



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE

OPAL-Erweiterung für Permanentmagnet-Motoren

Schlussbericht

Ausgearbeitet durch

Ronald Tanner, Semafor Informatik & Energie AG

Sperrstrasse 104 B

CH-4057 Basel

Impressum

Datum: 23. September 2008

Im Auftrag des Bundesamtes für Energie

Forschungsprogramm Elektrizitätstechnologien und -anwendungen

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Projekt- / Vertragsnummer: 102 128 / 152 677

Bezugsort der Publikation: www.energieforschung.ch

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

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage	5
2	Ziel der Arbeit	5
3	Ergebnisse	5
3.1	Verfügbarkeit von Permanentmotor-Daten	6
3.2	Modellierung des Permanentmagnet-Motors	7
4	Schlussfolgerungen	8
A	OPAL Web: User Manual	9
A.1	User Registration and Login	9
A.2	Search the Motor Catalog	10
A.3	Comparing motors	12
A.4	VSD Operation with Pumps	13
B	Testberichte	15
B.1	Regression-Tests	16
B.2	Web-Test	17

Zusammenfassung

Das bestehende Programmsystem OPAL für die energieoptimale Auslegung von Pumpen und Lüftersystemen mit ASM-Normmotoren, wurde mit einem Modul für Permanentmagnetmotoren ergänzt, welches es ermöglicht, Einsparungsvergleiche zwischen diesen beiden Motortypen durchzuführen. Um diese Möglichkeit effektiv zu nutzen, werden jedoch Motordaten benötigt, deren Verfügbarkeit zur Zeit noch unklar ist.

Um die Anwendung einem möglichst breiten Benutzerkreis zugänglich zu machen, wurde darüberhinaus, die Software mit einer webfähigen Benutzerschnittstelle ausgestattet, die die neuen Möglichkeiten der Web-2.0-Technologie nutzt. Die Benutzerführung wurde in Deutsch, Französisch und Englisch implementiert und kann einfach für zusätzliche Sprachen erweitert werden. Zusätzlich wurde die EuroDEEM-Datenbank integriert, womit nun die Katalogdaten von mehr als 10'000 Motoren in OPAL verfügbar sind.

Resumé

Le système de programme OPAL actuel, optimisant l'énergie pour un étalage de pompes et de systèmes de ventilation avec des moteurs normés ASM, a été doté d'un module pour les moteurs à aimant permanent, permettant de faire des comparaisons d'économie avec ces deux types de moteurs. Pour utiliser cette possibilité avec efficacité des données du moteur sont nécessaires, dont la disponibilité est incertaine pour le moment.

Pour faciliter l'accès d'application à un cercle d'utilisateurs plus large, le logiciel à été complété par un format Web Interface utilisateur, qui utilise les nouvelles possibilités de la technologie de Web 2.0. La gestion des utilisateurs a été implémentée en allemand, en français et en anglais et peut être facilement mis en oeuvre pour d'autres langues. En outre la base de données d'EuroDEEM a été intégrée, permettant d'avoir à présent des données de catalogue en OPAL, pour plus de 10'000 moteurs.

Abstract

The existing application OPAL that is being used for the energy-efficient design of pump and fan systems with induction motors, has been extended in this project by a module for permanent magnet motors which directly supports the saving comparison of these two motor types in terms of energy and cost. However, to make use of this new feature the parameters of permanent magnet motors must be available which is currently not the case.

To provide this application to a broader group of users a web-based user interface has been developed. For improved usability many of the new Web-2.0 features have been included. In addition the software is now adapted to the languages german, english and french and the EuroDEEM database has been integrated giving access to the performance data of more than 10'000 motors.

1 Ausgangslage

Elektrische Antriebe bilden in Industrie und Dienstleistungsbetrieben die grösste Verbraucherguppe. Dabei besteht ein erhebliches Einsparpotential in der Umsetzung der folgenden Massnahmen:

- vermehrter Einsatz von Hocheffizienz-Motoren und drehzahlvariablen Antrieben,
- bedarfsgerechte Dimensionierung, Installation und Betrieb der Pumpen-, Druckluft- und Kälteanlagen,
- Wirkungsgradverbesserungen der Lüftungs- und Klimaanlage

Im Laufe der letzten Jahre sind in der Schweiz und in Europa zu dieser Thematik zahlreiche Studien veröffentlicht und einige Datenbanken und Softwarepakete erstellt worden, die jedoch an verschiedenen Stellen zusammengesucht werden müssen.

