

Schlussbericht **Oktober 2002**

Energiesparmotor

ausgearbeitet durch

Markus Lindegger
dipl.El.Ing. HTL
CIRCLE MOTOR AG
Brügglweg 18
3073 Gümligen

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.



Weitere Informationen über das Programm „Elektrizität“ des Bundesamts für Energie stehen auf folgender Web-Seite zur Verfügung:

www.electricity-research.ch

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassungen.....	2
Abstract (Deutsch)	2
Abstract.....	4
Riassunto	6
Résumé	8
Ausgangslage und Ziel	10
Auslegung des Energiesparmotors als Prototyp (Phase 1)	11
Berechnung der Wicklung und der Motordaten bei 230 Volt	12
Normen	13
Bau des Motors	13
Aufbau der Antriebseinheit Motor mit Steuerung	13
Messung der Motoren (Phase 2)	14
Aufbau des Prüfstandes an der Fachhochschule Zentralschweiz Labor für elektrische Maschinen.	14
Messkonzept	15
Messvorgang.	15
Messresultate	16
Marktstudie (Phase 3)	20
Wieviel Energie würde mit Energiesparmotoren in der Schweiz eingespart?	20
Prüfung der Konkurrenzfähigkeit	22
Marktsegmente eines Energiesparmotors in der Schweiz	23
Ausblick	24
Quellenverzeichnis.....	26

Zusammenfassungen

Abstract (Deutsch)

Die Hälfte der el. Energie wird in der Industrie in Elektromotoren verbraucht. Asynchronmotoren im Leistungsbereich unter 1 kW, die im Teillastbereich, an einem Steuergerät betrieben werden, arbeiten mit einem schlechten Wirkungsgrad. CIRCLE MOTOR AG produziert spezielle el. Motoren mit einem Permanentmagnet - Rotor. Diese Motoren erreichen im Teillastbereich, einen hohen Wirkungsgrad.

Ziel des Auftrags Energiesparmotor ist die Prüfung der technischen Machbarkeit und der Marktfähigkeit

Die Arbeit gliederte sich in drei Phasen:

- Berechnung und Bau eines 250 W Energiesparmotors als Prototyp, für den Einsatz bei 230 Volt.
- Messung der Daten des Energiesparmotors und eines Asynchronmotors gleicher Leistung, auf einem Prüfstand der Fachhochschule Luzern. Die gemessenen Daten beider Motoren werden verglichen.
- Eine Marktstudie prüft, ob dieser Energiesparmotor, gegenüber einem Asynchronmotor, preislich konkurrenzfähig ist, wobei auch die Steuerung einbezogen wird. Ebenfalls erfolgt eine Aussage über das Energiesparpotential in der Schweiz, wenn solche Energiesparmotoren eingesetzt würden.

Phase 1:

Der gebaute Energiesparmotor weist einen Durchmesser von 120mm und eine Baulänge von 105 mm bei einem Gewicht von 2 kg auf. Im Motor sind zusätzlich drei Hallsensoren eingebaut, die den Betrieb als brushless DC Motor erlauben.

Phase 2:

Vorgesehen war der Betrieb beider Motoren an einem Frequenzumformer, gesteuert über eine U/f Kennlinie. Der Energiesparmotor, betrieben als Synchronmotor, zeigte am Frequenzumformer starke mechanische Schwingungen, sowie eine unzulässige Erwärmung durch Oberwellen. An einer brushless DC Steuerung wies der Energiesparmotor ein ausgezeichnetes Steuerverhalten und praktisch keine Erwärmung im Leerlauf auf. Der Energiesparmotor angeschlossen an der brushless Steuerung und zwei Asynchronmotoren betrieben am Frequenzumformer wurden auf einem Prüfstand an der Fachhochschule Luzern gemessen. Die Eingangsspannung beider Steuergeräte lag bei 230Volt Netzspannung und die Drehzahlvorgabe bei 3000 U/min.

Gemessen wurde der Wirkungsgrad und die Leistung im Teil- und Nennlastbetrieb. Der Asynchronmotor, erreichte bei 30% Nennleistung einen Wirkungsgrad von etwa 50 %. Der maximale Wirkungsgrad betrug 66% bei 75% Nennlast und sank bei Nennlast auf 64% ab. Der Wirkungsgrad des zweiten Asynchronmotors lag bei Nennlast bei 58%. Die Leerlaufverluste wurden im Mittel mit 55 Watt bestimmt.

Der Energiesparmotor erreichte bei 30% Nennlast bereits 80% Wirkungsgrad. Der maximale Wirkungsgrad von 86% lag bei 60% Nennleistung. 78% Wirkungsgrad erreicht der Motor bei Nennlast. Die Leerlaufverluste wurden mit 17 Watt bestimmt.

Interessant ist die Konstanz der eingesparten elektrischen Leistung von etwa 60 Watt über den ganzen Lastbereich, beim Vergleich der beiden Motoren. Die Begründung liegt in der hohen Differenz der Wirkungsgrade im tieferen Teillastbereich und der grösseren absoluten Leistung im Nennlastbereich, bei noch vorhandener Differenz der Wirkungsgrade.

Phase 3

Die Kalkulation eines 250W Energiesparmotors mit integrierter brushless Steuerung ergibt einen Verkaufspreis von etwa 350 Fr. Die Kosten eines Frequenzumformers betriebsbereit mit angeschlossenem 250W Normmotor, liegen bei 300 Fr.-, hergestellt in einer mittleren Seriengrösse. Bei einer automatischen Fertigung in sehr hohen Stückzahlen würde die Preisdifferenz zwischen beiden Motoren etwa 10 Fr. betragen, hervorgerufen durch das Magnetmaterial.

Eine Hochrechnung im Leistungsbereich 180Watt bis 1.1 kWatt ergibt eine mittlere eingesparte Leistung zwischen Energiesparmotoren und Normmotoren von etwa 100W. Pro Jahr werden 30'000 Normmotoren mit Frequenzumformern von Firmen mit Sitz in der Schweiz verkauft. Rechnet man mit der gleichen Menge von importierten, wie exportierten Antrieben und mit einer Lebensdauer von 25000 Stunden pro Motor über 5 Jahre, so ergibt sich eine eingesparte Energiemenge von 75 Mio. kWh pro Jahr in der Schweiz. Diese Energiemenge erzeugt ein mittleres Flusskraftwerk mit einer Generatorleistung von 8 MW.

Bei einem mittleren kWh Preis von 15 Rappen ergeben sich eingesparte Energiekosten von 11 Mio Fr.-.

Die Weiterentwicklung eines Energiesparmotors mit integrierter Steuerung zu einem marktreifen Produkt wird wesentlich Ressourcen schonen und somit seinen Beitrag gegen die Klimaerwärmung leisten. Beim Aufbau einer automatischen Fertigung von Energiesparmotoren werden in der Schweiz Arbeitsplätze geschaffen, mit einem Produkt, dass auch im Ausland ein grosses Marktpotential aufweisen wird.

Abstract

Electro motors consume half of the industrial energy. Asynchronous motors in the power range below 1 kW have a bad efficiency, when used with a controller device and low load.

CIRCLE MOTOR Ltd. produces advanced electrical motors with permanent magnet rotors. Those motors are high efficient also in the low load range.

Goal of the Eco-Motor study is the technical feasibility and market potential.

The work has been divided in three phases:

- Calculation and realisation of a 250W prototype Eco-Motor for the nominal voltage of 230V.
- Measuring of the Eco-Motors characteristics as well as of an asynchronous motor with comparable. power range, at a test bench of the Fachhochschule Luzern. Compare both measured data sets.
- Market study to verify, if the price of this Eco-Motor including its controller device can compete against an asynchronous motor. Performing an analysis of the energy savings potential in Switzerland if such Eco-Motors would be used.

Phase 1:

The Eco-Motor built, has a diameter of 120 mm and a length of 105 mm at a weight of 2 kg. The motor contains additionally three hall sensors, allowing to use the motor as brushless DC motor.

Phase 2:

It has been foreseen to operate both motor types using a frequency converter, controlled by a voltage/frequency curve. Operating the Eco-Motor as synchronous motor, has shown strong mechanical vibrations and an unacceptable heat dissipation due to the harmonics. Using a brushless DC motor controller, the Eco-Motor showed an optimal control behaviour and no noticeable heat dissipation at zero load. The Eco-Motor operated by a DC brushless controller and two asynchronous motors operated using frequency controllers have been tested on the test bench at Fachhochschule Luzern. The mains of both controller devices was 230 volt and the nominal rpm was 3000.

The efficiency has been measured with nominal and low load. The first asynchronous motor has reached at 30% load an efficiency of about 50%. The maximal efficiency was 66% at 75% load and decreased to 64% at nominal load. The second asynchronous motor had an efficiency of 58% at nominal load. 55W average power loss has been determined at zero load.

