

# Steigerung der Energieeffizienz in der Antriebstechnik im Lichte von europäischen Richtlinien und Verordnungen

Alfred Mörx<sup>1</sup>

## 1 Einleitung

Schon im Jahr 2004 war in Fachkreisen bekannt, dass eine Umstellung auf sparsame Elektro-Antriebe in der Antriebstechnik in Europa bis zu 202 TWh<sup>2</sup> Stromverbrauch einsparen kann, was einer Betriebskosten-Einsparung von 10 Mrd. € im Jahr für die Industrie entspricht. Zum Vergleich: In Österreich wurden im Jahr 2011 insgesamt 66 TWh Strom<sup>3</sup> erzeugt.

Aus einer solchen Einsparung ergeben sich unter anderem zusätzlich folgende weitere Vorteile [1]:

- Eine Betriebskosten-Einsparung durch geringeren Wartungsaufwand und bessere Betriebsergebnisse in Höhe von 5 bis 10 Mrd. € für die europäische Industrie (EU 25).
- Eine Senkung umweltbedingter Kosten in Höhe von 6 Mrd. € jährlich (EU 25, gerechnet mit dem Brennstoffmix der EU 15).
- Eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Höhe von 79 Mio. Tonnen (EU 15) oder näherungsweise ein Viertel der Zielvorgabe von Kyoto. Dies entspricht der Jahresmenge CO<sub>2</sub>, die eine Waldfläche der Größe Finnlands in Sauerstoff umwandelt.
- Eine Minderung des Bedarfs beim Kraftwerksneubau in Höhe von 45 GW für die nächsten 20 Jahre (EU 25).

Aus Studien<sup>4</sup> der Europäischen Union geht weiter hervor, dass der *Energieverbrauch von Elektromotoren während der Betriebsphase* (siehe Tabelle 1-1 bzw. Bild 1-1) der größte Kostenanteil sämtlicher Phasen ihres Lebenszyklus ist. Dieser Energieverbrauch soll Vorhersagen zufolge bis auf 1 252 TWh im Jahr 2020 ansteigen, falls keine spezifischen Maßnahmen zu dessen Begrenzung getroffen werden.

	Betriebsstunden pro Jahr [h]			
	2000	4000	6000	8000
Preis des Motors	3,8 %	1,9 %	1,3 %	1 %
Energiekosten	<b>95,2 %</b>	<b>97,1 %</b>	<b>97,7 %</b>	<b>98,0 %</b>
Wartungskosten	1,0 %	1,0 %	1,0 %	1,0 %

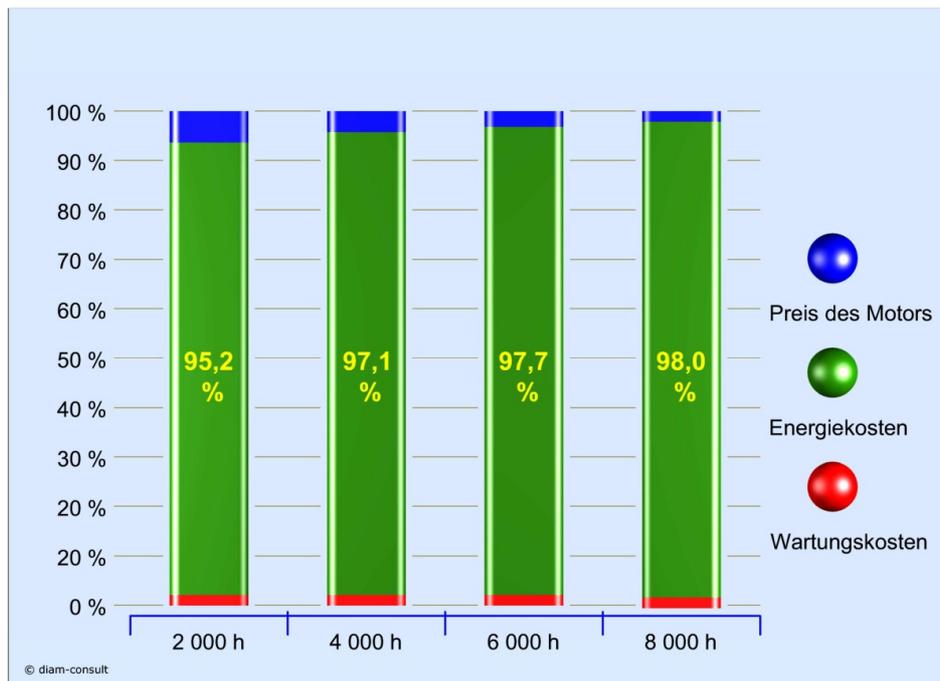
**Tabelle 1-1 Lebenszykluskosten (ohne Installations- und Entsorgungskosten) eines 11 kW Motors mit einer Lebensdauer von 15 Jahren; Quelle: [6]**

