Energieeffiziente elektrische Antriebe

Autor(en): **Brunner, Conrad U. / Nipkow, Jürg / Tieben, Rolf**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES**

Band (Jahr): **103 (2012)**

Heft 8

PDF erstellt am: **30.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-857329

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Energieeffiziente elektrische Antriebe

Förderprogramme für die Industrie

Elektrische Antriebssysteme sind immer noch überdimensioniert und nicht lastgeregelt. Um die Energieeffizienz von Antrieben zu erhöhen, hat die Schweiz ihre Anforderungen für Motoren und Umwälzpumpen mit der EU synchronisiert. Dank der in den neuen IEC-Normen geklärten Effizienztests und Effizienzklassen ist der industrielle Markt für neue Antriebskomponenten transparenter geworden. Ein Blick auf Programme zur Förderung der Energieeffizienz bei der Industrie.

Conrad U. Brunner, Jürg Nipkow, Rolf Tieben, Rita Werle

Elektrische Antriebe für Pumpen, Ventilatoren, Kompressoren, Transportanlagen und industrielle Prozesse sind mit einem Anteil von 46 % (Bild 1) [1] mit Abstand die grösste einzelne Verbrauchsgruppe des elektrischen Energieverbrauchs der Welt. Sie sind damit einerseits der grösste CO_2-Emissionsverursacher und bergen dafür anderseits auch die grösste Hoffnung auf eine stetige Verminderung durch Effizienzfortschritte. Neue Technologien im gesamten Bereich der Antriebssysteme, ein stärkeres Bewusstsein für Lebenszykluskosten und gezielte politische Massnahmen lassen auf eine langsam in Bewegung kommende Marktveränderung hoffen [3].

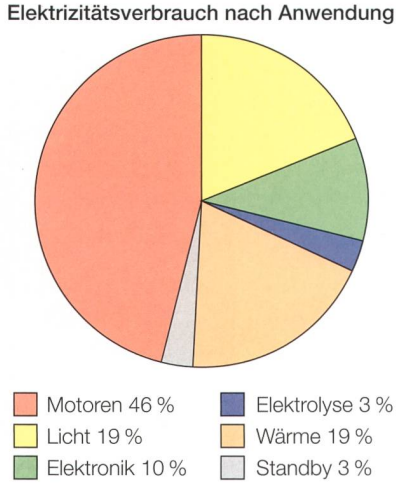


Bild 1 Globaler Elektrizitätsverbrauch nach Anwendungszweck.

In der Schweiz werden 49 % [2] des elektrischen Energieverbrauchs für Motoren aller Art eingesetzt. Dabei sind die beiden Gruppen Industrie und Gebäudetechnik mit zusammen 35 % dominant (Bild 2).

IEC-Normen

Für Motoren, also industrielle Produkte, die weltweit hergestellt, gehandelt und eingesetzt werden, sind international harmonisierte Normen ein entscheidendes Mittel zur Markttransparenz, und damit die Voraussetzung für die Marktveränderung. Die IEC (International Electrotechnical Commission) hat dazu mit ihrem Technischen Komitee Nr. 2 für Rotierende elektrische Maschinen (IEC TC 2 Rotating electrical machines) beigetragen, das relevante Normenwerk in den letzten fünf Jahren zu aktualisieren und neu auch besonders auf Energieeffizienz auszurichten.

Als Grundlage wurden die Vorschriften in der Norm IEC 60034-1 [4] für die notwendigen Angaben von Wirkungsgrad und Effizienzklasse auf dem Typenschild aktualisiert.

Durch die Veröffentlichung der Prüfnorm IEC 60034-2-1 [5] wurde erreicht, dass weltweit die gleichen Anforderungen für die Messung des Wirkungsgrades, inklusive der früher vernachlässigten Streuverluste, gestellt wurden. In den Jahren 2009 und 2010 wurde ein weltweiter Round Robin Test von der IEC durchgeführt [6]. In 17 Prüfzentren in 11 Ländern wurden an insgesamt 75 Motoren 194 Messungen durchgeführt und zentral ausgewertet. Durch diese Ergebnisse war es möglich, die Genauigkeit und Wiederholbarkeit der Ergebnisse zu verbessern. In der für 2013 erwarteten revidierten IEC 60034-2-1 ed.13 wird das Ergebnis der Wirkungsgradmessungen verbessert, indem nur eine einzige Messmethode für die verschiedenen Motorentypen vorgeschrieben wird, und andererseits die Reihenfolge der Untersuchungen genau festgelegt und die Auswertung der Teilergebnisse klar beschrieben wird.

