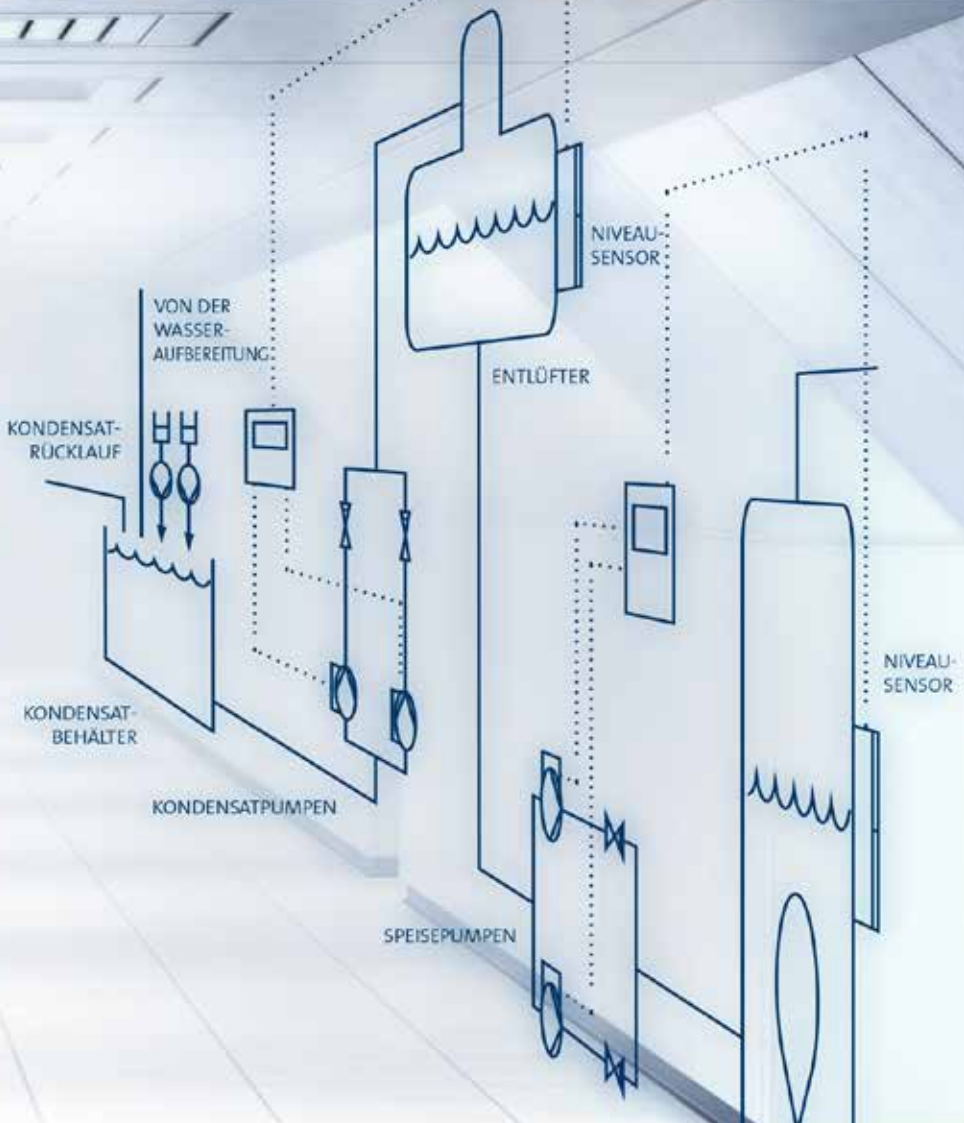


KESSEL UND KESSELANLAGEN

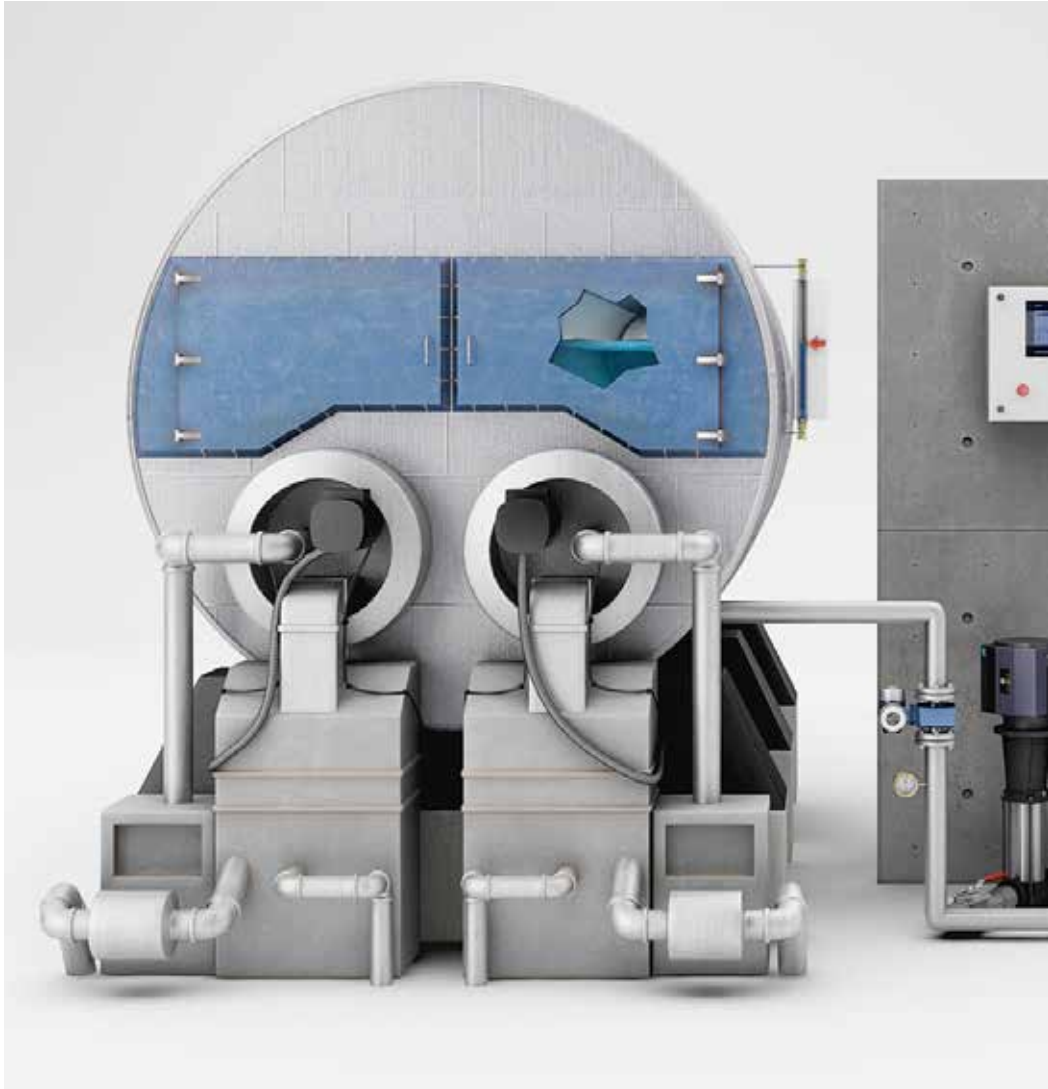


KONSTRUKTIONSHANDBUCH

Copyright 2012 GRUNDFOS A/S. Alle Rechte vorbehalten.

Das Urheberrecht und internationale Verträge schützen dieses Dokument. Kein Teil dieses Dokuments darf ohne vorherige schriftliche Genehmigung von GRUNDFOS Holding A/S in irgendeiner Form oder mit irgendwelchen Mitteln reproduziert werden.

Die inhaltliche Genauigkeit dieses Dokuments wurde mit angemessener Sorgfalt überprüft. GRUNDFOS haftet jedoch nicht für Verluste und Schäden, unabhängig davon, ob es sich um mittelbare oder unmittelbare bzw. Begleit- oder Folgeschäden handelt, die auf die Anwendung der Inhalte dieses Dokuments oder das Vertrauen darauf zurückzuführen sind.





Allgemeines	6
Kesseltypen	6
Warmwasserkessel	7
Thermoölkessel	7
Dampfkessel	8
Dampferzeuger	8
Abgaskessel.....	9
Die Komponenten eines Kesselhauses	10
Entgaser.....	10
Kondensator.....	12
Economizer	12
Heißwasserbehälter	14
Zusatzwasser	18
Ventil und Stellantriebe für die Füllstandsregelung.....	19
Kesselanlagen	21
Pumpen	21
Warmwasserkessel	21
Kesselkreispumpe mit Ein/Aus-Regelung ...	22
Kesselkreispumpe mit Drehzahlregelung ...	22
Dampfkessel	23
Ein/Aus-Regelung.....	23
Zulaufventil.....	24
Zulaufventil und Drehzahlregelung.....	25
Drehzahlregelung.....	26
Kondensatanlage.....	29
Speisewasser.....	29
Wo wird was dosiert?	32
Verwendete Chemikalien.....	36
Verfügbare Technik	37
Pumpenauslegung	39
Lösungen von Grundfos	45
Theoretisches/Probleme.....	54
Häufig gestellte Fragen	59
Zertifikate.....	60

Allgemeines

Die Dampf- und Warmwasserbereitung zählt zu den größten Industriesegmente der Welt. Grundfos ist stolz darauf, in dieser Branche der bevorzugte Pumpenanbieter für Kesselanlagen zu sein.

Die Pumpen von Grundfos sind nicht nur zuverlässig und effizient, sie decken auch einen großen Leistungsbereich ab. Mit unserer umfassenden Erfahrung beraten wir Kunden in Bezug auf die Realisierung von Kesselanlagen. Dabei pflegen wir eine enge Partnerschaft und treten in einen intensiven Dialog, um die jeweils am besten geeignete Lösung zu finden.

Grundfos ist ein weltweit tätiges Unternehmen mit einem internationalen Servicenetz. Wenn Sie also irgendwo auf der Welt einen fachkundigen oder spontanen Rat benötigen, stehen wir Ihnen mit unserem technischen Wissen jederzeit zur Verfügung.

Kesseltypen

Es gibt fünf wesentliche Kesseltypen:

- Warmwasserkessel
- Thermoölkessel
- Dampfkessel
- Dampferzeuger
- Abgaskessel

Die Pumpen, die für die verschiedenen Kesseltypen verwendet werden, müssen unterschiedliche Anforderungen erfüllen und jeweils anders ausgelegt sein. Die Abbildungen 1 und 2 zeigen zwei häufig verwendete Kesselbauweisen.

Abbildung 3 zeigt eine Querschnittszeichnung der in der Fertigungsindustrie am häufigsten verwendeten Kesselbauweise. Unten sind die Brennkammern zu sehen, die vom Wasser umgeben sind. Oben befinden sich die Rauchrohre. Neben dem Kessel sind auch die beiden Speisewasserpumpen abgebildet.

Abb. 1: Ein Kessel in herkömmlicher Bauweise für die Fertigungsindustrie

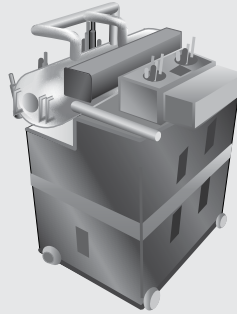
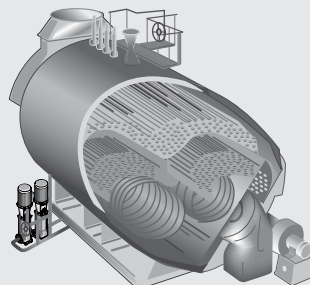


Abb. 2: Diese Bauweise ist typisch für Marineanwendungen, kann aber auch in der Fertigungsindustrie vorkommen.



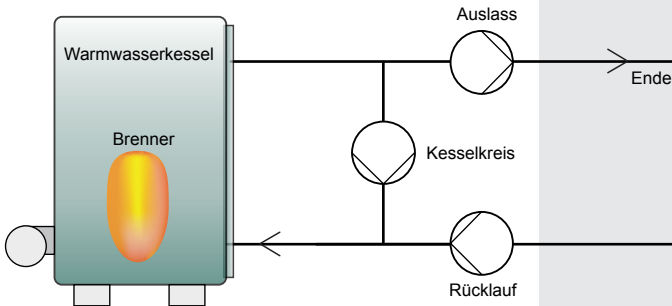
Abb. 3: Die in der Fertigungsindustrie am häufigsten verwendete Kesselbauweise



Warmwasserkessel

Warmwasserkessel werden normalerweise für die Raum- und Gebäudebeheizung genutzt. Diese Anlagen sind für Auslasstemperaturen von bis zu 140 °C geeignet. Im Vergleich zu Dampfkesseln besteht der Vorteil von Warmwasserkesseln vor allem darin, dass der Energieverlust viel geringer ausfällt. Abbildung 4 zeigt, wo die Pumpen in einer Anlage mit Warmwasserkessel meist montiert werden.

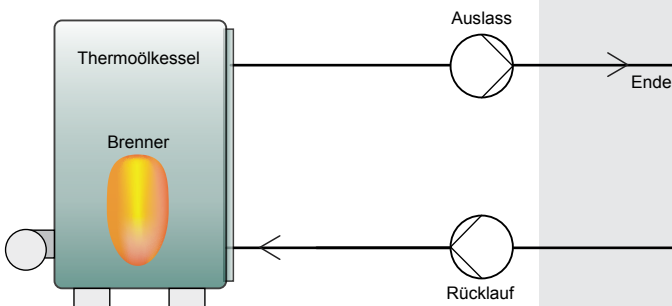
Abb. 4



Thermoölkessel

In Thermoölkesseln wird Öl anstelle von Wasser oder Dampf verwendet. Der Vorteil einer Anlage mit Öl ist, dass bei Temperaturen über 100 °C keine Druckbeaufschlagung erforderlich ist, wie es bei Wasser oder Dampf der Fall ist. Thermoöl bleibt unter normalem Luftdruck bei bis zu 300 °C flüssig. Damit Wasser bei diesen Temperaturen nicht verdampft, ist hingegen ein Druck von 85 bar notwendig. Der Aufbau von Thermoölkesseln und dem dazugehörigen Rohrnetz ist nahezu identisch mit dem von Warmwasserkesselanlagen. Wenn also nicht unbedingt Dampf verwendet werden muss, kann Thermoöl eine gute Alternative darstellen.

Abb. 5

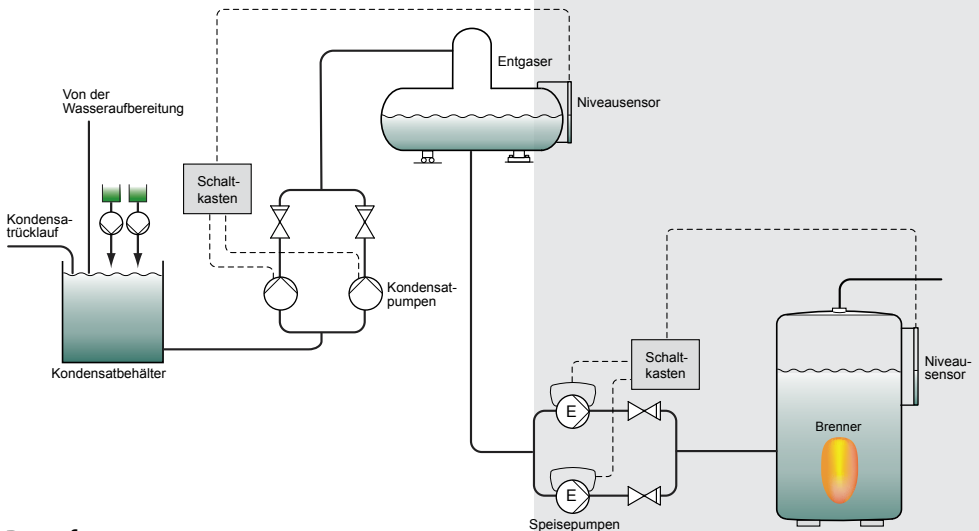


Dampfkessel

Dampf wird aufgrund seines hohen Energiegehalts normalerweise für die industrielle Prozesswärme genutzt. Des Weiteren kommt er in Reinigungsanwendungen und im Turbinenbetrieb zum Einsatz. Der Vorteil von Dampf gegenüber Warmwasser ist sein hoher Energiegehalt und seine Fähigkeit, bei der Verflüssigung Energie freizusetzen.

Das macht die Verwendung kleiner Wärmetauscher möglich. Schließlich bietet er auch für die Sterilisation einzigartige Vorteile.

Abb. 6.



Dampferzeuger

In einem Dampferzeuger fließen das Speisewasser und der Dampf durch ein langes Rohr. Dieses Rohr ist als in Reihe verbundene Spulen ausgeführt. In diesem langen Rohr (in den Spulen) wird das Speisewasser im ersten Teil auf Verdampfungstemperatur erhitzt und im zweiten Teil verdampft. Die zugeführte Wärme, der Speisewasserdurchfluss und die Länge des Rohrs werden so angepasst, dass das Wasser genau am Ausgang des Rohrs vollständig verdampft ist. Dadurch ist das Wasser- und Dampfvolumen (Inhalt des Behälters) sehr gering. Aus diesem Grund gibt es keinen Pufferspeicher in einem Dampferzeuger. Wenn

jedoch eine temporäre Überlastung möglich ist (eine Überschreitung der Bemessungsdampfleistung), sollte ein Puffertank vorgesehen werden.

Abbildung 7 zeigt einen Dampferzeuger aus der Pharmaindustrie, in dem sauberer Dampf aus eingespritztem Wasser produziert wird. Das Einspritzwasser wird mithilfe von herkömmlichem Dampf erhitzt.

Ein Dampferzeuger bietet im Vergleich zu einem herkömmlichen Dampfkessel in diesem Fall folgende Vorteile:

- Einfach zu bedienen – in der Regel keine besondere Zugriffsrechte erforderlich
- Kurze Anlaufzeit und schnelle Erzeugung des vollen Dampfdrucks
- Kompakte Größe und einfache Integration in vorhandene Anlagen
- Attraktiver Preis, insbesondere bei geringen Dampferzeugungsraten

Abgaskessel

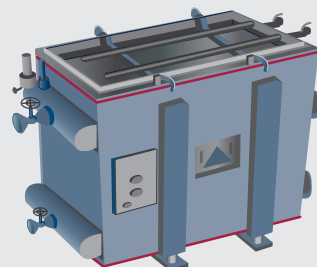
Dampf kann nicht nur mit Öl- oder Gasbrennern erzeugt werden. Auch die Abwärme aus Rauch- und Abgasen ist hierfür geeignet. Der Verdampfungsprozess läuft wie in einem Dampferzeuger ab. Daher ist auch diese Art von Kessel kompakt und reaktionsschnell.

Wenn die Abwärme aus dem Rauchgas des Dampfkessels/Dampferzeugers verwendet wird, spricht man von einem Economizer oder einem Abgaskessel. Dieser kann zum Vorwärmen des Speisewassers, aber auch für externe Zwecke (z. B. Vorwärmen von Zusatzwasser, Trinkwasser oder Heizungswasser) verwendet werden.

