

Motorwirkungsgrade

Weltweit klassifiziert und in der EU verbindlich vorgeschrieben

H. Greiner, Aichwald

Nach relativ kurzer Bearbeitungszeit wurde nun ein Projekt abgeschlossen, das Hersteller, Planer und Verwender von Elektromotoren betrifft. Nach einer DIN und der Europäischen Norm [1] auf Basis der weltweit gültigen IEC [2] wurden Mindestwerte der Wirkungsgrade von Elektromotoren bestimmter Ausführung jetzt auch in einer EU-Verordnung [3] verbindlich vorgeschrieben und somit die EU-Richtlinie 2005/32/EG umgesetzt. Der Beitrag fasst den Inhalt der neuen Verordnung zusammen.

1 Ziele der neuen Verordnung

Ziele, die mit der Umsetzung der neuen EU-Verordnung [3] verfolgt werden, lassen sich aus folgender zitierter Passage entnehmen:

„(a) Für diejenigen Industriebetriebe in der Gemeinschaft, die im Rahmen ihrer Produktionsprozesse Motoren einsetzen, sind Elektromotoren der wichtigste elektrische Verbraucher. Auf die Antriebssysteme, in denen diese Motoren zum Einsatz kommen, entfallen circa 70 % des Stromverbrauchs der Industrie. Die Energieeffizienz dieser Antriebssysteme kann kostengünstig um insgesamt 20 bis 30 % gesteigert werden. Einer der wichtigsten Faktoren bei dieser Effizienzsteigerung ist die Nutzung energieeffizienter Motoren. Die Motoren in elektrischen Antriebssystemen sind daher ein vorrangiges Produkt, für das Ökodesign-Anforderungen festgelegt werden sollten.“

(b) Aus der vorbereitenden Studie geht hervor, dass Elektromotoren in großen Mengen auf den Gemeinschaftsmarkt kommen, dass deren Energieverbrauch während der Betriebsphase der wichtigste Umweltaspekt sämtlicher Phasen ihres Lebenszyklus ist und dass 2005 der jährliche Stromverbrauch durch Elektromotoren 1 067 TWh betrug, was der Emission von 427 Mio. t CO₂ entspricht. Der Verbrauch soll Vorhersagen zufolge bis auf 1 252 TWh im Jahr 2020 ansteigen, falls keine spezifischen Maßnahmen zu dessen Begrenzung getroffen werden. Es wurde festgestellt, dass der Energieverbrauch über den gesamten Lebenszyklus und der Energieverbrauch während der Betriebsphase erheblich verbessert werden können, insbesondere wenn die mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Lasten betrieb-

nen Motoren mit Steuerungen ausgestattet sind.

(c) Diese Verordnung sollte die Marktdurchdringung von Technologien zur Verbesserung der Umweltverträglichkeit von Elektromotoren über die Lebensdauer erhöhen und damit bis 2020 zu geschätzten Einsparungen beim Energieverbrauch über die Lebensdauer in Höhe von 5500 PJ (3,6 Petajoule = 1 TWh) sowie zu Stromersparungen in Höhe von 135 TWh im Vergleich zum Szenario ohne Maßnahmen führen.“

2 Neue Wirkungsgrad-Klassen

2.1 Kennzeichnung der Klassen

Zur Kennzeichnung werden die Klassen IE1, IE2, IE3 und IE4 eingeführt (Tafel 1). Hierbei steht das Kürzel IE für „International Energy

Efficiency Class“ (dts.: internationale Energieeffizienz-Klasse). Dieses Kennzeichnungssystem erinnert an die im Elektromaschinenbau seit langem verwendeten Codes IP, IM und IC. Somit ist eine breite Akzeptanz zu erwarten.

2.2 Vergleichsdiagramme

Das im Bild 1 dargestellte Diagramm soll einen visuellen Vergleich für die wichtigste Motorengruppe (vierpolig; 50 Hz) erlauben. Es ist daher mit grobem Gitternetz erstellt. Die genauen Grenzwerte für die Klassifizierung der Wirkungsgrade lassen sich nachfolgenden ausführlichen Tabellen sowie der Norm entnehmen.

2.3 Klasse IE4 für neue Technologie

Diese im Entwurf der Norm IEC 60034-30 [1] behandelte, in der Entwicklung befindliche Technologie ist nun im Anhang A der noch als Entwurfsfassung vorliegenden Anwendungsrichtlinie IEC 60034-31 [4] zu finden. Darin werden u. a. die vorgesehenen Grenzwerte für die Super-Premium Wirkungsgrade IE4 angegeben, die mit um 15 % reduzierten Verlusten gegenüber Klasse IE3 vorgesehen sind. Die Klasse IE4 gilt für alle Arten von elektrischen Maschinen, besonders für Käfigläufermotoren oder permanent erregte Synchronmotoren mit Umrichterspeisung. Diese Maschinen werden üblicherweise nach Drehmoment und nicht nach Leistung bemessen.

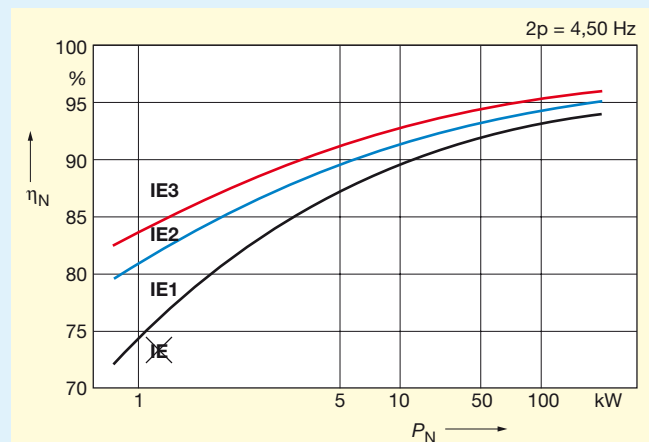
Der Gesamtwirkungsgrad ergibt sich unter Einbeziehung der im Umrichter entstehenden Verluste sowie der durch die Drehzahlverstellung gewonnenen, oftmals erheblichen Prozess-Vorteile. Ein direkter Vergleich der auf den Motor bezogenen Klassen IE4 und IE3 ist deshalb nicht sinnvoll.

Tafel 1 Vergleich der Kennzeichnung nach der neuen EU-Verordnung [3] mit der Klassifizierung nach CEMEP

Wirkungsgrad-Klassen nach [3]		Klassifizierung nach CEMEP	
Wirkungsgrad	Code	Wirkungsgrad	Logo
Super Premium	IE4	–	–
Premium	IE3	–	–
Hoch	IE2	hoch	EFF 1
Standard	IE1	verbessert	EFF 2
unter Standard	–	normal	EFF 3

1 Vergleich der drei Wirkungsgradklassen am Beispiel vierpoliger Motoren für 50 Hz

Bemessungsleistung: $P_N = 0,75 \dots 200 \text{ kW}$
 Wirkungsgradklassen:
 Standard (IE1)
 Hoch (IE2)
 Premium (IE3)
 Unter Standard (ohne Kennzeichnung IE)



Autor

Obering. Helmut Greiner, Aichwald, war Mitglied in verschiedenen DKE- und IEC-Gremien und ist heute als Fachautor und beratender Ingenieur tätig.

2.4 Grenzwerte der Klassen

Als Auszug aus den umfangreichen Tabellen der Norm [1] zeigt Tafel 2 die Grenzwerte für die in Europa gebräuchlichen Motorgruppen.

2.5 Anpassung alter und neuer Klassen

In der Norm basieren die nominellen IEC-Grenzwerte bei 50-Hz-Motoren für IE1 und IE2 auf den bekannten CEMEP-Grenzwerten EFF2 und EFF1 (siehe Tafel 1 und Bild 2). Um die Zusatzverluste bei dem Messverfahren zu berücksichtigen, wurden die Grenzwerte jedoch geringfügig angepasst.

3 Verbindliche EU-Regelung statt CEMEP-Vereinbarung

In [5] heißt es: „Der jährliche Monitoring-Bericht zeigt, dass sich die Klasse EFF2 zur Standardwirkungsgradklasse entwickelt hat. Der Marktanteil lag 2007 bei 86 Prozent. Der Anteil der Motoren der besten Wirkungsgradklasse EFF1 verharrte in den ersten Jahren im unteren einstelligen Prozentbereich. In den letzten Jahren erhöhte sich der Marktanteil merklich und lag am Ende des Jahres 2007 bei 12 Prozent. Die freiwillige Selbstverpflichtung war ein sehr gutes Instrument zur Marktdurchdringung mit Energiesparmotoren. Bei der umweltpolitisch weltweit geforderten Beschleunigung der Einführung von EFF1-Motoren stößt sie aber an ihre Grenzen. Aktuell wird insbesondere auf europäische Ebene darüber nachgedacht, wie der Marktanteil der EFF1-Motoren spürbar erhöht werden kann. Dabei geht es auch darum, die Käuferseite, d. h. die Endanwender und die OEM bei der gemeinsamen Aufgabe in die Pflicht zu nehmen. Getrieben von internationalen Entwicklungen insbesondere in USA, Kanada, China und Australien gehen die Überlegungen in die Richtung, zukünftig eine Mindestwirkungsgradklasse EFF1 für Motoren in Europa gesetzlich vorzuschreiben.“ Diese Aussagen lassen sich anhand der Darstellung im Bild 3 grafisch untermauern.

4 Neue EG-Verordnung

Die EG-Verordnung Nr. 640/2009 [3] sieht einen spezifizierten Anwendungsbereich mit einer Auflistung von Einschlüssen und Ausschlüssen vor, dessen Formulierung in der Verordnung zu beachten ist. Für die Einführung der EU-Verordnung ist ein abgestufter Zeitplan nach Bild 4 festgelegt.

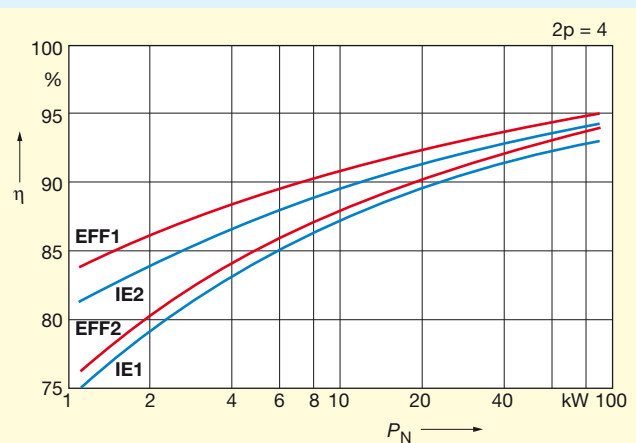
Motoren im Sinne der Verordnung [3] sind:

- Dreiphasen-Käfigläufer-Induktionsmotoren (eintourig) für 50 Hz oder 50/60 Hz;
- 2- bis 6-polig;
- ausgelegt für den Dauerbetrieb mit Nennspannungen U_N bis 1000 V und mit Nenn-

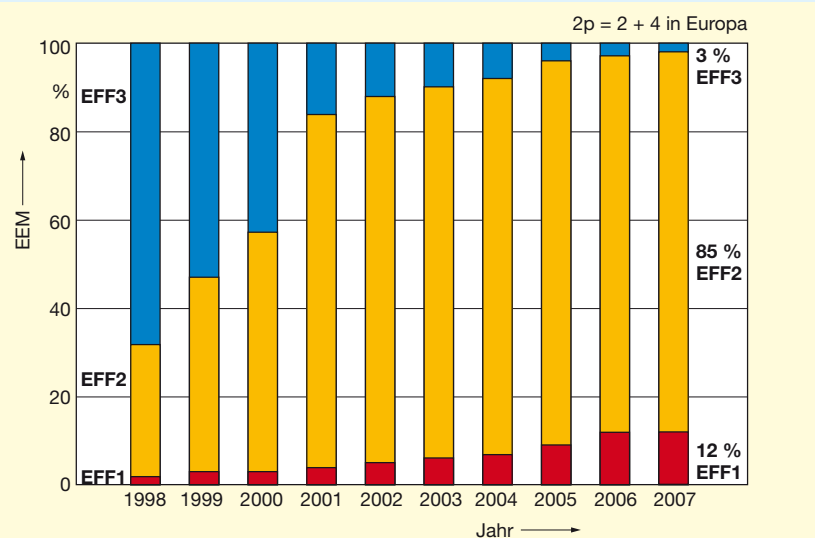
Tafel 2 Diese Zusammenfassung der Tabellen 3, 5 und 7 aus der Norm [1] zeigt die nominellen Grenzwerte der Wirkungsgrad-Klassen bei Motoren für 50 Hz

P_N in kW	IE1 (Standard)			IE2 (Hoch)			IE3 (Premium)		
	Grenzwerte in % für			Grenzwerte in % für			Grenzwerte in % für		
	2 Pole	4 Pole	6-Pole	2 Pole	4 Pole	6 Pole	2 Pole	4 Pole	6 Pole
0,75	72,1	72,1	70,0	77,4	79,6	75,9	80,7	82,5	78,9
1,1	75,0	75,0	72,9	79,6	81,4	78,1	82,7	84,1	81,0
1,5	77,2	77,2	75,2	81,3	82,8	79,8	84,2	85,3	82,5
2,2	79,7	79,7	77,7	83,2	84,3	81,8	85,9	86,7	84,3
3	81,5	81,5	79,7	84,6	85,5	83,3	87,1	87,7	85,6
4	83,1	83,1	81,4	85,8	86,6	84,6	88,1	88,6	86,8
5,5	84,7	84,7	83,1	87,0	87,7	86,0	89,2	89,6	88,0
7,5	86,0	86,0	84,7	88,1	88,7	87,2	90,1	90,4	89,1
11	87,6	87,6	86,4	89,4	89,8	88,7	91,2	91,4	90,3
15	88,7	88,7	87,7	90,3	90,6	89,7	91,9	92,1	91,2
18,5	89,3	89,3	88,6	90,9	91,2	90,4	92,4	92,6	91,7
22	89,9	89,9	89,2	91,3	91,6	90,9	92,7	93,0	92,2
30	90,7	90,7	90,2	92,0	92,3	91,7	93,3	93,6	92,9
37	91,2	91,2	90,8	92,5	92,7	92,2	93,7	93,9	93,3
45	91,7	91,7	91,4	92,9	93,1	92,7	94,0	94,2	93,7
55	92,1	92,1	91,9	93,2	93,5	93,1	94,3	94,6	94,1
75	92,7	92,7	92,6	93,8	94,0	93,7	94,7	95,0	94,6
90	93,0	93,0	92,9	94,1	94,2	94,0	95,0	95,2	94,9
110	93,3	93,3	93,3	94,3	94,5	94,3	95,2	95,4	95,1
132	93,5	93,5	93,5	94,6	94,7	94,6	95,4	95,6	95,4
160	93,8	93,8	93,8	94,8	94,9	94,8	95,6	95,8	95,6
200 bis 370	94,0	94,0	94,0	95,0	95,1	95,0	95,8	96,0	95,8

2 Vergleich bisher gültiger CEMEP-Klassen (EFF) mit den neuen IEC-Klassen (IE) bei 4-poligen Motoren für 50 Hz
EFF1 ≈ IE2
EFF2 ≈ IE1



3 Marktanteile der EFF-Motoren im Geltungsbereich der freiwilligen CEMEP-Vereinbarung in Europa



ausgangsleistungen P_N zwischen 0,75 und 375 kW.

Ausschlüsse aus dem Geltungsbereich. Die Verordnung [3] gilt nicht für:

- Motoren, die dafür ausgelegt sind, ganz in eine Flüssigkeit eingetaucht betrieben zu werden;
- vollständig in einem Produkt eingebaute Motoren (z. B. Getriebe, Pumpe, Ventilator oder Kompressor), deren Energieeffizienz nicht unabhängig von diesem Produkt erfasst werden kann;
- Motoren, die speziell für den Betrieb unter folgenden Bedingungen ausgelegt sind:
 - in Höhen über 1 000 Meter über dem Meeresspiegel;
 - bei Umgebungstemperaturen über 40 °C;
 - bei Betriebshöchsttemperaturen über 400 °C;
 - bei Umgebungstemperaturen unter -15 °C (beliebiger Motor) bzw. bei Umgebungstemperaturen unter 0 °C (luftgekühlter Motor);
 - bei Kühlflüssigkeitstemperaturen am Einlass eines Produkts unter 5 °C oder über 25 °C;
 - in explosionsgefährdeten Bereichen im Sinne der Richtlinie 94/9/EG des Europäischen Parlaments und des Rates;
- Bremsmotoren.

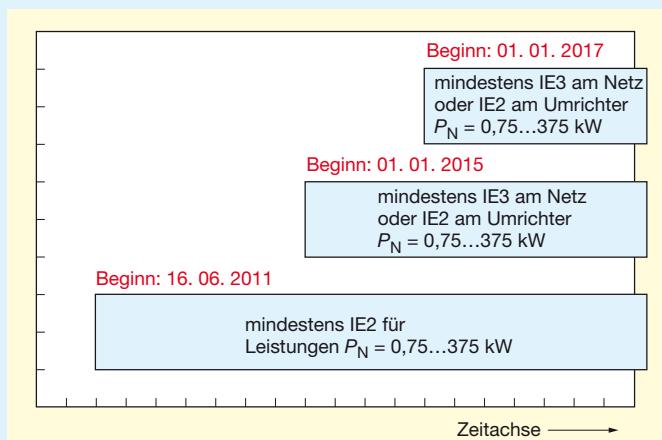
5 Bestimmung des Wirkungsgrades

Da die Mindestwirkungsgrade nun gesetzlich vorgegeben werden, kommt dem Verfahren für ihre Ermittlung eine besondere Bedeutung zu. Wirkungsgrad und Verluste müssen in Übereinstimmung mit der neuen IEC 60034-2-1 [6] ermittelt werden, in der vor allem die gegenüber der bisherigen Norm (IEC 60034-2) erweiterte Bestimmung der Zusatzverluste zu beachten ist. Folgende Randbedingungen sind wichtig:

„Motoren, die für einen erweiterten Spannungsbereich bemessen sind (z. B. 400 V \pm 10 %), erhalten nur einen einzigen Bemessungswirkungsgrad und eine Wirkungsgradklasse (IE-Code). Die erweiterte Toleranz wird nicht berücksichtigt.

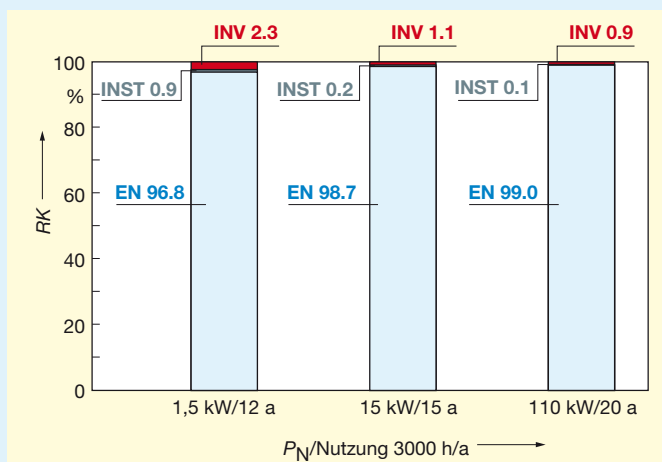
Einige elektrische Motoren im Anwendungsbereich dieser Norm können mit Hilfseinrichtungen ausgerüstet sein, wie zum Beispiel Wellendichtringe, Fremdlüfter, mechanische Bremsen, Rücklaufsperrn, Drehgeber, Tachogeneratoren und so weiter in unterschiedlichen Kombinationen. So lange diese Hilfseinrichtungen kein integraler Bestandteil der Motorkonstruktion sind, ist es praktisch nicht möglich, den Wirkungsgrad in allen möglichen Kombinationen zu bestimmen. Die Prüfung des Wirkungsgrades solcher modifizierter Standardmotoren muss daher am Basismotor ohne installierte Hilfseinrichtungen vorgenommen werden.

