



Schlussbericht 23.5.2011

Analyse und Vorgehen zur energetischen Optimierung von Pumpen bei Wasserversorgungen

„Pumpencheck“

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Elektrizitätstechnologien & -anwendungen
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:

Häny AG, CH-8645 Jona
Grundfos Pumpenfabrik GmbH, DE-23812 Wahlstedt

Auftragnehmer:

Ryser Ingenieure AG
Engestrasse 9
3000 Bern 9
www.rysering.ch

Autoren:

Beat Kobel, Ryser Ingenieure AG, beat.kobel@rysering.ch
Yann Roth, Ryser Ingenieure AG, yann.roth@rysering.ch

BFE-Bereichsleiter: Dr. Michael Moser

BFE-Programmleiter: Roland Brüniger

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 153472 / 102686

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Zusammenfassung

Das Energieeinsparpotenzial beim Pumpenersatz in den Wasserversorgungen wird aufgrund einer neuen Forschungsarbeit im Auftrag des Bundesamtes für Energie heute auf 10 – 20% geschätzt, was in der Schweiz Energieeinsparungen von 50 - 100 GWh/a bedeuten würde. Bisher wurden diese Potentiale noch nicht ausgeschöpft. Zum einen fehlten die Instrumente zu einer schnellen Abschätzung des Energieeinsparpotentials, zum andern ist das Wissen noch zu wenig verbreitet.

In diesem Forschungsprogramm ist ein Instrument zur Abschätzung des Energieeinsparpotentials einer Pumpe für Wasserversorgungen entwickelt und in der Praxis getestet worden. Das Vorgehen ist in zwei Schritte gegliedert.

Der erste Schritt ist der sogenannte Grobcheck. Den Grobcheck können Fachleute für eine Wasserversorgung für jede Pumpe rasch und einfach durchführen. Dazu müssen die Daten auf den Motoren- und Pumpendatenschildern abgelesen sowie Messungen zur manometrischen Förderhöhe, zur geförderten Wassermenge und zur Stromaufnahme des Motors durchgeführt werden. Daraus kann der Wirkungsgrad der bestehenden und der bestmöglichen Pumpe ermittelt und aus der Differenz das Energieeinsparpotential abgeschätzt werden. Wird ein bestimmter Grenzwert überschritten, wird ein Feincheck empfohlen. Es können auch andere Gründe zu einer Feincheckempfehlung führen, z.B. wenn eine Pumpe sanierungsbedürftig ist und sowieso ersetzt werden muss.

Der zweite Schritt ist der Feincheck, für dessen Durchführung vertieftes Fachwissen der Pumpen- und Motorentechnologie sowie des Betriebes einer Wasserversorgung (WV) notwendig ist. Im Feincheck wird eine detaillierte Analyse der Wasserversorgung durch Ingenieurbüros oder Pumpenhersteller durchgeführt, in der die Wirtschaftlichkeit eines Pumpenersatzes oder einer alternativen Energiesparmassnahme aufgezeigt wird.

Bei 6 Wasserversorgungen wurden in dieser Forschungsarbeit 18 Pumpen einem Grobcheck unterzogen. Das Energiesparpotenzial lag bei 0 bis 26 %, im Mittel bei 13%. Der anschliessende Feincheck wurde bei 5 Wasserversorgungen durchgeführt. Die Feinchecks zeigten gesamthaft Einsparungen von 59'600 kWh/a und jährlich CHF 14'664.- auf. Dies entspricht einem Durchschnitt von 10,8% weniger Stromverbrauch pro Pumpe. Beinahe die Hälfte des Einsparpotenzials wurde bereits innerhalb von einem Jahr umgesetzt.

Der Grob- und Feincheck sind öffentlich zugänglich. Siehe www.infrawatt.ch.

Résumé

Le potentiel d'économie d'énergie lors d'un remplacement de pompes dans les adductions d'eau en Suisse est estimé à 10 – 20 % ou 50 – 100 GWh/a. Malheureusement ce potentiel n'est pas exploité dû à un manque d'instruments d'analyses faciles à utiliser mais aussi dû à un manque d'information.

Le but de ce programme de recherche a été de développer un instrument qui permette une analyse rapide du potentiel d'optimisation énergétique d'une pompe. Cet instrument est divisé en deux parties.

La première partie est le « Grobcheck » : il estime le potentiel d'économie d'énergie d'une pompe en comparant la pompe installée à la meilleure pompe techniquement possible existante. Le service d'eau potable ne doit que mesurer le débit, la hauteur de refoulement ainsi que le courant consommé par le moteur. Selon le potentiel d'économie d'énergie, un

« Feincheck » est proposé. D'autres critères, comme la remise en état planifiée d'une pompe, peuvent aussi mener à une proposition de faire un « Feincheck »

La deuxième partie est le « Feincheck » qui nécessite un savoir approfondie en matière de pompes, moteurs et fonctionnement d'adductions d'eau. C'est un bureau d'ingénieur ou un fabricant de pompes qui mène l'analyse de rentabilité d'un échange de pompe ou d'une autre mesure d'économie d'énergie.

Le « Grobcheck » a été mené avec 18 pompes de 6 adductions d'eau. Le « Feincheck » a été conduit sur 5 pompes de 5 adductions d'eau. L'économie totale en énergie est de 59'600 kWh/a et l'économie financière de CHF 14'664.-/a dont 26'600 kWh/a et CHF 10'000.-/a ont été réalisés l'année passée. Ceci correspond à près de 11 % d'économie d'énergie par pompe.

Le « Grobcheck » et le « Feincheck » sont accessibles au public. Cf. www.infrawatt.ch.

Abstract

The potential for saving energy when exchanging pumps in water supplies in Switzerland is estimated at 10 – 20 % or about 50 – 100 GWh/a. Due to the lack of knowledge and/or lack of tools to make a fast analysis, these potentials are not exploited.

The aim of the research program was to develop a tool to help estimate the energy saving potential of a pump. The tool is divided into two parts.

The first part is called the "Grobcheck". This tool assesses the energy saving potential between the existing pump and the technically best pump existing on the market. The only things the water supply needs to measure are the delivery height, the delivery volume and the motor current. According to the energy saving potential, expressed as a percentage of the efficiency of the best existing pump, a so-called "Feincheck" is recommended. Other criteria besides the energy saving potential, as for example the imminence of a pump exchange, can lead to a recommendation for a "Feincheck".

The second part is the "Feincheck". The cost effectiveness of a pump exchange and/or other energy saving measures is conducted by an engineering company or a pump manufacturer.

The "Grobcheck" has been conducted on 18 pumps in 6 water supplies. The "Feincheck" has been conducted in 5 water supplies resulting in overall energy savings of 59'600 kWh/a and financial savings of CHF 14'664.-/a of which nearly half have been implemented. This means an average of nearly 11 % of energy savings per pump.

The "Grobcheck" and "Feincheck" are accessible to the public.

For further information: www.infrawatt.ch.

Einleitung

In der Branche der Wasserversorgungen werden bei einem Pumpenersatz die grossen Effizienzpotenziale beim Stromverbrauch noch nicht ausgeschöpft, da eine genaue Dimensionierung bzw. Optimierung der Pumpen, Motoren und des Betriebes unter Einbezug von modernen IT-Hilfsmitteln heute noch kaum vorgenommen wird. Das Energieeinsparpotenzial beim Pumpenersatz wird auf 10 – 20% geschätzt, was in der Schweiz Einsparungen von 50 - 100 GWh/a bedeuten würde.

Projektziel

Ziel des Projektes ist die Entwicklung von einem praktikablen Pumpencheck. Dieser erfolgt aus Effizienz- und Kostengründen zweistufig:

In einem ersten Schritt können Fachleute eines Betreibers oder externe Fachleute eine erste Grobanalyse der eigenen Pumpen inkl. Optimierungspotential durchführen. Das ist der sog. **Grobcheck**. Pro Pumpe wird jeweils ein Grobcheck durchgeführt.

In einem zweiten Schritt, der je nach Resultat des Grobchecks ausgelöst wird, wird eine detaillierte Analyse der Wasserversorgung vorgenommen, in der die Wirtschaftlichkeit eines Pumpenersatzes oder einer anderen Energiesparmassnahme aufgezeigt wird. Das ist der sog. **Feincheck**. Die Durchführung des Feinchecks setzt vertieftes Fachwissen voraus, das zum Beispiel bei qualifizierten Ingenieurbüros oder Pumpenherstellern vorhanden ist.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Grobcheck

Der Grobcheck gibt aufgrund der Energieeffizienz und der Handlungsmöglichkeiten eine Empfehlung ab, ob sich ein Feincheck lohnt. Dazu werden folgende Fragen geklärt:

1. Liegt bei der Pumpe ein Energieoptimierungspotential vor, das im Vergleich zur bestmöglichen Pumpe mehr als 10% beträgt?
2. Weichen Fördermenge oder Förderhöhe um mehr als 20% vom Typenpunkt (Datenschild) ab?
3. Gibt es qualitative Angaben wie z.B. Sanierungsbedarf zu Motor, Pumpe und Gesamtsystem, die einen Feincheck verlangen?
4. Ist die Pumpe so gross (Leistung über 375 kW), dass der Grobcheck seine Aussagekraft verliert und ein Feincheck auf jeden Fall notwendig ist?

Wird eine dieser Fragen mit Ja beantwortet, wird ein Feincheck empfohlen.

Die erste Frage wird anhand einer Pumpen- und Motorendatenbank beantwortet, indem im heutigen Betriebspunkt die beste technische Lösung der Maschine Motor-Pumpe platziert und der Wirkungsgradvergleich zwischen der bestehenden und heute bestmöglichen Lösung gezogen wird.

18 Pumpen von 6 Wasserversorgungen sind einem Grobcheck unterzogen worden. Dabei lagen die Optimierungspotentiale zwischen 0 und 26 %. Der Mittelwert lag bei 13 %.

Für Details siehe den beigelegten Grobcheck und dessen Ablaufbeschreibung im Anhang.

Feincheck

Der Feincheck wurde an je einer Pumpe folgender Wasserversorgung durchgeführt:

WV	energetisches Einsparpotential Feincheck	Einsparung Energie	finanzielle Einsparung Pumpe	andere Sparmassnahme	Ersatz-Investition Pumpe	Payback Pumpenersatz
	[%]	[kWh/a]	[CHF/a]	[CHF/a]	[CHF]	[Jahre]
Uzwil	16	9'000	1'250	0	8'700	7
Buchs (AG)	13-19	19'000	2'900	0	14'000	5
Lausanne	10	20'000	3'000	0	0	0
Sils	5	6'600	1'000	6'000	14'500	15
SWG Worben	7	5'000	514	0	29'800	58
<i>Summe Mittel</i>	<i>10,8</i>	<i>59'600 11'920</i>	<i>8'664 1'733</i>	<i>6'000 1'200</i>	<i>67'000 13'400</i>	<i>17</i>

- Bei den WV Uzwil und Buchs (AG) sind bis zum Ende des Forschungsprojektes noch keine Pumpen ersetzt worden. Untersuchungen sind im Gange.
- Bei der WV Lausanne ist eine Energiesparmassnahme umgesetzt worden. Eine Pumpe konnte abgestellt werden und die von ihr gepumpte Wassermenge effizienter von anderen Pumpen gefördert werden. Die Einsparung belaufen sich auf ca. 20'000 kWh/a bzw. CHF 3'000.-/a, bei Null Investitionen.
- Die WV Sils i.E. hat ihre Pumpen Mitte Mai ersetzt. Es sind zwei Optimierungen vorgenommen worden: als erstes ist eine kleinere Pumpe mit einem höheren Wirkungsgrad im gewählten Betriebspunkt eingesetzt worden (Energieeinsparung von 6'600 kWh/a). Als zweite Optimierung sind die Betriebszeiten dahingehend verändert worden, dass häufiger in Zeiten des billigeren Nachtstroms gepumpt wird (finanzielle Einsparungen von CHF 6'000.-/a). Anfang Juni werden durch die Fa. Grundfos Kontrollmessungen vorgenommen. Das finanzielle Einsparpotential wird auf CHF 7'000.- und die energetische Einsparung auf 6'600 kWh/a geschätzt.
- Bei der SWG Worben sind bereits heute weitgehend energetisch optimale Pumpen in Betrieb, es ist kein wirtschaftliches Energieeinsparpotential gefunden worden.
- Insgesamt können bei den fünf Wasserversorgungen 59'600 kWh/a eingespart werden, im ersten Jahr wurden bereits rund die Hälfte davon oder 26'600 kWh/a realisiert.

Die Resultate der Feinchecks sind bei den verschiedenen Betreibern persönlich präsentiert worden.

Die Feincheckanleitung wurde aufgrund der erarbeiteten Feinchecks generell formuliert. Siehe Anleitung und Vorgaben an Feincheck im Anhang.

Vergleich der Ergebnisse der Energieeinsparung aufgrund Grobcheck sowie Feincheck

Bei drei WV ist die Übereinstimmung zwischen den Resultaten des Grobchecks und Feinchecks gut. Der Mittelwert der Einsparpotentiale liegt bei diesen drei Pumpen bei 14 %. Bei zwei WV liegt das Optimierungspotential des Feinchecks um Grössenordnungen tiefer als beim Grobcheck. Die Gründe sind bekannt:

- Bei der WV Sils laufen die Pumpen in unterschiedlichen Betriebspunkten. Dies war beim Grobcheck nicht ersichtlich, so dass ein viel zu grosses Optimierungspotential resultierte.

- SWG Worben: die im Feincheck ermittelten Daten variierten stark von den für den Grobcheck ermittelten Daten ab. Die für den Feincheck ausgewählte Pumpe hatte gar kein so grosses Optimierungspotential wie ursprünglich berechnet.

Nationale Zusammenarbeit / Umsetzung

Zusammenarbeit mit dem nationalen Marktführer in der Wasserbranche unter den Pumpenherstellern: Häny AG.

Die nationale Zusammenarbeit mit der französischsprachigen Schweiz wurde dank der Firma Planair SA sichergestellt.

Hochschulfachwissen wurde mit Hilfe der Hochschule Luzern einbezogen.

Die Semafor AG stellt ihr Programm „OPAL“ zur Energieeffizienzberechnung bei Pumpensystemen zur Verfügung. Des weiteren fließen die Daten der Motorendatenbank in den Pumpencheck ein.

EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen bzw. InfraWatt übernimmt die breite Streuung der gewonnenen Kenntnisse. Mit der Aktion "Pumpencheck für Wasserversorgungen", welche von InfraWatt im Rahmen des Bundesprogrammes der Wettbewerblichen Ausschreibungen durchgeführt wird, werden die erarbeiteten Tools direkt für die Umsetzung von Energiesparmassnahmen angewendet.

Das Vorgehen und die Resultate zum Pumpencheck sind anfangs 2009 mit topmotors ausgetauscht worden.

An der schweizerischen Brunnenmeistertagung 2010 ist der Pumpencheck vor mehr als 1'000 Personen aus dem Wasserfach präsentiert worden.

Im Herbst 2010 ist der Pumpencheck am Motorsummit der internationalen Fachwelt präsentiert worden.

Die Arbeiten zum Pumpencheck sind auch in verschiedenen Zeitschriften publiziert worden (zu beziehen über www.infrawatt.ch):

- DVGW Jahresrevue 12/2010
- GWA 06/2009 und 6/2011

Internationale Zusammenarbeit

Internationale Zusammenarbeit mit dem dänischen Pumpenhersteller: Grundfos. Die Firma Grundfos wird für einen europa- wenn nicht weltweiten Vertrieb der Ergebnisse inkl. Übersetzung auf Englisch sorgen.

Bis jetzt ist der Pumpencheck einer luxemburgischen Delegation und an einer Veranstaltung der DWA präsentiert worden.

Bewertung

Erfolge:

- Erste Umsetzungsmassnahmen sind durchgeführt worden: die WV Lausanne hat durch eine einfache Betriebsänderung eine energetische Einsparung von 20'000 kWh/a bzw. CHF 3'000.-/a erzielt.
- Sils i.E. hat eine Energiesparmassnahme Mitte Mai umgesetzt. Die Einsparungen betragen 6'600 kWh/a und dank tariflichen Anpassungen jährlich CHF 7'000.-. Kontrollmessungen werden Anfangs Juni durchgeführt.

- Die in der Forschungsarbeit entwickelten Tools werden in der Aktion "Pumpencheck Wasserversorgungen" vom Verein InfraWatt im Rahmen des Bundesprogrammes „Wettbewerbliche Ausschreibungen“ voll zum tragen kommen. Dadurch werden signifikante Energieeinsparungen auf nationaler Ebene erwartet.

Erkenntnisse allgemeiner Natur:

- Grosse Betreiber von WV haben oft kompetente Fachleute.
- Um eine Umsetzung von Energieeinsparpotential schnell durchführen zu können, sollten die Entscheidungsträger und der Betriebsleiter/Brunnenmeister bei der Präsentation des Feinchecks anwesend sein.
- Um einen Feincheck korrekt durchführen zu können, ist ein Zugang zu allen relevanten Daten der WV sicherzustellen. Die WV soll in den Prozess einbezogen werden und sich aktiv daran beteiligen.
- Die Durchführung von Grob- und Feinchecks hat bei einigen WV den Anstoss bzw. die Grundlage für weitere Abklärungen zur Sanierung oder Energieoptimierung in anderen Bereichen gegeben.
- Schweizweit sind Bestrebungen im Gange, den Wirkungsgrad von Pumpen und Motoren auf ein Mindestmass festzulegen. Tiefere Wirkungsgrade wären dann nicht mehr zulässig. Es kann sein, dass in Zukunft heute bestehende Pumpen/Motoren nicht mehr zugelassen würden.

Erkenntnisse aus der Durchführung von Grobchecks:

- Eine seriöse Ermittlung der Daten und Messgrössen ist für einen aussagekräftigen Grobcheck unerlässlich, dazu braucht es entsprechende Fachleute.
- Um den Grob-/Feincheck und die Umsetzung der Energiepotenziale grossflächig bekannt zu machen, sind gezielte Schulungen notwendig (unter anderem Seminar vom 15. Juni 2011, www.infrawatt.ch)
- Pumpen mit hohen Laufzeiten und grosser Motorenleistung weisen die besten Chancen für grösseres Energieeinsparpotential auf.
- Die Ermittlung von zuverlässigen Angaben über die manometrische Förderhöhe hat sich als schwierig erwiesen.

Erkenntnisse aus der Durchführung von Feinchecks:

- Um einen Feincheck durchführen zu können, muss der Betriebspunkt geändert werden können. Dies ist im Voraus mit der WV abzuklären.
- Vor der Auswertung für den Feincheck muss immer eine Rücksprache mit dem Betreiber der WV zwecks Plausibilisierung der angegebenen Daten stattfinden.
- Das hydraulische Schema der WV gehört zwingend zu den pre-Qualifikationen für einen Feincheck.
- Bei der Kosten/Nutzen-Analyse sind die Kosten für einen ohnehin notwendigen Ersatz einer Pumpe und die Kosten für die Arbeiten für diesen Ersatz separat aufzuführen und dem Budgetposten Werterhaltung/Unterhalt zuzuordnen.
- Ein Feincheck ist produkteneutral zu halten, sonst verliert er an Objektivität (keine Verkaufsbroschüre!).
- Bei einem Ersatz von Pumpen und Motoren besteht zum Teil eine Differenz zwischen der technisch-wirtschaftlich optimalen Lösung und dem Angebot auf dem Markt. Ein optimaler Ersatz ist somit nicht immer möglich.
- Bei Frequenzumformerbetrieb der Pumpen, muss die Frequenz auf 50Hz geregelt werden können.

Referenzen

www.infrastrukturanlagen.ch

www.infrawatt.ch

www.topmotors.ch

www.energieschweiz.ch/

Anhang

- Grobcheck - Berechnungstool an einem fiktiven Beispiel
- Grobcheck – wie wird gerechnet?
- Grobcheck - Bestimmung der elektrischen Leistung eines Asynchronmotors
- Feincheck - Anleitung
- Feincheck – zu erhebende Daten
- Feincheck - Beispiel



Analyse und Vorgehen zur energetischen Optimierung von Pumpen bei Wasserversorgungen

„Pumpencheck“

Grobcheck – Berechnungstool an einem fiktiven Beispiel



Pumpengrobcheck - Haftungsausschluss

Dieses Produkt wurde zur Unterstützung bei der Entscheidungsfindung von Energiesparmassnahmen an Pumpen in Wasserversorgungen entwickelt. Es kann keine Gewährleistung für die Richtigkeit und Vollständigkeit der erhaltenen Ergebnisse und Informationen geltend gemacht werden. Haftungsansprüche, welche sich auf Schäden materieller oder ideeller Art beziehen, die durch die Nutzung oder Nichtnutzung der dargebotenen Informationen bzw. durch die Nutzung fehlerhafter und unvollständiger Informationen verursacht wurden, sind grundsätzlich ausgeschlossen.

Pumpen-Grobcheck: Zusammenfassung der Resultate

Angaben der WV Muster

Pumpe

Hersteller	Pumpe Muster
Nenn-Fördermenge	20 [l/s]
Nenn-Förderhöhe	30 [m]

Motor

Hersteller	Motor Muster
P_{mech}	7.5 [kW]
Nenn-Spannung	400 [V]
Nenn-Strom	16 [A]

Messungen im Betriebspunkt

Fördermenge	18 [l/s]
Förderhöhe	25 [m]
Strom (mittel)	14 [A]

Aggregat

Gesamtwirkungsgrad heute	53%
--------------------------	-----

Resultate des Grobchecks

Gesamtwirkungsgrad optimal	60%	
Energieeffizienz E=	0.89	Wie nahe befindet sich der IST-Zustand am technischen Optimum?
		Check ok
Energiesparpotential	11%	Feincheck wird empfohlen
Energiesparpotential	3'822 [kWh/a]	
Energiekosteneinsparung	573 [CHF/a]	
	8'599	CHF über eine Laufzeit von 15 Jahren

Überprüfung Auslegungsgrößen Q & H

Förderhöhe Differenz $(H - \Delta H_{\text{dyn}})/H$	17% [-]	ok
Fördermenge Differenz $(Q - Q_{\text{eff}})/Q$	10% [-]	ok

Empfehlung weiteres Vorgehen: Wird ein Feincheck empfohlen?

Feincheck aufgrund des Einsparpotentials?	JA	Das Einsparpotential zum heutigen Betrieb liegt über 10%!
Feincheck aufgrund der veränderten Förderhöhe?	NEIN	Die aktuelle Förderhöhe differiert um weniger als 20% zur Auslegungsförderhöhe
Feincheck aufgrund der veränderten Fördermenge?	NEIN	Die aktuelle Fördermenge differiert um weniger als 20% zur Auslegungsfördermenge
Feincheck aufgrund qualitativer Aussagen zu Motor, Pumpe und Gesamtsystem?	JA	Aufgrund der qualitativen Aussagen zu Motor, Pumpe und Gesamtsystem ist ein Feincheck notwendig.
Feincheck aufgrund der Pumpengrösse?	NEIN	Die Grösse der Pumpe allein macht keinen Feincheck notwendig.

Aus obengenannten Gründen folgt: **ein Feincheck wird empfohlen!**

Was ist der Feincheck?

Der Feincheck ist eine detaillierte energetische Analyse der Wasserversorgung, in der die Wirtschaftlichkeit eines Pumpenersatzes oder einer anderen Energie-sparmassnahme aufgezeigt wird.

Blatt ausdrucken und für die Eingabe des Grobchecks zur Seite halten.

- Eingaben ab Datenschild: ablesen!
- Messungen: nur MESSEN, NICHT BERECHNEN!!
- Berechnung: wird automatisch gemacht!
- Allgemeine Fragen

Priorisierung Pumpen (je höher Zahl, =(Laufzeit * Leistung)/Baujahr
... desto eher den Grobcheck machen) oder: es wurde eine Systemänderung vorgenommen

Wichtig:
 - für **FU-gesteuerte Pumpen:** FU auf 100% einstellen.(50 Hz)
 - **Blindstromkompensation** abschalten oder Messung von Strom zwischen Blindstromkompensation und Motorenklemmen vornehmen (am besten direkt an den Motorklemmen).

Messungen
 es werden 3 Messungen vorgenommen:
 - **manometrische Förderhöhe in Meter:** dazu braucht es einen Manometer (Druckmesser), meist druckseitig Pumpe installiert. Weiter muss der Druck vor der Pumpe (saugseitig) abgeschätzt werden, falls keine Druckmessung saugseitig installiert ist. Die Hilfe dazu bietet das Blatt "Erfassung Förderhöhe" mit den 3 Zeichnungen der meistverbreiteten Fälle.
 - **Fördermenge in Litern pro Sekunde [l/s]:** ein magnetinduktiver Durchflussmesser (MID) ist meist schon fix installiert und muss nur abgelesen werden. Ist dieser nicht vorhanden, muss auf eine mobile Messung des Durchflusses ausgewichen werden.
 - **Stromstärke in Ampère [A] der drei Phasen des Elektromotors:** diese Messung wird mit einer Strommesszange erhoben.

Beispiel einer Strommesszange:



Konstanten

Gravitationsbeschleunigung	g=	9.81 [m/s ²]
Dichte Wasser	ρ=	1'000 [kg/m ³]
maximale Stromdifferenz zwischen den Phasen (Motor)		5% Grenzwert zur Fehlermeldung.
Laufzeit Pumpe		15 Jahre

Eingabe: Angaben WV

Wasserversorgung	<input type="text"/>
Kontaktperson	<input type="text"/>
Funktion Kontaktperson	<input type="text"/>
Adresse	<input type="text"/>
PLZ	<input type="text"/>
Stadt	<input type="text"/>
Telefon-Nummer	<input type="text"/>
Email	<input type="text"/>
Pumpwerkstandort	<input type="text"/>
Um welche Pumpe handelt es sich?	<input type="text"/>

Bitte Adresse, Kontaktperson, Telefonnummer usw. angeben.
 Um welche Pumpe handelt es sich?

Eingabe: Jahresdaten

Betriebsstunden pro Jahr	<input type="text"/>	h/a
Elektrizitätsverbrauch Motor pro Jahr	<input type="text"/>	kWh/a
Geförderte Wassermenge Pumpe	<input type="text"/>	m ³ /a
Energiepreis	<input type="text"/>	CHF/kWh

wieviele Stunden pro Jahr läuft die Pumpe?
 Strom pro Jahr für diesen Motor. In kWh/a
 Die im Jahr geförderte Wassermenge in m³/a
 wie hoch ist der durchschnittliche kWh-Preis inkl. Leistungszuschlag und Nieder-/Hochtarif?

Eingabe: Auslegungsdaten Pumpe (ablesen ab Datenschild)

Fabrikat / Hersteller		<input type="text"/>	siehe Pumpendatenschild
Seriennummer		<input type="text"/>	siehe Pumpendatenschild
Typ / Bauweise		<input type="text"/>	siehe Pumpendatenschild
trockenaufgestellt		<input type="text"/>	Unterwasserpumpe?
Unterwasserpumpe (UWP)		<input type="text"/> (ja/nein)	trockenaufgestellte Pumpe?
Stufenanzahl (bei Hochdruckpumpen)			
Einstufige Niederdruck-Pumpe		<input type="text"/> (ja/nein)	Die 2 grünen Felder links müssen je mit "ja" oder "nein" gefüllt werden! Bei mehrstufigen HD-Pumpen hier die Anzahl Pumpstufen eingeben. Defaultwert 1
Mehrstufige Hochdruck-Pumpe		<input type="text"/> (ja/nein)	
Anzahl Stufen		<input type="text"/> [-]	
Auslegung Fördermenge Pumpe	Q	<input type="text"/> [l/s]	siehe Pumpendatenschild
Auslegung Förderhöhe Pumpe	H	<input type="text"/> [m]	siehe Pumpendatenschild

Eingabe: Auslegungsdaten Motor (ablesen ab Datenschild)

Fabrikat / Hersteller		<input type="text"/>	siehe Motordatenschild
Seriennummer		<input type="text"/>	siehe Motordatenschild
Typ / Bauweise		<input type="text"/>	siehe Motordatenschild
Nennleistung (mech.) Motor	$P_n = P_{mech}$	<input type="text"/> [kW]	siehe Motordatenschild - in kW!
Nennrehzahl Motor	n_n	<input type="text"/> [1/min]	siehe Motordatenschild
Wirkungsgrad Motor Nennbelastung	η_n	<input type="text"/> [-]	siehe Motordatenschild
Nennstrom Motor	I_n	<input type="text"/> A	siehe Motordatenschild
cos ϕ bei Nennbelastung	cos ϕ_n	<input type="text"/> [-]	siehe Motordatenschild
Nennspannung Motor	U_n	<input type="text"/> [V]	siehe Motordatenschild

Messung: Messungen im Betriebspunkt (bei laufender Pumpe!!!)

effektiver Volumenstrom	Q_{eff}	<input type="text"/> [l/s]	wieviele liter pro Sekunde werden im Betriebspunkt gefördert?
Förderhöhe gemessen	ΔH_{dyn}	<input type="text"/> [m]	Welches ist die Förderhöhe der Pumpe im Betriebspunkt? Siehe auch Register "Erfassung Förderhöhe". Klicken Sie dazu auf den blauen Link.
Variiert die Förderhöhe?		<input type="text"/> (viel / wenig / weiss nicht)	Wenn möglich angeben.
Strommessung			
Ist eine Blindstromkompensation vorhanden?		<input type="text"/> (ja / nein / weiss nicht)	Blindstromkompensation abschalten oder Messung von Strom zwischen Blindstromkompensation und Motorenklemmen vornehmen (am besten direkt an den Motorklemmen).
Ist ein Frequenzumrichter eingeschaltet?		<input type="text"/> (ja / nein / weiss nicht)	Bei bestehendem FU bitte Frequenz angeben, sonst leer lassen.
wenn ja, auf welche Frequenz ist er eingestellt?		<input type="text"/> [Hz]	
Strom Phase 1	I_{phase1}	<input type="text"/> [A]	Jede Phase bitte separat messen. Achtung: FU muss auf 50 Hz eingestellt sein und die Messung an den Motorenklemmen stattfinden. Bei Unterwasserpumpen Strom beim aus dem Steuerungskasten ausführenden Kabel messen.
Strom Phase 2	I_{phase2}	<input type="text"/> [A]	
Strom Phase 3	I_{phase3}	<input type="text"/> [A]	

Allg. Fragen: Allgemeine Zustandsaufnahme Pumpe & Motor

Ist heute Erneuerungs-, Optimierungs- und/oder Sanierungsbedarf erkennbar?

Motor	<input type="text"/> (ja / mittelfristig / nein / weiss nicht)
Pumpe	<input type="text"/> (ja / mittelfristig / nein / weiss nicht)
Gesamtsystem	<input type="text"/> (ja / mittelfristig / nein / weiss nicht)

Wenn ja, bitte umschreiben.

Einschätzung Reparatur-/Unterhaltskosten

Motor	<input type="text"/> (hoch / üblich / tief / weiss nicht)
Pumpe	<input type="text"/> (hoch / üblich / tief / weiss nicht)
Gesamtsystem	<input type="text"/> (hoch / üblich / tief / weiss nicht)

Änderungen

Sind seit Inbetriebsetzung der Pumpe Betriebs- oder Netzänderungen (neue Leitungen,...) vorgenommen worden?

 (ja / nein / weiss nicht)

Wenn ja, welche?

Pumpengrobcheck - Berechnungen

Farblegende:

Eingaben ab Datenschild: ablesen!

Messungen: nur MESSEN, NICHT BERECHNEN!!

Berechnung: wird automatisch gemacht!

Allgemeine Fragen

**Priorisierung Pumpen (je höher die Zahl, = (Laufzeit * Leistung)/Baujahr
... desto eher den Grobcheck machen) oder:** es wurde eine Systemänderung vorgenommen

Wichtig:

- für **FU-gesteuerte Pumpen:** FU auf 100% einstellen. (50 Hz)

- **Blindstromkompensation** abschalten oder Messung von Strom zwischen Blindstromkompensation und Motorenklemmen vornehmen (am besten direkt an den Motorklemmen).

Konstanten

Gravitationsbeschleunigung	g=	9.81 [m/s ²]
Dichte Wasser	ρ=	1'000 [kg/m ³]
maximale Stromdifferenz zwischen den Phasen (Motor)		5% Grenzwert zur Fehlermeldung.
Laufzeit Pumpe		15 Jahre

Eingabe: Angaben WV

Wasserversorgung	<input style="width: 95%;" type="text" value="WV Muster"/>
Kontaktperson	<input style="width: 95%;" type="text"/>
Funktion Kontaktperson	<input style="width: 95%;" type="text"/>
Adresse	<input style="width: 95%;" type="text"/>
PLZ	<input style="width: 95%;" type="text"/>
Stadt	<input style="width: 95%;" type="text"/>
Telefon-Nummer	<input style="width: 95%;" type="text"/>
Email	<input style="width: 95%;" type="text"/>
Pumpwerkstandort	<input style="width: 95%;" type="text"/>
Um welche Pumpe handelt es sich?	<input style="width: 95%;" type="text"/>

Eingabe: Jahresdaten

Betriebsstunden pro Jahr	<input style="width: 95%;" type="text" value="4'000"/> h/a
Elektrizitätsverbrauch Motor pro Jahr	<input style="width: 95%;" type="text"/> kWh/a
Geförderte Wassermenge Pumpe	<input style="width: 95%;" type="text"/> m ³ /a
Energiepreis	<input style="width: 95%;" type="text" value="0.15"/> CHF/kWh

Eingabe: Auslegungsdaten Pumpe (ablesen ab Datenschild)

Fabrikat / Hersteller	<input style="width: 95%;" type="text" value="Pumpe Muster"/>	
Seriennummer	<input style="width: 95%;" type="text" value="74.115.1996"/>	
Typ / Bauweise	<input style="width: 95%;" type="text"/>	
trockenaufgestellt	<input style="width: 40%;" type="text" value="ja"/> (ja/nein)	ok
Unterwasserpumpe (UWP)	<input style="width: 40%;" type="text" value="nein"/> (ja/nein)	
Stufenanzahl (bei Hochdruckpumpen)		
Einstufige Niederdruck-Pumpe	<input style="width: 40%;" type="text" value="ja"/> (ja/nein)	ok
Mehrstufige Hochdruck-Pumpe	<input style="width: 40%;" type="text" value="nein"/> (ja/nein)	
Anzahl Stufen	<input style="width: 40%;" type="text" value="1"/> [-]	
Auslegung Fördermenge Pumpe	Q	<input style="width: 40%;" type="text" value="20"/> [l/s] <input style="width: 40%;" type="text" value="0.02"/> m ³ /s

Pumpengrobcheck - Berechnungen

Auslegung Förderhöhe Pumpe H [m]

Eingabe: Auslegungsdaten Motor (ablesen ab Datenschild)

Fabrikat / Hersteller		<input style="width: 80%;" type="text" value="Motor Muster"/>	
Seriennummer		<input style="width: 80%;" type="text" value="12.345.1997"/>	
Typ / Bauweise		<input style="width: 80%;" type="text"/>	
Nennleistung (mech.) Motor	$P_n = P_{mech}$	<input style="width: 60px;" type="text" value="7.5"/> [kW]	<input style="width: 60px;" type="text" value="7'500"/> [W]
Nennzahl Motor	n_n	<input style="width: 60px;" type="text" value="1'455"/> [1/min]	
Wirkungsgrad Motor Nennbelastung	η_n	<input style="width: 60px;" type="text" value="0.82"/> [-]	
Nennstrom Motor	I_n	<input style="width: 60px;" type="text" value="16"/> A	
cos ϕ bei Nennbelastung	cos ϕ_n	<input style="width: 60px;" type="text" value="0.9"/> [-]	
Nennspannung Motor	U_n	<input style="width: 60px;" type="text" value="400"/> [V]	

Messung: Messungen im Betriebspunkt (bei laufender Pumpe!!!)

effektiver Volumenstrom	Q_{eff}	<input style="width: 60px;" type="text" value="18"/> [l/s]	<input style="width: 60px;" type="text" value="0.018"/> m ³ /s
Förderhöhe gemessen	ΔH_{dyn}	<input style="width: 60px;" type="text" value="25"/> [m]	Hinweis zur Erfassung Förderhöhe
Variiert die Förderhöhe / der Volumenstrom?	(mehr +/-10%)	<input style="width: 80%;" type="text" value="(ja / nein / weiss nicht)"/>	
Strommessung			
Ist eine Blindstromkompensation vorhanden?		<input style="width: 80%;" type="text" value="(ja / nein / weiss nicht)"/>	
Ist ein Frequenzumrichter eingeschaltet?		<input style="width: 80%;" type="text" value="(ja / nein / weiss nicht)"/>	
wenn ja, auf welche Frequenz ist er eingestellt?		<input style="width: 60px;" type="text"/>	[Hz]
Strom Phase 1	I_{phase1}	<input style="width: 60px;" type="text" value="14"/> [A]	Phasencheck: ok
Strom Phase 2	I_{phase2}	<input style="width: 60px;" type="text" value="14"/> [A]	ok
Strom Phase 3	I_{phase3}	<input style="width: 60px;" type="text" value="14"/> [A]	ok

Allg. Fragen: Allgemeine qualitative Aussagen zu Pumpe, Motor & Gesamtsystem

Ist heute Erneuerungs-, Optimierungs- und/oder Sanierungsbedarf erkennbar?

Motor	<input style="width: 80%;" type="text" value="mittelfristig"/>	<i>(ja / mittelfristig / nein / weiss nicht)</i>
Pumpe	<input style="width: 80%;" type="text"/>	<i>(ja / mittelfristig / nein / weiss nicht)</i>
Gesamtsystem	<input style="width: 80%;" type="text"/>	<i>(ja / mittelfristig / nein / weiss nicht)</i>

Wenn ja, bitte umschreiben.

Einschätzung Reparatur-/Unterhaltskosten

Motor	<input style="width: 80%;" type="text"/>	<i>(hoch / üblich / tief / weiss nicht)</i>
Pumpe	<input style="width: 80%;" type="text"/>	<i>(hoch / üblich / tief / weiss nicht)</i>
Gesamtsystem	<input style="width: 80%;" type="text"/>	<i>(hoch / üblich / tief / weiss nicht)</i>

Änderungen

Sind seit Inbetriebsetzung der Pumpe Betriebs- oder Netzänderungen (neue Leitungen,...) vorgenommen worden?

(ja / nein / weiss nicht)

Wenn ja, bitte beschreiben.

Berechnung: Gesamtwirkungsgrad IST (Verarbeitung Eingabewerte (IST Zustand))

Berechnung hydraulische Leistung (Betriebspunkt)	$P_{hyd} =$	<input style="width: 60px;" type="text" value="4'415"/> [W]	<input style="width: 60px;" type="text" value="4.4"/> [kW]
Berechnung elektrische Leistung			alternativ:
elektr. Leistung bei Nennbelastung	$P_{elektr, n} =$	<input style="width: 60px;" type="text" value="9'977"/> [W]	<input style="width: 60px;" type="text" value="10.0"/> [kW]
Annäherung: Strommessung			<input style="width: 60px;" type="text" value="9'146"/>
Näherungsfaktor (R. Tanner)	p_o	<input style="width: 60px;" type="text" value="-0.342"/>	
Näherungsfaktor (R. Tanner)	p_x	<input style="width: 60px;" type="text" value="1.345"/>	

Pumpengrobcheck - Berechnungen

Lastverhältnis $P_{elek}/P_{elektr,n} = 0.83$ ok
 elektr. Leistung im Betriebspunkt $P_{elek} = 8327$ [W] 8.3 [kW]

Gesamtwirkungsgrad IST $\eta_{tot, gemessen} = 0.53$ [-]

Berechnung: Berechnung Gesamtwirkungsgrad OPTIMAL

Polpaarzahl ppz 2 [-]
 spezifische Drehzahl $n_q = 17.5$ mit n_n [1/min] (Annäherung)
 Q_{eff} [m³/s]
 H [m] = $\Delta P_{dyn}/\text{Anzahl Stufen}$,
 wenn mehrstufig

Gewichtung nach Laufradtyp: Tabelle, welche in Abhängigkeit vom n_q den maximal erreichbaren hydraulischen Wirkungsgrad angibt. $\eta_{hydr, max.} = 0.70$
 Gewichtung nach Baugrösse (Q): kleinere Pumpen erreichen Konstruktionsbedingt einen niedrigeren Wirkungsgrad als grössere Pumpen mit der gleichen Drehzahl (n_q) korr.Faktor = 0.95
 Reduktion bei grosser Stufenanzahl mit empirischem Faktor f_r korr.Faktor = 1
 bestmöglicher Pumpenwirkungsgrad $\eta_{Pumpe, opt} = 0.67$
 bestmögliche mechanische Leistung $P_{mech, opt} = 6'638$ [W] 6.6 [kW]
 bestmöglicher Motorenwirkungsgrad $\eta_{Motor, opt} = 0.90$ Interpolation in Register "BesteMotoren"
 elektr. Leistung im Optimum $P_{el, opt} = 7'371$ [W] 7.4 [kW]
Gesamtwirkungsgrad OPTIMAL $\eta_{total, opt} = 0.60$ [-]

Resultat: Vergleich IST mit OPTIMAL

Energieeffizienz (E-Faktor) (muss <1 sein!) $E = 0.89$ wie nahe befindet sich der IST-Zustand am technischen Optimum?
Check ok

Energiesparpotential

Energie IST $E_{ist} = 33'308$ kWh/a
 Energie OPTIMAL $E_{opt} = 29'486$ kWh/a
Energiesparpotential $3'822$ kWh/a
in % bezogen auf IST-Zustand 11% Feincheck wird empfohlen

Energiekosteneinsparungspotential (EK)

Energiepreis
 jährliche Energiekosten heute $EK_{ist} = 4'996$ [CHF/a]
 jährliche Energiekosten optimiert $EK_{opt} = 4'423$ [CHF/a]
Jährliche Energiekosteneinsparung 573 [CHF/a]
Energiekosteneinsparung über Laufzeit von 15 Jahren $8'599$ CHF

Überprüfung Auslegung - Messungen

Förderhöhe Differenz $(H - \Delta H_{dyn})/H = 0.17$ [-] ok
 Fördermenge Differenz $(Q - Q_{eff})/Q = 0.10$ [-] ok

Motoren Effizienzklassen IE3 (trockenaufgestellt)

Herkunft <http://www.motorsystems.org/downloads>

Von Ronald Tanner

kW	Wirkungsgrade in %			Hilfswerte
	2-poles	4-poles	6-poles	
0.8	80.7	82.5	78.9	1.1
1.1	82.7	84.1	81	1.5
1.5	84.2	85.3	82.5	2.2
2.2	85.9	86.7	84.3	3.0
3.0	87.1	87.7	85.6	4.0
4.0	88.1	88.6	86.8	5.5
5.5	89.2	89.6	88	7.5
7.5	90.1	90.4	89.1	11.0
11.0	91.2	91.4	90.3	15.0
15.0	91.9	92.1	91.2	18.5
18.5	92.4	92.6	91.7	22.0
22.0	92.7	93	92.2	30.0
30.0	93.3	93.6	92.9	37.0
37.0	93.7	93.9	93.3	45.0
45.0	94	94.2	93.7	55.0
55.0	94.3	94.6	94.1	75.0
75.0	94.7	95	94.6	90.0
90.0	95	95.2	94.9	110.0
110.0	95.2	95.4	95.1	132.0
132.0	95.4	95.6	95.4	160.0
160.0	95.6	95.8	95.6	200.0
200.0	95.8	96	95.8	220.0
220.0	95.8	96	95.8	250.0
250.0	95.8	96	95.8	300.0
300.0	95.8	96	95.8	330.0
330.0	95.8	96	95.8	375.0
375.0	95.8	96	95.8	

Gültigkeit Annäherungsverfahren R. Tanner
von R. Tanner erweitert

am höchsten

mech. Leistung [kW]	Mot.Leist. Interpolation X	Wirkungsgrade			
		2-polig	4-polig	6-polig	
6.6	5.5	untere Grenze	89.2	89.6	88
	7.5	obere Grenze	90.1	90.4	89.1

extrapolierte Wirkungsgrade			
	2-polig	4-polig	6-polig
Polpaarzahl	1	2	3
Wirkungsgrad	89.7	90.1	88.6

Motoren von Unterwassermotorpumpen UWP

Herkunft empirisch

Von Reto Baumann

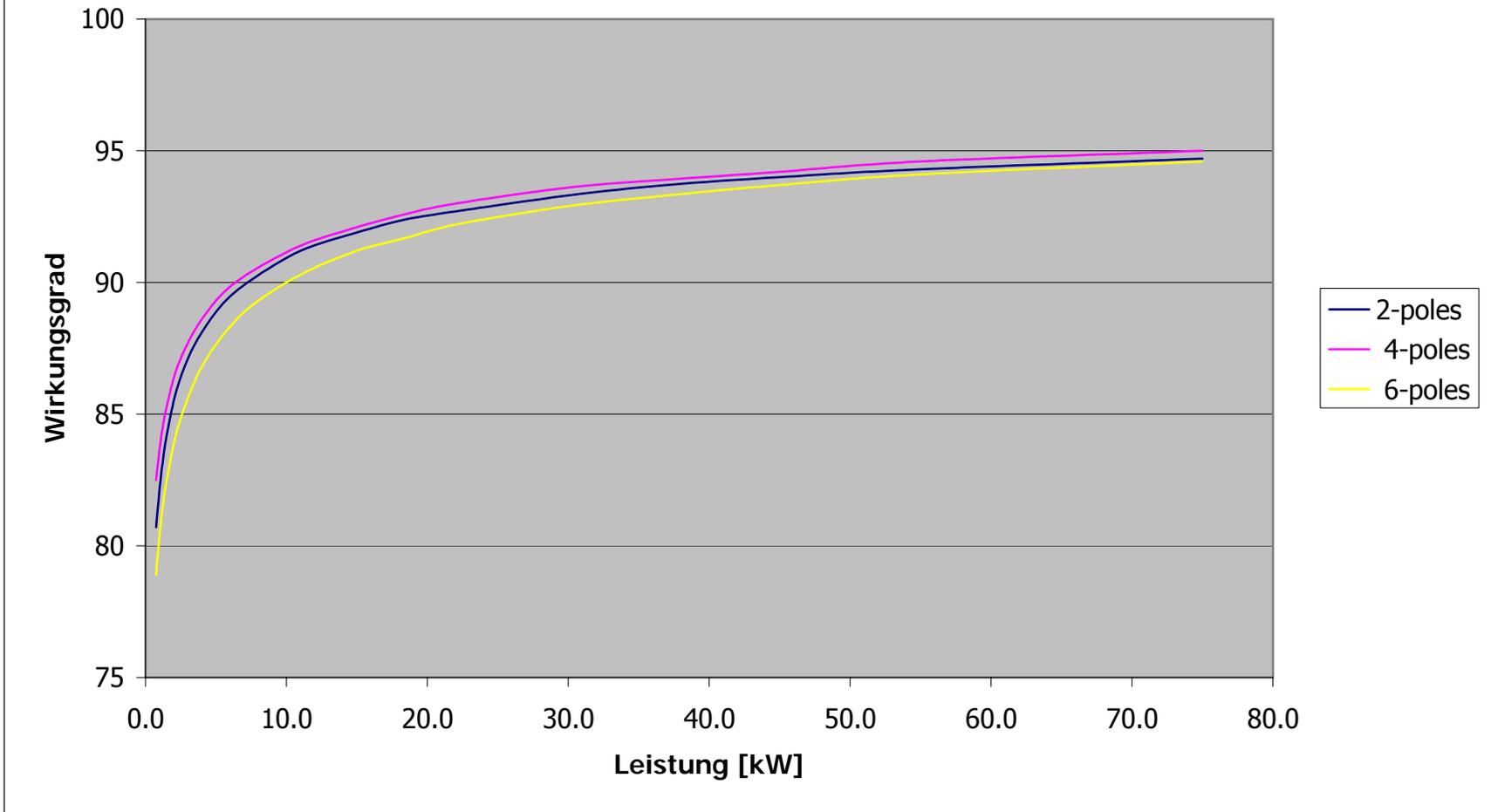
Datum 04.06.2009

kW (P2M)	Wirkungsgrade		Hilfswerte
	2-poles	4-poles	
0.8	82.0	82.5	1.1
1.1	83.0	83.5	1.5
1.5	84.0	84.5	2.2
2.2	85.0	85.5	3.0
3.0	86.0	86.5	4.0
4.0	87.0	87.5	5.5
5.5	88.0	88.5	7.5
7.5	88.0	88.5	11.0
11.0	88.0	88.5	15.0
15.0	88.5	89.0	18.5
18.5	88.5	89.0	22.0
22.0	88.5	89.0	30.0
30.0	88.5	89.0	37.0
37.0	89.0	89.5	45.0
45.0	89.0	89.5	55.0
55.0	89.0	89.5	75.0
75.0	89.5	90.0	90.0
90.0	89.5	90.0	110.0
110.0	89.5	90.0	132.0
132.0	90.0	90.5	160.0
160.0	90.0	90.5	200.0
200.0	90.0	90.5	220.0
220.0	90.0	90.5	250.0
250.0	90.0	90.5	300.0
300.0	90.0	90.5	330.0
330.0	90.0	90.5	375.0
375.0	90.0	90.5	

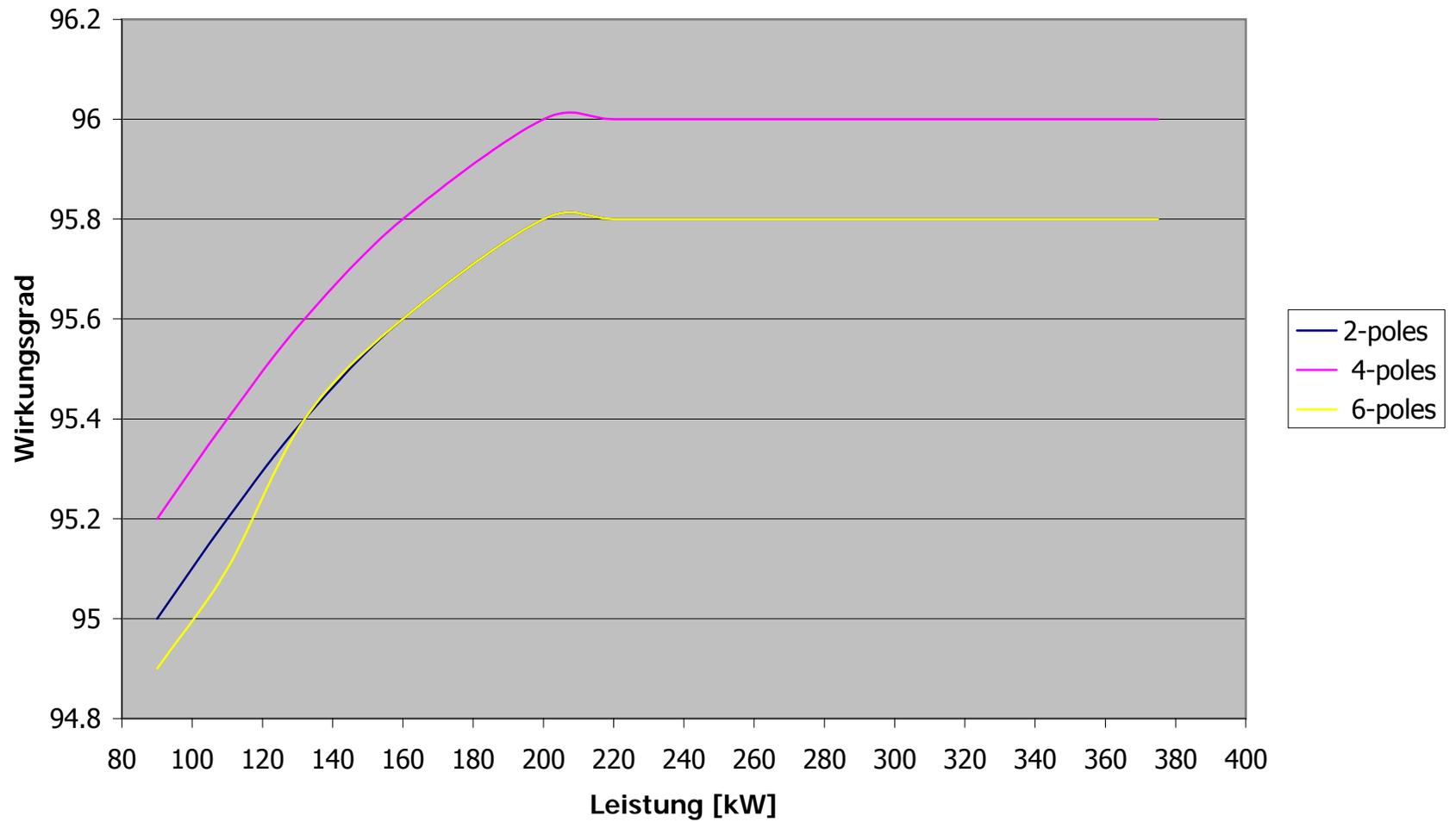
mech. Leistung [kW]	Mot.Leist. Interpolation X	Wirkungsgrade			
		2-polig	4-polig		
6.6	5.5	untere Grenze	88	88.5	
	7.5	obere Grenze	88	88.5	

extrapolierte Wirkungsgrade		
	2-polig	4-polig
Polpaarzahl	1	2
Wirkungsgrad	88.0	88.5

Wirkungsgrad 0.8 - 75 kW

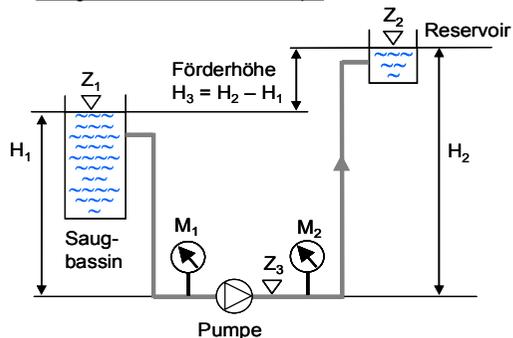


Wirkungsgrade 90 - 375 kW



Anleitung: es existieren grundsätzlich 3 Szenarien zum Fördern von Wasser in Wasserversorgungen. Bitte eines auswählen, die notwendigen Zahlen eintragen und den Wert unter "Förderhöhe=" in das Register "Grobcheck online" übertragen. (die blauen Links bringen Sie an den richtigen Ort)

Saugbassin **oberhalb** Pumpe



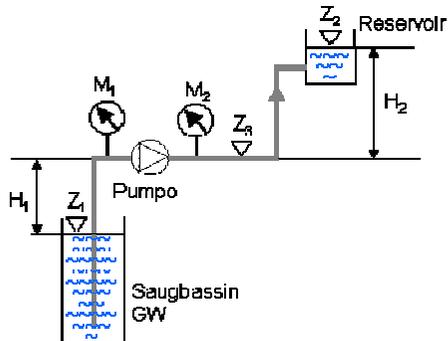
Bitte eintragen was gemessen wurde (bitte NICHTS ausrechnen, nur messen!):

H ₁	m	Höhendifferenz zwischen Pumpe und Wasserniveau Saugbassin [m]
H ₂	m	Höhendifferenz zwischen Pumpe und Niveau Reservoir [m]
M ₁	bar	Manometeranzeige. Manometer zwischen Saugbassin und Pumpe aufgestellt; saugseitig [bar]
M ₂	bar	Manometeranzeige. Manometer zu Pumpe und Reservoir aufgestellt; druckseitig [bar]

[Untenstehenden Wert \(Meter Wassersäule\) in Grobcheck online Register eintragen \(klicken\)](#)

Förderhöhe $\Delta H_{dyn} =$ mWS (Meter Wassersäule)

Saugbassin / GW-Fassung **unterhalb** Pumpe



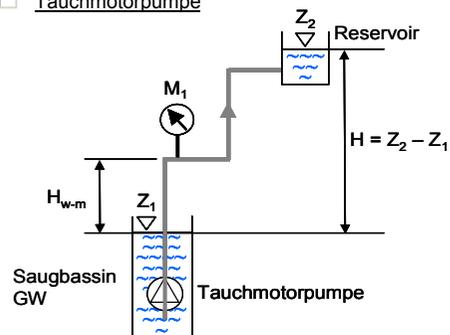
Bitte eintragen was gemessen wurde (bitte NICHTS ausrechnen, nur messen!):

H ₁	2 m	Höhendifferenz zwischen Wasserniveau Saugbassin / GW und Pumpe [m]
H ₂	23 m	Höhendifferenz zwischen Pumpe und Niveau Reservoir [m]
M ₁	-0.2 bar	Manometeranzeige. Manometer zwischen Saugbassin / GW und Pumpe aufgestellt; saugseitig [bar]
M ₂	2.2 bar	Manometeranzeige. Manometer zw. Pumpe und Reservoir aufgestellt; druckseitig [bar]

[Untenstehenden Wert \(Meter Wassersäule\) in Grobcheck online Register eintragen \(klicken\)](#)

Förderhöhe $\Delta H_{dyn} =$ mWS (Meter Wassersäule)

Tauchmotorpumpe



Bitte eintragen was gemessen wurde (bitte NICHTS ausrechnen, nur messen!):

H	m	Höhendifferenz zwischen Wasserniveau Saugbassin / GW und Reservoir; $H = Z_2 - Z_1$ [m]
H _{w-m}	m	Höhendifferenz zwischen Wasserniveau Saugbassin / GW und Manometer M ₁ [m]
M ₁	bar	Manometeranzeige

[Untenstehenden Wert \(Meter Wassersäule\) in Grobcheck online Register eintragen \(klicken\)](#)

Förderhöhe $\Delta H_{dyn} =$ mWS (Meter Wassersäule)



Analyse und Vorgehen zur energetischen Optimierung von Pumpen bei Wasserversorgungen

„Pumpencheck“

Grobcheck – wie wird gerechnet?



Grobcheck – wie wird gerechnet?

0. Konstanten

Festlegung der

- Gravitationsbeschleunigung,
- der Dichte des Wassers,
- des Grenzwertes für die akzeptable Differenz der Phasenströme und
- der Laufzeit für Pumpen

1. Eingabe: Auslegung Allgemein

1.1. Stufenanzahl bei Hochdruckpumpen

1.1.1. Einstufige ND-Pumpe

1.1.2. Mehrstufige HD-Pumpe

1.1.2.1. Anzahl Stufen

1.2. Angaben WV

1.3. Typ Pumpe / Bauweise

1.4. Fabrikat / Hersteller

1.5. Seriennummer

1.6. Auslegungsdaten (ab Datenschild)

1.6.1. Auslegung Fördermenge Pumpe: Q [l/s]

1.6.2. Auslegung Förderhöhe Pumpe: H [m]

1.6.3. Mechanische Nennleistung Motor $P_n = P_{mech}$ [W]

=> wenn $P_{mech} > 375$ kW => Feincheck empfehlen.

1.6.4. Nenndrehzahl Motor n_n [1/min]

1.6.5. Wirkungsgrad Motor bei Nennbelastung η_{mot} [-]

1.6.6. Nennstrom Motor I_n [A]

1.6.7. $\cos \varphi_n$ bei Nennbelastung $\cos \varphi_n$ [-]

1.6.8. Nennspannung Motor U_n [V]

1.7. Typ der Pumpe

1.7.1. trocken aufgestellt

1.7.2. Unterwasserpumpe (UWP)

1.8. Betriebsstunden pro Jahr in [h/a]

1.9. Energiekosten in [CHF/a] (Durchschnitt über alles)

2. Messung an laufender Pumpe: Betriebspunkt

- | | | |
|--|-------------------------|-------|
| 2.1. Effektiver Volumenstrom | Q_{eff} | [l/s] |
| 2.2. Gemessene Förderhöhe | ΔH_{dyn} | [m] |
| 2.3. Strommessung | | |
| 2.3.1. Angabe über bestehende Blindstromkompensation | | |
| 2.3.2. Angabe über Frequenzumrichter inkl. eingestellte Frequenz in [Hz] | | |
| 2.3.3. Phasenströme | $I_{\text{phase}} (3x)$ | [A] |

3. Allgemeine Fragen

- 3.1. Ist heute Erneuerung-, Optimierungs- und/oder Sanierungsbedarf bei der Motor / der Pumpe / dem Gesamtsystem erkennbar?
- 3.2. Einschätzung der Reparatur-/Unterhaltskosten (Motor / Pumpe / Gesamtsystem)
- 3.3. Sind Netzänderungen vorgenommen worden? Welche?

4. Berechnung Gesamtwirkungsgrad IST (Verarbeitung Eingabewerte)

- 4.1. Berechnung hydraulische Leistung:

$$P_{\text{hyd}} = Q_{\text{eff}} * \Delta H_{\text{dyn}} * \rho * g \quad [\text{W}] \quad \text{mit:} \quad \begin{array}{ll} Q & [\text{m}^3/\text{s}] \\ \Delta H_{\text{dyn}} & [\text{m}] \\ \rho & [\text{kg}/\text{m}^3] \\ g & [\text{m}/\text{s}^2] \end{array}$$

- 4.2. Berechnung der elektrischen Leistung:

Elektrische Leistung bei Nennbelastung:

$$P_{\text{elektr,n}} = U_n * I_n * \sqrt{3} * \cos \varphi_n \quad [\text{W}]$$

Annäherung aufgenommene elektrische Leistung mit Tannerscher Formel (s. Anhang „Grobcheck - Bestimmung der elektrischen Leistung eines Asynchronmotors“)

$$\text{Näherungsfaktor } p_0 = -0.3612 + 0.00251 * P_n$$

$$\text{Näherungsfaktor } p_x = 1.3644 - 0.002565 * P_n$$

$$\text{Lastverhältnis } L_v = P_{\text{elektr}} / P_{\text{elektr,n}} = p_0 + p_x * \text{Mittelwert}(I_1, I_2, I_3) / I_n$$

Aufgenommene elektrische Leistung

$$P_{\text{elektr}} = L_v * P_{\text{elektr,n}}$$

- 4.3. Gesamtwirkungsgrad:

$$\eta_{\text{tot,gemessen}} = P_{\text{hyd}} / P_{\text{elektr}}$$

5. Berechnung Gesamtwirkungsgrad OPTIMAL

5.1. Polpaarzahl $ppz = \text{Runden}(3000/n_n)$

5.2. spezifische Drehzahl

$$n_q = n_n * \sqrt{Q_{\text{eff}} / H^{3/4}} \quad \text{mit:} \quad n \quad [1/\text{min}]$$
$$Q_{\text{eff}} \quad [m^3/s]$$
$$H = \Delta H_{\text{dyn}} / \text{Anzahl Stufen} \quad [m]$$

5.2.1. Gewichtung nach Laufradtyp: Tabelle, welche in Abhängigkeit vom n_q den maximal erreichbaren hydraulischen Wirkungsgrad angibt: $\eta_{\text{hydr,max}}$

5.2.2. Gewichtung nach Baugrösse (Q): kleinere Pumpen erreichen konstruktionsbedingt einen niedrigeren Wirkungsgrad als grössere Pumpen mit der gleichen Drehzahl (n_q): f_Q

5.2.3. Reduktion bei grosser Stufenanzahl mit empirischem Faktor f_r

5.3. aus obenstehenden Einflüssen lässt sich der bestmögliche Pumpenwirkungsgrad bestimmen:

$$\eta_{\text{pumpe,opt}} = \eta_{\text{hydr,max}} * f_Q * f_r$$

5.4. Optimale mechanische Leistung:

$$P_{\text{mech,opt}} = P_{\text{hyd}} / \eta_{\text{pumpe,opt}}$$

bestmöglicher Motorenwirkungsgrad:

$\eta_{\text{mot,opt}}$ in Funktion von $P_{\text{mech,opt}}$ (Nachschlagetabelle für trocken aufgestellte und UWP)

5.5. Bestmöglicher Gesamtwirkungsgrad:

$$\eta_{\text{tot,opt}} = \eta_{\text{pumpe,opt}} * \eta_{\text{motor,opt}}$$

6. Resultate - Vergleich IST mit OPTIMAL

6.1. Energieeffizienz (E-Faktor)

$$E = \eta_{\text{tot,gemessen}} / \eta_{\text{tot,opt}} \quad (\text{„Wieviel \% des bestmöglichen Gesamtwirkungsgrades erreicht die bestehende Pumpe im Betriebspunkt?“})$$

Wenn $E > 1$ -> Fehler bei Dateneingabe

Wenn $E < 1$ -> Check ok

Optimierungspotential = $1 - E$ (in % ausgedrückt)

6.2. Energieeinsparpotential

Energie IST $E_{\text{ist}} = P_{\text{elekt}} * \text{Betriebsstunden}$

Energie OPTIMAL $E_{\text{opt}} = P_{\text{hyd}} / \eta_{\text{tot,opt}} * \text{Betriebsstunden}$

Energieeinsparpotential = $E_{\text{ist}} - E_{\text{opt}}$ in [kWh/a]

Energieeinsparpotential in % bezogen auf IST-Zustand = $E_{\text{ist}} - E_{\text{opt}} / E_{\text{ist}}$

6.3. Energiekosteneinsparungspotential (EK)

jährliche Energiekosten heute $EK_{\text{ist}} = P_{\text{elekt}} * \text{Betriebsstunden} * \text{Energiepreis}$

jährliche Energiekosten optimal $EK_{\text{opt}} = P_{\text{hyd}} / \eta_{\text{tot,opt}} * \text{Betriebsstunden} * \text{Energiepreis}$

Jährliche Energiekosteneinsparung = $EK_{\text{ist}} - EK_{\text{opt}}$

Energiekosteneinsparung über Laufzeit Pumpe = $Jährliche \text{ Energiekosteneinsparung} * \text{Laufzeit}$

6.4. Überprüfung Auslegung – Messungen

Überprüfung Förderhöhe $(H - \Delta H_{\text{dyn}}) / H$ darf nicht über 20% sein.

Überprüfung Fördermenge $(Q - Q_{\text{eff}}) / Q$ darf nicht über 20% sein.

Feincheck: Mindestens eine der folgenden Bedingungen muss für eine Feincheck-Empfehlung erfüllt sein.

- Optimierungspotential (6.1) > 10%
- Förderhöhe: Überprüfung der Auslegungsdaten zu den Messungen (6.4) ergibt eine Differenz > 20%
- Fördermenge: Überprüfung der Auslegungsdaten zu den Messungen (6.4) ergibt eine Differenz > 20%
- Motorenleistung (1.6.3) > 375 kW
- Mindestens eine der allgemeinen Fragen (3) ist mit JA, MITTELFRISTIG oder HOCH beantwortet worden.

Achtung: Die ganze Prüfung beachtet nur den Motor und die Pumpen, NICHT aber alle andern Systemkomponenten und Betriebsmodi (Netzkennlinie, Bewirtschaftung,)



Analyse und Vorgehen zur energetischen Optimierung von Pumpen bei Wasserversorgungen

„Pumpencheck“

Grobcheck - Bestimmung der elektrischen Leistung eines Asynchronmotors



	SEMAFOR Informatik & Energie AG	Doc.-Id: V1.3
Author: R. Tanner	Created: 2008/12/22	Updated: 2009/10/03
		Page: 1 / 9

Bestimmung der elektrischen Leistung eines Asynchronmotors

In diesem Dokument werden 2 Näherungsverfahren untersucht, anhand derer sich die elektrische Leistungsaufnahme eines Asynchronmotors ohne Leistungsmessung abschätzen lässt.

Inhaltsverzeichnis

1	Berechnungsmodell	2
2	Typenschilddaten	5
3	Untersuchte Näherungsverfahren	5
4	Blindleistungskompensation	7
5	Fazit	8

1 Berechnungsmodell

Zur Berechnung des Betriebsverhaltens eines Asynchronmotors wird üblicherweise das in Abbildung 1 gezeigte Ersatzschaltbild verwendet.

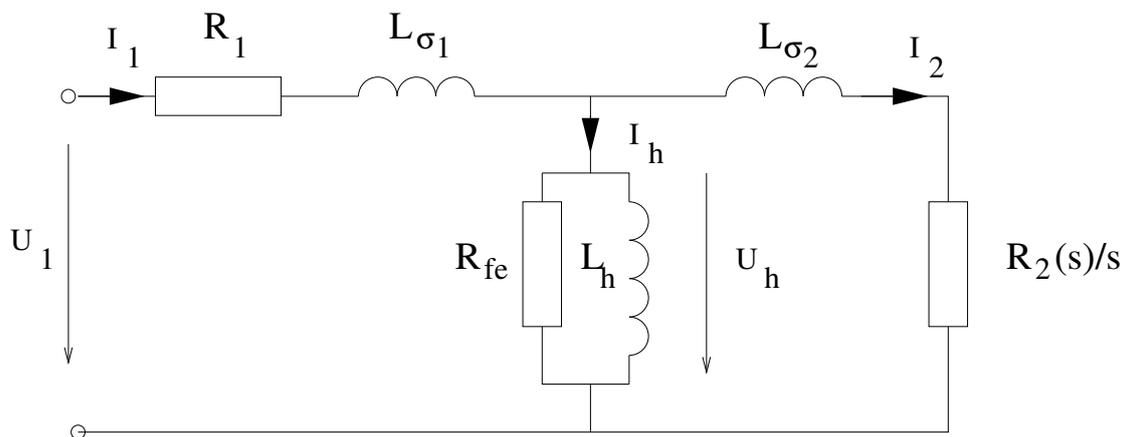


Abbildung 1: Ersatzschaltbild der Asynchronmaschine mit Kurzschlussläufer

Die Spannungsgleichungen lauten:

$$U_1 = [R_1(\vartheta) + jX_{1\sigma}] \underline{I}_1 + j\omega_1 \Psi \quad (1)$$

$$0 = \left[\frac{R_2(\vartheta, s)}{s} + jX_{2\sigma}(s) \right] \underline{I}_2 + j\omega_1 \Psi \quad (2)$$

$$\omega_1 \Psi = \frac{R_{Fe} X_h}{R_{Fe} + jX_h} (\underline{I}_1 + \underline{I}_2) \quad (3)$$

Das Drehmoment an der Welle berechnet sich aus der Leistungsbilanz:

$$M(\vartheta, s) = \frac{p}{\omega_1} [P_1(\vartheta, s) - P_{cu1}(\vartheta, s) - P_{Fe}(\vartheta, s)] - M_{reib}(s) \quad (4)$$

wobei:

$s = 1 - p\Omega/\omega_1$	Schlupf
$R_1(\vartheta)$	Statorwiderstand [Ω]
$R_2(\vartheta, s)$	schlupfabhängiger Rotorwiderstand [Ω]
\underline{I}_1	komplexer Statorstrom [A]
\underline{I}_2	komplexer Rotorstrom [A]
X_h	Hauptreaktanz [Ω]
R_{Fe}	Eisenwiderstand [Ω]
Ψ	Hauptflussverkettung [Vs]
$X_{1\sigma} = \omega_1 L_{1\sigma}$	Streureaktanz des Stators [Ω]
$X_{2\sigma}(s) = \omega_1 L_{2\sigma}(s)$	schlupfabhängige Streureaktanz des Rotors
$\omega_1 = 2\pi f_1$	Kreisfrequenz der Statorspannung in [rad/s]
$\Omega = 2\pi n/60$	Kreisfrequenz der Welle in [rad/s]
$p = pz/2$	Polpaarzahl

Diese Parameter stehen meist nicht so ohne Weiteres zur Verfügung, sie können aber mit guter Näherung mittels numerischer Optimierungsmethoden aus den Katalogdaten berechnet werden. Dieses Verfahren wird von Opal eingesetzt.

Für einen 5.5 kW-Motor sind die resultierenden Kennlinien in Abbildung 2 dargestellt.

Die dominierenden Parameter des Ersatzschaltbildes im stationären Betrieb der Asynchronmaschine sind die Hauptreaktanz X_h , die Streuung $X_\sigma = X_{1\sigma} + X_{2\sigma}$ und der schlupfabhängige Rotorwiderstand R_2/s . Die Ortskurve des Stromes in der komplexen Ebene beschreibt einen Kreis mit dem Durchmesser $I_D = U_1/X_\sigma$.

Näherungsweise kann man in diesem Falle deshalb davon ausgehen, dass

1. das Drehmoment proportional dem Schlupf folgt:

$$M/M_n = s/s_n = \frac{1 - p \cdot n/60/f_1}{1 - p \cdot n_n/60/f_1} \quad (5)$$

2. der Strom sich aus dem Blindstrom I_B und einem dem Lastmoment proportionalen Wirkstrom I_W zusammensetzt (siehe Abbildung 3):

$$I_D^2/4 = [I_B - (I_D/2 + I_o)]^2 + I_W^2 \quad (6)$$

$$I_W/(I_{1n} \cos \varphi_n) = M/M_n \quad (7)$$

Die Gleichung 6 etwas umgeformt, führt zum Wirkstrom:

$$I_W^2 = I_1^2 - \left[\frac{I_1^2 + I_D I_o + I_o^2}{I_D + 2I_o} \right]^2 \quad (8)$$

Typischerweise liegen die Werte von I_D bei etwa dem 7 bis 8-fachen und diejenigen des Leerlaufstromes I_o bei etwa dem 0.2- bis 0.6-fachem des Nennstromes. Das Verhältnis I_D/I_o liegt demnach zwischen 10 bis 30.

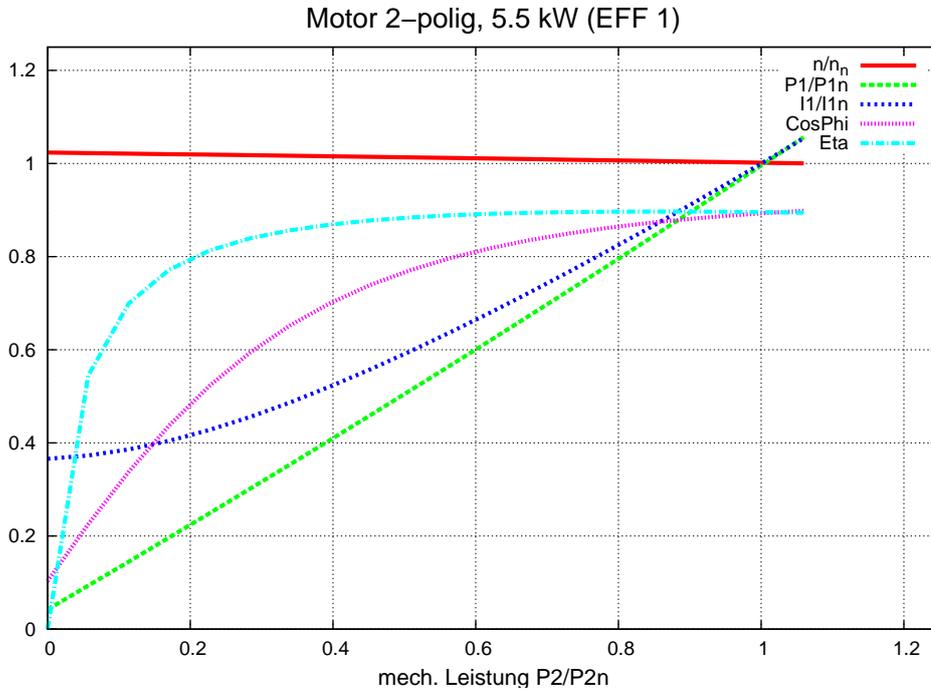


Abbildung 2: Kennlinien eines Asynchronmotors bei 50 Hz

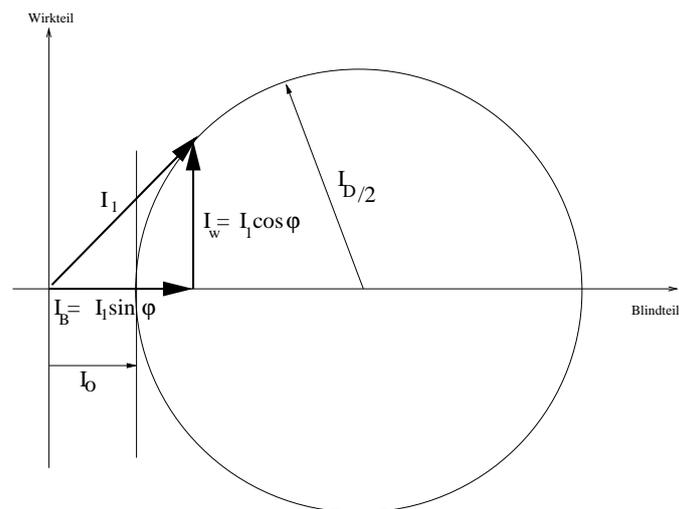


Abbildung 3: Wirk- und Blindstrom auf der Stromortskurve

2 Typenschilddaten

Die folgenden Angaben können dem Typen- oder Leistungsschild eines Asynchronmotors entnommen werden:

Nennspannung	verkettet, d.h. zw. zwei Leitern	U_{1n}
Nennleistung	zulässige dauernde mechanische Abgabeleistung	P_{2n}
Nenn Drehzahl	Drehzahl bei Belastung mit Nennleistung	n_n
Nennstrom	Stromaufnahme bei Nennspannung und Nennbelastung	I_{1n}
Leistungsfaktor	Phasenwinkel zwischen Strom und Spannung bei Nennbelastung	$\cos\varphi_n$
Nennfrequenz		f_{1n}

Aus diesen Werten lässt sich die elektrische Leistung im Nennpunkt bestimmen:

$$P_{1n} = \sqrt{3} \cdot I_{1n} \cdot U_{1n} \cdot \cos\varphi_n \quad (9)$$

3 Untersuchte Näherungsverfahren

Im stationären Betrieb können die Strom- und Drehzahl-Kennlinien wie in Kapitel 1 beschrieben approximiert werden. Es bieten sich daher für die einfache Abschätzung der elektrischen Leistungsaufnahme die folgenden Verfahren an:

1. Messung des Leiterstromes I_1 :

$$P_1/P_{1n} = p_o + p_x \cdot I_1/I_{1n} \quad (10)$$

2. Messung der Wellendrehzahl n

$$P_1/P_{1n} = s/s_n = (f_1 - p \cdot n/60)/(f_1 - p \cdot n_n/60) \quad (11)$$

Die beiden Parameter p_o und p_x können mittels linearer Regression bestimmt werden. Die Abbildung 4 zeigt die berechneten Werte für einige 2- und 4-polige Motoren. Für Motoren bis 30 kW können die folgenden Werte eingesetzt werden:

- $p_x = 1.36$
- $p_o = -0.36$

Die daraus resultierenden Abweichungen sind in Abbildung 5 dargestellt.

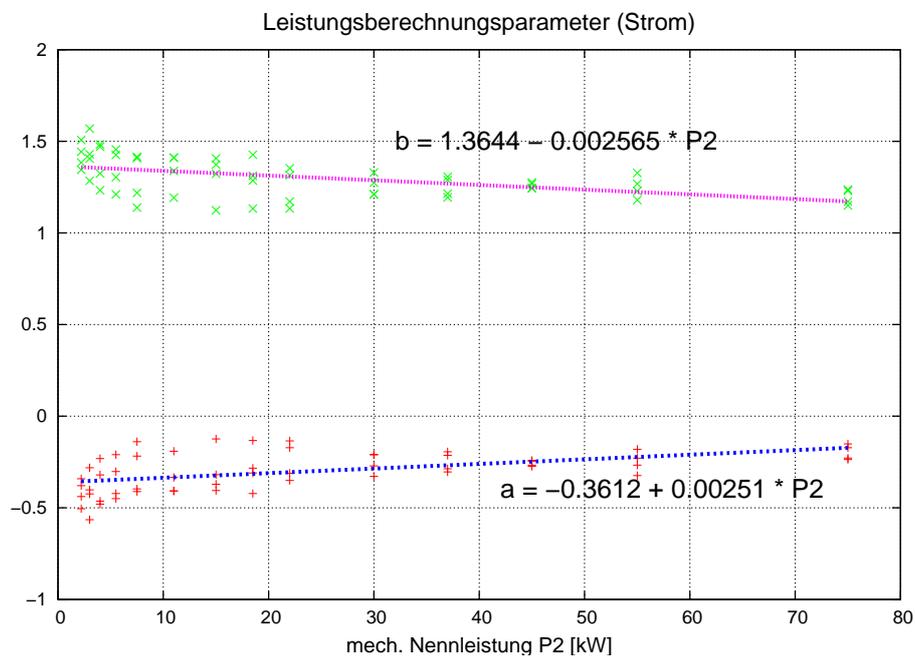


Abbildung 4: Leistungsparameter für das Strommess-Verfahren

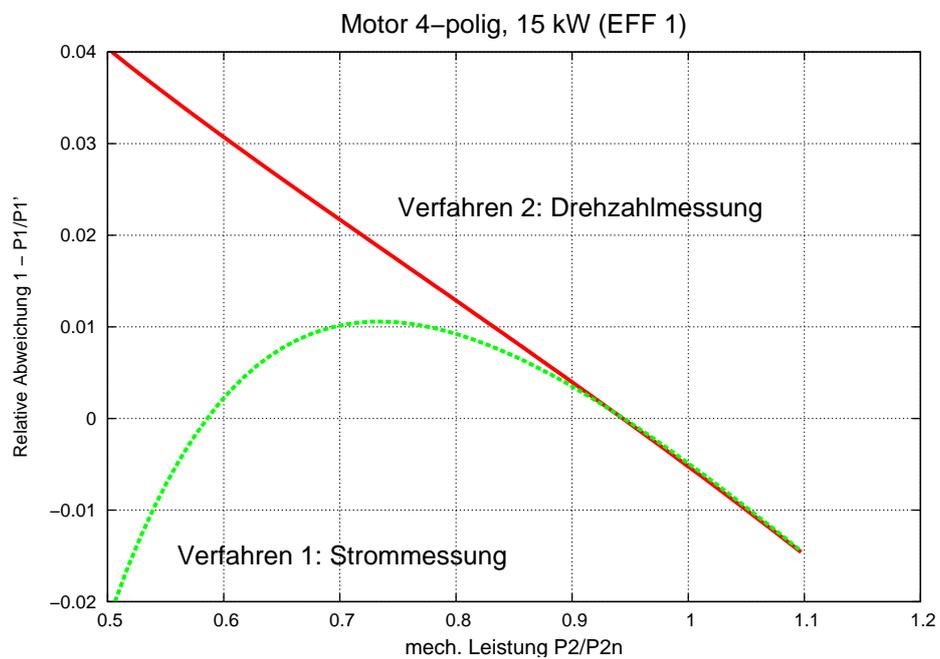


Abbildung 5: Relative Abweichungen der elektrischen Leistung

Beispiele:

		Motor 1	Motor 2
Typenschilddaten			
Nennleistung P_{2n}	[kW]	7.5	22
Nennzahl n	[1/min]	1455	2940
Nennstrom I_{1n}	[A]	14.3	38.1
Nennspannung U_{1n}	[V]	400	400
Leistungsfaktor $\cos \varphi_n$		0.84	0.92
Nennfrequenz f_1	[Hz]	50	50
Leistung aus Strommessung			
Strom	[A]	10.8	31.0
el. Leistung	[kW]	5.6	18.1
Leistung aus Drehzahlmessung			
Drehzahl	[1/min]	1463	2963.3
el. Leistung	[kW]	6.84	14.86

4 Blindleistungsskompensation

Als Blindleistung bezeichnet man in einem Wechselstromnetz jenen Teil Leistung, der während einer Netzperiode (20 ms bei 50 Hz) zwischen Erzeuger und Verbraucher hin und her pendelt. Da diese Leistung nicht genutzt werden kann, also lediglich das Stromversorgungsnetz belastet, verlangen die meisten Elektrizitätswerke, dass ihr Wert begrenzt wird. Dazu wird in der Regel an einer zentralen Einspeisestelle oder bei grösseren induktiven Verbrauchern eine kapazitive Impedanz hinzugeschaltet. (Siehe Abbildung 6)

Dieses Verfahren nennt man Blindleistungsskompensation (engl. Power Factor Compensation). Im Idealfall wird die Impedanz genügend gross dimensioniert, dass keine Blindleistung mehr vom Netz bezogen werden muss, der Cos-Phi (oder Leistungsfaktor) somit 1 beträgt.

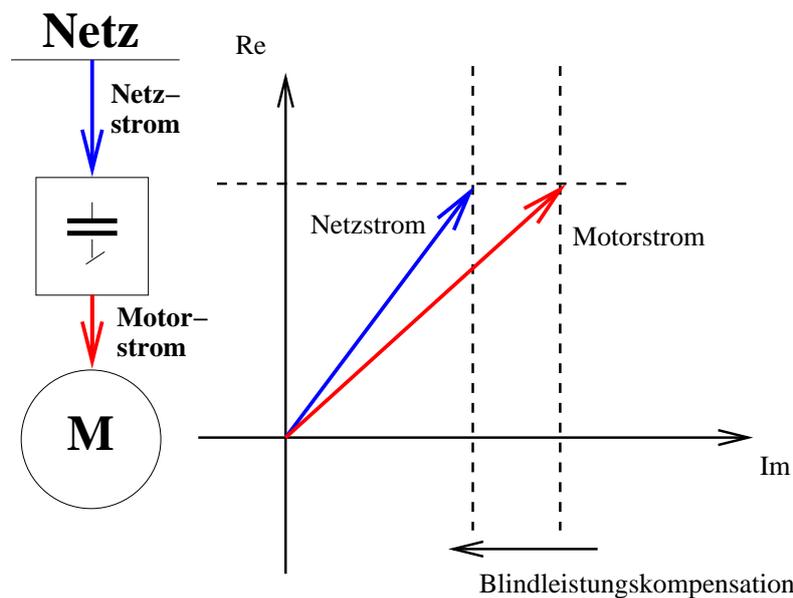


Abbildung 6: Einfluss der Blindleistungskompensation auf den Netzstrom

Man unterscheidet folgende Verfahren:

- **Passive** Blindleistungskompensation durch Parallelschaltung von Kondensatoren
- **Aktive** Blindleistungskompensation: hier könnte man weiter in dynamische und statische Kompensation unterscheiden. Als dynamische Kompensatoren kommen Synchrongeneratoren (rotierende Phasenschieber) zum Einsatz. Diese Technik ist heute eher veraltet. Bei den statischen Kompensatoren wird der Strom durch die Kondensatoren mit Halbleiterschaltern geregelt. Dies hat den Vorteil, dass sehr schnell auf Laständerungen reagiert werden kann. Allerdings wird dabei auch der Wirkungsgrad ein paar Prozentpunkte schlechter als bei der passiven Variante.

5 Fazit

Die elektrische Leistung eines Asynchronmotors im stationären Betrieb lässt sich im Bereich zwischen 30 bis 120 % der Nennleistung anhand einer Strom- oder Drehzahlmessung mit den hier beschriebenen Verfahren gut abschätzen, unter der Voraussetzung, dass der Motorstrom gemessen wird. Befindet sich eine Blindleistungskompensation zwischen der Messstelle und dem Motor, kann dieses Verfahren nicht angewendet werden. Weiter muss berücksichtigt werden, dass die Typenschild-Daten des Motors eine Toleranz von +/- 10% aufweisen können.

Bei einer Speisung mit Frequenzumrichter kann mit guter Näherung davon ausgegangen werden, dass auf der Netzseite reine Wirkleistung bezogen wird, man aus der Strommes-

sung daher mit folgender Gleichung die Wirkleistung des Motors erhält:

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot I_1 \cdot U_1 \cdot \eta_{FU} \quad (12)$$

mit dem Wirkungsgrad η_{FU} des Frequenzumrichters, der meist Werte zwischen 0.9 bis 0.96 annimmt.

Weitere Informationen: www.energie.ch/at/asm



Analyse und Vorgehen zur energetischen Optimierung von Pumpen bei Wasserversorgungen

„Pumpencheck“

Feincheck – Anleitung



Projekt Pumpencheck "Feincheck"

Pumpen- und Systemanalyse an einer Pumpe zur Ermittlung des energetischen und wirtschaftlichen Optimierungspotentials

Kunde

Objekt

Pumpe

Pumpentyp

Seriennummer

U/Auftrag

Verfasser

Feincheck durchgeführt von

Vorlage & Anleitung für einen Feincheck

Diese Vorlage & Anleitung gibt die Struktur des Feinchecks, die Minimalanforderung an die zu erhebenden Daten sowie deren Auswertung vor.

Haftungsausschluss

Dieses Produkt wurde zur Unterstützung bei der Entscheidungsfindung von Energiesparmassnahmen an Pumpen in Wasserversorgungen entwickelt. Es kann keine Gewährleistung für die Richtigkeit und Vollständigkeit der erhaltenen Ergebnisse und Informationen geltend gemacht werden. Haftungsansprüche, welche sich auf Schäden materieller oder ideeller Art beziehen, die durch die Nutzung oder Nichtnutzung der dargebotenen Informationen bzw. durch die Nutzung fehlerhafter und unvollständiger Informationen verursacht wurden, sind grundsätzlich ausgeschlossen.

Inhaltsverzeichnis

1	Abstract	4
2	Ausgangslage, Aufgabenstellung.....	4
3	Datengrundlage	4
4	Schematische Übersicht der Ergebnisse.....	4
5	Messaufbau / Messpunkte / Messgrößen	4
5.1	Schematische Darstellung des Messobjekts.....	4
5.2	Verwendete Messgeräte.....	4
5.3	Festgelegtes Messprozedere für den „Feincheck“	4
6	Messergebnisse in Tabellenform	5
6.1	Datum, Zeit und Dauer des Messvorganges	5
6.2	Hydraulische Messdaten.....	5
6.3	Elektrische Messdaten.....	5
6.4	Mechanische Messungen an Motor und Pumpe.....	5
6.5	Allgemeiner optischer Zustand.....	5
7	Interpretation der Messergebnisse	5
7.1	Grobcheckresultate.....	5
7.2	Plausibilisierung des Grobchecks mit Daten aus eigener Messung	5
7.3	Analyse heutiger Betriebspunkt.....	5
7.4	Berechnete Kennlinie „mechanische Wellenleistung der Pumpe“	6
7.5	Vergleich Q/H-Messkennlinie „Feincheck“ mit Ursprungskennlinie	6
7.6	Bewertung der elektrischen Messdaten.....	6
7.7	Bewertung mechanischer Zustand Motor und Pumpe.....	6
7.8	Bewertung des allgemeinen optischen Zustandes	6
7.9	Messgenauigkeit bzw. Fehlertoleranz	6
8	Aktuelles Betriebskonzept	6
9	Mögliche Massnahmen zur Energieoptimierung	7
9.1	Energiesparmassnahmen Pumpe / Motor	7
9.2	Energiesparmassnahmen Betriebsänderung	7
9.3	Kosten/Nutzen Rechnung der verschiedenen Energieoptimierungsvarianten	7
9.4	Empfehlung zur Umsetzung.....	7
10	Anhang	7
10.1	Hydraulisches Schema und Planunterlagen der WV.....	7
10.2	Dokumentation bestehende Pumpe.....	7
10.3	Dokumentation bestehender Motor	7
10.4	Messgeräteliste	7
10.5	Messprotokoll der erhobenen Daten	7

1 Abstract

Was wurde gemacht?
Welche WV ist betroffen?
Welche Pumpe ist betroffen?
Wann wurde der Feincheck durchgeführt?
Was ist dabei herausgekommen. (*kurz fassen!*)

2 Ausgangslage, Aufgabenstellung

Was ist das Ziel und was kann von diesem Feincheck erwartet werden?
Grund für einen Feincheck.
Was wird im Feincheck gemacht?
Was wird im Feincheck nicht gemacht?
Wo haben sich Probleme ergeben?
Wie wurde vorgegangen?

3 Datengrundlage

Welche Dokumente sind für den Feincheck zur Verfügung gestanden?
Welche Dokumente haben gefehlt?

4 Schematische Übersicht der Ergebnisse

Zusammenfassung der wichtigsten Resultate der Messungen.
Zusammenfassung der empfohlenen wirtschaftlichen Energiesparmassnahmen mit dem Einsparpotential in kWh/a und CHF/a.

5 Messaufbau / Messpunkte / Messgrössen

5.1 Schematische Darstellung des Messobjekts

Welche Pumpe ist das Messobjekt?
Beschrieb Zulauf der Pumpe mit Druckverlusten -> Eingangsdruck Pumpe
Beschrieb Ablauf der Pumpe -> Ausgangsdruck Pumpe
Geodätische Förderhöhen

5.2 Verwendete Messgeräte

Auflistung der verwendeten Messgeräte, sowohl fix (installiert) als auch mobil. Angaben der jeweiligen Messgenauigkeiten.

5.3 Festgelegtes Messprozedere für den „Feincheck“

Mindestens:

- Messung Betriebspunkt (Überprüfung Grobcheck)
- Messungen von mindestens 3 Betriebspunkten bei unterschiedlich gedrosseltem Absperrorgan:
Aufzeichnung der Pumpencharakteristik.
- Angabe des zeitlichen Ablaufs (neuer Betriebspunkt, 5 Minuten warten, Messung,...)

6 Messergebnisse in Tabellenform

6.1 Datum, Zeit und Dauer des Messvorganges

Datum, Zeit und Dauer des Messvorganges auflisten. Die Messung hat den normalen Betriebsbedingungen zu entsprechen.

6.2 Hydraulische Messdaten

Hydraulische Messdaten Pumpe:

Ziel ist die Ermittlung der hydraulischen Leistung P_{hyd}

- Druckmessung zulaufseitig
- Druckmessung druckseitig
- Mengenummessung stationär (IDM)
- Mengenummessung mobil (Ultraschalldurchflussmessung)

Wie und wo werden die jeweiligen Messgrößen erfasst?

6.3 Elektrische Messdaten

Elektrische Messdaten Motor:

Ziel ist die Ermittlung der elektrischen Leistung P_{elek}

- Phasenspannungen U
- Phasenströme I
- $\cos \varphi$
- Isolationswiderstand der Wicklung

Achtung : Blindstromkompensation und FU! Softstarter und Sanftanlasser?

Wie und wo werden die jeweiligen Messgrößen erfasst?

6.4 Mechanische Messungen an Motor und Pumpe

Mechanische Messdaten:

- Frequenzbandaufzeichnungen der Körperschwingungen FFT
- Effektive Nenndrehzahl des Systems
- Kavitationsbewertung an der laufenden Pumpe
- Ausrichtung Motor – Pumpe
- Wälzlagerzustand
- Dichtungen

Wie und wo werden die jeweiligen Messgrößen erfasst?

6.5 Allgemeiner optischer Zustand

Beschreibung des allgemeinen optischen Zustandes: Rohrleitungsführung, Hochpunkte, Leitungsquerschnitte, Armaturen (Alter, Wartung), etc.

7 Interpretation der Messergebnisse

7.1 Grobcheckresultate

Wiederholung der Resultate des Grobchecks: Spannung, Stromstärke, Förderhöhe, Fördermenge, Gesamtwirkungsgrad und Optimierungspotentiale (sowohl energetisch wie auch finanziell).

7.2 Plausibilisierung des Grobchecks mit Daten aus eigener Messung

Pumpengrobcheck mit erhobenen Daten durchführen. Bestehen Unterschiede zum Grobcheck, den die WV ausgefüllt hat? Wenn ja, worauf sind diese zurückzuführen? Welches sind die daraus zu schliessenden Schlüsse?

7.3 Analyse heutiger Betriebspunkt

Anhand der Messungen wird der heutige Betriebspunkt mit dem Auslegungspunkt verglichen. Interpretation der Differenzen, Abschätzung der Gründe hierfür.

7.4 Berechnete Kennlinie „mechanische Wellenleistung der Pumpe“

Anhand der ermittelten Daten lässt sich nur der Gesamtwirkungsgrad der Maschine Motor-Pumpe ermitteln. Um die Wellenleistung der Pumpe zu ermitteln ist eine *Berechnung* bzw. *Abschätzung* der mechanischen Wellenleistung notwendig. Diese wird mit Hilfe der Messdaten am Motor, dem Zustand des Motors, den Steuerungskomponenten (Softstarter, FU, Kompensation, usw.), dem Alter des Motors, usw. ermittelt. Dies ermöglicht ein Vergleich der berechneten Wellenleistung der Pumpe mit der ursprünglichen Wellenleistung der Pumpe und somit eine Aussage zur Güte der Pumpe.

Dasselbe gilt für den Vergleich heutiger Pumpenwirkungsgrad mit ursprünglichem Pumpenwirkungsgrad. Hier muss ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass es sich um eine Abschätzung handelt.

7.5 Vergleich Q/H-Messkennlinie „Feincheck“ mit Ursprungskennlinie

Anhand der Messungen wird die heutige Pumpenkennlinie ermittelt. Diese wird mit der originalen Pumpenkennlinie verglichen.

Interpretation der Differenzen, Abschätzung der Gründe hierfür.

7.6 Bewertung der elektrischen Messdaten

Bewertung der Punkte unter 6.3:

7.7 Bewertung mechanischer Zustand Motor und Pumpe

Bewertung der Punkte unter 6.4:

7.8 Bewertung des allgemeinen optischen Zustandes

Beurteilung des allgemeinen optischen Zustandes (Punkt 6.5): wo besteht Optimierungspotential?

7.9 Messgenauigkeit bzw. Fehlertoleranz

Angaben der Messgenauigkeit der verschiedenen Resultate.

8 Aktuelles Betriebskonzept

Beschreibung des aktuellen Betriebskonzepts.

- Wann und wie laufen die Pumpen? Parallelbetrieb? Redundanzen?
- Wartungsintervall? Reparaturkosten? Notfälle?
- Wie viel Wasser wird jährlich gefördert? Wie hoch ist der Energieverbrauch?
- Unterschied des Betriebes je nach Jahreszeit?

9 Mögliche Massnahmen zur Energieoptimierung

9.1 Energiesparmassnahmen Pumpe / Motor

Auflistung der verschiedenen wirtschaftlichen Energiesparmassnahmen an der Pumpe / Motor.

9.2 Energiesparmassnahmen Betriebsänderung

Auflistung der verschiedenen wirtschaftlichen Energiesparmassnahmen durch Änderung des Betriebskonzeptes.

9.3 Kosten/Nutzen Rechnung der verschiedenen Energieoptimierungsvarianten

Kosten/Nutzen-Rechnung der vorangehenden Energiesparmassnahmen mit Bewertung und Rangliste. Die Kosten für die Ersatzpumpe und die Kosten für die Arbeiten des Ersatzes sind separat auszuweisen. Kombinationen der verschiedenen Energiesparmassnahmen sind möglich.

9.4 Empfehlung zur Umsetzung

Empfehlung, welche Energiesparmassnahmen umgesetzt werden sollen.

10 Anhang

10.1 Hydraulisches Schema und Planunterlagen der WV

10.2 Dokumentation bestehende Pumpe

10.3 Dokumentation bestehender Motor

10.4 Messgeräteliste

10.5 Messprotokoll der erhobenen Daten



Analyse und Vorgehen zur energetischen Optimierung von Pumpen bei Wasserversorgungen

„Pumpencheck“

Feincheck – zu erhebende Daten



Feincheck: zu erhebende Daten und durchzuführende Messungen

1. Die Pumpencharakteristik ist mit mindestens 3 Punkten zu erheben.
Zu messen:
 - Q [l/min] / H [m]
 - Q [l/min] / P [kW], wobei für P der Strom, die Spannung und der cos phi notwendig resp. zu messen sind
2. Q über vorhandenen MID mit Kontrolle der Einbausituation gemäss Herstellerangaben (Beruhigungsstrecke vor und nach Messung).
3. Plausibilitätsüberprüfung MID mittels mobiler Ultraschalldurchflussmessung (bei fehlender MID ein Muss)
4. Messung H [m] mit geeichtem Digitalmanometer (Saug- und Druckseite)
5. Strom + Spannung + cos phi auf allen 3 Phasen; cos phi muss gemessen werden!
6. Berücksichtigung von Blindstromkompensation
 - geregelt oder ungeregelt
 - verdrosselt oder unverdrosselt
7. Wasserstand Brunnen / Saugbassin / GW-Fassung → Eingangsdruck
8. Wasserstand Reservoir, in welches gepumpt wird?
9. Detaillierte Verlustrechnung der Rohrleitungen ab Pumpenachse bis zum Manometer unter Berücksichtigung der Rohrleitungsdurchmesser (Bernoulli-Geschwindigkeits-Quadrat) gemäss ISO 9906.
10. Vorhandensein und wenn ja Art der Frequenzumformung FU
11. Berücksichtigung aller Starthilfen (Sanftanlasser) → Verluste → Wartezeit bis Messung
12. Berücksichtigung des FU → Verluste → Wartezeit bis Messung
13. Beurteilung des Isolationszustandes der Motorenwicklung.
14. Vibrationsmessung an der Pumpe selbst oder bei Unterwasserpumpen am Steigrohr in Form einer FFT-(Fast-Fourier-Transformation)-Frequenzbandanalyse.
15. Ausrichtung Motor – Pumpe.
16. Kavitationsbewertung an der laufenden Pumpe
17. Wälzlagerzustand
18. Zustand Dichtungen Motor und Pumpe (optisch, Leckage)
19. Systemanalyse: Betriebsart / Bewirtschaftung / Steuerung

Bericht

20. Beurteilung und Auswertung aller Werte mit Toleranzangaben und Beurteilung der ganzen Messungen in klar verständlichem und selbsterklärendem Bericht (Vergleiche mit Ursprungskennlinie: Messkurve oder Katalogkennlinie)
21. Beurteilung Gesamtsystem: Beurteilung seinerzeitige Auslegung und gerechnete Parameter (sofern vorhanden)
22. Suchen und vergleichen mit bestmöglicher oder „best-passender“ Pumpe auf dem Herstellermarkt
23. Wirtschaftlichkeitsnachweis des Ersatzes der Pumpe bzw. der energetischen Verbesserungsmassnahmen.

Allgemeines

24. Messtoleranzen bzw. –genauigkeiten sind von der ausführenden Person festzuhalten.
25. Der Feincheckbericht muss einen Bezug zum Grobcheck herstellen. Was wurde im Vergleich zum Grobcheck gemacht, wo liegen die Unterschiede, was sind Erklärungen dafür, usw.



Analyse und Vorgehen zur energetischen Optimierung von Pumpen bei Wasserversorgungen

„Pumpencheck“

Feincheck – Beispiel



Projekt Pumpencheck “Feincheck“

Kunde SWG Worben
Objekt HDPW Worben
Pumpe Pumpe 2, Nidau
Pumpentyp BPK 35-4stufig 8091 W, BBC 250 kW
Serialnr. 3-410.7880

U/Auftrag: 76223
Verfasser: Reto Baumann

Übersicht

	Seite
1. Ausgangslage, Aufgabenstellung	3
2. Schematische Übersicht der Kenndaten/Ergebnisse	4
3. Messaufbau / Messpunkte / Messgrößen	5
3.1 Festgelegte Messgrößen für den „Feincheck“	5
3.2 Festgelegtes Messprozedere für den „Feincheck“	5
3.3 Geodätische Förderhöhen	6
3.4 Schematische Darstellung des Messobjekts	6
3.5 Zusätzliche Messpunkte neben den bereits installierten	7
3.6 Aktuelles Betriebskonzept	7
4. Messergebnisse in Tabellenform	8
4.1 Datum, Zeit und Dauer des Messvorganges	8
4.2 Hydraulische Messdaten	8
4.3 Elektrische Messdaten	8
4.4 Frequenzbandanalyse	9
5. Messkennlinie im Vergleich zur Ursprungskennlinie	10
6. Diskussion/Interpretation der Messergebnisse	11
6.1 Messkennlinie im Vergleich zum Betriebspunkt des Grobchecks	11
6.2 Berechnete Kennlinie „mechanische Wellenleistung der Pumpe“	12
6.3 Q/H-Messkennlinie „Feincheck“ im Vergleich mit der Ursprungskennlinie	13
6.4 Bewertung: Schwingungsverhalten, mechanische Laufkultur, Kavitation	14
7. Mögliche Massnahmen zur Energieoptimierung	15
7.1 Ersatz des Antriebsmotors durch einen Hocheffizienzmotor	15
7.2 Ersatz des Antriebsmotors und Veränderung des Betriebskonzeptes	16
8. Messgeräteliste	17
9. Anhang	18
9.1 Pumpenunterlagen aus der Herstellungsphase	18
9.2 Dokumentation zum eingesetzten Motor	20

1. Ausgangslage, Aufgabenstellung

Im Zuge des Projekts „Pumpencheck“ des BFE tritt die Firma Häny AG als Industriepartner auf. Die SWG Worben hat im Zuge dieses Projekts als Testkandidat für diverse Pumpen die definierten Parameter zur Beurteilung der Energieeffizienz selbständig ermittelt und zur Verfügung gestellt.

Nach der Bewertung der eingegangenen Daten durch den „Grobcheck“ wurde nun ohne genauere Kenntnisse der Situation vor Ort die Pumpe ausgewählt, welche das mutmasslich grösste Potential aufweist, um die Energieeffizienz zu steigern.

Die Häny AG führte detaillierte Messungen sowohl elektrischer, hydraulischer als auch mechanischer Art durch, um anhand der vorliegenden Berichtes das Einsparpotential sowie den Zustand der Pumpe zu verifizieren. Dieses Vorgehen bildet den zweiten Schritt im Projekt „Pumpencheck“ und wird als „Feincheck“ bezeichnet.

Die Häny AG übernimmt keine Gewährleistung bei allfälligen Umsetzungen von beschriebenen Massnahmen, ohne den Beizug der Häny AG.



2. Schematische Übersicht der Kenndaten / Ergebnisse

Kennlinienübereinstimmung Feincheck mit der Ursprungskennlinie (Q)

0.88



Schwingungsverhalten / Mechanische Laufkultur

0.98



Isolationswiderstand

0.75



∞



Phasensymmetrie

Abweichung 2%



0 %



Effizienzfaktor ermittelt aus dem Feincheck:

0.93



Effizienzfaktor ermittelt aus dem Grobcheck:

0.77



Legende:

0/sehr schlecht

0.4/schlecht

0.7/genügend

1/sehr gut



3. Messgrössen / Messprozedere / Messaufbau

3.1 Folgende Messgrössen wurden für den vorliegenden „Feincheck“ festgelegt

Elektrische Messdaten:

- Phasenspannungen
- Phasenströme
- Cos Phi
- Isolationswiderstand der Wicklung

Hydraulische Messdaten:

- Druckmessung zulaufseitig
- Druckmessung druckseitig
- Mengennmessung stationär (IDM)
- Mengennmessung mobil (Ultraschalldurchflussmessung)

Mechanische Messdaten:

- Frequenzbandaufzeichnungen der Körperschwingungen FFT
- Effektive Nenndrehzahl des Systems
- Kavitationsbewertung an der laufenden Pumpe

3.2 Folgendes Messprozedere wurde für den vorliegenden „Feincheck“ festgelegt

1. Messung des Betriebspunktes bei „offenem“ System (Schieber ungedrosselt). Dieser Betriebspunkt entspricht dem effektiven Betriebspunkt bei äquivalenten Systemparametern (Reservoirstände, Netzbezüge, ...)
2. Messung von mindestens drei Betriebspunkten bei unterschiedlich gedrosseltem druckseitigem Absperrorgan zur Aufzeichnung der Pumpencharakteristik in Abhängigkeit zum Energieverbrauch.

3.5 Zusätzliche Messpunkte neben den bereits installierten Messvorrichtungen

Mobile Ultraschalldurchflussmessung (Endress und Hauser)
Prosonic Flow 91

Toleranzwerte der Messgrößen:
Messeingänge (Ultraschallsignal): +/- 2.0 %



Mobile Messung der elektrischen Daten (IBA Aarau)
GMC Mavowatt 45

Toleranzwerte der Messgrößen:
Messeingänge (Strom/Spannung): +/- 0.3 %
Abgeleitete Messgrößen (P/cosphi): +/- 0.6 %



Mobile Messung des Pumpendruckes (Häny AG)
(zulauf- und druckseitig)

Toleranzwerte der Messgrößen:
Messeingänge (Druck): +/- 0.2 %



FFT-Schwingungsmessungen (Frequenzbandanalyse)
Vibscanner DB Prüftechnik (Häny AG)

Toleranzwerte der Messgrößen:
Messeingänge (Schwingung mm/s): +/- 0.8 %



3.6 Aktuelles Betriebskonzept

Die Pumpe wird im Moment während 10 – 12 Stunden pro Woche betrieben.

4. Messergebnisse in Tabellenform

4.1 Datum, Zeit und Dauer des Messvorganges

Die Messung wurde am 12.08.2009 durchgeführt.

Start der Messung der hydraulischen und elektrischen Werte: 10.00 Uhr

Ende der Messung der hydraulischen und elektrischen Werte: 10:41 Uhr

Dauer des Messvorganges (hydraulisch, elektrisch): 00:41 h

4.2 Hydraulische Messdaten

Messpunkt	Drehzahl	Mengenmessung		Druckmessung		
		Prosonic mobil	IDM stationär	Eintrittsseite	Druckseite	Manometrische Förderhöhe *
		[l/min]	[l/min]	[bar]	[bar]	[bar]
1. Messreihe	[1/min]	[l/min]	[l/min]	[bar]	[bar]	[bar]
60 l/s = 3600 l/min	1488	3600	3700	0.46	15.5	15.14
80 l/s = 4800 l/min	1488	4700	5300	0.45	14.1	13.75
100 l/s = 6000 l/min	1488	6500	7095	0.47	12.8	12.43
Schieber voll offen	1488	8800	9000	0.47	10.8	10.43

Bemerkung: Punkt einstellen an Klappe (2 min warten), Ablesungen und Notierungen durchführen.

* Berechnet auf den Abgangsstutzen der höchstliegenden Stufe

4.3 Elektrische Messdaten

Messpunkt	Drehzahl	Motormessung						
		Phasen-Strom U	Phasen-Strom V	Phasen-Strom W	Spannung U	Spannung V	Spannung W	cos φ
		[A]	[A]	[A]	[V]	[V]	[V]	[-]
1. Messreihe	[1/min]	[A]	[A]	[A]	[V]	[V]	[V]	[-]
60 l/s = 3600 l/min	1488	279	274	272	399	399	399	0.90
80 l/s = 4800 l/min	1488	295	289	288	399	399	399	0.90
100 l/s = 6000 l/min	1488	320	313	315	399	399	399	0.91
Schieber voll offen	1488	334	330	328	399	399	399	0.91

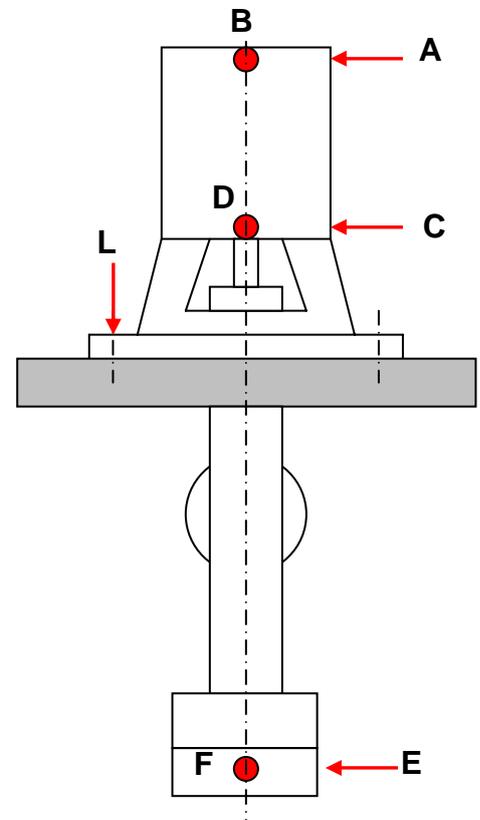
Bemerkung: Messpunkt eingestellt an Klappe (2 min warten), Ablesungen durchgeführt

Die Isolationswiderstandsmessung aller drei Phasen gegen Erde hat gezeigt, dass die Wicklungsisolierung keine Mängel aufweist (Widerstand U=600 MOhm, V=950 MOhm, W=720 MOhm).

4.4 Frequenzbandanalyse

Mittels einem mobilen Messgerät wurden an der zu messenden Punkte die Werte der Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Frequenz aufgezeichnet und mittels einer Fast Fourier Transformation in eine Frequenzbanddarstellung umgewandelt. Von jedem Messpunkt wurden jeweils die drei stärksten Signale mit der entsprechenden Geschwindigkeit und zugehöriger Frequenz aufgezeichnet. Die Messung fand im Betrieb bei ungedrosseltem Schieber statt.

Stelle:	FFT1 mm/s ; Hz	FFT2 mm/s ; Hz	FFT3 mm/s ; Hz
A	0.16/24.75	0.15/100	0.07/49.75
B	0.25/24.75	0.13/49.75	0.07/100
C	0.39/100	0.24/24.75	0.08/49.5
D	0.03/100	0.05/43.5	0.05/24.75
E	1.95/24.75	0.1/20.75	0.06/20.75
F	2.05/24.75	0.18/49.5	0.12/21.25
L	0.04/24.75	0.01/1.25	0.01/100
M			
N			

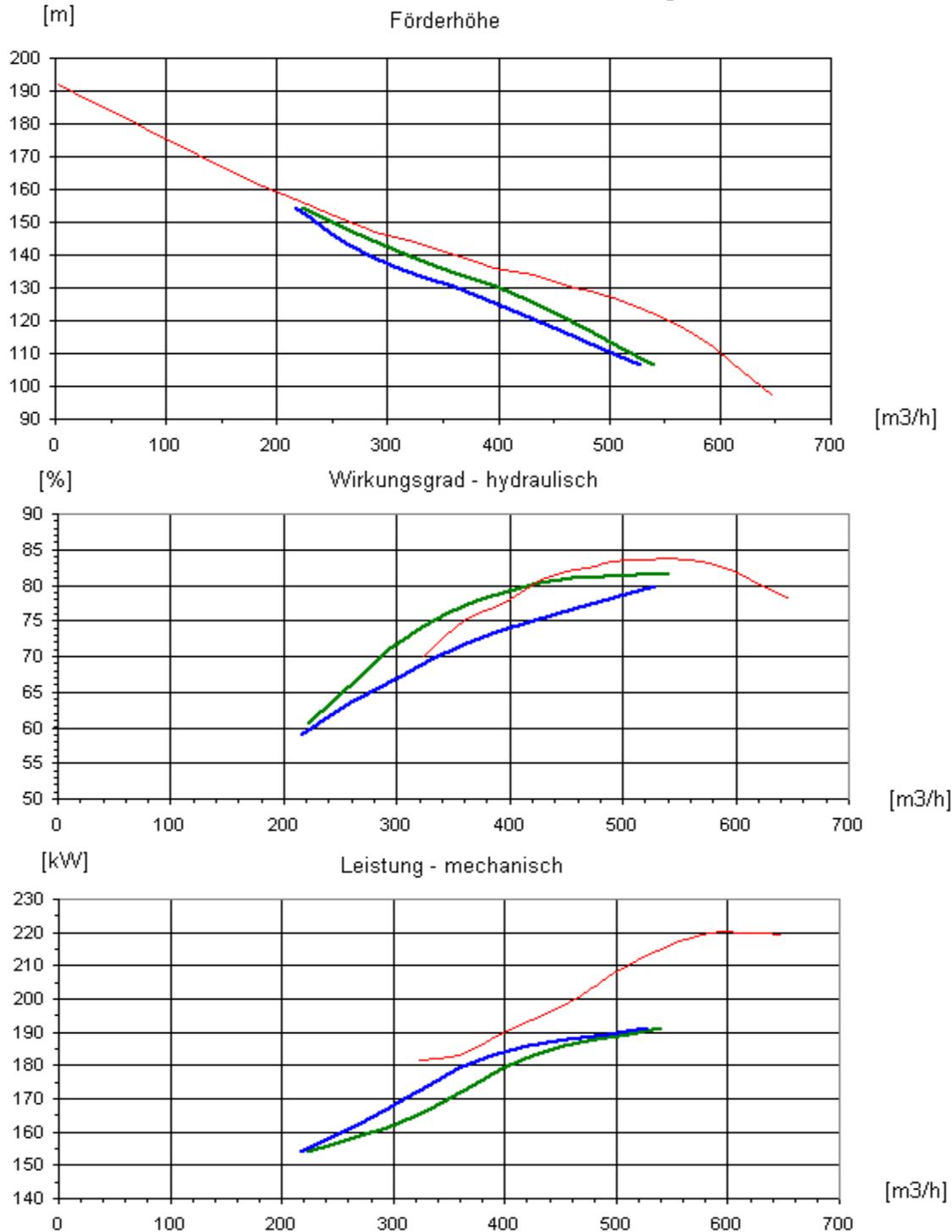


5.0 Messkennlinien im Vergleich zur Ursprungskennlinie 3-410.7880

SWG Worben	Typ: Sulzer CCM
HDPW Worben	BPK 35-4st
Pumpe 2 Nidau	3-410.7880

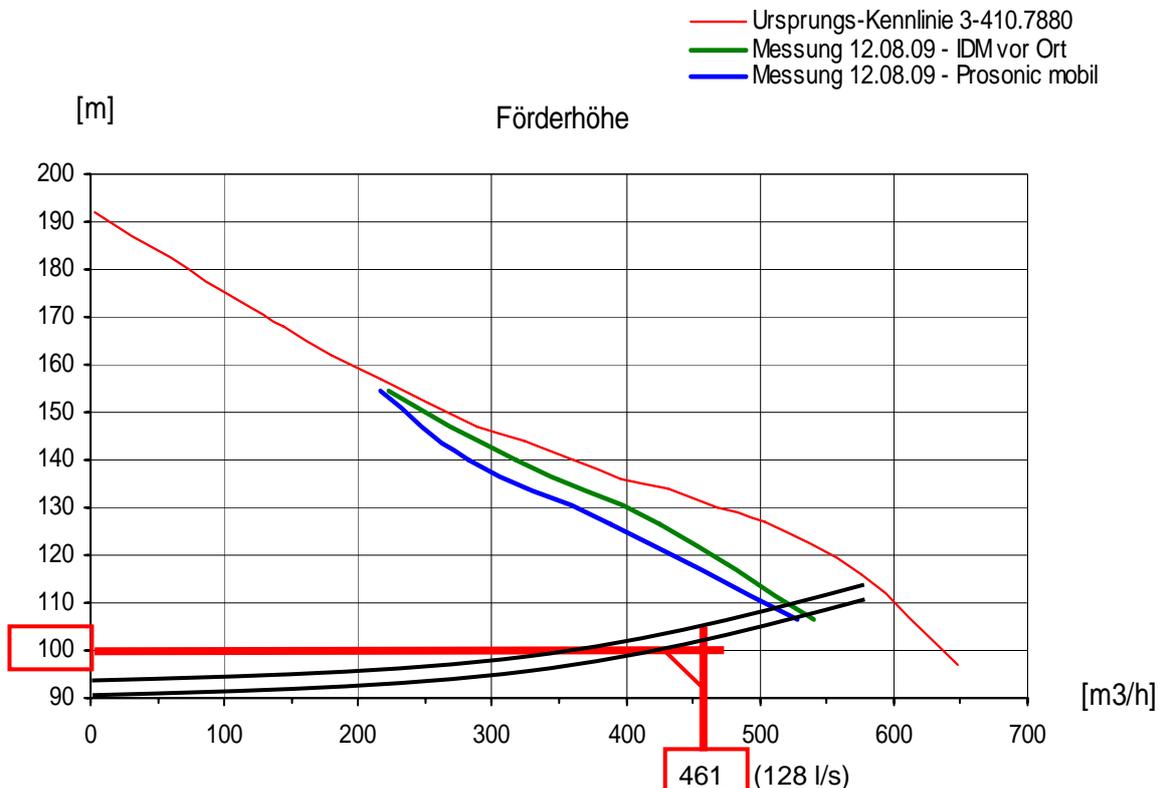
Messung vom:	12.08.2009
Datum:	08.09.2009
Bearbeitet von:	Gr/Br

— Ursprungs-Kennlinie 3-410.7880
— Messung 12.08.09 - IDM vor Ort
— Messung 12.08.09 - Prosonic mobil



6.0 Diskussion/Interpretation der Messergebnisse

6.1 Messkennlinien im Vergleich zum Betriebspunkt des „Grobchecks“



Die beim Grobcheck ermittelten Daten sind:

Q	=	461	m3/h	(128 l/s)
H	=	100	m	
I	=	330	A	
U	=	400	V	

Im Vergleich zu den im Feincheck gemessenen Daten weicht die Förderhöhe bei 461 m³/h interpoliert um ca. 20 m ab (Interpolierte Messung Feincheck = 120 m @ 461 m³/h). Der im Feincheck gemessene Strombedarf beträgt linear interpoliert 320.5 A (cos_phi angenommen mit 0.91). Im Grobcheck wurden 330 A gemessen/eingetragen.

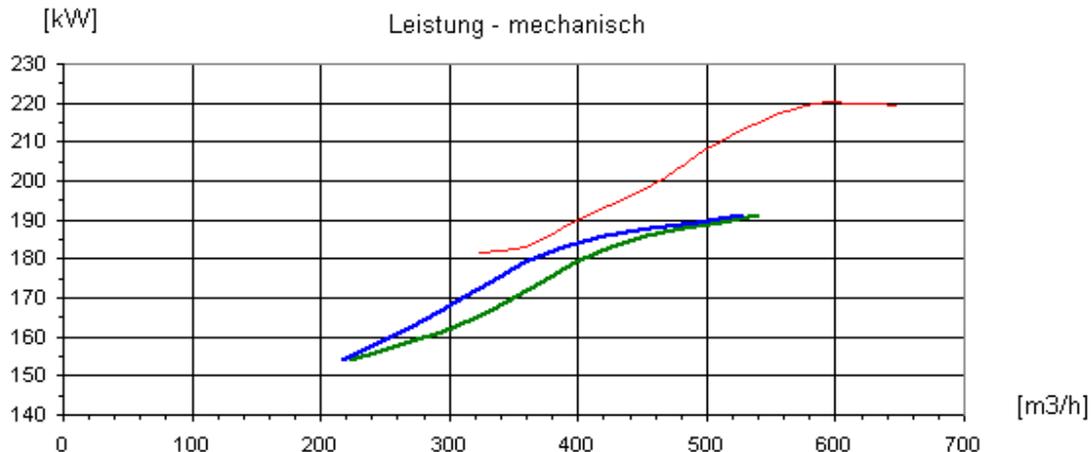
Gesamtwirkungsgradberechnung mit den Daten des „Grobchecks“:

P hydraulisch	=	125.6	kW
P elektrisch	=	208.0	kW
Gesamtwirkungsgrad	=	60.4	%

Gesamtwirkungsgradberechnung mit den Daten des „Feinchecks“:

P hydraulisch	=	150.7	kW
P elektrisch	=	202.1	kW
Gesamtwirkungsgrad	=	74.6	%

6.2 Berechnete Kennlinie „mechanische Wellenleistung der Pumpe“



Die Messung der Leistung ist ausschliesslich auf der hydraulischen und elektrischen Seite möglich. Um die Effizienz der Pumpe zu bestimmen müssen für die Effizienz des Antriebsmotors und der Steuerungskomponenten Annahmen getroffen werden.

Messpunkt	Drehzahl	Bestimmung des Motor- und Steuerungswirkungsgrades						ETA total - ELEKTRISCH
		~Belastung	* ETA Motor	* Kompensation	* Softstarter (ohne Bypass)	* FU	* Reduktion Motor durch FU	
1. Messreihe	[1/min]	[%]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
60 l/s = 3600 l/min	1488	68	0.91	0.99	1	1	1	0.90
80 l/s = 4800 l/min	1488	72	0.92	0.99	1	1	1	0.91
100 l/s = 6000 l/min	1488	80	0.93	0.99	1	1	1	0.92
Schieber voll offen	1488	80	0.93	0.99	1	1	1	0.92

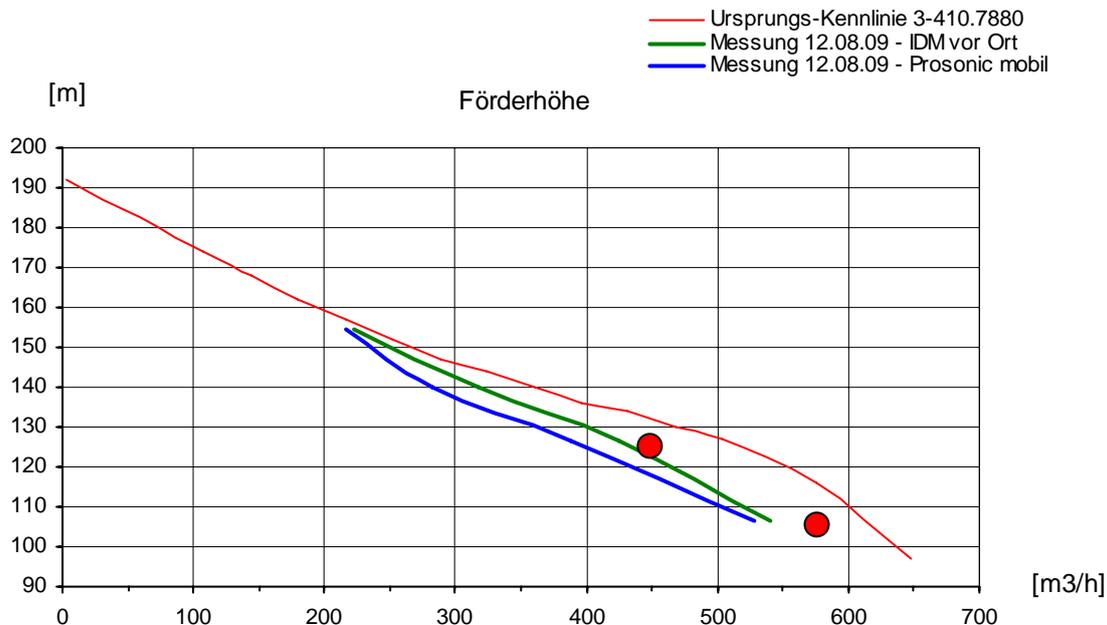
* Bemerkung: Empirisch, aus Wertetabellen der Häny AG entnommen.

Der Katalogwert für den Motorwirkungsgrad des neuwertigen Motors betrug: 94.4 %

Durch die Abnutzung/Verschleiss im Betrieb und den Wirkungsgradverlust bei der Neuwicklung/ Revision, wurde der Initialwirkungsgrad nach unseren Erfahrungswerten um 1.4% bei Maximalbelastung (100%) reduziert. Diese Reduktion ist sehr vorsichtig, häufig weisen Motoren dieser Jahrgänge bei einer Nachmessung einen schlechteren Wirkungsgrad auf.

Eingesetzter Motor: BBC, Typ QWF 315 /4, 250 kW, Serial-Nr. 993231

6.3 Messkennlinie Feincheck im Vergleich mit der Ursprungskennlinie (Q/H)



Die vorliegende Ursprungskennlinie 3-410.7880 weicht relativ stark von den gemessenen Kennlinien ab. Die mit den roten Punkten markierten Einsatzfälle entsprechen den in den Herstellungsunterlagen erwähnten Betriebspunkten. Da die Herstellung der Pumpe dazumal von Sulzer Winterthur nach Sulzer Frankreich übergeben wurde ist es wahrscheinlich, dass in Frankreich an den Laufrädern Anpassungen vorgenommen wurden, welche bei Sulzer Winterthur nicht dokumentiert wurden.

Basierend auf dieser These kann darauf geschlossen werden, dass die gemessenen Kennlinien nur eine sehr leichte Abweichung von den beiden damaligen Auslegungspunkten aufweisen. Ein massiver hydraulischer Verschleiss kann somit ausgeschlossen werden.

Die mutmassliche Veränderung an der Pumpenhydraulik bei der Herstellung hat auch die damit verbundene Abweichung der Leistungsaufnahme zur Folge. (Siehe Q/P – Kennlinie)

Die Messergebnisse der mobilen Durchflussmessung „Prosonic Flow 91“ sind gegenüber dem festinstallierten MID (magnetisch induktivem Durchflussmesser) in Frage zu stellen.

Falls bei dieser Pumpe (Hydraulik, Transmission und Motorersatz) noch nie eine sog. „Neuwertrevision“ durchgeführt wurde, wird dies zur Werterhaltung und langfristigen Sicherstellung der Betriebssicherheit dringend empfohlen.

6.4 Bewertung: Schwingungsverhalten, mechanische Laufkultur, Kavitation

Die durchgeführte Frequenzbandanalyse gemäss Seite 9, führt zu folgenden Aussagen hinsichtlich des Schwingungsverhaltens- bzw. der mechanischen Laufkultur der Pumpe bzw. des Motors.

Die vorliegenden Schwingungsamplituden der Pumpen lassen gesamthaft die Aussage zu, dass die Pumpe über eine sehr gute mechanische Laufkultur verfügt. Die gemessenen Werte liegen teilweise deutlich unter die Werten die in der Fachliteratur (ISO 10816-3) für eine neu in Betrieb genommene Pumpe angegebene werden.

Es wurden keine kritischen Wälzlagerfrequenzen registriert, welche auf ein fortgeschritten verschlissenes Lager hinweisen.

Der Grossteil der aufgezeichneten Schwingungen auf einer Frequenz von 24.75 Hz (Drehfrequenz) wird durch leichte Unwuchten von rotierenden Bauteilen hervorgerufen.

Ebenso die Schwingungen welche auf der ersten Harmonischen der Drehfrequenz auftreten (49.5-49.75 Hz) sind auf Unwuchtzustände bzw. auf nicht 100% rund laufende Wellen (Rotorwelle, Pumpenwelle, Transmissionswelle) zurückzuführen.

Die Schwingungen auf 100 Hz sind direkt auf eine Ursache elektrischer Art im Antrieb zurückzuführen. Es könnten dies z.B. sein: 1. Verspannter Motor (Flanschaufnahme), 2. Unmittige Rotorlage, 3. Unsymmetrisch belastete Phasen.

Der Punkt 3. kann anhand der vorliegenden Messung als Ursache ausgeschlossen werden. Die Kontrolle des Punktes 1. wäre durch leichtes lösen der Motorflanschaufnahme und gleichzeitiges Nachmessen im Betrieb möglich. Der Punkt 2. kann nur sehr aufwändig bei zerlegtem Motor kontrolliert werden.

Weitere Rückschlüsse aus den gemessenen Schwingungswerten sind nicht möglich.

Die akustische Aufnahme des Kavitationsverhaltens der Pumpe führt zum Schluss, dass im Betriebspunkt keine wahrnehmbare Kavitation an der Pumpe vorliegt.

7.0 Mögliche Massnahmen zur Energieoptimierung

7.1 Ersatz des Antriebsmotors durch einen Hocheffizienzmotor

Der bestehende Antriebsmotor weist einen approximativen Wirkungsgrad von 92% auf (im Betriebspunkt (Schieber voll offen)). In diesem Wert ist der Verlust der Kompensation enthalten.

Durch den Einsatz eines Synchronmotors (Permanentmagnetrotor) mit Frequenzumformer (bessere Wirkungsgradklasse als IE3) kann im Betriebspunkt ein Wirkungsgrad von 95.44 % erreicht werden (inklusive Frequenzumformer)

Veränderung im Betriebspunkt (Schieber voll offen) bei ca. 191 kW P_{mech}:

Erhöhung des elektrischen Gesamtwirkungsgrades:	3.44	%
Reduktion des elektrischen Leistungsbedarfes:	7.60	kW
Reduktion der Arbeit bei 360 Betriebsstunden/a:	2'280.00	kWh
Jährliche Einsparung bei 0.102 CHF/kWh:	232.60	CHF
Kosten des Ersatzmotors inkl. FU	26'848.00	CHF
Umbau/Anpassung des Motoruntersatzes	3'000.00	CHF
Gesamtkosten (exkl. MWSt)	<u>29'848.00</u>	CHF

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht ist diese Investition nicht lohnenswert.

7.2 Ersatz des Antriebsmotors durch einen Hocheffizienzmotor und Betrieb der Pumpe auf einer geringeren Fördermenge (tiefere Drehzahl)

Da das heutige Betriebskonzept vorsieht, dass die Pumpe nur während 10-12 Stunden pro Woche (Annahme 11 Stunden) läuft, ist zu prüfen, ob durch eine Reduktion der Fördermenge und damit verbundener längerer Betriebsdauer ein Vorteil hinsichtlich des Energieverbrauches erzielt werden kann.

Gemäss den vorliegenden Daten wird die Pumpe Heute während ca. 360 Stunden pro Jahr betrieben und fördert dabei ca. 186'000 m³ Wasser. Die Berechnungen unserer Nachmessung ergeben hierbei nur eine kleine Abweichung bezüglich der Wassermenge von 4800 m³ bei 190'800 m³ pro Jahr (bei 530 m³/h).

Annahme: Die Drehzahl der Pumpe soll soweit reduziert werden, dass folgende Bedingungen eintreffen:

Angepasster Volumenstrom der Pumpe (Q)	400.00	m ³ /h (111.1 l/s)
Betriebszeit pro Woche, anstelle 11 Stunden	14.60	h
Betriebszeit pro Jahr, anstelle 360 Stunden	477.00	h
Neue manometrische Förderhöhe, anstelle 106.32 m	100.00	m
Reduktion des Reibungsverlustes im Leitungssystem	6.32	m
Reduktion des Pumpenwirkungsgrades (Verschiebung)	2.00	%
Elektrische Leistungsaufnahme im aktuellen Zustand (153.5kW Ph – 0.804, 191 kW Pmech – 0.92)	207.60	kW
Jahresarbeit bei 360 Stunden pro Jahr	74'736.00	kWh
Elektrische Leistungsaufnahme im neuen Zustand (109.0kW Ph – 0.785, 138.8 kW Pmech – 0.95)	146.10	kW
Jahresarbeit bei 477 Stunden pro Jahr	69'689.70	kWh
Jährliche Einsparungen an Energie	5'046.30	kWh
Jährliche Energiekosteneinsparung (0.102 CHF/kWh)	514.70	CHF
Mögliche Energiekosteneinsparung	6.75	%

Die Gesamtkosten für den Ersatz des Antriebes sind analog zu Punkt 7.1. Diese Investition ist daher betriebswirtschaftlich auch nicht lohnenswert. Bei einem allfällig erforderlichen Ersatz des Motors ist jedoch diese Variante aus der Sicht des Verfassers genau zu prüfen.

Drehzahl

- VIB-Scanner DB Prüftechnik

Durchfluss

- Prosonic Flow 91 (Endress und Hauser)
- Magnetisch Induktiver Durchflussmesser (SWG Worben)

Druck

- Digibar PE 100 (CHBM)
0-20 bar
- Digibar PE 100 (CHBM)
0-2 bar

Motorendaten

- Digital-Multimeter (IBA Aarau)
GMC Mavowatt 45 / Ser.Nr. 711017, Stromwandler Ampflex 33A, Software: Metrawin 10

Frequenzbandanalyse

- VIB-Scanner DB Prüftechnik

Farbschichtdicke zur Ultraschalldurchflussmessung

- TM 8810 Thickness Meter Digital

9. Anhang

9.3 Pumpenunterlagen aus der Herstellungsphase

Stücklisten-Titelblatt für Pumpen (Original)

Betrieb 68	Geht an St. L. V. Nr.	Betrifft Kostenstelle 0424	Titelblatt
Gegenstand: <u>1 BPK 35-4st. (22 1/2°)</u>		Pumpe 3-410.7880	
Besteller: <u>Seeländische Wasserversorgung Gemeindeverband (SWG) Worben</u>		Bestell- Nummern	Motor 11
Anlage: <u>Erweiterung Pumpwerk Worben</u>		Leitungsteile	-
Anlage: <u>Gruppe Nidau-Herrenwald</u>		Reserveteile	-
Probelauf <u>nein</u> Abnahme durch -		Ausw. Teile	-
Verteilung: B.B., 1837, 6868		an Sped.:	12.7.78
		Liefertermin ab Werk:	-
		Konventionalstrafe	-
		Ty 2x VB 4	Anzahl Abzüge
Hierzu gehören ferner Bestell-Nr. <u>3-410.7878/9; 3-410.9010</u>			
Eintrittsstutzen 400	I.W. ND 10	Stellung: <u>Saugbogen 90°</u>	Drehrichtung:
Austrittsstutzen 300	I.W. ND 16	Stellung: <u>- Von oben gesehen „Rechts“</u>	
Ausführung der Pumpe: <u>siehe E.B. 7.40.2392 v. 29.11.77</u>			
Förderflüssigkeit: <u>Trinkwasser</u>		Zusammenbau mit/ohne Motor in Ob.-W.	
Q = <u>125-160</u>	l/s	Temp. = <u>10-11</u> °C	Spez. Gew. γ = <u>1,0</u> kg/dm ³
H = <u>125-105</u>	m	Zulaufdruck =	kg/cm ²
n = <u>1470</u>	U/min	Betriebsdruck =	kg/cm ²
N = <u>195-206</u>	KW	Probdruck =	kg/cm ²
N Traglager = <u>5-5</u>	KW		
N Motor = <u>250</u>	KW von <u>BBC</u>	Typ <u>AWF 315 Mh 4</u>	
Zusammenstellung ZNr.: <u>1-104.170.886</u>			
Schem. Längsschnitt ZNr.:			
Gehäuse ZNr.: <u>CCM</u>		Mat.: <u>GG25</u>	

Auftrags-nr.	FB	Termin	Anzahl	MAE	Gegenstand des Auftrages	Auftrags-nr.	Seite																																				
64					S.W.G. Worben (Nidau-Herrenw.)	3-410.7880																																					
Stücklistenverteilung 0421 0037 6494				Baugruppe		Vorrat reserviert																																					
				Standardstückverzeichnis		AD-Teile bestellt																																					
Ind.	Artikelnummer	Anzahl	Benennung		Anz. pro Einh.	Bezugsvermerk	E-I																																				
PKZ	Zeichnungsnummer * StkBB	MAE	Pos.-Art.	Werkstoff und Bemerkungen		Ersatzteilcode																																					
2	Bestellung umfasst		Seiten																																								
3	Beschriftung des Betriebsschildes 52x74 Sprache: <u>deutsch</u>																																										
4	017.874.920.000																																										
4	Fördergut:		Temp.: C°																																								
5	Hs. oder Zulauft		m WS																																								
6	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td colspan="2">BPK 35-451</td> <td colspan="2">8091W</td> </tr> <tr> <td>Nr.</td> <td>3-410.7880</td> <td>Jahr</td> <td>1978</td> </tr> <tr> <td>Förderstrom in l/s</td> <td colspan="3">125</td> </tr> <tr> <td>Manometr. Förderhöhe in m.</td> <td colspan="3">125</td> </tr> <tr> <td>U/min</td> <td>1470</td> <td>kW</td> <td>195</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Für Ersatzteile obige Best. Nr. angeben</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">GEBRÜEDER SULZER</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">AKTIENGESELLSCHAFT</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">WINTERTHUR, SCHWEIZ</td> </tr> </table>							BPK 35-451		8091W		Nr.	3-410.7880	Jahr	1978	Förderstrom in l/s	125			Manometr. Förderhöhe in m.	125			U/min	1470	kW	195	Für Ersatzteile obige Best. Nr. angeben				GEBRÜEDER SULZER				AKTIENGESELLSCHAFT				WINTERTHUR, SCHWEIZ			
BPK 35-451		8091W																																									
Nr.	3-410.7880	Jahr	1978																																								
Förderstrom in l/s	125																																										
Manometr. Förderhöhe in m.	125																																										
U/min	1470	kW	195																																								
Für Ersatzteile obige Best. Nr. angeben																																											
GEBRÜEDER SULZER																																											
AKTIENGESELLSCHAFT																																											
WINTERTHUR, SCHWEIZ																																											
7	<table border="1" style="width: 100%; border-style: dashed;"> <tr> <td>Nr.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Für Ersatzteile obige B. Nr. angeben</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">GEBRÜEDER SULZER</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">AKTIENGESELLSCHAFT</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">WINTERTHUR, SCHWEIZ</td> </tr> </table>							Nr.			Für Ersatzteile obige B. Nr. angeben			GEBRÜEDER SULZER			AKTIENGESELLSCHAFT			WINTERTHUR, SCHWEIZ																							
Nr.																																											
Für Ersatzteile obige B. Nr. angeben																																											
GEBRÜEDER SULZER																																											
AKTIENGESELLSCHAFT																																											
WINTERTHUR, SCHWEIZ																																											
8	Druckstutzenstellung		1W		m/m Drehrichtung																																						
9	Saugstutzenstellung		1W		m/m Probelauf																																						
10	Zusammenbau:		Zusammenst.zch.-Nr.																																								
11	Bemerkungen: <u>Montage an Ort & Stelle durch</u>																																										
12	<u>Monneur</u>																																										

9.2 Dokumentation zum eingesetzten Motor

BBC-normelec Technische Daten

Drehstrom-Käfigankermotoren Bauart QO

Schutzart IP 22 S, tropfwassergeschützt, innengekühlt

Leistung kW	Typ QO	Isol.- Klasse	Nenn- strom b. 380 V [A]	Nenn- Drehzahl min ⁻¹	Betriebswerte		Geräusch [dB (A)]	Kipp- mom. [%]	Direkt- Anlauf:		Dreh- moment- Klasse	Träg- heits- Moment [kgm ²]	Gewicht [kg]
					η [%]	cos φ			$\frac{M_s}{M_n}$	$\frac{J_s}{J_n}$			
3000 U/min													
11	160 MS2 ①	E	21,5	2890	86,2	0,90	81	220	1,4	5,5	0,8/0,4	0,048	95
15	160 M2 ①	E	29,5	2890	86,7	0,90	81	220	1,5	5,5	0,8/0,4	0,048	95
18,5	160 LR2 ②	E	35,5	2900	88,6	0,90	81	260	1,7	6,3	1,0/0,6	0,063	110
22	160 L2 ②	E	41,5	2900	89,6	0,90	81	260	1,9	6,3	1,0/0,6	0,07	115
30	180 M2 ②	E	57,5	2920	90	0,88	82	240	1,6	5,7	1,0/0,6	0,105	160
37	180 LR2 ②	E	70,5	2930	90,8	0,88	82	260	1,8	5,8	1,0/0,6	0,126	175
45	200 MR2 ②	E	85,5	2930	91	0,88	85	260	1,6	5,7	1,0/0,6	0,20	210
55	200 LR2 ②	E	104	2930	91,5	0,88	85	260	1,6	5,4	1,0/0,6	0,23	225
75	225 M2 ②	E	141	2935	92	0,88	87	260	1,6	5,8	1,0/0,6	0,51	320
90	250 S2 ②	B	168	2935	92,5	0,88	87	220	1,7	5,8	1,0/0,6	0,57	365
110	250 M2 ②	B	203	2935	93,5	0,88	87	220	1,8	6,0	1,0/0,6	0,75	420
132	280 MR2 ②	E	244	2940	92,4	0,89	95	240	1,5	5,9	1,0/0,6	0,89	545
160	315 SR2 ③	E	290	2950	92,9	0,90	96	250	1,6	6,0	1,0/0,6	1,84	755
200	315 MR2 ③	E	360	2950	93,3	0,90	96	250	1,6	6,0	1,0/0,6	1,84	815
250	315 M2 ③	B	450	2950	93,5	0,90	96	270	1,8	6,4	1,2/0,8	2,04	865
315	355 MR2 ③	B	580	2965	93,5	0,88	98	210	1,3	5,7	0,8/0,4	3,03	1135
400	355 M2 ③	B	735	2970	94	0,88	98	210	1,4	5,9	0,8/0,4	4,3	1225

Grössere Leistungen bis ca. 630 kW auf Anfrage

- ① Kleinste Spannung 110 V
- ② Kleinste Spannung 220 V
- ③ Kleinste Spannung 380 V

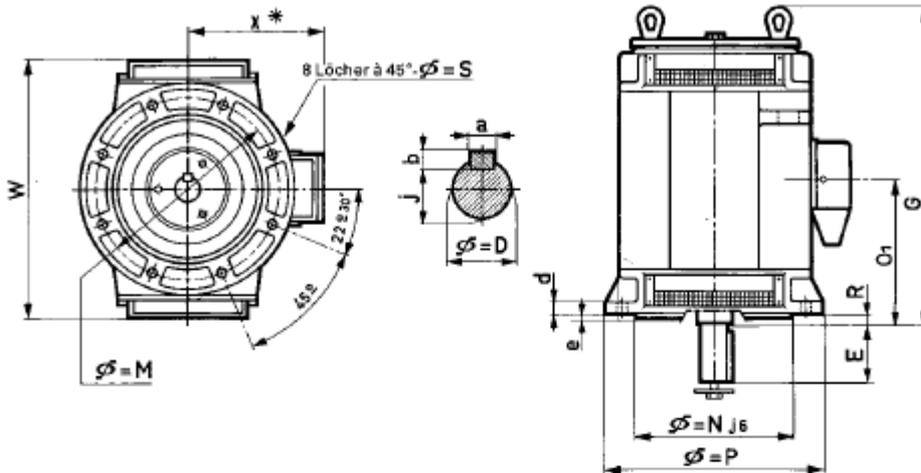
1500 U/min

11	160 M4 ①	E	22	1455	88	0,86	67	240	1,7	6,3	1,0/0,6	0,057	95
15	160 LR4 ②	E	29,5	1455	88,5	0,87	67	240	1,8	6,1	1,2/0,8	0,097	115
18,5	160 L4 ②	E	36	1455	89,5	0,87	67	240	1,8	6,2	1,2/0,8	0,112	120
22	180 MR4 ②	E	43,5	1450	89,8	0,86	72	240	1,8	6,3	1,2/0,8	0,146	155
30	180 LR4 ②	E	58,5	1455	91	0,86	72	240	1,8	6,3	1,2/0,8	0,174	175
37	200 MR4 ②	E	72	1455	91	0,86	75	240	2,0	5,9	1,2/0,8	0,3	215
45	200 LR4 ②	E	87	1455	91,4	0,86	75	240	2,0	6,3	1,2/0,8	0,35	245
55	225 MR4 ②	E	106	1465	91,7	0,86	79	230	1,7	5,6	1,2/0,8	0,55	295
75	250 S4 ②	B	143	1465	92,7	0,86	81	200	1,7	5,6	1,2/0,8	0,65	375
90	250 M4 ②	B	171	1465	93,1	0,86	81	220	1,9	5,9	1,2/0,8	0,84	425
110	280 SR4 ③	E	204	1460	93,2	0,88	88	220	1,7	5,6	1,2/0,8	1,54	550
132	280 MR4 ③	E	243	1465	93,8	0,88	86	220	1,7	5,7	1,2/0,8	1,75	595
160	315 SR4 ③	E	296	1470	94,2	0,87	87	220	1,7	5,7	1,2/0,8	2,77	770
200	315 MR4 ③	E	369	1470	94,4	0,87	87	220	1,7	5,5	1,2/0,8	3,2	850
250	315 M4 ③	B	462	1470	94,4	0,87	87	210	1,6	6,5	1,0/0,6	3,53	900
315	355 MR4 ③	B	590	1475	94,6	0,87	90	220	1,6	5,5	1,0/0,6	5,13	1175
400	355 M4 ③	B	731	1480	95,3	0,87	90	210	1,6	6,2	1,0/0,6	7,0	1285
500	400 MA4 ③	F	930	1480	94,8	0,86		170	1,2	6,1	0,8/0,4	11,5	2050
600	400 LA4 ③	F	1113	1480	95	0,86		170	1,2	6,3	0,8/0,4	13,8	2400
710	400 LB4 ③	F	1313	1480	95,3	0,86		180	1,3	6,5	0,8/0,4	16,1	2850

Grössere Leistungen bis ca. 630 kW auf Anfrage

- ① Kleinste Spannung 110 V
- ② Kleinste Spannung 220 V
- ③ Kleinste Spannung 380 V

Bauform V1, Flanschausführung



Abmessungen in mm

Die Masse nicht bearbeiteter Bauteile sind Richtwerte. Die Zeichnungen sind bezüglich bildlicher Darstellung unverbindlich.

Baureihe	OO	Flansch							G	O1	W	X*	
		M	N	P	d	e	R	S				mini.	maxi.
250	S 2-4-6-8polig	600	550	660	22	6	0	22	720	365,5	745	313,5	461
	>8 p. und polumschaltbar								744	323,5	780	360	488
	Sh alle Polzahlen								744	323,5	780	380	488
	M 2-4-6-8polig								720	365,5	745	313,5	461
	>8 p. und polumschaltbar								782	342,5	780	360	488
Mh alle Polzahlen	782	342,5	780	360	488								
280	S	600	550	660	22	6	0	22	845	374	794	408	536
	M								896	399,5	794	408	536
315	S	740	680	800	25	6	0	22	935	419	958	515	613
	M								986	444,5	958	515	613
400	S	740	680	800	25	6	0	22	1165	534	984	555	653
	M								1367	635	984	564	
	L								1497	700	984	564	
	B3								1500	940	1050	670	
450	B4	940	880	1000	28	6	0	28	1590	1030	1050	670	
	B5								1690	1130	1050	670	

Typen		Wellenende				
		Dm6	E	a	b	j
250	2 p.	65	140	18	11	58
250	4 p.	75	140	20	12	67,5
280	2 p.	65	140	18	11	58
280	4 p.	80	170	22	14	71
315	2 p.	70	140	20	12	62,5
315	4 p.	90	170	25	14	81
355-400	2 p.	75	140	20	12	67,5
355-400	4 p.	100	210	28	16	90
450	2 p.	75	140	20	12	67,5
450	4 p.	100	210	28	16	90



* Betrifft Motoren mit 2 Wellenenden.

** Die Abmessungen der Klemmenkasten hängen von der Motorspannung ab. Das Mass H1 kann nur bei bekannter Motor-Anschluss-Spannung genau angegeben werden.