

GESTRA Steam Systems

GESTRA Information A 1.7

Automatische Entlüftung dampfbeheizter Wärmeübertrager

Vorwort

Um in einem dampfbeheizten Wärmeübertrager den günstigsten Wirkungsgrad zu erzielen, sind bestimmte Maßnahmen notwendig. Nachstehend die wichtigsten:

1. Es muss Sattdampf verwendet werden. Die Wärmeübergangswerte von Heißdampf sind niedriger. Bei Verwendung von zu nassem Dampf entsteht ein dickerer Wasserfilm, der die Wärmeübertragung einschränkt.
2. Der vorgesehene Dampfdruck muss eingehalten werden. Damit bleibt auch das wirksame Temperaturgefälle bestehen.
3. Kondensatstau in der Heizfläche muss vermieden werden. Das erreicht man durch die richtige Auswahl, Dimensionierung und Anordnung der Kondensatableiter.

4. Die Heizfläche muss sauber sein. Eine Reinigung von Zeit zu Zeit ist eventuell erforderlich.
5. Eine Entlüftung bei der Inbetriebnahme und während des Betriebes ist notwendig.

Dieser letzte Punkt wird häufig zu wenig beachtet. Daher ist diese Information dem Thema „Automatische Entlüftung dampfbeheizter Wärmeübertrager“ gewidmet.

Grundlagen

Die Wärmeübertragung (\dot{Q}) vom Heizmedium durch eine trennende Wand an den zu beheizenden Stoff bezeichnet man als Wärmedurchgang. Dieser ist die rechnerische Zusammenfassung von Einzelvorgängen.

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \Delta t_m \quad [W] \quad \text{darin ist}$$

Δt_m = mittlere Temperaturdifferenz zwischen Dampf und Produkt [K]

A = Heizfläche [m²]

k = Wärmedurchgangskoeffizient $\left[\frac{W}{m^2 K} \right]$

Der Wärmedurchgangskoeffizient ergibt sich für die saubere Heizfläche nach der Formel aus

$$\frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\rho}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = k$$

dabei ist

α_1 = Wärmedurchgangskoeffizient $\left[\frac{W}{m^2 K} \right]$

Wärmeübergang vom Dampf an die Wand

α_2 = Wärmedurchgangskoeffizient $\left[\frac{W}{m^2 K} \right]$

Wärmeübergang von der Wand an das Produkt

ρ = Wandstärke [m]

λ = Wärmeleitfähigkeit $\left[\frac{W}{m^2 K} \right]$

Wärmefluss durch die Wand.

Nichtkondensierende Gase, hauptsächlich Luft, gelangen auf vielfache Weise in die Heizfläche, besonders während der Stillstandszeiten. Diese Gase vermindern die Wärmeübertragung ganz erheblich, denn sie bilden eine isolierende Schicht (Diffusionsschicht) zwischen dem Dampf und dem Kondensatfilm auf der Heizfläche.

