

Zukunftsmarkt Effiziente Elektromotoren

Fallstudie im Rahmen des Vorhabens
„Wissenschaftliche Begleitforschung zu übergreifenden technischen,
ökologischen, ökonomischen und strategischen Aspekten des
nationalen Teils der Klimaschutzinitiative“

FKZ 03KSW016A und B

Autoren:

Dr. Patrick Plötz, Dr. Wolfgang Eichhammer
Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI)

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Förderkennzeichen FKZ 03KSW016A und B gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.



Karlsruhe
Oktober 2011



Kurzfassung	1
Executive Summary	2
1 Einleitung	3
2 Potenziale effizienter Elektromotoren	4
2.1 Technologiebeschreibung	4
2.2 Nutzen für Umwelt	8
2.3 Wirtschaftliche Perspektiven für Elektromotoren: Märkte und Energieeinsparpotenziale	10
2.3.1 Verkauf effizienter Motoren.....	10
2.3.2 Betrieb effizienter Elektromotoren.....	14
3 Internationaler Leistungsvergleich	16
3.1 Patentanalyse	16
3.2 Wettbewerbssituation.....	18
4 Innovationssystem und Initiativen	25
4.1 Akteursanalyse	25
4.2 Rahmenbedingungen und politische Initiativen	28
4.3 Brancheninitiativen.....	31
4.4 R&D für innovative Elektromotoren.....	31
5 SWOT-Analyse Deutschland	33
6 Fazit und Handlungsempfehlungen	34
Literatur	35

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Wirkungsgrade effizienter 4-pol Elektromotoren.....	7
Abbildung 2:	Stromverbrauch nach Anwendung und Land: Anteil Elektromotoren (linke Achse) und Gesamtverbrauch Elektromotoren (rechte Achse)	10
Abbildung 3:	Welthandel Elektromotoren insgesamt	11
Abbildung 4:	Marktanteile effizienter Elektromotoren in Europa	12
Abbildung 5:	Marktzahlen IE3-Motoren USA: links Marktanteile und rechts Stückzahlen 2003.....	13
Abbildung 6:	Produktion von Elektromotoren in 2007 Deutschland.....	13
Abbildung 7:	Produktionswert von in Deutschland produzierten Elektromotoren 2007	14
Abbildung 8:	Anteile einzelner Anwendungen am Stromverbrauch der Industrie in Deutschland, 2004 (elektrische Antriebe sind dunkel hervorgehoben)	15
Abbildung 9:	Länderanteile an Patenten im Bereich Elektromotoren und Steuerungen.....	16
Abbildung 10:	Zeitliche Entwicklung Relativer Patentanteil im Bereich Elektromotoren (oben) und Steuerung von Elektromotoren (unten).....	17
Abbildung 11:	Relativer Patentanteil im Bereich Elektromotoren verschiedener Länder: Mittelwerte und Schwankungen um diesen Mittelwert (Jahre 1998 – 2008)	18
Abbildung 12:	Welthandel verschiedener Länder insgesamt (alle Produkte)	19
Abbildung 13:	Exporte Elektromotoren insgesamt wichtiger Länder	19
Abbildung 14:	Relativer Handelsvorteil (RWA) für Elektromotoren insgesamt wichtiger Länder	20
Abbildung 15:	Relativer Exportbilanzvorteil (RCA) für Elektromotoren insgesamt wichtiger Länder.....	21
Abbildung 16:	Brutto-Exporte verschiedener Länder für Gleichstrommotoren und -generatoren mit 0,75 – 75 kW Leistung (links) bzw. 75 – 375 kW (rechts)	21
Abbildung 17:	Länderanteile am Weltexport im Bereich Wechselstrommotoren.....	22
Abbildung 18:	Exportvolumen verschiedener Länder im Bereich Drehstrommotoren. Leistungsbereiche < 0,75 kW (links), 0,75 – 75 kW (rechts) und > 75 kW (unten).....	23
Abbildung 19:	Relativer Patentvorteil versus relativer Handelsvorteil im Bereich aller Elektromotoren (Mittelwerte der letzten fünf Berichtsjahre).....	23
Abbildung 20:	Übersicht der Hemmnisse im Produktzyklus	25
Abbildung 21:	Marktanteile nach Herstellern von elektrischen Antrieben in Deutschland 2004	26
Abbildung 22:	Zeitpunkt der Einführung von Mindeststandards	30

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Leistungsklassen Elektromotoren	5
Tabelle 2:	Klassifikationsschemata effizienter Elektromotoren.....	6
Tabelle 3:	Stromverbrauch und indirekte Emissionen durch Elektromotoren weltweit.....	9
Tabelle 4:	Weltmarkt Elektromotoren.....	12
Tabelle 5:	Welthandel Wechselstrommotoren 2010	22
Tabelle 6:	Übersicht verschiedener Motorenhersteller	26
Tabelle 7:	Nationale Regulierungen für effiziente Elektromotoren	30
Tabelle 8:	SWOT-Analyse Deutschland und effiziente Elektromotoren	33

Verwendete Länderabkürzungen

CN Volksrepublik China

DE Deutschland

FR Frankreich

GB Vereinigtes Königreich Großbritannien und Nordirland

JP Japan

US Vereinigte Staaten von Amerika

CH Schweiz

KR Korea

Kurzfassung

Zur Erreichung der deutschen und europäischen Klimaschutzziele ist Energieeffizienz das einfachste und kostengünstigste Mittel. Entsprechend gibt es weltweit und innerhalb Europas eine Reihe **politischer Regelungen zur Kennzeichnung und für Mindeststandards** energiebezogener Produkte. Hiervon sind auch Elektromotoren und elektromotorisch betriebene Systeme betroffen, die weltweit 40 % des Stromverbrauches ausmachen und für ca. 6000 Mio. Tonnen CO₂-Emissionen verantwortlich sind (20 % der gesamten weltweiten CO₂-Emissionen).

Umgekehrt bedeuten die steigenden Anforderungen an die Effizienz von Elektromotoren sowohl Herausforderung als auch Chance für die Wirtschaft. Die Herausforderung besteht für Produzenten in der Verbesserung und Produktion bestehender Elektromotoren und für Nutzer in den nötigen Investitionen zur Verminderung ihres Energieverbrauchs. Eine Chance besteht für Produzenten im Verkauf effizienter Motoren. Dies umso mehr, als dass Effizienzklassen seit einigen Jahren international standardisiert sind und damit der Weltmarkt mit ca. 35 Mrd. US \$ Handelswert für deutsche Hersteller prinzipiell offen steht. Gleichzeitig sind Elektromotoren für ungefähr 68 % des industriellen Stromverbrauchs in der Bundesrepublik verantwortlich. Hier und international sind **hohe absolute Einsparpotenziale** zum Klimaschutz vorhanden.

Im internationalen Leistungsvergleich bezieht Deutschland eine sehr gute Position. Die Bundesrepublik hat einen überproportional hohen Anteil an transnationalen Patenten im Bereich Elektromotoren. Gleichzeitig ist **Deutschland einer der wichtigsten Exporteure von Elektromotoren** in der Welt und dominiert vor allem bei Mehrphasen-Wechselstrommotoren. Diese sind vor allem für industrielle Anwendungen wichtig und haben ein weltweites Exportvolumen von ungefähr 10 Mrd. US \$.

Bei den **Rahmenbedingungen des Innovationssystems** sind eine ganze Reihe internationaler und europäischer Regelungen für Mindeststandards bei der Effizienz von Elektromotoren wirksam. Parallel dazu existieren seit kurzem international vergleichbare Standards für effiziente Elektromotoren, die Initiativen von Industrieverbänden gefolgt sind. In der Bundesrepublik sind mehrere zum Teil internationale Konzern wie Siemens oder Bosch als Hersteller aktiv. Darüber hinaus gibt es aufgrund der vielen Anwendungen von Elektromotoren eine große Zahl von Akteuren, die durch neue politische Instrumente auch erreicht werden sollen.

Mögliche **Handlungsempfehlungen** konzentrieren sich auf eine Verschärfung von Energieeffizienzrichtlinien und Unterstützung der Systemoptimierung, da hier noch großes Einsparpotenzial existiert. Forschungsförderung könnte den Bereich noch unentwickelter Technologien wie dem Einsatz von Hochtemperatursupraleitern betreffen.

Executive Summary

Energy efficiency is the key instrument to meet German and European CO₂ reduction targets. Accordingly, a number of directives for minimum efficiency standards and labelling are in action. These have also been implemented for electric motors and electric motor driven systems, consuming about 40 % of the world's electricity and causing some 6000 million tons of CO₂ (20% of worldwide CO₂-emissions).

Higher efficiency standards for electric motor driven systems are both a challenge and an opportunity for Germany's economy. Producers need to improve their motor systems and consumers have to face higher investments to reduce their energy use. With the internationalisation of efficiency standards, the world market for electric motors with a volume of about 35 billion US \$ is now open for producers. At the same time, the **German industrial sector has a high saving potential** with its 68% electricity use from electric motor driven systems.

Germany is a strong international player for electric motor innovations. The federal republic has an unconventionally high share in transnational patents on electric motors and at the same time is one of the world's leading exporters of electric motors. It is particularly dominating in the field of multi-phase AC motors which are important for industrial applications and have a worldwide trade volume of US \$ 10 billion.

The **innovative system for electric motors** is constrained by international and European directives on minimum performance standards. Additionally, efficiency standards that had previously been defined by industrial organisations are now internationally harmonised. Within Germany, several producers are active, some of them internationally renown enterprises such as Siemens and Bosch. Apart from that, many smaller companies work in this large and diverse field. The extreme diversity of applications of electric motors and motors systems leads to large number of active players in the field. New policy instruments are currently aiming at addressing more of the actors.

Policy recommendations focus on increasing existing minimum performance standards for energy efficiency and the promotion of future efficiency technologies for electric motors such as high temperature superconductors.

1 Einleitung

Mit steigenden Energiepreisen, allen voran der Ölpreis, und wachsenden politischen Forderungen zur Minderung des Ausstoßes von Treibhausgasen, steigt die Bedeutung von Energieeinsparungen und Energieeffizienzmaßnahmen. Dies stellt eine enorme Herausforderung für die Europäischen Staaten und die europäische Industrie dar. Langfristig zeichnet sich zusätzlich eher eine Verschärfung als Lockerung der politischen Rahmenbedingungen ab, da die Treibhausgase in Europa bis Mitte des Jahrhunderts um mindestens 80 % zu reduzieren sind (weltweit um 50 %), um den globalen Temperaturanstieg auf 2°C zu begrenzen. Beide Entwicklungen betreffen auch den Stromsektor, dessen Relevanz durch Umwälzung anderer Energieverbraucher (Elektrofahrzeuge, Wärmemarkt) auf Strom sowie durch die Interaktion mit den Erneuerbaren Energien bis 2050 noch wachsen wird (BMU 2011a; VDE 2008). Elektromotoren in ihren verschiedenen Anwendungen tragen ebenfalls zur Steigerung der Stromnachfrage bei: so wird ohne weitere Einsparmaßnahmen bis 2030 fast eine Verdopplung des weltweiten Stromverbrauchs durch Elektromotoren erwartet (Waide und Brunner 2011, 11).

Insgesamt sind Elektromotoren und elektromotorische Systeme für **ca. 40 % des gesamten weltweiten Stromverbrauchs** verantwortlich und für ungefähr 70 % des Stromverbrauches der Industrie. Dies liegt an den vielen zum Teil komplexen Anwendungsgebieten für Elektromotoren in Pumpen, Ventilatoren und weiteren Systemen (Waide und Brunner 2011).

In Anbetracht dieser Tatsachen hat die Europäische Union vor einigen Jahren begonnen, **Anforderungen an die Gestaltung energie- und stromverbrauchender Produkte** festzulegen (Europäisches Parlament 2009). Dabei werden durch die durch die Ökodesign-Richtlinie und Energieverbrauchskennzeichnungspflicht sowohl Elektromotoren als auch elektromotorisch betriebene Systeme wie Lüfter und Pumpen berücksichtigt. Dies beinhaltet mittel- und langfristig steigende Anforderungen an die Effizienz von Elektromotoren und elektrischen Antriebssystemen. Hier bieten sich großen Chancen für die deutsche Wirtschaft im internationalen Markt aufgrund ihrer großen Kompetenz im Bereich Elektromotoren und der internationalen Standardisierung der Größen- und Effizienzklassen von Elektromotoren. Die rechtlichen Instrumente haben gleichzeitig Wirkung auf die Gestaltung und Geschwindigkeit von Innovationen und beeinflussen damit auch indirekt die Stellung deutscher Hersteller.

In dieser Fallstudie soll genauer betrachtet werden, wie deutsche Hersteller von Elektromotoren weltweit aufgestellt sind, welche Rolle sie international spielen und ob sie womöglich einen technologischen Vorsprung bei energieeffizienten Motoren haben, der

diese Rolle zukünftig noch verbessern kann. Welches Marktpotenzial für effiziente Elektromotoren tatsächlich vorhanden ist, bildet eine weitere wichtige Frage zur Bewertung der **Chancen für deutsche Hersteller im internationalen Markt** für Elektromotoren und elektromotorische Systeme.

Diese Fragen in gebotener Kürze zu beantworten, ist Ziel dieser Fallstudie „Zukunftsmarkt effiziente Elektromotoren“.

2 Potenziale effizienter Elektromotoren

2.1 Technologiebeschreibung

Elektromotoren allgemein

Ein Elektromotor ist eine Maschine mit dem Zweck elektrische Energie in nutzbare mechanische Energie umzuwandeln. Elektromotoren haben eine fast zwei Jahrhunderte umfassende Geschichte und entsprechende Entwicklung durchlaufen. Das **zugrundeliegende Prinzip eines Elektromotors** ist die Kraft zwischen Magnetfeldern und das daraus resultierende Drehmoment. Entsprechend werden zwei Teile des Motors unterschieden, in denen die Felder entstehen: ein fester Teil – der Stator (meist außen) – sowie ein rotierender Teil des Motors – der Rotor (meist innen). Eines der Felder oder beide müssen während der Drehung des Motors gedreht werden, häufig durch Umkehr der Pole. Je nach Art des Motors besteht der Stator aus Permanentmagneten oder Elektromagneten (zur Erzeugung eines wechselnden Magnetfeldes). Der Rotor kann bestehen aus Permanentmagneten (Synchronmotor), einem umwickelten Eisenkern (Schrittmotor) oder einer Kurzschlusswicklung (Asynchronmotor).

