

DIE KONDENSATPUMPE

1) Allgemeines

Nachdem der Dampf in Wärmetauschern usw. kondensiert ist, sollte dieser in Behältern gesammelt werden, je nach Druck und Temperatur eventuell sogar in verschiedenen Behältern (siehe dazu auch Kapitel Nachverdampfung). Irgendwann ist der Behälter dann voll und droht überzulaufen. Kondensat ist nicht das „Abfallprodukt“ vom Dampf. Im Kondensat steckt je nach Temperatur noch verwertbare Energie.

Große Kondensatmengen werden wieder zur Kondensataufbereitung zurück in das Kraftwerk gefördert. Kleine Kondensatmengen verbleiben eventuell in der Produktion und werden z. B. als warmes Wasser für Reinigungszwecke oder zum Beheizen von Räumlichkeiten mit Hilfe von Wärmetauschern genutzt. Hier kommt dann eine Kondensatpumpe zum Einsatz. Der Dauereinsatz von Kondensatpumpen bei hohen Temperaturen und Drücken und bei wechselnden Kondensatmengen führt auch bei der besten Auslegung immer wieder zu Problemen. Sollen die Standzeit einer Pumpe möglichst lang und die Instandhaltungskosten möglichst gering sein, sind verschiedene Details zu beachten.

Es gibt verschiedene Pumpentypen. Wir möchten uns hier mit der Seitenkanalpumpe und der Kreiselpumpe beschäftigen.

Weitere Hinweise zu Kondensatpumpen kann man auch noch im Kapitel „Aus Schaden wird man klug...“ finden.

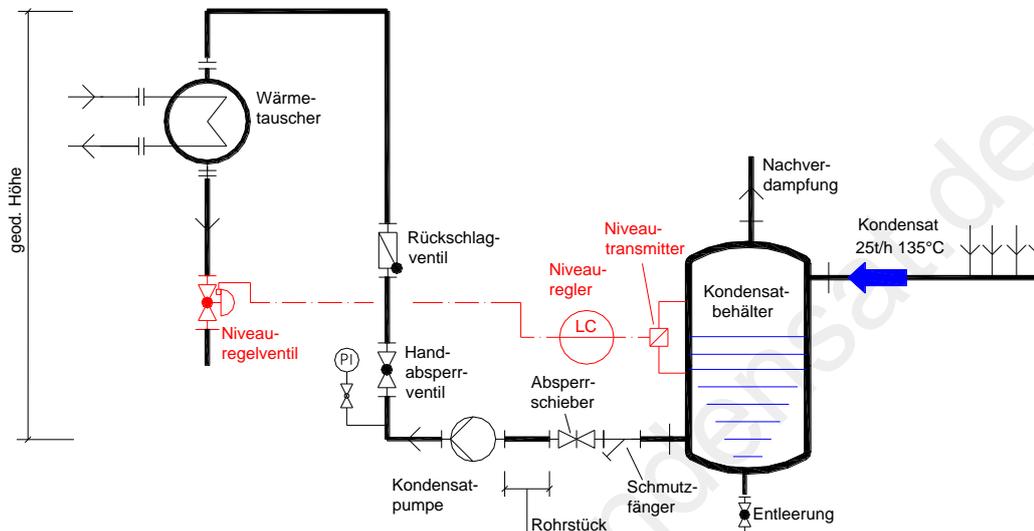
2) Aufbau einer Pumpenstation

Kondensatpumpen sind dazu da, Kondensat zu pumpen und nicht Luft oder Dampf. Beim Betrieb ohne Kondensat kommt es nach kurzer Zeit zu Schäden an der Gleitringdichtung. Die Pumpe wird sehr heiß, weil ohne Kondensat die Eigenwärme nicht abgeführt werden kann und dies führt zu weiteren Schäden. Kurz, ein „trockenes Laufen“ einer Kondensatpumpe muss unbedingt vermieden werden.

Problematisch ist auch das Einspülen von im Kondensat befindlichem Dampf. Dadurch kann es nach kurzer Zeit zu Materialschäden, besonders an den Flügelrädern der Pumpe, kommen. Die Kavitation in Pumpen, die durch implodierende Dampfbläschen entsteht, führt zu Materialabtrag. Also muss am Kondensatbehälter eine Einrichtung vorhanden sein, welche ein Überlaufen des Behälters verhindert und bei laufender Pumpe immer eine definierte Kondensatmenge im Behälter belässt. Solch eine Einrichtung ist eine Niveauregelung. (Niveaumessung siehe Kapitel Füllstandsmessung)

Die Niveauregelung / Aufbau einer Pumpenstation

Eine Niveauregelung besteht aus einem Niveautransmitter, einem Niveauregler und aus einem oder zwei Niveauregelventilen.

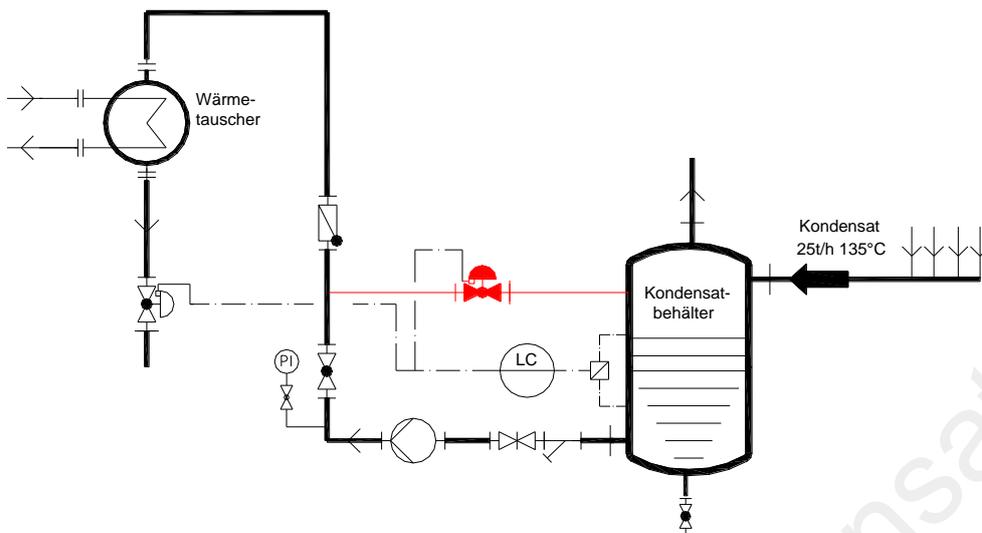


Der Niveautransmitter ist eigentlich ein Drucktransmitter, welcher den hydrostatischen Druck zwischen den beiden Druckabnahmen im Behälter misst. Der Niveauregler vergleicht den Istwert mit dem gewünschten Sollwert und übermittelt ein entsprechendes Signal zum Öffnen oder Schließen an den Stellungsregler des Niveauregelventils. Mit Hilfe eines am Behälter montierten Scheibenschauglases lässt sich zusätzlich das Niveau im Kondensatbehälter überprüfen. (Niveaumessung siehe Kapitel Füllstandsmessung)

Komfortabel ist die Installation eines zweiten kleineren Regelventils als Umföhrung. Öffnet das Niveauregelventil LCV1, schließt im gleichen Verhältnis das Ventil LCV2. Auf diese Weise werden immer gleiche Betriebsbedingungen für die Kondensatpumpe erreicht. Ebenso wird die Pumpe vor „Trockenlauf“ geschützt.

