

Topmotors-Workshop
Effiziente Pumpensysteme in der Industrie

Jürg Nipkow, dipl. Elektro- Ing. ETH/SIA

juerg.nipkow@energieeffizienz.ch

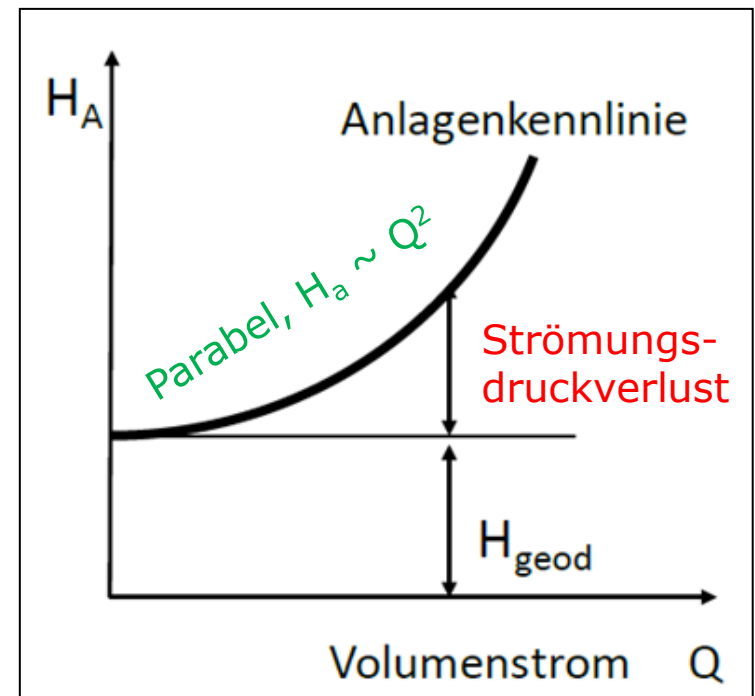
6. Juli 2017

Pumpen in Industrie und Gebäudetechnik



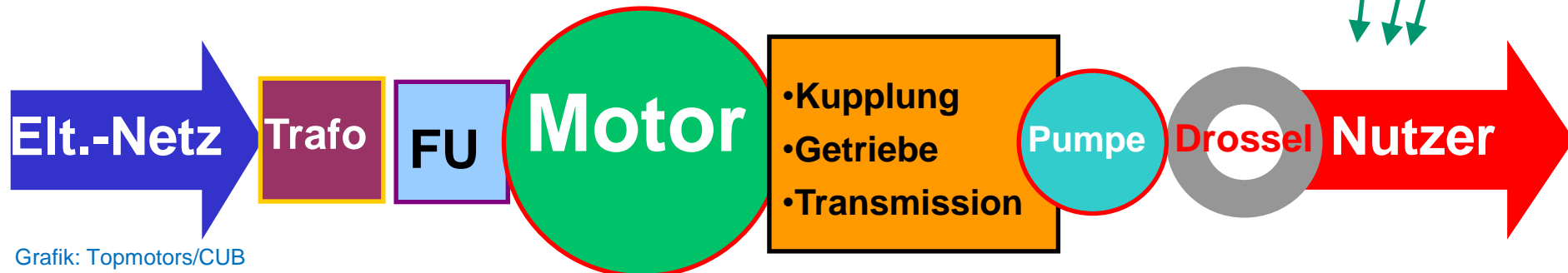
Pumpensysteme: was heisst hier effizient?

- Effizienz allgemein: geforderte Wirkung mit kleinstem Aufwand erzielen
 - Wirkungsgrad (Pumpe + Motor): $\eta = P_{\text{hyd}} / P_1$ P_1 = elektrische Inputleistung
Nutzungsgrad $\eta = E_{\text{hyd}} / E_1$ E_1 = elektr. Energieaufwand
 - Effizientere Pumpen und Motoren bringen wenige Prozent Einsparung (immerhin!)
 - Hydraulische Nutzleistung:
 $P_{\text{hyd}} = \text{Volumenstrom } Q * \text{Förderhöhe } H_A$
in SI-Einheiten: $[\text{m}^3/\text{s} * \text{Pa}] = [\text{W}]$
 - **Strömungs-Druckverlust verändert sich proportional zu Q^2 (Parabel)**
- **Attraktives Effizienzpotenzial**



Hydraulische Anforderungen hinterfragen

- Wozu der geforderte **Volumenstrom**? Was wären Nachteile bei weniger?
- Weshalb die geforderte **Förderhöhe**? Strömungsverluste optimiert? Statischer Anteil? Durch bauliche Massnahmen zu vermindern?
- Zeitlich **variabler Bedarf**: wie kann er mit höchster Effizienz gedeckt werden? Frequenzumrichter (FU)? Parallel-Pumpen? Speicher?
- **Effizienz im ganzen Pumpensystem betrachten!**

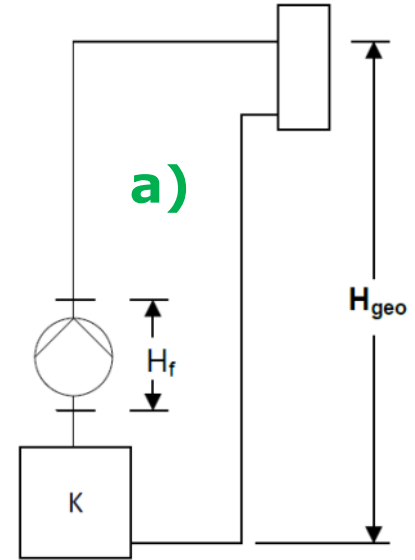


Grafik: Topmotors/CUB

Geschlossene vs. offene Systeme

a) In geschlossenen Systemen, Beispiel Kühlkreislauf mit Wärmetauscher:
Welche Rolle spielt die geodätische Höhe H_{geo} ?

