



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Schlussbericht 31. August 2009

SOTEA

Softwaretool zur Ermittlung des Effizienzpotenzials bei elektrischen Antrieben

Auftraggeber:

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

Auftragnehmer:

S.A.F.E. Schweizerische Agentur für Energieeffizienz
Gessnerallee 38a
CH-8001 Zürich
www.topmotors.ch

Autoren:

Conrad U. Brunner, Gessnerallee 38a, CH-8001 Zürich, cub@cub.ch
Thomas Heldstab, Schaffhauserstr. 34, CH-8006 Zürich, thomas.heldstab@hematik.ch

BFE-Bereichsleiter: Dr. Michael Moser

BFE Programmleiter: Roland Brüniger

BFE-Vertrags- und Projektnummer: Vertrag Nr. 153248, Projekt Nr. 102545

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

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
Resumé	4
Abstract	4
1. Ausgangslage und Projektziel	6
Hintergrund	6
Ziel	6
2. Durchgeführte Arbeiten	8
Vorarbeiten	8
Rechenmodell	8
Datenbanken.....	10
Ökonomischer Ansatz.....	13
3. Erreichte Ergebnisse	13
Benutzerschaft.....	13
Anwendungsergebnis	14
Plausibilität der einzelnen Ergebnisse.....	15
4. Nationale Zusammenarbeit	18
5. Internationale Zusammenarbeit	19
6. Bewertung und Ausblick.....	19
Referenzen	19
Anhang 1: Rechenmodell	20
Zweck.....	21
Rechenmodell	21
Berechnung des IST-Verbrauchs der Elektrischen Antriebe	21
Berechnung Elektrizitätsverbrauch Referenzanlage	21
Berechnung Ersatzinvestition Motoren (inkl. Installation) und FU bei 100% Ersatz	23
Berechnungsergebnisse	23
Anhang 2: Erläuterung (Hilfe).....	25
Anhang 3: Fragebogen.....	27

Zusammenfassung

Als wissenschaftliche Basis für die Umsetzung des Programms für elektrische Antriebe in der Schweiz *Topmotors* wurde ein Softwaretool für Manager entwickelt und getestet. Damit kann eine Fachperson bei einem ersten Kontaktgespräch aufgrund weniger und einfacher Schlüsseldaten des Betriebes den elektrischen Energieaufwand für die Antriebe abschätzen und ein Effizienzpotenzial samt Pay-back der Zusatzinvestitionen abschätzen. Die Daten können problemlos vor Ort auf dem Laptop eingegeben und das Ergebnis vorgeführt werden.

Das Programm wurde erstellt und mit fünf einzelnen Anwendern getestet. Die insgesamt positiven Erfahrungen der Anwender wurden ausgewertet und das Programm entsprechend verbessert. Insgesamt wurden 11 Objekte ausgewertet mit einem ausgewiesenen elektrischen Energieverbrauch von 77.6 GWh/a mit Elektrizitätskosten von 7.9 Millionen Franken pro Jahr. Die mit SOTEA berechneten gesamten elektrischen Einsparungen betragen 6.9 GWh/a (11 % des Verbrauchs der elektrischen Antriebe) bei einer mittleren Paybackdauer von 1.7 Jahren.

Das Programm SOTEA ist seit September 2008 öffentlich unter www.topmotors.ch zugänglich, per 1. April 2009 als Version Beta-2b. Es ist bis zum 28. Juni 2009 von 132 Personen 218 mal heruntergeladen worden. Es wird durch Ergebnisse von weiteren Pilotanwendungen noch verbessert. Um Versionen-Probleme zu vermeiden und weitere Optimierungen sofort wirksam zu machen, wird eine reine Internet-Verfügbarkeit in Betracht gezogen. Es ist vorgesehen, das Programm in einer englischen Version innerhalb des IEA 4E EMSA¹ Projektes auch international einzusetzen.

Resumé

Comme base scientifique pour le programme Suisse d'implémentation d'efficacité des moteurs électriques *Topmotors* un outil pour ordinateur était développé et testé pour des managers d'usines. Le software facilite à un ingénieur avec peu de données de l'entreprise une estimation rapide du potentiel d'économie d'électricité, l'investissement nécessaire et le pay-back. On peut entrer les données dans un ordinateur portable à l'usine et démontrer les résultats immédiatement.

Le software était préparé et testé avec cinq utilisateurs. La réaction positive était prise en compte pour approvisionner l'outil. 11 objets industriels avec une consommation annuelle totale de 77.6 GWh et des couts respectives de 7.9 millions CHF était analysés. L'estimation SOTEA est d'une économie d'électricité de 6.9 GWh (11 % de la consommation des moteurs) avec une durée de pay-back de 1.7 années.

L'outil SOTEA était mis au public depuis septembre 2008 dans www.topmotors.ch, depuis 1^e avril 2009 comme version Beta-2b. Il était utilisé comme download jusqu'ici au 28 Juin 2009 par 132 personnes 218 fois. SOTEA sera encore approvisionné en résultats d'autres objets pilots. Pour éviter des problèmes de l'update une solution internet directe est étudiée. SOTEA sera préparé en anglais aussi pour une audience internationale dans le sein du projet AIE 4E EMSA¹.

Abstract

As a scientific base for the Swiss electric motor efficiency implementation program *Topmotors* a software tool for industry managers has been developed and tested. The software allows an energy efficiency engineer in a first contact with industrial managers and with few simple data on the plant operation to estimate the energy efficiency potential of

¹ IEA 4E EMSA: International Energy Agency, Implementing Agreement for Efficient Electrical End-Use Equipment, Electric Motor Systems Annex www.motorsystems.org

electric motor systems including pay-back and investment. The data can be fed to a laptop computer on site and the results can be shown immediately.

The software has been programmed and tested with five prime users. The generally positive reactions were evaluated and the tool subsequently improved. 11 industrial objects with a total of 77.6 GWh electricity consumption and 7.9 million CHF electricity cost were studied. The SOTEA estimate is an annual efficiency improvement of the electric motor systems of 6.9 GWh (11 % of electricity for motors) with an average pay-back time of 1.7 years.

The SOTEA software tool is publicly available since September 2008 under www.topmotors.ch, from 1 April 2009 in a Beta-2b version. It has been downloaded until 28 June 2009 218 times by 132 persons. It will be improved with results from new pilot studies. To avoid problems with different update versions a direct internet solution will be studied. The program will also be made available internationally for English speaking users for the IEA 4E EMSA¹ project.

1. Ausgangslage und Projektziel

Hintergrund

Elektrische Antriebe machen oft den dominierenden Anteil des Verbrauchs bei Industrie- und Infrastrukturanlagen aus. Bei energetischen Verbesserungsmaßnahmen stellt sich die Frage, wie mit einfachem Aufwand, d.h. rasch und günstig, die kostengünstigsten Effizienzpotenziale ermittelt werden können. Mit dem Motor-Check, d.h. einem 2-stufigen Auditverfahren, ist das heute möglich.

Trotzdem stellt sich ein vorgelagertes Problem: Wie kann ein Industrieunternehmen, d.h. seine Führungskräfte, davon überzeugt werden, dass ein Motor-Check notwendig und sinnvoll ist? Ganz offensichtlich haben die meistens kaufmännisch orientierten Manager wenig Sinn, Zeit und Interesse, sich mit technischen Details ihres Betriebes auseinanderzusetzen. Sie wollen zum Einstieg eine erste grobe Abschätzung des Erfolgspotenzials in Energie und Kosten, resp. in der Form eines Pay-backs von zu tätigenden Investitionen. Erst dann wollen sie eine Gruppe von aussenstehenden Fachleuten in ihren Betrieb hineinlassen und sie dabei unterstützen, Daten zu erheben, Beobachtungen zu machen und Messungen zu veranlassen.

Ziel

Auf diesem Hintergrund wurde das Ziel für SOTEA formuliert.

Für den Einstieg in das Beratungsgespräch eines Industriebetriebes und vor dem Start des Motor-Checks (mit Grob- und Feinanalyse) wurde ein neuartiges Software Tool erarbeitet. Es deckt das Bedürfnis der betriebsleitenden Personen, rasch eine erste Grobabschätzung des elektrischen Verbrauchs für Antriebe und gestützt darauf eine Potenzialabschätzung für Sanierungsinvestitionen und Energie- und Kosteneinsparungsmöglichkeiten zu erhalten. Das Software Tool SOTEA soll diese Berechnung während eines halbstündigen Einführungsgesprächs mit den Betriebsleitern ermöglichen. In späteren Analyseschritten sollen dann vertiefte Untersuchungen, welche auf einzelne Motoren bezogenen sind, genauere Ergebnisse liefern.

SOTEA ist aber ein Tool für Fachleute: Energieeffizienzberater, die mit diesem Industrieunternehmen arbeiten und damit die Relevanz der eingegebenen Daten und des Ergebnisses beurteilen können. Es ist nicht ein Tool für technische Laien.

In einer früheren Analyse der vorhandenen Software Hilfsmittel für Motoren (Thomas Heldstab 6. Februar 2008) wurden 12 Software Tools analysiert und fünf massgebliche Kategorien gebildet. Davon sind für das Topmotors Umsetzungsprogramm nur die ersten vier von Bedeutung (Tabelle 1).