2 Ziel der Arbeit

Mit diesem Projekt soll das bestehende Programmsystem OPAL zur energieoptimalen Auslegung von Pumpen und Lüftersystemen mit ASM-Normmotoren, die bei gegebenem Lastspiel mit konstanter und variabler Drehzahl betrieben werden, mit einem Modul für Permanentmagnetmotoren ergänzt werden, so dass Einsparungsvergleiche durchgeführt werden können.

Darüberhinaus soll die Benutzbarkeit der Software weiter verbessert werden, um so auch den Benutzerkreis zu erweitern. Dazu ist vorgesehen, die Oberfläche webfähig zu machen. Dies ermöglicht es dem Nutzer auf eine Installation der Software auf seinem lokalen Rechner zu verzichten und mit einem gängigen Internet-Browser (Internet Explorer, Mozilla Firefox, ...) darauf zu zugreifen. Zudem kann die Software auch jederzeit auf dem aktuellsten Stand gehalten werden.

Ein weiteres Ziel ist die Unterstützung mehrsprachiger Benutzerführung (mind. in Deutsch und Französisch).

3 Ergebnisse

Im Rahmen dieses Projektes wurden die folgenden Ergebnisse erarbeitet:

- Abklärung der Verfügbarkeit der Daten von Permanentmagnet-Motoren,
- Implementierung eines Berechnungsmodells für Permanentmagnet-Motoren,
- Entwicklung einer Web-basierten Applikation für die Bestimmung des Einsparpotentials elektrischer Antriebe,
- Übernahme der Katalogdaten aus der EuroDEEM-Datenbank,
- Test, Verifizierung, Dokumentation

Da sich in wesentlichen Teilen die in OPAL vorhandene Funktionalität als praxistauglich erwiesen hat, ging es bei der Systemspezifikation hauptsächlich darum, sich einen Überblick über den Stand der Technik von Permanentmagnet-Motoren zu verschaffen und sich für ein für die Evaluation der Energieeffizienz geeignetes Berechnungsmodell entscheiden. Dazu wurden mit verschiedenen Anbietern Kontakt aufgenommen (Circle Motor, ABB und Siemens).

Für die Integration des PM-Motor-Moduls wurden an der Softwarestruktur von OPAL die nötigen Anpassungen entworfen und implementiert. Da jedoch keine Motordaten im benötigten Umfang verfügbar sind, erweist sich ein Einsatz dieses Moduls als noch nicht sinnvoll.

Als nützliche Grundlage für die Entwicklung einer benutzerfreundlichen Web-Applikation erwies sich die vorgängige Evaluation verschiedener Frameworks. Aus Risikoabwägungen (breit abgestützte Standards, umfassende Dokumentation, gute Verbreitung) fiel der Entscheid auf die folgenden OpenSource Java-Frameworks:

Framework	Version	URL
Hibernate Annotations	3.3	www.hibernate.org
Spring Framework	2.5	www.springframework.org
Apache Myfaces	1.2	apache.myfaces.org

Für den Betrieb wurde als Web-Container Apache Tomcat 6.0 und als Datenbank-Server mysql 5.0 gewählt.

3.1 Verfügbarkeit von Permanentmotor-Daten

Die Abklärung zur Verfügbarkeit von PM-Motordaten ergibt folgendes Bild:

- CircleMotor (Markus Lindegger):

Verschiedene Simulationen mit Motoren der Leistungen 5.5, 15, 55 und 90 kW wurden im Rahmen einer BFE-Studie durchgeführt. Die Daten liegen im Maxwell-Format vor.

Von den folgenden Motoren wurden die Ersatzschaltbildparameter messtechnisch ermittelt und dokumentiert:

- PM IEC 56: einphasig, 230V, 150W, 3600 1/min
- PM IEC 100: dreiphasig, 230V, 2.5kW, 3000 1/min

BLDC CM-IEC 100-3kW

Frequenz	f1	150	Hz
Spannung	u1	230	V
Strom	i1	8	A
Leistung	pmech	2.5	kW
Moment	torque	7.96	Nm
Wirkungsgrad	eta	92	%
Statorwiderstand	rs	0.85	Ω
Statorstreuung	ld	7.86	mH
Fluss	Ψ	0.211	Vs
Eisenverluste	pfe	72	W
Reibungsverluste	preib	29	W

- ABB: DriveIT M3BP (Baugrößen 280 - 560, Nennmomente 1257 - 50156 Nm, Polzahlen 10 - 12)

- 17 - 200 kW, 0 - 220 1/min
- 25 - 280 kW, 0 - 300 1/min
- 38 - 400 kW, 0 - 430 1/min
- 57 - 500 kW, 0 - 600 1/min

Von der ABB-Web-Seite kann die PDF-Datei "DriveIT Permanent Magnet Motors" heruntergeladen werden. Darin sind die Daten Leistung, Strom, Wirkungsgrad, Polpaarzahl, Drehmoment, Leistungsfaktor, Trägheitsmoment, Maximaldrehzahl, Gewicht (Masse) aufgeführt.