Elektromotoren können klassifiziert werden nach der Art ihrer Stromquelle, der Konstruktionsweise, ihrer Anwendung oder der erzeugten Bewegungsart. Circa 96 % der in Europa verkauften Elektromotoren werden mit Wechselstrom betrieben, und vor allem diese sollen hier betrachtet werden. Elektromotoren in kommerzieller Produktion existieren außerdem in einem sehr breiten Spektrum an Leistungen, im Bereich von einigen Watt bis mehreren hundert Kilowatt. Dabei werden vor allem leistungsschwache Elektromotoren in sehr großen Stückzahlen verkauft, haben aber einen eher kleinen Anteil am Stromverbrauch aller Elektromotoren insgesamt und damit in absoluten Zahlen eher geringes Einsparpotenzial. Der meiste Strom wird von mittelgroßen und großen Elektromotoren verbraucht (Tabelle 1 gibt einen Überblick). Wegen ihrer großen Bedeutung zur Energieeinsparung und Effizienzsteigerung sind Elektromotoren im mittleren Leistungsbereich (0,75 kW – 375 kW) von besonderer Bedeutung.

Tabelle 1: Leistungsklassen Elektromotoren

Motorengröße		Marktanteil	Anteil am Stromverbrauch von Elektromotoren
Klasse	Leistung		
Klein	< 0,75 kW	90 %	9 %
Mittel	0,75 – 375 kW	10 %	68 %
Groß	> 375 kW	0,03 %	23 %
Gesamt		—	ca. 40 % Weltstromverbrauch

Quelle: nach (Waide und Brunner 2011), S. 30

Es gibt eine Reihe von Möglichkeiten, den Energieverbrauch von Elektromotoren zu senken, das heißt die Effizienz zu steigern.

Einsparmöglichkeiten im Energieverbrauch

Durch **Veränderung der Konstruktion** können Energieeinsparungen beim Betrieb von Elektromotoren erzielt werden. Eine Möglichkeit ist eine Senkung des elektrischen Widerstandes (und damit der Energieverluste durch Abwärme im Motor) durch verändertes Design (dickere Leitungen bedeuten geringere Verluste), die Verwendung anderer Materialien (Kupfer statt Aluminium für den Läufer). Letzteres bedeutet einen Effizienzgewinn ohne Steigerung des Materialanteils und ohne Größenänderung (Motorgrößen sind oft standardisiert). Langfristig können auch innovative Motorsysteme eine Rolle spielen, zum Beispiel mit dem Einsatz von Supraleitern (siehe Abschnitt 4.4).

Eine zweite technologische Einsparmöglichkeit besteht in der **Verwendung einer Drehzahlregelung** (englisch *variable speed drive* VSD), so dass der Motor nur so viel Energie verbraucht wie tatsächlich erforderlich. Drehzahlregelung bezeichnet genauer einen elektronischen Leistungswandler, der die elektrische Energie zur Speisung des Motors und damit die abgegebene mechanische Leistung kontinuierlich an die anliegende Last anpasst (Europäische Kommission 2009). Mit dem Einsatz von Drehzahlreglern sind enorme Einsparungen möglich, vor allem bei elektromotorischen Systemen und hier besonders bei Pumpen und Lüftern (Waide und Brunner 2011).

Eine dritte Gruppe von Einsparmöglichkeiten betrifft die **Optimierung von elektromotorischen Systemen**. Der Elektromotor mit Sensor- und Steuerungseinheit sowie Getriebe und weiteren Bauteilen bilden zusammen eine Arbeitsmaschine (Wietschel u. a. 2010, 821). Eine Effizienzsteigerung umfasst die richtige Wahl der einzelnen Komponenten: Motor richtiger Größe (nicht überdimensioniert), Leitungen, Riemen sowie Endgeräte (Lüfter, Pumpen, Kompressoren, Förderbänder etc.). Die angemessene und effiziente Wahl der Systemkomponenten ist wichtig für Effizienzsteigerungen im Betrieb von Elektromotoren, stellt aber keine echte technologische Option dar und wird daher im Folgenden nicht detailliert besprochen. Sie ist jedoch wichtig für die Rolle von Zwi-

schenhändlern, sogenannten OEMs (Original Equipment Manufacturers), die Motoren in verschiedenste Motorsysteme einbauen. Für Gesamtsysteme mit niedrigen Anschaffungskosten werden dort häufig günstige, aber ineffiziente Motoren verwendet (der Kaufpreis ist damit kleiner, die Lebenszykluskosten spielen im Wettbewerb bisher keine wesentliche Rolle).

Effizienzklassen

Seit 1998 gibt es eine europäische Klassifikation von energieeffizienten Elektromotoren innerhalb einer freiwilligen Vereinbarung europäischer Motorenhersteller.¹ Seit 2008 existieren weltweit einheitliche Effizienzstandards, basierend auf IEC 60034-30. Die Existenz **weltweit einheitlicher Standards** ist für mögliche deutsche Exporte ein wichtiger Faktor, denn damit entsteht ein global einheitlicher Markt. Die alten und neuen Effizienzklassen sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst dargestellt. Die Entsprechungen gelten nicht exakt, es gibt Unterschiede in den technischen Definitionen der Effizienzklassen.

Tabelle 2: Klassifikationsschemata effizienter Elektromotoren

Alte Klassifikation ²		Aktuelle Klassifikation ³	
—	—	IE4	Super Premium Efficiency
—	—	IE3	Premium Efficiency
EFF1	High Efficiency	IE2	High Efficiency
EFF2	Improved Efficiency	IE1	Standard Efficiency
EFF3	Standard Efficiency		Below Standard Efficiency

Für die neuen Effizienzklassen gibt es seit 2009 innerhalb der EU gesetzliche Regelungen.⁴ Es dürfen nur noch Elektromotoren (im Bereich 0,75 kW bis 375 kW) verkauft werden, die

¹ <http://www.cemep.org/>

² Die Effizienzklassen gelten für 2- und 4-polige Niederspannungs-Drehstromstandard-Motoren im Leistungsbereich 1,1 kW bis 90 kW (<http://www.cemep.org/>). Details zur Bestimmung des Wirkungsgrades sind festgelegt in IEC 60034-2.

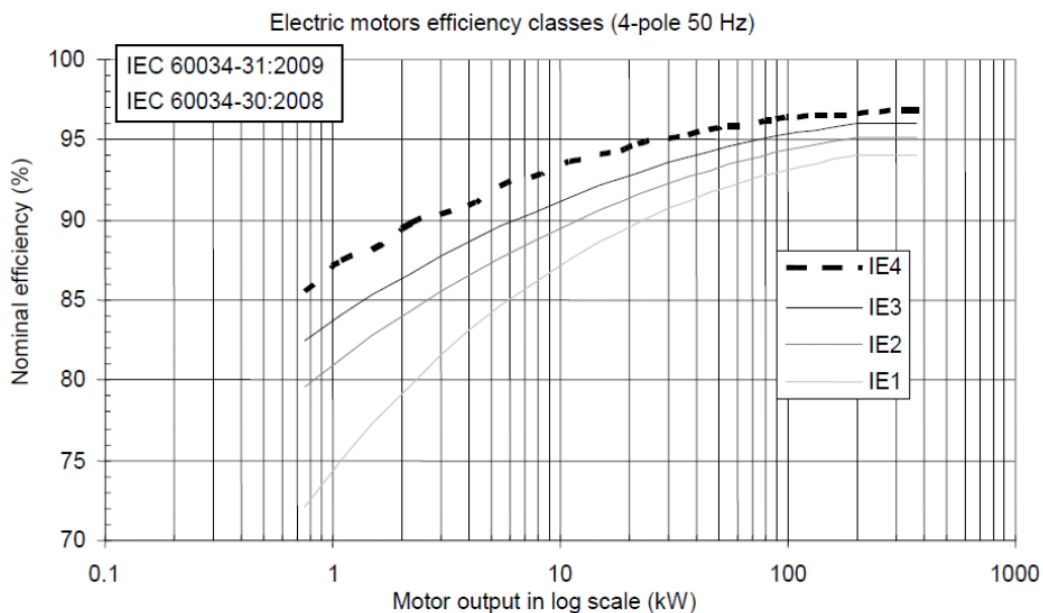
³ Die neuen IEC-Effizienzklassen wurden erweitert auf 0,75 bis 375 kW, 50-Hz- und 60-Hz-Motoren, 2-, 4- und 6-polig; die Effizienzklasse und der Wirkungsgrad sind auf einem Typenschild am Motor angebracht (z. B. IE2 – 94,1%) (<http://www.motorsystems.org/iec-standards>). IE4 wurde erst 2007 eingeführt und ist 15 % effizienter als IE3.

⁴ [Verordnung \(EG\) Nr. 640/2009](#) vom 22. Juli 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Elektromotoren.

- ab 16.06.2011 mindestens IE2,
- ab 01.01.2015 mindestens IE3 (oder IE2 mit VSD/Frequenzumrichter) für Motoren im Leistungsbereich 7,5 – 375 kW,
- ab 01.01.2017 mindestens IE3 (oder IE2 mit VSD/Frequenzumrichter) auch für Motoren im Leistungsbereich ab 0,75 kW,

entsprechen. Das Energieeinsparpotenzial durch die Verwendung von Drehzahlreglern (VSD bzw. Frequenzumrichter) ist demnach in der Verordnung berücksichtigt worden.

Da der Wirkungsgrad des Motors abhängig ist von der abzugebenden Leistung können die Effizienzklassen nicht einfach mit Angabe *eines* Wirkungsgrades festgelegt werden. Folgende Abbildung gibt einen Eindruck der Wirkungsgrade für verschiedene Motorleistungen. Ein Übersicht in Tabellenform zu den geforderten Wirkungsgraden findet sich im Anhang zur [Verordnung \(EG\) Nr. 640/2009](#).



Quelle: (Waide und Brunner 2011, S. 23)

Abbildung 1: Wirkungsgrade effizienter 4-pol Elektromotoren

Im Weiteren werden unter effizienten Elektromotoren und Motorsystemen solche verstanden, die den genannten Mindesteffizienzklassen genügen oder durch geschickte Auslegung des Gesamtsystems den Energieverbrauch ohne Leistungsbeschränkung verringern. Für Hersteller und Zwischenhändler bestehen dafür im Wesentlichen die oben genannten Möglichkeiten. Für Nutzer bieten sich große Einsparmöglichkeiten, da in den meisten Fällen der Großteil der Kosten im Betrieb durch den Energieverbrauch entsteht und nicht durch die Anschaffung (dies hängt jedoch im Detail von der Zahl der Betriebsstunden und der Größenklasse ab). Auf den Nutzen für die Umwelt wird im folgenden Abschnitt eingegangen.

2.2 Nutzen für Umwelt

Der Einsatz energieeffizienter Elektromotoren bietet für Deutschland, Europa und die Welt großes Einsparpotenzial. Die EU hat sich verpflichtet, ihre Treibhausgasemissionen bis 2020 um 20 bzw. 30 % zu senken. Langfristig – bis 2050 – wird eine Senkung um 80 bis 95 % gegenüber 1990 angestrebt. Energieeffiziente Antriebssysteme tragen hierzu bei, indem sie den Stromverbrauch verringern.

Stromverbrauch allgemein

Elektromotoren sind in Deutschland für 55 % des Stromverbrauchs verantwortlich (Wietschel u. a. 2010, 821). Das waren 2007 insgesamt 302 TWh oder 1087 PJ (Endenergie). In der Industrie liegt der Anteil bei 68 %, bei privaten Haushalten bei 41 % und im tertiären Sektor bei 48 % (Wietschel u. a. 2010, 821). Durch den Einsatz effizienter Elektromotoren und Motorsysteme können durch Nutzung bestverfügbarer Technologie bis 2020 jährlich ca. sechs Millionen Tonnen CO₂-Emissionen eingespart werden (Wietschel u. a. 2010, 841). Andere Studien (Kap 7 in Almeida u. a. 2008; Wietschel u. a. 2010, 831) nennen generelle Einsparpotentiale in der Größenordnung 30 % durch den Einsatz bestverfügbarer Technologie, das entspräche 45 Millionen Tonnen CO₂ (bei 500 gCO₂/kWh).

Eine zusätzliche Stromnachfrage durch Elektromotoren kann aus dem Fahrzeugbereich entstehen. Die erwartete Einführung von Elektrofahrzeugen wird allerdings kurzfristig kaum zu einer erhöhten Stromnachfrage führen. Eine Million Elektrofahrzeuge (Ziel der Bundesregierung für 2020) würden nur ungefähr 3 TWh Strom verbrauchen,⁵ dies entspricht ca. 0,3 % des deutschen Stromverbrauchs. Langfristig kann hier jedoch eine verstärkte Nachfrage entstehen. Sollten 2050 insgesamt 40 Mio. Elektrofahrzeuge unterwegs sein – das wären dann fast 90 % der heute zugelassenen deutschen PKW – erhöhte sich dieser Anteil entsprechend auf circa 120 TWh.

Auf internationaler Ebene bieten Elektromotoren auch ein hohes absolutes Einsparpotenzial. Der eingesparte Strom führt damit auch zu reduzierten CO₂-Emissionen. Die folgende Tabelle 3 zeigt Abschätzungen für den weltweiten Stromverbrauch durch Elektromotoren einschließlich der damit verbundenen CO₂-Emissionen.

⁵ Bei einem Verbrauch von 16 kWh/100 km und 14.300 km mittlerer Jahresfahrleistung. Andere Fahrzeuge wie Roller und Elektrofahräder erhöhen die Beiträge nur unwesentlich.

