Pumpenauslegung unter Effizienzgesichtspunkten schwerpunktmäßig:

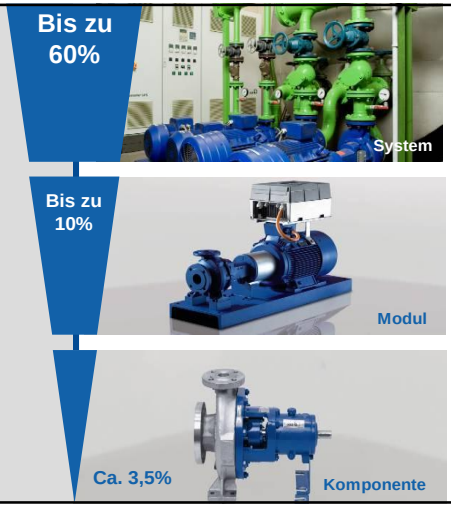
- Analyse von Bestandssystemen / Hinweise
- Aspekte zur Pumpenauslegung
- Neue Normen & Trends in der Antriebsgestaltung von Kreiselpumpen
- 2 Aspekte zur Regelung von Kältekreislaufpumpen
  die hydraulisch optimale
  & etaoptimale Regelung von Kreiselpumpen

Automation und Antriebstechnik
Martin Bartels

Energy Efficiency by KSB

Die Analyse des Systems

- Übersicht Einsparpotenziale
- KSB System Effizienz Service®
- KSB PumpMeter
- Anlagenbegehungen



Analyse des Systems

Übersicht der möglichen Einsparpotenziale

- KSB-Berater betrachten immer das gesamte hydraulische System um die maximalen Einspar-potenziale zu heben.

Analyse des Systems

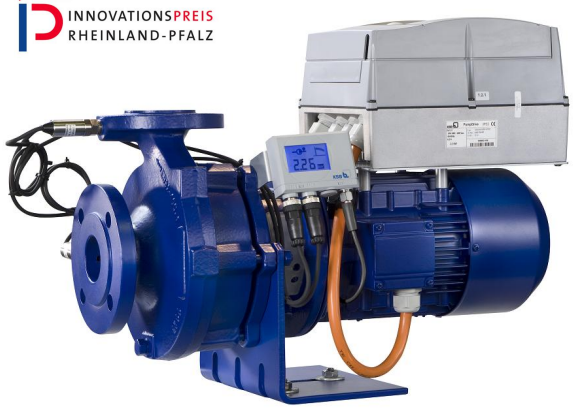
Der System Effizienz Service der KSB

- führt Anlagenbegehungen durch
- erstellt Analysen
- schlägt Maßnahmen zur Reduktion von Energie- und Instandhaltungskosten vor
- führt diese durch
- und überprüft durch Messung deren Erfolg

Analyse des Systems
KSB PumpMeter

…steigert durch mehr Transparenz die Verfügbarkeit und hilft Energiesparpotenziale aufzuzeigen.

INNOVATIONSPREIS RHEINLAND-PFALZ



Analyse des Systems
KSB PumpMeter

- **Messung Saugdruck**
- **Messung Enddruck**
- **Berechnung Differenzdruck**
- **Berechnung Betriebspunkt**
- **Vorortanzeige**
- **Analogausgang**

INNOVATIONSPREIS RHEINLAND-PFALZ

Analyse des Systems
KSB PumpMeter

- **Messung Saugdruck**
- **Messung Enddruck**
- **Berechnung Differenzdruck**
- **Berechnung Betriebspunkt**
- **Vorortanzeige**
- **Analogausgang**

Analyse des Systems
KSB PumpMeter

- Intelligenter Druckaufnehmer
- Vor-Ort-Anzeige von Betriebsdaten der Pumpe
- werksseitig montiert
- auf individuelle Pumpe parametriert
- zeichnet das Lastprofil der Pumpe auf
- zeigt Optimierungspotenziale auf, zur Steigerung von Verfügbarkeit und Energieeffizienz

EFF

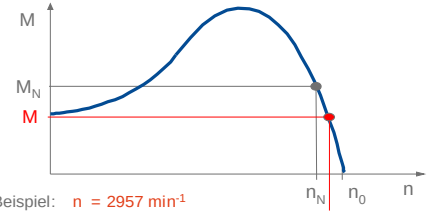
Analyse des Systems

KSB PumpMeter

- Auslesen des Lastprofils

PumpMeter bestimmt die Wellenleistung
aus der Drehklangfrequenz des Asynchronmotors

Drehzahl-Drehmoment-Abhängigkeit
des Asynchronmotors



Beispiel: n = 2957 min^{-1}
n_0 = 3000 min^{-1}
n_N = 2940 min^{-1}
M_N = 35,7 Nm → P_N = 11 kW
M = 26,0 Nm → P = 8,0 kW