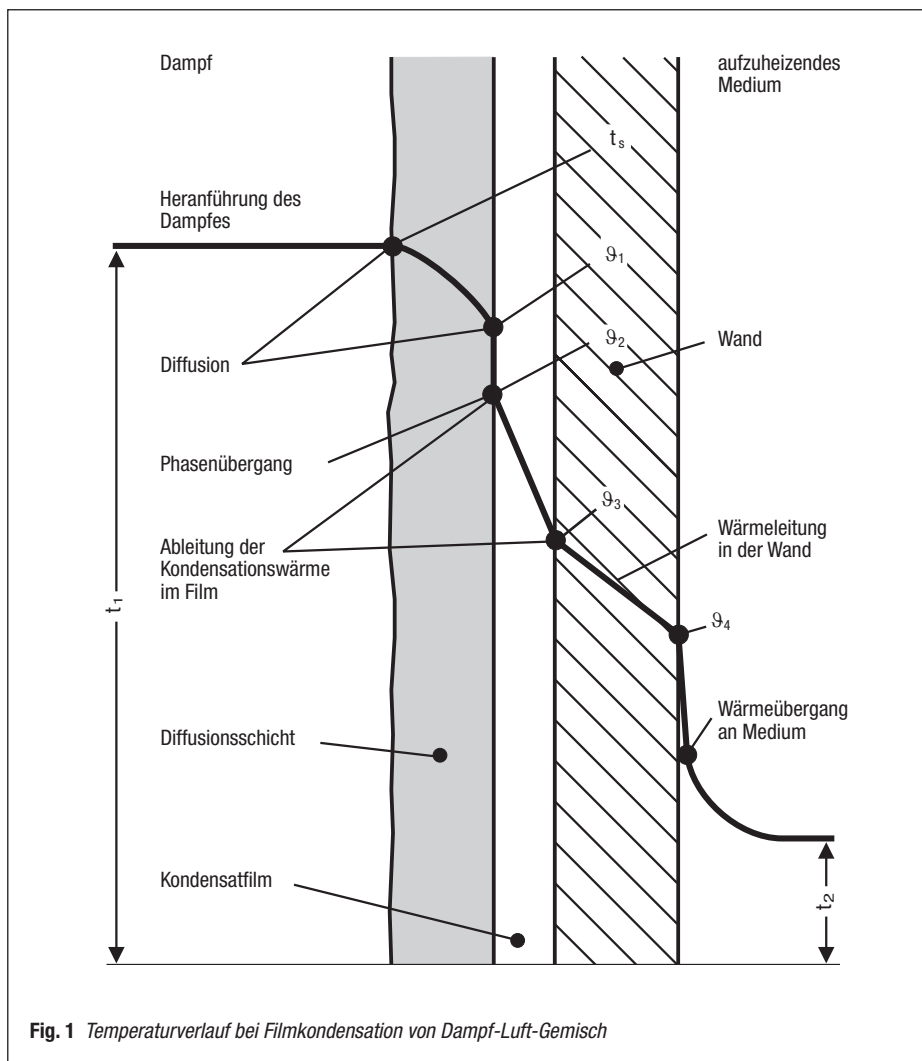


Fig. 1 Temperaturverlauf bei Filmkondensation von Dampf-Luft-Gemisch

In **Fig. 1** erkennt man den Einfluss der Luftschicht und des Kondensatfilms auf den Temperaturverlauf. Der überwiegende negative Einfluss entsteht durch die enorme Verschlechterung des Wärmeübergangskoeffizienten α_1 .

Aus **Fig. 2** ist zu erkennen, dass mit steigendem Gasanteil der Wärmeübergangskoeffizient α_1 immer schlechter wird. Die deutlichste Verschlechterung entsteht bei sehr geringer Strömungsgeschwindigkeit.

Durch Anwesenheit nichtkondensierender Gase im Dampf verringert sich der Dampfpartialdruck und somit die Temperatur. Obwohl das Manometer den vollen Druck anzeigt, ist die Temperatur niedriger als die zum angezeigten Druck gehörende Satttdampf temperatur. Damit verringert sich die mittlere Temperaturdifferenz zwischen Dampf und Produkt, und es wird weniger Wärme übertragen. Das lässt sich durch Druckerhöhung ausgleichen. Auf Grund dieses Temperaturabfalls ist es aber möglich, in Abhängigkeit von Druck und Temperatur automatisch zu entgasen.

Manometerdruck = Gesamtdruck (P_g) = Dampfpartialdruck (P_D) + Gaspartialdruck (P_G).

Wenn keine Gase vorhanden sind, ist $P_g = P_D$. Bei einem absoluten Druck von 6 bar beträgt die Temperatur dann 158,8 °C.

Befinden sich aber zum Beispiel 20 Gewichtsprozent Luft im Dampf, so ist mit $P_g = P_D + P_G$: $6 = 4,8 + 1,2$.

Zum Dampfpartialdruck von 4,8 bar gehört aber nur eine Temperatur von 150,3 °C.

Den Zusammenhang zwischen Gesamtdruck, Luftanteil und Temperatur zeigt das Diagramm **Fig. 3**.

Ein Beispiel für die Benutzung des Diagramms: Gemessen wurde an einer Anlage der absolute Druck von 11 bar und die Temperatur von 180 °C. Demnach befindet sich in der Anlage ein Gemisch aus 90 % Wasserdampf und 10 % Luft. Bei gleichem Gesamtdruck, aber nur 170 °C, beträgt der Luftanteil bereits rund 35 %. Aus der Messung von Druck und Temperatur lässt sich erkennen, daß bei gleichem Gesamtdruck die Luftkonzentration an der kältesten Stelle am höchsten ist. Diese Tatsache sollte bei der Anordnung der Entlüftungsvorrichtung berücksichtigt werden.

Wie aber sieht es in der Praxis aus?

Bei in Betrieb befindlichen Wärmeübertragern lässt sich die kälteste Zone feststellen. Da aber die Temperaturmessung einigen Aufwand verlangt, unterbleibt sie meistens. Sinnvoll ist es, bei neuen Wärmeübertragern bereits für ausreichende Entlüftung zu sorgen. Es fragt sich nur, an welcher Stelle muss entlüftet werden. In beiden Fällen wird es immer recht schwierig sein, dies exakt vorherzusagen. Man ist hier also auf praktische Erfahrungen angewiesen.

