

**GESTRA Steam Systems**

# GESTRA Information C 1.1

## Im Kondensat steckt Energie

### Reduzierung der Energieverluste in dampfbeheizten Anlagen

In dampfbeheizten Anlagen bieten sich erstaunliche Möglichkeiten, die eine Reduzierung des notwendigen Energieverbrauchs bewirken.

An Hand von Diagrammen wird gezeigt, welche enormen Energiemengen verlorengehen können bzw. dass durch entsprechende Maßnahmen mehr Energie genutzt werden kann.

#### Ausnutzung der Kondensatwärme

Es finden sich immer noch Anlagen, in denen das gesamte Kondensat-Entspannungsdampfgemisch ungenutzt abfließt, weil man Kosten scheut, die Anlage umzubauen, oder weil das Kondensat verunreinigt und deshalb für die Kesselspeisung ungeeignet ist. In **Fig. 1** ist als Beispiel dargestellt, welcher Anteil der eingesetzten Energie in einem Wärmeübertrager tatsächlich genutzt wird und wieviel noch im Kondensat enthalten ist. Dabei wird angenommen, dass das Kondensat mit 10 K Unterkühlung ( $h_u \approx 40$  kJ/kg) den Übertrager verläßt. Tatsächlich genutzt werden nur etwa 75 % der Wärmeenergie, rund 25 % der Wärmeenergie sind im abfließenden Kondensat

enthalten. Hinter dem Kondensatableiter bildet sich Entspannungsdampf. Deshalb teilt sich hier die Energie auf. 15 % verbleiben noch im Kondensat, etwa 10 % sind jetzt im Entspannungsdampf.

Im Diagramm **Fig. 2** ist angegeben, wieviel Energie in Prozent in Abhängigkeit vom Druck und der Unterkühlung des Kondensates in der Heizfläche ausgenutzt wird. Das Diagramm **Fig. 3** gibt die Energieverluste in Prozent für Drücke bis 25 bar an, wenn das Kondensat siedend anfällt und das Kondensat-Entspannungsdampfgemisch ungenutzt abfließt. In gleicher Höhe wie die Energieverluste liegen auch die Wasserverluste.

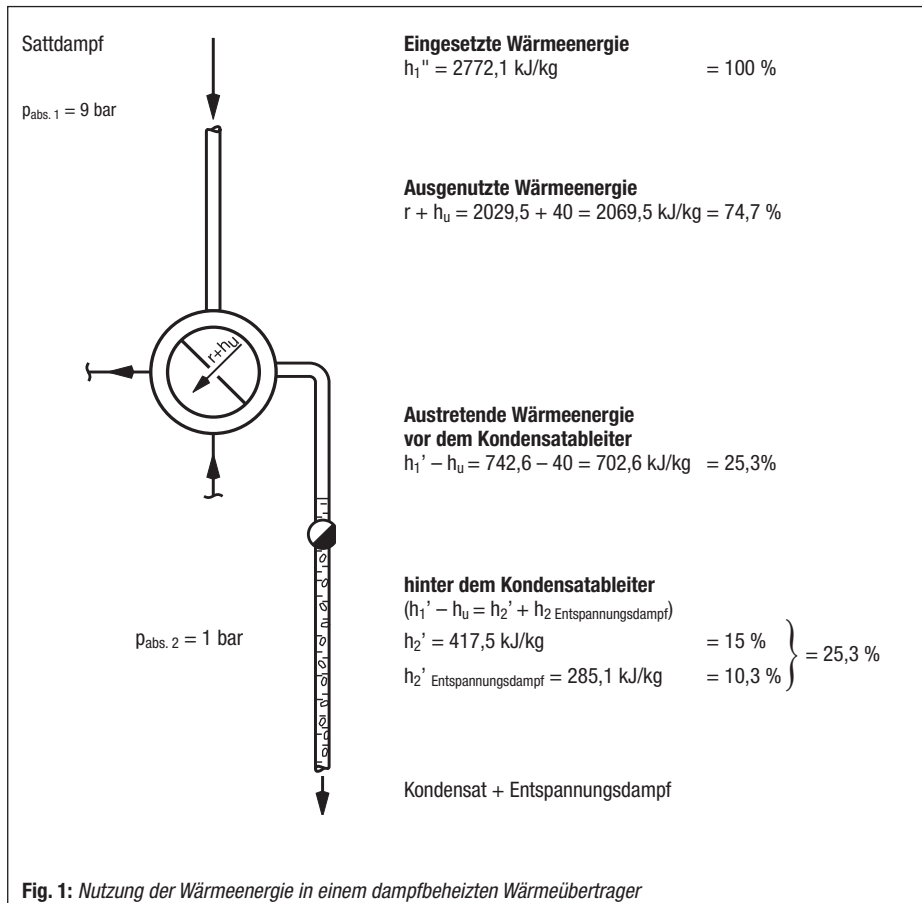
Es ist also anzustreben, die enormen Verluste ganz, zum Beispiel durch eine Entspannerschaltung, zumindest aber soweit wie möglich zu reduzieren.

