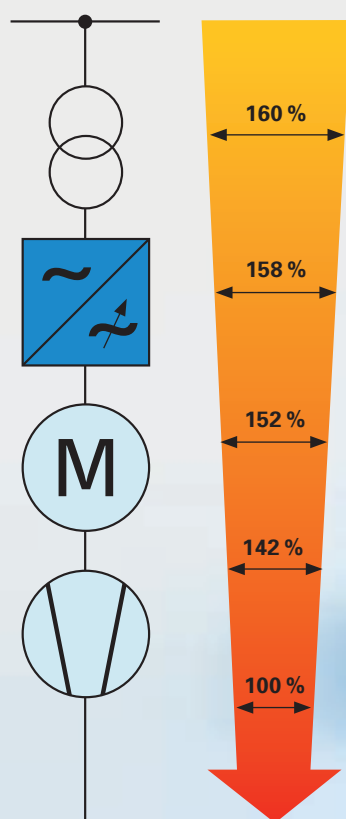


ErP-Richtlinie erfolgreich umsetzen

Durch Drehzahlregelung Verluste reduzieren



White Paper

Dipl.-Ing. Heribert Joachim
3. Auflage 2016

EATON

Powering Business Worldwide

Energieeffizienz in der industriellen Automation – Einsparpotentiale in der elektrischen Antriebstechnik richtig nutzen

Einleitung

Das Thema Energieeffizienz ist heutzutage in aller Munde. In den letzten Jahren haben Politik und Wirtschaft enorme Anstrengungen unternommen, um Energie in der Fertigung einzusparen und den CO₂-Ausstoß im industriellen Sektor zu reduzieren. In vielen Bereichen wurden bereits beachtliche Erfolge erzielt. Aber es ist bei Weitem noch zu früh, um sich auf den Lorbeeren auszuruhen. Insbesondere in der elektrischen Antriebstechnik steckt noch enormes Energiesparpotential. Dieses lässt sich vor allem durch den intelligenten Einsatz von Automatisierungstechnik in Verbindung mit Motorstartern oder Frequenzumrichtern effektiv ausschöpfen. Entscheidend dabei ist, die richtige Lösung für die jeweilige Anwendung zu wählen.

Auf die Industrie entfallen in Deutschland etwa 30% des gesamten Endenergieverbrauchs (siehe Abb. 1). Zwei Drittel davon werden für Prozesswärme benötigt. Mechanische Energie sorgt für ein Viertel des Verbrauchs, während Raumwärme nur einen kleinen Anteil am Verbrauch hat¹. 54% des Endenergiebedarfs in der Industrie entfallen auf das produzierende Gewerbe². Nach Berechnungen des ZVEI, Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e. V., könnten allein in den Anlagen der deutschen Prozess- und Fertigungsindustrien 10 bis 25% Energieeinsparungen durch effizientere Automatisierungstechnik erzielt werden, was 88 Mrd. Kilowattstunden an Energie-Äquivalenten entspricht. Bis zu 7 Mrd. Euro an Energiekosten ließen sich so jährlich einsparen.³

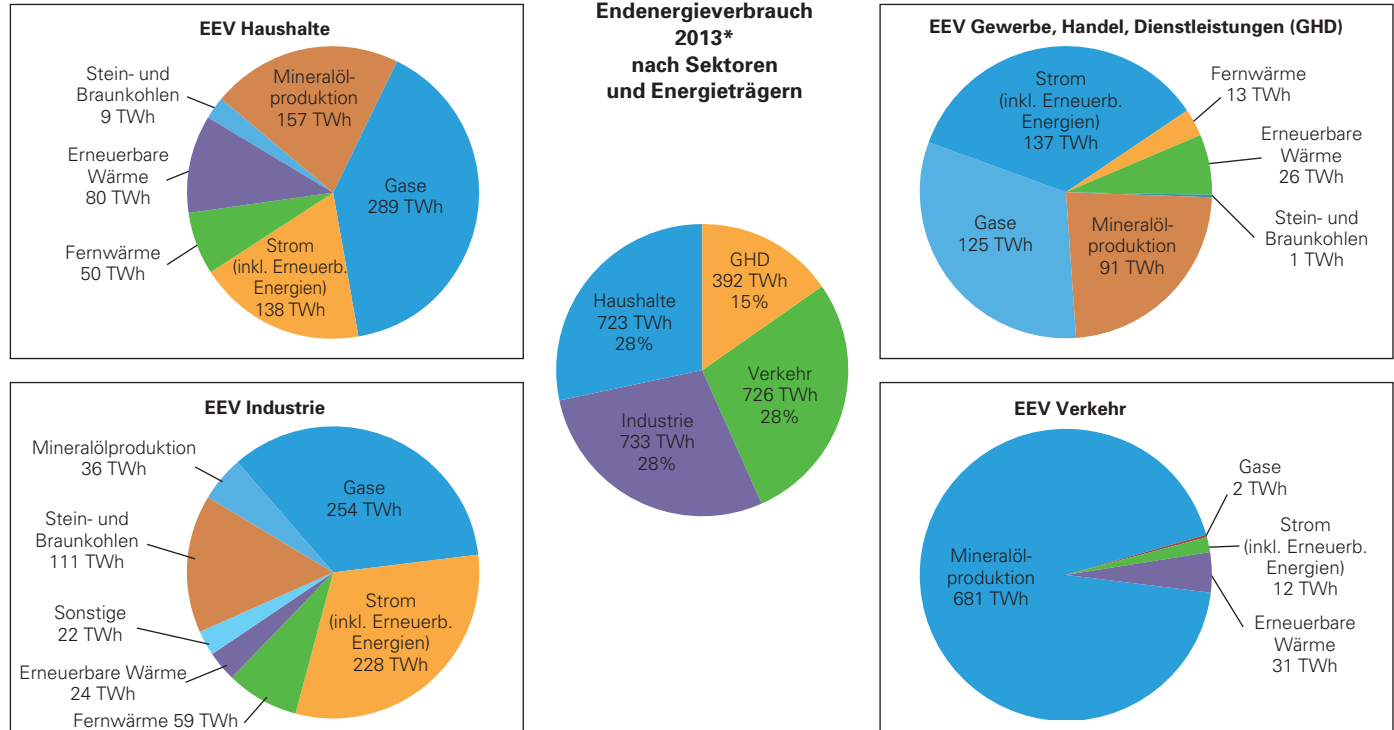


Abb.1 Energieverbrauch in Deutschland 2013 nach Sektoren und Energieträgern, Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Umweltbundesamt

- 1 Umweltbundesamt, Endenergieverbrauch nach Energieträgern und Sektoren, Stand 09/2014, <http://www.umweltbundesamt.de/daten/energiebereitstellung-verbrauch/energieverbrauch-nach-energetraegern-sektoren>
- 2 VDMA / Roland Berger: Der Beitrag des Maschinen- und Anlagenbaus zur Energieeffizienz, 2009
- 3 ZVEI: Automation, Mit Hightech für Umwelt- und Klimaschutz – Automation: Wir machen's energieeffizient!, 2010

Auch in Sachen Treibhausgase birgt die industrielle Automation enormes Potential. 37% (378 Mio. Tonnen CO₂e, CO₂e = CO₂-Äquivalent) der gesamten Treibhausgasemissionen Deutschlands (1.025 Mio. Tonnen CO₂e) stammen aus dem industriellen Sektor. In den nächsten 20 Jahren ist ein deutlicher Anstieg dieses Wertes zu erwarten. Das kann jedoch verhindert werden. Durch den verstärkten Einsatz intelligenter Umwelttechnologien, insbesondere Automatisierungslösungen, ließe sich diese Entwicklung verlangsamen und zum Teil sogar umkehren⁴. In der Industrie sind Treibhausgas-Einsparungen von 43 Mio. CO₂-Äquivalenten möglich (ca. 11 % der Gesamtemissionen im industriellen Sektor). Das entspricht den jährlichen CO₂-Emissionen von ca. sieben großen Steinkohlekraftwerken (je 2.000 MW)⁵.

