

Pioneering for You

wilo

Pumpenfibel

Grundlagen der Pumpentechnik.



Grundlagen der Pumpentechnik	5
Historie der Pumpentechnik	7
Wasserversorgung	7
Abwasserentsorgung	8
Heizungstechnik	9
Fördersysteme	12
Offenes Wasserfördersystem	12
Geschlossenes Heizungssystem	13
Wasser, unser Transportmittel	15
Spezifische Wärmespeicherkapazität	15
Volumenzu- und -abnahme	16
Siedeverhalten von Wasser	17
Ausdehnung des Heizwassers und Absicherung gegen Überdruck	18
Druck	19
Kavitation	19
Konstruktion von Kreiselpumpen	21
Selbstansaugende und normalsaugende Pumpen	21
Funktion von Kreiselpumpen	22
Laufräder	22
Pumpenwirkungsgrad	23
Leistungsaufnahme von Kreiselpumpen	24
Nassläuferpumpen	25
Trockenläuferpumpen	27
Hochdruck-Kreiselpumpen	29
Kennlinien	31
Pumpenkennlinie	31
Anlagenkennlinie	32
Betriebspunkt	33
Pumpenanpassung an den Heizungsbedarf	35
Witterungsschwankungen	35
Pumpendrehzahlschaltung	36
Stufenlose Drehzahlregelung	37
Regelungsarten	38

Überschlägige Pumpenauslegung für Standardheizungsanlagen	41
Pumpen-Förderstrom	41
Pumpen-Förderhöhe	41
Anwendungsbeispiel	42
Auswirkung der überschlägigen Pumpenauslegung	43
Pumpen-Planungssoftware	43
Das A und O der Hydraulik	45
Einstellung elektronisch geregelter Umwälzpumpen	45
Zusammenschaltung von mehreren Pumpen	46
Schlussbetrachtungen	50
Hätten Sie's gewusst?	51
Historie der Pumpentechnik	51
Wasser, unser Transportmittel	52
Konstruktionsmerkmale	53
Kennlinien	54
Pumpenanpassung an den Heizungsbedarf	55
Überschlägige Pumpenauslegung	56
Zusammenschaltung von mehreren Pumpen	57
Gesetzliche Einheiten, Auszug für Kreiselpumpen	58
Impressum	59



Grundlagen der Pumpentechnik.

Alle Menschen brauchen Pumpen zum Leben und für den Komfort. Die Pumpen bewegen das Fördermedium kalt und warm, sauber und belastet. Sie tun dies umweltschonend und mit höchster Effizienz.

Innerhalb der Gebäudetechnik spielen Pumpen eine sehr wichtige Rolle. Sie werden für unterschiedliche Funktionen eingesetzt. Am bekanntesten und vertrautesten ist die Heizungsumwälzpumpe. Sie soll auf den nachfolgenden Seiten den zentralen Platz in den Erläuterungen einnehmen. Darüber hinaus kommen Pumpen im Bereich der Wasserversorgung und der Abwasserentsorgung zum Einsatz:

- In Druckerhöhungsanlagen, die immer dann eingesetzt werden, wenn der städtische Wasserdruck zur Versorgung eines Gebäudes nicht ausreicht
- Trinkwasser-Zirkulationspumpen, die dafür sorgen, dass an jeder Zapfstelle jederzeit warmes Wasser zur Verfügung steht
- Schmutzwasserhebe-pumpen, die dann notwendig werden, wenn Abwasser oder Fäkalien unterhalb der Rückstau-ebene anfallen
- Pumpen in Springbrunnen oder Aquarien
- Pumpen für Feuerlöschzwecke
- Pumpen für Kalt- und Kühlwasser
- Regenwassernutzungsanlagen für Toiletten-spülung, für Waschmaschinen, Reinigungsarbeiten und Bewässerung
- und vieles mehr

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass unterschiedliche Medien auch unterschiedliche Viskositäten haben (z.B. Fäkalien- oder Wasser-Glykollgemische). Länderabweichend müssen bestimmte Normen und Richtlinien eingehalten und spezielle Pumpen und Techniken ausgewählt werden (z.B. Ex-Schutz, Trinkwasserverordnung).



Inhalt dieser Broschüre soll Menschen, die sich in der Ausbildung, Weiterbildung oder Umschulung befinden, eine Wissensgrundlage in der Pumpentechnik vermitteln. Es soll mit einfachen, erklärenden Sätzen, mit Zeichnungen und mit Beispielen eine ausreichende Basis für die Praxis gegeben werden. Auswahl und der zweckmässige Einsatz von Pumpen sollen dadurch zur täglich wiederkehrenden Selbstverständlichkeit werden.

Im Kapitel «Hätten Sie's gewusst?» kann abschnittsweise, durch die Beantwortung von Fragen mit vorgegebenen richtigen und falschen Antworten, eine eigenverantwortliche Überprüfung des aufgenommenen Wissens durchgeführt werden.

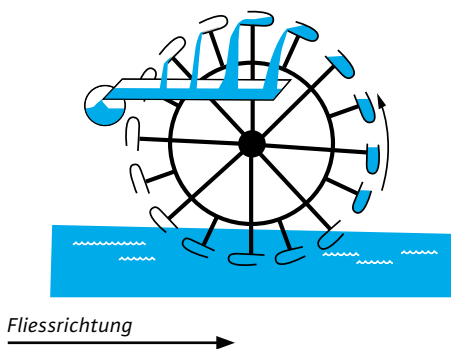


Historie der Pumpentechnik.

Wasserversorgung.

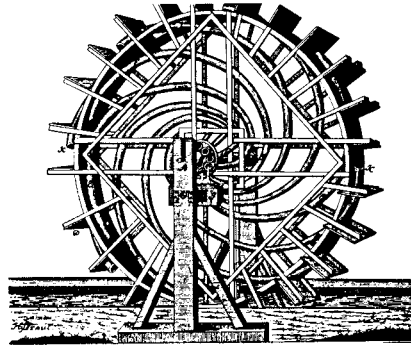
Wenn man an eine Pumpe denkt, so fällt einem zunächst ein, dass die Menschen schon seit Urzeiten nach technischen Mitteln gesucht haben, Flüssigkeiten, insbesondere Wasser, auf ein höheres Niveau zu heben. Das diente sowohl der Bewässerung von Feldern als auch der Füllung von Schutzgräben um befestigte Städte und Burgen. Das einfachste Schöpfwerkzeug ist die menschliche Hand – und zwei Hände schaffen mehr als eine! So kamen unsere prähistorischen Vorfahren bald zu der Erkenntnis, tönernen Gefässe zu Mulden zu formen. Der erste Schritt zur Erfindung des Kruges war getan. Mehrere solcher Krüge wurden dann an eine Kette oder auf ein Rad gehängt. Menschen oder Tiere setzten ihre Kraft ein, dieses Schöpfwerk in Bewegung zu setzen und Wasser zu heben. Archäologische Funde weisen solche Becherwerke sowohl in Ägypten als auch in China in der Zeit um 1000 v. Chr. nach. Die folgende Zeichnung zeigt eine zeichnerische Rekonstruktion eines chinesischen Schöpfrades. Es handelt sich um ein Rad mit aufgesetzten Tontöpfen, die an ihrem oberen Scheitelpunkt das Wasser ausgossen.

Darstellung eines chinesischen Schöpfrades



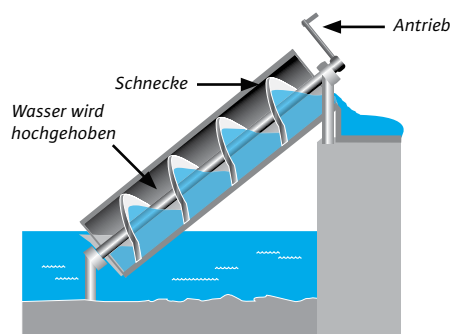
Eine geniale Fortentwicklung findet man im Jahre 1724 unserer Zeitrechnung bei Jakob Leupold (1674–1727), der gebogene Rohre in ein Rad einbaute. Durch die Drehung des Rades wurde das Wasser zwangsläufig zur Mittelachse des Rades gehoben. Das in einem Fluss strömende Wasser ist zugleich der Antrieb dieses Hebewerkes. Besonders auffallend an dieser Konstruktion ist die Formgebung der gebogenen Rohre. Sie haben eine verblüffende Ähnlichkeit mit der Formgebung der Laufräder heutiger Kreiselpumpen.

Darstellung Röhrenpumpwerk Jakob Leupold



Archimedes (287–212 v. Chr.), der wohl grösste Mathematiker und Wissenschaftler des Altertums, beschreibt um 250 v. Chr. die nach ihm benannte archimedische Schraube. Durch die Drehung einer Spirale/Schnecke in einem Rohr wird Wasser nach oben gehoben. Allerdings floss immer eine Menge Wasser zurück, da noch keine gute Abdichtung bekannt war. So entstand eine Abhängigkeit zwischen der Schraubenneigung und dem Förderstrom. Im Betrieb konnte zwischen grösserer Menge oder grösserer Förderhöhe gewählt werden. Je steiler die Schraube gestellt wurde, umso höher förderte sie bei abnehmender Liefermenge.

Darstellung der archimedischen Schraube



Wieder verblüfft uns die Ähnlichkeit im Betriebsverhalten mit den heutigen Kreiselpumpen. Die später noch zu beschreibende Pumpenkennlinie hat die gleiche Abhängigkeit zwischen Förderhöhe und Förderstrom. Aus unterschiedlichen historischen Quellen wurde herausgefunden, dass diese Schraubepumpen mit Neigungen zwischen 37° und 45° betrieben wurden. Sie brachten dabei Förderhöhen zwischen 2 m und 6 m und maximale Förderströme um $10 \text{ m}^3/\text{h}$.

Vergleiche Kapitel
«Laufräder», Seite 22

Abwasserentsorgung.

Ist für den Menschen die Wasserversorgung schon immer das lebensnotwendigste Thema gewesen, so ist die Abwasserentsorgung erst später – fast zu spät – dazu gekommen.

Überall dort, wo Siedlungen, Orte und Städte entstanden, verschmutzten Unrat, Exkremente und Abwässer die Wiesen, Strassen und Wege. Geruchsbelästigungen, Krankheiten und Seuchen waren die Folge. Gewässer verschmutzten, Grundwasser wurde ungeniessbar.

Die ersten Abwasserkanäle wurden 3000–2000 v. Chr. gebaut. Unter dem Palast von Minos in Knossos (Kreta) wurden gemauerte Kanäle und Rohre aus Terrakotta gefunden, die Regenwasser, Bade- und Abwasser sammeln und abführten. Die Römer bauten in ihren Städten Abwasserkanäle auf und unter den Strassen – der grösste bekannteste und in Teilen noch gut erhalten ist die Cloaca Maxima in Rom. Von hieraus wurde das Wasser in den Tiber geleitet (auch in Köln am Rhein sind noch heute begehbare Reste von unterirdischen Kanälen aus der Römerzeit zu finden).

Da in dem Bereich der Entsorgung über die Jahrhunderte keine weiteren Fortschritte gemacht wurden, gelangte das Abwasser bis ins letzte Jahrhundert ungereinigt in Bäche, Flüsse, Seen und Meere. Mit der Industrialisierung und den immer stärker wachsenden Städten wurde eine geordnete Abwasserentsorgung unabdingbar.

Das erste deutsche zentrale Kanal- und -Reinigungssystem entstand erst 1856 in Hamburg.

In Deutschland bestanden bis in die 90er-Jahre noch viele häusliche Fäkalienanlagen aus Senk- und Sickergruben. Erst durch gesetzliche Beschlüsse und regionale Bestimmungen mussten diese an das öffentliche Kanalnetz angeschlossen werden.

Heute sind die Abflüsse der Häuser fast überall direkt an das öffentliche Kanalnetz angeschlossen. Wo dieses nicht möglich ist, kommen Hebe- oder Druckentwässerungssysteme zum Einsatz.

Die Abwässer aus Industrie und Haushalt werden durch weitverzweigte Kanalisationen, Rückhaltebecken, Klärwerke und Reinigungsbecken geführt und dabei biologisch oder chemisch gereinigt. Danach wird das aufbereitete Wasser dem natürlichen Wasserkreislauf wieder zugeführt. Hierbei kommen die unterschiedlichsten Pumpen und Pumpensysteme zum Einsatz. Diese sind z.B.:

- Hebeanlagen
- Tauchpumpen
- Schachtpumpen (mit und ohne Schneidwerk)
- Entwässerungspumpen
- Rührwerkpumpen usw.

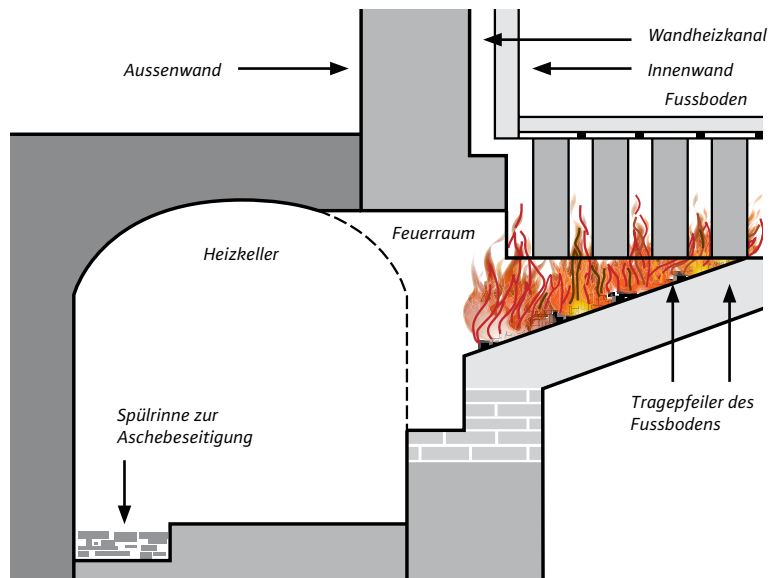


Heizungstechnik.

Hypokaustenheizungen

Aus römischer Zeit sind in Deutschland Reste von sogenannten Hypokaustenheizungen gefunden worden. Es handelte sich um eine frühe Form der Fussbodenheizung. Die Rauchgase eines offenen Feuers wurden durch Hohlräume unter die Fussböden geleitet und erwärmten diese. Die Ableitung erfolgte über den Wandheizkanal. In späteren Jahrhunderten wurden speziell in Schlössern und Burgen die Kamine von ebenfalls offenen Feuerstätten nicht streng senkrecht durch das Haus gebaut. Es wurden die warmen Abgase in Windungen an den Wohnräumen vorbei geleitet – dies war eine erste Form der Zentralheizung. Auch eine Systemtrennung durch gemauerte Steinkammern im Kellerbereich wurde erfunden. Mit dem Feuer wurde Frischluft erwärmt, die dann direkt in die Aufenthaltsräume geleitet werden konnte.

Darstellung einer Hypokaustenheizung aus der römischen Zeit

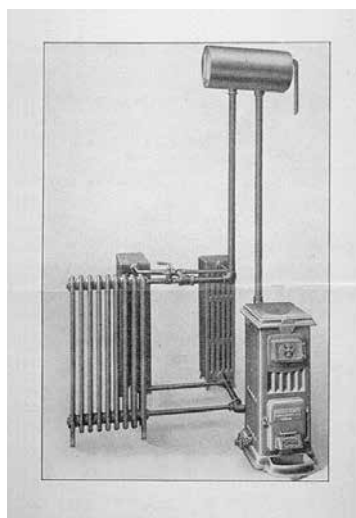


Dampfheizung

Mit der Verbreitung der Dampfmaschine in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts entwickelte sich die Dampfheizung. Der in der Dampfmaschine nicht ganz kondensierte Dampf wurde durch Wärmetauscher in Büros und Wohnräume geleitet. Ein Gedanke war es u.a., mit der Restenergie einer Dampfheizung eine Turbine zu betreiben.

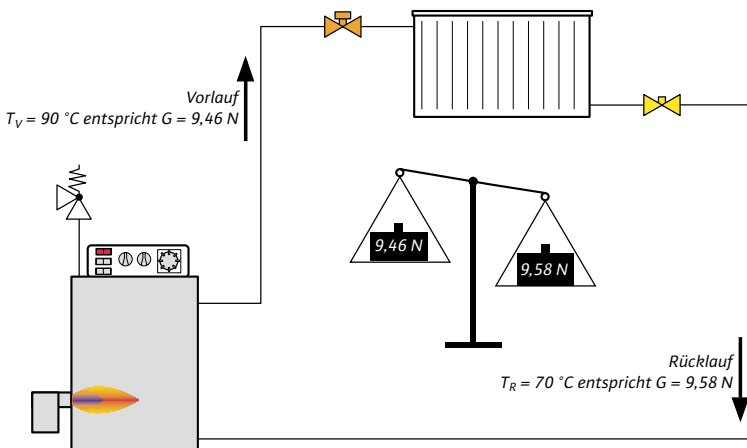
Schwerkraftheizung

Die nächste Entwicklungsstufe war die Schwerkraftheizung. Die Erfahrung zeigte, dass zum Erreichen einer Raumtemperatur von 20 °C Wasser nur noch bis ca. 90 °C erhitzt werden musste, also nur knapp bis unter die Siedegrenze. In Rohrleitungen mit sehr grossen Durchmessern stieg das heisse Wasser nach oben. Wenn es einen Teil seiner Wärme abgegeben hatte (abgekühlt war), floss es durch die Erdanziehungskraft wieder in den Kessel zurück.



Schwerkraftheizung mit Kessel, Ausdehnungsgefäß und Heizkörper

Schema einer Schwerkraftheizung

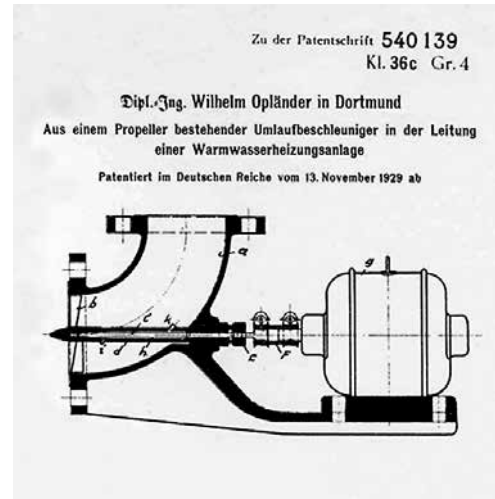


Die unterschiedlichen Gewichtskräfte bewirken die Auftriebs- und Abtriebsbewegung des Wassers. Auch der träge Anlauf einer solchen Schwerkraftzirkulation führte bereits am Anfang unseres Jahrhunderts zu Überlegungen, sogenannte Umlaufbeschleuniger in die Rohrleitungen einer Heizung einzubauen. Elektromotoren waren in jener Zeit als Antrieb ungeeignet, da sie mit offenen Schleifringläufern arbeiteten. In einem wasserführenden Heizungssystem hätte es zu erheblichen Unfällen kommen können.



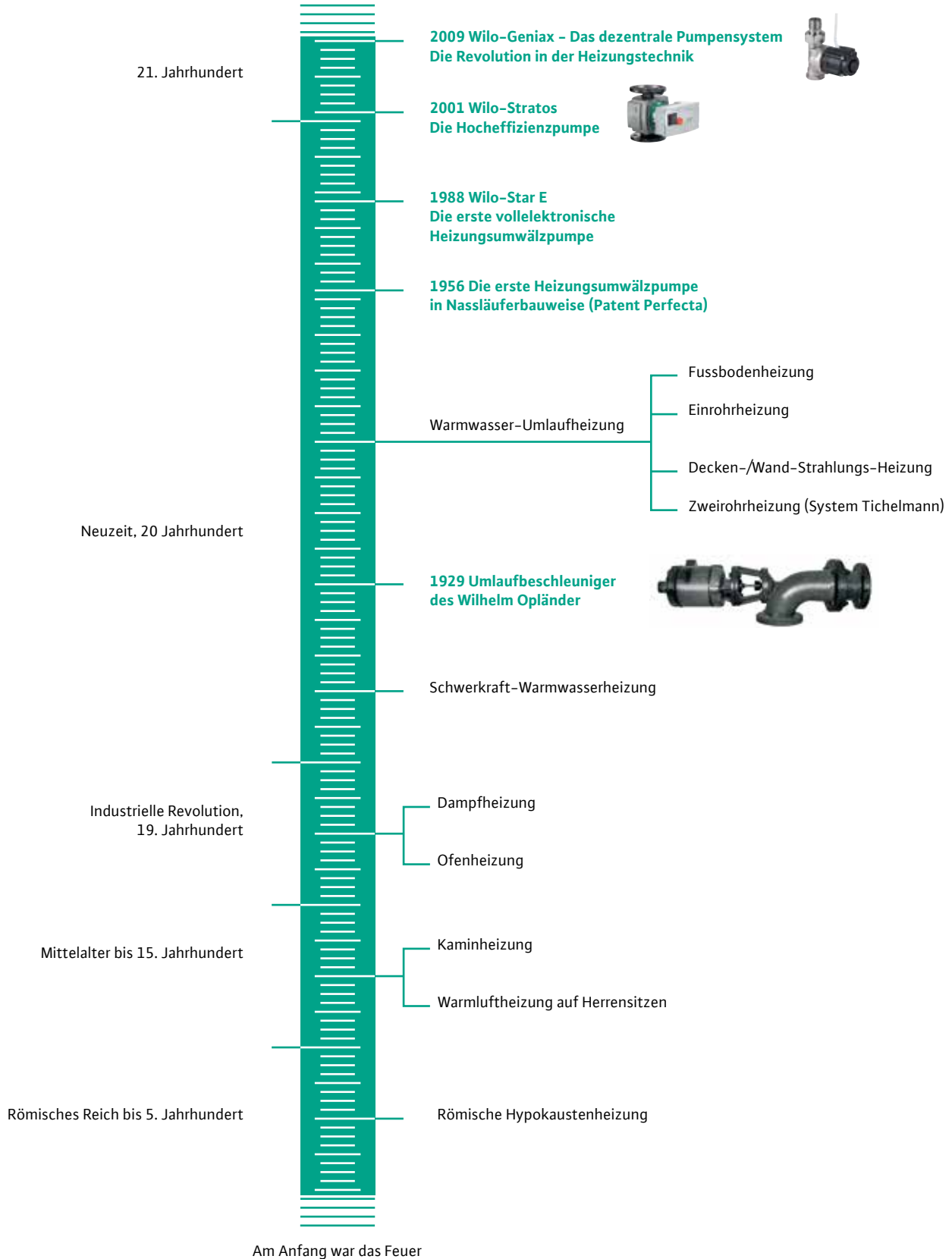
Erste Heizungsumwälzpumpe

Erst die Erfindung des ersten gekapselten Elektromotors durch den schwäbischen Ingenieur Gottlob Bauknecht ermöglichte seinen Einsatz bei einem Umlaufbeschleuniger. Dessen Freund, der westfälische Ingenieur Wilhelm Opländer, entwickelte eine solche Konstruktion, für die er 1929 ein Patent erhielt.