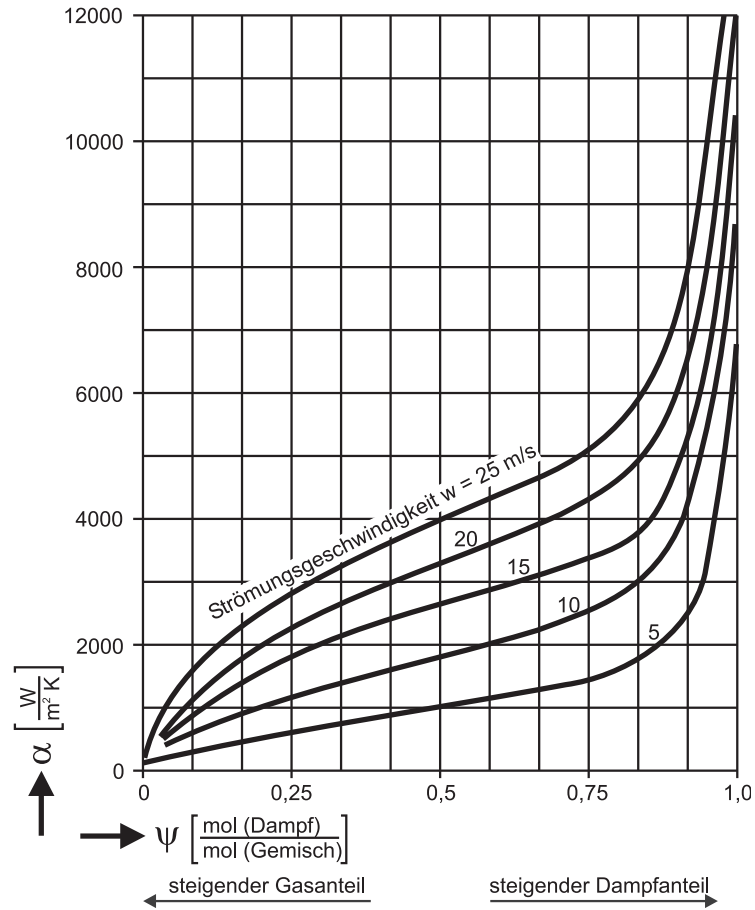


Fig. 2 Wärmeübergangskoeffizient α bei der Kondensation von Wasser aus Wasserdampf-Luft-Gemisch in Abhängigkeit vom Molanteil ψ des Dampfes und der Strömungsgeschwindigkeit bei einem Gesamtdruck von 2 bar_{abs}.

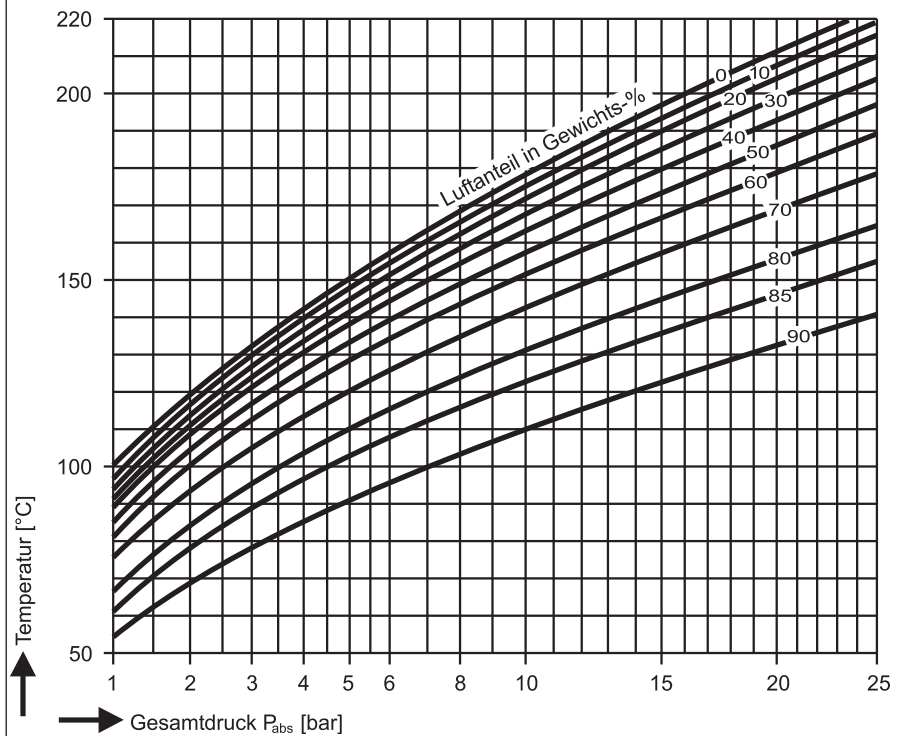


Fig. 3

Entlüftung von Wärmetauschern

Die Wärmeübertrager muss man mit Bezug auf Entlüftung folgendermaßen unterscheiden:

1. Wärmeübertrager mit Rohrsystem (wie Rohrbündel-Wärmeübertrager oder Wärmeübertrager mit Heizschlangen), in denen der Dampf durch diese Rohre strömt und das Kondensat durch Kondensatableiter ausgeschleust wird.