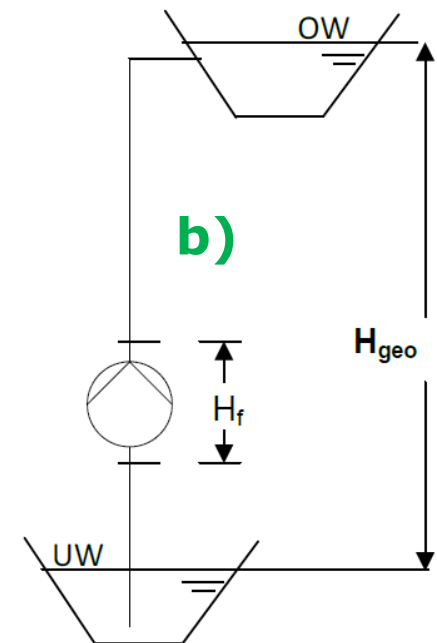
- Was bestimmt die erforderliche Förderhöhe H_f ?
 - Rohrreibung + «Einzelwiderstände»
 - **Alle Druckverluste sind proportional zu Q^2**
- Anlagecharakteristik: Parabel (wenn turbulent)



b) In offenen Systemen, Beispiel Hebepumpe ARA-Zulauf:
Welche Rolle spielt die geodätische Höhe H_{geo} ?

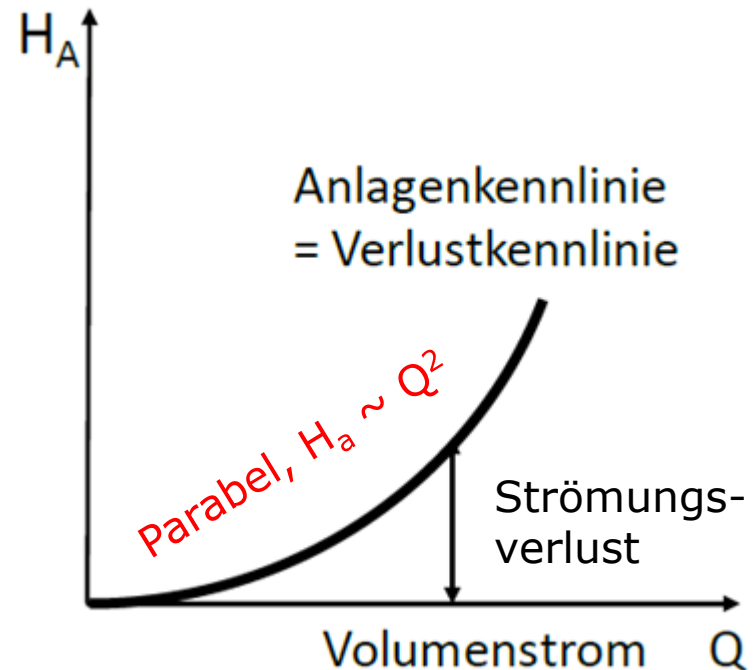
- Was bestimmt die erforderliche Förderhöhe H_f ?
- Welche Rolle spielen die Strömungsverluste?

■ Eine weitere Anwendung, die sich wie ein offenes System verhält: Druckerhöhung (z.B. Trinkwasser Hochhaus)