Tabelle 3: Stromverbrauch und indirekte Emissionen durch Elektromotoren weltweit

Leistung	Ø Betriebsstunden	Ø Last	Stromverbrauch pro Jahr		
			Absolut	Anteil	CO ₂ -Emissionen ⁶
< 0,75 kW	1500	40 %	650 TWh	9 %	544 Mt
0,75 – 375 kW	3000	60 %	4900 TWh	68 %	4107 Mt
> 375 kW	4500	70 %	1650 TWh	23 %	1389 Mt
insgesamt	–	–	7200 TWh	100 %	6040 Mt

Quelle: (Waide und Brunner 2011, 38)

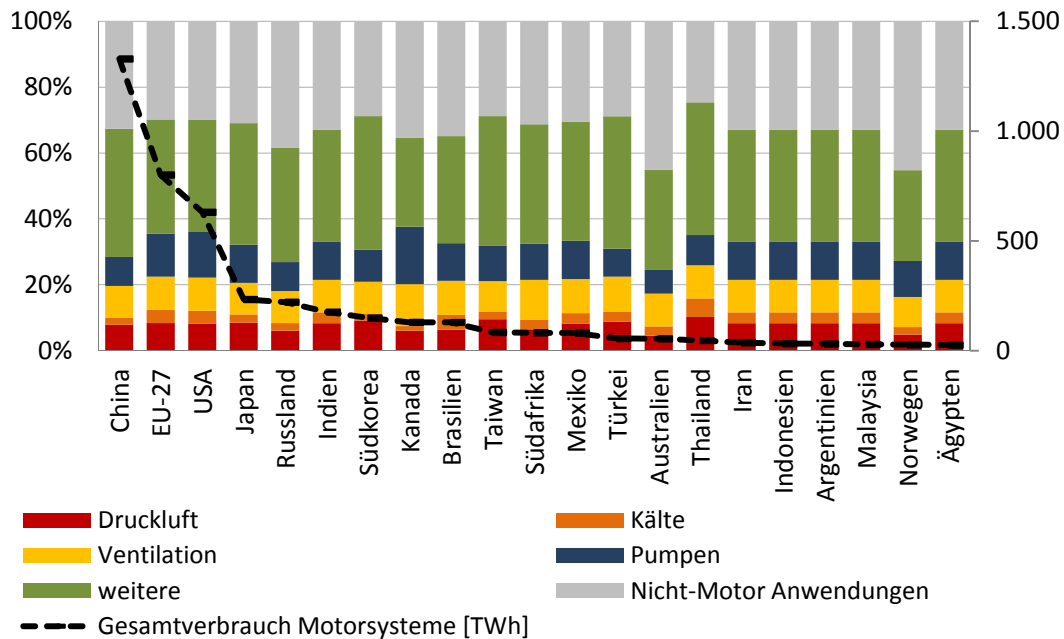
Nach Abschätzungen von (Waide und Brunner 2011, 13) könnten durch das Setzen von Mindeststandards für Energieeffizienz von industriellen Elektromotoren bis 2030 weltweit jährlich 322 TWh Strom bzw. 206 Mt CO₂ eingespart werden. Diese Maßnahme ist politisch einfach umzusetzen und durch die damit verbundenen Kosteneinsparungen im Energieverbrauch auch kosteneffektiv. Durch die existierende Ökodesign-Richtlinie⁷ und andere internationale Effizienzstandards sind solchen Maßnahmen zum Teil schon erfolgt. Diese und das sogenannte Labelling (Energieverbrauchskennzeichnungspflicht) werden in den kommenden Jahren voraussichtlich noch erweitert oder verschärft.

Stromverbrauch Industrie

Weltweit machen Elektromotoren circa 60 % des industriellen Stromverbrauchs aus (Fleiter und Eichhammer 2010). Den größten Anteil am Stromverbrauch haben dabei Drehstrom-Asynchronmotoren mit circa 80 % (Almeida u. a. 2008). Abbildung 2 gibt einen Überblick zum Stromverbrauch der Industrie verschiedener Länder und der EU. Gezeigt sind die Anteile der verschiedenen industriellen Einsatzgebiete sowie die absoluten Werte des jährlichen Stromverbrauchs durch Elektromotorensysteme in den einzelnen Ländern.

⁶ Die CO₂-Emissionen liegen damit bei fast 840 g/kWh. Dies entspricht einem hohen Anteil fossiler Energieträger bei der Stromerzeugung. Laut IEA machen diese zusammen fast 70 % der Stromerzeugung aus: 41 % Kohle, 21,3 % Gas, 5,5 % Öl (International Energy Agency 2010).

⁷ Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte (Europäisches Parlament 2009)



Quelle: (Fleiter und Eichhammer 2010)

Abbildung 2: Stromverbrauch nach Anwendung und Land: Anteil Elektromotoren (linke Achse) und Gesamtverbrauch Elektromotoren (rechte Achse)

Zusammenfassend zeigt sich, dass Elektromotoren und elektromotorisch betriebene Systeme ein enormes Einsparpotenzial haben, besonders innerhalb des industriellen Energiebedarfs. Sie können damit einen wichtigen direkten Beitrag zur Erreichung der deutschen, europäischen und internationalen Klimaschutzziele leisten.

2.3 Wirtschaftliche Perspektiven für Elektromotoren: Märkte und Energieeinsparpotenziale

Aus wirtschaftlicher Sicht bieten Elektromotoren der deutschen Industrie in zweifacher Weise interessante Möglichkeiten. Zum einen durch den weltweiten Verkauf effizienter Motoren und den damit verbundenen Gewinnen. Zum anderen durch den Einsatz effizienter Motoren und der hohen Kostenreduktion im Betrieb in vielen Industriezweigen.

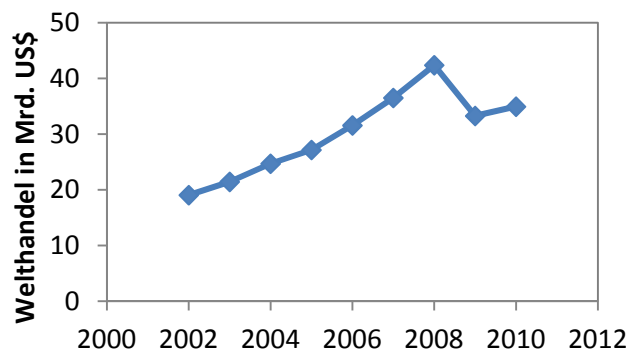
2.3.1 Verkauf effizienter Motoren

Leider stehen **keine detaillierten Statistiken für den Handel effizienter Elektromotoren** zur Verfügung. Nur für weniger einzelne Märkte liegen Daten vor. Daher werden

im Folgenden hauptsächlich generelle Statistiken zum Handel mit Elektromotoren herangezogen, um den Markt für effiziente Motoren einzugrenzen.⁸

Weltmarkt

Der weltweite Handel mit Elektromotoren ist in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen und wurde nur durch die internationale Wirtschaftskrise kurz gebremst. Er betrug über alle Klassen und Arten von **Elektromotoren 2010 ca. 35 Mrd. US \$** (siehe Abbildung 3 und Tabelle 4).



Quelle: UN comtrade (<http://comtrade.un.org>). Eigene Berechnungen.

Abbildung 3: Welthandel Elektromotoren insgesamt

Für die Hersteller ist die seit kurzem gültige internationale Standardisierung von großem Vorteil: Ein Produkt kann weltweit angeboten werden. Im Prinzip steht damit der Weltmarkt für deutsche Hersteller offen. Die relativ hohen deutschen Lohnkosten fallen bei der Herstellung von Elektromotoren nur begrenzt ins Gewicht, da sie nur 20 bis 30 % der Produktionskosten ausmachen. Die Materialkosten hingegen tragen etwa 50 bis 60 % zu den Herstellungskosten bei (Jardot 2008, 77).

⁸ Es wird hier ein sogenannter Potenzialansatz verfolgt, d. h., Unternehmen, die im Allgemeinen gut bei Elektromotoren aufgestellt sind, haben bessere Voraussetzungen, also ein höheres Potenzial, um effiziente Elektromotoren in den Markt zu bringen.

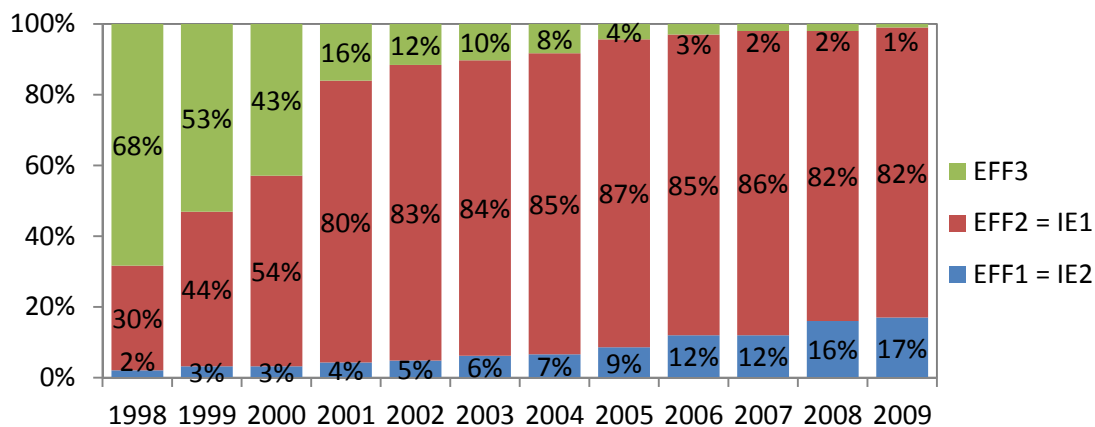
Tabelle 4: Weltmarkt Elektromotoren

Leistung [kW]	Ø Lebensdauer	Bestand Welt	Weltmarkt	
			Stückzahl	Umsatz
< 0,75	6,7 a	2000 Mio.	300 Mio./a	ca. 10 Mrd. \$
0,75 – 375	7,7 a	230 Mio.	30 Mio./a	ca. 22 Mrd. \$
> 375	15,0 a	0,6 Mio.	0,04 Mio./a	ca. 3 Mrd. \$
insgesamt	6,8 a	2231 Mio.	330 Mio./a	35 Mrd. \$

Quelle: nach (Waide und Brunner 2011)

Auf dem Weltmarkt für Elektromotoren sowie bei der Mess- Steuer- und Regelungstechnik liegt der Anteil deutscher Firmen bei etwa 10 % bzw. 15 %. Bis zum Jahr 2020 wird ein jährliches Wachstum von 6 bzw. 5 % in den beiden Märkten erwartet (Wietzel u. a. 2010, 842).

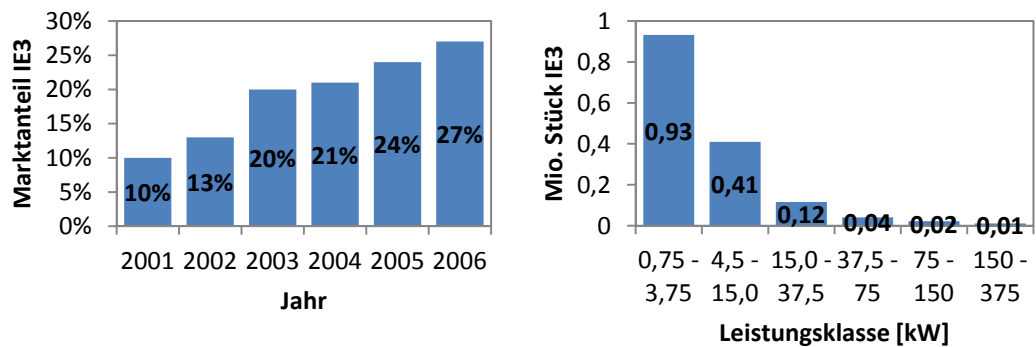
Im Gegensatz zu den USA sind **hocheffiziente Elektromotoren (IE3) in Europa bisher kaum verbreitet** (Waide und Brunner 2011, 26). Allerdings haben IE2-Motoren in den letzten Jahren langsam an Marktanteilen gewonnen und sollten jetzt sehr schnell große Marktanteile gewinnen (seit 16. Juni 2011 dürfen EU-weit nur noch IE2-Motoren verkauft werden). Die Marktanteile verschiedener Effizienzklassen zeigt Abbildung 4.



Quelle: Waide und Brunner 2011, S. 27

Abbildung 4: Marktanteile effizienter Elektromotoren in Europa

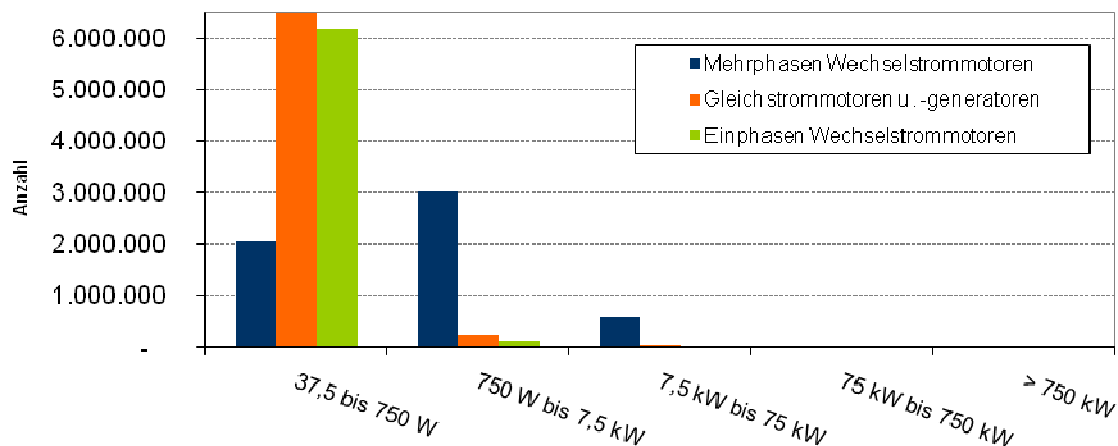
Auf dem amerikanischen Markt sind hocheffiziente Elektromotoren sehr viel stärker verbreitet. Dort sind IE3-Motoren seit diesem Jahr Mindeststandard. Entsprechend haben diese in den letzten Jahren höhere Marktanteile gewonnen. Abbildung 5 zeigt die Marktanteile von IE3-Elektromotoren und die verkauften Stückzahlen in den USA.