In Anlagen, in denen eine Rückführung des Kondensates zur Kesselspeisung wegen Verunreinigungen nicht möglich ist, kann in einem Entspanner der Entspannungsdampf vom Kondensat getrennt und weiterverwendet werden. Aber auch aus dem verschmutzten Kondensat lässt sich noch Wärme gewinnen, wenn man es durch Vorwärmer oder Vorschaltheizflächen schickt.

Im Diagramm **Fig. 4** ist der Energieverlust aufgetragen, wenn der Entspannungsdampf verwertet wird, das Kondensat aber ungenutzt abläuft. Man kann erkennen, dass der Energieverlust mit steigendem Entspannerdruck ( $P_2$ ) größer wird.

Häufig lässt man Kondensat ungenutzt ablaufen, weil man befürchtet, dass es durch Produkteinbruch verunreinigt sein könnte. Tatsächlich ist nicht auszuschließen, dass durch undichte Heizflächen Kohlenwasserstoffe, Säuren, Laugen oder andere Stoffe ins Kondensat gelangen und diese den Kesselbetrieb gefährden. In der Regel ist aber keine ständige Verunreinigung vorhanden. Deshalb kann dieses Kondensat wie sauberes behandelt werden. Es ist aber auf Produkteinbruch hin zu überwachen, um zu verhindern, dass es verschmutzt in den Kessel gelangt. Es gibt dafür GESTRA Öl- und Trübungsmelder für berührungslose Überwachung von transparenten Flüssigkeiten auf Trübung, z. B. Einbruch von Kohlenwasserstoffen im Kondensat. Bei eventuellem Einbruch von Säuren oder Laugen ins Kondensat steigt die elektrische Leitfähigkeit. Das kann mit einer GESTRA Leitfähigkeitselektrode und dem dazugehörigen Verstärker gemessen werden.

In vielen Anlagen wird Kondensat und Entspannungsdampf in einem Kondensatbehälter gesammelt. Das Kondensat wird zum Kesselhaus zurückgepumpt, der Entspannungsdampf ins Freie abgelassen. Aus Diagramm **Fig. 5** ist der Energieverlust zu entnehmen, wenn der Entspannungsdampf verlorengeht. Die in den Diagrammen angegebenen prozentualen Energieverluste kann man gleichsetzen mit prozentualen Energiekostenverlusten, wobei Wasserverluste, Einsparungen an Wasseraufbereitungsmitteln noch unberücksichtigt sind. Jede verbessernde Maßnahme, die man trifft, verursacht zunächst Kosten. Ermittelt man sie und vergleicht sie mit den Energieverlustkosten, dann stellt man fest, dass sie sich in erstaunlich kurzer Zeit amortisieren.



**Fig. 1:** Nutzung der Wärmeenergie in einem dampfbeheizten Wärmeübertrager

## Vermeidung von Dampfverlust durch Kondensatableiter

Wärmeübertrager, Begleitheizungen und Dampfleitungen müssen mit Kondensatableitern entwässert werden. Neben vielen anderen Forderungen, die an Kondensatableiter zu stellen sind, steht an erster Stelle, dass sie das Kondensat ohne den geringsten Frischdampfanteil durchlassen. In Anlagen, in denen die Kondensatwärme gar nicht oder nur teilweise verwendet wird, ist jeglicher Frischdampf, der durch die Ableiter entweicht, gleichzusetzen mit Energieverlusten. In wärmetechnisch einwandfreien Anlagen bewirkt er Verluste und Störungen, weil zum Beispiel der Druck und damit die Temperatur in der Kondensatleitung steigt. Die Abstrahlungsverluste erhöhen sich. Entwässerungsschwierigkeiten können sich einstellen. Es sollten daher nur Ableiter verwendet werden, die keinen Frischdampf durchlassen. Strömt zum Beispiel 1 kg/h Frischdampf durch einen Ableiter, so erscheint dies im ersten Moment gering. Multipliziert man aber mit der Anzahl der eingesetzten Ableiter und der Zeit, so wird daraus ein erheblicher Energieverlust. In einer mittelgroßen Raffinerie beispielsweise können ca. 5 000 Ableiter eingesetzt werden. Bei 8000 Betriebsstunden pro Jahr errechnet sich daraus ein Dampfverlust von 40000 t/J. Das entspricht einem jährlichen Heizölverlust von etwa 2600 t (!).