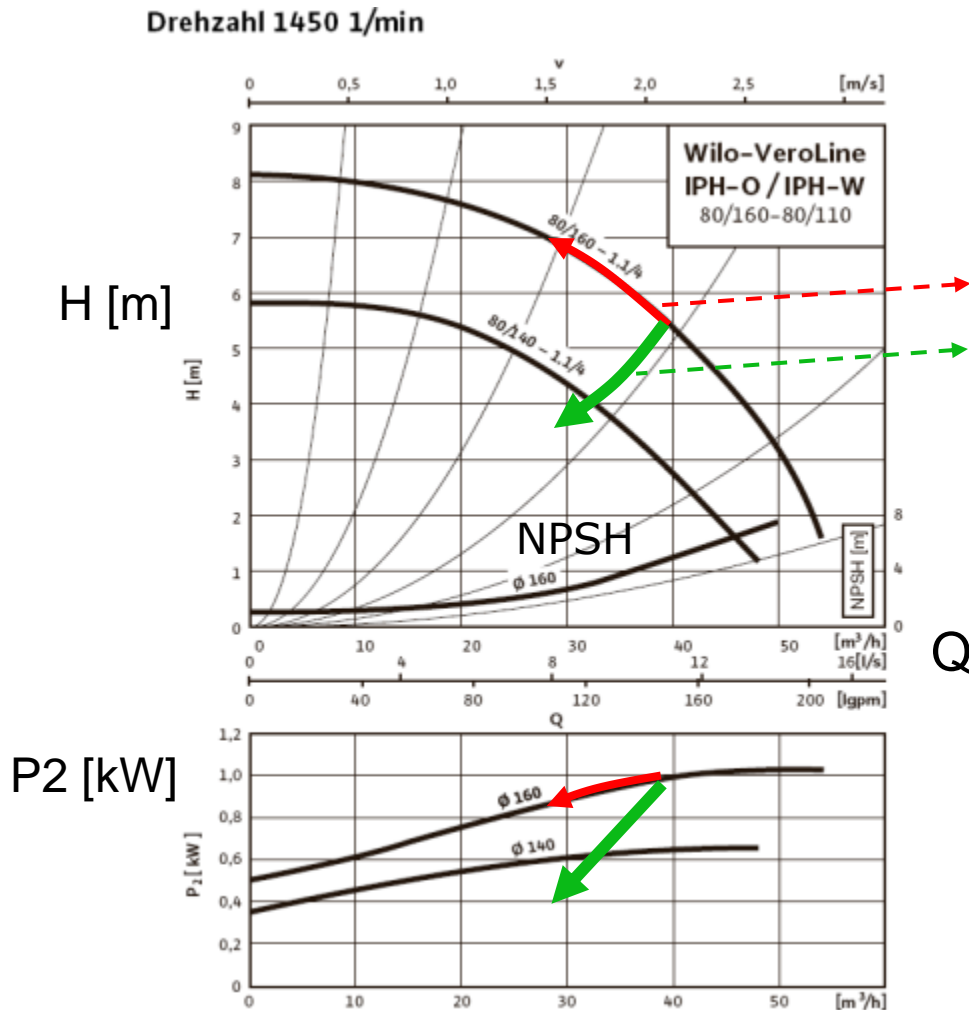
Effizienz bei geschlossenen Kreisläufen

- Der Druckverlust Δp verändert sich proportional zu Q^2 ,
- Die Antriebsleistung P prop. zu Q^3
weil $P_{\text{hyd}} = Q \cdot \Delta p$
- Druckverluste klein halten!
Rohrnetz grosszügig auslegen,
Wärmetauscher druckverlustarm
- In bestehenden Anlagen:
Volumenstrom reduzieren soweit
und wann möglich (mittels FU)

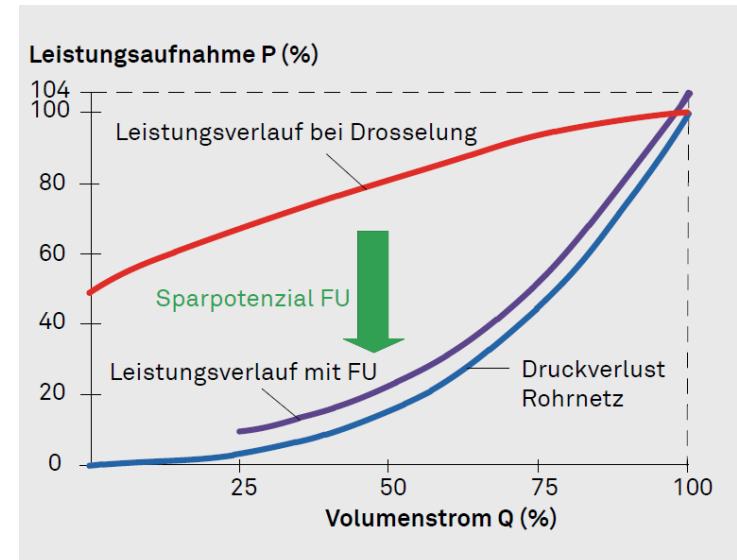


Beispiel: Kühlkreislauf mit Wärmetauscher, Vorgabe $Q_{\text{soll}} = 50 \text{ m}^3/\text{h}$,
Leistungsbedarf für $40 \text{ m}^3/\text{h}$ (ev. ausreichend): $P_{40} = (40/50)^3 \cdot P_{50} = 0.41 \cdot P_{50}$

Pumpenkennlinien, Drosseln vs. Drehzahl verändern



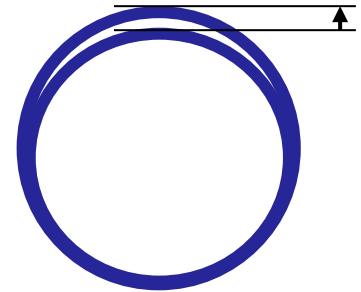
- H Förderhöhe
- Q Volumenstrom
- P_2 (mech.) Leistungsaufnahme
- ϕ Laufrad-Durchmesser
- Bei Drosseln von Q
- Bei Drehzahlreduktion mit FU