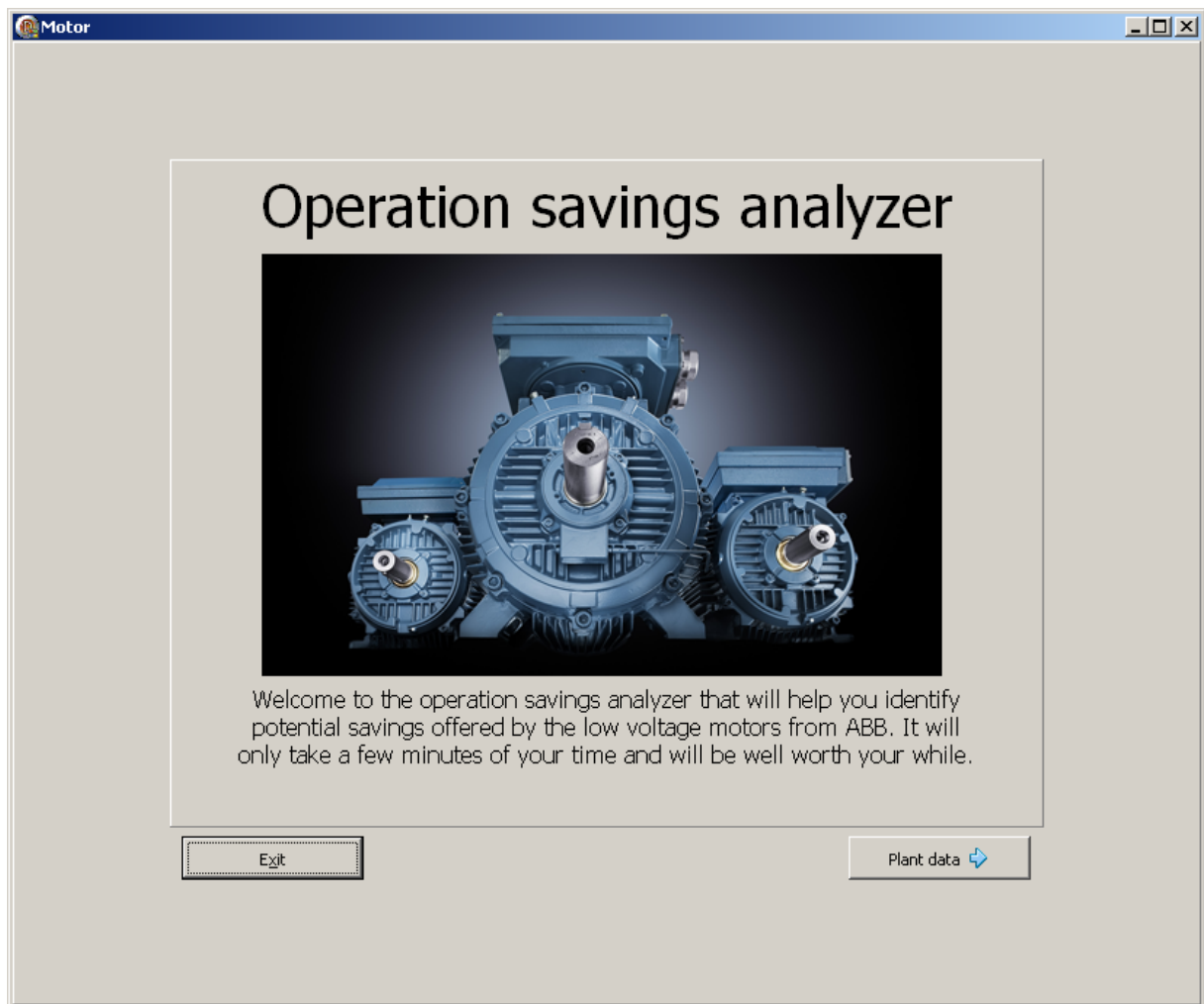
Management	Potentialabschätzung Management SOTEA Input u.a. aus: - Operating Savings Analyzer (ABB) - Savings Calculation Tool von ProMot - Einsparrechner (BFE)
Technik: LCC Berechnungen	LCC-MOT-EVAL (Schnyder)
Technik: Datenbanken	EuroDEEM/ MotorMaster (EERE) Lieferumfang Hersteller CH
Technik: Betriebsanalyse	Intelligente Motorenliste (1-2-3-Test)
Technik: Engineering	OPAL (Semafor)

Tabelle 1 Software-Hilfsmittel für Motoren (Auszug)

Dabei zeigte es sich klar, dass für die Managementstufe nur ein Produkt am Markt vorhanden war: der von ABB entwickelte und frei verfügbare Operation Savings Analyzer (Figur 1). Das Produkt ist interessant und brauchbar, erfüllt aber drei wichtige Bedingungen für die Anwendung in der Schweiz nicht:

1. Es ist Hersteller-abhängig; d.h. es werden nur ABB-Motoren als Lösungsansatz angezeigt.
2. Es ist nur in englischer Sprache vorhanden.
3. Die dahinterliegende Datenbasis ist nicht transparent und in wichtigen Teilen der zehn angegeben Branchen für die Schweiz nicht von Bedeutung (z.B. Automobilindustrie, Stahlwerk, etc.).

Darüber hinaus konnten Erfahrungen aus weiteren Software Tools (ProMot und LCC-Rechner) genutzt werden.



Figur 1 ABB- Operation Savings Analyzer, Start-Screen

2. Durchgeführte Arbeiten

Vorarbeiten

Zuerst wurde - vor der Arbeit an SOTEA - ein systematischer Überblick über vorhandene Software Tools für effiziente elektrische Antriebe erstellt. Daraus wurde eine Lücke im Bereich der strategischen Abschätzung des Effizienzpotenzials identifiziert. Das Programm muss Hersteller-unabhängig, auf Deutsch und mit SI-Einheiten und CHF bedienbar sein. Es muss auf dem Web kostenlos und problemlos downloadbar sein.

Rechenmodell

Das entsprechende Rechenmodell wurde entwickelt, die Eingabe- und Ausgabemasken definiert und die auf Excel-basierte Programmierung abgeschlossen und getestet.

Alle verwendeten Inputgrößen und Defaultwerte sind transparent dargestellt und können vom Benutzer u.U. anlagenspezifisch modifiziert werden.

Folgende Eingabe-, Orientierungs- und Ausgabetafeln sind vorhanden:

- Eingaben: siehe Input Masken 1 und 2 (Tabelle 2)
- Benutzerannahmen: Ersatzquoten, FU-Einsatz und Mehrkosten
- Konstanten von Motoren: Wirkungsgrade und Alter

- Kosten: Kosten Motoren, FU und Installation
- Referenzanlagen: verwendete Datensätze
- Nutzungsbedingungen
- Hilfe

Bei mehreren dieser Eingabetabellen kann der Nutzer - wenn bessere Daten im analysierten Betrieb vorhanden sind - mit eigenen Werten die Defaultwerte überschreiben. Damit kann er das Ergebnis stark beeinflussen: Büro- (allgemeiner und Beleuchtungsverbrauch) und Spezialverbraucher, Ersatzquote, FU-Anteil, Mehrkosten IE3 - IE1 sowie die Verteilkurve der Motorengrößen.

Die Berechnung geht vom bekannten gesamten elektrischen Energieverbrauch und den entsprechenden Kosten (Tarifelementen) des Betriebes aus. Dann werden die nicht-motorischen Spezialelemente (elektrisches Warmwasser, elektrische Prozesswärme, elektrische Dampferzeuger, Rechenzentren, Restaurant, Kantine und allgemeiner Bürobetrieb) abgeschätzt und abgezogen.

Vom Betrieb werden Angaben über den Schichtbetrieb (Monate pro Jahr im 1-, 2- und 3-Schichtbetrieb) erfragt und damit die mittlere Jahresbetriebsdauer der Anlagen geschätzt. Ferner werden Angaben zur technischen und betrieblichen Erneuerung erfragt und damit die altersbedingte Anlagenersatzquote modifiziert. Wichtig sind zudem die Fragen zu den Spezialverbrauchern, d.h. Angaben zu den nicht-motorischen elektrischen Verbrauchern wie Prozesswärme, Dampferzeugung, Rechenzentrum und Kantine.

Potentialabschätzung Management SOTEA 5

SOTEA
Software Tool
des Effizienzpotenzials
bei elektrischen Antrieben

Allgemein





- Allgemeine Angaben
- Arbeitsplätze
- Branche
- Schichtbetrieb

Datum	31.10.08	
Firma	Firma XY	
Objekt	Wädenswil	
Lieferndes EV	EKZ	
PLZ und Ort	8820 Wädenswil	
Ansprechpartner Firma	Stefan Muster	
Energieberater	Thomas Heldstab	
Umsatz		[CHF/a]
● Anzahl Arbeitsplätze	60	
● Anteil Büroarbeitsplätze	30	[%]
● Branche, Anlagentyp	Weitere	
● Anzahl Monate 1-Schichtbetrieb Produktion	0	
Anzahl Monate 2-Schichtbetrieb Produktion	0	
Anzahl Monate 3-Schichtbetrieb Produktion	12	

Zürich 26.11.2008



Tabelle 2 SOTEA Input Maske (1)

Potentialabschätzung Management SOTEA

7

Elektrizität

Kosten elektrische Energie

Verbrauch Elektrizität

Preis elektrische Energie (Typischer Arbeitspreis)

Maximale elektrische Leistung

Eigenerzeugung (in Stromrechnung)

Elektrische Energie

Elektrische Leistung

Spezialverbraucher

Elektrische Warmwassererwärmung

Prozesswärme

Elektrische Dampferzeuger

Rechenzentrum

Restaurant/Kantine

Wann wurde zum letzten Mal der grosse Teil des Maschinenparks erneuert?

Wann ist nächste Erneuerung geplant?

