



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

BESCHAFFUNG VON MOTOREN UNTER DER VOLLKOSTENBETRACHTUNG

(INKLUSIVE PERMANENTMAGNETERREGTE- SYNCHRONMOTOREN)

Schlussbericht

Ausgearbeitet durch

Peter Mauchle, Schnyder Ingenieure AG

Bösch 23, 6331 Hünenberg, gilbert.schnyder@sing.ch, www.schnyderingenieure.ch

Christoph Ritz, Schnyder Ingenieure AG

Mutzenstrasse 9b, 3940 Steg, christoph.ritz@sing.ch, www.schnyderingenieure.ch

Impressum

Datum: 4. Oktober 2007

Im Auftrag des Bundesamt für Energie, Forschungsprogramm Elektrizität

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 31 322 56 11, Fax +41 31 323 25 00

www.bfe.admin.ch

BFE-Bereichsleiter: Felix Frey, Felix.Frey@bfe.admin.ch

Projektnummer: 100683 / 152318

Bezugsort der Publikation: www.energieforschung.ch

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

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
Résumé	5
Abstract	6
1 Ausgangslage	7
2 Zielsetzung	7
3 Lebenszykluskosten	8
3.1 Komponenten der Lebenszykluskosten	8
3.2 Erfahrungen mit Motoren.....	9
3.3 Schlussfolgerungen aus den Erfahrungen mit Motoren	12
4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung eff1 – eff2	13
4.1 Bedingungen für den Einsatz von PM-Synchronmotoren	13
4.2 Vergleich Asynchronnormmotoren der Klasse eff1 und eff2.....	14
5 Musterausschreibung	16
6 Software zur Offertauswertung.....	17
7 Ausblick	17
8 Literatur und Quellen	17
9 Anhang	18

Zusammenfassung

Aufgrund des generellen Kostendrucks bei Neuinvestitionen und ebenfalls beim Betrieb und Unterhalt von bestehenden Anlagen wird den Anschaffungskosten von Material und Anlagen oberste Priorität zugewiesen. Dies betrifft auch die Anschaffungskosten von Elektromotoren. Werden jedoch die gesamten Lebenszykluskosten von Motoren betrachtet, so muss die Priorität der Anschaffungskosten in Frage gestellt werden. Erst die langfristige Betrachtung der gesamten Lebenszykluskosten von Motoren ermöglicht einen fundierten Anschaffungsentscheid, gewährleistet einen wirtschaftlichen Betrieb und bewahrt den Anwender vor unberücksichtigten Kosten während der Lebensdauer von Motoren. Mit dem Projekt „Beschaffung von Motoren unter der Vollkostenbetrachtung“ war beabsichtigt, den Industriebetrieben geeignete Hilfsmittel zur Berücksichtigung der gesamten Lebenszykluskosten zum Beschaffungszeitpunkt der Motoren zur Verfügung zu stellen. Diese Hilfsmittel bestehen aus einer Musterausschreibung für Motoren und einer entsprechende Software zur Berechnung der Lebenszykluskosten. Im Vordergrund des Projektes stand für das Bundesamt für Energie die Umsetzung des bestehenden Potenzials zur Energieeffizienzsteigerung von Motoren- und Antriebssystemen. Um auch die Interessen der Industriebetriebe zu berücksichtigen, wurden noch weitere, die Lebenszykluskosten beeinflussenden Faktoren, wie z.B. Installations- und Ausbildungskosten, Unterhalts- und Revisionskosten, Produktionsausfall und Entsorgungskosten mitberücksichtigt.

Die Erfahrungen mit Motoren zeigen, dass die Planung und die Ausschreibung einen grossen Einfluss auf die Lebenszykluskosten der Motoren haben. Bei der Planung von Gesamtanlagen ist wesentlich, dass auch die Anforderungen an die Motoren im Detail spezifiziert werden. Dies, obwohl die Motoren bei der Betrachtung von Gesamtanlagen nur einen geringe Anteil ausmachen und zudem beim Anlagenprozess ein weitaus höheres Optimierungspotential liegt, als bei den einzelnen Motoren.

Die Lebenszykluskosten von Motoren können bereits durch eine prozessorientierte Planung und eine detaillierte Spezifikation sowie der entsprechenden Evaluation stark reduziert werden. Als wesentliche und vom Betrieb abhängige Komponente der Lebenszykluskosten sind die Energieverluste zu betrachten. In die Ausschreibungen muss somit zwingend aufgenommen werden, dass nur Asynchronmotoren der Wirkungsgradklassen eff1 und eff2 oder Permanentmagnet-Synchronmaschinen eingesetzt werden. Für die Spezifikation des minimalen Wirkungsgrades in der Ausschreibung ist dabei zu beachten, dass eff1 Motoren bis zu einer Nennleistung von 11 kW mit einer Jahresbetriebsdauer ab 2'160 Std., resp. eff1 Motoren ab einer Nennleistung von 15 kW mit einer Jahresbetriebsdauer ab 2'880 Std. wirtschaftlicher sind als eff2 Motoren. Der Einsatz von PM-Synchronmaschinen ist unter bestimmten Voraussetzungen ebenfalls zu prüfen. Einen weiteren vom Betrieb abhängigen Einfluss auf die Lebenszykluskosten haben die Wartungen der Motoren und deren Lager.

Der Kontakt mit der Industrie hat ergeben, dass Grosskunden zukünftig bei Motoren als minimale Wirkungsgrade die Wirkungsgradklasse eff2 vorschreiben. Dies nicht nur bei einzeln eingekauften und angewendeten Motoren, sondern auch bei der Ausschreibung von Gesamtanlagen mit Motoren, die durch den Lieferanten der Anlage spezifiziert werden.

Die Musterausschreibung und die Software zur Offertauswertung konnten im Rahmen des Projektes noch nicht angewendet werden. In den nächsten Schritten soll die Musterausschreibung und die Software bei Anwendern von Motoren und bei Planer bekannt gemacht und durch diese angewendet werden. Basierend auf dem Feedback dieser Anwendungen können die Musterausschreibung und die Software zur Offertauswertung optimiert werden.

Résumé

Les contraintes budgétaires générales auxquelles sont soumis aussi bien les nouveaux investissements que l'exploitation et l'entretien des installations existantes obligent à donner la priorité aux frais d'acquisition de matériel et d'équipements. Cela concerne également les coûts d'achat de moteurs électriques. Le caractère prioritaire d'une telle dépense doit toutefois être remis en question à la lumière des frais totaux occasionnés par un moteur durant son cycle de vie. Seule une prise en compte à long terme des coûts totaux du cycle de vie peut fonder une décision d'acquisition et garantir une exploitation économique qui préserve l'utilisateur de frais imprévus pendant la durée de vie d'un moteur. Le projet „Acquisition de moteurs intégrant les coûts totaux“ avait pour but de mettre à la disposition des entreprises industrielles des instruments adéquats pour la prise en compte dès l'achat des coûts totaux du cycle de vie d'un moteur. Ces aides se composent d'un modèle d'appel d'offres pour des moteurs et d'un logiciel de calcul des coûts du cycle de vie. Pour l'Office fédéral de l'énergie, le but principal du projet était de concrétiser le potentiel d'augmentation de l'efficacité énergétique des moteurs et des systèmes d'entraînement tel qu'il existe actuellement. Pour tenir compte des intérêts des entreprises industrielles, d'autres facteurs d'influence comme p. ex. des frais d'installation et de formation, de maintenance et de révision, d'élimination des déchets et ceux liés à une éventuelle interruption de production ont également été pris en considération.

Les expériences disponibles sur les moteurs montrent que la planification et l'appel d'offres ont une grande influence sur les coûts de leur cycle de vie. Une spécification détaillée des caractéristiques exigées des moteurs est essentielle lorsqu'on planifie des installations complètes, même si les moteurs n'en représentent qu'une proportion minimale et que les processus des installations offrent un potentiel d'optimisation bien supérieur à celui des moteurs.

Une planification orientée processus, une spécification détaillée et leur évaluation permettent déjà de réduire fortement les coûts liés au cycle de vie des moteurs. Les déperditions d'énergie doivent être considérées comme une composante essentielle de ces coûts, dépendante de l'entreprise. Les appels d'offres devront donc préciser impérativement que seuls seront utilisés des moteurs des classes d'efficacité eff1 et eff2. Pour la spécification de l'efficacité minimale dans l'appel d'offres, il faut considérer que les moteurs eff1 jusqu'à une puissance nominale de 11 kW avec une durée de service annuelle de plus de 2'160 heures, et que les moteurs eff1 d'une puissance nominale de plus de 15 kW avec une durée de service annuelle de plus de 2'880 heures sont plus économiquement que les moteurs eff2. Un autre facteur d'influence sur les coûts liés au cycle de vie des moteurs qui dépend de l'entreprise est l'entretien des moteurs et de leurs paliers.

Les contacts avec l'industrie nous ont appris qu'un gros utilisateur prescrira la classe d'efficacité eff2 comme degré d'efficacité minimal pour tous ses moteurs, non seulement pour ceux acquis et utilisés individuellement, mais aussi pour ceux inclus dans des appels d'offres d'installations complètes et spécifiés par les fournisseurs de l'installation.

Le modèle d'appel d'offres et le logiciel d'évaluation des offres n'ont pas encore pu être utilisés dans le cadre du projet. Les prochaines étapes prévoient de les faire essayer par les utilisateurs de moteurs et les planificateurs. Leur feedback sur le modèle d'appel d'offres et le logiciel d'évaluation des offres permettra alors d'optimiser ces applications.

Abstract

In view of the general cost pressure for new investments as well as for the operation and maintenance of existing installations, the highest priority has to be attached nowadays to the acquisition costs of materials and installations, and this also applies to electric motors. However, if we take the overall lifecycle costs of electric motors into account, attaching high priority to acquisition costs has to be placed in question. In order to make a founded decision regarding the acquisition of electric motors, it is essential to carefully consider the overall lifecycle costs. This also guarantees economical operation and enables users to avoid unexpected costs throughout the service life of the motor. The aim of the project entitled "Acquisition of motors in consideration of their full costs" was to provide industrial companies with suitable tools for calculating the overall lifecycle costs of motors at the time of acquisition. These tools take the form of a sample call for tenders for motors and software for calculating lifecycle costs. With this project, the Swiss Federal Office of Energy focused on utilising the existing potential for increasing the energy efficiency of motors and drive systems. In order to also take account of the interests of industrial companies, attention was paid to a number of other factors that influence the lifecycle costs of motors, including installation and training costs, maintenance and overhaul costs, down time and disposal costs.

Experience has shown that planning and calls for tenders have a major influence on the lifecycle costs of motors. When planning complete systems it is essential to also specify the precise demands to be placed on motors. This applies even though motors may only represent a minor component of the system and a far greater optimisation potential exists for the industrial process than for the motors themselves.

It is possible to reduce the lifecycle costs of motors through careful process-oriented planning, detailed specifications and a corresponding evaluation. Energy losses are a significant factor in the lifecycle costs equation, and directly depend on the way in which the motor is used. Therefore in calls for tenders it is essential to stipulate that only motors in efficiency categories "eff1" and "eff2" will be given consideration. For the specification of the minimum efficiency in the call for tenders it has to be considered that the "eff1" motors are more economical than the "eff2" motors if "eff1" motors up to a rated power of 11 kW operate more than 2'160 hours per year, respectively if "eff1" motors with a rated power of more than 15 kW operate more than 2'880 hours per year. The maintenance of motors and their bearings is another factor that influences lifecycle costs and is directly dependent on the way they are used.

Enquiries within the industry have revealed that one large-scale user intends to only use motors in the future that comply with the minimum efficiency levels specified in category "eff2". This policy applies not only to the purchase and use of single motors, but also to calls for tenders for overall systems with motors that are specified by the supplier of the system.

It was not yet possible for the sample call for tender and evaluation software to be put to practical use within the scope of this project, but in the next steps they will be introduced to users of motors and to systems planners, who will be trying them out in practice. The aim is to subsequently optimise these tools on the basis of the feedback received during this test stage.

1 Ausgangslage

Grössere Industriebetriebe mit einem ausgewiesenen Bedarf von mehreren Motoreinheiten pro Jahr weisen in der Regel eigene organisatorische Einheiten für die Beschaffung von Material und Dienstleistungen auf. Mit der Zentralisierung des Einkaufs verbunden ist das Ziel der Materialbeschaffung zu möglichst kostenoptimalen Bedingungen unter Einhaltung der geforderten Qualitätsbedingungen und Spezifikationen.

Aufgrund des generellen Kostendrucks bei Neuinvestitionen und ebenfalls beim Betrieb und Unterhalt von bestehenden Anlagen wird den Einstandskosten von Material oberste Priorität zugewiesen.

Zur Sensibilisierung von Industriebetrieben mit einem ausgewiesenen Bedarf von Motoren sind im Hinblick auf die Reduktion der Betriebskosten vom Bundesamt für Energie bereits vielfältige Aktivitäten ausgeführt worden. Beispielhaft sind in diesem Zusammenhang zu erwähnen:

- Die Entwicklung und Bereitstellung von Software für die optimale Auswahl von Motoren- und Antriebssystemen mit oder ohne Einsatz von Frequenzumformern.
- Pilotprojekte zur Ermittlung des Potentials zur Kostensenkung bei bestehenden Anlagen.
- Förderung der Anwendung von Motoren mit hohem Wirkungsgrad.