Quelle: Topmotors Merkblatt Pumpen

Strömungsverluste

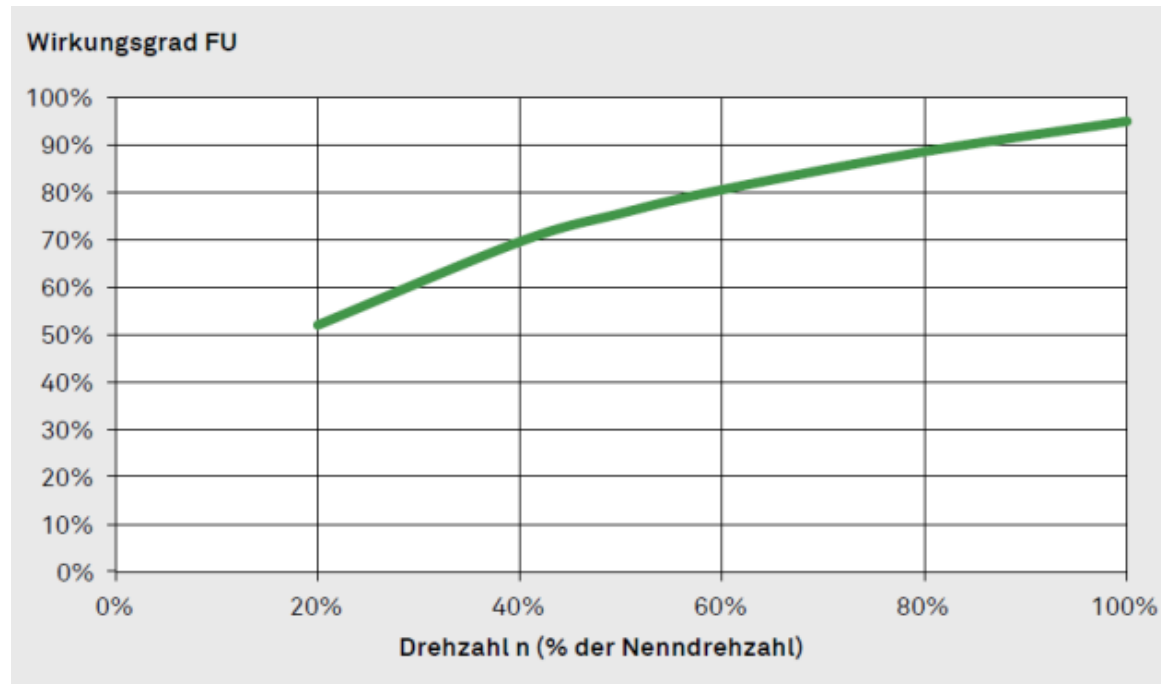
- Leitungen grosszügig auslegen:
Rohrweite +10%
⇒ Mediumsgeschwindigkeit – 19%,
⇒ Druckverlust – 34%.
- Wärmeübertrager mit wenig Druckverlust
sind teurer: Gesamtkosten-Optimierung,
Lebenszykluskostenrechnung!
- Druckverlust-arme Armaturen und Leitungs-
komponenten! Tiefe ζ -Werte (Einzelwiderstände)
- Rohrnetzberechnung: sorgfältig, Rohrweiten
grosszügig auslegen!
Das Netz braucht während 50+ Jahren Pumpenergie



Mediums-
Geschwindigkeit v
ist bei gegebenem
 d_i proportional zu Q

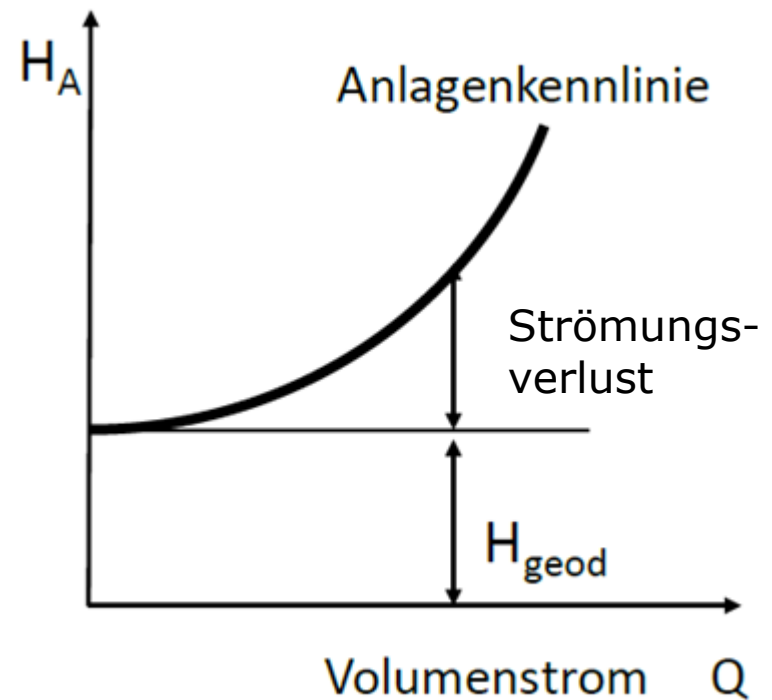
Wirkungsgrad Drehzahlveränderung

- Auch Frequenzumrichter (FU) haben Eigenverbrauch und Verluste! ⇒ Eff.-Klasse 1!
- Der FU kostet etwa so viel wie der Motor.
- Der FU hat auch **Verluste**:
die Einsparungen
müssen grösser sein!
- **Die Optimierung ist anspruchsvoll.**
Es braucht in der Regel
gemessene Teillastdaten.