<sup>1</sup> Kurzfassung eines Vortrages, gehalten anlässlich von Veranstaltungen der Eaton Industries (Austria) GmbH im Juni 2013. Eur.-Phys. Dipl.-Ing. Alfred Mörx, E-Mail: [am@diamcons.com](mailto:am@diamcons.com); Inhaber und Leiter von diam-consult, eines Ingenieurbüros für Physik mit dem Arbeitsschwerpunkt Risikoanalyse und Schutztechnik in komplexen technischen Systemen.

<sup>2</sup> 1 TWh (Terawattstunde) = 1.000.000.000 kWh

<sup>3</sup> Quelle: Energiestatus Österreich 2013; Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, Stubenring 1, 1011 Wien, April 2012

<sup>4</sup> Siehe dazu auch [5], Erwägungsgründe (7) und (8) und auch die Studie [6]



**Bild 1-1 Lebenszykluskosten (ohne Installations- und Entsorgungskosten); Werte aus Tabelle 1-1.**

Ebenso wurde festgestellt, dass der Energieverbrauch über den gesamten Lebenszyklus und der Energieverbrauch während der Betriebsphase erheblich verbessert werden können, insbesondere wenn die mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Lasten betriebenen Motoren mit Steuerungen (d. h. Frequenzumrichtern) ausgestattet sind.

Im Lichte dieser Erkenntnisse hat die Europäische Union in den Jahren ab 2005 eine Reihe von Maßnahmen gestartet, um die umweltgerechte (dazu zählt auch die energieeffiziente) Gestaltung von Produkten zu fördern.

Eine dieser Produktgruppen, die - energieeffiziente Konstruktion und entsprechenden Betrieb vorausgesetzt - einen wesentlichen Beitrag zu den oben angegebenen Einsparungseffekten leisten können sind die elektrischen Antriebe. Dazu zählen elektrische Motoren wie sie in Pumpen und Ventilatoren verwendet werden ebenso wie in Druckluft- und Kältesystemen. Für Österreich<sup>5</sup> bedeutet dies die Möglichkeit einer Einsparung von rund 4.220 GWh<sup>6</sup> pro Jahr.

## 2 Maßnahmen der Europäischen Union

Der rechtliche Rahmen für die der umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte wurde im Jahr 2005 durch die Veröffentlichung einer (Rahmen-) Richtlinie, oft auch als „Öko-Design-Richtlinie“ bezeichnet, geschaffen<sup>7</sup> [4] (siehe Bild 2-1).