Innerhalb der industriellen Fertigung machen mit etwa zwei Drittel der verbrauchten elektrischen Energie elektrische Antriebe den Löwenanteil aus⁶. Daher kommt der Effizienzsteigerung durch die Wahl der richtigen Antriebstechnik besondere Bedeutung zu. Allein in Deutschland könnten durch effizientere Antriebstechnologien, darunter auch intelligente Automatisierungslösungen, nach Einschätzung des Umweltbundesamtes bis zum Jahr 2020 circa 27 Mrd. Kilowattstunden Strom weniger verbraucht und damit rund 16 Mio. Tonnen CO₂-Emissionen vermieden werden⁷. Noch deutlicher wird das Einsparpotential in der elektrischen Antriebstechnik, wenn man sich vor Augen führt, dass die Energiekosten den bei Weitem größten Teil der Gesamtlebenszykluskosten eines Elektromotors ausmachen (siehe Abb.2).

Aufgrund dieser Erkenntnisse hat die Europäische Union einige Initiativen gestartet, um die umweltgerechte Gestaltung von Produkten zu fördern. Kernstück dieser Maßnahmen ist die ErP-Richtlinie 2009/125/EC für „Energy related Products“⁸, die die EUP-Richtlinie 2005/32/EC⁹ ersetzt und erweitert hat. Sie schafft einen Rahmen für die Festlegung gemeinschaftlicher Ökodesign-Anforderungen für energieverbrauchsrelevante Produkte und legt Kriterien fest, die betroffene Produkte erfüllen müssen, damit sie in Europa in Betrieb genommen werden dürfen. Die Anforderungen an die einzelnen Produktgruppen werden in eigenen Ausführungsrichtlinien festgelegt, z.B. in der Verordnung EC 640/2009 für elektrische Motoren¹⁰.

Doch das wirft einige Fragen auf: Wie sehen die neuen Anforderungen an Elektromotoren konkret aus und welche Motoren sind davon betroffen? Wie können Unternehmen die Einsparpotentiale in der elektrischen Antriebstechnik am effektivsten nutzen? Welche Automatisierungslösung eignet sich am besten für welche Anwendung? Welche Umsetzungsstrategien gibt es? Wie sieht es mit den Investitionskosten für die technische Modernisierung aus? Auf diese Fragen möchte dieser Fachaufsatz Antworten geben und Maschinen- und Anlagenbauern, Schaltschrankkonstrukteuren und Anlagenbetreibern eine Orientierungshilfe bieten, wie sie mithilfe von geeigneten Automatisierungslösungen die Energieeffizienz und Umweltverträglichkeit ihrer Fertigungsprozesse im Bereich der elektrischen Antriebstechnik weiter verbessern können.

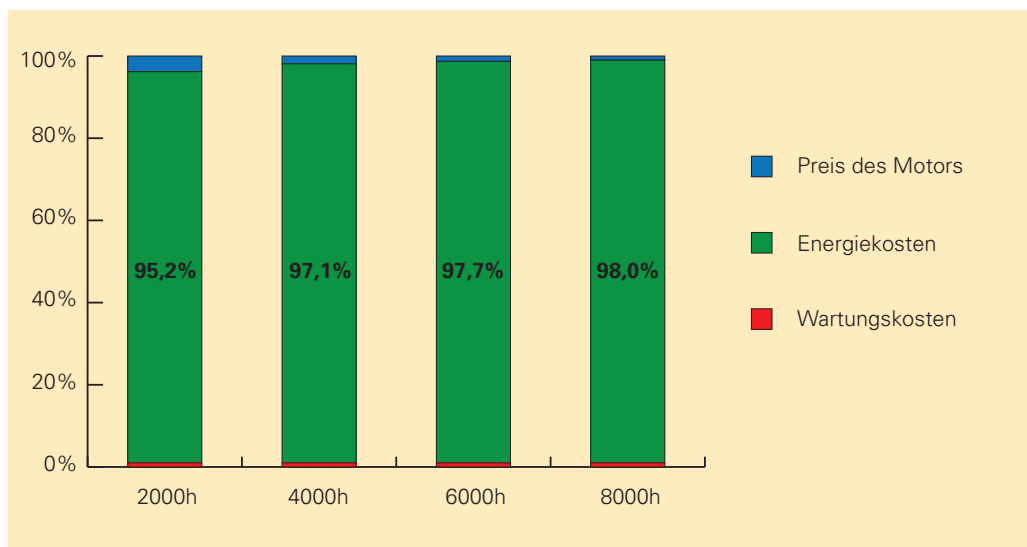


Abb.2: Lebenszykluskosten (ohne Installations- und Entsorgungskosten) eines 11kW-Motors mit einer Lebensdauer von 15 Jahren (oder alternativ ZVEI Motoren und geregelte Antriebe, Seite 14), Quelle: diam-consult*

* Aus Almeida, A.T. Ferreira, Fong, J., Fonseca, P., EUP Lot 11 Motors; ISR-University of Coimbra, Februar 2008

4 ZVEI in Anlehnung an McKinsey & Company, Inc. „Kosten und Potentiale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland“, Sektorsperspektive Industrie, 2007
 5 ZVEI, Fachbereich Messtechnik und Prozessautomatisierung, in: ZVEI: Automation, Mit Hightech für Umwelt- und Klimaschutz – Automation: Wir machen's energieeffizient!, 2010
 6 ZVEI, Motoren und geregelte Antriebe – Normen und gesetzliche Anforderungen an die Energieeffizienz von Niederspannungsdrehstrommotoren, 2013
 7 Umweltbundesamt, Presseinformation Nr. 53/2009, Energieeffizienz bei Elektromotoren, 2009 http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/2009/pd09-053_energieeffizienz_bei_elektromotoren.htm

8 Richtlinie 2009/125/EG zur Schaffung eines Rahmens zur Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Elektromotoren
 9 Richtlinie 2005/32/EG zur Schaffung eines Rahmens zur Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Elektromotoren
 10 Verordnung (EG) Nr. 640/2009 der Kommission 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

Rechtliche Rahmenbedingungen

EG-Richtlinien sind für alle Mitgliedsstaaten der Europäischen Union rechtlich bindend und werden kurz nach ihrer Veröffentlichung im Amtsblatt der EG gültig. Die ErP-Richtlinie 2009/125/EC schafft einen Rahmen für die Festlegung gemeinschaftlicher Ökodesign-Anforderungen für energieverbrauchsrelevante Produkte. Dazu zählen unter anderem elektrische Motorsysteme und HLK-Anwendungen wie Durchlauferhitzer, Warmwasserbereiter, gewerbliche Kühlschränke und Gefrieranlagen, Klimaanlage, Pumpen und Lüfter sowie Kompressoren.

Die Ausführungsrichtlinie EC 640/2009 legt verpflichtende Minieffizienzklassen für viele Leistungsklassen von dreiphasigen Niederspannungs-Drehstrom-Asynchronmotoren fest (genaue Anwendungsbereiche siehe Abb.3). Diese Motorenart ist in Industrie und Gewerbe weit verbreitet und verursachte im Jahr 2005 fast 90% des Stromverbrauchs der Elektromotoren in den 27 EU-Mitgliedstaaten¹¹. In diesem Zuge wurden die bisherigen selbstverpflichtenden EFF-Klassen des European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics (CEMEP) durch die International Efficiency(IE)-Klassen gemäß IEC 60034-30 für Induktionsmaschinen ersetzt. Diese lauten: IE1 (Standard Effizienz), IE2 (Hohe Effizienz) und IE3 (Premium Effizienz). Der Wirkungsgrad wird nun nach neuen Verfahren (nach IEC 60034-2-1:2007) berechnet und stellt sich wie folgt dar:

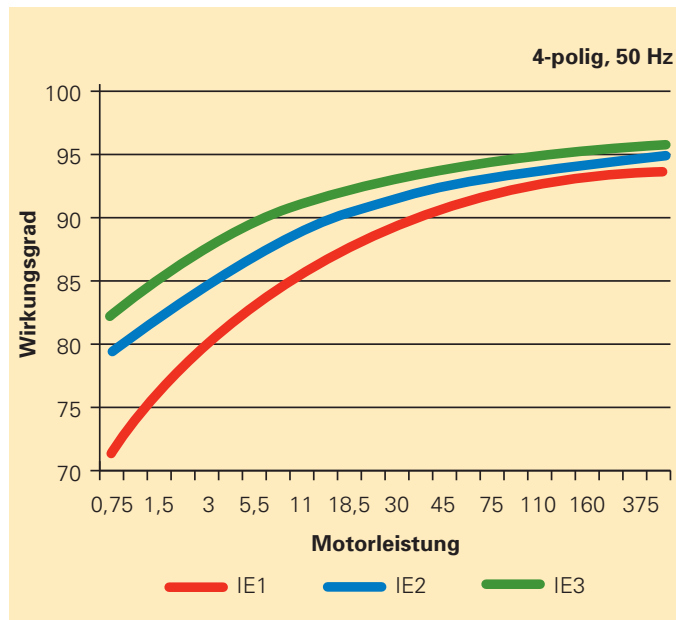


Abb.4: Weltweit gültige Wirkungsgradkurven (IE-Code) von Standard-Asynchronmotoren, Quelle: ZVEI