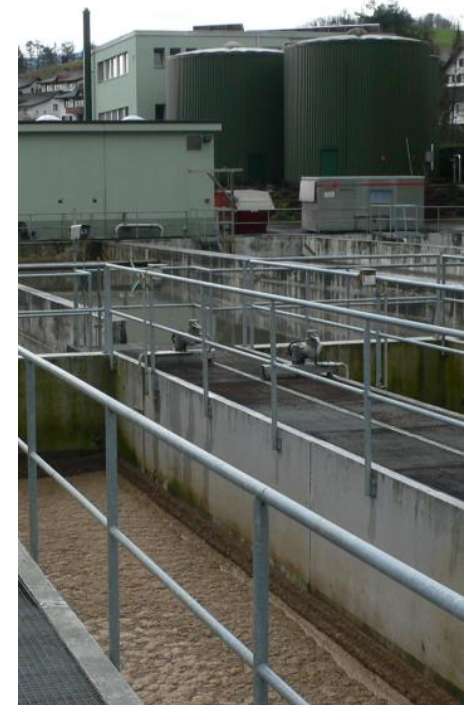
Effizienz bei offenen Systemen (Hebepumpen)

- Für den (meist kleinen) Anteil Strömungsverluste: wie für geschlossene Systeme
- Hebearbeit (Teil H_{geod}) ist unabhängig vom Volumenstrom ➤ **keine Einsparung durch FU**
- Verminderung der Hebearbeit u.U. durch bauliche Optimierung möglich (Gesamtsystem, frühe Planungsphase)

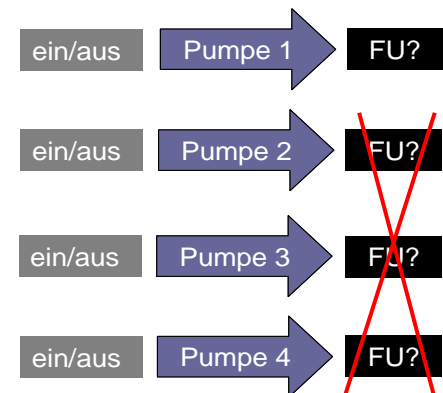


Praxisbeispiel: 4 parallele Hebepumpen in Kläranlage

- Förderaufgabe: Rohwasser vom Sammelbecken zu Vorklärbecken heben.
- Bauliche Optimierung: minimale Höhendifferenz!
- 4 parallele Pumpen, Redundanz erforderlich.
- Bei der Erneuerung wurden alle 4 Pumpen wurden mit FU ausgerüstet.
 - Sobald mehr als 1 Pumpe benötigt wird: FU bei max. Drehzahl, unnötige Verluste!
- Effizient: intelligente Folgeschaltung, evtl. 1 FU für den Feinabgleich, vor allem bei Niedrigwasser.

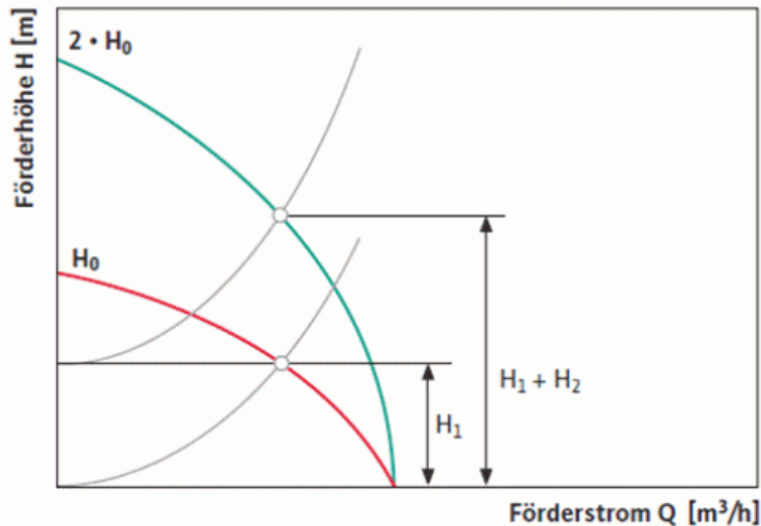
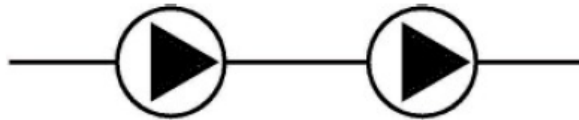


Folgeschaltung

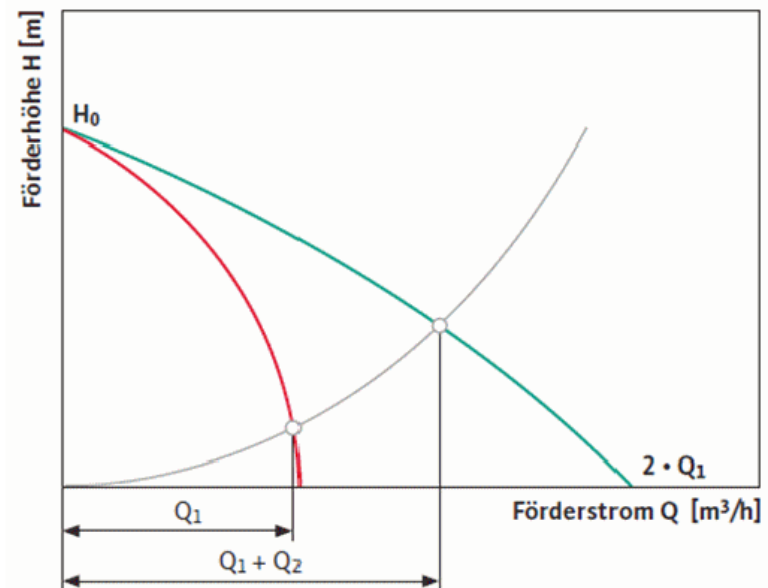
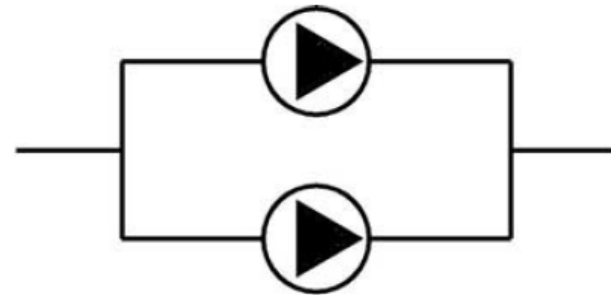