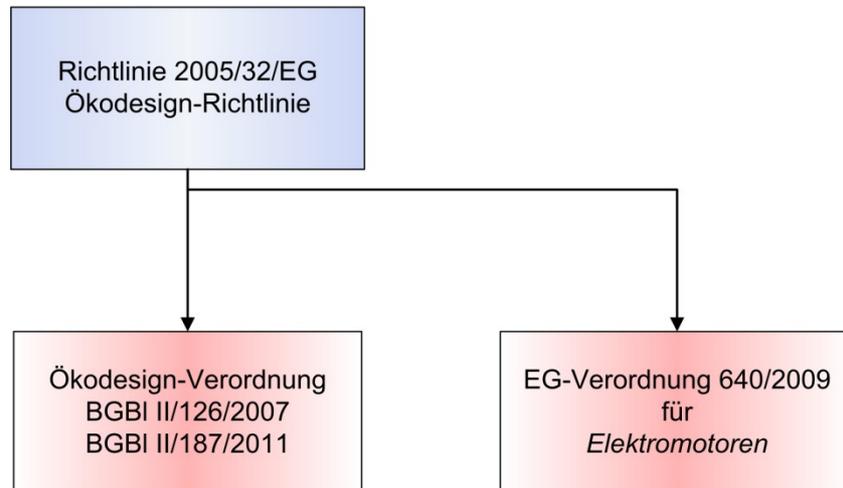
<sup>5</sup> Quelle: Kostensparen mit energieeffizienten Standmotoren; FEEI – Fachverband der Elektro- und Elektronikindustrie, Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, Fachverband Maschinen & Metallwarenindustrie (FMMI), Wien, Juli 2009

<sup>6</sup> 1 GWh (Gigawattstunde) = 1.000.000 kWh

<sup>7</sup> Diese Richtlinie wurde in Österreich mittels der Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte (Ökodesign-Verordnung 2007 – ODV 2007); BGBl. II/126/2007 in österreichisches Recht umgesetzt.

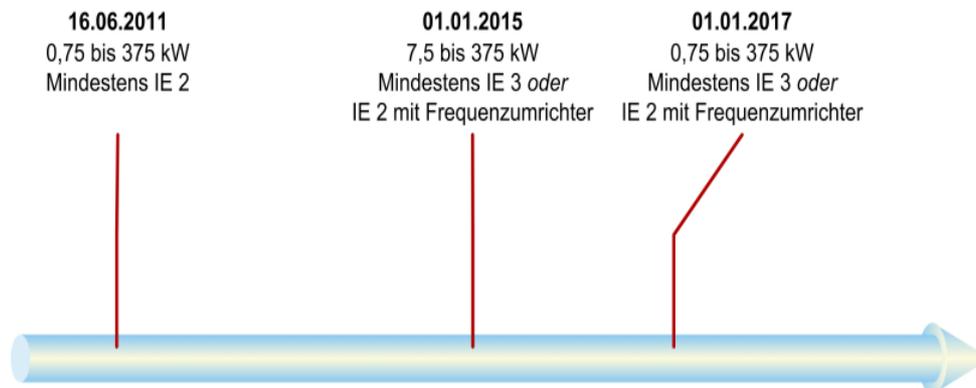


Für das technische Gebiet der Elektromotoren wurde diese Richtlinie im Jahr 2009 durch eine unmittelbar auch in Österreich anzuwendende EG-Verordnung<sup>8</sup> [5] ergänzt, in der unter anderem der „Einführungszeitplan für energieeffiziente Motoren“ der Effizienzniveaus IE2<sup>9</sup> bis IE3 (IE-Code) festgelegt wurden (siehe Bild 2-2).



© diam-consult, 06/2013

**Bild 2-1 Rechtlicher Rahmen für die umweltgerechte Gestaltung von Elektromotoren**



© diam-consult, 06/2013

**Bild 2-2 Einführungszeitplan für energieeffiziente Motoren gemäß EG-Verordnung 640/2009, vom 22.7.2009; Fristen für die Einführung der Mindesteffizienzniveaus**

<sup>8</sup> Eine EG-Verordnung gilt unmittelbar in jedem Mitgliedstaat. Dies bedeutet, dass sie keinerlei Registrierungsmaßnahme („Umsetzung“) in das nationale Recht bedarf und dass sie unabhängig von einer nationalen Durchführungsmaßnahme Rechte und Pflichten überträgt. Die Verordnung gilt ab ihrem Inkrafttreten, d.h. zwanzig Tage nach ihrer Veröffentlichung im Amtsblatt in allen Mitgliedstaaten. Sie entfaltet ihre Rechtswirkungen gleichzeitig, automatisch und in einheitlicher Weise in allen Rechtsordnungen der Mitgliedstaaten.

