

Energieeffizienz in Pumpensystemen

Beraterinformation klima:aktiv Programm energieeffiziente Betriebe



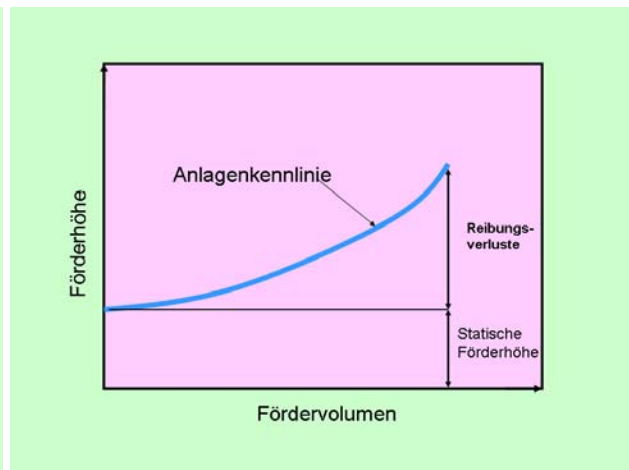
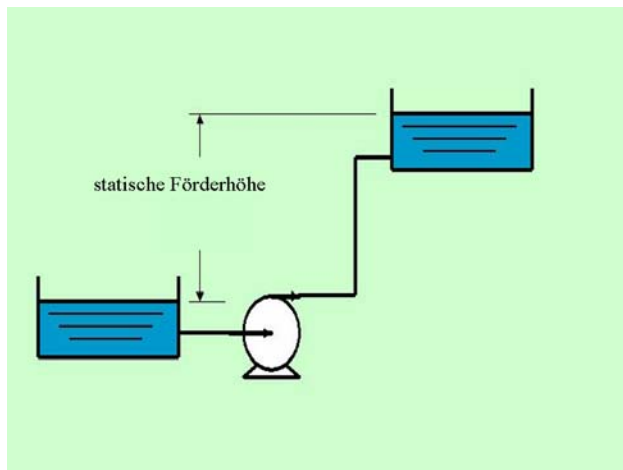
Inhaltsverzeichnis

Allgemeine Informationen Pumpensystem	3
Basissystembeschreibung	7
Potenzialabschätzung	7
Analyse eines Pumpensystems	9
Regelung von Pumpen	14
Wartung	19
Verbesserungsmaßnahmen in Pumpensystemen	20
Quellen und weitere Informationen	23

Allgemeine Informationen Pumpensystem

Anlagenkennlinie

In einem Pumpensystem wird normalerweise entweder Flüssigkeit auf ein höheres Niveau oder im Kreis gepumpt. Dazu muss durch Druckerhöhung ein gewisser Widerstand überwunden werden. Dieser setzt sich grob einerseits aus der statischen Höhe – der Höhendifferenz zwischen der Quelle und der Senke – und den Rohrreibungsverlusten zusammen. Diese entstehen, wenn Flüssigkeit innerhalb der Rohre und Ventile bewegt wird, sie sind proportional zum Quadrat der Fördergeschwindigkeit.

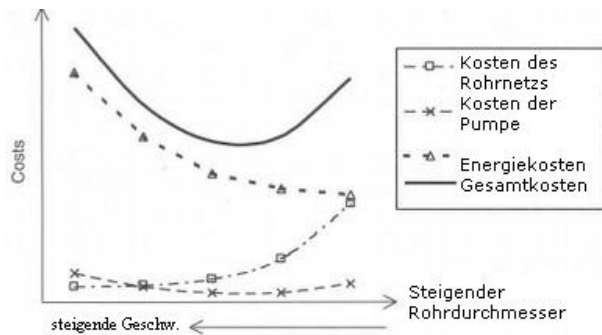


Quelle: Europump, Übersetzung AEA

Zunächst muss versucht werden, die statische Höhe innerhalb des Systems zu vermindern, z.B. sollte nicht das gesamte Fördervolumen auf die höchste Ebene gepumpt werden, sondern nur auf die für den jeweiligen Anwendungsfall erforderliche Höhe. Reibungsverluste können durch Vermeidung von T-Stücken oder durch Beseitigung unnötiger Rohre, Rohrarmaturen oder Drosselventile reduziert werden. Die Vergrößerung des Rohrquerschnittes kann den Energieverbrauch reduzieren, allerdings entstehen dadurch auch höhere Installationskosten.

Beispiel Rohrsystem

Ein Pumpensystem erfordert, dass 50m³/h Wasser durch ein 100 m langes Rohr gepumpt wird. Bei Verwendung eines zwei Zoll Abwasserrohres beträgt die Leistungsaufnahme 24 kW. Wenn der Rohrdurchmesser auf vier Zoll erhöht wird, reduziert sich die aufgenommene Leistung auf 5 kW. Die reduzierte Geschwindigkeit innerhalb des Pumpensystems wird einerseits zu signifikanten Energieeinsparungen führen, aber auch zur Verringerung der Abnutzung und damit der Wartungskosten und Life Cycle Costs.



Kreiselpumpen

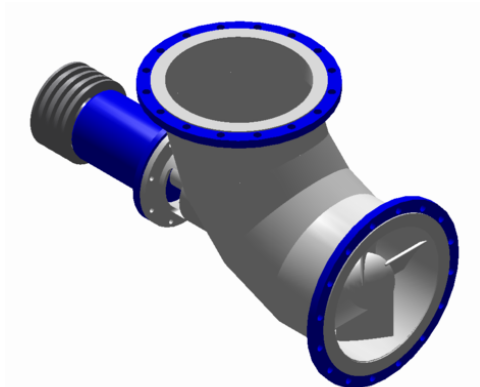
Radialpumpe

Bei Radialpumpen tritt das Fördermedium radial, also senkrecht zur Pumpenwelle, aus dem Laufrad aus. Durch die Strömungsumlenkung im Laufrad werden höhere Zentrifugalkräfte realisiert, die zu höheren Förderdrücken bei kleineren Volumenströmen führen.