Pumpen in Serie- und Parallelschaltung

Serie: meist mehrstufige Pumpen in 1 Gehäuse



Parallel: häufig als Kaskade und für Redundanz



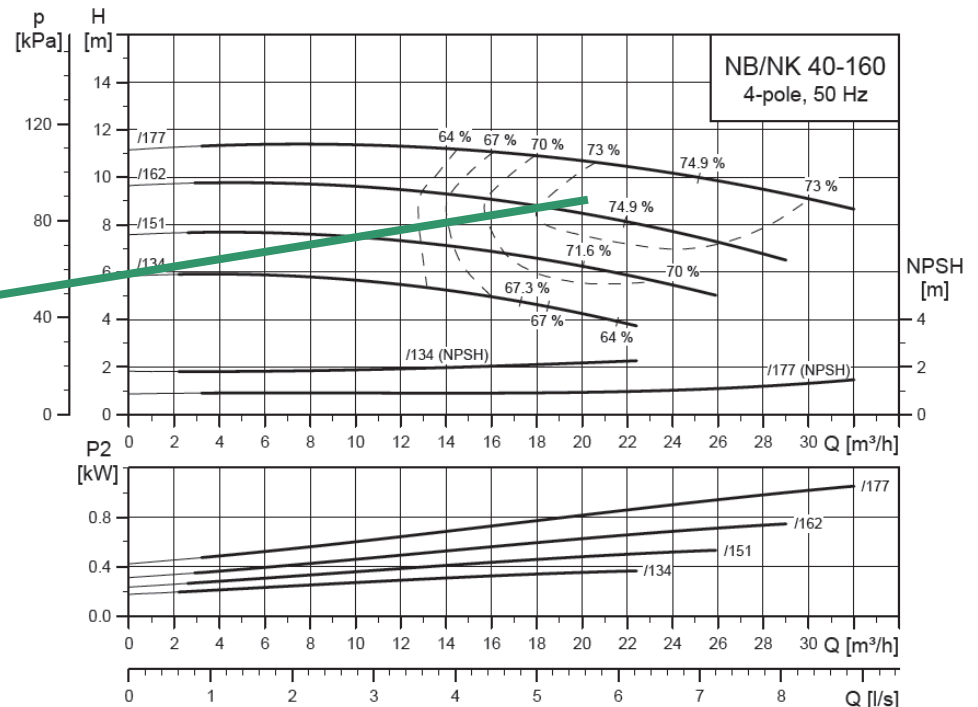
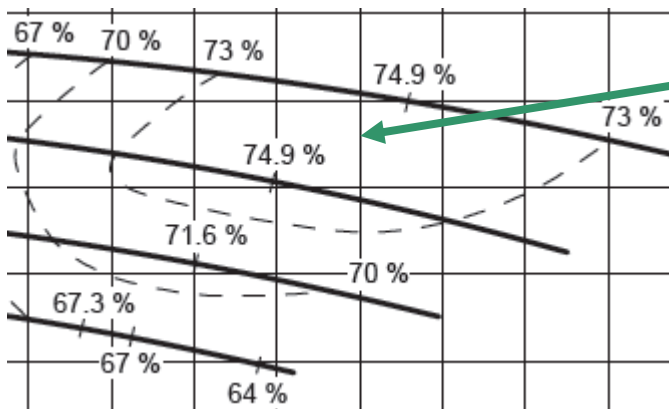
Energie = Leistung * Zeit

- Zeitmanagement ist auch bei Pumpensystemen ein Thema:
 - Leerlauf und zu lange Nachlaufzeiten etc. vermeiden (Betrieb ohne Nutzen)
- Optimierung des Gesamtsystems muss auch die Leitsystem-Programmierung umfassen



Wo ist Effizienz in Datenblättern zu finden?

- **Nassläufer:** **EEI** wird deklariert (EU-Richtlinie 641/2009 + Amend. 622/2012), auch in CH-Energieverordnung (seit 2011). **Vorschrift ab 8.2015: $EEI \leq 0,23$**
 - Berechnung von η aus Diagramm ($Q \cdot \Delta p / P1$) für Arbeitspunkte möglich.
- **Trockenläufer:** «Muschelkurven» in Diagrammen, Achtung: Motor-Wirkungsgrad kommt hinzu! ➤ IE4, IE3, η (FU) nicht vergessen!