The Eco-Motor reached at 30% load already 80% efficiency. The maximal efficiency of 86% has been reached at 60% load. At nominal load, the efficiency was 78%. The power loss at zero load was 17W.

Outstanding was the power savings all over the whole load range of about 60W, comparing both motors.

The reason can be found in the big difference of the efficiency at low load and the bigger absolute power at nominal load while still having the big efficiency difference.

Phase 3

The cost calculation of a 250W Eco-Motor with integrated brushless results in a sales price of CHF 350. The cost of a frequency converter attached to a 250W norm motor are CHF300 at a middle size production lot. At a fully automated mass production the price difference would be at about CHF10 due to the higher cost of the magnetic material.

Applying the results for the power range of 180Watt to 1.1kWatt results in a power savings of about 100W comparing an Eco-Motor and norm motor. Companies residing in Switzerland sell 30'000 norm motors using frequency converters per year. Considering same quantities of imported and exported drive systems and a lifetime of 25000 hours per motor during 5 years, then an energy savings of 75 Mio kWh per year can be saved for Switzerland. This energy can be compared with a middle size river energy plant using 8MW generators. Considering an average price of CHF 0.15 per kWh results in saved energy cost of CHF 11 Mio

The extension of the Eco-Motor development having an integrated controller and ready for the market would significantly reduce the resources and do his contribution to the greenhouse effect. Creating a fully automated mass production for Eco-Motors would create in Switzerland jobs and having a product with a big market potential also outside of Switzerland.

Riassunto

I motori elettrici consumano la metà del consumo energetico complessivo industriale. I motori asincroni con una potenza inferiore ad un 1 kW, operanti a carico parziale, hanno, comandati tramite l'apposito comando, uno scarso coefficiente di rendimento.

Circle Motor AG realizza motori speciali con il rotore formato da magneti permanenti. Questi raggiungono a carico parziale elevati coefficienti di rendimento. Scopo di questo lavoro sono lo studio della fattibilità tecnica e delle capacità di mercato del prodotto.

Il lavoro si divide in tre parti:

- Dimensionamento e realizzazione di un prototipo di motore a risparmio energetico di 250W, per l'utilizzo a 230V.
- Misura dei dati del motore a basso consumo energetico e di un motore asincrono di pari potenza, su un banco di prova dell'Università professionale di Lucerna. I dati verranno poi paragonati.
- Uno studio di mercato appurante che questo motore a risparmio energetico sia concorrenziale a livello di prezzo con un motore asincrono (comando compreso). Inoltre verrà presentato il potenziale risparmio energetico, nel caso in cui venissero utilizzati questi motori a risparmio energetico.

Fase 1:

Il motore a risparmio energetico costruito ha un diametro di 120mm ed una lunghezza di 105mm per un peso pari a 2 kg. Nel motore sono stati integrati anche tre sensori di Hall, così da permetterne il funzionamento come motore DC senza spazzole.

Fase 2:

È stato previsto, per entrambi i motori, il comando tramite un convertitore di frequenza secondo la caratteristica U/f. Il motore a risparmio energetico, comandato come un motore sincrono, ha mostrato elevate oscillazioni meccaniche, così come un surriscaldamento non accettabile, dovuto alle armoniche. Con l'ausilio di un comando per motori DC senza spazzole, il motore a risparmio energetico mostra un comportamento ottimale ed un surriscaldamento a vuoto praticamente nullo. I dati di un motore a risparmio energetico collegato ad un comando per motori DC senza spazzole e di due motori asincroni comandati tramite un convertitore di frequenza sono stati misurati su un banco di prova presso l'Università professionale di Lucerna. La tensione applicata ad entrambi i motori era di 230Volt (rete). Il numero di giri è stato fissato a 3000 giri/min.

Sono stati misurati il coefficiente di rendimento e la potenza a regime di carico parziale e nominale. Il motore asincrono al 30% della potenza nominale ha un coefficiente di rendimento di circa 50%. Il coefficiente di rendimento massimo pari al 66% si ha al 75% della potenza nominale. A potenza nominale quest'ultimo scende al 64%. Il coefficiente di rendimento del secondo motore asincrono, a potenza nominale, era pari al 58%. Le perdite medie a vuoto erano di 55W.

Il motore a risparmio energetico ha raggiunto al 30% della potenza nominale un coefficiente di rendimento pari al 80%. Il coefficiente di rendimento massimo, misurato al

60% della potenza nominale, era di 86%. A potenza nominale si è raggiunto un valore pari al 78%. Le perdite medie a vuoto erano di 17W.

Interessante è la costanza della potenza elettrica risparmiata, ca. 60 Watt, risultante da un confronto tra i due motori, su tutto il campo di carico. La spiegazione sta nella grande differenza dei coefficienti di rendimento a basso regime di carico e nella maggiore potenza assoluta in regime di carico nominale (differenza dei coefficienti di carico ancora presente).

Fase 3:

Per un motore a risparmio energetico di 250W con comando per motori DC senza spazzole integrato è stato calcolato un prezzo di vendita a 350 Fr.-. I costi di un convertitore di frequenza con collegato un motore normalizzato di 250W, sono a 300 Fr.-, realizzati in una serie di media grandezza. Producendo grandi quantità in modo automatizzato risulterebbe una differenza tra i due motori di circa 10 Fr.-, dovuta al materiale magnetico.

Un calcolo della potenza media risparmiata, (campo di potenza da 180Watt a 1.1kWatt) tra il motore a risparmio energetico ed un motore normalizzato è pari a 100Watt. In un anno vengono venduti circa 30'000 motori normalizzati con convertitore di frequenza da ditte con sede in Svizzera. Calcolando la stessa quantità di motori esportati ed importati e considerando una durata di vita di 25'000 ore per ogni motore in 5 anni, si arriva così ad un risparmio energetico pari a 75 Mio. kWh per anno in Svizzera. Questa energia viene prodotta da una centrale elettrica di medie dimensioni con una potenza al generatore di 8MW. Considerando un costo medio al kWh di 15 centesimi, si avrebbe così un risparmio dei costi energetici pari a 11 Mio Fr.-.

La continuazione dello sviluppo di un motore a risparmio energetico con comando integrato (per prodotto pronto per il mercato) porterà al risparmio di importanti risorse dando così un contributo importante nella lotta contro il riscaldamento ambientale. Con la costruzione di una produzione automatica per la realizzazione di motori a risparmio energetico verranno creati posti di lavoro in Svizzera, con un prodotto, con un grande potenziale anche sul mercato estero.

Résumé

La moitié de l'énergie électrique dans l'industrie est utilisée pour moteurs électriques. Des moteurs asynchrones dans la gamme de capacité sous 1 kW qui sont actionnés dans la zone de charge partielle poursuivies à un contrôleur, travaillent avec un mauvais degré d'efficacité. CIRCLE MOTEUR AG produit des moteurs électriques spéciaux avec un rotor aimant permanent. Ces moteurs atteignent un degré d'efficacité élevé dans la zone de charge partielle.

L'objectif de l'ordre moteur énergétique économique est l'examen de la faisabilité technique et de la qualité commerciale.

Le travail est subdivisé en trois phases:

- Calcul et construction d'un moteur énergétique économique avec 250 W comme prototype pour la mode d'emploi à 230 V.
- Mesurage des dates du moteur énergétique économique et d'un moteur asynchrone de même performance sur un banc d'essai de l'école technique supérieure Lucerne. Les dates mesurées des deux moteurs sont comparées.
- Une étude de marché examine si le prix du moteur énergétique économique est compétitif par rapport à un moteur asynchrone et si également le pilotage est inclus. Une déclaration sur le potentiel d'économie d'énergie en Suisse a également lieu si de tels moteurs énergétiques économiques étaient utilisés.

Phase 1:

Le moteur énergétique économique construit montre un diamètre de 120 mm et une longueur de 105 mm avec un poids de 2 kg. Trois sondes de retentissement qui permettent le fonctionnement comme brushless DC moteur sont insérées en plus dans le moteur.

Phase 2:

Le fonctionnement des deux moteurs à un convertisseur de fréquence a été prévu sur un caractéristique U/f. Le moteur énergétique économique, actionné comme moteur synchrone, a montré des oscillations mécaniques fortes ainsi qu'un réchauffement inadmissible par des ondes supérieures. À un brushless DC pilotage, le moteur énergétique économique a montré un comportement de pilotage excellent sans pratiquement pas de réchauffement dans le point mort. Le moteur énergétique économique, attaché à un brushless pilotage et animé de deux moteurs asynchrones au convertisseur, a été mesuré sur un banc d'essai à l'école technique supérieure de Lucerne. La tension d'entrée des deux contrôleurs s'est élevée à 230 V de tension secteur et a un nombre de tours normé à 3000 u/mn.