Künftige Veränderung der Produktion

Jahresbudget für Ersatz, Erneuerung und Reparatur

☐
☐
☒
☒
☐
☐

[CHF/a]

[kWh/a]

[CHF/kWh]

[kW]

[kWh/a]

[kW]

[Jahreszahl]

[Jahre]

[CHF/a]

- Verbrauch Elektrizität, Eigenerzeugung
- Spezialverbraucher
- Alter Maschinenpark
- Validierungen

2

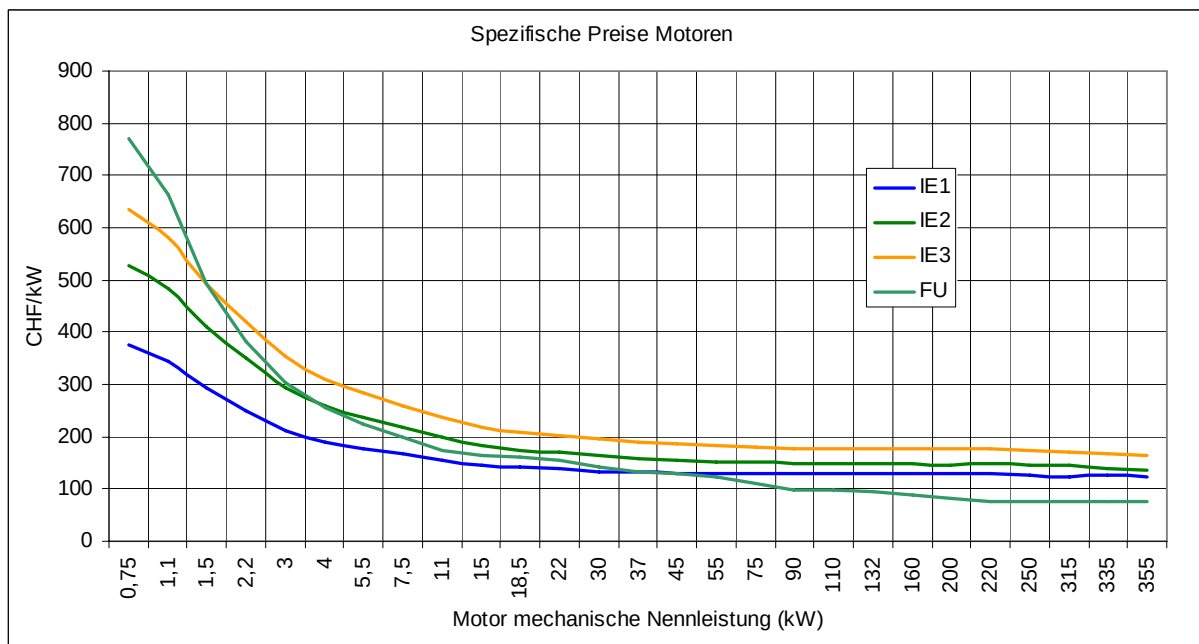
Zurücksetzen

Berechnen

Tabelle 3 SOTEA Input Maske (2)

Datenbanken

Die verwendeten Defaultdatenbanken bestehen u.a. aus Norm-Wirkungsgradkurven für Motoren (IEC 60034-30), typischen spezifischen Kosten von Motoren nach Effizienzklasse und Frequenzumformer (Basis: Umfrage 2009 bei SwissTnet und Rabattstufen, Figur 2) und Annahmen über den mittleren Teillastfaktor in Abhängigkeit der Motorengrösse (aus der Literatur: z.B. Anibal de Almeida, EuP Motors, Lot 11, Coimbra 2008).

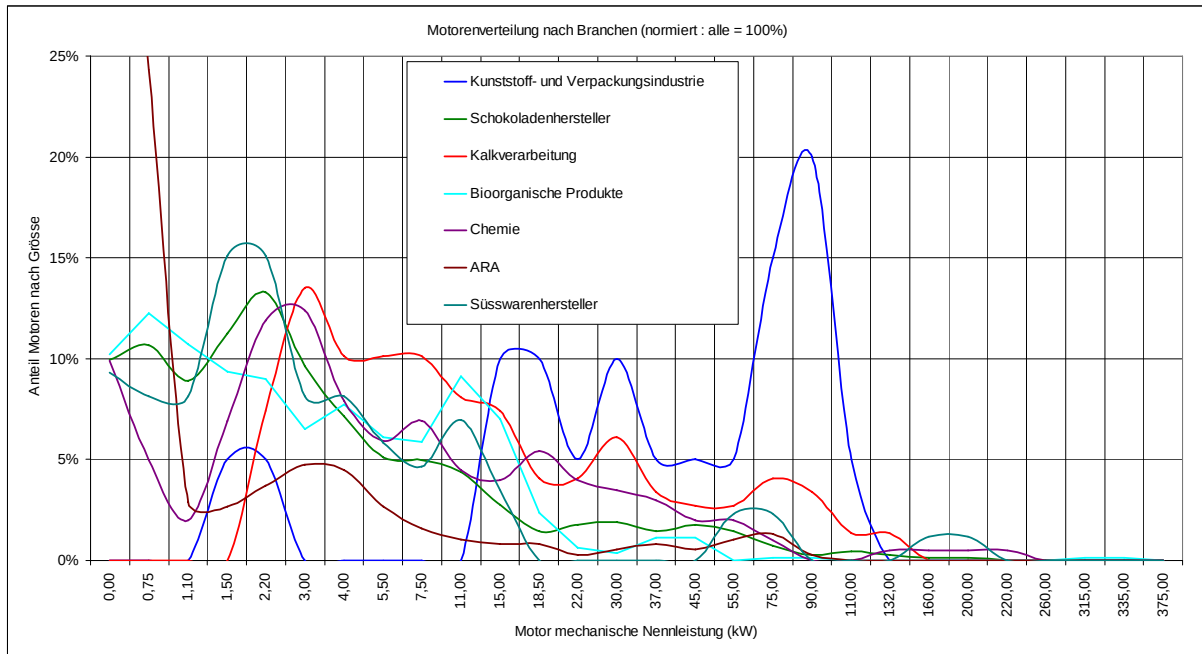


Figur 2 Spezifische Preise Motor und Frequenzumrichter (FU)

Weitere Datensätze von typischen Branchen wurden schrittweise aus den Pilotobjekten generiert und in die Programmdatenbank integriert. Gesucht werden vor allem Verteilkurven des Motorenbestandes nach Grösse. Dabei wurden Originaldaten von Motorenlisten (ILI: Intelligente Liste von Topmotors) einzelner Betriebe geglättet und für die weitere

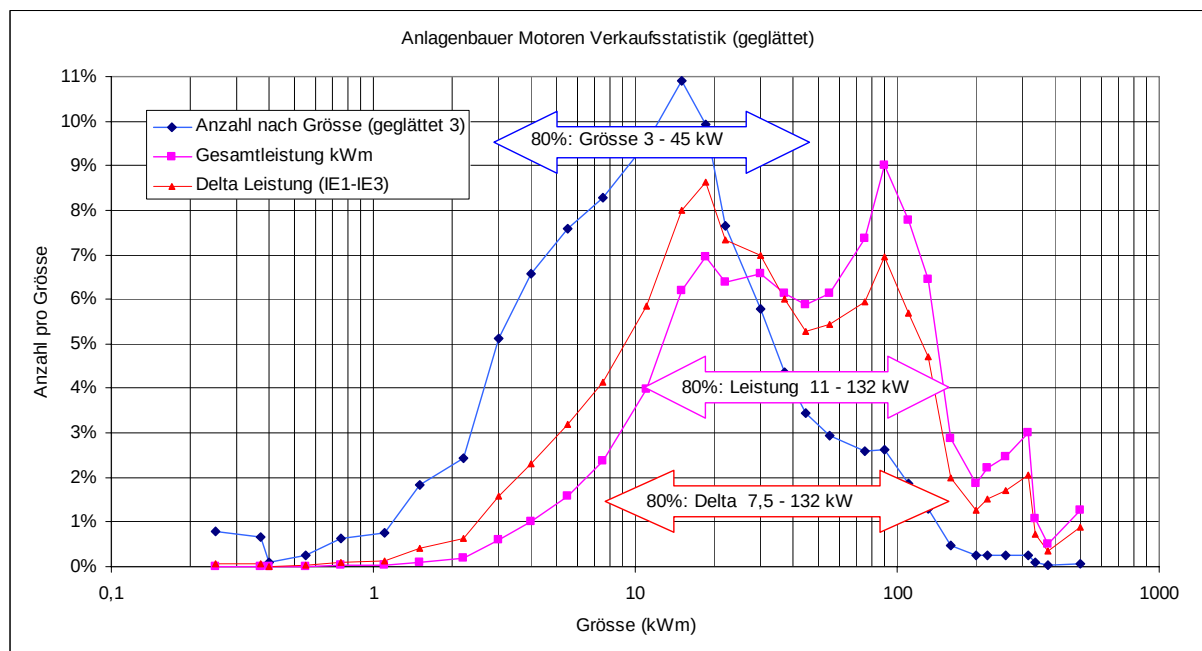
Verarbeitung eingesetzt. Die Motorengrößen-Verteilkurven sind darum für die Berechnung der möglichen Energieeinsparung wichtig, weil die spezifischen Kosten, resp. die Wirkungsgradänderungen bei kleinen und grossen Motoren deutlich unterschiedlich sind.

Figur 3 zeigt eine erste Auswertung von Datensätzen des Motorenbestandes nach Grösse aus ILI-Erhebungen. Dabei wurde nur eine leichte Glättung (gleitender Mittelwert, Intervall 2) vorgenommen. Damit sind noch keine kontinuierlichen Glocken-ähnliche Kurven zu generieren.



