



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Jahresbericht 26. November 2010

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, D-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.

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 15 – 25% geschätzt, was in der Schweiz Einsparungen von 50 - 100 GWh/a erzielen würden.

Projektziel

Ziel des Projektes ist ein einfacher, zweistufiger Pumpencheck:

In einem ersten Schritt kann ein Betreiber eine erste Grobanalyse seiner Wasserversorgung (WV) vornehmen und das Optimierungspotential seiner Pumpen abklären. Das ist der sog. **Grobcheck**.

In einem zweiten Schritt, der je nach Resultat des Grobchecks ausgelöst wird, wird eine detaillierte Analyse der Wasserversorgung durch Pumpenhersteller resp. Ingenieurbüro durchgeführt, in der die Wirtschaftlichkeit eines Pumpenersatzes aufgezeigt wird. Das ist der sog. **Feincheck**.

Ziele 2010:

- Grob- und Feincheck verfeinern bzw. benutzerfreundlich gestalten
- Präsentation der Feincheckresultate bei den WV mit Optimierungspotential
- Umsetzung der Energiesparmassnahmen bei den WV, die ein wirtschaftliches Sparpotential aufweisen

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Grobcheck

Fragen qualitativer Natur sind in den Grobcheck eingearbeitet worden. Diese ermöglichen eine zusätzliche Beurteilung und eine ev. Feincheckempfehlung.

Für Details siehe Anhang.

Feincheck

Der Feincheck wurde an je einer Pumpe folgender WV durchgeführt:

	Grobcheck	Feincheck				
WV	Einsparpotential Grobcheck	Einsparpotential Feincheck	Einsparung Energie	finanzielle Einsparung	Investition	Payback
	[%]	[%]	[kWh/a]	[CHF/a]	[CHF]	[Jahre]
SWG Worben	23	7	5'000	514	29'800	58
Buchs	26	13-19	19'000	2'900	14'000	5
Uzwil	18	16	9'000	1'250	8'700	7
Sils	21	7	6'500	1'000	14'500	15
Lausanne	10	10	20'000	3'000	-	-

Die Feincheckvorlage wurde erarbeitet. Die Umformulierung in einer Anleitung liegt noch vor.
Die Resultate der Feinchecks sind bei den verschiedenen WV präsentiert worden.
Die Umsetzung einer Energiesparmassnahme ist bei der WV Lausanne geschehen.
Einsparung von ca. 20'000 kWh/a bzw. CHF 3'000.-/a.

Nationale Zusammenarbeit

Zusammenarbeit mit nationalem Pumpenhersteller: Häny AG

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

Hochschulwissen wird mit Hilfe der Hochschule Luzern einbezogen.

Die Semafor AG stellt ihr Programm „OPAL“ zur Energieeffizienz bei Pumpensystemen zur Verfügung. Des Weiteren fliessen die Daten der Motorendatenbank in den Pumpencheck ein.

EnergieSchweiz stellt die breite Streuung der gewonnenen Kenntnisse sicher.

Internationale Zusammenarbeit

Internationale Zusammenarbeit mit deutschem Pumpenhersteller: Grundfos GmbH

Bewertung 2010 und Ausblick 2011

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 auslösen können.

Erkenntnisse:

- Vor einem Feincheck muss immer eine Rücksprache mit dem Betreiber der WV zwecks Plausibilisierung der angegebenen Daten stattfinden.
- Das hydraulische Schema gehört zwingend zu den Pre-Qualifikationen für einen Feincheck.
- Energetische Optimierungen sind für hohe Laufzeiten und hohe Pumpenleistungen eher erreichbar.
- Grosse Betreiber sind kompetenter als kleine Betreiber.
- Um eine Umsetzungsmassnahme schnell durchzuführen, haben die Entscheidungskompetenten Personen bei der Präsentation des Feinchecks immer anwesend zu sein.
- Um den Grobcheck grossflächig bekannt zu machen, sind gezielte Schulungen notwendig.
- Bei der SWG Worben ist kein wirtschaftliches Einsparpotential herausgekommen.
- Um zu einer Energiesparmassnahme zu motivieren, ist nicht immer eine Wirtschaftlichkeit Voraussetzung. Die WV Uzwil hat beim Realisieren eines Einsparpotentials einer Umsetzung sofort zugestimmt (Wille des Verantwortlichen „etwas für die Umwelt zu tun“).
- Bei der Kosten-/Nutzen-Analyse sind die Kosten für eine Ersatzpumpe und die Kosten für die Arbeiten für den Ersatz separat aufzuführen.