Le degré d'efficacité et de la performance a été mesuré dans la fonction nominale et partielle. Le moteur asynchrone a atteint un degré d'efficacité d'environ 50 % lors d'une puissance nominale de 30%. Le degré d'efficacité maximal s'est élevé à 66% avec 75% puissance nominale et est tombé avec puissance nominale sur 64%. Le degré d'efficacité du deuxième moteur asynchrone s'est élevé avec la puissance nominal à 58%. Les pertes du point mort ont été déterminées dans le moyen à 55 W.

Le moteur énergétique économique a atteint déjà un degré d'efficacité de 80 % avec une puissance nominale de 30 %. Le degré d'efficacité maximal de 86% s'est élevé à 60% puissance nominale. Le moteur atteint 78% degrés d'efficacité avec la puissance nominale. Les pertes du point mort ont été déterminées à 17 W.

La constance de la performance électrique économisée d'environ 60 w est intéressante concernant le secteur de fret entier en comparaison aux deux moteurs. La justification se trouve dans la différence élevée des degrés d'efficacité dans la zone de charge partielle plus profonde et dans la plus grande performance absolue au secteur de fret nominal, avec la différence encore existante des degrés d'efficacité.

Phase 3:

Le calcul d'un moteur énergétique économique de 250 W avec un brushless pilotage intégré donne un prix de vente d'environ 350 FR. Les frais pour un convertisseur de fréquence d'état d'exploitation avec moteur de norme 250 W attaché s'élèvent à 300 FR -, fabriqué dans une dimension de série moyenne. Lors d'une fabrication automatique d'une haute nombre de pièces, la différence de prix s'élèverait à environ 10 FR entre les deux moteurs, provoqué par le matériel d'aimant.

Une projection dans la gamme de capacité 180 W à 1.1 kW donne une performance économisée moyenne entre moteurs énergétiques économiques et moteurs de norme d'environ 100 W. Par année, 30'000 moteurs de norme avec des convertisseurs de fréquence sont vendues par les entreprises avec siège en Suisse. Si on compte la même quantité de moteurs importés et exportés avec une durée de vie de 25000 heures par moteur pendant 5 ans, une quantité d'énergie économisée de 75 millions kwh y résulte par année en Suisse. Cette quantité d'énergie est produite par une centrale fluviale moyenne avec une performance de générateur de 8 MW.

Des coûts énergétiques économisés de 11 millions de FR y résultent avec un prix de kwh moyen de 15 Ct.

Le développement ultérieur d'un moteur énergétique économique avec un pilotage intégré à un produit prêt pour le marché préservera largement des ressources et apportera ainsi sa contribution contre le réchauffement du climat. Avec la construction d'une fabrication automatique de moteurs énergétiques économiques des emplois seront créés en Suisse avec un produit de grand potentiel de marché aussi en l'étranger.

Ausgangslage und Ziel

Die meisten in der Industrie eingesetzten Motoren sind Asynchronmotoren. Ein anderer Ausdruck für diesen Motor ist Normmotor. Genormt nach IEC sind die Masse des Gehäuses und die abgegebene mechanische Leistung an der Welle. Die Wicklung ist als Drehstromwicklung ausgebildet. Der Rotor besteht aus einem Kurzschlussläufer. Der Rotor setzt sich in Drehung, wenn zwischen der Drehzahl des rotierenden Magnetfeldes, erzeugt durch den Stator und der Drehzahl des Rotors eine Differenz vorhanden ist, den sogenannten Schlupf.

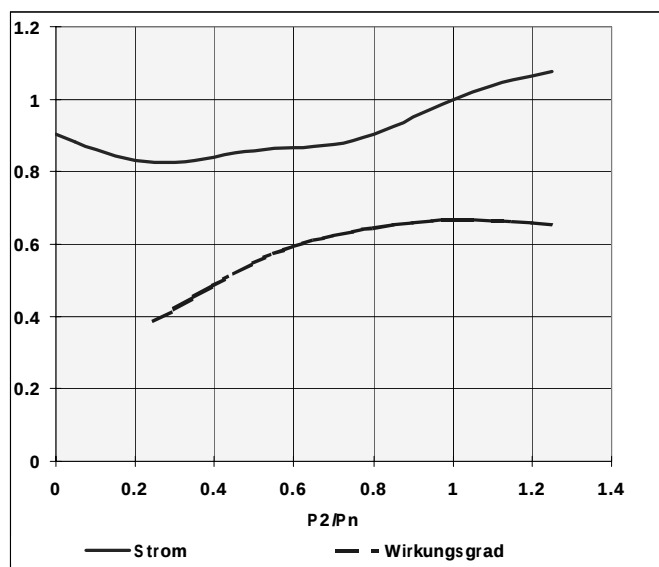
Wird der Normmotor direkt an das 50 Hz Drehstromnetz angeschlossen, so sind nur definierte Drehzahlen möglich, wie 3000 U/min (2 polig), 1500 U/min (4polig), 1000 U/min (6 polig). Die wirkliche Wellendrehzahl ist um den Schlupf reduziert und nimmt mit zunehmender Belastung ab. Müssen Normmotoren in der Drehzahl verstellt werden, ist ein el. Steuergerät nötig, der sogenannte Frequenzumformer.

Folgende Tabelle zeigt die Wirkungsgrade von Normmotoren im Bereich von 180 W bis 1.1 kW.

genormter Bereich der mechanische Wellenleistung von Asynchronmotoren in Watt.	180	250	370	550	750	1100
Wirkungsgrad bei Nennlast von Asynchronmotor in %	60	64	67	71	73	76

In diesem Bereich fällt die geringe Energieeffizienz auf. Bei diesen Normmotoren fließt der el. Strom einerseits durch die Windungen des Stators und andererseits auch durch Induktion in den Aluminiumleitern des Rotor. Es entstehen sowohl im Stator, wie auch im Rotor Wärmeverluste.

Folgenden Grafik zeigt die Kennlinien für einen 250 Watt Normmotor.



Der Wirkungsgrad beginnt etwa bei 40% und erreicht bei Nennlast ca. 65 %, wobei sich der Aufnahmestrom über den ganzen Leistungsbereich nur um etwa 20% vom Nennstrom unterscheidet. Die Verluste durch den Stromfluss in der Wicklung sind somit etwa konstant und entsprechen den Verlusten bei Nennlast, auch wenn der Normmotor im Leerlauf betrieben wird.

Bei einer anderen Bauart von Motoren wird das Magnetfeld des Rotors mit Dauermagneten (Permanentmagneten) erzeugt. Diese Permanentmagnet Motoren benötigen somit für den Aufbau des Magnetfeldes im Motor keine zusätzliche Energie. Mit einer geeigneten Steuerung nimmt, bei dieser Motorenart, der Aufnahmestrom mit steigender Belastung zu. Wärmeverluste durch den Stromfluss entstehen nur noch in den Wicklungen des Stators. Durch diese Eigenschaften werden geringere Leerlaufverluste und ein höherer Wirkungsgrad, im angesprochenen Leistungsbereich erzielt. Solche Permanentmagnet Motoren benötigen im Gegensatz zu den Normmotoren, zwingend eine el. Steuerung. Aus diesem Grund berücksichtigt dieses Projekt „Energiesparmotor“ nur Motoren die an el. Steuer- oder Regelgeräten betrieben werden. Der Energiesparmotor ist nach diesem Prinzip gebaut.

Auslegung des Energiesparmotors als Prototyp (Phase 1)

CIRCLE MOTOR AG baut Permanentmagnet Motoren mit einem speziellen Stator. Der bestehende Motor CM120 wurde für den Antrieb von automatischen Türen entwickelt. Eine geringe Baulänge von 80 mm und der Betrieb des Motors an Niederspannung sind die Merkmale für diese Anwendung. Die Messung dieses Motors, ergab einen maximalen Wirkungsgrad von nur 67%. Zwei wesentliche Aufgaben verlangte die Phase 1, mit der Suche der Verlustquellen im Motor und der Berechnung einer 230 Volt Wicklung.

Die geringe Baulänge des Motors hat zur Folge, dass der magnetische Streufluss der Permanentmagnete in den beiden Flanschen Wirbelströme induziert, die sich in Wärme umsetzen. Eine Analyse mit dem Programm nach der Finiten Element Methode zeigte die Stärke des Streuflusses in axialer Richtung im Motor auf. Gemäss den gewonnenen Erkenntnissen ergab eine Verlängerung des Motors um 20 mm eine genügende Reduktion des Streuflusses in den Flanschen. Ebenfalls verringerten sich die mechanischen Reibungsverluste durch den Austausch der beiden Kugellager, ursprünglich mit Dichtscheiben, durch Kugellager mit Deckscheiben. Die gemessenen Leerlaufverluste betrugen neu 6 Watt bei 1500 U/min an Stelle der 30 Watt ohne diese Massnahmen.