Diese Aktivitäten sind insbesondere auf die Sensibilisierung der Betriebsingenieure im Hinblick auf das Kostensenkungspotential während des Betriebs von Motoren- und Antriebssystemen ausgerichtet.

In einem weiteren Schritt war beabsichtigt, den Industriebetrieben geeignete Hilfsmittel zur Berücksichtigung der gesamten Lebenszykluskosten zum Beschaffungszeitpunkt des Materials zur Verfügung zu stellen. Im Vordergrund stand dabei für das Bundesamt für Energie die Umsetzung des bestehenden Potentials zur Energieeffizienzsteigerung von Motoren- und Antriebssystemen. Aus Sicht der Industriebetriebe waren jedoch noch weitere, die Lebenszykluskosten beeinflussende Faktoren, wie z.B. Installations- und Ausbildungskosten, Unterhalts- und Revisionskosten, Produktionsausfall und Entsorgungskosten mit zu berücksichtigen.

Nur die langfristige Betrachtung der gesamten Lebenszykluskosten von Motoren ermöglicht einen fundierten Anschaffungsentscheid, gewährleistet einen wirtschaftlichen Betrieb und bewahrt den Anwender vor unberücksichtigten Kosten während der Lebensdauer von Motoren.

2 Zielsetzung

Ein wesentliches Bestreben der Projektaktivitäten war die vertiefte Zusammenarbeit bei der Auswahl und Spezifikation von Motoren- und Antriebssystemen zwischen dem Betrieb und der Planung sowie dem Einkauf zu fördern. Im Konkreten waren bei der Projektausführung die folgenden Schwerpunkte zu berücksichtigen:

- Bei der Beschaffung von Motoren- und Antriebssystemen sind die Investitionskosten inklusive Lebenszykluskosten zu betrachten, wie dies z.B. analog zur Kapitalisierungsrechnung bei der Beschaffung von Transformatoren bereits Standard ist.
- Zur Erreichung der Zielsetzung sind in Zusammenarbeit mit Industriebetrieben einfach handhabbare Hilfsmittel zur Umsetzung zu erarbeiten. Im Vordergrund stehen die Erarbeitung von Musterausreibungen mit Integration der Lebenszykluskosten und die zur Verfügungsstellung von neutraler, selbst erläuternder Auswertesoftware zur Prüfung von Angeboten.
- Die Anwender und die Einkäufer von Motoren- und Antriebssystemen sind auf die Berücksichtigung der Lebenszykluskosten zu sensibilisieren.

3 Lebenszykluskosten

3.1 Komponenten der Lebenszykluskosten

Für die Beschaffung von Motoren unter der Vollkostenbetrachtung ist es erforderlich, deren Lebenszykluskosten abschätzen zu können. Nur dadurch können sämtliche, während der gesamten Lebensdauer eines Motors anfallenden Kosten bereits in der Planungs- und Beschaffungsphase berücksichtigt werden.

Die Lebenszykluskosten setzen sich aus mehreren Komponenten zusammen, die im Folgenden aufgelistet und zusammenfassend beschrieben werden:

- Investitionskosten

In die Investitionskosten sind nebst den Kosten für die Planung und die Anschaffung auch die Aufwendungen der Lagerhaltung für Ersatzmaterial und Reservematerial mit einzubeziehen. Dabei haben die Vielfalt und die Menge der in einem Betrieb eingesetzten Motoren einen grossen Einfluss auf die Kosten der Lagerhaltung. Ein weiterer Faktor, der einen Einfluss auf die Investitionskosten hat, ist die Lebensdauer, die beim Vergleich von unterschiedlichen Produkten mitberücksichtigt werden muss.

- Kosten für Installation und Ausbildung

Die Kosten für die Installation müssen auch allfällige spezielle Anforderungen oder aufwändige Montagen enthalten. Ist eine zusätzliche Schulung für den Betrieb und den Unterhalt eines Motors erforderlich, so sind diese Aufwendungen ebenfalls in den Lebenszykluskosten zu berücksichtigen.

- Energiekosten

Der jährliche Energieverbrauch ist unter Berücksichtigung der verschiedenen Betriebszustände mit der jeweiligen Betriebsdauer zu berechnen. Bei der Kostenberechnung sind allenfalls unterschiedliche Tarife zu berücksichtigen.

- Kosten für Betrieb und Überwachung

Abhängig von der Art der Bedienung und Überwachung, d.h. für die manuelle oder automatische Bedienung, resp. für die Überwachung vor Ort oder über ein Leitsystem, sind die entsprechenden Kostenanteile in die Lebenszykluskosten aufzunehmen.

- Kosten für Unterhalt und Reparatur

Der Aufwand für die erforderlichen regulären Wartungsintervalle und für den Ersatz von verschlissenen Teilen ist abzuschätzen und in die Lebenszykluskosten zu integrieren.

- Kosten durch einen Produktionsausfall

Fällt die Produktion durch den Defekt eines Motors aus, so sind die Kosten für den Produktionsausfall in einem vertretbaren Masse in den Lebenszykluskosten zu berücksichtigen.

- Kosten der Umwelt

Die Umgebungsbedingungen haben Einfluss auf die Lebensdauer und die Funktionstüchtigkeit eines Motors. Verlangen die Umgebungsbedingungen zusätzliche Massnahmen, um den Motor zu schützen, sind diese Mehraufwendungen in die Lebenszykluskosten aufzunehmen. Hat andererseits der Motor einen negativen Einfluss auf die Umwelt, der mit zusätzlichen Massnahmen kompensiert oder mindestens reduziert werden muss, so sind diese Aufwendungen ebenfalls in den Lebenszykluskosten zu berücksichtigen.

- Entsorgungskosten

Die Entsorgungskosten bei der Ausserbetriebnahme eines Motors, allenfalls reduziert um den Erlös für den Verkauf einzelner Komponenten, wie z.B. dem Kupfer, sind Bestandteil der Lebenszykluskosten. Auch die Kosten für die Wiederherstellung der Umgebung fliessen in die Entsorgungskosten mit ein.

3.2 Erfahrungen mit Motoren

3.2.1 Vorgehen

In den Projektaktivitäten waren neben Schnyder Ingenieure AG auch die Lonza AG in Visp als grosser industrieller Anwender von Motoren und die ABB als Motorenlieferant involviert.

Mit mehreren Mitarbeitern der Lonza AG wurden Interviews betreffend der Erfahrungen zu den einzelnen Aspekten der Lebenszykluskosten durchgeführt, um so den entsprechenden Einfluss auf die Berechnung der Vollkosten von Motoren abschätzen zu können. Ergänzt wurden diese Erfahrungen des Anwenders mit den diesbezüglichen Erkenntnissen aus der Sicht des Lieferanten ABB.

Im Folgenden werden die Erfahrungen von Lonza AG und ABB bezüglich der Beschaffung, des Betriebes und des Unterhalts von Motoren geordnet nach den einzelnen Komponenten der Lebenszykluskosten aufgeführt.

3.2.2 Investitionen

Die Planung und Spezifikation der Motoren hat einen grossen Einfluss auf die Lebenszykluskosten.

- Die Funktionen der Motoren müssen spezifiziert werden, so dass die Ausschreibungen Lieferanten neutral erstellt werden können. Die Musskriterien, wie z.B. minimale Wirkungsgrade sind dabei festzulegen und explizit in der Ausschreibung aufzuführen, da die Angaben in den allgemeinen Datenblättern eines Motorentyps nicht verbindlich sind.
- Motoren müssen immer zusammen mit dem Prozess, für den sie eingesetzt werden, betrachtet werden. So sind Standardisierungen der eingesetzten Motoren immer im Zusammenhang mit der Standardisierung der angetriebenen Geräte, wie z.B. der Pumpen zu betrachten. Werden Motoren im Rahmen von Gesamtanlagen beschafft, so wirkt sich dies oft als Nachteil für die Optimierung der einzelnen Motoren aus. Bei der Planung von Gesamtanlagen liegt das grosse Optimierungspotenzial in der Verfahrenstechnik. Daher wird die Optimierung der elektrischen Komponenten häufig als zweitrangig betrachtet und den Lieferanten werden bezüglich der Motoren zu grosse Freiheitsgrade gelassen. Minimale Anforderungen an die Motoren müssen auch in die Ausschreibungen von Gesamtanlagen aufgenommen werden, d.h. die minimale Wirkungsgradklasse eff2 soll gefordert werden.
- Die Spezifikationen für Motoren und Frequenzumformer (FU) sind mit Vorteil so zu ergänzen, dass die Motoren und die FU getrennt beschafft werden können. Die Gesamtverantwortung für die Funktionalität eines Motors mit FU muss jedoch einem der beiden Lieferanten zugewiesen werden. Im Normalfall ist dies der Motorenlieferant. Wenn allerdings der Antrieb, wie z.B. bei der Lonza AG, vor allem im Ex-Bereich eingesetzt wird, ist die getrennte Beschaffung von Motor und FU nicht realistisch, da bei einer getrennten Beschaffung derjenige die Verantwortung für die Funktionalität von FU und Motor übernehmen muss, der diese in Betrieb setzt. Aus der Sicht des Anwenders ist es somit empfehlenswert, den Antrieb als Paket mit den nötigen Zertifikaten einzukaufen.

Die Kosten für die Lagerhaltung von Reservemotoren erhöhen die Investitionskosten beträchtlich.

- Für die Lagerkosten von Motoren werden bei der Lonza AG 20 % der Beschaffungskosten berechnet. Diese Kostenberechnung basiert auf den erfassten Lagerbewegungen, die zeigen, dass 90 % der am Lager liegenden Motorentypen weniger als einmal pro Jahr bezogen werden. Lediglich ungefähr 5 % aller Motorentypen im Lager werden jährlich mehrmals bezogen.
- Die Anzahl der Motorentypen, die im Lager vorhanden sein müssen, ist abhängig vom mittleren jährlichen Bedarf, der Lieferfrist für einen neuen Motor, dem Stückpreis und der Kosten für einen Betriebsausfall infolge eines Motordefektes. Durch kürzere Lieferfristen von Motoren kann die Lagerhaltung und können somit auch die entsprechenden Kosten reduziert werden. In die Ausschreibung muss daher die Frist für die Wiederbeschaffung mit den entsprechenden Kostenfolgen für verkürzte Lieferfristen aufgenommen werden.
- Eine Reduktion der Vielfalt von unterschiedlichen Motoren in der Lagerhaltung muss vom Prozess resp. den Anlagen her kommen, d.h. die Anlagen müssen so erstellt werden, dass möglichst wenige unterschiedliche Motorentypen verwendet werden und Spezialanwendungen vermieden werden. Dies wird bei Lonza AG bei den Rührwerken bereits so praktiziert. Die Reduktion der Vielfalt an Motoren und die Aufwandreduktion für die Ersatzteilbereitstellung muss somit bereits bei der

Planung der Anlage miteinbezogen werden. Trotz der Standardisierung der eingesetzten Motoren muss jedoch darauf geachtet werden, dass optimale Motorengrößen verwendet werden, d.h. dass die Motoren nicht dauernd im Teillastbereich betrieben werden.

- Die Erfahrung zeigt, dass Motoren, die trocken gelagert werden, nur geringe Lagerschäden aufweisen. Am meisten Schäden erleiden jedoch Pumpen, die während langer Zeit eingelagert sind. Dabei betreffen diese Schäden der Pumpen vor allem die Dichtungen, die mit der Zeit spröde werden.
- Nachteilig für eine reduzierte Lagerhaltung von Motoren kann sich auswirken, dass bei der Beschaffung von Einzelstücken die Preise stark durch Marktkriterien bestimmt werden und somit grosse temporäre Preisschwankungen auftreten können. Das hat zur Folge, dass bei Bedarf für einen Ersatzmotor keine tiefen Preise abgewartet werden können, wenn dieser sofort beschafft werden muss.

3.2.3 Installation und Ausbildung

Mehraufwendungen bei der Installation und Ausbildung ergeben sich vor allem bei den Motoren mit Frequenzumformer.

Bei Lonza AG sind zurzeit mehrere Typen von FU im Einsatz. Die Dokumentation der aktuellen Parametrierung jedes einzelnen FU ist daher äusserst wichtig. Die eingesetzten FU sind standardisiert, um Störungen rasch beheben zu können.

In die Ausschreibung von Motoren mit FU ist aufzunehmen, dass die FU vom Lieferanten gemäss Spezifikation vorparametriert werden sollen.

Die Kabelverbindungen zwischen FU und Motoren können bedeutende Zusatzaufwendungen nach sich ziehen, z.B. für EMV-Massnahmen. Mit FU-Kompaktantrieben kann dem zusätzlichen Installationsaufwand entgegengewirkt werden.