### Wie ist Dampfverlust durch Kondensatableiter möglich?

- Durch das Arbeitsprinzip des Ableiters.
- Durch falsche Einstellung bei Bimetallableitern.
- Durch Verschmutzungen an Dichtpartien, vor allem bei kleinen Kondensatmengen.
- Durch Verschleiß an Dichtpartien.

### Wie kann Dampfverlust vermieden werden?

**a):** Indem Ableiter verwendet werden, die systembedingt dampfdicht schließen, zum Beispiel Kugelschwimmerableiter, die eine ständige Wasservorlage besitzen oder thermische Ableiter, die bereits geschlossen sind, bevor der Dampf in das Gerät gelangt. Ableiter, die Steuerdampf benötigen oder solche, die eine zusätzliche Entlüftungsbohrung besitzen, verursachen Frischdampfverlust.

**b):** Bei Bimetall-Ableitern ist Frischdampfverlust vermeidbar, wenn sie vom Hersteller so konzipiert sind, dass der Arbeitsbereich über einen relativ großen Druckbereich geht, ohne dass die Werkseinstellung geändert werden muss, und wenn sie vom Hersteller auch auf Dampfdichtigkeit bei verschiedenen Drücken geprüft sind. Kommen unerwünschte Verststellungen während des Betriebes vor, sollten Ableiter verwendet werden, die keine Verstellmöglichkeiten besitzen, zum Beispiel Membranableiter.

**c)** Verschmutzung an den Dichtpartien ist nahezu unvermeidbar und hängt von den Betriebsverhältnissen und der Fahrweise der Anlage ab. Hier helfen auch keine eingebauten oder vorgeschalteten Schmutzfänger, weil der feine Schmutz alle Siebe passiert. Wird zum Beispiel infolge von Magnetitablagerungen am Dichtstift die Undichtigkeit so groß, daß die anfallende kleine Kondensatmenge nicht ausreicht, den Querschnitt zu sperren, entweicht mit dem Kondensat auch Dampf. Dieser Dampfverlust ist nur durch eine vorbeugende Wartung in Grenzen zu halten. Das setzt selbstverständlich voraus, dass Ableiter verwendet werden, deren Innenteile auch zugänglich sind, nach Möglichkeit ohne Ausbau der Gehäuse aus der Anlage. In sich geschlossene Ableiter müssen komplett ausgebaut und weggeworfen werden, will man nicht erhöhte Dampfverluste hinnehmen; eine Wartung solcher Ableiter ist nicht möglich.

**d):** Dampfverlust infolge Verschleiß an Dichtpartien tritt vor allem bei höheren Druckdifferenzen auf. Verschleiß kann durch vorhergehende Verschmutzung am Sitz verursacht werden oder dadurch, dass sich auf Grund geringer Kondensatmengen der Abschluss ständig im Spaltbereich befindet. Auch in diesem Falle ist eine vorbeugende Wartung zu empfehlen. Eventuell müssen die Verschleißteile ausgetauscht werden.

