



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

ENERGIESPARPOTENTIAL BEI ERSATZ VON GETRIEBEMOTOREN DURCH FU- ANTRIEBE

POTENTIALANALYSE

Schlussbericht

Ausgearbeitet durch

Dr. Ronald Tanner, SEMAFOR AG

Sperrstrasse 104b, 4057 Basel, tanner@semafor.ch, www.semafor.ch

Hans Jörg Riesen, SEMAFOR AG

Sperrstrasse 104b, 4057 Basel, riesen@semafor.ch, www.semafor.ch

Impressum

Datum: 13. März 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@bfe.admin.ch

BFE-Projektnummer: 101421

Bezugsort der Publikation: www.energieforschung.ch und www.electricity-research.ch

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

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Abstract.....	4
1. Ausgangslage	5
2. Ziel der Arbeit	5
3. Lösungsweg.....	5
4. Ergebnisse	6
4.1 Marktdaten	6
4.2 Technische Daten	8
4.3 Beispiel.....	10
4.4 Hochrechnung	10
4.5 Bewertung der Ergebnisse.....	10
5. Diskussion	11
6. Schlussfolgerungen	11
Referenzen	11

Zusammenfassung

Dieses Projekt befasst sich mit dem Energiesparpotential, welches durch den Ersatz von Antriebslösungen mit Getriebe durch solche mit Direktantrieb und/oder Frequenzumrichter zu realisieren ist. Der hohe Anteil von Getriebemotoren (Schätzung 10%) bei elektrischen Antrieben lässt ein erhebliches Potential erwarten. Die folgenden Gesichtspunkte bestimmen jedoch in entscheidendem Masse dieses Potential:

Heutige Getriebe haben mit Ausnahme von Schneckengetrieben (Anteil am Gesamtvolumen ca. 20%) einen hohen Wirkungsgrad von 97-98%.

Getriebe werden hauptsächlich in integrierten Anlagen verwendet. Der hohe Anpassungsgrad an die jeweiligen Prozesse kann den Ersatz erschweren bis verunmöglichen.

Bei sehr tiefen Drehzahlen und/oder hohem Drehmoment haben Getriebeanwendungen einen oft entscheidenden Volumenvorteil.

Unsere Recherchen haben gezeigt, dass trotz dieser hohen Hemmschwellen ein Ersatz von Getriebemotoren mit Direktantrieben ein beachtliches Energiesparpotential beinhaltet.

Bei Konzentration auf Schneckengetriebe, sowie diejenigen Drehzahl- und Drehmomentbereiche, für die vom Einbauvolumen her vergleichbare Direktantriebe schon heute angeboten werden, rechnen wir mit einem Sparpotential in der Grössenordnung von 78 GWh/a.

Abstract

This project deals with the energy saving potential that can be achieved by replacing gear motor driven systems by frequency converter fed direct drives. Estimates have shown that due to the high percentage of gear motor installations, which amounts to approximately 10% of all motor driven systems, a significant amount of energy could be saved. However several barriers impose major restrictions to the broad application of such actions:

With the exception of worm gears that reach about 20% of all gear drives contemporary gears already offer a high efficiency of 97-98%.

Gear motors are often included in OEM integrated solutions. Many processes require complex adaptations that can complicate replacements or make it even impractical.

For low speed or high torque requirements gear motors may have a dominant advantage concerning the compactness.

Our investigations have shown, that in spite of such barriers the replacement of gear motors by direct motors can sum up to a significant amount of energy savings in many cases.

Looking at the worm gear systems and the restricted speed and torque ranges that are covered by the direct drives from several suppliers we assume a total saving potential of about 78 GWh per year for Switzerland.

