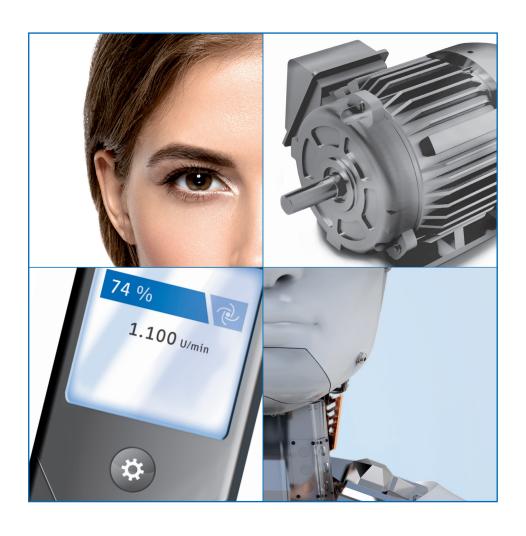


Energieeffizienz mit elektrischen Antrieben





Impressum

Energieeffizienz mit elektrischen Antrieben

Herausgeber:

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnikund Elektronikindustrie e.V. Fachverband Automation Fachbereich Elektrische Antriebe

Lyoner Straße 9

60528 Frankfurt am Main Telefon: +49 69 6302-377 Fax: +49 69 6302-279 E-Mail: antriebe@zvei.org

www.zvei.org Verantwortlich: Gunther Koschnick Bernhard Sattler Fachbereich Elektrische Antriebe

Redaktion:

Michael Burghardt, Sylvia Blankenhagen, Gregor Dietz, Fred Donabauer, Prof. Martin Doppelbauer, Lutz Schube, Thorben Steinmann, Eva-Maria Wagner, Claus Wieder, Yasar Yûce

November 2017

Trotz größtmöglicher Sorgfalt übernimmt der ZVEI keine Haftung für den Inhalt. Alle Rechte, insbesondere die zur Speicherung, Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung, sind vorbehalten.

Inhaltsverzeichnis

L	Vorwort: Energieeffizienz hat oberste Priorität	4
2	Stromverbrauch in Industrie und Antriebstechnik	5
3	Energieeffizienz im Antriebssystem	6
1	IE-Code: weltweite Vereinheitlichung durch die Normung	14
5	Gesetzliche Vorgaben in Europa	21
6	Weltweite Vorschriften	23
7	Rest-Practice-Anwendungen mit Finsnarnotenzial	25

1 Vorwort: Energieeffizienz hat oberste Priorität

Der politische Wille, Energieeffizienz zu beschleunigen, ist spürbar und beim Blick auf die Lebenszykluskosten auch sinnvoll. Mit dieser Broschüre sollen die Energieeinsparpotenziale elektrischer Antriebe und Antriebssysteme aufgezeigt werden. Sie gibt einen Überblick, wie internationale Normen Transparenz für die Energieeffizienz schaffen und Grundlage für die Gesetzgebung in der Antriebstechnik sind.

Das von der Europäischen Kommission (EK) am 30. November 2016 veröffentlichte Paket "Clean Energy for All Europeans" gibt den Rahmen für die Zeit 2021 bis 2030 vor und macht damit einen wichtigen Schritt, die Energieversorgungssicherheit, Nachhaltigkeit und Wettbewerbsfähigkeit langfristig zu stärken. Die Kommission verfolgt mit ihren insgesamt acht Gesetzesvorschlägen folgende drei Ziele:

- · Energieeffizienz als oberste Priorität,
- · Förderung von erneuerbaren Energien
- · und ein faires Angebot für Verbraucher.

Um die hohe Priorität von Energieeffizienz verbindlich zu gestalten, hat die Kommission das Ziel von 30 Prozent Energieeinsparung bis 2030 vorgegeben (Basis 2005). Dies ist ein wichtiges politisches Signal, um weitere Energieeffizienzmaßnahmen anzuregen. Die Revision der Energieeffizienzrichtlinie rückt die Steigerung der Energieeffizienz noch stärker als bisher in den Fokus und erfüllt damit eine wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche Energiewende. Sie hilft, die Energiekosten zu senken sowie die Versorgungssicherheit zu verbessern und löst erhebliche Investitionen für die Wirtschaft aus. Zudem trägt sie wesentlich zum Klimaschutz bei.

Zur Zielerreichung 2030 setzt die Kommission verschiedene Instrumente ein. Vor allem die Ökodesign-Richtlinie – die Umweltwirkungen von energieverbrauchsrelevanten Produkten unter Berücksichtigung des gesamten Lebenswegs im Fokus hat – ist von großer Relevanz für die elektrische Antriebstechnik, da sie gesetzliche Anforderungen festschreibt.

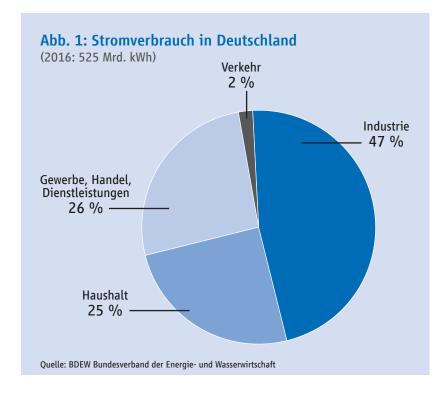
2 Stromverbrauch in Industrie und Antriebstechnik

Im Jahr 2016 war die Industrie mit einem Anteil von 47 Prozent am Gesamtverbrauch der größte Stromverbraucher in Deutschland (Abb. 1). Rund 250 TWh (250 Mrd. kWh) Strom hat die Industrie in diesem Jahr verbraucht. Davon entfielen rund 70 Prozent oder 175 TWh auf den Energieverbrauch von elektromotorischen angetriebenen Systemen.¹

In Deutschland besitzen elektrische Antriebssysteme ein bedeutendes Einsparpotenzial in Höhe von 33 TWh Strom. Rund fünf Milliarden Euro an Energiekosten ließen sich jährlich einsparen durch den Einsatz der elektronischen Drehzahlregelung mittels Drive Controller (26 TWh) und durch die Reduzierung der Verlustleistung bei Energiesparmotoren (7 TWh).

Lebenszyklusbetrachtungen zeigen Nutzen auf

Die folgenden zwei Beispiele verdeutlichen sehr gut den Nutzen, den Energiesparmotoren und die elektronische Drehzahlregelung durch Drive Controller den produzierenden Unternehmen bringen (Grundlage: Strompreis 15 ct/kWh).



- Bei Elektromotoren mit höherem Wirkungsgrad lässt sich der Energiebedarf signifikant senken. Ein IE3-Motor mit 75 kW Leistung ist mit einem Wirkungsgrad von 95,7 Prozent beispielsweise 1,7 Prozent effizienter als ein leistungsgleicher IE2-Motor (94,0 Prozent). Die höhere Effizienz ergibt bei 6.000 Betriebsstunden 30 Prozent weniger Verluste sowie Einsparungen von rund 1.276 Euro pro Jahr.
- In einer Absauganlage wird ein Lüfter mit 7,5 kW Nennleistung eingesetzt. Wird der Förderstrom nicht mechanisch gedrosselt, sondern über einen drehzahlgeregelten Drehstrommotor an die tatsächlich benötigte Menge angepasst, lassen sich bei 4.000 Betriebsstunden pro Jahr 1.260 Euro Stromkosten einsparen.

Weitere Beispiele werden im Kapitel 7 Best-Practice-Anwendungen mit Einsparpotenzial dargestellt.

Der Einsatz neuer innovativer, energiesparender Technik rechnet sich über den Lebenszyklus. In der Industrie wird allerdings noch ein großer Anteil Motoren verwendet, die die Anforderungen an die heutigen Wirkungsgradklassen nicht erfüllen und vergleichsweise viel Energie verbrauchen. Ziel muss es daher sein, diesen industriellen Bestand so rasch wie möglich zu modernisieren. Lebenszyklusbetrachtungen, Förderprogramme und gesetzliche Regelung sind Instrumente, die diesen Prozess beschleunigen.

¹ Bauernhansel, Mandel, Wahren, Kasprowicz, & Miehe, Energieeffizienz in Deutschland, Mai 2013

3 Energieeffizienz im Antriebssystem

Neben den Einsparpotenzialen, die durch die Auslegung der elektrischen Antriebssysteme gehoben werden können, liegt das größte Energieeinsparpotenzial in der Optimierung der angetriebenen Maschine (z. B. Pumpe, Lüfter, Kompressor): in der mechanischen Systemoptimierung (Abb. 2). Im Nachfolgenden wird nur der Bereich der elektrischen Antriebstechnik näher betrachtet.