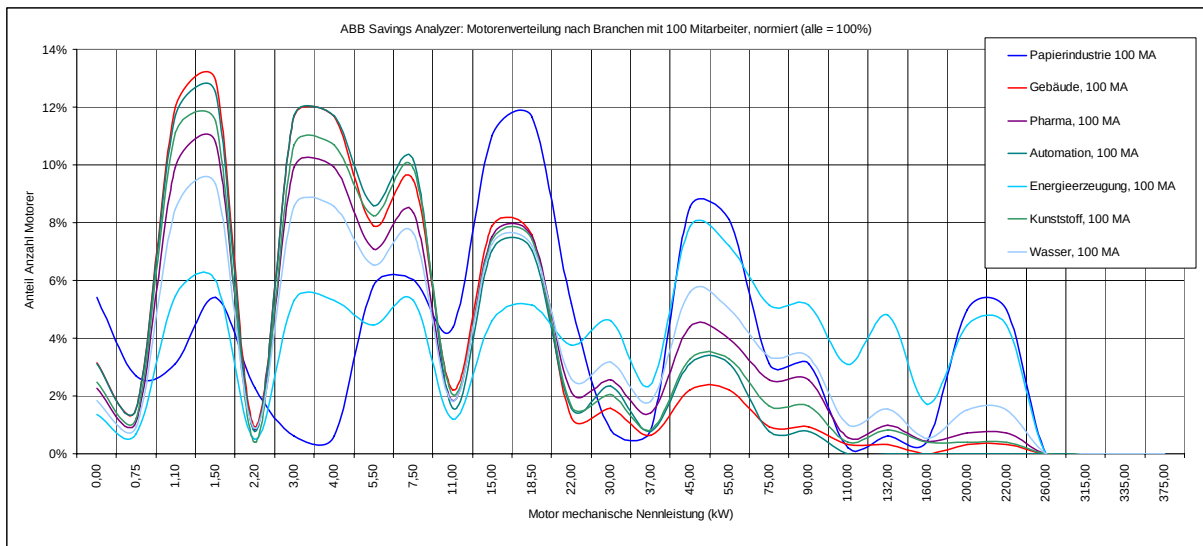
Figur 3 Auswertung von 7 ILI-Motorenlisten (normiert und geglättet)

Als wichtige Zusatzkurve stand die Verkaufsstatistik eines massgeblichen Anlagenbauers über 3 Jahre mit über 10'000 Motoren von 0,1 bis 500 kW mit insgesamt rund 270 MW Antriebsleistung zur Verfügung (Figur 4). Der Mittelwert dieser Motoren liegt bei rund 25 kW Outputleistung. 80% der Motoren liegen zwischen 3 und 45 kW. Zwischen den Grössen von 11 und 132 kW liegen 80% der versammelten Outputleistung.

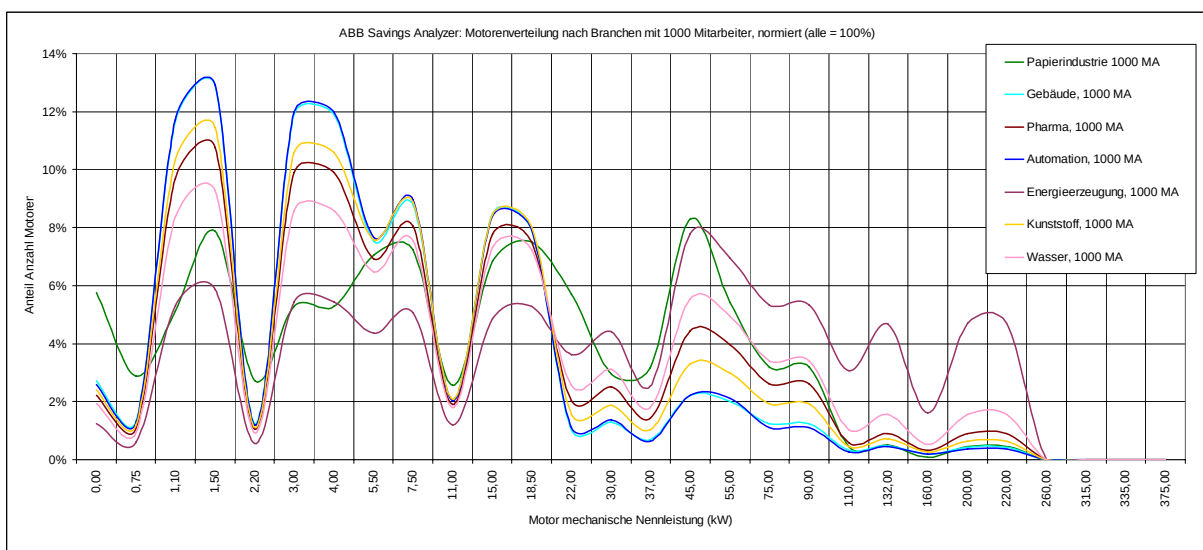


Figur 4 Auswertung der Verkaufsstatistik eines Anlagenbauers über 3 Jahre (geglättet)

Die Auswertung der Motorendaten, die für 7 verschiedene Branchen im ABB Operation Savings Analyzer verwendet wurden, zeigen die Figuren 5 und 6. Offenbar sind dabei - aufgrund einzelner Industrieanalysen - eigentliche Grössengruppen gebildet und die einzelnen Grössenklassen relativ starr diesen zugeordnet worden. Die kleinen Betriebe mit 100 Mitarbeitern und die mittelgrossen mit 1000 Mitarbeitern zeigen keine grosse Unterscheidung der Verteilkurven. Gewisse Unterschiede sind zwischen den verschiedenen Branchen erkennbar.



Figur 5 Motorenverteilung ABB Operation Savings Analyzer für Betriebe mit 100 Mitarbeitenden (geglättet)

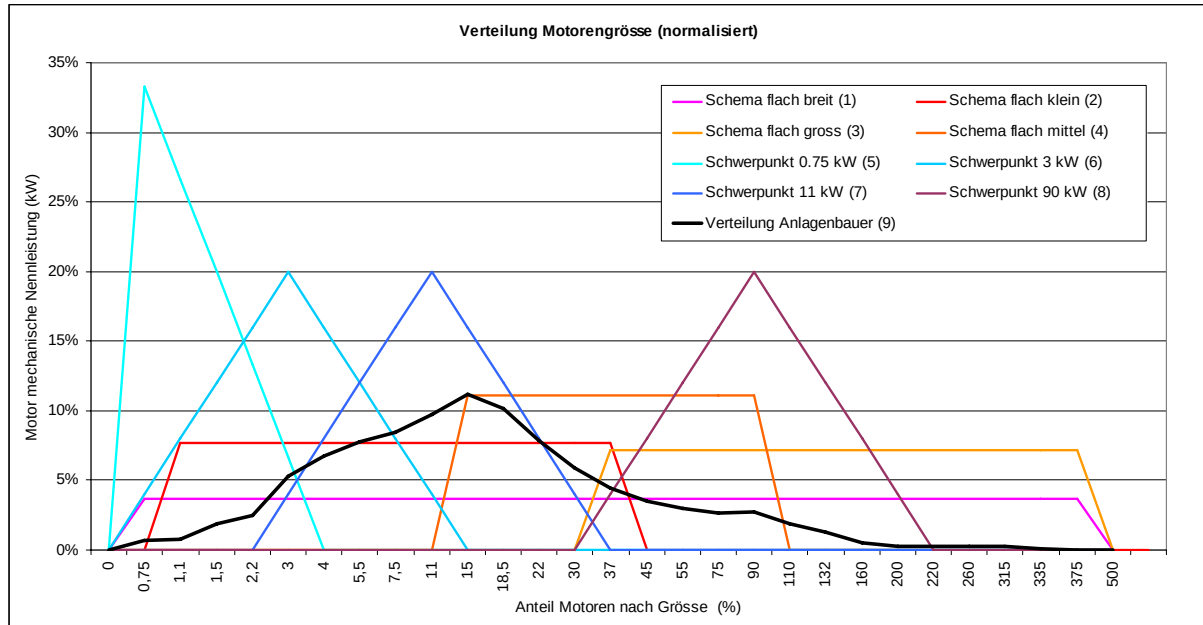


Figur 6 Motorenverteilung ABB Operation Savings Analyzer für Betriebe mit 1000 Mitarbeitenden (geglättet)

Zur Überprüfung der Sensitivität der Motorenverteilung nach Grössen wurden 8 Fälle extrem geformter Kurven im Vergleich zur statistisch gesicherten Verteilung des Anlagenbauers untersucht: Siehe Tabelle 4 und Figur 7. Das Effizienzpotenzial schwankt vom statistisch gesicherten Wert von 16.3% zwischen 14.1% und 19%, die Zusatzinvestitionen schwanken vom statistisch gesicherten Wert von 0.18 Mio. CHF sogar zwischen 0.1 und 1.0 Mio. CHF. Daraus kann abgeleitet werden, dass eine „gute“ Verteilkurve, die für eine Branche typisch ist, einen wichtigen Einfluss auf die Genauigkeit und Gültigkeit des Ergebnisses hat.

Typ	Schema flach breit (1)	Schema flach klein (2)	Schema flach gross (3)	Schema flach mittel (4)	Schwer- punkt 0.75 kW (5)	Schwer- punkt 3 kW (6)	Schwer- punkt 11 kW (7)	Schwer- punkt 90 kW (8)	Verteilung Anlagen- bauer (9)	Mittel- wert	Min	Max
Nr.												
Effizienzpotential (in Prozent) [%]	14,2	17,5	14,1	17,1	17,7	19,0	17,5	15,5	16,3	16,5	14,1	19,0
Zusatzinvestition zur Realisierung des Effizienzpotentials [Mio CHF]	0,109	0,313	0,101	0,161	1,009	0,554	0,290	0,119	0,178	0,315	0,101	1,009

Tabelle 4 Sensitivität der untersuchten Motorenverteilkurven



Figur 7 Analyse der Auswirkung der Motorenverteilung

Ökonomischer Ansatz

SOTEA berechnet einen wirtschaftlichen Ersatz der bestehenden Antriebe. Dabei wird nach dem im Input genanntem Alter (letzte Erneuerung) eine Ersatzquote bestimmt. Die neuen Motoren werden als IE3 definiert und mit einem Anteil FU ausgestattet. Die Grösse der Motoren wird um einen fixen Prozentsatz reduziert. Die gefundene Investition wird in die Zusatzinvestition (IE3 - IE1 plus FU) aufgeteilt. Für die Zusatzinvestition wird der lineare Payback mit den eingesparten Elektrizitätskosten (heutige Preise) berechnet.

3. Erreichte Ergebnisse

Benutzerschaft

Der Download des Programms unter www.topmotors.ch erfolgte über eine Registrierung. Die Auswertung dieser Registrierungsdaten ergibt folgendes Bild (Tabelle 5):

Während der beobachteten Testphase von 196 Tagen wurde die Software von 84 Personen insgesamt 122 mal heruntergeladen. 46.4% der Benutzerschaft stammen aus der Schweiz, ein erstaunlich hoher Anteil aus Deutschland und Österreich (zusammen 34,6%). 43% der Benutzerschaft sind beratende Ingenieure oder stammen aus der Industrie.