1. Ausgangslage

Elektrische Motoren sind an knapp der Hälfte des schweizerischen Elektrizitätsverbrauchs beteiligt. Es existiert keine detaillierte Analyse, wie sich dieser Verbrauch auf die verschiedenen Anwendungsgebiete aufteilt. Das Forschungsprogramm Elektrizität des BFE hat Richtwerte für die folgenden Anwendungsgebiete eruiert [1]:

- Lüftungs- und Klimatechnik
- Pumpen
- Kompressoren / Kühlgeräte
- Fördertechnik
- Prozesstechnik

Diese Kategorien decken den Einsatzbereich von elektrischen Motoren ab. Grob gesagt fallen pro Kategorie ca. 10% des totalen Elektrizitätsverbrauchs an (siehe Tabelle 1).

Die ersten drei Kategorien betreffen in der Regel stark drehzahlabhängige Anwendungen ohne Getriebe und bieten sich aus Energie optimierender Sicht für den Einsatz von hoch effizienten Motoren und Frequenzumrichtern an.

In der Förder- und Prozesstechnik hingegen werden sehr häufig Getriebemotoren eingesetzt. Getriebemotoren sind Motoren, die mit einem direkt gekoppelten Getriebe hergestellt werden. Das Getriebe reduziert die Drehzahl und erhöht das Drehmoment in einem sehr weiten Bereich (auch mittels mehrstufiger Getriebe).

Diese Arbeit soll aufzeigen, inwiefern ein Ersatz dieser Getriebemotoren durch Direktantriebe mit Frequenzumrichter möglich ist, und ob sich daraus ein relevantes Energiesparpotential ergibt.

2. Ziel der Arbeit

Ziel des Projektes ist es, die durch den Ersatz von Getriebemotoren mit Direktantrieben und Frequenzumrichter-Antrieben erzielbaren Energieeinsparungen zu quantifizieren.

Nebst einer quantitativen Abschätzung des Einsparpotentials auf der Basis technischer Grundlagen und Marktdaten sollen in diesem Projekt auch die technische Machbarkeit sowie allfällige Hindernisse und Einschränkungen wie Geometrie, dynamisches Verhalten, spezielle betriebliche Anforderungen, etc. untersucht werden.

Die technischen und wirtschaftlichen Randbedingungen sind zu benennen und mögliche Schritte zur Realisierung eines allfälligen Energiesparpotentials aufzuzeigen.

3. Lösungsweg

Folgende Schritte zur Erreichung der Projektziele wurden durchgeführt:

- **Marktdaten:** Evaluation nach Kriterien wie Häufigkeit der Getriebetypen, Drehzahlbereiche, Drehmomentbereiche, betroffene Anwendungsgebiete, etc.
- **Technische Daten:** Evaluation relevanter Kennwerte von Getrieben und Direktantrieben wie Wirkungsgrad, Einbaugrösse, Einbauarten, Wartungsaufwand, Kosten, Regeleigenschaften, etc.
- **Beispiel:** Berechnung des Potentials anhand eines einfachen Beispiels mit einer Getriebe- und einer Direktantrieb-Lösung
- **Hochrechnung:** Berechnung des Energiesparpotentials in der Schweiz anhand der erarbeiteten Daten
- **Analyse:** Interpretation der Ergebnisse im Hinblick auf Realisierbarkeit, insbesondere unter Einbezug der festgestellten Hemmnisse betreffend Ersatz von Getriebeanlagen

4. Ergebnisse

4.1 MARKTDATEN

Anwendungsgebiete von Getrieben

Gemäss der Technologie-Monitoring Studie BFE 2005 [1] teilt sich der Elektrizitätsverbrauch in der Schweiz nach Anwendungsgebieten aufgeschlüsselt wie folgt auf:

	Anwendungsgebiet	Prozentualer Verbrauch
1.	Wärme, etc.	42%
2.	Licht und Kommunikation	13%
3.	Lüftungs- und Klimatechnik	11%
4.	Pumpen	8%
5.	Kompressoren, Kühlgeräte	8%
6.	Fördertechnik, Aufzüge	10%
7.	Prozesstechnik, Werkzeugmaschinen	8%

Tabelle 1: Anteilsmässiger Elektrizitätsverbrauch in der Schweiz (geschätzt)

Aus dieser Aufstellung wird ersichtlich, dass bei 45% des Elektrizitätsverbrauchs elektrische Motoren involviert sind (Kraftanwendungen 3. bis 7.).