Welcher Motor fällt in welchen Geltungsbereich		Norm IEC 60034-30:2008 Kennzeichnung der Klassen: IE1, IE2, IE3	EuP-Richtlinie/Verordnung 640/2009 Gesetzliche Mindestanforderung
1	Standard-Drehstrom-Asynchronmotor 0,75–375 kW 2, 4, 6-polig, Dauerbetrieb S1 <i>(Anmerkung: Gilt auch, wenn der Motor in eine Maschine eingebaut ist)</i>	Ja Anmerkung: zusätzliche Betriebsart S3 (Einschaltdauer ≥ 80 %)	Ja
2	Standard-Drehstrom-Asynchronmotor mit Hilfseinrichtungen (Wellendichtringe, Rücklaufsperrern, Drehgeber etc.) 0,75–375 kW 2, 4, 6-polig, Dauerbetrieb S1 <i>(Anmerkung: Messung des Wirkungsgrades ohne Hilfseinrichtungen)</i>	Ja Anmerkung: zusätzliche Betriebsart S3 (Einschaltdauer ≥ 80 %)	Ja
3	Getriebemotor	Ja	Ja
4	Explosionsschutzter Motor	Ja	Nein
5	Bremsmotor: Ein Motor mit einer elektromechanischen Bremseinrichtung, die ohne Kupplungen direkt auf die Antriebswelle eingreift.	Ja	Nein
6	Motoren, die vollständig in eine Maschine integriert sind (z.B. Pumpen, Lüfter, Getriebe und Kompressoren) und deren Wirkungsgrad nicht unabhängig von dieser Maschine gemessen werden kann	Nein	Nein
7	Andere Motorenarten (z.B. Permanentmagnetmotoren, polumschaltbare Motoren, Motoren für Schaltbetrieb wie z.B. Servomotoren)	Nein	Nein

Abb. 3: Gegenüberstellung der Geltungsbereiche der IEC/EU-Motorenverordnung, Quelle: ZVEI

¹¹ Umweltbundesamt, Presseinformation Nr. 53/2009, Energieeffizienz bei Elektromotoren, 2009

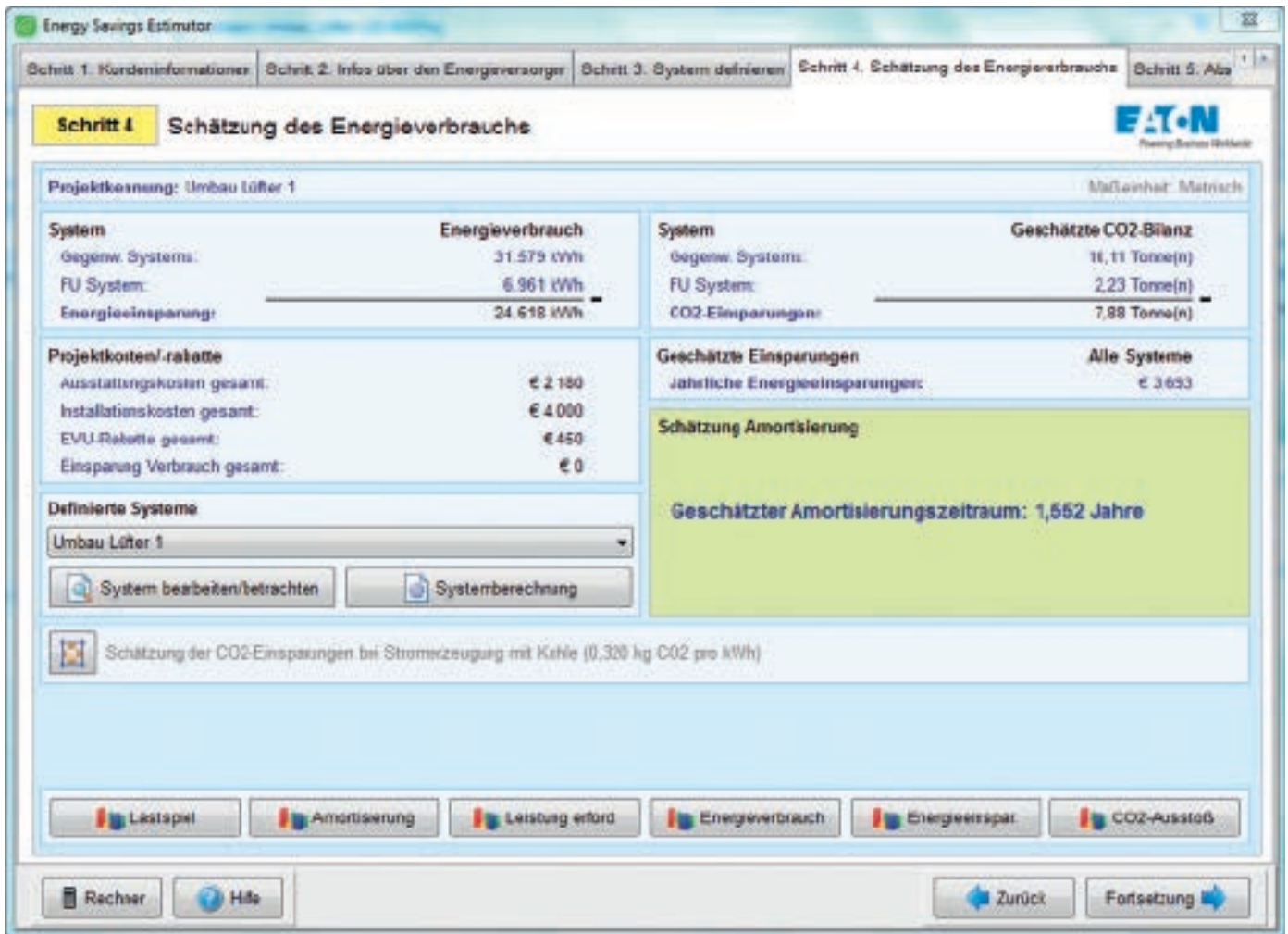


Abb.5: Energy Saving Estimator-Software zur Bestimmung des Einsparpotentials bei elektronischen Systemen, Quelle: Eaton

Die Neuordnung sieht vor, dass der Geltungsbereich der Motoren-Verordnung in den nächsten Jahren stufenweise mit dem Ziel ausgeweitet wird, noch mehr Energie in der industriellen Antriebstechnik einzusparen. Die rechtlichen Rahmenbedingungen für Standard-Asynchronmotoren sehen wie folgt aus:

Ausführungsrichtlinie EC 640/2009, Artikel 3 (Auszug)

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

Mit diesen neuen rechtlichen Rahmenbedingungen dürfte das ohnehin bereits gewachsene Bewusstsein für das Thema Energieeffizienz in der Industrie noch weiter zunehmen. Ohne die Automatisierungstechnik lassen sich die immer höher gesteckten Effizianzorderungen und Klimaziele in der Industrie nicht erreichen. Der Markt spiegelt die wachsende Bedeutung der

Automatisierungstechnik wider: Nach ZVEI-Schätzungen wird der Weltmarkt für Messtechnik und Prozessautomation von 113 Mrd. Euro (2007) auf 213 Mrd. Euro (2020) steigen, was einem jährlichen Wachstum von etwa 5% entspräche. Wesentliche Treiber dieser Entwicklung (mindestens 25% des Marktvolumens von Messtechnik und Prozessautomation) sind grüne Produkte und Systeme bzw. stehen im Zusammenhang mit Energieeffizienz- und Klimaschutzaktivitäten. Dieser Anteil wird bis 2020 voraussichtlich auf 35 bis 40% steigen¹².

Energiesparen ja, aber wie?

Es gibt vor allem drei verschiedene Ansatzpunkte, um den Energieverbrauch eines Systems zu senken, die jeweils unterschiedliches Einsparpotential bieten (in Prozent in Klammern): durch eine Verbesserung des Motorwirkungsgrads nach den neuen IE-Klassen (1,4-3%), durch eine Drehzahlsteuerung per Frequenzumrichter statt mechanischer Drosselung (8-10%) oder durch eine übergreifende Systemoptimierung (15-20%)¹³.