4 Zeitschiene der Einführung laut EU-Regel für Inverkehrbringen und Inbetriebnahme von energieeffizienten Antrieben



5 Life-cycle-costs (RK) von Elektromotoren bei typischer jährlicher Nutzung und Lebensdauer

EN – Energie
INV – Investition
INST – Installation und Wartung
12/150/20 a – Typische Gebrauchsjahre



Getriebemotoren und Pumpenmotoren bestehen oft aus Standardmotoren, die mit Wellendichtringen ausgerüstet werden, um den Eintritt von Öl oder Wasser in den Motor zu verhindern. Diese Dichtungen werden daher als Teil des Getriebes oder der Pumpe angesehen, und der Wirkungsgrad dieser Motoren muss mit ausgebauten Wellendichtringen bestimmt werden.“

6 Kosten von Energie und Investition

Die zögerliche Nutzung der Einsparpotentiale durch Verwendung von energiesparenden Antriebssystemen – z. B. von Motoren mit dem „hohen“ Wirkungsgrad EFF1 nach Bild 3 – lässt sich zum Teil dadurch erklären, dass die Entscheidungen – vor allem bei Herstellern einer Anlage – vorwiegend von den Kosten der Investition geprägt werden. Hierzu ein Zitat aus einer ZVEI-Veröffentlichung:

„Einer der Hauptgründe dürfte sein, dass Käufer und Nutzer von Antriebskomponenten oder ganzen Maschinen in der Regel unterschiedlichen Abteilungen angehören. Die Entscheidungsträger im Einkauf orientieren sich vorrangig am eigenen Beschaffungsbudget und verzichten auf die spätere Einsparung von

Betriebskosten, da diese für die eigene Leistungsbeurteilung nachrangig sind.“

Oft ist der Anteil der Energiekosten an den gesamten Betriebskosten eines Antriebes nicht bekannt oder wird unterschätzt (Bild 5).

Literatur

- [1] DIN EN 60034-30 (VDE 0530-30):2009-08 Drehende elektrische Maschinen – Teil 30: Wirkungsgrad-Klassifizierung von Drehstrommotoren mit Käfigläufern, ausgenommen polumschaltbare Motoren (IE-Code).
- [2] IEC 60034-30:2008 Rotating electrical machines – Part 30: Efficiency classes of single-speed, three-phase, cage induction motors (IE-Code).
- [3] Verordnung (EG) Nr. 640/2009 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.
- [4] IEC/TS 60034-31 Rotating electrical machines – Part 31: Guide for the selection and application of energy-efficient motors including variable-speed applications (z. Zt. Entwurf IEC2/1554/CD).
- [5] Doppelbauer, M.; Sattler, B.: Energiepartmotoren – Neue Wirkungsgradklassen (IE Code) Jahresbericht 2008 des FB Elektrische Antriebe im ZVEI.
- [6] DIN EN 60034-2-1 (VDE 0530-2-1):2008-08 Drehende elektrische Maschinen – Teil 2-1: Standardverfahren zur Bestimmung der Verluste und des Wirkungsgrades aus Prüfungen (ausgenommen Maschinen für Schienen- und Straßenfahrzeuge).