Abb. 7: Dampferzeuger



Abb. 8: Abgaskessel



Die Komponenten eines Kesselhauses

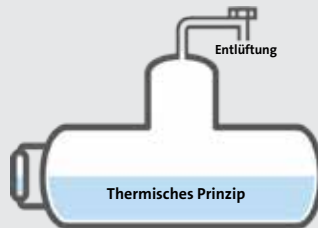
Entgaser

Entgaser und Kondensatbehälter kommen nur in Anlagen mit Dampfkessel vor. In Warmwasser- und Thermoölkesseln sind sie nicht zu finden, da das Medium hier immer nur in flüssiger Form vorliegt. Die Bauweise dieser beiden Behälter ist nahezu identisch. Sie werden aber für unterschiedliche Zwecke genutzt.

Es gibt zwei wesentliche Konstruktionsprinzipien für diese Behälter: das thermische und das Vakuum-Prinzip. Welches angewendet wird, hängt vom verwendeten Kessel ab. Die Prinzipien stellen zudem unterschiedliche Anforderungen an die Pumpenbauweise.

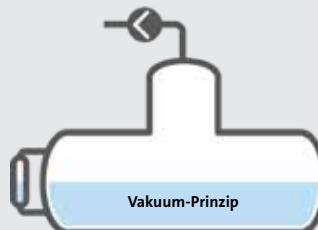
THERMISCHES PRINZIP

Ein nach dem thermischen Prinzip ausgeführter Behälter ist an die Umgebungsluft angeschlossen. Diese Variante kommt in der Regel in kleineren Anlagen zum Einsatz. Mithilfe des Dampfes wird hier die Wassertemperatur im Behälter konstant auf etwa 105 °C gehalten, sodass Luft aus dem Wasser entweicht. Das Entlüftungsventil am Entgaser oder Kondensator muss einen Öffnungsdruck von etwa 0,2 bar aufweisen. Das ermöglicht einen Gesamtdruck von 1,2 bar absolut. Dadurch steigt die Siedetemperatur des Wassers über den üblichen Siedepunkt von 100 °C bei normalem Luftdruck. Beachten Sie dazu auch die Dampfdruck-Tabelle am Ende dieses Handbuchs. Neben dem Entlüftungsventil ist auch ein Vakuumbrecher-Ventil montiert, damit in dieser Behälterart niemals ein Vakuum entsteht. Ohne ein solches Ventil könnte ein Vakuum entstehen, wenn kaltes Zusatzwasser in den Behälter gefüllt wird.



VAKUUM-PRINZIP

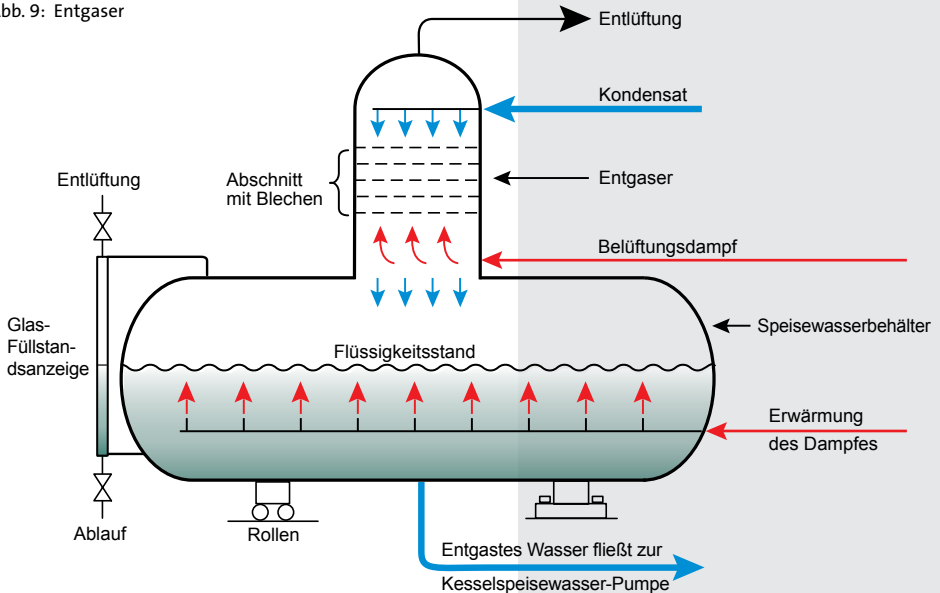
Hier wird mithilfe einer Ejektorpumpe ein Vakuum im Behälter erzeugt. Dadurch beginnt das Wasser bereits bei Temperaturen unter 60 °C zu sieden. Dadurch wird ebenfalls Luft aus dem Wasser entfernt. Dieses Prinzip kommt in der Regel in Dampfturbinen-Anwendungen zum Einsatz.



ENTGASER

Die wichtigste Aufgabe des Entgasers besteht darin, den Sauerstoff- (O_2) und den Kohlensäure-Gehalt (H_2CO_3) im Kesselspeisewasser zu reduzieren und so den Kessel vor Korrosion zu schützen. Je nach Bauweise des Entgasers kann O_2 auf etwa 0,02 mg/l und CO_2 auf 0 mg/Liter reduziert werden.

Abb. 9: Entgaser



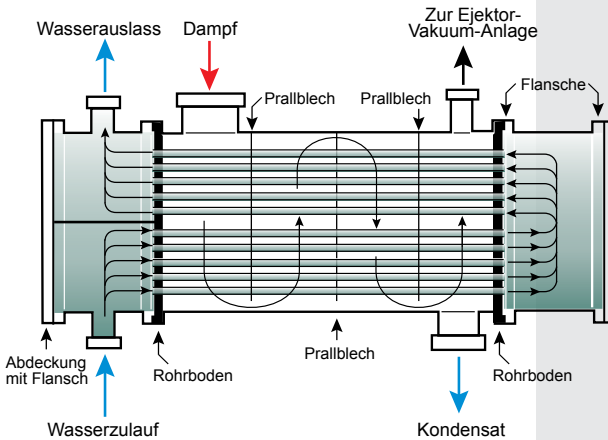
	Internes Verteilerrohr für den Dampf
	Internes perforiertes Rohr (Wasserverteilung)
	Perforierte Bleche
	Dampf mit niedrigem Druck
	Kesselspeisewasser (wiederverwendetes Kondensat und Zusatzwasser)

In den letzten Jahren ist es zunehmend zur Norm geworden, Heißwasserbehälter mit einer Wassertemperatur von etwa 80 °C anstelle von Entgasern zu verwenden, um den Sauerstoff aus dem Wasser zu entfernen. Das Wasser wird in diesen Behältern nicht zum Sieden gebracht, sondern mit Chemikalien behandelt.

Kondensator

Der Kondensator stellt sicher, dass der gesamte Dampf verflüssigt wird, bevor er zurück in den Entgaser und dann in den Kessel gelangt. In der Regel wird frisches, aufbereitetes Wasser in den Kondensator geleitet.

Abb. 10: Kondensator



Economizer

Wie bereits erwähnt ist ein Economizer ungefähr dasselbe wie ein Abgaskessel. Der einzige Unterschied ist, dass ein Economizer keine eigene Dampfkammer besitzt und stattdessen die des Kessels nutzt.

In Bezug auf den Economizer gibt es zwei unterschiedliche Montagevarianten, je nachdem ob der Kessel an Land oder auf See installiert ist.

An Land wird das Abgas des Kessels wie in der Zeichnung dargestellt verwendet. Das Wasser über dem Economizer wird meist von der Speisewasserpumpe umgewälzt. Es kann jedoch auch eine eigene Umwälzpumpe dafür eingebaut werden (siehe Abb. 11 auf der nächsten Seite). Der Schornstein umfasst auch einen Bypass, über den Abgase in den Wärmetauscher geleitet werden können.

Abb. 11.

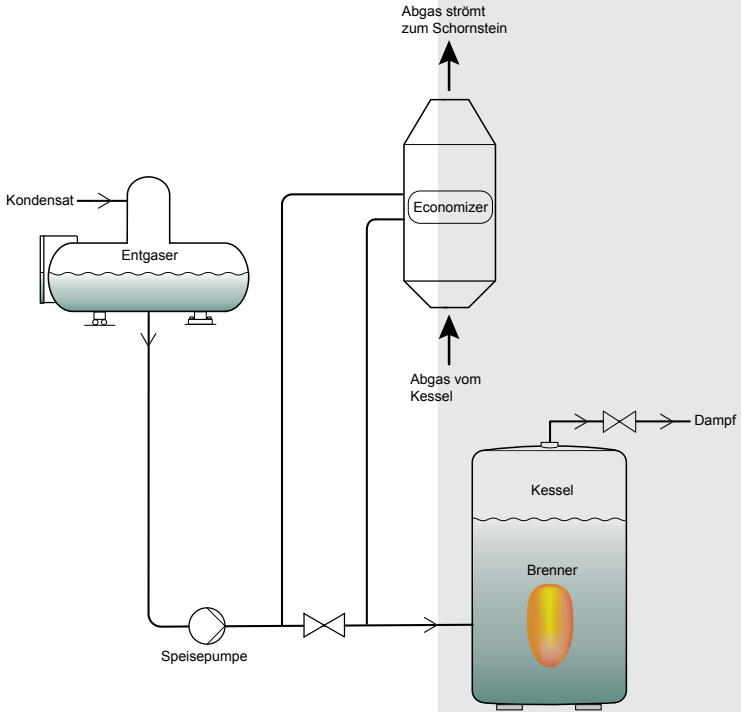
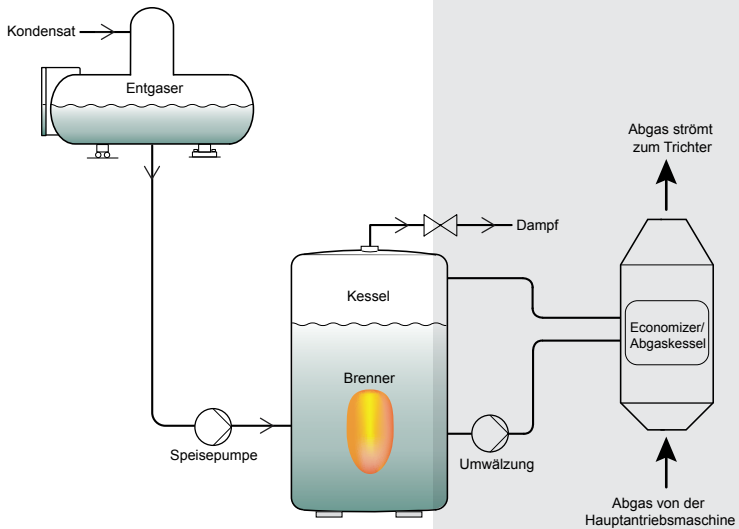


Abb. 12.



Auf See genutzte Economizer sind dagegen im Trichter der Hauptantriebsmaschine installiert, weil diese erheblich mehr Abgase produziert. Die in Marineanwendungen erzeugte Energie ermöglicht häufig eine Überhitzung des Dampfes, der direkt vom Economizer in die Rohrleitungen gespeist wird.

Abbildung 12 zeigt ein Beispiel, bei dem die Umwälzpumpe auf den Druck und die Temperatur im Kessel ausgelegt werden muss. Dabei kann es sich leicht um 20 bar bzw. 170 °C handeln. Daher kann es erforderlich sein, Pumpen mit luftgekühltem Kopfstück und Lagerflansch auszuwählen. Die Pumpe muss normalerweise nicht in der Lage sein, einen hohen Differenzdruck zu erzeugen. Denn sie muss lediglich den Druckverlust im Wärmetauscher (dem Economizer) überwinden.

Wenn ein Economizer installiert ist, muss die Abgastemperatur im Economizer, in den Leitungen und im Schornstein unbedingt überwacht werden, damit sie nicht unter die Taupunkttemperatur fällt. Wenn das Abgaskondensat oder der Brennstoff Bestandteile aufweist, aus denen Säuren entstehen können, wirkt das Kondensat möglicherweise korrodierend auf die Bauteile, mit denen es in Kontakt kommen. Wenn die Abgase verflüssigt werden sollen, um einen höheren thermischen Wirkungsgrad zu erzielen, fordern Sie bitte eine chemische Analyse vom Brennstofflieferanten an und wählen Sie dementsprechend Werkstoffe aus, die beständig gegenüber den jeweiligen Säuren sind.

Heißwasserbehälter

Die Bedeutung des Speisewasserbehälters wird häufig unterschätzt. Hier wird nicht nur das Kesselspeisewasser und das Zusatzwasser gemischt und aufbewahrt. Auch das Kondensat wird in diesen Behälter zurückgeleitet. Die meisten Bauteile in einem Kesselhaus sind doppelt ausgeführt. Es gibt aber nur sehr selten zwei Speisewasserbehälter. Diese äußerst wichtige Komponente wird in der Konstruktionsphase meist zuletzt berücksichtigt.

In diesem Behälter treffen das kalte Zusatzwasser und das zurücklaufende Kondensat aufeinander. Im Idealfall

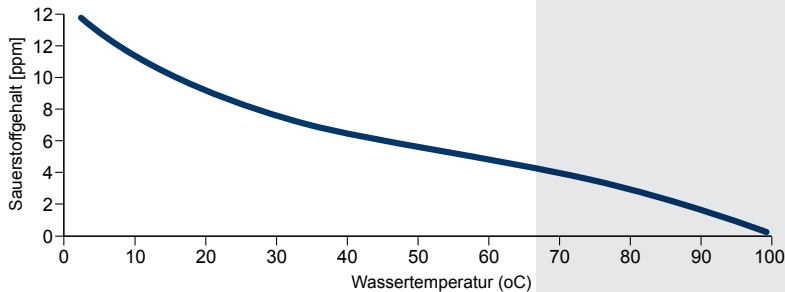


wird beides zusammen mit dem Entspannungsdampf aus den Absalzungscomponenten durch Einblasrohre geleitet, die weit unterhalb des Wasserspiegels in den Speiswasserbehälter münden. Die Einblasrohre müssen aus nicht rostendem Stahl gefertigt sein und ausreichend abgestützt werden.

BETRIEBSTEMPERATUR

Es ist wichtig, dass das Wasser im Speiswasserbehälter eine ausreichend hohe Temperatur aufweist, um den Gehalt an gelöstem Sauerstoff und anderen Gasen zu minimieren. Die Korrelation zwischen Wassertemperatur und dem Sauerstoffgehalt des Wassers in einem Speiswasserbehälter ist in Abbildung 13 dargestellt.

Abb. 13: Wassertemperatur im Verhältnis zum Sauerstoffgehalt



Bei einem hohen Anteil von Zusatzwasser kann eine Beheizung des Speiswassers die Menge an Chemikalien erheblich verringern, die zum Entfernen des Sauerstoffs benötigt werden.

Kosteneinsparungen durch die Reduktion des im Speiswasser gelösten Sauerstoffs mithilfe einer Beheizung

Berechnungsgrundlage:

Die Standard-Dosiermenge für Natriumsulfit beträgt 8 ppm pro 1 ppm gelösten Sauerstoff.

Als Reserve werden im Kessel meist noch einmal 4 ppm zusätzlich hinzugegeben.

Flüssiges, katalysiertes Natriumsulfit enthält in der Regel nur 45 % Natriumsulfit.

Das Beheizen des Behälters ist offensichtlich mit Kosten verbunden. Da die Wassertemperatur im Kessel aber um

dieselbe Anzahl an Grad steigen würde, handelt es sich nicht um zusätzliche Energie. Stattdessen wird dieselbe Menge an Energie an einem anderen Ort eingesetzt.

Der einzige echte Verlust ist nur die zusätzliche Wärme, die im Speisewasserbehälter selbst verloren geht. Sofern der Speisewasserbehälter gut isoliert ist, bleibt dieser zusätzliche Wärmeverluste jedoch auf einem unbedeutenden Niveau.

Eine weitere wichtige Einsparungsmöglichkeit besteht darin, die zum Kesselspeisewasser hinzugefügte Menge an Natriumsulfit zu reduzieren. Dadurch muss die Absalzung weniger häufig durchgeführt werden. Die so entstehenden Einsparungen sind mehr als ausreichend, um den geringen zusätzlichen Wärmeverlust im Speisewasserbehälter auszugleichen.

Schäden am Kessel verhindern

Der Kessel erleidet einen thermischen Schock, wenn kaltes Wasser auf die heißen Kesselwände und Rohrleitungen trifft. Wenn das Speisewasser jedoch erwärmt wird, ist der Temperaturunterschied geringer und das Risiko eines thermischen Schocks sinkt.

Die Bemessungsleistung aufrechterhalten

Je geringer die Temperatur des Kesselspeisewassers ist, desto mehr Wärme ist im Kessel nötig, um Dampf zu erzeugen. Es ist wichtig, die Temperatur im Speisewasserbehälter so hoch wie möglich zu halten, um die erforderliche Kesselleistung aufrechtzuerhalten.

Kavitation der Kesselspeisepumpe

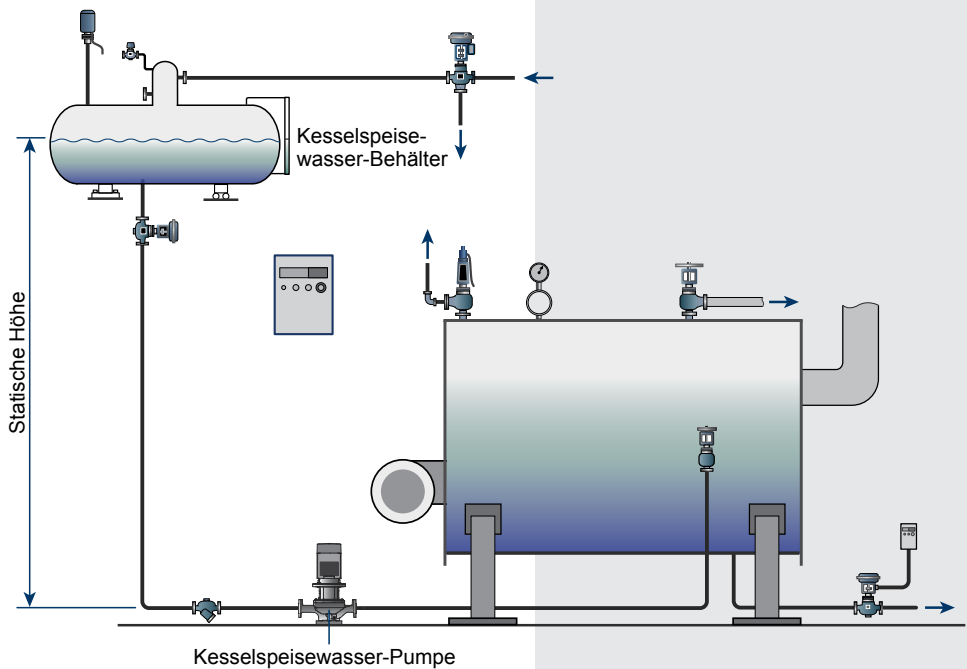
Vorsicht: Eine hohe Kondensat-Rücklaufrate (über 80%) kann zu einer zu hohen Speisewassertemperatur und dadurch auch zu Kavitation in der Pumpe führen.