¹² ZVEI, Konjunktur und Statistik, 2009, in: ZVEI: Automation, Mit Hightech für Umwelt- und Klimaschutz – Automation: Wir machen's energieeffizient!, 2010

¹³ Univ.-Prof. Dr. Ing. habil. Dr. h.c. Andreas Binder, Vortrag „Kosten und Energie sparen durch effiziente elektrische Antriebe, IHK Nürnberg, 20.01.2009

Diese Zahlen belegen, dass es, um die Effizienz einer Anlage effektiv zu verbessern, nicht ausreicht, lediglich einzelne Komponenten durch effizientere Produkte zu ersetzen, sondern dass das System als Ganzes betrachtet werden muss. Nur im perfekten Zusammenspiel aller Einzelkomponenten und wenn die richtige Automatisierungslösung für die jeweilige Anwendung ausgewählt wurde, lassen sich optimale Ergebnisse erzielen. Diese veränderte Betrachtungsweise, weg von einem Komponenten- hin zu einem Systemansatz, ist das Konzept der Zukunft. Das zeigt auch die Tatsache, dass eine CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization)-Arbeitsgruppe bereits an einer neuen Norm arbeitet, mit deren Hilfe die energieeffizienteste Lösung für eine gesamte Applikation (Anwendung, Motor, Schaltgeräte, Frequenzumrichter) bestimmt werden kann, einschließlich der erforderlichen Testmethoden (CENELEC-Norm "Energy efficiency and Eco-design requirements for Power electronics, Switchgear, Controlgear, and Power drive systems and their industrial applications").

Der integrierte Ansatz bedeutet auch, dass eine umfassende Energieverbrauchsanalyse des gesamten Systems inklusive aller Komponenten notwendig ist, um Effizienzlücken aufzufindig zu machen und die passenden Tools zu deren Schließung zu finden. Da dies ein mitunter sehr komplexer Vorgang sein kann, stellen viele Hersteller von Automatisierungskomponenten praktische Softwarelösungen zur Verfügung, die dem Anwender helfen, die detaillierten Energieverbrauchsdaten seiner Maschine oder Anlage zu bestimmen (siehe Abb.5). Mit einem

solchen Programm ist es möglich, im Voraus potentielle Ersparnisse zu errechnen. Damit sind Anwender auf der sicheren Seite und können sogar schon berechnen, in welchem Zeitraum sich die Kosten für die neue Ausrüstung unter Einbezug der Energieeinsparung amortisiert haben werden. Daher sollten Maschinen- und Anlagenbauer nicht direkt vor höheren Kaufpreisen für fortschrittliche Technologie zurückschrecken, sondern vielmehr das Preis-/Leistungsverhältnis über die gesamte Lebensdauer des anzuschaffenden Geräts betrachten (Life cycle costs). Denn in den meisten Fällen haben sich Investitionen in Automatisierungskomponenten, die die Effizienz einer Anlage erhöhen, in kürzester Zeit amortisiert.

Zwei Wege, ein Ziel

Es gibt vor allem zwei effektive Methoden, um das Energieeinsparpotential in der elektrischen Antriebstechnik optimal auszunutzen: Entweder durch Motorstarter, mit denen die Motoren nach dem Start mit fester Drehzahl betrieben werden oder durch Drehzahlstarter und Frequenzumrichter, die eine variable Drehzahl ermöglichen. In beiden Fällen bringen die Komponenten aber nur dann die gewünschten Ergebnisse, wenn sie richtig eingesetzt werden. Darum sollen hier nun die Unterschiede, Anwendungsbereiche und Einsatzmöglichkeiten der vier wichtigsten und in der Praxis bekanntesten Anlaufmethoden zum Starten und Steuern der Drehstrom-Asynchronmotoren beleuchtet werden.

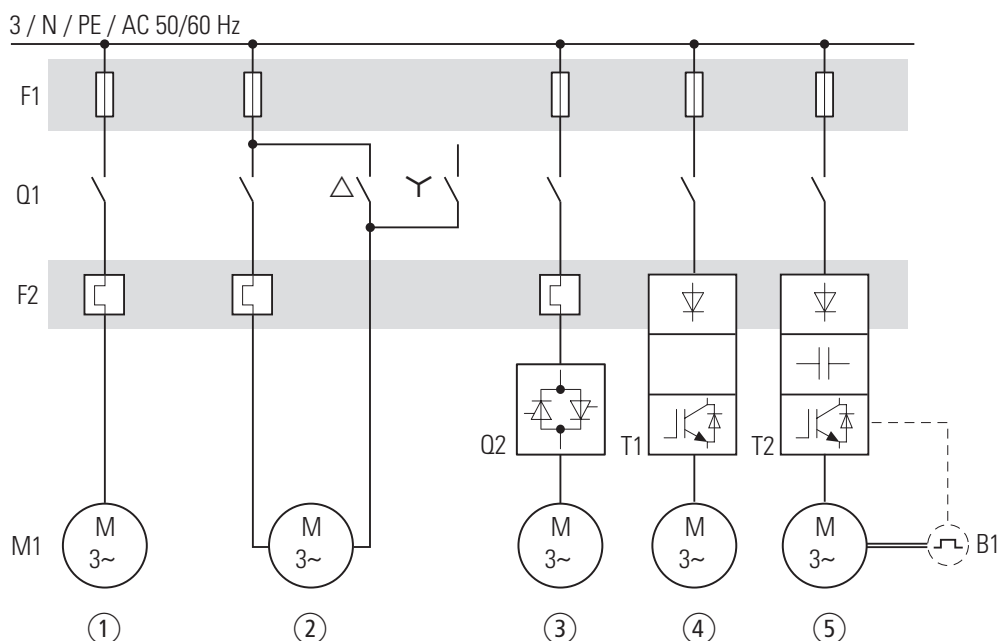


Abb. 6: Motorstartvarianten

F1 = Absicherung (Kurzschluss- und Leitungsschutz)

Q1 = Schalter (Leistungsschutz, Motorschutz)

F2 = Motorschutz (Schutz vor thermischer Überlast, Motorschutzrelais)

M1 = Drehstrom-Asynchronmotor

① Direkter Motorstart.

② Stern-Dreieck-Starter, die bekannteste und am meisten angewandte Startvariante.

③ Softstarter (Q2), der kontinuierliche und stufenlose Motorstart. Eine moderne, elektronische Alternative zum Stern-Dreieck-Starter.

④ Drehzahlstarter (T1), geführter, stufenloser Motorstart mit Nennmoment. Drehzahlstarter ermöglichen zudem eine stufenlose Drehzahlsteuerung und haben einen elektronischen Motorschutz (I²t) integriert.

⑤ Frequenzumrichter (T2), geführter, stufenloser Motorstart mit Nennmoment. Frequenzumrichter ermöglichen zudem eine stufenlose Drehzahlsteuerung und haben einen elektronischen Motorschutz (I²t) integriert. Je nach Ausprägung ermöglichen sie auch die genaue Drehzahlregelung (Option, Impulsgeber B1) beim sonst schlupfabhängigen Asynchronmotor.

