung aufgezeigt. Die eine oder andere lässt sich in fast jeder Anlage realisieren.

Welche Möglichkeit die jeweils beste Lösung bietet, ist nur in Verbindung mit der Anlage zu bestimmen. Daher kann dieses Thema auch nur allgemein behandelt werden.

Was ist unter Kondensatwärmeausnutzung zu verstehen?

Dazu zunächst etwas Grundsätzliches:

- Um ein Produkt in einem Wärmeübertrager auf eine bestimmte Temperatur aufzuheizen, sollte Sattdampf verwendet werden.
- Die Temperatur des Sattdampfes muss höher sein als die Endtemperatur des Produktes.
- Dampftemperatur und Dampfdruck stehen in unmittelbarem Zusammenhang, d. h. je nach Dampfdruck herrscht im Wärmeübertrager eine bestimmte Temperatur.
- Der Wärmeinhalt des Sattdampfes setzt sich zusammen aus Flüssigkeitswärme und Verdampfungswärme.

■ Jeder Wärmeübertrager ist vom Hersteller normalerweise so ausgelegt, dass nur die Verdampfungswärme an das Produkt übertragen werden soll. Das dabei entstehende Kondensat muss unverzüglich ausgeschleust werden. Nur so lässt sich die Maximalleistung und der günstigste Wirkungsgrad des Wärmeübertragers erreichen. Mit dem Kondensat wird dann aber auch die noch darin enthaltene Wärme – die Flüssigkeitswärme – abgeführt.

■ Kondensat und Flüssigkeitswärme gehen verloren, wenn das Kondensat einfach ins Freie fließt und nicht wiederverwendet wird. Sammelt man das Kondensat nur in einem offenen Behälter und nutzt es zur Speisung des Dampfkessels, so geht trotzdem ein Teil der Wärme und des Kondensates verloren, nämlich der sich hinter dem Kondensatableiter bildende Spannungsdampf, der ins Freie entweicht. Dieser Vorgang wird anschließend etwas näher erklärt.

Unter Kondensatwärmeausnutzung versteht man also, die mit dem Kondensat aus dem Wärmeübertrager abgeführte Wärme so weit wie möglich für den Betrieb auszunutzen.

Das Ausschleusen des Kondensates aus dem Wärmeübertrager übernimmt der Kondensatableiter. Er ist gleichzeitig das Drosselorgan, in dem das zwischen dem Übertrager und der Atmosphäre oder der Kondensatanlage bestehende Druckgefälle abgebaut wird.

Wenn heißes, unter Druck stehendes Kondensat mit Siedetemperatur auf einen niedrigeren Druck entspannt wird, entsteht Spannungsdampf.

Dieser Vorgang lässt sich leicht im Enthalpie(h)-Druck(p)-Diagramm für Wasserdampf darstellen:

Siehe dazu Fig. 1.

Die Zahlen 1 bis 5 im h-p-Diagramm sagen Folgendes aus:

- Punkt 1: Eintritt des Dampfes in den Wärmeübertrager.
- Punkt 2: Kondensat mit Siedetemperatur oder leicht unterkühlt am Austritt des Tauschers bzw. vor dem Kondensatableiter.
- Strecke 1 – 2: Abgabe der Verdampfungswärme im Tauscher bei konstantem Druck und konstanter Temperatur.
- Punkt 3: Zustand hinter dem Kondensatableiter.
- Strecke 2 – 3: Drosselung bei konstanter Enthalpie von Druck (p_v) vor dem Ableiter auf Druck (p_g) hinter dem Ableiter bzw. von der Temperatur vor dem Ableiter auf die Siedetemperatur zum Druck hinter dem Ableiter.
- Punkt 4: Kondensat mit Siedetemperatur hinter dem Ableiter.

Strecke 3 – 4: Durch Drosselung freiwerdende Wärme, die zur Entspannungs-dampfbildung führt.

Strecke 4 – 5: Noch enthaltene Flüssigkeitswärme im Kondensat.

Rechnerisch kann man nun die Entspannungs-dampfmenge folgendermaßen ermitteln:

$$m_D = m \cdot \frac{(h'_2 - h'_4)}{r_{pg}} \quad [\text{kg/h}]$$

m = Kondensatmenge [kg/h]

h'_2 = Flüssigkeitswärme vor der Entspannung [kJ/kg]

h'_4 = Flüssigkeitswärme nach der Entspannung [kJ/kg]

r_{pg} = Verdampfungswärme bei Gegendruck [kJ/kg]

Diese Rechnung kann man sich jedoch ersparen, wenn man das Diagramm – Fig. 2 – zu Hilfe nimmt. Es zeigt die Entspannungs-dampfmenge (in kg) pro kg anfallenden Kondensates in Abhängigkeit vom Druck vor dem Kondensatableiter (im Wärmeübertrager) und vom Druck hinter dem Ableiter.

Das eingetragene Beispiel zeigt:

Überdruck vor dem Ableiter 5 bar.
 Überdruck hinter dem Ableiter 0 bar.
 Entspannungs-dampf (Nachverdampfung)
 0,11 kg/kg entsprechend 11 %.

Im Vorhergehenden wurde gezeigt, dass die Entspannungs-dampfmenge vom Differenzdruck – Druck vor abzüglich Druck hinter dem Ableiter – und von der Kondensatmenge abhängt.

Hierdurch wird aber auch verständlich, dass es hinter jedem richtig arbeitenden Kondensatableiter mehr oder weniger dampfen muss.

Bei Entwässerung in einen offenen Kondensatsammelbehälter wird der Entspannungs-dampf natürlich erst dann sichtbar, wenn er aus dem Behälter austritt. Die Dampf-fahne ist hier noch größer, da meistens mehrere Ableiter in den Behälter entwässern.