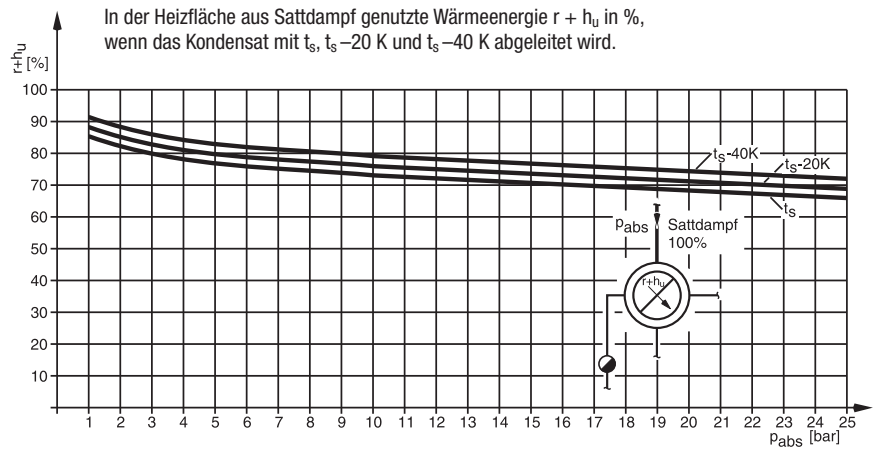


Bild 2: Nutzung der Wärmeenergie in der Heizfläche

### Energieverluste in Prozent bei Entspannung gegen atm. ohne Kondensat- und Entspannungsdampfverwertung

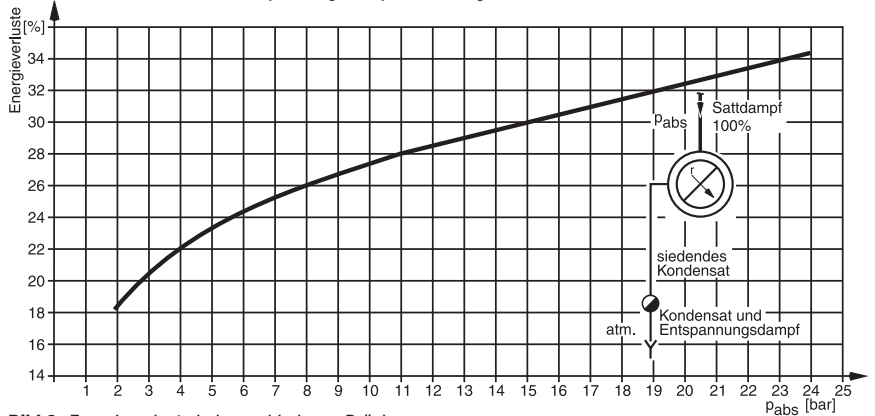


Bild 3: Energieverluste bei verschiedenen Drücken

### Energieverluste in Prozent, wenn nur der Entspannungsdampf verwertet wird, das Kondensat aber ungenutzt abläuft.

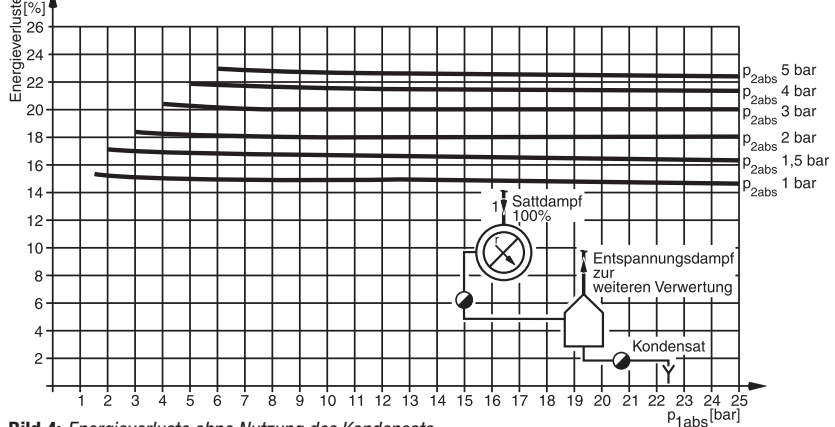


Bild 4: Energieverluste ohne Nutzung des Kondensats

### Energieverluste in Prozent bei Entspannung gegen atm. wenn das Kondensat für die Kesselspeisung wiederverwendet wird, aber der Entspannungsdampf verloren geht.

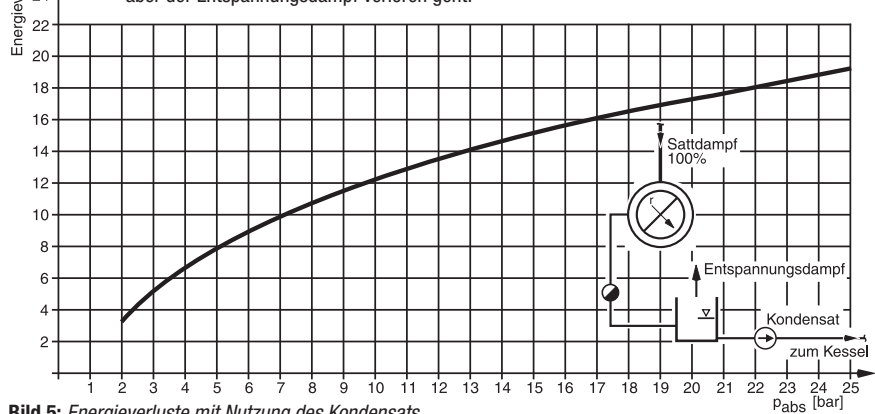


Bild 5: Energieverluste mit Nutzung des Kondensats

## Nutzung von Flüssigkeitswärme durch Unterkühlen des Kondensates

Normalerweise tritt das Kondensat aus der Heizfläche mit geringer Unterkühlung aus, wobei diese abhängig ist von der Art des Wärmeübertragers und vom Kondensatanfall. Bei Wärmeübertragern mit senkrechten Heizflächen oder Heizschlangen mit starkem Gefälle ist es möglich, Kondensat zurückzustauen (ohne dass Wasserschläge entstehen), um dem Kondensat noch Wärme zu entziehen.