<sup>9</sup> IE ... International Efficiency. Der IE-Code gemäß IEC 60034-30:2009 ist ein neues internationales, nach oben offenes Wirkungsgradklassen-Bezeichnungssystem für Motoren, geprüft nach IEC 60034-2-1:2007



In diesem Zusammenhang ist für die Auslegung und den Betrieb elektrischer Antriebe interessant, dass diese Verordnung es auch zulässt, an Stelle von Motoren mit Effizienzniveau IE3, Motoren mit einem niedrigerem Effizienzniveau (IE2) gemeinsam mit Drehzahlregelung (Frequenzumrichter) zu betreiben.

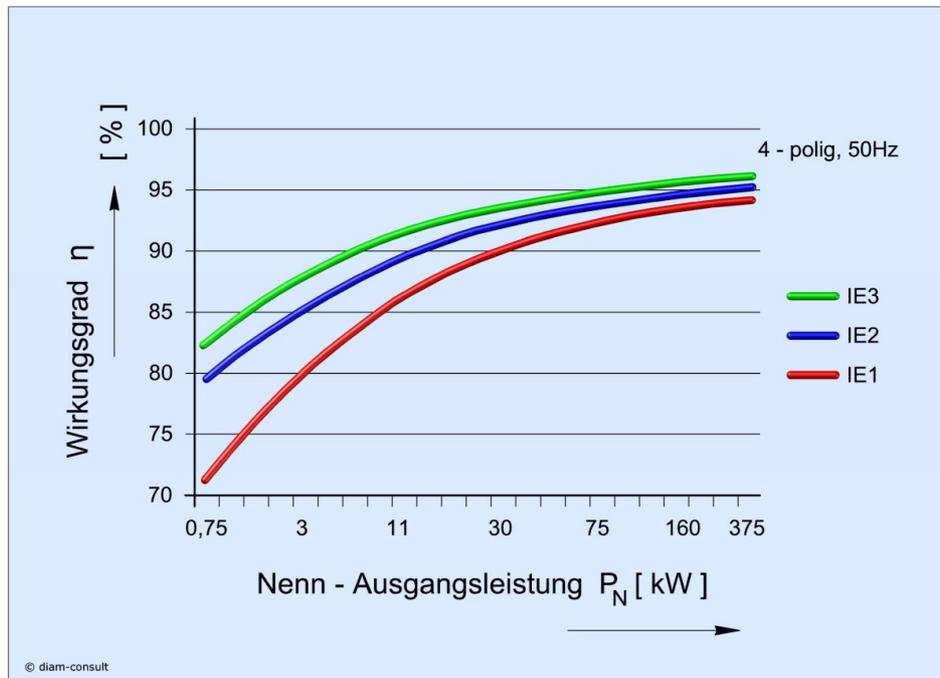


Bild 2-3 Nennleistung/Wirkungsgradverlauf für 4-polige Motoren, 50 Hz und IE-Code

### 3 Antriebssteuerung mit Frequenzumrichtern

#### 3.1 Mechanische Verfahren vs. Frequenzumrichter

Über viele Jahrzehnte bildeten mechanische Verfahren für die Regelung des Durchflusses von Flüssigkeiten und Gasen die einzige Möglichkeit die jeweilige 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 eingesetzte Ventile und Drosseln bilden dabei Quellen von Umwandlungsverlusten; meist in Form von Wärmeverlusten.

Heute kann mittels Frequenzumrichter die Drehzahl des Antriebs direkt geregelt werden, d.h. z. B. wird die Durchflussmenge einer Flüssigkeit oder eines Gases dem aktuellen Bedarf direkt angepasst.

Aus der Sicht der Energieeffizienz (und damit auch aus der Sicht der für den Betreiber anfallenden Kosten) kann ein Beispiel für diesen Effekt so aussehen (siehe Bild 3-1 und Bild 3-2).