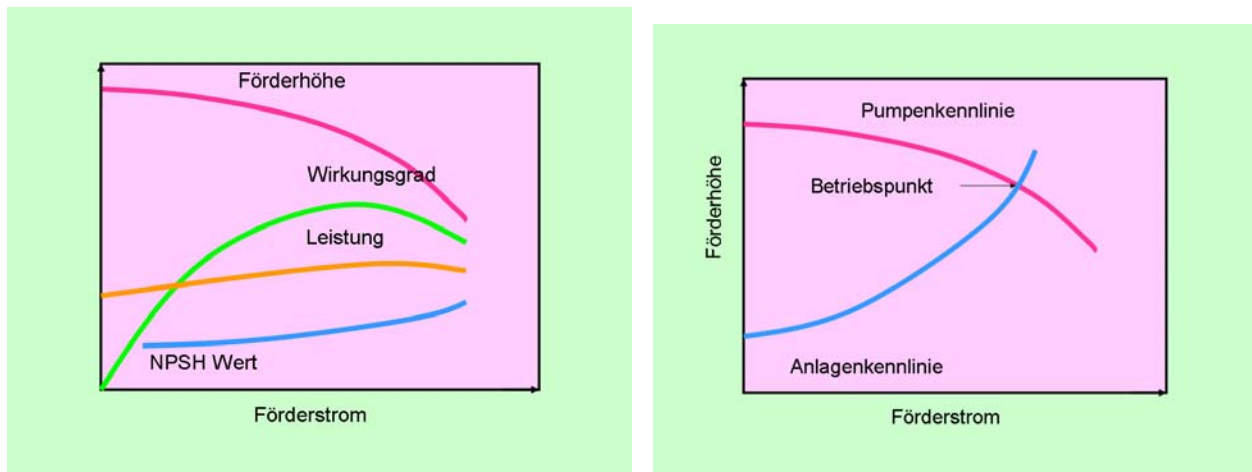
Axialpumpe

Eine Axialpumpe fördert das Fluid axial, also parallel zur Pumpenwelle. Der propellerähnliche Pumpenläufer rotiert in einem rohrförmigen Pumpengehäuse und fördert große Volumenströme.



Bilder: wikipedia.org

Kreiselpumpen haben einen von der Förderhöhe H abhängigen Förderstrom Q . Die Funktion Q von H nennt man Förderhöhenlinie. Kenndaten von Kreiselpumpen sind neben diesen beiden Parametern der Leistungsbedarf (P), der Wirkungsgrad (η), die Drehzahl (n) und der NPSH Wert. Letzterer gibt die Haltedruckhöhe an und dient zur Beurteilung des Saugverhaltens einer Pumpe.



Quelle: Europump, Übersetzung AEA

Die zur Auswahl der Pumpengröße benötigten Daten Förderstrom Q und Förderhöhe H des gewünschten Betriebspunktes sind nach einer Systemanalyse, die im wesentlichen die Reibungsverluste der Komponenten, inkl. Leitungen und die statische Förderhöhe addiert, bekannt. Damit lassen sich aus einem Kennfeld Pumpengröße und Drehzahl bestimmen. Danach werden die weiteren Kenngrößen der ausgesuchten Pumpen, wie Wirkungsgrad, Leistungsbedarf und NPSH aus der entsprechenden Einzelkennlinie ermittelt. Pumpen sind i.a. nicht für eine bestimmte Kombination von Betriebswerten ausgelegt, sondern für variable Betriebsdaten, d.h. für größere Betriebsbereiche.

Der Betriebspunkt der Pumpe ergibt sich dann im Betrieb aus dem Schnittpunkt der Anlagen- mit der Pumpenkennlinie. Falls sich die tatsächliche Systemkurve von der ursprünglich berechneten unterscheidet, führt das dazu, dass die Pumpe außerhalb des Optimums arbeitet und sich bei zu hohem Widerstand das Fördervolumen reduziert. Die Berücksichtigung eines Sicherheitszuschlages führt zur Installation von zu großen Pumpen, die dann gedrosselt werden müssen. Außerdem ändern sich die Anlagenkennlinien im Laufe der Zeit sehr stark und der Wirkungsgrad der Pumpe nimmt bei fehlender Wartung ab. Jedenfalls zahlt sich die Überprüfung der tatsächlich benötigten Leistung besonders bei geänderten Prozessanforderungen schnell aus.

Sehr schnell kann man beim **Neukauf einer Pumpe** die Effizienz der Pumpe mittels des Europäischen Leitfadens zur Bewertung der Effizienz von einstufigen Kreiselpumpen bewerten. Folgende Kategorien für einstufige Pumpen können gewählt werden:



- end suction pumps with their own bearing: Pumpe mit axialem Eintritt, Grundplattenausführung
- end suction close coupled pumps: Blockausführung
- Double entry axially split casing pumps: Einstufig, zweiströmig, längsgeteilte Pumpen

European Guide to Pump Efficiency for Single Stage Centrifugal Pumps

http://energyefficiency.jrc.cec.eu.int/motorchallenge/pdf/EU_pumpguide_final.pdf

oder auf www.eu-promot.org (Pumpenmodul)

Basissystembeschreibung

Die Basissystembeschreibung umfasst im wesentlichen folgende (Typenschild-) Daten, die aus Firmenunterlagen oder mit Hilfe einfacher Messungen erhoben werden können. In vielen Unternehmen können betriebliche Mitarbeiter die meisten oder gar alle genannten Informationen zusammenstellen.

1. Liste der 50 größten Pumpen (nach Gesamt-Pumpennennleistung): Leistung, Typ, ...
2. Funktion dieser Systeme
3. Stromverbrauch jeder dieser Pumpen
4. Bedarfsprofil: geschätzte Schwankung während eines Tages/einer Woche
5. Betriebsstunden/Jahr, und somit jährlicher Energieverbrauch
6. Pumpenspezifische Probleme oder Wartungsfragen

Die Dokumentation bzw. Messung der o.g. Parameter sollte nach Möglichkeit bei allen Pumpensystemen Ihres Unternehmens, mindestens jedoch bei Systemen mit Leistungen von mehr als 100 kW erfolgen.