In Diagramm **Fig. 6** ist der Energiegewinn aufgetragen, wenn das Kondensat unterkühlt ( $t_s - 10 - 20 - 30$  und  $- 40$  K) aus der Heizfläche austritt. Dies ist mit thermischen Kondensatableitern zu erreichen. Die BK-Typen kann man enger einstellen, bei den MK-Typen werden Unterkühlungsmembranen verwendet. Mit anderen Ableitersystemen ist eine Ableitung unterkühlten Kondensats nicht möglich. Bei einigen Heizprozessen lässt sich auch die kondensatseitige Regelung durchführen. Hier wird die Produkttemperatur durch Rückstau des Kondensates in die Heizfläche geregelt. Das Kondensat wird relativ kalt abgeleitet. Diese Regelung ist allerdings recht träge.

Die Rohrleitung zwischen Heizfläche und Kondensatableiter gibt durch Strahlung und Konvektion Wärme an die Umgebung ab. Wird staufrei entwässert, befindet sich auch Dampf in diesem Leitungsstück. Die Wärmeverluste sind dann gleichzusetzen mit Dampfverlusten. Geringer sind sie, wenn sich nur Kondensat darin befindet. Die trotzdem noch entstehenden Wärmeverluste gehen dann aber zu Lasten der Flüssigkeitswärme.

Bei der Entwässerung von Begleitheizungen oder Dampfleitungen ist es ratsam, thermische Ableiter zu verwenden, die das Kondensat mit zirka 30 K Unterkühlung ableiten. Bei freiem Ablauf muss geprüft werden, ob eine noch höhere Unterkühlung möglich ist. Auf Grund der geringen Kondensatmengen kühlt es auf dem Weg zum Ableiter sehr schnell ab, so dass eine Beeinträchtigung der Beheizung nicht entsteht. Auch nicht bei relativ kurzem Rohrleitungsstück.

Der Wärmedurchgangskoeffizient beträgt bei Dampf – Wand – Luft sowie bei Kondensat – Wand – Luft zirka  $17 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . Das wirksame Temperaturgefälle verringert sich jedoch bei kondensatgefüllten Leitungen gegenüber solchen, in denen sich Dampf befindet.

**Beispiel:** Kondensatleitung DN 20, Druck 4 bar abs., Umgebungstemperatur  $10^\circ \text{C}$ , Leitung unisoliert. Wärmeverlust pro m Leitung ohne Stau:

$$Q = K \cdot A \cdot \Delta \vartheta_m = 17 \cdot 0,062 \cdot 133 = 140,1 \text{ W}$$

entsprechend einem Dampfverlust von  $0,23 \text{ kg/h m}$ .

Wärmeverlust pro m Leitung mit Stau. Mittlere Unterkühlung  $20 \text{ K}$ .

$$Q = 17 \cdot 0,062 \cdot 113 = 119 \text{ W. (Kein Dampfverlust.)}$$

Das Kondensat kühlt weiter ab. Verminderung der Wärmeverluste durch Stau  $15 \%$ .

Auch bei isolierten Leitungen sind Einsparungen zu erzielen. Dampfverlust bei obigen Verhältnissen, jedoch mit einem in der Praxis leider recht hohen Wärmedurchgangskoeffizienten von zum Beispiel  $6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ , für isolierte Leitungen  $0,08 \text{ kg/h m}$ .