Bei niedrigen Drücken ist das spez. Volumen des Dampfes recht groß. Entspannungs-dampf und Frischdampf sind nicht zu unterscheiden. Daher können manchmal auch Fachleute irrtümlich zu der Ansicht kommen, dass durch Kondensatableiter hindurch auch Frischdampf entweicht, obwohl sie einwandfrei arbeiten.

Das Beispiel in Fig. 3 soll deutlich machen, welch enormes Entspannungs-dampfvolumen hinter einem Kondensatableiter entsteht. Es ist beachtlich: Aus nur 100 kg/h Kondensat entstehen 24 m³/h Dampf bei einem verbleibenden Wasservolumen von 0,086 m³/h.

Die Kontrolle der Ableiter auf richtige Funktion ist am Austritt also nicht möglich.

Es sind demnach Kontrolleinrichtungen nur vor dem Ableiter sinnvoll. Sie können aber in der Regel entfallen, wenn man von vornherein Ableiter verwendet, auf deren Funktion Verlass ist. Wir können Ihnen solche Ableiter bieten. Über die richtige Auswahl aus unserer breiten Palette beraten wir Sie gern.

Inzwischen ist klar geworden, dass die Kondensat- bzw. Flüssigkeitswärme vor dem Ableiter sich hinter dem Ableiter aufteilt in Entspannungs-dampf- und noch im Kondensat verbleibende Wärme.

Da das verbleibende Kondensat und damit auch sein Wärmeanteil in der Praxis fast immer wiederverwendet wird, ist also unter der eingangs erwähnten Kondensat-wärmeausnutzung die Verwertung des Entspannungs-dampfes zu verstehen.

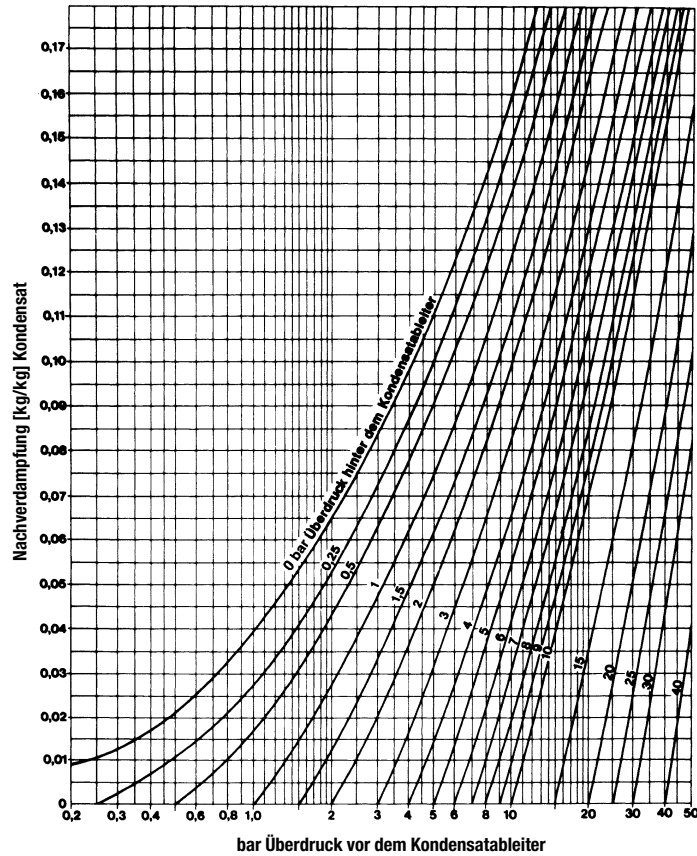


Fig. 2 Entspannungs-dampfmenge, Nachverdampfung bei der Entspannung von Siedekondensat

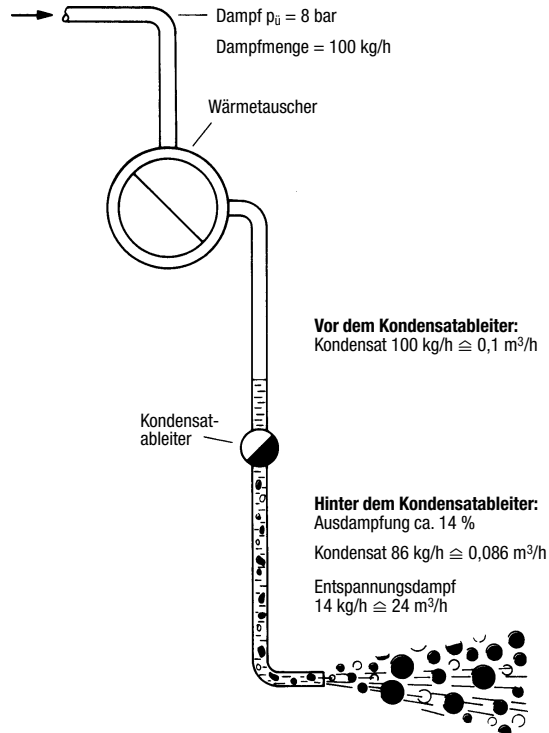


Fig. 3 Volumenzunahme durch Entspannungs-dampf hinter dem Kondensatableiter

Wie lässt sich Entspannungsdruck verwerten?

Entspannungsdruck lässt sich verwerten:

1. durch Kondensatstau
2. durch Entspannerschaltung
3. durch Einschalten eines Wärmeübertragers in die Kondensat-Sammelleitung
4. durch Vorschaltheizflächen

Welche dieser Möglichkeiten angewendet wird, hängt immer von der vorhandenen oder geplanten Anlage ab.

Zu 1: Verwertung durch Kondensatstau

Als erstes wäre zu fragen:

Kann man nicht vermeiden, dass überhaupt Entspannungsdruck entsteht?