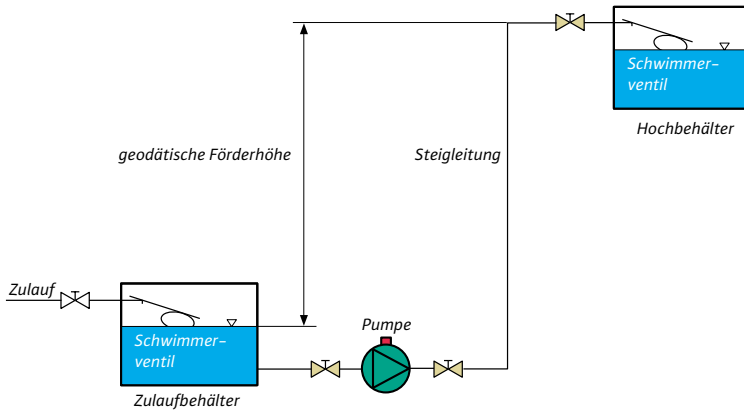
In einen Rohrkrümmer wurde ein Pumpenrad in Form eines Propellers eingebaut. Der Antrieb erfolgte über eine abgedichtete Welle, die von dem Elektromotor angetrieben wurde. Damals wurde aber noch nicht von Pumpe für diesen Umlaufbeschleuniger gesprochen. Dieser Begriff setzte sich erst später durch. Denn, wie schon zuvor beschrieben, bringt man Pumpen mit Wasserheben in Verbindung. Diese Umlaufbeschleuniger wurden bis etwa 1955 gebaut und mit deren Einsatz konnte die Heizwassertemperatur immer niedriger gefahren werden. Heute gibt es eine Vielzahl von Heizungssystemen, von denen die modernsten mit sehr niedrigen Wassertemperaturen arbeiten. Ohne das Herz der Heizungsanlage, also ohne die Heizungsumwälzpumpe, wäre diese Heizungstechnik nicht möglich.

Entwicklung der Heizungssysteme und Pumpentechnologie.



Fördersysteme.

Offenes Wasserfördersystem.



Pumpenanlage zur Förderung von Wasser auf ein höheres Niveau

Die linke, schematische Darstellung zeigt, welche Bauelemente zu einem Fördersystem gehören, welches eine Flüssigkeit aus einem tiefliegenden Zulaufbehälter z.B. zu einem höher gelegenen Behälter fördern soll. Die Pumpe transportiert das Wasser aus dem unteren Behälter auf die notwendige Höhe.

Dabei genügt es nicht, die Förderleistung der Pumpe auf die geodätische Förderhöhe auszulegen. Denn an der letzten Zapfstelle, z.B. einer Dusche im obersten Geschoss eines Hotels, muss noch ein genügend starker Fließdruck vorhanden sein. Auch die in der Steigleitung entstehenden Rohrreibungsverluste müssen berücksichtigt werden.

Pumpenförderhöhe = geodätische Förderhöhe + Fließdruck + Rohrleitungsverluste

Für notwendige Wartungsarbeiten müssen die einzelnen Leitungsabschnitte durch Armaturen absperrbar sein. Das gilt insbesondere für Pumpen, da sonst vor einer Reparatur oder einem Austausch der Pumpe grosse Wassermengen aus den Steigleitungen abgelassen werden müssten.

Weiterhin sind im tieferliegenden Zulaufbehälter und im Hochbehälter Schwimmerventile oder andere Regelbausteine vorzusehen, um ein eventuelles Überlaufen zu verhindern. Ausserdem kann in die Steigleitung an geeigneter Stelle ein Druckwächter eingebaut werden, der die Pumpe dann abschaltet, wenn alle Entnahmestellen geschlossen sind und keine Wasserabnahme mehr erfolgt.

Geschlossenes Heizungssystem.

In der rechten Darstellung werden schematisch die funktionalen Unterschiede dargestellt, welche eine Heizungsanlage im Gegensatz zu einem Wasserfördersystem hat.

Während es sich bei einem Wasserfördersystem um ein offenes System mit freiem Auslauf (z.B. Zapfstelle in Form eines Wasserhahns) handelt, ist eine Heizungsanlage ein in sich geschlossenes System.

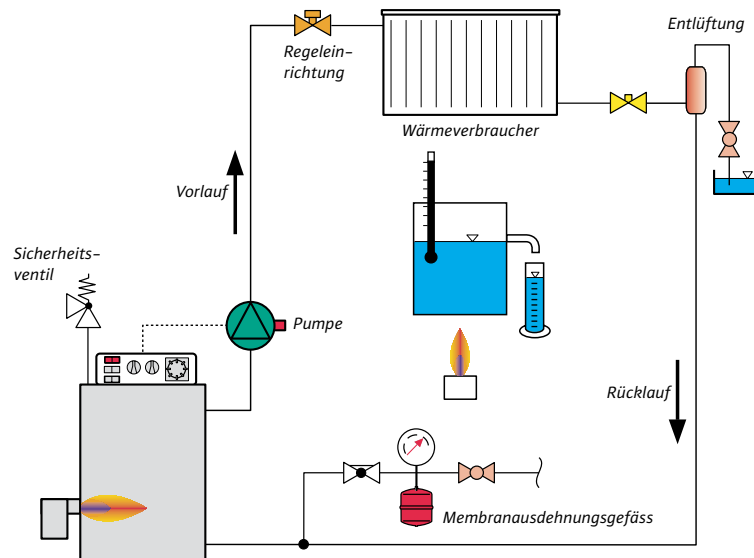
Noch einfacher ist das Prinzip zu verstehen, wenn man sich vorstellt, dass das Heizungswasser in den Rohrleitungen einfach nur in Bewegung gehalten bzw. umgewälzt wird.

Das Heizungssystem lässt sich in folgende Anlagenteile unterteilen:

- Wärmeerzeuger
- Wärmetransport- und Verteilungssystem
- Membranausdehnungsgefäß zur Druckhaltung und Druckregelung
- Wärmeverbraucher
- Regeleinrichtung und
- Sicherheitsventil

Unter **Wärmeerzeuger** sind hier Heizkessel u.a. mit Gas-, Öl- oder Feststoffbefeuerung sowie Umlauf-Wasserheizer zu verstehen. Dazu gehören auch Elektrospeicherheizungen mit zentraler Wassererwärmung, Fernwärmeübergabestationen und Wärmepumpen.

Das **Wärmetransport- und -verteilungssystem** umfasst sämtliche Rohrleitungen, Verteiler- und Sammlerstationen und natürlich die Umwälzpumpe. Die Pumpenleistung ist in einer Heizungsanlage nur auf die Überwindung der gesamten Widerstände der Anlage auszulegen. Die Gebäudehöhe wird nicht berücksichtigt, denn das Wasser, welches durch die Pumpe in die Vorlaufleitung gedrückt wird, schiebt das Wasser in der Rücklaufleitung zum Kessel zurück.



Das **Membranausdehnungsgefäß** ist für den Ausgleich des sich ändernden Wasservolumens in der Heizungsanlage, in Abhängigkeit von den Betriebstemperaturen, bei gleichzeitiger stabiler Druckhaltung zuständig.

Wärmeverbraucher sind die Heizflächen in den zu beheizenden Räumen (Radiatoren, Konvektoren, Flächenheizungen usw.). Wärmeenergie fließt von Punkten höherer Temperatur zu Punkten niedrigerer Temperatur, und zwar um so schneller, je grösser der Temperaturunterschied ist. Diese Übertragung erfolgt durch drei unterschiedliche physikalische Vorgänge:

- Wärmeleitung
- Konvektion, d.h. Luftauftrieb
- und Wärmestrahlung.

Ohne eine gute Regelung wird heute kein technisches Problem mehr gelöst. So ist es selbstverständlich, dass sich Regeleinrichtungen auch in jeder Heizungsanlage befinden. Am einfachsten sind darunter die Thermostatventile für die Konstanthaltung der Raumtemperatur zu verstehen. Aber auch in den Heizkesseln, in Mischern und natürlich in Pumpen befinden sich inzwischen hochentwickelte mechanische, elektrische und elektronische Regler.

Umweltsystem am Beispiel einer Heizungsanlage

*Merksatz:
Die Gebäudehöhe wird nicht berücksichtigt, denn das Wasser, welches durch die Pumpe in die Vorlaufleitung gedrückt wird, schiebt das Wasser in der Rücklaufleitung zum Kessel zurück.*

Vergleiche Kapitel «Überschlüsse Pumpenauslegung für Standardheizungsanlagen», Seite 41



Wasser, unser Transportmittel.

In Warmwasser-Zentralheizungen wird Wasser dazu benutzt, Wärme vom Erzeuger zum Verbraucher zu transportieren.

Die wichtigsten Eigenschaften von Wasser sind:

- Wärmespeicherkapazität
- Volumenzunahme sowohl bei Erwärmung als auch bei Abkühlung
- Verringerung der Dichte bei Volumenzunahme und -abnahme
- Siedeverhalten unter äusserem Druck
- Schwerkraftauftrieb

Diese physikalischen Eigenschaften sollen nachfolgend beschrieben werden.



Spezifische Wärmespeicherkapazität.

Eine wichtige Eigenschaft jedes Wärmeträgermediums ist seine Wärmespeicherfähigkeit. Wird sie auf die Masse und die Temperaturdifferenz des Stoffes bezogen, wird von der spezifischen Wärmespeicherkapazität gesprochen.

Das Symbol dafür ist c , die Masseinheit $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

Die spezifische Wärmespeicherkapazität ist die Wärmemenge, die man 1 kg des Stoffes (z.B. Wasser) zuführen muss, um ihn um 1°C zu erwärmen. Umgekehrt gibt der Stoff bei Abkühlung die gleiche Energie wieder ab. Für Wasser gilt zwischen 0°C und 100°C als mittlere spezifische Wärmespeicherkapazität:

$$c = 4,19 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \text{ oder } c = 1,16 \text{ Wh}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

Die zu- oder abgeführte Wärmemenge Q , gemessen in J oder kJ, ist das Produkt aus der Masse m , gemessen in kg, der spezifischen Wärmespeicherkapazität c und der Temperaturpreizung $\Delta \vartheta$ gemessen in K.

Das ist die Differenz zwischen der Vorlauf- und Rücklauf-temperatur eines Heizungssystems. Die Formel lautet:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta \vartheta$$

$$m = V \cdot \rho$$

V = Wasservolumen in m^3 / ρ = Dichte kg/m^3

Die Masse m ist das Wasservolumen V , gemessen in m^3 , multipliziert mit der Dichte ρ des Wassers, gemessen in kg/m^3 . Somit kann die Formel auch wie folgt geschrieben werden:

$$Q = V \cdot \rho \cdot c \cdot (\vartheta_V - \vartheta_R)$$

Die Dichte des Wassers verändert sich zwar mit der Wassertemperatur. Für die Energiebetrachtungen wird aber vereinfacht mit $\rho = 1 \text{ kg}/\text{dm}^3$ zwischen 4°C und 90°C gerechnet.

Die physikalischen Begriffe Energie, Arbeit und Wärmemenge sind gleich. Zur Umrechnung von Joule in andere zugelassene Einheiten gilt:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ Ws} \text{ bzw. } 1 \text{ MJ} = 0,278 \text{ kWh}$$

Merksatz:

Die spezifische Wärmespeicherkapazität ist die Wärmemenge, die man 1 kg des Stoffes (z.B. Wasser) zuführen muss, um ihn um 1°C zu erwärmen. Umgekehrt gibt der Stoff bei Abkühlung die gleiche Energie wieder ab.

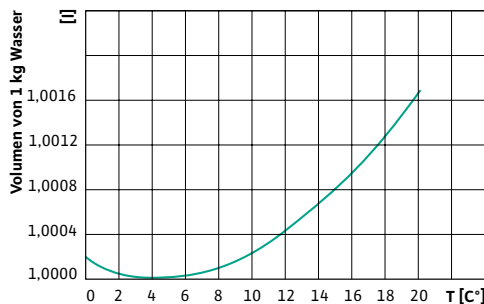
Δ = Delta
 ϑ = Theta
 ρ = Rho

Volumenzu- und -abnahme.

Sämtliche Stoffe auf der Erde dehnen sich bei Erwärmung aus und verringern ihre Ausdehnung bei Abkühlung. Der einzige Stoff, der dabei eine Ausnahme macht, ist Wasser. Diese besondere Eigenschaft heisst Anomalie des Wassers.

Wasser hat bei +4 °C die grösste Dichte, und zwar $1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ l} = 1 \text{ kg}$

Volumenveränderung von Wasser



Wird das Wasser von diesem Temperaturpunkt entweder abgekühlt oder erwärmt, so nimmt sein Volumen zu, d.h., die Dichte wird geringer, es wird spezifisch leichter.

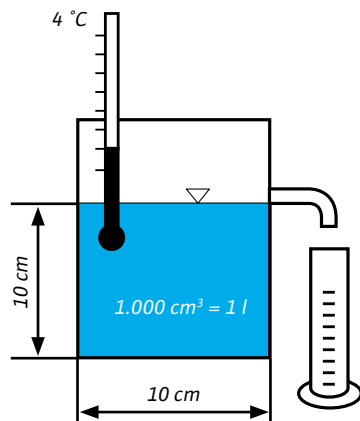
An einem Behälter mit gemessenem Überlauf kann dies gut beobachtet werden.

In dem Behälter sind genau 1.000 cm^3 Wasser bei einer Temperatur von +4 °C. Wird das Wasser erwärmt, fliesst ein Teil durch den Überlauf in das Messglas. Wenn das Wasser auf 90 °C erwärmt wird, befinden sich genau $35,95 \text{ cm}^3$, entsprechend 34,7 g, im Messglas.

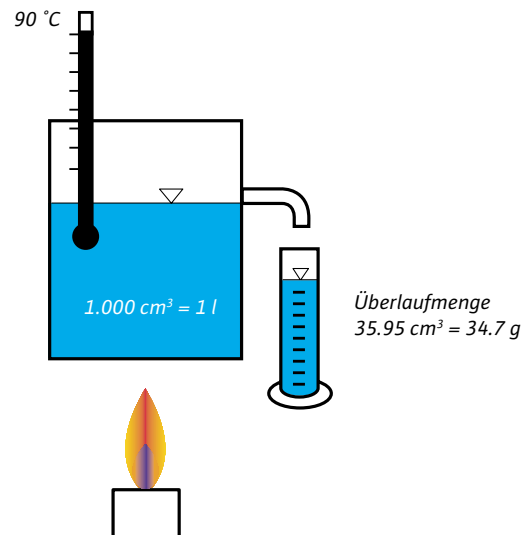
Auch wenn Wasser unter eine Temperatur von +4 °C abgekühlt wird, dehnt es sich aus. Dieser Anomalie des Wassers verdanken wir, dass Flüsse und Seen im Winter von der Oberfläche her zufrieren. Eisschollen schwimmen deshalb auf dem Wasser und nur so ist es der Frühlingssonne möglich, das Eis wieder aufzutauen. Sie könnte es nicht, wenn das Eis – spezifisch schwerer werdend – auf den Grund sinken würde.

Dieses Ausdehnungsverhalten birgt aber auch Gefahren in sich. So platzen Automotoren und Wasserleitungen, wenn sie einfrieren. Um das zu verhindern, werden dem Wasser Frostschutzmittel zugemischt. In Heizungssystemen sind dies z.B. Glykole, ihr Anteil ist den Herstellerangaben zu entnehmen.

Wasserwürfel von 1.000 cm^3
4 °C = 1.000 g



Wasserwürfel von 1.000 cm^3
90 °C = 965.3 g



Bei der Erwärmung oder Abkühlung wird die Dichte des Wassers geringer, d.h., es wird spezifisch leichter, das Volumen nimmt zu

Siedeverhalten von Wasser.

Wird Wasser über 90 °C hinaus weiter erwärmt, so siedet es im offenen Gefäß bei 100 °C. Wird während des Siedevorganges die Wassertemperatur gemessen, bleibt diese konstant bei 100 °C, bis der letzte Rest verdampft ist. Die ständige Wärmezufuhr wird also zur vollständigen Verdampfung des Wassers, also zur Veränderung des Aggregatzustandes, verwendet. Diese Energie wird auch als latente (verborgene) Wärme bezeichnet. Wird die Erwärmung weiter fortgesetzt, steigt die Temperatur wieder.

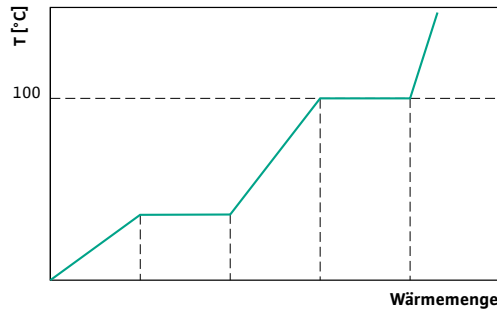
Bedingung für den geschilderten Ablauf ist, dass ein Normal-Luftdruck (NN) von 1,013 hPa herrscht, der auf dem Wasserspiegel ruht. Bei jedem anderen Luftdruck verschiebt sich der Siedepunkt von 100 °C weg.

Eine Wiederholung des geschilderten Versuchs in 3000 m Höhe, z.B. auf der Zugspitze, zeigt, dass dort Wasser bereits bei 90 °C siedet. Ursache dieses Verhaltens ist der mit zunehmender Höhe absinkende Luftdruck.

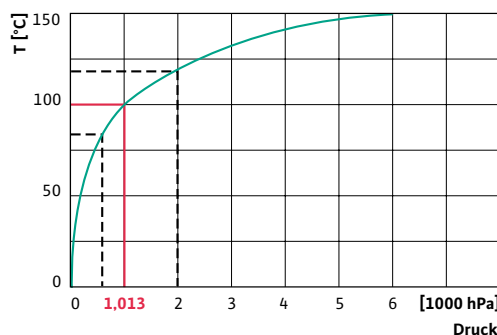
Je geringer der Luftdruck auf der Wasseroberfläche ist, desto niedriger liegt die Siedetemperatur. Umgekehrt wird ein Anheben der Siedetemperatur durch Steigerung des Drucks erreicht, der auf dem Wasserspiegel ruht. Dieses Prinzip wird z.B. bei Schnellkochtöpfen verwendet.

Die nebenstehende Grafik macht deutlich, wie sich die Siedetemperatur des Wassers in Abhängigkeit vom Druck verändert. Heizsysteme werden bewusst mit einem Überdruck betrieben. So bilden sich in kritischen Betriebszuständen keine Dampfblasen. Dadurch wird auch verhindert, dass von aussen Luft in das Wassersystem eindringen kann.

Verlauf des Aggregatzustandes bei Temperaturerhöhung



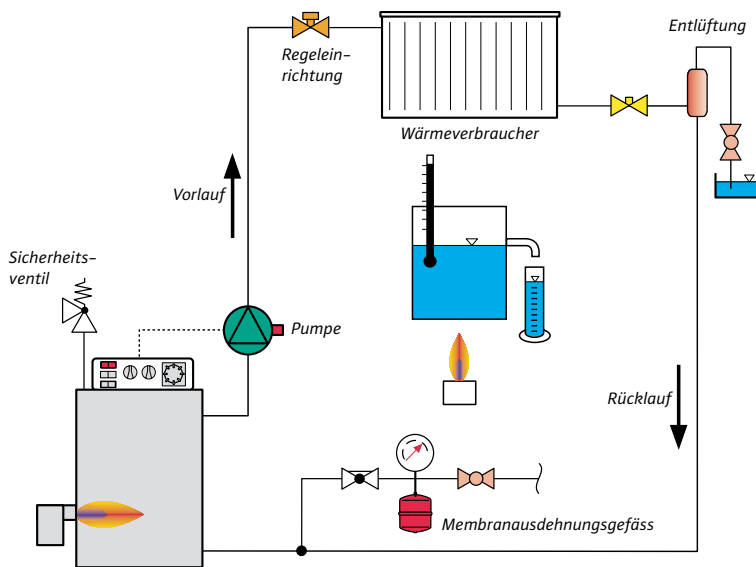
Siedepunkt des Wassers als Funktion des Drucks



Ausdehnung des Heizwassers und Absicherung gegen Überdruck.

Warmwasserheizungen werden mit Vorlauf-temperaturen bis 90 °C betrieben. Das Wasser wird normalerweise bei 15 °C Wassertemperatur aufgefüllt und dehnt sich dann beim Aufheizen aus. Bei dieser Volumenzunahme darf es nicht zum Überdruck oder Weglaufen des Fördermediums kommen.

Darstellung einer Heizungsanlage mit integriertem Sicherheitsventil



Wird nach dem Sommer die Heizung wieder eingeschaltet, nimmt das Wasser wieder sein grösseres Volumen ein. Es muss also ein ausreichend grosses Aufnahmegefäss für das Ausdehnungswasser bereit gestellt werden. Bei älteren Heizungsanlagen wurden offene Ausdehnungsgefässe eingebaut. Sie befinden sich immer oberhalb des höchstgelegenen Rohrleitungsabschnittes. Bei steigender Heizungstemperatur, also bei der Ausdehnung des Wassers, steigt der Wasserspiegel in diesem Gefäss. Er sinkt wieder bei fallender Heizungstemperatur.

Bei heutigen Heizungsanlagen werden Membranausdehnungsgefässe (MAG) verwendet.

Bei erhöhtem Anlagendruck muss gewährleistet sein, dass es zu keiner unzulässigen Druckbelastung von Rohrleitungen und anderen Anlagenteilen kommt. Deshalb ist es Vorschrift, eine Heizungsanlage mit einem

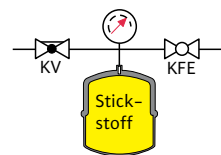
Sicherheitsventil auszurüsten, damit bei Überdruck das Ausdehnungswasser abblasen kann. In einer sorgfältig geplanten und gewarteten Anlage sollte dieser Betriebszustand allerdings nie eintreten. Bei den bisherigen Überlegungen ist nicht berücksichtigt worden, dass die Heizungsumwälzpumpe den Anlagendruck noch weiter erhöht.

Das Zusammenspiel von der maximalen Heizwassertemperatur, der Pumpenauswahl, der Grösse des notwendigen Membranausdehnungsgefässes und dem Ansprechpunkt des Sicherheitsventils muss sehr sorgfältig beachtet werden. Eine zufällige Auswahl der Anlagenteile – eventuell gar nach Gesichtspunkten des Anschaffungspreises – kann nicht akzeptiert werden.

Bei der Auslieferung ist das Gefäss mit Stickstoff gefüllt. Der MAG-Vordruck muss entsprechend der Heizungsanlage angepasst werden. Das Ausdehnungswasser aus dem Heizungssystem tritt in das Gefäss ein und drückt das Gaspolster über eine Membrane zusammen. Gase lassen sich komprimieren, Flüssigkeiten dagegen nicht.

