

Energieeinsparung in der Hydraulik



Dipl.- Ing. Christoph Brandt
KLIMAhaus Klima- und Gebäudetechnik GmbH



Grundlagen

$$P_{\text{Welle}} = \frac{\rho \times g \times Q \times H}{\eta}$$

P_{Welle} = Leistung an der Welle [W]

ρ = Dichte des Mediums [kg/m³]

g = Erdbeschleunigung 9,81 [m/s²]

Q = Förderstrom in [m³/s]

H = Förderhöhe

η = Pumpenwirkungsgrad

Förderstrom

$$\dot{Q}(\dot{V}) = \frac{\text{Leistung [kW]} \times 3600 \text{ s/h}}{\rho \times c \times \Delta t} \left[\frac{\text{l}}{\text{h}} \right]$$

ρ = Dichte, z.B. Wasser = 1 kg/m³

c = spez. Wärmekapazität, z.B. Wasser 4,19 $\frac{\text{KJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

Δt = Temperaturdifferenz in [K]

Förderhöhe

$$H = H_{geo} + H_V$$

H_{geo} = geod. Höhenunterschied zwischen Austritt und Eintritt

H_V = Druckverluste durch Rohrreibung, Armaturen, Apparate, ...

Förderhöhe

Druckverlust durch Rohrreibung

$$\Delta_{p, R \times l} = \frac{\lambda \times l \times \rho \times v^2}{d_i \times 2}$$

λ	=	Rohrreibungszahl [-]
l	=	Rohrlänge [m]
v	=	Strömungsgeschwindigkeit [m/s]
d_i	=	Rohrinnendurchmesser

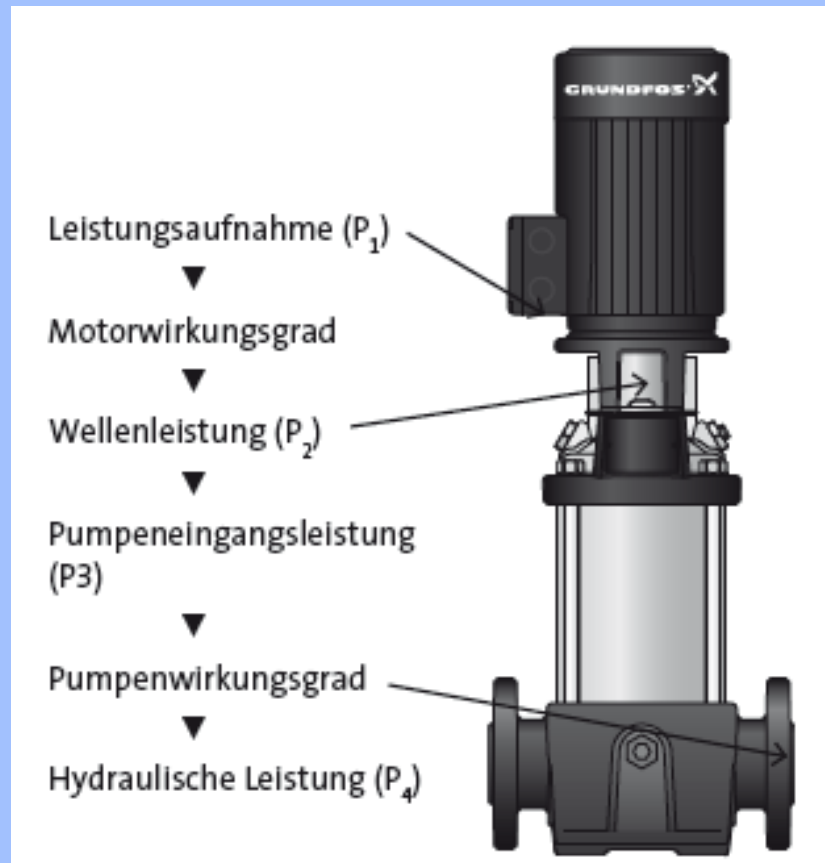
Förderhöhe

Druckverlust von Armaturen, Formstücken, ...

$$\Delta_{\rho, \zeta} = \frac{\zeta \times \rho \times v^2}{2}$$

ζ = Zetawert Armatur, ...