Die Antwort ist leicht. Man kann, wenn . . .

Nachfolgend wird erklärt, warum das nur mit Einschränkung möglich ist.

Um zu vermeiden, dass hinter dem Ableiter Entspannungsdruck entsteht, muss das Kondensat in den Wärmeübertrager zurückgestaut werden.

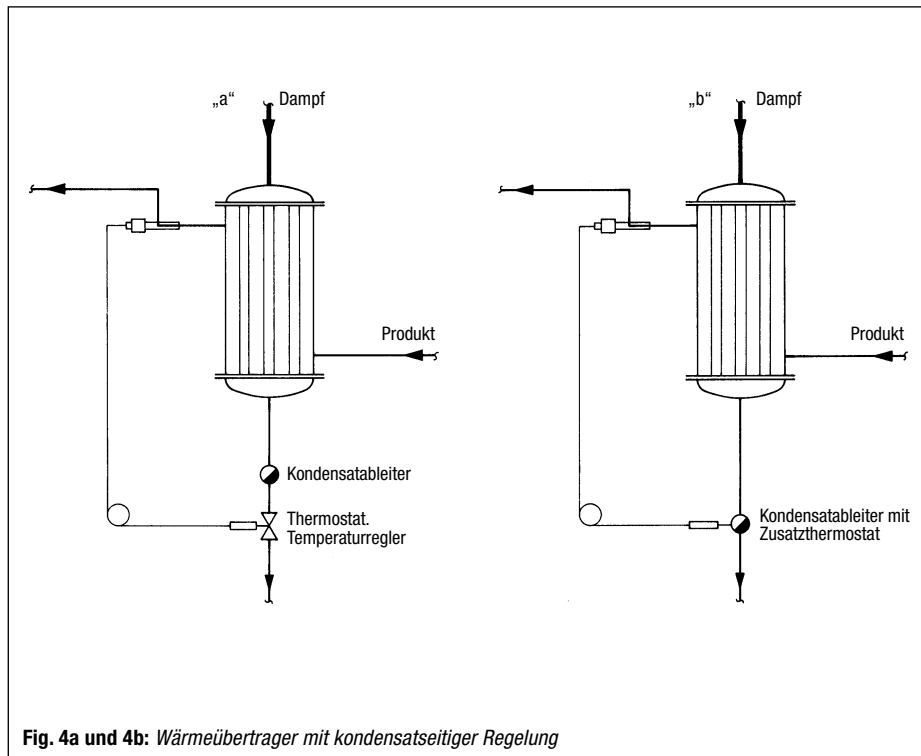


Fig. 4a und 4b: Wärmeübertrager mit kondensatseitiger Regelung

Dabei wird Flüssigkeitswärme auf das Produkt übertragen; das Kondensat kühlt ab. Das Kondensat muss genügend weit zurückstauen, damit es Gelegenheit hat, soweit abzukühlen, bis die Temperatur am Austritt gleich oder niedriger ist als die zum Druck hinter dem Ableiter gehörige Siedetemperatur. Das ist aber bei den üblichen Wärmeübertragern nur in sehr wenigen Fällen durchführbar, da der Stau u. a. die Heizleistung und damit auch den Wirkungsgrad des Wärmeübertrages verschlechtert, aber auch zu unangenehmen Wasserschlägen führen kann.

Bei der Entwässerung von Beirohrheizungen jedoch bietet sich z. B. häufig diese Chance durch Verwendung dafür geeigneter Kondensatableiter. Hierbei handelt es sich entweder um Ableiter, die man gemäß den herrschenden Betriebsbedingungen einmalig auf die gewünschte Unterkühlung einstellen kann, oder um solche, die von vornherein unabhängig vom Betrieb, z. B. bei Freientwässerung, das Kondensat mit ca. 85 °C abführen.

Teilweise ist Kondensatstau auch in Wärmeübertragern mit kondensatseitiger Regelung gegeben. Hier wird mehr oder weniger Stau zum Einhalten einer bestimmten Produkttemperatur benötigt. Diese Art der Regelung ist aber sehr träge und neigt zum Übersteuern.

Man sollte dies auch nur an Wärmeübertragern mit stehender Heizfläche und annähernd kontinuierlichem Betrieb anwenden.

Fig. 4 zeigt ein solches Beispiel: Es könnte ein Heizölvorwärmer sein. In der „a“-Darstellung regelt ein thermostatischer (mechanischer) Temperaturregler den Kondensatabfluss in Abhängigkeit von der Produkttemperatur. Der Kondensatableiter verhindert Dampfverluste, wenn bei kaltem Produkt der Regler voll geöffnet ist. In Darstellung „b“ übernimmt der Kondensatableiter mit Zusatzthermostat beide Funktionen.

Zu 2: Verwertung durch Entspannerschaltung

Unter der Voraussetzung, dass der Produktionsablauf eine derartige Schaltung zulässt, ist dies die beste Methode. Es muss mindestens ein Wärmeübertrager mit einem niedrigeren Druck gefahren werden als die übrigen. Ist das nicht der Fall, sollte überprüft werden, ob nicht der eine oder andere Übertrager auf Beheizung mit niedrigerem Dampfdruck umgestellt werden kann. Das ist häufiger möglich, als es zunächst den Anschein hat. Vielfach werden alle Tauscher nur deshalb mit dem gleichen Druck beheizt, weil dieser eben zur Verfügung steht.

Selbstverständlich sind auch Speisewasserentgaser im Kesselhaus als Niederdruck-Dampfverbraucher anzusehen. Sie werden meist mit Frischdampf von 0,2 bis 0,5 bar Überdruck beheizt.