Die hauptsächlich mediumsfördernden Anwendungen (Lüftung, Pumpen, Kompressoren) sind für eine Getriebemotoren-Betrachtung nicht relevant. Getriebemotoren spielen in diesen Bereichen nur eine untergeordnete Rolle. Aus energie-optimierender Sicht ist für diese stark drehzahlvarianten Einsatzgebiete vor allem der Einsatz hocheffizienter Motoren mit Frequenzumrichter interessant.

Fördertechnik und Prozesstechnik hingegen haben einen hohen Anteil an Getriebelösungen, welche für die oft langsamen, stetigen Bewegungen (transversal, rotierend) optimal sind. Daten, wie gross der prozentuale Anteil von Getriebemotoren in den Kategorien 6 und 7 (Fördertechnik und Prozesstechnik) ist, sind leider nicht zugänglich oder gar nicht erhoben. Für diese Recherche gehen wir konservativ von der Hälfte der jeweiligen Anwendungen aus. Das ergibt einen Anteil von ca. 9% am gesamten Elektrizitätsverbrauchs.

Häufigkeit von Getriebetypen

Getriebemotoren werden in einer Vielzahl von Ausführungen mit unterschiedlichen Konzepten hergestellt. Kenngrössen wie Wirkungsgrad, Baugrösse, Drehzahl- und Drehmomentbereiche, Einsatzgebiete, sowie Einsatzgebiete unterscheiden sich zum Teil erheblich. Tabelle 2 zeigt eine Zusammenstellung der wichtigsten Getriebetypen mit einer Abschätzung der Einsatzhäufigkeit (Quelle H. Menzi, Siemens AG)

	Getriebetyp	Prozentualer Anteil
1.	Stirnradgetriebe	50%
2.	Kegelradgetriebe	10%
3.	Flachgetriebe	20%
4.	Schneckengetriebe	20%

Tabelle 2: Häufigkeit verschiedener Getriebetypen

Direktantriebe: Verfügbarkeit, Drehmoment-, Drehzahlbereiche

Direktantriebe sind in der Regel hochpolige Hohlwellenmotoren (bis zu 16 Polpaare), die sich durch geringe Wartung, Laufruhe und hohe Dynamik auszeichnen. Die Recherche zur Verfügbarkeit solcher Antriebe im Rahmen dieses Projekts diente dazu, herauszufinden, für welche Drehzahl- und Drehmomentbereiche heute ein Ersatz von Getriebemotoren kostenmässig überhaupt in Frage kommen könnte. Die eruierten Werte sind (Quelle danahermotion.net):

Nenndrehmoment [Nm]: 5 bis 400

Nenndrehzahl [U/min]: 800 bis 60

Nennleistung [kW]: bis 5.5

Für die Potentialabschätzung macht es Sinn, sich auf diese Bereiche zu konzentrieren.

Getriebemotoren: Drehmoment-, Drehzahlbereiche

Interessant ist jetzt, welche Drehmoment- und Drehzahlbereiche Getriebemotoren in obigem Leistungsbereich aufweisen. Es ist uns leider nicht gelungen, quantitative Aussagen über die Verteilung der eingesetzten Getriebe nach Drehzahl- und Drehmomentbereichen zu erhalten. Im nächsten Abschnitt wird jedoch ein konkretes Beispiel analysiert, welches wir als repräsentativ in unsere Überlegungen einbauen.