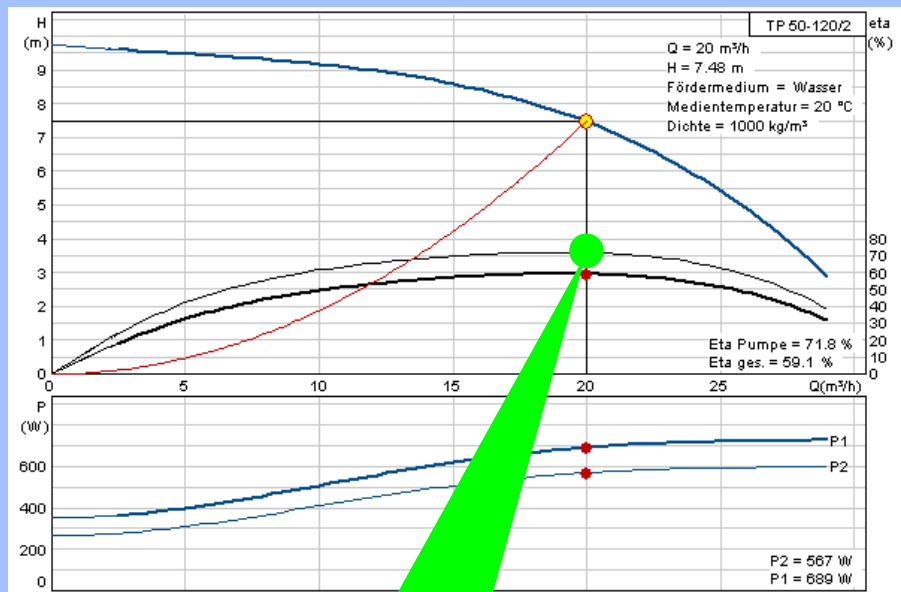
Wirkungsgrad



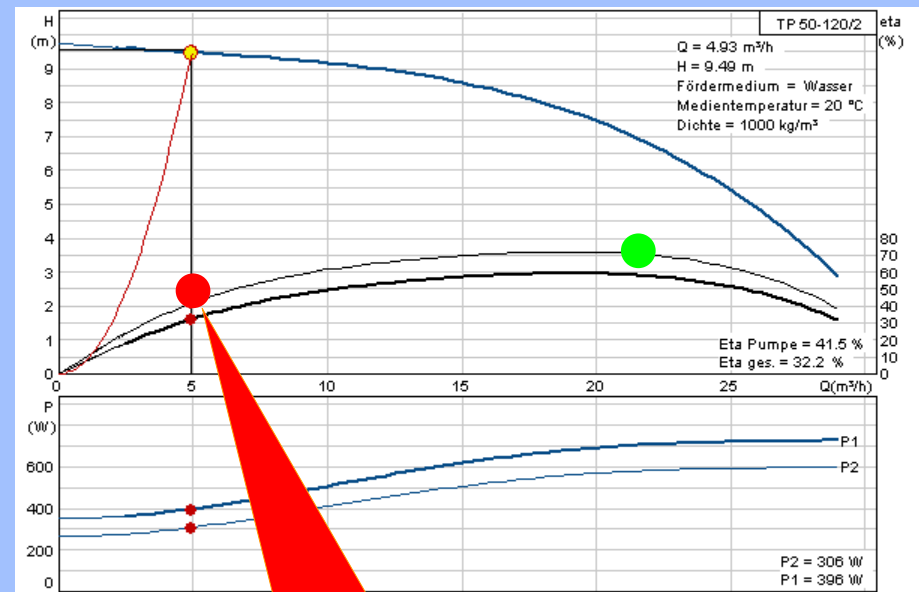
$$\text{Wirkungsgrad } \eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

Wirkungsgrad - Kennfeld

Betrieb der Pumpe möglichst „in der Nähe“ des Wirkungsgrad-Bestpunktes !



**Pumpen-Wirkungsgrad
am Wirkungsgrad-
Bestpunkt:
71,8 %**



**Pumpenwirkungsgrad am
Betriebspunkt
41,5 %**

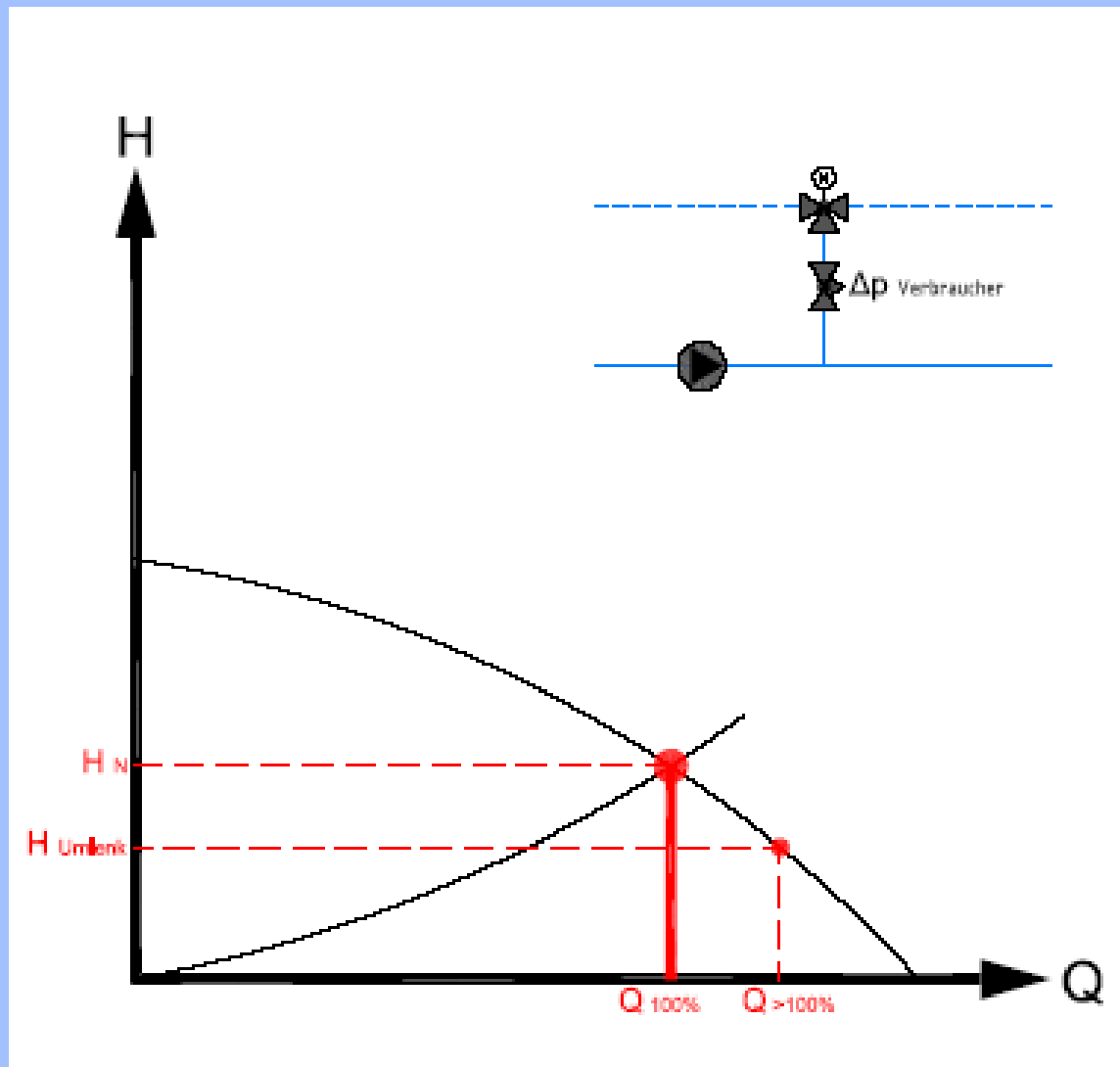
Wirkungsgrad Pumpenbauart

Bewertung anhand von Effizienz-Klassifizierungen:

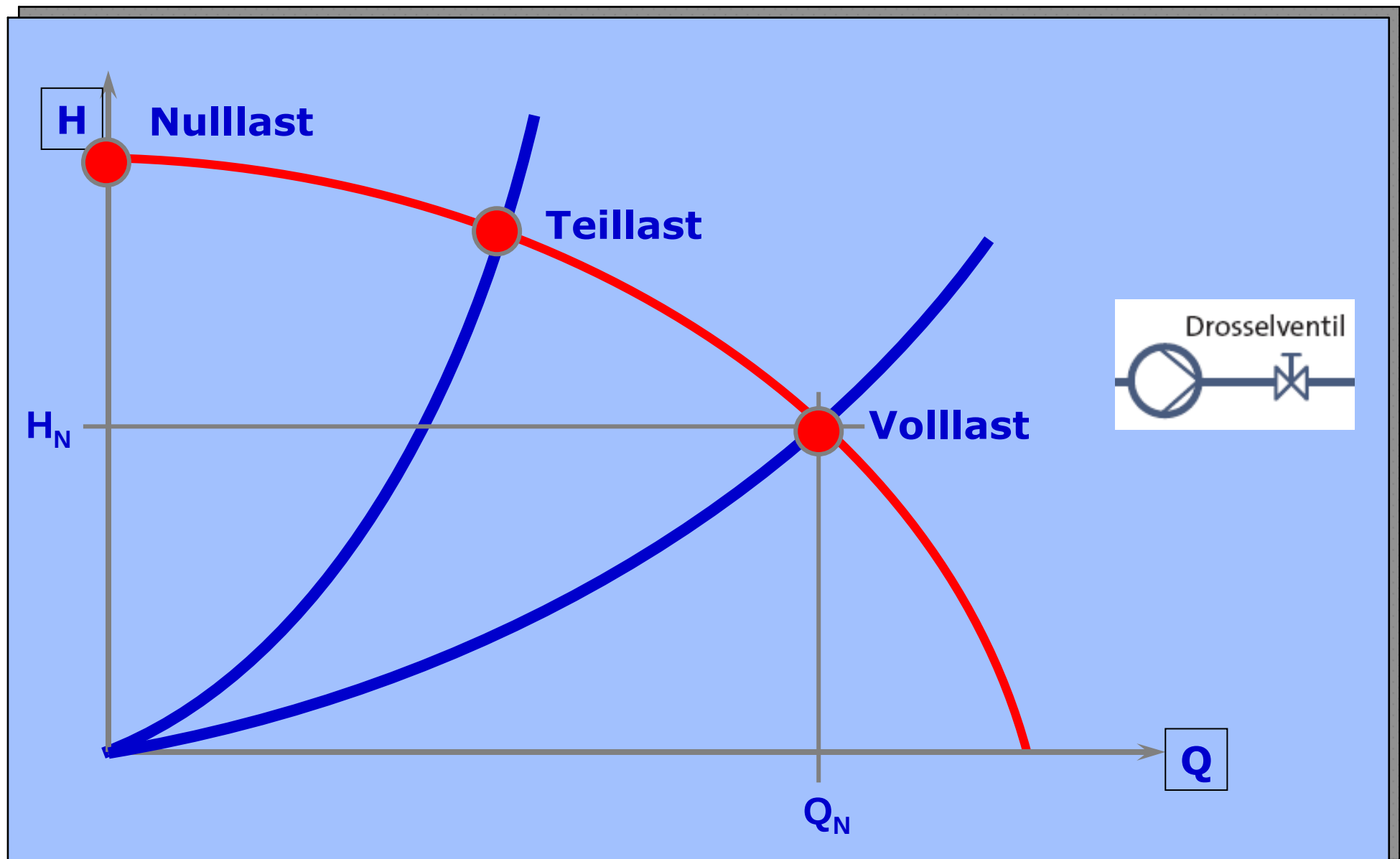
Energieeffizienz-Index („A-Label“) und
Energieeffizienz-Klasse („EFF1“)