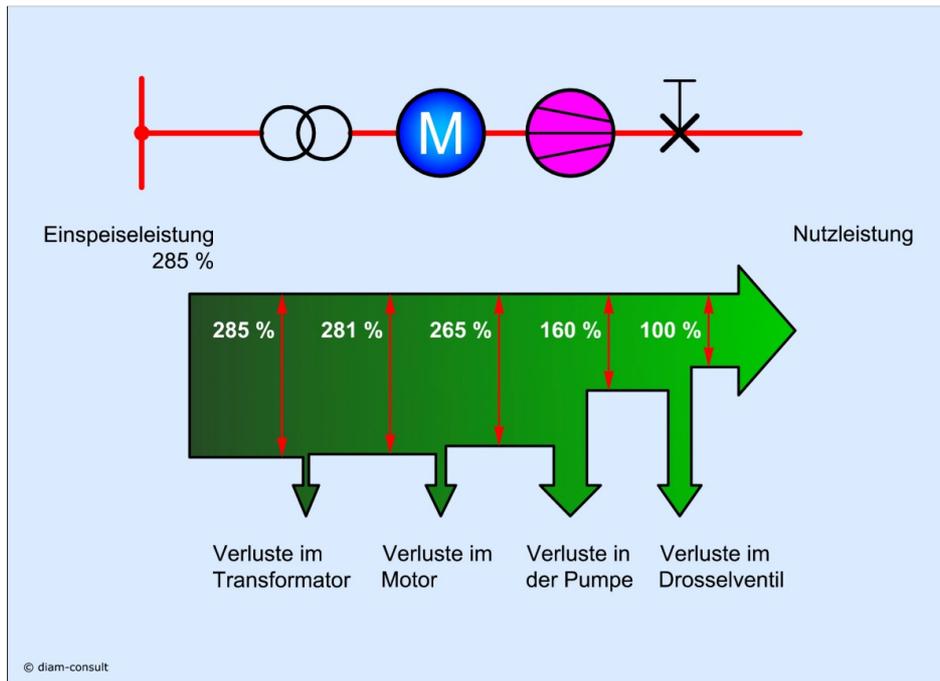


Bild 3-1 Für 100 % Nutzleistung notwendige elektrische Einspeiseleistung bei *mechanischer Regelung* des Flüssigkeitsstromes; entnommen [3].

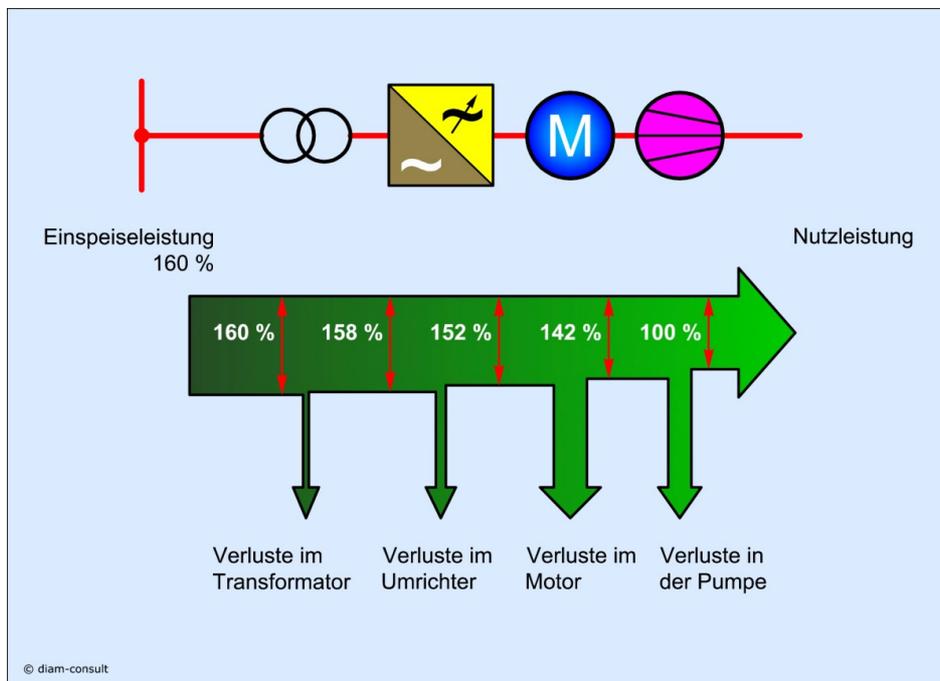


Bild 3-2 Für 100 % Nutzleistung notwendige elektrische Einspeiseleistung bei *Regelung der Drehzahl*; entnommen [3].