Wenn das Wasser, das in die Pumpe strömt, nahe dem Siedepunkt ist, besteht die Gefahr, dass es durch den niedrigeren Druck am Pumpenlaufrad verdampft. In diesem Fall bilden sich Dampfblasen, sobald der Druck unter den Dampfdruck des Wassers fällt. Wenn der Druck wieder steigt, implodieren dieser Blasen. So entstehen Hohlräume, in die das Wasser mit sehr hoher Geschwindigkeit fließt.

Dieser Vorgang wird auch als Kavitation bezeichnet. Er ist nicht nur laut, sondern kann auch erhebliche Schäden an der Pumpe verursachen.

Um dieses Problem zu vermeiden, benötigt die Pumpe die bestmögliche Haltedruckhöhe (Net Positive Suction Head, NPSH), damit der statische Druck so hoch wie möglich ist. Hierfür ist es von großem Vorteil, wenn der Speisewasserbehälter möglichst weit oberhalb des Kessels montiert wird. Auch großzügig bemessene Zulaufleitungen zur Speisewasserpumpe helfen dabei (Abb. 14).

Abb. 14: NPSH über der Speisewasserpumpe



Zusatzwasser

Kaltes Wasser aus der Wasseraufbereitungsanlage ersetzt das in der gesamten Anlage verloren gegangene Wasser.

Bei vielen Wasseraufbereitungsanlagen muss der Förderstrom sehr hoch sein, damit sie ihre optimale Leistung erzielen. Wenn eine modulierende Regelung beispielsweise zu einem sehr langsamen Förderstrom zum Speisewasserbehälter führt, kann dies einen negativen Einfluss auf die Leistung des Wasserenthärter haben. Aus diesem Grund wird häufig ein kleiner Zusatzwasserbehälter aus Kunststoff oder verzinktem Stahl eingebaut. Das Wasser wird über eine Ein/Aus-Regelung vom Wasserenthärter zum Zusatzwasserbehälter geleitet. Hier regelt ein modulierendes Ventil den Weitertransport in den Speisewasserbehälter.

Diese Art von Installation ermöglicht einen „ruhigeren“ Betrieb der Kesselanlage. Damit das relativ kalte Zusatzwasser nicht sofort auf den Boden des Behälters absinkt (von wo aus es direkt in die Speisewasserleitung zum Kessel gelangen würde) und um eine gleichmäßige Temperaturverteilung zu erzielen, ist es üblich, das Zusatzwasser weiter oben im Behälter einzulassen.

Füllstandssensor

Bei allen Dampfkesseln ist es extrem wichtig, einen konstanten Füllstand aufrechtzuerhalten. Nur so kann der Kessel sicher betrieben und eine gute Dampfqualität erzielt werden.

Dampfkessel sind meist für folgende Situationen mit Sensoren ausgestattet:

SICHERHEIT

- Sehr niedriger Füllstand, Abschaltung des Kessels
- Alarm „niedriger Füllstand“
- Alarm „hoher Füllstand“

REGELUNG

- Niedriger Füllstand, Einschaltung der Pumpe
- Hoher Füllstand, Ausschaltung der Pumpe

Beim Füllstandssensor kann es sich auch um eine modulierende Ausführung handeln, die eine der folgenden Regelvorrichtungen nutzt:

- Leitfähigkeitssensoren
- Schwimmerschalter
- Differenzdruck-Messzellen

Der Füllstandssensor kann direkt im Kesselgehäuse oder in externen Kammern montiert werden.

Der erfasste Füllstand wird in jedem Fall vom tatsächlichen Füllstand des Kessels abweichen. Wie groß die Abweichung ist, hängt von der Kesselbauweise und dem Montageort des Sensors ab.

Die Verwendung der verschiedenen Regelvorrichtungen wird im Abschnitt „Kesselanlagen“ genauer beschrieben.

Ventil und Stellantriebe für die Füllstandsregelung

Der Stellantrieb des Ventils für die Füllstandsregelung empfängt ein Signal vom Füllstandssensor und reagiert darauf, indem er das Ventil in die entsprechende Position bringt. Der Stellantrieb bewegt den Ventilschaft und passt den Durchfluss in Abhängigkeit von der Ventilkennlinie an. Die Ventilkennlinie hängt wiederum von der Ventilbauweise ab. Hierauf wird in diesem Handbuch nicht weiter eingegangen.

AUSLEGEN DES REGELVENTILS

Um ein Ventil für eine Wasseranwendung auszulegen, muss Folgendes bekannt sein:

- Volumenstrom durch das Ventil
- Differenzdruck entlang des Ventils

Die Kapazität eines Ventils wird zumeist als K_v -Wert angegeben. Genauer gesagt gibt es zwei Werte: Der K_{vs} bezieht sich auf den Durchsatz bei vollständig geöffnetem Ventil und der K_{v1} bezeichnet den in der jeweiligen Anwendung erforderlichen Durchsatz.

Im Folgenden sehen Sie eine vereinfachte Berechnung des Druckverlusts beim Fördern von Wasser:



$$V = K_v \sqrt{\Delta P}$$

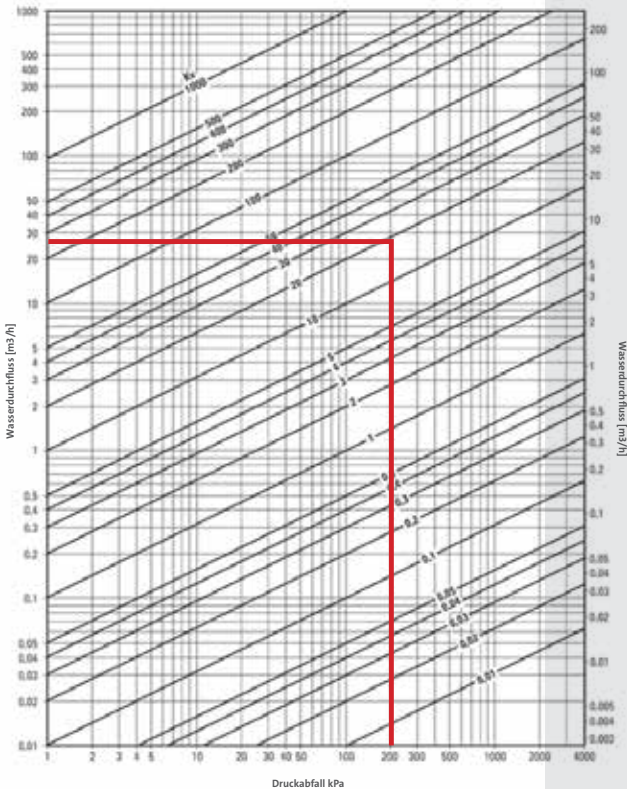
Der K_v -Wert für das Ventil kann wie folgt bestimmt werden:

$$K_v = \frac{V}{\sqrt{\Delta P}}$$

Bei einer Kesselanwendung mit einem Förderstrom von 26 m³/h (inkl. Sicherheitszuschlägen) und einem erforderlichen Druckverlust am Ventil von 2 bar liegt der K_v -Wert bei 18,3. In der Praxis entspricht dies einem K_v -Wert von 20.

Diese Werte können auch aus einem K_v -Diagramm abgelesen werden:

Abb. 15 (Quelle: www.spiraxsarco.com)



Kesselanlagen

Pumpen

Für Kesselanwendungen kommen viele verschiedene Pumpen infrage – je nach Kesseltyp und ihrer Funktion in der Anwendung.

In diesem Abschnitt werden die typischen Montageorte der einzelnen Pumpen und ihre Regelungsarten beschrieben.

Die häufigsten Kesselanwendungen sind: Kesselspeise-, Kondensattransport-, Economizer-Umwälz- und Kesselkreispumpen.

Darüber hinaus kommen weitere Pumpen in dazugehörigen Anlagen (z. B. Dosierung, Wasseraufbereitung) zur Anwendung. Diese werden aber in diesem Handbuch nicht beschrieben.

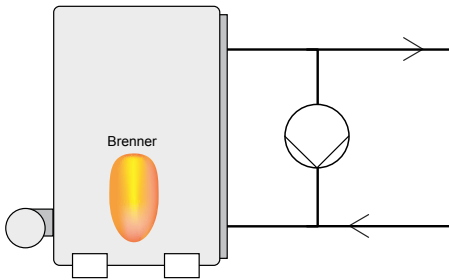
Warmwasserkessel

Kesselkreispumpe

Kesselkreispumpen müssen meist einen hohen Förderstrom und eine sehr niedrige Förderhöhe bieten. Diese Pumpen sind daher in der Regel mit einem 4- oder 6-poligen Motor ausgestattet, um die Förderhöhe zu reduzieren. Es handelt sich dabei häufig um einstufige Pumpen.

Kesselkreispumpe mit Ein/Aus-Regelung

Abb. 16



FUNKTION

Die Kesselkreispumpe muss sicherstellen, dass die Rücklaufftemperatur zum Kessel nicht zu niedrig ist. Wenn die Temperaturdifferenz zwischen der Rücklaufleitung und der Vorlaufleitung zu stark schwankt, stellt dies eine hohe Belastung für die Kesselkonstruktion dar. Die Pumpe muss auf die niedrigste Rücklaufftemperatur ausgelegt werden, sodass sie in den meisten Fällen überdimensioniert wird.

VORTEILE

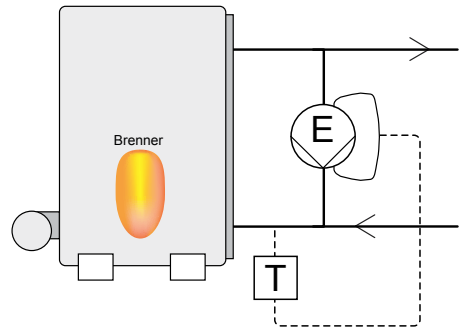
- Kostengünstig und einfach einzubauen
- Zuverlässiger Betrieb (wenige Bauteile)

WICHTIG!

- Erfragen Sie beim Kesselhersteller, welche Rücklaufftemperatur erforderlich ist.
- Mit einer gleichmäßigen Kesselast erhalten Sie eine gleichmäßige Temperaturdifferenz aufrecht.

Kesselkreispumpe mit Drehzahlregelung

Abb. 17



FUNKTION

Die Kesselkreispumpe muss sicherstellen, dass die Rücklaufftemperatur zum Kessel nicht zu niedrig ist. Wenn die Temperaturdifferenz zwischen der Rücklaufleitung und der Vorlaufleitung zu stark schwankt, stellt dies eine hohe Belastung für die Kesselkonstruktion dar. Eine Pumpe mit Drehzahlregelung kann für diese Art von Pumpenanwendung die richtige Wahl darstellen. Für die Pumpe muss ein Temperatursensor montiert werden, der die Rücklaufftemperatur zum Kessel erfasst. Dadurch kann eine konstante Temperatur sichergestellt werden.

VORTEILE

- Immer dieselbe Rücklaufftemperatur unabhängig von der Last in der Anlage
- Energieeinsparungen

WICHTIG!

Erfragen Sie beim Kesselhersteller, welche Rücklaufftemperatur erforderlich ist.

ERFORDERLICHES ZUBEHÖR

Temperatursensor, R100/Grundfos GO

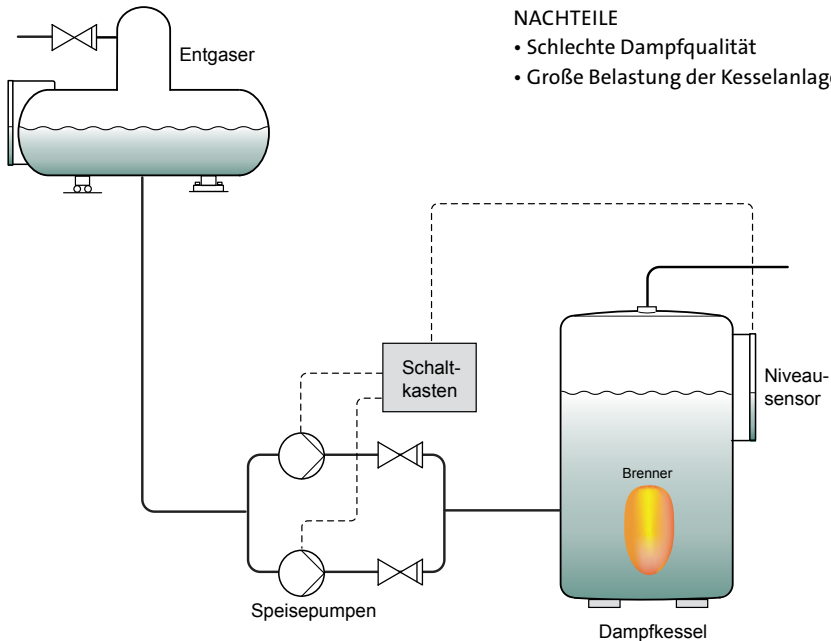
Dampfkessel

Die Dampfkesselspeisung kann auf die folgenden 4 Arten erfolgen:

- Ein/Aus-Regelung
- Zulaufventil (mit und ohne Bypass)
- Zulaufventil und Drehzahlregelung (mit und ohne Bypass)
- Drehzahlregelung

Die vier oben genannten Möglichkeiten sind die am häufigsten verwendeten. Sie werden im Folgenden näher beschrieben. Beachten Sie jedoch, dass die vier Varianten auch miteinander kombiniert werden können.

Abb. 18: Ein/Aus-Regelung



Ein/Aus-Regelung

FUNKTION

Bei der Ein/Aus-Regelung wird die Pumpe über einen Füllstandssensor oder einen Differenzdrucksensor ein- und ausgeschaltet. Sobald der Füllstand auf das Einschaltniveau der Pumpe fällt, leitet die Pumpe eine relativ große Menge kaltes Wasser in den Kessel. Dadurch sinkt die Menge an Dampf und der Dampfdruck fällt. Daher kommt es beim Einsatz der Ein/Aus-Regelung zu Schwankungen in der Dampfproduktion. Außerdem kann das Wasser im Kessel überkochen, sodass es in die Anlage gelangt.

VORTEILE

- Kostengünstig
- Einfach zu installieren
- Kein Bypass

NACHTEILE

- Schlechte Dampfqualität
- Große Belastung der Kesselanlage

Zulaufventil

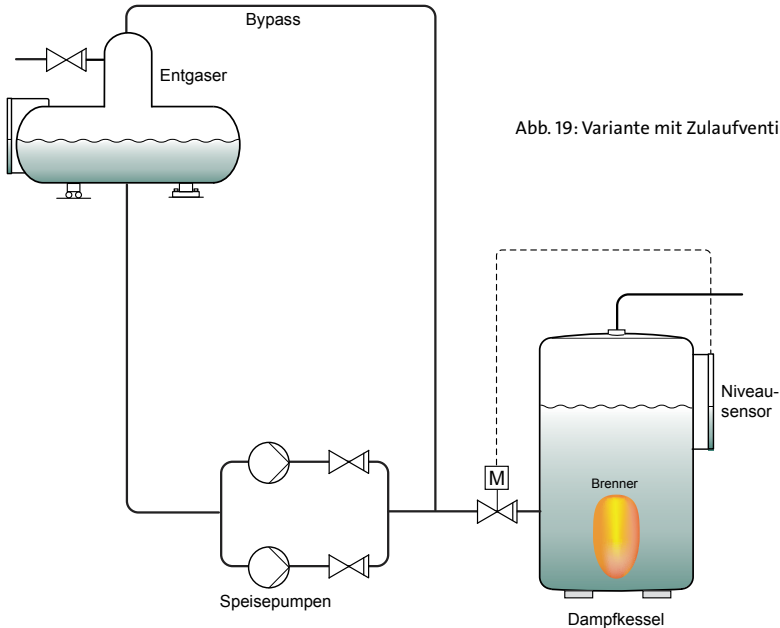


Abb. 19: Variante mit Zulaufventil

FUNKTION

In dieser Art von Anlage wird der Füllstand im Kessel über ein Zulaufventil geregelt, das von einem Füllstandssensor oder einem Differenzdruckgeber am Kessel betätigt wird.

Das Zulaufventil regelt den Wasserzulauf, der entsprechend dem Dampfverbrauch eingestellt wird. Dies setzt jedoch voraus, dass die Speisewasserpumpe im Dauerbetrieb läuft.

Diese Anlage arbeitet reibungslos, ist ideal geeignet für alle Arten von Dampfkesseln, ob klein oder groß, und minimiert zudem das Risiko einer Überhitzung. Der Bypass kann entweder mit einem Ventil oder einer Düse umgesetzt werden. Wenn ein Ventil eingesetzt wird, erfolgt die Regelung so, dass es sich öffnet, wenn sich das Regelventil bis zu einem gewissen Grad geschlossen hat. Wenn das Ventil die ganze Zeit über geöffnet wäre, würde dies zu einem kontinuierlichen Energieverlust führen.

VORTEILE

- Kesselspeisung wird wie beschrieben gemäß dem Dampfverbrauch angepasst

NACHTEILE

- Pumpe muss im Dauerbetrieb laufen (höherer Energieverbrauch)
- Bypass verursacht unnötige Energieverluste
- Zulaufventil ist teuer
- Druckverlust am Zulaufventil

WICHTIG!

Der Bypass muss auf den Mindestdurchfluss der CR-Pumpe abgestimmt sein. Das bedeutet: 10 % des Bemessungsförderstroms der Pumpe. Ggf. ist es möglich, die Pumpe auszuschalten, wenn sich das Ventil schließt. Dazu ist allerdings ein Signal vom Ventil erforderlich.

Zulaufventil und Drehzahlregelung

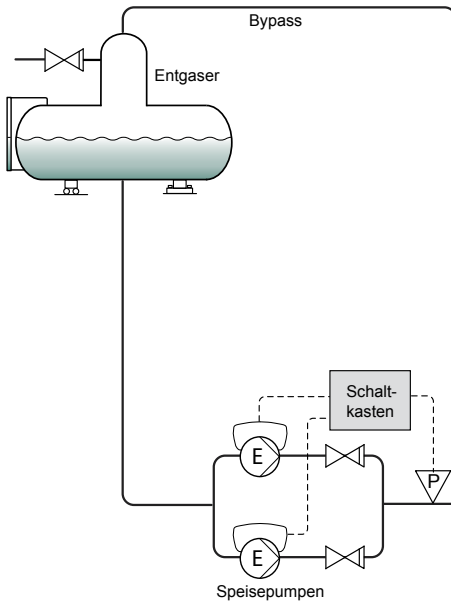


Abb. 20: Zulaufventil und Drehzahlregelung

FUNKTION

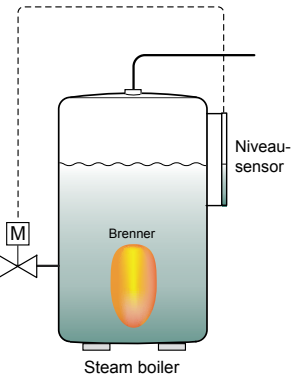
In dieser Anlage wird der Füllstand im Kessel über ein Zulaufventil geregelt, das von einem Füllstandssensor oder einem Differenzdruckgeber am Kessel betätigt wird. Das Zulaufventil regelt den Wasserzulauf, der entsprechend dem Dampfverbrauch eingestellt wird.