In der Norm IEC 60034-30 [7] wurden erstmals Effizienzklassen für elektrische Motoren festgelegt (Bild 3). Mit der internationalen Verständigung zwischen der EU und den USA konnte ein einheitliches 50/60 Hz und nach oben offenes Bezeichnungssystem für Motoren von 0,75 kW bis 375 kW gefunden und international eingeführt werden:

- IE1 Standard-Effizienz
- IE2 Hohe Effizienz
- IE3 Premium-Effizienz

Diese einheitlich definierten Effizienzklassen haben die Einführung nationaler Mindestanforderungen stark vereinfacht.

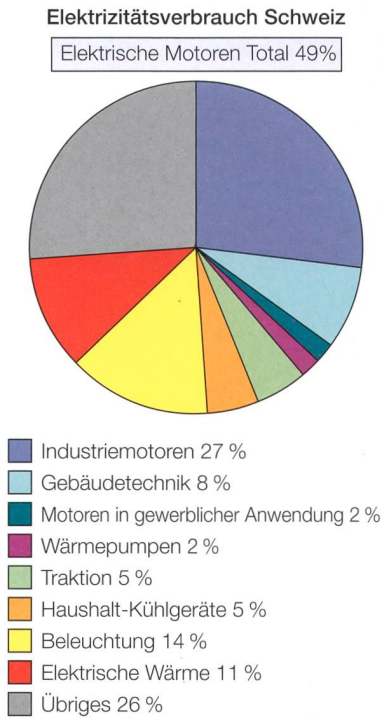


Bild 2 Elektrischer Energieverbrauch in der Schweiz nach technischer Anwendung.

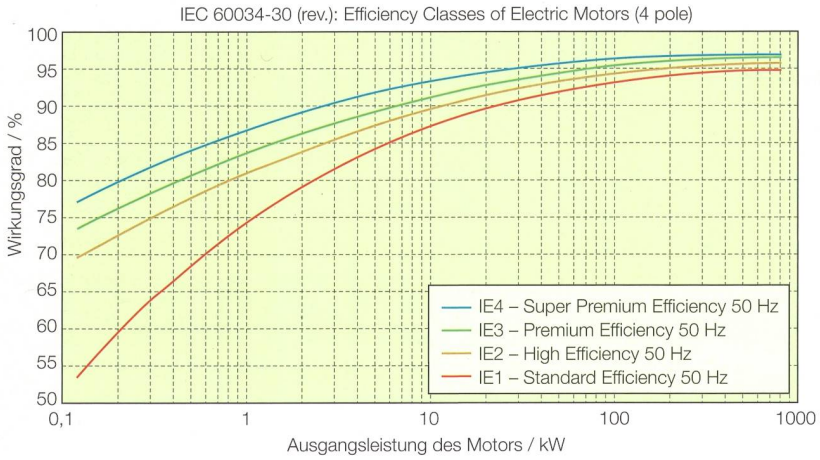


Bild 3 Effizienzklassen für 4-Pol-Elektromotoren gemäss IEC 60 034-30 ed. 2.

Die kurz darauf veröffentlichte IEC 60 034-31 [8] hat zudem eine erste Definition für einen IE4 Super Premium Motor geliefert. In der laufenden Revision der für 2013 erwarteten IEC 60 034-30-1 wird nun der Geltungsbereich auf 0,12 kW bis 1000 kW ausgeweitet, verschiedene zusätzliche netzbetriebene Motorentypen aufgenommen und die nächste Klasse IE4 Super Premium Effizienz normiert.

EU-Ecodesign-Richtlinien

Aufgrund umfangreicher technischer Studien zu Motoren [9], Pumpen [10] und Ventilatoren [11] ist die Europäische Kommission im Jahr 2009 zum Schluss gekommen, dass zur Beschleunigung der Einführung effizienterer Produkte Mindestanforderungen für den Wirkungsgrad zwingend nötig sind. In diesen technischen Studien wurden die einzelnen Technologien analysiert, ihre Materialbilanz in Bezug auf Umweltverträglichkeit untersucht sowie Kosten-/Nutzenuntersuchungen für die höherwertigen Ersatzprodukte angestellt. Methodisch wurde dabei Neuland beschritten. Erst mit einer bezüglich Ökonomie und Ökologie eindeutig positiven Aussage und der Klärung der marktverträglichen Anpassung durch Fertigungsumstellungen der Hersteller, wurden die zwingenden Massnahmen von der Europäischen Kommission, im Rahmen der Ecodesign-Richtlinie [12], beschlossen. Folgende technische Studien wurden dazu erstellt: Elektrische Motoren [13], Nassläufer-Umwälzpumpen [14] und Ventilatoren [15].