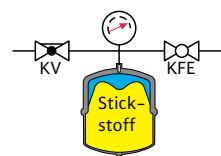
Ausgleich des sich ändernden Wasservolumens in der Heizungsanlage:

(1) MAG-Einbauzustand



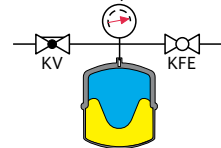
MAG-Vordruck 1,0/1,5 bar

(2) Anlage gefüllt/kalt



Wasserreserve
MAG-Vordruck +0,5 bar

(3) Anlage bei max. Vorlauftemperatur



Wassermenge = Wasserreserve + Ausdehnung

Merksatz:
Das Sicherheitsventil muss bei Überdruck öffnen und das Ausdehnungswasser abblasen.

Druck.

Druckdefinition

Druck ist der gemessene statische Druck von gasförmigen und flüssigen Stoffen in Druckbehältern oder Rohrleitungen gegenüber der Atmosphäre (Pa, mbar, bar).

Ruhedruck

Statischer Druck, wenn kein Medium fließt. Ruhedruck = Füllhöhe über den jeweiligen Messpunkt + Vordruck im Membranausdehnungsgefäß.

Fliessdruck

Dynamischer Druck, wenn ein Medium fließt. Fliessdruck = dynamischer Druck – Druckverlust.

Pumpendruck

Druck, der an der Druckseite der Kreiselpumpe bei Betrieb erzeugt wird. Dieser Wert kann anlagenbedingt vom Differenzdruck abweichen.

Differenzdruck

Erzeugter Druck durch die Kreiselpumpe zur Überwindung der Summe aller Widerstände in einer Anlage. Gemessen zwischen Saug- und Druckseite der Kreiselpumpe. Durch die Abnahme des Pumpendrucks aufgrund der Verluste entlang der Rohrleitungen, der Armaturen des Kessels und der Verbraucher herrscht an jeder Anlagenstelle ein anderer Betriebsdruck.

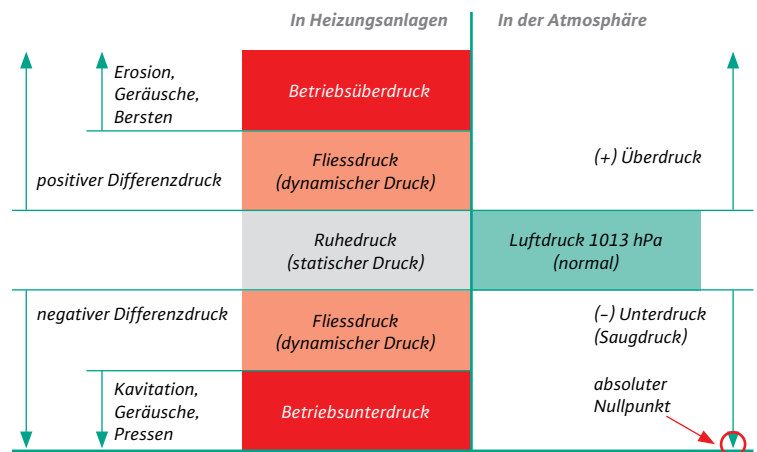
Kavitation.

Als Kavitation wird die Implosion der gebildeten Dampfblasen (Hohlräume) infolge örtlicher Unterdruckbildung unter dem Verdampfungsdruck der zu fördernden Flüssigkeit am Laufradeintritt bezeichnet. Diese führt zu Leistungsabfall (Förderhöhe), unruhigen Laufeigenschaften, Abfall des Wirkungsgrades, Geräuschen und Materialzerstörung (im Pumpeninneren).

Mikroskopisch kleine Explosionen verursachen durch Ausdehnung und Zusammenfall (Implosion) kleiner Luftbläschen in Bereichen höheren Drucks (z.B. im fortgeschrittenen Stadium am Laufradausgang) Druckschläge, die eine Beschädigung bzw. Zerstörung der Hydraulik zur Folge haben. Erste Anzeichen hierfür sind Geräusche bzw. Schäden am Laufradeintritt.

Eine wichtige Grösse für eine Kreiselpumpe ist der NPSH-Wert (Net Positive Suction Head). Dieser gibt den Mindestdruck am Pumpenzulauf an, den diese Pumpenbauform benötigt, um kavitationsfrei arbeiten zu können, d.h. den

Anlagedruck, Druckaufbau



Betriebsdruck

Druck, der beim Betrieb einer Anlage oder einzelner Teilschnitte herrscht bzw. entstehen kann.

Zulässiger Betriebsdruck

Aus Gründen der Sicherheit festgelegter Höchstwert des Betriebsdruckes.

zusätzlichen Druck, der benötigt wird, die Verdampfung der Flüssigkeit zu verhindern und diese im flüssigen Zustand zu halten.

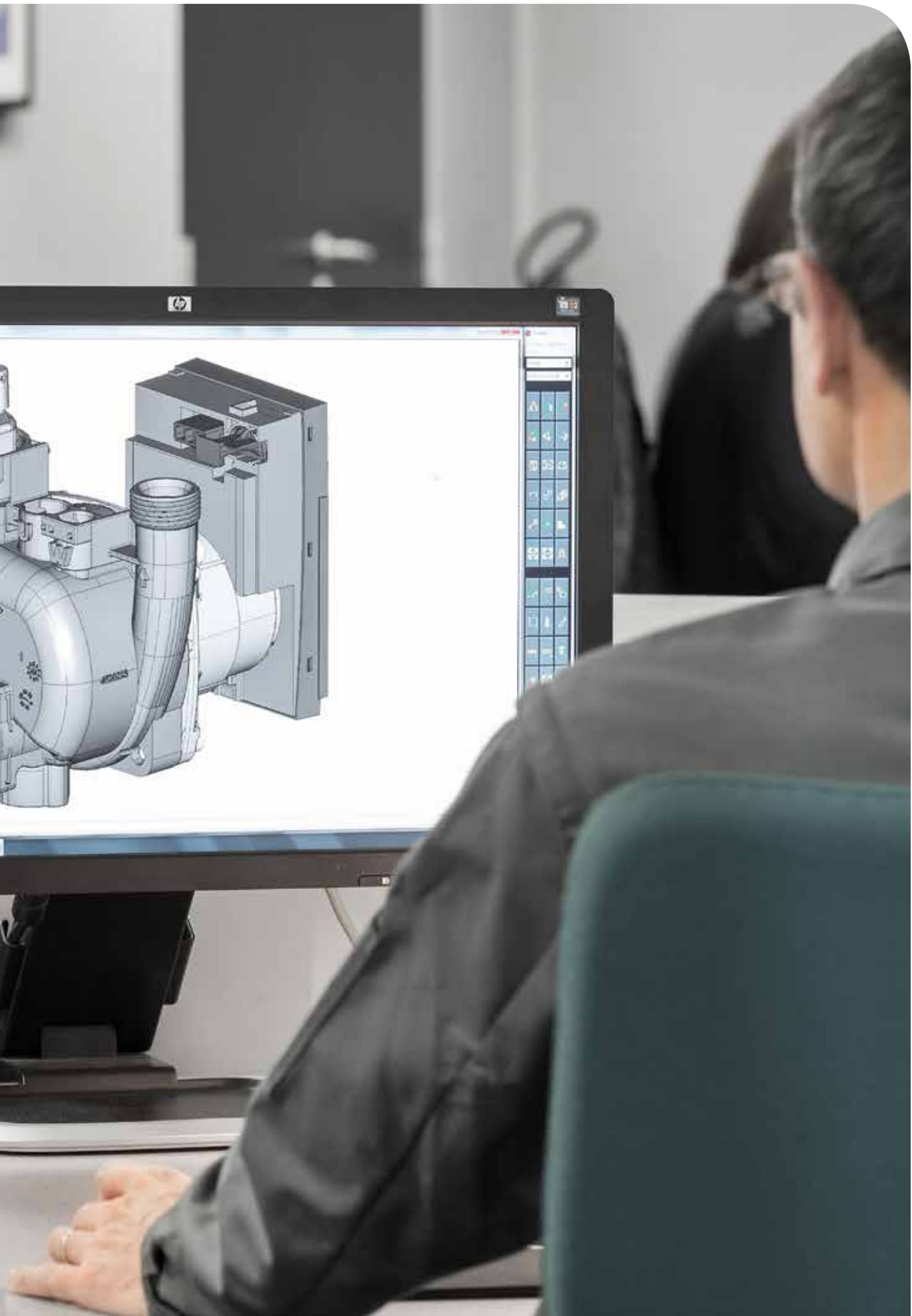
Der NPSH-Wert wird pumpenseitig durch Laufradform, Pumpendrehzahl und umgebungsseitig von Mediumtemperatur, Wasserüberdeckung und Atmosphärendruck beeinflusst.

Vermeidung von Kavitation

Zur Vermeidung von Kavitation muss einer Kreiselpumpe die Förderflüssigkeit mit einer bestimmten Zulaufhöhe zugeführt werden. Die Grösse dieser Mindestzulaufhöhe ist abhängig von Temperatur und Druck der Förderflüssigkeit.

Weitere Möglichkeiten zur Vermeidung von Kavitation:

- Erhöhung des statischen Druckes
- Senkung der Medientemperatur (Reduzieren des Dampfdruckes PD)
- Auswahl einer Pumpe mit geringerer Haltedruckhöhe (Mindestzulaufhöhe, NPSH)



Konstruktion von Kreiselpumpen.

In der SHK-Branche kommen in den verschiedensten Bereichen Kreiselpumpen zum Einsatz. Sie unterscheiden sich nach der Art ihrer Konstruktion und nach der Art ihrer Energieumsetzung.

Selbstansaugende und normalsaugende Pumpen

Eine **selbstansaugende Pumpe** ist bedingt in der Lage, die Saugleitung zu entlüften, d.h. Luft zu evakuieren. Bei der Inbetriebnahme muss die Pumpe ggf. mehrmals gefüllt werden. Die max. Saughöhe beträgt theoretisch 10,33 m und ist vom Luftdruck (1013 hPa = Normal) bei einer Wassertemperatur von 4 °C und 0 m über Normalnull (NN) abhängig.

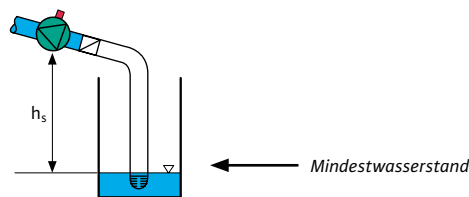
Technisch bedingt sind nur max. 7–8 m Saughöhe h_s erreichbar. Dieser Wert beinhaltet nicht nur den Höhenunterschied von der tiefstmöglichen Wasseroberfläche bis zum Saugstutzen der Pumpe, sondern auch die Widerstandsverluste in Anschlussleitungen, Pumpe und Armaturen.

Bei der Auslegung der Pumpe ist zu beachten, dass die Saughöhe h_s in die auszulegende Förderhöhe mit negativen Vorzeichen mit einbezogen werden muss. Die Saugleitung ist mindestens in Nennweite des Pumpenstutzens, wenn möglich eine Nennweite grösser, zu verlegen und sie sollte möglichst kurz gehalten werden.

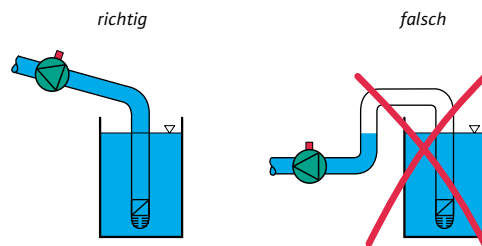
Bei einer langen Saugleitung ergeben sich erhöhte Reibungswiderstände, die die Saughöhe stark beeinträchtigen. Die Verlegung der Saugleitung sollte stetig steigend zur Pumpe erfolgen und bei Verwendung von Schlauchmaterial als Saugleitung sollten Spiralsaugschläuche (Dichtigkeit, Festigkeit) favorisiert werden. Undichtigkeiten sind unbedingt zu vermeiden, da sonst Pumpenschäden und Betriebsstörungen auftreten können.

Bei Saugbetrieb ist ein Fussventil stets zur Verhinderung des Leerlaufens der Pumpe und der Saugleitung zu empfehlen. Ein Fussventil mit Saugkorb schützt ausserdem die Pumpe und die nachgeschalteten Systeme vor groben Verunreinigungen (Blätter, Holz, Steine, Ungeziefer etc.). Ist ein Fussventil nicht einsetzbar, sollte im Saugbetrieb eine Rückschlagklappe oder ein Rückschlagventil vor der Pumpe (Pumpensaugstutzen) installiert werden.

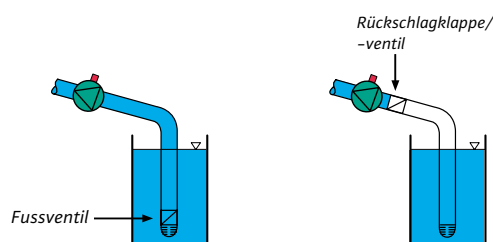
Saughöhe der Pumpe h_s



Verlegung der Saugleitung



Saugbetrieb



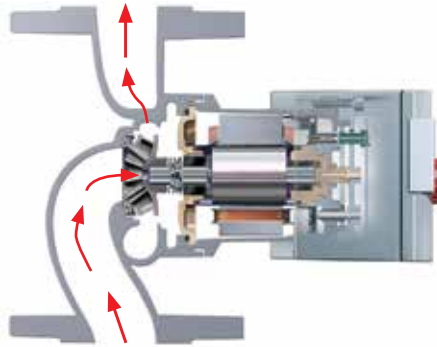
Installation mit Fussventil oder Rückschlagklappe/-ventil

Eine **normalsaugende Pumpe** ist nicht in der Lage, Luftanteile aus der Saugleitung zu evakuieren. Bei normalsaugenden Pumpen müssen stets die Pumpe und die Saugleitung komplett gefüllt sein. Wenn Luft durch Undichtigkeiten, z.B. an der Stopfbuchse des Absperrschiebers oder durch ein nicht schliessendes Fussventil in der Saugleitung, in die Pumpe gelangt, müssen Pumpe und Saugleitung wieder neu befüllt werden.

Funktion von Kreiselpumpen.

Schnittbild einer Nassläuferpumpe

Das Fördermedium tritt axial in das Laufrad ein und wird radial umgelenkt



Pumpen sind erforderlich, um Flüssigkeiten zu transportieren und die sich dazu einstellenden Durchflusswiderstände im Rohrsystem zu überwinden. Bei Pumpenanlagen mit unterschiedlichen Flüssigkeitsniveaus kommt dabei noch die Überwindung des geodätischen Höhenunterschiedes zur Geltung.

Kreiselpumpen sind nach der Art ihrer Konstruktion und nach der Art ihrer Energieumsetzung hydraulische Strömungsmaschinen. Obwohl es eine Vielzahl von Bauarten gibt, ist in allen Kreiselpumpen gleich, dass die Flüssigkeit axial in ein Laufrad eintritt.

Ein Elektromotor treibt die Pumpenwelle an, auf der das Laufrad sitzt. Das durch den Saugstutzen und den Saughals axial in das Laufrad eintretende Wasser erhält von den Laufradschaufeln eine Umlenkung in eine radiale Bewegung. Die an jedem Flüssigkeitsteilchen angreifenden Fliehkräfte bewirken beim Durchströmen des Schaufelbereichs sowohl eine Erhöhung des Druckes als auch der Geschwindigkeit.

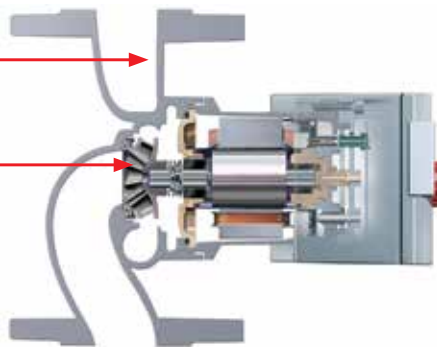
Nach dem Austritt aus dem Laufrad wird die Flüssigkeit im Spiralgehäuse gesammelt. Dabei wird durch die Gehäusekonstruktion die Strömungsgeschwindigkeit wieder etwas verlangsamt. Es erfolgt durch die Energieumwandlung eine weitere Erhöhung des Druckes.

Eine Pumpe besteht aus folgenden Hauptbestandteilen:

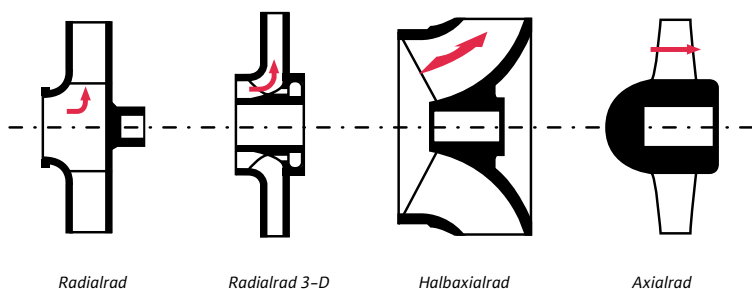
- Pumpengehäuse
- Motor
- Laufrad

Pumpengehäuse

3-D-Laufrad



Laufradformen



Radialrad

Radialrad 3-D

Halbaxialrad

Axialrad

Laufräder.

Es wird unterschieden zwischen offenen und geschlossenen Laufrädern sowie nach den Laufradformen.

Das heutige Laufrad ist bei der Mehrzahl der Pumpen eine 3-D-Konstruktion, welche die Vorteile eines Axialrades und eines Radialrades miteinander verbindet.

Pumpenwirkungsgrad.

Der Wirkungsgrad jeder Maschine ist das Verhältnis der abgegebenen Leistung zur aufgenommenen Leistung. Dieses Verhältnis wird mit dem griechischen Buchstaben η (eta) gekennzeichnet.

Weil es keinen verlustlosen Antrieb gibt, ist η deshalb immer kleiner als 1 (100%). Bei einer Heizungsumwälzpumpe setzt sich der Gesamtwirkungsgrad aus dem Motorwirkungsgrad η_M (elektrisch und mechanisch) und dem hydraulischen Wirkungsgrad η_p zusammen. Die Multiplikation dieser beiden Werte führt zum Gesamtwirkungsgrad η_{ges} .

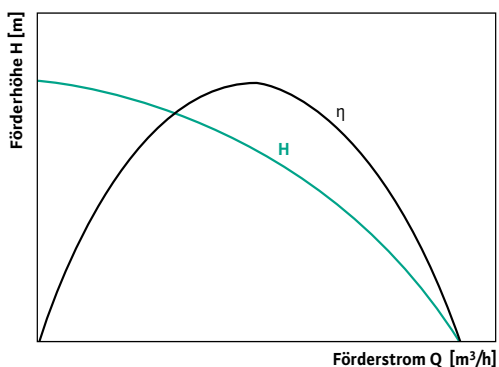
$$\eta_{ges} = \eta_M \cdot \eta_p$$

Diese Wirkungsgrade streuen bei den verschiedenen Pumpenbauarten und Pumpengrößen in weiten Bereichen. Für Nassläuferpumpen ergeben sich Wirkungsgrade η_{ges} zwischen 5 % und ~60 % (Hocheffizienz-Pumpe), für Trockenläuferpumpen beträgt η_{ges} zwischen 30 % und 80 %.

Auch innerhalb des Pumpenkennlinienfeldes verändert sich der jeweils aktuelle Wirkungsgrad zwischen null und einem Höchstwert.

Wenn die Pumpe gegen ein geschlossenes Ventil arbeitet, wird zwar ein hoher Pumpendruck erreicht, da aber kein Wasser fließt, ist die Wirkung der Pumpe null. Dasselbe gilt bei einem offenen Rohr. Trotz einer grossen Wassermenge wird kein Druck aufgebaut und somit kein Wirkungsgrad erreicht.

Pumpenkennlinie und Wirkungsgrad



Der beste Gesamtwirkungsgrad der Heizungsumwälzpumpe liegt im mittleren Bereich des Kennlinienfeldes. In den Katalogen der Hersteller sind diese optimalen Arbeitspunkte bei jeder Pumpe besonders gekennzeichnet.

Eine Pumpe arbeitet niemals auf einem einzigen definierten Punkt. Deshalb ist bei der Auslegung darauf zu achten, dass sich der Betriebspunkt der Heizungspumpe in der meisten Zeit der Heizperiode im mittleren Drittel der Pumpenkennlinie befindet. Dann arbeitet sie im Bereich der besten Wirkungsgrade. Der Pumpenwirkungsgrad wird durch folgende Formel ermittelt:

$$\eta_p = \frac{\dot{Q} \cdot H \cdot \rho}{367 \cdot P_2}$$

- η_p = Pumpenwirkungsgrad
- \dot{Q} [m³/h] = Förderstrom
- H [m] = Förderhöhe
- P_2 [kW] = Leistung an der Pumpenwelle
- 367 = Umrechnungskonstante
- ρ [kg/dm³] = Dichte des Fördermediums

Der Wirkungsgrad (oder die Leistung) einer Pumpe ist abhängig von deren Konstruktion. Die folgenden Tabellen geben einen Überblick über die Wirkungsgrade in Abhängigkeit von der gewählten Motorleistung und der Pumpenkonstruktion (Nass-/Trockenläufer).

Wirkungsgrade bei Standard-Nassläuferpumpen (Richtwerte)

Pumpen mit Motorleistung P_2	η_{ges}
bis 100 W	ca. 5 % – ca. 30 %
100 bis 500 W	ca. 20 % – ca. 50 %
500 bis 2500 W	ca. 30 % – ca. 60 %

Wirkungsgrade bei Trockenläuferpumpen (Richtwerte)

Pumpen mit Motorleistung P_2	η_{ges}
bis 1,5 kW	ca. 30 % – ca. 65 %
1,5 bis 7,5 kW	ca. 35 % – ca. 75 %
7,5 bis 45,0 kW	ca. 40 % – ca. 80 %

Leistungsaufnahme von Kreiselpumpen.

Ein Elektromotor treibt, wie beschrieben, die Pumpenwelle an, auf der das Laufrad sitzt. Die in der Pumpe erzeugte Druckerhöhung und der durch die Pumpe transportierte Förderstrom sind das hydraulische Ergebnis der elektrischen Antriebsenergie. Die vom Motor benötigte Energie wird als Leistungsaufnahme P_1 der Pumpe bezeichnet.

Der Leistungs-Kennlinienverlauf zeigt folgende Zusammenhänge: Bei geringem Förderstrom hat der Motor die geringste Leistungsaufnahme. Sie wächst mit zunehmendem Förderstrom. Dabei ändert sich der Leistungsbedarf in einem deutlich stärkeren Verhältnis als der Förderstrom.