Durch diese Umföhrung wird vor allem ein Standzeit verkürzendes ständiges Aus- und Einschalten der Pumpe auf Grund eines stark schwankenden Niveaus im Kondensatbehälter vermieden.

Ein ähnliches Ergebnis hätte man auch, wenn statt dem zweiten Niveauregelventil eine Lochblende oder ein Überströmventil montiert wird. Dies wäre zwar kostengünstiger, ist aber bei stark schwankenden Drücken im Kondensatbehälter in der Betriebsweise zu unsicher.



Um bei Fehlfunktionen ein Trockenlauf der Kondensatpumpe zu vermeiden, sollte ein **Trockenlaufschutz** vorgesehen werden. Der Trockenlaufschutz kann kostengünstig mittels eines speziellen Scheibenschauglases realisiert werden. In diesem Scheibenschauglas ist ein Schalter eingebaut. Dieser Schalter unterbricht die Stromzufuhr der Kondensatpumpe bei Unterschreiten eines bestimmten Niveaus. Bei größeren Dampf- und Kondensatanlagen können ablaufende Prozesse mit Hilfe eines Prozess-Leitsystems (kurz PLS) von einer Leitwarte aus überwacht werden. In diesem PLS kann der Betreiber z. B. dann auch festlegen, bei welchem Minimum-Niveau im Kondensatbehälter die Kondensatpumpe abschaltet.

3) Kondensatbehälter

Auch der vorhandene oder neue Kondensatbehälter muss bei der Planung einer Pumpenstation beachtet werden. Der Behälter sollte ausreichend groß sein. Bei einer Kondensatmenge von z. B. 40 t/h ist ein Behälter mit einem Durchmesser von einem Meter und einer Höhe von 1,7 Meter (völlig) ausreichend. Der Stutzen zum Anschluss an die Saugseite der Pumpe sollte seitlich am Behälter angeschweißt sein. Die Entleerung des Behälters ist unten. Dadurch gelangen keine Rostpartikel, Schweißperlen oder Kleinteile in die Pumpe, sondern fallen auf den Behälterboden. Dort können diese mit Hilfe der Entleerung abgelassen werden. (Zusätzlich sollte ein Schmutzfänger mit Feinsieb die Pumpe vor Kleinteilen schützen.)

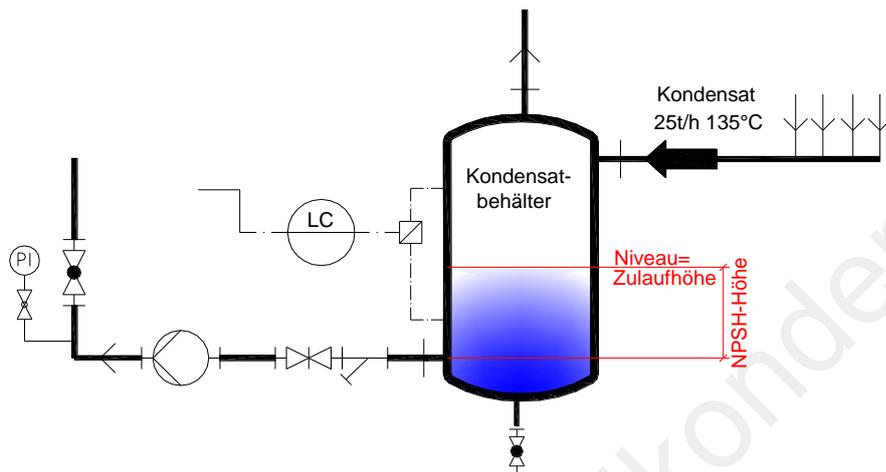
Der Stutzen des Kondensatzulaufs muss sich im oberen Drittel des Behälters befinden. Das Niveau im Kondensatbehälter sollte nie so hoch sein, dass der Stutzen der Kondensatleitung überflutet wird. Dies könnte zu Problemen in der Kondensatleitung führen (siehe auch Kapitel Nachverdampfung).

- Wird der Kondensatbehälter neu gebaut oder wird eine neue Pumpenstation an einen vorhandenen Behälter montiert, so muss die sog. NPSH-Höhe berücksichtigt werden. Die NPSH-Höhe wird vom Pumpen-Hersteller im Datenblatt zur Pumpen-Kennlinie dargestellt.

Der NPSH-Wert gibt an, welche minimale Zulaufhöhe des Kondensats zur Pumpe vorhanden sein muss, um Verdampfung in der Pumpe zu vermeiden. Mit Zulaufhöhe ist der Höhenunterschied des Kondensats im Behälter zur Pumpe gemeint.

- **Der NPSH-Wert ist bei siedenden Flüssigkeiten so wichtig, dass eventuell ein bestehender Behälter angehoben werden muss, um eine einwandfreie Förderleistung der Pumpe zu erreichen und Schäden an der Pumpe zu verhindern.**

(dazu später mehr ... Auslegung Kondensatpumpe)



Was ist noch zu beachten?

Direkt vor der Pumpe verlangen manche Pumpenhersteller ein gerades Rohrstück von ca. 0,3 m bis 0,5 m. Dadurch soll die Turbulenz kurz vor Eintritt in die Pumpe, hervorgerufen durch Rohreinbauten, verringert werden.

Bei der Montage einer Kondensatpumpe ist auf eine spannungsfreie Montage zur Rohrleitung zu achten. Werden die letzten Millimeter zwischen dem Flansch der Pumpe und der Rohrleitung mittels eines Kettenzuges „ausgeglichen“, so sind Schäden vorprogrammiert.

Bei Kondensat mit hohen Temperaturen ist auch die Wärmedehnung der Rohrleitungen zu beachten. Eine Rohrleitung, welche im kalten Zustand an die Pumpe angeschraubt wird und einwandfrei passt, kann im heißen Betriebszustand ungeahnte Kräfte auf die Pumpe ausüben (siehe auch Kapitel Wärmedehnung).

Ein Manometer direkt hinter der Pumpe ist bei Problemen mit dem Füllstand hilfreich. (siehe Punkt 7 unten)

- **Wichtiger Hinweis:** Oftmals werden an einem Kondensatbehälter gleich 2 Stck. Kondensatpumpen montiert. Eine Pumpe ist in Funktion und die andere Pumpe ist als Reserve gedacht. Falls die Pumpe 1 durch einen Defekt ausfällt, wird auf die Pumpe 2 umgeschaltet. Dieses wechselseitige Umschalten sollte auch ohne Defekt monatlich erfolgen, damit die stehende Pumpe nicht „fest rostet“.