Quelle: (Waide und Brunner 2011, 26)

Abbildung 5: Marktzahlen IE3-Motoren USA: links Marktanteile und rechts Stückzahlen 2003

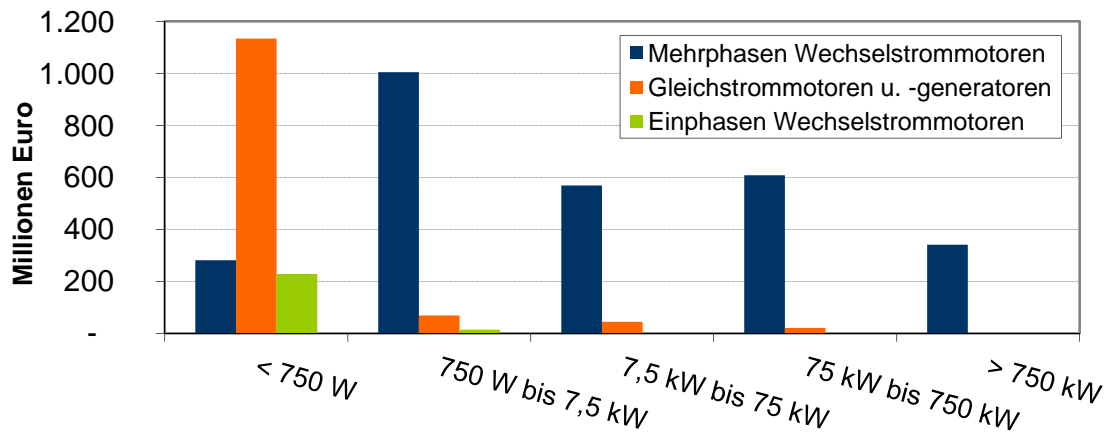
Deutsche Hersteller von Elektromotoren produzieren eine Vielzahl verschiedener Elektromotoren. Im Jahre 2007 wurden in Deutschland circa 18 Millionen Elektromotoren produziert (siehe Abbildung 6).



Quelle: (Wietschel u. a. 2010, 822)

Abbildung 6: Produktion von Elektromotoren in 2007 Deutschland

Neben den reinen Stückzahlen sind aber auch die damit verbuchten Umsätze relevant. Dabei zeigt sich, dass deutsche Hersteller vor allem im Bereich mittlerer und großer (nach Leistung) Elektromotoren deutliche Umsätze verzeichnen können. 2007 wurden in der Bundesrepublik Elektromotoren mit einem Produktionswert von über vier Milliarden Euro produziert (Wietschel u. a. 2010, 841). Die **Wertschöpfung** erfolgt dabei **vor allem im Bereich von Mehrphasen-Wechselstrommotoren** (siehe Abbildung 7). Die Analyse von Handelsstatistiken in Abschnitt 3.2 wird zeigen, dass Deutschland gerade in diesem Bereich überproportional exportiert, d.h. mehr als dem deutschen Exportdurchschnitt an Gütern in die Welt entsprechen würde, und den Welthandel dominiert.



Quelle: (Wietschel u. a. 2010, 841)

Abbildung 7: Produktionswert von in Deutschland produzierten Elektromotoren 2007

Neben dem Marktpotenzial für die Hersteller von Elektromotoren bietet sich in diesem Zusammenhang auch ein Potenzial für Berater und sog. *Contractoren*. Diese ca. 700 Unternehmen in Deutschland bietet eine Verbesserung der Effizienz eines Systems. Diese führt zur einer Senkung der Gesamtkosten und des Energieverbrauches des Systems. Dabei sind häufig kostenneutrale Effizienzsteigerungen zwischen 15 und 20 % möglich (BMU 2009, 79).

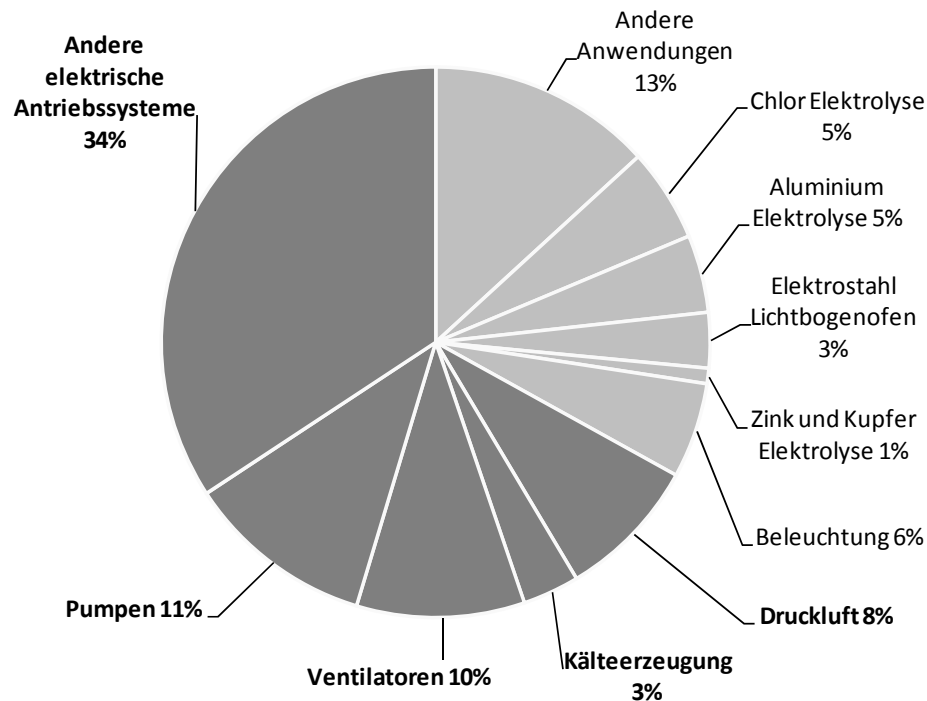
2.3.2 Betrieb effizienter Elektromotoren

Elektromotoren sind sowohl in der Industrie als auch in Haushalten sehr weit verbreitet und bieten daher für einen weiten Kreis an Nutzern Einsparungen im Betrieb dieser Motoren oder der damit verbundenen elektromotorischen Systeme.

In der Industrie entstehen im Mittel 97 % der Lebenszykluskosten von Elektromotoren als Energiekosten während des Betriebes (Almeida u. a. 2008). Die weit verzweigten Einsatzgebiete sind in Abbildung 8 gezeigt. Trotz der hohen Einsparmöglichkeiten bleibt die Verbreitung effizienter Motoren hinter dem ökonomisch möglichen Anteil zurück. Dafür gibt es eine Reihe von Gründen, insbesondere werden die Lebenszykluskosten beim Kauf von Elektromotoren häufig nicht berücksichtigt, sondern nur der Anschaffungspreis (effiziente Motoren sind teurer in der Anschaffung aber günstiger im Betrieb). Mindeststandards bei der Effizienz von Elektromotoren sind ein wirksames Mittel, die Verbreitung trotzdem zu erhöhen.

Das gleiche gilt für konkrete Anwendungen von Elektromotoren (wie Druckluft, Pumpen etc.), bei denen häufig im Gesamtsystem noch erhebliche Einsparpotenziale liegen. Die Europäische Union hat mit der Umsetzung der Ökodesign-Richtlinie allerdings in

den letzten Jahren begonnen, für diese wichtigen Anwendungen Mindeststandards festzulegen.



Quelle: (Wietschel u. a. 2010, 824)

Abbildung 8: Anteile einzelner Anwendungen am Stromverbrauch der Industrie in Deutschland, 2004 (elektrische Antriebe sind dunkel hervorgehoben)

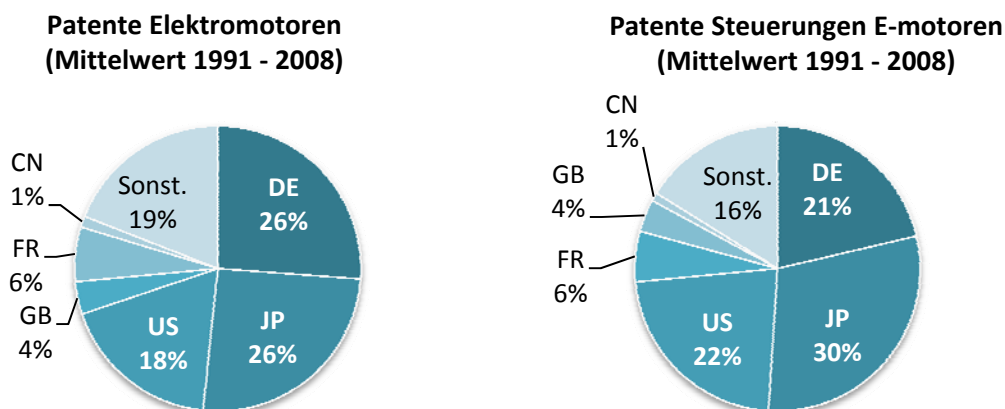
Bei Anwendungen in privaten Haushalten und GHD zeigt sich ein differenziertes Bild. Größere Anwendungen bieten sowohl energetische als auch monetäre Einsparpotenziale, bei kleineren Systemen spielen jedoch die Energieverbrauchskosten neben den Anschaffungskosten häufig keine Rolle.

3 Internationaler Leistungsvergleich

In diesem Abschnitt wird die Position deutscher Hersteller im internationalen Vergleich näher untersucht. Dafür wird die Innovationsfähigkeit und technologische Position anhand von Patentanalysen näher beleuchtet. Im zweiten Teil wird die internationale Handelsbilanz im Bereich Elektromotoren betrachtet.

3.1 Patentanalyse

Für die technologische Rolle und Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands im Bereich von Elektromotoren werden Patentanalysen als Indikator verwendet, genauer werden sogenannte „transnationale Patentanmeldungen“ verglichen.⁹ Die **deutsche Industrie und Forschung** nimmt im Bereich der Patente für Elektromotoren **international eine führende Rolle** ein (Abbildung 9). Es teilt sich die Spitzenposition mit Japan. In den relevanten Patentgruppen (Elektromotoren und Steuerung von Elektromotoren) stammt circa die Hälfte aller Patente der letzten 20 Jahre aus einem der beiden Länder.



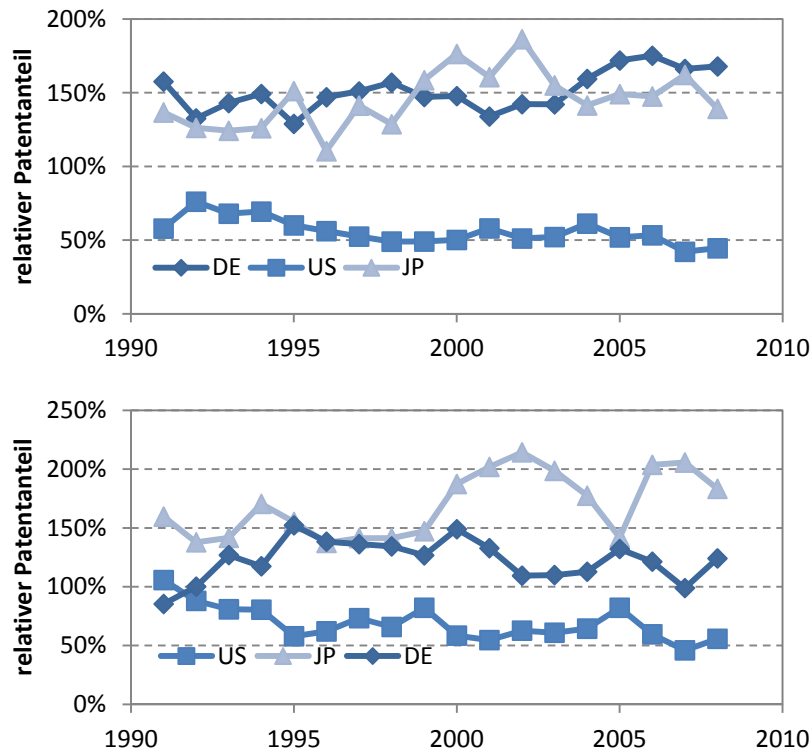
Quelle: Questel (EPPATENT, WOPATENT). EPA (PATSTAT). Eigene Berechnungen.

Abbildung 9: Länderanteile an Patenten im Bereich Elektromotoren und Steuerungen

Weiterhin stammt eine große Zahl von Patenten im Bereich Elektromotoren aus den USA. Dies liegt aber vor allem an der generell großen Zahl der Patentanmeldungen

⁹ Dies sind Patentanmeldungen, die am Europäischen Patentamt für europäische Länder oder als *Patent-Cooperation-Treaty*-Anmeldung für außereuropäische Länder eingereicht werden. Eine transnationale Patentanmeldung wird von einem Anmelder gewählt, wenn die Erfindung in verschiedenen nationalen Märkten verwertet werden soll. Für die Patentstatistik sind die transnational angemeldeten Patente von größerer Relevanz und auf dieser Basis ist eine bessere Vergleichbarkeit zwischen den Volkswirtschaften möglich als nach nationalen Patentdaten (EFI 2011).

dort, was sich durch den Vergleich des Patentanteils der USA im Bereich Elektromotoren mit dem Anteil der USA an allen Patenten überhaupt zeigt. Dieser relative Patentanteil¹⁰ in seiner zeitlichen Entwicklung ist in Abbildung 10 dargestellt.



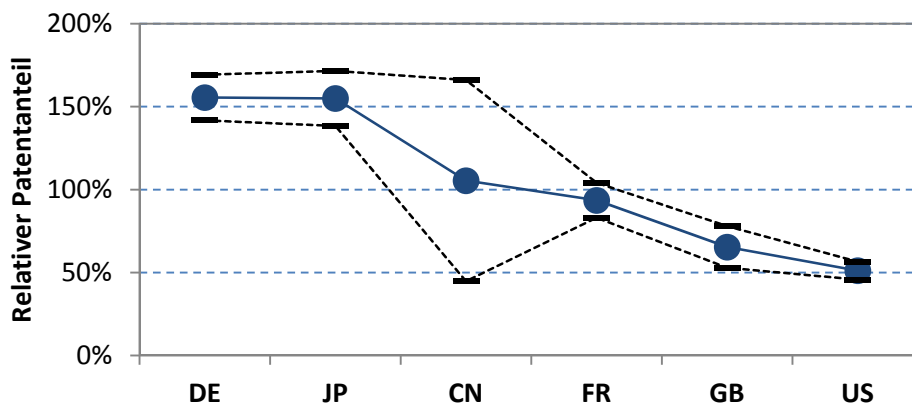
Quelle: Questel (EPPATENT, WOPATENT). EPA (PATSTAT). Eigene Berechnungen.