Die Entlüftung erfolgt durch den ohnehin erforderlichen Kondensatableiter. Voraussetzung ist allerdings, dass die Ableitersysteme verwendet werden, die dazu in der Lage sind, wie thermische Ableiter, Stufendüsenableiter oder Kugelschwimmerableiter mit zusätzlicher thermischer Entlüftung. Andere Ableitersysteme sind ungeeignet.

Die Ableiter sind immer am Ende (Kondensataustritt) der Heizrohre installiert. Durch die Strömungsenergie des Dampfes und des Kondensats in den Rohren werden die nichtkondensierenden Gase durch Reibung zum Ende transportiert und vom Ableiter mit ausgeschleust.

Es treten also kaum Entlüftungsprobleme auf.

2. Wärmeübertrager, in denen der Dampf um die Rohre strömt, oder mit Heizkammern (wie zum Beispiel mantelbeheizte Übertrager, Autoklaven), die also großvolumige Heizräume besitzen und ebenfalls durch Ableiter entwässert werden.

In den großvolumigen Heizräumen herrscht nur eine geringe Strömungsgeschwindigkeit in Richtung Kondensataustritt. Es können Turbulenzen auftreten, die Wärmestromdichte auf der Austauschfläche kann unterschiedlich sein, je nach Einströmung des Dampfes, der Heizflächengestaltung und der unterschiedlichen Wärmestromdichte können Stauungen entstehen. Ferner können sich diese Bedingungen bei verschiedenen Belastungen wieder ändern, nichtkondensierende Gase unterschiedlicher Dichte können außerdem vorhanden sein (zum Beispiel in Übertragern, die mit Brühdämpfen beheizt werden).

Durch diese vielen Einflüsse kann es geschehen, dass die Gase gar nicht, nur teilweise oder auch nur zeitweise zum Kondensataustritt gelangen und ausgeschleust werden. Die zurückbleibenden Gase konzentrieren sich an bestimmten Stellen und vermindern hier die Wärmeübertragung, weil kein Dampf mehr dorthin gelangt. Dies sind dann auch die kältesten Zonen. Diese Zonen müssen zusätzlich entlüftet werden, sofern sie bekannt sind. In den meisten Fällen sind sie es jedoch nicht. Man kann annehmen, dass sich Gaskonzentrationen vornehmlich in den ruhigeren Zonen bilden; eine Zone dürfte die am weitesten vom Dampfeintritt entfernt liegende sein.

3. Wärmeübertrager, aus denen das Kondensat niveauabhängig abgeführt wird.

Da bei niveauabhängig entwässerten Wärmeübertragern keine Entlüftung durch den Kondensataustritt erfolgen kann, muss immer geringfügig über dem maximalen Niveau separat entlüftet werden.

Im praktischen Betrieb muss man – wie auch bei anderen Vorgängen – hinsichtlich der Entlüftung zwischen Anfahr- und Betriebszustand unterscheiden. Zu Beginn des Prozesses müssen große Gasmengen aus dem Heizraum entfernt werden. Die Gasmengen nehmen langsam ab und erreichen im Betriebszustand den geringsten Wert. Alle Überlegungen, die man in dieser Hinsicht anstellt, sind relativ. Exakt wird es kaum möglich sein, hinsichtlich der erforderlichen Entlüftungsleistung genaue Angaben zu machen. Über Mengen ist man ebenso auf Schätzungen beziehungsweise Erfahrungen angewiesen wie über Zonen.

Automatische Entlüftung mit thermischen Kondensatableitern

Erfolgt die Entlüftung durch Blenden, wird entweder die Entlüftungsleistung bei der Inbetriebnahme zu klein oder der Dampfverlust im Dauerbetrieb zu groß sein. Eine Entlüftung durch manuell einstellbare Drosseln (Ventile) bietet zwar den Vorteil, dass diese für die Inbetriebnahme weit geöffnet und später gedrosselt werden können. Es ist aber kaum feststellbar, wie weit geöffnet oder gedrosselt werden muss. Sie werden deshalb meistens zu weit geöffnet.

Es empfiehlt sich daher, automatisch in Abhängigkeit von der Temperatur des Dampf-Luft-Gemisches zu entlüften. Dafür bieten sich thermische Kondensatableiter an.

Sie haben vor allem die Aufgabe, Kondensat durchzulassen und zu verhindern, dass gleichzeitig Dampf entweicht. Fällt unterkühltes Kondensat an, öffnen sie (Unterkühlung heißt: Temperatur unter der zum Druck gehörenden Dampftemperatur). Wird die Unterkühlung geringer, drosseln sie und sind geschlossen, bevor Dampf ins Gerät gelangt.

Nicht das Medium also, sondern Temperatur und Druck sind für die Steuerung dieser Ableiter maßgebend. Da bei Anwesenheit von Luft nicht mehr die Sattdampftemperatur zum herrschenden Druck vorhanden ist, öffnen sie und lassen ein Luft-Dampf-Gemisch entweichen. Je größer der Luftanteil, je mehr lassen sie durch und umgekehrt.