## Größere Nutzung der Dampfwärme durch Absenken des Druckes

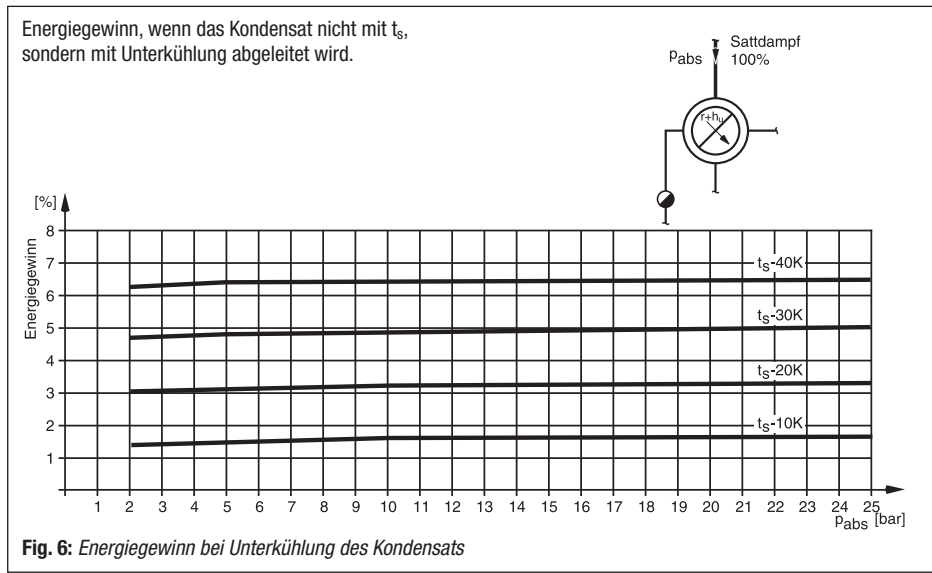
Zu jedem Dampfdruck gehört eine bestimmte Satt- bzw. Nassdampf Temperatur. Je höher der Druck, desto höher die Temperatur. Wärmeübertrager werden normalerweise so ausgelegt, dass lediglich die latente Wärme des Dampfes übertragen wird. Zur Berechnung der Heizfläche muss man ein Temperaturgefälle zwischen Dampf und Produkt zugrundelegen. Bei großem Temperaturgefälle kann die Heizfläche klein sein. Häufig geht man von diesen Überlegungen aus. Oft ist aber auch der Dampf mit einem bestimmten Druck bereits vorhanden und Reduzierung kostet Geld.

Auch die latente Wärme (Verdampfungs- oder Kondensationswärme) des Dampfes ist abhängig vom Druck. Je niedriger der Druck, um so größer ist sie. Setzt man also Dampf mit niedrigem Druck ein, wird mehr Energie im Wärmeübertrager genutzt als bei Dampf unter höherem Druck. Natürlich sind hier Grenzen gesetzt, zum Beispiel muss ein Mindestdruck vorhanden sein, um problemlos Kondensat zurückzuführen, oder aber die Heizfläche muss klein sein, weil sie sonst räumlich nicht unterzubringen ist.

Das Diagramm **Fig. 8** zeigt die Verdampfungswärme in Abhängigkeit vom Druck. Es zeigt aber auch, dass bei Reduzierung des Druckes von 8 auf 7 bar =  $0,8 \%$  mehr Wärme genutzt wird, von 8 auf 6 bar gar  $1,8 \%$ , von 4 auf 3 bar =  $1,4 \%$ . Diese Prozentzahlen mögen zunächst gering erscheinen. Ermittelt man jedoch die möglichen jährlichen Kosteneinsparungen, so entstehen interessante Werte.

**Fig. 7** zeigt tabellarisch die Dampfverbräuche und Kosten für einen Heißwassererzeuger bei verschiedenen Dampfdrücken sowie die notwendige Heizflächengröße und den Preis des Wärmeübertragers. Man erkennt daraus folgendes: Wird mit Dampf von 6 bar geheizt, werden jährlich  $6041 \text{ t}$  benötigt. Die Dampfkosten betragen  $241640,- \text{ €/J}$ . Notwendige Heizflächengröße  $6,02 \text{ m}^2$ . Preis des Wärmeübertragers zirka  $2500,- \text{ €}$ .

Reduziert man den Druck auf 5 bar, so verringert sich der Dampfverbrauch um  $63 \text{ t/J}$ , die Dampfkosten um  $2520,- \text{ €}$ . Die Heizfläche muss nun  $6,5 \text{ m}^2$  betragen. Der Preis dieses größeren Wärmeübertragers erhöht sich um  $50,-$  bis  $100,- \text{ €}$ . Diese Mehrkosten haben sich nach maximal  $227$  Betriebsstunden amortisiert. Man darf davon ausgehen, dass sich der Wärmedurchgangskoeffizient kaum verändert. Reduziert man den Druck auf noch zulässige 3 bar, so sind die Einsparungen noch wesentlich höher. Nicht berücksichtigt sind Mehrkosten für größere Dampfleistungen, eventuelle Reduzierungen sowie geringere Kosten für kleinere Kondensatableitungen und weniger Abstrahlungsverluste. Wenn die gesamte Abwärme dem Betrieb wieder zugeführt wird, ergeben sich Einsparungen durch Druckreduzierungen nur durch geringere Abstrahlungsverluste.