A) Motorstarter: Charakteristisch für den Drehstrommotor ist die hohe Strombelastung im speisenden Netz beim direkten Einschalten. Durch das Anlegen der vollen Spannung entstehen hohe Anlauf- und Stoßströme, mit störenden Spannungseinbrüchen im Netz und starken Stoßmomenten in der Mechanik. Dies gilt insbesondere bei dem Einsatz von Elektromotoren der Effizienzklasse IE3, die sich unter anderem durch höhere Anlaufströme charakterisieren. Daher ist der Einsatz von hochwertigen Schalt- und Schutzkomponenten mit angepasstem Auslöseverhalten und auf den IE3 Motor abgestimmter Schaltleistung besonders wichtig. Ergänzend kommen häufig Automatisierungslösungen zur Eliminierung dieser unangenehmen Nebenerscheinungen und zur Senkung des Energieverbrauchs zum Einsatz.¹⁴ (Abb.6: Funktionsschemata der verschiedenen Motorstartervarianten, Quelle: Eaton)

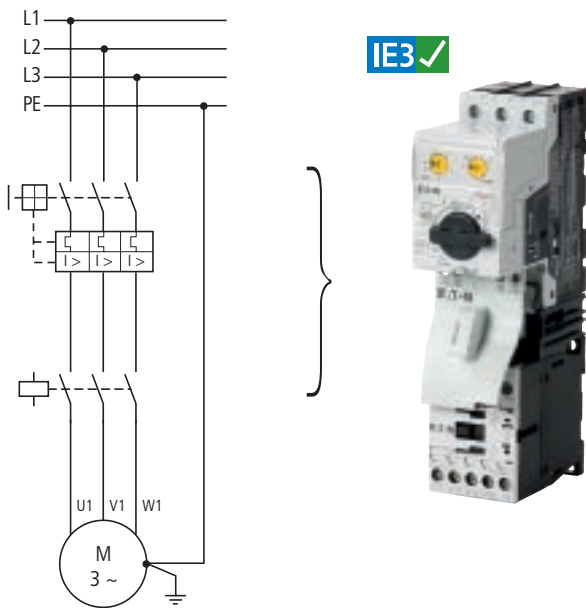


Abb. 7: Motorabgang, Direktstarter, Rechtslauf, Beispiel MSC

I. **Direktstarter:** Der direkte Motorstart ist die einfachste und kostengünstigste Art für das Anlassen von Drehstrom-Asynchronmotoren. Die Statorwicklungen werden dabei in einem einzigen Schaltvorgang direkt mit dem elektrischen Netz verbunden. Der Direktstart ist am besten für Antriebe an starken Netzen geeignet, die hohe Anlaufströme (-Moment) zulassen. (Abb.7: Direktstarter, Quelle: Eaton)

II. **Stern-Dreieck-Starter:** Beim Stern-Dreieck-Anlauf erfolgt das Anlassen des Drehstrom-Asynchronmotors durch Umschaltung der Wicklungen. Die Brücken im Klemmkasten des Motors entfallen und alle sechs Wicklungsanschlüsse werden mit der sogenannten Stern-Dreieck-Schaltung (manuell betätigter Schalter oder automatische Schützschiene) an Netzspannung gelegt. In der Sternschaltung reduzieren sich die Netzspannung (U_{LN}) und der Strom an der einzelnen Motorwicklung um den Faktor $1/\sqrt{3}$ ($\sim 0,58$), was zu einer Absenkung des Anzugsdrehmoments auf etwa ein Drittel der Werte bei der Dreieckschaltung reduziert. Wegen des reduzierten Anzugsmoments eignet sich die Stern-Dreieck-Schaltung für Antriebe mit kleinem oder erst mit der Drehzahl

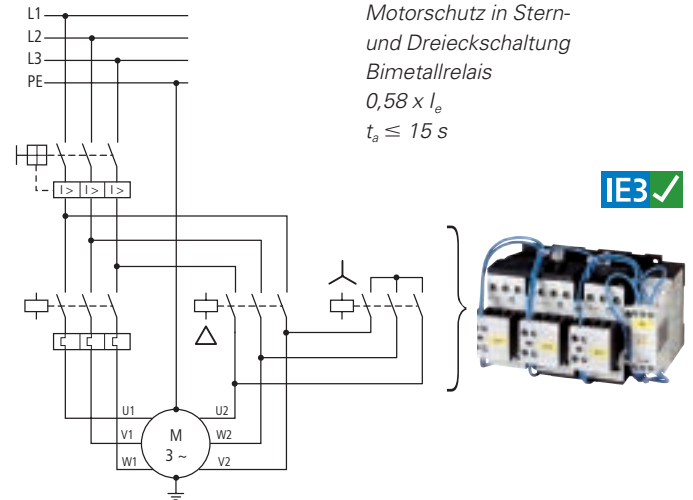


Abb. 8: Motorabgang, Stern-Dreieck-Starter, Rechtslauf, Beispiel SDAINL

steigendem Lastmoment (ML) wie bei Pumpen und Lüftern (Ventilatoren). Sie wird auch dort eingesetzt, wo der Antrieb erst nach dem Hochlauf belastet wird, beispielsweise bei Pressen und Zentrifugen. (Abb.8: Stern-Dreieck-Starter, Quelle: Eaton)

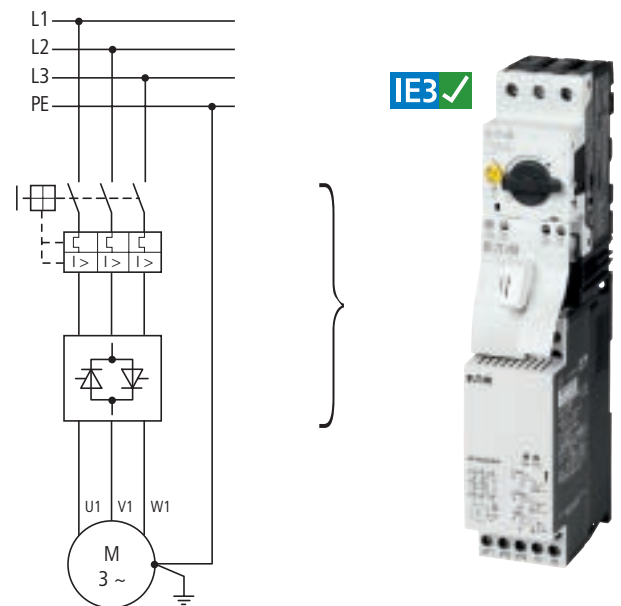


Abb. 9: Motorabgang, Softstarter DS7, In-Linie-Schaltung, kombiniert mit PKZM0

III. **Softstarter:** In vielen Fällen sind der direkte Anlauf und der stufige Stern-Dreieck-Anlauf des Drehstrom-Asynchronmotors jedoch nicht die beste Lösung, da hohe Stromspitzen das elektrische Netz beeinflussen und Momentstöße die mechanischen Teile von Maschine oder Anlage stark beanspruchen. Abhilfe schafft hier der Softstarter, (Abb. 9, Softstarter, Quelle: Eaton). Er ermöglicht einen kontinuierlichen und stoßfreien Drehmomentanstieg und bietet die Möglichkeit einer gezielten Anlaufstromreduzierung. Hierfür wird die Motorspannung innerhalb einer einstellbaren Anlaufzeit von einer gewählten Startspannung auf die Motornennspannung erhöht. Durch Spannungsverringern lässt sich mit dem Gerät auch der Auslauf des Antriebes steuern. Softstarter sind besonders geeignet für Antriebe, die einen sanften Drehmomentverlauf oder eine Stromreduzierung verlangen. Gerade bei belasteten Anläufen

14 Jörg Randermann, Starten und steuern von Drehstromasynchronmotoren, 2010

(Last kann nicht nach dem Hochlaufen zugeschaltet werden) ist er der Stern-Dreieck-Schaltung vorzuziehen. Aus wirtschaftlichen Gründen und unter Berücksichtigung des Energiesparpotentials ist er besonders bei Antrieben mit größerer Leistung die optimale Lösung. Ob Anwender Druckstöße in Pumpenanlagen vermeiden, Anlaufströme bei großen Schwungmassen reduzieren oder das ruckfreie Anfahren in ihrer Förderanlage gewährleisten wollen, Softstarter bieten für viele Anwendungen eine sanfte Alternative für den ruckfreien und netzschonenden Motorstart (siehe Abb. 10).