3.2.4 Energiekosten

Zur Reduktion der Energieverluste von Motoren und somit auch zur Reduktion von Energiekosten sollen nur noch Asynchronnormmotoren der Klassen eff1 und eff2 oder PM-Synchronmotoren eingesetzt werden. In Kapitel 4 wird aufgezeigt, unter welchen Bedingungen die energieeffizienteren Motoren der Klasse eff1 auch aus wirtschaftlichen Gründen den eff2 Motoren vorzuziehen sind. Für den Einsatz von Motoren mit möglichst geringen Energieverlusten spricht auch, dass die Lebensdauer der Motoren von der Betriebstemperatur abhängig ist. So reduziert eine um 10 % höhere Betriebstemperatur die Lebensdauer um 50 %. Motoren der Klasse eff1 haben somit als Folge der geringeren Verlustwärme eine längere Lebensdauer als Motoren der Klasse eff2. Die längere Lebensdauer der eff1 Motoren muss bei der Ermittlung der Lebenszykluskosten mitberücksichtigt werden.

Der Einsatz von Frequenzumformern für Motoren mit einer Leistung über 20 kW ist die beste Massnahme zur Reduktion der Energiekosten. FU werden zunehmend häufiger eingesetzt, da deren Preise stark gesunken sind. Dank dem Einsatz von FU kann z.B. zur Durchflussregulierung auf die Drosselung durch Blenden verzichtet werden und der entsprechende Energieverlust im Prozess vermieden werden. Die Erfahrung hat gezeigt, dass den Wirkungsgradangaben der Lieferanten für FU nicht immer vertraut werden kann. Eine Verifizierung der Wirkungsgrade von FU ist daher anzustreben.

Mit dem Einsatz eines FU kann der Wirkungsgrad einer Anlage verbessert werden. Der Wartungsaufwand wird durch den FU allerdings erhöht. Bei grossen Leistungen sind präventive Wartungen des FU erforderlich, um deren Lebensdauer zu erhöhen. Diese präventiven Wartungen beinhalten den Ersatz von Kühlsystemkomponenten und Kondensatoren insbesondere des DC-Zwischenkreises.

3.2.5 Betrieb und Überwachung

Die Motoren sind so zu dimensionieren, dass sie möglichst nahe bei der Motorenennleistung betrieben werden. Die Lebensdauer der Motoren ist vom Betriebseinsatz abhängig. So erreichen Motoren im Dauerbetrieb, wenn diese nicht überlastet werden, die längste Lebensdauer. Ein Anfahren eines abgekühlten Motors beinhaltet immer das Risiko, dass Kurzschlüsse in den Wicklungen verursacht

durch Kondenswasser auftreten können. Um diese Ausfälle zu reduzieren, muss ein genügender Isolationsschutzgrad (IP Grad) verwendet werden.

Die störungsanfälligste Komponente von HS- und NS-Motoren sind die Lager. Bei HS-Motoren werden Wälz- und Gleitlager eingesetzt, bei NS-Motoren lediglich Wälzlager. Die Gleitlager mit Schmier-systemen sind häufig mit einer Überwachung ausgerüstet.

Zur Vermeidung von Ausfällen von Pumpen mit NS-Motoren, vor allem bei Spaltröhropumpen, werden die Lagertemperaturen und der Trockenlauf der Pumpe häufig überwacht.

3.2.6 Unterhalt und Reparatur

Die Lager beanspruchen einen grossen Anteil am Unterhalt der Motoren.

- Bei der Wartung der Lager von HS-Motoren muss zwischen Wälz- und Gleitlager unterschieden werden. Wälzlager werden zustandsorientiert anhand von Schwingungsanalysen oder gemäss der Empfehlung des weltgrössten Wälzlager-Herstellers, der SKF, nach 50'000 Betriebsstunden ausgewechselt. Bei Gleitlagern werden keine Schwingungsanalysen durchgeführt.
- Motoren mit Wälzlager sind anfällig auf Stillstandsschäden. So können z.B. stillstehende HS-Motoren nach einem halben Jahr den gleichen Lagerschaden aufweisen wie ein in Betrieb stehender Motor mit 5'000 Betriebsstunden.
- Die Gleitlager von Kolbenkompressoren werden bei Lonza AG nach eventuellen Unstimmigkeiten bei der Kurbelspreizung neu ausgerichtet und eingeschabt. Bedingt durch aussenstehende Lager muss dabei auch der Rotor zum Stator ausgerichtet werden. Die Hauptursachen der Ausrichtungsfehler bei den Kolbenkompressoren waren zu Beginn Risse und Senkungen an den Betonfundamenten. Diese konnten durch Ausspitzen und Neuvergiessen mit Spezialmörtel stark verringert werden.
- 90 % aller Motoren der Lonza AG beinhalten noch die ursprünglichen Gleitlager, d.h. die Gleitlager mussten seit der ersten Inbetriebnahme des Motors nicht ersetzt werden.
- Die Kosten für den Unterhalt der Gleitlager können reduziert werden, wenn die Wartungsintervalle, z.B. für die Schmierung verlängert werden können. Daher ist eine zustandsorientierte Wartung optimal und der Wartung nach festem Zeit- oder Betriebsdauerplan vorzuziehen.
- Die Erfahrung bei Lonza zeigt, dass Motoren mit neueren Anschaffungsdaten oft mit wenig Reserve ausgelegt sind, d.h. die Lager sind häufig zu schwach, wodurch öfters Lagerausfälle auftreten. Da meistens die Lagerdeckel für stärkere Lager zu klein sind, d.h. die Lager nicht ausgewechselt werden können, muss das Schmierintervall verkürzt werden. In die Ausschreibungen sind daher verpflichtende Vorgaben bezüglich des Schmierintervalls aufzunehmen.
- Die technische Anforderung an qualitativ hoch stehende Lager der Motoren muss bei der Beschaffung eingehalten werden.

Der Aufwand für Revisionen ist abhängig von der Grösse des Motors und von der Art der Lager.

- Bei der Lonza AG erfolgen die Revisionen von HS- und NS-Motoren mit Wälzlagern auf Grund von Schwingungsanalysen oder spätestens nach 50'000 Betriebsstunden. Schwingungsanalysen werden, je nach Wichtigkeit resp. Anfälligkeit der Aggregate, halbjährlich oder jährlich durchgeführt. Die Kosten für die Revision eines HS-Motors betragen ca. Fr. 6'000.- und beinhalten die Aufwendungen für die Werkstatt, den Transport und das Ausrichten nach der Installation des revidierten Motors.
- Der Aufwand für die Revision eines NS-Motors im Leistungsbereich von 5 kW bis 20 kW beträgt ca. 5 Stunden für die Werkstatt sowie 2 Stunden für den Transport und das Ausrichten.

Der Ersatz eines alten Motors mittlerer Leistung kann in bestimmten Fällen einer Revision vorgezogen werden.

- Vor Revisionen von kleineren und mittleren NS-Motoren klärt die Lonza AG auf Grund des Alters und der Verfügbarkeit eines Ersatzmotors aus dem Lager ab, ob eine Revision durchgeführt wird oder nicht. Ist der zu revidierende Motor sehr alt und im Lager sind mehrere Ersatzmotoren vorrä-

tig, wird der alte Motor durch einen neuen aus dem Lager ersetzt. Ist der Motor jedoch eine spezielle Ausführung oder sind nur wenige Ersatzmotoren im Lager vorhanden, wird auch ein alter Motor revidiert. Dabei werden einzelne Motoren auch neu gewickelt. Der Beurteilung zur Durchführung einer Revision oder zum Verzicht auf eine Revision liegt der Blickwinkel des Unternehmens zu Grunde und nicht derjenige des jeweiligen Betriebes.

- Die HS-Motoren wiesen eine sehr lange Lebensdauer auf, denn ausser einem sind in allen Anlagen noch die ursprünglichen HS-Motoren im Einsatz. Zwei Drittel der HS-Motoren die bei Lonza AG in Betrieb sind, wurden in den letzten 40 Jahren neu gewickelt. Im Gegensatz dazu ist bei den NS-Motoren lediglich noch die Hälfte der ursprünglichen Motoren im Einsatz.
- Zur Vorbereitung von Revisionen ist es hilfreich, wenn auf dem Leistungsschild eines Motors nebst den elektrischen Daten auch der Typ der Lager und Angaben zum Material des Lagerkäfigs ersichtlich sind.

Bezüglich der Antriebssysteme fallen mehr Arbeiten mit den mechanischen Anlagenteilen als mit den Motoren an. Zudem sind Primärschäden bei den Motoren sehr selten, d.h. Motorschäden treten meist als Folgeschäden durch defekte Anlagenteile auf.

3.2.7 Produktionsausfälle

Die Betriebserfahrungen der Lonza AG zeigen, dass Ausfälle von HS- oder NS-Motoren sehr selten sind. Abhängig von den Auswirkungen eines allfälligen Ausfalls eines Motors werden zudem Redundanzen in die Anlagen eingebaut. In den Anlagen der Lonza AG sind viele redundante Motoren im Einsatz, die alternierend oder zeitweise parallel betrieben werden.

Die meisten Ausfälle von Motoren werden durch das Umfeld verursacht, z.B. treten bei Anlagen die mit Hochdruck-Wasser gereinigt werden häufiger Ausfälle auf als bei anderen Anlagen.

Häufige Ausfälle treten auch bei Frequenzumformern älterer Generationen auf, z.B. im Zusammenhang mit 1-phasigen Spannungseinbrüchen. Die FU der neueren Generationen, die bei Lonza AG in Betrieb sind, funktionieren einwandfrei.

3.2.8 Umwelt

Abhängig von den Umgebungsbedingungen müssen bei Lonza AG die Lüftungsgitter der Motoren bei einzelnen Produktionsstätten bis zweimal jährlich gereinigt werden.

3.2.9 Entsorgung

Die Kosten für die Entsorgung von Motoren sind stark vom Markt abhängig. Zurzeit ist die Nachfrage nach Altmetall gross und die Altmetallpreise sind entsprechend hoch, so dass dadurch die Entsorgung kostenneutral wird.

3.3 Schlussfolgerungen aus den Erfahrungen mit Motoren

Die Erfahrungen mit Motoren zeigen, dass die Planung und die Ausschreibung einen grossen Einfluss auf die Lebenszykluskosten der Motoren haben. Bei der Planung von Gesamtanlagen ist wesentlich, dass auch die Anforderungen an die Motoren im Detail spezifiziert werden. Dies, obwohl die Motoren bei der Betrachtung von Gesamtanlagen nur einen geringe Anteil ausmachen und zudem beim Anlagenprozess ein viel grösseres Optimierungspotential liegt, als bei den einzelnen Motoren.

Die Lebenszykluskosten von Motoren können bereits durch eine prozessorientierte Planung und eine detaillierte Spezifikation sowie der entsprechenden Evaluation stark reduziert oder teilweise vermieden werden. Dabei ist vor allem Folgendes zu beachten:

- Die Motorenlager müssen ausreichend dimensioniert sein, um nachträgliche Anpassungen zu vermeiden.
- Zusätzliche Angaben auf dem Leistungsschild bezüglich der Lager und des Materials des Lagerkäfigs reduzieren den Aufwand für die Vorbereitung von Revisionen.

- Der Einsatz von standardisierten Motoren kann die Vielzahl der in einem Betrieb vorhandenen Motoren und damit auch die Kosten für die Reservehaltung reduzieren.
- Der Einsatz von Normmotoren hat den Vorteil, dass Ersatzmotoren rasch beschafft werden können, wodurch der Lagerbestand an Motoren eines Unternehmens reduziert werden kann.
- Durch den Einsatz von FU können die Energieverluste im Motor und auch im Prozess reduziert werden.
- Beim Einsatz von FU ist darauf zu achten, dass der FU auf den Motor abgestimmt ist oder allenfalls FU-Kompaktantriebe eingesetzt werden. Zudem ist der Lieferant zu verpflichten, dass der FU vollständig parametrisiert geliefert wird. Die Erfahrung hat auch gezeigt, dass die Wirkungsgradangaben der FU kritisch betrachtet werden müssen.

Als wesentliche und vom Betrieb abhängige Komponente sind die Energieverluste zu betrachten. In die Ausschreibungen muss somit zwingend aufgenommen werden, dass nur Motoren mit den Wirkungsgradklassen eff1 und eff2 eingesetzt werden. Diese Vorgabe ist vor allem auch in die Ausschreibungen von Gesamtanlagen aufzunehmen. Die Wahl der Wirkungsgrade der Motoren einer Gesamtanlage darf nicht dem Lieferanten überlassen werden. Bei der Evaluation von Motoren soll zudem berücksichtigt werden, dass sich die längere Lebensdauer von eff1-Motoren auf die Lebenszykluskosten auswirken.

Einen weiteren vom Betrieb abhängigen Einfluss auf die Lebenszykluskosten haben die Wartungen der Motoren und deren Lager. Anzustreben sind zustandsorientierte Wartungen, wodurch die Anzahl der Wartungen minimiert werden kann. Welche Art der Wartung durchgeführt wird, ist eine organisatorische Angelegenheit des jeweiligen Betriebes, deren Kosten wohl in die Lebenszykluskosten einfließen, nicht aber mit der Ausschreibung beeinflusst werden können.