Die Nutzleistung beträgt jeweils 100 % an der Pumpe. Im Falle der Drosselregelung muss das 2,85-Fache (!!)

der Nutzleistung eingespeist werden. Bei der elektronischen Drehzahlregelung hingegen ist es nur das 1,6-Fache.



## 3.2 Physikalische Betrachtung

Ganz grundsätzlich hängt das Energie-Einsparpotenzial beim Einsatz von Frequenzumrichtern von einigen Faktoren ab.

Es sind dies:

- die Art der anzutreibenden Last
- der Grad der Optimierung des Wirkungsgrades der Arbeitsmaschine durch den Frequenzumrichter
- die Zeit, die das Gesamtsystem (Frequenzumrichter, Arbeitsmaschine) im Teillastbetrieb arbeitet.

Eine große Zahl von Anlagen (z. B. für Trinkwasser) sind für (sehr selten) auftretende Spitzenlasten ausgelegt und laufen daher über hunderte Stunden im Jahr im Teillastbetrieb.

Grundsätzlich werden die Kennlinien für Motor und Arbeitsmaschine (z. B. Pumpe) als Zusammenhang zwischen Drehzahl ( $n$ ) und Drehmoment ( $M$ ) oder Leistung ( $P$ ) angegeben. Je nach dem Verlauf dieses Zusammenhanges lassen sich die Arbeitsmaschinen in entsprechende Gruppen einteilen.

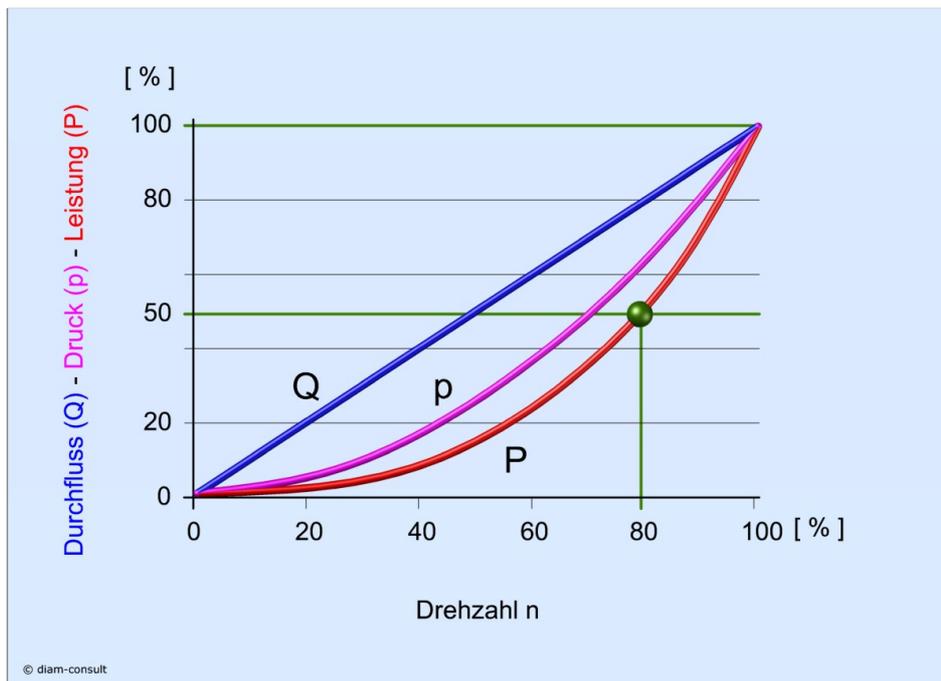
Für Überlegungen der Energieeinsparung sind besonders jene Arbeitsmaschinen interessant, bei denen der Zusammenhang zwischen Drehzahl ( $n$ ) und Drehmoment ( $M$ ) *quadratisch* ist und damit die Leistung ( $P$ ) in deutlich „mehr als linearem Zusammenhang“ mit der Drehzahl steht. In diese Maschinengruppe fallen Kreiselpumpen und Ventilatoren. Mit dem Vokabular der Antriebstechnik bezeichnet man diese als Strömungsmaschinen<sup>10</sup>.