Abb. 2: Einsparpotenziale bei elektronisch angetriebenen Systemen

Einsparpotenzial bei elektromotorisch angetriebenen Systemen	Einsparpotenzial in %
1. Vermehrter Einsatz von Energiesparmotoren	10 %
2. Elektronische Drehzahlregelung	30 %
3. Mechanische Systemoptimierung	60 %
Summe	100 %

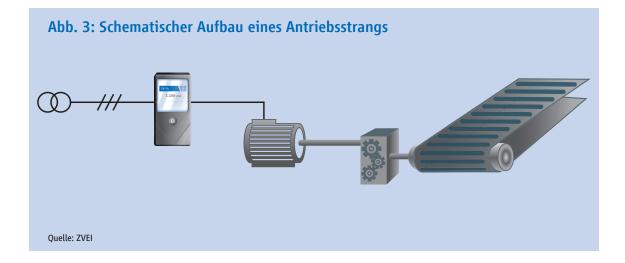
Ouelle: Save-Berichte der EU

Der komplette Antriebsstrang im Fokus

Elektrische Antriebssysteme bestehen im Wesentlichen aus folgenden Komponenten:

- einem Gerät zur Ansteuerung der Motoren aus dem elektrischen Netz, üblicherweise einem Schütz, Sanftstarter oder Frequenzumrichter (Drive Controller);
- einem Elektromotor, der elektrische in mechanische Leistung umwandelt;
- einem Getriebe, das die mechanische Leistung des Motors an den Arbeitspunkt der Arbeitsmaschine anpasst (siehe auch Abb. 3).

Einige Anwendungen mit fester Drehzahl benötigen keinen Drive Controller, sondern lediglich einen Schütz zum Ein- und Ausschalten des Motors oder einen Sanftstarter für den sanften Motoranlauf. In anderen Anwendungen, beispielsweise Pumpen, kann mit der hohen Drehzahl des Elektromotors gearbeitet werden, sodass das Getriebe entfällt.



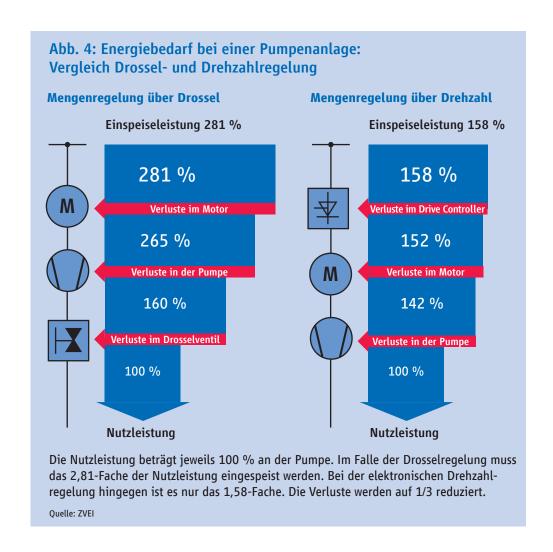
Drive Controller (Frequenzumrichter)

Zur Regelung eines Drehstrommotors müssen Frequenz und Spannungshöhe am Motor mittels eines Drive Controllers verändert werden.

Drive Controller werden für alle Leistungen – von wenigen Watt bis zu vielen Megawatt – angeboten. Sie sind in ihren Eigenschaften (Antriebsverhalten, Verlustleistung, Größe) in den letzten Jahrzehnten durch Fortschritte in der Mikro- und Leistungselektronik kontinuierlich verbessert worden. Der Wirkungsgrad von modernen Drive Controllern liegt typischerweise zwischen 96 und 98 Prozent (je nach Leistung) und wird unter anderem durch die verwendeten Halbleiter und die Taktfrequenz zu deren Ansteuerung bestimmt.

Die zentrale Aufgabe eines Drive Controllers ist es, die Motordrehzahl zu regeln, sodass quasi von einem variablen elektronischen Getriebe gesprochen werden kann. Je nach Prozessbedarf kann die Motordrehzahl reduziert und damit genau so viel Energie aus dem Netz aufgenommen werden, wie gerade benötigt wird.

Diese Art der Prozessregelung birgt dadurch ein enormes Energieeinsparpotenzial und ist deutlich effizienter als beispielsweise eine Drosselregelung in einer Pumpenanwendung (Abb. 4).



Energieeinsparpotenziale beim Bremsbetrieb

Beim Betrieb mit einem Drive Controller entsteht in einem Motor bei Bremsvorgängen generatorische Energie. Je nach Anwendung und Auftreten dieser generatorischen Energie kommt eines oder kommen mehrere der vier folgenden Prinzipien zum Einsatz:

- Bremswiderstand
- Zwischenkreiskopplung
- Rückspeisung
- Energiespeicher

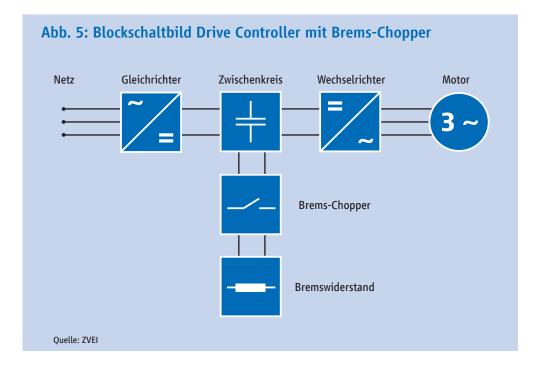
Bremswiderstand

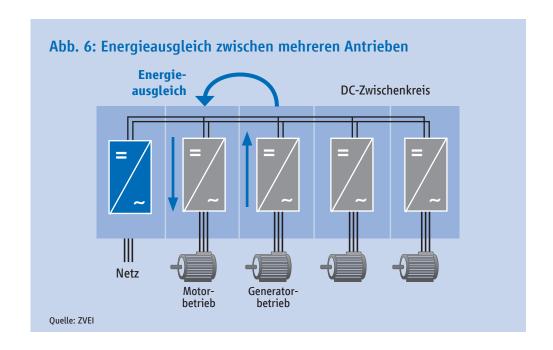
Lange Jahre war es gängige Praxis, generatorische Energie mittels Bremswiderstände in Wärme umzuwandeln. Die Weiterleitung der Energie an den Bremswiderstand erfolgt mit einem im Drive Controller an- oder eingebauten Brems-Chopper. Die Umsetzung dieser Energie in Wärme stellt dabei einen nachteiligen Beitrag zur Energiebilanz dar, ist aber oft bei einem geringen oder sporadischen Aufkommen von Rückspeiseenergie die einzige ökonomische Lösung (Abb. 5).

Zwischenkreiskopplung

Wird nicht nur ein Antrieb, sondern eine Vielzahl von Antrieben nebeneinander eingesetzt, so kann die Verbindung der Zwischenkreise der Drive Controller eine sinnvolle und praktische Nutzung der Rückspeiseenergie darstellen. Anstatt Energie aus dem Netz aufzunehmen, findet in diesem Fall ein effizienter und direkter Energieausgleich zwischen den Antrieben in einem Verbund statt (Abb. 6). Voraussetzung ist, dass die rückgeführte Energie eines Antriebs unmittelbar in einem anderen Antrieb wiederverwendet werden kann.

Dieses Grundprinzip ist sehr effektiv und könnte auf größere Bereiche ausgeweitet werden. Aus diesem Grund gibt es aktuell das Forschungsprojekt "DC-INDUSTRIE – Intelligentes offenes DC-Netz in der Industrie für hocheffiziente Systemlösungen mit elektrischen Antrieben". Ziel ist die Sicherung einer effizienten und robusten Energieversorgung von Maschinen und Anlagen durch Gleichspannungsnetze in Fabriken.





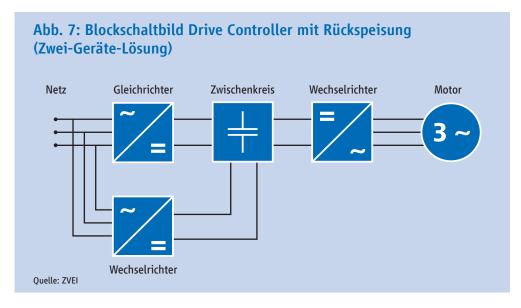
Rückspeisung

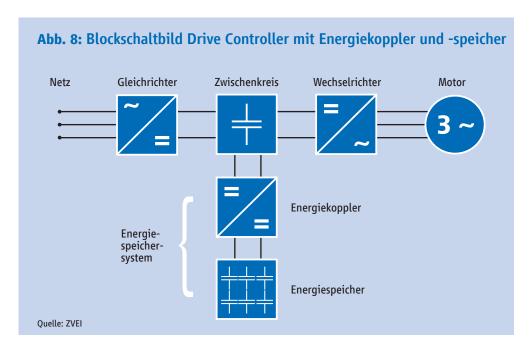
Mit einem Drive Controller kann die generatorische Energie aus der Anlage zurück ins Netz gespeist werden. Hierbei wird das Funktionsprinzip der Netzeinspeisung in den Zwischenkreis umgekehrt, indem die gleichgerichtete Zwischenkreisspannung in eine sinusförmige Netzspannung konvertiert wird. Je nach Netzeigenschaften können block- oder sinusförmige Rückspeisegeräte verwendet werden. Sowohl separate Geräte als auch Kombinationen aus Netzgleichrichter und Rückspeisung sind am Markt verfügbar (Abb. 7).