4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung eff1 – eff2

Motoren der Klasse eff1 weisen gegenüber den eff2 Motoren einen besseren Wirkungsgrad auf. Der Permanent-Magnet-Synchronmotor (PM-Synchronmotor) weist neben einem hohen Wirkungsgrad aufgrund des Permanentmagnetrotors einen sehr geringen Magnetisierungsstrom gegenüber dem Asynchronnormmotor aus, was sich im sehr hohen Leistungsfaktor ($\cos(\varphi)$) für die PM-Synchronmaschinen niederschlägt. Aus rein energetischer Betrachtung sind PM-Synchronmaschinen unter bestimmten Bedingungen den Asynchronnormmotoren der Klassen eff1 und eff2 vorzuziehen. Da jedoch die Beschaffung von PM-Synchronmotoren gegenüber eff1- und eff2- Normmotoren kostenintensiver ist, muss für den Entscheid ob PM-Synchronmotoren, eff1-Normmotoren oder eff2-Normmotoren eingesetzt werden eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt werden.

4.1 Bedingungen für den Einsatz von PM-Synchronmotoren

Im industriellen Umfeld macht die Prüfung zum Einsatz von PM-Synchronmotoren immer dann Sinn, wenn für eine Applikation im unteren Leistungsbereich (bis 120kW) Drehzahlen bis zu etwa 600 RPM gefordert sind (siehe Tabelle 1). Im Fall eines Ersatzes kann dies in Situationen zutreffen, bei denen vor dem Ersetzungszeitpunkt traditionelle Asynchronnormmotoren in Kombination mit einem Frequenzumformer, hochpolige Asynchronnormmotoren (typischerweise 11 – 16 Pole), Asynchronnormmotoren mit Getrieben oder Gleichstrommotoren mit Stromrichtern im Einsatz standen.

Die PM-Synchronmaschinen weisen bei niedrigen Drehzahlen hohe Drehmomente auf und können an Lasten mit kleinen Drehzahlen direkt angekoppelt werden. Durch den Wegfall des Getriebes werden Platz und Installationskosten eingespart.

Drehzahlbereich	Leistungsbereich
0-220 rpm	17 – 1120 (bei 220 rpm)
0-300 rpm	25 – 1600 (bei 300 rpm)
0-430 rpm	38 – 2240 (bei 430 rpm)
0-600 rpm	57 – 2500 (bei 600 rpm)

Tabelle 1: Drehzahl- und Leistungsbereiche von PM-Synchronmotoren [8]

4.2 Vergleich Asynchronnormmotoren der Klasse eff1 und eff2

Die im Folgenden aufgezeigte Berechnung der Nutzschwelle (Break-Even-Point) für die Beschaffung von eff1 anstatt eff2 Normmotoren basiert auf dem Vergleich von den häufig eingesetzten 4-poligen Normmotoren im Leistungsbereich von 1.1 kW bis 90 kW. Die für die Berechnung verwendeten Preise und Wirkungsgrade basieren auf aktuellen Preislisten und Datenblättern des im Projekt involvierten Motorenlieferanten ABB. Die Nutzschwelle, d.h. der Zeitpunkt, ab wann die Mehrinvestition für den eff1 Motoren durch die kapitalisieren jährlichen Energieeinsparungen gedeckt ist, wird in Abhängigkeit der Jahresbetriebsdauer der Motoren berechnet. Wird diese Nutzschwelle, resp. der Break-Even-Point innerhalb von 4 bis 5 Jahren erreicht, so kann der eff1 Motor gegenüber dem eff2 Motor als wirtschaftlicher betrachtet werden.

Die Unterschiede der Anschaffungspreise der betrachteten Normmotoren sind in Abbildung 1 ersichtlich.

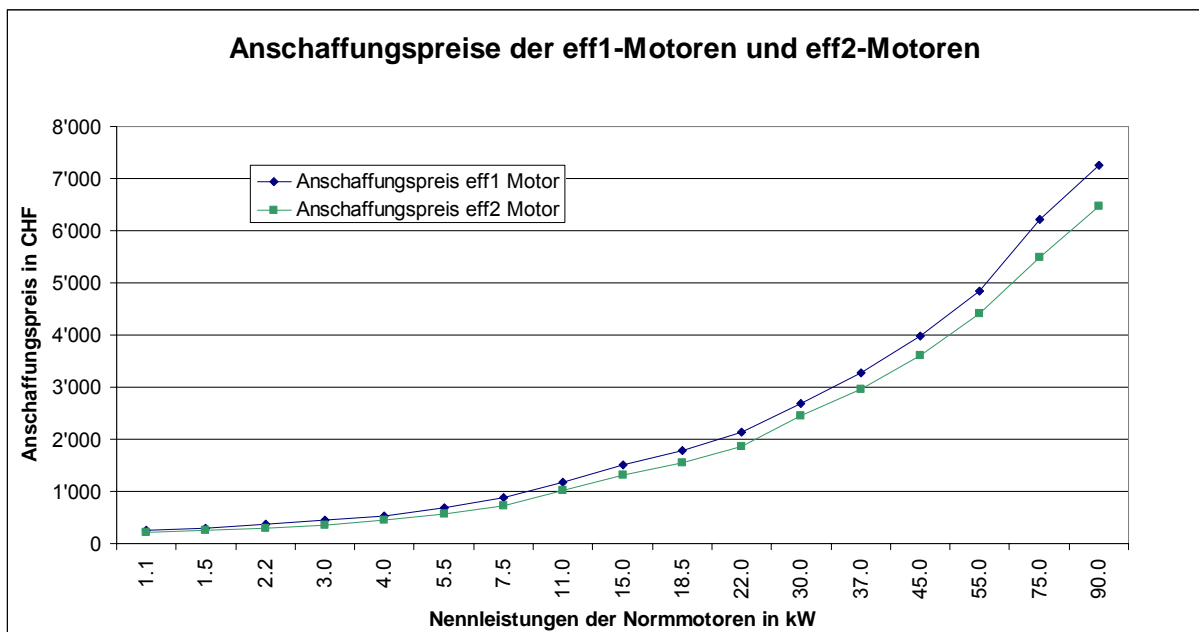


Abbildung 1: Anschaffungspreise der betrachteten eff1 und eff2 Motoren

Die Unterschiede der Wirkungsgrade der betrachteten Normmotoren sind in Abbildung 2 ersichtlich.

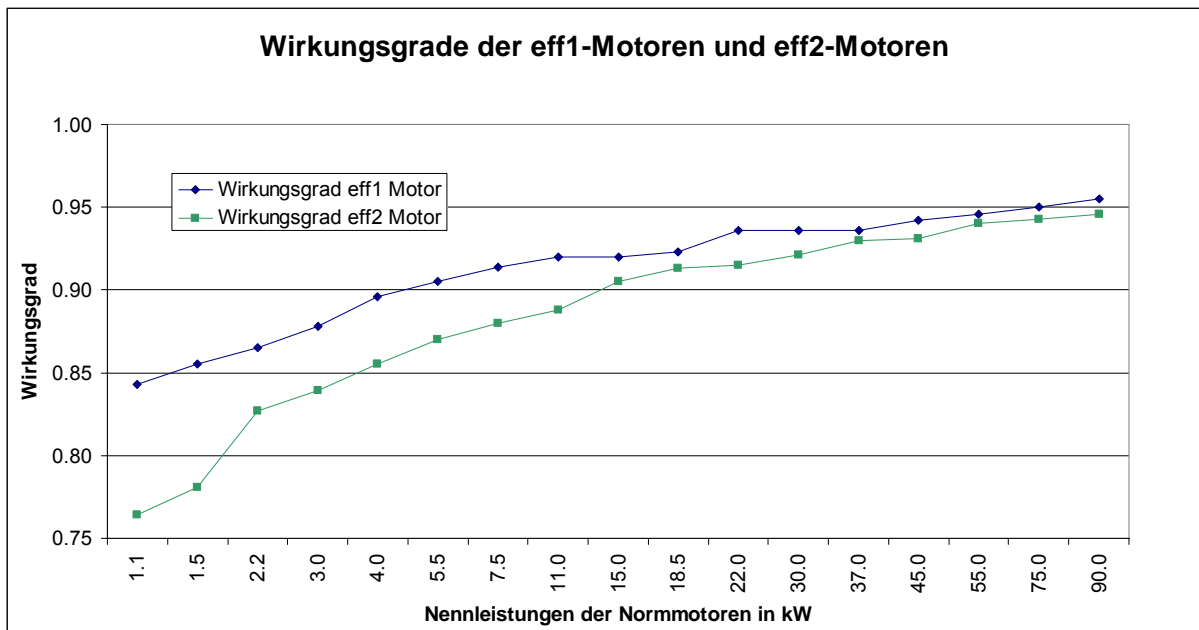


Abbildung 2: Wirkungsgrade der betrachteten eff1 und eff2 Motoren

Der Zeitpunkt, wann die Nutzschwelle der eff1-Motoren erreicht wird, ist abhängig von der Jahresbetriebsdauer und der Auslastung der Motoren sowie vom Preis der elektrischen Energie. Für die Berechnung der jährlichen Energieeinsparungen werden 5 Varianten mit unterschiedlichen Betriebsdauern und jeweils einer durchschnittlichen Auslastung der Motoren von 65 % betrachtet. Für die Kapitalisierung der Energieeinsparungen wird ein mittlerer Strompreis für Gewerbe- und Industriebezüger auf der Niederspannungsseite von 13.5 Rp./kWh berücksichtigt. Die jährlich mit dem Einsatz des eff1 Motor eingesparten Stromkosten werden mit einem Realzinssatz von 2 % auf den Anschaffungszeitpunkt diskontiert.

Den 5 Varianten mit den unterschiedlichen jährlichen Betriebsdauern zur Berechnung der Nutzschwelle der eff1 Motoren liegen folgende Annahmen zugrunde:

- Jahresbetriebsdauer 1'440 Std. entspricht 360 Tage mit 4 Betriebsstunden pro Tag
- Jahresbetriebsdauer 2'160 Std. entspricht 360 Tage mit 6 Betriebsstunden pro Tag
- Jahresbetriebsdauer 2'880 Std. entspricht 360 Tage mit 8 Betriebsstunden pro Tag
- Jahresbetriebsdauer 4'320 Std. entspricht 360 Tage mit 12 Betriebsstunden pro Tag
- Jahresbetriebsdauer 5'760 Std. entspricht 360 Tage mit 16 Betriebsstunden pro Tag

Die Nutzschwellen der betrachteten eff1 Normmotoren gegenüber den eff2 Motoren bei verschiedenen Jahresbetriebsdauern sind in Abbildung 3 ersichtlich.

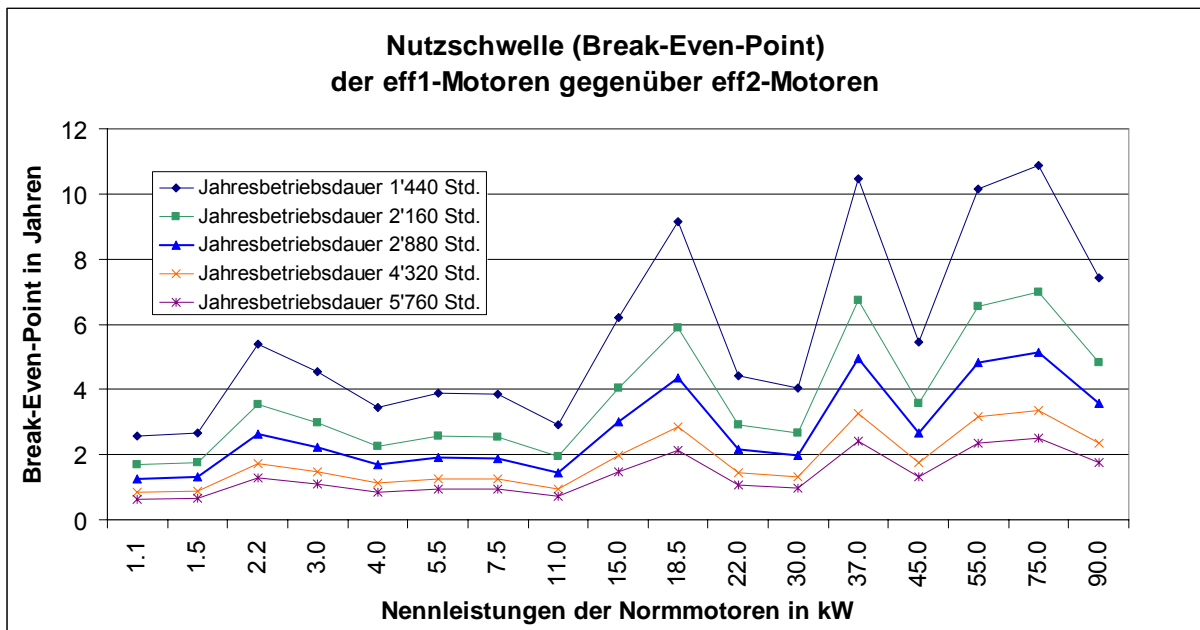


Abbildung 3: Nutzschnellen der betrachteten eff1 Motoren bei unterschiedlichen Jahresbetriebsdauern

Die Berechnung zeigt, wie zu erwarten war, dass mit zunehmender Jahresbetriebsdauer die Nutzschwelle abnimmt, d.h. der Break-Even-Point früher erreicht wird, als mit einer jeweils geringeren Jahresbetriebsdauer. Die grossen Unterschiede der Nutzschwelle zwischen den einzelnen Leistungsgrössen der Normmotoren bei gleicher Jahresbetriebsdauer rührt daher, dass der Unterschied der Wirkungsgrade der einzelnen Normmotoren nicht kontinuierlich verläuft, sondern stark schwankt (Abbildung 2). Wenn die Differenz der Wirkungsgrade zwischen dem eff1 und dem eff2 Motor für den jeweiligen Normmotor gross ist, so wird der Break-Even-Point früher erreicht, als wenn die Differenz der Wirkungsgrade nur gering ist.