Als Entlüfter kommen in Frage

GESTRA Kondensatableiter, Baureihe BK, (Fig. 4)
GESTRA Kondensatableiter, Baureihe MK (Fig. 5 und Fig. 6)

Näheres über Aufbau und Funktion ist den entsprechenden Druckschriften zu entnehmen.

Für normale Entlüftungsaufgaben können BK mit Werkseinstellungen sowie MK mit „N“ (Normal)-Regelmembran verwendet werden. Wo es auf sehr exakte Entlüftung ankommt, ist der BK insofern vorteilhaft, als man diesen so einstellen kann, dass eine gesteigerte Luftausschleusung erzielt beziehungsweise eine ständige Strömung aufrechterhalten wird – auch bei sehr kleinem Luftanteil. Der MK lässt sich nicht verstellen.



Fig. 4 GESTRA Rhombusline® BK 45



Fig. 5 GESTRA Rhombusline® MK 45



Fig. 6 GESTRA Kondensomat® MK 36/51

Einbau der Entlüfter

Die Entlüftungsleistung wird aus der zu entlüftenden Zone des Heizraumes herausgeführt. Die Leitung sollte stets mit großer Steigung – am besten senkrecht – zum Entlüfter verlaufen. Dadurch kann das in diesem Leitungsstück entstehende Kondensat zurückströmen. Wassersäcke vor dem Entlüfter würden die Entlüftung verhindern.

Zwischen Abgang und Entlüfter sollte eine unisolierte Rohrstrecke von mindestens 1 m angeordnet werden (Entmischungsrohr). Durch teilweise Kondensieren des Dampfanteils in diesem Rohr verringert sich der Dampfpartialdruck. Das führt zu einem Temperaturabfall und somit zu einer gesteigerten Luftausschleusung (Fig. 6). Durch die ständige Kondensation einer geringen Dampfmenge wird auch immer eine Strömung in Richtung Entlüfter erzeugt.

Die Leitung hinter dem Entlüfter muss so kurz wie möglich gehalten werden, damit sich hier keine Kondensatsäule bilden kann. Sie würde sonst den Differenzdruck für den Entlüfter verringern und somit die Entlüftungsleistung schmälern. Das wirkt sich vor allem dann sehr negativ aus, wenn der Druck im Heizraum sehr niedrig ist.

Entlüftungsbeispiele

Die folgenden Abbildungen zeigen Wärmeübertrager, die zusätzlich entlüftet beziehungsweise entgast werden müssen, und die Zone, in denen erfahrungsgemäß Entlüfter anzuordnen sind.

Fig. 7 Wärmeübertrager mit großvolumigen Heizräumen, die durch Kondensatableiter entwässert werden.

- Rohrbündel-Wärmeübertrager werden verwendet als Heißwasserbereiter, Vorwärmer, Luftheritzer und andere.
- Mantelbeheizte Apparate sind Koch- oder Rührwerkskessel, Braupfannen, Trockner, Heizmulden, Destillierblasen und andere.
- Autoklaven sind dampfdicht verschließbare Gefäße zum Erhitzen von Stoffen unter Druck, zum Beispiel Härtekesel, Kochbehälter, Sterilisatoren, Vulkanisierkammern, Textilfixierer und andere. Je nach Einspeisung des Dampfes werden hier eventuell mehrere Entlüfter notwendig, vor allem dann, wenn aus dem Produkt während des Aufheizens auch andere Gase als Luft frei werden.

Fig. 8 Entlüftung von Verdampfern, die mit Brühdampf beheizt werden.

Brühdampf ist ein Sekundärdampf, der entweder durch Nachverdampfung entsteht (zum Beispiel Spannungsdampf hinter Kondensatableitern) oder, wie in Verdampfern, durch Verdampfung des Wassers aus dem Produkt.

Verdampferanlagen sind in der Regel mehrstufig ausgeführt, wie zum Beispiel in der Zuckerindustrie. Die erste Stufe wird mit Frischdampf beheizt.

Die nächsten Stufen immer je mit dem Brühdampf aus der vorhergehenden. Da dieser Brühdampf meist mit anderen nichtkondensierenden Gasen (neben Luft auch N, NH₃, CO₂ und andere) angereichert ist, die ebenfalls mit in die nächste Verdampferstufe gelangen, wird die Heizleistung stark verringert. Weil zudem die Einzelgase unterschiedliche relative Molekularmassen aufweisen, sind pro Verdampfer mehrere Entlüftungsstellen in verschiedenen Höhen und Zonen notwendig. Jede Entlüftungsstelle muss durch einen eigenen Entlüfter entlüftet werden. Er ist jeweils am Ende der Entlüftungsleitung zu installieren, wie Schaltung „a“ zeigt. Sollen die Leitungen hinter den Entlüftern höher gezogen werden, zum Beispiel über Dach, so lassen sich nach Schaltung „b“ die einzelnen Leitungen zu einer Sammelleitung zusammenfassen, die aber entwässert werden muss. Um in geschlossenen Räumen eine Geruchsbelästigung zu vermeiden, sollte die Entwässerungsleitung unter Niveau in einen Wasserbehälter münden, oder in der Leitung muss sich eine Wasserschleife befinden. Die Sammelleitung kann auch mit Gefälle direkt ins Freie führen, Schaltung „c“.