Misserfolge:

- An der Schweizerischen Brunnenmeistertagung wurde eine Aktion für einen 200-fränkigen Pumpengrobcheck eingeführt. Der Anklang war sehr klein. Dies scheint kein gutes Gefäss für solche Aktionen zu sein.
- Bei den Präsentationen der Resultate der Feinchecks sind die kompetenten Personen an zwei Orten nicht anwesend gewesen, so dass die Umsetzung der Energiesparmassnahmen im 2010 noch nicht umgesetzt werden konnten.

Ausblick 2011:

- Umsetzung der Energiesparmassnahmen bei den WV Buchs, Sils i. E. und Uzwil.
- Kontrollmessungen der umgesetzten Sparmassnahmen durchführen.
- Graphische Aufarbeitung des Grobchecks.
- Verfeinerung der Feincheckvorlage in Form einer Anleitung.

Referenzen

Keine Referenzen

Anhang

- Grobcheck Stand 26.11.2010
- Grobcheck – wie wird gerechnet
- Feincheckvorlage
- Feincheck – zu erhebende Daten

Ablauf Pumpengrobcheck – Online – 27.4.2010

0. Konstanten

Festlegung der

- Gravitationsbeschleunigung
- der Dichte des Wassers
- des Grenzwertes für die akzeptable Differenz der Phasenströme
- 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]
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. Strom-Messung		
2.3.1. Angabe über bestehende Blindstrom-Kompensation		
2.3.2. Angabe über Frequenzumrichter inkl. eingestellte Frequenz in [Hz]		
2.3.3. Phasenströme	$I_{phase} (3x)$	[A]

3. Berechnung Gesamtwirkungsgrad IST (Verarbeitung Eingabewerte)

3.1. Berechnung hydraulische Leistung:

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

3.2. Berechnung der elektrischen Leistung:

Elektrische Leistung bei Nennbelastung:

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

Annäherung aufgenommene elektrische Leistung mit Tannerschen Formel

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

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

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

Aufgenommene elektrische Leistung

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

3.3. Gesamtwirkungsgrad:

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

4. Berechnung Gesamtwirkungsgrad OPTIMAL

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

4.2. Spezifische Drehzahl

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

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

4.2.2. Gewichtung nach Baugrösse (Q): kleinere Pumpen erreichen Konstruktions-bedingt einen niedrigeren Wirkungsgrad als grössere Pumpen mit der gleichen Drehzahl (n_q): f_Q

4.2.3. Reduktion bei grosser Stufenanzahl mit empirischem Faktor f_r

4.3. Aus obenstehenden Einflüssen lässt sich der bestmögliche Pumpenwirkungsgrad bestimmen:

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

4.4. 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)

4.5. Bestmöglicher Gesamtwirkungsgrad:

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

5. Vergleich IST mit OPTIMAL

5.1. Energieeffizienz (E-Faktor)

$$E = \eta_{\text{tot, gemessen}} / \eta_{\text{tot, opt}}$$

Wenn $E > 1$ -> Fehler bei DateneingabeWenn $E < 1$ -> Check ok

5.2. 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 = $E_{\text{ist}} - E_{\text{opt}} / E_{\text{ist}}$

5.3. 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 Energiekosteneinsparung * Laufzeit

5.4. 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.

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

Pumpengrobcheck

Datum
Verfasser

15.09.2010
Y.Roth
R. Baumann

Eingaben ab Datenschild: ablesen!

Messungen: nur MESSEN, NICHT BERECHNEN!!