In den Heizperioden lässt sich der Entspannungsdruck für die Raumheizung verwenden. Hierzu genügt Niederdruckdampf. Das ergibt dann zumindest teilweise eine Entspannungsdruck-Ausnutzung.

Schematisch sind in Fig. 5 willkürlich Wärmeübertrager gezeigt, die mit unterschiedlichen Drücken beheizt werden. Anstelle der einzelnen Übertrager je Druckstufe, wie im Bild, könnte natürlich eine Vielzahl stehen. Nach dieser Schaltung geht jeglicher Entspannungsdruck verloren. Man spricht von einem offenen Kondensat-Kreislauf.

Dieser Kreislauf kann nun so verbessert werden, dass kein Entspannungsdruck entweicht. Um das zu erreichen, wird der offene Kreislauf in einen geschlossenen umgewandelt. Das geschieht durch Einschalten von Entspannern. (Entspanner sind Druckbehälter, in denen die Trennung des Entspannungsdruckes vom Kondensat erfolgt.)

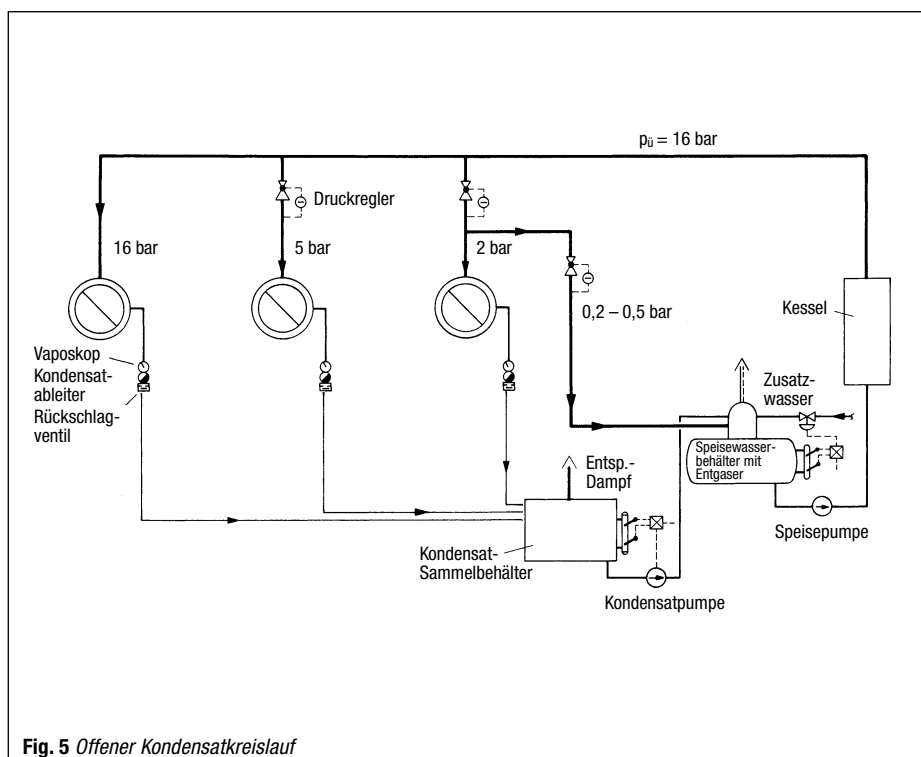


Fig. 5 Offener Kondensatkreislauf

Fig. 6 zeigt den geschlossenen Kreislauf. Es sind drei Entspanner eingeschaltet.

Der 16-bar-Übertrager entwässert in den 5-bar-Entspanner. Aus diesem wird der Entspannungsdampf zur Beheizung des 5-bar-Übertrager abgezogen. Fehlender Dampf wird durch den Druckregler zugegeben. Der Regler hält auch den Druck im Übertrager und im Entspanner konstant. Das nicht ausgedampfte Kondensat wird aus dem 5-bar-Entspanner durch einen Schwimmerkondensatableiter in den 2-bar-Entspanner geleitet. Hier hinein entwässert auch der 5-bar-Übertrager. Der Entspannungsdampf aus dem 2-bar-Entspanner gelangt in den 2-bar-Tauscher. Auch hier wird fehlender Dampf hinzugegeben und der Druck konstant gehalten. Das Kondensat aus dem 2-bar-Übertrager und dem Entspanner gelangt in den dritten, den 0,2- bis 0,5-bar-Entspanner. Der hier noch vorhandene Entspannungsdampf wird zum Entgasen des Speisewassers verwendet. Das Kondensat aus dem 0,2- bis 0,5-bar-Entspanner wird niveaubehälter in den Speisewasserbehälter gepumpt.

Da nicht kondensierende Gase, z. B. Luft, die Wärmeübertragung erheblich stören, ist zu empfehlen, die 5- und 2-bar-Entspanner zu entlüften. Mit dem Entspannungsdampf gelangt sonst auch die Luft in den nächsten Tauscher.

Bei späterem Umbau einer Anlage – z. B. von offenem Kreislauf in geschlossenen – muss selbstverständlich überprüft werden, ob die vorhandenen Kondensatableiter noch leistungsmäßig ausreichen. Weil sich durch höheren Gegendruck der Differenzdruck für den Ableiter verringert, verringert sich nämlich auch seine Durchflussleistung.

Es kommt auf den Dampfbedarf der Übertrager in den einzelnen Druckstufen an. Meistens ist es nicht nötig, drei Entspanner einzuschalten. Eventuell kommt man mit zwei oder auch nur mit einem Entspanner aus.

Die **Fig. 7** und **8** zeigen solche Schaltungen. Kann, wie in **Fig. 8**, der gesamte Entspannungsdampf aus der Anlage in einem Wärmeübertrager verwendet werden, so lässt sich das Thermosyphonprinzip anwenden. Voraussetzung ist ein Höhenunterschied zwischen Übertrager und Entspanner.