Berechnung der Wicklung und der Motordaten bei 230 Volt

Die Berechnung der Wicklung erfolgte in einem eigens in Excel erstelltem Berechnungsprogramm. Die berechneten und die gemessenen Daten stimmten mit einer Abweichung von 10 % überein.

Berechnungsprogramm für CIRCLE MOTOR

Projekt: **Energiesparmotor**

Grunddaten

Drehzahl	2800 U/min
Mittlere el. Leistung	250 W
Nennspannung	230 * 1.4 Volt
max Wellendrehzahl	2800 U/min
Drehmoment an der Welle	0.9 Nm
Drehzahlkonstante	75.0 V/ (1000U/min)
Drehmomentenkonstante	0.72 Nm / A

el. Daten

Induzierte Spannung bei diesem Drehmoment	225 Volt
Anzahl Magnete	8
Länge der Magnete in achsialer Richtung	0.02 m
Mittlere Windungslänge	0.063 m
Radius des Luftspalts	0.042 m
Mittlere Induktion im Luftspalt	0.6 T
Summe des Cu-Querschnitts pro Spule	12 mm ²
Kraft im Luftspalt auf alle Magnete	20 N
Benötigte Durchflutung	1687 A
Stromdichte	8.8 A/mm ²
CU Verlustleistung	19 W
Geschwindigkeit der Magnete	12 m/s
Windungszahl einer Phase	762 Wdg

Wicklung

Windungszahl pro Spule	100 Wdg
Cu Durchmesser des Leiters	0.4 mm
Anzahl parallelschalteter Stränge pro Phase	1
Summe des Cu Querschnitts pro Spule	12.56 mm ²
Windungszahl einer Phase	800
Widerstand Phase Phase	16.1 Ohm
Induzierte Spannung Phase Phase	236 Volt
Phasenstrom	1.1 A
Cu Verlustleistung	18 W

gemessene Daten

Widerstand Phase Phase	15.7 Ohm
Induktivität Phase Phase	10 mH
Impedanz bei Nenndrehzahl	20 Ohm
Drehzahlkonstante bezogen auf 6 Puls Schaltung	73.0 V/ (1000U/min)

Normen

Zur Anpassung der Wicklung für die neue 230 Volt Betriebsspannung sind folgende Normen gewählt worden.

EN 60034-1, Bemessung und Betriebsverhalten.

EN 60034-18-1; Funktionelle Bewertung von Isoliersystemen, Allgemeine Richtlinien

EN 60034-18-21; Prüfverfahren für Runddraht Wicklungen, Thermische Bewertung

EN 60034-5, Schutzarten aufgrund der Gesamtkonstruktion el. Maschinen (IP – Code)

Folgende Änderungen gegenüber der Niederspannungswicklung sind ausgeführt:

Geprüft wurde die Wicklung des Energiesparmotors gemäss Norm mit einer Prüfspannung von 1500 Volt. Die Norm verlangt bei 230 Volt Motoren eine Erdung, die wie folgt ausgeführt wurde. Alle Gehäuseteile bestehen aus nicht eloxiertem Aluminium, verbunden mit Edelstahlschrauben M4 oder M5. Die Öse des Erdleiters ist mit einer M4 Schraube und einer Federscheibe, im Inneren des Motors, auf den mittleren Aluminiumflansch geschraubt.

Bau des Motors

Mit den bereits vorhandenen Komponenten verlief der Bau des Energiesparmotors ohne Probleme. Eine Sonderanfertigung verlangte die Welle und das Gehäuseprofil mit einer Verlängerung um 20mm gegenüber den bestehenden Teile. Zur Herstellung der 230Volt Wicklung mit einer grösseren Windungs- und Lagenzahl pro Spule musste ein neues Programm für die Wickelmaschinen erstellt werden.

Aufbau der Antriebseinheit Motor mit Steuerung

Vorgesehenen war der Betrieb beider Motoren an einem Frequenzumformer, gesteuert über eine U/f Kennlinie. In Betrieb genommen wurde der Normmotor an einem 400Watt Frequenzumformer, mit einer Standardeinstellung für 50 Hz Anwendungen.

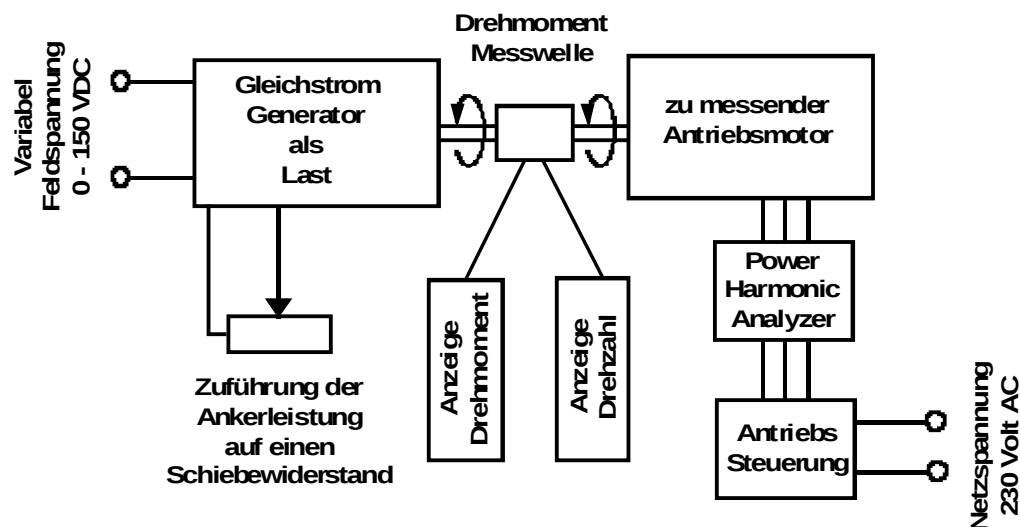
Der Energiesparmotor arbeitet an einem Frequenzumformer als Synchronmaschine. Die Wellendrehzahl des Motors folgt dabei genau der am Frequenzumformer eingestellten Drehzahl. Gemäss Vektordiagramm von Synchronmotoren mit geringer Ankerrückwirkung, nimmt der Phasenstrom mit zunehmender Belastung bis zum Kippstrom zu. Das sogenannte Kippen des Asynchron- und Synchronmotors ist die Eigenschaft, dass der Rotor nach Überschreiten eines bestimmten Lastmoments plötzlich stillsteht. Bei der Inbetriebnahme des Energiesparmotors an einem Frequenzumformer zeigten sich alle diese Eigenschaften, jedoch auch die typischen Pendelschwingungen des Rotors, wie diese bei Synchronmaschinen ohne Dämpferwicklungen üblich sind. Weiter erwärmten die Oberwellen des Phasenstroms den Motor unzulässig. Eine Reihe von Massnahmen am Motor, wie auch am Frequenzumformer könnten Abhilfe schaffen, würden aber den Systempreis erhöhen. Diese Argumente haben mich erwogen den Energiesparmotor als brushless DC Motor zu betreiben.

Brushless DC Motoren haben die Eigenschaften von Gleichstrommotoren, ohne die Nachteile eines mechanischen Kollektors aufzuweisen. Ein weiterer Vorteil liegt im fehlenden Kippen, da bei Belastung das Drehmoment ansteigt, bei gleichzeitiger Reduktion der Drehzahl. Brushless DC Motoren benötigen in jedem Fall eine el. Steuerung, damit können sie stufenlos geregelt werden. Für die el. Steuerung ist ein Lagegeber notwendig, der die Position des Rotors erfasst. Meistens werden im Motor 3 Hallensensoren angeordnet. Neuere sensorlose Steuerungen leiten die Rotorposition direkt von der Phasenspannung des Stators ab.

Der Energiesparmotor, betrieben an einer brushless Steuerung zeigte ein ausgezeichnetes Steuerverhalten, eine sehr gute Laufruhe und praktisch keine Erwärmung im Leerlauf.