Die wesentlichen Zusammenhänge für Strömungsmaschinen zwischen Durchfluss ( $Q$ ), Druck ( $p$ ) und Leistung ( $P$ ) sind in Bild 3-3 dargestellt. Der Durchfluss  $Q$  steht in linearem Zusammenhang mit der Drehzahl ( $Q \sim n$ ), der Druck  $p$  steigt quadratisch mit steigender Drehzahl ( $p \sim n^2$ ) und die Leistung, die Energieaufnahme nimmt kubisch mit steigender Drehzahl zu ( $P \sim n^3$ ) zu.

Der entscheidende Faktor für die Energieeinsparung ist der kubische Zusammenhang ( $P \sim n^3$ ) von Drehzahl und Energieaufnahme (Leistung).

Für die Praxis bedeutet dies, dass eine mit 50 % Drehzahl laufende Pumpe nur ein Achtel der bei Betrieb mit voller Drehzahl erforderlichen Leistung benötigt. Oder anders formuliert: Bereits eine kleine Verringerung der Drehzahl führt zu deutlichen Einsparungen.

<sup>10</sup> Eine *Strömungsmaschine* ist eine Fluidenergiemaschine, bei der die Energieübertragung zwischen Fluid und Maschine in einem offenen Raum durch eine Strömung nach den Gesetzen der *Fluiddynamik* über den Umweg der kinetischen Energie erfolgt. Die Energieübertragung erfolgt normalerweise mittels Rotorblättern, Flügeln oder Schaufeln, die derart profiliert sind, dass durch die Umströmung eine Druckdifferenz zwischen Vorder- und Rückseite entsteht (Tragflächenprofil). Das Gegenstück zur Strömungsmaschine bildet die Verdrängermaschine (auch Kolbenmaschine), in der die Energieübertragung in einem (durch Ventile o.ä.) abgeschlossenen Raum mit veränderlichem Volumen nach den Gesetzen der *Fluidstatik* erfolgt.



**Bild 3-3 Zusammenhang (in Prozent) zwischen Durchfluss (Q), Druck (p) und Leistung (P) und der Drehzahl (n) bei Strömungsmaschinen (schematisch)**

So ergibt eine Drehzahlverringerung von 20 % bereits eine Energieeinsparung von 50 % (siehe Bild 3-3). Die Leistungsaufnahme des Motors wird dabei genau an den tatsächlichen Bedarf des Prozesses angepasst.

### 3.3 Einfache Steuerung von Spannung und Frequenz

Das Drehmoment eines Asynchronmotors<sup>11</sup>, eine in der Praxis sehr häufig verwendete Motorentype hängt mathematisch mit dem Läuferstrom und dem Maschinenhauptfluss über die Beziehung

$$M \sim \Phi \cdot I_L$$

M ... Drehmoment des Motors  
Φ ... Maschinenhauptfluss  
I<sub>L</sub> ... Läuferstrom

zusammen.

Wird nun über einen großen Drehzahlbereich ein unverändertes Drehmoment gefordert, so muss der magnetische Fluss Φ in der Maschine konstant gehalten werden.