SOTEA Download Statistik Testphase			
Periode	von	05.09.2008	
	bis	19.03.2009	
	Tage	196	
Downloads	Total	122	100%
Personen	Total	84	
	Downloads/Person	1,45	
Länder	Schweiz	39	46,4%
	Deutschland	24	28,6%
	Österreich	5	6,0%
	verschiedene (com, net, etc)	16	19,0%
Organisation	Ingenieure	21	25,0%
	Industrie	15	17,9%
	Universität	6	7,1%
	Bund/Kanton/Gemeinde/Verband	9	10,7%
	EVU	3	3,6%
	unbekannt	30	35,7%

Tabelle 5 Download-Statistik SOTEA (Testphase)

In der aktualisierten Statistik wurden bis zum 28.6.2009 insgesamt sogar 218 SOTEA Downloads von 132 Personen registriert.

Anwendungsergebnis

Im Praxistest wurden die drei massgeblichen Moderatoren aus dem laufenden EnAW-Ausbildungsprogramm mit etwa 10 Objekten ausgewählt. Die ersten Ergebnisse wurden eingesammelt und im persönlichen Dialog ausgewertet. Dabei wurden sowohl die Verständlichkeit der Handhabung wie auch die Plausibilität der Ergebnisse getestet. Zudem wurden die ILI der Objekte eingesammelt und mit ausgewertet.

Das Programm funktioniert in den bisherigen Testanwendungen störungsfrei. Spätere Störungen wurden beim Einsatz von Office 2007 festgestellt. Die Störung kann durch richtige Handhabung („Kompatibilitätsmodus“) leicht behoben werden.

Den Erstbenützern wurde beim Download (mit dem Programm im ZIP verpackt) ein Fragebogen mitgegeben und summarisch ausgewertet. Darauf wurden die Handhabung sowie der textlichen Beschriftung verbessert. Mitte März 2009 wurde den 79 externen Download-Personen ein Fragebogen zugestellt. Daraus wurden 16 Antworten (10 nutzbar) generiert. Die Auswertung dieser geringen Anzahl kann nicht nach statistischen Grundsätzen erfolgen (Tabelle 6).

Die Bedienung wird als leichtverständlich beurteilt. Das Programm kann demnach ohne Fremdhilfe installiert und genutzt werden.

SOTEA Fragebogen		Antworten						
Nr.	Fragen	A	B	C	D	E	F	G
1	Name des Betriebs, Ihr Name?	Beratender Ingenieur (CH)	Behörde (D)	Beratender Ingenieur (D)	EVU (D)	Anwender-Industrie (CH)	Anwender-Industrie (CH)	Universität (CH)
2	Haben Sie die Fragen leicht beantworten können?	nur Weitergabe an weitere Unternehmen	ja	ja	ja	ja	ja, bei Erneuerungen schwierig	noch nicht begonnen
3	Hat das Ergebnis Ihren Erwartungen in etwa entsprochen?	-	keine Erwartungen, aber erstaunt, dass mit so wenigen Daten eine Potenzial genannt werden kann	ja	Bisher ja	Hat ein grösseres Sparpotenzial (und grössere Investitionen) erwartet	scheinen mir eher ein wenig zu hoch	-
4	Sind Sie der Meinung, dass SOTEA einen genügend hohen Genauigkeitsgrad hat?	-	nein, berücksichtigt nur Motor, FU etc. erfordert mehr vor Ort Kenntnisse	ja	kann ich noch nicht sagen, noch zu wenig angewendet	für eine Grob- oder Schnellanalyse reicht dies aus	schwierig zu beurteilen	-
5	Werden Sie künftig SOTEA wieder verwenden?	-	-	ja	ich möchte es probieren	ich denke nicht, da wir inzwischen schon alle Antriebe in die ILI eingegeben haben	ja, finde ich gar nicht so schlecht, um Sparpotenziale aufzuzeigen	-
6	Haben Sie Wünsche für einen update, welche?	-	-	keine besonderen	noch nicht	nein	muss zuerst genauer anschauen	-

Tabelle 6 Auswertung SOTEA Fragebogen

Plausibilität der einzelnen Ergebnisse

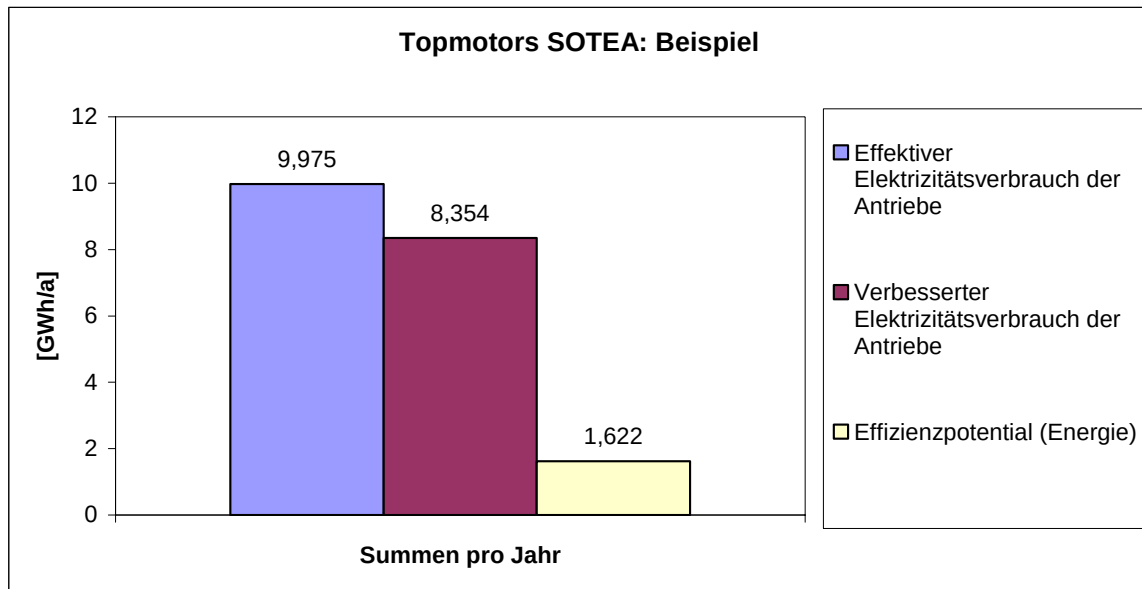
Das Rechenergebnis für einen Betrieb wird in einer Tabelle und einem Histogramm dargestellt (Figur 8). Input- und Output-Tabellen sind als Protokoll einfach auszudrucken.

Die Werte sind ein Schätzwert für die Zusatzinvestition für verbesserte Motoren und FU, das Einsparpotenzial in kWh und CHF sowie der Pay-back in Jahren. Sie basieren darauf, dass die Inputs vollständig und (soweit erkennbar) richtig sind. Durch Modifikation des Inputs kann der Output laufend verändert und verbessert werden.

An einem Objekt wurde eine detaillierte manuelle Nachrechnung als Plausibilitätskontrolle der Annahmen gemacht. Bei mehreren Fallstudien standen Datensätze der Motorenliste ILI als Kontrollgrösse zur Verfügung.

Ergebnis (Beispiel)

Effektiver Elektrizitätsverbrauch der Antriebe	9,975	[GWh/a]
Anteil effektiver Elektrizitätsverbrauch der Antriebe	99,8	[%]
Anteil zu erneuernde Motoren	72,0	[%]
Anteil Motoren mit FU	40,0	[%]
Verbesserter Elektrizitätsverbrauch der Antriebe	8,354	[GWh/a]
Effizienzpotential (Energie)	1,622	[GWh/a]
Effizienzpotential (in Franken)	0,146	[Mio. CHF/a]
Effizienzpotential (in Prozent)	16,3	[%]
Ersatzinvestition zur Realisierung des Effizienzpotentials	0,356	[Mio. CHF]
Payback-Zeit zur Realisierung des Effizienzpotentials	2,4	[a]



Figur 8 SOTEA Ergebnis (Beispiel Kalkfabrik)

Auswertung und Vergleich der Ergebnisse verschiedener Objekte

Von elf untersuchten Betrieben (Tabelle 7) mit einem gesamten Elektrizitätsverbrauch von 77.6 GWh/a (von 1.6 bis 17.5 GWh/a je Betrieb) konnten die Gesamtwerte analysiert werden (Tabelle 8). Der mittlere gewichtete Ist-Elektrizitätspreis beträgt 0.102 CHF/kWh (Bereich von 0.09 bis 0.15).

Im gewichteten Mittel (Tabelle 8) wurden 80.9 % des elektrischen Energieverbrauchs den Antrieben zugeordnet. Insgesamt wurde mit Zusatzinvestitionen von 1.3 Millionen Franken bei einem Pay-back von 1.7 Jahren (von 0.9 bis 2.7) total 6.9 GWh/a elektrische Energie (11.0 % des geschätzten Ist-Motorenverbrauchs) bei heutigen Elektrizitätskosten von 0.7 Mio. CHF als lohnendes Effizienzpotenzial identifiziert.