Effizienzvorschriften für «Wasserpumpen»

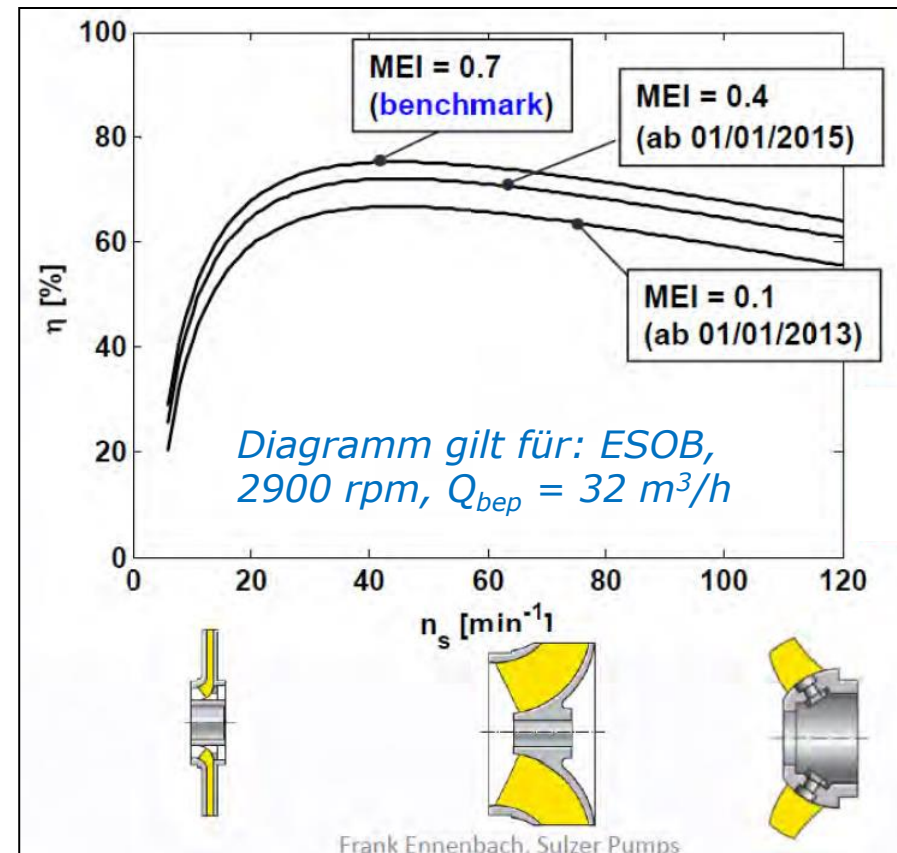
- Industrielle Pumpen: EU Nr. 547/2012 («Wasserpumpen», Trockenläufer), Mindesteffizienz-Werte (η min. im Bestpunkt Q_{bep}) in Funktion der Leistung, unterschiedlich für 5 Bauarten.

- Minimum Efficiency Index (Mindesteffizienzindex MEI): Komplexe Berechnung der η -Werte mit MEI, n_s und Q nach Pumpentyp.

- Anforderungen bei
 - Teillast 75% Q : $0.947 * \eta_{bep}$
 - Überlast 110% Q : $0.985 * \eta_{bep}$

➤ **Damit werden ineffiziente Produkte vom Markt ferngehalten**

➤ **Wichtig für Pumpen-Anbieter**



Effizienzoptimierung und (Re-) Dimensionierung von Pumpen

- Förder-Bedarf analysieren, Anlagekonzept optimieren (auch bei Ersatz):
 - Wozu dieser **Volumenstrom**? Was wären Nachteile bei weniger?
 - Zeitlich **variabler Bedarf**: wie kann er mit höchster Effizienz gedeckt werden? FU? Parallel-Pumpen? Speicher?
 - Weshalb die geforderte **Förderhöhe**: Strömungsverluste optimiert? Statischer Anteil? Durch bauliche Massnahmen zu vermindern?
- Berechnung des Einsparpotenzials von neuen Motoren/Pumpen, Drehzahlregelung, Betriebsoptimierung
- Viele Hersteller von FU, Motoren, Pumpensystemen bieten Tools an.
Neutrale Tools (Auswahl):
 - ProKilowatt-Rechenhilfe (in Erarbeitung, demnächst)
 - Motor Systems Tool V 2.13.17 (Topmotors)
 - Intelligente Motorenliste ILI+ V2.0 (Topmotors)
 - Standard Test Report STR, V2.0 (Topmotors)
 - ProEPA Grobanalyse-Tool (Swissmem, EnergieSchweiz)

Durch Messungen
können Arbeitspunkte
zuverlässig ermittelt
werden.

Messungen sind auch
als Tool-Inputdaten
sehr wertvoll.

Vorgehen bei bestehenden Anlagen

- «Never touch a running system»
... bedeutet in der Konsequenz Weiterbetrieb (und ggf. Reparatur) eines oft ineffizienten Systems bis es obsolet wird.
Die Energie- und Geldverschwendung kann enorm sein.
- Hinweise auf Ineffizienz lassen sich oft durch Analyse von Betriebsweise, Anforderungen und Datenblättern von Pumpe(n) und Motor erhalten.
- Sehr hilfreich kann ein Leitsystem sein, wenn Systemdaten abrufbar oder sogar registrierbar sind, z.B. P1 (oder Strom), Q, H. Auswertung mittels geeigneter Tools (s. unten).
- Eine Detailanalyse erfordert Messungen:
Verlauf von Förderstrom, Druck, elektr. Leistung und ev. weiterer Größen für typische Lastzustände (Datalogger).
Für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit komplexerer Massnahmen unabdingbar.