Die richtige Auswahl einer Kondensatpumpe, vor allem bei sich stark ändernden Kondensatmengen, ist schwierig. Deshalb nun zur Auslegung einer Kondensatpumpe.

4) Auslegung einer Kondensatpumpe

Aus rechtlichen Gründen wird hier auf die Nennung von Pumpen-Herstellern und auf deren technische Details zu den Pumpenkennlinien verzichtet. Unten aufgeführte Kennlinien sind aus dem Gedächtnis erstellt und die darin aufgeführten Werte haben Ähnlichkeit mit den wirklichen Kennlinien sind aber frei erfunden. Die Auslegung einer Kondensatpumpe mit Hilfe der Pumpenkennlinie kann so aber trotzdem erläutert werden.

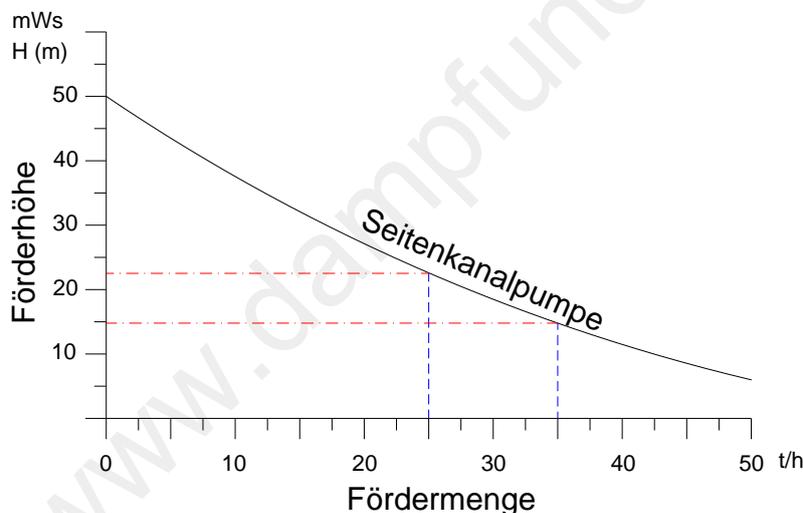
Die Auslegung einer Kondensatpumpe erfolgt in drei Schritten

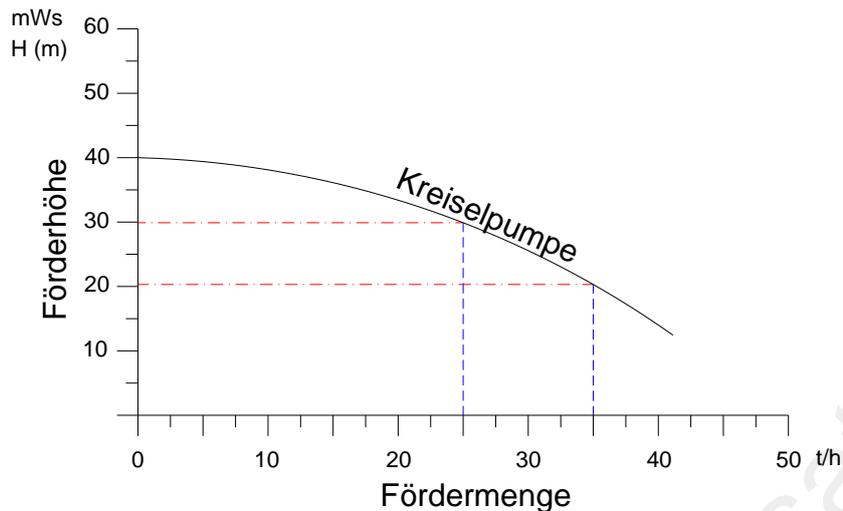
1. Ermittlung der Fördermenge
2. Ermittlung der Förderhöhe
3. Auswahl der Pumpe

► BEISPIEL:

In einem Behälter fließen 30 t/h Kondensat. Im Behälter stellt sich ein Druck von 3,5 barü und eine Temperatur von 148°C ein. Der Behälter ist ca. 2 m hoch und hat einen Durchmesser von 0,8 m. Die Pumpe soll das Kondensat zu einem Wärmetauscher fördern, welcher im 2. Stock eines Gebäudes montiert ist.

Hat man schon Kondensatpumpen im Einsatz, wird man den gleichen Typ aus Gründen der Instandhaltung und Ersatzteilkhaltung wieder verwenden. Im Herstellerkatalog zu diesen Pumpen findet man die Pumpen-Kennlinien.





I. Ermittlung der Fördermenge

In oben aufgeführten Pumpen-Kennlinien ist die Fördermenge pro Zeiteinheit angetragen und die Förderhöhe in mWs (Meter Wassersäule) oder einfach nur die Höhe in Metern ersichtlich. Die Förderhöhe gibt an, wie hoch die Kondensatpumpe das Kondensat pumpen könnte. Bei 50 mWs sind das dann 50 Meter.

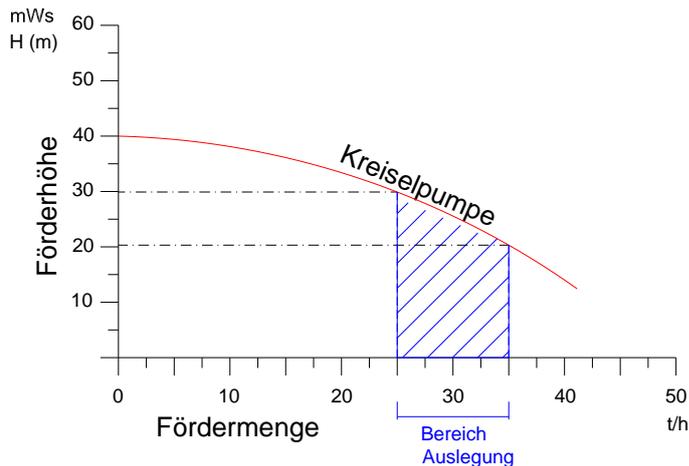
Obwohl leicht verständlich, wird mit der Einheit „Meter Wassersäule“ nicht mehr gerechnet. Der Wert wird in den Druck umgerechnet. Eine Wassersäule von 10 Meter entspricht einem Druck von 1 barü (50 mWs entsprechen 5 barü).

Bei Seitenkanalpumpen beginnt die Kennlinie links oben und verläuft nach rechts unten. D.h., bei einer theoretischen Fördermenge von 0 t/h oder 0,1 t/h hätte die Pumpe die größte Förderhöhe und bei maximaler Menge (rechts unten) die geringste Förderhöhe. *(Einen halb vollen Eimer Wasser kann man höher tragen, als einen vollen Eimer oder zwei volle Eimer gleichzeitig.)*

Bei Kreiselpumpen ist dies genauso. Die Kennlinie verläuft aber zunächst flacher und fällt dann schneller steil ab.