Der Einfluss der Motordrehzahl

Wird bei sonst gleichbleibenden Anlagenbedingungen die Drehzahl der Pumpe verändert, so verändert sich die Leistungsaufnahme P annähernd proportional zur dritten Potenz der Drehzahl n .

$$\frac{P_1}{P_2} \approx \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3$$

Mit dieser Kenntnis kann die Pumpe sinnvoll geregelt und der Heizenergiebedarf angepasst werden. Wird die Drehzahl verdoppelt, so erhöht sich der Förderstrom im selben Verhältnis. Die Förderhöhe wächst auf das Vierfache. Die notwendige Antriebsenergie beträgt dann ungefähr das Achtfache. Wird die Drehzahl verringert, so reduzieren sich der Förderstrom, die Förderhöhe im Rohrnetz und der Leistungsbedarf in den gleichen, wie oben beschriebenen Verhältnissen.

Konstruktionsbedingte Festdrehzahlen

Ein Unterscheidungsmerkmal von Kreiselpumpen ist die Förderhöhe, bedingt durch den verwendeten Motor und die vorgegebene Festdrehzahl. Hierbei wird bei einer schnell laufenden Pumpe mit einer Drehzahl von $n > 1500 \text{ min}^{-1}$ – 1 von einem Schnellläufer und bei einer langsam laufenden Pumpe mit einer Drehzahl von $n < 1500 \text{ min}^{-1}$ – 1 von einem Langsamläufer gesprochen.

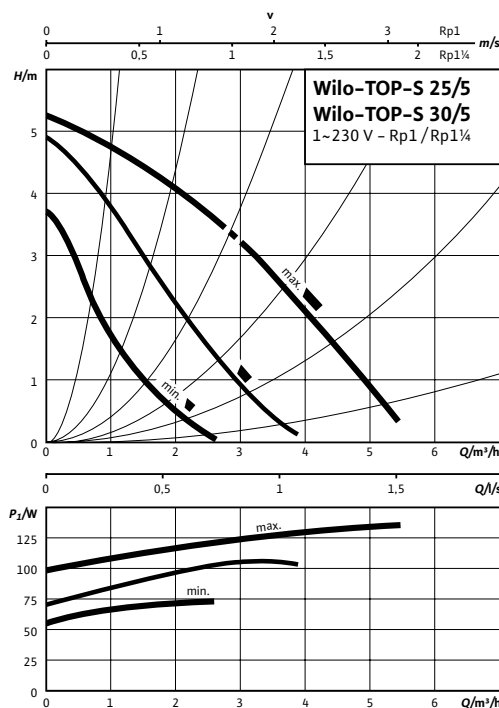
Allerdings ist die Motorkonstruktion der Langsamläufer etwas aufwendiger und damit kann der Preis dieser Pumpen etwas höher liegen. Aber dort, wo die Heizkreisbedingungen den Einsatz einer langsam laufenden Pumpe möglich oder gar erforderlich machen, führt die schnellere Pumpe zu einem unnötig hohen Stromverbrauch. Die für eine Drehzahlverminderung nötigen höheren Anschaffungskosten führen zu erheblichen Einsparungen bei der Antriebsenergie. Mehrkosten können schnell eingespart werden. Bei einer geregelten Drehzahlverringern entsprechend der Abnahme des Heizungsbedarfs wirkt sich die stufenlose Regelung der Pumpenelektronik als deutlicher Spareffekt aus.

Vergleiche Kapitel
«Kennlinien», Seite 31

Leistungskennlinien der Pumpen

Die Leistungskennlinien von Kreiselpumpen werden in einem Diagramm dargestellt: Auf der senkrechten Achse, der Ordinate, wird die Leistungsaufnahme P_1 der Pumpe in Watt [W] aufgetragen. Auf der waagerechten Achse, der Abszisse, wird – genau wie bei der noch zu behandelnden Pumpenkennlinie – der Förderstrom Q der Pumpe in Kubikmetern je Stunde [m^3/h] aufgetragen. Die Skaleneinteilung wird dabei im selben Massstab gewählt. Diese beiden Kennlinien werden in Katalogen häufig untereinander dargestellt, um die Zusammenhänge gut erkennen zu können.

Kennlinie Wilo-TOP S



Zusammenhang zwischen
Pumpenkennlinie und
Leistungskennlinie

Vergleiche Kapitel
«Stufenlose Drehzahl-
regelung», Seite 36

Nassläuferpumpen.

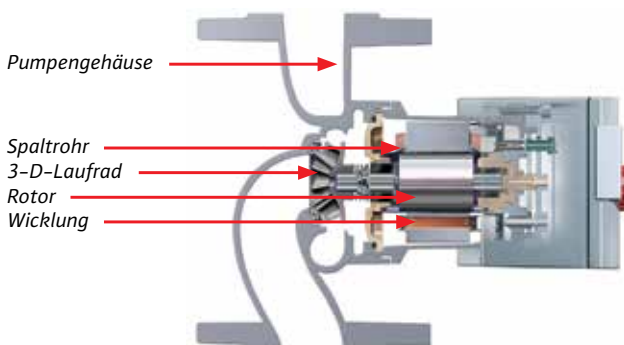
Durch den Einbau einer Nassläuferpumpe, wahlweise im Vorlauf oder Rücklauf, wird das Wasser schnell und intensiv bewegt. Dabei können Rohrleitungen mit kleineren Rohrquerschnitten verwendet werden. Die Kosten für die Heizungsanlage werden dadurch geringer. In den Leitungen des Heizungssystems befindet sich damit erheblich weniger Wasser. Die Heizung kann schneller auf Temperaturschwankungen reagieren und ist besser regelfähig.

Merkmale

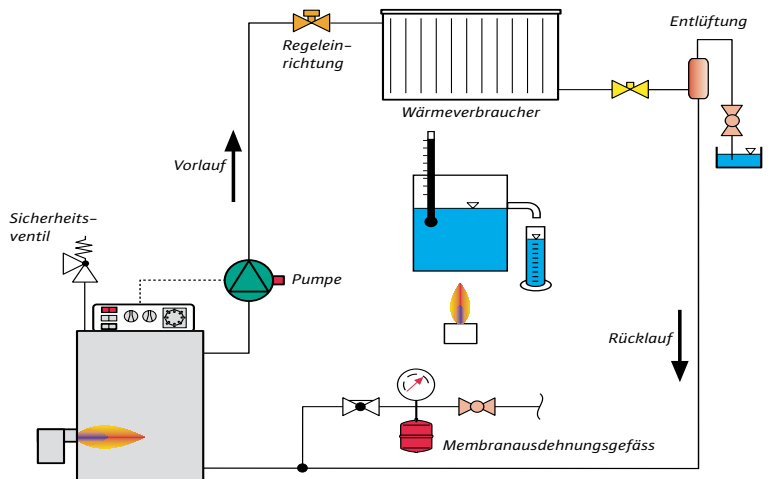
Das Laufrad einer Kreiselpumpe zeichnet sich durch eine radiale Wasserbeschleunigung aus. Die Welle, die das Laufrad antreibt, ist aus Edelstahl; die Lager dieser Welle sind aus gesinterter Kohle oder aus Keramik-Material. Der Rotor des Motors, der auf der Welle sitzt, läuft im Fördermedium. Das Wasser schmiert die Lager und kühlt den Motor.

Die Abgrenzung zum stromführenden Stator des Motors übernimmt ein Spaltring bzw. Spaltring. Es ist aus nicht magnetisierbarem Edelstahl oder Kohlefaserstoff hergestellt und hat eine Wanddicke von 0,1 bis 0,3 mm.

Für besondere Zwecke (z.B. Wasserfördersysteme) werden Pumpenmotoren mit einer festen Drehzahl eingesetzt. Wird die Nassläuferpumpe z.B. in einem Heizungskreislauf eingesetzt, also zur Versorgung der Heizkörper mit Heizenergie, so muss sie sich dem veränderlichen Wärmebedarf des Hauses anpassen. Je nach Aussentemperatur und Fremdwärme wird eine unterschiedliche Heizwassermenge benötigt. Die vor den Heizflächen eingebauten Thermostatventile bestimmen die Fördermenge.



Pumpenheizungssystem



Motoren von Nassläuferpumpen werden deshalb in mehreren Drehzahlstufen geschaltet. Diese Drehzahlumschaltung kann mit Schaltern oder Steckern manuell durchgeführt werden. Eine Automatisierung ist durch zusätzliche externe Schalt- und Regelsysteme möglich, die abhängig von Zeit, Druckdifferenz oder Temperatur arbeiten.

Seit 1988 gibt es Konstruktionen mit integrierter Elektronik, welche die Drehzahl stufenlos regelt. Der elektrische Anschluss von Nassläuferpumpen erfolgt je nach Grösse und erforderlicher Pumpenleistung mit Wechselstrom 1 ~ 230 V oder mit Drehstrom 3 ~ 400 V.

Nassläuferpumpen zeichnen sich durch eine grosse Laufruhe aus und besitzen konstruktionsbedingt keine Wellenabdichtung. Eine wichtige Eigenschaft dieser Konstruktion ist die Fähigkeit zur Selbstentlüftung bei der Inbetriebnahme.

Vorteile:
 Kleinere Rohrleitungsquerschnitte, weniger Wasserinhalt, schnelle Reaktionsfähigkeit auf Temperaturschwankungen, geringere Installationskosten



1988: Erste vollelektronische Nassläuferpumpe mit integrierter, stufenloser Drehzahlregelung



2001: Hocheffizienzpumpe Wilo-Stratos – weltweit erste Nassläuferpumpe auch für Klima-/Kälteanwendungen



2009: Hocheffizienzpumpe Wilo-Stratos PICO – bis zu 90 % Stromkosteneinsparung im Vergleich zu unregelmäßigem Heizungsanlagen

Einbaulagen.

Nassläuferpumpen werden bis zu einer Anschluss-Nennweite von $R1 \frac{1}{4}$ als Rohrverschraubungspumpen geliefert. Grössere Pumpen werden mit Flanschanschlüssen gefertigt. Der Einbau dieser Pumpen in die Rohrleitung kann ohne Fundament waagrecht oder senkrecht erfolgen.

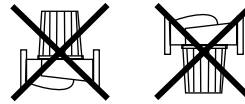
Wie bereits erwähnt, werden die Lager der Umwälzpumpe durch das Fördermedium geschmiert. Ausserdem dient das Medium der Kühlung des Motors. Es muss deshalb die Zirkulation durch das Spaltrohr ständig gewährleistet sein.

Weiterhin muss die Pumpenwelle immer waagrecht angeordnet sein (Nassläuferpumpen, Heizung). Der Einbau mit senkrecht stehender oder hängender Welle führt zu instabilem Betriebsverhalten und dadurch zum schnellen Ausfall der Pumpe. Genaue Hinweise zu den Einbaulagen sind den Einbau- und Betriebsanleitungen zu entnehmen.

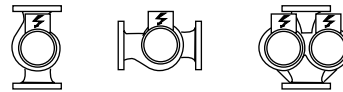
Die beschriebenen Nassläuferpumpen haben durch ihre Konstruktion gute Laufeigenschaften.

Einbaulagen für Nassläuferpumpen (Auszug)

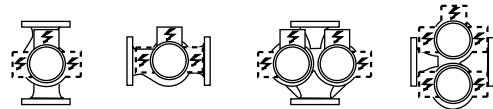
Nicht erlaubte Einbaulagen



Ohne Einschränkung zulässig für Pumpen mit stufenloser Regelung



Ohne Einschränkung zulässig für Pumpen mit 1-, 3- bzw. 4-Drehzahlstufen



Trockenläuferpumpen.

Merkmale

Zur Förderung grosser Förderströme werden Trockenläuferpumpen eingesetzt. Auch für die Förderung von Kühlwasser und aggressiven Medien sind Trockenläuferpumpen besser geeignet. Im Gegensatz zur Nassläuferpumpe kommt das Fördermedium nicht mit dem Motor in Berührung, daher der Name Trockenläuferpumpe.

Ein weiterer Unterschied zur Nassläuferpumpe besteht in der Abdichtung des wasserführenden Pumpengehäuses/der Welle zur Atmosphäre. Sie erfolgt durch eine Stopfbuchspackung oder durch eine Gleitringdichtung.

Die Motoren von Standard-Trockenläuferpumpen sind normale Drehstrommotoren mit einer festen Grunddrehzahl. Ihre Regelung erfolgt standardmässig über eine externe elektronische Drehzahlveränderung. In der heutigen Zeit gibt es Trockenläuferpumpen mit integrierter elektronischer Drehzahlregelung, die mit der technischen Entwicklung für immer grössere Motorleistungen zur Verfügung steht. Bei den Trockenläuferpumpen wird hauptsächlich zwischen vier verschiedenen konstruktiven Ausführungen unterschieden:

Inline-Pumpen

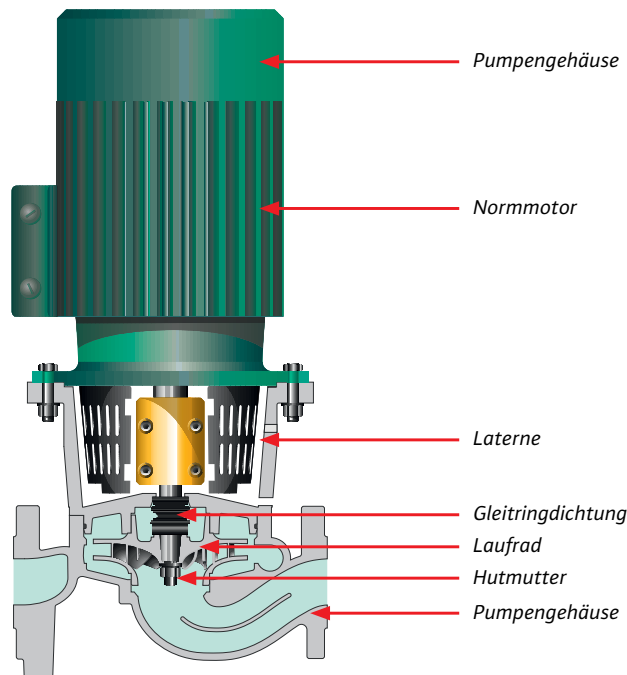
Wenn Saugstutzen und Druckstutzen in einer Achse liegen und gleiche Nennweiten haben, heissen sie Inline-Pumpen. Inline-Pumpen haben einen luftgekühlten und angeflanschten Norm-Motor.

In der Gebäudetechnik hat sich diese Bauart für grössere Leistungen durchgesetzt. Diese Pumpen können unmittelbar in die Rohrleitung eingebaut werden. Entweder wird die Rohrleitung durch Konsolen abgefangen oder die Pumpe wird auf einem Fundament oder auf einer eigenen Konsole montiert.

Blockpumpen

Blockpumpen sind einstufige Niederdruck-Kreiselpumpen in Blockbauart mit luftgekühltem Normmotor. Das Spiralgehäuse hat einen axialen Saugstutzen und einen radial angeordneten Druckstutzen. Die Pumpen sind serienmässig mit Winkel- oder Motorfüssen ausgestattet.

Aufbau einer Trockenläuferpumpe



Grundplattenpumpe mit geteiltem Gehäuse

Diese Kreiselpumpen sind in ein- oder zweistufiger Ausführung verfügbar. Die Pumpe und der Motor werden durch eine flexible Kupplung verbunden und auf einer gemeinsamen Grundplatte für den Fundamentaufbau montiert. Die Abdichtung erfolgt über Stopfbuchsenpackung oder Gleitringdichtung. Bei den horizontal angeordneten Anschlussstutzen ist der Saugstutzen üblicherweise eine Nennweite grösser.

Normpumpen

Bei diesen Kreiselpumpen mit axialem Eintritt sind die Pumpe, die Kupplung und der Motor auf einer gemeinsamen Grundplatte montiert und somit nur zum Fundamentaufbau geeignet. Je nach Fördermedium und Betriebsbedingungen werden sie mit einer Gleitringdichtung oder mit einer Stopfbuchse ausgerüstet. Bei ihnen bestimmt der senkrecht stehende Druckstutzen die Nennweite der Pumpe. Der horizontale Saugstutzen ist üblicherweise eine Nennweite grösser.

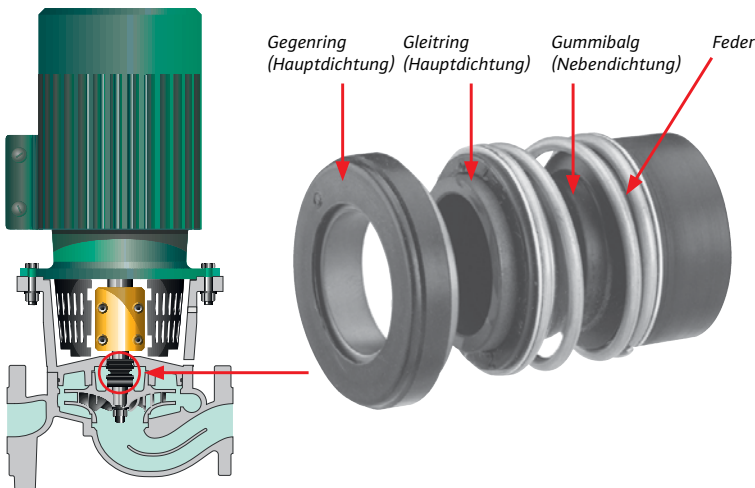
Vergleiche Kapitel
«Wellenabdichtung»,
Seite 28

Merksatz:

Gleitringdichtungen sind Verschleissteile. Trockenlauf ist nicht zulässig und führt zur Zerstörung der Dichtflächen.

Wellenabdichtung

Wie bereits erwähnt, kann die Wellenabdichtung zur Atmosphäre mittels einer Gleitringdichtung oder einer Stopfbuchspackung (insbesondere bei Normpumpen wahlweise) geschehen. Im Folgenden werden beide Abdichtungsmöglichkeiten näher erklärt.

Gleitringdichtung in einer Trockenläuferpumpe**Gleitringdichtungen**

In ihrer Grundkonstruktion bestehen Gleitringdichtungen aus zwei Ringen mit sehr feinpolierten (geläppten) Dichtflächen. Sie werden durch eine Feder zusammengedrückt und laufen im Betrieb gegeneinander. Gleitringdichtungen sind dynamische Dichtungen und werden zum Abdichten rotierender Wellen bei mittleren bis höheren Drücken verwendet.

Der Dichtbereich der Gleitringdichtung besteht aus zwei plan geschliffenen, verschleissarmen Flächen (z.B. Ringe aus Siliciumkarbid bzw. Kohle), die durch axiale Kräfte zusammengedrückt werden. Der Gleitring (dynamisch) rotiert mit der Welle, während der Gegenring (statisch) im Gehäuse stationär angeordnet ist.

Zwischen den Gleitflächen bildet sich ein dünner Wasserfilm, der zur Schmierung und Kühlung dient.

Im Betrieb können sich verschiedene Arten der Reibung der Gleitflächen untereinander heraus bilden: Mischreibung, Grenzreibung, Trockenreibung, wobei die sogenannte Trockenreibung (kein Schmierfilm) zur sofortigen Zerstörung führt. Die Standzeiten (Betriebsdauer) sind abhängig von den Betriebsverhältnissen, z.B. Fördermediumzusammensetzung, -temperatur.

Stopfbuchsen

Materialien für Stopfbuchsen sind z.B. hochwertige synthetische Garne wie Kevlar® oder Twaron®, PTFE, Garne aus expandiertem Grafit, synthetische Mineralfasergarne sowie natürliche Fasergeflechte wie Hanf, Baumwolle oder Ramie. Das Stopfbuchsenmaterial ist lieferbar als Meterware oder als formgepresste Ringe, in trockener Ausführung oder versehen mit auf den Verwendungszweck abgestimmten Imprägnierungen. Bei Meterware wird zunächst ein Ring geschnitten und geformt. Danach wird der Stopfbuchsenring um die Pumpenwelle montiert und mithilfe der Stopfbuchsenbrille angedrückt.



Einbaulagen.

Zulässige Einbaulagen

- Inline-Pumpen sind für den direkten horizontalen und vertikalen Einbau in eine Rohrleitung konzipiert.
- Dabei sollte ein Freiraum zum Ausbau von Motor, Laterne und Laufrad vorgesehen werden.
- Wird die Pumpe montiert, muss die Rohrleitung spannungsfrei sein und die Pumpe gegebenenfalls auf den Pumpenfüssen abgestützt werden.

Nicht zulässige Einbaulagen

- Der Einbau mit Motor und Klemmkasten nach unten gerichtet ist nicht zulässig.
- Ab einer bestimmten Motorleistung ist die Einbaulage mit horizontaler Pumpenwelle bei den Herstellern zu erfragen.

Besonderheiten bei Blockpumpen

- Blockpumpen sind auf ausreichenden Fundamenten bzw. Konsolen aufzustellen.
- Der Einbau von Blockpumpen mit Motor und Klemmkasten nach unten gerichtet ist nicht zulässig. Jede andere Einbaulage ist möglich. Genaue Hinweise zu den Einbaulagen sind den Einbau- und Betriebsanleitungen zu entnehmen.

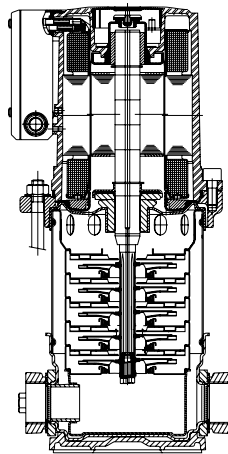
Hochdruck-Kreiselpumpen.

Typische Konstruktionsmerkmale dieser Pumpen sind Gliederkonstruktionen mit Laufrädern und Stufenkammern.

Die Förderleistung einer Pumpe ist u.a. abhängig von der Grösse der Laufräder. Die entsprechende Förderhöhe von Hochdruck-Kreiselpumpen wird durch mehrere, nacheinander angeordnete Laufräder/Leiträder erzeugt. Hier wird die Bewegungsenergie teilweise im Laufrad und teilweise im nachgeschalteten Leitrad in Druck umgesetzt.

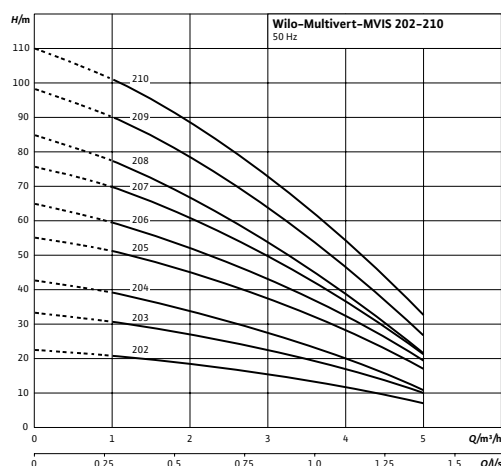
Die Mehrstufigkeit macht es möglich, dass Hochdruck-Kreiselpumpen Druckniveaus erreichen können, die bei Einsatz von einstufigen Niederdruck-Kreiselpumpen nicht zu erzielen sind. Sehr grosse Typen haben bis zu 20 Stufen. Sie erreichen damit Förderhöhen bis zu 250 m. Die beschriebenen Hochdruck-Kreiselpumpen gehörten früher zur Familie der Trockenläuferpumpen. Heute kommen hier vermehrt Nassläufermotoren zum Einsatz. Sie zeichnen sich durch ihre extreme Laufruhe aus.