Betriebspunkt Umlenkschaltung



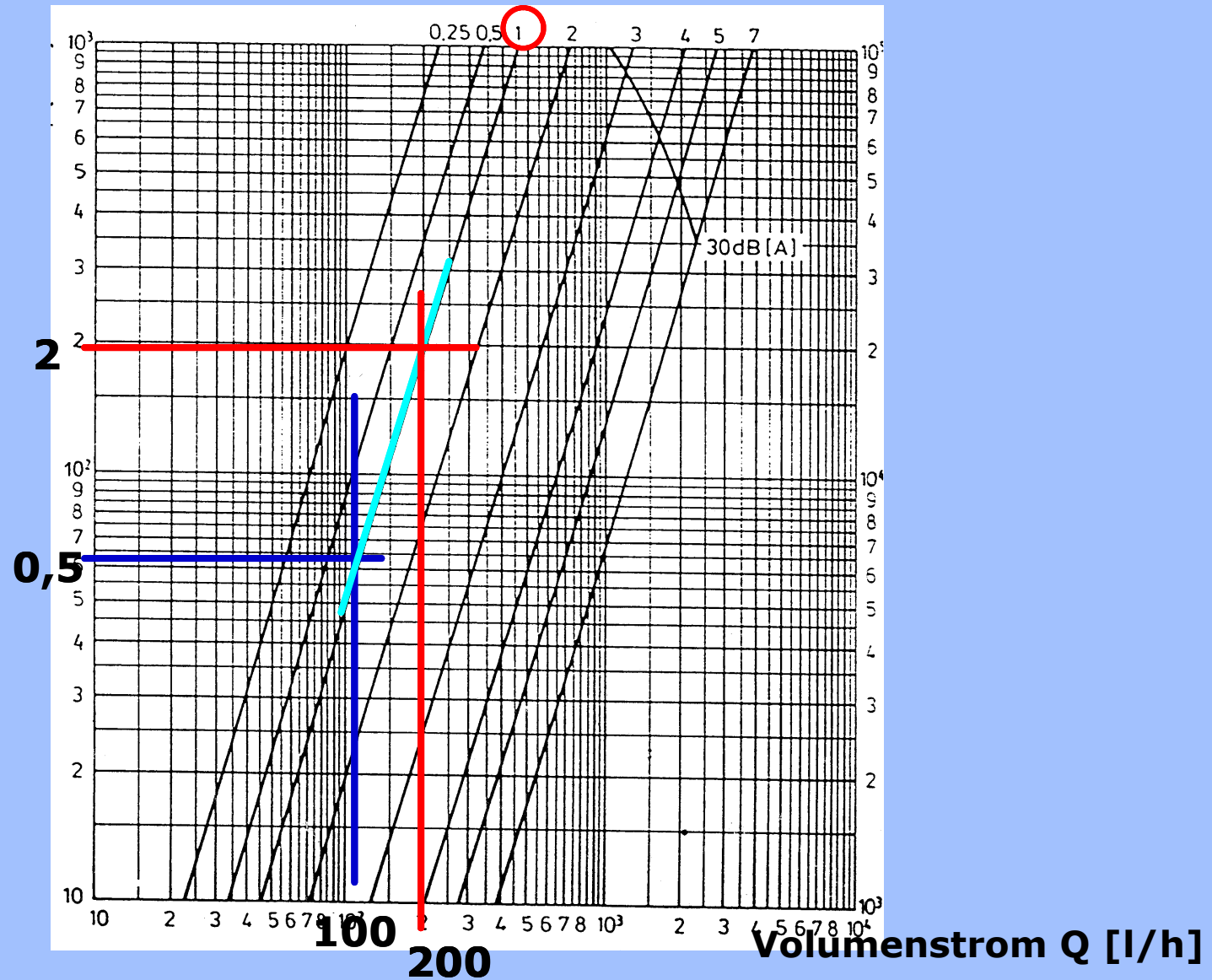
Betriebspunkt Drosselschaltung



Hydraulischer Abgleich Drosselschaltung

$$\frac{Q}{Q_N} = \left(\frac{H}{H_N} \right)^2$$

Druckverlust Δp [mbar]

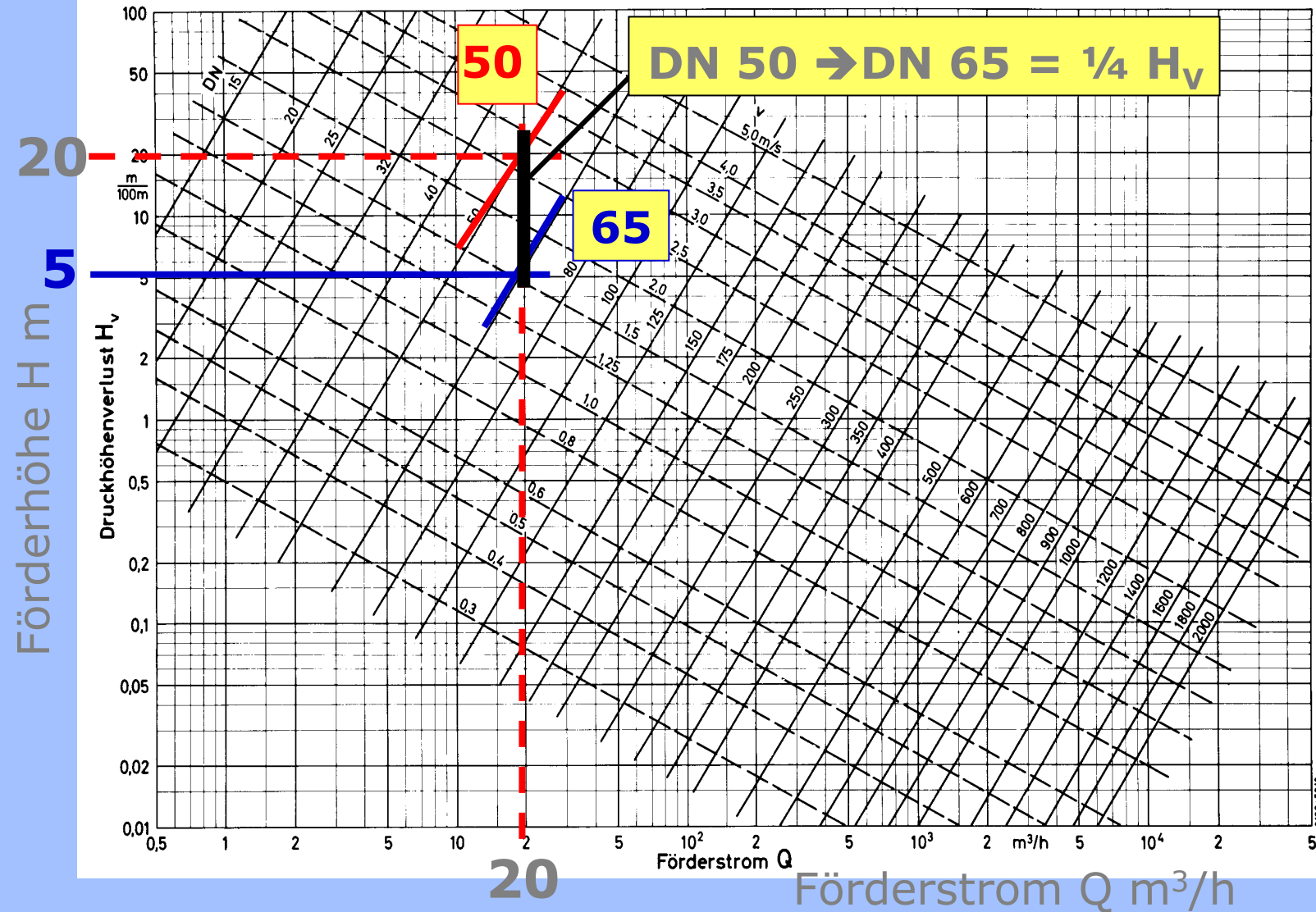


Hydraulischer Abgleich

Strangreguliertventile können nur den max. Volumenstrom im Auslegungsfall begrenzen.