Jede Umwandlung von Energie ist verlustbehaftet. Daher muss im Einzelfall – abhängig von den Bremszyklen – geprüft werden, ob eine Netzrückspeisung in der jeweiligen Anlage sinnvoll ist.

Energiespeichersystem

Aufbauend auf dem Prinzip der Zwischenkreiskopplung löst der Energiespeicher den zeitlichen Konflikt auf, dass die rückgeführte Energie unmittelbar in einem anderen Antrieb wiederverwendet werden muss. Er stellt die





Energie wieder bereit, wenn sie benötigt wird. Der Energiespeicher ermöglicht die intelligente Kombination der rückgespeisten Energie mit der aufgenommenen Energie und reduziert gleichzeitig die hohe kurzzeitige Energieaufnahme aus dem Netz (Abb. 8). Hoher dynamischer Energiebedarf des Antriebs wird aus dem Speicher bereitgestellt, sodass alle netzseitigen Installationen einfacher und preiswerter werden. Zudem werden hohe Bereitstellungskosten für den Bezug von Spitzenleistungen vermieden. Diese monetäre Ersparnis im Betrieb der Anlage wird wirtschaftlich gegen den Investitionsbedarf des Speichers betrachtet und kann ökonomisch und ökologisch eine gute Lösung darstellen.

Sanftstarter

Die Ansteuerung eines Drehstrommotors mit einem Sanftstarter kann abhängig von der Anwendung verschiedene Effekte haben: Förderanlagen fahren ruckfrei an, Druckstöße in Pumpenanlagen werden vermieden oder Anlaufströme bei großen Schwungmassen reduziert. Dabei wird während einer einstellbaren Hochlaufzeit die an den Motor abgegebene Spannung im Sanftstarter mittels Phasenanschnittsteuerung reduziert und der Anlaufvorgang so gezielt beeinflusst.

Sanftstarter arbeiten nahezu verlustfrei, da sie nach dem Anfahren des Motors wie ein Schütz den Motor direkt an das Netz schalten. Für Anwendungen mit stets voll belasteten und optimal ausgelegten Motoren ist diese Konfiguration die energetisch bessere. Mit Blick auf Anwendungen, bei denen sich prozessbedingt Energie durch die Anpassung der Drehzahl einsparen lässt, sind Drive Controller einem Sanftstarter vorzuziehen, da sich bei Sanftstartern die Motordrehzahl nicht regeln lässt. Das mit der Drehzahlregelung verbundene Energieeinsparpotenzial können diese Geräte also nicht heben.

Motoren

Elektromotoren setzen elektrische Energie hauptsächlich in mechanische Energie um, und zwar in Drehzahl und Drehmoment. Aufgrund ihres Wirkungsprinzips haben Elektromotoren einen relativ hohen Wirkungsgrad. Ein typischer Wert für einen 1,1-kW-Drehstromasynchronmotor liegt bei etwa 82 Prozent; 100-kW-Motoren haben Wirkungsgrade bis 95 Prozent.

Motorverluste entstehen durch verschiedene physikalische Effekte. Je nach eingesetzter Technologie und Baugröße können diese unterschiedlich hoch sein. Die wichtigsten Verlustfaktoren sind:

- elektrischer Stromfluss in den Wicklungen mit ihren elektrischen Widerständen;
- Ummagnetisierungsvorgänge und Wirbelströme;
- mechanische Reibungsverluste und Parasitäreffekte.

Je nach Betriebszustand des Motors (Drehzahl- und Drehmomentauslastung) wirken sich diese Effekte unterschiedlich auf die Verluste des Motors aus. Während beispielsweise die abgegebene Leistung proportional mit sinkender Drehmomentbelastung abnimmt, reduzieren sich die Verluste des Motors nicht proportional. Der Motor wird mit sinkender Auslastung also ineffizienter. Für einen energieeffizienten Betrieb sollte ein Motor daher immer gut ausgenutzt sein und Überdimensionierungen sollten vermieden werden.

Getriebe und Getriebemotoren

Die nominelle Drehzahl von Drehstromasynchronmotoren liegt bei direktem Netzbetrieb je nach Polpaarzahl und Netzfrequenz zwischen circa 750 U/min (8-polig und 50 Hz) und 3.600 U/min (2-polig und 60 Hz). Für viele Antriebsaufgaben wird jedoch eine wesentlich geringere Drehzahl bei gleichzeitig größerem Drehmoment benötigt. Die häufig genutzten Drehzahlen liegen typischerweise zwischen 15 und 300 U/min. Um die mechanische Leistung (Drehzahl x Drehmoment) des Motors an den Arbeitspunkt der Arbeitsmaschine anzupassen, kommt in diesen Fällen ein Getriebe zum Einsatz.

Man unterscheidet generell Getriebe mit koaxialen und parallelen Achsen sowie Getriebe mit sich kreuzenden Achsen. Die Auswahl der passenden Getriebetypen erfolgt je nach konstruktiv bedingter Einbausituation oder aber nach Gesichtspunkten wie Tragfähigkeits-, Geräusch- oder Wirkungsgradanforderungen.

Der Wirkungsgrad von Getrieben wird beeinflusst von der Reibung in der Abdichtung zwischen Gehäuse und Wellen sowie von den Verlusten innerhalb des Getriebes (Verzahnung, Lagerreibung, Planschverluste, Zusatzverluste). Häufig verwendete Getriebearten sind Stirnrad-, Kegelrad- und Schneckengetriebe. Abb. 9a zeigt die maximale sinnvolle Übersetzung je Getriebestufe und den klassischen Zahlenwert des Wirkungsgrads je Stufe.

Mit zweistufigen Stirnradgetrieben lassen sich Übersetzungen im Bereich von 5 bis 60 abdecken. Der Wirkungsgrad dieser Getriebe ist unabhängig von der Übersetzung gleich und liegt bei 96 bis 98 Prozent. Durch Vorschalten einer dritten Stirnradstufe können Übersetzungen bis circa 250 realisiert werden; der Wirkungsgrad sinkt dann auf etwa 94 Prozent.

Kegelrad- oder Schneckengetriebe werden dort eingesetzt, wo die Abtriebswelle rechtwinklig zur Motorachse ausgeführt werden soll.

Kegelradgetriebe werden oft mit vor- oder nachgeschalteten Stirnradstufen versehen, um höhere Übersetzungen zu realisieren. Diese haben dann Wirkungsgrade von etwa 94 Prozent. Schneckengetriebe können in einer Stufe hohe Übersetzungen aufweisen, wodurch meistens eine oder zwei weitere Getriebestufe(n) entfallen können. Zur Erreichung hoher Wirkungsgrade bei hohen Übersetzungen werden auch hier vor- oder nachgeschaltete Stirnradstufen verwendet. Applikativ interessant sind Schneckengetriebe aufgrund ihres geräuscharmen Laufs sowie der Möglichkeit, sie für bestimmte Sicherheitsfunktionen selbsthemmend auszuführen.

Grundsätzlich muss bei der Auswahl der geeigneten Getriebeart immer der Bedarf der speziellen Anwendung berücksichtigt werden.

Abb. 9a: Getriebearten im Vergleich (je Stufe)

			Ö	
Getriebeart	Stirnrad	Kegelrad	Schnecke	
Max. Übersetzung	ca. 7	ca. 5	ca. 100	
Wirkungsgrad	ca. 98 %	ca. 98 %	ca. 50 % ca. 90 %	

Ouelle: ZVEI

Abb. 9b: Übertragungsarten im Vergleich

	3			00	
Übertragungsart	Flachriemen	Keilriemen	Zahnriemen	Kette	
Max. Übersetzung	5	8	8	6	
Wirkungsgrad	96 % 98 %	92 % 94 %	96 % 98 %	96 % 98 %	

Quelle: ZVEI

Die Kraftübertragung von der Motor- bzw. Getriebewelle auf die Arbeitswelle erfolgt idealerweise mittels einer starren Kupplung. In diesem Fall treten praktisch keine weiteren Verluste auf. Oft kommen aber auch Riemen oder Ketten zum Einsatz, mit denen zusätzlich eine weitere Übersetzung der Drehzahl realisiert werden kann. Keilriemen sollten wegen des etwas geringeren Wirkungsgrads zugunsten von Flach- oder Zahnriemen bzw. Ketten vermieden werden. Bei Ketten ist besonders auf eine gute Schmierung zu achten. Abb. 9b zeigt die maximale sinnvolle Übersetzung und den typischen Wirkungsgrad der Übertragungsarten.

