

DAMPFSTERILISATOREN SEIT 1888

Lautenschläger

WISSENSWERTES

Reindampfversorgungs- leitungen für die Dampfsterilisation

Lautenschläger Schriftenreihe Band 2

Susanne Meurer / Markus Meurer

INNOVATIVE TECHNIK
FÜR MEDIZIN & HYGIENE



Reindampfversorgungs- leitungen für die Dampfsterilisation

Wasserdampf ist in vielen industriellen Bereichen ein effizienter Energie- und Wärmeträger. In der Energietechnik sind Versorgungssysteme für Heiz- und Prozessdampf daher seit jeher bewährte Praxis. Hierbei spielt die chemische Reinheit des Dampfes kaum eine Rolle. Dem Kesselwasser werden bei der Dampferzeugung vielmehr Stabilisatoren und Korrosionsinhibitoren zugesetzt, die sich dann auch im Dampf wiederfinden. Bei der Materialauswahl für Heiz- und Prozessdampfleitungen stehen oft der Verschleiß und die Lebensdauer im Vordergrund, nicht aber die chemische Zusammensetzung des Dampfes. Auch wird der Dampf in Heiz- und Prozessdampfleitungen in der Regel bewusst deutlich überhitzt, um den Kondensatanfall durch Wärmeverluste in den Transportleitungen zu minimieren.

Reindampfversorgungssysteme für die Dampfsterilisation oder Dampfdesinfektion in medizinischen Anwendungen, im Labor oder in industriellen und pharmazeutischen Anwendungen unterliegen jedoch gänzlich anderen Anforderungen. Der Dampf soll keine Verunreinigungen enthalten und möglichst frei von nichtkondensierbaren Gasen sein. Darüber hinaus darf Dampf für Sterilisationszwecke weder

überhitzt sein, noch darf er übermäßig viel Feuchte enthalten. Möglichst ideale Sattdampfbedingungen werden angestrebt.

Die vorliegende Broschüre ist mit der Zielsetzung verfasst worden, die Anforderungen an Reindampfversorgungssysteme in der Dampfsterilisationstechnik zu beschreiben und technische Lösungsmöglichkeiten aufzuzeigen.

Diese zweite Auflage ist gegenüber der 1. Auflage aus dem Jahr 2021 nochmals erweitert worden, wobei insbesondere Anregungen unserer Leser eingeflossen sind. Wir bedanken uns für das rege Interesse an dieser Veröffentlichung und würden uns freuen, wenn wir mit den hier zusammengefassten Hinweisen für die Konstruktion von Reindampfleitungen in Sterilisationsanwendungen auch weiterhin einen Beitrag zur Verbesserung der Effizienz und Sicherheit von Sterilisationsanwendungen leisten können.

Köln, im November 2022

Susanne Meurer / Markus Meurer

Auflage

2. Auflage, November 2022

Herausgeber

F. & M. Lautenschläger GmbH & Co. KG
Zum Engelshof 1
50996 Köln
www.lautenschlaeger.net
info@lautenschlaeger.net
+49 221 35017 0

Rechtliche Hinweise

Alle Inhalte dieser Broschüre insbesondere Texte, Fotografien und Grafiken, sind urheberrechtlich geschützt. Das Urheberrecht liegt, soweit nicht ausdrücklich anders gekennzeichnet, bei der F. & M. Lautenschläger GmbH & Co. KG, Köln. Bitte sprechen Sie uns an, falls Sie die Inhalte dieser Broschüre verwenden möchten.

Diese Broschüre stützt sich auf eigene Untersuchungen, bekanntes Fachwissen sowie allgemein zugängliche Literatur. Die entsprechenden Quellen sind im Text vermerkt, Zitate sind jedoch vielfach gekürzt wiedergegeben. Der guten Ordnung halber weisen wir darauf hin, dass für die Richtigkeit und Vollständigkeit keine Gewähr übernommen wird.

1. Einführung	4
1.1 Anforderungen an Sterilisationsdampf.....	4
1.2 Dampfqualitäten.....	4
Reindampf.....	4
Reinstampf.....	4
2. Auslegung von Reindampfleitungen	5
2.1 Materialauswahl.....	5
Korrosion von Edelstählen.....	5
2.2 Leitungsdimensionierung.....	5
Strömungsgeschwindigkeit.....	6
Nennweite.....	6
Nenndruck.....	7
2.3 Druckreduzierstationen.....	7
2.4 Druckabsicherung.....	7
3. Verlegen von Reindampfleitungen	8
3.1 Allgemeine Verlegeregeln.....	8
3.2 Gefälle in Dampfleitungen.....	9
Kondensatbildung.....	9
Entwässerung.....	10
3.3 Dampfverteiler.....	11
3.4 Dampfanschluss des Sterilisators.....	11
3.5 Kondensatableiter.....	11
3.6 Isolierung der Dampfleitung.....	12
3.7 Wärmedehnung von Dampfleitungen.....	13
Wasserdampftabelle	14
Weiterführende Informationen	15
Weiterführende Literatur.....	15
Die Autoren.....	15
Der Herausgeber.....	15

1. EINFÜHRUNG

1.1 Anforderungen an Sterilisierdampf

Dampf für Sterilisationsprozesse soll Satttdampf sein, der frei von Verunreinigungen ist und keine nicht-kondensierbaren Gase enthält.

Verunreinigungen im Sterilisierdampf gelangen in den Sterilisator und werden auf das Sterilisiergut übertragen. Sie können dadurch das Sterilisiergut beschädigen oder verunreinigen, unerwünschte Beläge bilden oder Patienten gefährden. Die Rückstände im Dampf können dabei aus dem Speisewasser, dem Dampfkessel oder aus den Dampfleitungen stammen.

Um das Speisewasser und die nachgeschalteten Dampfversorgungssysteme als Fehlerquelle auszuschalten, wird daher in Dampfsterilisationsprozessen üblicherweise aufbereitetes und entionisiertes Reinstwasser als Speisewasser für die Sterilisierdampferzeugung verwendet. Der Rein- oder Reinstdampf enthält so geringe Restverunreinigungen, dass sich keine Rückstände auf dem Sterilisiergut bilden.

Reiner Wasserdampf und hochreines Kondensat verhalten sich bei den in der Dampfsterilisation üblichen Temperaturen äußerst aggressiv gegenüber vielen Werkstoffen. Aus Kupferwerkstoffen und sogar aus vielen Stählen werden Legierungsbestandteile herausgelöst, die später auf dem Sterilgut nachgewiesen werden können. Darüber hinaus können leicht Korrosionseffekte auftreten.

Sterilisierdampf soll im Satttdampfzustand vorliegen, das heißt, dass er weder überhitzt sein darf, da überhitzter Dampf nur eine geringe Sterilisierwirkung hat, noch dass er zu große Feuchtigkeitsanteile enthalten darf. Nassdampf führt zu einer zu starken Durchfeuchtung des Sterilisiergutes, so dass sich kalte Stellen in der Beladung bilden können und die in vielen Sterilisationsprozessen am Zyklusende geforderte Trocknung des Guts unmöglich wird.

Die in Heiz- und Prozessdampfsystemen übliche Überhitzung des Dampfes zur Verminderung des Kondensatanfalls in Rohrleitungen darf daher in Sterilisierdampfsystemen nicht zum Einsatz kommen.