Betriebspunktbestimmung aus 2 gemessenen Drücken

$$d_{Bl} = f \cdot \sqrt{Q/\sqrt{g \cdot \Delta H}}$$

Analyse des Systems

Anlagenbegehungen

einfache ABC Analysen
durch Ihre KSB Berater

Quantifizieren und Qualifizieren von energetischen Defiziten in Bestandsanlagen

1. Drosselverluste

Analyse des Systems

Anlagenbegehungen

einfache ABC Analyse
durch Ihre KSB Berater

Quantifizieren und Qualifizieren von energetischen Defiziten in Bestandsanlagen

2. Druck Bypaß Regelungen

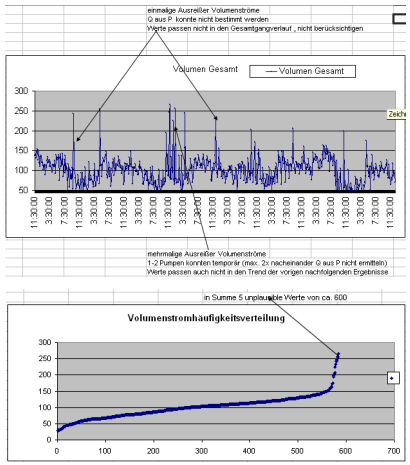
Analyse des Systems

Anlagenbegehungen

einfache ABC Analyse
durch Ihre KSB Berater

Quantifizieren und Qualifizieren von energetischen Defiziten in Bestandsanlagen

3. Fehler im Anlagenaufbau beispielhaft: Druckanschlüsse



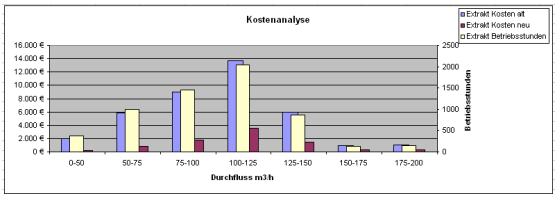
Analyse des Systems

Anlagenbegehungen

einfache ABC Analyse
durch Ihre KSB Berater

Quantifizieren und Qualifizieren von energetischen Defiziten in Bestandsanlagen

Zusätzliche Auswertemöglichkeit aus dem Pumpmeter



Analyse des Systems

Anlagenbegehungen

einfache ABC Analyse
durch Ihre KSB Berater

Quantifizieren und Qualifizieren von energetischen Defiziten in Bestandsanlagen

zusätzliche Auswertemöglichkeit aus dem Pumpmeter

Energy Efficiency by KSB

Die Auslegung

- Kriterien
- Ziel
- KSB EasySelect®
- LCC-Rechner

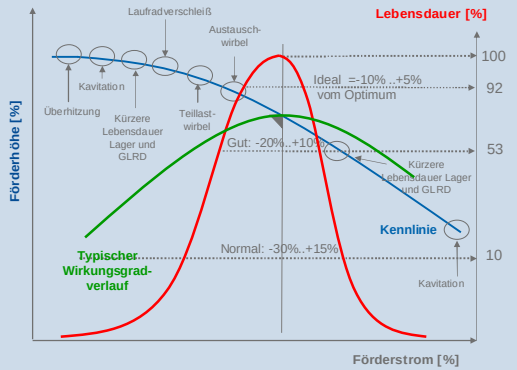
Auslegungskriterien

3. System-Ebene (Anlagen-Ebene)	▪ Anlagen-Verfügbarkeit ▪ Energieeffizienz ▪ Verfahrenstechnische Aufgabenstellung	
2. Modul-Ebene (Produkt-Ebene)	▪ Föderstrom ▪ Förderhöhe ▪ NPSH ▪ Drehzahl	▪ Medium ▪ Temperatur ▪ Bedingungen am Einsatzort ▪ Vorschriften, Regelwerke
1. Komponenten-Ebene	▪ Wirkungsgrade ▪ Lebensdauer	**Schwerpunkt**

Weitere Auslegungskriterien

Die Schnittstellen

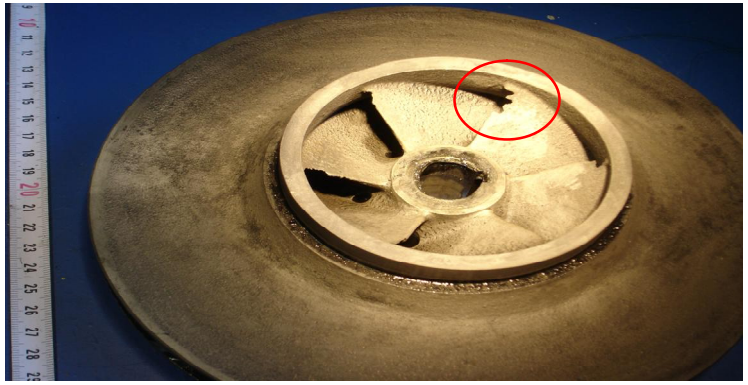
- Netzanschluss
- Druckstufe
- Nennweite der Rohrleitungen
- Befehls- und Meldesignale
- IT-Schnittstelle
- …



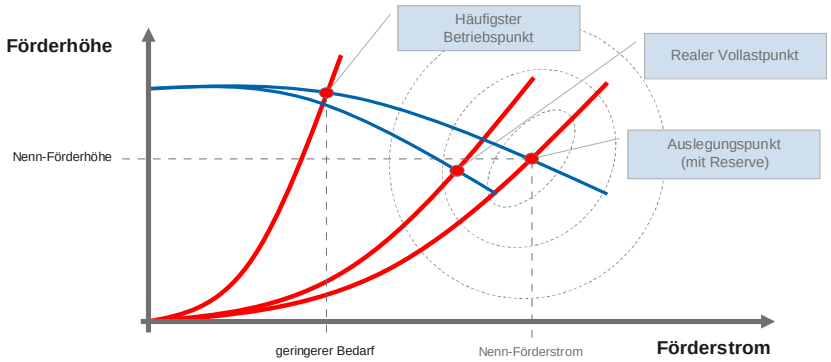
Quelle: nach Judy Hodgson (Du Pont): "Predicting Maintenance Costs Accurately", Pumps & Systems, April 2004

Die Auslegung
Betrieb im Optimum spart Energie und erhöht die Lebensdauer

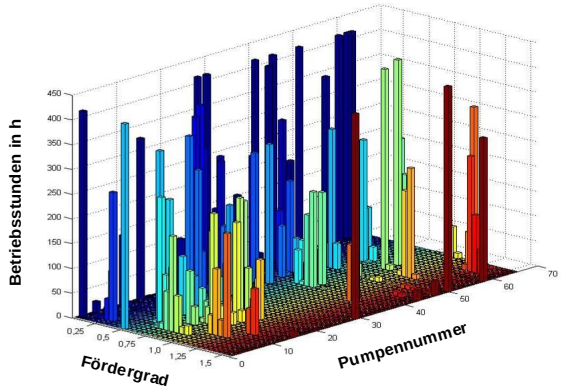
Folgen von Kavitation



Überdimensionierung und Teillastbetrieb



Nur wenige Pumpen werden im Optimum betrieben

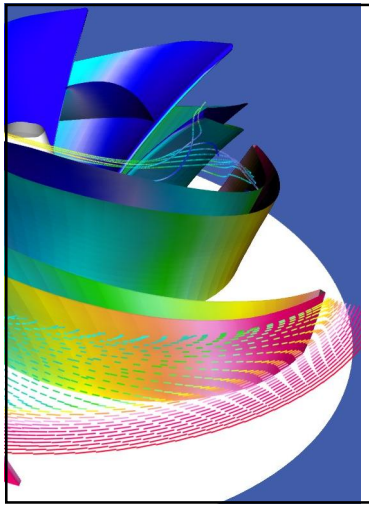


Quelle: Forschungsprojekt ReMain, 65 Pumpen, 21.05. – 10.06.2009

Auslegung

KSB EasySelect® für Pumpen und Armaturen

- Nutzerfreundliches Tool mit intuitiver Schritt-für-Schritt-Bedienung
- Anwendungsorientierte Auslegung nach Kunden-Vorgaben

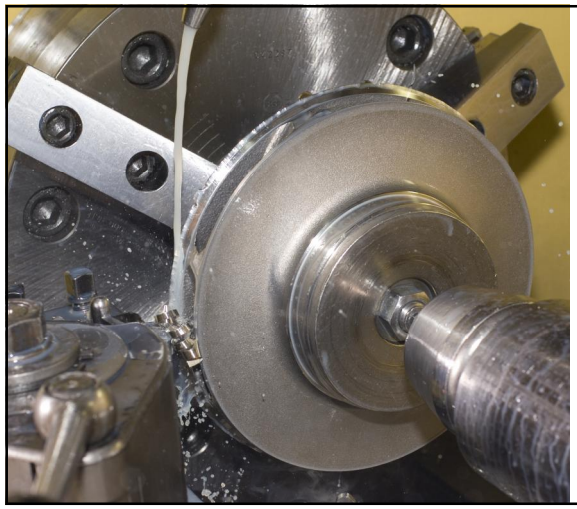


Hocheffiziente Hydraulik

Wirkungsgrad von Pumpen

Der **Pumpenwirkungsgrad** ist u.a. abhängig von:

- Konstruktion von Gehäuse, Laufrad und Lagerung
- Werkstoffen, Oberflächenbeschaffenheit
- Dimensionen, Hauptabmessungen und Drehzahl
- Medium

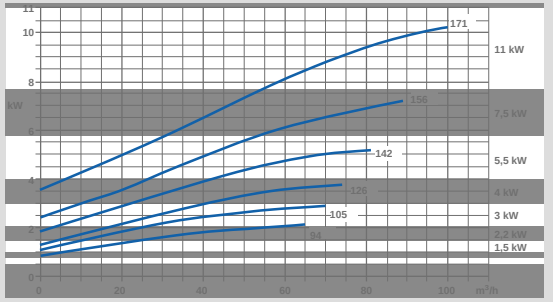


Hocheffiziente Hydraulik

Standard bei KSB
Exakt angepasste Laufräder

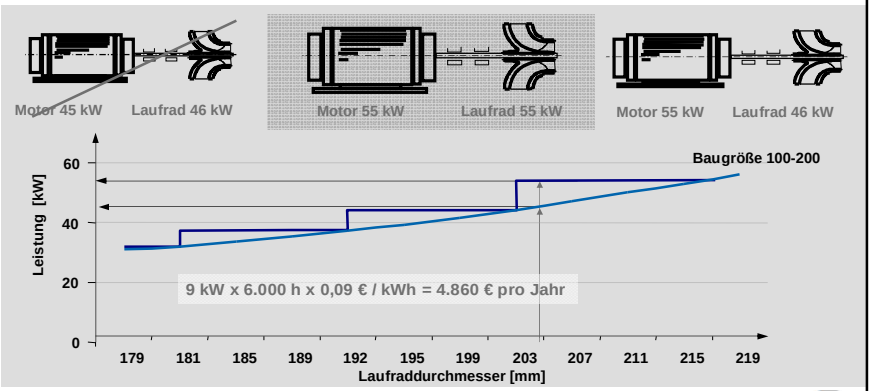
Einsparpotenzial durch das Abdrehen von Laufrädern

Das Abdrehen des Laufrads verringert den Wellenleistungsbedarf und damit manchmal sogar die Motorbaugröße

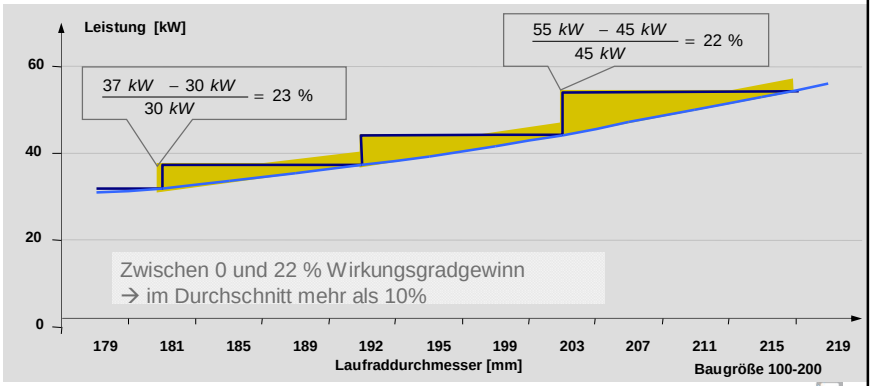


Beispiel: Etaline 65-160

KSB liefert die Pumpe auf den Punkt



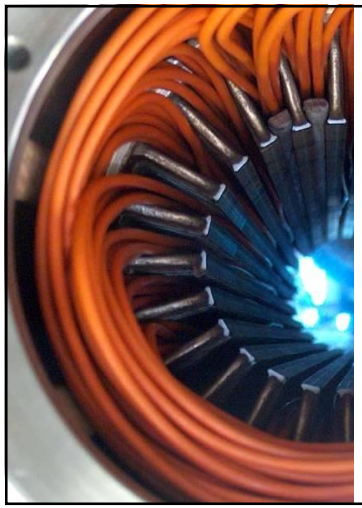
Abgedrehte Laufräder sparen im Durchschnitt 10% Leistung



Energy Efficiency by KSB

Die hocheffizienten Antriebe

- Neue Normen
- IE2-Motoren im Standard
- IE3-Asynchronmotoren
- Hocheffiziente Tauchmotorpumpen
- KSB-SuPremE Motoren