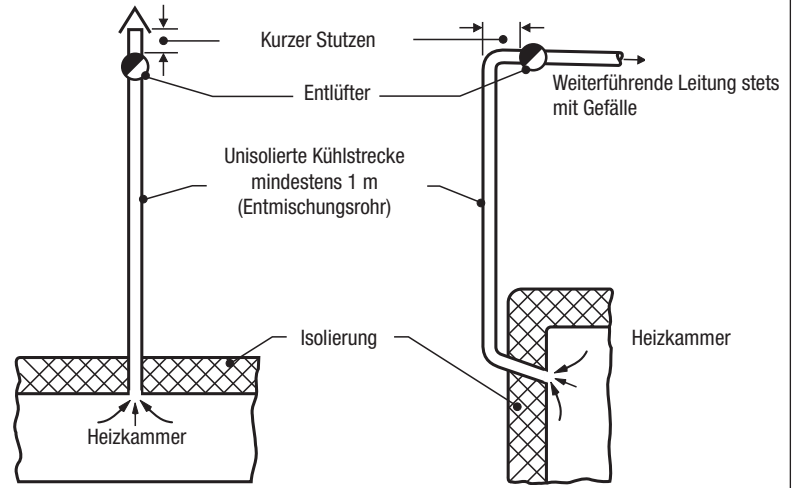
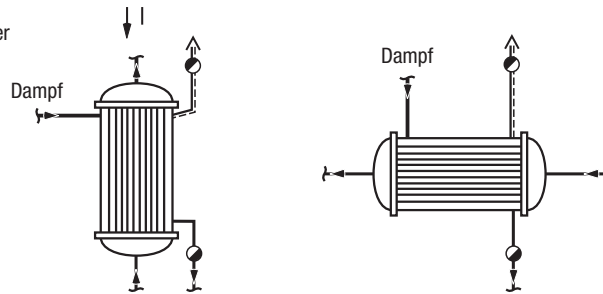
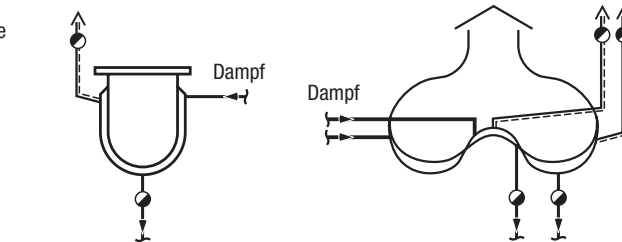


Fig. 7 Richtige Anordnung der Entlüftung

a) Rohrbündel-Wärmetauscher



b) mantelbeheizte Apparate



c) Autoklaven

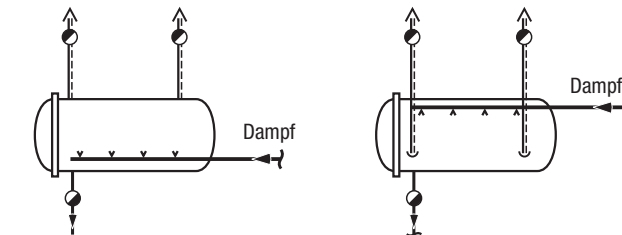
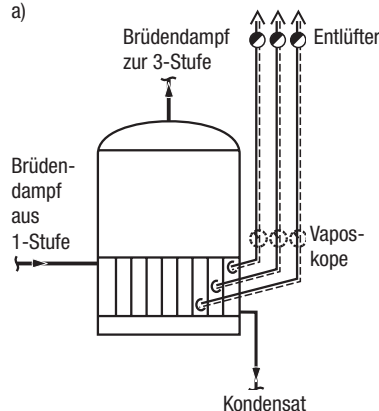
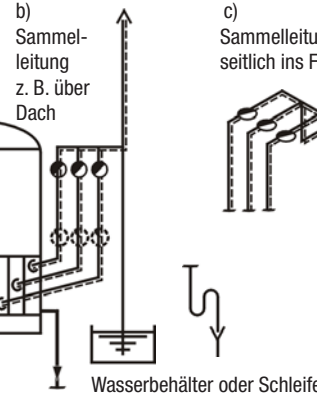


Fig. 8 Anordnung der Entlüfter an Wärmeübertragern mit großvolumigen Heizräumen

a)



b)



c) Sammelleitung mit Gefälle seitlich ins Freie

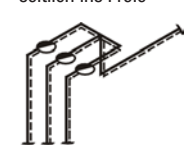


Fig. 9 Entlüftung Brühdampf-beheizter Verdampfer

Fig. 9 Niveauabhängig entwässerte Wärmeübertrager.