Der Entspannungsdampf strömt entsprechend den Gasgesetzen in den 2-bar-Übertrager. Das Kondensat fällt auf Grund seiner Schwerkraft in den Entspanner zurück. Es muss unter Niveau geführt werden, damit hier keine Beeinflussung durch etwa aufsteigenden Dampf erfolgt. Damit der Thermosyphonumlauf zustande kommt, muss einwandfrei entlüftet werden.

Dieses Prinzip ist allerdings nur anwendbar, wenn der Übertrager mit konstantem Dampfdruck betrieben wird. Eine dampfseitige Regelung ist also nicht möglich.

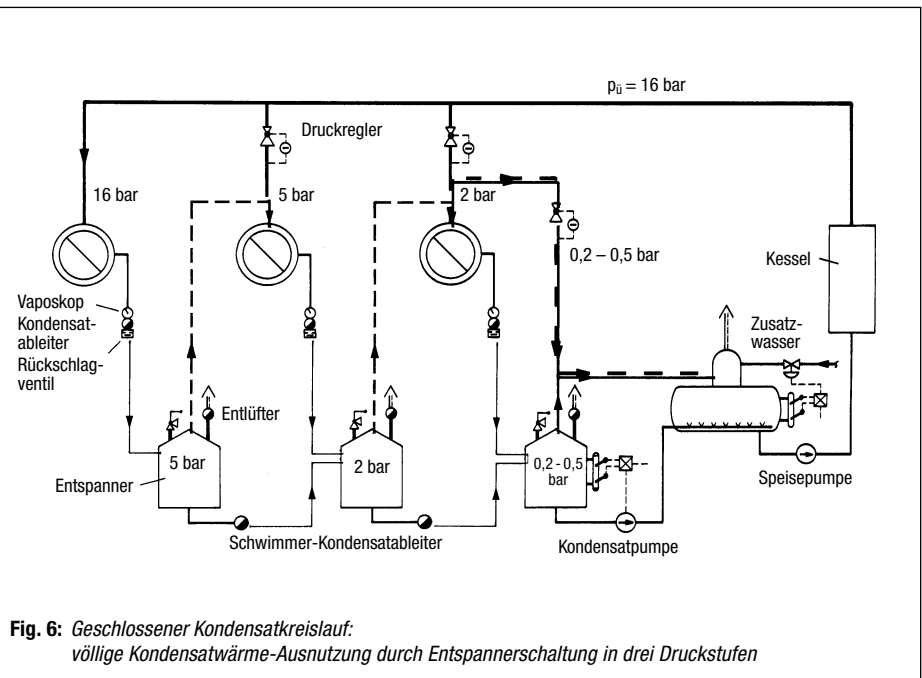


Fig. 6: Geschlossener Kondensatkreislauf: völlige Kondensatwärme-Ausnutzung durch Entspannerschaltung in drei Druckstufen

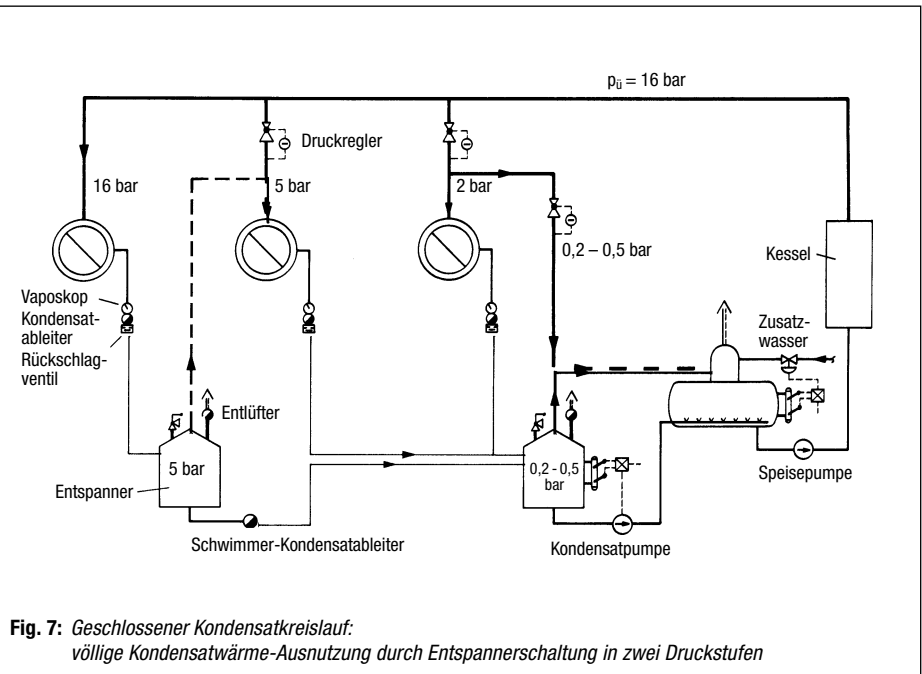


Fig. 7: Geschlossener Kondensatkreislauf: völlige Kondensatwärme-Ausnutzung durch Entspannerschaltung in zwei Druckstufen