Im folgenden aber zuerst zwei Katalog-Beispiele (5.5kW und 1.5 kW) aufgeschlüsselt nach Getriebetypen [5]:

	Getriebetyp	Drehmomentbereich [Nm]	Drehzahlbereich [U/min]
1.	Stirnradgetriebe	56 – 17'400	2.8 – 941
2.	Kegelradgetriebe	265 – 30'600	1.6 – 196
3.	Flachgetriebe	146 – 11'500	4.2 – 360
4.	Schneckengetriebe	275 – 3'520	10 – 174

Tabelle 3: Drehmoment-, Drehzahlbereiche Getriebemotoren (5.5kW)

	Getriebetyp	Drehmomentbereich [Nm]	Drehzahlbereich [U/min]
1.	Stirnradgetriebe	16 – 20'000	0.64 – 927
2.	Kegelradgetriebe	55 – 50'600	0.25 – 263
3.	Flachgetriebe	38 – 14'100	0.93 – 374
4.	Schneckengetriebe	30 – 3'100	3.3 – 344

Tabelle 4: Drehmoment-, Drehzahlbereiche Getriebemotoren (1.5kW)

Getriebemotoren: n/M-Klassenanalyse für Mengengerüst

Im Folgenden wurde ein konkretes Mengengerüst von Getriebemotoren nach Drehzahl- und Drehmomentklassen analysiert (Quelle vertraulich). Gesamtzahl der eingesetzten Einheiten 120'000. Installierte Leistung 80 MW.

Drehmomentbereich [Nm]	Anteil an installierter Leistung
<50	25.4%
50 bis 100	43.5%
100 bis 150	18.2%
>150	12.9%

Drehzahlbereich [U/min]	Anteil an installierter Leistung
<60	34.6%
60 bis 120	25.4%
120 bis 240	24.6%
>240	15.4%

Tabelle 5: Drehmoment/Drehzahl Verteilung

Dieses Beispiel zeigt im Drehmomentbereich eine gute Übereinstimmung mit der Verfügbarkeit von Direktantrieben. Die Drehzahlauswertung dagegen zeigt, dass sich eine Mehrheit der Antriebe im unteren Drehzahlbereich der Direktantriebe und darunter befindet. Dies bedingt auch für drehzahlkonstante Antriebe einen Frequenzumrichter, womit ein Ersatz der Getriebelösung wohl am ehesten dort sinnvoll ist, wo bereits ein FU im Einsatz ist.

Fazit

Grundsätzlich ist zur Thematik „Marktdaten zur Verbreitung von Getriebemotoren“ festzustellen, dass die Beschaffung derselben mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden ist. Dies ist zum Einen damit zu erklären, dass sie entweder gar nicht erhoben, oder aus Konkurrenzschutzgründen als hochsensibel behandelt werden. Andererseits existiert der Getriebemotor als Einzelprodukt nur bedingt und tritt meist als integrierter Teil einer Anlage auf. Als Folge davon sind in dieser Potentialbestimmung nur sehr grobe Schätzungen möglich.

Der quantitative Anteil von Frequenzumrichtern bei Getriebemotoren ist ebenfalls unbekannt. Für die Evaluation wird analog zu den übrigen elektrischen Antrieben ein Wert von 30% angenommen.

4.2 TECHNISCHE DATEN

Wirkungsgrad von Getrieben [2]

	Getriebetyp	Wirkungsgrad
1.	Stirnradgetriebe	97% bis 98% pro Stufe
2.	Kegelradgetriebe	97% bis 98% pro Stufe
3.	Flachgetriebe	97% bis 98% pro Stufe
4.	Schneckengetriebe	30% bis 90%

Tabelle 6: Wirkungsgrad verschiedener Getriebetypen

Der Wirkungsgrad eines Systems ist die zentrale Vergleichsgrösse um eine Aussage betreffend Energiesparpotential zu ermöglichen. Wie obige Tabelle zeigt, haben abgesehen von Schneckengetrieben alle Getriebetypen einen hohen Wirkungsgrad. Das lässt nur wenig Spielraum, um durch den Ersatz dieser Getriebe relevante Einsparungen zu realisieren.