⇒ Für variable Wassermengen sind Differenzdruckregler notwendig.

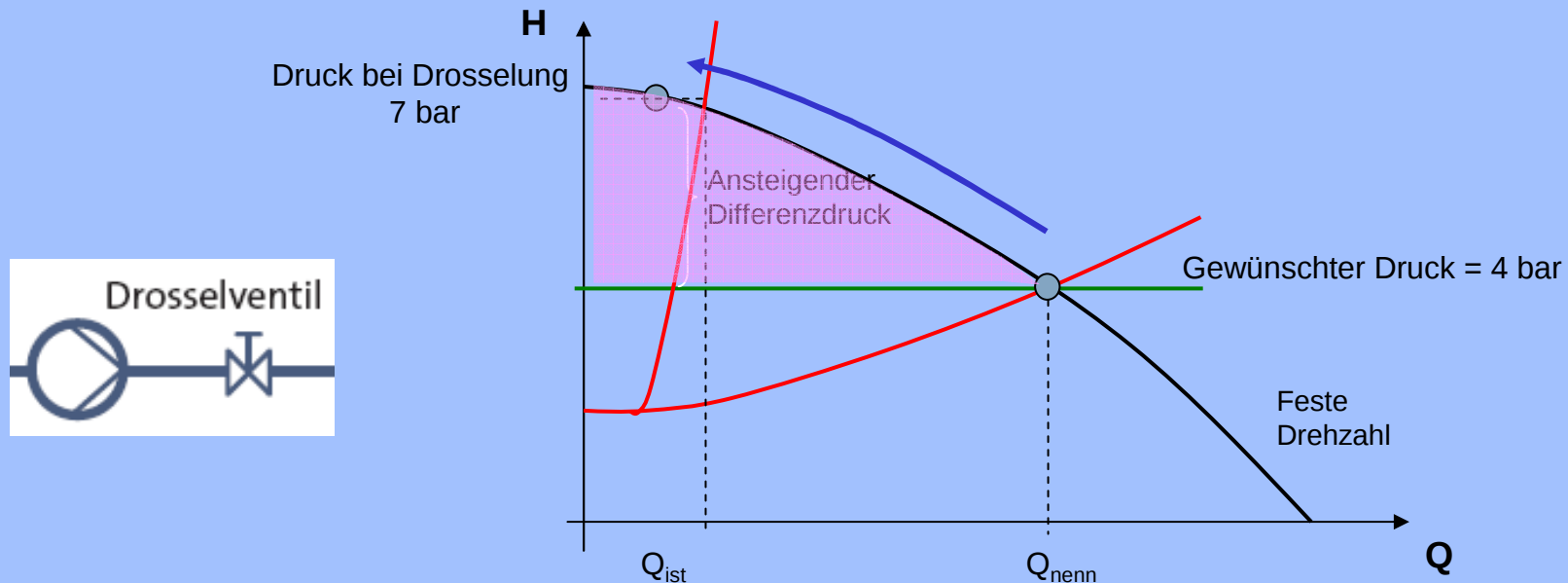
Druckhöhenverlust-Diagramm Rohrleitung



Einsatz regelbarer Pumpen

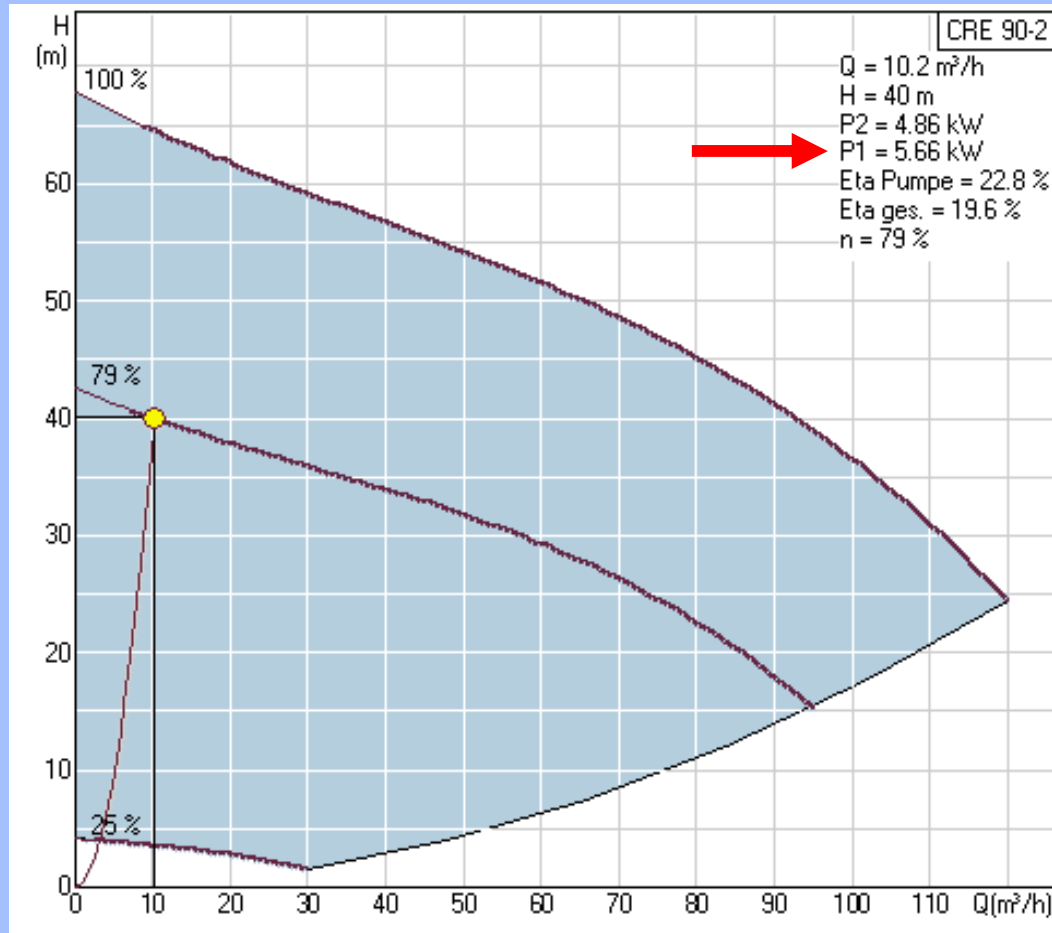