1.2 Dampfqualitäten

Für Sterilisierzwecke wird Wasserdampf eingesetzt, der aus aufbereitetem und entionisiertem, also chemisch möglichst reinem Wasser hergestellt wird: sogenannter **Reindampf**.

Für medizinische Anwendungen gibt DIN EN 285 Mindestanforderungen für die Leitfähigkeit, den pH-Wert und die Konzentration kritischer Komponenten wie Silizium, Chlorid und weitere Metall- und Schwefelverbindungen im Speisewasser, im Kesselwasser und im Dampfkondensat an.

Als **Reinstdampf** wird Sterilisierdampf für Anwendungen mit besonders hohen Anforderungen in bezug auf die chemische Reinheit des Dampfes bezeichnet. Hierunter können beispielsweise spezielle pharmazeutische Anwendungen fallen. Die chemische Zusammensetzung von Speisewasser und Dampf muss hierfür gesondert spezifiziert werden. Allgemeingültige normative Vorgaben existieren nicht.

In der Vergangenheit war es üblich, für Anwendungen mit geringen Reinheitsanforderungen wie die Abfalldesinfektion im Labor oder die Müllsterilisation in Krankenhäusern **Heiz- oder Prozessdampf** im Satttdampfzustand als Sterilisationsmedium zu verwenden. Auch wenn diese Technik noch in einigen Bestandsanlagen anzutreffen ist, kommt sie bei Neuinstallationen im Allgemeinen nicht mehr zum Tragen.

2. AUSLEGUNG VON REINDAMPFLEITUNGEN

2.1 Materialauswahl

Heißes, vollentsalztes Wasser ist äußerst aggressiv. Um Korrosion und die Verunreinigung durch Korrosionsprodukte oder aus dem Werkstoff herausgelöste Komponenten zu vermeiden, müssen alle Bauteile in Reindampfversorgungssystemen, die mit vollentsalztem Wasser, Reindampf und heißem Dampfkondensat in Berührung kommen, aus hochlegierten Edelstählen oder geeigneten Kunststoffen gefertigt sein. Insbesondere Kupferwerkstoffe wie Rotguss oder Messing, Nickelwerkstoffe und unlegierte Stähle sind unbedingt zu vermeiden.

Für Dampfleitungen in Reindampfsystemen kommen üblicherweise nahtlose Rohre nach DIN EN 10216-5 oder geschweißte Rohre nach DIN EN 10217-7 zum Einsatz. Die Anwendungsbereiche sind entsprechend den erforderlichen Betriebsdrücken und Leitungsdurchmessern zu prüfen. Häufig eingesetzte Werkstoffe sind 1.4571 und 1.4404.

In älteren Installationen findet man auch heute noch Leitungen aus minderwertigen Werkstoffen wie Schwarzstahl oder vernickeltem Stahl. Um Ablagerungen auf dem Sterilisiergut und Schäden am Sterilisator zu verhindern, befindet sich häufig ein Partikelfilter kurz vor dem Sterilisator in der Reindampfleitung, der Rostpartikel abscheiden soll. Eine solche Installation entspricht jedoch auch für Sterilisationsaufgaben mit geringen Reinheitsanforderungen wie der Abfalldesinfektion im Labor oder im Krankenhaus nicht mehr dem Stand der Technik.

Korrosion von Edelstählen

Für Reindampfleitungen, Reindampferzeuger und Reindampfversorgungssysteme sind hochlegierte rostfreie Edelstähle (Cr-Ni-Stähle) der geeignete Werkstoff. Rostfreien Stählen sind Legierungsbestandteile (insbesondere Chrom, Nickel, Molybdän, Titan) zugegeben, durch die sich an der Luft eine dünne Schutzschicht (Passivschicht) bildet, die den Grundwerkstoff Eisen vor Luftsauerstoff schützt und verhindert, dass der Stahl rostet. Wird die Schutzschicht verletzt, regeneriert sie sich selbst.

Trotzdem kann es bei rostfreien Stählen zu Korrosion kommen. Wichtige Erscheinungsformen der Korrosion bei CrNi-Stählen sind Lochfraß und Spannungsrisskorrosion.

Lochfraß wird vor allem durch Halogenide, also Chlor-, Iod- und Brom-Ionen begünstigt. Chlorid kommt meist als Natrium-Chlorid, also Kochsalz, vor. Chlorid setzt sich in der Passivschicht fest und

verhindert, dass der Schutz an dieser Stelle erneut aufgebaut werden kann. Diese Stelle bietet nun einen Angriffspunkt für Korrosion, die sich kanalförmig in den Werkstoff ausbreitet. Einmal begonnener Lochfraß kann nicht mehr gestoppt werden. Spannungsrisskorrosion befällt einige Legierungen, darunter auch CrNi-Stahl. Unter dem gleichzeitigen Einfluss von Zugkräften und eines chemischen Angriffsmittels (z.B. Chlorid) entstehen kleine Risse, die sich in sehr kurzer Zeit durch das Material fressen können. Typische Korrosionsprodukte (Rost) sind nicht zu sehen.

Um korrosionsbedingte Schäden an Reindampfleitungen und Reindampferzeugern zu vermeiden, ist daher unbedingt darauf zu achten, dass das eingesetzte Speisewasser und der daraus erzeugte Sterilisierdampf frei von Halogeniden und insbesondere frei von Chlorid sind.

2.2 Leitungsdimensionierung

Dampfsterilisationsprozesse verlaufen stark diskontinuierlich. Zu Beginn eines Zyklus wechseln sich Vakuumschritte und Dampfstöße ab, um die Luft aus der Sterilisationskammer zu entfernen, diese durch Dampf zu ersetzen und gleichzeitig das Sterilisiergut aufzuwärmen. Dieses fraktionierte Entlüften bedingt, dass Sterilisatoren den Dampf stoßweise verbrauchen.

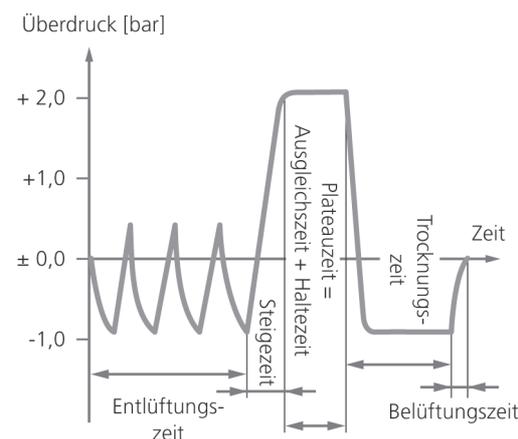


Bild 1: Prozessschritte des fraktionierten Vakuumverfahrens

Der Spitzenbedarf und damit die Auslegeleistung für Dampferzeuger und Dampfleitungen wird dabei im Wesentlichen durch die Größe der verwendeten Dampfventile bestimmt. Größere Ventile ermöglichen

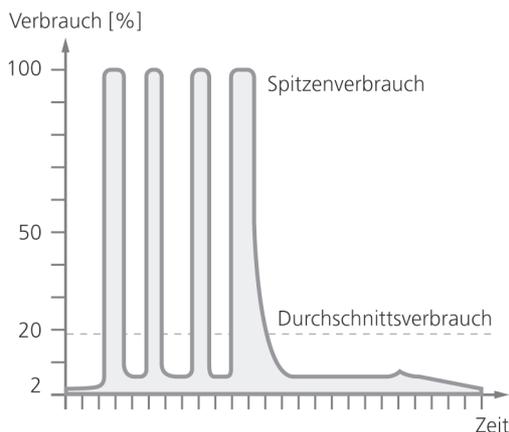


Bild 2: Schematische Darstellung des Dampfbedarfs eines Dampfsterilisators

kurze Prozesszeiten, erfordern aber auch eine höhere Kapazität des Dampferzeugers und Reindampfleitungen mit größerer Nennweite. Reindampferzeuger und Reindampfleitungen für Sterilisationszwecke müssen daher speziell auf diese hohen Bedarfsspitzen abgestimmt sein (vgl. Bild 2).