Abbildung 10: Zeitliche Entwicklung Relativer Patentanteil im Bereich Elektromotoren (oben) und Steuerung von Elektromotoren (unten)

Es zeigt sich das Deutschland und Japan eine führende Rolle im Bereich der technologischen Entwicklung von Elektromotoren inne haben. Ihre relativen Patentanteile liegen bei Elektromotoren und deren Steuerungen deutlich oberhalb der generellen Patentanteile dieser Länder. Beide Länder sind die entscheidenden Innovatoren und melden überproportional viele Patente in diesem Bereich an. Weitere wichtige Länder wie Großbritannien, Frankreich und China melden auch eine gewisse Menge an transna-

¹⁰ Ländervergleiche bei Patenten mittels absoluter Zahlen sind nur begrenzt aussagekräftig, weil in diese die landesspezifischen Faktoren implizit eingehen. Deshalb werden oft Spezialisierungsindizes verwendet, die das Gewicht eines spezifischen Feldes oder Sektors eines Landes in Relation zu einer allgemeinen Referenz abbilden (EFI 2011). Hier gezeigt ist der Anteil eines Landes im genannten Bereich (für eine bestimmte Technologie) geteilt durch den Anteil des Landes generell an allen Patenten $(P_{it} / \sum_l P_{il}) / (\sum_t P_{it} / \sum_{t,l} P_{it})$.

tionalen Patenten bei Elektromotoren an. Allerdings ist ihr Anteil kleiner als man von ihrer generellen Patentaktivität erwarten würde. Abbildung 11 zeigt den Mittelwert des relativen Patentanteils für Elektromotoren der letzten zehn verfügbaren Jahre: 1998 bis 2008. Gezeigt sind die Mittelwerte des relativen Patentanteils und Standardabweichungen. Gerade für China schwankt der jährliche relative Patentanteil stark, aufgrund der nicht sehr großen absoluten Zahl an Patentanmeldungen (daher der große Fehlerbalken).



Quelle: Questel (EPPATENT, WOPATENT). EPA (PATSTAT). Eigene Berechnungen.

Abbildung 11: Relativer Patentanteil im Bereich Elektromotoren verschiedener Länder: Mittelwerte und Schwankungen um diesen Mittelwert (Jahre 1998 – 2008)

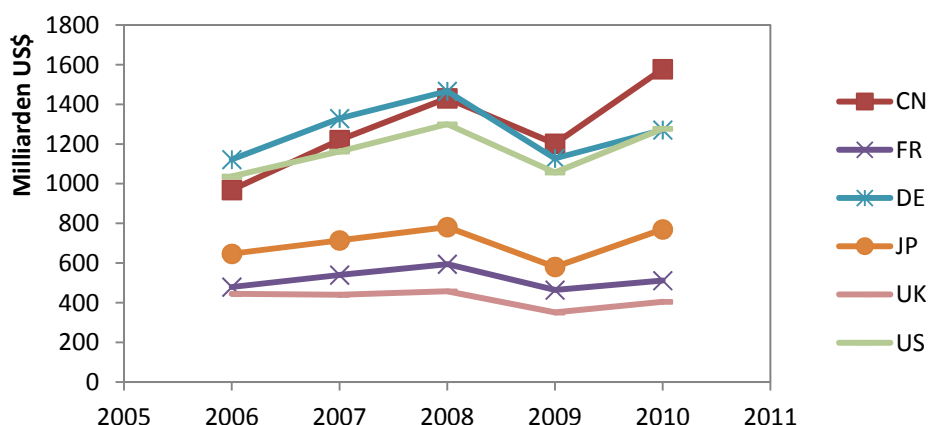
Generell wächst der absolute Beitrag Chinas, aber jedes der anderen Länder meldet eine unterdurchschnittlich Anzahl an Patente für den Elektromotoren-Bereich an.

3.2 Wettbewerbssituation

Für die Rolle Deutschlands als Anbieter effizienter Elektromotoren ist neben der Innovationskraft (dargestellt durch die Patentanalysen) auch die internationale Wettbewerbssituation von Bedeutung.

Übersicht Welthandel

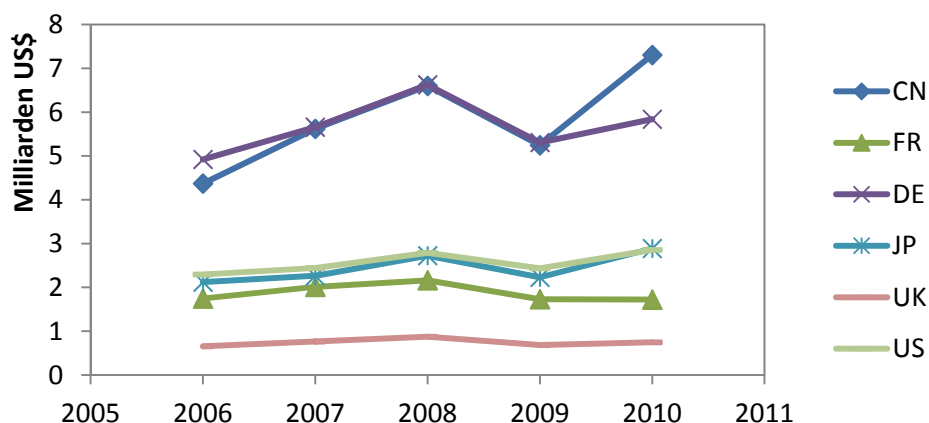
Die größte Exportnation der Welt ist seit kurzem nicht mehr die deutsche Volkswirtschaft sondern die chinesische (siehe Abbildung 12). Zusammen mit Deutschland und der größten Volkswirtschaft der Welt, die USA, liegen sie im gesamten Welthandel deutlich vor den restlichen Nationen. Für die Chancen Deutschlands als Anbieter effizienter Elektromotoren und elektromotorischer Systeme ist aber der Außenhandel im Bereich Elektromotoren entscheidend sowie der Vergleich zwischen dem deutschen Beitrag bei Elektromotoren und dem deutschen Gewicht im Handel insgesamt.



Quelle: UN comtrade (<http://comtrade.un.org/>). Eigene Berechnungen.

Abbildung 12: Welthandel verschiedener Länder insgesamt (alle Produkte)

Abbildung 13 zeigt den Welthandel im Elektromotoren-Bereich der wichtigsten Exporteure. Seit mehreren Jahren wird **der internationale Handel von Deutschland und China dominiert**. Der exportierte Produktionswert ist mindestens zwei- bis dreimal höher als bei amerikanischen und anderen asiatischen Konkurrenznationen.



Quelle: UN comtrade (<http://comtrade.un.org/>). Eigene Berechnungen.

Abbildung 13: Exporte Elektromotoren insgesamt wichtiger Länder

Methodische Anmerkung zu Indikatoren

Eine Reihe von Indikatoren dient zum Vergleich der Handelsbilanzen verschiedener Länder. Da die absoluten Handelsbilanzen einzelner Länder häufig sehr unterschiedlich sind, werden die relativen Anteile einzelner Bereich verschiedener Länder miteinander verglichen. Zwei Größen sollen hier untersucht werden. Zum einen der sogenannte *Relative World Trade Share* oder *Revealed Export Advantage* (RWA). Diese wird berechnet durch $RWA_{ij} = (a_{ij} / \sum_i a_{ij}) / (\sum_j a_{ij} / \sum_{ij} a_{ij})$. Dabei bezeichnet a_{ij} das Exportvo-

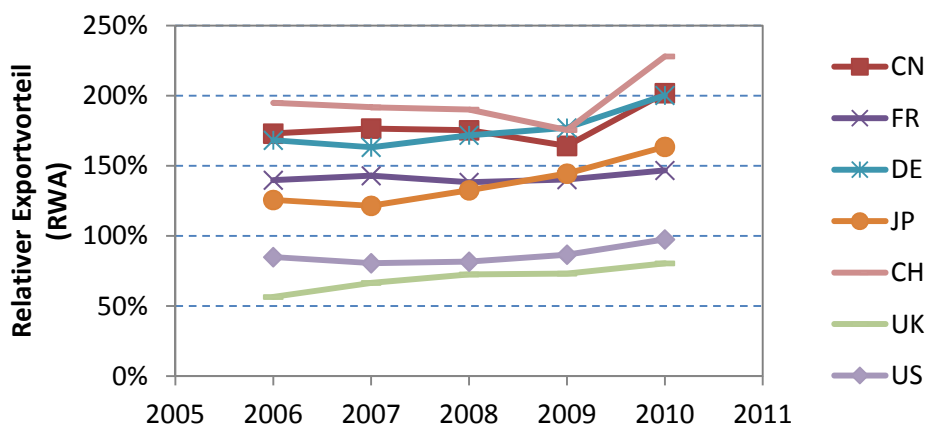
lumen von Land i im Technologie-Bereich j . Diese Größe gibt also an, um welchen Faktor Land i bei Bruttoexporten im Bereich j besser oder schlechter ist als sein Durchschnitt über alle Bereiche. Dies ist völlig analog zum relativen Patentvorteil aus dem letzten Unterkapitel 3.1. Vielfach wird noch die nichtlineare Funktion $100 \cdot \tanh(\ln(x))$ auf diese Größe angewendet, um extreme Unterschiede auszugleichen.

Eine ähnliche häufig verwendete Größe ist der Handelsvorteil *Revealed Comparative Advantage* (RCA) bei dem das Verhältnis von Export zu Import für eine Produktgruppe verglichen wird mit dem Verhältnis Export zu Import insgesamt. Der RCA wird berechnet durch $RCA_{ij} = (E_{ij}/I_{ij}) / (\sum_j E_{ij} / \sum_j I_{ij})$. Dabei bezeichnet E_{ij} das Exportvolumen von Land i im Technologie-Bereich j und I_{ij} bezeichnet das Importvolumen von Land i im Technologie-Bereich j .

Beide Größen (und auch Mischformen) sind in Studien zu finden, eine vergleichende Diskussion findet sich in (Eichhammer und Walz 2009).

Relativer Handelsvorteil Deutschlands

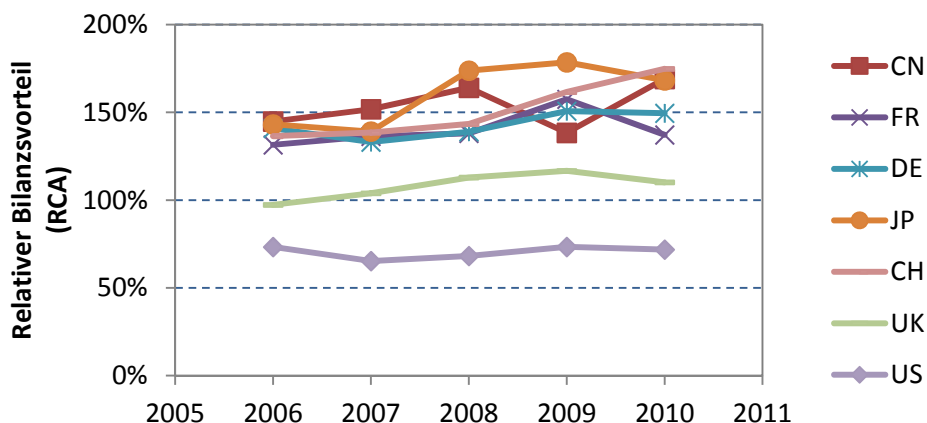
Aus dem Vergleich von Deutschlands Anteil am Handel mit Elektromotoren und Deutschlands Anteil am Welthandel insgesamt, lässt sich der relative Vorteil Deutschlands am Elektromotorenexport ableiten. Abbildung 14 zeigt diesen relativen Handelsvorteil für die Bundesrepublik und einige andere wichtige Länder.



Quelle: UN comtrade (<http://comtrade.un.org/>). Eigene Berechnungen.

Abbildung 14: Relativer Handelsvorteil (RWA) für Elektromotoren insgesamt wichtiger Länder

Es zeigt sich, dass Deutschland, China und die Schweiz bei Elektromotoren insgesamt (alle Unterkategorien gemeinsam) einen deutlichen Handelsvorteil vor anderen Nationen haben, zum Beispiel den USA, die zwar insgesamt viel exportieren, aber bei Elektromotoren einen nur unterdurchschnittlichen Anteil haben.



Quelle: UN comtrade (<http://comtrade.un.org/>). Eigene Berechnungen.

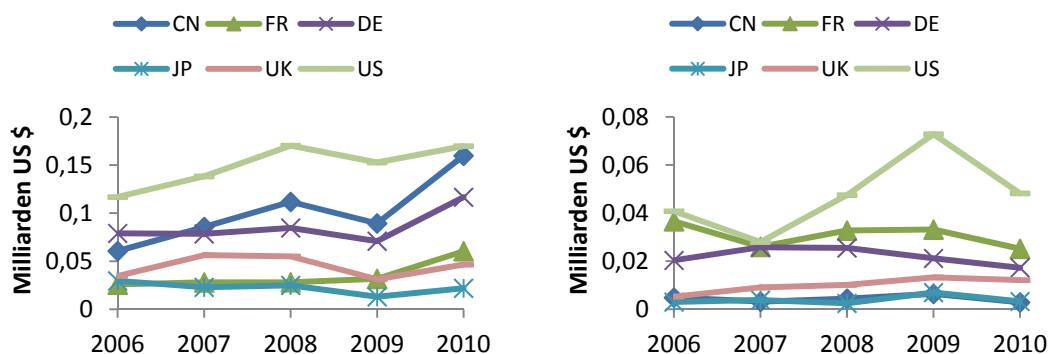
Abbildung 15: Relativer Exportbilanzvorteil (RCA) für Elektromotoren insgesamt wichtiger Länder

Ein sehr ähnliches Bild ergibt sich, wenn man den relativen Vorteil bei den Exportbilanzen RCA, d.h. dem Verhältnis von Export zu Import, betrachtet. Dieselbe Gruppe von Nationen handelt überproportional viel mit Elektromotoren.