Das Einsparpotenzial

$$P = Q * H * \rho * g$$



Einsatz regelbarer Pumpen

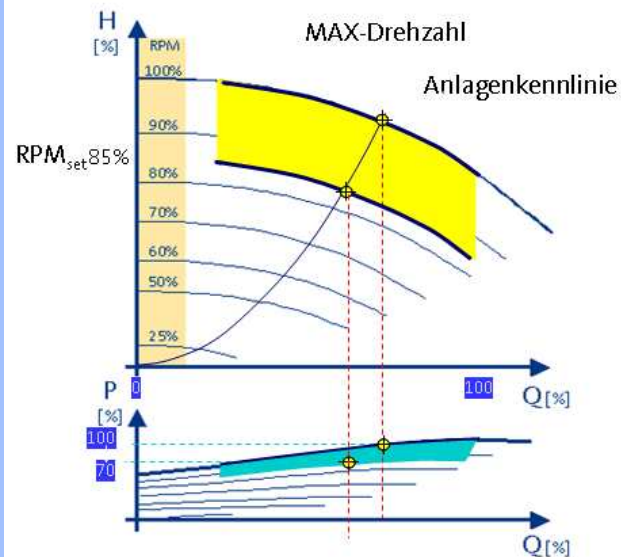
Konstantdruckregelung



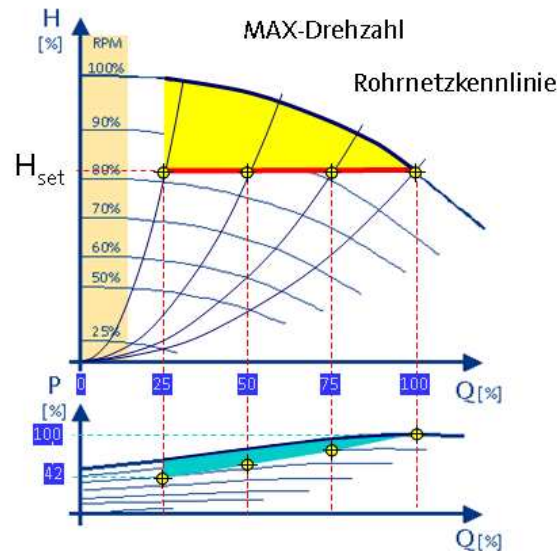
Leistungsanpassung P_1 : 5.0 kW bis 15 kW