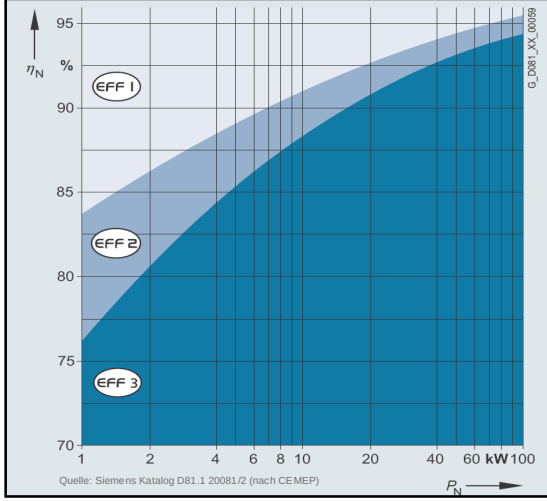


Wirkungsgrad von Motoren

Der **Motorwirkungsgrad** ist u.a. abhängig von:

- Baugröße und Bauart
- Güte und Menge der aktiven Materialien
- Läuferausführung und Luftspalt
- Gesamtkonzeption

Neben den Asynchronmotoren kommt neuen Antriebskonzepten zunehmend Bedeutung zu.

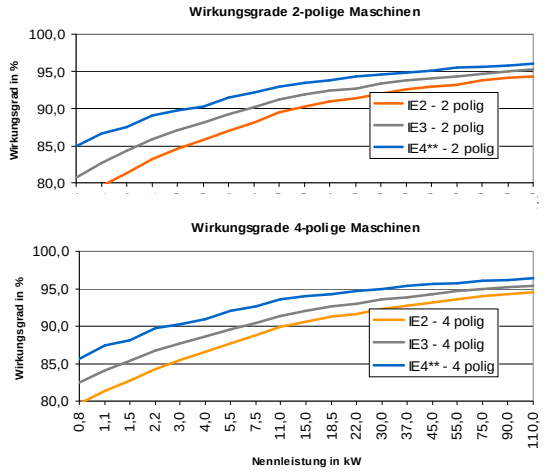


Quelle: Siemens Katalog D81.1 20081/2 (nach CEMEP)

Effizienzklassen von Elektromotoren bis 2009

2- und 4-polige IEC-Normmotoren in der Leistung von 1,1kW bis 90kW werden nach ihrem Wirkungsgrad in Effizienz-klassen eingeteilt.

EFF1: Hocheffiziente Motoren
EFF2: Wirkungsgradverbesserte Motoren
EFF3: heute bedeutungslos

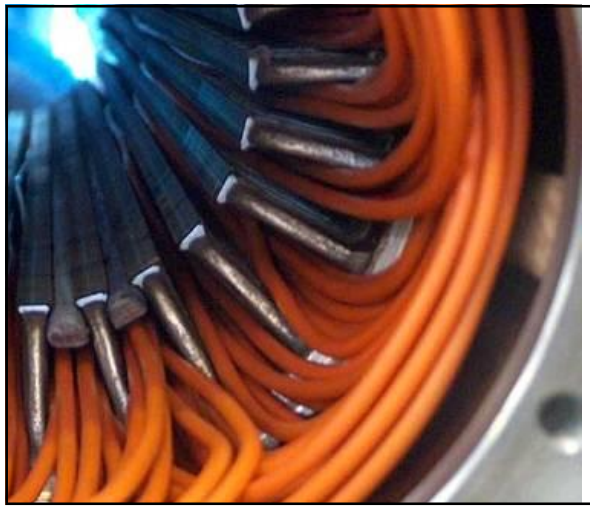


Hocheffiziente Antriebe

Neue Definitionen von Mindest-wirkungsgraden für Elektromotoren

- (IE1 gem. IEC 60034-30)
- IE2 gem. IEC 60034-30
- IE3 gem. IEC 60034-30

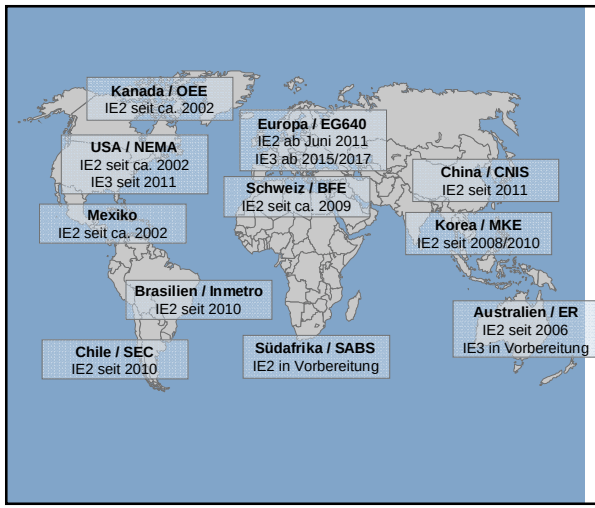
- **IE4 gem. IEC/TS 60034-31 Ed. 1, 2010-4



Hocheffiziente Antriebe

EG 640/2009 (EuP-Richtlinie)

- Ab Juni 2011 ab 0,75 kW
  Mindestens IE2
- Ab Jan 2015 ab 7,5 kW:
  Mindestens IE3
  oder IE2 + Drehzahlregelung
- Ab Jan 2017 ab 0,75 kW:
  Mindestens IE3
  oder IE2 + Drehzahlregelung

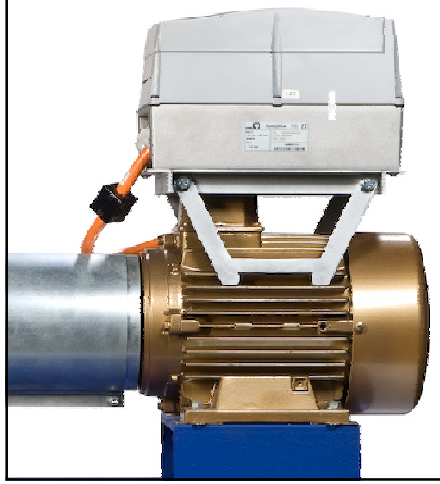


Hocheffiziente Antriebe

Internationale Richtlinien

Quelle:

ZVEI: Automation

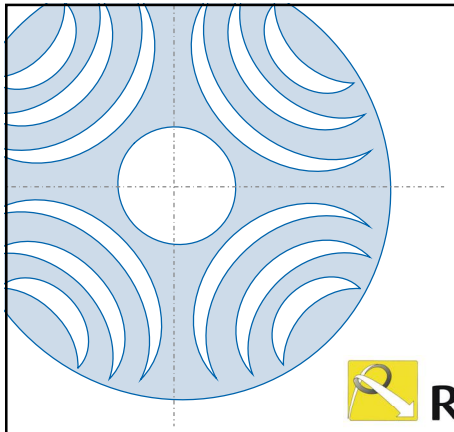


Hocheffiziente Antriebe

KSB SuPremE-Motor

- Synchron-Reluktanzmotor
- Rotor mit Flusssperrenschnitt
- Magnetfrei
  - – Materialverfügbarkeit ✓
  - – Ressourcenschonend ✓
- entspricht IE4 gem. IEC/TS 60034-31 Ed. 1, 2010-4 ✓

REEL Electronic Power Drives
A KSB Company · KSB



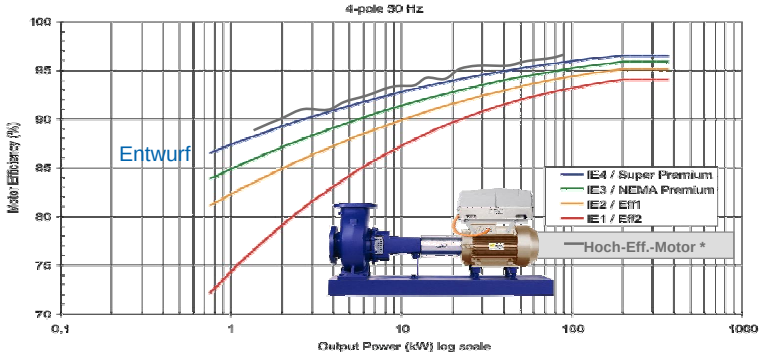
REEL Electronic Power Drives
A KSB Company · KSB

Hocheffiziente Antriebe

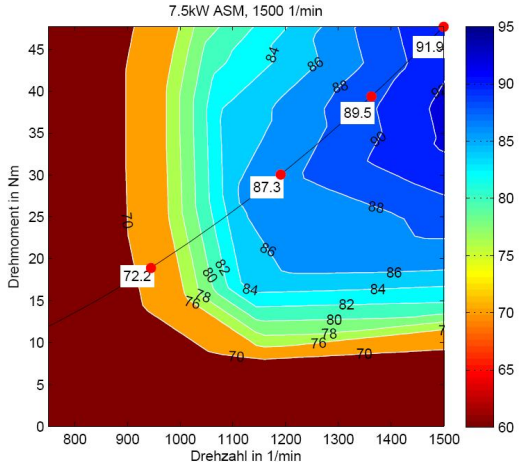
KSB SuPremE-Motor

- Synchron-Reluktanzmotor
- Rotor mit Flusssperrenschnitt
- Magnetfrei
  - – Materialverfügbarkeit ✓
  - – Ressourcenschonend ✓
- entspricht IE4 gem. IEC/TS 60034-31 Ed. 1, 2010-4 ✓

15% weniger Verluste gegenüber IE3 sind machbar!



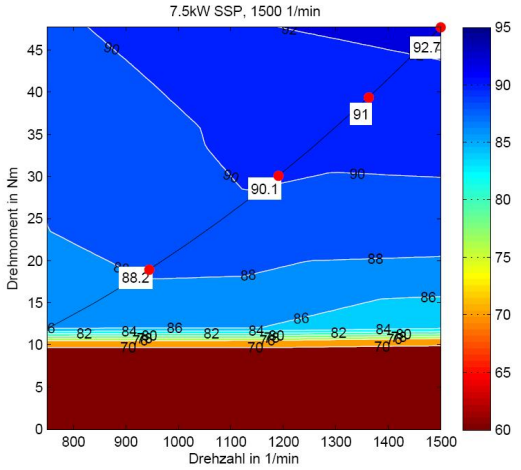
*Quelle: Fa. REEL



Hocheffiziente Antriebe

Wirkungsgradkennfeld Asynchronmotor IE3

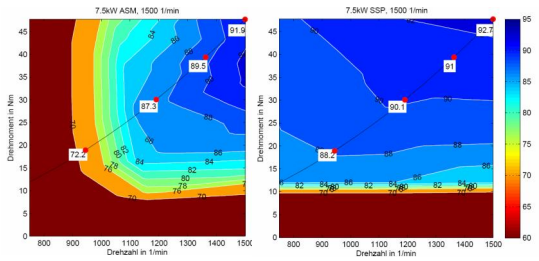
- Der Wirkungsgrad ist bei voller Drehzahl bis zu einer Belastung von 50% nahezu konstant
- Unter 50% Belastung sinkt er stark ab
- Bei Drehzahlabsenkung entlang des für Pumpen typischen Drehmoment-bedarfs ebenso



Hocheffiziente Antriebe

Wirkungsgradkennfeld KSB SuPremE-Motor

- Der Wirkungsgrad ist bei Drehzahlveränderung und verändertem Drehmoment-bedarf deutlich stabiler



Asynchronmotor IE3 KSB SuPremE-Motor

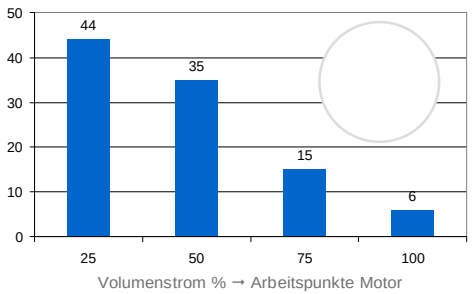
Wirkungsgradkennfelder

Hocheffiziente Antriebe

KSB SuPremE-Motor

- Der Vorteil von Synchronmotortechnik liegt vor allem Teillastbereich
- Dort wo fast alle Pumpen betrieben werden