- Siemens: SIEMOSYN 1FU8 (Baugrößen 71M bis 160L)

Polzahl	Drehmoment [Nm]	Leistung [kW]	Frequenz [Hz]
2	1.3 - 7.3	0.4 - 2.3	20 - 250
4	2 - 18	0.3 - 2.8	13.3 - 200
6	34 - 60	3 - 6	20 - 200

Im Online-Katalog sind jeweils die Nennmomente, Nennleistung, Nenn- und Anlaufströme bei verschiedenen Frequenzen angegeben. Eine Angabe des Wirkungsgrades fehlt.

Fazit: ein direkter Vergleich von ASM-Normmotoren mit PM-Motoren ist zur Zeit nur eingeschränkt möglich. Der einzige in Frage kommende Motor ist der 3kW-Motor von CircleMotor, der jedoch eine Nenndrehzahl von 3600 1/min aufweist. Bei 3000 Umdrehungen pro Minute erreicht er lediglich eine Leistung von 2.5 kW.

3.2 Modellierung des Permanentmagnet-Motors

Permanentmagnet-Motoren können in unterschiedlichen Varianten gebaut werden. Hier wird nur die Variante "permanentmagnet-erregter Synchronmotor" (PM-SM) betrachtet. Der Motor hat eine Drehfeldwicklung im Stator und Permanentmagnete im Rotor.

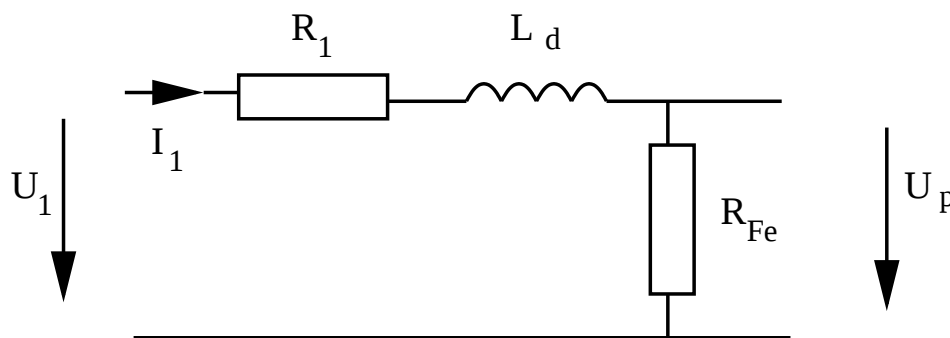


Abbildung 1: Ersatzschaltbild des Permanentmagnet-Motors, mit Eisen- und Kupferverlusten

- Die Spannungsgleichung lautet wie folgt:

$$U_1 = (R_1 + j\omega L_d) \cdot \underline{I_1} + (\sin \delta + j \cos \delta) \cdot U_p \quad (1)$$

mit dem Polradwinkel δ

- Das Moment lässt sich aus der Leistungsbilanz bestimmen:

$$\omega_1 \cdot p \cdot M = 3 \cdot U_1 \cdot \operatorname{Re}[\underline{I_1}] - 3 \cdot \underline{I_1} \cdot \underline{I_1}^* \cdot R_1(\theta) - 3 \cdot U_p^2 / R_{fe} \quad (2)$$

Bei gegebener Spannung U_1 , Frequenz $\omega_1 = 2\pi f_1$ und Moment M lässt sich aus diesen beiden Gleichungen der komplexe Strom $\underline{I_1}$ und der Polradwinkel δ bestimmen.

Der Wirkungsgrad berechnet sich wie folgt:

$$\eta = 1 - \frac{\omega_1 \cdot p \cdot M}{3 \cdot U_1 \cdot \operatorname{Re}[\underline{I_1}]} \quad (3)$$

4 Schlussfolgerungen

Zur Bewertung der Projektergebnisse können folgende Feststellungen gemacht werden:

- Erweiterung von OPAL mit Modul für Permanentmagnet-Motoren

Die Erweiterung von OPAL für den direkten Vergleich von Permanentmagnet- mit Asynchron-Normmotoren konnte wie geplant durchgeführt werden. In Ermangelung geeigneter Daten von Permanentmagnet-Motoren ist eine konkrete Nutzung dieses Moduls jedoch noch nicht möglich.

- Entwicklung der OPAL-Web-Applikation

Die Entwicklung einer Web-Applikation auf Basis der OPAL Version 3.0, die als Desktop-Applikation mit englischer und deutscher Benutzerführung frei erhältlich ist, konnte ebenfalls wie geplant abgeschlossen werden. Die Funktionalität ist im Vergleich zu OPAL 3.0 zwar etwas eingeschränkt. Aktuell lassen sich damit die Energie- und Kosteneinsparungen zweier Motoren am Netz sowie einer Pumpe mit variabler und konstanter Drehzahl vergleichen. Neu ist allerdings die Integration der EuroDEEM-Datenbank und damit der Zugriff auf die Katalogdaten von mehr als 10'000 Motoren. Zusätzlich wurde mit dieser Version auch eine Benutzerführung in französischer Sprache integriert. Die Applikation ist verfügbar unter der Adresse:

<http://opal.semafor.ch>

Eine Erweiterung des Anwenderkreises darf damit erwartet werden. Konkret ist vorgesehen die Software im Rahmen des Umsetzungsprogrammes Topmotors zu nutzen.

Liste der Anhänge

- A OPAL Web: User Manual
- B Testreport

Welcome to OPAL

Motor systems have a significant potential of energy savings. This application has been developed to find the most cost-effective actions to reduce energy consumption of motor-driven pump systems.

To evaluate the energy efficiency of an electric motor system the following steps are generally required:

- acquire the component and the load profile data of the drive system.
- examine different saving actions and compare the results.

[Click here to learn more about OPAL.](#)

[Search Motors](#)
[Compare Motors](#)
[VSD and Pumps](#)

Disclaimer

This product is designed as a decision aid for energy saving actions. No warranties, either expressed or implied, with respect to this software or with respect to its fitness for any particular purpose is claimed by Semafor or the author. The software is provided solely on an "as is" basis. The entire risk as to its quality and performance is with the user of this software.

Resources

The following is a list of useful resources that provide additional information about energy efficiency:

- [The European Motor Challenge Programme](#)
- [ProMot](#)
- [Leonardo Energy](#)
- [Industrial Energy Analysis \(Lawrence Berkeley National Laboratory\)](#)



Abbildung 2: Opal Web Title Page

A OPAL Web: User Manual

The aim of this software is to provide a simple and easy-to-use tool that helps users to find the most cost and energy efficient solution for purchase and replace decisions of motor driven of pumping systems. The current version offers you the following options:

- Searching the motor catalog:

OPAL gives you access to the EuroDEEM database containing the performance data of more than 10'000 motors. Based on your motor specifications – kilowatt rating, synchronous speed, degree of protection, and operating voltage – the software will list available motors, ranked in descending order of full-load efficiency.

- Comparing motors:

OPAL can be used to compute the energy consumption and savings to support replace or purchase decisions of any motor combination: such as a new EFF1 instead of a standard EFF3 or an improved Efficiency EFF2 motor model or a motor of some specific manufacturer. The evaluation is based on a user definable load profile.

- Evaluating VSD operation:

OPAL lets you compare the energy consumption and savings of pumping systems running at constant and variable speed with a given load profile.

The following sections shall explain these functions in more detail.

A.1 User Registration and Login

To access the OPAL web pages you need a valid username and password:

Login

Username *

Password *

☐ Remember Me

Login

Not a member? [Signup](#) for an account.

Forgot your password? Have your [password hint e-mailed to you](#).

Privacy Policy

We are committed to respecting your online privacy and will not pass any personally identifiable information to third parties. We use this information to improve our service and to protect this site against misuse. Any personal information you provide is considered to be private and will be kept strictly confidential within Semafor.

Abbildung 3: Login Screen

If you do not already have registered before you need to create a new account by activating the link "Signup". This presents the following screen where you must enter valid values in all fields marked by an asterisk:

New User Registration

Please enter your user information in the form below.

Username (E-Mail) *

First Name *

Last Name *

Password *

Confirm Password *

Company or Organisation

Password Hint

Address

Zip *

City *

State

Country *

Signup

Cancel

Abbildung 4: Signup Screen

A.2 Search the Motor Catalog

You can navigate to the Motor Catalog by activating either the Menu button "Motor Catalog" or the button "Search Motor" on the title page. This brings up the screen shown in figure 5.

Search Filter

Output [kW]
7.5

Speed [1/min]
1500.0

Voltage [V]
400

Frame Size
--ALL--

Encl.
--ALL--

Manufacturer

<default>
ABB Motors
AMB
ARCELIK AS
ATB

☒ all

107 motor(s) found, displaying 8 from 1 to 8. Page 1/14

Model	Manufacturer	Catalog	Output [kW]	Encl.	Eff. FL [%]	Voltage [V]	Speed [1/min]
Cast Iron - Top Premium	WEG	2005 Data	7.5	IP55	91.7	400	1500.0
GENERAL PURPOSE,IP55	Baldor UK	EMM3774-58	7.5	IP55	91.0	400	1500.0
GENERAL PURPOSE,IP55	Baldor UK	EMM3774-65	7.5	IP55	91.0	380	1500.0
Cast Iron STDEFF	Teco		7.5	IP54	91.0	400	1500.0
KTE2 132 M 4	K	KTE2W-0507	7.5	IP55	90.9	400	1500.0
DVE132M4	SEW Eurodrive	General	7.5	IP54	90.8	400	1500.0
CI - Prem Eff	WEG	2005 Data	7.5	IP55	90.4	400	1500.0
Advantage+ V series	Teco	TBC	7.5	IP55	90.32	400	1500.0



Abbildung 5: Motor Catalog

This screen contains 2 areas. The head area on the top includes the parameters for searching the motors. Below you can find the table with the list of found motors ranked in descending order by their full load efficiency. The list can be scrolled forward and backward by the arrow buttons placed at the bottom.

To find a specific set of motors you need to modify the search parameters accordingly. You can also indicate whether you want to list motors from all manufacturers. In this case the checkbox "all" must be selected. Unselect this box if you want to choose a specific manufacturer or a combination of manufacturers. The list of found motors will be updated immediately after each modification.

To view the detailed motor parameters you can select the motor by clicking on its link in the first column. This will bring up the screen shown in figure 6

Motor Details

[Back](#)

Manufacturer	Model	Catalog
<default>	<Default EFF1 motor>	

Output [kW]	Speed [1/min]	Voltage [V]
7.5	1455	400

Eff. FL [%]	Power Factor [%]
90.3	84

Torque FL [Nm]	Torque BD [Nm]	Torque LR [Nm]
49	176.4	147

Nom. Current [A]	Amps Idle [A]	Amps LR [A]
14.3		100.1

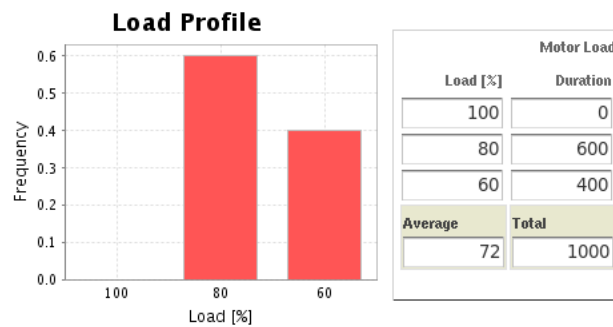
Rotor Inertia [kgm]
0.03

Abbildung 6: Motor Details

A.3 Comparing motors

5 The menu button "Motor System" or the button "Compare motors" on the title page lets you compare to motors in terms of energy consumptions and savings.

Compare Motors

[Calc Savings](#)

Motor 1 Nameplate		
Model	<Default EFF3 motor>	
Output [kW]	Speed [1/min]	Eff. FL [%]
7.5	1450	85
Select Motor		

Motor 2 Nameplate		
Model	<Default EFF1 motor>	
Output [kW]	Speed [1/min]	Eff. FL [%]
7.5	1455	90.3
Select Motor		

Abbildung 7: Specification of the motor comparison

This page contains the following elements:

1. **Load Profile:** a plot that displays the frequency of the motor load during its operating period
2. **Motor Load:** a table with 2 columns that holds the percentage of the nominal load and the corresponding operating duration
3. **Motor Nameplates:** displays the nameplate values of the 2 motors to be compared.

To select a motor for this comparison you have to activate the link "Select motor". This will guide you to the motor catalog where you can chose a motor by clicking on the link in the model column and then on the button "OK".

NOTE: Some motors have inadequate parameters to execute the performance calculation. If this is the case you will see the following warning message:

 Invalid Motor Parameters: This motor cannot be used for efficiency comparison

Press the button "Calc Savings" when you have completed your input. This will execute the energy and cost calculation and will lead you to the following screen which presents the results:

Motor System Energy Consumption and Savings

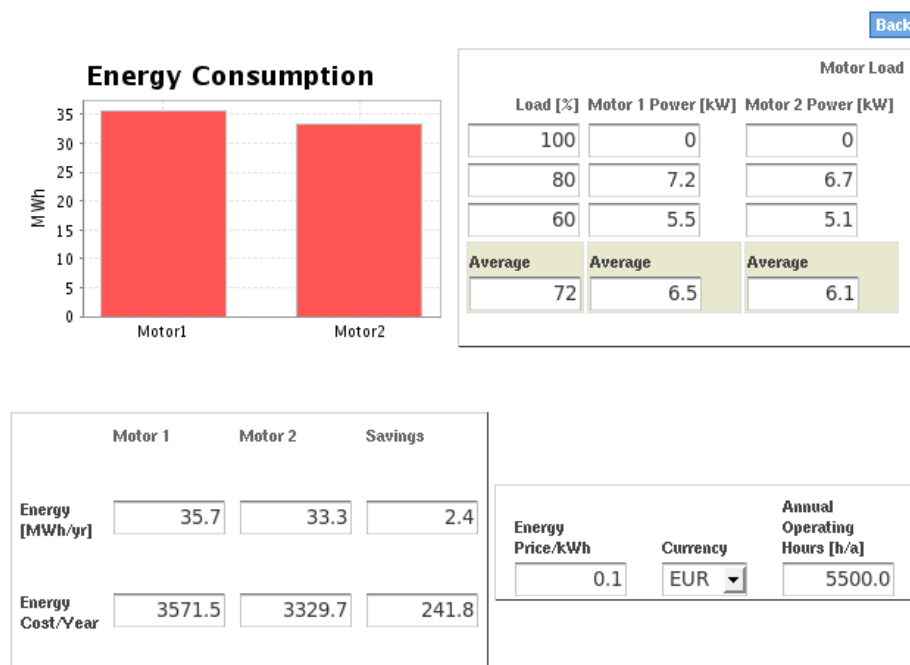


Abbildung 8: Energy and cost savings

In the field group placed at the lower right corner you can adapt the energy price, currency and the total operating hours. After each modification the results will immediately be updated.

A.4 VSD Operation with Pumps

With the menu button "Pumping System" or the button "VSD and Pumps" on the title page you can evaluate the energy and cost savings of a pumping system running at constant or variable speed.

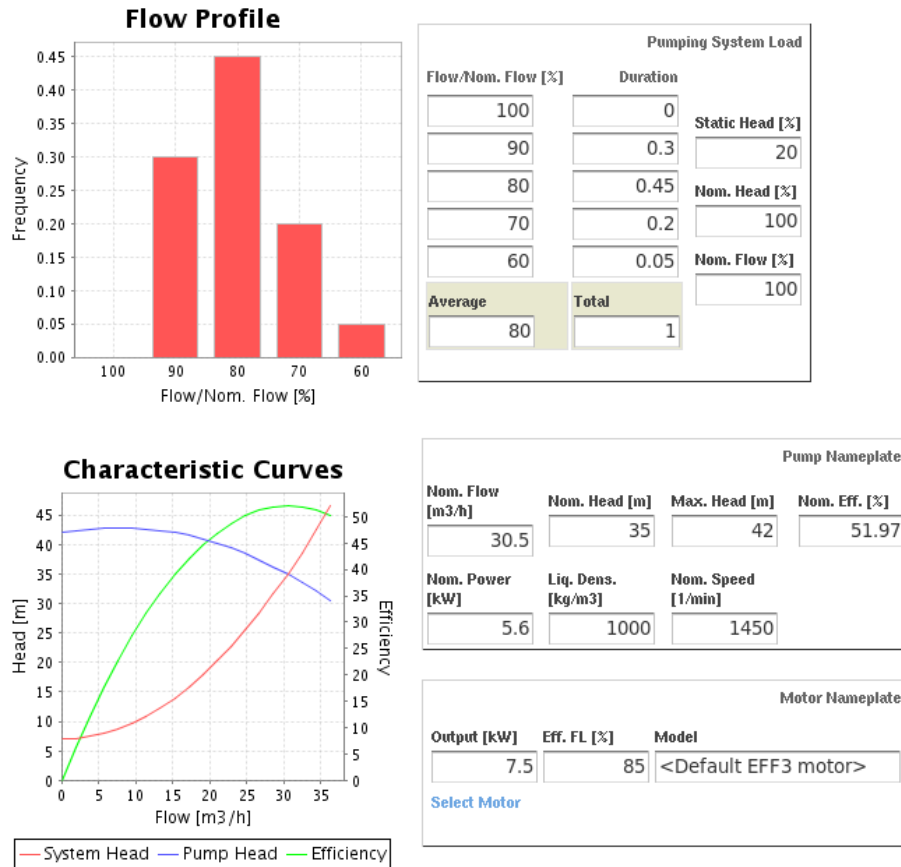


Abbildung 9: Specification of a pumping system for efficiency comparison

This page includes following sections (from top to bottom):

1. **Flow Profile:** a plot that displays the frequency of the pump flow during its operating period,
2. **Pumping System Load:** a table with 2 columns and the load curve parameters, the table holds the percentage of the nominal flow and the corresponding operating duration, the load curve is defined by the values static head, nominal head and flow and shown in the figure below.
3. **Characteristic Curves:** a plot that displays the system and pump curves: flow versus head and flow versus efficiency
4. **Pump Nameplate:** these fields display the nameplate values of the pump. You can modify the values and the characteristics curves as well as the power (or efficiency) will be adapted immediately using the formula

$$\eta_{Pump} = 9.815 \cdot \rho \cdot H \cdot Q / 3600 / P_2 \quad (4)$$

with the nominal values of flow Q in [m³/h], head H given in [m] and P₂ in [kW] based on a density ρ in [kg/dm³].

5. **Motor Nameplate:** these fields display the nameplate values of the motor (Refer to section for the procedure to chose a different motor.)

Pressing the button "Calc Savings" executes the performance and energy calculation for the specified pumping system and lead you to the followin page:

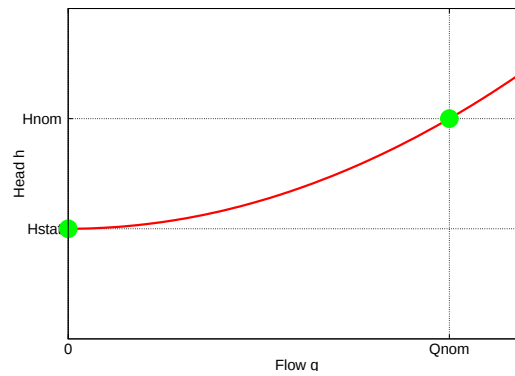


Abbildung 10: System load specification with static and nominal head

Pumping System Energy Consumption and Savings

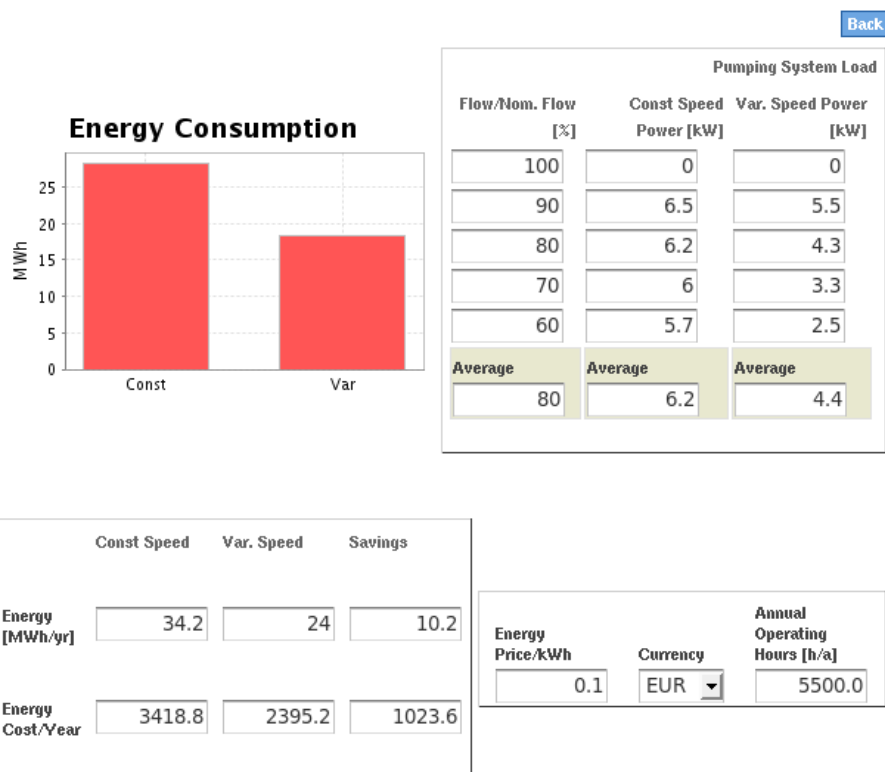


Abbildung 11: Specification of a pumping system for efficiency comparison

You can adapt the energy price, the currency and the annual operating hours.