Einsatz regelbarer Pumpen

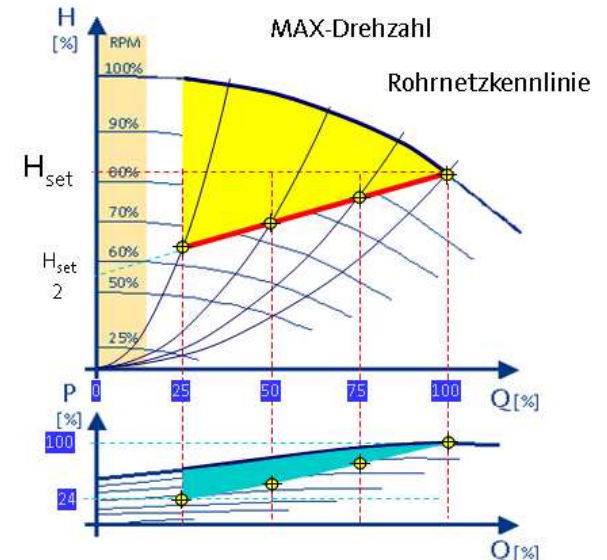
Konstantkennlinie



Konstantdruckregelung



Proportionaldruckregelung



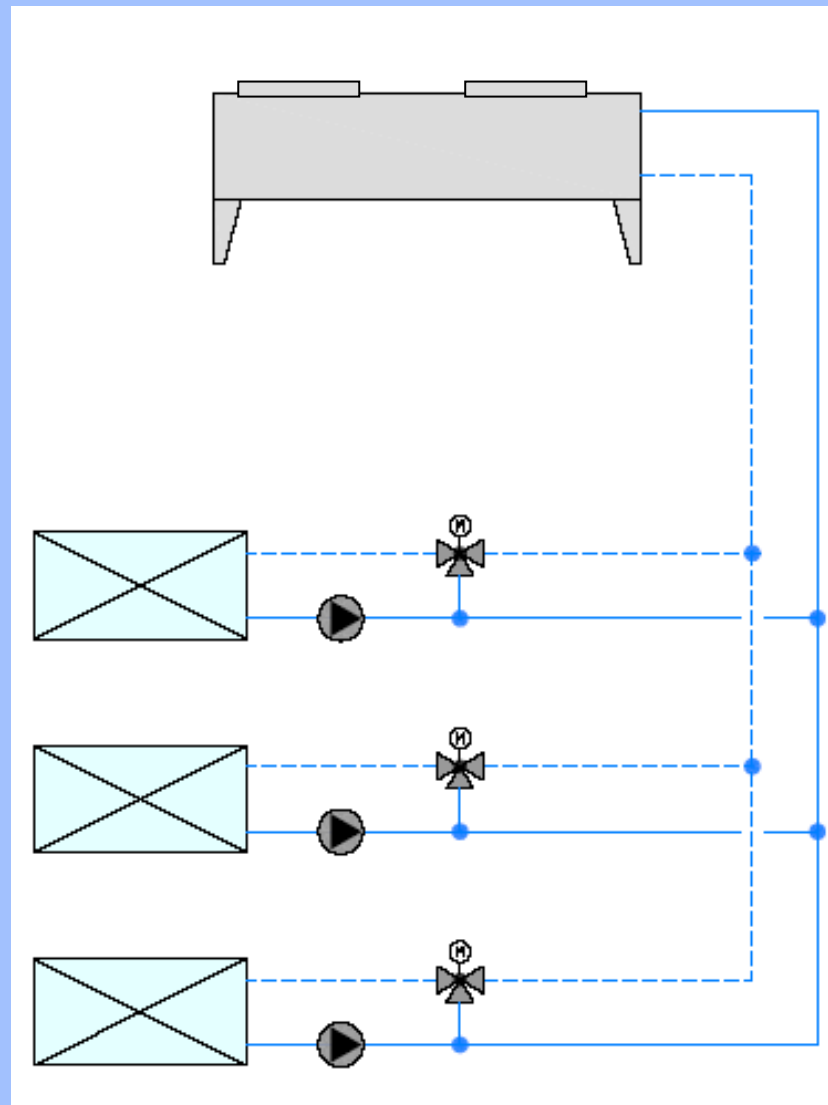
Praxisbeispiel Bestandsanlage

Rückkühlung

KM 3

KM 2

KM 1



Praxisbeispiel Bestandsanlage

Rückkühlung

$$\dot{Q}_{Kond} = 430 \text{ KW (x 3)}$$

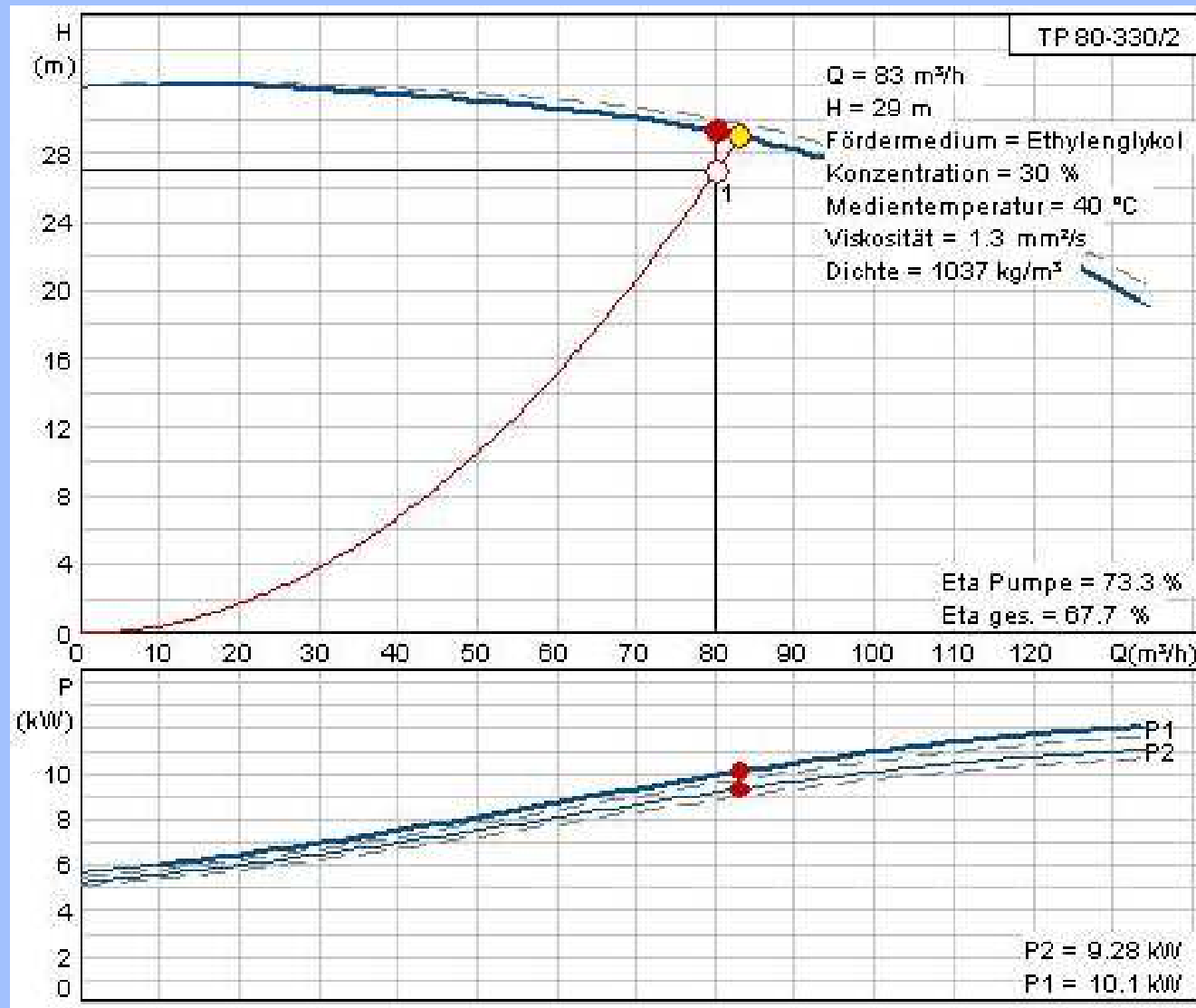
$$\Delta t_{Kühlwasser} = 40 / 45 \text{ °C}$$