Berechnung: wird automatisch gemacht!

Allgemeine Fragen

Priorisierung Pumpen (je höher Zahl, $\text{=(Laufzeit * Leistung)/Baujahr}$
... 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

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"/>

Eingabe: Jahresdaten

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

Eingabe: Auslegungsdaten Pumpe (ablesen ab Datenschild)

Fabrikat / Hersteller			
Seriennummer			
Typ / Bauweise			
trockenaufgestellt	ja	(ja/nein)	ok
Unterwasserpumpe (UWP)	nein	(ja/nein)	
Stufenanzahl (bei Hochdruckpumpen)			
Einstufige Niederdruck-Pumpe	ja	(ja/nein)	ok
Mehrstufige Hochdruck-Pumpe	nein	(ja/nein)	
Anzahl Stufen	1	[-]	
Auslegung Fördermenge Pumpe	Q	20 [l/s]	0.02 m³/s
Auslegung Förderhöhe Pumpe	H	30 [m]	

Pumpengrobcheck

Eingabe: Auslegungsdaten Motor (ablesen ab Datenschild)

Fabrikat / Hersteller			
Seriennummer			
Typ / Bauweise			
Nennleistung (mech.) Motor	$P_n = P_{\text{mech}}$	7'500 [W]	7.5 [kW]
Nenndrehzahl Motor	n_n	1'455 [1/min]	
Wirkungsgrad Motor Nennbelastung	η_n	0.82 [-]	
Nennstrom Motor	I_n	16 A	
$\cos \varphi$ bei Nennbelastung	$\cos \varphi_n$	0.9 [-]	
Nennspannung Motor	U_n	400 [V]	

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

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

Allg. Fragen: Allgemeine Zustandsaufnahme Pumpe & Motor

Ist heute Erneuerung-/Sanierungsbedarf erkennbar?

Motor		(ja / mittelfristig / nein / weiss nicht)
Pumpe		(ja / mittelfristig / nein / weiss nicht)
Gesamtsystem		(ja / mittelfristig / nein / weiss nicht)

Einschätzung Reparatur-/Unterhaltskosten

Motor		(hoch / üblich / tief / weiss nicht)
Pumpe		(hoch / üblich / tief / weiss nicht)
Gesamtsystem		(hoch / üblich / tief / weiss nicht)

Sind Optimierungspotenziale erkennbar?

Motor		(ja / nein / weiss nicht)
Pumpe		(ja / nein / weiss nicht)
Gesamtsystem		(ja / nein / weiss nicht)

Änderungen

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

(ja / nein / weiss nicht)

Wenn ja, welche?

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

Berechnung hydraulische Leistung (Betriebspunkt)	$P_{\text{hyd}} =$	4'415 [W]	4.4 [kW]	
Berechnung elektrische Leistung				alternativ:
elektr. Leistung bei Nennbelastung	$P_{\text{elektr. n}} =$	9'977 [W]	10.0 [kW]	9'146
Annäherung: Strommessung				
Näherungsfaktor (R. Tanner)	p_o	-0.342		
Näherungsfaktor (R. Tanner)	p_x	1.345		

Pumpengrobcheck

Lastverhältnis
elektr. Leistung im Betriebspunkt

$P_{\text{elek}}/P_{\text{elektr},n} = 0.83$
 $P_{\text{elek}} = 8'327 \text{ [W]}$

ok
 8.3 [kW]

Gesamtwirkungsgrad IST

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

Berechnung: Berechnung Gesamtwirkungsgrad OPTIMAL

Polpaarzahl
spezifische Drehzahl

ppz = 2 [-]
 $n_q = 17.5$

mit $n_n \text{ [1/min]}$ (Annäherung)
 $Q_{\text{eff}} \text{ [m}^3/\text{s]}$

Gewichtung nach Laufradtyp: Tabelle, welche in Abhängigkeit vom n_q den maximal erreichbaren hydraulischen Wirkungsgrad angibt.

$\eta_{\text{hydr, max.}} = 0.70$

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

$\eta_{\text{Pumpe, opt}} = 0.67$

Optimale mech. Leistung

$P_{\text{mech, opt}} = 6'638 \text{ [W]}$

6.6 [kW]

bestmöglicher Motorenwirkungsgrad

$\eta_{\text{Motor, opt}} = 0.90$

Interpolation in Register "BesteMotoren"

elektr. Leistung im Optimum

$P_{\text{el, opt}} = 7'371 \text{ [W]}$

7.4 [kW]

Gesamtwirkungsgrad OPTIMAL

$\eta_{\text{total, opt}} = 0.60 \text{ [-]}$

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

$E_{\text{ist}} = 33'308 \text{ kWh/a}$

Energie OPTIMAL

$E_{\text{opt}} = 29'486 \text{ kWh/a}$

Energiesparpotential 3'822 kWh/a

in % bezogen auf IST-Zustand **11%** Feincheck wird empfohlen

Energiekosteneinsparungspotential (EK)

Energiepreis

jährliche Energiekosten heute

$EK_{\text{ist}} = 4'996 \text{ [CHF/a]}$

jährliche Energiekosten optimiert

$EK_{\text{opt}} = 4'423 \text{ [CHF/a]}$

Jährliche Energiekosteneinsparung 573 [CHF/a]

Energiekosteneinsparung über Laufzeit von 15 Jahren 8'599 CHF

Überprüfung Auslegung - Messungen

Förderhöhe Differenz

$(H - \Delta H_{\text{dyn}})/H = 0.17 \text{ [-]}$

ok

Fördermenge Differenz

$(Q - Q_{\text{eff}})/Q = 0.10 \text{ [-]}$

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	Gültigkeit Annäherungsverfahren R. Tanner
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	von R. Tanner erweitert
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		

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

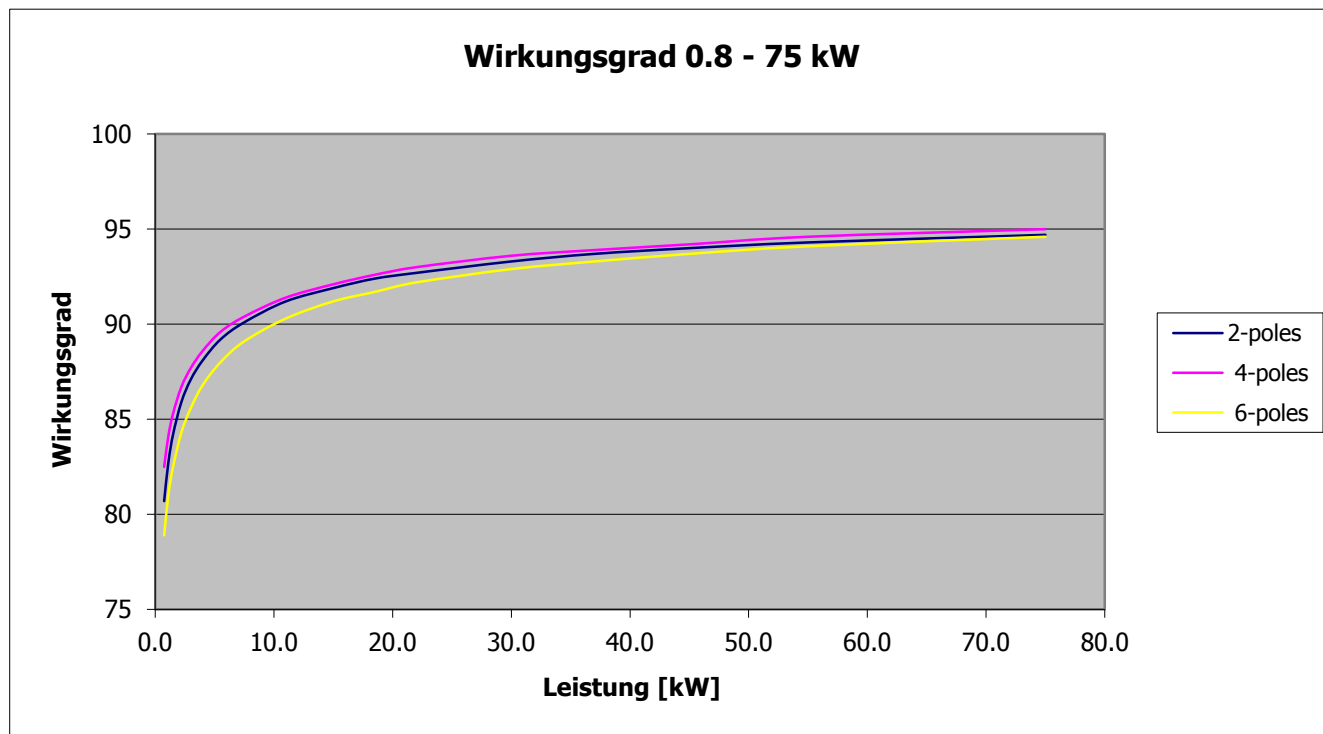
Von Reto Baumann

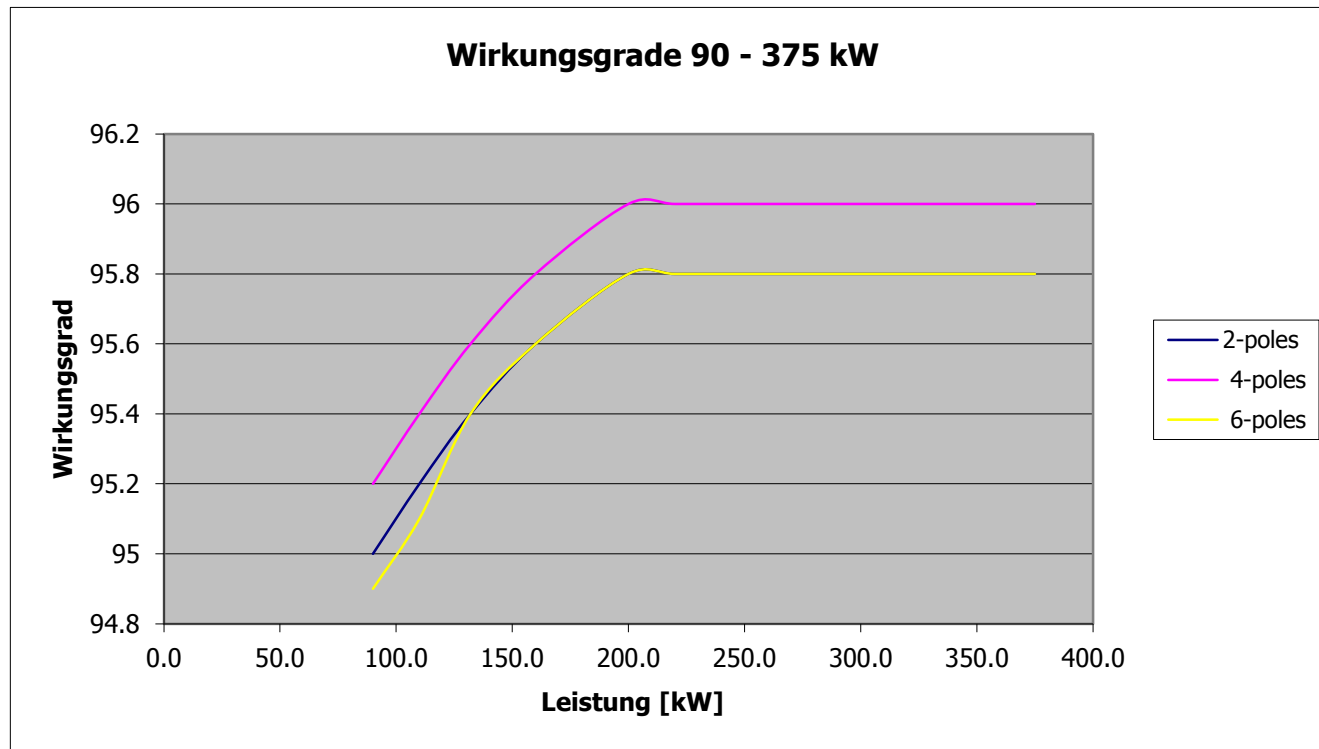
Datum 04.06.2009

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	

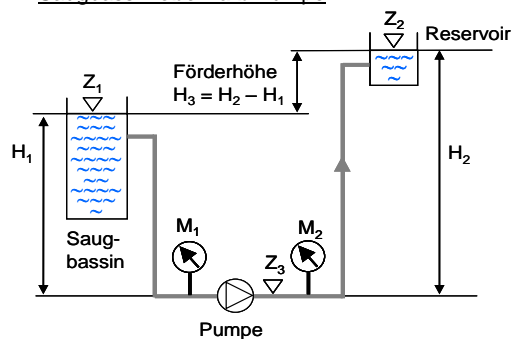
mech. Leistung [kW]	Mot.Leist. Interpolation X	Wirkungsgrade			
			2-polig	4-polig	
6.6	5.5	untere Grenze	88	88.5	
	7.5	obere Grenze	88	88.5	

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





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)

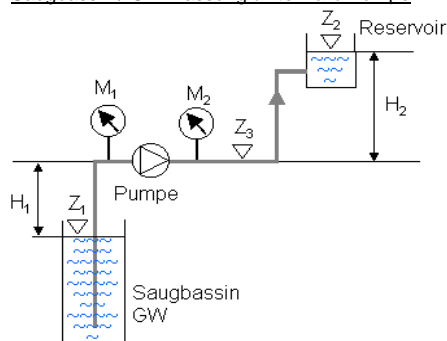
☐ Saugbassin **oberhalb** Pumpe


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)

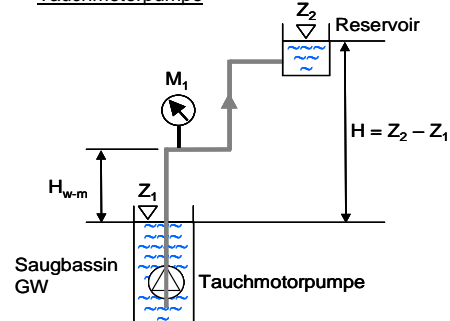
☐ Saugbassin / GW-Fassung **unterhalb** Pumpe


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

H_1		m	Höhendifferenz zwischen Wasserniveau Saugbassin / GW und Pumpe [m]
H_2		m	Höhendifferenz zwischen Pumpe und Niveau Reservoir [m]
M_1		bar	Manometeranzeige. Manometer zwischen Saugbassin / GW und Pumpe aufgestellt; saugseitig [bar]
M_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)

Pumpengrobcheck

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, $= (\text{Laufzeit} \cdot \text{Leistung}) / \text{Baujahr}$
... 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

Kontaktperson	<input type="text"/>	Bitte Adresse, Kontaktperson, Telefonnummer usw. angeben. Um welche Pumpe handelt es sich?
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"/>	

Eingabe: Jahresdaten

Betriebsstunden pro Jahr	<input type="text"/> h/a	Wie viele Stunden pro Jahr läuft die Pumpe?
Elektrizitätsverbrauch Motor pro Jahr	<input type="text"/> kWh/a	Strom pro Jahr für diesen Motor. In kWh/a
Geförderte Wassermenge Pumpe	<input type="text"/> m ³ /a	Die im Jahr geförderte Wassermenge in m ³ /a
Energiepreis	<input type="text"/> CHF/kWh	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
trocken aufgestellt	<input type="text"/> (ja/nein)	Unterwasserpumpe?
Unterwasserpumpe (UWP)	<input type="text"/> (ja/nein)	Trocken aufgestellte 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"/> [W]	siehe Motordatenschild
Nenn Drehzahl Motor	n _n <input type="text"/> [1/min]	siehe Motordatenschild
Wirkungsgrad Motor Nennbelastung	η _n <input type="text"/> [-]	siehe Motordatenschild

Pumpengrobcheck

Nennstrom Motor	I_n	<input type="text"/>	A	siehe Motordatenschild
$\cos \varphi$ bei Nennbelastung	$\cos \varphi_n$	<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]	Wie viele 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)	
Ist ein Frequenzumrichter eingeschaltet?		<input type="text"/>	(ja / nein / weiss nicht)	
wenn ja, auf welche Frequenz ist er eingestellt?		<input type="text"/>	[Hz]	Bei bestehendem FU bitte Frequenz angeben, sonst leer lassen.
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 Erneuerung-/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)	
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)	
Sind Optimierungspotenziale erkennbar?			
Motor	<input type="text"/>	(ja / nein / weiss nicht)	
Pumpe	<input type="text"/>	(ja / nein / weiss nicht)	
Gesamtsystem	<input type="text"/>	(ja / nein / weiss nicht)	
Änderungen			
Sind seit Inbetriebsetzung der Pumpe Betriebs- oder Netzänderungen (neue Leitungen,...) vorgenommen worden?	<input type="text"/>	(ja / nein / weiss nicht)	

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

Projekt Pumpencheck "Feincheck"

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

Kunde

Objekt

Pumpe

Pumpentyp

Seriennummer

U/Auftrag

Verfasser

Inhaltsverzeichnis

1	Abstract	3
2	Ausgangslage, Aufgabenstellung	3
3	Datengrundlage	3
4	Schematische Übersicht der Ergebnisse	3
5	Messaufbau / Messpunkte / Messgrößen	3
5.1	Schematische Darstellung des Messobjekts	3
5.2	Verwendete Messgeräte	3
5.3	Erhobene Messungen	3
5.4	Festgelegtes Messprozedere für den „Feincheck“	4
5.5	Zusätzliche mobile Messungen	4
5.6	Aktuelles Betriebskonzept	4
6	Messergebnisse in Tabellenform	4
6.1	Datum, Zeit und Dauer des Messvorganges	4
6.2	Hydraulische Messdaten	4
6.3	Elektrische Messdaten	4
6.4	Mechanische Messungen an Motor und Pumpe	4
6.5	Optischer Allgemeinzustand	4
7	Interpretation der Messergebnisse	4
7.1	Grobcheckresultate	4
7.2	Vergleich Betriebspunkt Grobcheck mit Betriebspunkt Feincheck	4
7.3	Berechnete Kennlinie „mechanische Wellenleistung der Pumpe“	4
7.4	Vergleich Q/H-Messkennlinie „Feincheck“ mit Ursprungskennlinie	5
7.5	Bewertung der elektrischen Messdaten	5
7.6	Bewertung mechanischer Zustand Motor und Pumpe	5
7.7	Bewertung des optischen Allgemeinzustandes	5
7.8	Messgenauigkeit bzw. Fehlertoleranz	5
8	Mögliche Massnahmen zur Energieoptimierung	5
8.1	Energiesparmassnahmen Pumpe / Motor	5
8.2	Energiesparmassnahmen Betriebsänderung	5
8.3	Kosten-/Nutzen-Rechnung der verschiedenen Energieoptimierungsvarianten	5
9	Anhang	6
9.1	Hydraulisches Schema und Planunterlagen der WV	6
9.2	Originaldokumentation Pumpe	6
9.3	Originaldokumentation Motor	6
9.4	Messgeräteliste im Detail	6

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

Grund für einen Feincheck?

Was wird im Feincheck gemacht?

Was wird im Feincheck nicht gemacht? Wo haben sich Probleme ergeben?

Wie wurde vorgegangen?

Was ist das Ziel und was kann von diesem Feincheck erwartet werden?

3 Datengrundlage

Welche Dokumente sind für den Feincheck zur Verfügung gestanden?

Welche Dokumente haben gefehlt oder waren nicht auffindbar?