Branche		Kalkfabrik	Chemie	Bio-organische Produkte	Schokoladenhersteller	Schokoladenhersteller	Süsswarenhersteller	ARA	Ölverarbeitung	Steinverarbeitung	Milchpulververarbeitung	Hefeproduktion
Gesamtverbrauch Elektrizität (inkl. Eigenerzeugung)	[GWh/a]	10,000	16,846	7,783	8,055	3,502	2,750	2,380	4,866	1,650	17,472	2,318
Preis elektrische Energie (typischer Arbeitspreis)	[CHF/kWh]	0,09	0,10	0,10	0,11	0,11	0,15	0,09	0,10	0,14	0,10	0,10
Gesamtkosten elektrische Energie	[Mio. CHF/a]	0,900	1,685	0,778	0,886	0,396	0,413	0,219	0,477	0,231	1,747	0,223
Effektiver Elektrizitätsverbrauch der Antriebe	[GWh/a]	9,975	11,732	5,419	6,354	2,229	1,377	2,371	4,606	1,642	14,779	2,303
Anteil effektiver Elektrizitätsverbrauch der Antriebe	[%]	99,8	69,6	69,6	78,9	63,6	50,1	99,6	94,7	99,5	84,6	99,3
Anteil zu erneuernde Motoren	[%]	72,0	58,0	28,0	50,0	58,0	48,0	46,0	36,0	50,0	36,0	50,0
Anteil Motoren mit FU	[%]	40,0	40,0	40,0	60,0	40,0	40,0	60,0	40,0	40,0	40,0	40,0
Verbesserter Elektrizitätsverbrauch der Antriebe	[GWh/a]	8,354	10,196	5,119	5,500	1,937	1,238	2,067	4,256	1,469	13,657	2,060
Effizienzpotential (Energie)	[GWh/a]	1,622	1,536	0,300	0,854	0,292	0,139	0,304	0,350	0,173	1,122	0,243
Effizienzpotential (in Franken)	[Mio. CHF/a]	0,146	0,154	0,030	0,094	0,033	0,021	0,028	0,034	0,024	0,112	0,023
Effizienzpotential (in Prozent)	[%]	16,3	13,1	13,1	13,4	13,1	10,1	12,8	7,6	10,5	7,6	10,5
Zusatzinvestition zur Realisierung des Effizienzpotentials	[Mio CHF]	0,356	0,264	0,064	0,139	0,089	0,021	0,053	0,031	0,041	0,202	0,029
Payback-Zeit zur Realisierung des Effizienzpotentials	[a]	2,4	1,7	2,1	1,5	2,7	1,0	1,9	0,9	1,7	1,8	1,2

Tabelle 7 SOTEA-Ergebnisse von 11 Betrieben

Branche		Summe	Linearer Mittelwert	Gewichteter Mittelwert	Min	Max
Gesamtverbrauch Elektrizität (inkl. Eigenerzeugung)	[GWh/a]	77,622			1,650	17,472
Preis elektrische Energie (typischer Arbeitspreis)	[CHF/kWh]		0,108	0,102	0,090	0,150
Gesamtkosten elektrische Energie	[Mio. CHF/a]	7,954			0,219	1,747
Effektiver Elektrizitätsverbrauch der Antriebe	[GWh/a]	62,788			1,377	14,779
Anteil effektiver Elektrizitätsverbrauch der Antriebe	[%]		82,7	80,9	50,1	99,8
Anteil zu erneuernde Motoren	[%]		48,4	48,9	28,0	72,0
Anteil Motoren mit FU	[%]		43,6	42,8	40,0	60,0
Verbesserter Elektrizitätsverbrauch der Antriebe	[GWh/a]	55,853			1,238	13,657
Effizienzpotential (Energie)	[GWh/a]	6,935			0,139	1,622
Effizienzpotential (in Franken)	[Mio. CHF/a]	0,699			0,021	0,154
Effizienzpotential (in Prozent)	[%]		11,7	11,0	7,6	16,3
Zusatzinvestition zur Realisierung des Effizienzpotentials	[Mio CHF]	1,290			0,021	0,356
Payback-Zeit zur Realisierung des Effizienzpotentials	[a]		1,7		0,916	2,691

Tabelle 8 Summen, Mittel-, Minimum- und Maximalwerte der 11 mit SOTEA analysierten Betriebe

Die Einzelergebnisse schwanken insbesondere durch stark unterschiedliche Altersangaben der Anlagen. Sie können auch - bewusst oder irrtümlich - durch stark verschieden gewählten Einsatz von FU von einem plausiblen Wert abweichen. Die zulässige „Manipulation“ der Eingabefaktoren (insbesondere bei der Ersatzquote und dem Einsatz von FU) kann zu Verzerrungen führen.

Die insgesamt guten Pay-back Werte für die Zusatzinvestitionen (Mehrkosten effizienterer Motor IE3 gegenüber Standardmotor IE1, plus FU-Kosten bei abgeschriebener Anlage) bedeuten zweierlei: Erstens muss diese Effizienzschiene weiterverfolgt und das Berechnungsmodell verfeinert werden. Andererseits sind weitere Investitionen im „Kern-

Antriebsystem“, also inkl. Transmission, Getriebe und Pumpen-, Ventilator- und Kompressor-Ersatz, zu prüfen.

Verifizierung der Ergebnisse

Die Gültigkeit der in SOTEA verwendeten Berechnungsmethode wurde in verschiedenen Schritten überprüft. Da von allen 11 untersuchten SOTEA Objekten auch Daten aus der Erfassungen der Motorenliste mit ILI (Intelligente Motorenliste) zur Verfügung standen, konnte das Top down Ergebnis mit SOTEA und das Bottom up Ergebnis mit ILI teilweise verglichen werden. Dabei wurden einige Phänomene detaillierter untersucht.

Schätzgenauigkeit des Betreibers bei der Befragung:

- Angaben zum Zeitpunkt der letzten Erneuerung des Maschinenparks wurden mit den Altersangaben der einzelnen Motoren in ILI verglichen und korrigiert. Das hat u.U. grosse Auswirkungen auf die Ersatzquote (Anteil der zu erneuernden Motoren).
- Angaben zum Schichtbetrieb des Betreibers wurden mit den Angaben der Betriebsstunden der einzelnen Motoren verglichen und korrigiert.
- Defaultannahmen zu den Spezialverbrauchern wurden im Einzelnen diskutiert und - falls dazu Untersuchungen vorlagen - korrigiert.

Genauigkeit des Defaultkuren nach Branchen:

- Die Sensitivität der Verteilkurve der Motorengrössen wurde überprüft (siehe Tabelle 4 und Figur 7). Die diesbezüglichen Ergebnisse werden erst mit der nächsten Version von SOTEA durch eine bessere Branchen Anpassung implementiert werden können.

Plausibilität des Ergebnisses

- Einzelne Testfälle von SOTEA-Eingaben wurden manuell nachgerechnet und durch Parametervariation das Ergebnis plausibilisiert.
- SOTEA-Ergebnisse wurden mit ILI-Ergebnissen desselben Objektes verglichen und in Bezug auf die jeweils unterschiedlichen Parameter plausibilisiert:
 - o ILI-Datensätze umfassen in aller Regel nur zwischen 30% und 60% der vorhandenen Motoren, weil eine vollständige Untersuchung aller zu zeitaufwändig ist. Bei ILI werden die Effizienzpotenziale nur über einen einfachen Motorenersatz gerechnet (gleiche Motorengrösse, aber bessere Wirkungsgrad, keine anderen elektrischen oder mechanischen Veränderungen). Eine kostenbezogene Selektion findet nur indirekt (nach Alter, Motorengrösse und Betriebsstunden statt).
 - o Bei SOTEA werden weitere Parameter und die Kosten-/Nutzensituation für die Berechnung des Effizienzpotenzials mit berücksichtigt: Einsatz FU, Downsizing der Motorengrösse, allenfalls künftige Energiepreise, altersbedingte Ersatzstrategien, etc.

Die Verifizierung zeigt insgesamt die Komplexität einer „genauen“ a priori Top Down Berechnung auf. Das war allerdings auch nicht das Ziel von SOTEA. Die bisherigen Analysen und die damit verbundenen Kundenkontakte haben die angepeilte Wirkung als Türöffner für nachfolgende genauere Untersuchungen voll erfüllt.

4. Nationale Zusammenarbeit

SOTEA wurde als eigene Forschungsarbeit als Grundlage für das Umsetzungsprojekt für effizientere elektrische Antriebe *Topmotors* entwickelt. Dabei wurde auf einen Austausch zwischen den Fachhochschulen einerseits (Forschungsprojekt Hochschulnetz Aus- und

Weiterbildung) und bestehende, vom BFE unterstützte Softwareprojekte (LCC-Schnyder, OPAL-Semafor) anderseits geachtet.

5. Internationale Zusammenarbeit

In der Voruntersuchung zu SOTEA wurden verschiedene nationale und internationale Softwareprogramme für elektrische Motoren analysiert und gestützt darauf der Bedarf für schweizerische Anwendungen definiert. Als herstellerunabhängige Datenbanken sind insbesondere die USA-Programme Motor Master+ von EERE und die EuroDEEM Datenbank von EC JRC zu erwähnen.

Die Ergebnisse von SOTEA (und ILI) sollen in das IEA 4E Projekt und EMSA eingebracht werden. Die notwendigen Anpassungen (Sprache, Währung) müssen im Jahr 2010 noch gemacht werden.

6. Bewertung und Ausblick

Die Programmierungsarbeiten und die Testphase sind abgeschlossen. Ende März 2009 wurde die Fragebogenaktion der Pilotnutzer abgeschlossen und ausgewertet, ein Software-Update wurde erstellt und die Dokumentation aufdatiert. Bis Juli 2009 wurden insgesamt 11 Pilotobjekte zur Verifizierung ausgewertet. Es ist vorgesehen, im Rahmen von Topmotors bei weiteren Anwendungen die integrierten Branchen- und Kostendatenbanken laufend zu erweitern und zu verbessern. Zudem soll im Rahmen von Topmotors und EMSA eine neue Internet Plattform für Motoren-Softwaretools (www.motortools.org) geschaffen werden. Eine weiter verbesserte Version SOTEA 3 (inkl. englisch und französisch) soll Ende 2009 verfügbar gemacht werden.

Referenzen

- [1] Thomas Heldstab: Software Tools für Strategen und Betriebsfachleute, Abstract und Folienpräsentation in: Motor Summit 2008, verfügbar auf www.motorsummit.ch
- [2] Anibal de Almeida: EuP Motors, Lot 11, Final Report, Coimbra, April 2008 (www.ecomotors.org)
- [3] ABB: Operation Savings Analyzer, 2006 (www.abb.com/product/ap)

Anhang 1: Rechenmodell

SOTEA Rechenmodell (für internen Gebrauch)

Inhalt:

1	Zweck	21
2	Rechenmodell.....	21
2.1	Berechnung des IST-Verbrauches der Antriebe	21
2.2	Berechnung Elektrizitätsverbrauch Referenzanlage	21
2.3	Berechnung Ersatzinvestition Motoren (inkl. Installation) und FU bei 100% Ersatz	23
2.4	Berechnungsergebnisse	23

Thomas Heldstab

8.09.2008/rev. 30.3.2009

Zweck

Das vorliegende Rechenmodell legt die Berechnungen und Annahmen der Software SOTEA offen. Damit wird der Rechengang transparent und nachvollziehbar. Dieses Dokument widerspiegelt immer den aktuellen Stand der entsprechenden Software-Version.