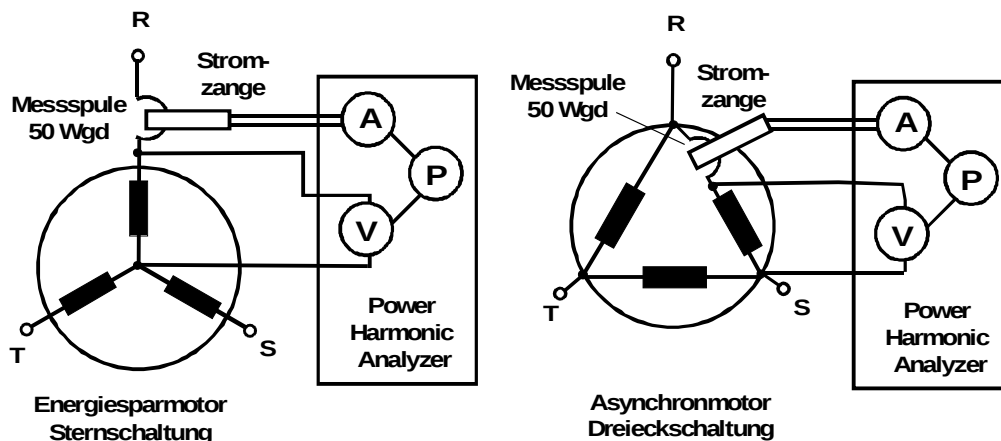
Messung der Motoren (Phase 2)

**Aufbau des Prüfstandes an der Fachhochschule Zentralschweiz
Labor für elektrische Maschinen.**



Kernstück des Prüfstandes ist die Drehmomenten Messwelle T20WN der Firma HBM. Die Messwelle ist an zwei Anzeigegeräte, MP02 für das Drehmoment und MP60 für die Drehzahl, angeschlossen. Die Messwelle verbindet die zu messenden Motoren über eine flexible Wellenkupplung. Als mechanische Last, dient ein Gleichstromgenerator. Die im Anker des Generators erzeugte el. Leistung wird in einem Schiebewiderstand in Wärme umgesetzt. Die Bremsleistung des Generators wird einerseits durch die Feldspannung 0 – 150Volt und durch den Schiebewiderstand, eingestellt. Beide Antriebssteuerungen, Frequenzumformer und brushless Steuerung sind an 230 Volt Netzspannung angeschlossen.

Messkonzept



Ein Power Harmonic Analyzer von Fluke Typ 41B misst den Aufnahmestrom, Spannung und Leistung direkt an einer Wicklung im Motor. Eine Messspule mit 50 Windungen erhöht die Empfindlichkeit der Strommessung. Die Wicklungen beim Normmotor sind in Dreieck geschaltet, sodass der gemessene Strom mit Wurzel 3 multipliziert den Phasenstrom ergibt, für die Gesamtleistung ist die angezeigte Leistung mit 3 zu multiplizieren. Beim brushless Motor sind die Wicklungen in Stern geschaltet. Von den 3 Wicklungen werden nur die beiden mit der momentan grössten verketteten Spannung von der Steuerung mit Strom versorgt. Ein Wicklungsende bleibt für einen zeitlichen Kommutierungsblock unbestromt. Deshalb ist die gemessene Strangspannung zu verdoppeln um die Gesamtspannung zu erhalten, für die Gesamtleistung ist die angezeigte Leistung mit 3 zu multiplizieren. Der Power Harmonic Analyzer misst die el. Grössen als rms Werte und zeigt diese als numerische rms Werte auf einem Display an. Zusätzlich lässt sich das Spektrum der Oberwellen als Balkendiagramm und die Kurvenform der gemessenen Grösse darstellen.

Messvorgang.

Verglichen wurde der Energiesparmotor mit zwei Normmotoren, verschiedener Hersteller. Beide 250 Watt Normmotoren sind 2 polig ausgeführt. Diese Motoren sind im Bericht mit Nr1. bzw. Nr2 bezeichnet.¹

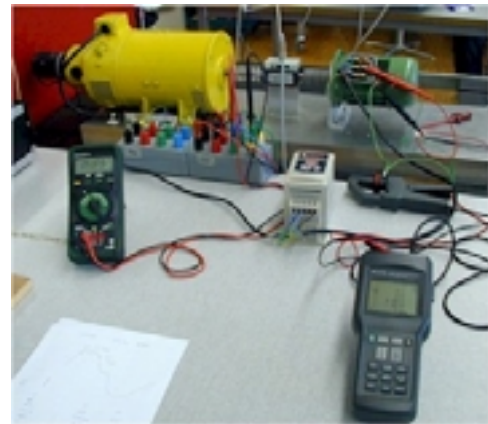
Die Messung der Leerlaufkennlinien erfolgte ohne Anschluss der Motoren an die Messwelle. Erfasst wurden die Werte Aufnahmestrom, Spannung, Leistung und Drehzahl, beim Hochfahren vom Stillstand bis Nenndrehzahl. Bei den Lastmessungen galt für den Frequenzumformer eine Drehfrequenzvorgabe von 50 Hz und 2900 U/min für die

¹ Beide Normmotoren sind low-cost Motoren ohne Angabe der Effizienzklasse. Die zugehörige Klasse wäre eff3 mit einem Wirkungsgrad kleiner 76,2%.

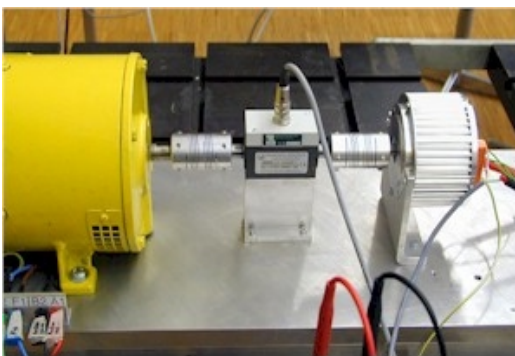
brushless Steuerung des Energiesparmotors. Beide Steuerungen takteten mit einer Frequenz von 6 kHz². Zur Ausmessung des Teillast bis Nennlastbereichs wurde die Feldspannung des Generators von 0 – 150V erhöht und zusätzlich die Belastung am Schiebewiderstand fein eingestellt. Die erfassten Daten waren Strom, Spannung, Leistung, Drehzahl und Drehmoment, wie in folgenden Exceltabellen dargestellt. Durch die relativ grosse Bauform des Generators gelang der Anfang der Messreihe erst bei etwa 30% Nennlast.



Asynchronmotor Nr 1. Im Vordergrund die beiden Anzeigergeräte für Drehmoment und Drehzahl.



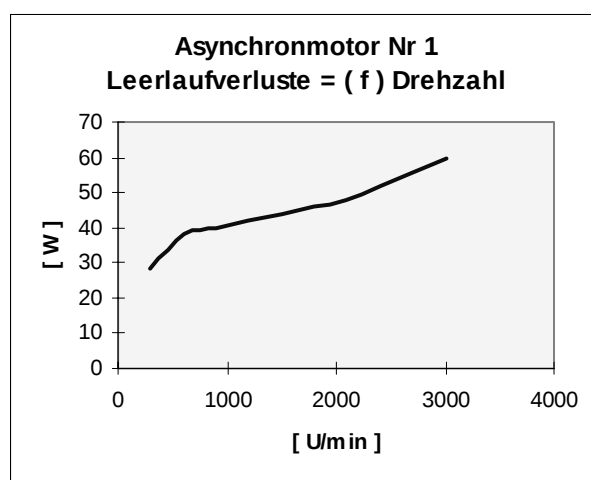
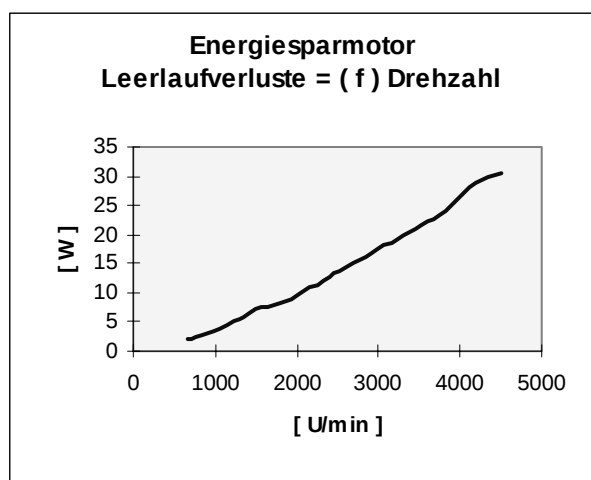
Asynchronmotor Nr 2. Im Vordergrund rechts der Power Harmonic Analyzer



Energiesparmotor auf dem Prüfstand. In der Bildmitte ist die Messwelle sichtbar. Die Maschine rechts ist der Energiesparmotor.

² Begründet durch die Blockkommutierung der brushless Steuerung werden mehr Oberwellen erzeugt als beim Frequenzumrichter. Eine brushless Steuerung mit sinusbewerteter Kommutierung beim Energiesparmotor würde den Gesamtwirkungsgrad durch die Reduktion der Oberwellen noch erhöhen. Der Oberwellenverlauf des Phasenstroms wurde mit dem Power Harmonic Analyser grafisch dargestellt und hat die obige Aussage bestätigt.