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 mit Druckverlusten -> Eingangsdruck

Beschrieb Ablauf mit ev. Reservoir

Geodätische Förderhöhen

5.2 Verwendete Messgeräte

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

5.3 Erhobene Messungen

Elektrische Messdaten: Ziel ist die Ermittlung der elektrischen Leistung P_{elek}

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

Achtung: Blindstromkompensation und FU! Softstarter und Sanftanlasser?

Wie und wo wurden die jeweiligen Messgrössen erfasst?

Hydraulische Messdaten: Ziel ist die Ermittlung der hydraulischen Leistung P_{hyd} .

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

Wie und wo wurden die jeweiligen Messgrössen erfasst?

Mechanische Messdaten:

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

Wie und wo wurden die jeweiligen Messgrössen erfasst?

5.4 Festgelegtes Messprozedere für den „Feincheck“

Mindestens:

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

5.5 Zusätzliche mobile Messungen

Neben den bestehenden Messstationen wurden zusätzliche Messungen mit mobilen Geräten aufgestellt.
Auflistung dieser Messungen.

Einschätzung Genauigkeit der Messungen im Vergleich zu bestehenden, fixen Messgeräten.

5.6 Aktuelles Betriebskonzept

Beschreibung des aktuellen Betriebskonzepts. Wann laufen die Pumpen? Welche Leistung? Unterschied Sommer und Winter? Energieverbrauch?

6 Messergebnisse in Tabellenform

6.1 Datum, Zeit und Dauer des Messvorganges

Datum, Zeit und Dauer des Messvorganges auflisten. Hat zu dieser Zeit ein spezielles Ereignis stattgefunden? Entspricht die Messung einem durchschnittlichen Betriebsregime (keine Messung am Tage, wenn Pumpzeiten normalerweise in der Nacht stattfinden!)?

6.2 Hydraulische Messdaten

Angaben der hydraulischen Messresultate.

6.3 Elektrische Messdaten

Angaben der elektrischen Messresultate.

6.4 Mechanische Messungen an Motor und Pumpe

Laufkultur Motor und Pumpe
Ausrichtung Motor und Pumpe
Angaben der Frequenzbandanalyse
Kavitation Pumpe

6.5 Optischer Allgemeinzustand

Angaben zur optischen Begutachtung des Gesamtzustandes: Rohrleitungsführung, Hochpunkte, Leitungsquerschnitte, Armaturen, etc.

7 Interpretation der Messergebnisse

7.1 Grobcheckresultate

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

7.2 Vergleich Betriebspunkt Grobcheck mit Betriebspunkt Feincheck

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

7.3 Berechnete Kennlinie „mechanische Wellenleistung der Pumpe“

Um die einzelnen Wirkungsgrade (Motor und Pumpe) einzeln zu eruieren, müssen diese abgeschätzt werden.

7.4 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.

7.5 Bewertung der elektrischen Messdaten

Bewertung der Punkte unter 6.3:

7.6 Bewertung mechanischer Zustand Motor und Pumpe

Bewertung der Punkte unter 6.4:

- Laufkultur Motor und Pumpe
- Ausrichtung Motor und Pumpe
- Angaben der Frequenzbandanalyse
- Kavitation Pumpe

7.7 Bewertung des optischen Allgemeinzustandes

Bewertung der Punkte unter 6.5.

7.8 Messgenauigkeit bzw. Fehlertoleranz

Angaben der Messgenauigkeit der verschiedenen Resultate.

8 Mögliche Massnahmen zur Energieoptimierung

8.1 Energiesparmassnahmen Pumpe / Motor

Auflistung der verschiedenen wirtschaftlichen Energiesparmassnahmen an der Pumpe / Motor.

8.2 Energiesparmassnahmen Betriebsänderung

Auflistung der verschiedenen wirtschaftlichen Energiesparmassnahmen durch Änderung des Betriebskonzeptes.

8.3 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. Empfehlung, welche Energiesparmassnahme umgesetzt werden soll.

9 Anhang

9.1 Hydraulisches Schema und Planunterlagen der WV

9.2 Originaldokumentation Pumpe

9.3 Originaldokumentation Motor

9.4 Messgeräteliste im Detail