Optimale Auslegung energieeffizienter Antriebssysteme

Für die Auslegung energieeffizienter Antriebe muss der Prozessbedarf mit Lastspielen möglichst exakt ermittelt werden. Überdimensionierungen, Sicherheits- oder Angstfaktoren sind zu vermeiden, denn alle Antriebskomponenten sind am effizientesten, wenn sie gut ausgenutzt werden. Der Wirkungsgrad ver-

mindert sich teilweise erheblich, wenn eine Komponente nur sehr gering ausgelastet ist, zum Beispiel wenn die ausgelegte Prozessleistung nur in Spitzenzeiten abgerufen wird. Die nominellen Wirkungsgrade auf dem Typenschild können in diesem Fall täuschen und sollten lediglich zur ersten Orientierung dienen.

Eine vermeintlich effizientere Komponente hat nicht zwangsläufig eine geringere Energieaufnahme des Antriebssystems zur Folge. Ein Asynchronmotor der Effizienzklasse IE3 hat neben dem besseren Wirkungsgrad oft ein höheres Trägheitsmoment als ein IE2-Asynchronmotor. Besteht ein Prozess größtenteils aus Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgängen, so wird durch die größere Trägheit mehr Energie benötigt als mit einem trägheitsarmen Motor. Das Problem lässt sich durch den Einsatz vom umrichterbetriebenen Synchronmotoren lösen, wobei die Wirkungsgradklassen IE4 oder sogar IE5 erreicht werden können.

Die Komponenten des Antriebssystems können sich darüber hinaus gegenseitig beeinflussen. Der Teillastwirkungsgrad von Motoren lässt sich beispielsweise durch eine intelligente Drive-Controller-Regelung (Magnetisierungsanpassung) optimieren. Eine Einzelbetrachtung der beiden Komponenten Motor und Drive Controller deckt dieses Potenzial nicht auf.

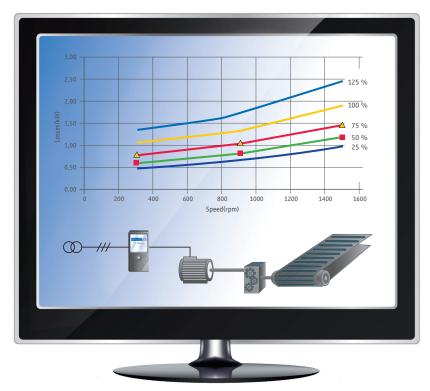
Insgesamt zeigen diese Beispiele: Mit einer Systembetrachtung lassen sich die vorhandenen Energieeinsparpotenziale besser ausschöpfen als mit einer Komponentenoptimierung. Aufgrund der Komplexität einer solchen Gesamtbetrachtung ist eine manuelle Berechnung sehr aufwendig oder fast unmöglich. Viele Hersteller von Antriebstechnik bieten aus diesem Grund unterstützende Engineering-Software, die dem Anwender hilft, den Prozessbedarf zu ermitteln und die Energieeffizienz eines kompletten Antriebssystems zu berechnen (Abb. 10). Je nach Umfang der Software werden dabei Teillastwirkungsgrade

und gegenseitige Einflüsse der Komponenten berücksichtigt und ein Energieeffizienzvergleich verschiedener Antriebskonzepte ermöglicht.

Digitalisierung hilft beim Energiesparen

Die Digitalisierung bietet heute schon viele Werkzeuge, um Bestandsanlagen energieeffizienter zu betreiben. Beispielsweise können mittels der Istwert-Signale im Drive Controller oder einfach nachrüstbarer, kostengünstiger Sensorik Wartungs- und Energieverbrauchsindikatoren ermittelt werden. Diese Merkmale helfen dabei, Energieverbräuche anzuzeigen und unnötig hohe Lasten zu identifizieren. Die gesammelten Informationen lassen sich beispielsweise über eine Cloud auswerten und zur Dokumentation von Energieeinsparungspotenzialen heranziehen. So entsteht eine belastbare Entscheidungsgrundlage für Anlagenerneuerungen oder Neuinstallationen, die Berechnungen von Amortisationszeiten und Optimierungen umfasst.

Abb. 10: Engineering-Software als Unterstützung bei der Dimensionierung und Optimierung



Quelle: ZVEI

Fazit

Die einzelnen Komponenten des Antriebsstrangs von elektrischen Antriebssystemen weisen unterschiedliche Energieeinsparpotenziale auf. Ein besonders hohes Potenzial hat in vielen Anwendungen die Drehzahlregelung von Elektromotoren durch Drive Controller. Aber auch die Motoren selbst und das Getriebe bieten Einsparmöglichkeiten durch hohe Wirkungsgrade. Eine Systemoptimierung hilft, die vorhandenen Sparpotenziale maximal auszuschöpfen.

4 IE-Code: weltweite Vereinheitlichung durch die Normung

Normen sind die verlässliche Grundlage für weltweites, wirtschaftliches Handeln. Sie sind ein Garant für erfolgreiche und verlässliche Produktentwicklung. Häufig sind sie auch Grundlage für die Erfüllung von gesetzlichen Verordnungen und Richtlinien.

Eine Erfolgsstory für die Normung ist die Einführung der Wirkungsgradklassen für Motoren, des sogenannten IE-Codes (International Efficiency). Dieser Code hat sich weltweit durchgesetzt und ist heute für jeden typischen Industriemotor anwendbar. Darüber hinaus wurde eine durchgehende Normung für die Bewertung der Energieeffizienz von den Komponenten bis zum gesamten Antriebssystem entwickelt.

Dazu wurde zunächst der IE-Code auf andere Antriebskomponenten und andere Motorenarten ausgeweitet. Zusätzlich wurden die Verluste im gesamten Antriebssystem normativ betrachtet und das System mit einem IES-Code (International-Efficiency-System) klassifiziert.

Die IE-Codes gelten für die Komponenten (Motor bzw. Drive Controller) und der IES-Code für das komplette Antriebssystem (Motor und Drive Controller)!

Die verschiedenen Normen ergänzen sich gegenseitig zu einem vollständigen Ansatz der Energieeffizienz-Klassifizierung von Komponenten und dem gesamten Antriebssystem. Die Verfahren zur Bestimmung der IE- und IES-Klassen sind, physikalisch bedingt, unterschiedlich. Bei Motoren, die direkt am Netz betrieben werden können, wird nach entsprechenden Messnormen der Wirkungsgrad im Bemessungspunkt ermittelt. Bei Motoren, die rein für Umrichterbetrieb ausgelegt sind, wird der Wirkungsgrad im Bezugspunkt 90 Prozent Drehzahl / 100 Prozent Drehmoment ermittelt. Dann wird der so ermittelte Wirkungsgrad jeweils mit den Grenzwerten der jeweiligen IE-Klassen verglichen.

Beim Drive Controller werden die Verluste im Bezugspunkt 90 Prozent relative Statorfrequenz / 100 Prozent relativer drehmomentbildender Strom ermittelt. Diese werden mit den Verlusten eines Referenzumrichters verglichen und führen zur IE-Klasse.

Die IES-Klasse wird über die Verluste der beiden Komponenten Motor und Drive Controller im Bezugspunkt ermittelt, die Verluste werden addiert und das Ergebnis mit einem Referenzsystem verglichen.

Tab. 1 Übersicht der Antriebsnormen für Energieeffizienz

Antriebssystem (Motor und Drive Controller)						
Norm EN 50598-2 / IEC 61800-9-2 Verlustbetrachtung der Antriebskomponenten zur Systembewertung						
IES-Klasse (Vergleich Verluste mit Refer	enzsystem)					
Komponente Motor (geeignet für direkten Netzbetrieb)	Komponente Motor (nicht geeignet für direkten Netzbetrieb)	Komponente Drive Controller (Frequenzumrichter)				
IEC 60034-30-1 Messnorm IEC 60034-2-1	IEC TS 60034-30-2 Messnorm IEC 60034-2-3	EN 50598-2 Messnorm EN 50598-2				
IE-Klasse Wirkungsgrad im Nennpunkt	IE-Klasse Wirkungsgrad bei 90 % Drehzahl und vollem Lastmoment	IE-Klasse Verluste bei 90 % relativer Frequenz und 100 % drehmoment- bildenden Stroms				

In der Praxis ergänzen sich die IE-/IES-Codes sinnvoll und ermöglichen eine einfache Einordnung in Energieeffizienzklassen, die als Orientierung dient. Allerdings kann eine reine Klassenbetrachtung nie die optimale Auslegung des Antriebssystems ersetzen. Erst die Betrachtung des realen Lastprofils und die Auswahl der dafür besten Komponenten ergeben die günstigste Gesamtbilanz.