Schnittzeichnung einer Hochdruck-Kreiselpumpe



Wilo-Multivert MVIS
Beispiel für eine Hochdruck-Kreiselpumpe mit Nassläufermotor

Kennlinie einer Hochdruck-Kreiselpumpe





Kennlinien.

Pumpenkennlinien.

Die Druckerhöhung in der Pumpe wird als Förderhöhe bezeichnet.

Definition der Förderhöhe

Die Förderhöhe einer Pumpe H ist die von der Pumpe auf die Förderflüssigkeit übertragene nutzbare mechanische Arbeit, bezogen auf die Gewichtskraft der geförderten Flüssigkeit bei der örtlichen Fallbeschleunigung.

$$H = \frac{E}{G} [\text{m}]$$

E = nutzbare mechanische Energie [$\text{N} \cdot \text{m}$]

G = Gewichtskraft [N]

Dabei sind die in der Pumpe erzeugte Druckerhöhung und der durch die Pumpe fließende Förderstrom voneinander abhängig. Diese Abhängigkeit wird in einem Diagramm als Pumpenkennlinie dargestellt.

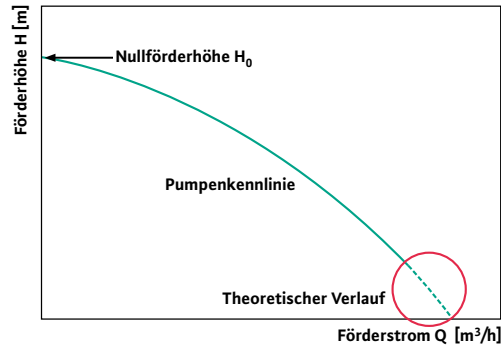
Auf der senkrechten Achse, der Ordinate, wird die Förderhöhe H der Pumpe in Metern [m] aufgetragen. Andere Achsenskalierungen sind möglich. Dabei gelten folgende Umrechnungswerte:

$$10 \text{ m} = 1 \text{ bar} = 100.000 \text{ Pa} = 100 \text{ kPa}$$

Auf der waagerechten Achse, der Abszisse, befindet sich die Skalierung für den Förderstrom Q der Pumpe in Kubikmetern je Stunde [m^3/h]. Auch eine andere Achsenskalierung, z.B. (l/s), ist möglich.

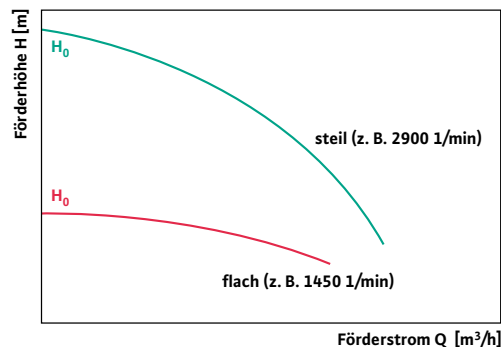
Der Kennlinienverlauf zeigt folgende Zusammenhänge: Die elektrische Antriebsenergie wird (unter Berücksichtigung des Gesamtwirkungsgrades) in der Pumpe in die hydraulischen Energieformen Druckerhöhung und Bewegung umgesetzt. Läuft die Pumpe gegen ein geschlossenes Ventil, so entsteht der maximale Pumpendruck. Man spricht von der Nullförderhöhe H_0 der Pumpe. Wird das Ventil langsam geöffnet, beginnt das Fördermedium zu strömen. Dadurch wird ein Teil der Antriebsenergie in Bewegungsenergie umgesetzt. Der ursprüngliche Druck kann dann nicht mehr gehalten werden. Die Pumpenkennlinie erhält einen abfallenden Verlauf. Theoretisch wird der Schnittpunkt der Pumpenkennlinie mit der Volumenstromachse erreicht, wenn das Wasser nur noch Bewegungsenergie enthält und kein Druck mehr aufgebaut wird. Da ein Rohrleitungssystem aber immer einen inneren Widerstand hat, enden die realen Pumpenkennlinien vor dem Erreichen der Förderstromachse.

Pumpenkennlinie



Pumpenkennlinienform

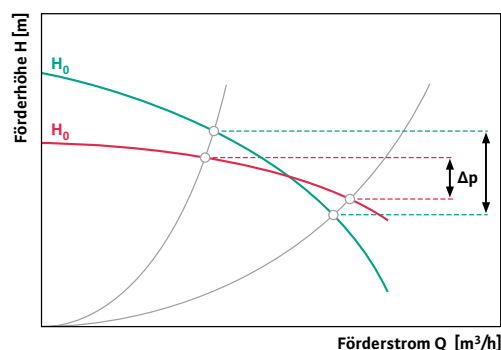
Das folgende Bild zeigt die unterschiedliche Steilheit von Pumpenkennlinien, die z.B. in Abhängigkeit zur Motordrehzahl entstehen können.



Unterschiedliche Steilheit, z.B. in Abhängigkeit der Motordrehzahl bei gleichem Pumpengehäuse und Laufrad

Dabei ergeben sich je nach Steilheit und Betriebspunktänderung unterschiedliche Förderstrom- und Druckänderungen:

- flach verlaufende Kennlinie: grössere Förderstromänderung, aber kleine Druckänderung
- steil verlaufende Kennlinie: kleinere Förderstromänderung, aber grosse Druckänderung

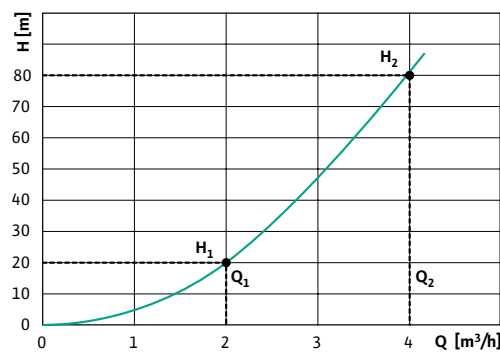


Unterschiedliche Förderstrom- und Druckänderungen

Anlagenkennlinien.

Der innere Rohrreibungswiderstand führt zu einem Druckverlust des gefördert Mediums entsprechend der gesamten Länge. Der Druckverlust ist ausserdem abhängig von der Temperatur des strömenden Mediums, seiner Viskosität, der Strömungsgeschwindigkeit, den Armaturen, den Aggregaten und dem Rohrreibungswiderstand, bestehend aus Rohrdurchmesser, Rohrrauigkeit und Rohrlänge. Er wird in einer Anlagenkennlinie dargestellt. Dafür wird das gleiche Diagramm wie für die Pumpenkennlinie verwendet.

Anlagenkennlinien



Bei Verdoppelung des Förderstroms steigt die Förderhöhe um den vierfachen Wert

Proportionalgesetz: Änderung der Drehzahl
Eine Verdoppelung der Drehzahl ergibt:

Förderstrom Q = zweifachen Wert
Förderhöhe H = vierfachen Wert
Leistungsbedarf P = achtfachen Wert

- Der Volumenstrom ist proportional der Drehzahl
- Der Druck ist proportional dem Quadrat der Drehzahl
- Der Leistungsbedarf ist proportional der 3. Potenz der Drehzahl

Der Kennlinienverlauf zeigt folgende Zusammenhänge:

Die Ursachen des Rohrreibungswiderstands sind die Reibungen des Wassers an den Rohrwandungen, die Reibungen der Wassertropfen untereinander und die Umlenkungen in den Formteilen. Bei einer Veränderung des Förderstromes, z.B. durch Öffnen und Schliessen der Thermostatventile, verändert sich auch die Wassergeschwindigkeit und damit der Rohrreibungswiderstand. Da der unveränderte Rohrquerschnitt wie eine durchströmte Fläche zu betrachten ist, verändert sich der Widerstand quadratisch. Zeichnerisch entsteht deshalb daraus die Form einer Parabel. Mathematisch ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^2$$

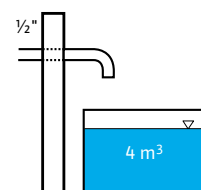
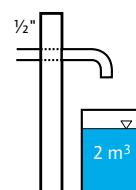
Erkenntnis

Wird der Förderstrom im Rohrnetz halbiert, so sinkt die Förderhöhe auf ein Viertel. Verdoppelt sich der Förderstrom, so erhöht sich die Förderhöhe auf das Vierfache. Als Beispiel soll der Auslauf von Wasser aus einem Zapfventil dienen. Bei einem Vordruck von 2 bar, das entspricht einer Pumpenförderhöhe von ca. 20 m, fliesst aus einem Zapfventil DN $\frac{1}{2}$ ein Förderstrom von 2 m³/h. Zur Verdopplung des Förderstromes muss der Vordruck von 2 auf 8 bar erhöht werden.

Auslauf aus einer Zapfstelle bei unterschiedlichen Vordrücken

Vordruck 2 bar
Auslauf 2 m³/h

Vordruck 8 bar
Auslauf 4 m³/h



Betriebspunkt.

Dort, wo sich die Pumpenkennlinie und die Anlagenkennlinie schneiden, ist der aktuelle Betriebspunkt der Heizungs- oder Wasserversorgungsanlage.

D.h., in diesem Punkt herrscht ein Gleichgewicht zwischen dem Leistungsangebot der Pumpe und dem Leistungsverbrauch des Rohrnetzes. Die Pumpenförderhöhe ist stets so gross wie der Durchflusswiderstand der Anlage. Daraus ergibt sich dann der Förderstrom, der von der Pumpe geliefert werden kann.

Hierbei muss berücksichtigt werden, dass ein bestimmter Mindestförderstrom nicht unterschritten werden darf, da es sonst zu einer Überhitzung im Pumpenraum und damit zur Zerstörung der Pumpe kommen kann. Es sind die Herstellerangaben zu beachten. Ein Betriebspunkt ausserhalb der Pumpenkennlinie führt zu Motorschäden.

Durch die Veränderung der Förderströme während des Betriebes ändert sich auch der Betriebspunkt ständig. Der Planer muss einen Auslegungs-Betriebspunkt nach den maximalen Anforderungen finden. Bei Heizungsumwälzpumpen ist das der Wärmebedarf des Gebäudes, bei Druckerhöhungsanlagen ist das der Spitzendurchfluss für alle Zapfstellen.

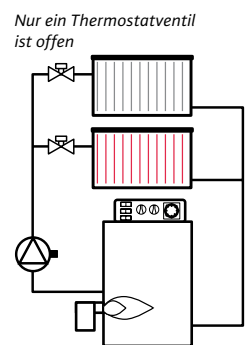
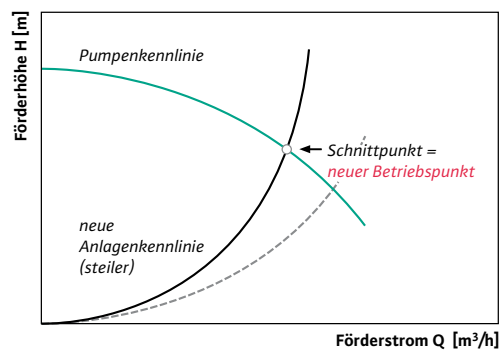
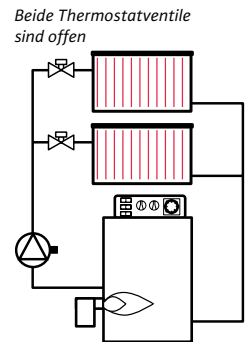
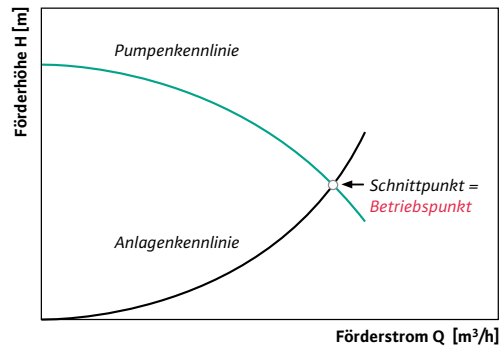
Sämtliche andere Betriebspunkte, die sich im praktischen Betrieb einstellen, liegen im Kennliniendiagramm links von diesem Auslegungs-Betriebspunkt.

Die beiden rechten Darstellungen zeigen, dass sich die Betriebspunktänderung aus der Durchflusswiderstandsänderung ergibt.

Bei Verschiebung des Betriebspunktes, in linker Richtung vom Auslegungspunkt, erhöht sich zwangsläufig die Förderhöhe der Pumpe. Dabei werden Fliessgeräusche in den Ventilen verursacht.

Die Anpassung der Förderhöhe und des Förderstromes an den Bedarf erfolgt mit dem Einbau von geregelten Pumpen. Dabei werden gleichzeitig die Betriebskosten deutlich gesenkt.

Der sich einstellende Betriebspunkt





Pumpenanpassung an den Heizungsbedarf.

Da wir in unseren klimatischen Breiten vier ausgeprägte Jahreszeiten kennen, schwanken die Aussentemperaturen erheblich. Von sommerlichen Temperaturen um 20 °C bis 30 °C fällt das Thermometer im Winter auf minus 15 °C bis 20 °C oder auch tiefer. Diese Schwankungen können aber für die Innentemperaturen von Wohnräumen nicht hingenommen werden. Erst war es das Feuer, welches die Höhlen erwärmte. Später wurden Heizsysteme entwickelt, wie sie im ersten Teil dieser Fibel beschrieben sind.

Witterungsschwankungen.

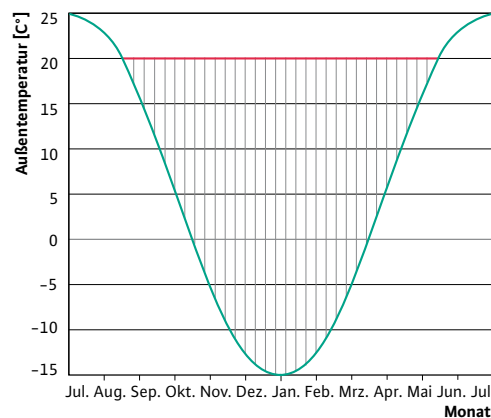
In der rechten Darstellung macht die senkrechte Schraffur sehr deutlich, dass bei den jahreszeitlich schwankenden Aussentemperaturen eine recht unterschiedliche Heizenergie erforderlich ist.

Als die dafür eingesetzten Energien (Holz, Kohle und die Anfänge der Heizungen mit Öl) sehr wenig kosteten, war es egal, wieviel verheizt wurde. Schlimmstenfalls wurden die Fenster geöffnet. Diese Regeltechnik wird scherzhaft als Zweipunktregelung – Fenster auf/Fenster zu – bezeichnet.

Mit der ersten Ölpreiskrise im Jahre 1973 erkannte man die Notwendigkeit der sparsamen Energienutzung.

Eine gute Wärmedämmung der Gebäude ist inzwischen zur Selbstverständlichkeit geworden. Die gesetzlichen Vorschriften wurden und werden ständig der bautechnischen Fortentwicklung angepasst. Selbstverständlich verlief der heizungstechnische Fortschritt dazu parallel. Zuerst erlebten die Thermostatventile eine breite Markteinführung, damit die Raumtemperatur den Wünschen der Bewohner angepasst werden konnte.

Aussentemperatur in Abhängigkeit von der Jahreszeit



Die schraffierte Fläche muss durch Heizenergie aufgefüllt werden

Die dadurch praktizierte Drosselung der Heizwassermenge erhöhte den Pumpendruck der Festdrehzahlpumpe (entlang der Pumpenkennlinie) und verursachte dadurch Fließgeräusche in den Ventilen. Daraufhin wurde das Überströmventil erfunden und eingebaut, um diesen Überdruck abzubauen.

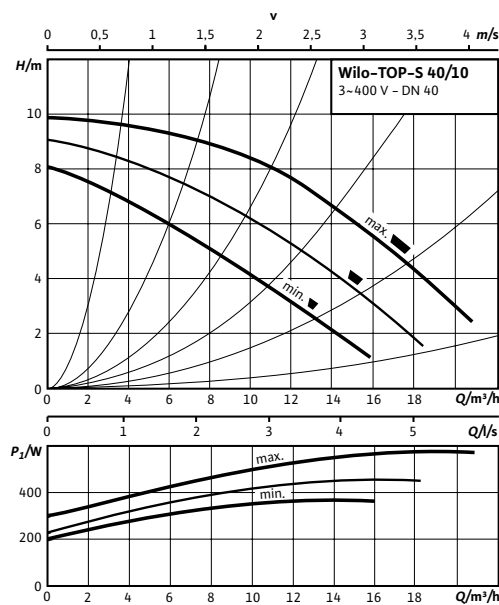
Vergleiche Kapitel «Betriebspunkt», Seite 33

Pumpendrehzahlschaltung.

Die Pumpenhersteller bieten Nassläuferpumpen mit von Hand schaltbaren Drehzahlstufen an. Wie in den vorhergehenden Abschnitten beschrieben wurde, verringert sich – in Anpassung an den Fördermediumdurchlass der Thermostat- und Regulierventile – der Volumenstrom mit der Drehzahl. Damit kann die Umwälzpumpe direkt auf die Raumtemperaturregelung reagieren.

Um die Motoren in ihren Drehzahlen verändern zu können, sind sie im Inneren aus verschiedenen Wicklungspaketen aufgebaut. Wenn weniger Wasser durch die Heizungsrohre fließt, baut sich auch ein geringerer Rohrleitungswiderstand auf, sodass die Pumpe mit einer geringeren Förderhöhe arbeiten kann. Gleichzeitig reduziert sich die aufgenommene elektrische Motorleistung erheblich.

Kennlinie Wilo-TOP S



Inzwischen wurden zu den Drehzahl-Stufenschaltungen der Heizungsumwälzpumpen umfangreiche Regelgeräte entwickelt. Damit kann die Umwälzpumpe direkt auf die Raumtemperaturregelung reagieren. Das Überstromventil wird dadurch hinfällig. Die Regelgeräte verändern die Drehzahl automatisch in Abhängigkeit

- von der Zeit,
- von der Wassertemperatur,
- vom Differenzdruck
- und von anderen anlagenspezifischen Einflussgrößen.



Nassläuferpumpe
Wilo-TOP S mit 3 schaltbaren Drehzahlstufen

Stufenlose Drehzahlregelung.

In der ersten Hälfte der 80er-Jahre gelang es bereits, Trockenläuferpumpen mit grossen Motorleistungen stufenlos an den Heizungsbedarf anzupassen. Dafür wurden zur Regelung elektronische Frequenzumrichter verwendet.

Zur Erklärung dieser Technik sei auf die bekannte Stromfrequenz von 50 Hz (Hertz) hingewiesen. D.h., der Strom wechselt 50 Mal je Sekunde zwischen einem Plus- und einem Minuspol. Mit der entsprechenden Geschwindigkeit wird der Rotor des Pumpenmotors bewegt.

Mit Hilfe elektronischer Bauelemente gelingt es, die Drehzahl zu erhöhen oder abzusenken, d.h. die Frequenz stufenlos einzustellen.

Aus motorischen Gründen wird die Frequenz mit Minimal- oder Maximalwerten begrenzt. Da die maximale Heizleistung nur für die kältesten Tage ausgelegt wird, wird es nur in diesen Fällen notwendig sein, die Motoren mit der maximalen Frequenz zu betreiben.

Während noch vor 20 Jahren dafür sehr grosse Frequenzumformer nötig waren, ist es inzwischen gelungen, diese Einheiten so klein zu machen, dass sie in den Anschlusskästen direkt an einer Pumpe angebaut arbeiten können, wie beispielsweise bei einer Wilo-Stratos.

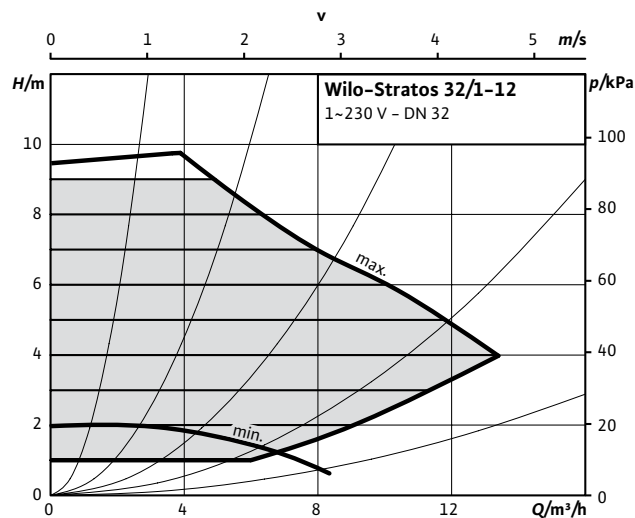
Eine integrierte stufenlose, differenzdruckabhängige Drehzahlregelung sorgt dafür, dass eine einmal eingestellte Förderhöhe konstant gehalten wird, gleich welcher Förderstrom witterungs- und nutzungsabhängig geliefert werden muss.

Bei kleinen Nassläuferpumpen war diese stufenlos geregelte Drehzahlanpassung schon seit 1988 möglich, jedoch mit einer anderen elektronischen Technik, wie z.B. der Phasenanschnittsteuerung oder Pulsweitenmodulation.

Seit 2001 hält ein neuer technischer Fortschritt in der Nassläufertechnik Einzug. Die neueste Generation, auch Hocheffizienzpumpe genannt, hat den Vorteil, durch neueste

ECM-Technologie (Electronic-Commutated-Motor, auch Permanentmagnet-Motor genannt) enorme Energieeinsparungen bei hervorragendem Wirkungsgrad zu erreichen. Eine Einsparung gegenüber herkömmlichen unregulierten Pumpen von bis zu 90 % ist möglich.

Kennlinienfeld einer Wilo-Stratos



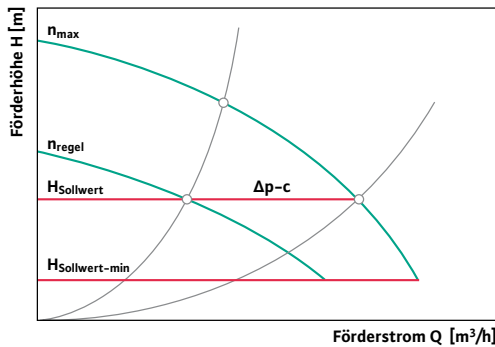
Stufenlose Drehzahlregelung bei der Hocheffizienzpumpe Wilo-Stratos

Vergleiche Kapitel «Nassläuferpumpen», Seite 25

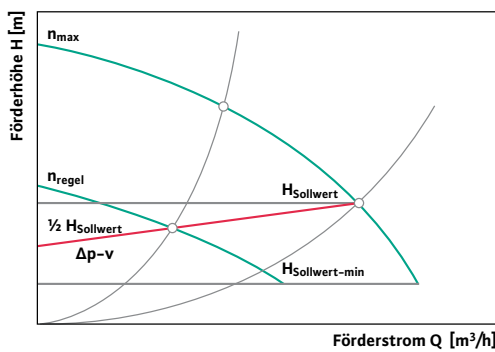
Regelungsarten.