Potenzialabschätzung

Aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Pumpensysteme ist es nicht sinnvoll, definitive Kriterien für die Datenerhebung vorzugeben. Die folgende Liste gibt wichtige Hinweise auf potenzielle Einsparmaßnahmen.

Schlechte Pumpenwahl oder ungenügende Wartung

Übermäßige Pumpenwartung, die hinweisen kann auf:

- Pumpen in Kavitation
- Stark abgenutzte Pumpen
- Pumpen, die für den gegenwärtigen Betrieb fehl angewendet werden

Drosselung zur Leistungsanpassung. Bei konstanter Förderhöhe und konstantem Förderstrom gedrosselte Pumpen weisen auf Überkapazität hin. Der Druckabfall über ein Regelventil stellt vergeudete Energie dar, die proportional zum Druckabfall und Förderstrom ist.

Eine **laute Pumpe** weist im allgemeinen auf Kavitation durch starkes Drosseln oder übermäßigen Förderstrom hin. Laute Regelventile oder Bypassventile bewirken gewöhnlich einen hohen Druckabfall mit entsprechend hohem Energieverlust.

Änderungen gegenüber Auslegungsbedingungen. Änderungen an Anlagenbetriebsbedingungen (Erweiterungen, Stilllegungen, etc.) können bewirken, dass Pumpen, die vorher effizient arbeiteten, einen verringerten Wirkungsgrad aufweisen.

Pumpen mit bekannter **Überkapazität.** Überkapazität vergeudet Energie, weil mehr Förderstrom mit höherem Druck als nötig gepumpt wird.

Schlechte Regelung

Alle Pumpen mit großen **Förderstrom- und/oder Druckschwankungen**. Wenn Förderströme oder Drücke überwiegend unter 75% des Maximalwerts liegen (Teillastbetrieb), wird wahrscheinlich Energie durch Drosseln, Bypass-Ströme oder durch den Betrieb nicht benötigter Pumpen vergeudet.

Bypass-Ströme geben generell einen Hinweis auf vergeudete Energie, da mehr transportiert wird als nötig.

Bei **Mehrpumpensystemen** geht häufig durch Überströmen zu hoher Förderströme, den Betrieb nicht benötigter Pumpen, die Druckhaltung oder eine große Förderstromstufe zwischen den Pumpen Energie verloren.

Analyse eines Pumpensystems

Nach der Grobanalyse und Auswahl bestimmter Pumpen, die für eine Optimierung in Frage kommen, muss eine Erhebung aller Komponenten im Rohrleitungssystem, die den Betrieb beeinflussen und die Messung und Aufnahme relevanter Parameter erfolgen. Dabei spielt natürlich die mögliche Einsparung eine Rolle, die die Obergrenze für den Analyseaufwand darstellt. Kleinere Pumpensysteme werden daher eher dann untersucht werden, wenn mehrere ähnliche Anwendungsfälle im Betrieb auftreten.

Pumpen

Für die zu analysierenden Pumpen sollte eine genaue Pumpenkennlinie (z.B. Katalogkennlinien) erhoben werden.

- Bestimmung des **Energiebedarfs** (gemessene elektrische Leistungsaufnahme)

Die Messung der Leistungsaufnahme der Antriebsmaschine bei Drehstrom erfolgt, indem man in zwei der drei Phasen mit zwei Wattmetern die jeweilige Teilleistung (so genannte Aronschaltung) bestimmt und die Gesamtleistung aus deren Summe erhält. Der Nachteil liegt darin, dass der Wirkungsgrad der Antriebsmaschine nicht genau bekannt ist und zwischen Pumpe und Motor ein Getriebe angeordnet sein kann.

- Bestimmung der Volumenströme (Durchflussmessung)

Diese können entweder über im System installierte Messinstrumente oder über Ultraschall-, Schwebkörper- oder Blendendurchflussmesser bestimmt werden. Aus der Pumpenkennlinie ist dann die Förderhöhe ersichtlich. Die Leistungsaufnahme kann ebenfalls über die Kennlinien abgelesen werden.

- Bestimmung der Gesamtförderhöhe

Diese kann durch die Messung der Druckdifferenz über die Pumpe bestimmt werden.

- Bestimmung der Effizienz der Pumpe

Die Bestimmung der Effizienz der Pumpe kann über untenstehende Formeln errechnet werden. Der Wirkungsgrad einer Pumpe kann sich um 10 bis 25% verschlechtern, bevor sie gewechselt wird, daraus ergeben sich Wirkungsgrade von nur 50% bis 60%. (Quelle, U.S Department of Energy).

Bestimmung der Abweichung vom Auslegungszustand

$$\text{Abweichung in \%} = \left(\frac{Q_{gem} * H_{gem}}{Q_{erf} * H_{erf}} - 1 \right) * 100$$

Q, H_{gem}: Gemessener Förderstrom bzw. gemessene Förderhöhe

Q, H_{erf}: Erforderlicher Förderstrom bzw. erforderliche Förderhöhe

Ab einer Abweichung von 20% sollte das System näher betrachtet werden.

Weiters sollten folgende Pumpen genauer untersucht werden:

- Pumpen mit einem gemessenen oder abgeschätzten Förderstrom, der sich um mehr als 30% vom Typenschild unterscheidet
- Pumpen mit einer Förderhöhe, die sich um mehr als 20% vom Typenschild unterscheidet

Wichtige Formeln zur Berechnung der erforderlichen Leistungen:

Die **Förderleistung (P_U, oder hydraulische Leistung)** ist die durch die Pumpe auf den Förderstrom übertragene nutzbare Leistung:

$$P_U = \rho * Q * g * H ;$$

mit P_U in [W], ρ in [kg/dm³], Q in [l/s], H in [m], g: 9,81 m/s²

In der Praxis rechnet man einfacher mit folgender Formel:

$$P_U = \frac{\rho * Q * H}{367} \text{ in kW}$$

mit ρ in [kg/dm³], Q in [m³/h]!!, H in [m]