Dies setzt jedoch voraus, dass die Speisewasserpumpe im Dauerbetrieb läuft. Diese Anlage arbeitet reibungslos, ist ideal geeignet für alle Arten von Dampfkesseln, ob klein oder groß, und minimiert zudem das Risiko einer Überhitzung.

Der Bypass kann entweder mit einem Ventil oder einer Düse umgesetzt werden. Wenn ein Ventil eingesetzt wird, erfolgt die Regelung so, dass es sich öffnet, wenn sich das Regelventil bis zu einem gewissen Grad geschlossen hat. Wenn das Ventil die ganze Zeit über geöffnet wäre, würde dies zu einem kontinuierlichen Energieverlust führen.

VORTEILE

- Kesselspeisung wird gemäß dem Dampfverbrauch angepasst
- Energieeinsparung beim Pumpenbetrieb



- Konstanter Differenzdruck entlang des Ventils

NACHTEILE

- Bypass (Energieverlust)
- Zulaufventil ist teuer
- Druckverlust am Zulaufventil

WICHTIG!

Anforderungen bezüglich der Auslegung der Kesselspeisepumpen können sich von Land zu Land unterscheiden.

Denken Sie daran, den Bypass auf die CR-/CV-Daten sowie den Mindestdurchfluss abzustimmen. Ggf. ist es möglich, die Pumpe auszuschalten, wenn sich das Ventil schließt. Dazu ist allerdings ein Signal vom Ventil erforderlich. Überlegen Sie, ob eine Drehzahlregelung wirklich für beide Pumpen erforderlich ist. Dies würde einerseits die Kosten erhöhen, aber andererseits nicht dieselbe Flexibilität bieten, die durch einen Wechselbetrieb der Pumpe erreicht werden kann.

Drehzahlregelung

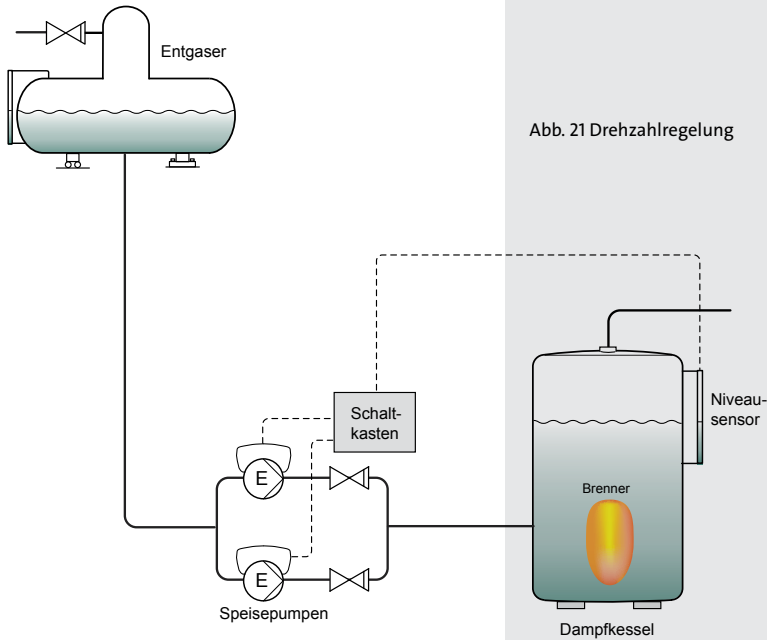


Abb. 21 Drehzahlregelung

FUNKTION

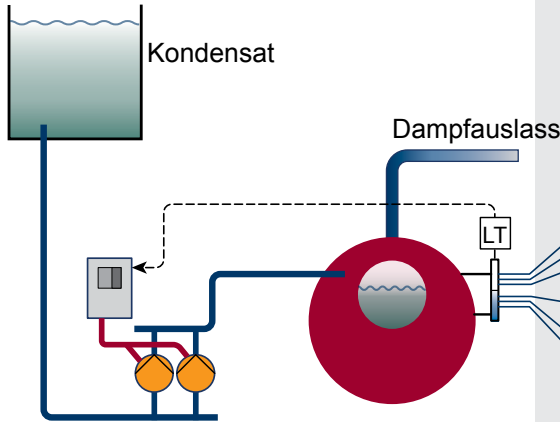
Bei dieser Anlage wird der Füllstand im Kessel direkt über die drehzahlgeregelte Pumpen ohne Verwendung eines Zulaufventils angepasst. Die Pumpen werden mithilfe eines Füllstandssensors oder eines Differenzdruckgebers am Kessel geregelt. Auf diese Weise kann der Wasserzulauf gemäß dem Dampfverbrauch eingestellt werden. Diese Anlage arbeitet reibungslos, ist ideal geeignet für alle Arten von Dampfkesseln, ob klein oder groß, und minimiert zudem das Risiko einer Überhitzung.

REGELKREIS

Der Regelkreis muss sehr präzise konfiguriert werden, sodass der Füllstand so genau wie möglich eingestellt werden kann und die Pumpe sich abschaltet, wenn kein Wasser benötigt wird.

Kesselspeisepumpen sind häufig wie in Abbildung 22 dargestellt als Betriebs- und Reserve-Pumpen ausgeführt.

Abb. 22



Energie

Den Füllstand im Kessel direkt über die drehzahlregulierten Pumpen anzupassen, ist auch die energieeffizienteste Möglichkeit, den Kessel zu speisen. Es findet kein unnötiger Durchfluss durch einen Bypass statt und der kontinuierliche Druckverlust am Regelventil wird beseitigt.

Eine einfache Berechnung des tatsächlichen Energieverlusts birgt oft ein überraschendes Ergebnis. Ein Beispiel: Eine standardmäßige Dampfkesselanlage, die 20 m³/h Dampf erzeugt. Der Druckverlust am Ventil beträgt 5 bar.

Das Lastprofil des Kessels ist in fünf Zeiträume unterteilt. Auf dieser Grundlage können die folgenden Berechnungen angestellt werden:

- 100 % Last = 1752 Stunden pro Jahr mit 20 m³/h
 - 75 % Last = 1752 Stunden pro Jahr mit 15 m³/h
 - 50 % Last = 1752 Stunden pro Jahr mit 10 m³/h
 - 25 % Last = 1752 Stunden pro Jahr mit 5 m³/h
- Die restlichen 1752 Stunden pro Jahr ist die Pumpe ausgeschaltet.

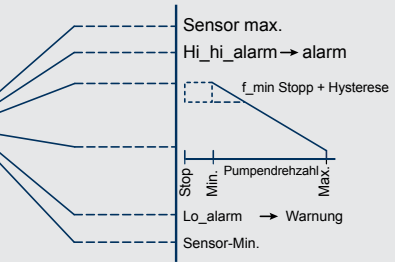


Abb. 23

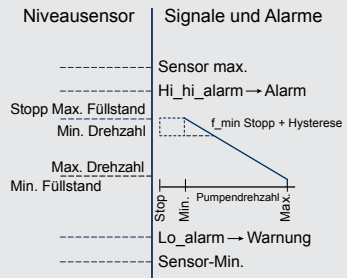


Abb. 24

$$P_{1 \text{ bei } 100 \%} = \frac{Q \cdot h \cdot 2,72 \cdot \text{Stunden}}{\eta_{\text{Motor}} \cdot \eta_{\text{Pumpe}}} = \frac{20 \cdot 50 \cdot 2,72 \cdot 1752}{0,9 \cdot 0,8} = 6.618 \text{ kW/h}$$

$$P_{1 \text{ bei } 75 \%} = \frac{Q \cdot h \cdot 2,72 \cdot \text{Stunden}}{\eta_{\text{Motor}} \cdot \eta_{\text{Pumpe}}} = \frac{15 \cdot 50 \cdot 2,72 \cdot 1752}{0,9 \cdot 0,8} = 4.964 \text{ kW/h}$$

$$P_{1 \text{ bei } 50 \%} = \frac{Q \cdot h \cdot 2,72 \cdot \text{Stunden}}{\eta_{\text{Motor}} \cdot \eta_{\text{Pumpe}}} = \frac{10 \cdot 50 \cdot 2,72 \cdot 1752}{0,9 \cdot 0,8} = 3.309 \text{ kW/h}$$

$$P_{1 \text{ bei } 25 \%} = \frac{Q \cdot h \cdot 2,72 \cdot \text{Stunden}}{\eta_{\text{Motor}} \cdot \eta_{\text{Pumpe}}} = \frac{5 \cdot 50 \cdot 2,72 \cdot 1752}{0,9 \cdot 0,8} = 1.655 \text{ kW/h}$$

Jährliche Energieeinsparungen: 16.546k W/h

Beachten Sie, dass die Einsparungen oben nicht die Verluste im Bypass berücksichtigen.

VORTEILE

- Kesselspeisung wird wie beschrieben gemäß dem Dampfverbrauch angepasst
- Energieeinsparung beim Pumpenbetrieb
- Kein Druckverlust am Zulaufventil
- Einsparungen entsprechen den Kosten eines teuren Zulaufventils (einschließlich Wartungskosten)

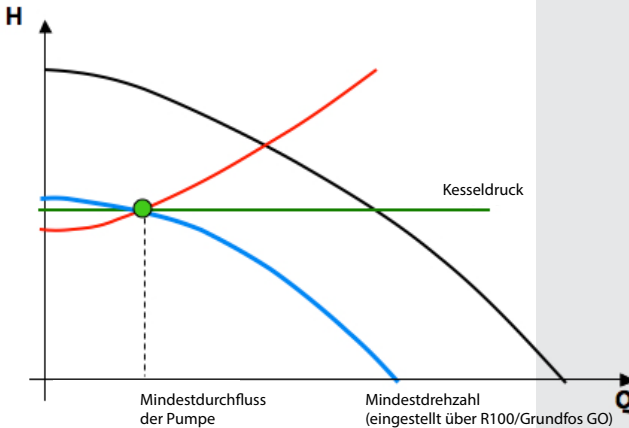
NACHTEIL

- Erfordert eine präzise und fachkundige Inbetriebnahme

WICHTIG!

- Es muss eine Mindestfrequenz bestimmt werden, damit die Pumpe immer den Druck im Kessel überwinden und den Mindestdurchfluss liefern kann. Hierzu kann beispielsweise die MIN-Kennlinie der Pumpe verwendet werden.

Abb. 25



- Es muss sichergestellt sein, dass sich die Pumpe abschaltet, wenn kein Dampf produziert wird. Hierzu kann beispielsweise ein Schwimmerschalter verwendet werden, der beim Erreichen eines hohen Füllstands im Kessel ein Abschaltsignal sendet.
- Der Regelbereich kann klein sein. Wenn sich der Füllstandssensor (4–20 mA) beispielsweise 2 m entfernt befindet und die Regelung nur in einem Bereich von 20 cm (entspricht etwa 2 mA) stattfindet, fällt das Regelband sehr schmal aus.
- Das Füllstandssignal ist häufig umgekehrt. Das bedeutet: Wenn das 20-mA-Signal vom Füllstandssensor eingeht, ist der Kessel voll und die Pumpe muss ausgeschaltet werden (nicht beschleunigen).

Kondensatanlage

Speisewasser

Für einen wirtschaftlichen Betrieb und eine lange Lebensdauer des Kessels und der Geräte ist die Behandlung des Speisewassers enorm wichtig. Das Wasser in Kesseln, Speisewasseranlagen usw. muss zwingend aufbereitet werden. Das gilt insbesondere für moderne Kessel mit einer hohen Verdampfungsrate. (Je schneller ein Dampfkessel oder Dampferzeuger aus Wasser Dampf produziert, desto schneller sammeln sich Feststoffe im

Wasser an.) Dies gilt in unterschiedlichem Maße für große und kleine Wasserrohrkessel, Rauchrohrkessel und Dampferzeuger. Unbehandeltes Wasser enthält immer natürliche Salze. Um die Bildung von Kesselstein zu verhindern, muss das Wasser daher aufbereitet werden.

Die Wasserbehandlung hat vor allem drei Zwecke:

- Verhindern von Korrosion im Kessel sowie in den Dampf- und Kondensatkomponenten
- Verhindern von Kesselstein
- Wirtschaftlicher Kesselbetrieb ohne Flüssigkeitstransfer

KORROSION führt zu einer Verringerung der Metaldicke von Rohren oder anderen Komponenten. Das bedeutet, der Druck muss reduziert werden.

KESSELSTEIN reduziert die Wärmeübertragung vom Heizelement auf das Wasser. Das bedeutet, dass eine höhere Gastemperatur erforderlich ist, um die Wärmeübertragung aufrechtzuerhalten. Dadurch verringert sich die Effizienz des Kessels durch größere Verluste, die durch die Abgase entstehen.

„**FLÜSSIGKEITSTRANSFER**“ ist ein Oberbegriff für den Vorgang, bei dem eine relativ kleine Menge an Feststoffen, die im Kesselwasser enthalten sind, vom Dampf mitgerissen werden. Schaumbildung kann ein Grund für Flüssigkeitstransfer sein. Aber auch die Ansaugung des Dampfes oder eine Kombination aus beidem kann dazu führen. „Schaumbildung“ bezieht sich auf die Bildung kleiner Blasen im Kessel, durch die Feststoffe im Kesselwasser aufgewirbelt und vom Dampf mitgerissen werden können.

Abb. 26

Verunreinigungen	Auswirkungen auf einen Kessel
Gelöste Gase	Korrosion
Kalzium- und Magnesiumsalze	Diese Salze bestimmen die Wasserhärte im Kessel. Einige Salze wirken auch korrodierend.
Kieselsäure	Bildet sehr harten Kesselstein
Suspendierte und gelöste Feststoffe	Verursacht Flüssigkeitstransfer oder trägt dazu bei

GELÖSTE GASE

Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid sind die beiden Gase, die für Korrosion verantwortlich sind. Kohlenstoffdioxid löst sich im Wasser und bildet so eine schwache Kohlensäure, die das Metall der Speisewasseranlage, des Kessels und der Kondensatanlage angreift. Sauerstoff ist ein Bestandteil von Wasser. Es führt dazu, dass in Wasser eingetauchter Stahl eine rote Eisenoxidschicht ausbildet. Dieser Rost – bzw. die Korrosion – breitet sich aus, bis das Metall vollständig korrodiert ist. Wenn jedoch der Sauerstoffgehalt im Wasser begrenzt wird, bildet sich nicht so leicht eine Oxidschicht. Stattdessen läuft der Stahl an. Dies liegt daran, dass sich auf dem Metall eine dünne Eisenoxidschicht bildet, die nicht so stark oxidiert ist wie die rote Rostschicht. Außerdem ist diese dünne Schicht dichter, sodass das Metall darunter nicht weiter angegriffen werden kann. Je höher die Alkalität des Wassers ist, desto stabiler fällt die Oxidschicht aus. Dadurch wird der Stahl auch besser geschützt. Sofern aber nicht eine bestimmte Alkalität erreicht ist, korrodiert es trotzdem an manchen Stellen weiter, sodass sich Löcher bilden.

KALZIUM- UND MAGNESIUMSALZE

Die Wasserhärte kann entweder temporär oder dauerhaft sein. Die temporäre Härte wird durch die Bicarbonate von Kalzium und Magnesium bestimmt. Diese zerbrechen nach dem Sieden des Wassers in Carbonate. Im Kessel finden die folgenden chemischen Reaktionen statt: Kalziumbicarbonat + Wärme. Kalziumcarbonat + Kohlenstoffdioxid + Wasser. Kalzium- und Magnesiumbicarbonat sind wasserlöslich, Carbonat hingegen nicht. Stattdessen fällt es als feines weißes Pulver aus. Diese Ausfällung verkrustet auf der Heizfläche des Kessels zu Kesselstein.

Die permanente Härte wird durch Kalzium- und Magnesiumsulfate, Chloride und Nitrate bestimmt. Diese Salze können nicht durch Sieden des Wassers entfernt werden. Unter den in einem Kessel herrschenden Bedingungen (die zu hohen Konzentrationen dieser Härtesalze führen) wird die Löslichkeit der Salz schnell überschritten. Daraufhin lagern sie sich an der heißesten Stelle der Heizfläche ab. Die Magnesiumsalze, die bei der permanenten Härte eine Rolle spielen, wirken

manchmal korrodierend und bilden keinen Kesselstein. Ein Beispiel hierfür ist Magnesiumchlorid, das im Kessel durch Hydrolyse die aggressive Salzsäure bildet, wenn das Wasser nicht behandelt wird.

KIESELSÄURE

Kieselsäure führt ähnlich wie die oben genannten Salze, die bei der permanenten Wasserhärte eine Rolle spielen, zur Bildung von Kesselstein. Kesselstein, der aus Kieselsäure, Kalzium- und Magnesiumsalzen besteht, ist äußerst hart und stellt bei Wartungsarbeiten eine große Herausforderung dar.