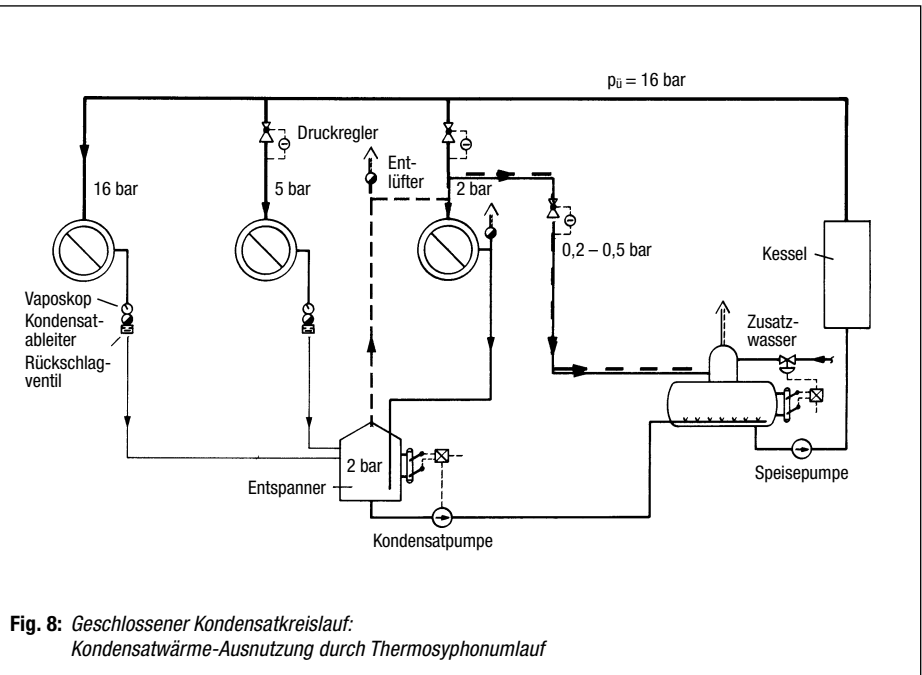


Fig. 8: Geschlossener Kondensatkreislauf: Kondensatwärme-Ausnutzung durch Thermosyphonumlauf

— — — — — Entspannungsdampf
 — — — — — Entspannungsdampf und Frischdampf

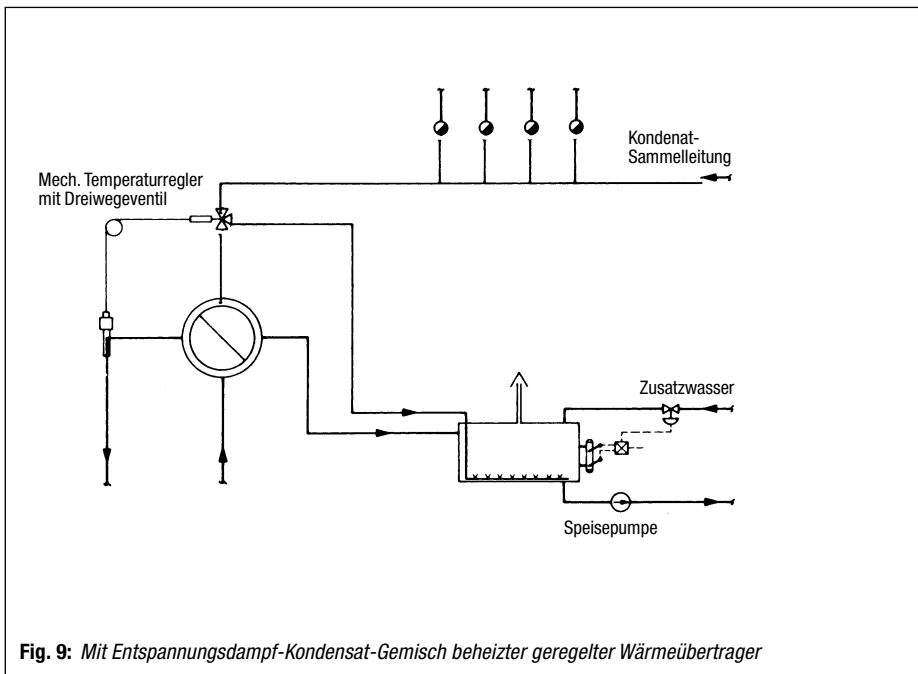


Fig. 9: Mit Entspannungsdampf-Kondensat-Gemisch beheizter geregelter Wärmeübertrager

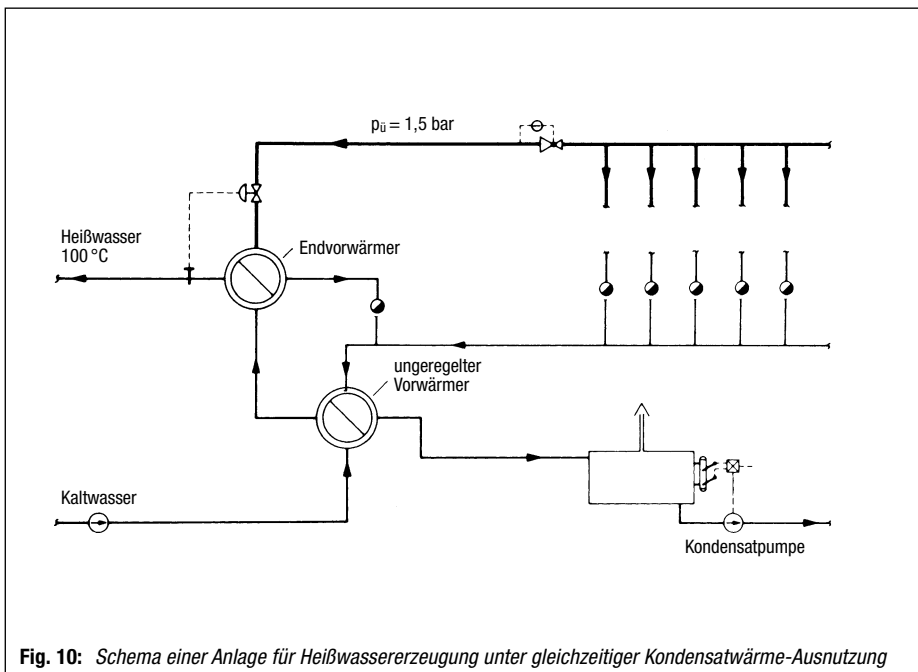


Fig. 10: Schema einer Anlage für Heißwassererzeugung unter gleichzeitiger Kondensatwärme-Ausnutzung