Messresultate



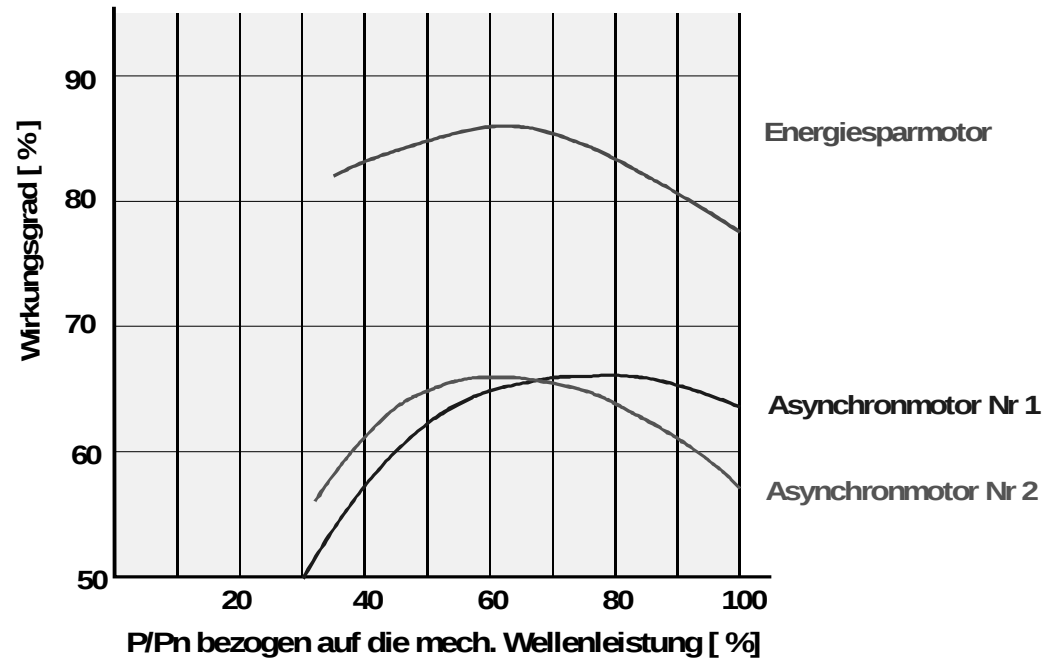
Lastmessungen am Energiesparmotor								
Drehzahl [U/min]	el. Aufnahme- leistung [W]	Wellen- leistung [W]	Gesamt- verluste [W]	Wellenleistung / Nennleistung [%]	Strang- Spannung [V eff]	Phasen- strom [A eff]	Dreh- moment [Nm]	Wirkungs- grad [%]
2929	107	89	18	36	94	0.40	0.29	83
2904	144	122	22	49	95	0.55	0.4	84
2904	180	155	25	62	95	0.68	0.51	86
2901	222	185	37	74	98	0.86	0.61	83
2900	264	219	45	87	99	1.04	0.72	83
2840	300	235	65	94	93	1.14	0.79	78

1510	45	36	9	15	50	0.33	0.23	0.81
1518	59	48	11	19	50	0.42	0.3	0.81
1515	75	62	13	25	52	0.52	0.39	0.82
1512	91	74	16	30	53	0.62	0.47	0.82
1520	117	94	23	38	54	0.78	0.59	0.80
1520	150	116	34	46	58	1.00	0.73	0.77

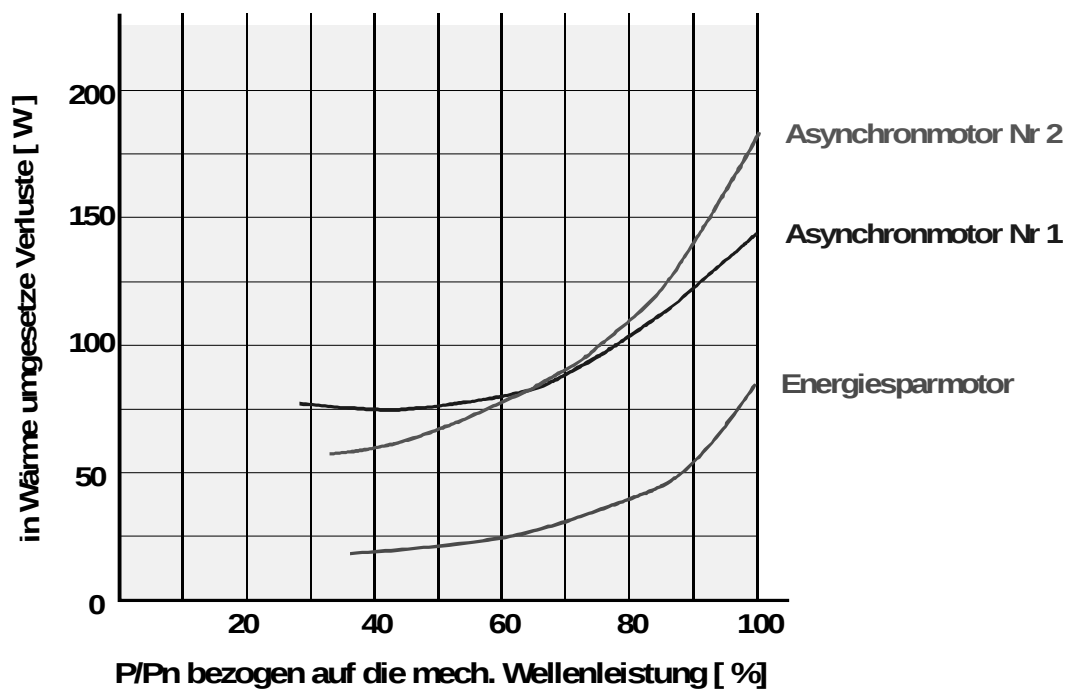
Lastmessungen am Asynchronmotor Nr 1								
Drehzahl [U/min]	el. Aufnahme- leistung [W]	Wellen- leistung [W]	Gesamt- verluste [W]	Wellenleistung / Nennleistung [%]	Spannung Phase- Phase [V eff]	Phasen- strom [A eff]	Dreh- moment [Nm]	Wirkungs- grad [%]
2927	150	74	76	29	217	0.82	0.24	49
2904	180	106	74	43	217	0.86	0.35	59
2881	216	136	80	54	214	0.89	0.45	63
2848	252	164	88	66	212	0.97	0.55	65
2814	288	191	97	77	211	1.00	0.65	66
2780	330	218	112	87	210	1.08	0.75	66
2733	378	243	135	97	207	1.24	0.85	64
2684	420	267	153	107	206	1.30	0.95	64

Lastmessungen am Asynchronmotor Nr 2								
Drehzahl [U/min]	el. Aufnahme- leistung [W]	Wellen- leistung [W]	Gesamt- verluste [W]	Wellenleistung / Nennleistung [%]	Spannung Phase- Phase [V eff]	Phasen- strom [A eff]	Dreh- moment [Nm]	Wirkungs- grad [%]
2900	144	82	62	33	215	0.65	0.27	57
2870	174	108	66	43	213	0.71	0.36	62
2833	204	130	74	52	213	0.74	0.44	64
2780	246	163	83	65	210	0.82	0.56	66
2732	282	186	96	74	210	0.94	0.65	66
2670	330	210	120	84	208	1.03	0.75	64
2590	384	233	151	93	205	1.16	0.86	61
2495	444	256	188	102	203	1.31	0.98	58

Wirkungsgradkennlinie: Energiesparmotor im Vergleich zu den beiden Asynchronmotoren.



Kennlinie der el. Verlustleistung: Differenz zwischen der el. Aufnahmeleistung und der abgegebenen Wellenleistung am Motor.



Marktstudie (Phase 3)

Die Marktstudie setzt sich zwei Ziele:

1. Die Angabe der in der Schweiz eingesparten Energie, wenn solche Motoren eingesetzt würden.
2. Die Prüfung der Marktfähigkeit des Energiesparmotors bezüglich Preis.

Wieviel Energie würde mit Energiesparmotoren in der Schweiz eingespart?

Zur Klärung dieser Frage muss die Differenz der aufgenommenen el. Leistung zwischen Normmotoren und Energiesparmotoren im Zielbereich von 0.2 bis 1.1 kW bekannt sein.

Die Messresultate an 250 Watt Motoren haben gezeigt, dass der Betrag der eingesparten el. Leistung zwischen den beiden Motorenarten über den ganzen Lastbereich etwa konstant ist.

Die Begründung liegt in der hohen Differenz der Wirkungsgrade im tieferen Teillastbereich und der grösseren absoluten Leistung im Nennlastbereich, bei noch vorhandener Differenz der Wirkungsgrade. Gemäss folgender Tabelle lässt sich die mittlere eingesparte Leistung aus dem Wirkungsgrad bei Nennlast ermitteln.