Heute sind Mindestanforderungen für die Energieeffizienz von Elektromotoren in den USA, Australien, China, Kanada, Mexiko, Brasilien, Südkorea, in der Europäischen Union, in der Schweiz und in einigen weiteren Ländern in Kraft.

Internationale Kooperation in der IEA: 4E EMSA

Im Rahmen eines IEA (International Energy Agency) Implementing Agreements wurde im Jahr 2008 das Programm «Efficient Electrical End-Use Equipment» (4E, www.iea-4e.org) gestartet, das heute von 13 Ländern getragen wird. Die Schweiz hat sich bei der Gründung stark für dieses Programm eingesetzt und auf die Schaffung eines Annex für elektrische Antriebssysteme hingewirkt (www.motorsystems.org). Mittlerweile ist der «Electric Motor Systems Annex» (EMSA) seit 4 Jahren gut unterwegs.

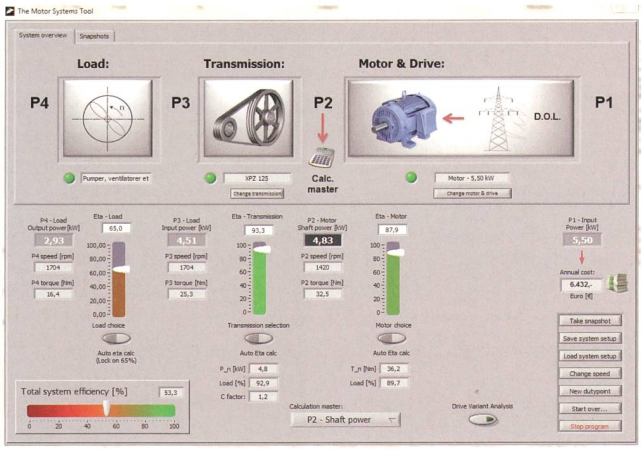
Sowohl im Bereich der technischen Entwicklung als auch bei den politischen Instrumenten sind bereits erfolgreiche Tools und Publikationen vorhanden. Insbesondere ist das Motor Systems Tool (Bild 4) zu erwähnen, mit dem auf einfache Weise der Motor, der Frequenzumrichter, die Transmission und das Getriebe mit einem vorhandenen Lastprofil zur Deckung gebracht und der integrale Systemwirkungsgrad bestimmt werden kann.

Neu setzt sich EMSA auch intensiv mit den internationalen Normen auseinander. Sowohl im Bereich der IEC-Normen für Elektromotoren als auch bei ISO (Energiemanagementsystem, Pumpen und Ventilatoren) arbeitet EMSA aktiv mit.

Dank EMSA hat die Schweiz nicht nur Zugang zu Erkenntnissen aus den fünf weiteren Mitgliedländern, sondern seit der Mitgliedschaft der USA auch zu den etwa 20 SEAD (Super-efficient Equipment and Appliance Deployment initiative, www.superefficient.org) Ländern.

Gesetzliche Regelungen in der Schweiz: EnV

Seit 2009 hat die Schweiz, gestützt auf die Kompetenz im Energiegesetz, im Anhang der Energieverordnung Mindestanforderungen für elektrische Geräte erlassen. Seit der letzten Revision Ende 2011 sind die Anforderungen für elektrische Motoren [16] und Nassläufer-Umwälzpumpen mit der EU synchronisiert. Seit Mitte 2011 dürfen in der Schweiz im Bereich 0,75 kW bis 375 kW nur noch IE2-Motoren in Verkehr gebracht werden. Ab 2015 dürfen im Bereich 7,5 kW bis 375 kW nur noch IE3-Motoren (resp. IE2 mit einem Frequenzumrichter) in Verkehr gesetzt werden, ab 2017 gilt diese Anforderung auch für die kleineren Motoren im Bereich 0,75 kW bis 7,5 kW. Es ist vorgesehen, die übrigen Anforderungen (Ventilatoren), resp. weitere Verschärfungen ebenfalls synchron mit der EU – eventuell sogar frühzeitig – zu übernehmen.



www.motorsystems.org

Bild 4 Mit dem Motor Systems Tool können Optimierungspotenziale gefunden werden.

Umsetzungsprogramm Topmotors

Topmotors ist das Umsetzungsprogramm von S.A.F.E. (Schweizerische Agentur für Energieeffizienz) für effiziente Antriebssysteme in der Schweiz (www.topmotors.ch). Es wirkt seit 2008 mit massgeblicher Unterstützung des Bundesamtes für Energie (Energie-Schweiz), der EnAW (Energie-Agentur der Wirtschaft) sowie von einigen Elektrizitätsversorgungsunternehmen und Kantonen. Aufgrund einer Reihe von Pilotanlagen in der Industrie, bei grossen Gebäuden und bei Infrastrukturanlagen wurde die Methode des Motor-Check entwickelt, mit dem in einem bestehenden Grossbetrieb rasch die kritischen Sanierungspotenziale gefunden und umgesetzt werden können. Dazu wurde ein Set von Merkblättern erstellt und zwei Softwaretools erarbeitet, die im Internet kostenlos zur Verfügung stehen:

- SOTEA: Softwaretool zur Potenzialabschätzung. Einfacher Check beim Erstgespräch, der aufgrund des Durchschnittsalters der Antriebssysteme ein grobes Einsparpotenzial berechnet.
- ILI+: Die intelligente Motorenliste, die es den Betriebsfachleuten erlaubt, einen Überblick über ihre Antriebe zu gewinnen und daraus automatisch die Motoren mit einem mutmasslich lohnenden Sanierungspotenzial auszusuchen.

Förderprogramm Easy

S.A.F.E. leitet das Förderprogramm Easy (Effizienz für Antriebssysteme, www.topmotors.ch/easy), das im Rahmen der wettbewerblichen Ausschreibungen des BFE von ProKilowatt verwaltet wird. Mit Easy werden mittlere und grössere Industriebetriebe (Jahresverbrauch über 10 GWh Elektrizität) bearbeitet, die eine fachliche Unterstützung für die nötigen Untersuchungen und Messungen sowie die Realisierung des lohnenden Potenzials mit einem Förderbeitrag realisieren können.

Event

Motor Summit 2012

Dieses Jahr wird der Motor Summit, seit 2007 zum vierten Mal, in Zürich durchgeführt. An der internationalen Veranstaltung werden am 5. und 6. Dezember 2012 technische Entwicklungen und politische Umsetzungsprogramme diskutiert und eine Plattform für Forscher, politische Vertreter und technische Fachleute aus der Industrie angeboten. Zudem werden am 4. Dezember 2012 drei Workshops durchgeführt. Die Registrierung ist unter www.motorsummit.ch offen.

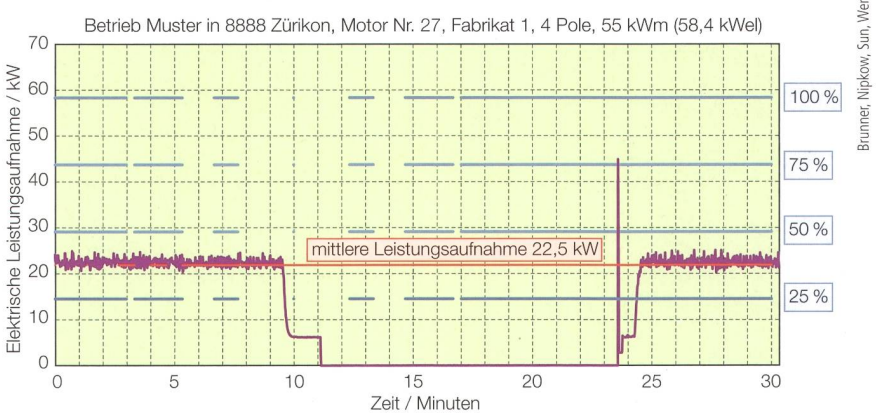


Bild 5 Das Messprotokoll eines Ventilator-Antriebs zeigt eine Überdimensionierung auf.

Inzwischen sind in fünf Industriebetrieben 1500 elektrische Motoren untersucht und 300 davon als lohnende Sanierungsmassnahmen identifiziert worden. An etwa 100 Antrieben sind elektrische Leistungsmessungen durchgeführt und in einem Standardprotokoll ausgewertet worden. Aufgrund der Messungen beim Start und im Betrieb können Schlüsse für die effektiv nötigen Leistungen sowie eine verbesserte Dimensionierung und den Einsatz von Frequenzumrichtern gezogen werden.