Unter der Voraussetzung, dass der Break-Even-Point nach 4 bis 5 Jahren erreicht werden muss, ist bei Motoren mit einer Leistung von 11 kW und kleiner der eff1 Motor ab einer Jahresbetriebsdauer von mindestens 2'160 Std. und bei Motoren mit einer Leistung von 15 kW und grösser der eff1 Motor ab einer Jahresbetriebsdauer von mindestens 2'880 Std. wirtschaftlicher als der eff2 Motor.

Für Anwendungen mit einer durchschnittlichen Auslastung der Motoren über 65 % oder einem Strompreis über 13.5 Rp./kWh wird der Break-Even-Point früher erreicht, was zur Folge hat, dass auch bei geringeren als den oben erwähnten Jahresbetriebsdauern der eff1 Motor wirtschaftlicher ist als der eff2 Motor. Wird für die Diskontierung der jährlich eingesparten Energiekosten auf den Anschaffungszeitpunkt der gewählte Realzinssatz reduziert, so wird der Break-Even-Point ebenfalls früher erreicht.

5 Musterausschreibung

Im Rahmen des Projektes wurde eine Musterausschreibung für Motoren (Anhang 1) erstellt. Diese Musterausschreibung enthält zusätzlich zur elektrischen Spezifikation auch Vorgaben, die Einfluss auf die Lebenszykluskosten haben. Dies sind:

- Vorgaben zum Wirkungsgrad resp. der Wirkungsgradklasse.
- Alternativangebot für einen Motor mit Wirkungsgradklasse eff1.
- Lebensdauer bei dauerndem Nennbetrieb für Standard- und Alternativangebot mit eff1-Motor.
- Frist für Wiederbeschaffung von Ersatzmotoren und die Kostenfolgen für eine reduzierte Wiederbeschaffungszeit.
- Vorgaben zu den Motorenlager und den entsprechenden Angaben auf dem Leistungsschild des Motors.
- Minimale Spezifikation des Frequenzumformers

6 Software zur Offertauswertung

Zur Berechnung der Lebenszykluskosten von Motoren wurde ein einfach handhabbares Berechnungsprogramm mit Excel erstellt (Anhang 2). Dieses Programm berücksichtigt neben den Anschaffungskosten, der Lebensdauer und dem realen Zinssatz auch sämtliche Komponenten, die für die Berechnung der Lebenszykluskosten berücksichtigt werden müssen. Da lediglich Angaben zu einzelnen Komponenten der Lebenszykluskosten unmittelbar aus den Offerten für Motoren abgeleitet werden können, müssen die anderen basierend auf der Offerte geschätzt werden, oder sie können auch, falls deren Einfluss gering ist, vernachlässigt werden.

Mit dem Vergleich der berechneten Lebenszykluskosten basierend auf unterschiedlichen Offerten kann ein Motor evaluiert werden, der über seine gesamte Lebensdauer betrachtet der günstigste ist, auch wenn die Anschaffungskosten allenfalls höher sind als bei den Alternativen mit höheren Lebenszykluskosten. Die Evaluation soll jeweils auch den Vergleich mit Motoren der Wirkungsgradklasse eff1 und falls möglich (4.1) mit einem PM-Synchronmotor beinhalten. Dabei ist die längere Lebensdauer der eff1-Normmotoren und der PM-Synchronmotoren in der Berechnung der Lebenszykluskosten mit zu berücksichtigen.

7 Ausblick

Der Kontakt mit Lonza AG hat ergeben, dass diese zukünftig bei Motoren als minimale Wirkungsgrade die Wirkungsgradklasse eff2 vorschreibt. Dies nicht nur bei einzeln eingekauften und angewendeten Motoren, sondern auch für die Anschaffung von Gesamtanlagen mit Motoren, die durch den Lieferanten der Anlage spezifiziert werden.

Die Musterausschreibung und die Software zur Offertauswertung konnten im Rahmen des Projektes noch nicht angewendet werden. In den nächsten Schritten soll die Musterausschreibung und die Software bei Anwendern von Motoren und bei Planer bekannt gemacht und durch diese angewendet werden. Basierend auf dem Feedback dieser Anwendungen können die Musterausschreibung und die Software zur Offertauswertung optimiert werden.

8 Literatur und Quellen

- [1] www.lcc-guidelines.com: **What is LCC?**, The Association of Swedish Engineering Industries
- [2] ABB Industry Oy: **FanSave**, User's Manual, Energy Savings Calculator for Fan Drives, Version 3.1. Drives 2002
- [3] ABB Industry Oy: **PumpSave**, User's Manual, Energy Savings Calculator for Pump Drives, Version 3.11, Drives 2002
- [4] ABB Industrie AG: **Saving the Environment with ABB Motors and Drives**, EN 20.3.2001
- [5] Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. ZVEI: **Energiesparen mit elektrischen Antrieben**, August 1999
- [6] Siemens AG Automation & Drives: **Energy-Saving Motors**, Energiesparprogramm, 2001
- [7] SEMAFOR Informatik & Energie AG: **OPAL für Pumpen- und Ventilatorantriebe**, Die Bestimmung des Energiesparpotentials bei Pumpen und Ventilatoren, 2004
- [8] ABB: **Drive LV Permanentmagnetmotoren für Applikationen mit niedrigen Drehzahlen**, FACT FILE TM13 DE REVA, 2003

9 Anhang

Anhang 1: Musterausschreibung

Anhang 2: Software zur Evaluation von Offerten



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

BESCHAFFUNG VON MOTOREN UNTER DER VOLLKOSTENBETRACHTUNG

(INKLUSIVE PERMANENTMAGNETERREGTE- SYNCHRONMOTOREN)

Anhang 1: Musterausschreibung

Ausgearbeitet durch

Peter Mauchle, Schnyder Ingenieure AG

Bösch 23, 6331 Hünenberg, gilbert.schnyder@sing.ch, www.schnyderingenieure.ch

Christoph Ritz, Schnyder Ingenieure AG

Mutzenstrasse 9b, 3940 Steg, christoph.ritz@sing.ch, www.schnyderingenieure.ch

Impressum

Datum: 4. Oktober 2007

Im Auftrag des Bundesamt für Energie, Forschungsprogramm Elektrizität

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 31 322 56 11, Fax +41 31 323 25 00

www.bfe.admin.ch

BFE-Bereichsleiter: Felix Frey, Felix.Frey@bfe.admin.ch

Projektnummer: 100683 / 152318

Bezugsort der Publikation: www.energieforschung.ch

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

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	4
2	Motorentypen.....	4
3	Niederspannungsmotor	4
3.1	Spezifikation	4
3.2	Leistungsverzeichnis	6
4	Hochspannungsmotor	8
4.1	Spezifikation	8
4.2	Leistungsverzeichnis	10
5	Literatur und Quellen	11

1 Einleitung

Die vorliegende Musterausschreibung für Niederspannungs- und Hochspannungsmotoren spezifiziert nebst den technischen Daten von Motoren auch die benötigten Daten, um eine Beschaffung von Motoren unter der Vollkostenbetrachtung zu ermöglichen. Zusätzlich zu den technischen Daten müssen somit vom Anbieter auch verbindliche Informationen abgegeben werden, die die Lebenszykluskosten eines Motors betreffen.

Lebenszykluskosten, die durch den Motorenlieferanten in einem grossen Masse mitbestimmt werden, sind:

- Beschaffungs-, resp. Investitionskosten
- Energiekosten

Die folgenden Lebenszykluskosten können vom Motorenlieferanten nur beschränkt beeinflusst werden:

- Kosten für die Installation und Ausbildung
- Kosten für Betrieb und Überwachung
- Kosten für Unterhalt und Reparatur
- Entsorgungskosten

Weitere durch den Motorenlieferanten nicht beeinflussbare Lebenszykluskosten sind:

- Kosten bei einem Produktionsausfall
- Kosten für Massnahmen zur Gewährleistung der Umweltverträglichkeit

Mit der vorliegenden Musterausschreibung werden nebst der technischen Spezifikation auch die Anforderungen zur Reduktion der Lebenszykluskosten von Motoren festgelegt. Mit den darauf basierenden Angeboten können die Lebenszykluskosten soweit möglich in die Evaluation der Motoren miteinbezogen werden, um eine Beschaffung der Motoren unter der Vollkostenbetrachtung durchführen zu können.

Diese Musterausschreibung enthält keinen administrativen Teil. Der administrative Teil einer Ausschreibung ist bei Anwendung der Musterausschreibung dieser noch beizufügen.

2 Motorentypen

Die Musterausschreibung umfasst Standard und explosionsgeschützte Niederspannungs- und Hochspannungs-Asynchronmotoren sowie Permanentmagnet-Synchronmotoren.

Die für diese Motoren zu spezifizierenden technischen Daten mit dem Aspekt zur Beschaffung von Motoren unter der Vollkostenbetrachtung werden im Folgenden dargelegt.

3 Niederspannungsmotor

3.1 Spezifikation

Die Spezifikation für Niederspannungsmotoren muss mindestens die folgenden technischen Daten vorgeben.

Technische Daten	Spezifikation des NS-Motors (mit Beispielwerten)	Bemerkungen
Baugrösse: Bauform:	160 B3	Normreihe für Standard-Motoren oder explosionsgeschützte Motoren
Nennspannung:	400 VAC	Anschlussspannung
Phasen:	3	1- oder 3-phasiger Motor
Motorenart:	asynchron	Asynchronmotor oder Permanentmagnet-Synchronmotor
Nennfrequenz:	50 Hz	Netzfrequenz
Nennleistung:	22 kW	Leistung entsprechend Bauform
Drehzahl:	2960 1/min.	Festdrehzahl oder maximale Drehzahl bei Motor mit veränderbarer Drehzahl
Polzahl:	2	Anzahl Pole
Anlauf:	Direkt mit FU	Direkt, Sanftanlasser, Stern-Dreieck oder mit FU
Betriebsart:	Dauerbetrieb S1	Betriebsarten S1 – S9 gemäss IEC 34-1 und VDE 0530 Teil 1
Drehmomentverlauf:	quadratisch	Konstant, linear oder quadratisch beim Hochlauf
Motorenlager:	wartungsfreies Wälzlager	Gleit- oder Wälzlager mit Angabe des minimalen Wartungsintervalls
Antrieb:	direkt	Direkt über Welle oder mittels Riemen
Wirkungsgradklasse (nur für Asynchronnormmotoren bis zu einer Leistung von 90 kW):	eff2	Minimale Wirkungsgradklasse eff2 oder eff1 für hocheffiziente Motoren
Isolierung / Erwärmung:	F / B	Isoliersystem und thermische Ausnutzung
Ex-Schutzart / Temperaturklasse:	EEx e II T3	Die Zündschutzart und vor allem die Temperaturklasse ist dem Umfeld anzupassen.
Kühlung:	IC 41	Angabe der Kühlungsart
IP-Schutzart:	min. IP 55	Minimale IP-Schutzart festlegen.
Umgebungstemperatur:	max. 40 °C	Maximale Umgebungstemperatur
Relative Feuchte:	max. 85 %	Maximale relative Luftfeuchtigkeit
Aufstellungshöhe:	650 m.ü.M	Meereshöhe der Aufstellung

Tabelle 1: Spezifikation Niederspannungsmotoren

Das Angebot soll einen Motor mit der minimalen Wirkungsgradklasse eff2 und als Alternative einen Motor mit Wirkungsgradklasse eff1 enthalten. Für die Motoren mit den beiden Wirkungsgradklassen ist jeweils die Lebensdauer für die spezifizierte Betriebsart anzugeben.

Zudem ist zusammen mit dem Angebot die Lieferfrist für die Beschaffung eines Ersatzmotors anzugeben.

Das Leistungsschild des Motors hat zusätzlich zu den elektrischen auch mechanische Leistungsdaten, insbesondere des Lagertyps und Angaben zu dessen Unterhalt zu enthalten.

Frequenzumformer (FU) für drehzahlgeregelte NS-Motoren sind vorzugsweise zusammen mit den Motoren auszuschreiben. Für PM-Synchronmaschinen ist diese Spezifikation zwingend.