Dementsprechend ist es nicht ausreichend, den durchschnittlichen Dampfverbrauch eines Zyklus und die mittlere Zykluszeit für die Berechnung der Rohrleitungsnennweiten heranzuziehen. Vielmehr ist die Nennweite der Reindampfleitungen für den kurzfristigen Spitzenbedarf des Dampfsterilisators beim Öffnen des Dampfventils auszulegen, der oft mit 150 bis 300 kg/h zu veranschlagen ist.

Strömungsgeschwindigkeit

Je schneller ein Medium durch eine Rohrleitung strömt, desto höher wird der Druckverlust bzw. Druckabfall in einem Leitungsstück. Dieser Druckabfall resultiert hauptsächlich aus der Reibung des in der Leitung transportierten Mediums an der Rohrwand.

Hohe Mediengeschwindigkeiten verursachen daher Erosion an den inneren Rohrwandungen. Kondensattröpfchen, die in jeder Sattedampfleitung mitgeführt werden, verstärken diesen Effekt noch. Die Lebensdauer der Leitung sinkt. Darüber hinaus ergibt sich bei hohen Mediengeschwindigkeiten aus dem entsprechend hohen Druckverlust im Leitungsstück ein größerer Energiebedarf für den Transport des Mediums in der Leitung.

Um den Druckabfall in dem Leitungsstück zu reduzieren, kann man dementsprechend einen größeren

Leitungsdurchmesser wählen, wodurch jedoch die Investitionskosten für die Leitung und ihre Isolierung ansteigen.

Als technisches und wirtschaftliches Optimum zwischen einer noch akzeptablen Leitungsbeanspruchung, den Energiekosten und dem Investitionsaufwand sollte die Strömungsgeschwindigkeit in einer kurzen **Sattedampfleitung 25 m/s** nicht überschreiten. In einer langen Sterilisierdampfleitung, beispielsweise wenn der Sterilisierdampf aus einer Technikzentrale bis zum Sterilisator geführt wird, sollten geringere Geschwindigkeiten von 15 - 20 m/s gewählt werden. Die für die Berechnungen erforderlichen Stoffdaten (Dichte, Temperatur, Druck) des Sattedampfs kann man in ausreichender Genauigkeit der Literatur entnehmen [z.B. VDI2019].

Nennweite

Im Rohrleitungsbau ist es üblich, nicht für jede Anwendung exakt dimensionierte Leitungsquerschnitte zu verwenden, sondern auf standardisierte Rohrleitungsdurchmesser zurückzugreifen. Diese standardisierten Rohrleitungsdurchmesser werden als Nennweite bezeichnet und mit DN (**D**iameter **N**ominal) abgekürzt. Die üblicherweise zum Einsatz kommenden Nennweiten für Sterilisierdampfleitungen sind DN 15, 20, 25, 32, 40, 50, 65, 80, 100. Von Stufe zu Stufe steigen die freien Leitungsquerschnitte dabei um jeweils etwa 55 - 75%.

Je nach Druckstufe einer Leitung und dem gewählten Leitungsmaterial sind unterschiedliche Außendurchmesser und Wandstärken für Rohrleitungen, Verbindungsstücke und Armaturen festgelegt. Damit kann jedoch der echte Innendurchmesser einer Rohrleitung bei gleicher Nennweite abweichen. Das nachfolgende Beispiel zeigt, dass er jedoch meist geringfügig größer als die Nennweitenangabe ist.

DN	Material	Maße [mm]	Innendurchm. [mm]
50	1.4571	60,3 x 2,6	55,1
50	Kupfer	54,0 x 1,5	51,0

Bei der Berechnung des erforderlichen Leitungsquerschnitts für eine neu zu errichtende Dampfleitung ergibt sich in aller Regel ein Innendurchmesser, der zwischen zwei Nennweiten liegt. Man wählt dann entsprechend die nächst größere Nennweite aus. Liegt der erforderliche Innendurchmesser jedoch nur knapp über der nächst kleineren Nennweite, kann durch eine detaillierte Berechnung mit dem echten Leitungsinndurchmesser geprüft werden, ob die kleinere Nennweite ausreichend ist.

Nenndruck

Ähnlich zur Nennweite ist es im Rohrleitungsbau üblich, auch bei den zulässigen Betriebsüberdrücken der Rohrleitungen standardisierte Druckstufen bzw. Nenndrücke, abgekürzt PN (**P**ressure **N**ominal), zu verwenden.

Der Nenndruck bezeichnet dabei den zulässigen Höchstdruck bei 20°C. Da die mechanische Festigkeit der Rohrleitungswerkstoffe mit steigender Temperatur abnimmt, sinkt auch der zulässige Betriebsdruck einer Leitung bei höheren Temperaturen. Die anzuwendenden europäischen Rohrleitungsnormen geben dazu detaillierte Hinweise.

Üblicherweise kommen für Sterilisierdampfleitungen die Nenndrücke PN 6, 10 und 16 zum Einsatz.

2.3 Druckreduzierstationen

Reindampferzeuger für Dampfsterilisationsanwendungen werden meist bei Arbeitsdrücken zwischen 3 und 4 bar(ü) betrieben. Lautenschläger-Sterilisatoren verfügen über integrierte Druckregleinrichtungen, so dass in aller Regel keine zusätzlichen Druckregel- oder Druckreduzierstationen in der Sterilisierdampfleitung erforderlich sind.

Sofern Sterilisatoren eingesetzt werden, für die vom Hersteller die Reduzierung des Dampfdruckes oder sogar eine Druckregelung in der Sterilisierdampfleitung gefordert wird, ist die Spezifikation der Regleinrichtung in Bezug auf ihre Regelgenauigkeit, die Reproduzierbarkeit und den Regelbereich beim Hersteller des Sterilisators zu erfragen.

Wird der Sterilisierdruck über die Dampfversorgung geregelt, muss der für den Prozess erforderliche Absolutdruck im Dampfsystem mit einer Genauigkeit von höchstens +/- 100 mbar eingehalten werden.

In jedem Fall ist aber zu beachten, dass eine Druckreduzierung bei Sattedampf dazu führt, dass der Dampf nach der Reduzierung überhitzt ist. Die Höhe der Überhitzung ist vom Druckverhältnis abhängig.

Zwischen der letzten Druckreduzierstation und dem Sterilisator soll daher immer eine Leitungslänge von mindestens 5 m vorhanden sein, um den Dampf nochmals zu konditionieren. Bei einer erforderlichen Reduzierung des Sterilisierdampfdruckes auf weniger als die Hälfte des Eingangsdrucks, ist eine mehrstufige Druckreduzierung zu bevorzugen.

Mit sinkendem Steriliserdampfdruck muss die Nennweite der Leitung vergrößert werden.