Bei den heute auf den Markt befindlichen elektronisch geregelten Pumpen können an der Elektronik verschiedene Betriebs- und Regelungsarten eingestellt werden.

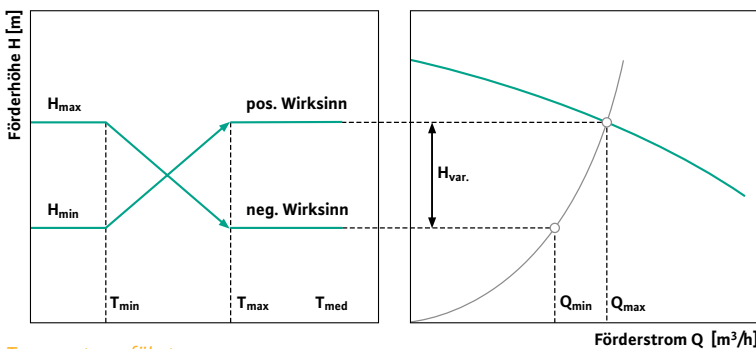
Kennlinien Regelungsarten



Differenzdruck konstant:
 $\Delta p-c$



Differenzdruck variabel:
 $\Delta p-v$



Temperaturregung:
Differenzdruckregelung:
 $\Delta p-T$ in Abhängigkeit
des sich daraus verän-
dernden Förderstroms

Hier unterscheiden wir zwischen Regelungsarten, die von der Pumpe selbstständig ausgeführt werden können, und Betriebsarten, bei denen die Pumpe nicht selbstständig regelt, sondern über Befehle auf einen bestimmten Betriebspunkt eingestellt wird. Als Überblick sind die häufigsten Regelungs- und Betriebsarten aufgeführt. Durch zusätzliche Steuerungen und Regelgeräte kann noch eine Vielzahl anderer Daten verarbeitet und übertragen werden.

Die wählbaren Regelungsarten sind:

$\Delta p-c$ – Differenzdruck konstant

Die Elektronik hält den von der Pumpe erzeugten Differenzdruck über den zulässigen Förderstrombereich konstant auf dem eingestellten Differenzdruck-Sollwert H_s bis zur Maximal-Kennlinie.

$\Delta p-v$ – Differenzdruck variabel

Die Elektronik verändert den von der Pumpe einzuhaltenen Differenzdruck-Sollwert z.B. linear zwischen H_s und $1/2 H_s$. Der Differenzdruck-Sollwert H nimmt mit dem Förderstrom Q ab bzw. zu.

$\Delta p-T$ – Temperaturgeführte Differenzdruckregelung

In dieser Regelungsart verändert die Elektronik den von der Pumpe einzuhaltenen Differenzdruck-Sollwert in Abhängigkeit der gemessenen Medientemperatur. Bei dieser Regelfunktion sind zwei Einstellungen möglich:

- Regelung mit positivem Wirksinn (Steigung)
Mit steigender Temperatur des Fördermediums wird der Differenzdruck-Sollwert linear zwischen H_{min} und H_{max} erhöht. Anwendung z.B. bei Standardkesseln mit gleitender Vorlauftemperatur.
- Regelung mit negativem Wirksinn (Steigung)
Mit steigender Temperatur des Fördermediums wird der Differenzdruck-Sollwert linear zwischen H_{max} und H_{min} abgesenkt. Anwendung z.B. bei Brennwertkesseln, bei denen eine bestimmte minimale Rücklauftemperatur eingehalten werden soll, um einen möglichst hohen Wärmenutzungsgrad des Heizmediums zu erreichen. Hierzu ist der Einbau der Pumpe im Rücklauf der Anlage zwingend erforderlich.

Die wählbaren Betriebsarten.

Absenk-Automatik (Autopilot)

Die neuen elektronisch geregelten Pumpen im Bereich der Nassläufer besitzen eine Absenk-Automatik (Autopilot). Bei Reduzierung der Vorlauftemperatur fährt die Pumpe auf eine reduzierte Konstantdrehzahl (Schwachlastbetrieb durch Fuzzy-Regelung). Diese Einstellung stellt sicher, dass der Energieverbrauch der Pumpe auf ein Minimum reduziert wird und in den meisten Fällen die optimale Einstellung ist.

Der Absenkbetrieb Autopilot darf nur freigegeben werden, wenn der hydraulische Abgleich der Anlage durchgeführt wurde. Bei Nichtbeachtung können unterversorgte Anlagenteile bei Frost einfrieren.

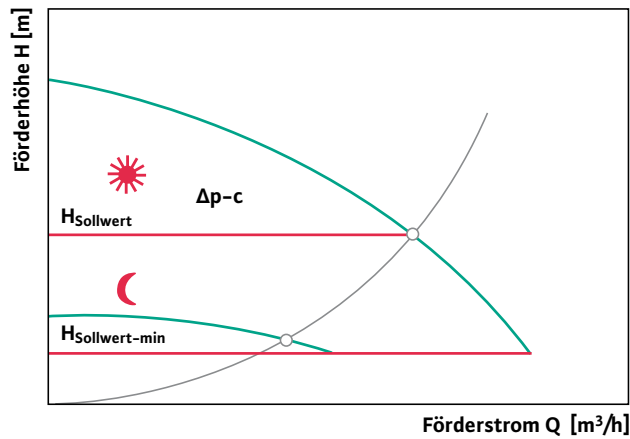
Handsteller

Diese Betriebsart steht bei elektronisch geregelten Pumpen ab einer bestimmten Motorleistung zur Verfügung. Die Drehzahl der Pumpe wird auf einer konstanten Drehzahl zwischen n_{\min} und n_{\max} am Elektronikmodul der Pumpe eingestellt. Die Betriebsart Handsteller deaktiviert die Differenzdruckregelung am Modul.

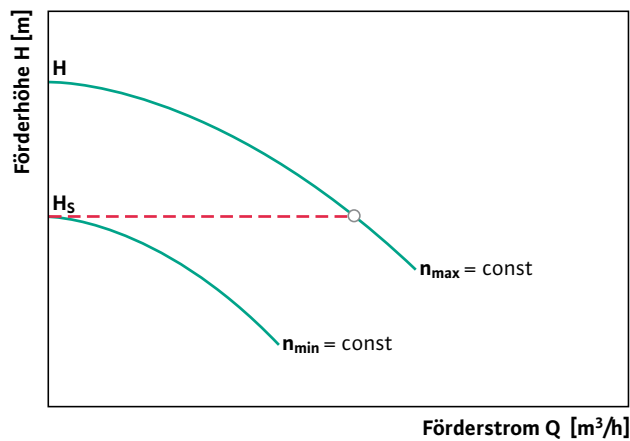
DDC (Direkt Digital Controls) und GA-Anbindung (Anbindung an die Gebäudeautomatisierung)

Bei diesen Betriebsarten bekommt die Elektronik der Pumpe ihren Sollwert über die entsprechende Gebäudeleittechnik übermittelt. Der Sollwert wird über einen Soll-Istwert-Vergleich von der Gebäudeautomation (GA) übernommen und kann dann als Analogsignal 0–10 V/0–20 mA, bzw. 2–10 V/4–20 mA oder als Digitalsignal (Schnittstelle PLR, CAN, LON, Modbus oder BACnet an der Pumpe) übermittelt werden.

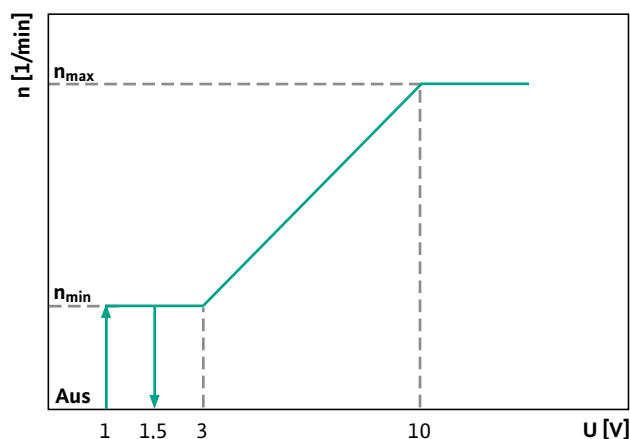
Kennlinien Betriebsarten



Betriebsart Absenk-Automatik (Autopilot)



Betriebsart Handsteller



Betriebsart DDC - analoge Steuerung



Überschlägige Pumpenauslegung für Standardheizungsanlagen.

Der Förderstrom, den eine Heizungspumpe zu fördern hat, ist abhängig vom Wärmebedarf des zu beheizenden Gebäudes. Die Förderhöhe dagegen wird von dem vorhandenen Rohrreibungswiderstand bestimmt. Bei einer Neuinstallation der Heizung können diese Einflussgrößen leicht mit Computerprogrammen berechnet werden, die heute eine hohe Qualität haben. Bei der Sanierung vorhandener Heizungsanlagen wird diese Berechnung schon schwieriger. Zur Ermittlung der benötigten Förderleistungsdaten können verschiedene Überschlagsrechnungen angewandt werden.

Pumpen-Förderstrom.

Wenn in ein Heizungssystem eine neue Umwälzpumpe einzubauen ist, wird ihre Grösse nach dem Förderstrom mit folgender Formel bestimmt:

$$\dot{Q}_{PU} = \frac{\dot{Q}_N}{1.163 \cdot \Delta \vartheta} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

\dot{Q}_{PU} = Förderstrom der Pumpe im Auslegungspunkt in $[\text{m}^3/\text{h}]$

\dot{Q}_N = Wärmebedarf der zu beheizenden Fläche in $[\text{kW}]$

1.163 = spez. Wärmekapazität in $[\text{Wh}/\text{kgK}]$

$\Delta \vartheta$ = Auslegungstemperaturdifferenz (Spreizung) zwischen Heizungs- und -rücklauf in $[\text{K}]$, dabei können 10–20 K für Standardanlagen zugrunde gelegt werden.

Pumpen-Förderhöhe.

Um das Fördermedium an jeden Punkt der Heizung transportieren zu können, muss die Pumpe die Summe aller Widerstände überwinden. Da der Weg der Rohrführung und die verlegten Nennweiten sehr schwer feststellbar sind, gilt diese Formel für die überschlägige Berechnung der Förderhöhe:

$$H_{PU} = \frac{R \cdot L \cdot ZF}{10.000} \quad [\text{m}]$$

R = Rohrreibungsverlust im geraden Rohr $[\text{Pa}/\text{m}]$
Dabei können 50 Pa/m bis 150 Pa/m für Standardanlagen zugrunde gelegt werden (abhängig vom Baujahr des Hauses, ältere Häuser haben aufgrund der verwendeten grösseren Nennweiten einen kleineren Druckverlust 50 Pa/m).

L = Länge des ungünstigsten Heizstranges $[\text{m}]$ für Vor- und Rücklauf oder:
(Länge des Hauses + Breite des Hauses + Höhe des Hauses) x 2

ZF = Zuschlagsfaktor für
Formstücke/Armaturen $\approx 1,3$
Thermostatventil $\approx 1,7$
Sind u.a. diese Einbauteile vorhanden, kann man einen ZF von **2,2** ansetzen.

Formstücke/Armaturen $\approx 1,3$
Thermostatventil $\approx 1,7$
Mischer/Schwerkraftbremse $\approx 1,2$

Sind u.a. diese Einbauteile vorhanden, kann man einen ZF von **2,6** ansetzen.

10.000 = Umrechnungsfaktor m in Pa

Anwendungsbeispiele.

Der Wärmeerzeuger in einem Mehrfamilienhaus älterer Bauart hat gemäss Berechnung oder laut Unterlage eine Leistung von 50 kW.

Bei einer Temperaturdifferenz Δ von 20 K ($\vartheta_{\text{Vorlauf}} = 70\text{ °C} / \vartheta_{\text{Rücklauf}} = 50\text{ °C}$) ergibt sich daraus:

$$\dot{Q}_{\text{PU}} = \frac{\dot{Q}_N}{1.163 \cdot \Delta \vartheta} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

Soll das gleiche Gebäude mit einer kleineren Temperaturdifferenz z.B. von 10 K beheizt werden, so muss die Umwälzpumpe den doppelten Volumenstrom, also 4,3 m³/h, fördern können, um die geforderte Wärmeenergie vom Wärmeerzeuger zu den Wärmeverbrauchern zu transportieren. Der Rohrreibungsdrukverlust sei in unserem Beispiel 50 Pa/m, die Rohrleitungslänge für den Vor- und Rücklauf beträgt 150 m und der Zuschlagsfaktor 2,2, weil hier kein Mischer und keine Schwerkraftbremse eingebaut wurden. Somit ergibt sich die Förderhöhe H:

$$H_{\text{PU}} = \frac{50 \cdot 150 \cdot 2.2}{10.000} = 1.65 \text{ m}$$

Betriebspunkt im Kennlinienfeld der Pumpe bei variablem Volumenstrom

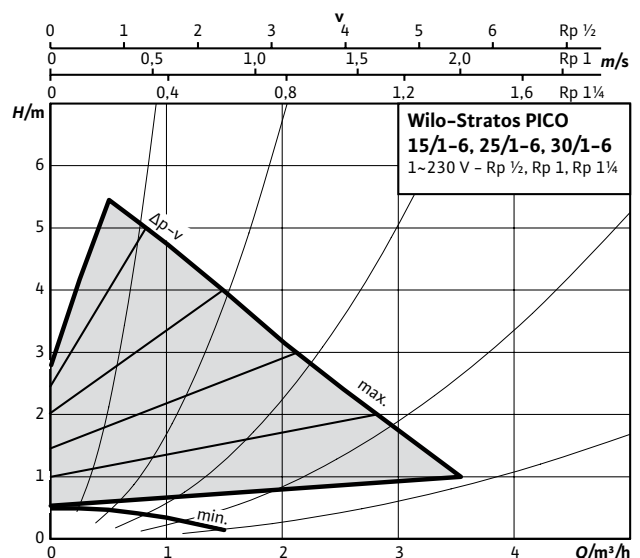


Aus dem Kapitel Konstruktionsmerkmale kennen wir den Wirkungsgradverlauf in Abhängigkeit von der Pumpenkennlinie. Wenn dieser Wirkungsgradverlauf bei der Auswahl der Pumpe berücksichtigt wird, ist zu erkennen, dass das mittlere Kennliniendrittel den energetisch günstigsten Auslegungsbereich darstellt. Der Auslegungspunkt sollte also bei Anlagen mit variablem Volumenstrom im rechten Drittel liegen, da der Betriebspunkt der Heizungsumwälzpumpe in das mittlere Drittel wandert und sie sich zu 98 % ihrer Betriebszeit dort befindet.

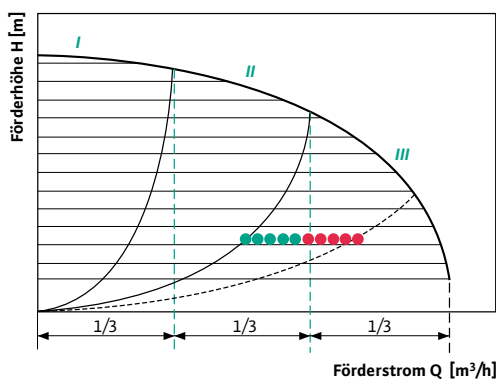
Die Anlagenkennlinie wird aufgrund der Erhöhung der Widerstände steiler, z.B. durch das Schliessen der Thermostatventile.

Somit ergibt sich aus den berechneten Daten für die Förderhöhe H und den Förderstrom Q nach Katalog für die überschlägige Pumpenauslegung:

Kennlinien Wilo-Stratos PICO



- Bereich I (linkes Drittel)**
 Eine kleinere Pumpe wählen, wenn der Betriebspunkt in diesem Bereich liegt
- Bereich II (mittleres Drittel)**
 Die Pumpe wird zu 98 % ihrer Betriebszeit im optimalen Betriebsbereich betrieben
- Bereich III (rechtes Drittel)**
 Die geregelte Pumpe wird nur im Auslegungspunkt (wärmsten/kältesten Tag des Jahres) im ungünstigsten Bereich betrieben, d.h. 2 % ihrer Betriebszeit

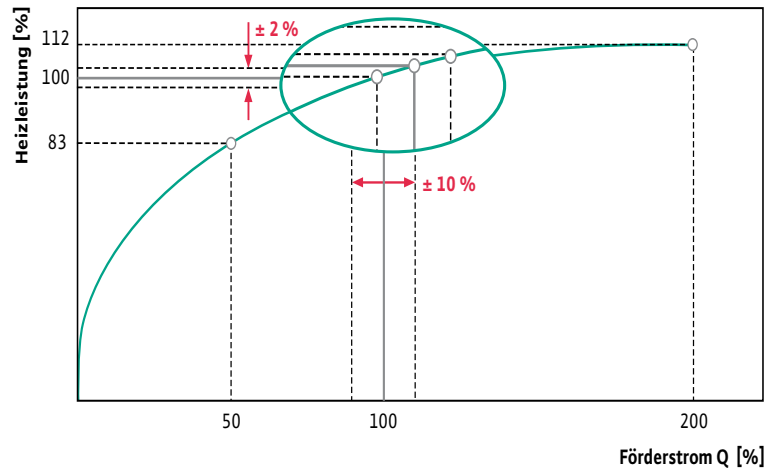


Auswirkung.

Wenn der Gebäude-Wärmebedarf in einem unbekanntem Rohrleitungssystem nur mit Hilfe einer überschlägigen Berechnung ermittelt werden kann, so stellt sich die Frage nach den Auswirkungen. Die rechte Darstellung zeigt die typische Leistungskurve eines Raumheizkörpers.

In diesem Diagramm sind folgende Zusammenhänge erkennbar: Wird der Förderstrom Q um 10 % verringert, so nimmt die Heizleistung der Heizkörper nur um 2 % ab. Dasselbe gilt, wenn man den Förderstrom Q um etwa 10 % erhöht. Dann werden die Heizkörper nur etwa 2 % mehr Heizenergie abgeben können. Selbst bei einer Verdopplung des Förderstromes wird sich die Heizleistung nur um etwa 12 % erhöhen! Der Grund liegt darin, dass die Wassergeschwindigkeiten in den Heizkörpern in einer direkten Abhängigkeit zum Förderstrom stehen. Höhere Durchflussgeschwindigkeit bedeutet also eine kürzere Verweilzeit des Wassers im Heizkörper. Bei einer geringeren Durchflussgeschwindigkeit bleibt dem Fördermedium mehr Zeit, Wärme an den Raum abzugeben.

Heizkörper-Betriebsdiagramm



Es ist also absolut falsch, die Pumpe aufgrund sogenannter Angstzuschläge grösser als erforderlich zu dimensionieren.

Selbst eine deutliche Unterdimensionierung hat nur vergleichbar geringe Folgen: Bei einem Förderstrom von 50 % werden die Heizkörper noch ca. 83 % Heizenergie an den Raum abgeben können.

Beispiel für ein Heizkörper-Betriebsdiagramm 70/50 °C, Raumtemperatur 20 °C

Planungssoftware.

Mit einer Pumpen-Planungssoftware, z.B. Wilo-Select, bekommt man einen kompletten und effektiven Planungsservice. Angefangen von der Berechnung bis zur Auslegung von Pumpen und den dazu gehörigen Dokumentationen werden Ihnen die dazu notwendige Daten zur Verfügung gestellt. Die Wilo-Select Classic ist eine Planungssoftware für Pumpen, Systeme und Komponenten. Mit ihr können Sie folgende Menüpunkte praxisgerecht bearbeiten:

- Berechnung
- Auslegung
- Katalog- und Artikelrecherche
- Pumpen-Austausch
- Dokumentation
- Stromkosten- und Amortisationsberechnungen
- Lebenszykluskosten (LifeCycleCosts)
- Datenexport nach Acrobat PDF, GAEB, Datanorm, VDMA, VDI, CEF
- Automatisches Internet-Update

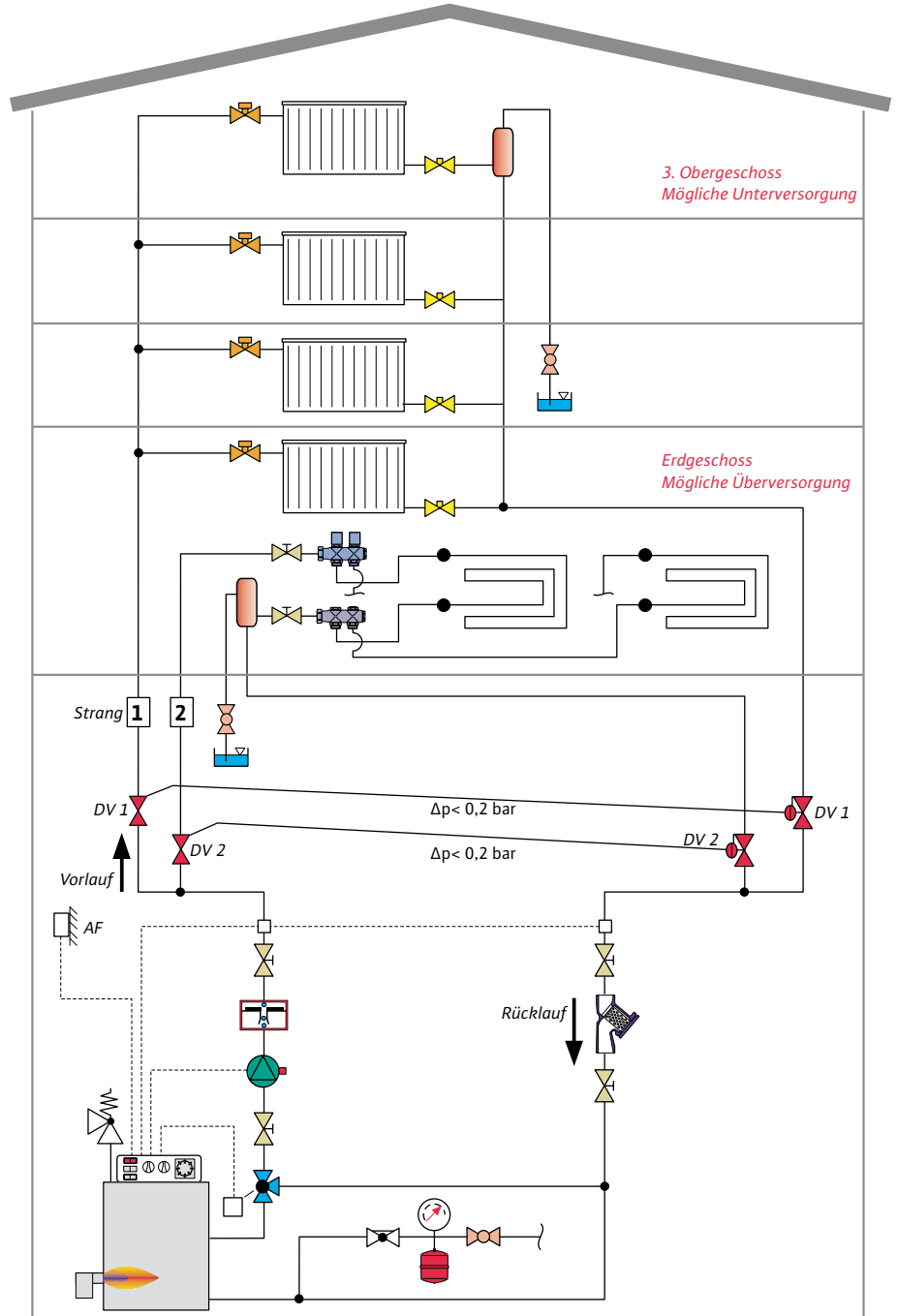
CAD-Planung.