Leistungsbedarf der Pumpe:

$$P_P = \frac{P_U}{\eta_P} = \frac{\rho * Q * H}{367 * \eta_P} \text{ in kW}$$

ρ in [kg/dm³], Q in [m³/h], H in [m]

η_P Pumpenwirkungsgrad, als Dezimalzahl

Leistungsbedarf des Motors:

$$P_M = \frac{P_P}{\eta_M}$$

Wirkungsgrad der Pumpe

$$\eta_{\text{Pumpe}} = \frac{Q \times \rho \times g \times H}{P_{\text{hydraulisch}} \times 1000}$$

Q: Förderstrom in [l/s]; g: 9,81 m/s²; H: Förderhöhe in [m]; ρ : Dichte in kg/l (1 für Wasser); P_{hydr.}: in kW
1000: 1000 l/m³

$$P_{\text{hydraulisch}} = P_{\text{Motor}} \times \eta_{\text{Antrieb}}$$

BEISPIEL

Pumpe mit Förderstrom: 80 m³/h, Förderhöhe 77 m, Leistung 75 kW, 2.920 1/min
 Tatsächlicher Förderstrom gedrosselt auf: **50 m³/h;**

Amperemessung 90 A tatsächliche Leistungsaufnahme 53 kW

erforderliche Leistung (P hydr oder Pu):

$$P_P = \frac{P_U}{\eta_P} = \frac{\rho * Q * H}{367 * \eta_P} \text{ in kW} = \frac{1 * 50 * 77}{367 * 0,8} = 13,1 \text{ kW}$$

Annahme: Pumpenwirkungsgrad: 0,8

Tatsächlich erforderliche Leistung (P elektr.):

$$P_M = \frac{P_P}{\eta_M} = \frac{13,1}{0,9} = 14,6 \text{ kW}$$

Annahme Wirkungsgrad elektrischer Motor: 0,9

Nur der erforderliche Förderstrom und die Förderhöhe werden zur Effizienzbestimmung herangezogen, Verluste in der Förderhöhe werden von der Pumpenförderhöhe, nicht notwendige Rezirkulations- oder Bypass –Ströme vom Förderstrom abgezogen.

Interne Leckage durch übermäßiges Rückplatten- und Laufradspiel und abgenutzte Saugstutzen, Laufradringe, Gleitlager und Laufräder können den Wirkungsgrad der Pumpe beeinflussen.

Weiters sollte ein Vergleich der tatsächlichen mit den erforderlichen Förderhöhen und – volumina vorgenommen werden.

Regel- oder Drosselventile

Regel-, Drosselventile oder Begrenzungsblenden werden in Rohrleitungen zum Zwecke der Durchflussbegrenzung oder des –ausgleichs eingebaut. Ventile erzeugen zusätzliche Förderhöhenverluste und reduzieren damit den Volumenstrom. Der Druckabfall muss jedoch von der Pumpe gedeckt werden.

Rohrleitungssystemkomponenten wie Wärmetauscher, Kondensatoren und Filter begrenzen den Durchfluss, die Hersteller dieser Produkte stellen Kennlinien bereit, die den Förderhöhenverlust angeben. Durch Messung des Differenzdrucks über den Wärmetauscher und Bezugnahme auf die vom Hersteller gelieferten Versuchskennlinien kann der ungefähre Volumenstrom berechnet werden.

NUTZUNG VON EDV – TOOLS

Beispiele: www.eu-promot.org (Pumpenmodul)
oder opal auf www.semafor.ch, website von Pumpenherstellern

zusätzlich für die Tools benötigte Werte

Förderstrom: (gemessen oder Annahme)

maximale Förderhöhe: (Erfahrungswert: +20% zu Nennförderhöhe, abhängig von Pumpenkennlinie)

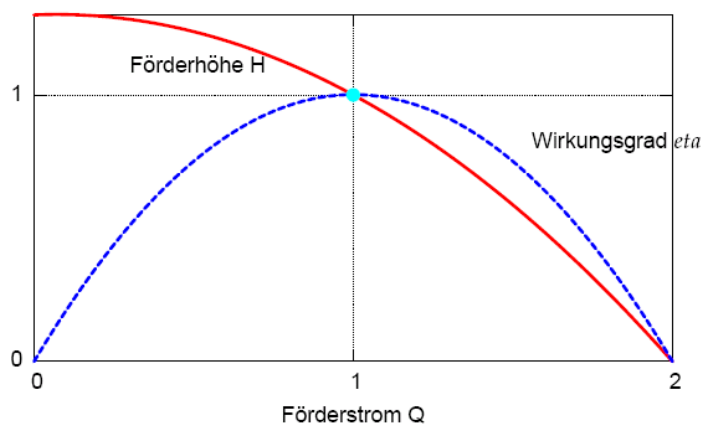
statische Förderhöhe: Abschätzung im Betrieb (z.B. Höhe des Reservoirs)

Lastprofil: Mehrmals messen oder Befragung

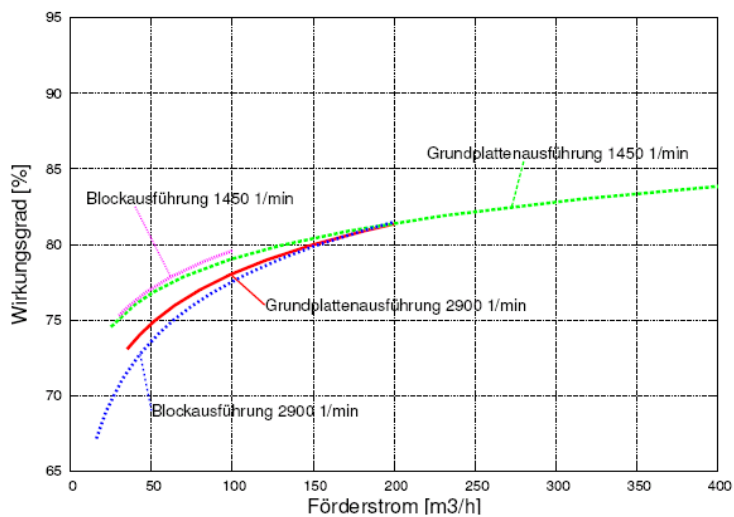
Ergebnis EDV-Tools: Bewertung der folgenden Maßnahmen:

- a) Ersatz von Motoren (eff 1 Klasse Motor)
- b) Ersatz von Pumpen (kleinere Pumpe)
- c) Betrieb mit Frequenzumrichter
- d) Betrieb mit Mehrfachpumpen (Alternative zur Regelung)

Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Abweichung des Fördervolumens für die am weitesten verbreiteten Kennlinien:



Erreichbarer Wirkungsgrad einstufiger, einströmiger Spiralgehäusepumpen



Abbildungen aus „Die Bestimmung des Energiesparpotentials bei Pumpen“, Dr. Ronald Tanner, 2004

Regelung von Pumpen

Im Gegensatz zu einer Verdrängerpumpe (z.B. Kolbenpumpe), liefert die Kreiselpumpe bei konstanter Drehzahl einen veränderlichen Förderstrom, vom jeweiligen Förderstrom hängt der Leistungsbedarf und damit der Wirkungsgrad ab. Da Pumpen für Prozesse oft wechselnde Fördermengen liefern müssen, können Regelungen, die die Fördermenge an den tatsächlichen Bedarf anpassen, sehr energiesparend sein.

Bypass

Bei der Bypassregelung wird eine bestimmte Menge, welche momentan nicht gebraucht wird, zum Saugstutzen oder bei größeren Mengen zum Saugbehälter rückgeführt. Mittels verstellbaren Regelorgans ist die Rückfördermenge regulierbar. Wegen des Mengenverlustes in der Rezirkulationsleitung nimmt der Gesamtwirkungsgrad stark ab. Sie ist gegenüber der Drehzahl-Regelung und der Drosselung die ungünstigste Regelung, die aufgenommene Motorleistung beträgt unabhängig von der Fördermenge immer 100%. Bei Kreiselpumpen kommt diese Regelung selten vor, bei Axialpumpen mit hoher spezifischer Drehzahl jedoch häufiger, da die Leistung mit steigender Menge abfällt.

Drosselung

Zur Drosselung wird druckseitig eine Drosselarmatur in die Anlage eingebaut, der Anlagenwiderstand erhöht und das Fördervolumen verringert. Die Anlagenkennlinie wird dadurch steiler, der Betriebspunkt der Pumpe verschiebt sich nach links (siehe Abbildung). Durch die Drosselregelung wird gegenüber der Bypass- oder keiner Regelung Energie eingespart und ist vor allem bei kurzzeitig verringertem Volumenstrom und bei Pumpen mit flacher Kennlinie sinnvoll. Im Teillastbereich ist diese Regelung jedoch gegenüber der Drehzahlregelung durch einen Verlust bestehend aus dem Widerstand (Förderhöhenverlust) aufgrund der Drossel mal dem Fördervolumen und schlechtem Pumpenwirkungsgrad gekennzeichnet. Außerdem sind die Wartungskosten für das Drosselventil insbesondere bei korrosiven Flüssigkeiten oder Flüssigkeiten mit Schwebstoffen besonders hoch.

Ein / Aus- Regelung

Bei dieser Steuerungsmethode wird der Durchfluss durch Ein- und Ausschalten der Pumpen variiert. Dafür ist es nötig, Flüssigkeit im System (z.B. in Speichertanks) zu speichern. Dieser Tank kann einen kontinuierlichen Fluss bei diskontinuierlichen Pumpenbetrieb gewährleisten. Die Pumpe benötigt im ausgeschalteten Zustand keine Energie, außerdem kann sie z.B. in der Zeit niedriger Stromtarife betrieben werden. Jedenfalls sollte besonders in Systemen, die durch hohe Reibungsverluste (geringer statischer Förderhöhenanteil) gekennzeichnet sind, auf geringes Fördervolumen geachtet werden und es können evt. kleinere Pumpen installiert werden.

Die Ein/Aus-Regelung verursacht zusätzliche (Spitzen-) Belastungen für die Komponenten der Kraftübertragung und Motorerwärmung. Die Häufigkeit der Ein/Aus – Zyklen hängt von den Motor- und Pumpeneigenschaften ab.

Drehzahlregelung

Der Förderstrom hängt linear, die Förderhöhe quadratisch und der Leistungsbedarf kubisch von der Drehzahl ab. Dadurch ist eine besonders energiesparende Regelung durch Drehzahlvariation möglich.

Folgende Affinitätsgesetze gelten, falls die Drehzahländerung nicht zu groß ist, d.h. der Wirkungsgrad in etwa konstant bleibt:

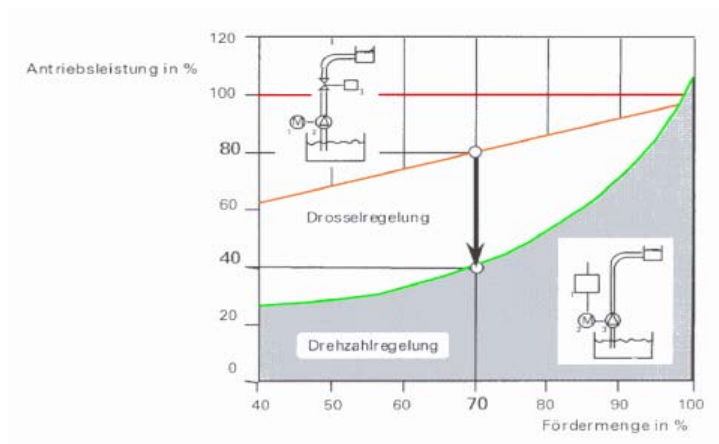
$$Q \text{ (Fördervolumen)} \propto n$$

$$H \text{ (Förderhöhe)} \propto n^2$$

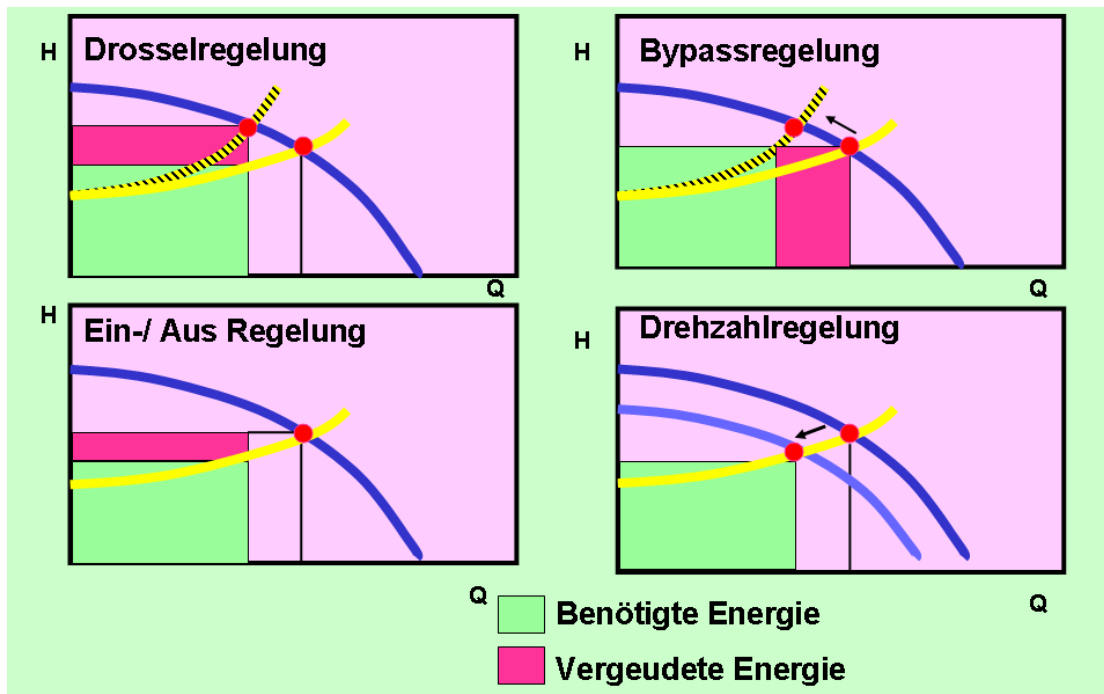
$$P \text{ (Leistung)} \propto n^3$$

Mit einem Frequenzumrichter kann die Spannung und Frequenz eines Asynchronmotors und damit die Drehzahl stufenlos verändert werden. Die Pumpenleistung wird durch die Drehzahlregelung an die Anlagenerfordernisse angepasst, Druck- und Förderhöhenüberschüsse vermieden und Energie eingespart. Besonders geeignet für Drehzahlregelung sind Anlagen mit schwankendem Bedarf und Anlagen, deren Anteil an statischer Höhe nicht zu hoch ist.

Folgende Gründe sprechen teilweise gegen eine Umrüstung auf eine Drehzahlregelung: die Investitionskosten, die größere Störanfälligkeit durch Einbau der Leistungselektronik, der erforderliche Platz im Schaltschrank die Netzverunreinigung durch Oberwellen und alte Motoren, die nicht mit einem Frequenzumrichter betrieben werden können.



Quelle: Fraunhofer-Institut



Quelle: Europump, Übersetzung AEA

Investitionskosten:

- Investitionskosten für Frequenzumrichter: 100 EUR / kW
- FU - tauglicher Motor: 75 EUR / kW
- Installationskosten: 3.000 EUR

(konservative Abschätzung, Tatsächlich evt. bedeutend geringer)

[Quelle: Umweltbundesamt, Allplan, Gespräch Danfoss]

Parallelschaltung

Durch Parallelschaltung mehrerer Pumpen in einer Anlage addieren sich die Förderströme der einzelnen Pumpen bei gleicher Förderhöhe. Diese Regelung ist besonders geeignet für flachen Anlagenkennlinien (hohen statischen Förderhöhenanteil) und zeichnet sich durch geringen steuerungstechnischen Aufwand bei druckabhängiger Pumpenschaltung und hoher Betriebssicherheit durch Redundanz aus. Durch Abschalten einzelner Pumpen kann die gesamte Pumpenleistung sehr gut an den Teillastbetrieb angepasst werden. Die eingeschalteten Pumpen arbeiten am Punkt hoher Effizienz.

Nachteile sind der erhöhte Bauaufwand von Rohrleitungen, Armaturen und Pumpen bei erhöhtem Platzbedarf und die hohe Schalzhäufigkeit bei ungünstiger Auslegung.

Vorleitschaufelverstellung

Üblicherweise ist die Zuströmung drallfrei. Bringt man vor dem Laufrad verstellbare Vorleitschaufeln (Vordrallregler) an, kann man insbesondere bei Kreiselpumpen mit halbaxialen und axialen Laufrädern die Drallkomponente variieren. Dadurch verschieben sich die

Drosselkurven und es ändert sich der Wirkungsgrad. Es ergibt sich eine leistungssparende stufenlose Veränderung der Pumpenkennlinie in einem relativ weiten Bereich.

Laufschaufeleinstellung

Bei Propellerpumpen (Kreiselpumpen mit halbaxialen und axialen Laufrädern) wird die stufenlose Regelung der Drosselkurve durch Laufschaufelverstellung im Stillstand oder während des Betriebes häufig angewendet. Dadurch ergibt sich eine besonders energiesparende Anpassung des Förderstromes und der Förderhöhe in einem großen Betriebsbereich. Als Nachteil sind der erhebliche konstruktive Aufwand und damit erhöhten Investitionskosten genannt.