**Fig. 6:** Energiegewinn bei Unterkühlung des Kondensats

Gegenüberstellung der Dampfverbräuche und Kosten eines Wärmetauschers bei verschiedenen Dampfdrücken

Angenommen: Leistung des Wärmeübertragers  $Q = 500 \text{ kW}$   
 Aufzuheizendes Medium Wasser: Eintritt  $40^\circ \text{C}$ , Austritt  $110^\circ \text{C}$   
 Wärmedurchgangskoeffizient  $k = 1000 \text{ W/m}^2 \text{ K}$   
 Jährlicher Betrieb  $7000$  Stunden, Dampfpreis  $40,- \text{ €/t}$

Heizdampfdruck abs.	[bar]	6	5	4	3
Benötigte Dampfmenge pro Stunde	[kg/h]	863	854	843	832
Benötigte Dampfmenge pro Jahr	[t/J]	6041	5978	5901	5824
Dampfkosten pro Jahr	€/J	241640,-	239120,-	236040,-	232960,-
Größe der Heizfläche	[m <sup>2</sup> ]	6,02	6,5	7,3	8,5
Zirka Preis des Wärmeübertragers	€	2500,-	2550,- bis 2600,-	2600,- bis 2750,-	2750,- bis 3000,-
Dampfersparnis gegenüber 6 bar Betriebsdruck	[t/J]		63	140	217
Dampfkostenersparnis geg. 6 bar Betriebsdruck	€/J		2520,-	5600,-	8680,-
Amortisation der Übertragermehrkosten gegenüber 6 bar Betriebsdruck	[h]		277	312	403

**Fig. 7:** Gegenüberstellung der Dampfverbräuche und Kosten eines Wärmeübertragers bei verschiedenen Dampfdrücken

## Verringerung der Wärmeverluste durch bessere Wärmedämmung

Dass Dampfleitungen, Armaturen und Wärmeübertrager zur Vermeidung von Wärmeverlusten durch Strahlung und Konvektion isoliert sein sollten, bedarf kaum eines besonderen Hinweises. Das gilt um so mehr, als Dämmungen zu den wirksamsten Methoden der Energieeinsparungen gehören. Aber, ist das Dämmmaterial auch vor Feuchtigkeit und Nässe geschützt? Nasses Dämmmaterial kann größere Wärmeverluste verursachen, als wenn überhaupt nicht gedämmt wäre.

Ist die Dämmdicke ausreichend? Sie ist nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten unter Berücksichtigung einerseits der Wärmeverluste, andererseits der Kosten der Dämmung zu berechnen. Allgemein spricht man von einer wirtschaftlichen Dämmdicke. Sie sagt aus, dass der Aufwand der Dämmung – oder die Verbesserung bestehender Dämmung durch zusätzliche Dämmstoffe – sich innerhalb einer bestimmten Frist durch verminderten Energieaufwand amortisiert.

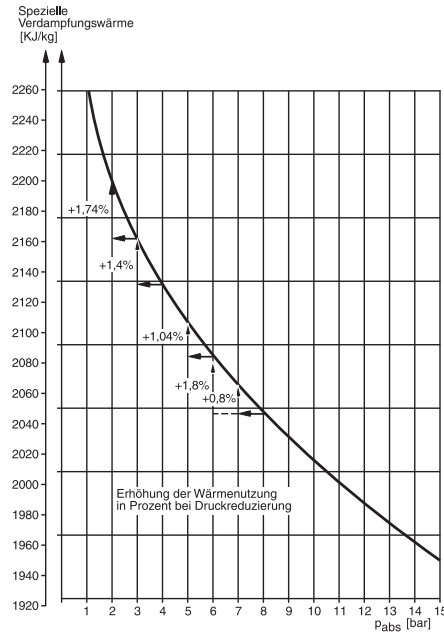
Die Ermittlung der wirtschaftlichen Dämmdicke erfolgt immer, nachdem die Verlustkosten und die Kosten für die Dämmung errechnet und in einem Koordinatensystem aufgetragen wurden. Durch Addition der beiden Werte ergibt sich die Kurve der Gesamtkosten. Die niedrigsten Gesamtkosten bestimmen die wirtschaftliche Dämmdicke. Im Hinblick auf die sich dynamisch bewegenden Energiekosten empfiehlt es sich, die Dämmdicke auf das nächsthöhere Handelsmaß aufzurunden.