Technische Daten	Spezifikation des Frequenzumformers (mit Beispielwerten)	Bemerkungen
Regelung:	PWM Drehmomentregelung	Art der Regelung
Drehmomentverlauf:	$M \sim n^2$	$M \sim 1/n$, $M \sim \text{konst.}$, $M \sim n$ oder $M \sim n^2$
Drehzahl min.:	500 1/min.	Drehzahlbereich
Drehzahl max.:	2960 1/min.	
Leistung min.:	0.5 kW	Leistungsbereich des FU
Leistung max.:	30 kW	
Max. Oberwellengehalt des Eingangsstromes	THDi < 2 %	Reduktion der Netzurückwirkungen
Kompaktantrieb	Nein	Kompaktantrieb oder max. Kabellänge zwischen FU und Motor
Max. Kabellänge	5 m	
Art des Antriebes (Lastcharakteristik)	Ventilator	Rührwerk, Pumpe, Trockner, Zentrifuge, Ventilator, Kran, etc.

Tabelle 2: Spezifikation des Frequenzumformers

Der Frequenzumformer ist mit den auf den Motor und den auf die Art des Antriebes abgestimmten Firmware und der entsprechenden Parametrierung zu liefern.

3.2 Leistungsverzeichnis

Die Anbieter von NS-Motoren und Frequenzumformer sollen zusammen mit ihrem Angebot das folgende, vollständig ausgefüllte Leistungsverzeichnis abgeben:

Hersteller:	Lieferant:
Typ Nr.:	Baujahr:
Fabrikation Nr.:	Lagerart:
Baugröße: Bauform:	Schmierintervall: Lagerwartung:
Kühlungsart:	Schallpegel: dB (A)
Lage Anschlusskasten:	Gesamtgewicht: kg
Isolationsklasse / Erwärmung:	Ex-Schutzart / Temperaturklasse:
Nennspannung: V	Phasen:
Nennleistung: kW	Nennfrequenz: 50 Hz

Drehzahl:	1/min.	Polzahl:
Drehmomentverlauf:		
Anlauf:		Betriebsart:
IP-Schutzart:		Max. Umgebungstemperatur: °C
Max. relative Feuchte:	%	Max. Aufstellungshöhe: m.ü.M.
Wirkungsgrad, Leistungsfaktor und Lebensdauer des eff2-Motors (Standardangebot):		
Wirkungsgrad η bei 100 % Last:	%	Leistungsfaktor $\cos\phi$ bei 100 % Last:
Wirkungsgrad η bei 75 % Last:	%	Leistungsfaktor $\cos\phi$ bei 75 % Last:
Wirkungsgrad η bei 50 % Last:	%	Leistungsfaktor $\cos\phi$ bei 50 % Last:
Lebensdauer des eff2-Motors bei der definierten Betriebsart:		Jahre
Wirkungsgrad, Leistungsfaktor und Lebensdauer des eff1-Motors (Alternativangebot):		
Wirkungsgrad η bei 100 % Last:	%	Leistungsfaktor $\cos\phi$ bei 100 % Last:
Wirkungsgrad η bei 75 % Last:	%	Leistungsfaktor $\cos\phi$ bei 75 % Last:
Wirkungsgrad η bei 50 % Last:	%	Leistungsfaktor $\cos\phi$ bei 50 % Last:
Lebensdauer des eff1-Motors bei der definierten Betriebsart:		Jahre

Tabelle 3: Technische Daten des Niederspannungsmotors

Weitere Angaben zum Motor:

- Die Lieferfrist für die Beschaffung eines Ersatzmotors des selben Typs beträgt: Wochen
- Ist eine Reduktion dieser Lieferfrist mit Kostenfolgen möglich? Ja / Nein
Wenn ja, Angabe der Kostenfolgen.

Hersteller:		Lieferant:	
Typ Nr.:		Fabrikation Nr.:	
Regelungsart:		Drehmomentverlauf:	
Min. Drehzahl:	1/min.	Max. Drehzahl:	1/min.
Min. Leistung:	kW	Max. Leistung:	kW
Kompaktantrieb:		Max. Kabellänge FU-Motor:	m
Wirkungsgrad und max. Oberwellengehalt des Eingangsstromes:			
Wirkungsgrad η bei 100 % Last:	%	THDi bei 100 % Last:	%
Wirkungsgrad η bei 75 % Last:	%	THDi bei 75 % Last:	%
Wirkungsgrad η bei 50 % Last:	%	THDi bei 50 % Last:	%
Wirkungsgrad η bei 25 % Last:	%	THDi bei 25 % Last:	%

Tabelle 4: Technische Daten des Frequenzumformers zum Niederspannungsmotor

4 Hochspannungsmotor

4.1 Spezifikation

Die Spezifikation für Hochspannungsmotoren muss mindestens die folgenden technischen Daten vorgeben.

Technische Daten	Spezifikation des HS-Motors (mit Beispielwerten)	Bemerkungen
Motorenart:	Asynchron	Asynchronmotor oder Synchronmotor
Baugrösse:	280	gemäss IEC 72
Bauform:	B3	gemäss DIN 42950
Baugrösse:	IEC 450	Baugrösse gemäss IEC 60034-1
Anschluss der Statorwicklung	Stern	Stern, Dreieck oder Spannung umschaltbar
Lage Anschlusskasten:	Rechts	
Anz. Pt100 (Wicklung):	6	Pt100 Fühler zur Temperaturüberwachung
Anz. Pt100 (Lager):	2	
Nennleistung P_N	500 kW	Nennleistung
Nennspannung U_N :	6000 VAC	Anschlussspannung
Betriebsspannung U_B :	6300 VAC	Dauerbetriebsspannung
Nennfrequenz F_N	50 Hz	Netzfrequenz
Nennstrom I_N :	< 59 A	Maximaler Strom
Max. Anfahrstrom I_A/I_N :	< 5.0	Anfahrstrom bei $U_N = 100\%$
Lastträgheitsmoment T_N :	300 kgm ²	Lastträgheitsmoment und Lastdrehmoment während dem Anlauf
T_L/T_N bei 0 % n/n_N	0.4	
T_L/T_N bei 50 % n/n_N	0.4	
T_L/T_N bei 100 % n/n_N	0.6	
Anlauf:	Direkt	Direkt oder Stern-Dreieck
Drehzahl:	994 1/min.	Festdrehzahl
Polzahl:	6	Anzahl Pole
Drehrichtung:	Rechts	Drehrichtung rechts oder links
Betriebsart:	Dauerbetrieb S1	Betriebsarten S1 – S9 gemäss IEC 34-1 und VDE 0530 Teil 1

Tabelle 5: Spezifikation Hochspannungsmotoren

Technische Daten	Spezifikation des HS-Asynchronmotors (mit Beispielwerten)	Bemerkungen
Wirkungsgrad η bei 100 % Last:	>96.5 %	Minimale Wirkungsgrad bei unterschiedlichen Lasten
Wirkungsgrad η bei 75 % Last:	>96.5 %	
Wirkungsgrad η bei 50 % Last:	>96.5 %	
Leistungsfaktor $\cos\phi$ bei 100 % Last:	>0.85	Minimale Leistungsfaktoren bei unterschiedlichen Lasten
Leistungsfaktor $\cos\phi$ bei 75 % Last:	>0.83	
Leistungsfaktor $\cos\phi$ bei 50 % Last:	>0.75	
Motorenlager: Schmierintervall: Reinigung nach:	Gleitlagen - Std. 30'000 Std.	Gleit- oder Wälzlager mit Angabe des minimalen Wartungsintervalls
Isolierung / Erwärmung:	F / B	Isoliersystem und thermische Ausnutzung
Ex-Schutzart / Temperaturklasse:	EEx e II T3	Die Zündschutzart und vor allem die Temperaturklasse ist dem Umfeld anzupassen.
Kühlung:	IC411	Kennzeichnung gemäss IEC 34-6
IP-Schutzart:	min. IP55	Minimale IP-Schutzart festlegen.
Umgebungstemperatur:	max. 40 °C	Maximale Umgebungstemperatur
Relative Feuchte:	max. 85 %	Maximale relative Luftfeuchtigkeit
Aufstellungshöhe:	650 m.ü.M	Meereshöhe der Aufstellung

Tabelle 6: Spezifikation Hochspannungsasynchronmotoren

Das Angebot soll einen Motor mit dem spezifizierten minimalen Wirkungsgrad und als Alternative einen Motor mit einem Wirkungsgrad, der mindestens 1 % höher ist, enthalten. Für die Motoren mit den beiden unterschiedlichen Wirkungsgraden ist jeweils die Lebensdauer für die spezifizierte Betriebsart anzugeben.

Zudem ist zusammen mit dem Angebot die Lieferfrist für die Beschaffung eines Ersatzmotors anzugeben.

Das Leistungsschild des Motors hat zusätzlich zu den elektrischen auch mechanische Leistungsdaten, insbesondere des Lagertyps und Angaben zu dessen Unterhalt zu enthalten.

4.2 Leistungsverzeichnis

Die Anbieter von HS-Motoren sollen zusammen mit ihrem Angebot das folgende, vollständig ausgefüllte Leistungsverzeichnis abgeben:

Hersteller:	Lieferant:	
Typ Nr.:	Baujahr:	
Fabrikation Nr.:	Lagerart:	
Baugröße: Bauform:	Schmierintervall: Lagerwartung:	
Kühlungsart:	Schallpegel:	dB (A)
Lage Anschlusskasten:	Gewicht Rotor:	kg
Gesamtgewicht: kg	Polzahl:	
Isolationsklasse / Erwärmung:	Ex-Schutzart / Temperaturklasse:	
Nennspannung U_N : kV	Betriebsspannung U_N : kV	
Nennleistung P_N : kW	Nennstrom I_N : A	
Anfangsstrom bei $I_N = 100\%$ I_A/I_N	Nennfrequenz F_N : 50 Hz	
Drehzahl: 1/min.	Drehrichtung:	
Anlauf:	Betriebsart:	
IP-Schutzart:	Max. Umgebungstemperatur: °C	
Max. relative Feuchte: %	Max. Aufstellungshöhe: m.ü.M.	
Nenn Drehmoment T_N : Nm	Trägheitsmoment: kgm^2	
Max. zul. Dauerstrom $I_{th\ max}$: A		
Max. zul. Anlaufzeit t_A bei U_N : s	Max. zul. Anlaufzeit t_A bei $0.8 \cdot U_N$: s	
Erwärmungszeitkonstante T_{auf} : Min. bei $1 \times I_N$		
Abkühlzeitkonstante T_{ab} : Min. bei $1 \times I_N$		
Anzahl zulässige Anläufe aus kalten Zustand N_{kalt} :		
Anzahl zulässige Anläufe aus warmem Zustand N_{warm} :		
Wirkungsgrad, Leistungsfaktor und Lebensdauer des Motors des Standardangebotes:		
Wirkungsgrad η bei 100 % Last: %	Leistungsfaktor $\cos\phi$ bei 100 % Last:	
Wirkungsgrad η bei 75 % Last: %	Leistungsfaktor $\cos\phi$ bei 75 % Last:	
Wirkungsgrad η bei 50 % Last: %	Leistungsfaktor $\cos\phi$ bei 50 % Last:	
Lebensdauer des Motors mit obigen Wirkungsgraden bei der definierten Betriebsart:		Jahre
Wirkungsgrad, Leistungsfaktor und Lebensdauer des Motors mit erhöhtem Wirkungsgrad (Alternativangebot):		
Wirkungsgrad η bei 100 % Last: %	Leistungsfaktor $\cos\phi$ bei 100 % Last:	
Wirkungsgrad η bei 75 % Last: %	Leistungsfaktor $\cos\phi$ bei 75 % Last:	
Wirkungsgrad η bei 50 % Last: %	Leistungsfaktor $\cos\phi$ bei 50 % Last:	
Lebensdauer des Motors mit obigen Wirkungsgraden bei der definierten Betriebsart:		Jahre

Tabelle 7: Technische Daten des Hochspannungsmotors

Weitere Angaben zum Motor:

- Diagramm des Strom- und Drehmomentverlaufs in Funktion der Drehzahl beim Anfahren und im Dauerbetriebszustand.
- Die Lieferfrist für die Beschaffung eines Ersatzmotors des selben Typs beträgt: Wochen
- Ist eine Reduktion dieser Lieferfrist mit Kostenfolgen möglich? Ja / Nein
Wenn ja, Angabe der Kostenfolgen.