Komponente Motor (geeignet für direkten Netzbetrieb)

IEC-Norm Wirkungsgradklassen Netzmotoren (IEC 60034-30-1)

Im März 2014 wurde die Norm IEC 60034-30-1 veröffentlicht. Sie ersetzt die Norm IEC 60034-30:2008, die bisher drei Wirkungsgradklassen für 3-Phasen-Asynchronmotoren festlegte. Die aktualisierte Norm IEC 60034-30-1 wurde erweitert um die Wirkungsgradklasse IE4. Darüber hinaus werden jetzt 8-polige Motoren und ein erweiterter Leistungsbereich in der Norm berücksichtigt.

Geltungsbereich

Die Norm IEC 60034-30-1 definiert Wirkungsgrade bzw. Effizienzklassen bei 50 und 60 Hz für 1- bzw. 3-phasige Netzmotoren (unabhängig von der Technologie). Dort sind sowohl der Geltungsbereich der Norm als auch die Ausnahmen definiert.

Die überarbeitete Norm umfasst die in der Tabelle stehende Netzmotoren.

Effizienzklassen

In der IEC 60034-30-1 werden für die Asynchronmotoren folgende Effizienzklassen (IE = International Efficiency) festgelegt:

IE1	Standard Efficiency		
IE2 High Efficiency			
IE3	Premium Efficiency		
IE4	Super Premium Efficiency		

Ausnahmen

- Motoren mit 10 oder mehr Polen sowie Motoren, die für mehrere Drehzahlen ausgelegt sind (polumschaltbare Wicklung)
- Motoren mit mechanischen Kommutatoren (wie Gleichstrommotoren)
- Motoren, die vollständig in eine Maschine integriert sind (z. B. Pumpen, Lüfter und Kompressoren) und praktisch nicht eigenständig geprüft werden können, selbst wenn vorübergehend auf der Antriebsseite Lager und Lagerschilde verwendet werden
- Motoren mit integrierten Frequenzumrichtern, wenn der Motor nicht getrennt vom Umrichter geprüft werden kann
- Bremsmotoren, wenn die Bremse integraler Bestandteil der inneren Motorkonstruktion ist und weder entfernt noch während der Prüfung des Motorwirkungsgrads separat gespeist werden kann
- Unterwassermotoren, die speziell dafür ausgelegt sind, dass sie komplett in Flüssigkeiten eingetaucht betrieben werden können
- Brandgasmotoren mit einer Temperaturklasse über 400 °C

Leistungsbereich	0,12-1.000 kW		
Bemessungsspannung	50 V bis 1.000 V, 50 und 60 Hz		
Polanzahl	2, 4, 6, 8		
Betriebsart	S1 (Dauerbetrieb mit konstanter Belastung) sowie teilweise Moto- ren, die auf andere Betriebsarten ausgelegt sind, aber dennoch bei Bemessungsleistung im Dauerbetrieb betrieben werden können		
Umgebungs- temperaturbereich	−20 °C bis +60 °C		
Aufstellhöhe	Bis 4.000 m über Meeresspiegel		

Komponente Motor (nicht geeignet für direkten Netzbetrieb)

IEC-Norm Wirkungsgradklassen Umrichtermotoren (IEC TS 60034-30-2)

Im Dezember 2016 wurde die Technische Spezifikation IEC TS 60034-30-2 veröffentlicht. Diese Vornorm enthält Wirkungsgradklassen für Motoren, die ausschließlich am Drive Controller (Frequenzumrichter) betrieben werden können (z. B. fast alle permanentmagneterregte Synchronmotoren). Motoren, die sowohl für direkten Netzbetrieb als auch für Umrichterbetrieb bemessen sind (z. B. fastalle Asynchronmotoren), fallen unter IEC 60034-30-1.

Geltungsbereich

Die technische Spezifikation IEC TS 60034-30-2 umfasst folgende Motoren:

- Unterwassermotoren, die speziell dafür ausgelegt sind, dass sie komplett in Flüssigkeiten eingetaucht betrieben werden können
- Brandgasmotoren mit einer Temperaturklasse über 400 °C
- · Servo-Motoren
- Motoren, die für Netzbetrieb ausgelegt sind (IEC 60034-30-1)

Effizienzklassen

In der IEC TS 60034-30-2 werden für Umrichtermotoren die Effizienzklassen IE1 bis IE5 festgelegt. Die Wirkungsgradklassen IE4 und insbesondere IE5 sind so angelegt, dass sie nur mit Motoren neuer Technologien erreicht werden können. Hierzu zählen beispielsweise Synchronmotoren mit Permanentmagneten und Synchron-Reluktanzmotoren, wie sie bereits heute von einigen Herstellern angeboten werden.

Leistungsbereich	0,12–1.000 kW		
Bemessungsspannung	50 V bis 1.000 V		
Polanzahl	600/min bis 6.000/min		
Betriebsart	S1 (Dauerbetrieb mit konstanter Belastung) sowie teilweise Moto- ren, die auf andere Betriebsarten ausgelegt sind, aber dennoch bei Bemessungsleistung im Dauerbetrieb betrieben werden können		
Umgebungs- temperaturbereich	−20 °C bis +60 °C		
Aufstellhöhe	Bis 4.000 m über Meeresspiegel		

Ausnahmen

- Motoren mit mechanischen Kommutatoren (wie Gleichstrommotoren)
- Motoren, die vollständig in eine Maschine integriert sind (z. B. Pumpen, Lüfter und Kompressoren) und praktisch nicht eigenständig geprüft werden können, selbst wenn vorübergehend auf der Antriebsseite Lager und Lagerschilde verwendet werden
- Bremsmotoren, wenn die Bremse integraler Bestandteil der inneren Motorkonstruktion ist und weder entfernt noch während der Prüfung des Motorwirkungsgrads separat gespeist werden kann

Der Vorteil dieser Motoren besteht darin, dass die höchsten Wirkungsgradklassen in den bekannten Standardabmessungen erreicht werden können. Anders als bei vielen Asynchronmotoren der Wirkungsgradklasse IE3 sind also die Abmessungen und das Gewicht der IE4- und insbesondere IE5-Antriebe mit Asynchronmotoren der Klassen IE1 und IE2 vergleichbar.

Norm EN 50598: Energieeffizienz mit elektrisch angetriebenen Arbeitsmaschinen

Die Energieeffizienz eines Antriebssystems ist entscheidender als die Summe der Wirkungsgrade einzelner Komponenten. Dem trägt die Norm EN 50598 Rechnung und beschreibt im Teil 2, wie die Energieeffizienz eines Antriebssystems bestimmt wird. Die Normung geht damit konsequent von der Komponente in das gesamte Antriebssystem.

Die Norm besteht aus drei Teilen:

Teil 1: Allgemeine Anforderungen zur Erstellung von Standards für energieeffiziente elektrisch angetriebene Arbeitsmaschinen mit der Methodik des erweiterten Produktansatzes (semi-analytische Modelle (SAM)). Beschreibt die Verantwortlichkeiten und die Aufgaben der verschiedenen Interessengruppen, die diesen Standard verwenden, sowie den dazu notwendigen Datenfluss.

Teil 2: Bestimmung der Verluste und Effizienzklassen

Spezifiziert die Energieeffizienzindikatoren für das Antriebssystem (Power-Drive-System, PDS) im Leistungsbereich 0,12 kW bis 1.000 kW.

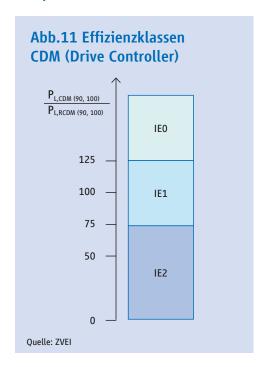
- Festlegung der Effizienzklassen von Antriebssystemen (PDS) und Drive Controller (Complete-Drive-Module, CDM)
- Festlegung von acht applikationsrelevanten Betriebspunkten
- Methoden zur Ermittlung (Messungen und Berechnung) der Verluste in den acht Betriebspunkten eines kompletten Motorensystems und seinen Komponenten
- Messmethoden für Drive Controller
- Verluste des Referenzmotors, des Referenz-CDMs und eines Referenz-PDS in den festgelegten acht Betriebspunkten
- Die EN 50598-2 bezieht sich zunächst nur auf Systeme mit Asynchronmaschinen. Die grundlegenden Prinzipien der Norm sind aber technologieunabhängig.