Mit dem Wilo-CAD Katalog im Internet planen Sie schnell und einfach mit exakten 2-D- oder 3-D-Modellen unserer Produkte.



Schematische Darstellung einer Heizungsanlage mit der Möglichkeit zum hydraulischen Abgleich.

-  Luftsammelgefäß an höchster Stelle der Stränge
-  KFE-Ventil
-  Thermostatventil (TV)
-  Rücklaufabspernung
-  Absperrschieber
-  Elektrischer Stellantrieb
-  Rücklaufabspernung
-  Differenzdruckregler (DV)
-  Umwälzpumpe mit Pumpensteuerung
-  Schwerkraftbremse (SB)
-  3-Wege-Mischer
-  Schmutzfänger
-  Membranausdehnungsgefäß (MAG) mit KV-Armatur und KFE-Ventil
-  Sicherheitsventil
-  Entwässerung



Zur effizienten Arbeitsweise einer Pumpe gehört der hydraulische Abgleich

Das A und O der Hydraulik.

Um das Ziel der möglichst geräuscharmen und optimalen Wärmeverteilung zu erreichen, ist ein hydraulischer Abgleich erforderlich. Gleichzeitig soll der hydraulische Abgleich eine Unter- bzw. Überversorgung der Verbraucher verhindern.

Der Nennförderstrom zur Versorgung der Stränge wird von der Pumpe im Rohrsystem gefördert. Die Verbraucher (z.B. Heizkörper) benötigen aber nur eine anteilige Leistung, die abhängig von der Grösse und Leistung des Heizkörpers sowie der Einstellung des Thermostat- und Regelventils ist.

Damit jeder einzelne Verbraucher mit dem richtigen Förderstrom und dem richtigen Druck versorgt wird, können Differenzdruckregler,

Thermostat- und Regelventile mit Voreinstellung oder einstellbaren Rücklaufverschraubungen eingebaut werden.

An den Ventilen und Reglern können entsprechend den Herstellerangaben (z.B. Auslegungsdifferenzdruck zwischen 50 und 150 mbar) die Einstellungen für die Verbraucher einjustiert werden. Weiterhin sind die Verbraucher vor zu hohem Pumpendruck zu sichern. Um Geräusche zu vermeiden, darf der maximale Pumpendruck vor z.B. Thermostatventilen 200 mbar nicht überschreiten. Wird dieser Druck anlagenbedingt überschritten, müssen Differenzdruckregler in den Steigesträngen vorgesehen werden, um diesen Grenzwert einzuhalten.

Vergleiche Kapitel
«Anwendungsbeispiel»,
Seite 42

Einstellung elektronisch geregelter Umwälzpumpen.

Die heutigen Umwälzpumpen mit elektronischer Drehzahlregelung bieten eine sehr einfache Möglichkeit, die notwendige Förderhöhe auf die unbekannte Anlage einzustellen:

- Voraussetzung ist, dass die Rohrstränge sorgfältig abgeglichen wurden und das System entlüftet worden ist. Alle Regelventile sind zu öffnen.
- Zur Fixierung der Förderhöhe besitzen die Pumpen an der Elektronik Einstellknöpfe, je nach Hersteller mit oder ohne Skalierung. Es wird mit der kleinsten Förderhöhen-einstellung begonnen. Am ungünstigsten Heizkörper des gesamten Heizungssystems befindet sich ein Kollege (eine Kollegin), ausgerüstet mit einem Funksprechgerät.
- Nach der ersten Meldung, dass kein warmes Heizungswasser diesen entfernten Punkt erreicht, wird die Förderhöhe am Einstellknopf langsam erhöht. Dabei ist die Trägheit des Heizungssystems zu beachten.
- In dem Moment, in dem auch der ungünstigste Heizkörper mit Heizenergie versorgt wird, ist die Einstellung beendet.

Zusammenschaltung von mehreren Pumpen.

Alle bisherigen Ausführungen bezogen sich jeweils auf eine Kreiselpumpe. Es gibt in der Praxis aber Betriebsituationen, in denen eine Einzelpumpe nicht die an sie gestellten Forderungen erfüllen kann.

In solchen Fällen werden zwei oder mehr Pumpen installiert. Je nach dem Einsatzzweck installiert man die Pumpen in Reihenschaltung oder in Parallelschaltung.

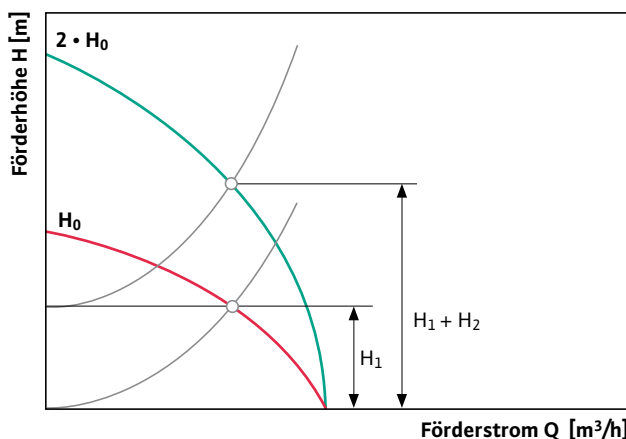
Noch bevor auf die Einzelheiten der Betriebsfunktionen eingegangen wird, sei auf einen grundsätzlichen, aber oft gehörten Fehler hingewiesen: Es ist falsch zu behaupten, dass generell zwei gleiche Pumpen in Reihenschaltung die doppelte Förderhöhe und dass zwei gleiche Pumpen in Parallelschaltung den doppelten Förderstrom fördern würden.

Dies ist zwar theoretisch möglich, aber konstruktions- und anlagenbedingt nicht zu erreichen.

Pumpen in Reihenschaltung

Wenn zwei Pumpen hintereinander eingebaut werden, so addieren sich die Pumpenkennlinien, d.h., wenn sie gegen einen geschlossenen Schieber arbeiten, so addiert sich der erzeugte Druck. Die Nullförderhöhe bei zwei gleich grossen Pumpen verdoppelt sich damit. Bei der Betrachtung des anderen Extrempunktes, d.h. bei druckloser Förderung, können zwei Pumpen keine grössere Flüssigkeitsmenge transportieren als nur eine Pumpe.

Kennlinie bei Reihenschaltung



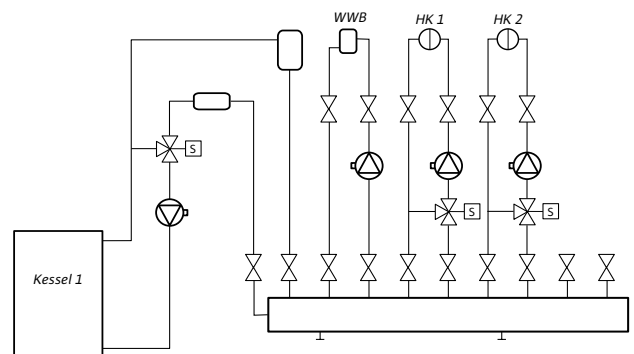
Für die Praxis heisst das, dass sich für beide Anteile der hydraulischen Arbeit anteilige Erhöhungen ergeben:

- Auf der senkrechten Achse des Kennliniendiagramms – also für die Förderhöhe H – gilt, dass die Erhöhung um so kräftiger ausfällt, je weiter links sich die Anlagenkennlinie befindet.

- Auf der horizontalen Achse des Kennliniendiagramms – also für den Förderstrom \dot{Q} – gilt, dass die Erhöhung äusserst gering ausfällt.

Anwendungsbeispiel: mehrere Pumpenkreise (Pumpen in Reihenschaltung). In grossen Heizungsanlagen werden aus regelungstechnischen Gründen mehrere Heizkreise verlegt. Manchmal sind auch mehrere Kessel installiert.

Anlagenbeispiel mit mehreren Heizkreisen



Die Pumpen für die Warmwasserbereitung (WWB) und für die Heizkreise HK 1 und HK 2 arbeiten unabhängig voneinander. Die Umwälzpumpen wurden zur Überwindung der jeweiligen Systemwiderstände ausgelegt. Jede dieser drei Pumpen steht in Reihe zur Kesselkreispumpe KP. Diese hat die Aufgabe, den schon im Kesselkreis auftretenden Widerstand zu überwinden.

Die vorausgehende theoretische Betrachtung ging von gleich grossen Pumpen aus. Sowie im abgebildeten Schema können aber die Förderleistungsdaten für jede Pumpe anders sein.

Eine grosse Gefahr bei dieser Installation ist dann gegeben, wenn die Förderleistungen nicht sorgfältig aufeinander abgestimmt werden. Wird durch die Kesselkreispumpe ein zu hoher Pumpendruck erzeugt, können eine oder alle Verteilerpumpen einen zu grossen Restvordruck am Saugstutzen erhalten. Sie arbeiten dann nicht mehr als Pumpe, sondern als Turbine (generatorischer Betrieb). Sie werden angeschoben. Dadurch treten Betriebsstörungen und Pumpendefekte in kürzester Zeit auf. Diese Problemstellung kann mit der Entkopplung, z.B. mit einer hydraulischen Weiche, gelöst werden.

Pumpen in Parallelschaltung.

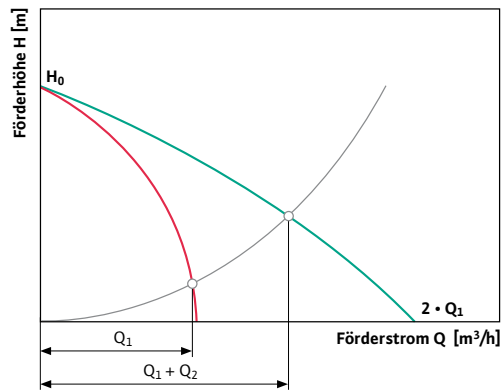
Wenn zwei Pumpen parallel zueinander eingebaut werden, so addieren sich die Pumpenkennlinien, d.h., wenn sie ohne Druck, also gegen ein offenes Rohr arbeiten, so addiert sich der Förderstrom. Die maximale Fördermenge bei zwei gleich grossen Pumpen verdoppelt sich damit.

Es wurde schon darauf hingewiesen, dass dieser Kennlinienpunkt nur ein theoretischer Grenzwert ist.

Bei der Betrachtung des anderen Extrempunktes, d.h. bei der Nullförderhöhe, können zwei parallel laufende Pumpen keine grössere Förderhöhe erbringen als nur eine Pumpe. Für die Praxis heisst das, dass sich für beide Anteile der hydraulischen Arbeit auch hier anteilige Erhöhungen ergeben:

- Auf der waagerechten Achse des Kennliniendiagramms – also für den Förderstrom \dot{Q} – gilt, dass die Erhöhung um so kräftiger ausfällt, je weiter rechts sich die Anlagenkennlinie befindet.
- Auf der senkrechten Achse – also für die Förderhöhe H – gilt, dass die Erhöhung am kräftigsten in der Mitte der Kennlinien ausfällt.

Kennlinie bei Parallelschaltung

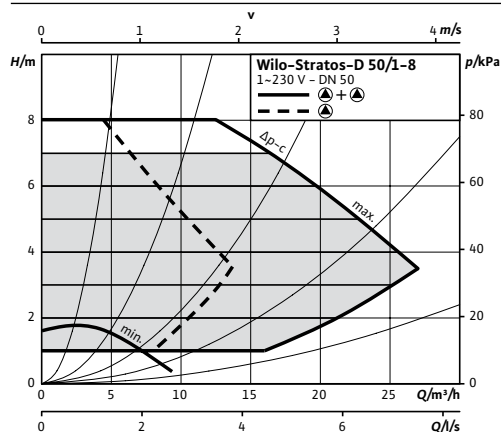


Wenn der Heizenergiebedarf seinen Höchstwert erreicht, laufen die Pumpen I und II gemeinsam im Parallelbetrieb. Die dafür erforderlichen Regelgeräte sind bei modernen Pumpen in Aufsteckmodulen bzw. im Elektronikmodul mit entsprechendem Zubehör enthalten. Ein integriertes Doppelpumpen-Management übernimmt die energetisch optimierte Zu- und Abschaltung der Spitzenlastpumpe.

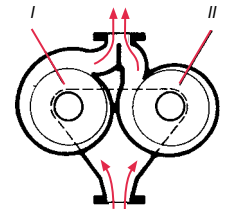
Da jede der beiden in der Doppelpumpe zusammengebauten Einzelpumpen wieder mehrstufig schaltbar ist oder stufenlos geregelt wird, ergibt sich ein breites Spektrum der Pumpenanpassung an den Heizungsbedarf.

Dies zeigt die folgende Kennlinie. Die gestrichelte Linie ist die Kennlinie beim Einzelbetrieb einer der beiden Pumpen. Die fettschwarze Linie ist die gemeinsame Pumpenkennlinie im Additionsbetrieb.

Kennlinie Wilo-Stratos D



Bei Ausfall einer Pumpe werden noch mehr als 50 % des Förderstromes zur Verfügung gestellt. Nach Heizkörperbetriebsdiagramm bedeutet das immer noch eine Heizleistung von mehr als 83 %, die vom Heizkörper abgegeben werden kann.



Beide Pumpen in Betrieb

Parallelschaltung von zwei Pumpen mit gleicher Leistung



Parallelschaltung von zwei Pumpen mit gleicher Leistung – tatsächlicher Zuwachs des Förderstroms

Vergleiche Kapitel «Auswirkung der überschlägigen Pumpenauslegung», Seite 43

Anwendungsbeispiel: Haupt- und Reservepumpe.

Der Sinn einer Heizung ist es, die Wohnungen in der kalten Jahreszeit zu erwärmen. Deshalb ist es empfehlenswert, für den Störfall in jedem Heizkreis eine Reservepumpe vorzusehen. Das gilt z.B. für Mehrfamilienhäuser, Krankenhäuser und öffentliche Einrichtungen.

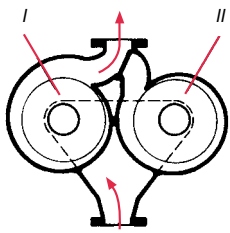
Spitzenlastbetrieb mit mehreren Pumpen

Bei Anlagen mit einem grossen Förderstrom werden auch mehrere Teillast-Einzelpumpen installiert, z.B. in ein Krankenhaus mit 20 Gebäuden und einem zentralliegenden Kesselhaus.

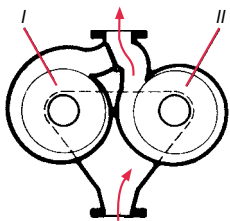
Im folgenden Beispiel sind grosse Trockenläuferpumpen mit einer integrierten Elektronik parallel zueinander installiert. Je nach den Erfordernissen können solche Spitzenlast-Anlagen aus zwei und mehr gleich grossen Pumpen bestehen.

Die Regelung hält in Verbindung mit dem Signalgeber den Gesamtpumpendruck konstant ($\Delta p = c$). Es ist dabei völlig unerheblich, welche Förderströme die Thermostatventile an allen Heizkörpern durchlassen und wie viele der vier Pumpen aktuell in Betrieb sind.

Ist in solch einer aufgeführten Anlage ein hydraulischer Abgleich erfolgt, werden diese Schaltungen auch dafür genutzt, über eine Schlechtpunktauswertung die Versorgung sicher zu stellen. Hierbei wird – wie der Name es schon ausdrückt – der Signalgeber an den schlechtest zu versorgenden Punkt der Anlage installiert. Das Steuersignal vom Signalgeber wird dann zum Schaltgerät geleitet und wird dort den Anlagengegebenheiten und der Tragheit der Anlage angepasst. Die angeschlossenen Pumpen werden dann vom Steuergerät über ihre beispielsweise integrierte Elektronik entsprechend angesteuert.



Andererseits entstehen durch den Einbau einer zweiten Pumpe einschliesslich der dazu erforderlichen Armaturen und der Regelung deutlich höhere Installationskosten. Einen guten Kompromiss bilden die von der Industrie angebotenen Doppelpumpen. In einem Gehäuse sind zwei Laufräder mit ihren Antriebsmotoren untergebracht.



Im Reserve-Betrieb laufen die beiden Pumpen I oder II im zeitlichen Wechsel (z.B. jeweils 24 Stunden). Die andere Pumpe steht. Ein Rückfluss des geförderten Mediums durch die stehende Pumpe wird durch eine serienmässig eingebaute Umschaltklappe verhindert.

Wenn, wie am Anfang dieses Abschnittes geschildert, eine der beiden Pumpen ausfallen sollte, erfolgt eine automatische Störumschaltung auf die betriebsbereite Pumpe.

*Pumpe I oder Pumpe II
in Betrieb*

Anwendungsbeispiel.

Die im Beispiel dargestellte Gesamtanlage wird folgendermassen geregelt:

Die Grundlast- oder Hauptpumpe P_H mit integrierter Elektronik wird stufenlos zwischen ihrer Maximaldrehzahl $n = 100\%$ und einer Minimaldrehzahl $n = 40\%$ geregelt, ausgelöst durch den Differenzdruck-Signalgeber DDG. Dadurch bewegt sich der Teillast-Förderstrom gleitend im Bereich $Q_{T1} \leq 25\%$. Wenn ein Förderstrom $Q_T > 25\%$ benötigt wird, schaltet die erste Spitzenlastpumpe mit ebenfalls integrierter Elektronik P_{S1} mit voller Drehzahl

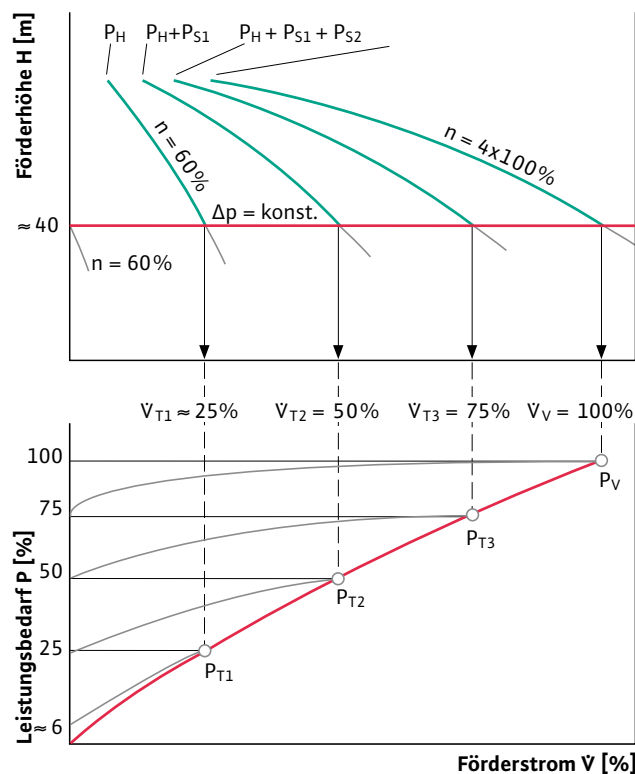
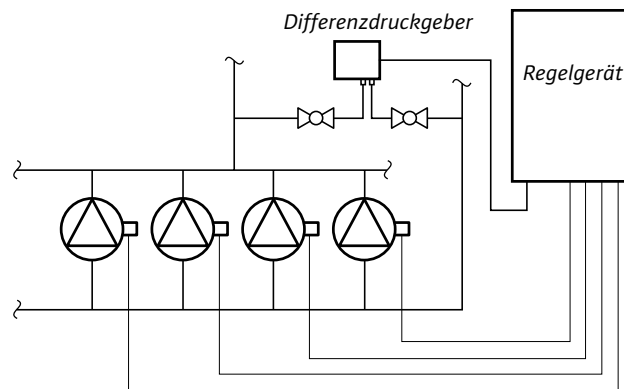
hinzu. Die Hauptpumpe P_H wird weiter stufenlos geregelt, so dass ihr Einfluss auch den Gesamtförderstrom zwischen 25% und 50% nach dem Bedarf einstellt. Dieser Vorgang wiederholt sich durch das Zuschalten der Teillast-Pumpen mit integrierter Elektronik P_{S2} und P_{S3} , jeweils mit ihrer vollen Drehzahl. Der maximale Wärmebedarf des gesamten Krankenhauses wird abgedeckt, wenn alle vier Pumpen in ihrer grössten Leistung arbeiten – dann liefern sie den Volllast-Förderstrom \dot{V}_V . In gleicher Weise werden die Spitzenlast-Pumpen mit integrierter Elektronik P_{S3} bis P_{S1} bei verringertem Wärmebedarf wieder abgeschaltet.

Stufenlos geregelte Mehrpumpenanlage

Um eine möglichst gleichmässige Betriebszeit aller Umwälzpumpen zu erreichen, wird die Aufgabe der geregelten Hauptpumpe im täglichen Wechsel rolierend weitergegeben.

Ein Blick auf das unterste Diagramm zeigt, welche grossen Einsparungen, abhängig vom jeweiligen Pumpentyp, auch bei der Leistungsaufnahme erzielt werden können.

Für grosse Anlagen ist der Vorteil langjähriger geringer Betriebskosten wichtiger als kleine Investitionskosten. Denn vier kleinere Pumpen mit integrierter Elektronik und Steuerung können mehr kosten als eine grosse Pumpe ohne Steuerung. Wird aber beispielsweise ein Betriebszeitraum von zehn Jahren berücksichtigt, können die Investitionskosten für Steuerung und Pumpen mit integrierter Elektronik durch die Einsparungen um ein Mehrfaches eingeholt werden. Als weiterer Nebeneffekt entsteht eine bessere Versorgung der Anlage mit weniger Geräuschen und erhöhter Wirtschaftlichkeit durch verbesserte Versorgung der Verbraucher. Dies kann sogar zu einer deutlichen Einsparung der Primärenergie führen.