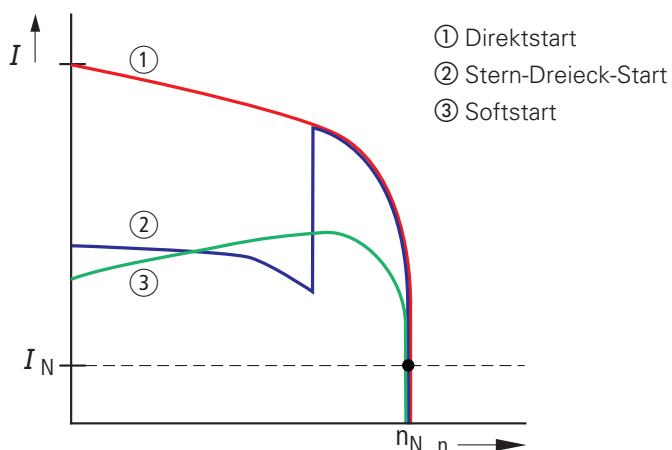


Abb. 10: Softstarter vermindern durch eine einstellbare Strombegrenzung die Belastung der Netze durch hohe Einschaltströme wie beim Direktstart oder Stromspitzen wie im Falle von Stern-Dreieck-Starts und verhindern so unangenehme Nebenerscheinungen wie Spannungseinbrüche. Quelle: Eaton (Homepage)

Welche der drei Motorstarter-Varianten für die eigene Anwendung am geeignetsten ist, lässt sich nur nach einer eingehenden Analyse der Systemparameter (z.B. Projektspezifikationen, Lastprofil, physische Dimensionen), funktionellen Anforderungen (Stromzufuhr, Netzkapazität, Investitionskosten) und Betriebsbedingungen (Produktivität der Anlage, Prozessqualität, Betriebskosten) eindeutig feststellen.¹⁵ Vor allem für Anwendungen mit fester Drehzahl stellen Motorstarter nicht nur die günstigere, sondern auch die effizientere Lösung im Vergleich zum Frequenzumrichter dar, und zwar unabhängig von der IE-Klasse des Motors (IE2/IE3). Es ist daher immer notwendig, alle systemrelevanten Faktoren zu berücksichtigen, um die beste Automationslösung auszuwählen. Von der teilweise beschworenen „endgültigen Verbannung“ der Schütze bzw. Motorstarter aus der industriellen Automation kann jedenfalls keine Rede sein. Denn eine Kombination aus IE3-Motor und Schütz ist deutlich preiswerter als ein IE2-Gerät plus Frequenzumrichter. Außerdem wird die Mehrzahl der geregelten Antriebe weiterhin mit einem Netzschütz ausgerüstet.

Zusammenfassung: Unter den verschiedenen Typen von Motorstartern sind Softstarter besonders geeignet, um die Spitzenlast bei elektrischen Antrieben mit fester Drehzahl

oder geringer Schalthäufigkeit zu reduzieren. Typische Beispielanwendungen sind Pumpen in Wasserspeichern, Rührwerke in Wasseraufbereitungsanlagen und Förderanlagen mit konstanter Last.

B) Drehzahlstarter und Frequenzumrichter: Effizienzsteigerung einer Anlage stellt sich immer als eine Kombination aus der Verbesserung der Energieeffizienz der einzelnen Komponenten und einer produktübergreifenden Betrachtung des Gesamtsystems dar.¹⁶

Drehzahlstarter sind eine neue Kategorie von Geräten zur Steuerung von Asynchronmotoren, die funktional zwischen den Motorstartern und den heute üblichen Frequenzumrichtern anzusiedeln sind und die die Vorteile der beiden bestehenden Kategorien (einfache Handhabung wie ein Motorstarter, variable Drehzahl wie beim Frequenzumrichter) miteinander verbinden. Sie werden für einfache Anwendungen benutzt, in denen eine variable Drehzahl gefordert ist, der Funktionsumfang üblicher Frequenzumrichter nicht erforderlich oder sogar zu komplex ist.

Über viele Jahrzehnte bildeten mechanische Verfahren für die Regelung des Durchflusses von Flüssigkeiten und Gasen die einzige Möglichkeit, um die Fördermenge an den Bedarf des jeweiligen Prozesses anzupassen. Dabei läuft der Motor praktisch durchgehend mit der Bemessungsdrehzahl („Nenn Drehzahl“), die für die maximale Fördermenge benötigt wird. Die zur mechanischen Regelung eingesetzten Ventile und Drosseln bilden dabei Quellen von Umwandlungsverlusten, meist in Form von Wärme. Heute kann die Drehzahl des Antriebs direkt geregelt werden, sodass sich die Durchflussmenge einer Flüssigkeit oder eines Gases an den aktuellen Bedarf anpassen lässt.¹⁷ Trotz ihres eigenen Wärmeverlustes verbessern Drehzahlstarter und Frequenzumrichter so meist den durchschnittlichen Wirkungsgrad von Antriebssystemen über den ganzen Betriebsbereich.

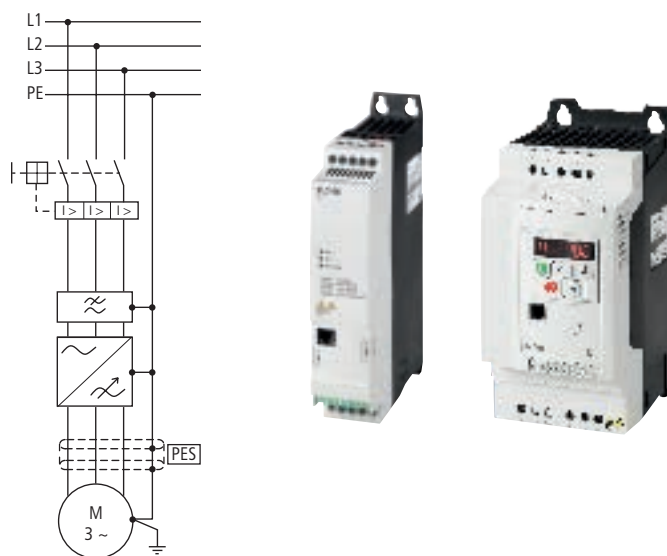


Abb. 11: Motorabgang, Drehzahlstarter und Frequenzumrichter

¹⁵ Capiel (European low voltage Switchgear and Controlgear manufacturers association) Journal, What about control gear? Electric motor system efficiency, 2011, http://capiel.eu/data/Journal_CAPIEL_MOTEUR-2_EN.pdf

¹⁶ Capiel (European low voltage Switchgear and Controlgear manufacturers association) Journal, What about control gear? Electric motor system efficiency, 2011

¹⁷ Alfred Mörx, Vortrag „Steigerung der Energieeffizienz in der Antriebstechnik im Lichte von europäischen Richtlinien und Verordnungen“, Eaton Wien, 2013

Es werden hohe Stromspitzen im elektrischen Netz und stoßartige Belastungen in den mechanischen Teilen von Maschine und Anlage verhindert. Neben dem kontinuierlichen Anlauf ermöglichen Drehzahlstarter und der Frequenzumrichter auch eine stufenlose Drehzahl- (Frequenz-)Steuerung des Drehstrom-Asynchronmotors. Während beim direkt am Versorgungsnetz angeschlossenen Motor die idealen Betriebsverhältnisse nur im stationären Arbeitspunkt (= Leistungsschildangaben) bestehen, können sie frequenzgeregelt im gesamten Stellbereich genutzt werden. Das konstante Verhältnis von Spannung zu Frequenz (U/f) gewährleistet dabei unabhängige Arbeitspunkte mit Nennmoment (M_N). Durch die Anpassung von Drehzahl bzw. Geschwindigkeit an den Produktionsprozess und die Kompensation äußerer Störgrößen gewährleistet die frequenzgeregelt Antriebsseinheit eine höhere Lebensdauer und Funktionssicherheit.¹⁸

Das Energieeinsparpotential hängt von folgenden Faktoren ab: Art der anzutreibenden Last, Grad der Optimierung des Wirkungsgrades der Arbeitsmaschine durch Drehzahlstarter und Frequenzumrichter sowie Zeit, in der das Gesamtsystem im Teillastbetrieb arbeitet. Besonders effektiv sind sie bei Anwendungen mit wechselnder Last bzw. variabler Drehzahl.

Grundsätzlich werden die Kennlinien für Motor und Arbeitsmaschine (z.B. Pumpe) als Zusammenspiel aus Drehzahl (n) oder Drehmoment (M) und Leistung (P) angegeben. Für die Energieeinsparung mit Frequenzumrichtern sind besonders jene Maschinen und Anlagen interessant, bei denen der Zusammenhang zwischen Drehzahl (n) und Drehmoment (M) quadratisch ist und damit die Leistung P in deutlich mehr als linearem Zusammenhang steht. Dazu zählen unter anderem Anwendungen wie Kreiselpumpen und Ventilatoren. In der Antriebstechnik bezeichnet man diese als Strömungsmaschinen. Der entscheidende Faktor für die Energieeinsparung ist hier der kubische Zusammenhang zwischen Drehzahl und Leistung (P proportional n^3), der dazu führt, dass beispielsweise eine Pumpe, die mit 50% der

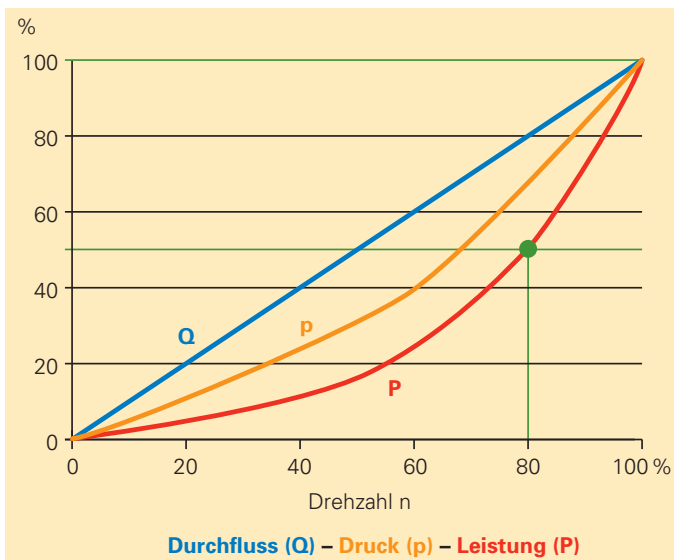


Abb. 12: Zusammenhang (in Prozent) zwischen Durchfluss (Q), Druck (p) und Leistung (P) und Drehzahl (n) bei Strömungsmaschinen (schematisch), Quelle: diam-consult

18 Jörg Randermann, Starten und steuern von Drehstromasynchronmotoren, 2010

maximalen Drehzahl läuft, nur 1/8 der bei voller Drehzahl benötigten Leistung erfordert. Das bedeutet: Bereits eine kleine Verringerung der Drehzahl führt zu großen Einsparungen. So ergibt eine Drehzahlverringerung um 20% bereits eine Ersparnis von 50% (siehe Abb.12), da die Leistungsaufnahme des Motors genau an den tatsächlichen Bedarf des Prozesses angepasst wird.¹⁹

Auf den ersten Blick erscheinen Drehzahlstarter und der Frequenzumrichter als teuerste Variante zur Drehzahlregelung von Asynchronmotoren. Höhere Anschaffungskosten im Vergleich zu Motorstartern und zusätzlich erforderliche Installationsmaßnahmen sind Ursachen hierfür. Doch spätestens im Betrieb bietet der sanfte Motorstart neben Energieeffizienz und Prozessoptimierung auch wirtschaftliche Vorteile²⁰. Dies gilt besonders für Pumpen und Ventilatoren, wie folgendes Beispiel zeigt:

In einem Pumpensystem wird eine variable Fördermenge benötigt. Das Verändern der Fördermenge kann erreicht werden durch: (a) die Verwendung eines Motors mit konstanter Drehzahl und einem Drosselventil zur Einstellung der Fördermenge oder (b) durch Verwendung eines geregelten Antriebs, der die Pumpendrehzahl den Erfordernissen anpasst. Der typische Zyklus eines Pumpensystems sieht folgendermaßen aus: 100% Fördermenge in 6% der Zeit, 75% Fördermenge in 15% der Zeit, 50% Fördermenge in 35% der Zeit, 25% Fördermenge in 44% der Zeit. Bei der Steuerung der Pumpe durch eine Drossel ergeben sich dadurch hohe Verluste, was in einem schlechten Wirkungsgrad des Gesamtsystems resultiert. Durch lastorientierte Drehzahlregelung lassen sich diese Verluste deutlich reduzieren, was zu hohen Energieeinsparungen und damit zu einer signifikanten Reduktion der Betriebskosten führt (siehe Abb.13).

Die Nutzleistung der Pumpe in diesem Beispiel beträgt immer 100%. Im Falle der Drosselung muss das 2,85fache der Nutzleistung an Energie eingespeist werden, mit elektronischer Drehzahlregelung ist es nur das 1,6fache.

Zusammenfassung: Die Effizienzsteigerung mithilfe von Drehzahlstartern und Frequenzumrichtern eignet sich besonders für Anwendungen mit variabler Drehzahl bzw. Last. Hier können durch eine lastorientierte Drehzahlregelung erhebliche Einsparungen erzielt werden. Beispielanwendungen hierfür sind geschlossene Pumpen- und Lüftersysteme ohne Drossel, Förderanlagen mit variabler Last, Stellgeräte in Werkzeugmaschinen.²¹

19 Alfred Mörx, Vortrag „Steigerung der Energieeffizienz in der Antriebstechnik im Lichte von europäischen Richtlinien und Verordnungen“, Eaton Wien, 2013

20 Jörg Randermann, Starten und steuern von Drehstromasynchronmotoren, 2010

21 Die hier verwendete Unterscheidung in Anwendungen mit konstanter und variabler Drehzahl/Last ist vereinfachend und dient lediglich der Veranschaulichung des Themas Energieeffizienz. Natürlich werden in komplexeren Anlagen wie HLK-Anwendungen in großen Gebäuden, in der Fördertechnik oder der Wasserversorgung auch Kombinationen aus zahlreichen unterschiedlichen Steuerungs- und Regelgeräten eingesetzt. Diese komplexen Kombisysteme spielen aber für die vorliegende Betrachtung eine untergeordnete Rolle und werden daher nicht näher ausgeführt.

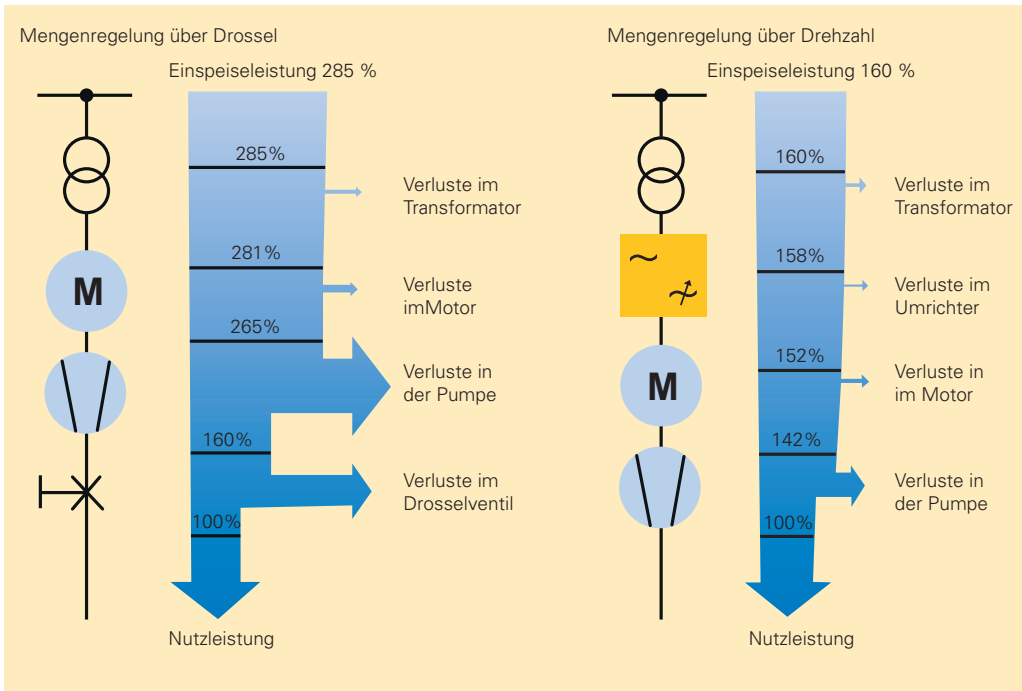


Abb. 13: Vergleich Regelung eines Pumpensystems durch mechanische Drosselung und durch elektrische Drehzahlregelung, Quelle: ZVEI



Abb. 14: Die neue PowerXL Familie von Eaton

Fazit

Spätestens seit der Verabschiedung der ErP-Richtlinie 2009/125/EC der Europäischen Union sind Unternehmen in der Industrie noch stärker darauf angewiesen, den Energieverbrauch und damit auch die CO₂-Emissionen – insbesondere in der elektrischen Antriebstechnik – weiter zu senken. Hierzu können Automatisierungslösungen wie Motorstarter und Frequenzumrichter einen ganz entscheidenden Beitrag leisten, insofern sie richtig eingesetzt werden. Folgende drei Kernaspekte sollten Anwender beachten, wenn sie die Einsparpotentiale in der elektronischen Antriebstechnik effektiv nutzen möchten:

1. **Die Wahl der richtigen Antriebstechnik entscheidet über den Erfolg.** Grob unterschieden gibt es vor allem zwei unterschiedliche Applikationstypen im Bereich der elektrischen Antriebstechnik mit jeweils eigenen Automatisierungslösungen:

- Motorstarter stellen die energieeffizienteste Lösung für Anwendungen mit fester Drehzahl oder geringen Schaltfrequenzen dar.
- Elektrische Steuerung der Motordrehzahl mithilfe eines Drehzahlstarters oder Frequenzumrichters ist die bessere Wahl bei Applikationen mit variabler Drehzahl bzw. sich stark verändernder Last.

2. **Vom Komponenten- zum Systemansatz:** Energieeffizienz sollte immer im Zusammenspiel aller Komponenten gesehen und nicht nur an einem einzelnen Gerät festgemacht werden. Der Einsatz energieeffizienterer Einzelkomponenten ist zwar in jedem Fall sinnvoll. Um allerdings die Effizienz des Gesamtsystems zu maximieren, ist dies meist nicht ausreichend. Daher ist zunächst eine umfassende Energieverbrauchsanalyse des gesamten Systems nötig, um die beste Lösung – Frequenzumrichter oder Motorstarter – zur Steigerung der Energieeffizienz für die eigene Applikation zu finden. Erst dann lässt sich mit Sicherheit feststellen, durch welche Automatisierungslösung die Effizienz des Gesamtsystems am meisten gesteigert wird und wie groß das Einsparpotential ist.

3. **Vom kurzfristigen zum langfristigen Denken:** Es lohnt sich, in energieeffiziente Technologien wie IE3-Motoren zu investieren. Auch wenn die Modernisierung einer Anlage zunächst kostenintensiv erscheint, rentiert sich der Einsatz von Antriebskomponenten wie Frequenzumrichtern, Drehzahlstartern und Softstartern durch die realisierten Einsparungen oft sehr schnell. Denn, wenn man die Gesamtkosten über die ganze Lebenszeit eines Geräts betrachtet, amortisieren sich die Investitionen meist nach relativ kurzer Zeit. Eine Investition in die IE3-Technologie in Kombination mit Umrichtern oder Motorstartern lohnt sich, auch wenn sie momentan noch nicht Vorschrift ist, auch deshalb, da sie die Kompatibilität für zukünftige Modifikationen am System verbessert.

Autor: Heribert Joachim, Senior Project Manager Drives bei Eaton in Bonn

Literaturverzeichnis

- Alfred Mörx, Vortrag „Steigerung der Energieeffizienz in der Antriebstechnik im Lichte von europäischen Richtlinien und Verordnungen“, Eaton Wien, 2013
- Almeida, A.T. Ferreira, Fong, J., Fonseca, P., EUP Lot 11 Motors; ISR-University of Coimbra, Februar 2008
- Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen AGEB: Auswertungstabellen zur Energiebilanz von 1990 bis 2011
- Capiel (European low voltage Switchgear and Controlgear manufacturers association) Journal, What about control gear? Electric motor system efficiency, 2011, http://capiel.eu/data/Journal_CAPIEL_MOTEUR-2_EN.pdf
- Jörg Randermann, Starten und steuern von Drehstromasynchronmotoren, 2010
- Richtlinie 2005/32/EG zur Schaffung eines Rahmens zur Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Elektromotoren
- Richtlinie 2009/125/EG zur Schaffung eines Rahmens zur Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Elektromotoren
- Umweltbundesamt, Endenergieverbrauch nach Energieträgern und Sektoren, Stand 09/2014, <http://www.umweltbundesamt.de/daten/energiebereitstellung-verbrauch/energieverbrauch-nach-energietraegern-sektoren>
- Umweltbundesamt, Presseinformation Nr. 53/2009, Energieeffizienz bei Elektromotoren, 2009 http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/2009/pd09-053_energieeffizienz_bei_elektromotoren.htm
- Univ.-Prof. Dr. Ing. habil. Dr. h.c. Andreas Binder, Vortrag „Kosten und Energie sparen durch effiziente elektrische Antriebe, IHK Nürnberg, 20.01.2009
- VDMA / Roland Berger: Der Beitrag des Maschinen- und Anlagenbaus zur Energieeffizienz, 2009
- Verordnung (EG) Nr. 640/2009 der Kommission 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
- ZVEI in Anlehnung an McKinsey & Company, Inc. „Kosten und Potentiale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland“, Sektorperspektive Industrie, 2007
- ZVEI, Fachbereich Messtechnik und Prozessautomatisierung, in: ZVEI: Automation, Mit Hightech für Umwelt- und Klimaschutz – Automation: Wir machen's energieeffizient!, 2010
- ZVEI, Konjunktur und Statistik, 2009, in: ZVEI: Automation, Mit Hightech für Umwelt- und Klimaschutz – Automation: Wir machen's energieeffizient!, 2010
- ZVEI, Motoren und geregelte Antriebe – Normen und gesetzliche Anforderungen an die Energieeffizienz von Niederspannungsdrehstrommotoren, 2013
- ZVEI: Automation, Mit Hightech für Umwelt- und Klimaschutz – Automation: Wir machen's energieeffizient!, 2010

Wir bei Eaton sind angetrieben von Lösungen zur Energieversorgung einer Welt, die immer anspruchsvoller wird. Mit über 100 Jahren Kompetenz im Bereich des Energiemanagements sind wir bereit für die Zukunft. Kernbranchen rund um den Globus vertrauen auf Eaton und auf unsere wegweisenden Produkte, Komplettlösungen und Ingenieursleistungen.

Wir stärken Unternehmen mit zuverlässigen, effizienten und sicheren Energiemanagement-Lösungen. Kombiniert mit unserem persönlichen Service, Support und unserem anspruchsvollen Denken, erfüllen wir bereits heute die Anforderungen von morgen. Mit Energie in die Zukunft. Besuchen Sie **eaton.eu**.

Eaton Electric GmbH
Kunden-Service-Center
Postfach 1880
53105 Bonn

Auftragsbearbeitung

Kaufmännische Abwicklung
Direktbezug
Tel. 0228 602-3702
Fax 0228 602-69402
E-Mail: Bestellungen-Bonn@eaton.com

Kaufmännische Abwicklung
Elektrogroßhandel
Tel. 0228 602-3701
Fax 0228 602-69401
E-Mail: Bestellungen-Handel-Bonn@eaton.com

Technik

Technische Auskünfte / Produktberatung
Tel. 0228 602-3704
Fax 0228 602-69404
E-Mail: Technik-Bonn@eaton.com

Anfragen / Angebotserstellung
Tel. 0228 602-3703
Fax 0228 602-69403
E-Mail: Anfragen-Bonn@eaton.com

Qualitätssicherung / Reklamationen
Tel. 0228 602-3705
Fax 0228 602-69405
E-Mail: Qualitaetssicherung-Bonn@eaton.com

Zentrale

Tel. 0228 602-5600
Fax 0228 602-5601

Schweiz
Internet: www.eaton.ch

Lausanne

Eaton Industries II Sàrl
Avenue des Baumettes 13
1020 Renens
Tel. +41 58 458 14 68
Fax +41 58 458 14 69
E-Mail: lausanneswitzerland@eaton.com

Zürich

Eaton Industries II GmbH
Im Langhag 14
8307 Effretikon
Tel. +41 58 458 14 14
Fax +41 58 458 14 88
E-Mail: effretikonswitzerland@eaton.com

Österreich
Internet: www.eaton.at

Wien

Eaton GmbH
Scheydgasse 42
1215 Wien, Austria
Tel. +43 (0)50868-0
Fax: +43 (0)50868-3500
Email: InfoAustria@Eaton.com

After Sales Service

Eaton Industries GmbH
Hein-Moeller-Straße 7-11
53115 Bonn
Tel. +49 (0) 228 602-3640
Fax +49 (0) 228 602-1789
Hotline +49 (0) 1805 223822
E-Mail: AfterSalesEGBonn@Eaton.com
www.eaton.eu/aftersales

Eaton Industries GmbH
Hein-Moeller-Str. 7-11
D-53115 Bonn/Germany

© 2016 by Eaton Corporation
Alle Rechte vorbehalten
Printed in Germany 02/16
Bezeichnung: WPO40003DE
ip Februar 2016
Artikelnr.: 173376



Eaton ist ein eingetragenes Warenzeichen der Eaton Corporation.

Alle anderen Warenzeichen sind Eigentum der entsprechenden Eigentümer.

SmartWire-DT® ist ein eingetragenes Warenzeichen der Eaton Corporation.



Powering Business Worldwide