Handelsbilanz für spezielle Motorsorten

Welchen Anteil am Welthandel mit Elektromotoren hat Deutschland im Bereich spezieller Motoren? Diese sind in den entsprechenden Statistiken (siehe die Klassifikations-schemata unter <http://comtrade.un.org/>, bisher wurde die gesamte Gruppe 8501 im HS2002-Schema betrachtet) eingeteilt nach Gleich- bzw. Wechselstrom sowie Leistungsklassen.

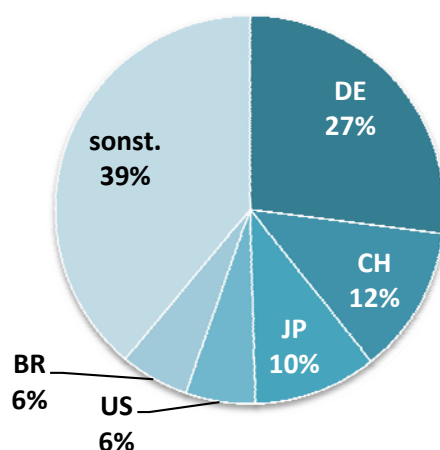
Beim eher kleinen Handelsvolumen der **Gleichstrommotoren** spielt die Bundesrepublik keine herausragende Rolle (siehe Abbildung 16).



Quelle: UN comtrade, (<http://comtrade.un.org/>). Eigene Berechnungen.

Abbildung 16: Brutto-Exporte verschiedener Länder für Gleichstrommotoren und -generatoren mit 0,75 – 75 kW Leistung (links) bzw. 75 – 375 kW (rechts)

Hingegen ist Deutschland sehr stark im Export von **Wechselstrommotoren**. Abbildung 17 zeigt den Anteil der Bundesrepublik und anderer Länder am Welthandel mit verschiedenen Typen und Leistungsklassen von Wechselstrommotoren.



Quelle: UN comtrade (<http://comtrade.un.org/>). Eigene Berechnungen.

Abbildung 17: Länderanteile am Weltexport im Bereich Wechselstrommotoren

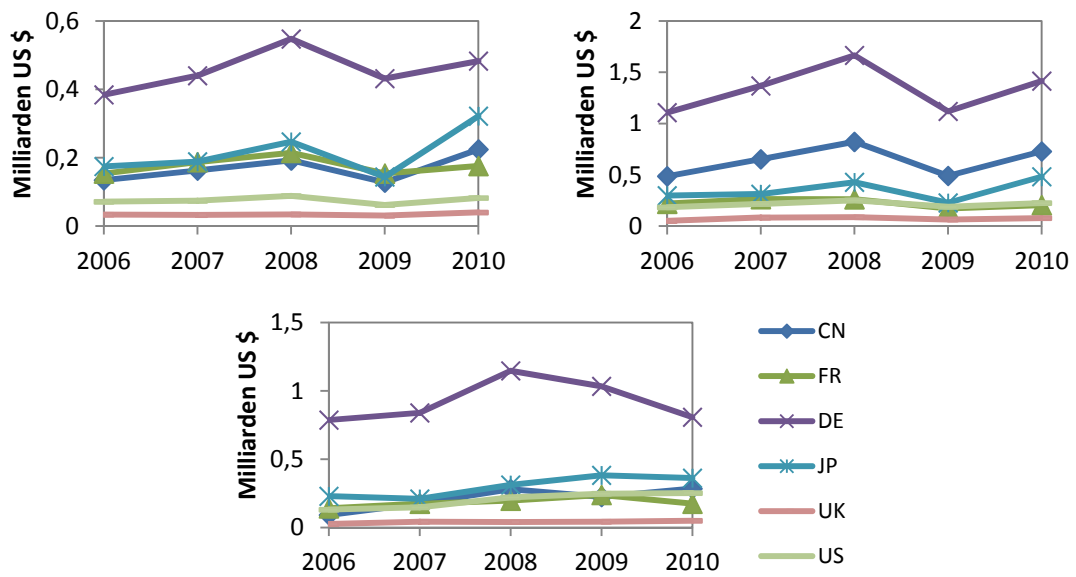
Eine genauere Unterteilung enthüllt, dass die Volksrepublik China den größten Anteil an einphasigen Wechselstrommotoren hat (Gesamthandelsvolumen ca. 4,3 Mrd. US \$ im Jahr 2010). Im größeren Markt der Mehrphasen-Wechselstrommotoren (insgesamt 10,06 Mrd. US \$ Handelsvolumen) dominiert jedoch die Bundesrepublik. Diese Dominanz Deutschlands bei Wechselstrommotoren gilt für die verschiedenen Leistungsklassen und ist über die letzten Jahre stabil (siehe Abbildung 18 und Tabelle 5).

Tabelle 5: Welthandel Wechselstrommotoren 2010

Wechselstrom-Motoren	Exportvolumen 2010	Anteil VR China	Anteil BRD	Anteil Japan
Einphasig	4,83 Mrd. \$	43,9 %	4,7 %	2,1 %
Mehrphasig < 0,75 kW	1,83 Mrd. \$	12,3 %	26,4 %	17,6 %
Mehrphasig 0,75 – 75 kW	4,94 Mrd. \$	14,7 %	28,6 %	9,8 %
Mehrphasig > 75 kW	3,29 Mrd. \$	8,7 %	24,5 %	11,0 %

Quelle: <http://comtrade.un.org>

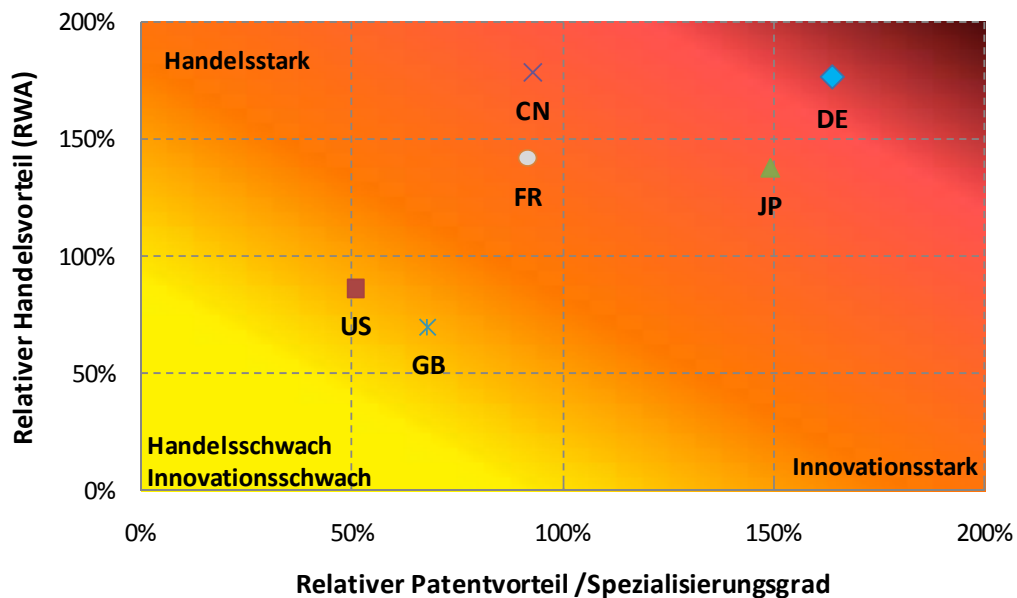
Effiziente Elektromotoren werden in den internationalen Statistiken nicht gesondert aufgeführt. Der genaue Anteil Deutschlands oder anderer Länder lässt sich damit nicht direkt angeben. Aufgrund der vorhandenen Statistiken sind jedoch allgemeine Aussagen möglich.



Quelle: UN comtrade (<http://comtrade.un.org/>). Eigene Berechnungen.

Abbildung 18: Exportvolumen verschiedener Länder im Bereich Drehstrommotoren. Leistungsbereiche < 0,75 kW (links), 0,75 – 75 kW (rechts) und > 75 kW (unten)

Deutschlands starke Rolle bei mehrphasigen Wechselstrommotoren und Elektromotoren-Patenten, verdeutlicht, dass die Wirtschaft der Bundesrepublik Deutschland hier in einer guten Position ist. Diese Kombination aus relativer Handelsstärke und Patentvorteil im Bereich Elektromotoren ist in Abbildung 19 dargestellt.



Quelle: UN comtrade, EPPATENT, WOPATENT, EPA. Eigene Berechnungen.

Abbildung 19: Relativer Patentvorteil versus relativer Handelsvorteil im Bereich aller Elektromotoren (Mittelwerte der letzten fünf Berichtsjahre).

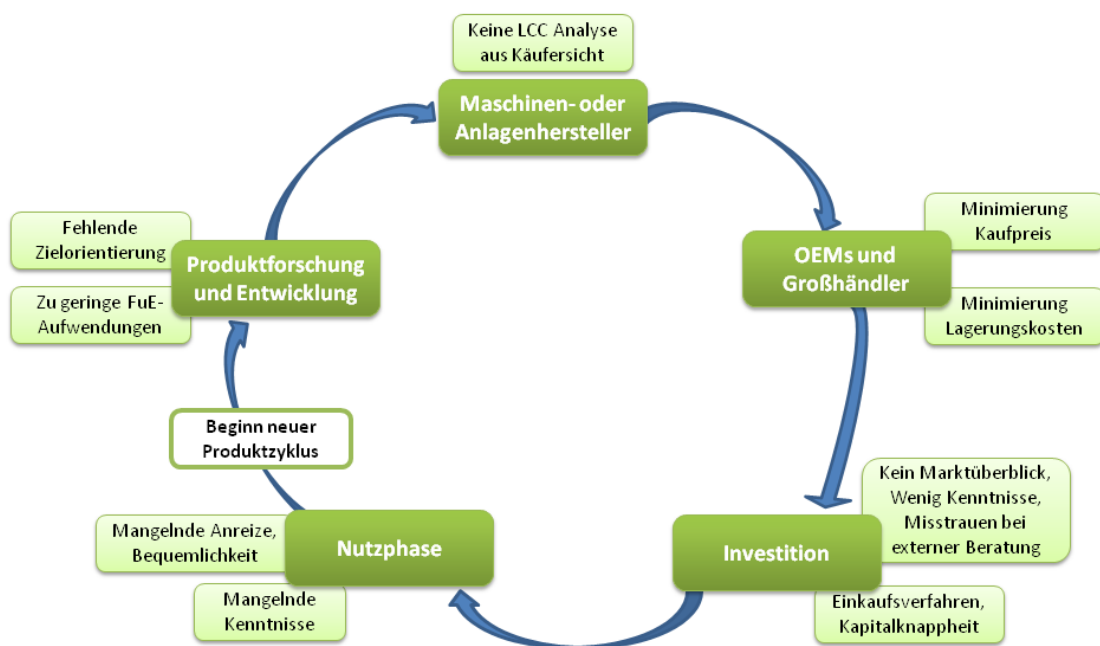
Dabei ist zu beachten, dass es sich um den jeweiligen relativen Vorteil handelt. Das heißt, Nationen wie die USA scheinen in der Abbildung zwar international abgeschlagen zu sein, es lässt sich daraus aber nur ablesen, dass diese Länder im Bereich Elektromotoren zwar eine für ihre Verhältnisse unterdurchschnittliche Rolle spielen, aber trotzdem international gesehen wichtig sein können (dies zeigen die weiter oben diskutierten absoluten Welthandelsanteile). Zudem mag es umgekehrt einzelne Länder wie die Schweiz (nicht gezeigt) geben, die auch einen vergleichsweise hohen relativen Patent- und Handelsvorteil haben, aber in absoluten Zahlen keine herausragende Rolle spielen und für die vorliegende Analyse nicht von Bedeutung sind.

Die anerkannte Marktposition und Innovationsrolle sollten es Deutschland erlauben, große Marktanteile im Bereich hocheffizienter Elektromotoren einzunehmen. Die beiden wichtigsten Konkurrenten, China und Japan, sind Deutschland gegenüber in diesem Bereich leicht im Nachteil. Die chinesische Industrie verfügt derzeit noch über weniger Innovationspotenzial, wie sich in der schlechteren absoluten und relativen Patentstatistik zeigt. Die japanische Wirtschaft nimmt zwar eine gute Position bei den Patenten ein, hat aber eine deutlich schwächere Position im internationalen Handel mit Elektromotoren, insbesondere mit Drehstrommotoren.

4 Innovationssystem und Initiativen

4.1 Akteursanalyse

Aufgrund der großen Bandbreite an Elektromotoren und ihrer vielfältigen Einsatzbereiche, ist die Gruppe relevanter Akteure vergleichsweise groß. Dabei werden zentrale Rollen von reinen Technologieherstellern, Herstellern von Antriebssystemen, Zwischenhändlern, Anwendern (sehr breit gefächert), bis hin zu Dienstleistern eingenommen. Folgende Abbildung 20 stellt die Hemmnisse für die Verbreitung energieeffizienter Elektromotoren innerhalb des Produktzyklus dar.

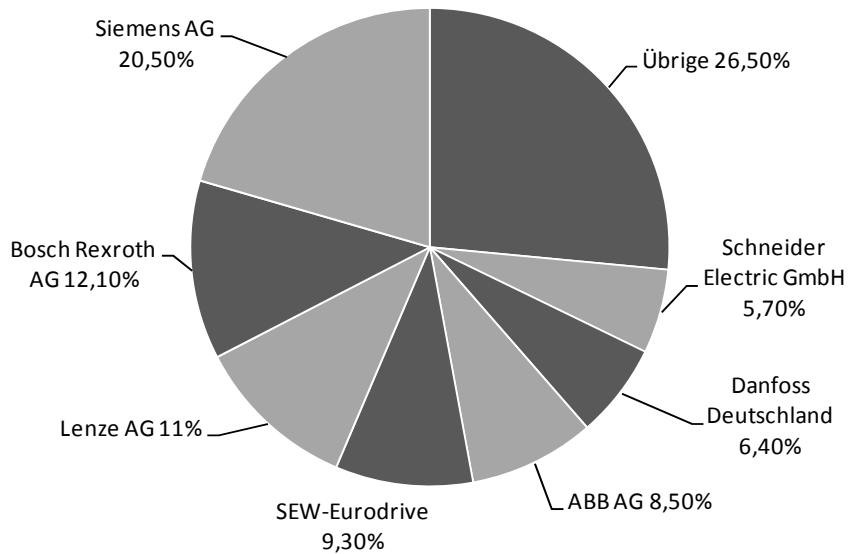


Quelle: Eigene Darstellung nach (Jochem und Aebischer 2003).

Abbildung 20: Übersicht der Hemmnisse im Produktzyklus

Für einzelne Phasen des Produktzyklus greifen politische Instrumente bereits, in anderen noch nicht. Die wichtigsten Akteure werden im Folgenden einzeln diskutiert.

In der Gruppe der **Technologiehersteller** gibt es einige große Entwickler in der Bundesrepublik Deutschland. Dabei gehören Siemens, Bosch, Lenze, SEW-Eurodrive und ABB zu internationalen Unternehmen mit zum Teil großen Forschungsetats und internationalem Renommee. Auf dem Markt moderner Elektromotoren agieren damit eine Reihe von Unternehmen, und nur wenige können einen echten technologischen Vorsprung innerhalb Deutschlands für sich in Anspruch nehmen. Folgende Abbildung 21 gibt eine Übersicht der Marktanteile nach Herstellern in Deutschland.



Quelle: nach (Frost and Sullivan 2006)

Abbildung 21: Marktanteile nach Herstellern von elektrischen Antrieben in Deutschland 2004

Von den genannten Unternehmen ist Siemens ein internationaler Technikkonzern, für den der Bereich Elektromotoren nur eine Sparte darstellt. Die weiteren Unternehmen (Bosch Rexroth, Lenze, SEW-Eurodrive etc.) sind hingegen zum Teil auf elektrische Antriebssysteme spezialisiert. In dieser heterogenen Akteurs-Situation gibt Tabelle 6 einen Überblick über einige und weitere Akteure. Die aktuellen Mindeststandards und ihre mögliche Verschärfung in der Zukunft nimmt Einfluss auf die Entwicklung effizienter Zukunftstechnologien durch die Technologiehersteller.

Tabelle 6: Übersicht verschiedener Motorenhersteller

Gruppe	Hersteller	Jahresumsatz Welt	Branche
Allgemeine Technikunternehmen	Siemens AG	76,0 Mrd. € (2010)	Ingenieurstechnik
	ABB Ltd.	22,3 Mrd. € (2009)	Elektrotechnik
	Schneider Electric GmbH	19,6 Mrd. € (2010)	Elektrotechnik
	Danfoss AG	4,2 Mrd. € (2009)	Kältetechnik
Antriebs- und Motoren-Hersteller	ZF Friedrichshafen	12,9 Mrd. € (2010)	Antriebssysteme
	Bosch Rexroth GmbH	5,1 Mrd. € (2010)	Antriebstechnik
	SEW Eurodrive GmbH	2,0 Mrd. € (2010)	Getriebemotoren
	VEM Sachsenwerk GmbH	0,26 Mrd. € (2010)	Antriebssysteme
	ATB AG	0,3 Mrd. € (2010]	Antriebssysteme
	Lenze AG	0,42 Mrd. € (2010)	Antriebssysteme
Autokonzerne	Toyota AG	236 Mrd. \$ (2010)	Autobauer
	General Motors	136 Mrd. \$ (2010)	Autobauer
	Tesla Motors	0,12 Mrd. \$ (2010)	Elektroautobauer

Quelle: Eigene Recherche.

Eine große Gruppe von Akteuren bilden die **Zwischenhändler (OEMs)**. Diese kaufen fertige Motoren und bauen sie in Systeme ein, die dann als komplettes Produkt verkauft werden. Eine scharfe Trennung zu Technologieherstellern ist nicht möglich, da einige OEMs auch selbst Systeme anbieten. Nah verwandt zu diesen sind auch die Großhändler. Diese kaufen Elektromotoren in großen Stückzahlen und halten sie auf Lager mit dem Ziel, Endkunden schnell zu beliefern. Häufig vertreiben diese aber nicht die besonders effizienten Motoren (so bietet <http://www.elektromotorenmarkt.de> derzeit keine IE3 Motoren an). Die aktuellen Mindeststandards erlauben nur noch den Verkauf von Elektromotoren mit gewisser Mindesteffizienz (aktuell IE2), bieten darüberhinaus aber keine Anreize für diese Gruppe von Akteuren besonders effiziente Motoren zu vertreiben.

Eine dritte Gruppe von Akteuren auf dem Elektromotormarkt bilden die **Anwender**. Durch die vielseitige Verwendung von Elektromotoren – überall dort, wo mechanische Energie stationär benötigt wird – ist auch die Gruppe der Anwender sehr vielseitig. Abbildung 8 enthält einige Beispiele. Neu in dieser Gruppe sind Autokonzerne, die durch den Bau von Elektro- und Wasserstofffahrzeugen Interesse an Elektromotoren gefunden haben. Diese zum Teil sehr großen Konzerne werden aufgrund ihrer Marktmacht im jeweiligen Bereich hier aufgeführt (siehe Tabelle 6) und haben jüngst Kooperationen mit Herstellern elektrischer Antriebssysteme und Elektromotoren gebildet (zum Beispiel die Daimler-Benz AG und Bosch). Der Kauf effizienter Motoren ist gerade für diese Akteure sehr sinnvoll, denn die meisten Kosten im Betrieb von Elektromotoren sind Stromkosten (ja nach Zahl der Betriebsstunden bis zu 98 % der Lebenszykluskosten). Allerdings ist die Beachtung von Lebenszykluskosten beim Kauf von Elektromotoren bisher in Unternehmen wenig verbreitet. Politische Instrumente könnten die Betrachtung von Lebenszykluskosten hier zum Nutzen der Unternehmen und der Umwelt voranbringen.

Weiterhin gewinnen Dienstleister mittels **Contracting** an Bedeutung. Hier vereinbart ein Unternehmen mit einem Dienstleister die Bereitstellung von benötigten „Stoffen“ wie Wärme, Kälte, Druckluft oder Energie. Eine besondere Form ist das Energiespar-Contracting. Dabei wird ein zu erreichendes Energiesparziel vereinbart und der Contractor plant und übernimmt die nötigen Investitionen. Diese werden dann über die eingesparten Energiekosten abbezahlt.¹¹

¹¹ Siehe <http://www.oeko.de/service/contract/> für eine kurze Einführung.

4.2 Rahmenbedingungen und politische Initiativen

Für Energieeffizienzsteigerung im Allgemeinen und Elektromotoren im Besonderen sind eine Reihe politischer Initiativen und Rahmenbedingungen sowohl in Deutschland als auch international in Kraft.

Europa

Die EU hat sich auf die Initiative „20/30-20-20“ verpflichtet. Diese Initiative beinhaltet die drei Hauptziele bis 2020: Senkung der Treibhausgasemissionen um 20 bzw. 30 %, Steigerung des Anteils von erneuerbarer Energien auf 20 % und Verbesserung der Energieeffizienz um 20 % (alle Raten im Vergleich zu 1990). Weiterhin sind zusätzliche Maßnahmen zur Erreichung des langfristigen 2050-Ziels von -80 bis -95 % möglich. Das Ziel zur Verminderung der Treibhausgase verteilt sich auf die Sektoren im Emissionshandel EU ETS (Emissionshandelsrichtlinie 2009/29/EG) und die Nicht-ETS-Sektoren (Effort Sharing Decision). Für die Elektromotoren ist im Prinzip der Emissionshandel relevant, aber das Preissignal der Zertifikate ist derzeit zu niedrig, um Stromeinsparungen substantiell voranzutreiben.

Eine wichtige Rahmenbedingung auf europäischer Ebene ist die (überarbeitete) **Öko-design-Richtlinie** 2009/125/EG (Europäisches Parlament 2009), die die umweltgerechte Ausgestaltung von energiebezogenen Produkten regelt. Sie setzt Mindeststandards und umfasst derzeit ca. 40 Produktgruppen¹². Zusätzlich gilt die Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung (Richtlinie 2010/30/EG), auch *Energy Labelling* genannt. Speziell für Elektromotoren ist Verordnung 640/2009 in Kraft (Europäische Kommission 2009), siehe auch Abschnitt 2.1. Weiterhin existieren für wichtige elektromotorische Anwendungen bereits Verordnungen oder sind in Vorbereitung. Dies gilt für Umwälzpumpen (Verordnung 641/2009), Ventilatoren (Verordnung 327/2011), Wasserpumpen und Werkzeugmaschinen (Richtlinien liegen noch nicht vor).

Deutschland

Die Bundesregierung hat in diesem Jahr weitere ambitionierte Klimaschutzziele und Maßnahmen zu ihrer Erreichung in der **Energiewende** vorgelegt (BMU 2011b):

- Reduktion der Treibhausgasemissionen um 40 % bis 2020, um 55 % bis 2030, um 70 % bis 2040 und um 80 % bis 95 % bis 2050 (gegenüber 1990).
- Senkung des Stromverbrauchs um 10 % bis zum Jahr 2020.

¹² siehe <http://www.eup-network.de/product-groups/> für eine Übersicht und den aktuellen Stand

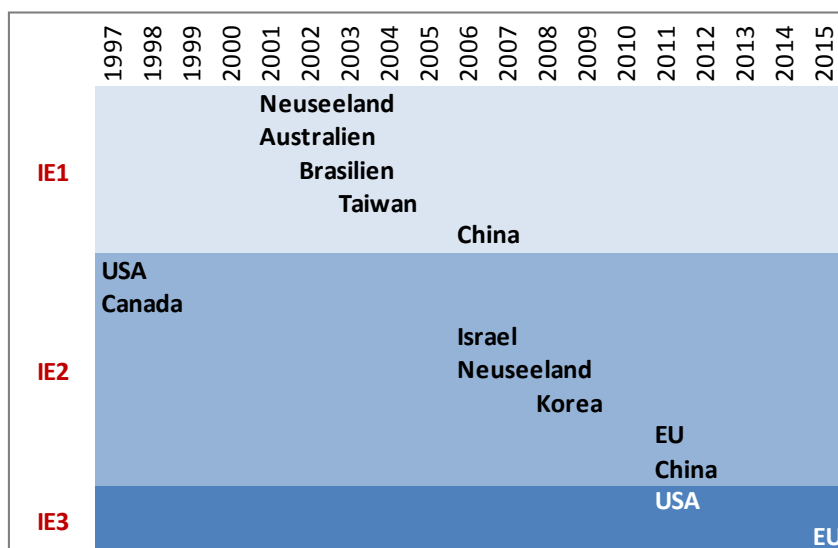
Die Botschaft an die deutsche Industrie, die Gegenstand der vorliegenden Fallstudie ist, wird im Energiekonzept deutlich hervorgehoben: „[Wir] setzen [...] auf Innovation und fortschrittliche Technologien, auf wirksame und zugleich kosteneffiziente Maßnahmen und auf eine umwelt- und klimaverträgliche und zugleich markt- und wettbewerbsorientierte Politik. Das eröffnet uns technologische und ökonomische Chancen für die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands als Wirtschaftsstandort und Exportnation. In der besten Tradition deutscher Ingenieure werden dabei neue Technologien und Produkte, neue Exportmöglichkeiten und damit Beschäftigung und Wachstum entstehen.“ (BMU 2011b). Elektromotoren werden im Energiekonzept nicht explizit genannt. Sie sind jedoch ein zentraler Baustein zur Erreichung der genannten Ziele, da ihr Beitrag zum Energieverbrauch Deutschlands der im Energiekonzept genannten Forderung nach beschleunigter Marktdurchdringung effizienter Technologien (BMU 2011b) nachkommt.

Welt

Darüber hinaus existieren Initiativen zur Energieeinsparungen in weiteren Ländern. Das Energieministerium (Department of Energy) und die nationale Umweltschutzbehörde (U.S. Environmental Protection Agency) der **USA** haben einen nationalen Maßnahmenkatalog zur Energieeffizienzsteigerung vorgelegt. In diesem werden Maßnahmen für die Bundesstaaten vorgeschlagen, mit denen der Energieverbrauch in den nächsten 20 Jahren um 50 % gesenkt werden kann.¹³ Standards für Energieeffizienz von Elektromotoren wurden schon früh in enger Zusammenarbeit mit dem amerikanischen Fachverband NEMA (<http://www.nema.org/>) getroffen.

Die **VR China** hat eigene Energiesparziele und setzt diese zum Teil rigoros durch. Dies hat bereits dazu geführt, dass die Stromzufuhr einzelner Industriezweige zeitweilig eingestellt wurde (Bai und Miles 2011). Für Elektrizitätsverteiler wurden Einsparverpflichtungen von 0,3 %/Jahr (basierend auf dem Vorjahresverkauf von Strom) sowie Leistungseinsparungen von 0,3 %/Jahr (gegenüber Vorjahres-Peakleistung) eingeführt (Cowart 2011). Außerdem ist im aktuellen Fünf-Jahresplan (2011 – 2015) eine Gesamteinsparung von 16 % des Energieverbrauches vorgesehen (Cowart 2011). Bei Standards für Elektromotoren führt die VR China gleichzeitig mit der EU die IE2-Motoren in diesem Jahr als Minimum ein. Abbildung 22 gibt einen Überblick zum Zeitpunkt der Einführung von Mindestanforderungen für Elektromotoren verschiedener Länder.

¹³ Siehe <http://www.epa.gov/cleanenergy/energy-programs/suca/resources.html>



Quelle: Eigene Recherche.