Bei den Schneckengetrieben ist die Spannweite des Wirkungsgrads je nach Ausführung, Übersetzung und Leistung sehr gross. Mit zunehmender Übersetzung und abnehmender Leistung sinkt der Wirkungsgrad. Gelingt es hier, im grösseren Umfang Einheiten zu ersetzen, ergibt sich sofort ein erhebliches Sparpotential. Der Spareffekt beginnt bei ca. 10% und kann je nach Anwendung deutlich höher werden.

Motorgeometrie

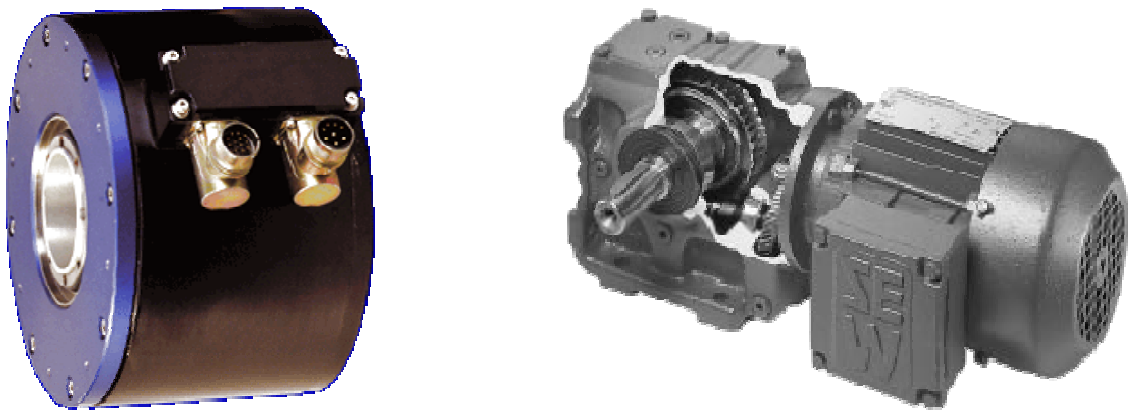


Bild 1: Grössenvergleich Direktantrieb / Getriebemotor mit ähnlichem Drehmoment und Drehzahl

Motortyp	Durchmesser [mm]	Länge [mm]	Drehmoment [Nm]	Drehzahl [U/min]	Volumen [dm ³]
Direktantrieb	362	348	340	60	36
Getriebemotor	221	605	400	63	25

Tabelle 7: Volumenbetrachtung

Eine weitere wichtige Grösse sind die Einbaubedingungen. Bild 1 und Tabelle 7 zeigen den Grössenvergleich eines Direktantriebs mit einem Getriebemotor. Beide sind im Bereich 2.5kW und haben vergleichbare Nennmomente und Nenndrehzahlen.

Die Volumenberechnung in Tabelle 7 zeigt, dass für Antriebe bis 2.5 kW und dem in Kap. 4.1 abgesteckten Drehmoment-/Drehzahlbereich Direktmotoren einbaumässig durchaus mit Getriebemotoren mithalten können. Ihre kompakte Bauweise kann zu einem entscheidenden Vorteil werden. Bei kleineren Drehzahlen und grösseren Momenten steigen die Durchmesser stark an und sind nur für Anwendungen ohne Platzrestriktionen geeignet.

Weitere Kriterien Getriebemotor - Direktantrieb:

- **Positioniergenauigkeit/Spielfreiheit:** der Entfall von mechanischen Übertragungselementen ergibt für Direktantriebe eine hohe Positioniergenauigkeit sowie Spielfreiheit.
- **Regelungseigenschaften:** der direkte Zugriff auf Systemgrössen wie Strom, Drehmoment, Drehzahl bei Direktantrieben vereinfacht die Regelung und verbessert die Regelungseigenschaften (z.B. Steifigkeit, Dämpfung).
- **Betriebskosten:** der bessere Wirkungsgrad von Direktantrieben senkt die Stromkosten und der Entfall von Elementen mit beschränkter Lebensdauer wie Lager, Dichtungen, Schmierstoffe ergibt einen deutlich geringeren Wartungsaufwand.
- **Anschaffungskosten:** gemäss [3] zeigen Marktuntersuchungen, dass Direktantriebe gegenüber Lösungen mit mechanischer Leistungsumformung aktuell um Faktoren zwischen 10 und 20 teurer sind.
- **etablierte Technologie:** Getriebemotoren haben eine hohe Verfügbarkeit und Variantenvielfalt.
- **Aufwand und Zuverlässigkeit:** Jahrzehntelange Anwendung und Optimierung bedeuten geringe Engineering-Aufwendungen und hohe Zuverlässigkeit für Getriebeanlagen.

4.3 BEISPIEL

Um die Tauglichkeit eines Direktantrieb – Einsatzes in der Getriebewelt nachzuweisen wurde das Rechenbeispiel der „Kettenförderer mit Frequenzumrichter“ ([2], Kapitel 11) ausgewählt. Die Anwendung ist ein Förderband für Kisten, Leistungsbedarf ca. 6kW, 16 Stunden pro Tag in Betrieb. Eine hinreichend allgemeine Anwendung für eine sinnvolle Aussage zum Energiesparpotential.

Die Auslegung soll hier nicht im Detail aufgezeigt werden. Wegen der oben erwähnten grossen Wirkungsgradspanne von Schneckengetrieben, wird für eine erste Leistungsbetrachtung ein Wirkungsgrad von 70% angenommen. Daraus ergeben sich die Anforderungen an Motor und Umrichter. Nun kann das Getriebe ausgelegt werden. Dieses hat einen Wirkungsgrad von 86%. (In einem zweiten Schritt kann nun überprüft werden, ob ein Motor der nächst tieferen Leistungsklasse genügt.)

Ersetzt man nun diesen Getriebemotor mit einem Direktantrieb und postuliert konservativ für den Asynchronmotor und den Direktmotor denselben Wirkungsgrad ergibt sich ein elektrisches Energiesparpotential von 14% für die Anlage. Betriebsdynamische und räumliche Probleme sollten keine entstehen. Natürlich sind die oben unter „weitere Kriterien“ aufgeführten Punkte zu beachten.

Wichtig ist hier, dass ein Schneckengetriebe am oberen Ende des Wirkungsgradsbereichs ersetzt wird. Deutlich grössere Verbesserungen als 14% sind je nach Anwendung also möglich.

4.4 HOCHRECHNUNG

Für die Hochrechnung des Energiesparpotentials durch den Ersatz von Getriebemotoren mit Direktantrieben kommen folgende Hauptkriterien zum Einsatz:

- Getriebewirkungsgrad
- Drehzahl- und Drehmomentbereich

Der Wirkungsgrad (Tabelle 6) identifiziert eindeutig die Schneckengetriebe als Hauptansatzpunkt für Verbesserungen. Das Mengenbeispiel (Tabelle 5) zeigt, dass eine grosse installierte Leistung im für Direktantriebe interessanten Bereich vorhanden ist. Bei einer angenommenen Betriebsdauer von 5000 h/a ergibt sich ein Energieverbrauch von 400GWh/a.

Ausgehend von einem elektrischen Energieverbrauch von ca. 58TWh/a (=100%, ganze Schweiz 2006) ergeben sich für elektrische Motoren (45%, Tabelle 1) 26TWh/a.