SUSPENDIERTE UND GELÖSTE FESTSTOFFE

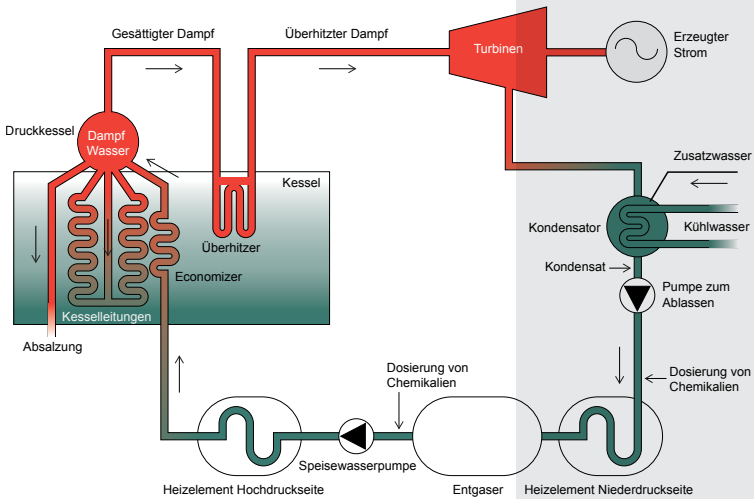
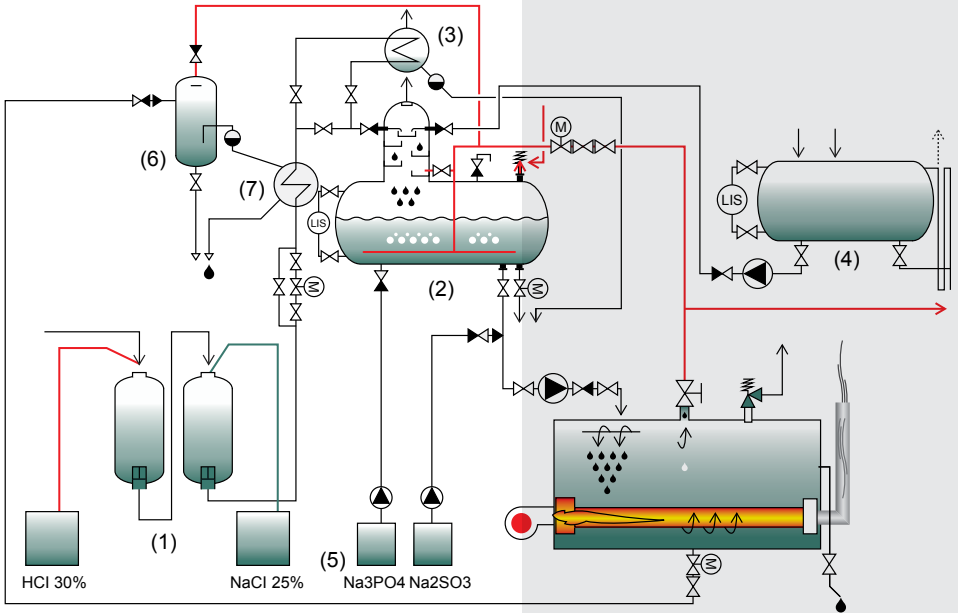
Die suspendierten und gelösten Feststoffe verursachen ein Aufschäumen der Flüssigkeit. Der Grund dafür ist, dass sie von einzelnen kleinen Blasen absorbiert werden und sich in ihren Wänden ablagern. Dadurch können die kleinen Blasen nicht größer werden, wodurch sie schneller platzen würden. Stattdessen bildet sich eine große Menge sehr kleiner Blasen. Wenn diese Blasen in der Nähe des Dampfauslasses bersten, kann das eingesprühte Wasser mit dem Dampf mitgerissen werden. Wenn die Blasen nicht platzen, bis sie den Bereich erreichen, in dem eigentlich nur noch Dampf vorhanden sein sollte, kann es passieren, dass der Schaum vom Dampf mitgerissen wird.

Das Kesselspeisewasser muss so zusammengesetzt sein, dass die darin enthaltenen Verunreinigungen im Kessel ausreichend konzentriert werden können, ohne dass die Toleranzen der jeweiligen Kesselkonstruktion überschritten werden. Wenn das Speisewasser diese Anforderungen nicht erfüllt, muss es vorbehandelt werden, um die Verunreinigungen zu entfernen. Die Verunreinigungen müssen allerdings nicht in allen Fällen vollständig entfernt werden, da sie auch durch die chemische Behandlung im Kessel effektiv und wirtschaftlich beseitigt werden können.

Wo wird was dosiert?

Je nach Chemikalie und ihrem jeweiligen Zweck gibt es unterschiedliche Dosierpunkte in der Kesselanlage. Die Hoch- und Niederdruck-Bereiche sind in den folgenden Diagrammen gekennzeichnet.





ARTEN VON KONDENSATBLEITERN

BEHANDLUNGSVERFAHREN

Es gibt zwei unterschiedliche Verfahren zur Wasserbehandlung:

- **Äußere Behandlung:** Reduziert oder entfernt Verunreinigungen im Wasser außerhalb des Kessels. Im Allgemeinen wird die äußere Behandlung eingesetzt, wenn ein oder mehrere Fremdstoffe im Speisewasser die Toleranzen der jeweiligen Kesselanlagen überschreiten. Es gibt verschiedene äußere Behandlungsverfahren (Wasserenthärtung, Verdampfung, Entgasung, Membranlösungen usw.), mit denen die Behandlung des Speisewassers auf die jeweilige Anlage abgestimmt werden kann.
- **Innere Behandlung:** Entfernt Verunreinigungen in der Kesselanlage. Die Reaktionen finden entweder in den Zulaufleitungen oder in den Kesselkomponenten statt. In manchen Fällen wird nur eine innere Behandlung vorgenommen, aber es ist auch eine Kombination mit einer äußeren Behandlung möglich. Die Ziele der inneren Behandlung sind: Reduzieren der Härte des Speisewassers, Aufbereiten der Ablagerungen, Entfernen von Sauerstoff und Verhindern einer Schaumbildung im Kesselwasser.

ÄUSSERE BEHANDLUNG

Es ist allgemein anerkannt, dass bei Dampfkesseln hauptsächlich die äußere Wasserbehandlung zum Einsatz kommen sollte, soweit dies möglich ist. Je nach Betriebsdruck des Kessels und Wasseranforderungen kommen unterschiedliche Behandlungsverfahren infrage. Allgemeine Richtlinien sind zum Beispiel:

Betriebsdruck	Behandlungsverfahren
<450 psi	Enthärtung mit Natrium-Zeolith zum Entfernen von Kalzium Kalkausfällung zum Reduzieren der Härte und Entfernen von Kieselsäure
450 – 900 psi	Deminalisierung zum Reduzieren der Härte und Entfernen von Kalzium, Magnesium und Natrium
>900 psi	Umkehr-Elektrodialyse und Umkehrosmose zum Produzieren von hochreinem Wasser

Die folgende Tabelle zeigt die Wasserqualität, die mit steigendem Kessel-Betriebsdruck erforderlich ist.

Dampfdruck im Kessel (psi)	Maximaler TDS-Wert (ppm)	Maximale Alkalität (ppm)	Maximale Härte (ppm)
Low – 300	3500	700	<20
300 – 450	3000	600	0
451 – 600	2500	500	0
600 – 750	2000	400	0
750 – 900	1500	300	0
900 – 1000	1250	250	0
1000 – 1500	1000	200	0
1500 – 2000	750	150	0
2000 – 3000	150	100	0

Typische Anforderungen an das produzierte Speisewasser:

Parameter	Empfohlener Wert
Spezifische Leitfähigkeit	100 (212)
Natrium und Kalium	< 10 µg/kg (10 Teile/Milliarde)
Kieselsäure	< 20 µg/kg
Eisen	< 20 µg/kg
Kupfer	< 3 µg/kg
Kohlenstoff	< 200 µg/kg
6000 (19685,04ft)	81,3 (178,3)
8000 (26246,72ft)	75,5 (167,9)

Äußere Wasserbehandlungsverfahren nach Qualität des produzierten Wassers – von der niedrigsten zur höchsten Qualität:

- Kalk- und Kalk-Soda-enthärtung: Bei der Kalk-enthärtung reagiert Hydratkalk (Kalziumhydroxid) mit Kalzium- und Magnesiumbicarbonaten. Der dadurch entstehende Schlamm ist leichter zu entfernen. Auf diese Weise kann die temporäre Wasserhärte (alkalisch) reduziert werden. Die Kalk-Soda-enthärtung mit Waschsoda reduziert die permanente Wasserhärte (nicht alkalisch) durch chemische Reaktionen.
- Ionenaustausch: die bei Weitem am häufigsten eingesetzte Methode für Großwasserraumkessel, in denen gesättigter Dampf erzeugt wird
- Umkehrosmose

Äußere Wasserbehandlungsverfahren nach Wasserreinheit:

- Wasserenthärtung
- Entcarbonisierung: entfernt mehr gelöste Feststoffe als die klassische Wasserenthärtung.
- Demineralisierung: kommt bei Hochdruckkesseln zur Anwendung (z. B. in Kraftwerken).

Oftmals ist keine äußere Behandlung der Wasserversorgung notwendig. Das Wasser kann dann ausschließlich mithilfe von inneren Verfahren behandelt werden.

INNERE BEHANDLUNG

Die innere Wasserbehandlung kann allein verwendet werden, wenn die Kessel mit niedrigem oder mittlerem Druck betrieben werden, wenn große Mengen an verdichtetem Dampf für das Speisewasser genutzt werden oder wenn das Rohwasser eine hohe Qualität aufweist. Bei dieser Art der Behandlung werden Chemikalien in das Wasser gegeben. Dadurch geschieht Folgendes:

1. Die Chemikalien reagieren mit den Härtesalzen im Wasser und verhindern, dass sie sich am Boden als Kesselstein ablagern. Für diesen Zweck werden Kesselsteinhemmer eingesetzt.
2. Die Chemikalien verändern die im Kessel gelösten Feststoffe (z. B. Härteablagerungen und Eisenoxid)

so, dass sie nicht am Metall des Kessels haften bleiben. Für diesen Zweck werden ebenfalls Kesselsteinhemmer verwendet.

3. Die Chemikalien verhindern die Bildung von Schaum, damit geeignete Konzentrationen der gelösten und suspendierten Feststoffe im Kesselwasser vorhanden sein können, ohne dass der Schaum in andere Anlagenteile gelangen kann. Hierfür werden Antischaummittel hinzugegeben.

4. Die Chemikalien entfernen Sauerstoff aus dem Wasser, sodass die Alkalität auf ein Niveau steigt, das Korrosion im Kessel vorbeugt. Für diese Aufgabe eignen sich Korrosionshemmer.

Zusätzlich sollte die innere Behandlung Korrosion und Kesselstein in der Speisewasseranlage verhindern sowie die Kondensatkomponenten vor Korrosion schützen.

Das Speisewasser (d. h. behandeltes Zusatzwasser vermischt mit zurücklaufendem Kondensat) kann behandelt werden, um Sauerstoff daraus zu entfernen. Dazu kann ein Heizelement, ein Entgaser oder ein Economizer verwendet werden. In vielen Fällen können auch Sauerstoffbinder hinzugegeben werden, um den Sauerstoffgehalt weiter zu reduzieren.

Zusätzliche Behandlung:

Der Dampf- und Kondensatbehandlung sollte besondere Beachtung geschenkt werden, da der Dampf einen Großteil der Chemikalien zurücklässt. Spezielle ausgasende Chemikalien können mit dem Dampf weitergeleitet werden und so auch die Kondensatleitungen vor Korrosion schützen. Um dies zu erreichen, kann der pH-Wert eingestellt oder ein filmbildendes Mittel eingesetzt werden. Einige Korrosionshemmer werden direkt in die Kondensatleitungen eingespritzt. Antischaummittel können ebenfalls hinzugegeben werden, damit der Dampf keine gelösten Feststoffe in andere Anlagenteile mitnimmt.

Verwendete Chemikalien

Bei der Wasserkonditionierung, die eine wichtige Ergänzung der Wasserbehandlung darstellt, werden verschiedene Stoffe in bestimmten Dosiermengen zum Wasser hinzugeben. Die folgenden Produkte zählen zu den am häufigsten verwendeten:

- Phosphat-Dispergiermittel, Polyphosphat-Dispergiermittel (Kesselsteinhemmer): Auf Grundlage der Alkalität des Kesselwassers reduzieren diese Produkte die Wasserhärte, indem sie Trikalziumphosphat bilden. Diese unlösliche Verbindung kann kontinuierlich oder regelmäßig am Boden des Kessels entfernt werden.
- Natürliche und synthetische Dispergiermittel (Kesselsteinhemmer): verbessern die Dispersionseigenschaften der Chemikalien. Zum Beispiel:
- Natürliche Polymere: Ligninsulfonate, Tannine
- Synthetische Polymere: Polyacrylate, Maleinsäure-Acrylat-Copolymere, Maleinsäure-Styrol-Copolymere, Polystyrolsulfonate usw.
- Komplexbildner: z. B. anorganische Phosphate, die als Hemmstoffe wirken und einen Schwellenwerteffekt erzeugen

- Sauerstoffbinder: Natriumsulfit, Tannine, Hydrazin, Hydrochinon/Derivate auf Pyrogallol-Basis, Hydroxylamin-Derivate, Ascorbinsäure-Derivate usw. Diese Sauerstoffbinder reduzieren die Oxide und den gelösten Sauerstoff mit oder ohne Katalysatoren. Sie können auch die Metalloberflächen passivieren. Welche Chemikalie in welcher Menge dosiert wird, hängt auch davon ab, ob zur Entgasung ein Heizelement verwendet wird.

- Antischaummittel: Eine Mischung aus verschiedenen Stoffen, die die Oberflächenspannung einer Flüssigkeit verändern, Schaum entfernen und so den Transfer feiner Wasserpartikel mit dem Dampf verhindern.

Verfügbare Technik Pumpen

Prozess	Ausrüstung	Grundfos-Produkte	Anmerkungen
Kesselspeisung	Mehrstufige Kreiselpumpe mit niedriger Haltedruckhöhe	CR-Pumpe mit modifizierter Software	Referenz: CRN 64-2 mit luftgekühltem Kopfstück für die Kesselspeisung bei hohen Temperaturen in Indonesien Referenz: CR 32 und CR 45 für die Kesselspeisung ermöglichen Energieeinsparungen von bis zu 40 %.
Kondensat-Rückströmung	Kreiselpumpen	CR, NB/NK, MTR	
	Inlinepumpen	Paco VLS	
	Blockpumpen	Paco LF	
	Spaltrohrmotor-Pumpen	Peerless Hydro-Line	
Sauerstoffentfernung	Dosierpumpen	SMART Digital, DME	
Phosphatdosierung	Mechanische Dosierpumpen	DMH	Phosphat wird zum Wasser hinzugegeben, um die pH-Wert-Schwankungen zu minimieren. Außerdem sorgt es dafür, dass sich Kalzium und Magnesium als weiche Ablagerungen und nicht als harter Kesselstein absetzen. Zusätzlich fördert es die Ausbildung einer Schutzschicht auf den Metalloberflächen des Kessels. Phosphat bildet jedoch auch Schlamm und reagiert mit den Härtesalzen im Wasser. Dieser Schlamm sollte durch Absalzen oder andere Verfahren regelmäßig entfernt werden.

- **Thermische (durch Änderung der Medientemperatur betätigt):** Die Temperatur des gesättigten Dampfs wird durch seinen Druck bestimmt. Im Dampfbereich gibt der Dampf seine Verdampfungswärme ab, sodass Kondensat entsteht, das die Dampftemperatur aufweist. Je mehr Wärme gegeben wird, desto weiter sinkt die Kondensattemperatur. Ein thermischer Kondensatableiter lässt das Kondensat abfließen, sobald er diese niedrigere Temperatur erfasst. Wenn mehr Dampf in den Ableiter einströmt, steigt die Temperatur und der Ableiter schließt sich wieder.
- **Mechanisch (durch Änderungen der Mediendichte betätigt):** Diese Art von Kondensatableitern nutzt die unterschiedlichen Dichten von Dampf und Kondensat. Zu diesen Kondensatableitern gehören auch Kugelschwimmerableiter sowie Glockenkondensatableiter. Bei den Kugelschwimmerableitern schwimmt die Kugel oben auf dem Kondensat, sodass sich bei ausreichender Kondensatmenge das Ventil öffnet und das dichtere Kondensat ausströmen lässt. Bei den Glockenkondensatableitern wird die Glocke nach oben gedrückt, wenn Dampf in den Ableiter strömt. Auf diese Weise schließt die Glocke das Ventil. Beiden Varianten liegt ein mechanisches Funktionsprinzip zugrunde.
- **Thermodynamisch (durch Änderungen in der Medientemperatur betätigt):** Diese Art von Kondensatableitern sind zum Teil darauf angewiesen, dass das Kondensat Entspannungsdampf bildet. Hierzu gehören Kapsel-, Impuls- und Labyrinth-Kondensatableiter.

Zudem gibt es Kondensatableiter mit einer festen Öffnung. Diese können jedoch nicht eindeutig in die Gruppe der automatischen Geräte eingeordnet werden, da es sich hierbei einfach um eine Öffnung mit festem Durchmesser handelt, durch die unter bestimmten Bedingungen eine vorab berechnete Kondensatmenge abfließt.

All diese Varianten machen sich die Tatsache zu nutze, dass heißes Kondensat, das unter Staudruck freigesetzt wird, Entspannungsdampf bildet, der eine Mischung aus Wasser und Dampf darstellt.

Pumpenauslegung

In der EU bildet die EN 12952-7 die Grundlage für die richtige Pumpenauslegung. Beachten Sie bitte jedoch auch die in Ihrem Land geltenden Anforderungen.

SICHERHEITZUSCHLAG GEMÄSS EN 12952-7: FÖRDERSTROM

Die Förderleistung der Speisepumpe muss mindestens das 1,25-Fache der zulässigen Dampfleistung aller Dampfkessel betragen. Das 1,15-Fache des Maximums im Dauerbetrieb ist ausreichend, um die Sicherheit zu gewährleisten. Um die Verfügbarkeit zu verbessern oder Änderungen der Bedingungen im Servicefall zu berücksichtigen, sollte der Spielraum ggf. vergrößert werden.

Falls kontinuierlich eine Absalzung des Kesselwassers stattfindet und das abgelassene Volumen 5 % der zulässigen Dampfleistung übersteigt, sollte die Leistung der Speisewasserpumpe entsprechend erhöht werden. Zum Beispiel: Bei einem Absalzungsvolumen von 8 % der zulässigen Dampfleistung muss die Pumpenleistung um 8 % erhöht werden.

(Im Prinzip muss der von der Pumpe gelieferte Förderstrom im Durchschnitt 25 % größer sein, als auf dem Typenschild des Kessels angegeben ist. Denken Sie daran, die Wassermenge im Bypass zu berücksichtigen. Die Menge kann über eine Blende oder ein Ventil geregelt werden, das sich zusammen mit dem Regelventil öffnet.)

SICHERHEITZUSCHLAG GEMÄSS EN 12952-7: DRUCK

Die Speisewasserpumpe muss den Dampfkessel zum einen mit der Speisewassermenge versorgen können, die bei maximal zulässigem Druck (wie oben angegeben) erforderlich ist. Zum anderen muss sie auch eine Speisewassermenge liefern können, die dem 1,1-Fachen des zulässigen Betriebsdrucks entspricht.

In manchen Ländern kann die Fördermenge um 10 % reduziert werden, wenn das Sicherheitsventil eine bestimmte Größe aufweist. Bitte beachten Sie die jeweils geltenden Vorschriften.



(Im Prinzip muss der von der Pumpe gelieferte Druck im Durchschnitt 10 % höher sein, als auf dem Typenschild des Kessels angegeben ist. Denken Sie daran, den Druckverlust im Regelventil und in den Leitungen zwischen Pumpe und Kessel zu berücksichtigen.)

Zusätzlich zu den oben genannten Anforderungen ist es auch wichtig, dass Sie nicht einfach nur den Förderstrom und Druck vom Typenschild des Kessels ablesen und auf Grundlage dieser Daten die Pumpe auslegen. Der Grund dafür ist die hohe Temperatur des Wassers und die dadurch bedingte geringere Dichte des Fördermediums. Siehe das Beispiel unten.

Beachten Sie, dass die Druckgeräterichtlinie (97/23/EG) gemäß Leitlinie 1/11 die Pumpen in Kesselanwendungen nicht betrifft.

BEISPIELHAFT FÖRDERSTROM- UND FÖRDERHÖHENBERECHNUNGEN

Die folgenden Informationen stammen vom Typenschild des Kessels (siehe Abb. 28).