$$\dot{V} = 80 \text{ m}^3/\text{h (x 3)}$$

$$\text{Rohrlänge} = 100 \text{ m}$$

$$H_{Pumpe} = 27 \text{ m}$$

Praxisbeispiel Bestandsanlage

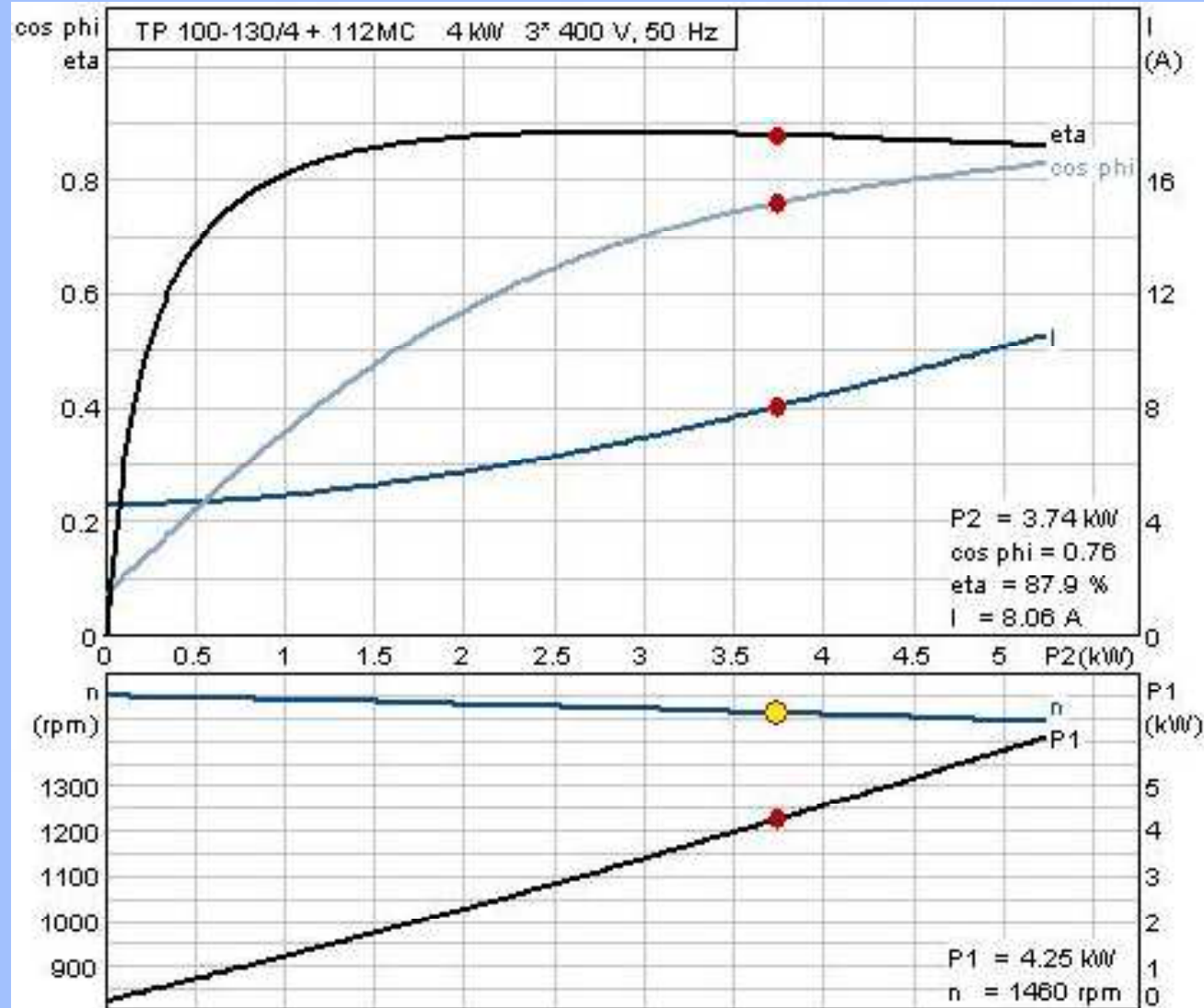


Praxisbeispiel Bestandsanlage mit Neuauslegung

Druckverluste

 Kondensator	35	KPa
 Umlenkventil	15	KPa
 Schmutzfänger, Ventile, Formteile	8	KPa
 R x l	8	KPa
 Rückkühler	30	KPa
96		KPa ~ 10 m

Praxisbeispiel Bestandsanlage mit Neuauslegung



Praxisbeispiel vorher / nachher

Energieverbrauch Rückkühlpumpe

	alt	neu	
Motorleistung	10,1	4,25	kW
Betriebsstunden	14.890	14.890	h
Stromverbrauch	150.389	63.282	kWh
Einsparung		-87.106	kWh
LCC	280.197	99.537	€/15a

Praxisbeispiel Bestandsanlage

Kaltwasser

Gesamtleistung: 1.000 kW

Pumpe: Trockenläuferpumpe
als Konstantläufer

Hydraulik: Umlenkschaltung,
Bypässe einreguliert

Förderhöhe: 14 m

Praxisbeispiel Bestandsanlage Neuplanung

Gesamtkälteleistung:	1.000 kW
Pumpe:	Trockenläuferpumpe mit Differenzdruckregelung Proportionaldruckregelung
Hydraulik:	Austausch 3-Wege gegen Drosselventile mit integrierter Differenz- druckregelung Puffer als hydr. Weiche
Förderhöhe:	14 m (Auslegung)

Praxisbeispiel Bestandsanlage vorher / nachher

Energieverbrauch Kaltwasserpumpe

	alt	neu	
Wellenleistung	8,79	7,39	kW
Lastprofil	100 %	100 %	40 h
		75 %	2.433 h
		50 %	5.353 h
		25 %	934 h
Stromverbrauch Welle	83.101	34.357	kWh
Einsparung		-48.745	kWh
LCC	291.346	125.630	€/15a

Fazit

-  Rohrdimensionen für ca. 80 Pa/m bemessen
-  Einzelwiderstände minimieren, üblicherweise reichen Ventilautoritäten $\ll 1$ (außer Präzisionsanlagen)
⇒ Druckverluste Motorventile $\sim 10 \dots 15$ KPa
-  Spreizung möglichst groß wählen
-  Pumpen nicht überdimensionieren
-  Bei variablen Leistungen geregelte Pumpen einsetzen
-  Drossel- statt Umlenkschaltungen
-  Hydraulischen Abgleich beachten



**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit**