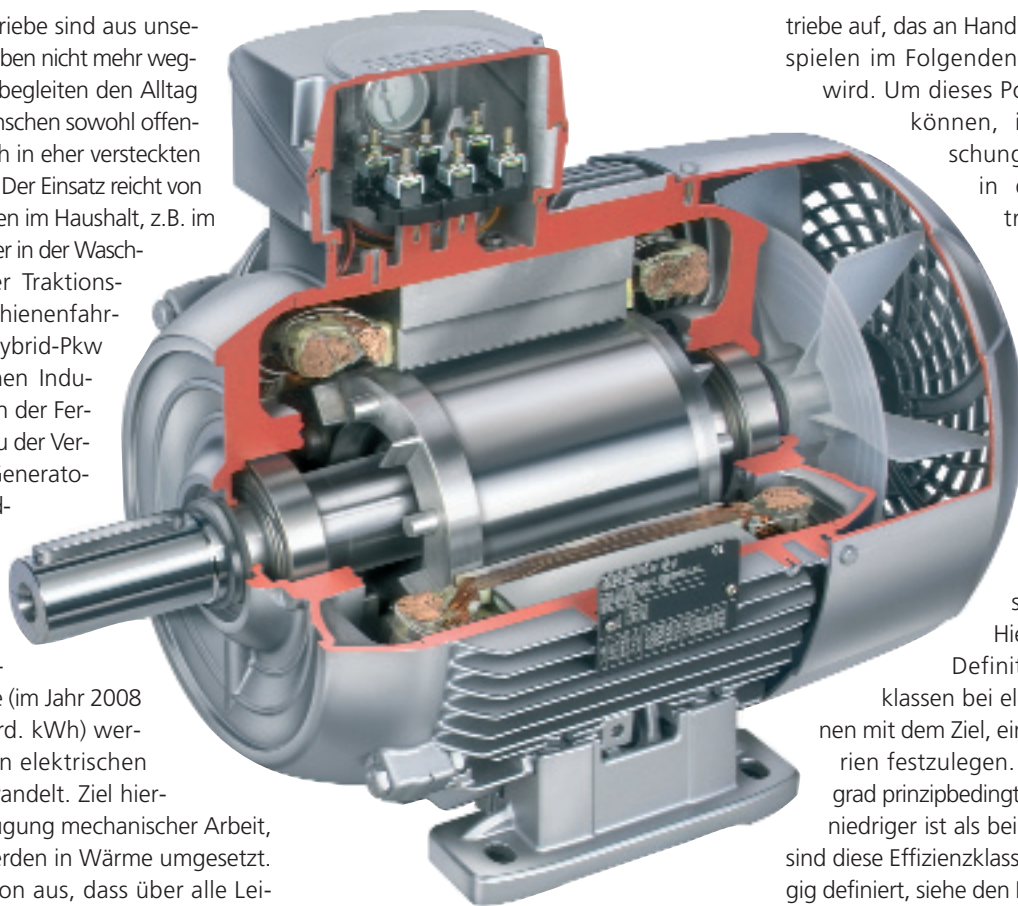


Elektrische Antriebe: Status, Potenzial und Optimierungsmöglichkeiten

In Zeiten des Klimawandels und immer weiter steigender Energiekosten gewinnt auch die Effizienz elektrischer Antriebe zunehmend an Bedeutung. Im vorliegenden Beitrag werden Potenziale zur Energieeinsparung in elektrischen Antriebskomponenten und -systemen aufgezeigt und aktuelle Entwicklungen hinsichtlich der Steigerung der Energieeffizienz dargestellt. An Hand von Beispielen aus den Bereichen Haushalt, Traktion und Industrie wird erläutert, welche Stellgrößen zur Steigerung des Wirkungsgrades von elektrischen Antriebssystemen genutzt werden können.

Elektrische Antriebe sind aus unserem heutigen Leben nicht mehr wegzudenken und begleiten den Alltag eines jeden Menschen sowohl offensichtlich als auch in eher versteckten Anwendungen. Der Einsatz reicht von kleinen Antrieben im Haushalt, z.B. im Staubsauger oder in der Waschmaschine, über Traktionsantriebe in Schienenfahrzeugen und Hybrid-Pkw oder elektrischen Industrieantrieben in der Fertigung bis hin zu der Verwendung als Generatoren, z.B. in Windkraftanlagen.

Von der in Deutschland genutzten elektrischen Energie (im Jahr 2008 etwa 616,6 Mrd. kWh) werden ca. 50% in elektrischen Antrieben gewandelt. Ziel hierbei ist die Erzeugung mechanischer Arbeit, die Verluste werden in Wärme umgesetzt. Geht man davon aus, dass über alle Leistungsklassen und Anwendungsgebiete von elektrischen Maschinen der Wirkungsgrad um einen Prozentpunkt gesteigert werden kann, so bedeutet dies ein Einsparpotenzial von jährlich ca. 3,4 Mrd. kWh. Dies entspricht knapp der Hälfte der vom Kernkraftwerk Isar 1¹ im Jahr 2008 erzeugten elektrischen Energie. Beim derzeitigen Energiemix in Deutschland entspricht dieses Einsparpotenzial einer Reduktion der Emissionen von fast 1,8 Mio. t CO₂ jährlich.²



Betrachtet man nicht nur die elektrische Maschine, sondern den gesamten elektrischen Antrieb (Maschine, Leistungselektronik, Regelung) und die anzutreibende Applikation als Gesamtsystem, so ist das Einsparpotenzial in den meisten Fällen noch deutlich größer.

Diese Abschätzungen zeigen das enorme Energieeffizienz-Potenzial elektrischer An-

triebe auf, das an Hand von konkreten Beispielen im Folgenden näher betrachtet wird. Um dieses Potenzial nutzen zu können, ist intensive Forschung und Entwicklung in diesem zukunfts-trächtigen Gebiet notwendig.

Initiativen zur Energieeffizienz bei Elektrischen Maschinen

Es gibt weltweit Bestrebungen, die Effizienz von elektrischen Maschinen zu steigern. Hierzu gehört z.B. die Definition von Effizienzklassen bei elektrischen Maschinen mit dem Ziel, eindeutige Gütekriterien festzulegen. Da der Wirkungsgrad prinzipbedingt bei kleiner Leistung niedriger ist als bei größerer Leistung, sind diese Effizienzklassen leistungsabhängig definiert, siehe den IEC-Standard in Bild 1, der seit 2008 gilt.

Die Tendenz zu immer höheren Effizienzklassen wird im Wesentlichen durch die folgenden drei Faktoren getrieben:

- steigende Energiekosten (insbesondere im industriellen Umfeld amortisiert sich der höhere Anschaffungspreis hocheffizienter Maschinen sehr schnell)
- Klimawandel

¹ Das Kernkraftwerk Isar 1 verfügt über eine Brutto-Nennleistung von 912 MWe und hat 2008 bei einer Arbeitsverfügbarkeit von 98,67% brutto 7,04 Mrd kWh elektrischer Energie erzeugt.

² Beruhend auf der Annahme, dass sich der Energiemix in Deutschland aus 29% Kernenergie, 59% fossilen und sonstigen Energieträgern sowie 12% erneuerbaren Energieträgern zusammensetzt. Damit sind 520 g/kWh CO₂-Emissionen und 0,0008 g/kWh radioaktiver Abfall verbunden.

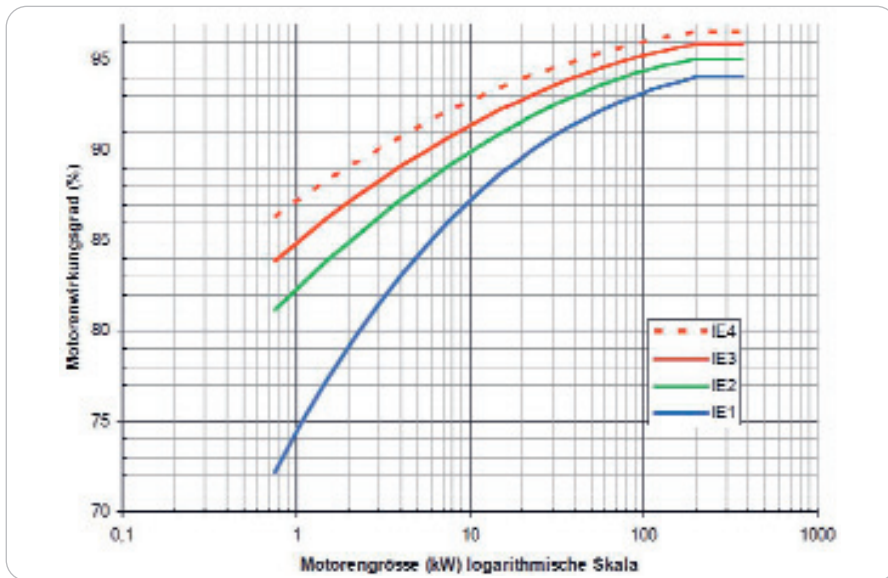


Bild 1: Effizienzklassen von elektrischen Maschinen nach IEC 60034-30 [1].

- nationale und internationale Gesetzgebung und Richtlinien

Die unterschiedlichen Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz kann man unterteilen in Maßnahmen an Einzelkomponenten und Maßnahmen unter System-sicht. Die verschiedenen Möglichkeiten sollen nachfolgend an Hand von Beispielen erläutert werden.

Beispiel Haushaltsanwendungen

Zwei typische Beispiele von Energieverschwendung im Haushaltsbereich sind der Staubsauger und die Heizungswasserpumpe.

Auch heute noch werden Staubsauger im Wesentlichen über das Argument „Leistung“ verkauft; Werte von 1800 W sind durchaus üblich. Bedenkt man aber, dass mehr als 300 W Luftleistung an der Düse kein Teppich verträgt, so erkennt man sehr schnell das energetische Verbesserungspotenzial. In dieser Anwendung wird buchstäblich viel „heiße Luft“ produziert. Notwendig wären eine Aufklärung der Kunden und die Einführung von Güteklassen als Verkaufsargument statt der aufgenommenen elektrischen Leistung. In die Definition solcher Güteklassen könnten z.B. die Wirksamkeit des Staubsaugers und die Energieeffizienz eingehen.

Die Heizungswasserpumpe läuft in vielen Haushalten unregelmäßig und ständig; die

Raumwärme wird durch die Drosselung über Ventile am Heizkörper reguliert. Schon alleine eine Zeitsteuerung hilft beim Energiesparen, noch wirksamer wäre aber eine bedarfsgerecht gesteuerte (bzw. geregelte) Pumpe. Ein nächster Schritt in Richtung weiterer Energieeffizienz kann die dezentrale Pumpe an jedem Heizkörper sein, die nur dann läuft, wenn Wärmebedarf besteht [2].

In den beiden genannten Beispielen kann zunächst ein ganz erheblicher Teil des Energieeinsparpotenzials aus der Systemoptimierung und der Entwicklung angepasster elektrischer Antriebe gewonnen werden. Hinzu kommt die Optimierung von Komponenten, z.B. die Optimierung der elektrischen Maschine. Eine sehr große Herausforderung im Haushaltsbereich sind die Kosten, da die Kunden häufig nur die Anschaffungskosten betrachten, nicht aber die Betriebskosten.

Beispiel Traktionsanwendungen

Als ein Beispiel für Traktionsanwendungen sollen hier elektrische Antriebe für Hybrid-Pkw betrachtet werden. Die typische Drehmoment-

Drehzahl-Anforderung für eine solche Anwendung ist in Bild 2 normiert dargestellt.

Elektrische Maschinen haben den Vorteil eines sehr hohen maximalen Wirkungsgrades (ca. 95% bis 97%³). Die elektrische Maschine wird aber bei typischen Fahrzyklen (z.B. NEFZ oder FTP-75) fast ausschließlich im Teillastbereich (d.h. bei reduziertem Drehmoment und/oder reduzierter Drehzahl) genutzt. Hierbei ist der Wirkungsgrad deutlich geringer. Um diese Problematik zu beseitigen, gibt es neuere Entwicklungen im Bereich der elektrischen Maschinen, die darauf abzielen, den Bereich mit sehr hohem Wirkungsgrad deutlich zu vergrößern. Insbesondere im Teillastbereich ergeben sich hierdurch erhebliche Vorteile, wodurch z.B. die Batteriekapazität in solchen Fahrzeugen signifikant reduziert werden kann. Damit wird der gesamte elektrische Antriebsstrang deutlich kostengünstiger.

Bild 3 zeigt die Wirkungsgrad-Kennlinienfelder einer konventionellen Permanentmagnetmaschine und ein neues Entwicklungsergebnis der FEAAM GmbH. Dieses Ergebnis basiert auf intensiven Forschungsarbeiten, bei denen die verschiedenen Verlustanteile in der Maschine in allen Betriebspunkten im Detail untersucht und minimiert wurden. Ein wesentliches Hilfsmittel hierbei ist die Berechnung mittels FEM, z.B. unter Verwendung der Software ANSYS. Die für diese Wirkungsgradsteigerung benötigten Maßnahmen sind zum einen sehr kostengünstig realisierbar, zum anderen

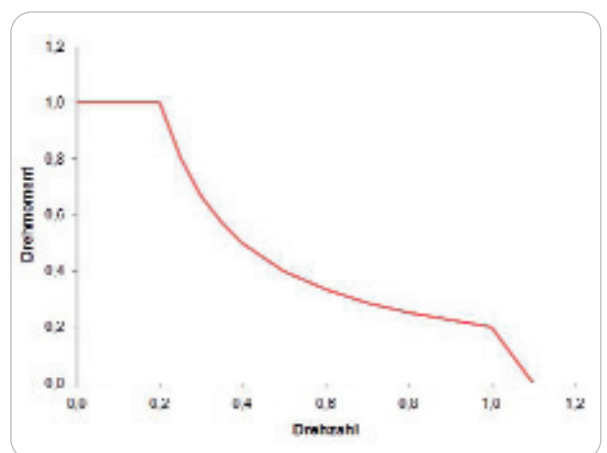


Bild 2: Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie für typische Traktionsanwendungen.

³ Verbrennungsmotoren haben typische maximale Wirkungsgrade von 30% bis 35%.

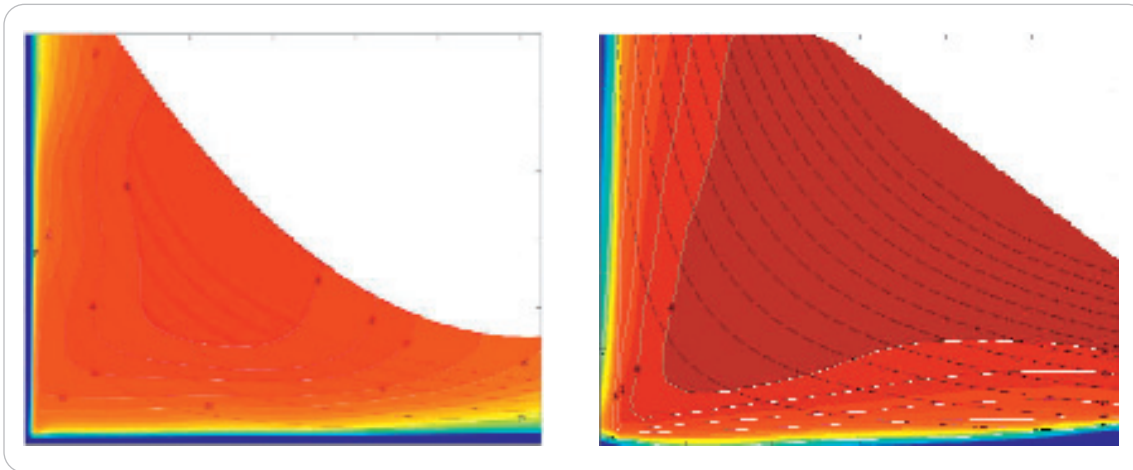


Bild 3: Wirkungsgrad-Kennlinienfelder für einen typischen Elektromotor für Hybrid-Pkw; links: konventionelle Permanentmagnetmaschine; rechts: neues Entwicklungsergebnis (Quelle: FEAM GmbH).

ren lassen sie sich auf alle Drehstrommaschinen (Asynchronmaschine, Synchronmaschine mit Stromerregung und Permanentmagnetmaschine) anwenden.

Beispiel Industrieranwendungen

Auch in Industrieranwendungen kommt es recht häufig vor, dass die Applikation (typische Anwendungen sind Pumpen, Ventilatoren, Kompressoren) nur Teillastbetrieb erfordert. Da ca. 70% des gesamten Stromverbrauchs der Industrie in elektrischen Antrieben umgesetzt wird und durch optimierte Drehzahlregelung im Teillastbetrieb bis zu 70% der Energie eingespart werden kann, dagegen aber derzeit (in Deutschland) nur ca. 25% der elektrischen Industrierantriebe drehzahlveränderbar ausgeführt sind [3], ergibt sich hier ein erhebliches Einsparpotenzial. Ein wesentlicher Effekt bei dieser Einsparung ist, dass z.B. bei Pumpen der elektrische Antrieb mit

voller Leistung läuft und die Leistungsregelung über Drosselung des geförderten Mediums durchgeführt wird (ganz analog zur oben beschriebenen Anwendung der Heizungswasserpumpe). Ein Vergleich zwischen diesen beiden Möglichkeiten zur Einstellung des Teillastbetriebes ist für einen typischen Anwendungsfall in Bild 4 dargestellt.

Neben der Systembetrachtung (Leistungsregelung über Drehzahlregelung statt über Drosselung) besteht weiteres Optimierungspotenzial in der Verwendung hocheffizienter elektrischer Maschinen (vgl. Bild 3) und hocheffizienter Wechselrichter.

Da bei typischen Industrieranwendungen ca. 90% bis 95% der sogenannten „lifecycle-costs“ während der Betriebszeit der elektrischen Maschine auf den Stromverbrauch entfallen [5], amortisieren sich die erhöhten Anschaffungskosten mit hocheffizienten Maschinen und Systemauslegungen in der Regel sehr schnell (häufig im Zeitraum von ca. 0,5 bis 2 Jahren). Hier werden also ökonomische und ökologische Vorteile gleichermaßen gewonnen.

Zusammenfassung

Im Bereich der elektrischen Antriebstechnik gibt es intensive Bestrebungen, die Energieeffizienz zu verbessern. Die Ansätze beziehen sich zum einen auf Optimierung der Kompo-

nenten (z.B. Verbesserung des Teillast-Wirkungsgrades der elektrischen Maschinen), als auch auf Verbesserungen in der Systemauslegung (insbesondere Verwendung drehzahlvariabler Antriebe). An verschiedenen Beispielen aus den Bereichen Haushalt, Traktion und Industrie wurden das Potenzial dargestellt und mögliche Maßnahmen erläutert. <<

Autoren

Prof. Dr. Dieter Gerling, Universität der Bundeswehr, Lehrstuhl für Elektrische Antriebstechnik und Aktorik

Literatur

- [1] <http://www.motorchallenge.ch/docs/files/Umweltperspektiven0307-effizienzmotoren.pdf>
- [2] <http://www.wilopumps.com/cps/rde/xchg/de-de/layout.xsl/4321.htm>
- [3] https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Schwerpunktinitiativen/Energieeffizienz/Pr_sentation_Zwanziger.pdf
- [4] <https://www.zvei.org/index.php?id=4399>
- [5] http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/broschuere_energieeffizienz_tipps.pdf

Information

Ansprechpartner Elektrische Antriebe

Udo Killat, CADFEM GmbH
Tel. +49 (0) 80 92-70 05-23
E-Mail ukillat@cadfem.de

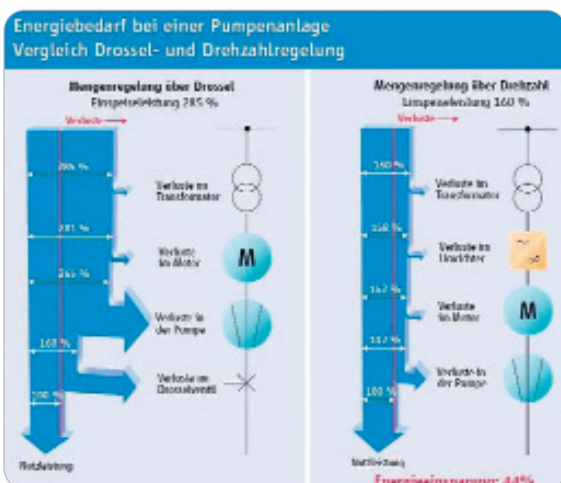


Bild 4: Vergleich der Mengenregelung über Drosselung bzw. Drehzahlregelung für eine typische Pumpenanwendung [4].