Abbildung 22: Zeitpunkt der Einführung von Mindeststandards

Tabelle 7 gibt eine Übersicht nationaler Regelungen für effiziente Elektromotoren.

Tabelle 7: Nationale Regulierungen für effiziente Elektromotoren

Land	Information
Australien	http://www.energyrating.gov.au/man1.html
Brasilien	http://www.inmetro.gov.br
Chile	http://www.sec.cl http://www.clasponline.org/clasp.online.worldwide.php?teststandard=1086
China	http://www.cnis.gov.cn , http://www.energylabel.gov.cn
Kanada	http://www.oee.nrcan.gc.ca/regulations/home_page.cfm
Korea	http://www.mke.go.kr/ , http://www.co2.kemco.or.kr/
Mexiko	http://www.sener.gob.mx/webSener/portal/ndex.jsp?id=19
Schweiz	http://www.bfe.admin.ch/themen/00507/04257/index.html?lang=de
Südafrika	http://www.sabs.co.za , http://www.sabs.co.za/index.php?page=electrorotating
USA	http://www.nema.org/gov/energy/efficiency/premium/

Quelle: (CEMEP 2011)

Rohstoffverfügbarkeit

Elektromotoren werden vorwiegend aus unkritischen Rohstoffen wie Kupfer und Aluminium hergestellt. Allerdings werden für Permanentmotoren, d. h. solche, bei denen der Rotor aus Permanentmagneten gefertigt wird, seltene Erden für die Permanentmagneten benötigt. Solche Permanent-Synchronmotoren bieten zum Teil einen gewissen Vorsprung in der Effizienz (gegenüber hocheffizienten Asynchronmotoren) und können

kompakter gebaut werden. Sie sind damit zum Beispiel für mobile Anwendungen wie Elektrofahrzeuge interessant.

4.3 Brancheninitiativen

Eine der frühen internationalen Klassifikationen energieeffizienter Elektromotoren („Eff1“ bis „Eff3“) geht auf eine Selbstverpflichtung des **Industrieverbandes CEMEP** zurück. Die freiwillige Erklärung wurde 1999 eingeführt und hat zu einem deutlich steigenden Marktanteil energieeffizienter Motoren geführt (siehe Abbildung 4). Die Effizienzklassen wurden in Abschnitt 2.1 genauer beschrieben.

Einzelne Hersteller bieten bereits eigene **Paketlösungen zum Energiesparen** an. SEW Eurodrive hat eine eigene Initiative „EFFIDRIVE“¹⁴ entwickelt. Diese besteht aus dem Angebot, ein gesamtes Antriebs- oder Produktionssystem eines Unternehmens zu untersuchen, durchzurechnen und eine effizientere Variante vorzuschlagen. Hierbei werden auch die Amortisationszeiten für die nötigen Investitionen angegeben. Da die Einsparpotenziale gerade bei Antriebssystemen hoch sind, sind – bei kurzen Amortisationszeiten – die möglichen Energieeinsparungen dort häufig beträchtlich hoch. Ein weiteres Programm stammt von Bosch Rexroth (4EE)¹⁵, mit dem in allen Phasen des Lebenszyklus einer Maschine oder Antriebssystems Energie gespart werden soll. 4EE betrachtet damit das Gesamtsystem und nicht nur einzelne Komponenten. Das Unternehmen versucht mit diesem Programm, auf die Systemeffizienz seiner Produkte hinzuweisen.

4.4 R&D für innovative Elektromotoren

Elektromotoren sind durch ihre lange Entwicklung eine ausgereifte Technologie. Forschungs- und Entwicklungsbedarf gibt es noch bei extrem effizienten Motoren (IE4). Dies betrifft Permanentmagnetmotoren und neuartige Motoren auf Basis von Hochtemperatursupraleitern. Weitere Entwicklungspotenziale liegen in der Steuerung von elektromotorischen Systemen und ihrer Optimierung als Gesamtsystem.

Hochtemperatursupraleiter (HTSL) erlauben eine weitere Steigerung des Wirkungsgrades von Elektromotoren durch die verlustfreie Leitung elektrischer Energie. Einige Materialien verlieren unterhalb gewisser Temperaturen (Sprungtemperatur) jeglichen

¹⁴ <http://www.sew-energiesparen.de/>

¹⁵ Das Programm hat den Namen 4EE, siehe http://www.boschrexroth.com/country_units/europe/germany/sub_websites/zukunftssicher/energieeffizienz/index.jsp

elektrischen Widerstand. Bei Sprungtemperaturen von über 77 Kelvin kann preiswerter flüssiger Stickstoff zur Kühlung verwendet werden. Der Wegfall des elektrischen Widerstands in den Leitern ermöglicht kleinere Leiterquerschnitte und eine damit einhergehende Verminderung des Motorvolumens. Als erste Anwendungen gelten Schiffsantriebe und Windkraftanlagen. Langfristig können HTSL-Motoren (unter Berücksichtigung der Kühlung) einen Wirkungsgrad von über 99 % erreichen (Wietschel u. a. 2010). Auch wenn erste Demonstrationsanlagen bereits entwickelt wurden, so ist noch eine deutliche Kostensenkung durch Serienfertigung, insbesondere der Leiter und der Kühlsysteme, notwendig, um eine breite Markteinführung zu ermöglichen (Wietschel u. a. 2010). Zur Förderung von Anwendungen der HTSL hat sich ein eigener Industrieverband gegründet, der Industrieverband Supraleitung „IV Supra“.¹⁶

Bei **Antriebssystemen mit Drehzahlreglern** bestehen langfristige Forschungsmöglichkeiten zur Entwicklung kompakterer und besser integrierter Systeme mit effizienten Umrichtern und direkt angetriebenen Arbeitsmaschinen. Parallel ist eine Senkung der Herstellungskosten für die Leistungselektronik wünschenswert (Wietschel u. a. 2010).

Eine weitere Möglichkeit zur Effizienzsteigerung besteht in **verbesserter Bauweise** der Motoren. Eine Verminderung der Leitungsverluste ist möglich, indem Aluminium als elektrischer Leiter durch Kupfer ersetzt wird. Weiterhin gestattet eine präzisere Bauweise (geringere Spaltbreite) Effizienzsteigerung, und ermöglicht bei gleicher Baugröße weniger geringere Verluste.

Ein generelles Problem bei der Einführung hocheffizienter Motoren ist nicht deren Entwicklung sondern die hohen Anschaffungskosten für den Käufer. Eine **Verbesserung der Produktionsprozesse** und -verfahren würde diesen Nachteil verringern und zu einer Kostendegression beitragen (Wietschel u. a. 2010).

¹⁶ <http://www.ivsupra.de/>

5 SWOT-Analyse Deutschland

Aus den Ergebnissen der vorangegangenen Kapitel ergibt sich die besondere Rolle Deutschlands bzgl. effizienter Elektromotoren mit eigenen Stärken und Schwächen. Diese sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

Tabelle 8: SWOT-Analyse Deutschland und effiziente Elektromotoren

Stärken	Chancen
<ul style="list-style-type: none"> • Führende Position bei Forschung im Bereich Elektromotoren • Starke internationale Marktposition bei Elektromotoren, führend bei (Mehrphasen-) Drehstrommotoren • International anerkannter Hersteller für technische Produkte 	<ul style="list-style-type: none"> • Große Anteile am Weltmarkt für effiziente Elektromotoren und elektrische Antriebssysteme • Hohes kostengünstiges Einsparpotenzial (Energie und Treibhausgase) • Forschungs- und Bildungsvorsprung können genutzt werden und bieten Vorteil gegenüber Konkurrenz aus Niedriglohnländern • Starker Druck auf andere Länder (insbesondere China), Strom einzusparen um das Wirtschaftswachstum aufrecht zu erhalten.
Schwächen	Herausforderungen
<ul style="list-style-type: none"> • Bisher Marktführung nur im Bereich Drehstrommotoren • Deutschland und Europa international nicht führend bei Energieeffizienzstandards für Elektromotoren – trotz Fortschritten durch die Ökodesign-Richtlinie 	<ul style="list-style-type: none"> • Starke Konkurrenz durch japanische und chinesische Hersteller • Für gewissen hocheffiziente Elektromotoren besteht schwache Abhängigkeit von speziellen Rohstoffen

6 Fazit und Handlungsempfehlungen

Insgesamt ergibt sich aufgrund der Entwicklungen im Klimaschutz, der entsprechenden politischen Maßnahmen und der internationalen Standardisierung von Elektromotoren ein hohes Potenzial für deutsche Unternehmen im Bereich effizienter Elektromotoren. Dies gilt sowohl für deren Herstellung, womit gute Chancen für den Weltmarkt bestehen, als auch für deren Betrieb, der deutliche Einsparungen der Energiekosten mit sich bringt.

Die Forschung und Entwicklung spielt in der Bundesrepublik wie auch in Japan eine international führende Rolle und meldet überproportional viele transnationale Patente an. Gleichzeitig sind deutsche und chinesische Unternehmen international führend im Export von Elektromotoren, wobei Deutschland im Bereich Mehrphasen-Wechselstrommotoren dominiert.

Zur Förderung der Rolle Deutschlands im Bereich effizienter Elektromotoren ergeben sich folgende Handlungsempfehlungen:

- Verschärfung europäischer und internationaler **Mindeststandards für hoch-effiziente Elektromotoren**, da die EU hier international zeitlich leicht zurückliegt und gerade deutsche Hersteller hochwertige effiziente Motoren herstellen.
- Verschärfung und Vereinheitlichung **internationaler Standards für elektrische Antriebssysteme**, da diese als System noch ein hohes Einsparpotenzial besitzen und sich deutschen Herstellern als Berater und Dienstleister zur Effizienzsteigerung ein großer Markt bietet.
- **Förderung der Forschung zukünftiger Technologien** zur Effizienzsteigerung wie Hochtemperatursupraleitung und Leistungselektronik, damit Deutschland auch langfristig seine Rolle ausbauen kann und da konventionelle Systeme schon sehr gut entwickelt sind und keiner speziellen Förderung bedürfen.

Insgesamt sind Elektromotoren und elektromotorische Systeme für ca. 40 % des gesamten weltweiten Stromverbrauchs verantwortlich und für ungefähr 70 % des Stromverbrauches der Industrie. Das langfristige Potenzial effizienter Elektromotoren für Umwelt und Wirtschaft ist groß, da auch geringe Effizienzsteigerung aufgrund der großen Zahl vorhandener Systeme zu erheblichen Einsparungen führen und Stromsektor langfristig an Gewicht beim Energieverbrauch zulegen wird.

Literatur

Almeida, Aníbal T. de, Fernando J. T. E. Ferreira, João Fong, und Paula Fonseca. 2008. EUP Lot 11 Motors - Final Report. http://www.eup-net-work.de/fileadmin/user_upload/Produktgruppen/Lots/Final_Documents/Lot11_Motors_FinalReport.pdf.

Bai, Jim, und Tom Miles. 2011. China ups power prices as shortages loom. Reuters. <http://www.reuters.com/article/2011/05/31/china-power-price-idUSSGE74U00120110531>.

BMU. 2009. GreenTech Made in Germany 2.0. Verlag Franz Vahlen München.

———. 2011a. BMU-Leitstudie 2010 - Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. http://www.bmu.de/erneuerbare_energien/downloads/doc/47034.php.

———. 2011b. BMU - Energiewende - Der Weg zur Energie der Zukunft - sicher, bezahlbar und umweltfreundlich. <http://www.bmu.de/energiewende/doc/47465.php>.

CEMEP. 2011. Electric Motors and Variable Speed Drives - Standards and legal requirements for the energyefficiency of low-voltage three-phase motors. CEMEP. http://www.cemep.org/fileadmin/downloads/CEMEP_Motors_and_VSD.pdf.

Cowart, Richard. 2011. Energy Efficiency Resource Standards in Europe and China. April. http://www.ieadsm.org/Files/Exco%20File%20Library/Workshop%20Washington%20April%202011/Cowart_IEA-DSMWorkshopEERS_2011_April.pdf.

EFI. 2011. *Gutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands*. http://www.e-fi.de/fileadmin/Gutachten/2011_deu.pdf.

Eichhammer, Wolfgang, und Rainer Walz. 2009. Indicators to measure the contribution of Energy Efficiency and Renewables to the Lisbon targets. http://www.odyssee-indicators.org/publications/PDF/report_competitiveness_indicators.pdf.

Europäische Kommission. 2009. *Verordnung (EG) Nr. 640/2009 der Kommission vom 22. Juli 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Elektromotoren*. August 12. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32009R0640:DE:NOT>.

Europäisches Parlament. 2009. *Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte (Text von Bedeutung für den EWR)*. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32009L0125:DE:NOT>.

Fleiter, Tobias, und Wolfgang Eichhammer. 2010. *Energy efficiency in electric motor systems: Technology, saving potentials and policy options for transition economies and developing countries*. Background report for the UNIDO Industrial Development Report. Fraunhofer ISI.

- Frost and Sullivan. 2006. *German electric drives sourcebook*. Frost and Sullivan.
- International Energy Agency. 2010. Key World Energy Statistics 2010. http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2010/key_stats_2010.pdf.
- Jardot, Daniela. 2008. Die Kostenentwicklung von Energieeffizienztechnologien auf der Energienachfrageseite am Beispiel von effizienten Elektromotoren – Analyse möglicher Kostendegressionen durch Massen- und Erfahrungseffekte.
- Jochem, Eberhard, und Bernard Aebischer. 2003. Begleitende Evaluation der Wirkungsanalyse 2002 von EnergieSchweiz. Studie im Rahmen der Evaluationen des Bundesamts für Energie BFE.
- VDE. 2008. Effizienz- und Einsparpotentiale elektrischer Energie in Deutschland. <http://www.vde.com/de/InfoCenter/Seiten/Details.aspx?eslShopItemID=c963df19-e4f4-4545-aec1-c1e3c7942276>.
- Waide, Paul, und Conrad U. Brunner. 2011. Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems - Working Paper. International Energy Agency.
- Wietschel, Martin, Marlene Arens, Christian Dötsch, und Sebastian Herkel. 2010. *Energietechnologien 2050- Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung: Technologiebericht*. Fraunhofer Irb Stuttgart, Februar.