Elektr. Leistungsmessung mit Stromzangen



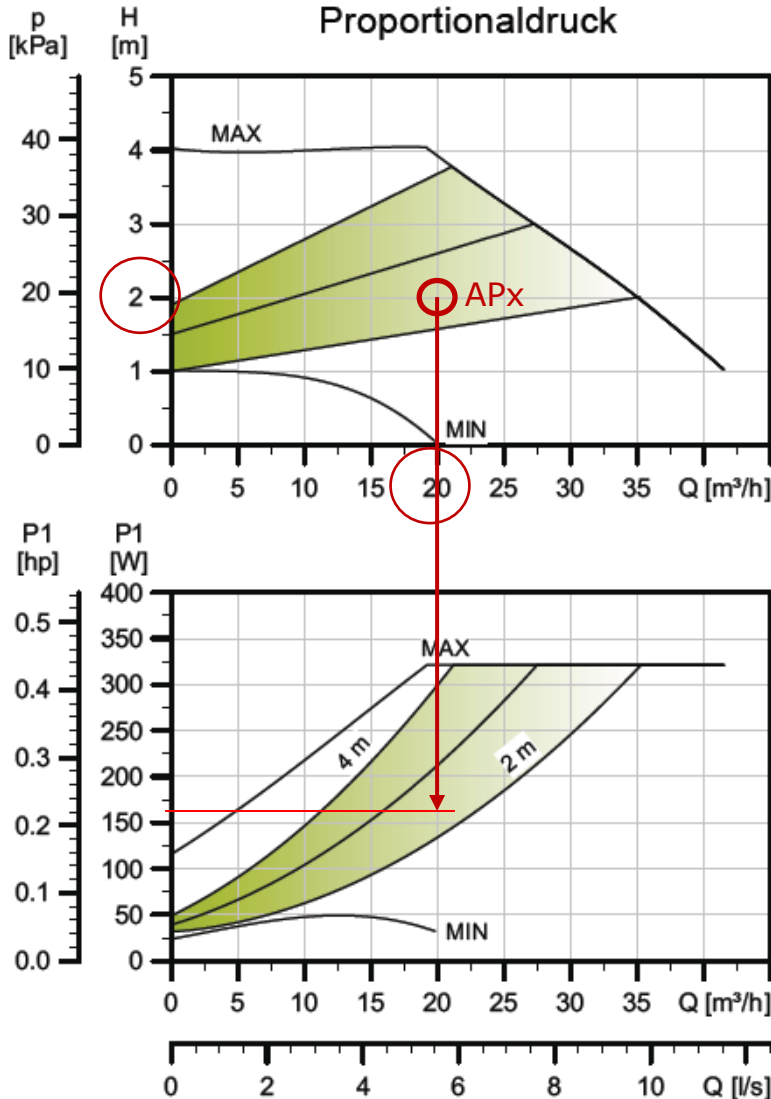
Merkmale

1. Anlage "hinter der Pumpe" optimieren (für kleinen Pumpaufwand)
2. Effiziente Pumpe wählen + effizienten Motor (Trockenläufer)
3. Steuerung/Regelung optimieren (FU...) inkl. Betriebszeiten
4. Monitoring (Sensoren) einbauen wenn gebaut wird ➤ Betriebsoptimierung

Viel Erfolg!

Wirkungsgrad Nassläufer aus Pumpendiagramm

Grundfos Magna3 80-40 F



- Wirkungsgrad berechnen für Arbeitspunkt APx:
- Elektrische Leistungsaufnahme P1 aus Diagramm unten: 165 W
- Nutzleistung (Output) = hydraulische Leistung P_{hyd} = Volumenstrom * Δp
- P_{hyd} in «Heizungs-Einheiten»: $[m^3/h * mWs] / 0,367 = [W]$
 $20 m^3/h * 2 m / 0,367 = 109 W$
- Wirkungsgrad $\eta = P_{\text{hyd}} / P1$
 $\eta = 109 / 165 = 66\%$
- Ein guter Wert?

Typologie der Radial-Kreiselpumpen, gemäss EU-Richtlinie 547/2012 (in EnV)

- Wasserpumpe mit axialem Eintritt, eigene Lagerung («Sockel») (ESOB, End Suction Own Bearing)
- Wasserpumpe mit axialem Eintritt, Blockausführung (ESCC, ... Close Coupled)
- Block-Wasserpumpe mit axialem Eintritt, Inlineausführung (ESCCi, ... inline)
- Mehrstufige vertikale Wasserpumpe (MS-V, Multistage Vertical)
- Mehrstufige Tauch-Wasserpumpe (MSS, Multistage Submersible)

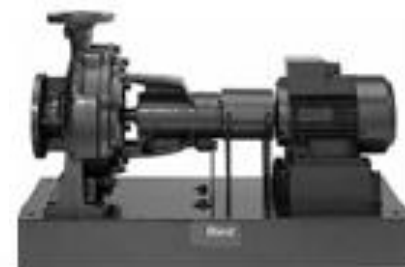


Bild ksb.com

Bilder: Hersteller-Kataloge (web)