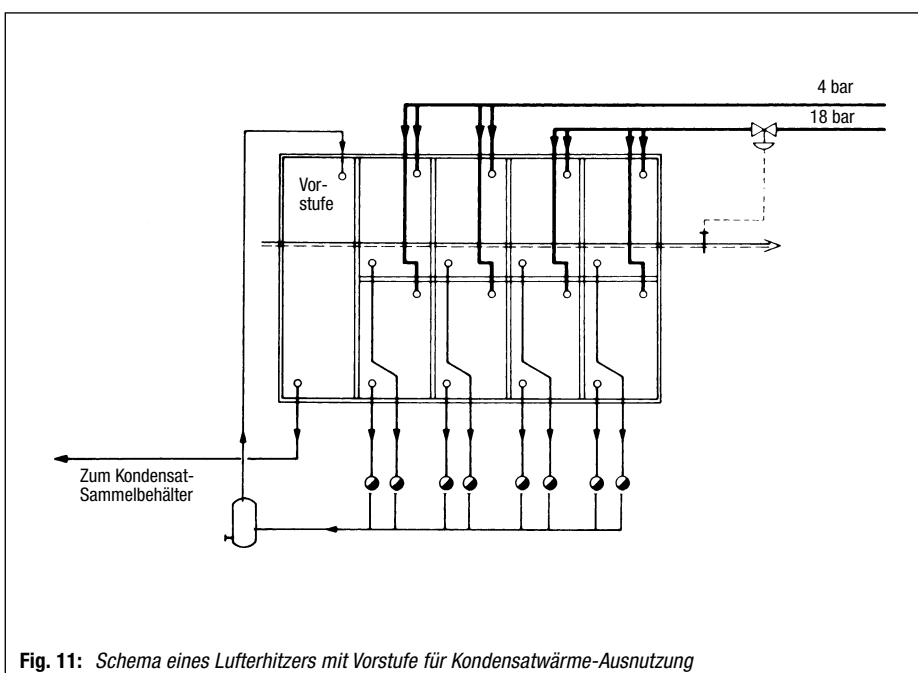


Fig. 11: Schema eines Luftheizers mit Vorstufe für Kondensatwärme-Ausnutzung

Zu 3: Verwertung durch Einschalten eines Wärmeübertragers in die Kondensat-Sammelleitung

Hierzu Fig. 9 als Schaltbeispiel.

Das Einhalten der optimalen Produkttemperatur erzwingt man mit Hilfe eines mechanischen Temperaturreglers mit Dreiwegeventil. Dabei verhindert das Ventil überhöhten Gegendruck in der Kondensat-Sammelleitung. Die gewünschte optimale Produkttemperatur lässt sich im Übertrager natürlich nur dann einhalten, wenn aus der Anlage etwas mehr Abwärme anfällt, als zum Aufheizen erforderlich ist.

Ein Zuviel an Entspannungsdampf-Kondensat-Gemisch wird in den Kondensatsammler unmittelbar – und zwar unter Niveau – eingeleitet; damit werden dann Zusatzwasser und aus dem Übertrager eventuell zu stark abgekühlt anfallendes Kondensat aufgeheizt.

Um im Kondensatsammler Wasserschläge zu verhindern, muss das Ende des unter Niveau liegenden Rohrstückes geschlossen sein; darum sind als Austritt unter Niveau viele kleine Bohrungen angebracht, deren Gesamtquerschnitt dem Rohrleitungsquerschnitt entspricht. Eine kleine Bohrung oberhalb des Niveaus, aber noch innerhalb des Sammlers, verhindert, dass nach Abschalten der Anlage Kondensat durch Unterdruck in die Leitung zurückgesaugt wird.

So wird auf Basis der vorliegenden Konstruktion Entspannungsdampf so weit wie überhaupt möglich ausgenutzt.

Zu 4: Verwertung durch Vorschaltheizflächen

Ist kein Wärmeübertrager vorhanden oder wird keiner benötigt, in dem Entspannungsdampf unmittelbar verwertet werden könnte, kann man vor vorhandenen Wärmeübertragern Vorschaltheizflächen anordnen.

Das ist so zu verstehen:

In einem notwendigerweise benötigten Wärmeübertrager wird ein Produkt von seiner Anfangs- auf die erwünschte Endtemperatur gebracht, wofür eine bestimmte Dampfmenge erforderlich ist.

Wärmt man das Produkt aber durch Abwärme vor, wird zum Erreichen der Endtemperatur weniger Dampf benötigt. Dieses Vorwärmen kann in einem unregelmäßig Vorwärmer – eben der Vorschaltheizfläche – mittels Entspannungsdampfes erfolgen, und zwar durch Einsatz eines Entspanners (eventuell mit Thermosyphonumlauf – siehe Fig. 8).

Bei kleinen Anlagen kann man das gesammelte Kondensat-Entspannungsdampf-Gemisch aber auch durch einen unregelmäßig Vorwärmer leiten, wie in Fig. 10.

Im Enderhitzer braucht das Produkt – im vorliegenden Beispiel Wasser – dann nur noch auf die gewünschte Endtemperatur gebracht zu werden.

Natürlich kann man auch mehrere unregelmäßig Vorwärmer einschalten, z. B. in mittelgroßen oder weiträumigen Anlagen. Bei größeren Heizaggregaten lohnt es sich, den Entspannungsdampf und gegebenenfalls einen Teil der Flüssigkeitswärme unmittelbar auszunutzen. Auch das geschieht in einer Vorschaltheizfläche, die dann aber Bestandteil des Heizaggregates ist.