Bestimmung der eingesparten, mittleren, elektrischen Leistung						
zwischen Normmotoren (Asynchronmotoren 3 phasig) und Energiesparmotoren, im Normbereich von 0.18 bis 1,1 KW.						
Der Wirkungsgrad des Energiesparmotors ist aus der Messung bei 250 Watt bestimmt. Für die anderen Stufen wird eine realistische Staffelung von 2 % eingetragen. Bei den Asynchronmotoren sind die Daten des Wirkungsgrads den Herstellerdaten entnommen.						
genormter Bereich der mechanische Wellenleistung von Asynchronmotoren in Watt.	180	250	370	550	750	1100
Wirkungsgrad von Asynchronmotoren verschiedener Hersteller. Werte in % bei Nennlast						
Asynchronmotor 2 pol, Nr. a	64	67	70	74	77	77
Asynchronmotor 4 pol, Nr. b	56	58	64	66	69	72
Asynchronmotor 2 pol, Nr. c	62	64	66	70	73	74
Asynchronmotor 4 pol, Nr. d	52	62	66	70	70	73
Asynchronmotor 2 pol, Nr. e	64	67	66	76	76	80
Asynchronmotor 4 pol, Nr. f	59	63	71	68	75	81
Mittlerer Wirkungsgrad Asynchronmotor in %	60	64	67	71	73	76
Benötigte el. Eingangsleistung bei Nennlast in Watt.	303	394	551	778	1023	1444
Energiesparmotor, Wirkungsgrad in %	76	78	80	82	84	86
Benötigte el. Eingangsleistung bei Nennlast in Watt.	237	321	463	671	893	1279
Differenz der el. Eingangsleistung Asynchronmotor zu Energiesparmotor bei Nennlast in Watt	66	73	88	108	130	165
Mittelwert über alle Leistungsstufen in Watt.	<u>105</u>					

Um die eingesparte Energie pro Jahr in der Schweiz zu ermitteln, müssten die Anzahl Motoren, ihre Nennleistung, die Einschaltdauer und die gefahrenen Lastprofile bekannt sein. Diese Daten zu ermitteln ist unmöglich. Deshalb wurde für die Marktstudie zum Energiesparmotor vereinbart, die Anzahl in Betrieb stehender Motoren in der Schweiz aus den Verkaufszahlen zu ermitteln.

In der Schweiz verkaufte gesteuerte / geregelte Antriebssysteme

		Stückzahl im Jahr 2000	Stückzahl im Jahr 2001
Klasse:	AC-Servomotoren mit Encoder		
	Integralmotoren 0.2kW - 75kW	1'200	2'150
	an Servoverstärker 0.4Nm - 1.5 Nm	5'439	5'213
	an Servoverstärker 1.5 Nm - 5 Nm	10'096	10'438
Klasse:	Asynchronmotoren an Frequenzumformern		
	gesteuert über U/f Kennlinie 0.2kW - 1.1kW	22'150	23'163
	Schätzung aus Sektor Vectorcontroll 0.2kW - 1.1kW	10'000	10'000
Klasse:	Kleinmotoren unter 200W	442'000	555'000

Für die weitere Untersuchung wird die Klasse der Asynchronmotoren an Frequenzumformern gewählt. In der Klasse der Servomotoren ist ebenfalls ein hoher Wirkungsgrad zutreffend, da die meisten Motoren mit Permanent Magnet Rotor ausgeführt sind. Die Stückzahl bei den Kleinmotoren ist zwar gross, jedoch die Motorenart nicht angegeben. Hier sind sicher effiziente elektronisch kommutierte Kleinmotoren und uneffiziente Asynchronmotoren, so wie bürstenbehaftete Gleichstrommaschinen enthalten.

Für die weitere Rechnung wird von 30'000 Stück in der Schweiz pro Jahr verkauften Normmotoren an Frequenzumformern betrieben, ausgegangen.

Anzahl verkaufter Motoren betrieben an

Frequenzumformern pro Jahr in der Schweiz 30'000 Stk

Lebensdauer pro Motor 5 Jahre

Anzahl Motoren betrieben an Frequenzumformern

im Leistungsbereich 0.2 - 1.1 kW in der Schweiz 150'000 Stk

Lebensdauer pro Motor in Betriebsstunden 25'000 Std

Anzahl Betriebsstunden aller Motoren pro Jahr 750'000'000 Std

Mittlere eingesparte Leistung pro Motor 100 Watt

Eingesparte elektrische Energie in der Schweiz pro Jahr 75 Mio. kWh

Mittlerer Preis für eine kWh 0.15 Fr.-

Eingesparte Energiekosten in der Schweiz pro Jahr 11.25 Mio. Fr.-

Eingesparte mittlere Kraftwerksleistung 8.6 MW

Es ergibt sich somit eine Energieeinsparung in der Schweiz von 75 Mio. kWh wenn anstelle von Normmotoren Energiesparmotoren eingesetzt würden. Diese Energiemenge entspricht einem mittleren Flusskraftwerk mit einer Generatorleistung von 8 MW. Bei einem mittleren kWh Preis von 15 Rappen ergeben sich eingesparte Energiekosten von Fr. 11 Mio..

Prüfung der Konkurrenzfähigkeit

Die Kalkulation des Energiesparmotors basiert auf den eingeholten Offerten bei der Entwicklung des Niederspannungsmotors mit gleichem Aussendurchmesser. Da die integrierte Antriebselektronik nicht Bestandteil dieses Auftrages ist, wurden für die Kalkulation der Bauteile Erfahrungswerte eingesetzt. Eine Ausnahme ist ein hoch-integrierter Leistungsbaustein, der praktisch alle Funktionen für den 230Volt Kreis beinhaltet. Dazu wurde ein Preis angefragt. Der kalkulierte Verkaufspreis eines Energiesparmotors als Integralmotor beträgt 350Fr.-. Untersucht wurden die Kosten des Energiesparmotors, wenn käufliche IEC Normteile für das Gehäuse verwendet würden. Der Verkaufspreis liegt dabei um ca. 10 Fr.- höher, begründet durch den Mehraufwand an Material für die Montage der Antriebssteuerung. Diese Kalkulationen beziehen sich auf ein Produktionslos von 1000 Stk und eine Wellenleistung am Motor von 250Watt bei 3000 U/min.

Ein Frequenzumformer 250W mit einphasigem Eingang kostet in der Serie von 500 Stk etwa Fr. 200.--. Ein Normmotor gleicher Leistung kostet im unteren Preissegment Fr. 80.-. Wird in die Rechnung das Verbindungskabel, Montage und Inbetriebnahme einbezogen, so ergibt sich für die fertige Antriebseinheit einen Preis von Fr. 300.--.

Zusammenstellung der Anfragen und erhaltenen Offerten	
Firma	Anfrage, Offerte
Firma 1	Normmotor 250W, 3000 U/min Angebot 81.- Fr bei 500 Stk
	Normmotor 250W, 1500 U/min Angebot 85.- Fr bei 500 Stk
Firma 2	Normmotor 250W, 2800 U/min Angebot 41.- Fr bei 1000 Stk
	Angebot nicht relevant, da Restposten angeboten wurde.
Firma 3	Normmotor 250W, 2660 U/min Angebot 129.- Fr bei 1000 Stk
Firma 4	keine Offerte erhalten
Firma 5	Nur Katalog erhalten, keine Preise
Firma 6	Bietet nur Kleinmotoren an
Firma 7	keine Offerte erhalten
Firma 8	lehnte selber Angebot für Normmotoren ab, da nicht konkurrenzfähig

Firma 9	Integralmotor 550Watt Preis in Serie 837.-Fr minus 25%
Firma 10	Frequenzumformer 250W 199.- Fr bei 500 Stk
Firma 11	Frequenzumformer 250W 275.- Fr bei 10 Stk
Firma 12	Frequenzumformer zum Aufbau auf Motor 370W 192.- Fr bei 1000 Stk

Interessant ist, dass nur Firmen angeboten haben, deren Normmotoren im Ausland in sehr hohen Stückzahlen hergestellt werden. Die Vermutung liegt nahe, dass der Hauptanteil bei den Normmotoren im unteren Leistungsbereich von wenigen Herstellern produziert werden, die in der Lage sind, diese Motoren automatisch und in hoher Stückzahl zu fertigen.

Grundsätzlich unterscheidet sich ein Normmotor und ein Energiesparmotor (ohne Ansteuerelektronik) bezüglich der Fertigung und den Materialien, nur im Rotor. Das Magnetmaterial für den Energiesparmotor ist nicht mehr preisentscheidend. Der Preisunterschied begründet durch das Magnetmaterial würde bei hohen Stückzahlen eine Differenz im Verkaufspreis von etwa 10 Fr. zwischen den beiden Motorenarten betragen.

Marktsegmente eines Energiesparmotors in der Schweiz

Bei allen Antriebsanwendungen mit langen Laufzeiten des Motors. Die Preisdifferenz von 50 Fr.- zwischen Energiesparmotor und Normmotor inkl. Steuerung amortisiert sich nach etwa 3000 Betriebsstunden. Rechnet man mit einer Lebensdauer eines Motors von 25000 Std so würden im Mittel etwa 300 Fr eingespart. Der Energiesparmotor hätte sich so selber bezahlt.