Teil 3: Ökodesign und Umweltdeklaration; Umweltaspekte und Produktdeklaration der Antriebskomponenten von Power-Drive-Systems und Motorstarter.

In diesem Teil der Norm wird das Thema Ökodesign und die Berücksichtigung wesentlicher Umweltaspekte beim Produktdesign von Motorsystemen (Motorstarter/Umrichter, Motor) festgelegt.

Komponente
Drive Controller
(Frequenzumrichter)

Effizienzklassen der Drive Controller (Frequenzumrichter, CDM)

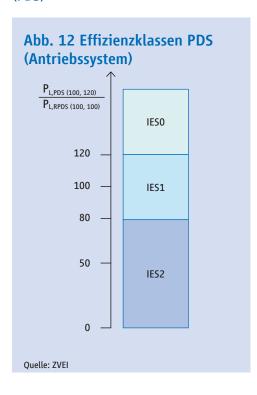


Auf Grundlage von relativen Verlusten werden Drive Controller in die Effizienzklassen IEO bis IE2 eingeteilt. Die Klasse IE1 ist der technische Standard und wird als Referenz zur Bestimmung der weiteren Klassen verwendet. Bezogen auf den Wert eines Drive Controllers der Effizienzklasse IE1 hat der Drive Controller der Klasse IE2 um 25 Prozent niedrigere Verluste und ein Drive Controller der Klasse IE0 um 25 Prozent höhere Verluste.

Die Effizienzklassen der Drive Controller beziehen sich mit dem Ziel der Vermeidung von Übermodulation und der dadurch möglichen Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Drive Controller auf den 90-/100-Betriebspunkt (100 Prozent drehmomentbildender Strom, 90 Prozent Motorstatorfrequenz).

Antriebssystem (Motor und Drive Controller)

Effizienzklassen eines Antriebssystems (PDS)



Die Betrachtung und Vergleichbarkeit der Energieeffizienz des gesamten Antriebssystems ist die führende Größe und wesentlicher Bestandteil des Anwendernutzens. In der gezielten Abstimmung der Komponenten Motor und Drive Controller steckt zusätzliches Optimierungspotenzial für das gesamte Antriebssystem (PDS).

Die Norm verfolgt beim Antriebssystem (PDS) einen ähnlichen Ansatz und legt die relativen Verluste eines PDS in den Effizienzklassen IESO bis IES2 fest. Bezogen auf den Wert eines PDSs der Effizienzklasse IES1 (Referenzantrieb) hat ein PDS der Effizienzklasse IES2 um 20 Prozent niedrigere Verluste und ein PDS der Effizienzklasse IESO um 20 Prozent höhere Verluste.

Auch für die Effizienzklasse eines PDS ist ein spezifischer Lastpunkt definiert. Als Referenzpunkt dient hier der 100-/100-Betriebspunkt (100 Prozent Motorstatorfrequenz, 100 Prozent Drehmoment).

Detaillierte Verlustbetrachtung

Die Norm bietet neben der Effizienzklasseneinteilung den weiteren Vorteil, dass Verluste nun detailliert für den drehzahlgeregelten Betrieb betrachtet werden können. Eine Verlustwertbetrachtung über den gesamten Lastbereich des Antriebs ist möglich.

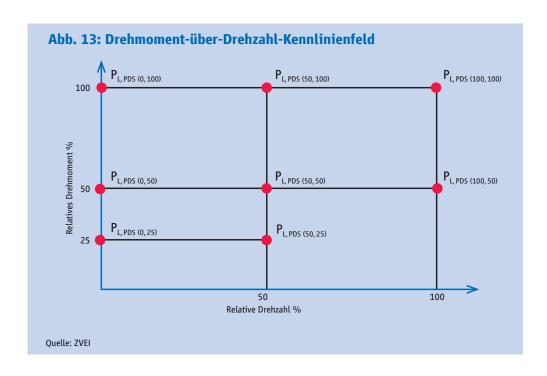
Dazu sind im Drehmoment-über-Drehzahl-Kennlinienfeld die für elektrisch angetriebene Arbeitsmaschinen typischen Betriebspunkte festgelegt. Durch Addition der absoluten Verluste des Drive Controllers und des Motors in jedem Punkt werden die absoluten Verluste eines PDS ermittelt (siehe Abb. 13).

Web-Applikation zur Berechnung der Motoren-Umrichter-Kombinationen

Wie im Detail die Berechnung von verschiedenen Motoren-Umrichter-Kombinationen gemäß der Norm EN 50598-2 (IEC 61800-9-2) funktioniert, kann mithilfe einer Web-Applikation nachvollzogen werden:

www.power-drive-system.com

Mit verschiedenen Herstellerdaten können die Verluste des Power-Drive-Systems in den Teillastpunkten wie auch die entsprechende IES-Klasse des Systems ermittelt werden.



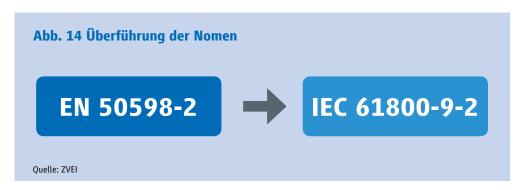
Es handelt sich bei der Web-Applikation um ein neutrales Berechnungstool des ZVEI. Es ist kein Projektierungstool und kann die Messungen in einem konkreten System nicht ersetzen.

Interaktion EN 50598-2 und IEC 61800-9-2

Aufgrund eines europäischen Normungsauftrags der Kommission an die Normungsorganisation CENELEC wurde die europäische Norm EN 50598 entwickelt. Kurz nach Fertigstellung wurde dieses Ergebnis bei der internationalen Normungsorganisation IEC eingereicht und die Arbeiten an einer IEC-Norm gestartet. Auch wenn einige Teile angepasst wurden, ist

der grundlegende Ansatz mit den IE-Klassen für Drive Controller und IES-Klassen für das System quasi unverändert. Aus formellen Gründen hat die Norm eine völlig andere Nummerierung (IEC 61800-9-2: 2017).

Im Rahmen der Vereinheitlichung von internationaler und europäischer Normung wird nach einer Übergangszeit von ca. drei Jahren die Norm EN 50598-2 zurückgezogen und endgültig durch die Norm IEC 61800-9-2 ersetzt.



Auszug aus der FAQ-Liste der Web-Applikation www.power-drive-system.com

Hat ein Motor somit zwei IE-Klassen, eine, wenn er am Netz läuft, und eine andere am Umrichter?

 Nein, es gibt keine Doppelklassifizierung von netz- bzw. umrichtergeführten Motoren. Ein Motor, der sowohl am Netz als auch am Drive Controller betrieben werden kann, erhält nur nach IEC 60034-30-1 für Netzbetrieb seine IE-Klasse. Motoren nach IEC TS 60034-30-2 sind speziell für Umrichterbetrieb bemessen und können nicht am Netz betrieben werden.

Können die Effizienzklassen der Komponenten Motor und Drive Controller nicht einfach direkt verwendet werden, um die Effizienzklasse des Systems zu bekommen nach dem Motto: IE2 + IE2 = IES2?

 Nein, dieser ganz simple Ansatz IE-Klasse Motor + IE-Klasse Drive Controller = IES-Klasse des Systems ist nicht möglich. Mithilfe der Norm EN 50598-2 ist es einfach möglich, die Verluste eines Antriebssystems zu berechen und daraus die Effizienzklasse
 zu bestimmen.

Erlaubt die Norm EN 50598-2 überhaupt noch, Komponenten verschiedener Anbieter zu mischen?

 Ja, die Normen sind anbieter- und technologieoffen. Die Web-Applikation www. power-drive-system.com zeigt, wie dies mit den Verlusten der einzelnen Komponenten funktioniert.

Wie verhält es sich bei Servomotoren?

 Servomotoren sind von der IE-Klassifizierung ausgeschlossen, da sie mit einer geringen Schwungmasse für dynamische Applikationen ausgelegt sind. Die Norm IEC TS 60034-30-2 gilt für Umrichtermotoren mit wenigen Geschwindigkeitsänderungen, die meistens im Dauerbetreib mit konstanter Last betrieben werden.

Wiederspricht die Norm EN 50598 dem Extended-Product-Approach?