2.4 Druckabsicherung

Um zusätzliche Einrichtungen zur Druckabsicherung wie Berstscheiben, Sicherheitsventile oder Sicherheitsdruckschalter in einer Reindampfleitung zu vermeiden, ist für die Festigkeitsberechnung der Rohrleitung mindestens der maximale Arbeitsdruck des Reindampferzeugers anzusetzen. Eine so ausgelegte Sterilisierdampfleitung ist eigensicher und benötigt keine zusätzlichen Sicherheitseinrichtungen.

Zusätzliche Druckabsicherungen in der Leitung sind jedoch dann erforderlich, wenn der Hersteller des Sterilisators Vorgaben zum maximalen Sterilisierdampfdruck am Übergabepunkt macht und dieser Druck niedriger als der maximale Arbeitsdruck des Dampferzeugers (Ansprechdruck der Sicherheitseinrichtung) ist.

Die Abblaseleistung eines Sicherheitsventils oder einer Berstscheibe in einer Dampfleitung ist korrekt ausgelegt, wenn die maximal mögliche Einspeisemenge aller Dampferzeuger beim Abblasedruck vollständig abgeführt werden kann.

3. VERLEGEN VON REINDAMPFLEITUNGEN

3.1 Allgemeine Verlegeregeln

Der Dampfverbrauch von Dampfsterilisatoren ändert sich während des Prozesses ständig (vgl. Bild 2). Beim Öffnen des Dampfventils zur evakuierten Sterilisationskammer durchströmt der Dampf das Dampfventil mit Schallgeschwindigkeit. Dieser schnell strömende Dampf saugt Kondensat und nicht kondensierbare Gase aus eventuell vorhandenen Wassersäcken und toten Leitungsenden und reißt sie mit in das Sterilisiertgut. Ausreichende Entlüftung und Entwässerung der Sterilisierdampfleitung sowie die Vermeidung von toten Enden und Wasseransammlungen ist damit wesentlich für den Sterilisationserfolg und das Trocknungsergebnis.

Dampfsterilisatoren müssen mit frischem, strömendem Dampf versorgt werden. Die Installation der Reindampfversorgungsleitungen hat dabei entscheidenden Einfluss auf die Dampfqualität. So sind sehr lange Stichleitungen (> 30 m Länge) zur Versorgung

eines Dampfsterilisators und Leitungen mit stagnierendem Dampf zu vermeiden.

In toten Leitungsenden sammelt sich Kondensat, im Kondensat wiederum Fremdstoffe und über dem Kondensat nicht kondensierbare Gase. Kann ein totes Leitungsende nicht vermieden werden, ist es mit kontinuierlichem Gefälle zu versehen und am tiefsten Punkt zu entwässern und zu entlüften.

Auch jeder absperrbare Dampfraum muss entwässert und entlüftet werden. Eine Entwässerung und eine Entlüftung müssen sich auch stets an lokalen Tiefpunkten der Reindampfversorgungsleitung und am Ende einer Versorgungsleitung am tiefsten Punkt befinden. Ein Sterilisator sollte daher niemals ganz am Ende einer Versorgungsleitung angeschlossen sein, sondern an einem Dampf abzweig, der kurz vor Ende der Leitung abgenommen wird.

Reindampfleitungen sind ausreichend zu isolieren, um Wärmeverluste und damit übermäßige Kondensat

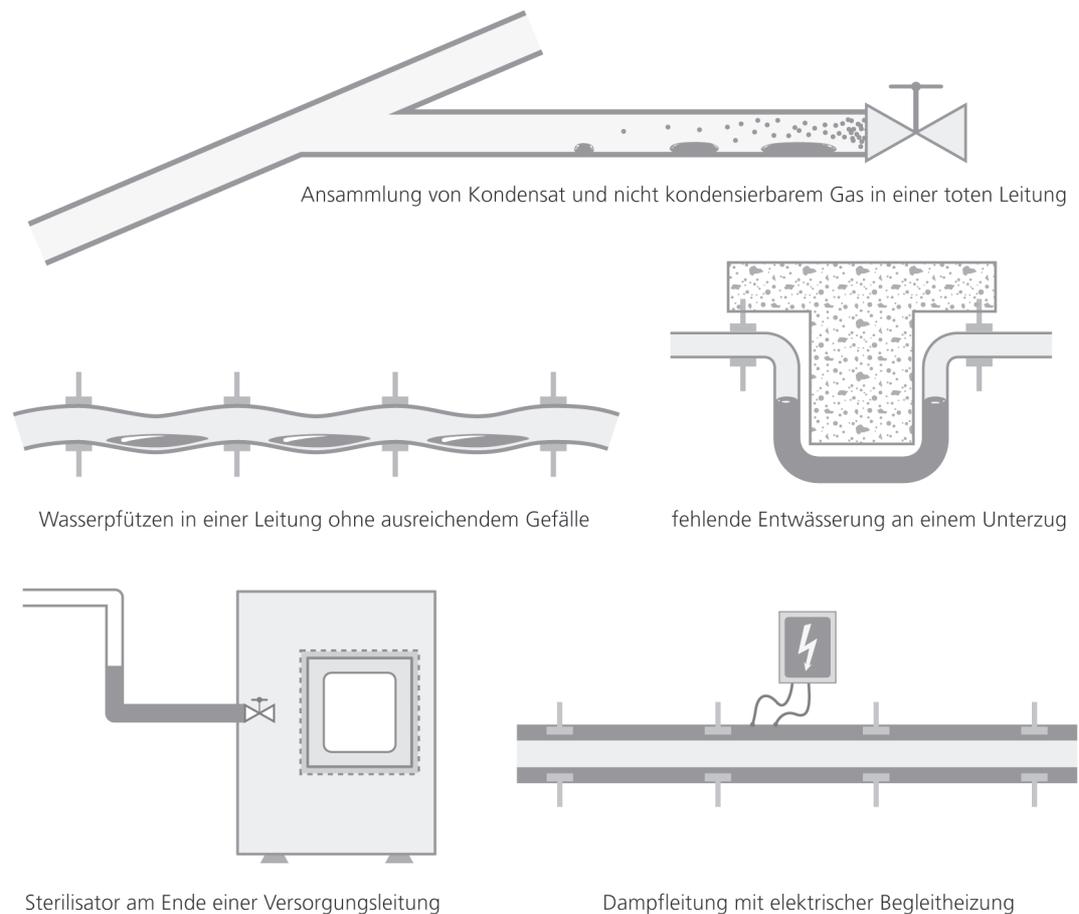
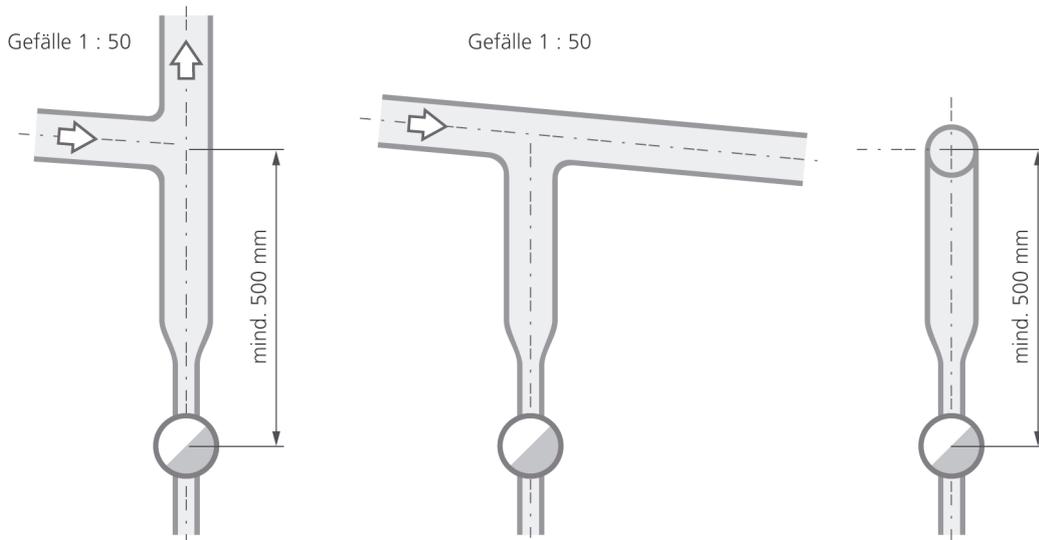