Die ersten Ergebnisse zeigen, dass etwa 3/4 der 1500 untersuchten elektrischen Antriebssysteme Pumpen, Ventilatoren und Kompressoren sind. Typische Verbesserungsmassnahmen sind: Einsatz von kleineren und effizienteren Motoren, bessere Transmission (Direktantrieb, Flach- und Zahnriemen anstelle von Keilriemen), bessere übergeordnete Steuerung bei komplexen Maschinen, Lastregelung, Reduzierung von Druckniveau, Volumenstrom, Durchflussgeschwindigkeit oder Temperatur.

Erfahrungen

Noch immer liegen die Energiekosten bei vielen der untersuchten Betriebe unter 1 % des Jahresumsatzes. Damit ist die Aufmerksamkeit der Geschäftsleitung für Energiekosteneinsparungen tief. Es braucht in Zukunft eine auf längerfristige Werte ausgerichtete Firmenkultur: Mindestens das Prinzip der Lebenszykluskosten sollte angewendet werden. Einige Firmen brauchen diese Argumentation bereits im Zusammenhang mit ihren Nachhaltigkeitsberichten für die Eigentümer, die Kunden und die breitere Öffentlichkeit.

Die Erfahrungen bei der Umsetzung von Effizienzmassnahmen zeigen:

- Die Industrie arbeitet mit strengen Payback Zeiten. Massnahmen jenseits der kritischen 3- oder 5-Jahresgrenze werden nicht realisiert.
- Es werden häufig nur die ständigen Lieferanten konsultiert, keine Konkurrenzofferten eingeholt und selten unabhängige Ingenieure eingesetzt.
- Fehlendes Lebenszykluskosten-Denken. Obwohl während des Lebenszyklus des Motors die Beschaffungs- und Wartungskostenkosten nur 5 % ausmachen (und die Kosten des elektrischen Energieverbrauchs 95 %) sind in vielen Fällen nur die Beschaffungskosten entscheidend.
- Betriebsintern fehlt es an Ressourcen (Zeit, Know-how, Unterstützung der Betriebsleitung) für Effizienzmassnahmen bei elektrischen Antriebssystemen.
- Externes, unabhängiges Know-how ist nicht immer erwünscht, da «Fremde Ingenieure» im Haus als gefährlich empfunden werden.
- IE3-Motoren sind noch nicht im Standardangebot der Lieferanten. Ihre Beschaffung ist angeblich mit langen Lieferzeiten verbunden. Anlagebauer kennen IE3-Motoren noch zu wenig und haben keine Erfahrungen mit ihrem Einsatz und ihren Vorteilen (kühlerer, ruhigerer Betrieb).
- Kundenspezifische Lösungen werden nicht gerne angeboten. Bei gewünschten Änderungen an bestehenden Antriebssystemen wird jegliche Verantwortung von den Lieferanten abgelehnt.

Kurz gefasst: Die technisch optimale Lösung zu erreichen, ist ein anhaltender und teilweise schmerzhafter Prozess.

Résumé

Entraînements électriques efficaces sur le plan énergétique

Programmes de soutien à l'industrie

Trop de systèmes d'entraînement sont encore vieux, surdimensionnés et sans compensation de charge. Le marché s'anime depuis l'entrée en vigueur en 2011 des exigences européennes minimales en matière de moteurs électriques et depuis l'adoption des directives de l'UE relatives aux pompes de circulation et aux ventilateurs, applicables à compter du 1er janvier 2013. La Suisse a harmonisé à présent ses exigences en matière de moteurs et de pompes de circulation avec l'UE. Grâce aux tests et aux classes d'efficacité établis dans les nouvelles normes CEI, le marché industriel est devenu plus transparent pour les nouveaux composants d'entraînement. Ainsi, il évolue à présent vers le remplacement des anciennes installations et vers l'amélioration des pompes et des ventilateurs avec un entraînement disposant d'un réglage de la fréquence pour les systèmes à charges changeantes.

L'exploitation aussi efficace que possible des potentiels techniques requiert des spécialistes bien formés, des restructurations internes dans l'organisation de l'entreprise de l'utilisateur et des objectifs politiques clairs en matière d'efficacité énergétique électrique. No

Nicht alle Betriebe sind gewillt, systematisch diesen Weg zu gehen. Nach wie vor bleibt das persönliche Engagement und das Fachwissen des Betriebspersonals entscheidend.