Rechenmodell

Berechnung des IST-Verbrauchs der Elektrischen Antriebe

$\text{GesamtelektrizitätsverbrauchIST} = \text{GesamtelektrizitätsverbrauchIST} + \text{EigenerzeugungEnergie}$

GesamtelektrizitätsverbrauchIST: aus Benutzereingabe

EigenerzeugungEnergie: aus Benutzereingabe

$\text{GesamtelektrizitätsverbrauchAntriebeIST} =$

$\text{GesamtelektrizitätsverbrauchIST} - \text{AnzahlArbeitsplätze} * \text{AnteilBüroarbeitsplätze} * K1 - \text{AnzahlArbeitsplätze} * K2 - \text{GesamtelektrizitätsverbrauchIST} * \text{Faktor1}$

K1 = 250 [kWh/a] Elektrischer Energieverbrauch Büroarbeitsplatz pro Mitarbeiter

K2 = 400 [kWh/a] Elektrischer Energieverbrauch Beleuchtung pro Mitarbeiter

Faktor1 siehe nachfolgende Bemerkungen

Bemerkungen:

Der GesamtelektrizitätsverbrauchIST erfolgt entweder direkt aus der Benutzereingabe Gesamtverbrauch Elektrizität [kWh/a] oder indirekt aus den beiden Benutzereingabe Gesamtkosten elektrische Energie [CHF/a] und Preis elektrische Energie [CHF/kWh] (typischer Arbeitspreis). Priorität hat die Benutzereingabe Gesamtkosten elektrische Energie [CHF/a]. Das analoge gilt für die Grösse EigenerzeugungEnergie, der Faktor beträgt dort fest 8760 [h/a].

Der Faktor1 ergibt sich je nach Wahl im Tabellenblatt Eingaben (unter Spezialverbraucher), die der Berechnung zugrunde liegenden Werte können im Tabellenblatt Benutzereingaben gesetzt werden.

Spezialverbraucher	Defaultwert	Verwendeter Wert
Elektrische Warmwassererwärmung [%]	5	5
Prozesswärme (inkl. ggf. Elektrolyse, Galvanik, andere) [%]	30	30
Elektrische Dampferzeuger [%]	5	5
Rechenzentrum (ohne Lüftung/Klima) [%]	15	15
Restaurant/Kantine (ohne Lüftung/Klima) [%]	15	15

Berechnung Elektrizitätsverbrauch Referenzanlage

Ausgangslage

Pro Branche ist eine Tabelle hinterlegt, welche den Motorenpark einer Referenzanlage in den Leistungsklassen von 0.75 – 375 kW auflistet. Bei SOTEA werden alle Motoren mit Polzahl 4 gerechnet.

	ARA: Anzahl Motoren mit Polzahl 4	Weitere: Anzahl Motoren mit Polzahl 4
mech. Nennleistung [kW]		
0.75	6	9.5
1.1	5	10.5
1.5	5	12.0
...	...	...
375	0	0.0

Für die Branche ARA wird mit den Daten der Spalte ARA gerechnet, für alle anderen Branchen wird eine allgemeine Verteilcurve (Spalte Weitere) verwendet. Sobald Erfahrungen mit weiteren Branchen

vorliegen, werden die entsprechenden Daten in SOTEA eingepflegt. Die entsprechenden Daten befinden sich im Tabellenblatt Referenzanlagen. Die Daten für die Branche ARA stammen aus der Fallstudie ARA Wädenswil.

Elektrizitätsverbrauch Effektiv Referenzanlage

Elektrizitätsverbrauch ohne Berücksichtigung Frequenzumrichter

Pro Zeile werden folgende Berechnungen durchgeführt:

ElektrizitätsverbrauchEffektivReferenzanlageZeile = mech. Nennleistung * Lastfaktor(mech. Nennleistung) * Anzahl Motoren * Betriebsstunden / (Motorwirkungsgrad effektiv (Alter) * Teillast-Abminderungsfaktor (Lastfaktor))

wobei der Lastfaktor in Funktion der Nennleistung durch stückweise lineare Approximation aus der Nennleistung berechnet wird, der Teillast-Abminderungsfaktor durch stückweise lineare Approximation des Lastfaktors. Die nachfolgenden Tabellen geben Aufschluss über die den Berechnungen zugrunde liegenden Werten. Der Lastfaktor bezieht sich auf Leistungsaufnahme (effektive zu Nenn-Leistungsaufnahme), der Teillast-Abminderungsfaktor wird auf (Nenn-) Wirkungsgrad angewandt.

Lastfaktor	
Nennleistung[kW]	Lastfaktor[%]
0.00	40.00
1.00	40.00
100.00	60.00
1000.00	80.00
10000.00	90.00

Teillast-Abminderungsfaktor	
Lastfaktor[%]	Faktor[]
0.00	0.92
40.00	0.92
60.00	0.98
80.00	1.00
100.00	1.00

Bemerkungen:

- Die Wirkungsgradberechnung erfolgt nach der Norm IEC 60034-30:2008 für 50 Hz bis 375 kW
- Die Betriebsstunden ergeben sich aus den Eingabewerten wie folgt: Betriebsstunden = (Anzahl Monate 1-Schichtbetrieb Produktion*8 + Anzahl Monate 2-Schichtbetrieb Produktion*16 + Anzahl Monate 3-Schichtbetrieb Produktion*24)*30

ElektrizitätsverbrauchEffektivReferenzanlage1 [kWh/a] = Summe über alle Zeilen

Elektrizitätsverbrauch mit Berücksichtigung Frequenzumrichter

Es ist sehr schwer zu sagen, welche Motoren des jeweiligen Motorenarks der unterschiedlichen Anlagen (ARA, Druckerei etc.) über einen Frequenzumrichter verfügen und wie gross die (Leistungsaufnahme-) Reduktion der FU ist. Somit ist nur eine summarische Betrachtung sinnvoll. (Leitsatz: Wenn viele ungesicherte Einzelannahmen vorliegen, liefert ein summarischer, plausibler Wert ein besseres Resultat.)

ElektrizitätsverbrauchEffektivReferenzanlage [kWh/a] = (((ReduktionsfaktorFU [] -1) / 100) * Anteil FU Anlage [%] +1) * ElektrizitätsverbrauchEffektivReferenzanlage1 [kWh/a]

Die zugrunde liegenden Annahmen zur Berücksichtigung der Frequenzumrichter können im Tabellenblatt Benutzerannahmen gesetzt werden. (dies gilt entsprechend auch für den Elektrizitätsverbrauch Optimiert Referenzanlage, siehe weiter unten).

Annahmen zum FU-Einsatz	Defaultwert	Verwendeter Wert
Anteil FU Anlage [%] bestehend	20	20
ReduktionsfaktorFU [] bestehend	0.8	0.8
Anteil FU Anlage [%] Ersatz	60	60

ReduktionsfaktorFU [] Ersatz	0.7	0.7
------------------------------	-----	-----

Elektrizitätsverbrauch Optimierte Referenzanlage

Die Berechnungen erfolgen analog Elektrizitätsverbrauch Effektiv Referenzanlage mit folgenden Unterschieden:

- Minus eine Leistungsstufe im gegebenen Raster (dabei wird sowohl der Lastfaktor wie auch der Teillast-Abminderungsfaktor grösser!)
- IE3 Motoren bilden Basis
- andere Werte für den ReduktionsfaktorFU [] und Anteil FU Anlage

ElektrizitätsverbrauchOptimierteReferenzanlage [kWh/a] = (((ReduktionsfaktorFU [] -1) / 100) * Anteil FU Anlage [%] +1) * ElektrizitätsverbrauchOptimierteReferenzanlage1 [kWh/a]

Berechnung Ersatzinvestition Motoren (inkl. Installation) und FU bei 100% Ersatz

Pro Zeile werden folgende Berechnungen durchgeführt:

ErsatzinvestitionMotorenZeile100%Ersatz = Anzahl Ersatzmotoren * Kosten

ErsatzinvestitionFUZeile100%Ersatz = Anzahl Ersatzmotoren * Kosten FU

ErsatzinvestitionInstallationZeile100%Ersatz = Anzahl Ersatzmotoren * Kosten Installation

mech. Nennleistung	Kosten 4-polige Motoren	Kosten Installation	Kosten Frequenzumrichter
[kW]	[CHF]	[CHF]	[CHF]
0.75			
1.1			
1.5			
2.2			

Es wird davon ausgegangen, dass die Hauptkosten betreffend Installation beim Ersatz der Motoren entstehen. Wird zusätzlich ein FU installiert, sind diese Kosten in den Kosten Installation enthalten. Die Kostenzahlen sind im Tabellenblatt Kosten hinterlegt.

Gesamte Kosten Ersatzinvestition für 100% Ersatz [CHF] = jeweilige Summe über alle Zeilen. Für die effektiven Ersatzinvestitionen kommen folgende Regeln zum Einsatz:

Ersatzquote	Defaultwert	Verwendeter Wert
Motoren kleiner 5 Jahre [%]	0	0
Motoren 5 Jahre [%]	20	20
Motoren 10 Jahre [%]	40	40
Motoren 20 Jahre [%]	60	60
Motoren über 25 Jahre [%]	80	80

Die obigen Grössen können im Tabellenblatt Benutzerannahmen gesetzt werden.

Bemerkung:

Es wird vereinfachend vorausgesetzt, dass bei SOTEA-Abschätzung alle Motoren gleich alt sind (Inputgrösse: Jahr letzte grosse Anlagenerweiterung [Jahreszahl])

Berechnungsergebnisse

Die folgenden Berechnungsergebnisse werden auf dem Tabellenblatt Resultat nach folgendem Raster und formalen Zusammenhängen ausgegeben.