Legende:

- P_H = Hauptpumpe
- P_{S1-3} = Spitzenlastpumpe 1-3
- \dot{V}_V = Volllast-Förderstrom
- \dot{V}_T = Teillast-Förderstrom
- P_V = Volllast-Leistungsaufnahme
- P_T = Teillast-Leistungsaufnahme

Schlussbetrachtung.

In der Pumpenfibel «Grundlagen der Pumpentechnik» wurde, mit frühen Entwicklungen und den einfachsten Zusammenhängen beginnend und sich bis zu sehr anspruchsvollen Beispielen fortsetzend, ein Überblick gegeben, wie und wo Pumpen eingesetzt werden können und sollten.

Es wurden die komplexen Zusammenhänge des Pumpenbetriebs verdeutlicht und welche Betriebsverbesserungen heute durch elektronische Regelungen möglich sind.

Bezogen auf eine Heizungsanlage in einem Gebäude ist die Umwälzpumpe von ihrer Grösse und ihrem Anschaffungswert her einer der kleinsten Bausteine des Gesamtsystems. Aber erst sie sorgt dafür, dass alle anderen Bausteine ordnungsgemäss funktionieren können. Im Vergleich zum menschlichen Körper kann damit gesagt werden: Die Pumpe ist das Herz der Anlage!

Hätten Sie's gewusst?

Wer Interesse hat, kann seinen Wissensstand über die «Grundlagen der Pumpentechnik» in folgenden Fragen überprüfen.

Historie der Pumpentechnik.

Fragen zu den Themengebieten:

- Wasserversorgung
- Wasserentsorgung
- Heizungstechnik



Frage 1:

- Pumpen waren schon im Altertum bekannt (1)
- Pumpen wurden für die Heizung erfunden (2)
- Mit Pumpen kann man nur Wasser fördern (3)

Frage 2:

- Archimedes erfand das Schöpfrad (1)
- Die Chinesen erfanden die Kreiselpumpe (2)
- Die Neigung der archimedischen Schraube bestimmt die Fördermenge (3)

Frage 3:

- 1856 wurden die ersten Abwasserkanäle gebaut (1)
- Die Cloaca Maxima entstand in Rom (2)
- Hebeanlagen müssen an allen Abflüssen montiert werden (3)

Frage 4:

- Die Germanen kannten schon Zentralheizungen (1)
- Die Römer bauten schon Fussbodenheizungen (2)
- Dampfmaschinen heizten im 17. Jahrhundert die Häuser (3)

Frage 5:

- In Schwerkraftheizungen werden schwere, kräftige Heizungspumpen eingebaut (1)
- Dampfheizungen arbeiten zwischen 90 °C und 100 °C (2)
- Umwälzpumpen machen Niedertemperatur-Heizungssysteme erst möglich (3)

Frage 6:

Pumpen wurden schon seit Jahrhunderten eingesetzt:

- zur Wasserförderung (1)
- bei Dampfheizungen (2)
- bei Schwerkraftheizungen (3)

Frage 7:

- Der 1929 patentierte Umlaufbeschleuniger war die Fortentwicklung einer häufig verwendeten Heizungspumpe (1)
- war die erste Rohreinbaupumpe für Heizungen (2)

Frage 8:

Heizungs-Umwälzpumpen sind im menschlichen Körper vergleichbar:

- den Armen (1)
- dem Herzen (2)
- dem Kopf (3)

Frage 9:

Die Vorteile der Heizungs-Umwälzpumpe liegen:

- in geringeren Installationskosten (1)
- in angepassten Betriebskosten (2)
- in anpassungsfähiger Regelung (3)
- in allen diesen Aussagen (4)

Antworten:
Frage 1: Nr. 1
Frage 2: Nr. 2
Frage 3: Nr. 2
Frage 4: Nr. 2
Frage 5: Nr. 3
Frage 6: Nr. 1
Frage 7: Nr. 2
Frage 8: Nr. 2
Frage 9: Nr. 4

Wasser, unser Transportmittel.



Fragen zu den Themengebieten:

- Wärmespeicherkapazität
- Volumenzu- und abnahme
- Druck

Frage 1:

Wasser dehnt sich aus:

- bei Erwärmung über 0 °C (1)
- bei Abkühlung unter 0 °C (2)
- bei Erwärmung oder Abkühlung von +4 °C (3)

Frage 2:

Folgende Begriffe sind gleich:

- Arbeit, Leistung und Wirkungsgrad (1)
- Arbeit, Energie und Wärmemenge (2)
- Arbeit, Lust und Laune (3)

Frage 3:

Wasser wird bei Erwärmung

- spezifisch leichter (1)
- spezifisch schwerer (2)
- seine Dichte behalten (3)

Frage 4:

Bei Erreichen der Siedetemperatur

- steigt die Wassertemperatur weiter (1)
- verharrt die Wassertemperatur auf dem Siedepunkt (2)
- fällt die Wassertemperatur wieder ab (3)

Frage 5:

Kavitation lässt sich vermeiden durch

- Auswahl einer Pumpe mit geringerer Haltedruckhöhe (1)
- Senkung des statischen Druckes (2)
- Erhöhung des Dampfdruckes PD (3)

Frage 6:

Die im Wasser verfügbare Wärmeenergie ist abhängig

- von der Speicherkapazität des Wassers (1)
- von der Masse des bewegten Wassers (2)
- von der Temperatur-Differenz zwischen Vor- und Rücklauf (3)
- gemeinsam von den drei genannten Einflussgrößen (4)

Frage 7:

Schwerkraftheizungen funktionieren besser

- bei kleineren Rohrleitungswiderständen (1)
- bei grösseren Rohrleitungswiderständen (2)

Frage 8:

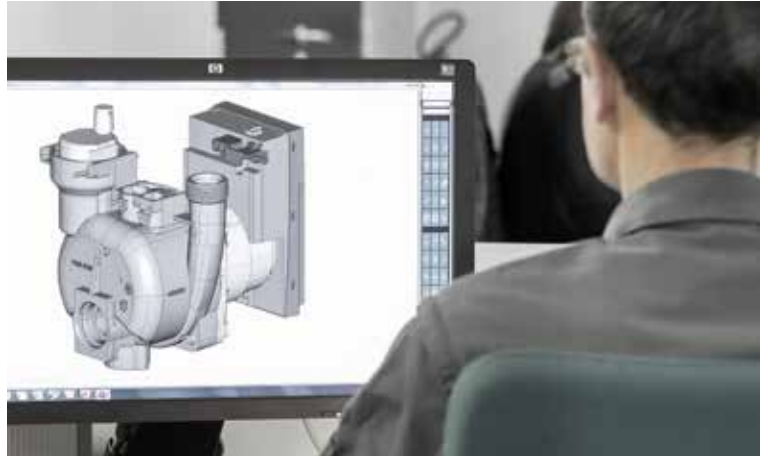
Das Sicherheitsventil...

- dient zur Be- und Entlüftung der Anlage (1)
- schützt vor unzulässiger Druckbelastung im System (2)
- ist beim Einbau von elektronischen Pumpen nutzlos (3)

Konstruktionsmerkmale.

Fragen zu den Themengebieten:

- Selbst- und normalsaugende Pumpen
- Nassläuferpumpe
- Trockenläuferpumpe



Frage 1:

Die Saughöhe

- ist vom Luftdruck abhängig (1)
- beträgt theoretisch 10.33 m (2)
- hat Einfluss auf die Förderhöhe (3)
- die Aussagen 1–3 sind richtig (4)

Frage 2:

Für selbstansaugende Pumpen stimmt die Aussage:

- sind bedingt in der Lage, die Saugleitung zu entlüften (1)
- die Saugleitung sollte möglichst kurz gehalten werden (2)
- sind vor Inbetriebnahme zu befüllen (3)
- alle vorgenannten Punkte treffen zu (4)

Frage 3:

Das Heizungswasser im Spaltrohrraum von Nassläuferpumpen

- dient zur Kühlung und Schmierung (1)
- unterstützt die Förderhöhe (2)
- wäre eigentlich gar nicht nötig (3)

Frage 4:

Die Vorteile einer Nassläuferpumpe sind:

- gute Wirkungsgrade (1)
- hohe Heizkreistemperaturen (2)
- Laufruhe und Wartungsfreiheit (3)

Frage 5:

Die empfohlene Einbaulage einer Trockenläufer-Inlinepumpe

- ist mit senkrechter Wellenanordnung (1)
- ist mit waagerechter Wellenanordnung (2)
- ausser mit Motor nach unten kann die Einbaulage beliebig gewählt werden (3)

Frage 6:

Trockenläuferpumpen werden eingesetzt:

- bei kleinen Förderströmen (1)
- bei grossen Förderströmen (2)
- bei fehlender Motorschmierung (3)

Frage 7:

Der Wirkungsgrad der Pumpe ist das Verhältnis

- vom Druckstutzen zum Saugstutzen (1)
- von der Antriebsleistung zur abgegebenen Leistung (2)
- von der abgegebenen zur aufgenommenen Leistung (3)

Frage 8:

Der beste Wirkungsgrad einer Kreiselpumpe liegt

- im linken Drittel der Kennlinie (1)
- im mittleren Drittel der Kennlinie (2)
- im rechten Drittel der Kennlinie (3)

Frage 9:

Gleitringdichtungen

- bestehen aus synthetischen Fasern oder aus Hanf (1)
- sind Wellenlager (2)
- werden bei Trockenläuferpumpen eingesetzt (3)
- in allen diesen Aussagen (4)

Konstruktionsmerkmale.



Fragen zu den Themengebieten:

- Pumpenkennlinien
- Anlagenkennlinie/Rohrnetzkenlinie
- Betriebspunkt

Frage 1:

Elektrische Antriebsenergie

- wird in hohen Druck umgesetzt (1)
- wird in Druckerhöhung und Bewegung umgesetzt (2)
- wird aus hydraulischer Energie gewonnen (3)

Frage 2:

Auf den Achsen des Kennliniendiagramms sind aufgetragen:

- senkrecht die Förderhöhe und waagrecht der Förderstrom (1)
- senkrecht der Förderstrom und waagrecht die Förderhöhe (2)
- senkrecht die Energie und waagrecht das Medium (3)

Frage 3:

Die Anlagenkennlinie zeigt:

- die Zunahme des Widerstandes über dem Förderstrom (1)
- die Zunahme des Förderstroms über dem Druck (2)
- die Veränderung des Förderstroms mit der Wassergeschwindigkeit (3)

Frage 4:

Der Rohrreibungswiderstand ändert sich

- linear mit dem Förderstrom (1)
- quadratisch mit dem Förderstrom (2)
- kubisch mit dem Förderstrom (3)

Frage 5:

Die von der Heizungs-Umwälzpumpe erbrachte Förderhöhe muss ausgelegt werden

- auf die Gebäudehöhe (1)
- auf den Rohrnetzwidestand (2)
- auf beide zuvor genannten Einflussgrößen (3)

Frage 6:

Der von der Heizungs-Umwälzpumpe gelieferte Förderstrom muss ausgelegt werden

- auf eine durchschnittliche Aussentemperatur (1)
- auf die gewünschte Innentemperatur (2)
- auf den berechneten Wärmebedarf (3)

Pumpenanpassung an den Heizungsbedarf.

Fragen zu den Themengebieten:

- Witterungsschwankungen
- Pumpendrehzahlregelung
- Stufenlose Drehzahlregelung
- Regelungsarten



Frage 1:

Der Heizungsbedarf eines Gebäudes

- ist immer gleichbleibend (1)
- verändert sich mit der Jahreszeit (2)
- steigt von Jahr zu Jahr (3)

Frage 2:

Bei verändertem Heizungsbedarf:

- regeln die Thermostatventile (1)
- regeln die Fenster = auf/zu (2)
- regelt sich der Anlagendruck (3)

Frage 3:

Pumpen werden in ihrer Drehzahl verändert,

- um den notwendigen Förderstrom anzupassen (1)
- um das Überstromventil zu entlasten (2)
- um eine falsche Pumpenauslegung zu korrigieren (3)

Frage 4:

Das Ändern der Pumpendrehzahlen

- erfolgt immer von Hand (1)
- erfolgt immer automatisch (2)
- erfolgt je nach Ausstattung von Hand oder automatisch (3)

Frage 5:

Die stufenlose Drehzahlregelung

- ist besser als die Stufenschaltung (1)
- ist schlechter als die Stufenschaltung (2)
- bringt gleiche Ergebnisse wie die Stufenschaltung (3)

Frage 6:

Bei elektronisch geregelten Umwälzpumpen

- kann man den Wärmebedarf einstellen (1)
- kann man die Lebensdauer einstellen (2)
- kann man die Förderhöhe einstellen (3)

Frage 7:

Regelungsart $\Delta p-c$ = Differenzdruck konstant

- Der Förderstrom wird durch eine konstante Drehzahl erhöht (1)
- Die Drehzahl passt sich dem Förderstrombedarf an (2)
- Der MAG-Vordruck in einem geschlossenen System bleibt immer konstant (3)

Frage 8:

Die Betriebsart Absenk-Automatik (Autopilot)

- wird von einer Zeitschaltuhr vorgegeben (1)
- ist abhängig von der Zimmertemperatur (2)
- darf nur in hydraulisch abgeglichenen Heizungsanlagen freigeschaltet werden (3)

Frage 9:

Neueste ECM-Pumpentechnologie (Hocheffizienz)

- Der Rotor besteht aus einem Permanentmagneten (1)
- Spart bis zu 90 % Betriebskosten gegenüber herkömmlichen Pumpen (2)
- Das Drehen des Rotors wird durch elektronische Kommutierung erzeugt (FU) (3)
- Die Punkte 1-3 ergeben die z.Z. sparsamste Nassläuferpumpe (4)

Überschlägige Pumpenauslegung.



Fragen zu den Themengebieten:

- Pumpen-Förderstrom
- Pumpen-Förderhöhe
- Pumpen-Auslegung
- Hydraulischer Abgleich

Frage 1:

Die Auswahl einer Heizungs-Umwälzpumpe erfolgt

- nach der vorgegebenen Nennweite (1)
- nach preislichen Gesichtspunkten (2)
- unter Beachtung der Leistungsdaten (3)

Frage 2:

Bei der Erhöhung des Förderstroms um 100 %

- verringert sich die Heizleistung um ca. 2 % (1)
- nimmt die Heizleistung um ca. 12 % zu (2)
- bleibt die Heizleistung gleich (3)

Frage 3:

Im Zweifelsfall bei der Auslegung einer Heizpumpe

- wird die kleinere Pumpe ausgewählt (1)
- wird die grössere Pumpe ausgewählt (2)
- wird die billigere Pumpe ausgewählt (3)

Frage 4:

In einem Wasserfördersystem muss die Pumpenförderhöhe ausgelegt werden

- auf die geodätische Höhe (1)
- auf den Restfliessdruck (2)
- auf die Rohrreibungswiderstände (3)
- auf die Summe der Grössen 1 bis 3 (4)

Frage 5:

Bei Heizungsanlagen muss die Förderhöhe ausgelegt werden

- auf die geodätische Höhe (1)
- auf den Restfliessdruck (2)
- auf die Rohrreibungswiderstände (3)
- auf die Summe der Grössen 1 bis 3 (4)

Frage 6:

Warum werden Heizungsanlagen abgeglichen?

- Um eine optimale Wärmeverteilung zu erreichen (1)
- Anlage soll geräuscharm arbeiten (2)
- Verbraucher sollen vor Unter- bzw. Überversorgung geschützt werden (3)
- Alle drei vorgenannten Punkte sind richtig und wichtig (4)

Frage 7:

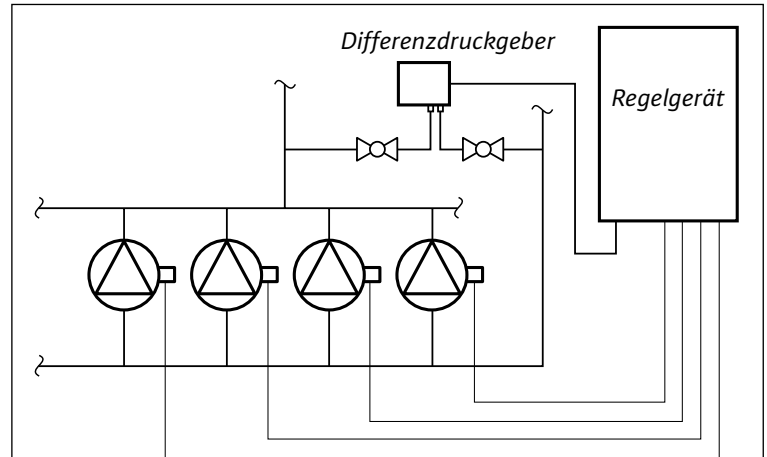
Wie wird eine elektronische Pumpe bei unbekannter Sollförderhöhe richtig eingestellt?

- Am besten mit der/dem zweiten Frau/Mann (1)
- Nach der sorgfältigen Entlüftung und dem hydraulischen Abgleich (2)
- Es wird mit dem niedrigsten Einstellwert der Pumpe begonnen (3)
- So, dass der ungünstigste Heizkörper ausreichend mit Energie versorgt wird (4)
- Die Einstellung ist beendet, wenn alle vier Punkte erfüllt sind (5)

Zusammenschaltung von mehreren Pumpen.

Fragen zu den Themengebieten:

- Pumpen in Reihenschaltung
- Pumpen in Parallelschaltung
- Spitzenlastbetrieb mit mehreren Pumpen



Frage 1:

Werden zwei Pumpen in Reihe geschaltet,

- verdoppelt sich die Förderhöhe (1)
- verdoppelt sich der Förderstrom (2)
- sind die Veränderungen abhängig von der Lage der Anlagenkennlinien (3)

Frage 2:

Bei der Reihenschaltung von Pumpen besteht die Gefahr

- des generatorischen Betriebes – Pumpe wird «angeschoben» (1)
- die Pumpenleistungen heben sich auf (2)
- es kommt zu einer Unterversorgung im System (3)

Frage 3:

Werden zwei Pumpen parallel geschaltet

- verdoppelt sich die Förderhöhe (1)
- verdoppelt sich der Förderstrom (2)
- sind die Veränderungen abhängig von der Lage der Anlagenkennlinien (3)

Frage 4:

Doppelpumpen können betrieben werden:

- vorwiegend im Reserve-Betrieb (1)
- vorwiegend im Additions-Betrieb (2)
- wahlweise in beiden Betriebsarten (3)

Frage 5:

Die Aufteilung der erforderlichen Pumpenleistung auf mehrere Pumpen in Grossanlagen

- verringert die Betriebskosten (1)
- verlängert die Lebensdauer der Pumpen (2)
- Aussagen 1 und 2 sind richtig (3)

Frage 6:

Wie wird die Regelungsart bezeichnet, bei der der Signalgeber weiter entfernt vom Schaltgerät in der Anlage montiert wird?

- Schwerpunktregelung (1)
- Schwierige Regelung (2)
- Schlechtpunktregelung (3)

Frage 7:

Was sollte bei Parallelschaltung der Pumpen über ein Steuergerät beachtet werden

- Die Pumpen sollten gleich gross sein (1)
- Es sollten nur Langsamläufer sein (2)
- Es sollten nur Schnelläufer sein (3)

Gesetzliche Einheiten, Auszug für Kreiselpumpen.

Physikalische Grösse	Formelzeichen	Gesetzliche Einheiten		Nicht mehr zugelassene Einheiten	Empfohlene Einheiten	Bemerkungen	
		SI-Einheiten	Weitere gesetzliche Einheiten (nicht vollständig)				
Länge	l	m	Meter	km, dm, cm, mm, μm		m	Basiseinheit
Volumen	V	m^3		dm^3 , cm^3 , mm^3 , Liter ($1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3$)	cbm, cdm, ...	m^3	
Förderstrom, Volumenstrom	\dot{Q} \dot{V}	m^3/s		m^3/h , l/s		l/s und m^3/s	
Zeit	t	s	Sekunde	s, ms, μs , ns, ... min, h, d		s	Basiseinheit
Drehzahl	n	1/s		1/min (min^{-1})		1/min (min^{-1})	
Masse	m	kg	Kilogramm	g, mg, μg , Tonne ($1 \text{ t} = 1.000 \text{ kg}$)	Pfund, Zentner	kg	Basiseinheit Die Masse einer Handelsware wird als Gewicht bezeichnet
Dichte	ρ	kg/m^3		kg/dm^3		kg/dm^3 und kg/m^3	Die Bezeichnung «spezifisches Gewicht» soll nicht mehr verwendet werden, da zweideutig (s. DIN 1305)
Kraft	F	N	Newton (= $\text{kg m}/\text{s}^2$)	kN, mN, μN , ...	kl, Mp, ...	N	1 kp = 9,81 N. Die Gewichtskraft ist das Produkt aus der Masse m und der örtlichen Fallbeschleunigung g
Druck	P	Pa	Pascal (= N/m^2)	Bar (1 bar = 10^5 Pa)	kp/cm ² , at, m WS, Torr, ...	bar	1 at = 0,981 bar = $9,81 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ 1 mm Hg = 1,333 mbar 1 mm WS = 0,098 mbar
Energie, Arbeit, Wärmemenge	W, Q	J	Joule (= Nm = Ws)	kJ, Ws, kW h, ... 1 kW h = 3.600 kJ	kp m, kcal, cal WE	J und kJ	1 kp m = 9,81 J 1 kcal = 4,1868 kJ
Förderhöhe	H	m	Meter		M Fl. S.	m	Die Förderhöhe ist die der Masseneinheit des Fördermediums zugeführte Arbeit in J = Nm bezogen auf die Gewichtskraft dieser Masseneinheit in N
Leistung	P	W	Watt (= J/s = N m/s)	MW, kW	kp m/s, PS	kW	1 kp m/s = 9,81 W 1 PS = 736 W
Temperaturdifferenz	T	K	Kelvin	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{K}$, gr	K	Basiseinheit

Die WILO SE hat alle Texte in dieser Unterlage mit grosser Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht ausgeschlossen werden. Eine Haftung des Herausgebers, gleich aus welchem Rechtsgrund, ist ausgeschlossen.

Redaktionsteam: André Babusch, Thomas Ebert, Karl-Heinz König, Thomas Makoschey, Andreas Millies, Manfred Oraschewski, Bernd Rudolph

Copyright 2005 by WILO SE, Dortmund

Das Werk einschliesslich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung ausserhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der WILO SE unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmung, Bearbeitung sonstiger Art sowie für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen. Dies gilt auch für die Entnahme von einzelnen Abbildungen und bei auszugsweiser Verwendung von Texten.

6. überarbeitete und aktualisierte Auflage 2016



500/1601/DE

Wilo Schweiz AG
Gerstenweg 7
CH-4310 Rheinfelden
T +41 61 836 80 20

info@wilo.ch
www.wilo.ch