Bild 3: Mängel bei der Verlegung von Sterilisierdampfleitungen



Dampfleitung stets mit Gefälle in Strömungsrichtung
 Abzweig für Entwässerung muss gleichen Querschnitt wie Dampfleitung haben

Bild 4: Entwässerung von Dampfleitungen

satbildung zu vermeiden. Begleitheizungen zur Verhinderung der Kondensatbildung sind dagegen unzulässig, da der Dampf durch die Heizenergie überhitzt wird. Überhitzter Dampf zeigt jedoch eine deutlich schlechtere Sterilisationswirkung als Sattdampf.

Bild 3 verdeutlicht die oben beschriebenen Mängel bei der Verlegung von Sterilisierdampfleitungen.

3.2 Gefälle in Dampfleitungen

Dampfführende Leitungen sind immer mit Gefälle in Richtung des Sterilisators, also in Richtung der Dampfströmung zu verlegen, damit sich Kondensat und Dampf nicht gegenläufig bewegen müssen. Das Gefälle muss so groß gewählt sein, dass das Kondensat nicht aufgrund zu geringer Steigung an der Rohrleitungsoberfläche haften bleibt und dass sich keine Pfützen bilden, wenn sich die Leitung bei Erwärmung dehnt (vgl. Bild 3).

Als Richtwert für Sattdampfleitungen hat sich ein Gefälle von mindestens 1:50 bewährt. Für Kondensatleitungen ist dagegen ein Gefälle von 1:100 ausreichend.

Sollte in einer Sattdampfleitung eine Reduzierung des Querschnitts vorgesehen sein, darf diese nur in einem senkrechten Rohrleitungsstück erfolgen. In waagerechten Rohrleitungsstücken bildet sich vor der Reduzierung zwangsläufig eine Kondensatpfütze. Ist die Reduzierung in einem waagerechten Rohr-

leitungsteil unvermeidbar, muss diese exzentrisch ausgeführt werden, so dass der Boden der Rohrleitung kein Wehr bilden kann.

Regelventile können jedoch auch in waagerechter Einbaulage mit zentrischen Reduzierungen verbaut werden, da die Strömungsverhältnisse am Ventil Kondensatansammlungen verhindern.

Kondensatbildung

An der Rohrwand scheidet sich selbst bei gut isolierten Dampfleitungen durch den Wärmeverlust Kondensat ab. Die Kondensattropfen wandern bei richtig verlegter Leitung mit der Dampfströmung und sammeln sich insbesondere bei stillstehender Dampfströmung an den Tiefpunkten der Leitung.

Führt man dieses Kondensat nicht regelmäßig ab, werden die Pfützen bei der nächsten Dampfabnahme des Sterilisators mitgerissen. Gerät das Kondensat bis in die Sterilisierkammer, kann es zur Beeinträchtigung des Sterilisierergebnisses und zu unzureichender Trocknung des Sterilisierguts kommen.

Darüber hinaus können mitgerissene Kondensatpfützen Wasserschläge verursachen. Dabei trifft das flüssige Kondensat mit der Geschwindigkeit der Dampfströmung auf ein Hindernis, beispielsweise einen Krümmer oder ein Ventil. Während die Gasphase diesem Hindernis leicht ausweichen kann, trifft die inkompressible Flüssigkeit ungebremsst auf das Hindernis, was zu schwerwiegenden Schäden oder sogar der Zerstörung der Leitung führen kann.

Entwässerung

In die Dampfleitung sind daher in regelmäßigen Abständen Entwässerungen bzw. Kondensatableiter einzubauen. Um zu verhindern, dass das Kondensat einfach über die Entwässerungsöffnung hinwegfließen kann und um ein sicheres Abscheiden der Flüssigkeit zu gewährleisten, soll der Anschluss der Entwässerungsleitung im gleichen Querschnitt wie die Dampfleitung ausgeführt werden (vgl. Bild 4).

Insbesondere beim Anfahren einer Dampfleitung aus dem kalten Zustand fällt sehr viel Kondensat in kurzer Zeit an. Um sicherzustellen, dass auch in Phasen erhöhten Kondensataufkommens keine Flüssigkeit in der Dampfleitung verbleibt und zu Wasserschlägen bzw. Flüssigkeitseintrag in die Sterilisierkammer führt, ist der Abzweig für die Entwässerung min. 500 mm nach unten zu führen, bevor der Kondensatableiter installiert wird. Der Abzweig dient damit als Vorlage bzw. Speicherbehältnis (siehe Bild 4).

Bei längeren Rohrleitungsabschnitten darf der Abstand zwischen zwei Entwässerungen nicht zu groß sein, um das Mitreißen von Kondensatpfützen und die Gefahr von Wasserschlägen zu minimieren. Als Erfahrungswert kann ein maximaler Abstand zwischen zwei Entwässerungen von 25 m angenommen werden.

Bei einem Gefälle von 1:50 sinkt die Dampfleitung je 10 m Länge um 20 cm ab. Wird eine Reindampflei-

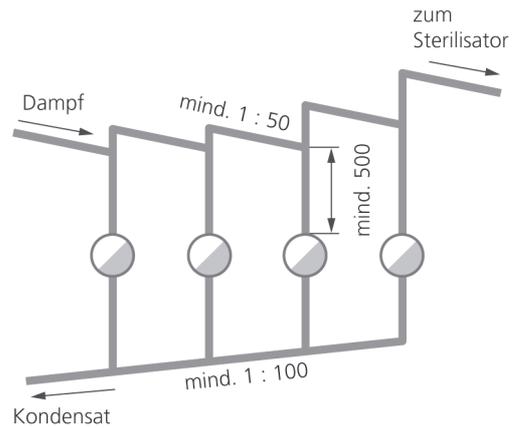


Bild 5: Sägezahnförmige Dampf-Zuleitung

tung durch ein Gebäude geführt, wird sie meist auf einer Rohrbrücke in der Zwischendecke installiert. Die Höhe zwischen Raumdecke und Gebäudedecke beträgt etwa 1 m. Unter Berücksichtigung der Dicke der Leitungsisolierung und des Platzbedarfs für die Entwässerungen muss die Dampfleitung etwa alle 20 m wieder nach oben springen. Längere Rohrleitungsabschnitte werden daher sägezahnförmig verlegt, wobei an jedem Tiefpunkt der Leitung eine Entwässerung vorzusehen ist (siehe Bild 5).