Damit ein Gebäude die strengen Energieverbrauchskriterien des „Minergie-Labels“ erfüllen kann, ist der Einbau einer Komfort-Lüftung notwendig. Der Energiesparmotor für den Antrieb des Ventilator, als wichtiger Bestandteil einer Komfortlüftung, ist während 20 Jahren ununterbrochen in Betrieb, d.h. es wird eine extrem lange Lebensdauer verlangt. Der Motor muss einen möglichst grossen Wirkungsgrad haben , da die Energieaufnahme des Ventilators in die Minergie-Energiebilanz mitaufgenommen wird.

Der Energiesparmotor wird sich auch dort rasch durchsetzen, wo heute Normmotoren mit Frequenzumformern Positionierungsaufgaben übernehmen. Für Regelungs- und Positionierungsaufgaben wirkt sich der Schlupf beim Normmotor negativ aus. Geringere Anfahrmomente, trägere Regeleigenschaften, sowie Überhitzungsgefahr des Normmotors oder des angeschlossenen Getriebes, bei kleinen Drehzahlen durch fehlende Ventilation, sind die Folge.

Der Energiesparmotor kennt diese Nachteile nicht. Der Grund liegt beim Permanentmagnet – Rotor. Der Rotor folgt dabei genau dem Magnetfeld des Stators ohne Schlupf. Hohe Anfahrmomente und ein Haltemoment im Stillstand sind gegeben. Durch den höheren Wirkungsgrad ist die Überhitzungsgefahr wesentlich geringer.

Der Energiesparmotor kann sich deshalb im Marktbereich der automatischen Türen, Gebäudetüren, Lifttüren durchsetzen. In der Schweiz sind 120'000 Aufzüge und 200'000 automatische Türen in Betrieb.

Der Vorteil der Kompaktheit des Energiesparmotors bietet sich dort an, wo enge Platzverhältnisse vorhanden sind. Ein 250W Energiesparmotor wiegt etwa die Hälfte eines Normmotors. Die Länge des Energiesparmotors ist etwa um 1/3 reduziert.

Mitsubishi bringt neu hochintegrierte, Leistungsbausteine auf den Markt, die für den Einsatz in Klimaanlage, Waschmaschinen und Kühlschränken zum Antreiben von Drehstrommotoren, vorgesehen sind. Diese Bausteine reduzieren den Schaltungsaufwand und die damit verursachten Kosten drastisch. Es ist nicht auszuschliessen, dass in naher Zukunft auch Normmotoren, die heute starr am Netz laufen, elektronisch gesteuert werden.

Für den Energiesparmotor ausgelegt als Integralmotor ist dieser Trend der Halbleiterhersteller zukunftsweisend.

Mit 20 Mio. Stück Kleinventilatoren, Stromverbrauch 500GWh/ Jahr

2,4 Mio Stück Umwälzpumpen, Stromverbrauch 1'400 GWh/Jahr

wäre die Stromeinsparung in der Schweiz gewaltig.

Ausblick

Das Projekt „Energiesparmotor“ hat gezeigt, dass ein Energiesparmotor mit integrierter Steuerung bezogen zu einem Normmotor mit Frequenzumformer preislich konkurrenzfähig ist und sich die Wirkungsgrade zwischen beiden Motoren massgebend unterscheiden.

CIRCLE MOTOR AG schlägt deshalb vor, den Energiesparmotor mit einer el. Steuerung als marktreifes Produkt zu entwickeln und in einem Folgeprojekt einzusetzen.

Beschreibung des Folgeprojekts: Air-On Komfort-Lüftungssystem

Damit ein Gebäude die strengen Energieverbrauchskriterien des „Minergie-Labels“ erfüllen kann, ist der Einbau einer Komfort-Lüftung notwendig. Dabei wird kontinuierlich die verbrauchte Luft im Gebäude durch frische, über ein Kanalsystem zugeführte Luft ersetzt. Das periodische Öffnen der Fenster zur Sicherstellung des notwendigen Luftwechsels wird damit ersetzt.

Ausgangslage:

Heutige gut wärmegeämmte Hausfassadensysteme mit dicht schliessenden Fenstern lassen zuwenig Frischluft in die Wohnräume. Mangelndes Wohlbefinden sind die Konsequenz.

Werden die Fenster zur konventionellen Fensterlüftung geöffnet, wird die aufwendige und kostenintensive Wärmedämmung der Fassade nutzlos.

Im Sommer wünscht sich der Bewohner kühle Frischluft, ohne eine separate Klimaanlage anschaffen und installieren zu müssen.

Systembeschreibung:

Air-On ist ein Komfort-Lüftungssystem, das ganzjährig Frischluft in die Räume bringt.

Im Winter wird aus der Abluft die Wärme entzogen, um diese der Frischluft zuzuführen (Wärmerückgewinnung, Wärmerekuperation). Dabei wird ein Wirkungsgrad von über 90% erreicht.

Im Sommer wird über Verdunstung von Frischwasser die zugeführte Frischluft um max. 5 Grad gekühlt.

Vorteile für den Kunden:

- Ununterbrochene Zufuhr gesunder (d.h. gefilterter) frischer Luft ohne Durchzugerscheinungen.
- Einsparung an Heizenergie von ca. 20%
- Im Sommer wird gekühlte Frischluft eingeblasen
- Um vor Lärm (Strassen-, Bahn- und Luftverkehr) zu schützen, kann endlich bei geschlossenen Fenstern gesund geschlafen werden
- Moskitos, Wespen, Pollen (Allergiker) und Strassenstaub bleiben draussen
- Geschlossene Fenster sind der beste Schutz vor Einbruch
- Keine individuellen Luftbefeuchter in den einzelnen Zimmern mehr notwendig (Energieeinsparung, Komfortverbesserung)
- Verhinderung von bauphysikalischen Schäden durch Schimmelpilze
- Versorgung mit gekühlter Frischluft im Sommer
- Wertsteigerung der Liegenschaft

Der Markt:

Eine Studie der Fachhochschule Luzern (HTA Luzern, welche mit an der Entwicklung des „Minergie-Labels“ des Bundes beteiligt war) kommt zum Schluss, dass 2002 der Markt für Komfort-Lüftungsgeräte in der Schweiz bei 20'000 Anlagen liegt. Die Tendenz für die folgenden Jahre ist stark steigend.

Anforderungsprofil an den Energiesparmotor zum Antrieb des Ventilators:

Der Ventilator als wichtiger Bestandteil einer Komfortlüftung ist während 20 Jahren ununterbrochen in Betrieb, d.h. es wird eine extrem lange Lebensdauer verlangt.

(Die meiste Zeit läuft der Energiesparmotor dabei im Teillastbereich um 70%).

Der Motor muss einen möglichst grossen Wirkungsgrad haben (da lange Laufzeiten), da die Energieaufnahme des Ventilators in die Minergie-Energiebilanz mitaufgenommen wird.

Die Leistung des Motors liegt um 300 W.

Im Vergleich zu einem Normmotor würden zukünftig bei 20'000 Komfort-Lüftungsanlagen pro Jahr 7 Mio kWh Energie in der Schweiz eingespart.

Beim Einsatz des Energiesparmotors im Air-On Komfort Lüftungssystem würde auch der nötige Breiteneffekt ausgelöst, um mit dem Energiesparmotor im angesprochenen Marktsegment Fuss zu fassen.

CIRCLE MOTOR AG ist ein start-up Unternehmen, dass für die Herstellung grösseren Serien von Energiesparmotoren, Kontakte zu Produktionsfirmen sucht.

Quellenverzeichnis

- Bei Datenquellen „privaten“ Ursprungs ist zu beachten, dass dieses Material oft vertraulich ist und Dritten gegenüber nur beschränkt zugänglich ist. Konstruktionsdetails des CIRCLE MOTORS, Anfragen, Offerten, Kalkulationen werden deshalb nicht veröffentlicht.
- Machbarkeitsstudie Datenerhebung im Programm“ Elektrizität“ nach Verbrauchergruppen. Angaben über Stückzahlen und Energiemengen bezüglich, Kleinventilatoren, Umwälzpumpen, Lifte.
- Gilgen Fördersysteme AG, Oberwangen, Herr Jakob Gilgen. Angaben über Anzahl automatischer Türen in der Schweiz.
- Angaben über Anzahl verkaufter gesteuerter/geregelter Antriebe in der Schweiz. SAP, Herr S.Nussbaum.
- Angaben über Air-On Lüftungssystem: Air-On AG, Cham, Herr Dr. Urs. A. Weidmann.
- Hinweis auf Prospekt Mitsubishi, DIP and Mini DIP intelligent Power Modules, tomorrow's technology today.