Variablen	
Energiekosten in Euro/kWh	0,13
Betriebsdauer in h	6000



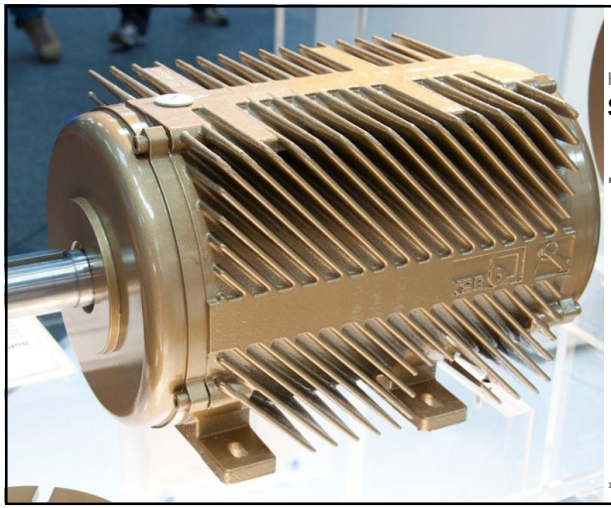
Kostenrechnung					
	Kosten AP1	Kosten AP2	Kosten AP3	Kosten AP4	Gesamt
Kosten SuPremE	729,59 €	1.136,24 €	723,21 €	378,64 €	2.967,68 €
Kosten ASM IE3	891,27 €	1.172,68 €	735,34 €	381,94 €	3.181,23 €
Einsparung	161,68 €	36,44 €	12,12 €	3,30 €	213,54 €

Einsparung: 7% gegenüber IE3-Asynchronmotor

Hocheffiziente Antriebe

KSB SuPremE-Motor

- Der Vorteil von Synchronmotortechnik liegt vor allem Teillastbereich
- Dort wo fast alle Pumpen betrieben werden



Hocheffiziente Antriebe

SuPremE-Motor

- Zur Hannovermesse 2011: Designvariante ohne Lüfter

REEL
Electronic Power Drives
A KSB Company · KSB

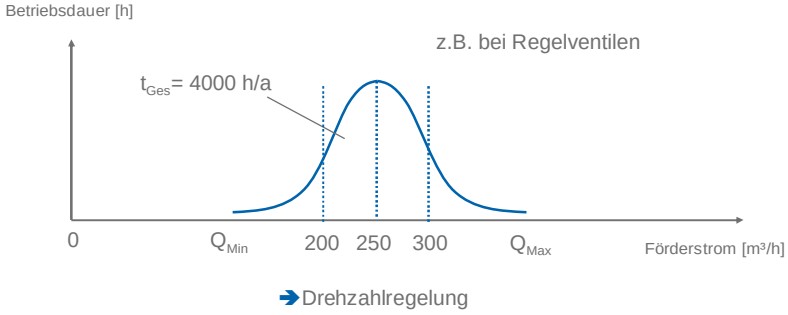
η = 94,4 %

Zum Vergleich:

Min η_{Eff1} = 91,2 %

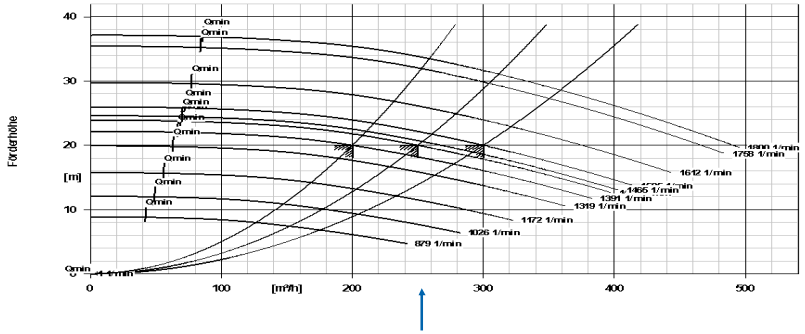
Min η_{IE3} = 92,6 %

Beispiel 3
Variable hydraulische Last



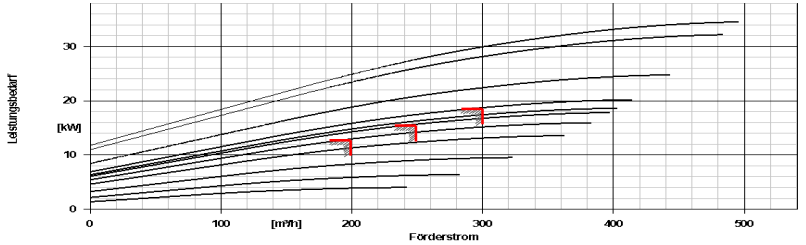
➔Drehzahlregelung

Fortsetzung Beispiel 3
Etaline GN 150-250/2204
G11 PDB



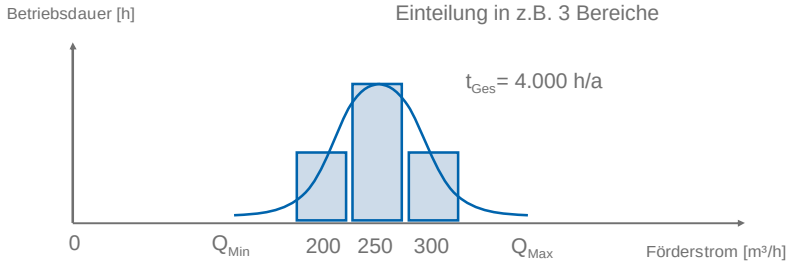
Betrieb im Optimum beim häufigsten Betriebspunkt!