Etwa 15% der zugeführten Dampfmenge fällt dabei als Reinkondensat an und kann zum Dampferzeuger

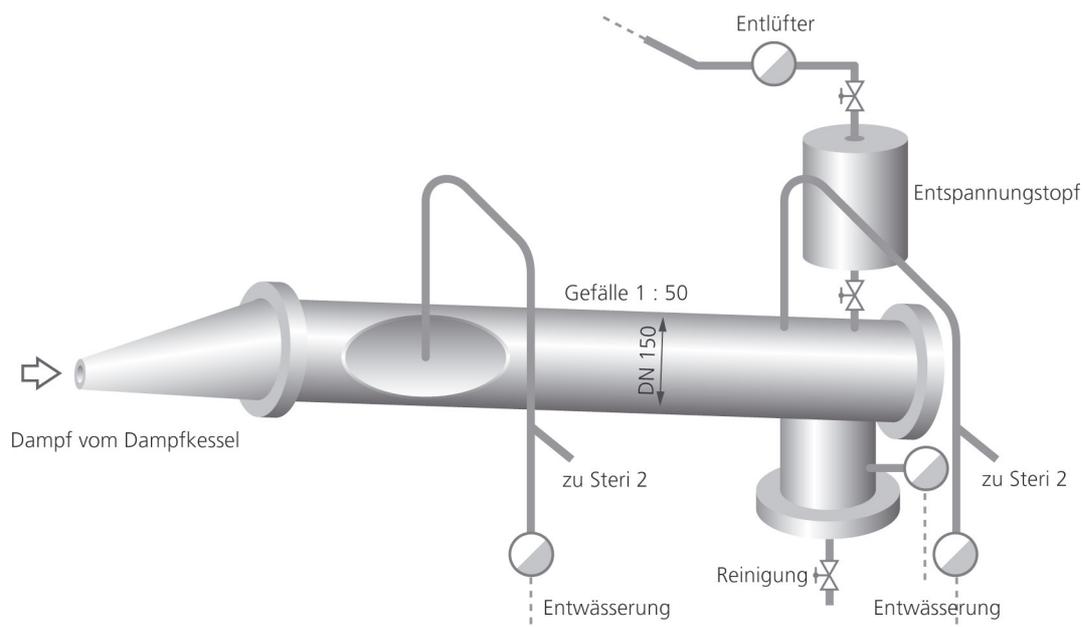


Bild 6: Dampfverteiler

rückgeführt werden. Steigende Energiekosten machen eine solche Rückgewinnung zunehmend wirtschaftlich. Verzichtet man auf die Rückgewinnung, muss das heiße Kondensat vor der Einleitung in ein Abwassersystem ausreichend gekühlt werden.

3.3 Dampfverteiler

Als optimale Konditionierung des Dampfes hat sich eine Querschnittsvergrößerung der Dampfleitung in unmittelbarer Nähe der Sterilisatoren erwiesen. In diesem sog. Dampfverteiler oder Steam Header wird die Dampfströmung beruhigt, wodurch sich Kondensat und nicht kondensierbare Gase leichter abscheiden (siehe Bild 6).

3.4 Dampfanschluss des Sterilisators

Der Anschluss des Sterilisators an die Sterilisierdampfleitung soll so ausgeführt sein, dass sich vor dem Anschlusspunkt kein Kondensat sammeln kann. Die Stichleitung von der Dampfleitung zum Sterilisator ist daher immer oben aus der Dampfleitung abzunehmen.

Manuelle Absperrarmaturen werden möglichst nah an der Dampfzuleitung idealerweise im höchsten Punkt der Stichleitung montiert, um bei geschlossenem Ventil tote Leitungsenden zu vermeiden. Ist in der Stichleitung unmittelbar vor dem Sterilisator keine Entwässerung mehr installiert, kann auch das Dampfregelventil des Sterilisators an den höchsten Punkt der Stichleitung verlegt werden, um Kondensatsammlungen zu verhindern.

Bauliche Randbedingungen können es erforderlich machen, den Dampf nicht von oben, sondern durch eine Seitenwand oder aus dem Boden zuzuführen. Auch in diesen Fällen ist unbedingt darauf zu achten, dass eine ausreichende Entwässerung vor dem Anschlusspunkt des Sterilisators sichergestellt ist (siehe Bild 7).

3.5 Kondensatableiter

Die Entwässerung der Dampfleitungen erfolgt üblicherweise über Kondensatableiter. Sie trennen das flüssige Kondensat von gasförmigem Dampf. Je nach Kondensatmenge und Anwendungsfall kommen unterschiedliche Bauarten zum Einsatz.

Thermodynamische Ableiter eignen sich für die Entwässerung von Sattdampfleitungen, insbesondere da sie auch die Ableitung nicht kondensierbarer Gase zur Entlüftung ermöglichen. Für sehr große

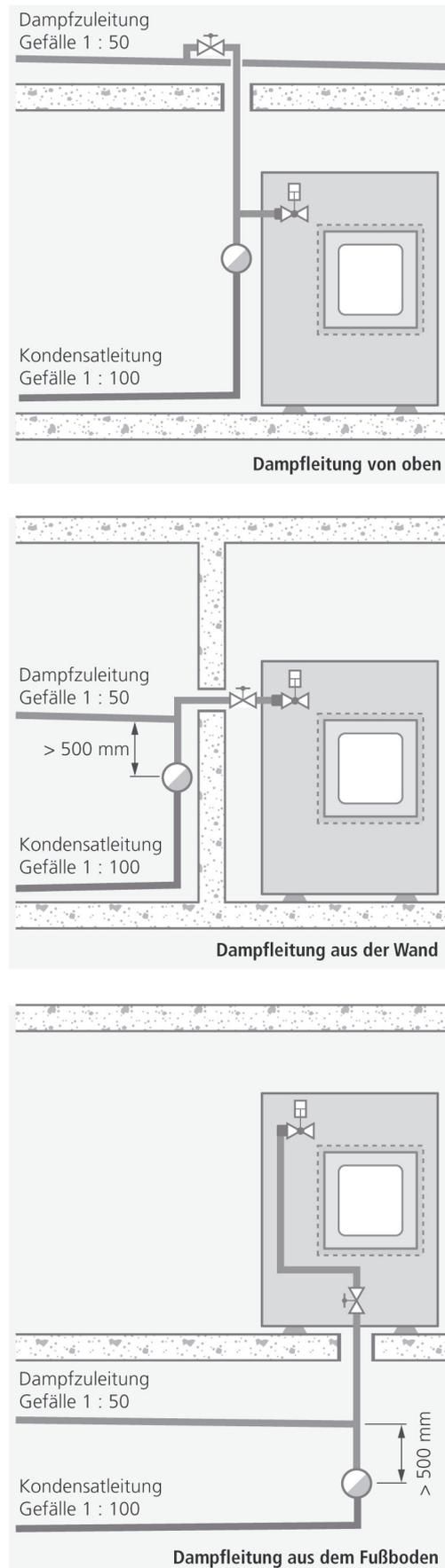


Bild 7: Dampfanschluss

Kondensatmengen werden dagegen Schwimmerableiter bevorzugt.