- **Eine Pumpe sollte nach Möglichkeit in der Mitte der möglichen Fördermenge ausgelegt werden. Kommt es zu sich ändernden Kondensatmengen, kann die Pumpe diese Mengen trotzdem fördern ohne außerhalb der Kennlinie zu liegen.**

In unserem Fall können im Normalfall 30 t/h in den Behälter fließen. Schwankungen um 5 t/h sind auf Grund der Fahrweise der Anlage möglich. D.h., in den Kondensatbehälter strömen 25-35 t/h Kondensat. Demnach muss eine Pumpe ausgewählt werden, welche 25-35 t/h fördern kann und dieser Bereich nach Möglichkeit in der Mitte der Kennlinie liegt.



II. Ermittlung der Förderhöhe

Die notwendige Förderhöhe der Pumpe ergibt sich aus dem (maximal) zu überwindenden Höhenunterschied und der Summe der Rohrwiderstände.

Der Höhenunterschied:

Nun muss der Höhenunterschied zwischen der Kondensatpumpe und dem Wärmetauscher bestimmt werden. Diese Angabe nennt man auch den geodätischen Höhenunterschied.

Der Wärmetauscher befindet sich z. B. im 2. Stock des Gebäudes. Es wurde ein Höhenunterschied zwischen Wärmetauscher und Pumpe von ca. 10 m ermittelt.

Ergebnis Höhenunterschied: Die Pumpe muss einen geodätischen Höhenunterschied von 10 m überwinden.

Der Höhenunterschied allein reicht aber für die Pumpenauslegung noch nicht.

Die Rohrwiderstände:

Es müssen auch noch die Widerstände, die eventuell in der Rohrleitung und im Wärmetauscher auftreten, berücksichtigt werden. Den Druckverlust über den Wärmetauscher (WT) kann man beim Hersteller erfragen oder man nimmt bei Rohrbündelwärmetauschern oder Plattenwärmetauschern 0,2 barü an.

Der Druckverlust über den Wärmetauscher würde der Kondensatpumpe demnach einen Widerstand von 0,2 barü entgegensetzen (2mWs).

Die Druckverluste der Rohrleitung sind schwieriger zu bestimmen. Eigentlich müssten dazu alle Rohrleitungseinbauten wie z.B. Armaturen, Absperrschieber usw. bzw. Rohrbögen und Rohrlängen berücksichtigt werden. Man ermittelt aus Nachschlagewerten die sog. Zeta-Werte (Druckverlustwerte) und addiert diese. Anschließend wird mit Hilfe einer Formel der Druckverlust kompliziert berechnet.

$$\Delta P_v = R_o/2 V^2 \dots\dots$$

Bei langen Rohrleitungen mit vielen Einbauten sollte man den genauen Druckverlust errechnen. Dazu kann man dann auch den Pumpen-Hersteller anfragen. Wenn die Rohrleitungen zum Wärmetauscher so ausgelegt wurden, dass die Strömungsgeschwindigkeit in der Rohrleitung zwischen 1-2 m/s beträgt, so kann man den Druckverlust auch mit 0,1-0,3 barü annehmen (1-3 mWs).*)

*) Die Homepage soll dem Betreiber helfen, Energie zu sparen. Eine Pumpe benötigt elektrische Energie. D.h., man sollte sich schon etwas Mühe geben, um eine Pumpe richtig auszulegen. Ist die Pumpe überdimensioniert, verbraucht diese unnötig elektrische Energie. Ist die Pumpe unterdimensioniert, wird die gewünschte Fördermenge und Förderhöhe nicht erreicht. In unserem einfachen Fall ist die Gefahr einer falschen Auslegung gering und es können wie oben beschrieben verschiedene Annahmen getroffen werden. Bei komplexen Pumpensystemen oder einer Vielzahl von eingesetzten Pumpen oder bei sehr großen Pumpen sollte ein Fachmann vom Hersteller für die Pumpenauslegung hinzugezogen werden.

Ergebnis Förderhöhe:

Der Widerstand, welcher der Pumpe entgegen wirkt, ist demnach:

Druckverlust Wärmetauscher:	0,2 barü	2 mWs
Druckverlust Rohrleitung:	<u>0,2 barü</u>	<u>2 mWs</u>
Gesamt:	<u>0,4 barü</u>	<u>4 mWs</u>

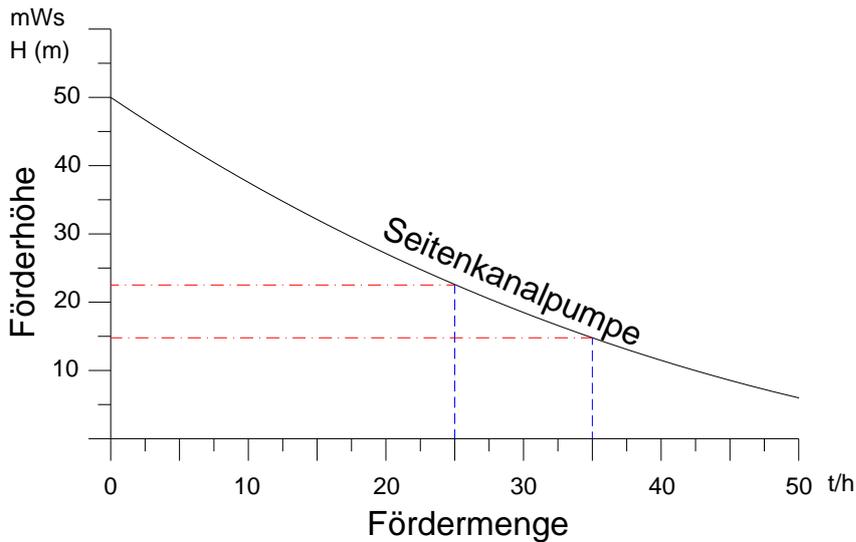
(Weiteres Beispiel zur Pumpenauslegung siehe unter Kapitel Planung / Beispiele.)

Außerdem muss die Pumpe mindestens eine Förderhöhe von 10 m überwinden. Die 10 m werden ebenfalls als Widerstand für die Pumpenauslegung gewertet und zu dem Gesamtdruckverlust addiert.

→ Insgesamt muss die Pumpe also eine Förderhöhe von mindestens 14 m erreichen.