B Testberichte

Es wurden die folgenden Tests durchgeführt:

- Regression-Tests für die Berechnung
- System-Tests mit Canoo WebTest

B.1 Regression-Tests

Die bestehende Opal-Version 3.0 wurde weitgehend unverändert in die Java-Web-Applikation integriert. Als zusätzliche Schnittstelle wurden auf der Basis von XML-RPC folgende Methoden implementiert:

- `opal.MotorOperatingPoint`:
Berechnung der Betriebspunkte bei gegebener Frequenz, Spannung und mechanischer Leistung,
- `opal.MotorVarSpeed`
Berechnung der Betriebspunkte, Energie und Verluste bei variabler Frequenz und Spannung und gegebener Wertetripel Drehzahl, Moment, Dauer
- `opal.MotorConstSpeed`
Berechnung der Betriebspunkte, Energie und Verluste bei konstanter Spannung und Frequenz und gegebener Wertepaare Moment und Dauer
- `opal.PumpPower`
Berechnung der Betriebspunkte bei konstantem und variablem Betrieb bei gegebener Fördermenge und Förderhöhe

Die Tests des Berechnungsmoduls können deshalb als Regression-Tests durchgeführt werden, d.h. es müssen bei gleichen Eingaben die selben Ergebnisse wie bei der Version 3.0 resultieren. Dies wurde von allen Regression-Tests bestätigt.

Dazu wurden mit dem PM-Motor CM-IEC 100-3kW und einem 4-poligen Normmotor die folgenden Testfälle definiert:

Motor:

Beschreibung	XML-Element	Wert	Einheit
Polzahl	poles	4	
Leistung	nomoutput	55	kW
Drehzahl	nomspeed	1475	1/min
Spannung	nomvoltage	400	V
Strom	nomcurrent	97	A
Wirkungsgrad	nometa	94.5	%
Leistungsfaktor	cosphi	0.88	
Anlauf/Nennmoment	kanlm	2.3	
Kipp/Nennmoment	kkippm	2.9	
Anlauf/Nennstrom	kanls	7.3	

1. `opal.MotorOperatingPoint`

Frequenz	50	50	50
Spannung	400	400	400
Leistung	22	44	66

Erwartete Ergebnisse:

current	output	torque	eta	speed	load
48.0731	20438.6	130.904	0.929501	24.8622	0.3718
75.6738	41501.7	267.392	0.943701	24.7149	0.754959
107.702	62037.8	402.275	0.940443	24.5569	1.12853

2. opal.MotorVarSpeed (Normmotor)

Dauer	100	100
Drehzahl	20.5833	24.8833
Moment	100	100

Erwartete Ergebnisse:

MotorLosses	2129.85
EnergyConsumption	911.867
meanPower	16413.6
maxCurrent	43.2316

losses	cosphi	current	voltage	frequency	power	output
1943.79	0.569185	43.2316	331.075	41.3844	14876.7	12932.9
2315.91	0.569415	43.1717	399.876	49.9845	17950.5	15634.6

3. opal.MotorVarSpeed (PM-Motor BLDC CM-IEC 100-3kW)

Dauer	100	100
Drehzahl	25	50
Moment	7.5	7.5

Erwartete Ergebnisse:

MotorLosses	188.194
EnergyConsumption	108.63
meanPower	1955.34
maxCurrent	9.04681

losses	cosphi	current	voltage	frequency	power	output
149.328	0.748453	8.44606	115	75	1327.43	1178.1
227.059	0.680087	9.04681	230	150	2583.25	2356.19

4. opal.MotorConstSpeed

Moment	50	100	150
Dauer	3600	3600	3600

Erwartete Ergebnisse:

MotorLosses	1432.45
EnergyConsumption	51188.9
meanPower	17063
maxCurrent	51.4402

speed	losses	cosphi	current	power	output
24.9455	1236.41	0.351583	37.2266	9073.26	7836.85
24.8943	1410.93	0.569203	43.1731	17052.5	15641.5
24.8421	1650.02	0.701567	51.4402	25063.2	23413.2

B.2 Web-Test

Für den Systemtest der Web-Applikation wurden die folgenden Testfälle definiert:

1. neuer Benutzer registrieren
2. anmelden

Result Summary

Server Roundtrip Timing Profile

WebTests	#	%	Graph	Secs	#	%	Histogram
	9	100		0 - 1	49	98	
	0	0		1 - 3	1	2	
				3 - 5	0	0	
Sum	9	100		5 - 10	0	0	
Steps	#	%	Graph	10 - 30	0	0	
	121	100		> 30	0	0	
	0	0		Sum	50	100	
	0	0		Avg		279 ms	
Sum	121	100					

Abbildung 12: WebTest-Report von Opal Web (Version 4.0)

3. Motor suchen
4. Motoren vergleichen
5. Pumpsystem definieren
6. Benutzer-Profil modifizieren
7. Feedback eingeben
8. Abmelden
9. Benutzer löschen

Die Testdurchführung erfolgte mit Canoo-Webtest. Alle Testfälle wurden erfolgreich durchlaufen (Siehe Abbildung 12)