Änderung der Laufraddurchmessers

Sollen Förderstrom und glz. -höhe bei konstanter Drehzahl verringert werden, kann dies durch Abdrehen (bei Laufrädern von Spiralgehäusepumpen) oder Ausdrehen (Pumpen mit Leitrad) des Laufrades erreicht werden. Dadurch verringert sich der Leistungsbedarf wesentlich stärker als bei der Drosselregelung. Die Energieeinsparung ist ungefähr gleich dem Kubus der Reduktion des Laufraddurchmessers.

$$Q_2 = \frac{D_2}{D_1} \times Q_1$$

$$H_2 = \left[\frac{D_2}{D_1} \right]^2 \times H_1$$

$$P_2 = \left[\frac{D_2}{D_1} \right]^3 \times P_1$$

Q_2, D_2, H_2 – Änderung der Förderhöhe, des Durchmessers und der Förderhöhe nach Änderung des Laufraddurchmessers.

Laufräder niedriger spezifischer Drehzahl (bis 25 min^{-1}) können ohne merkliche Wirkungsgradeinbußen relativ stark abgedreht werden. Normalerweise können der Laufraddurchmesser um bis zu ca. 70% der Originalgröße verringert werden. Vor Durchführung dieser Maßnahme sind auch die damit einhergehende steigende erforderliche Haltedruckhöhe dieser Pumpe zu berücksichtigen und die diesbezüglichen Herstellerdaten zu prüfen.

Vorteile gegenüber der ursprünglich überdimensionierten Pumpe ergeben sich aus dem besseren Wirkungsgrad der Pumpe und des Motors, der geringeren Abnutzung des Rohrsystems und der Ventile.

Zuschärfen der Schaufelenden

Durch Zuschärfen der Schaufelenden bei radialen und halbaxialen Laufrädern lässt sich die Förderhöhe der Pumpe geringfügig vergrößern, da der Austrittswinkel leicht vergrößert wird.



Bei hohen Stufendrücken muss wegen hoher statischer und dynamischer Beanspruchungen größte Sorgfalt bei der Ausführung der Zuspitzung angewendet werden. Bei unveränderter Nullförderhöhe lässt sich dadurch die Drosselkurve bis etwa 5% anheben.

WARTUNG

Für einen passenden Wartungsplan und passendes Wartungsintervall sind neben der Pumpe selbst mehrere Faktoren ausschlaggebend:

- das Medium (z.B. beschleunigt, sandhaltiges Wasser den Verschleiß der Dichtungen)
- die Betriebsdauer
- die Kosten eines möglichen Ausfalls (bei Pumpen, die für den Prozessablauf entscheidend sind, ist ein höheres Wartungsintervall gerechtfertigt)

Auf jeden Fall sollten die Hinweise zur Wartung in den Herstellerangaben berücksichtigt werden. Da Pumpen auch aufgrund von fehlender Wartung im Laufe ihrer Lebenszeit (oft mehrere Jahrzehnte) bis zu 20% ihres Wirkungsgrades einbüßen können, rechtfertigt dies auch unter dem Aspekt des Energieverbrauchs die Beschäftigung mit diesem Thema.

Folgende Elemente sollten auf dem Wartungsplan keinesfalls fehlen:

- Sichtkontrollen auf Undichtigkeit (wöchentlich bis halbjährlich, je nach Anwendungsfall); Erlaubte Leckage liegen meist zwischen 2 und 60 Tropfen pro Minute. Bei starker Leckage infolge hohen Verschleißes sind die Gleitringdichtungen wechseln. In besonderen Fällen (z.B. korrosive oder saure Flüssigkeiten mit Gefahrenpotenzial) ist die Leckagenrate noch stärker zu berücksichtigen.
- Das Schmieren der Lager sollte gemäß den Herstellerangaben erfolgen. Erhöhte Lagergeräusche und ungewöhnliche Vibrationen zeigen Verschleiß der Lager an. Weitere Möglichkeiten, um dies festzustellen sind oft eher teure Temperaturmessungen (auch mit Wärmekameras möglich), Vibrations- oder Ölanalysen. Lager sind, falls erforderlich, zu wechseln.
- Falls erforderlich, Korrektur der Ausrichtung des jeweiligen Motors mit der Pumpe, um diese wieder exakt in eine Fluchtlinie zu bringen.
- Überprüfung der Motorisolierung
- Eingebaute Filter sind jedenfalls regelmäßig zu reinigen. Ab einem gewissen Verschmutzungsgrad nimmt der Druckverlust rasch zu.

Verbesserungsmaßnahmen in Pumpensystemen

Verbesserungsmaßnahmen	Einsparpotenzial
Verwendung einer effizienteren Pumpe	3%
Verwendung einer Pumpen mit an den Bedarf angepasster Leistung	4%
Bessere Wartung	3%
Besseres Systemdesign	10%
Bessere Systemsteuerung	20%
Gesamtes Energieeinsparpotenzial	40%

Quelle: Motorchallenge Programm

Vermeidung von unnötigem Bedarf

- Reduktion des notwendigen Durchflusses
- Reduktion des notwendigen Druckes
- Anpassung der Betriebsdauer an die tatsächlich erforderliche Betriebszeit

Regelung

Unnötige Pumpen stilllegen

Diese auf der Hand liegende, aber häufig übersehene Energiesparmaßnahme kann oft nach einer wesentlichen Verringerung des Verbrauchs von Wasser oder einer anderen Flüssigkeit durchgeführt werden. Wenn mit Überkapazität gearbeitet wird, weil die Förderströme schwanken, kann die Anzahl der in Betrieb befindlichen Pumpen automatisch durch den Einbau von Druckschaltern an einer oder mehreren Pumpen geregelt werden.

Mehrfachpumpen verwenden.

Mehrfachpumpen bieten eine Alternative zur variablen Drehzahl-, Bypass- oder Drosselregelung. Die Einsparungen ergeben sich, weil bei geringem Volumenstrom eine oder mehrere Pumpen abgeschaltet werden können, während die anderen Pumpen mit hoher Effizienz arbeiten. Kleine Doppelpumpen sind in Erwägung zu ziehen, wenn die Pumpenleistung häufig unter der Hälfte der maximalen Leistung liegt.