Hierbei ist zu prüfen, ob die Vorstufe seitlich oder unterhalb des Endvorwärmers installiert werden kann.

Fig. 11 zeigt das Beheizungsschema eines Luftheizers mit seitlicher Vorstufe. Das gesamte Kondensat-Entspannungsdampf-Gemisch aus den verschiedenen Registern strömt durch diese Vorstufe. Dabei werden die Verdampfungswärme des Entspannungsdampfes und ein Teil der Flüssigkeitswärme auf die kalte Luft übertragen; das Kondensat fließt also relativ kalt ab: In der Kondensatleitung hinter dem Luftheizer gibt es keinen Entspannungsdampf mehr.

In **Fig. 12** ist die Vorschaltheizfläche **unterhalb** des eigentlichen Wärmeübertragers angeordnet. Das heiße Kondensat fließt vom Wärmeübertrager mit Gefälle zur Vorschaltheizfläche und durchströmt diese, wobei Flüssigkeitswärme auf das kalte Produkt übertragen wird. Austrittsseitig wird das jetzt kältere Kondensat über eine Rohrschleife, deren höchster Punkt oberhalb der Vorschaltheizfläche liegt, einem Schwimmerableiter zugeleitet, der es ausschleust. Eine Pendelleitung verbindet den höchsten Punkt der Austrittsleitung mit dem Wärmeübertrager, damit nach dem Prinzip der kommunizierenden Röhren das Kondensatniveau vor und hinter der Vorschaltheizfläche gleich hoch und über dieser Fläche liegt. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass die Vorschaltheizfläche ständig mit Kondensat gefüllt ist; sie steht – abgesehen von der geringfügigen Druckerhöhung durch den geodätischen Höhenunterschied – unter dem gleichen Druck wie der Wärmeübertrager.

Fällt Kondensat an, steigt das Niveau vor der Vorschaltheizfläche und bewirkt dadurch das Überlaufen des kälteren Kondensates zum Ableiter hin. Um Störungen durch Luft zu vermeiden, wird der Wärmeübertrager entlüftet.

Zwischen dieser Schaltung – Vorschaltheizfläche unterhalb des Wärmeübertragers – und der Schaltung mit seitlicher Anordnung (**Fig. 11**) bestehen Unterschiede: Die Fläche wird nur mit Wasser beaufschlagt; die Eintrittstemperatur liegt höher; die Leitungen können kleinere Nennweiten haben; Kavitation, Erosion und Wasserschläge, wie sie bei Dampf-Wasser-Gemischen leicht auftreten, werden vermieden.

Die Größe von Vorschaltheizflächen wird nach der jeweils verfügbaren Abwärmemenge und der gewünschten Kondensataustrittstemperatur berechnet.

Schlussbemerkungen

Das Thema „Ausnutzung der Kondensatwärme“ wurde ausführlich besprochen.

Treten nun in Ihren Anlagen vermutlich vermeidbare Wärmeverluste auf, sollten Sie prüfen, welche Verbesserungsmöglichkeiten in Ihren Fällen vorteilhaft und anwendbar sind; dabei können Sie selbstverständlich auch unseren Rat und unsere Hilfe in Anspruch nehmen.

Auf Grund unserer langjährigen und eingehenden Erfahrungen unterbreiten wir Ihnen gerne maßgeschneiderte individuelle Vorschläge einschließlich der zugehörigen Schaltpläne. Darüber hinaus liefern wir auch die erforderlichen Einrichtungen und Apparate, um Ihre Betriebskosten zu senken und das einwandfreie Arbeiten Ihrer Anlagen sicherzustellen.

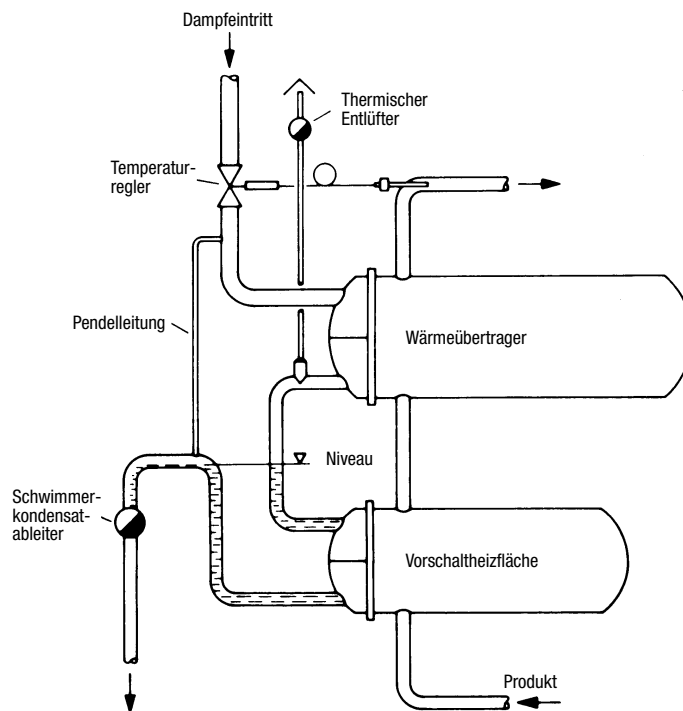


Fig. 12: Ausnutzung von Kondensatwärme in einer Vorschaltheizfläche

GESTRA AG

Postfach 10 54 60, D-28054 Bremen

Münchener Str. 77, D-28215 Bremen

Telefon +49 (0) 421 35 03 - 0, Telefax +49 (0) 421 35 03 - 393

E-Mail gestra.ag@flowsolve.com, Internet www.gestra.de

FLowsERVE[®]

GESTRA