Thermische Kondensatableiter enthalten einen Faltenbalg oder eine Kapsel, die mit einem Gemisch gefüllt ist, das etwa 5°C unter der Siedetemperatur von Wasser verdampft. Im heißen Zustand ist das Gemisch gasförmig, der Faltenbalg dehnt sich aus und der Ausgang des Ableiters ist verschlossen. Sammeln sich leicht unterkühltes Kondensat oder Luft vor dem Ableiter, kondensiert das Gemisch, der Faltenbalg zieht sich zusammen und der Ableiter öffnet, wobei Kondensat, Luft und geringe Mengen Dampf abströmen.

Erreicht wieder Sattdampf das Element, dehnt es sich aus und schließt den Kondensatableiter wieder.

Damit der thermische Ableiter funktioniert, muss das Kondensat unterkühlt werden. Der Ableiter muss also in ausreichendem Abstand unter der heißen Leitung installiert werden (siehe Bild 4), damit das Kondensat kalt genug wird. Darüber hinaus dürfen der Ableiter selbst und ein Teil der Kondensatleitung nicht isoliert werden. Damit ein thermodynamischer Kapselkondensatableiter zuverlässig funktioniert, muss die angeschlossene Kondensatleitung gegen-druckfrei sein.

Schwimmerkondensatableiter sind deutlich teurer als thermodynamische Ableiter. Sie eignen sich auch für die Entwässerung bei nicht unterkühlten Flüssigkeiten (z.B. bei Isolierungsfehlern), sind jedoch gleichzeitig deutlich empfindlicher gegen Wasserschläge. Für Sattdampfleitungen kommen daher überwiegend thermodynamische Kapselableiter zum Einsatz.

Fehlfunktionen der Ableiter sind oft auf Gegendruck im Kondensatnetz oder erhebliche Strömungswiderstände, die die Entlüftung behindern, zurückzuführen.

Oft werden aus Unwissen auch mehrere Kondensatableiter in Reihe geschaltet, beispielsweise Kondensatableiter in jedem Entwässerungsabzweig und ein weiterer in der gemeinsamen Kondensatleitung. In diesem Fall strömt heißes Kondensat durch den ersten Ableiter, wobei durch den Druckabfall im Ableiter ein Teil des Kondensats wieder verdampft. Der Dampf blockiert dann die Funktion des nachgeschalteten Ableiters in der gemeinsamen Kondensatleitung, wodurch der Druck in der Kondensatleitung ansteigt. Dies wiederum blockiert die Leistung der Kondensatableiter in den einzelnen Entwässerungsabzweigen.

Nicht ausreichender Temperaturanstieg bei der Sterilisation, Kondensatschläge und feuchtes Sterilgut können die Folge der beschriebenen Fehlerszenarien sein.

3.6 Isolierung der Dampfleitung

Eine nicht isolierte Dampfleitung würde sehr schnell die Dampfatemperatur, also etwa 140°C, als Oberflächentemperatur annehmen. Neben der Verletzungsgefahr sind es vor allem die Energieverluste durch Wärmeabstrahlung, die eine Isolierung heißer Dampfleitungen zur Selbstverständlichkeit machen. Der Energieverlust ist proportional zur Oberfläche der Leitung. Neben der Leitungslänge spielt damit auch der Rohrlängendurchmesser eine ausschlaggebende Rolle. Gleichzeitig würden die hohen Energieverluste einer nicht isolierten Rohrleitung zu verstärkter Kondensatbildung führen, wodurch die Gefahr von Wasserschlägen und Sterilisationsfehlern deutlich erhöht wäre.

Auf dem Markt erhältlich sind unterschiedlichste Isoliermaterialien. Ihre Effektivität lässt sich über den vom Hersteller des Isoliermaterials angegebenen Wärmedurchgangskoeffizienten bestimmen, mit dem der Energieverlust pro Quadratmeter Oberfläche berechnet werden kann. Für dünne Rohrleitungen bis DN 25 haben sich Rohrisolierungen aus Schaummaterial durchgesetzt. Rohrleitungen mit größeren Nennweiten werden meist mit alukaschierter Mineralwolle isoliert. Die Verarbeitungshinweise der Hersteller sind unbedingt zu beachten, da bei einer fehlerhaften Installation u.U. Feuchtigkeit in die Isolierung eindringt, was sowohl die isolierende Wirkung stark beeinträchtigt als auch zu Schädigungen des Rohrwerkstoffs führen kann.

Das Isoliermaterial kann eine Stärke von bis zu 10 cm haben. Reindampfleitungen für Dampfsterilisationsanwendungen können damit leicht einen Gesamtdurchmesser von über 250 mm erreichen. Der Rohrleitungsplaner muss jedoch nicht nur den Leitungsdurchmesser und die Stärke des Isoliermaterials bei der Planung der Leitungsführung berücksichtigen, sondern darüber hinaus auch den Platzbedarf für die Haltevorrichtungen und Armaturen.

Es ist selbstverständlich, dass alle Rohrleitungseinbauten wie Fittings und Ventile ebenfalls ausreichend isoliert werden. Die Hersteller bieten dafür entsprechende Formstücke an. Ausgenommen davon sind lediglich die Abzweige für die Entwässerung sowie die Kondensatableiter.

3.7 Wärmedehnung von Dampfleitungen

Die für den Bau von Sterilisierdampfleitungen üblicherweise eingesetzten Edelstähle dehnen sich bei Erwärmung um ca. 0,016 mm pro Meter Leitungslänge und Grad Temperaturerhöhung aus. Geht man bei einer Sterilisierdampfleitung von einer Temperaturdifferenz von etwa 120°C zwischen dem Einbauzustand und dem Betriebszustand aus, ergibt sich eine Ausdehnung von ca. 2 mm pro Meter Leitungslänge.

Dieser Wert klingt zunächst vernachlässigbar. Führt man sich jedoch vor Augen, dass Dampfleitungen in Gebäuden leicht Längen von 30 bis 100 m erreichen können, ist die resultierende Längenänderung der Dampfleitung von 6 bis 18 cm nicht mehr vernachlässigbar. Die Längenänderung kann so hohe Kräfte bewirken, dass Leitungen aus ihren Halterungen gerissen oder verbogen werden oder die Leitung, Verbindungsstellen, Fittinge oder Armaturen beschädigt werden, wenn ein Verschieben der Leitung in ihren Aufhängungen nicht möglich ist. Schon einige Millimeter Längenänderung können zu merkbaren Verformungen einer Leitung führen.

Dampfleitungen sind daher mit geeignetem Dehnungsausgleich zu verlegen. Im Folgenden werden Grundprinzipien des Dehnungsausgleichs genannt. Eine detaillierte Betrachtung wäre jedoch an dieser Stelle aufgrund der Komplexität des Themas und der erforderlichen Berechnungen zu weitgehend. Es wird daher auf die entsprechende Literatur verwiesen [z.B. WAG20, FRA19].