5 Literatur und Quellen

- [1] ABB Automation Power Products LV Motors, **Das Motoren-Handbuch**, Grundlegende technische Informationen zu Drehstrom-Käfigläufermotoren für den Niederspannungsbereich, ISBN 952-91-0728-5, Ausgabe 1999



BESCHAFFUNG VON MOTOREN UNTER DER VOLLKOSTENBETRACHTUNG

(INKLUSIVE PERMANENTMAGNETERREGTE- SYNCHRONMOTOREN)

Anhang 2: Software zur Evaluation von Offerten „LCC-
Mot-Eval“, Version 2.1

Ausgearbeitet durch

Peter Mauchle, Schnyder Ingenieure AG

Bösch 23, 6331 Hünenberg, gilbert.schnyder@sing.ch, www.schnyderingenieure.ch

Christoph Ritz, Schnyder Ingenieure AG

Mutzenstrasse 9b, 3940 Steg, christoph.ritz@sing.ch, www.schnyderingenieure.ch

Impressum

Datum: 4. Oktober 2007

Im Auftrag des Bundesamt für Energie, Forschungsprogramm Elektrizität

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 31 322 56 11, Fax +41 31 323 25 00

www.bfe.admin.ch

BFE-Bereichsleiter: Felix Frey, Felix.Frey@bfe.admin.ch

Projektnummer: 100683 / 152318

Bezugsort der Publikation: www.energieforschung.ch

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

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Übersicht über die Ein- und Ausgabeblätter	4
3	Allgemeine Eingaben	4
3.1	Kapitalkosten	4
3.2	Betriebsdauer, Leistungen und Energiepreis	4
4	Varianten	5
4.1	Beschreibung der Variante	5
4.2	Technische Daten	5
4.3	Monetäre Daten	5
4.4	Lebenszykluskosten	6
5	Ergebnisübersicht	6
6	Sensitivitätsbetrachtungen	7
6.1	Definition der Szenarien	7
6.2	Resultate der Sensitivitätsbetrachtungen	7
7	Anhänge	8
7.1	Anhang 1	8
7.2	Anhang 2	9
7.3	Anhang 3	10
7.4	Anhang 4	11
7.5	Anhang 5	12

1 Einleitung

Das Excel Berechnungsprogramm „LCC-Mot-Eval“ dient zur Evaluation von Elektromotoren basierend auf unterschiedlichen Offerten unter Berücksichtigung der Lebenszykluskosten der einzelnen Motorvarianten. Das im Folgenden beschriebene Berechnungsprogramm berücksichtigt neben den Anschaffungskosten, der Lebensdauer und dem realen Zinssatz auch sämtliche Komponenten, die für die Berechnung der Lebenszykluskosten berücksichtigt werden müssen. Da lediglich Angaben zu einzelnen Komponenten der Lebenszykluskosten unmittelbar aus den Offerten für Motoren abgeleitet werden können, müssen die anderen basierend auf der Offerte und den Betriebserfahrungen geschätzt werden.

Mit dem Vergleich der berechneten Lebenszykluskosten basierend auf unterschiedlichen Offerten kann ein Motor evaluiert werden, der über seine gesamte Lebensdauer betrachtet der günstigste ist, auch wenn die Anschaffungskosten allenfalls höher sind als bei den Alternativen mit höheren Lebenszykluskosten.

2 Übersicht über die Ein- und Ausgabeblätter

Die Übersicht des Programms „LCC-Mot-Eval“ (Anhang 1)¹ stellt den Zusammenhang zwischen den einzelnen Dateneingabe- und Resultatseiten des Programms dar und dient als zentrale Navigationsseite.

Mit „LCC-Mot-Eval“ können 6 Varianten von Motoren miteinander verglichen werden. Die Bewertung der Varianten kann zudem einer Sensitivitätsbetrachtung unterzogen werden.

Mit dem Befehlsknopf „Eingabedaten Zurücksetzen“ auf der Übersichtsseite können sämtliche Eingabedaten zurückgesetzt bzw. gelöscht werden. Bevor die Eingabedaten gelöscht werden, ist eine Bestätigung des Benutzers erforderlich. Es besteht die Möglichkeit vor dem endgültigen Zurücksetzen eine Sicherheitskopie erstellen zu lassen.

3 Allgemeine Eingaben

Im Blatt „Allgemeine Eingaben“ (Anhang 2) werden die Daten erfasst, welche für alle zu vergleichenden Motorvarianten gelten, d.h. diese Daten sind unabhängig von den einzelnen Varianten. Dies betrifft die Kapitalkosten, die Betriebsdauer und Leistungen sowie die Energiepreise.

3.1 Kapitalkosten

Die Kapitalkosten umfassen die Eingabe eines mittleren Kapitalzinssatzes und einer mittleren Jahresteuern. Daraus wird der mittlere Realzinssatz berechnet, der als Basis für die dynamischen monetären Betrachtungen dient.

3.2 Betriebsdauer, Leistungen und Energiepreis

Die Betriebsdauer und die mechanische Leistung des Motors muss definiert werden. Dabei sind diese Eingaben für die Variante ohne Frequenzumformer (FU) und für die Variante mit FU festzulegen. Abhängig vom Betrieb des Motors und dem jeweils aktuellen Energiepreis müssen einzelne Betriebsdauern definiert werden. Den einzelnen Betriebsdauern sind jeweils die mittlere mechanische Leistung sowie der Energiepreis, abhängig vom Betriebszeitpunkt, zuzuordnen. Dabei ist darauf zu achten, dass die jährliche maximale Stundenzahl von 8'760 Std. nicht überschritten wird.

¹ Bemerkung zu den Anhängen: Die in den Anhängen enthaltenen Daten sind lediglich als Beispielwerte zu betrachten.

4 Varianten

Mit dem Programm „LCC-Mot-Eval“ können 6 Varianten von Motoren mit oder ohne FU miteinander verglichen werden. Die Blätter für die einzelnen Varianten (Anhang 3) enthalten die technischen Daten zum Motor und allenfalls zum FU, die Investitionskosten, die jährlichen Betriebskosten sowie die Entsorgungskosten. Basierend auf diesen Daten und dem Realzinssatz werden die Lebenszykluskosten bezogen auf den Anschaffungszeitpunkt und verteilt auf die einzelnen Jahre der Lebensdauer des Motors berechnet.

4.1 Beschreibung der Variante

Die Variante wird treffend beschrieben und der Hersteller resp. Lieferant erfasst.

4.2 Technische Daten

4.2.1 Eingabedaten zum Motor

Nebst dem Motorentyp und der Motorenleistung müssen auch die Wirkungsgrade und die Leistungsfaktoren des Motors bei unterschiedlichen Belastungen erfasst werden.

Zudem ist die zu erwartende Lebensdauer des Motors einzugeben. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich Motoren mit besserem Wirkungsgrad während dem Betrieb weniger stark erwärmen und dadurch eine längere Lebensdauer aufweisen. Mit der Motorenart wird festgelegt, ob es sich um einen Asynchronnormmotor oder um einen Permanent-Magnet-Synchronmotor (PM-Synchronmotor) handelt.

4.2.2 Eingabedaten zum Frequenzumformer

Wurde bei der Motorenart der Asynchronmotor selektiert, ist die Auswahl mit oder ohne Frequenzumformer freigegeben. Wird ein Frequenzumformer (FU) eingesetzt, ist die Erfassung von Wirkungsgrad und Leistungsfaktorkompensation für unterschiedliche Belastungen erforderlich. Wurde bei der Motorenart der Synchronmotor selektiert, wird die Auswahl fest auf „mit FU“ eingestellt, und die Erfassung von Wirkungsgrad und Leistungsfaktorkompensation für unterschiedliche Belastungen ist zwingend.

Bezüglich der Leistungsfaktorkompensation muss angegeben werden, auf welchen Leistungsfaktor der Strombezug des Motors aus der Sicht der Versorgung durch den FU kompensiert wird.

Zudem ist die zu erwartende Lebensdauer des FU einzugeben. Diese Lebensdauer wird in den meisten Fällen kürzer sein als diejenige des Motors, d.h. für den FU müssen Ersatzinvestitionen bei den Lebenszykluskosten des Motors mitberücksichtigt werden.

4.2.3 Energieverbrauch

Der Jahresenergieverbrauch, d.h. der Wirk- und Blindenergiebezug wird basierend auf den technischen Daten des Motors und allenfalls des FU sowie basierend auf den Betriebsdaten aus dem Blatt „Allgemeine Eingaben“ berechnet.

4.3 Monetäre Daten

4.3.1 Investitionen

Die Investitionskosten setzen sich zusammen aus den Anschaffungskosten für den Motor und eines allfälligen FU sowie den zugehörigen Installationskosten.

Die Ersatzinvestitionen werden aus dem Vergleich der Lebensdauer des Motors mit der Lebensdauer des FU berechnet.

4.3.2 Jährliche Kosten

Die jährlichen Energiekosten werden basierend auf den technischen Daten des Motors und allenfalls des FU sowie basierend auf den Betriebsdaten und den Energiepreisen aus dem Blatt „Allgemeine Eingaben“ berechnet.

Die jährlichen Kosten für

- Betrieb und Überwachung,
- Unterhalt und Reparatur,
- Anteile an Produktionsausfällen sowie für
- die Umwelt

können basierend auf Erfahrungswerten eingegeben werden.

4.3.3 Entsorgungskosten

Die Entsorgungskosten für den Motor oder allenfalls ein Ertrag aus dem Verkauf des Motors müssen eingegeben werden.

4.4 Lebenszykluskosten

Als Ergebnis werden die Lebenszykluskosten bezogen auf den Anschaffungszeitpunkt unter Berücksichtigung der Lebensdauer des Motors berechnet und ausgegeben. Zudem werden die Lebenszykluskosten zum Anschaffungszeitpunkt verteilt auf die einzelnen Jahre der Lebensdauer des Motors unter Berücksichtigung des Annuitätenfaktors berechnet.

Die Lebenszykluskosten setzen sich zusammen aus:

- Investitionskosten inkl. Ersatzinvestitionen für den FU, wobei bei den Ersatzinvestitionen die Abzinsung auf den Anschaffungszeitpunkt berücksichtigt wird.
- Jährliche Kosten unter Berücksichtigung des Diskontierungssummenfaktors bezogen auf den Anschaffungszeitpunkt.
- Entsorgungskosten unter Berücksichtigung der Abzinsung auf den Anschaffungszeitpunkt.

5 Ergebnisübersicht

In der Ergebnisübersicht (Anhang 4) werden technische und monetäre Informationen der einzelnen Varianten zusammengefasst dargestellt und können miteinander verglichen werden. Für die Evaluation der bezüglich der Lebenszykluskosten optimalen Variante müssen die Lebenszykluskosten zum Anschaffungszeitpunkt verteilt auf die einzelnen Jahre der Lebensdauer des Motors miteinander verglichen werden (unterste Zeile in der Ergebnisübersicht). Die Lebenszykluskosten bezogen auf den Anschaffungszeitpunkt (zweitunterste Zeile in der Ergebnisübersicht) können nur unter den Varianten miteinander verglichen werden, deren Lebensdauer identisch ist.

6 Sensitivitätsbetrachtungen

Während der Lebensdauer eines Motors können sich die zum Zeitpunkt der Evaluation berücksichtigten Parameter wie der Realzinssatz, der Energiepreis und die Betriebsdauer verändern. Daher ist es wichtig, dass bei der Evaluation auch die veränderbaren Rahmenbedingungen mitberücksichtigt werden. Im Programm „LCC-Mot-Eval“ können die Änderungen der Rahmenbedingungen auf der Seite „Sensitivitätsbetrachtungen“ (Anhang) festgelegt und deren Auswirkungen geprüft werden.

6.1 Definition der Szenarien

Für die Sensitivitätsbetrachtungen können ausgehend von den in den „Allgemeinen Eingaben“ definierten Rahmenbedingungen 6 Szenarien festgelegt werden. Dabei kann pro Szenario gleichzeitig auf den Realzinssatz, den Energiepreis und die Betriebsdauer eingewirkt werden. Die Szenarien sollen so gewählt werden, dass diese plausibel sind und die Änderungen überschaubar bleiben. Es können auch Werte eingegeben werden, die unrealistisch sind, wie z.B. ein resultierender negativer Energiepreis oder eine resultierende Betriebsdauer, die über der Jahresstundenzahl von 8'760 Std. liegt, solche unplausible Werte werden jedoch rot dargestellt. Der Bereich für plausible Szenarien wurde wie folgt festgelegt:

- Realzinssatz: Änderungen zwischen -100 % und +200 %
- Energiepreis: Änderungen zwischen -100 % und +100 %
- Betriebsdauer: Änderungen zwischen -70 % und der Jahresstundenzahl von 8'760 Std.

6.2 Resultate der Sensitivitätsbetrachtungen

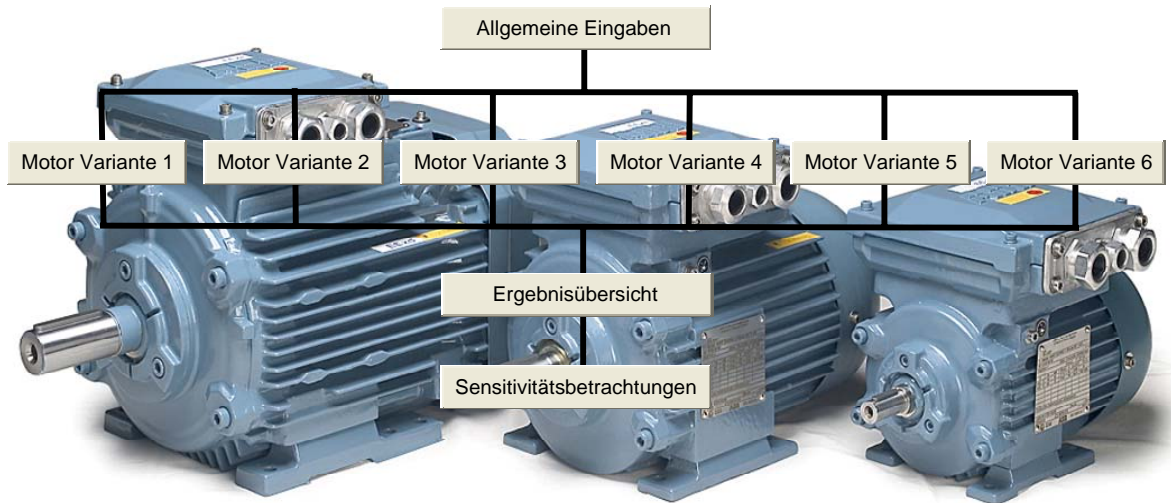
Als Resultate der Sensitivitätsbetrachtungen werden die Lebenszykluskosten zum Anschaffungszeitpunkt verteilt auf die einzelnen Jahre der Lebensdauer des Motors tabellarisch und graphisch dargestellt. Die Darstellung dieses Wertes hat den Vorteil, dass die allenfalls unterschiedlichen Lebensdauern der einzelnen Varianten für den Vergleich berücksichtigt sind, d.h. die Werte können direkt miteinander verglichen werden. In der Tabelle werden pro Szenario der Maximalwert, d.h. die teuerste Variante, jeweils rot und der Minimalwert jeweils grün dargestellt.