In der Grafik **Fig. 9** ist als Beispiel die Ermittlung der wirtschaftlichen Dämmdicke einer Rohrleitung DN 150 veranschaulicht. Es ist zu erkennen, dass die Wärmeverlustkosten als Produkt aus Wärmestromdichte und Jahresbetriebsstunden mit zunehmender Dämmdicke abnehmen. Die Berechnung sollte möglichst der Fachmann durchführen. Eine vernünftige Dämmdicke gewährleistet dann eine Wärmeersparnis bis zu 97 % gegenüber dem unisolierten Rohr.

Wie sieht es in der Anlage auf der Kondensatseite aus? Sind auch hier alle Leitungen, Armaturen und Behälter isoliert? In vielen Betrieben ist das leider nicht der Fall. Die Wärmeverluste sind dementsprechend hoch, Räume werden unangenehm aufgeheizt. Befindet sich nun ein Spannungsdampf-Kondensat-Gemisch in der Leitung, zum Beispiel vor dem Entspanner, gehen die Abstrahlungsverluste zu Lasten des Spannungsdampfes. Wird dieser genutzt, ist höherer Frischdampfverbrauch die Folge. Befindet sich nur Kondensat in der Leitung, zum Beispiel hinter dem Entspanner oder hinter dem Kondensatbehälter, kühlt das Kondensat ab. Es wird jetzt zusätzlich Wärme benötigt, um dieses im Vorwärmer, Entgaser oder Kessel wieder aufzuheizen.

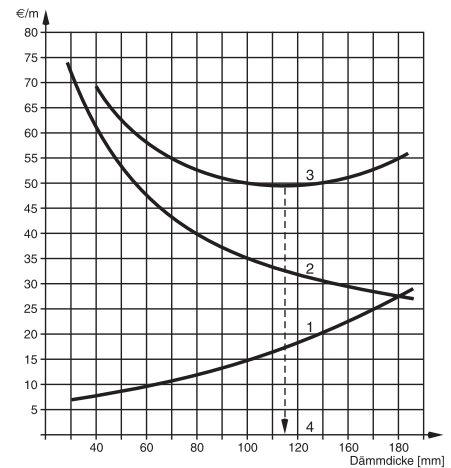
Aus dem Diagramm **Fig. 10** ist ersichtlich, welche Wärmeverluste pro Meter Kondensatleitung in Abhängigkeit von der Nennweite und der Temperatur entstehen. Gleichzeitig läßt sich der äquivalente Heizölverlust ablesen.

### Spezielle Verdampfungswärme „r“ in Abhängigkeit vom Druck



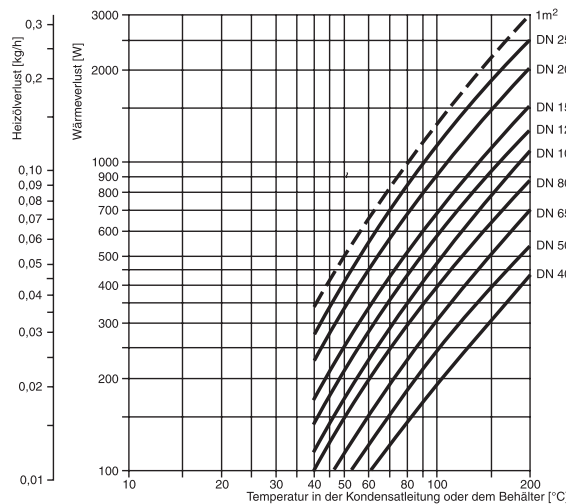
**Fig. 8:** Verdampfungswärme

1. Dämmungskosten
2. Verlustkosten
3. 1 + 2 = Gesamtkosten pro Jahr bei 20 % Abschreibung
4. Wirtschaftliche Dämmdicke



**Fig. 9:** Wirtschaftliche Dämmdicke einer Rohrleitung DN 150 für Innentemperatur 300 °C und 7000 Betriebsstunden

### Wärme- beziehungsweise Heizölverluste je m unisolierter Kondensatleitung und je m<sup>2</sup> Behälterfläche bei einer Umgebungstemperatur von 20 °C Heizwert H<sub>u</sub> = 11 000 Ws/kg, Kesselwirkungsgrad 85 %



**Fig. 10:** Wärme- bzw. Heizölverlust je 1 Meter unisolierter Kondensatleitung und je 1 m<sup>2</sup> Behälterfläche bei einer Umgebungstemperatur von 20 °C

## GESTRA AG

Postfach 10 54 60, D-28054 Bremen  
Münchener Str. 77, D-28215 Bremen

Telefon 0049 (0) 421 35 03 - 0, Telefax 0049 (0) 421 35 03-393

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



GESTRA