- Kombination aus **Festlagern** und **Loslagern**: Festlager fixieren die Leitung sowohl in ihrer Höhenlage als auch in ihrer Position, Loslager halten dagegen die Leitung nur auf der richtigen Höhe, ermöglichen aber eine Bewegung des Rohrs in Längsrichtung. Festlager sind demnach so zu verwenden, dass sie die Leitung an den kritischen Stellen in der korrekten Position halten, wobei die Loslager den Dehnungsausgleich erlauben.
- **Rohrbögen**: 90°-Bögen sind meist so flexibel, dass sie Längenänderungen der Schenkel aufnehmen können, ohne Schaden zu nehmen (natürlicher Dehnungsausgleich). Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die Halterungen nicht zu nah am Bogen montiert sind. Eine sägezahnförmig verlegte Leitung erfüllt diese Bedingung, wenn die Leitung nicht direkt an den Abzweigen gehalten wird.
- **Dehnungsausgleicher**: spezielle Formstücke oder Einbauten in der Leitung nehmen die Längenänderung oder die entstehenden Kräfte auf. U-förmig gebogene Einbauten erfüllen diese Funktion genauso wie Verbindungsstücke zwischen Leitungsteilen, die ineinander verschiebbar sind (axiale Kompensation) oder sogar Richtungsveränderungen aufnehmen können (laterale Kompensation). Auf dem Markt sind unterschiedlichste Bauformen, beispielsweise mit Faltenbälgen oder Stopfbuchsen erhältlich.

WEITERFÜHRENDE LITERATUR

DIN EN 285	DIN EN 285:2016 – Sterilisation - Dampf-Sterilisatoren - Groß-Sterilisatoren
DIN EN 10216-5	DIN EN 10216-5:2014-03 - Nahtlose Stahlrohre für Druckbeanspruchungen - Technische Lieferbedingungen - Teil 5: Rohre aus nichtrostenden Stählen
DIN EN 10217-7	DIN EN 10217-7:2021-06 - Geschweißte Stahlrohre für Druckbeanspruchungen - Technische Lieferbedingungen - Teil 7: Rohre aus nichtrostenden Stählen
DIN 58946	DIN 58946-7:2014 – Sterilisation - Dampf-Sterilisatoren - Teil 7: Bauliche Anforderungen sowie Anforderungen an Betriebsmittel und den Betrieb von Dampfsterilisatoren im Gesundheitswesen
DIN 58949	DIN 58949-6:2015 – Desinfektion - Dampf-Desinfektionsapparate - Teil 6: Betrieb von Dampf-Desinfektionsapparaten, deren bauliche Voraussetzungen und Betriebsmittelversorgung
DIN 58950	DIN 58950-7:2011 – Dampf-Sterilisatoren für pharmazeutische Sterilisiergüter - Teil 7: Anforderungen an die Betriebsmittel und bauliche Anforderungen
DIN 58951	DIN 58951-2:2018 – Sterilisation - Dampf-Sterilisatoren für Labor-Sterilisiergüter - Teil 2: Geräteanforderungen, bauliche Anforderungen und Anforderungen an die Betriebsmittel
FRA19	Franke, W.; Platzer, B.: Rohrleitungen; Carl Hanser Verlag, 2. Auflage 2021
MEUR08	Meurer, S: Überwachung der Dampfqualität - Der vierte Parameter der Dampfsterilisation/ Monitoring of Steam Quality - The 4th Parameter of Steam Sterilization; Forum 2008, mhp Verlag
DENN11	Dennhöfer, E; Meurer, S; Meurer, M: Wissenswertes über die Dampfsterilisation im Gesundheitswesen; F. & M. Lautenschläger, 8. Auflage, 2011
VDI2019	VDI Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen: VDI Wärmeatlas; Springer Vieweg Verlag, 12. Auflage, 2019
WAG20	Wagner, W.: Rohrleitungstechnik; Vogel Buchverlag, 12. Auflage 2020

DIE AUTOREN

Dipl.-Ing. Susanne Meurer studierte an der Universität Dortmund Chemieingenieurwesen. Mit ihrem Eintritt bei F. & M. Lautenschläger im Jahr 1994 übernahm sie die Leitung des Qualitätswesens und war mit dem Aufbau eines Qualitätsmanagementsystems nach ISO 13485 betraut. Darüber hinaus brachte sie sich maßgeblich in die Entwicklung von Verfahrensprüfungen und die Standardisierung der Validierung von Dampfsterilisationsprozessen ein. Seit 2002 ist sie Mitglied der Geschäftsleitung, seit 2004 Inhaberin der Lautenschläger-Gruppe.

Dr.-Ing. Markus Meurer studierte ebenfalls in Dortmund Chemieingenieurwesen und promovierte danach am Lehrstuhl für Anlagentechnik der Universität Dortmund auf dem Gebiet der Adsorptions- und Reaktionstechnik. Seit 1997 war er in der Messer-Gruppe und bei Air Liquide zunächst als Verfahreningenieur und später als Projektleiter im gasetechnischen Anlagenbau tätig. 2005 kam er als Mitglied der Geschäftsleitung zu F. & M. Lautenschläger. Er ist dort insbesondere für Projektabwicklung, Vertrieb und technische Entwicklung zuständig.

DER HERAUSGEBER

Innovative Technik für Medizin & Hygiene seit 1888 - Seit mittlerweile fast 135 Jahren sind Lautenschläger-Produkte in der Hygiene, Medizin und Labortechnik weltweit anerkannt.

Als einer der führenden Hersteller von Desinfektions- und Sterilisationsanlagen für Krankenhäuser und Praxen, Institute und Laboratorien, pharmazeutische Anwendungen und die Industrie bietet Lautenschläger heute individuelle Systemlösungen an, die sich exakt an den technischen und wirtschaftlichen Anforderungen von Kunden und Nutzern orientieren. Hierbei steht die ständige Weiterentwicklung, Verbesserung und Erweiterung der Produktpalette und des Serviceangebots im Vordergrund. Wir wollen immer einen kleinen Schritt voraus sein. Tradition verpflichtet zu Qualität!

Hauptsitz der Lautenschläger-Gruppe ist der Kölner Süden. Die enge Vernetzung von Entwicklung, Fertigungsbetrieb, Kundendienst und Projektierung an diesem Standort gibt uns die Möglichkeit einer jederzeit optimalen Projektbetreuung und der Sicherstellung höchster Qualitätsstandards für unsere Produkte.

TRADITION & FORTSCHRITT

- 1888 Erster Krankenhaus-Sterilisator der Welt
- 1900 Dampfdesinfektionsapparat als Raumteiler
- 1910 Weltweit erste komplett eingebaute Sterilisieranlage
- 1920 Schranksterilisator mit Zentralriegel-Verschlusstür, durch DRP und Auslandspatente geschützt
- 1928 In Zusammenarbeit mit Konrich entwickelter Wäsche- und Hochdruckdampfsterilisator
- 1931 Patentierter Wäsche- und Verbandstoffsterilisator mit Luftabschneider
- 1940 Patentiertes Lautenschläger-Blitzverfahren für OP-Wäsche
- 1967 Erste ohne Werkzeug auswechselbare Sterilisierautomatik
- 1968 Beginn der Fertigung von Sterilisatoren nach dem Baugruppen-Prinzip in Köln
- 1972 Sterilisierautomat mit automatischer Förderung durch kuppelbare Fahrwagen-Systeme
- 1988 Kühlturm zur Betriebswasserersparnis
- 1996 Patentierte Hohldichtung und patentierter Dampfanalysator
- 2002 Verbesserte Bedienerfreundlichkeit durch großflächige Touch-Panel
- 2011 Module zur Ressourcenschonung und Energieintegration in der ZSVA
- 2015 Hocheffizientes Betriebswassersparsystem für Dampfsterilisatoren
- 2020 Erweiterung der Reindampferzeugerpalette bis 350 kW und 10 bar