7 Anhänge

7.1 Anhang 1

Evaluation von Motoren unter Vollkostenbetrachtung

Übersicht und Auswahl der Eingabe- und Ausgabeblätter



LCC-Mot-Eval Version 2.1 vom 4. Oktober 2007 - Schnyder Ingenieure AG

7.2 Anhang 2



Allgemeine Eingaben

Kapitalkosten	
Kapitalzinssatz:	4.0%
Jahresteuern:	2.0%
Realzinssatz:	2.0%

Verrechnung des Blindenergieanteils über
50%
der Wirkenergie

Motor ohne FU: Betriebsdauer, Leistung, Strompreis

Betriebsphasen	Dauer [Std.]	Leistung [kW]	Wirkenergiepreis [Rp./kWh]	Blindenergiepreis [Rp./kvarh]
Betriebsdauer 1:	2'000	121.0	20.0	8.0
Betriebsdauer 2:	1'500	95.0	12.0	4.0
Betriebsdauer 3:	2'000	64.0	20.0	8.0
Betriebsdauer 4:	1'000	20.0	12.0	4.0
Betriebsdauer 5:				
Betriebsdauer 6:				
Betriebsdauer 7:				
Betriebsdauer 8:				
Betriebsdauer 9:				
Betriebsdauer 10:				
Summe Betriebsdauer:	6'500			
Jahresenergieverbrauch für mech. Last:		532'500		
Jahresenergiekosten für mech. Last ohne Verluste:			SFr. 93'500	zur Übersicht

Motor mit FU: Betriebsdauer, Leistung, Strompreis

Betriebsphasen	Dauer [Std.]	Leistung [kW]	Wirkenergiepreis [Rp./kWh]	Blindenergiepreis [Rp./kvarh]
Betriebsdauer 1:	1'000	121.0	20.0	8.0
Betriebsdauer 2:	800	105.0	20.0	8.0
Betriebsdauer 3:	200	100.0	20.0	8.0
Betriebsdauer 4:	1'000	95.0	12.0	4.0
Betriebsdauer 5:	500	80.0	12.0	4.0
Betriebsdauer 6:	800	64.0	20.0	8.0
Betriebsdauer 7:	200	60.0	20.0	8.0
Betriebsdauer 8:	500	57.0	20.0	8.0
Betriebsdauer 9:	500	55.0	20.0	8.0
Betriebsdauer 10:	100	22.0	12.0	4.0
Betriebsdauer 11:	700	20.0	12.0	4.0
Betriebsdauer 12:	200	17.0	12.0	4.0
Betriebsdauer 13:				
Betriebsdauer 14:				
Betriebsdauer 15:				
Betriebsdauer 16:				
Betriebsdauer 17:				
Betriebsdauer 18:				
Betriebsdauer 19:				
Betriebsdauer 20:				
Summe Betriebsdauer:	6'500			
Jahresenergieverbrauch für mech. Last:		498'800		
Jahresenergiekosten für mech. Last ohne Verluste:			SFr. 87'392	zur Übersicht

7.3 Anhang 3

Motor Variante X

Variante:	Motor 1
Beschreibung:	Test 1
Hersteller / Lieferant:	Unternehmen 1



Motorrentyp:	Motor xyz_1	
Motorenleistung:	120 kW	
Wirkungsgrad und Leistungsfaktor Motor		
	Wirkungsgrad η [%]	Leistungsfaktor $\cos\phi$
- bei 100 % Last	95.0%	0.87
- bei 75 % Last	94.5%	0.85
- bei 50 % Last	92.0%	0.78
Lebensdauer Motor:	20 Jahre	
Motorenart:	<input checked="" type="radio"/> Asynchronmaschine <input type="radio"/> Synchronmaschine	

Energieverbrauch	
Wirkenergieverbrauch der Last:	532'500 kWh
Wirkenergieverluste:	33'900 kWh
Total Wirkenergiebezug:	566'400 kWh
Total Blindenergiebezug:	366'882 kvarh

Jährliche Kosten	
Wirkenergiekosten für die Last:	SFr. 93'500
Kosten Wirkenergieverluste:	SFr. 5'977
Kosten Blindenergiebezug:	SFr. 5'709
Total Energiekosten:	SFr. 105'187
Betrieb und Überwachung:	SFr. 500
Unterhalt und Reparatur:	SFr. 2'000
Kostenanteil bei Produktionsausfall:	SFr. 0
Umweltkosten:	SFr. 500
Total der jährlichen Kosten:	SFr. 108'187

Investitionskosten	
Anschaffungskosten Motor:	SFr. 15'000
Anschaffungskosten FU:	
Installationskosten:	SFr. 4'000
Total Investition:	SFr. 19'000

Entsorgungskosten	
Kosten (+) / Ertrag (-) bei Entsorgung:	SFr. 1'000

Frequenzumformer (FU)?	<input checked="" type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein	
Wirkungsgrad Frequenzumformer		
	Wirkungsgrad η [%]	Komp. Auf Leistungsfaktor
- bei 100 % Last		
- bei 75 % Last		
- bei 50 % Last		
- bei 25 % Last		
Lebensdauer FU:		Jahre

Ersatzinvestitionen FU		
	Kosten	nach n Jahren
1. Ersatzinvestition des FU:	SFr. 0	0
2. Ersatzinvestition des FU:	SFr. 0	0
3. Ersatzinvestition des FU:	SFr. 0	0
4. Ersatzinvestition des FU:	SFr. 0	0
5. Ersatzinvestition des FU:	SFr. 0	0
Total der Ersatzinvestitionen FU:	SFr. 0	

Lebenszykluskosten (LCC)	
LCC bezogen auf den Anschaffungszeitpunkt bei einer Lebensdauer von 20 Jahren:	
	SFr. 1'788'683
LCC zum Anschaffungszeitpunkt verteilt auf einzelne Jahre der Lebensdauer des Motors:	
	SFr. 109'390

zur Übersicht

nächster Motor >

7.4 Anhang 4

Ergebnisübersicht LCC Vergleich



Variante	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4	Motor 5	Motor 6
Beschreibung	Test 1	Test 2 mit FU	Test 3 verbesserter Wirkungsgrad	Test 4 hoher Wirkungsgrad mit FU	Test 5 mit PM	Test PM mit hohem Wirkungsgrad
Hersteller / Lieferant:	Unternehmen 1	Unternehmen 1	Unternehmen 1	Unternehmen 1	Unternehmen 1	Unternehmen 1
Motorentyp:	Motor xyz_1	Motor xyz_1	Motor xyz_2	Motor xyz_2	Motor xyz_5	Motor xyz_6
Motorenleistung [kW]:	120	120	120	120	120	120
Lebensdauer Motor in Jahren:	20	20	25	25	20	20
Maschinenart:	asynchron	asynchron	asynchron	asynchron	synchron	synchron
Frequenzumformer (FU)?	nein	ja	nein	ja	ja	ja
Lebensdauer FU in Jahren:	10	10	10	10	10	10
Energieverbrauch						
Wirkenergieverbrauch der Last [kWh]:	532'500	498'800	532'500	498'800	498'800	498'800
Wirkenergieverluste [kWh]:	33'900	60'654	22'504	49'383	54'536	42'021
Total Wirkenergiebezug [kWh]:	566'400	559'454	555'004	548'183	553'336	540'821
Total Blindenergiebezug [kvarh]:	366'882	122'971	359'102	120'386	121'481	118'871
Investitionskosten						
Anschaffungskosten Motor:	SFr. 15'000	SFr. 15'000	SFr. 20'000	SFr. 20'000	SFr. 15'000	SFr. 15'000
Anschaffungskosten FU:	SFr. 18'000	SFr. 18'000	SFr. 18'000	SFr. 18'000	SFr. 18'000	SFr. 18'000
Installationskosten:	SFr. 4'000	SFr. 6'000	SFr. 4'000	SFr. 6'000	SFr. 6'000	SFr. 6'000
Total Investition:	SFr. 19'000	SFr. 39'000	SFr. 24'000	SFr. 44'000	SFr. 39'000	SFr. 39'000
Ersatzinvestitionen FU						
Total der Ersatzinvestitionen FU:	SFr. 0	SFr. 18'000	SFr. 0	SFr. 36'000	SFr. 18'000	SFr. 18'000
Jährliche Kosten						
Total Energiekosten:	SFr. 105'187	SFr. 98'048	SFr. 103'004	SFr. 96'039	SFr. 96'960	SFr. 94'760
Betrieb und Überwachung:	SFr. 500	SFr. 500	SFr. 500	SFr. 500	SFr. 500	SFr. 500
Unterhalt und Reparatur:	SFr. 2'000	SFr. 3'000	SFr. 2'000	SFr. 3'000	SFr. 3'000	SFr. 3'000
Kostenanteil bei Produktionsausfall:	SFr. 0	SFr. 0	SFr. 0	SFr. 0	SFr. 0	SFr. 0
Umweltkosten:	SFr. 500	SFr. 500	SFr. 500	SFr. 500	SFr. 500	SFr. 500
Total der jährlichen Kosten:	SFr. 108'187	SFr. 102'048	SFr. 106'004	SFr. 100'039	SFr. 100'960	SFr. 98'760
Entsorgungskosten						
Kosten (+) / Ertrag (-) bei Entsorgung:	SFr. 1'000	SFr. 1'000	SFr. 1'000	SFr. 1'000	SFr. 1'000	SFr. 1'000
Lebenszykluskosten (LCC)						
LCC bezogen auf Anschaffungszeitpunkt: bei einer Lebensdauer von	SFr. 1'788'683 20 Jahren	SFr. 1'723'063 20 Jahren	SFr. 2'094'176 25 Jahren	SFr. 2'024'590 25 Jahren	SFr. 1'705'288 20 Jahren	SFr. 1'669'313 20 Jahren
LCC zum Anschaffungszeitpunkt verteilt auf einzelne Jahre der Lebensdauer des Motors:	SFr. 109'390	SFr. 105'377	SFr. 107'265	SFr. 103'700	SFr. 104'290	SFr. 102'090

Motor Variante 1 Motor Variante 2 Motor Variante 3 Motor Variante 4 Motor Variante 5 Motor Variante 6

zur Übersicht Sensitivitätsbetrachtungen

7.5 Anhang 5

Sensitivitätsbetrachtungen



Szenarien für die Sensitivitätsbetrachtung							
	Ausgangslage	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4	Szenario 5	Szenario 6
Realzinssatz (+/-):	0%	50%	-50%	25%	25%	0%	10%
Energiepreis (+/-):	0%	0%	0%	10%	-10%	5%	5%
Betriebsdauer (+/-):	0%	0%	0%	-60%	5%	10%	0%

LCC der Varianten für die einzelnen Szenarien zum Anschaffungszeitpunkt verteilt auf die einzelnen Jahre der Lebensdauer des Motors							
Motorenvariante	Ausgangslage	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4	Szenario 5	Szenario 6
Test 1	SFr. 109'390	SFr. 109'501	SFr. 109'285	SFr. 50'540	SFr. 103'660	SFr. 125'694	SFr. 114'671
Test 2 mit FU	SFr. 105'377	SFr. 105'606	SFr. 105'157	SFr. 50'584	SFr. 100'098	SFr. 120'574	SFr. 110'324
Test 3 verbesserter Wirkungsgrad	SFr. 107'265	SFr. 107'410	SFr. 107'129	SFr. 49'654	SFr. 101'671	SFr. 123'230	SFr. 112'443
Test 4 hoher Wirkungsgrad mit FU	SFr. 103'700	SFr. 103'934	SFr. 103'482	SFr. 50'034	SFr. 98'533	SFr. 118'586	SFr. 108'548
Test 5 mit PM	SFr. 104'290	SFr. 104'519	SFr. 104'070	SFr. 50'106	SFr. 99'071	SFr. 119'319	SFr. 109'183
Test PM mit hohem Wirkungsgrad	SFr. 102'090	SFr. 102'319	SFr. 101'870	SFr. 49'137	SFr. 96'991	SFr. 116'778	SFr. 106'873

[zur Übersicht](#)