Beispiel 3
Etaline GN 150-250/2204 G11 PDB



Fördermenge	200,00 m³/h	Fördermenge	250,00 m³/h	Fördermenge	300,00 m³/h
Förderhöhe	20,00 m	Förderhöhe	20,00 m	Förderhöhe	20,00 m
Wirkungsgrad	79,8 %	Wirkungsgrad	82,6 %	Wirkungsgrad	82,9 %
Leistungsbedarf	12,97 kW	Leistungsbedarf	15,68 kW	Leistungsbedarf	18,73 kW
Pumpendrehzahl	1391 1/min	Pumpendrehzahl	1444 1/min	Pumpendrehzahl	1505 1/min
NPSH erforderlich	2,19 m	NPSH erforderlich	2,56 m	NPSH erforderlich	3,26 m
NPSH 3%	2,19 m	NPSH 3%	2,56 m	NPSH 3%	3,26 m
zulässiger Betriebsdruck	16,00 bar.r	zulässiger Betriebsdruck	16,00 bar.r	zulässiger Betriebsdruck	16,00 bar.r

Beispiel 3
Variable hydraulische Last

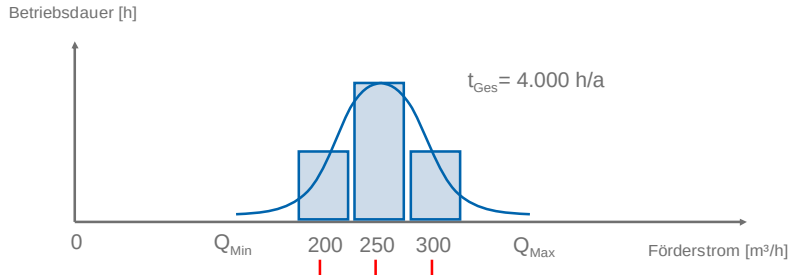


Formeln zum Berechnen der Stromkosten

Motoreingangsleistung = Motorwellenleistung / Motorwirkungsgrad

Stromkosten pro Jahr = Motoreingangsleistung x Betriebsstunden x Energiepreis je kWh

Beispiel 3
Energiekosten p.a. bei variabler Drehzahl

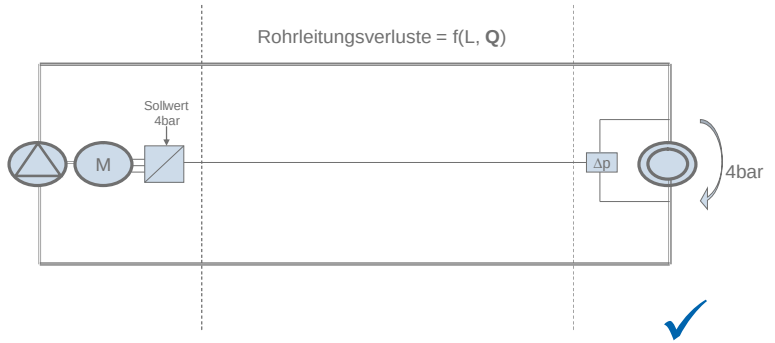


62.880 kWh / 0,86 / 0,97
= 75.377 kWh
@10Cent ➔ **7.537,70€**

1.000h x 18,73kW = 18.730 kWh
2.000h x 15,68kW = 31.360 kWh
1.000h x 12,97kW = 12.790 kWh

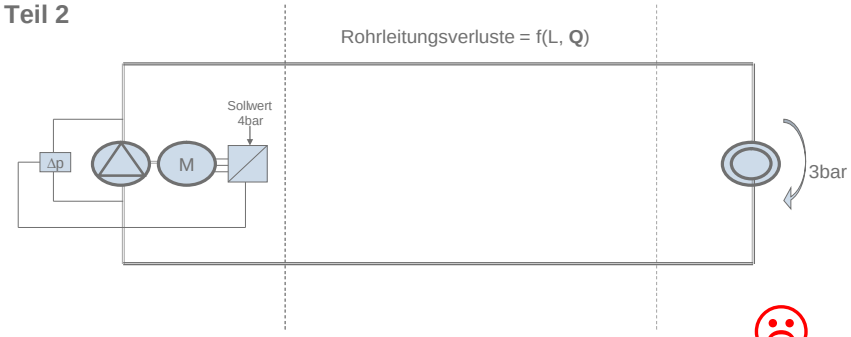
Weitere Energieensparung
Die DFS-Funktion (FU-integrierte Regelfunktionen)