 Nein, das sogenannte Extended Product (z. B. Pumpensystem) setzt sich aus dem elektrischen Antriebssystem plus der anzutreibenden Maschine zusammen. EN 50598-1 beschreibt das semi-analytische Modell und EN 50598-2 die Verlustbestimmung. Damit unterstüzt die Norm den Extended-Product-Approach.

5 Gesetzliche Vorgaben in Europa

Inzwischen sind viele Gesetze in der Europäischen Union in Kraft, die das Ziel haben, den Energieverbrauch und damit den CO₂-Ausstoß zu reduzieren. In der EU-Verordnung 640/2009 und Ergänzung 04/2014 wird die Energieeffizienz von 3-phasigen Asynchronmotoren für Netzbetrieb im industriellen Umfeld behandelt

Geltungsbereich der Netzmotoren

Leistungsbereich	0,75–375 kW		
Spannung	<1.000 V, 50 Hz, 50/60 Hz		
Polanzahl	2, 4, 6		
Bemessen für Dauerb	Bemessen für Dauerbetrieb		

Die EU-Verordnung stützt sich in wesentlichen Teilen auf die Norm IEC 60034-30 aus dem Jahr 2008. Die aktualisierte Norm IEC 60034-30-1 aus dem Jahr 2014 wird erst bei der Überarbeitung der EU-Verordnung berücksichtigt werden.

Ausnahmen in der EU-Verordnung

- a. Motoren, die dafür ausgelegt sind, ganz in eine Flüssigkeit eingetaucht betrieben zu werden
- b. Motoren, die vollständig in ein Produkt (z. B. ein Getriebe, eine Pumpe, einen Ventilator oder einen Kompressor) eingebaut sind, deren Energieeffizienz nicht unabhängig von diesem Produkt erfasst werden kann
- c. Motoren, die speziell für den Betrieb unter folgenden Bedingungen ausgelegt sind:
 - In Höhen über 4.000 m über dem Meeresspiegel
 - Bei Umgebungstemperaturen über 60 °C
 - Bei Umgebungstemperaturen unter –30 °C (beliebiger Motor) bzw. unter 0 °C (wassergekühlter Motor)
 - Bei Kühlflüssigkeitstemperaturen am Einlass eines Produkts unter 0 °C oder über 32 °C
 - Bei Betriebshöchsttemperaturen über 400 °C
 - In explosionsgefährdeten Bereichen im Sinne der Richtlinie 94/9/EG
- d. Bremsmotoren

Motoren, die für "Verkehrsmittel zur Personen- und Güterbeförderung" und militärische Zwecke vorgesehen sind.

Somit sind im Umkehrschluss folgende Motoren nicht betroffen:

- 8-polige Motoren
- · Polumschaltbare Motoren
- Synchronmotoren
- · Motoren für Schaltbetrieb S2 ... S9
- Umrichtermotoren gemäß IEC TS 60034-30-2
- 1-Phasen-Motoren

Zeitplan zur Umsetzung

Die einzelnen Anforderungen sind wie folgt in Kraft getreten:

- Ab dem 16. Juni 2011 mussten neu in Verkehr gebrachte Motoren mindestens der Wirkungsgradklasse IE2 entsprechen.
- Seit dem 1. Januar 2015 müssen neu in Verkehr gebrachte Motoren mit einer Nennausgangsleistung von 7,5 bis 375 kW entweder mindestens die Wirkungsgradklasse IE3 erreichen oder der Wirkungsgradklasse IE2 entsprechen, dürfen dann aber nur mit einer elektronischen Drehzahlregelung betrieben werden.*
- Seit dem 1. Januar 2017 müssen neu in Verkehr gebrachte Motoren mit einer Nennausgangsleistung von 0,75 bis 7,5 kW entweder mindestens die Wirkungsgradklasse IE3 erreichen oder der Wirkungsgradklasse IE2 entsprechen, dürfen dann aber nur mit einer elektronischen Drehzahlregelung betrieben werden.*

Die Motorenhersteller informieren mit Hinweisen über die Inbetriebnahme-Bedingung.

Abb. 15 Beispiel für einen Hinweis



Ausblick auf neue gesetzliche Vorgaben in Europa

Im Juli 2014 wurde die Ökodesign-Studie zum Lot 30 veröffentlich. In dieser Vorbereitungsstudie wurden die Energieeinsparpotenziale der Antriebstechnik untersucht und Vorschläge für zukünftige gesetzliche Regelungen erstellt. Die Vorschläge aus dem Jahr 2014 finden sich nach wie vor im Umlauf, besitzen aber keine Verbindlichkeit!

Nach einer Zeit des politischen Stillstands im Bereich Ökodesign wurden mit der Veröffentlichung des Ecodesign Working Plans im November 2016 die Arbeiten wieder aufgenommen.

Aufgrund des hohen Einsparpotenzials ist die Antriebstechnik wieder im Fokus der Betrachtung und die Kommission prüft aktuell (Herbst 2017) noch einmal alle 2014 angedachten Maßnahmen und die Wirkung der bisherigen Motoren-Verordnung 640/2009.

Generell müssen auf dem Weg zu einer Verordnung gewisse formale Schritte und Abstimmungen innerhalb der Kommission und der Mitgliedstaaten eingehalten werden, sodass aus heutiger Sicht mit der Veröffentlichung einer neuen Verordnung für die Antriebstechnik erst in der zweiten Hälfte 2018 zu rechnen ist. In diesem Dokument werden verschiedene gesetzliche Maßnahmen für Motoren und Drive Controller vorgeschrieben sein, die aber erst mit verbindlich definierten Übergangsfristen wirksam werden. Wie lange diese Fristen sein werden, ist aus heutiger Sicht nicht vorhersehbar. Der ZVEI und der europäische Verband der Antriebstechnik, CEMEP, fordern im Minimum zwei Jahre, je nach Art der Maßnahme auch länger, um ausreichend Zeit zu haben, die Produkte anpassen und den Markt auf die Änderungen vorbereiten zu können.

^{*} Die elektronische Drehzahlregelung erfolgt mit einem Drive Controller, der die Drehzahl des Motors und damit die abgegebene Leistung an den unterschiedlichen Bedarf anpasst. Welches die energieeffizienteste Lösung ist, hängt von der Anwendung ab und sollte im Einzelfall vom Betreiber oder Planer der Anlage ermittelt werden. Bei Volllastanwendungen sollte ein IE3-Motor gewählt werden, bei variabler Last kann die Drehzahlregelung mit einem Drive Controller große Einsparungen bringen.

6 Weltweite Vorschriften

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Regelungen für den Einsatz von Energiesparmotoren in verschiedenen Industrieländern. Die Wirkungsgradklassen richten sich hauptsächlich nach der international gültigen Norm IEC 60034-30-1. Länderspezifische Anforderungen und Bezeichnungen können von dieser Norm abweichen.

Tab. 2: Weltweite Vorschriften für Energiesparmotoren

Land	IE	kW	Polzahl	Ab	Bis	Wesentliche Ausnahmen
Argentinien	1	1~: 0,12–7,5	2,4,6,8	21.12.2017		 Verbaute Motoren Alle Nicht-S1-Motoren Umrichtermotoren (IEC 60034-25)
	1	3~: 0,75–30	2,4,6,8			 Verbaute Motoren Umrichtermotoren (IEC 60034-25)
Australien	2	0,75–185	2,4,6,8	01.04.2007		S2-MotorenUmrichtermotorenGetriebemotoren
Brasilien	2	0,75–110	8	08.12.2009	August 2019	Alle Nicht-S1-Motoren
	2	0,75–150	6			Umrichtermotoren Ex-Motoren
	2	0,75–185	2,4			
China	2	0,75–375	2,4,6	01.10.2016	September 2018	 Alle Nicht-S1-Motoren Umrichtermotoren Unbelüftete Motoren Sondermotoren für spezielle Maschinenanforderungen
Chile	1	0,75–375	2,4,6	01.01.2011		Alle Nicht-S1-MotorenUmrichtermotorenBremsmotoren
EU	3	0,75–375	2,4,6	01.01.2017		 Alle nicht für Dauerbetrieb bemessenen Motoren Umrichtermotoren IE2-Motoren "Use with VSD only" Ex-Motoren Bremsmotoren Motoren, die verschärften Umwelteinflüssen ausgesetzt sind
Indien	1	0,12-0,37	8	01.10.2013		Umrichtermotoren
	2	0,37–375	2,4,6	01.01.2018		
Japan	3	0,75–375	2,4,6	01.04.2015		Alle Nicht-S1-MotorenUmrichtermotorenEx-Motoren