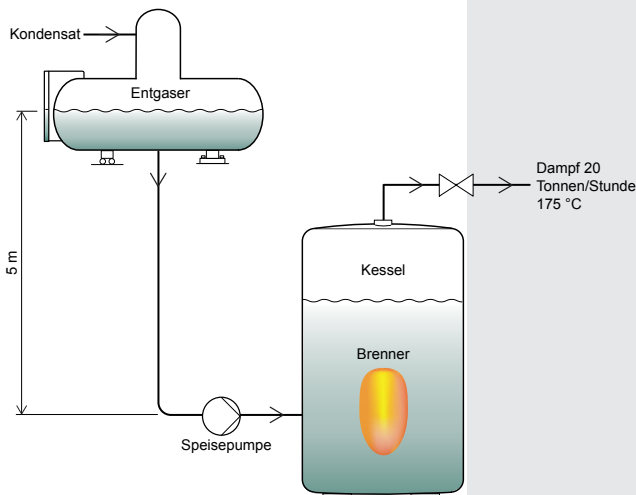
$$Q_{\text{Kessel}} = 20 \text{ t/h}$$

$$P_{\text{Kessel max}} = 12 \text{ m5 bar}$$

$$P_{\text{Kessel Betrieb}} = 10 \text{ bar}$$

$$\text{Temp.} = 175 \text{ °C}$$

Abb. 27



Die Abbildung oben zeigt, dass sich die auf dem Typenschild angegebenen 175 °C auf die Dampftemperatur am Kesselauslass bezieht. Diese Information ist allerdings nicht hilfreich, da die Pumpe nicht erfassen kann, was im Kessel vor sich geht. **Nutzen Sie für die Auslegung daher immer die Temperatur im Entgaser.**

Aus der Dampftabelle können die folgenden Werte für Wasser bei **einer Temperatur von 104 °C abgelesen werden.**

Dichte (ρ) = 955,2 kg/m³

Dampfdruck = 1,1668 bar

Zunächst müssen die Daten vom Typenschild in m³/h und m Förderhöhe umgerechnet werden, damit sie für die Auslegung verwendet werden können.

$$Q_{\text{Kessel}} = \frac{Q_{\text{Kessel}}}{p \cdot g} = \frac{20 \cdot 10^3}{955,2} = 20,9 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$h_{\text{Kessel}} = \frac{p_{\text{Kessel}}}{p \cdot g} = \frac{12,5 \cdot 10^5}{955,2 \cdot 9,81} = 133,4 \text{ m}$$

$$h_{\text{Kessel}} = \frac{p_{\text{Kessel}}}{p \cdot g} = \frac{10 \cdot 10^5}{955,2 \cdot 9,81} = 106,7 \text{ m}$$

Die folgenden Berechnungen zeigen die Ergebnisse für den Förderstrom und die Förderhöhe einschließlich der Sicherheitszuschläge gemäß EN 12952-7.

$$\begin{aligned} Q_{\text{Pumpe max.}} &= 1,25 \times Q_{\text{Kessel}} = 1,25 \times 20,9 = \mathbf{26,1 \text{ m}^3/\text{h}} \\ Q_{\text{Pumpe Dauerbetrieb}} &= 1,15 \times Q_{\text{Kessel}} = 1,15 \times 20,9 = \mathbf{24,0 \text{ m}^3/\text{h}} \\ h_{\text{Pumpe}} &= 1,1 \times h_{\text{Kessel}} = 1,1 \times 133,4 = \mathbf{146,7 \text{ m}} \end{aligned}$$

In diesem Beispiel wurden der Druckverlust im Regelventil und der Durchfluss durch den Bypass nicht berücksichtigt.

Sobald alle Werte berechnet sind, kann die Pumpe ausgewählt werden. Bitte beachten Sie, dass die Werte für den Förderstrom und den Druck einschließlich Sicherheitszuschlägen nicht gleichzeitig von der Pumpe erzielt werden müssen.

Die Berechnung sollte wie folgt durchgeführt wird. Beachten Sie dabei auch Abbildung 29.

Situation 1:

Förderstrom: 26,1 m³/h mit
Sicherheitszuschlag 133,4 m

Situation 2:

Förderhöhe: 146,7 m mit
Sicherheitszuschlag 20,9 m³/h

Auf Grundlage dieser Werte wird die folgende Pumpe ausgewählt, da sie für beide Situationen geeignet ist.

Bevor die Pumpe jedoch bestellt werden kann, muss noch der NPSH_A-Wert berechnet werden.

NPSH_A = In der Anlage VORHANDENER Druck für die Pumpe.

NPSH_R = Von der Pumpe BENÖTIGTER Druck, um Kavitation zu vermeiden.

Damit keine Kavitation in der Pumpe auftritt, gilt:
NPSH_A > NPSH_R

$$NPSH_A = h_b - h_f - h_v \pm h_{geo} - h_s$$

NPSH_A = Am Pumpenzulauf verfügbarer Druck.

h_b = Luftdruck und Betriebsdruck des Entgasers am Pumpenstandort.

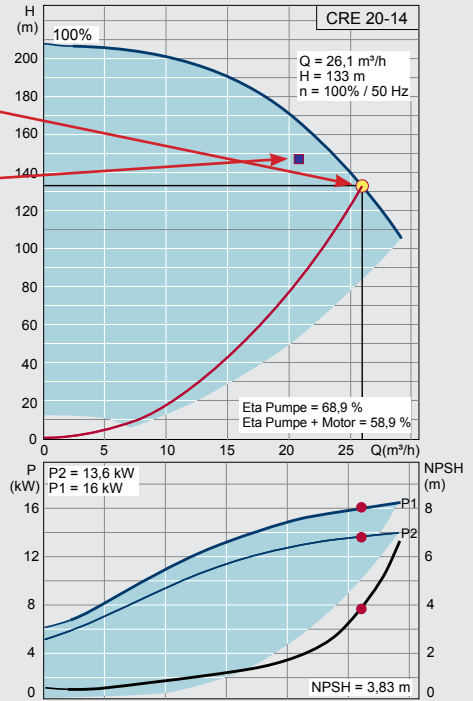
h_f = Reibungsverluste in der Zulaufleitung.

h_v = Dampfdruck der Flüssigkeit.

h_{geo} = Höhenunterschied zwischen Wasserspiegel im Entgaser und Zulaufseite der Pumpe.

h_s = Sicherheitszuschlag. Wird in der Regel auf 0,5 bis 1 m geschätzt.

Abb. 28



BEISPIEL:

Auf Grundlage der bereits erwähnten Werte und bei einem Montageort des Behälters, der sich 5 m oberhalb der Pumpen befindet, ergibt sich folgende Gleichung:

$$NPSH_A = \frac{p}{\rho \cdot g} - h_f - \frac{p}{\rho \cdot g} - h_{geo} - h_s = \frac{(1,01325 + 0,15355) \cdot 10^5}{955,2 \cdot 9,81} - 2 - \frac{1,1668 \cdot 10^5}{955,2 \cdot 9,81} + 5 - 1 = 2,0m$$

Wie bereits erwähnt muss die Dichte des Wassers bei 104 °C verwendet werden, da dies den Pumpenanforderungen entspricht.

Wenn man sich die Gleichung aber genauer ansieht, erkennt man, dass sich h_b und h_v ausgleichen. Der Grund hierfür ist, dass das Wasser im Entgaser normalerweise auf dem Siedepunkt gehalten wird.

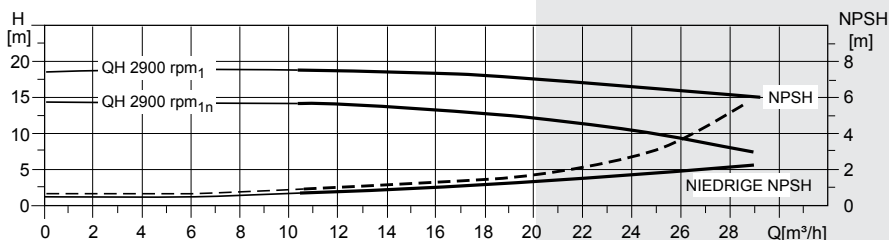
Da dieses Phänomen in Kesselanlagen immer auftritt, kann die Gleichung vereinfacht werden:

$$NPSH_A = h_f - \pm h_{geo} - h_s$$

Anstatt den Sauerstoff durch Sieden des Wassers zu entfernen, können auch Chemikalien hinzugesetzt werden. In diesem Fall wird das Wasser nur auf etwa 80 °C erhitzt.

Bei dieser Anwendung erhält man einen $NPSH_A$ -Wert von 2 m. Der NPSH-Wert der ausgewählten Pumpe liegt weit darüber. Daher sollten die Pumpenausführungen mit niedrigem NPSH-Wert in Betracht gezogen werden (siehe Abb. 29).

Abb. 29



Wie die Kennlinie zeigt, eignet sich diese Pumpe für einen niedrigen NPSH-Wert.

Die ausgewählte Pumpe ist in Abbildung 31 zu sehen. Wenn man den tatsächlichen Betriebspunkt einfügt, scheint diese Wahl in Ordnung zu sein. Wenn man sie jedoch mit einer Pumpe vergleicht, die zwei Laufräder weniger aufweist, stellt sich heraus, dass diese sogar noch besser ist (siehe Abb. 32). Wenn die Pumpe mit 12 Laufrädern ausgewählt wird, muss diese übersynchron laufen, um den Betriebspunkt gemäß europäischer Norm zu erzielen. Die Entscheidung hängt letztendlich von der jeweiligen Anwendung und den geltenden Anforderungen ab.

Abb. 30

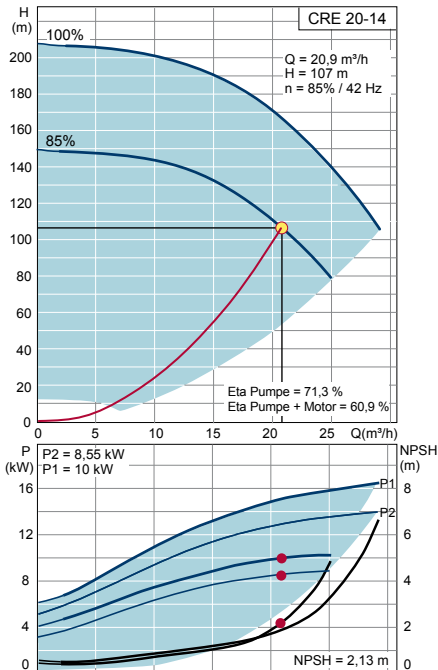
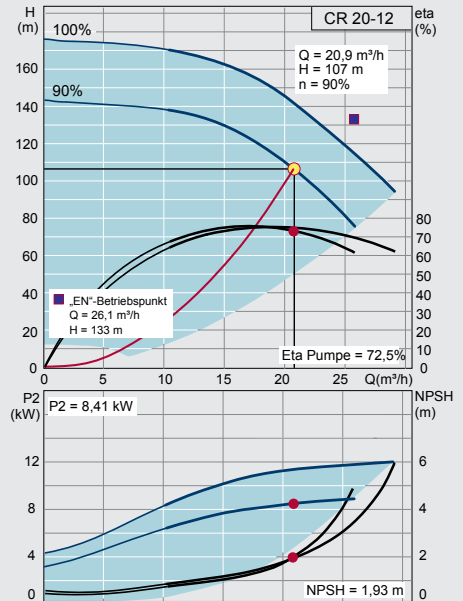


Abb. 31



Lösungen von Grundfos

E-Solutions

E-Solutions von Grundfos sind Produkte, deren Motoren mit einem integrierten Frequenzumrichter (MGE-Motoren) oder mit einem externen CUE-Frequenzumrichter ausgestattet sind.

ALLGEMEINE VORTEILE

1. Energieeinsparungen

- Geringere Lebenszykluskosten und CO₂-Emissionen

2. Mehr Komfort

- Reduzierte Geräuschbelastung
- Konstanter Druck
- Kein Wasserschlag

3. Reibungslose Abläufe

- Passt sich automatisch an Veränderungen in der Anlage an
- Überwachung und Regelung kritischer Parameter

4. Reduzierte Kosten für die gesamte Anlage

- Pumpen mit Drehzahlregelung erfordern meist weniger Ventile
- Geringere Kosten für Installation und Inbetriebnahme

5. Schutzfunktionen für Pumpe, Motor und Elektronik

- Geringere Belastung von Motor, Pumpe und Anlage
- Überlastschutz für Pumpe, Motor und Elektronik

VERSCHIEBUNG DER PUMPENKENNLINIE

Der Betrieb der Kesselspeisepumpen erfolgt oft bei niedrigem Förderstrom und dennoch vollem Kesseldruck. Bei diesen Bedingung stoßen Kreiselpumpen oft an ihre Leistungsgrenzen, da ihre Pumpenkennlinie bei niedrigem Förderstrom instabil wird. Bei einer flachen Lastkennlinie – wie bei der Kesselspeisung – wird dieses Problem noch verstärkt. Dies stellt eine Herausforderung für die Regelung dar. Siehe Abb. 32 und 33.

Abb. 32

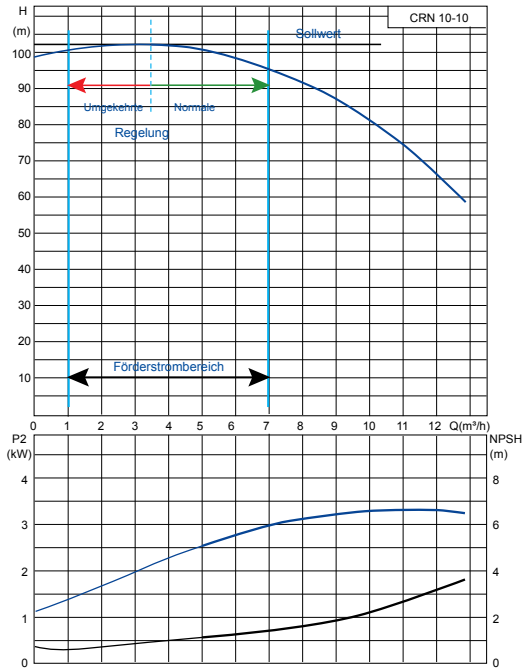
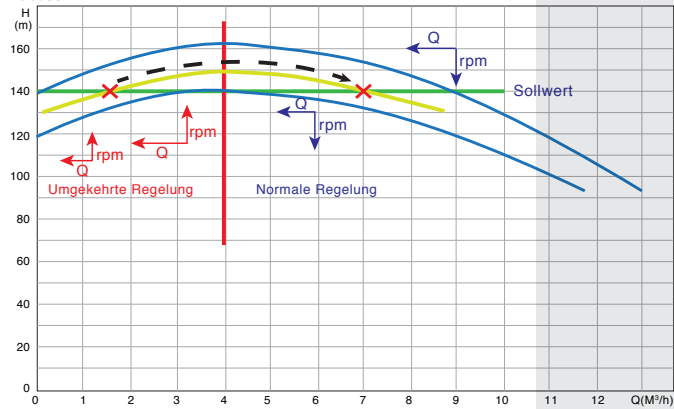


Abb. 33



Der Frequenzrichter von Grundfos verfügt für diesen Fall über eine besondere Funktion: Mithilfe der internen Motorregelung kann er diesem Phänomen entgegenwirken.

Dazu erhöht er die maximale Frequenz des Motors auf 55 Hz (oder bei Bedarf auf 58 Hz) und gleichzeitig auch den Schlupf des Motors.

Wenn die Pumpe bei geringer Last läuft (geringem Förderstrom), ist die Drehzahl der Pumpe hoch. Wenn der Förderstrom und damit die Last steigt, führt der höhere Schlupf dazu, dass die Pumpendrehzahl reduziert wird und zur ursprünglichen Pumpenkennlinien für den Betrieb mit 50 Hz zurückkehrt, obwohl der Motor immer noch mit 55 Hz läuft. Siehe Abb. 34.

Die Pumpenkennlinien fällt kontinuierlich ab und der instabile Bereich der Pumpenkennlinien wird beseitigt.

Noch wichtiger ist jedoch, dass der Regelkreis wie erwartet arbeiten kann. Siehe Abb. 35.

Luftgekühltes Kopfstück

Wie im Abschnitt zum Economizer bereits erwähnt, werden die Kesselspeisepumpen manchmal auf den Kesseldruck und die Kesseltemperatur ausgelegt. Diese Temperaturen sind für die Wellendichtungen ggf. zu hoch.

Ein luftgekühltes Kopfstück kann dieses Problem lösen. Eine CR-Pumpe mit luftgekühltem Kopfstück eignet sich für Temperaturen von 180 °C bei Verwendung von Wasser und 240 °C bei Verwendung von Thermoöl.

Das luftgekühlte Kopfstück trennt die Dichtungskammer und die Pumpe durch eine luftgekühlte Kammer voneinander. Auf diese Weise entsteht eine ähnlich isolierende Wirkung wie bei einer Thermoskanne. Die Kammer wird über die Kühlluft des Motors gekühlt. Zwischen der Pumpenwelle und dem Kopfstück befindet sich ein kleiner Spalt, durch den eine kleine Menge des Fördermediums fließen kann. So wird sichergestellt, dass die Dichtungskammer jederzeit mit Flüssigkeit gefüllt ist.

Abb. 34

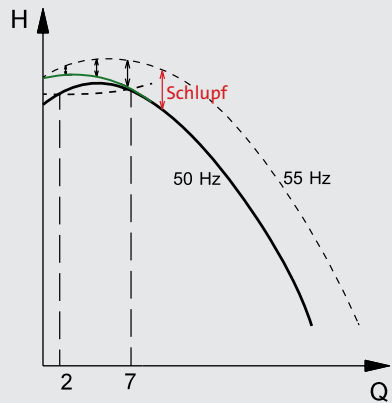
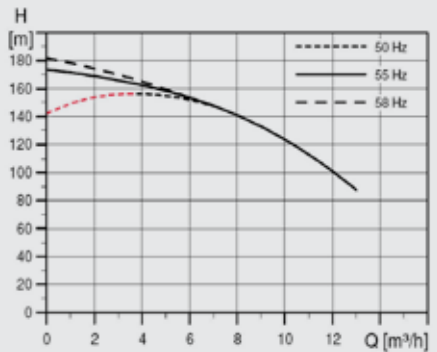


Abb. 35



Die Lösung mit luftgekühltem Kopfstück erfordert keine externe Flüssigkeit, um die Wellendichtung zu kühlen.

Niedrige Haltedruckhöhe

Bei Ausführung der CR-Pumpe mit niedriger Haltedruckhöhe handelt es sich um eine Normpumpe, die ein überdimensioniertes Laufrad in der ersten Stufe aufweist. Dieses hat einen größeren Laufradeintritt als Standard-Laufräder und kommt daher besser mit einem schlechten Zulaufdruck und heißem Wasser zurecht.

Die Ausführung mit niedriger Haltedruckhöhe eignet sich für denselben Betriebsdruck und dieselbe Betriebstemperatur wie die standardmäßigen CR-Pumpen.

Magnetkupplung MAGdrive Doppelte Wellendichtung oder MAGdrive

Wenn die Speisewasserpumpe das Wasser aus einem Vakuumbehälter fördert, besteht das Risiko, dass über die Wellendichtung Luft in die Pumpe gelangt. Dieses Problem tritt auf, wenn zwei Pumpen im Parallelbetrieb als Betriebs- bzw. Reservepumpe eingesetzt werden. Das Risiko ist hier, dass die Reservepumpe aufgrund des Vakuums im Entgaser/Kondensatbehälter Luft durch die Wellendichtung hindurch lässt. Um dies zu verhindern, kann eine Pumpe mit doppelter Wellendichtung (mit Wasserbarriere) oder eine MAGdrive-Pumpe ausgewählt werden. Weitere Informationen über unsere kundenspezifischen Pumpen finden Sie im Grundfos-Katalog.

Doppeldichtung

Eignet sich für Warmwasserinstallationen (z. B. Economizer-Anwendungen), in denen die Spülflüssigkeit zum Kühlen der Wellendichtungsflächen verwendet wird.

Kann auch in Vakuuminstallationen eingesetzt werden, in denen sichergestellt werden muss, dass keine Luft in das Kondensat gelangt.

Abb. 36: Luftgekühltes Kopfstück

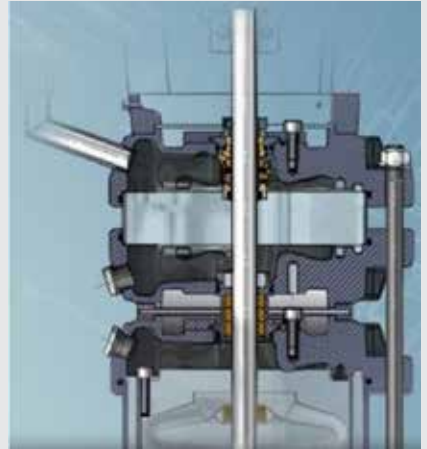


Abb. 37: Doppeldichtung



Lagerflansch

Der Lagerflansch ist ein zusätzlicher Flansch mit einem überdimensionierten Kugellager, der Axialkräfte in beide Richtungen aufnimmt.

Der Lagerflansch verlängert bei schwierigen Betriebsbedingungen die Lebensdauer.

Typische Anwendungsbereiche für Lagerflansche:

- Wenn die Pumpe mit einem Normmotor ausgerüstet ist, kann der Lagerflansch Hydraulikkräfte von der Pumpe ausgleichen und so die Lebensdauer von Motorlagern verlängern, die nicht speziell für Pumpenanwendungen konzipiert sind.
- Wenn die Pumpe mit einem Zulaufdruck betrieben werden soll, der den maximal zulässigen Druck übersteigt.

MP 204

Wenn die Pumpen in einer Kesselanlage nicht mit einem Frequenzumrichter ausgestattet sind, müssen sie anderweitig geschützt werden. Zu diesem Zweck hat Grundfos das MP 204 entwickelt. Dabei handelt es sich um ein intelligentes Motorschutzgerät, das nicht nur den Motor schützt, sondern auch Informationen zur Leistung von Pumpe und Motor liefert.

Es kann unter anderem Folgendes erfassen und messen:

- Lastprobleme
- Stromversorgung
- Temperatur
- Erdschluss

CUE

Falls die bereits erwähnte E-Solution, bei der ein Frequenzumrichter direkt am Motor montiert ist, nicht geeignet ist oder falls die Motorleistung für eine solche integrierte Lösung zu groß ist, bietet Grundfos auch einen externen Frequenzumrichter für die Wandmontage an: den CUE.

Wichtige Vorteile eines CU-Frequenzumrichters im Vergleich zu einem Standard-Frequenzumrichter:

- Einfache Inbetriebnahme dank Assistent
- Grafikdisplay von Grundfos

Abb. 38: Lagerflansch



Abb. 39: MP 204



Abb. 40: CUE



- Bewährte E-Pumpen-Funktionen von Grundfos als Standard
- Vorprogrammiert für die Grundfos-Pumpen
- Funkentstörfilter (C1) für Wohngebiete bei folgenden Ausführungen im Lieferumfang enthalten:
 - 1 x 200–240 V – alle Größen
 - 3 x 200–240 V – alle Größen
 - 3 x 380–500 V – bis einschließlich 90 kW
- Funkentstörfilter (C2 oder C3) für Industriegebiete bei allen anderen Größen und Spannungsausführungen im Lieferumfang enthalten
- Lagerüberwachung standardmäßig (Normmotoren mit vorgeschmierten Komponenten)
- Stillstandsheizung möglich (für Motoren in kondensierenden Bereichen)
- Standardmäßig mit Grundfos GENiBus

CIM/CIU:

Die Kommunikationsschnittstellen CIM und CIU wurden von Grundfos entwickelt, damit die genannten E-Solutions (MGE-Motoren, MP 204, CUE) mit den übrigen Komponenten der Regel- und Steuerungssysteme kommunizieren können. Die CIM-/CIU-Gateways können den Grundfos-Feldbus in alle anderen Standard-Feldbustypen umwandeln (z. B. Profibus, Modbus und Lon). CIM und CIU sind in zwei Ausführungen erhältlich: eine für die Wandmontage und eine als Zusatzkarte. Die Zusatzkarten sind nur für bestimmte Produkte verfügbar.

Monitor

Der CR Monitor von Grundfos bietet eine unübertroffene Früherkennung. Bei herkömmlichen Überwachungssystemen gibt es nur „Alles in Ordnung“ und „ALARM!“ – und nichts dazwischen. Beim CR Monitor gibt es aber zusätzlich noch Warnungen. Diese Warnungen geben Ihnen Zeit, zu handeln und unnötige Stromunterbrechungen, Ausfälle und, was am wichtigsten ist, Produktionsverluste zu verhindern, die unweigerlich entstehen, wenn kein Dampf mehr produziert werden kann. Dieses neue, automatisierte Überwachungstool kann Effizienzverluste und Pumpenstörungen vorhersehen und sogar Kavitation in Anlagen mit Kreiselpumpen verhindern. Gerade diese Kavitationsprobleme, die letztendlich zu einem

Abb. 41: CIM/CIU



Abb. 42: Monitor



Effizienzverlust und Pumpenausfällen führen können, treten in Kesselspeiseanlagen am häufigsten auf.

Die wichtigste Aufgabe des CR Monitor ist es, alles zu überwachen. Darüber hinaus führt er auch einige einfache Kommunikationsaufgaben aus. Auch wenn die Funktionsweise des Geräts sehr komplex ist, gibt es nur drei verschiedene Meldungen aus: Alles in Ordnung, Warnung und Alarm. Bei den letzten beiden Meldungen werden auch erklärende Texte zum Auslöser angezeigt.

Kavitation vorbeugen

Neben den Standardmessungen und der intelligenten Effizienzmessung erfasst der Monitor auch, wie hoch das Kavitationsrisiko in der Anlage ist. Das erste Anzeichen für Kavitation sind laute Geräusche in der Pumpe. Insbesondere in Kesselspeiseanwendungen, in denen Kavitation immer eine Gefahr darstellt und manchmal unvermeidbar ist, kann der CR Monitor die vorhandene Haltedruckhöhe jederzeit melden. Aber das ist noch nicht alles: Wenn eine Störung oder ein anderes fehlerhaftes Betriebsmuster des Kessels bereits Kavitation verursacht hat, kann der CR Monitor sofort anhand der Effizienzüberwachung feststellen, ob die Pumpe dadurch beschädigt wurde. Anders ausgedrückt: **Der CR Monitor ermöglicht einen sorgenfreien Betrieb.**

Leistungserhalt

Indem die Effizienz der Pumpe überwacht wird, kann auch der Zustand der Pumpenhydraulik eingeschätzt werden. Der CR Monitor warnt Sie also nicht nur bei Störungen in der Anlage, sondern auch, wenn die Pumpenhydraulik verschlissen ist – und zwar, bevor die Pumpe ausfällt. So wird aus einer Effizienzüberwachung ein Tool für die Entscheidungsfindung. Sie entscheiden, bei welchem Effizienzverlust die Pumpe gewartet werden soll, um ihre ursprüngliche Leistung wiederherzustellen.

Auf diese Weise kann auch die Wartung hinsichtlich Zeitaufwand und Kosten optimiert werden. Denn es ist nicht nötig, eine Pumpe alle zwölf Monate zu warten, wenn es überhaupt keine Gründe dafür gibt.

Der CR Monitor überwacht also die Effizienz und stellt sicher, dass sie unabhängig vom Betriebspunkt jederzeit optimal ist.

Er bietet die folgenden einzigartigen Vorteile und Verkaufsargumente.

ÜBERWACHUNG VON MOTOR UND PUMPE:

- Effizienz (kein unnötiger Leistungsverlust)
- Über-/Unterspannung
- Überhitzung
- Zu hohe Stromverbrauch
- Lagerüberwachung
- Trockenlaufschutz
- Verhindern von Kavitation

ÜBERWACHUNG DER ANLAGE UND FLÜSSIGKEIT:

- Prozess arbeitet außerhalb des Betriebsbereichs
- Medientemperatur
- Druck
- Förderstrom
- Zusätzlicher Analogeingang

WENIGER WARTUNGSKOSTEN UND LAGERHALTUNG:

- Wartung bei Bedarf, nicht nach Zeitplan
- Keine unnötigen Wartungsarbeiten
- Weniger Ersatzteile müssen vorrätig sein
- Geringerer Zeitaufwand für Servicearbeiten
- Keine regelmäßigen, manuellen Inspektionen notwendig
- Unerwartete Stillstandszeiten werden auf ein Minimum begrenzt
- CR Monitor überwacht alles rund um die Uhr

Füllstandsregelung für das Kondensat

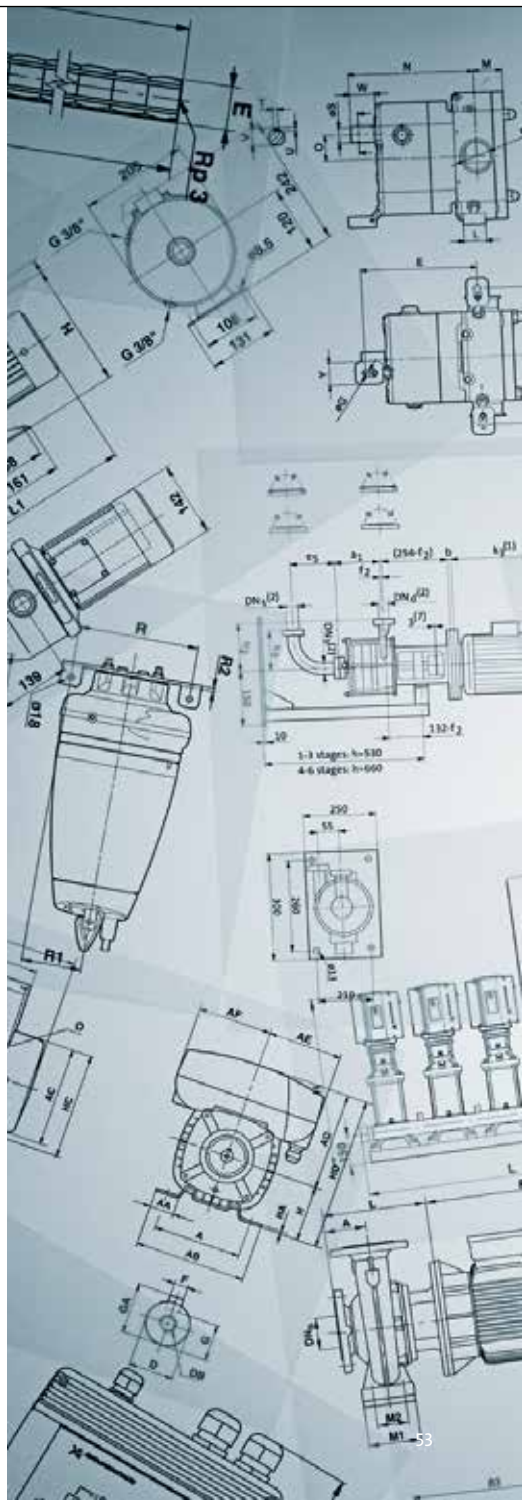
In der Vergangenheit wurden hierfür Schwimmerschalter verwendet. Eine modernere Variante ist die Verwendung von Füllstandssensoren, die über ein Signal ein Regelventil ansteuern. Diese Variante reduziert nicht nur den Wartungsaufwand. In Kombination mit dem richtigen Steuergerät kann ein einziger Sensor auch Füllstandsalarmlen auslösen und mit Fernanzeigen verbunden werden.

Füllstandssensoren können so konfiguriert werden, dass sie ein Signal bei einem zu hohen Wasserstand, bei normalem Wasserstand (für den Betrieb oder die Regelung) und bei niedrigem Wasserstand senden. Die Signale vom Sensor können an das Regelventil gesendet werden, das den Zulauf von kaltem Zusatz-

wasser regelt. Der Sensor im Speisewasserbehälter ist mit einer Schutzhülle versehen, die ihn vor Verwirbelungen schützt. Andernfalls könnten die Messergebnisse ungenau sein.

Füllstandsanzeige

Es wird empfohlen, am Speisewasserbehälter eine Füllstandsanzeige oder ein Schauglas anzubringen, um den Füllstand prüfen und die Sensoren einstellen zu können.

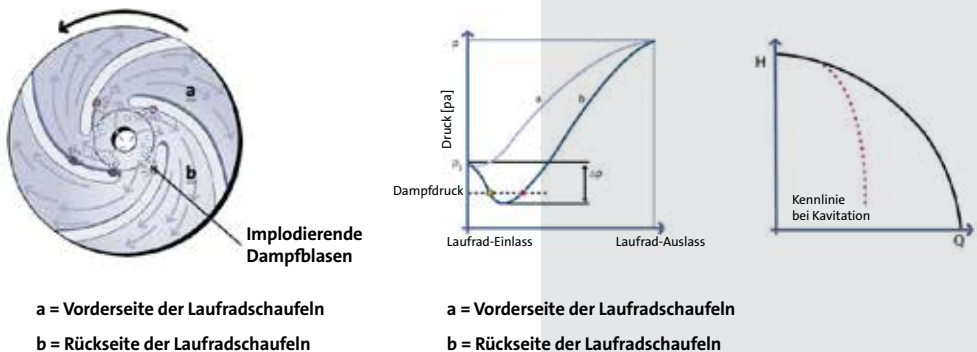


Theoretisches/Probleme

Kavitation

Da das Wasser im Entgaser oder im Kondensatbehälter eine hohe Temperatur aufweist, ist es schwierig, Kavitation vollständig zu vermeiden. Je höher die Temperatur ist, desto wahrscheinlicher tritt Kavitation auf. Der Grund dafür ist, dass der Druck etwas abfällt, wenn die Pumpe das Wasser in das erste Laufrad zieht, sodass das Wasser zu verdampfen beginnt. Wenn der Druck im Laufrad wieder steigt, fallen die kleinen Blasen explosionsartig in sich zusammen und verflüssigen sich wieder. Diesen Vorgang nennt man Kavitation. Der Entgaser/Kondensatbehälter wird daher häufig mehrere Meter über dem Zulauf der Pumpe montiert, damit der Zulaufdruck so hoch wie möglich ist. Die Pumpe kann eine einstufige Spezialbauweise aufweisen, um ihre Haltedruckhöhe zu verringern. Weitere Informationen hierzu finden Sie im Abschnitt zur Auslegung der Pumpen.

Abb. 43:



Wasserschlag

Wasserschlag (oder allgemeiner ausgedrückt: Flüssigkeitsschlag) bezeichnet eine Druckwelle, die entsteht, wenn ein sich bewegendes Medium (in der Regel eine Flüssigkeit, aber in manchen Fällen auch ein Gas) plötzlich gestoppt wird oder seine Bewegungsrichtung ändern muss. Wasserschlag entsteht meist, wenn am Ende eines Rohrleitungsnetzes

plötzlich ein Ventil geschlossen wird und sich dadurch eine Druckwelle in der Leitung ausbreitet. Teilweise wird Wasserschlag auch als Druckstoß bezeichnet.

Die Druckwelle kann schwere Probleme verursachen: von Strömungsgeräuschen und Vibration bis hin zum Rohrbruch. Mit Wasserschlagdämpfern und anderen Vorrichtungen lassen sich ihre Auswirkungen jedoch reduzieren.

In Kesselspeiseanwendungen tritt Wasserschlag meist beim Wechsel zwischen Betriebs- und Reservepumpe auf. Da das Wasser in der Reservepumpe meist kalt ist, kann es zu Wasserschlag kommen, wenn dieses kalte Wasser auf warmes trifft. Außerdem besteht zwischen der Pumpe und dem Kessel die Gefahr für Wasserschlag, wenn die Ventile zu schnell geschlossen werden – beispielsweise beim Wechsel zwischen Bypass und Kesselzulauf.

Abriss der Wassersäule

In Kesselspeiseanwendungen kann es zwischen dem Entgaser und den Pumpen zu einem Abriss der Wassersäule kommen. Dies geschieht, wenn der Druck in der Leitung abrupt auf den Dampfdruck der Flüssigkeit fällt und die Flüssigkeit verdampft. Dadurch bildet sich eine Art Dampfblase in der Leitung. Dieses Phänomen ist vor allem dann zu erwarten, wenn sich Rohrbögen oder Ventile (Änderungen des Gefälles) in der Leitung befinden. Wenn der Druck später wieder über den Dampfdruck der Flüssigkeit steigt, verflüssigt sich der Dampf und hinterlässt ein Vakuum. Die Flüssigkeit auf beiden Seiten dieses Vakuums fließt dann aufgrund des Druckunterschieds mit hoher Geschwindigkeit in diesen Hohlraum. Wenn die beiden Wassersäulen aufeinandertreffen (oder eine Wassersäule auf ein Leitungsende), kommt es zu Wasserschlag sowie einem hohen und beinahe sofortigen Druckanstieg. Dies geschieht in sehr kurzer Zeit und kann Druckspitzen bis zu 120 bar mit sich bringen. Ein so hoher Druck kann alle Sensoren im Zulauf der Pumpe beschädigen und gleichzeitig die Kammereinheit in der Pumpe so explosionsartig anheben, dass sogar die Motorlager Schaden nehmen.

ABSALZUNG

Kavitation kann in Kesselanwendungen auch beim Absalzen des Kessels vorkommen. Absalzen bedeutet,

dass das Wasser im Boden des Kessels abgelassen wird. Es ist notwendig, weil gelöste Feststoffe im Wasser nur so lange gelöst bleiben, wie das Kesselwasser in Bewegung ist. Sobald das Wasser aber still steht, lagern sich die gelösten Feststoffe am Kesselboden ab. Wenn diese Feststoffe nicht entfernt werden, sammeln sie sich an und beeinträchtigen mit der Zeit die Wärmeübertragung von den Rauchgasrohren, die dadurch überhitzen oder sogar brechen können.

Herkömmlicherweise werden diese Ablagerungen mithilfe eines relativ großen Ventils im Boden des Kessels abgelassen. Das Ventil wird dazu kurzzeitig und ruckartig geöffnet. Dadurch werden die Verunreinigungen aufgewirbelt und können beim nächsten Öffnen des Ventils besser abgelassen werden. Die Dauer und Häufigkeit der Absalzung hängt vom Kesselhersteller ab.

Probleme mit der Pumpe entstehen nur dann, wenn die Absalzung so lange dauert, dass der Druck im Kessel zu sinken beginnt. Das kann dazu führen, dass die Speisewasserpumpe die Kennlinie verlässt, sodass der für die Pumpe erforderliche NPSH-Wert drastisch ansteigt. In diesem Fall entsteht Kavitation, die mit der Zeit die Pumpe beschädigt.

SICHERHEITSVENTIL

Das Sicherheitsventil ist ein sehr wichtiges Bauteil. Es schützt das Kesselgehäuse vor Überdruck und verhindert, dass es dadurch bricht.

Stellen Sie sicher, dass die geltenden Normen hierzu jederzeit erfüllt werden.

Im Folgenden sind einige Normen aufgeführt, die ggf. gelten:

BS 6759 in Großbritannien: Werkstoffe, Konstruktion und Bauweise der Sicherheitsventile.

BS 2790 in Großbritannien: Konstruktion und Herstellung von geschweißten Großwasserraumkesseln.

EN ISO 4126 in Europa: Allgemeine Anforderungen an Sicherheitsventile.

Bitte beachten Sie die Werkstoffinformationen des Herstellers für genauere Hinweise zur Auslegung und Installation.

ABSCHALTUNG AM WOCHENENDE

Viele Dampfkessel werden am Wochenende abgeschaltet. Das bedeutet, dass in dieser Zeit kein Dampf produziert wird. Der Kessel wird jedoch konstant auf einer niedrigeren Temperatur gehalten, sodass er schnell wieder hochgefahren werden kann. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, diesen Stand-by-Betrieb umzusetzen. Bei vielen Kunden wird eine kleine Menge Dampf vom Kessel im Entgaser wiederverwendet, damit dieser auch beheizt wird. Der Kessel wird von Zeit zu Zeit eingeschaltet, um die Füllstände im Kessel und Entgaser anzupassen. Dabei kann es zu Kavitation und Wasserschlag kommen: Kavitation tritt auf, weil der Druck im Kessel niedriger ist als normal. Wasserschlag entsteht, wenn sich die Wassersäule in der Pumpe abkühlt, während sie still steht. Dies liegt daran, dass die Pumpe nicht gedämmt ist. Wenn die Pumpe dann wieder eingeschaltet wird, strömt dieses abgekühlte Wasser durch die Leitungen und verursacht Wasserschlag in der Anlage.

ÄNDERUNGEN DES DAMPFVERBRAUCHS

Häufig verändert sich der Dampfverbrauch im Laufe der Zeit. Manchmal wird mehr Dampf produziert, als auf dem Typenschild des Kessels angegeben ist. Dies hat auch Einfluss auf die Daten, die Grundfos zum Auslegen der Kesselspeisepumpen verwendet. Dadurch kann die Pumpe zu klein ausfallen. In diesem Fall würde die Pumpe mit einem zu hohen Förderstrom betrieben und eine höhere Haltdruckhöhe wäre erforderlich.

Ein Beispiel: Ein Kunde hatte die Turbinen an seinem Standort einmal im Monat jeweils eine Stunde lang mit Dampf gereinigt. Dies verursachte einen sehr großen Druckverlust im Kessel, sodass jeden Monat eine Stunde lang Kavitation in der Pumpe auftrat.

DOSIERUNG

In der Regel verursacht die Dosierung der jeweiligen Chemikalien keine Probleme. Hin und wieder kann jedoch ein verstärkter Verschleiß des Laufrads beobachtet werden. Dies geschieht, wenn die Chemikalien direkt vor den Speisewasserpumpen dosiert werden. In diesem Fall kann die Konzentration der Chemikalien in der Pumpe sehr hoch sein, weil sie sich nicht schnell genug mit dem Wasser vermischen, bevor beides in die Pumpe gelangt.



Wenn eine große CR-Pumpe mit Bronzelager zum Einsatz kommt, ist es daher wichtig, den pH-Wert des Kesselwassers unter 10 zu halten. Andernfalls wird die Bronze vom Wasser angegriffen. Dieses Problem tritt aber nur sehr selten auf, weil Kesselhersteller zumeist darauf achten, einen pH-Wert von etwa 8 bis 9 zu verwenden. Falls NH_3 hinzugegeben wird, um den pH-Wert zu senken, müssen Sie beachten, dass diese Chemikalie ebenfalls die Bronze angreifen kann.

Die digitale Dosierpumpe von Grundfos kann diese Probleme verhindern, da sie eine kontinuierliche Dosierung sicherstellt, sodass die Chemikalienmenge niemals zu hoch ist.

EINSCHALTEN DER SPEISEWASSERPUMPEN

Bevor die Pumpen eingeschaltet werden können, müssen die folgenden beiden Punkte beachtet werden. Wenn die Pumpe mit einem Frequenzumrichter ausgestattet ist, muss die Startdrehzahl der Pumpe so hoch sein, dass sie einen höheren Druck erzeugen kann, als im Kessel herrscht. Andernfalls läuft die Pumpe, als würde sie gegen ein geschlossenes Ventil fördern, bis der Kesseldruck überwunden wird. Dadurch könnte die Wellendichtung überhitzen und beschädigt werden.

Wenn die Anlaufzeit auf 0 Sekunden eingestellt ist, kann es zu einem Abriss der Wassersäule im Zulauf der Pumpe kommen, sodass sich kleine Hohlräume bilden. (Siehe Diagramm zum Abriss der Wassersäule.)

Häufig gestellte Fragen

Wie verhindere ich Kavitation?

Sie müssen sicherstellen, dass das Druckniveau auf der Zulaufseite der Pumpe höher ist als der Dampfdruck des Wassers. Die verfügbare Haltedruckhöhe (Net Positive Suction Head, NPSH) muss größer sein als die erforderliche Haltedruckhöhe. (Siehe den Abschnitt zur Auslegung der Pumpe.)

Wie rechne ich Bar in Meter Förderhöhe um?

Für die Umrechnung müssen Sie die Temperatur des Wassers kennen. Denn die Dichte ändert sich mit der Temperatur. Aus der Dampftabelle können die folgenden Werte für Wasser bei einer Temperatur von 104 °C abgelesen werden.

Dichte (ρ) = 955,2 kg/m³

Auf dem Typenschild ist ein maximaler Kesseldruck von 12,5 bar angegeben. Dieser Wert muss in Pascal umgerechnet werden.

Die Schwerkraft beträgt 9,81 m/s².

$$h_{\text{Kessel}} = \frac{p_{\text{Kessel}}}{\rho \cdot g} = \frac{12,5 \cdot 10^5}{955,2 \cdot 9,81} = 133,4 \text{ m Förderhöhe}$$

Welche Maßnahmen muss ich ergreifen, wenn sich die Anlage in großer Höhe befindet?

Wenn der Entgaser mit dem Siedepunkt betrieben wird, sind keine besonderen Maßnahmen erforderlich. Je höher der Druck ist, desto weniger Sauerstoff ist im Speisewasser gelöst. Dies ist für die Entgasung ein Vorteil. Die Maßnahmen zum Verhindern von Kavitation finden Sie im Abschnitt zur Auslegung der Pumpe. Die Siedetemperaturen sind in der Tabelle unten angegeben.

Abb. 44: Die Werte in der Tabelle basieren auf dem standardmäßigen Luftdruck in Meereshöhe (101,3 kPa):

Höhe [m]	Siedepunkt von Wasser [°C]
0 (0ft)	100 (212 °F)
300 (984,25ft)	99,1 (210,3 °F)
600 (1968,5ft)	98,1 (208,5 °F)
1000 (3280,8ft)	96,8 (206,2 °F)
2000 (6561,68ft)	93,3 (199,9 °F)
4000 (13123,36ft)	87,3 (189,1 °F)
6000 (19685,04ft)	81,3 (178,3 °F)
8000 (26246,72ft)	75,5 (167,9 °F)

Zertifikate

Zertifikate

Zertifikate	Beschreibung
Bescheinigung über die Übereinstimmung mit der Bestellung	Gemäß EN 10204, 2.1. Grundfos-Dokumentation, die bestätigt, dass die gelieferte Pumpe mit den Bestellangaben übereinstimmt.
Prüfbescheinigung. Unspezifische Inspektion und Prüfung	Gemäß EN 10204, 2.2. Dokument mit den Inspektions- und Testergebnissen für eine unspezifische Pumpe.
Abnahmeprüfzeugnis 3.1	Grundfos-Dokumentation, die bestätigt, dass die gelieferte Pumpe mit den Bestellangaben übereinstimmt. Die Inspektions- und Testergebnisse sind im Dokument angegeben.
Abnahmeprüfzeugnis	<p>Grundfos-Dokumentation, die bestätigt, dass die gelieferte Pumpe mit den Bestellangaben übereinstimmt. Die Inspektions- und Testergebnisse sind im Dokument angegeben. Eine Bescheinigung des Prüfers ist enthalten.</p> <p>Wir bieten die folgenden Abnahmeprüfzeugnisse an:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lloyds Register of Shipping (LRS) • Det Norske Veritas (DNV) • Germanischer Lloyd (GL) • Bureau Veritas (BV) • American Bureau of Shipping (ABS) • Registro Italiano Navale Agenture (RINA) • China Classification Society (CCS) • Russian maritime register of Shipping (RS) • United States Coast Guard (USCG) • Nippon Kaiji Koykai (NKK)
Standard-Prüfbericht	Dieses Dokument bestätigt, dass die Hauptkomponenten der jeweiligen Pumpe von Grundfos hergestellt wurden, dass die Pumpe einem QH-Test sowie einer Inspektion unterzogen wurde und dass die Pumpe allen Anforderungen der relevanten Kataloge, Zeichnungen und Spezifikationen entspricht.
Bericht zur Werkstoffspezifikation	Dieses Dokument stellt ein Zertifikat über die Werkstoffe dar, aus denen die Hauptkomponenten der jeweiligen Pumpe bestehen.
Bericht zur Werkstoffspezifikation mit Zertifikat vom Rohstofflieferanten	Dieses Dokument stellt ein Zertifikat über die Werkstoffe dar, aus denen die Hauptkomponenten der jeweiligen Pumpe bestehen. Für jede Hauptkomponente wird ein Werkstoffzertifikat (EN 10204, 3.1) mitgeliefert.
Verifizierungsbericht für den Betriebspunkt	Dieses Dokument bestätigt einen vom Kunden vorgegebenen Prüfpunkt. Es wird gemäß ISO 9906 in Bezug auf den zugesicherten Betriebspunkt ausgestellt.
Oberflächen-Rauhigkeit	Dieses Dokument gibt die gemessene Rauhigkeit des gegossenen Fußes der jeweiligen Pumpe an. Der Bericht bezieht sich auf die am Zulauf- und Druckstutzen gemessenen Werte gemäß ISO 1302.
Schwingungsbericht	Der Bericht gibt gemäß ISO 10816 die Werte an, die beim Leistungstest der jeweiligen Pumpe gemessen wurden.
Motor-Prüfbericht	Der Bericht enthält die Ergebnisse des Leistungstests für den jeweiligen Motor. Dazu gehören: Motorleistung, Strom, Temperatur, Statorwicklungswiderstand und Isolationsprüfung.
Pumpe wurde gereinigt und getrocknet	Das Dokument bestätigt, dass die jeweilige Pumpe gereinigt und getrocknet wurde. Zudem wird die Vorgehensweise erläutert.
Elektropolierte Pumpe	Das Dokument bestätigt, dass die jeweilige Pumpe elektropoliert wurde. Die maximale Oberflächenrauheit ist im Bericht angegeben.
ATEX-Zulassung	Das Dokument bestätigt, dass die jeweilige Pumpe über eine ATEX-Zulassung verfügt, die mit der EU-Richtlinie 94/9/EG konform ist.

Dampfdruck p und Dichte ρ von Wasser bei unterschiedlichen Temperaturen												
t[°C]	T[K]	P[bar]	ρ[kg/m³]	t[°C]	T[K]	P[bar]	ρ[kg/m³]	t[°C]	T[K]	P[bar]	ρ[kg/m³]	
0	273,15	0,00611	0999,8					138	411,15	3,414	927,6	
1	274,15	0,00657	0999,9	61	334,15	0,2086	982,6	140	413,15	3,614	925,8	
2	275,15	0,00706	0999,9	62	335,15	0,2184	982,1	145	418,15	4,155	921,4	
3	276,15	0,00758	0999,9	63	336,15	0,2286	981,6	150	423,15	4,760	916,8	
4	277,15	0,00813	1000,0	64	337,15	0,2391	981,1					
5	278,15	0,00872	1000,0	65	338,15	0,2501	980,5	155	428,15	5,433	912,1	
6	279,15	0,00935	1000,0	66	339,15	0,2615	979,9	160	433,15	6,181	907,3	
7	280,15	0,01001	999,9	67	340,15	0,2733	979,3	165	438,15	7,008	902,4	
8	281,15	0,01072	999,9	68	341,15	0,2856	978,8	170	443,15	7,920	897,3	
9	282,15	0,01147	999,8	69	342,15	0,2984	978,2	175	448,15	8,924	892,1	
10	283,15	0,01227	999,7	70	343,15	0,3116	977,7					
								180	453,15	10,027	886,9	
11	284,15	0,01312	999,7	71	344,15	0,3253	977,0	185	458,15	11,233	881,5	
12	285,15	0,01401	999,6	72	345,15	0,3396	976,5	190	463,15	12,551	876,0	
13	286,15	0,01497	999,4	73	346,15	0,3543	976,0	195	468,15	13,987	870,4	
14	287,15	0,01597	999,3	74	347,15	0,3696	975,3	200	473,15	15,50	864,7	
15	288,15	0,01704	999,2	75	348,15	0,3855	974,8					
16	289,15	0,01817	999,0	76	349,15	0,4019	974,1	205	478,15	17,243	858,8	
17	290,15	0,01936	998,8	77	350,15	0,4189	973,5	210	483,15	19,077	852,8	
18	291,15	0,02062	998,7	78	351,15	0,4365	972,9	215	488,15	21,060	846,7	
19	292,15	0,02196	998,5	79	352,15	0,4547	972,3	220	493,15	23,198	840,3	
20	293,15	0,02337	998,3	80	353,15	0,4736	971,6	225	498,15	25,501	833,9	
21	294,15	0,02485	998,1	81	354,15	0,4931	971,0	230	503,15	27,976	827,3	
22	295,15	0,02642	997,8	82	355,15	0,5133	970,4	235	508,15	30,632	820,5	
23	296,15	0,02808	997,6	83	356,15	0,5342	969,7	240	513,15	33,478	813,6	
24	297,15	0,02982	997,4	84	357,15	0,5557	969,1	245	518,15	36,523	806,5	
25	298,15	0,03166	997,1	85	358,15	0,5780	968,4	250	523,15	39,776	799,2	
26	299,15	0,03360	996,8	86	359,15	0,6011	967,8	255	528,15	43,246	791,6	
27	300,15	0,03564	996,6	87	360,15	0,6249	967,1					
28	301,15	0,03778	996,3	88	361,15	0,6495	966,5	260	533,15	46,943	783,9	
29	302,15	0,04004	996,0	89	362,15	0,6749	965,8	265	538,15	50,877	775,9	
30	303,15	0,04241	995,7	90	363,15	0,7011	965,2	270	543,15	55,058	767,8	
								275	548,15	59,496	759,3	
31	304,15	0,04491	995,4	91	364,15	0,7281	964,4	280	553,15	64,202	750,5	
32	305,15	0,04753	995,1	92	365,15	0,7561	963,8					
33	306,15	0,05029	994,7	93	366,15	0,7849	963,0	285	558,15	69,186	741,5	
34	307,15	0,05318	994,4	94	367,15	0,8146	962,4	290	563,15	74,461	732,1	
35	308,15	0,05622	994,0	95	368,15	0,8453	961,6	295	568,15	80,037	722,3	
36	309,15	0,05940	993,7	96	369,15	0,8769	961,0	300	573,15	85,927	712,2	
37	310,15	0,06274	993,3	97	370,15	0,9094	960,2	305	578,15	92,144	701,7	
38	311,15	0,06624	993,0	98	371,15	0,9430	959,6	310	583,15	98,700	690,6	
39	312,15	0,06991	992,7	99	372,15	0,9776	958,6					
40	313,15	0,07375	992,3	100	373,15	1,0133	958,1	315	588,15	105,61	679,1	
								320	593,15	112,89	666,9	
41	314,15	0,07777	991,9	102	375,15	1,0878	956,7	325	598,15	120,56	654,1	
42	315,15	0,08198	991,5	104	377,15	1,1668	955,2	330	603,15	128,63	640,4	
43	316,15	0,08639	991,1	106	379,15	1,2504	953,7	340	613,15	146,05	610,2	
44	317,15	0,09100	990,7	108	381,15	1,3390	952,2					
45	318,15	0,09582	990,2	110	383,15	1,4327	950,7	350	623,15	165,35	574,3	
46	319,15	0,10086	989,8					360	633,15	186,75	527,5	
47	320,15	0,10612	989,4	112	385,15	1,5316	949,1					
48	321,15	0,11162	988,9	114	387,15	1,6362	947,6	370	643,15	210,54	451,8	
49	322,15	0,11736	988,4	116	389,15	1,7465	946,0	374,15	647,30	221,2	315,4	
50	323,15	0,12335	988,0	118	391,15	1,8628	944,5					
				120	393,15	1,9854	942,9					
51	324,15	0,12961	987,6									
52	325,15	0,13613	987,1	122	395,15	2,1145	941,2					
53	326,15	0,14293	986,6	124	397,15	2,2504	939,6					
54	327,15	0,15002	986,2	126	399,15	2,3933	937,9					
55	328,15	0,15741	985,7	128	401,15	2,5435	936,2					
56	329,15	0,16511	985,2	130	403,15	2,7013	934,6					
57	330,15	0,17313	984,6									
58	331,15	0,18147	984,2	132	405,15	2,8670	932,8					
59	332,15	0,19016	983,7	134	407,15	3,041	931,1					
60	333,15	0,19920	983,2	136	409,15	3,223	929,4					



GRUNDFOS GmbH

Schlüterstr. 33
D-40699 Erkrath
Tel. +49 211 929 690
infoservice@grundfos.com
www.grundfos.de

**GRUNDFOS Pumpen
Vertrieb Ges.m.b.H.**

Grundfosstr. 2
A-5082 Grödig
Tel. +43 6246 883 0
www.grundfos.at

GRUNDFOS Pumpen AG

Bruggacherstrasse 10
CH-8117 Fällanden
Tel. +41 44 806 81 11
www.grundfos.ch

GRUNDFOS 