Links

- www.topmotors.ch
  Umsetzungsprogramm von S.A.F.E. für effiziente Antriebssysteme in der Schweiz.
- www.topmotors.ch/easy
  Informationen zum Förderprogramm Easy (Effizienz für Antriebssysteme).
- www.motorsystems.org
  Das internationale Programm für effiziente Antriebssysteme.
- www.motorsummit.ch
  Programm und Registrierung für die Veranstaltungen vom 4. bis 6. Dezember 2012.

Referenzen

[1] Paul Waide & Conrad U. Brunner et al: Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems, Paris 2011.
[2] Jürg Nipkow: Analyse des Elektrizitätsverbrauchs nach Verwendungszweck, internes Dokument, Zürich 2011.
[3] Conrad U. Brunner, Jürg Nipkow: Energieeffizienz bei Elektromotoren, Bulletin VSE/AES 5/2007.
[4] IEC 60034-1 ed.12: Drehende elektrische Maschinen Teil 1: Bemessung und Betriebsverhalten, 2010.
[5] IEC 60034-2-1 ed.1: Drehende elektrische Maschinen Teil 2-1: Standardverfahren zur Bestimmung der Verluste und des Wirkungsgrades aus Prüfungen (ausgenommen Maschinen für Schienen- und Strassenfahrzeuge), 2007.
[6] IEC Round Robin Test Report, 2011 (unveröffentlicht).
[7] IEC 60034-30 ed.1: Drehende elektrische Maschinen – Teil 30: Wirkungsgrad-Klassifizierung von Drehstrommotoren mit Käfigläufern, ausgenommen polumschaltbare Motoren (IE-Code), 2008.
[8] IEC/TS 60034-31 ed.1: Rotating electrical machines – Part 31: Selection of energy-efficient motors including variable speed applications – Application guide, 2010.
[9] Anibal de Almeida et al: EuP Lot 11 Motors, final, 2008.
[10] Hugh Falkner, Charles Gaisford, et al.: Pumps and Circulators, 2008.
[11] Peter Radgen et al.: Fans, 2008.
[12] 2005/32/EC on the Ecodesign of Energy-using Products, 2005; and recast: Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council, establishing a framework for the setting of Ecodesign requirements for energy-related products, 2009.
[13] Commission Regulation (EC) No 640/2009 of 22 July 2009 implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to Ecodesign requirements for electric motors, 2009.
[14] Commission Regulation (EC) No 641/2009 of 22 July 2009 implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to Ecodesign requirements for glandless standalone circulators and glandless circulators integrated in products, 2009.
[15] Commission Regulation (EU) No 327/2011 of 30 March 2011 implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to Ecodesign requirements for fans driven by motors with an electric input power between 125 W and 500 kW, 2011.
[16] EnV Anhang 2.10, Anpassung vom 24. Juni 2009/rev. 4. Dezember 2010.

Angaben zu den Autoren

Conrad U. Brunner ist Energieplaner. Er leitet das Topmotors-Programm in der Schweiz sowie das internationale 4E EMSA-Projekt der IEA. Er ist Vorstandsmitglied der Schweizerischen Agentur für Energieeffizienz S.A.F.E. und arbeitet in verschiedenen IEC TC2 Arbeitsgruppen mit.

CUB, 8001 Zürich, cub@cub.ch

Jürg Nipkow ist Elektroingenieur (Dipl. El.-Ing. ETH/SIA), seit über 30 Jahren in der Energieberatung und -forschung tätig, Dozent in Zertifikatskursen CAS verschiedener Fachhochschulen, Vorstandsmitglied der Schweizerischen Agentur für Energieeffizienz S.A.F.E., Experte für elektrische Antriebe im Topmotors Programm.

Arena, Arbeitsgemeinschaft Energie-Alternativen, 8006 Zürich, juerg.nipkow@energieeffizienz.ch

Rolf Tieben ist Dipl.-Ing. (FH) Mechatronik, er arbeitet seit 2012 im Topmotors-Programm als Energieberater für Antriebs- und Messtechnik.

CUB, 8001 Zürich, rolf.tieben@cub.ch

Rita Werle ist Ökonomin (MSc), seit 2010 Projektleiterin bei S.A.F.E., Koordinatorin des internationalen 4E-EMSA-Projektes der IEA und Programmkoordinatorin Easy.

CUB, 8001 Zürich rita.werle@cub.ch

Anzeige