Land	IE	kW	Polzahl	Ab	Bis	Wesentliche Ausnahmen
Kanada	3	0,75–185	8	28.06.2017		Alle Nicht-S1-Motoren
	3	0,75–260	6			Umrichtermotoren
	3	0,75–375	2,4			
Kolumbien	1	0,18-373	2,4,6,8	31.08.2017	30.08.2018	
	2	0,18-373	2,4,6,8	31.08.2018		
	3	7,5–373	2,4,6,8	31.08.2020		
Mexiko	3	0,75–375	2,4,6,8	19.12.2010		• Alle Nicht-S1-Motoren
Neuseeland	2	0,75–185	2,4,6,8	01.06.2007		S2-MotorenUmrichtermotorenGetriebemotoren
Saudi-Arabien	2	0,75–375	2,4,6	01.07.2015	31.12.2016	
	3	0,75–375	2,4,6	01.01.2017		
Schweiz	3	0,75–375	2,4,6	01.01.2017		• Analog EU
Südkorea	2	0,75–30	2,4,6,8	01.10.2016	31.09.2018	• S2-Motoren
	3	37–375	2,4,6,8	01.10.2016		Umrichtermotoren Unbelüftete Motoren
	3	0,75–375	2,4,6,8	01.10.2018		
Türkei	3	0,75–375	2,4,6	01.01.2017		• Analog EU
USA	3	0,75–185	8	01.06.2016		Alle Nicht-S1-Motoren Umrichtermotoren
	3	0,75–260	6	01.06.2016		
	3	0,75–375	2,4	01.06.2016		

Quelle: ZVEI

7 Best-Practice-Anwendungen mit Einsparpotenzial

In der Automatisierungstechnik spielt der Einsatz von Energiesparmotoren, von Drive Controllern für die Drehzahlregelung und einer wirtschaftlichen Motor-Getriebe-Kombination eine wichtige Rolle bei der Energieeinsparung. Unterschiedliche Anwendungsbeispiele zeigen, wie sich mit einer optimierten Antriebslösung der Verbrauch und damit auch die Energiekosten teilweise drastisch reduzieren lassen.

Die Mehrkosten für energiesparende Techniken amortisieren sich vielfach in weniger als zwei Jahren. Bei den folgenden Anwendungsbeispielen wurde ein Strompreis von 15 ct/kWh zugrunde gelegt. Neben Motoren mit hoher Wirkungsgradklasse und energieoptimalem Getriebe bieten Drive Controller zur elektronischen Drehzahlregelung besonders große Einsparmöglichkeiten.

Beispiel 1 Pumpenantrieb: Drehzahlregelung statt mechanischer Drosselung

Pumpensysteme bieten ein erhebliches Einsparpotenzial, nicht zuletzt, weil sie meist im Teillastbereich betrieben werden (Abb. 16).

Die tatsächlich notwendige Fördermenge liegt infolge der Überdimensionierung des Systems in der Regel unterhalb des Nenn-Betriebspunkts und wird in vielen Fällen durch mechanische Regelsysteme geregelt, wie beispielsweise Ventile oder Drosselklappen. Ein Beispiel: Bei einer Kühlmittel-Pumpstation mit fünf Kreiselpumpen und fünf Motoren mit je 55 kW in einer Produktion der Automobilindustrie wurden alle Rohrblenden entfernt und die Drosselventile geöffnet. Zur Regelung der Fördermenge wurde stattdessen die Drehzahlregelung mit Drive Controllern eingesetzt. Das Ergebnis war eine beachtliche Energieeinsparung von 60 Prozent; die Energiekosten wurden um 160.000 Euro pro Jahr gesenkt.

Abb. 16: Großes Einsparpotenzial bei Pumpensystemen



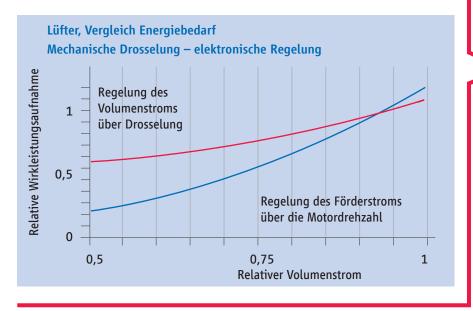
Quelle: ABB

Beispiel 2 Lüfterantrieb: Drehzahlregelung statt mechanischer Drosselung

Das Einsatzgebiet von Lüftern reicht von kleinen Ventilatoren für die Raumbelüftung über die Gebäudeklimatisierung bis zu Frischluftund Abgasgebläsen in Zementwerken. In diesem Anwendungsbeispiel wird ein Lüfter mit 7,5 kW Nennleistung in der Absauganlage eines Holz verarbeitenden Betriebs eingesetzt. Der Förderstrom wird nicht mechanisch gedrosselt, sondern über einen drehzahlgeregelten Drehstrommotor an die tatsächlich benötigte Menge angepasst. Dadurch lassen sich bei 4.000 Betriebsstunden 1.260 Euro Stromkosten pro Jahr einsparen. Die Investitionskosten für den Drive Controller und Schaltschrank amortisieren sich somit in rund 15 Monaten (Abb. 17).

Abb. 17: Rasche Amortisation eines Lüfterantriebs

Betriebszeit	4.000 Stunden
Mittlerer Förderstrom	70 % vom Nennwert
Aufnahmeleistung Drosselung	5,7 kW
Aufnahmeleistung Drehzahlregelung	3,6 kW
Eingesparte Energie	8.400 kWh/Jahr



Energieeinsparung: 8.400 kWh

Einsparung Stromkosten: 1.260 €/Jahr

Amortisationszeit: **15 Monate**

Quelle: ZVEI

Beispiel 3 Drive Controller: Intelligente Funktionen helfen, Energie zu sparen

Moderne Drive Controller beinhalten intelligente Energiesparfunktionen. Der Anwender kann mit ihnen eine Feinabstimmung des Prozesses vornehmen, um die Energie optimal zu nutzen. Ein Beispiel ist der Energieoptimierer-Modus, der den Wirkungsgrad des Systems aus Drive Controller und Motor vor allem im Teillastbereich um bis zu 20 Prozent erhöht. Integrierte Energieeffizienzrechner unterstützen die Anwender bei der Analyse und Optimierung der Prozesse.

Spezielle Drive Controller für Wasser- und Abwasserapplikationen bieten des Weiteren intelligente Pumpenregelungsfunktionen für Einzelpumpen und Mehrpumpensysteme zur Steigerung der Energieeffizienz. Bei einer Druckerhöhungsstation mit zwei 75-kW-Pumpen und einer 37-kW-Pumpe kamen die Mehrpumpen-Regelung, die Pumpenprioritätsumschaltung und eine Durchflussberechnung zum Einsatz. Bei geringem Wasserverbrauch im Leitungsnetz während der Nacht schaltet sich die kleine Pumpe zu, während tagsüber die beiden großen Pumpen arbeiten. Die Pumpen können somit näher an ihrem optimalen Betriebspunkt gefahren werden. Durch den Einsatz der Drive Controller mit intelligenten Pumpenfunktionen konnte der Energiebedarf um 30 Prozent gesenkt werden.

Beispiel 4 Multidrive-Konzept: Strom sparen durch Energieausgleich

Bei vielen Anwendungen werden Antriebe eines Systems motorisch und andere gleichzeitig generatorisch betrieben. Hier ist ein Mehrantriebssystem (Multidrive) mit DC-Sammelschiene anstelle mehrerer Einzelantriebe sinnvoll. Im Gegensatz zum Einzelantrieb werden beim Multidrive-Konzept mehrere Wechselrichter unterschiedlicher Leistung von einer gemeinsamen Einspeiseeinheit über einen DC-Zwischenkreis versorgt. Über den DC-Zwischenkreis kann ein effizienter und direkter Energieausgleich von allen Wechselrichtern erfolgen, ohne dass Energie in einem Bremswiderstand in Wärme umgesetzt werden muss oder eine Netzrückspeiseeinheit erforderlich ist. Ein Beispiel hierfür sind Bandanlagen oder Papiermaschinen, in denen sich der Abwickler dauernd im generatorischen und der Aufwickler im motorischen Betrieb befinden (Abb. 18).

Bei Maschinen, die zyklisch abgebremst werden, wie es beispielsweise bei Zentrifugen und Kranen der Fall ist, bietet sich eine Ein-/Rückspeiseeinheit an. Sie speist die Bremsenergie in das Versorgungsnetz zurück und steigert somit die Effizienz der Maschine.



Abb. 18: Multidrive-Konzept bei einer Papiermaschine

Quelle: ZVEI



ZVEI - Zentralverband Elektrotechnikund Elektronikindustrie e.V. Lyoner Straße 9 60528 Frankfurt am Main

Telefon: +49 69 6302-0 Fax: +49 69 6302-317 E-Mail: zvei@zvei.org www.zvei.org