Sie sollten – welcher Bauart auch immer – grundsätzlich geringfügig über dem maximalen Niveau entlüftet werden. Da die Luft nicht durch die Wasservorlage entweichen kann, reichert sie sich hier an. Führt man sie nicht ab, verursacht sie neben der verminderten Wärmeleistung auch erhebliche Korrosion in Höhe der Grenzschicht an der Behälterwand.

Fig. 10 Wärmeübertrager nach dem Thermo-Siphon-Prinzip.

Wird ein Wärmeübertrager nach dem Thermo-Siphon-Prinzip beheizt und entwässert – weil eine andere Möglichkeit der Nutzung des Entspannungsdampfes nicht gegeben ist – so muss vor und hinter dem Wärmeübertrager entlüftet werden, damit bei der Inbetriebnahme der Thermo-Siphon-Umlauf zustande kommt.

Fig. 11 Entlüftung eines Entspanners im geschlossenen Dampf-Kondensat-Kreislauf.

Entspanner sind Druckbehälter, in denen die Trennung des Entspannungsdampfes vom Kondensat erfolgt. Sie werden dann eingesetzt, wenn der Entspannungsdampf aus den Hochdruck-Wärmeübertrager zur Beheizung von Niederdruck-Übertragern mitverwendet werden soll. Wenn nun einzelne Hochdruck-Übertrager häufig an- und abgeschaltet werden, gelangt auch viel Luft in den Entspanner. Die Luft würde mit dem Entspannungsdampf in die Niederdruck-Übertrager gelangen und hier die Wärmeleistung verringern. Deshalb ist es ratsam, vorher soviel Luft wie möglich abzuführen. Die beste Möglichkeit bietet die Entspanner-Entlüftung.

Fig. 12 Weiträumige Dampfanlagen.

Wenn große, weiträumige Dampfanlagen häufig in Betrieb genommen und wieder abgestellt werden müssen, aber vermieden werden soll, dass die gesamte Luft aus der Dampfleitung in die Wärmeübertrager gelangt, so ist die Dampfleitung zu entlüften.

Damit die Luft zum Entlüfter gelangt und nicht vom einströmenden Dampf über den Entlüftungsanschluss hinweggerissen wird, empfiehlt es sich, die Entlüfter hauptsächlich an Leitungsbögen und am Leitungsende anzuordnen. Ein besserer Entlüftungseffekt lässt sich außerdem noch erzielen, wenn an der Entlüftungsstelle ein Sammelstutzen oder Entlüftungsdom vorgesehen und aus diesem die Leitung zum Entlüfter geführt wird.

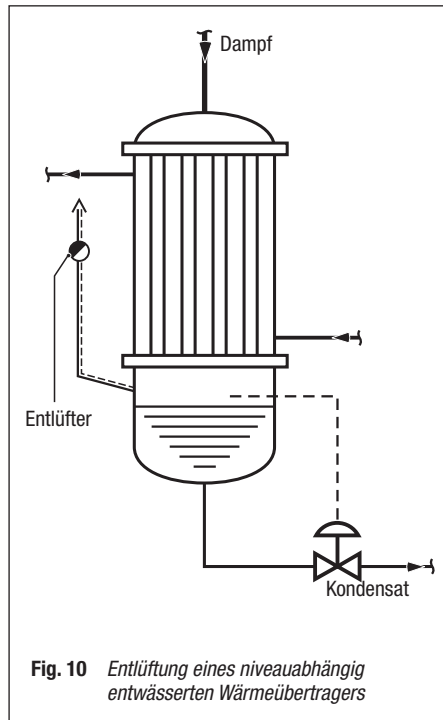


Fig. 10 Entlüftung eines niveauabhängig entwässerten Wärmeübertragers

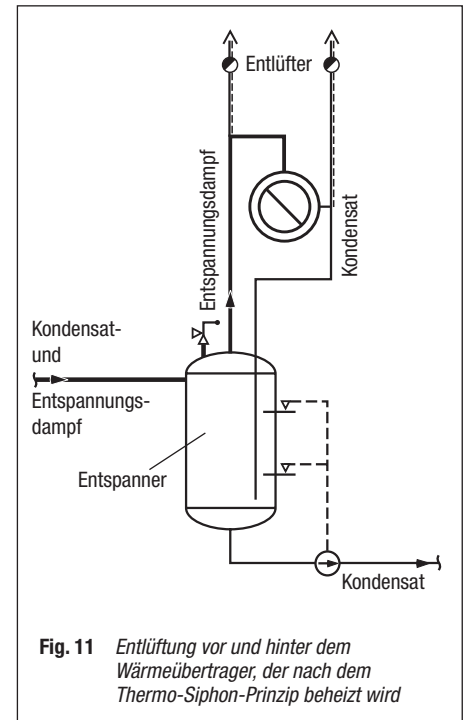


Fig. 11 Entlüftung vor und hinter dem Wärmeübertrager, der nach dem Thermo-Siphon-Prinzip beheizt wird