1) Relevante Antriebsgebiete (Fördertechnik, Prozesstechnik):	18%	10.44TWh/a
2) Anteil Getriebemotoren (Annahme: 50% Fördertechnik, Prozesstechnik):	9%	5.22TWh/a
3) Daraus der Anteil Schneckengetriebe (20%, Tabelle2):	1.8%	1.04TWh/a

Unter der Annahme, das die Hälfte der Schneckengetriebe ersetzbar ist und wir mindestens eine Wirkungsgradverbesserung von 15% (siehe 4.3) erreichen ergibt sich:

4) Totales Energiesparpotential:	78GWh/a
----------------------------------	---------

Weitere Bereiche für Potential sehen wir bei Grossantrieben aus dem Bereich Prozesstechnik (Werkzeugmaschinen) [4], die sich besonders dank des gewünschten Betriebsverhaltens für Direktantriebe eignen.

4.5 BEWERTUNG DER ERGEBNISSE

Als eindeutige Hauptschwierigkeit für eine Potentialanalyse im Bereich Energieeinsparungen beim Ersatz von Getriebemotoren entpuppte sich die Unzugänglichkeit von Marktdaten.

Ohne zuverlässige Daten ist es insbesondere schwierig, die in Frage kommenden Segmente zu bestimmen. Gefehlt hat in erster Linie eine klare Aufteilung in Drehzahl- und Drehmomentbereiche, Aussagen über installierte Leistungen und Betriebsstunden, sowie der Anteil Frequenzumrichter mit Getriebemotoren.

Trotzdem sollte das geschätzte Potential in der Grössenordnung der Realität nahe kommen.

Ein Punkt, dem im Umfeld Getriebemotoren grosse Beachtung zu schenken ist, sind die Hemmnisse für einen Ersatz solcher Anlagen:

- ein hoher Integrationsgrad der Anlagen an sich und der dazugehörigen Prozessen.
- die seit langem etablierte Technologie mit vergleichsweise geringem Engineering-Aufwand, das heisst höhere Kosten für Direktantriebe auch in diesem Bereich.
- die bis jetzt erhältlichen Direktantriebe decken nur einen Teil Drehzahl/Drehmoment – Bereiches von Getriebemotoren ab. Ausserhalb dieses Bereiches sind (noch) keine Standardlösungen erhältlich.

5. Diskussion

Schwerpunkt dieser Recherche war das Segment Schneckengetriebe. Unter der Voraussetzung dass die beschriebenen Hemmnisse abgebaut werden können und langfristig investiert wird, zeigt sich zweifellos ein grosses Energiesparpotential.

Auch bei den anderen Getriebearten ist ein Sparpotential vorhanden, jedoch ein deutlich geringeres. Wirkungsgradverbesserungen bis zu 5% sind unter Einbezug effizienterer Motoren möglich.

Beide Fälle beziehen sich auf Motoren im Leistungsbereich bis maximal 5kW. Bei grösseren Leistungen, die zum Beispiel bei Werkzeugmaschinen gefordert sind, steht wohl eher das bessere technische Betriebsverhalten im Vordergrund.

6. Schlussfolgerungen

Weitere theoretische Abklärungen scheinen aus Sicht der Datenlage nicht sinnvoll. Als nächste Schritte könnten folgende Projekte geplant werden:

- Eruiieren einer Anlage, mit dem in diesem Bericht erarbeiteten Profil. (Überzeugungsarbeit beim Betreiber)
- Durchführen von Retrofit-Massnahmen an ausgewählten Anlagen, Vergleichsstudien

Referenzen

- [1] **Technologie-Monitoring** Weitere Bereiche - Vertiefungen, Dr.EICHER+PAULI AG, econcept AG, BFE-Programm Energiewirtschaftliche Grundlagen, Kapitel 4, April 2005.
- [2] **Praxis der Antriebstechnik Band1**, Antreibsauslegung mit Getriebemotoren, SEW Eurodrives, Juni 1997
- [3] **Direktmotoren passend ausgewählt**, Detmar Zimmer, Joachim Böcker, Alexander Schmidt, Bernd Schulz, Antriebstechnik 2/2005
- [4] **Direct Drive Torque Motors for Machine Tool Applications**, Arthur Holzknacht, ETEL, Inc.
- [5] **SEW Eurodrive**, Katalog Getriebemotoren, 1996