Berechnungen**Formale Zusammenhänge**

effektiver Elektrizitätsverbrauch der Antriebe [kWh/a]	GesamtelektrizitätsverbrauchAntriebeIST
Anteil effektiver Elektrizitätsverbrauch der Antriebe [%]	$(\text{GesamtelektrizitätsverbrauchAntriebeIST} / \text{GesamtelektrizitätsverbrauchIST}) * 100$
Anteil zu erneuernde Motoren [%]	Ersatzquote Motoren [%] (Alter) (siehe Tabellenblatt Benutzerannahmen)
Anteil Motoren mit FU (siehe Anmerkungen ganz unten)	Anteil FU Anlage [%] Ersatz - Anteil FU Anlage [%] bestehend
verbesserter Elektrizitätsverbrauch der Antriebe [kWh/a]	$(\text{ElektrizitätsverbrauchEffektivReferenzanlage} - \text{EffizienzpotentialReferenzanlage} * \text{ErsatzquoteMotoren}) * \text{Skalierungsfaktor}$ wobei Skalierungsfaktor= $\text{GesamtelektrizitätsverbrauchAntriebeIST} / \text{ElektrizitätsverbrauchEffektivReferenzanlage}$
Effizienzpotential [kWh/a]	effektiver Elektrizitätsverbrauch der Antriebe [kWh/a] - verbesserter Elektrizitätsverbrauch der Antriebe [kWh/a]
Effizienzpotential [CHF/a]	Effizienzpotential [kWh/a] * Preis elektrische Energie [CHF/kWh] (Preis elektrische Energie [CHF/kWh]: siehe Tabellenblatt Eingaben)
Effizienzpotential [%]	$(\text{Effizienzpotential [kWh/a]} / \text{effektiver Elektrizitätsverbrauch der Antriebe [kWh/a]}) * 100$
Zusatzinvestition zur Realisierung des Effizienzpotentials [CHF] (siehe Anmerkungen ganz unten)	$(\text{ErsatzinvestitionInstallation100\%Ersatz} + \text{ErsatzinvestitionMotoren100\%Ersatz} * \text{MehrkostenIE1IE3 [\%]} + \text{ErsatzinvestitionFU100\%Ersatz} * \text{Anteil Motoren mit FU}) * \text{Ersatzquote Motoren [\%]} * \text{Skalierungsfaktor}$ Wobei: $\text{ErsatzinvestitionInstallation100\%Ersatz}$, $\text{ErsatzinvestitionMotoren100\%Ersatz}$, $\text{ErsatzinvestitionFU100\%Ersatz}$ = Summe über alle Ersatzmotoren
Payback-Zeit zur Realisierung des Effizienzpotentials [a]	$\text{Ersatzinvestition zur Realisierung des Effizienzpotentials [CHF]} / \text{Effizienzpotential [CHF/a]}$

Anmerkungen:

Die beiden Werte Anteil FU Anlage [%] Ersatz, Anteil FU Anlage [%] bestehend werden im Tabellenblatt Benutzerannahmen gesetzt:

Annahmen zum FU-Einsatz	Defaultwert	Verwendeter Wert
Anteil FU Anlage [%] bestehend	20	20
ReduktionsfaktorFU ☐ bestehend	0.8	0.8
Anteil FU Anlage [%] Ersatz	60	60
ReduktionsfaktorFU ☐ Ersatz	0.7	0.7

Der Faktor MehrkostenIE1IE3 [%] wird auch im Tabellenblatt Benutzerannahmen gesetzt, es wird davon ausgegangen, dass die vorhandenen Motoren abgeschrieben sind.

Annahmen zur Berechnung Payback-Zeit

Minderkosten Motoren	Defaultwert	Verwendeter Wert
IE1 gegenüber IE3 [%]	30	30

Anhang 2: Erläuterung (Hilfe)

Hilfe

Übersicht und Berechnungsgrundlagen

Mit dem auf Excel basierenden Tool SOTEA (Software Tool für effiziente Antriebe) lässt sich mit wenigen betrieblichen Kenndaten und den Stromkosten das Potenzial zur Energieeinsparung in einem Industrie- oder Gewerbebetrieb ermitteln. Die Abschätzung mit SOTEA beim ersten Gespräch mit dem Chef ist die rasche und einfache Entscheidungsgrundlage, ob ein Motor-Check sinnvoll ist. Dieses stufenweise Vorgehen verhindert unnötigen Aufwand. Beim Design des Tools ist darauf geachtet worden, dass nur einfach erhältliche Daten eingegeben werden müssen.

Die Berechnungen basieren auf hinterlegten Referenzanlagen, auf aktuellen Preisen (für 4 polige Motoren, Frequenzumrichter und Installation) sowie auf der aktuellen Norm IEC 60034-30:2008.

Die Bestimmung des Effizienzpotential [kWh/a], der Ersatzinvestition zur Realisierung des Effizienzpotentials [CHF] und die Payback-Zeit zur Realisierung des Effizienzpotentials [a] basiert auf folgenden Regeln:

- Motoren sind eine Leistungsstufe kleiner (Rasterung gemäss Norm)
- Bestehende Motoren werden durch IE3-Motoren ersetzt
- über 25 jährige Motoren werden zu 95% ersetzt
- 20 jährige Motoren werden zu 80% ersetzt
- 10 jährige werden zu 50% ersetzt
- 5 jährige werden zu 30% ersetzt
- unter 5 jährige werden zu 0% ersetzt
- x jährige werden zu yy % ersetzt (lineare Approximation)
- x % der ersetzten Motoren erhalten einen FU (siehe Benutzerannahmen)

Hilfe zu den einzelnen Tabellenblättern

Eingaben

Dient zur Erfassung der Eingabegrößen. Die Berechnungen erfolgen nach Betätigung der Befehlsschaltfläche "Berechnen".

Wenn die Eingabedaten keine groben Eingabefehler aufweisen, erscheint das Tabellenblatt Resultat, ansonsten werden entsprechende Validierungsmeldungen ausgegeben. Mithilfe der Befehlsschaltfläche "Zurücksetzen" kann das Tool in den Anfangszustand versetzt werden.

Wichtige Anmerkungen zu kritischen Eingaben

Anzahl Monate

1, 2, 3 -Schichtbetrieb Produktion: Summenprodukt mit den Faktoren 8, 16, 24, dient der Bestimmung der Betriebsstunden

Verbrauch Elektrizität:

Wenn eine Zahl vorhanden ist, wird der Wert verwendet, ansonsten wird er aus den Eingaben "Kosten elektrische Energie" und "Preis elektrische Energie (Typischer Arbeitspreis)" berechnet. Priorität hat also die Eingabe "Verbrauch Elektrizität".

Maximale elektrische Leistung:

nur zur Information, keine Berechnungsgrösse

Eigenerzeugung (in Stromrechnung), Elektrische Energie:

Wenn eine Zahl vorhanden ist, wird der Wert verwendet, ansonsten wird er aus der Eingabe "Elektrische Leistung" * 8760 h berechnet. Priorität hat also die Eingabe "Elektrische Energie".

Wann ist nächste Erneuerung geplant?:

nur zur Information, keine Berechnungsgrösse

Künftige Veränderung der Produktion:

nur zur Information, keine Berechnungsgrösse

Jahresbudget für Ersatz, Erneuerung und Reparatur:
nur zur Information, keine Berechnungsgrösse

Resultat

Hier wird das (schreibgeschützte) Resultat ausgegeben und kann anschliessend ausgedruckt werden.

Pay-back ist die lineare Rückzahlfrist der Zusatzinvestitionen durch effizientere Motoren und FU (bei abgeschriebenen Anlagen).

Benutzerannahmen

Hier können die grau hinterlegten Werte je nach Erfordernissen angepasst werden.

Hilfe

Gibt einen Überblick über die Berechnungsvoraussetzungen und hilft bei der Bedienung.

Nutzungsbedingungen

Zur Information

Konstanten Motoren, Kosten, Referenzanlagen

Die Daten dienen nur der Information. Nicht verändern.

Abkürzungen

FU = Frequenzumrichter

Beta2b-Version

Copyright: Topmotors 2009

Anhang 3: Fragebogen

Fragebogen SOTEA

Mit dem auf Excel basierenden Tool SOTEA (Software Tool für effiziente Antriebe) lässt sich **mit wenigen betrieblichen Kenndaten** und den Stromkosten das **Potenzial zur Energieeinsparung** in einem Industrie- oder Gewerbebetrieb ermitteln.

Die Abschätzung mit SOTEA beim ersten Gespräch mit dem Chef ist die rasche und einfache Entscheidungsgrundlage, ob ein Motor-Check sinnvoll ist. Dieses stufenweise Vorgehen verhindert unnötigen Aufwand. SOTEA liegt aktuell in der Beta-Version vor.

Um die Software SOTEA weiter zu optimieren, bitten wir Sie den untenstehenden Fragebogen auszufüllen und an folgende Adresse zu retournieren: thomas.heldstab@topmotors.ch (allfällige Postadresse siehe ganz unten). Selbstverständlich werden die Daten streng vertraulich behandelt.

Fragebogen

1) Name des Betriebes, Ihr Name?

2) Haben Sie die Fragen (Tabellenblatt Eingaben) leicht beantworten können (wo nicht?)?

3) Hat das Ergebnis Ihren Erwartungen in etwa entsprochen? (höhere/tiefere Sparpotenziale erwartet?).

4) Sind sie der Meinung, dass SOTEA einen genügend hohen Genauigkeitsgrad hat? (z.B. +/- 20% für Payback?)

5) Werden Sie künftig SOTEA wieder verwenden?

6) Haben Sie Wünsche für ein update? Wenn ja welche?

6) Dürfen wir Ihren Datensatz analysieren (anonym)? Falls ja, bitten wir Sie die ausgefüllte Excel-Datei an thomas.heldstab@topmotors.ch zu senden.

Besten Dank für Ihre geschätzte Mitarbeit!
Das Topmotors-Team