Teil 1



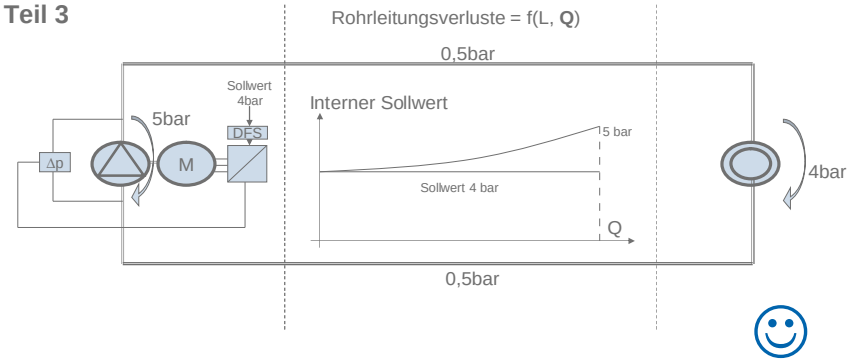
Die DFS-Funktion

Teil 2



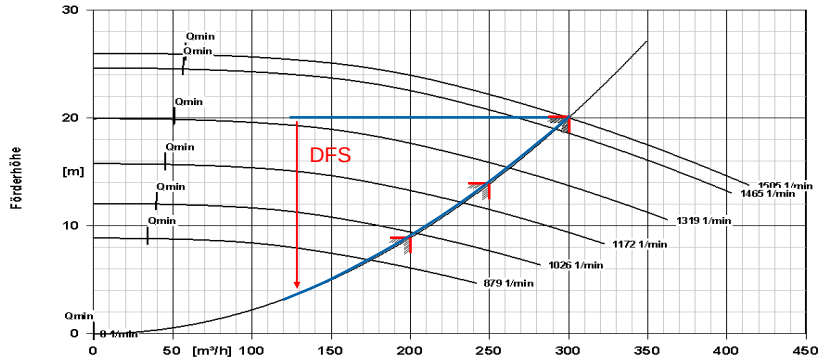
Die DFS-Funktion

Teil 3

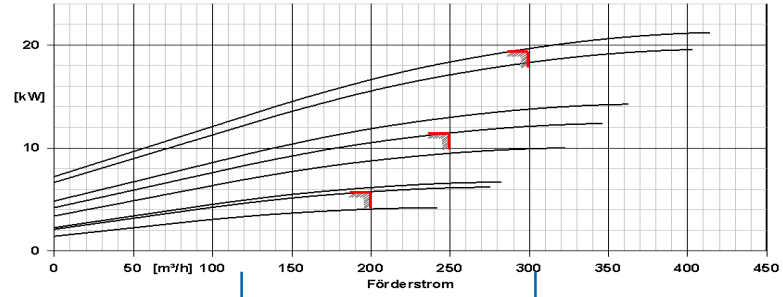


DFS = Druckregelung mit förderstromabhängiger Sollwertnachführung

Kompensation förderstromabhängiger Rohrreibungsverluste



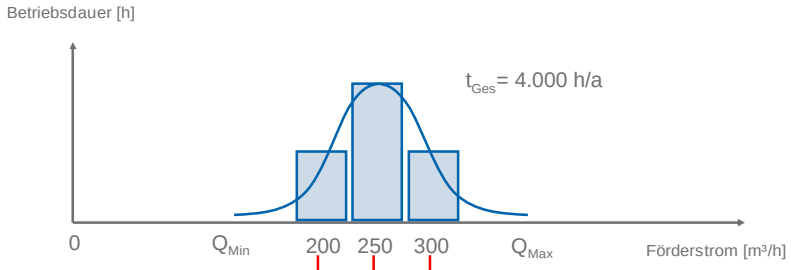
Kompensation förderstromabhängiger Rohrreibungsverluste



Fördermenge	200,00 m³/h	Fördermenge	250,00 m³/h	Fördermenge	300,00 m³/h
Förderhöhe	8,80 m	Förderhöhe	14,00 m	Förderhöhe	20,00 m
Wirkungsgrad	82,9 %	Wirkungsgrad	83,0 %	Wirkungsgrad	82,9 %
Leistungsbedarf	5,77 kW	Leistungsbedarf	11,47 kW	Leistungsbedarf	18,73 kW
Pumpendrehzahl	1000 1/min	Pumpendrehzahl	1258 1/min	Pumpendrehzahl	1505 1/min
NPSH erforderlich	1,73 m	NPSH erforderlich	2,42 m	NPSH erforderlich	3,26 m

Beispiel 3

Energiekosten p.a. bei variabler Drehzahl und DFS

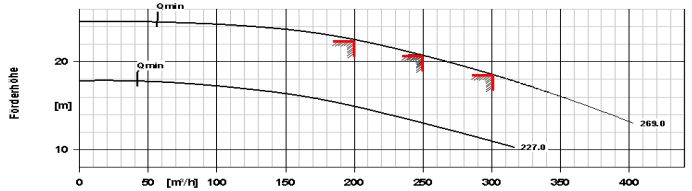


47.440 kWh / 0,86 / 0,97
= 56.869 kWh
@10Cent ➔ **5.686,88€**

1.000h x 18,73kW = 18.730 kWh
2.000h x 11,47kW = 22.940 kWh
1.000h x 5,77kW = 5.770 kWh

Beispiel 3

Zum Vergleich / Energiekosten p.a bei Festdrehzahl 1465 /Min.



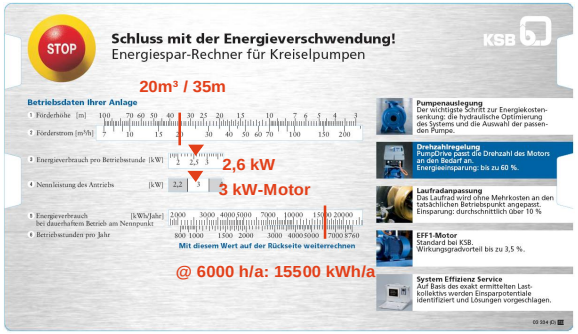
Nr.	Lastpunkt	Förderstrom	Förderhöhe	Wirkungsgrad	Leistung
0		250,00 m³/h	20,74 m	82,4 %	17,10 kW
1		300,00 m³/h	18,58 m	82,8 %	18,30 kW
2		200,00 m³/h	22,53 m	78,9 %	15,53 kW

1.000h x 15,53kW = 15.530 kWh
2.000h x 17,10kW = 34.200 kWh
1.000h x 18,30kW = 18.300 kWh

68.030 kWh / 0,86
= 79.104 kWh
@10Cent ➔ **7.910,40€**

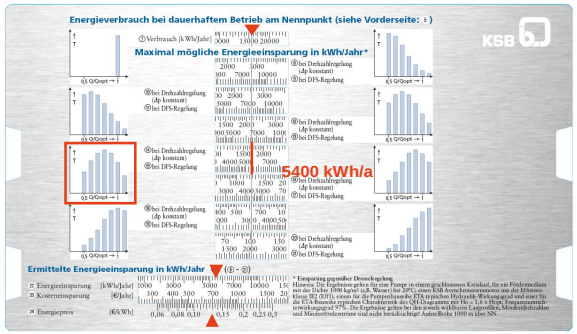
Beispiel 3
Etaline GN 150-250/2204 G11 PDB

Die Drehzahlregelung mit DFS-Funktion spart 2223 € Energie-kosten pro Jahr



Auslegung
LCC-Rechner Einspar-Schieber

15500 kWh/a

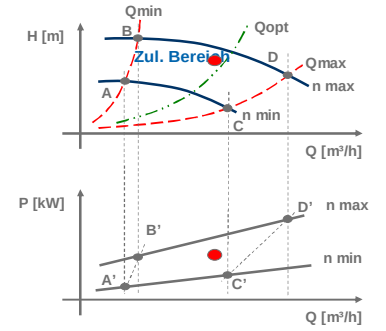


@ 14 Cent/kWh: 700 €

Mehrpreis Drehzahlgeregelte Pumpe: Ca. 800€

Auslegung
LCC-Rechner Einspar-Schieber

Kennfeldüberwachung & Leistungsabh. Zu- und Abschaltung



1. Lagerschäden
2. Laufradschäden
3. Dichtungsschäden

Arbeitspunkt, beispielhaft