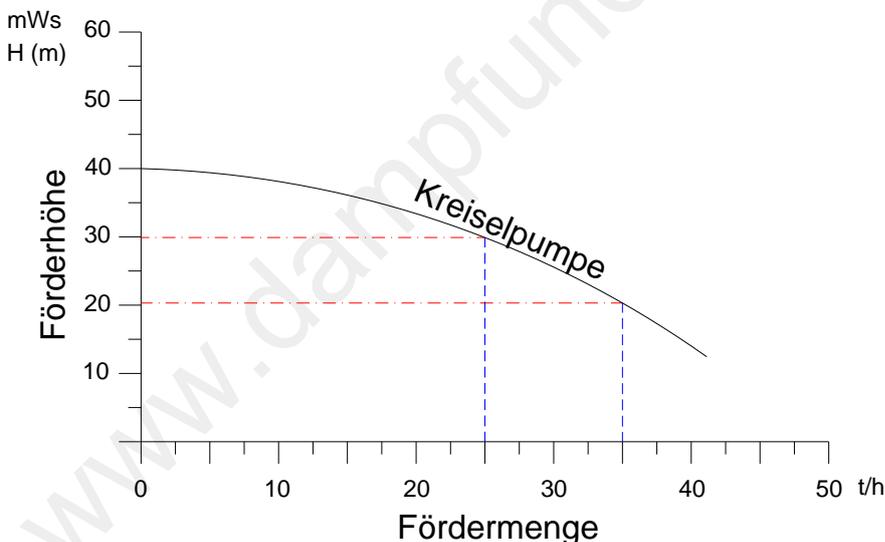
III. Auswahl der Pumpe mit Hilfe der Pumpen-Kennlinie

In der vom Pumpen-Hersteller erstellten Kennlinie zur **Seitenkanalpumpe** ist ersichtlich; dass die Pumpe bei minimaler Menge von 25 t/h eine Förderhöhe von 23 mWs erreicht. Bei maximaler Menge von 35 t/h beträgt die Förderhöhe noch knapp 15 mWs. Das wäre gerade noch ausreichend, wenn wirklich nur maximal 35 t/h in den Kondensatbehälter strömen. Besteht darin eine Unsicherheit, müsste man die nächst größere Pumpe der gleichen Baureihe verwenden. Die Fördermenge bleibt gleich, aber die Pumpe besitzt eine Druckstufe mehr.



Die **Kreiselpumpe** würde bei 25 t/h eine Förderhöhe von 30 mWs erreichen. Bei 35 t/h würde die Pumpe eine Förderhöhe von 20 mWs überwinden. Die gewählte Pumpe wäre für den Anwendungsfall gut geeignet. Wäre die Pumpe in der Förderhöhe ebenfalls zu knapp, so müsste dann ein größeres Laufrad gewählt werden.

Die Kennlinien für die vom Hersteller standardisierten Durchmesser der Flügelräder, welche für eine Kreiselpumpe möglich wären, sind oft in ein und dem selben Kennliniendatenblatt aufgeführt. Die vielen verschiedenen Linien verwirren aber zunächst etwas



→ **Ergebnisse der Pumpenauslegung:**

Fördermenge: 25 t/h bis 35 t/h
Förderhöhe : ca. 14 m

Die Überprüfung der Pumpenkennlinie ergab, dass der Einsatz einer Seitenkanalpumpe mit einer entsprechenden Druckstufe sowie einer Kreiselpumpe mit einem entsprechenden Laufrad möglich sind.

5) Die Überprüfung der NPSH-Höhe:

Zur Pumpenauslegung gehört noch die Überprüfung der NPSH-Höhe. Wir erinnern uns, dass die Einhaltung der minimalen Zulaufhöhe für die Förderung von Kondensat sehr wichtig ist.

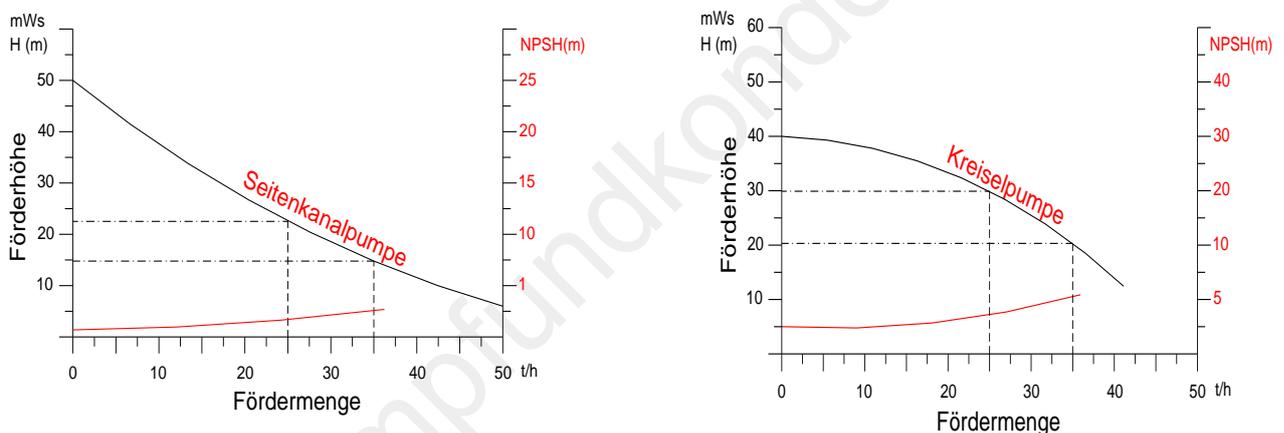
Nichtbeachtung führt zu stark verringerter Förderleistung bzw. zu Schäden durch Kavitation.

Kavitation ist die Bildung von besonders geformten Dampfblasen. Die Lieblingsbeschäftigung dieser Dampfblasen ist es, sehr kleine Kondensatmengen gegen Metallteile in der Pumpe zu schießen. Dies führt zu Materialabtrag hauptsächlich an den Laufrädern der Pumpe. (siehe dazu auch weiter unten im Kapitel)

Oftmals ist die entsprechende NPSH-Höhe in Abhängigkeit von der Fördermenge auch in der Pumpenkennlinie dargestellt. Vergleicht man beide Linien zur NPSH-Höhe bei gleicher Fördermenge, so stellt man fest, dass die Linie der Seitenkanalpumpe flacher verläuft.

Bei 30 t/h wird bei der Seitenkanalpumpe ein Wert von ca. 0,3 m abgelesen.

Die Kreiselpumpe benötigt bei der gleichen Menge ca. 3,5 m.



Kann die geforderte NPSH-Höhe von mindestens 3,5 m auf Grund der Konstruktion und Aufstellung des Kondensatbehälters nicht eingehalten werden, so sollte keine Kreiselpumpe zum Einsatz kommen.

So auch in unserem Beispiel. Der Behälter ist nur 2,5 m groß. Die geforderte NPSH-Höhe wäre größer als der Kondensatbehälter.

Generell bestehen die Erfahrungen, dass bei siedender Flüssigkeit Kreiselpumpen unempfindlicher sind als Seitenkanalpumpen. Auftretende Kavitation führen bei Seitenkanalpumpen sehr schnell zu größeren Schäden (z. B. defekte Lager auf Grund von Vibrationen). Bei Kreiselpumpen hingegen, tritt Kavitation zwar auch auf wird aber oftmals gar nicht bemerkt. Entsprechende Instandhaltungsmaßnahmen sind an Kreiselpumpen häufig einfacher durchzuführen als an Seitenkanalpumpen.

Problematisch für den Einsatz von Kreiselpumpen sind aber die erforderlichen NPSH-Höhen bei siedenden Flüssigkeiten.

Es soll hier keine Lanze für den einen oder den anderen Pumpentyp gebrochen werden. Beachte man wie oben beschrieben einige Details, sind beide Pumpentypen sehr gut zu verwenden.

Hinweis: Es muss nicht immer die oben beschriebenen Pumpentypen verwendet werden. Abhängig von der Temperatur und der Menge des anfallenden Kondensats lassen sich auch ganz normale Heißwasser-Pumpen verwenden. Die Auslegung der Pumpe ist die gleiche.

6) Wie wird eine montierte Pumpe hinsichtlich ihrer Kennlinie überprüft?

Meist wird eine Kondensatpumpe erst dann wieder interessant, wenn plötzlich der Sollwert des gewünschten Niveaus im Kondensatbehälter nicht mehr erreicht wird. Wie oben beschrieben kann dies verschiedene Ursachen haben.

Mögliche Ursachen:

- zu viel Kondensat, weil sich die Betriebsbedingungen geändert haben

Ist dies nur kurzzeitig oder haben sich die Betriebsbedingungen generell geändert?

- Siebfläche des Schmutzfängers vor der Pumpe verstopft

Die Siebfläche des Schmutzfängers muss regelmäßig gereinigt werden. Aufgefangene Rostpartikel verringern den Volumenstrom auf der Saugseite der Pumpe. Bei stark verschmutzter Siebfläche saugt die Pumpe dann das Kondensat wie durch einen Strohhalm an. Dies kann bis zur Unterschreitung des Dampfdruckes des Kondensats führen, welches zur Dampfblasenbildung auf der Saugseite der Pumpe führt. Starke Materialschäden und Vibrationen sind die Folge. (Vibrationen führen zu Schäden an der Gleitringdichtung)

- Niveauregelung funktioniert nicht mehr richtig

Eventuell hat der Niveautransmitter irgendwelche Probleme und es kommt so zu einer Fehlmessung.

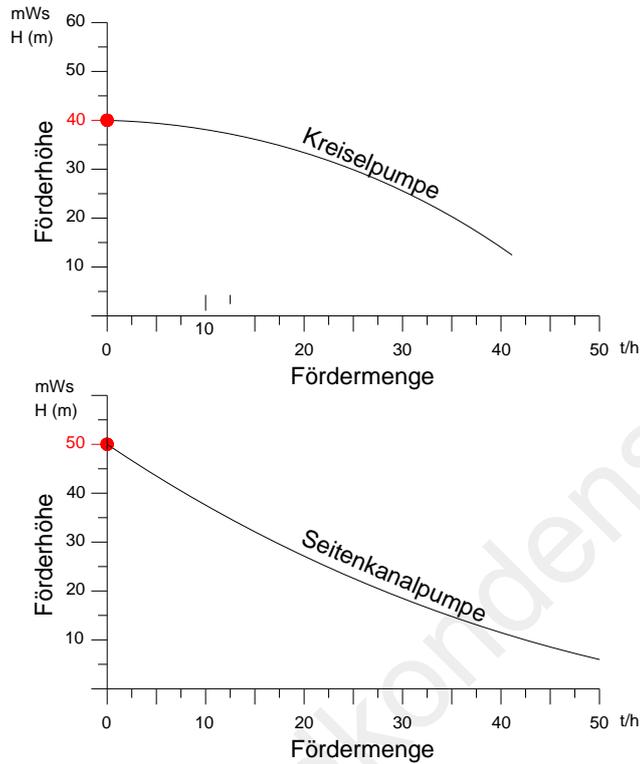
- Probleme mit dem Niveauregelventil

Ist das Niveauregelventil richtig ausgelegt, so muss das Ventil oder die Regelklappe die maximale Menge bei einer Öffnung von maximal 65% - 75% durchlassen. Bei Problemen mit dem Füllstand an einem Kondensatbehälter, sollte man sich vor Ort am Regelventil bzw. der Regelklappe von der tatsächlichen Öffnung überprüfen. Bei maximalem Füllstand, muss die Armatur auch komplett geöffnet sein.

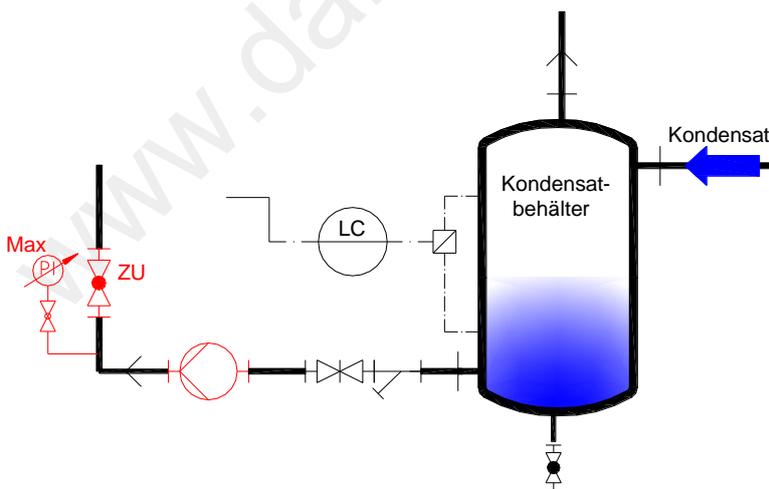
- sinkende Förderleistung auf Grund von normalem Verschleiß

Jede Kondensatpumpe ist auf Grund des strömenden heißen Kondensats einem normalen Verschleiß ausgesetzt. Kommen dann noch wechselnde Betriebsbedingungen hinzu wie z.B. An – Abfahrbetrieb führt dies zu normalen Schäden an der Gleitringdichtung bzw. zu Schäden an den Flügelrädern. Dadurch kommt es zur Verringerung der Förderleistung.

Mit Hilfe der Kennlinie einer Pumpe kann man leicht herausfinden ob die Pumpe noch voll funktionstüchtig ist.

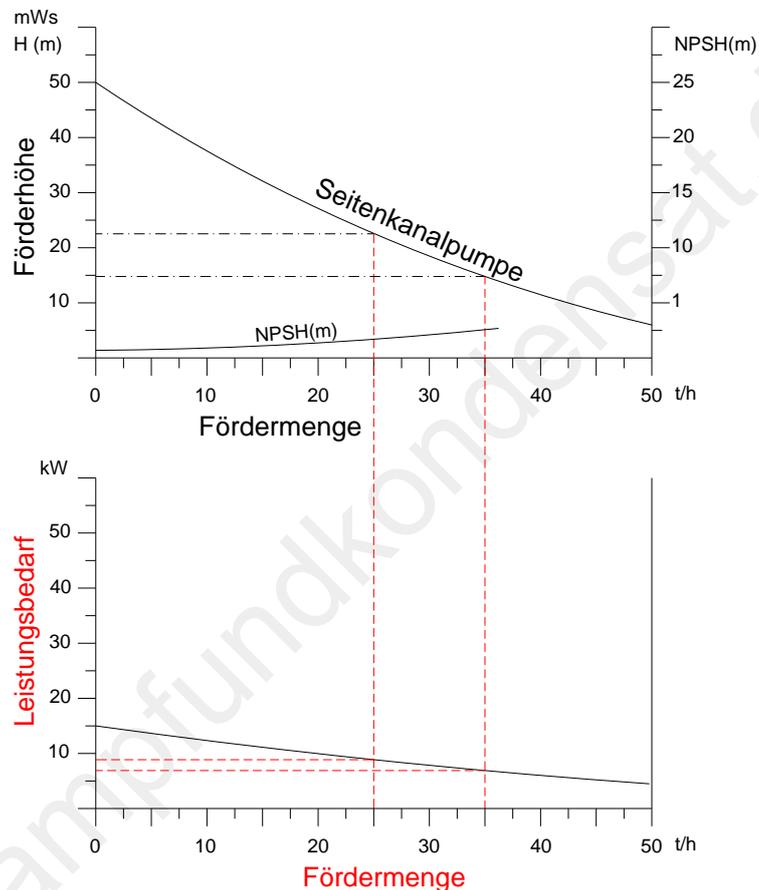


Sowohl die Kreiselpumpe als auch die Seitenkanalpumpe hat bei minimaler Fördermenge die größte Förderhöhe. Unterbricht man kurzzeitig die Fördermenge auf der Druckseite der Pumpe, dann müsste man den maximalen Druck entsprechend der Kennlinie ablesen können. Wird dieser Druck deutlich unterschritten, so sollte die Pumpe demontiert und überprüft werden.



7) Ermittlung des elektrischen Leistungsbedarfs einer Pumpe

Fast zum Schluss, aber nicht unwichtig, soll die Bestimmung des elektrischen Leistungsbedarfs von Pumpen erläutert werden. Wie im Beispiel oben aufgeführt, kann man mit Hilfe der Kennlinie (Förderhöhe, Fördermenge) eine Pumpe auswählen. Auf dem gleichen Datenblatt der Kennlinien befindet sich im unteren Teil meist auch eine Kurve zur Ermittlung des elektrischen Leistungsbedarfs. Der elektrische Leistungsbedarf ist hauptsächlich abhängig von der Förderhöhe und der Fördermenge.



Der elektrische Leistungsbedarf für die ausgewählte Pumpe beträgt bei einer Fördermenge von 25 t/h ca. 7 kW und bei einer Fördermenge von 35 t/h ca. 9 kW. Der nächst größere Motor mit z.B. 11 kW müsste zum Einsatz kommen.

Der elektrische Leistungsbedarf lässt sich auch rechnerisch ermitteln.

Formel:

$$P_{el.} = (\rho * g * h * M) : \eta$$

M = Fördermenge in m³/s

ρ = Dichte Kondensat in kg/m³

g = Fallbeschleunigung = 9,81 m/s²

η = Wirkungsgrad (Wert zwischen 0 und 1)

h = Förderhöhe

Hinweis: oben aufgeführte Kennlinie ist erdacht aber ähnlich. Wird die Formel zur Ermittlung der elektr. Leistung benutzt, weicht der errechnete Wert vom grafisch ermittelten Wert ab.

Berechnung:

$$M = \text{maximal } 35 \text{ t/h} = 35 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0097 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$h = 15 \text{ m}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Dichte von Wasser, nicht ganz exakt)}$$

Problem: Welchen Wirkungsgrad hat die Pumpe?

Für den Wirkungsgrad der Pumpe kann ein Wert zwischen 0 und 1 gewählt werden. Wirkungsgrad „Null“ wählt man noch nicht einmal, wenn man eine Pumpe aus der Steinzeit nachrechnet. Ein Wirkungsgrad von Null würde bedeuten, dass die Pumpe die gesamte elektrische Energie in Wärme und nicht in eine Drehbewegung umwandelt.

Ein Wirkungsgrad von „Eins“ bedeutet, dass die gesamte elektrische Energie verlustfrei in mechanische Energie (Drehbewegung der Pumpe) umgewandelt wird. Auf Grund der Reibung wird ein Teil der elektrisch zugeführten Energie aber immer in Wärme umgewandelt. D.h., Verluste können minimiert werden, sind aber immer vorhanden. **Wie man den Wirkungsgrad einer bestehenden Pumpe rechnerisch ermittelt, siehe weiter unten.**

Kurz, für die Auslegung des Motors einer Pumpe könnte man einen Wert von 0,7 wählen.

Ergebnis:

$$P_{\text{el}} = (1000 * 9,81 * 15 * 0,0097) : 0,7 \quad (\text{kg/m}^3 * \text{m/s}^2 * \text{m} * \text{m}^3/\text{s})$$

$$P_{\text{el}} = 2039 \text{ W} = 2,1 \text{ kW} \text{ (bitte nicht mit Ergebnis aus Grafik vergleichen)}$$

Nachtrag zur Theorie:

Im Kapitel zur Theorie wurde erklärt, dass die Homepage kein Physikbuch ersetzen soll und deshalb die theoretische Physik immer nur kurz zum Einsatz kommt. Hier nun aber doch noch ein paar Erläuterungen zur Formel zur Berechnung der elektrischen Leistung (für Schüler, Studenten und Lehrlinge z.B. von der Papiermacherschule Gernsbach).

$$P_{\text{el}} = (\rho * g * h * M) : \eta$$

Die Formel besteht aus zwei Termen verbunden durch ein Gleichheitszeichen. D.h., zwei Seiten werden mit einander verglichen.

In der linken Seite ist das Wort „**elektrisch**“ zu finden. Die linke Seite könnte etwas mit elektrischer Energie zu tun haben.

Auf der rechten Seite ist das Produkt aus $\rho * g * h$ zu finden. Das sieht doch so aus, als wäre dies ein Stück der Formel zur Berechnung der Potentiellen Energie (Lageenergie).

$$E_{\text{pot}} = m * g * h$$

Die beiden Seiten, welche verglichen werden, sind demnach

Elektrische Energie = Mechanische Energie

D.h., die Formel zur Berechnung des elektrischen Leistungsbedarfs ist nichts anderes als der

Energieerhaltungssatz: Energie geht nicht verloren...

Der Energieerhaltungssatz endet mit dem Wortlaut „...geht nicht verloren. Energieformen wandeln sich um ...Gesamtenergie eines Systems bleibt erhalten...“

8) Ermittlung des Wirkungsgrades einer Pumpe

Bei der Pumpe wird elektrische Energie in eine Drehbewegung umgewandelt. Diese Umwandlung verläuft auf Grund der Reibung an der Motorwelle bzw. den Lagern der Pumpe nicht verlustfrei. Die Größe des Verlustes ergibt sich aus dem Wirkungsgrad η (Zeta) der Pumpe.

Der Pumpenwirkungsgrad η ergibt sich aus dem Verhältnis zwischen der vom Motor an die Pumpenkupplung abgegebenen Förderleistung zur an der Kupplung aufgenommenen mechanischen Leistung.