Regelung durch Drosseln

Das Regeln einer Kreiselpumpe durch Drosseln des Förderstroms vergeudet Energie. Die Drosselregelung ist jedoch im Allgemeinen weniger Energie verschwendend als zwei andere

weit verbreitete Alternativen: keine Regelung oder Bypassregelung. Vorhandene Drosseln können daher ein kostengünstiges Mittel zum Einsparen von (wenig) Pumpenenergie darstellen.

Antriebe mit veränderlicher Drehzahl verwenden

Antriebe mit veränderlicher Drehzahl ergeben die höchsten Einsparungen, indem sie den Pumpenstrom an variierende Systemerfordernisse anpassen, aber sie haben im Vergleich zu den anderen Methoden der Leistungsregelung auch höhere Investitionskosten.

Pumpenwahl

Überdimensionierte Pumpen ersetzen

Zu große Pumpen sind die wichtigste Ursache für vergeudete Pumpenenergie. Ihr Ersatz muss in Relation zu anderen möglichen Methoden der Kapazitätsverringering, wie Abgleichen oder Ändern der Laufräder und Einsatz von Drehzahlregelung, betrachtet werden.

Eine kleine Zusatzpumpe verwenden

Der Energiebedarf des Gesamtsystems kann durch die Verwendung einer Zusatzpumpe zur Lieferung des Hochdruck-Förderstroms zu einem bestimmten Nutzer verringert werden, wobei das übrige System bei niedrigerem Druck und reduziertem Strom arbeiten kann.

Laufräder austauschen oder abdrehen

Das Abdrehen von Kreiselpumpenrädern ist die kostengünstigste Methode zur Korrektur von überdimensionierten Pumpen. Die Förderhöhe kann durch Ändern des Pumpenraddurchmessers (Austausch oder Abdrehen) innerhalb der vom Hersteller für das Pumpengehäuse empfohlenen Abmessungsgrenzen um 10 bis 50 Prozent verringert werden.

Wartung

Internes Spiel wiederherstellen

Diese Maßnahme sollte ergriffen werden, wenn die Leistung der Pumpe stark abnimmt. Pumpenleistung und Wirkungsgrad sinken, wenn die interne Leckage durch übermäßiges Rückplatten- und Laufradspiel und abgenutzte Saugstutzen, Laufradringe, Gleitlager und Laufräder zunimmt.

Die Pumpe beschichten

Das Aufbringen von Beschichtungen auf die Pumpe, insbesondere auf das Spiralgehäuse, verringert die Reibungsverluste.

Energieeinsparung durch Anpassung eines Pumpenrads

Ein Unternehmen der chemischen Industrie setzte eine Kreiselpumpe für die Rückführung des prozessbedingt anfallenden Kondensats zum Heizkessel ein. Eine Betriebsanalyse zeigte, dass der von der Pumpe erzeugte Druck beträchtlich über dem erforderlichen Druckniveau lag. Die zur Druckreduktion erforderliche starke Drosselung führte zu einem instabilen Betriebsverhalten (Kavitation) sowie hohen Wartungs- und Instandhaltungskosten.

Durchgeführte Maßnahmen

In Abstimmung mit dem Pumpenhersteller entschied sich das Unternehmen für den Einsatz eines kleineren Pumpenrad-Durchmessers. Durch die Verringerung des Durchmessers von 320 auf 280 mm konnte die Pumpe ohne Drosselung betrieben und ein Motor geringerer Leistung installiert werden. Durch die durchgeführten Maßnahmen konnte die Kavitation behoben, beträchtliche Energieeinsparungen erzielt und das Betriebsverhalten der Anlage beseitigt werden.

Ergebnisse

Die Leistungsaufnahme der Pumpe verringerte sich durch die Anpassung des Pumpenrades um fast 30%. Die jährliche Energie- und Kosteneinsparung betrug 197.000 kWh bzw. 12.714 EUR. Darüber hinaus konnten Wartungs- und Instandhaltungskosten in Höhe von 4.285 EUR pro Jahr eingespart und die Motorleistung von 110 auf 75 kW verringert werden. Aufgrund des Einsatzes eines kleineren Motors, der näher am Wirkungsgradoptimum arbeitete, konnten zusätzliche Energieeinsparungen im Wert von 1.071 EUR/a erzielt werden. Die Anpassung des Pumpenrades verursachte Kosten von 371 EUR, der Austausch des Elektromotors erforderte Investitionen in der Höhe von 3.600 EUR.

Die Amortisationszeit betrug 3 Monate (erforderliche Investition: 3.971 EUR, Einsparung 18.070 EUR)

Quelle: Motor Challenge Programme

Quellen und weitere Informationen unter:

Das Europäische Motor Challenge Programm, Modul Pumpensysteme, Brüssel, 2003
(<http://energyefficiency.jrc.cec.eu.int/motorchallenge>)

European Guide to Pump Efficiency for Single Stage Centrifugal Pumps
http://energyefficiency.jrc.cec.eu.int/motorchallenge/pdf/EU_pumpguide_final.pdf

Europump and Hydraulic Institute, Variable Speed Pumping, a Guide to Successful Applications, 2004

Europump and Hydraulic Institute, Pump Life Cycle Costs, A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems

Pelkeit, O., Pumpenregelung und Lebenszykluskosten, Vorlesung Strömungsmaschinen II, 2004 (http://www.uni-kl.de/SAM/inhalt/studium/online-skripte_SMII.html)

Tanner, R. Die Bestimmung des Energieeinsparpotentials bei Pumpen, SEMAFOR Informatik & Energie AG, Basel, 2004
<http://www.semafor.ch/de/pdf/EnergiesparpotentialBeiPumpen.pdf>

Umweltbundesamt, Allplan, Energieeffiziente Technologien und effizienzsteigernde Maßnahmen, Wien 2005

U.S Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, Energy Tips – Pumping Systems, 2005

Wagner, W., Kreiselpumpen und Kreiselpumpenanlagen, Vogel, Würzburg, 2004

www.eu-promot.org

European Guide to Pump Efficiency for Single Stage Centrifugal Pumps
http://energyefficiency.jrc.cec.eu.int/motorchallenge/pdf/EU_pumpguide_final.pdf