

# Elektromechanische Energiewandlung

## ANTRIEBSTECHNIK ALS

### SCHLÜSSELTECHNOLOGIE DER ENERGIEEFFIZIENZSTEIGERUNG

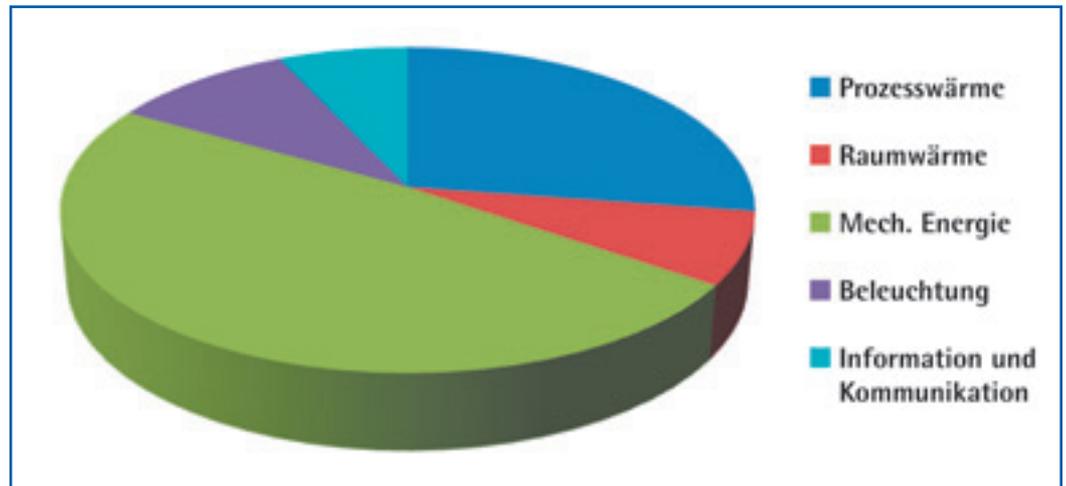
Elektrische Energie ist die wohl am einfachsten transportierbare Energieform. Zudem lässt sie sich sehr leicht nutzen, indem sie in Wärme, Licht oder Bewegung gewandelt wird. Ein Wissenschaftler des Instituts für Antriebssysteme und Leistungselektronik erklärt die zunehmende Bedeutung der Weiterentwicklung von Elektromotoren für die Verbesserung der Energieeffizienz.

Abgesehen von – zumindest derzeit noch – unbedeutenden Ausnahmen wie Photovoltaik oder Brennstoffzellen wird elektrische Energie praktisch vollständig durch Generatoren aus mechanischer Energie erzeugt: in konventionellen thermischen Kraftwerken, in Wasserkraftwerken oder in Windkraftanlagen. Wenig be-

ziffert somit die Energieeffizienz von einzelnen Geräten, Komponenten oder ganzen Prozessen.

Große Kraftwerksgeneratoren erreichen bereits heute Wirkungsgrade von bis zu 99 Prozent, was praktisch keinen Raum für spürbare Verbesserungen lässt. Anders ist dies

umwälzpumpen angetrieben werden (Bild 3). Dabei ist es technisch durchaus möglich, auch bei Motoren mit kleinen Leistungen Wirkungsgradwerte oberhalb von 80 Prozent zu erreichen. Für viele Endverbraucher ist jedoch häufig nur der Anschaffungspreis kaufentscheidend. Die Kosten des Energieverbrauchs während



kannt ist, dass etwa die Hälfte der insgesamt erzeugten elektrischen Energie durch Motoren wieder in mechanische Energie zurückgewandelt wird (Bild 1). Für eine Erhöhung der Energieeffizienz sind elektrische Maschinen – Motoren und Generatoren – eine der Schlüsselkomponenten, da bei jedem Wandlungsprozess Energie in Form von Verlustwärme verloren geht. Der Wirkungsgrad gibt das Verhältnis von genutzter Energie zu aufgewendeter Energie an und

bei Motoren: Große Motoren mit Leistungen von mehreren Megawatt, wie sie beispielsweise zum Antrieb von Gasverdichtern eingesetzt werden (Bild 2) besitzen zwar ebenfalls durchgängig Wirkungsgrade von 95 bis über 98 Prozent; bei Kleinmaschinen aber, wie sie in Privathaushalten eingesetzt werden, reicht das Spektrum von über 80 Prozent bis zu beschämend niedrigen Werten von lediglich 5 Prozent bei sogenannten Spaltpolmotoren, mit denen Warmwasser-

des oft jahrelangen Betriebs werden zu wenig berücksichtigt (siehe Info-Kasten).

Die Entwicklung und Verbesserung elektrischer Maschinen hat aus mehreren Gründen in den letzten Jahren einen regelrechten Schub erfahren:

- **Bessere Berechnungsverfahren:** Eine wesentliche Voraussetzung für die weitere Optimierung elektrischer Maschinen sind computergestützte Verfahren,

mit denen das Betriebsverhalten elektrischer Maschinen heute präzise vorausberechnet werden kann. Das Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik (IAL) der Leibniz Universität entwickelt seit vielen Jahren Spezialsoftware, die von zahlreichen Herstellern elektrischer Maschinen in Deutschland, aber auch in Ländern wie den USA oder Brasilien zur Weiterentwicklung ihrer Produkte eingesetzt wird. Dabei geht es nicht nur um die Vorausberechnung des Wirkungsgrads, sondern auch um Aspekte wie die Vorausberechnung des von der Maschine erzeugten

Der Einfluss des Wirkungsgrads auf den Energieverbrauch und die daraus resultierenden Stromkosten lassen sich leicht am Beispiel des Antriebs einer Warmwasserumwälzpumpe veranschaulichen: Unter der Annahme, dass der Antriebsmotor lediglich 2 Watt mechanische Leistung an die Pumpe abgeben muss, ergibt sich bei einem Motorwirkungsgrad von 5 Prozent ein elektrischer Leistungsbedarf von 40 Watt. Läuft der Motor rund um die Uhr, führt dies bei einem Strompreis von 23 Cent/Kilowattstunde zu jährlichen Stromkosten von über 80 Euro. Bei einem Motorwirkungsgrad von 80 Prozent reduziert sich der elektrische Leistungsbedarf auf 2,5 Watt und die jährlichen Kosten auf 5 Euro. Der Unterschied in den jährlichen Stromkosten übersteigt den Unterschied in den Produktionskosten der beiden Motoren um ein Vielfaches. Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit ist dabei natürlich immer auch die Nutzungsdauer: Ist ein Motor, wie etwa im Falle eines Garagentorantriebs, nur viermal täglich für einige Sekunden in Betrieb, spielt sein Energieverbrauch im Vergleich zu der für die Herstellung des Motors erforderlichen Energie nur eine untergeordnete Rolle, so dass ein möglichst einfacher Motor auch unter energetischen Gesichtspunkten die beste Wahl ist.



Bild 1 (Grafik)  
Verteilung des elektrischen Energieverbrauchs in Deutschland  
Quelle: Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik, Leibniz Universität Hannover

Bild 2  
Elektrisch angetriebener Erdgasverdichter; Motorleistung 23 Megawatt, Drehzahl 600 bis 6300 Umdrehungen pro Minute, Motorwirkungsgrad 98 Prozent  
Quelle: Werkbild Siemens

Geräuschspektrums oder der im Falle einer Störung maximal auftretenden Kräfte beziehungsweise Drehmomente.

- **Bessere Werkstoffe:** Durch neue Permanentmagnetmaterialien ist es inzwischen möglich, in elektrischen Maschinen Magnetfelder von mehr als 1 Tesla Flussdichte zu erzeugen, ohne dafür elektrische Energie aufwenden zu müssen. Derartige permanentterregte Maschinen haben

daher praktisch immer einen höheren Wirkungsgrad als konventionelle Maschinen, bei denen das für die elektromechanische Energiewandlung erforderliche Magnetfeld erst durch einen elektrischen so genannten Erregerstrom erzeugt werden muss.

- **Leistungselektronische Stellglieder:** Die Entwicklung leistungsfähiger und preiswerter leistungselektronischer Geräte ermöglicht es inzwischen, die

Drehzahl bürstenloser und damit praktisch wartungsfreier elektrischer Maschinen unabhängig von der Frequenz des Versorgungsnetzes zu verändern. Dies eröffnet elektrischen Maschinen völlig neue Anwendungsgebiete, beispielsweise als Spindelantriebe für Werkzeugmaschinen mit Drehzahlen von mehr als 100.000 Umdrehungen pro Minute oder als langsam laufende Motoren für Elektrofahrzeuge, die direkt



#### Prof. Dr.-Ing. Bernd Ponick

Jahrgang 1964, arbeitet seit 2003 am Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik der Leibniz Universität Hannover, das er derzeit leitet. Sein Fachgebiet sind elektrische Maschinen und Antriebssysteme. Ferner fungiert er als Chairman des IEC.TC2, dem verantwortlichen Gremium für die internationale Normung rotierender elektrischer Maschinen. Kontakt: [ponick@ial.uni-hannover.de](mailto:ponick@ial.uni-hannover.de)

#### Bild 3

*Warmwasserumwälzpumpe mit Spaltpolmotor, aufgenommene Leistung 25 Watt, Drehzahl 2600 Umdrehungen pro Minute, Motorwirkungsgrad 5 Prozent*  
Quelle: Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik, Leibniz Universität Hannover

in die Radnabe integriert werden können. Verlust- und verschleißbehaftete mechanische Getriebe können entfallen. Wichtiger noch ist, dass auch verlustbehaftete mechanische Stellglieder – wie beispielsweise Ventile zur Mengenregulierung bei Pumpen – entfallen können. Die gewünschte Menge kann einfach und verlustfrei durch Veränderung der Pumpendrehzahl gestellt werden. Im Teillastbereich kann auf diese Weise mehr als die Hälfte der erforderlichen Energie eingespart werden. Am Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik werden derartige Systembetrachtungen und -optimierungen für zahlreiche Anwendungen durchgeführt. Dabei schätzen externe Partner aus der Industrie, vor allem die im nationalen und internationalen Vergleich, besonders die enge Kooperation von Experten für elektrische Maschinen und für Leistungselektronik.

Die Steigerung der Energieeffizienz zielt aber nicht immer nur auf eine Einsparung elektrischer Energie. Im Gegenteil: In einer Reihe von Anwendungen lassen sich gerade dadurch bedeutende Einsparungen an Primärenergie erzielen, dass mehr Strom verbraucht wird. So ersetzt der im Bild 2 gezeigte Elektroantrieb mit seinem Wirkungsgrad von 98 Prozent einen Gasturbinenantrieb, der je nach Umgebungstemperatur nur Wirkungsgrade zwischen 20 Prozent und 30 Prozent erreicht. Auch bei mit Erdwärme beheizten Häusern steht einer Einsparung des von einer konventionellen Heizung benötigten Öls oder Gases ein – natürlich viel geringerer – Mehrverbrauch elektrischen Stroms für den Antrieb des Wärmepumpenkompressors gegenüber. Natürlich wird der überwiegende Teil des Stroms heute nicht aus regenerativen Quellen erzeugt, sondern ebenfalls durch Verbrennung von Gas oder von Kohle – jedoch mit einem wesentlich



höheren Wirkungsgrad: Moderne Kraftwerke sind in der Lage, immerhin bis zu 55 Prozent der Primärenergie in elektrische Energie zu wandeln.

Besondere öffentliche Aufmerksamkeit genießt seit Kurzem das noch junge Gebiet der Elektromobilität. Von einem reinen Elektrofahrzeug spricht man, wenn der Verbrennungsmotor vollständig durch einen Elektromotor ersetzt wird, wobei die Reichweite derartiger Fahrzeuge aufgrund der begrenzten Energiedichte von Batterien heute noch recht gering ist. Bei Hybridantrieben wird der Verbrennungsmotor durch einen Elektroantrieb unterstützt, was mit Blick auf den Energieverbrauch vor allem zwei Vorteile besitzt: Zum einen kann beim Bremsen ein großer Teil der Bewegungsenergie wieder in elektrische Energie zurück verwandelt werden, da jeder Elektromotor auch als Generator betrieben werden kann und zum anderen kann der Verbrennungsmotor kleiner ausgeführt wer-

den als bei einem konventionellen Kraftfahrzeug. Eine besondere Herausforderung liegt in diesem Zusammenhang darin, Elektromotoren zu entwickeln, die gleichermaßen kompakt, leicht, energieeffizient und betriebssicher sind. Um die damit zusammenhängenden wissenschaftlichen Fragestellungen interdisziplinär erforschen zu können, beteiligt sich das Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik am neu gegründeten Niedersächsischen Forschungszentrum für Fahrzeugtechnik.

Die elektrische Antriebstechnik befindet sich also trotz ihrer mehr als 150-jährigen Geschichte immer noch in einer sehr dynamischen Entwicklung. Die Leibniz Universität, die seit 1884 an elektrischen Maschinen forscht, wird dieser Disziplin auch zukünftig Impulse geben können.