Die Stromaufnahme einer Pumpe kann man von einem Elektriker mit entspr. Messgerät messen lassen. Und so wird der Wirkungsgrad einer Pumpe rechnerisch ermittelt:

► BEISPIEL:

Medium: Wasser, Fördermenge M : 88m³/h, Förderhöhe h : 30m, Stromaufnahme: 25 A

Berechnung der aufgenommenen elektr. Leistung:

$$P = U \cdot I$$

$$P = 400V \cdot 25A = 1000W \text{ (Watt)}$$

Berechnung Wirkungsgrad:

$$\eta = P_{ab} / P_{auf} = \rho \cdot g \cdot h \cdot M / P_{auf}$$

$$\eta = \rho \cdot g \cdot h \cdot M / P_{auf}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Dichte)}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2 \text{ (Fallbeschleunigung)}$$

$$\eta = 0,72 = 72\%$$

(Hinweis: das M muss von m³/h in m³/s umgerechnet werden)

D.h. daß ca. 30% der Leistung nicht zur Förderung genutzt, sondern als Verlust ungenutzt in z.B. Wärme umgewandelt wird.

9) Kavitation in Kondensatpumpen

Wie im vorangegangenen schon beschrieben, kann es in Kondensatpumpen zur Dampfblasenbildung der sog. Kavitation kommen. Diese Dampfblasen entstehen, wenn es in der Pumpe auf Grund der Strömung zur Unterschreitung des Dampfdruckes des Kondensates kommt. Diese Dampfblasen wandern dann mit der Strömung mit und fallen an Stellen höherem Druck wieder in sich zusammen. Geschieht der Zusammenfall der Dampfblasen in der Nähe oder direkt an z.B. der Gehäusewand oder dem Laufrad der Pumpe, so kommt es an diesen Stellen zu einem Materialabtrag auf Grund der schlagartigen Druckbelastung. Den Prozess des Materialabtrages durch Kavitation ist nicht nur bei Kondensatpumpen anzutreffen sondern z.B. auch bei Schiffschrauben oder auch bei Pumpen welche normales Leitungswasser fördern.

Wie kann man erkennen, dass in einer Pumpe Kavitation auftritt?

Wenn es schon zu spät ist, die Pumpe fördert nicht mehr:

Die Pumpe fördert überhaupt nicht mehr. D.h. die Strömung in der Pumpe ist abgerissen. Es befinden sich so viele Dampfblasen in der Pumpe, das die Bewegungsenergie der Laufräder nicht mehr auf die Flüssigkeit übertragen wird. Dieser Strömungsabbruch kann auch entstehen, wenn die Pumpe einen bestimmten ungünstigen Betriebszustand durchfährt. Dies könnte z.B. bei Inbetriebnahme einer Kondensatanlage eintreten, wenn kurzzeitig zunächst wenig Kondensat vorhanden ist. Fördert die Pumpe generell schlecht oder gar nicht und die Pumpe ist neu so wurde die Pumpe falsch ausgelegt, oder auf der Saugseite der Pumpe ist der Absperrschieber geschlossen oder der Schmutzfänger ist verdeckt. Ist die Pumpe älter und hat früher bei gleichen Betriebsbedingungen eigentlich keine Probleme gemacht, so ist möglicherweise der Materialabtrag durch Kavitation die Ursache. Das schlechte Fördern einer Kondensatpumpe kann man auch hören und sehen.

Hören, die Pumpe macht an - und abschwellende Geräusche.

Sehen, das Manometer auf der Druckseite bewegt sich wie eine Schwimmflosse mit den an - und abschwellenden Geräuschen auf und nieder.

Es ist noch nicht zu spät, die Pumpe fördert noch:

Geräusche Die Pumpe fördert wie am ersten Tag der Inbetriebnahme. Bei den regelmäßigen Rundgängen fällt aber auf, dass sich die Pumpe anhört als würden kleine Steine mit gefördert. Dieses Geräusch entsteht auf Grund des Zusammenfallens der Dampfblasen. Eine solche Geräusentwicklung ist auch ein Zeichen für beginnenden Materialabtrag. Das sollte man ernst nehmen. Je nach Geräusentwicklung ist es nur eine Frage der Zeit, wann die Pumpe so geschädigt ist, das diese komplett überholt werden muss.

Schwingungen Die Pumpe fördert wie am ersten Tag der Inbetriebnahme. Bei den regelmäßigen Rundgängen fällt aber auf, dass sich die Pumpe schüttelt, als hätte diese zu kalt geduscht. Diese Schwingungen können auch entstehen, wenn die Pumpe einen bestimmten ungünstigen Betriebszustand durchfährt. Danach steht die Pumpe hoffentlich wieder ruhig auf dem Pumpenfundament. Falls nicht, können diese Schwingungen zu Schäden an der Gleitringdichtung und dies zu Undichtigkeiten führen.

Wie kann man kurzfristig das Entstehen von Dampfblasen (Kavitation) verhindern?

Die Dampfblasenbildung ist meistens von der (verkehrten) Betriebsweise abhängig.

Die Pumpe wird nicht zu den Betriebsbedingungen verwendet, zu welcher diese eigentlich ausgelegt wurde. Dabei ist vor allem die Kondensattemperatur wichtig. Mit steigender Kondensattemperatur steigt auch die zur Verhinderung von Kavitation wichtige NPSH - Höhe. Der Begriff NPSH kommt aus Amerika und bedeutet „Net Positive Suction Head“

Genauso wichtig ist es mit Hilfe einer Niveauregelung ungünstige Betriebssituationen auszugleichen. Eine immer gleich bleibende Kondensatmenge ist einer Kondensatpumpe am liebsten. Bei wechselnden Produktionsabläufen können sich aber auch die Kondensatmengen ändern. Diese Betriebssituationen müssen bei der Planung einer Kondensatpumpenstation berücksichtigt werden. Nur die Kondensatpumpe auf die maximal anfallende Kondensatmenge auszulegen genügt nicht!

Der Betreiber muss auch regelmäßig den Schmutzfänger auf der Saugseite überprüfen bzw. probieren, ob ein eventuell montierter Absperrschieber nicht zu 100% geöffnet ist. Wenn der Schmutzfänger verdrückt ist und ein Absperrorgan auf der Saugseite fast geschlossen ist, saugt die Pumpe als würde man ein Wetttrinken mit einem Strohhalm veranstalten. Das führt zum Unterschreiten des Dampfdruckes und somit zur Dampfblasenbildung.

Das System Kondensatpumpe, Kondensatbehälter und Niveauregelung muss so miteinander abgestimmt sein, dass auch schwierige Betriebszustände wie z.B. Kondensatmindermenge bei Inbetriebnahme durchfahren werden können. (Aufbau und Wirkungsweise siehe oben)

Die Kondensatpumpe könnte auch verkehrt ausgelegt worden sein. Wenn die Pumpe mit den richtigen Betriebsbedingungen angefragt wurde, ist eine falsche Auslegung selten. Der Lieferant gibt ohne jedes Hintergrundwissen die Daten in sein Berechnungsprogramm ein. Sind die Daten richtig ist auch die Auslegung richtig.