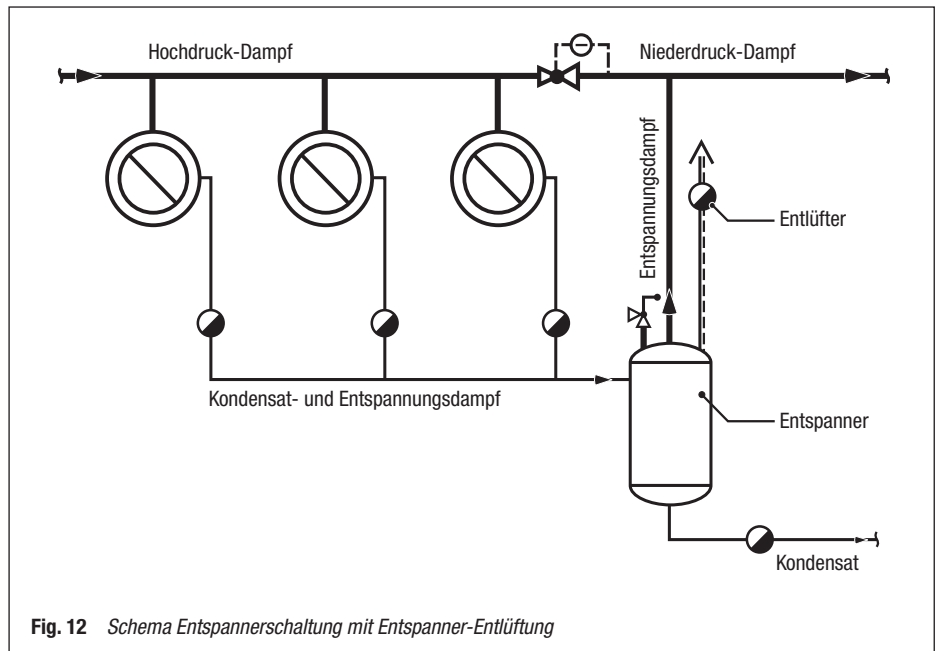


Fig. 12 Schema Entspannerschaltung mit Entspanner-Entlüftung

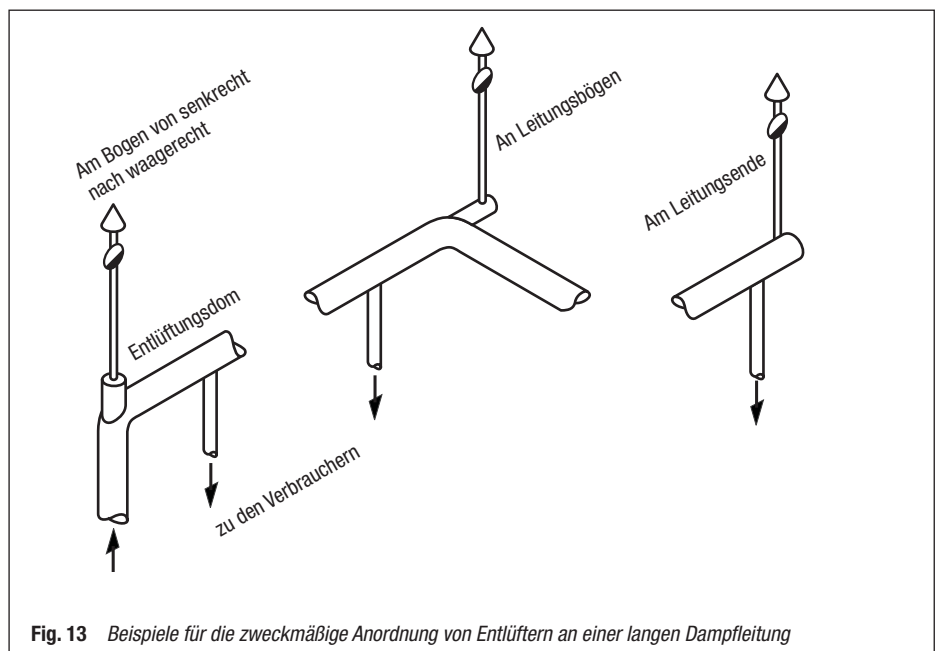


Fig. 13 Beispiele für die zweckmäßige Anordnung von Entlüftern an einer langen Dampfleitung

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@flowserve.com, Internet www.gestra.de



GESTRA