Durch den Zusammenhang

$$\Phi \sim \frac{U}{f}$$

U ... Statorspannung  
Φ ... Maschinenhauptfluss  
f ... Statorfrequenz

<sup>11</sup> Asynchronmotoren haben gegenüber anderen Elektromotoren den Vorteil, dass in dieser Konstruktion kein Kommutator und Bürsten notwendig sind. Bürsten verschleifen und erzeugen Funken („Bürstenfeuer“), wodurch das Leitungsnetz mit hochfrequenten Schwingungen gestört wird. Allerdings verursachen auch Asynchronmotoren - insbesondere beim Betrieb an einem Frequenzumformer - Oberschwingungen, die auf das Netz zurückwirken.

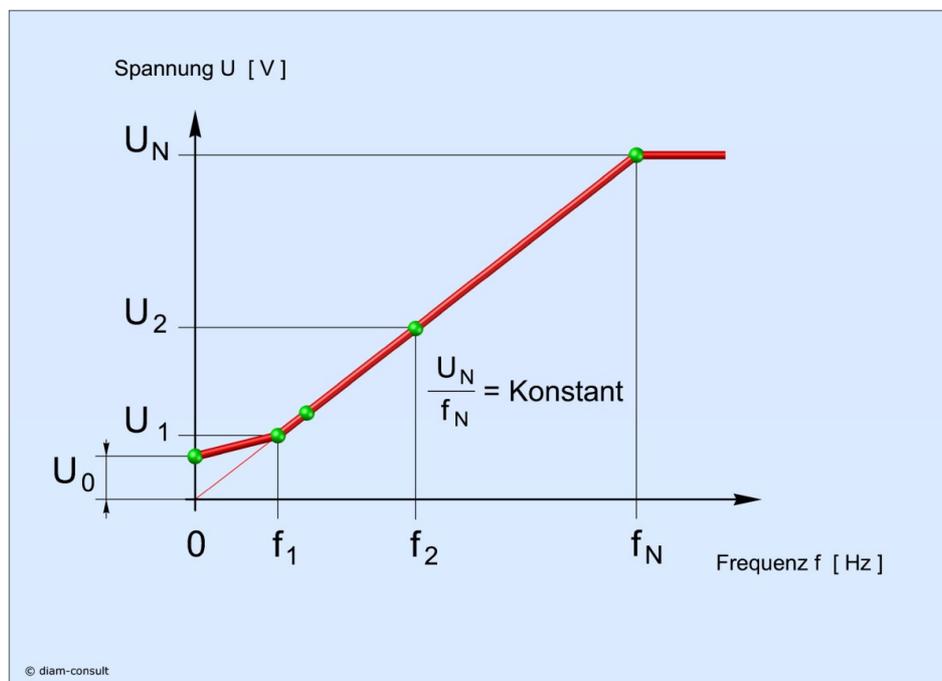


ergibt sich die einfachste Betriebsweise eines Frequenzumrichters. Die so genannte U/f - Kennlinien-Steuerung.

Der Umrichter regelt die Motorspannung und die Frequenz in einem konstanten Verhältnis. Frequenz und Spannung sind zueinander proportional. Aufgrund des induktiven Verhaltens des Motors führt das zu einem über einen weiten Drehzahlbereich konstanten Drehmoment, ohne den Motor zu überlasten.

Bei U/f-Kennlinien-Steuerung variiert die Drehzahl des angeschlossenen Motors abhängig von dessen Belastung.

Eine konstante Drehzahlrückführung kann entweder mit einer Regelung mittels Drehzahlgeber erreicht werden oder mittels Schlupfkompensation, die es ermöglicht, eine konstante Drehzahl ohne Drehzahlrückführung zu realisieren. Reine U/f-Kennlinien-Steuerung ist daher nur bei geringen Anforderungen an die Drehzahlkonstanz und ohne Schweranlauf ausreichend.



**Bild 3-4 U/f - Kennlinien - Steuerung**

- U Statorspannung
- $U_0$  Spannungsanhebung (Boost) für niedrige Drehzahlen
- f Statorfrequenz
- $U_N$  Nennspannung
- $f_N$  Nennfrequenz

Bei sehr geringen Drehzahlen führt diese Betriebsart aufgrund des ohmschen Widerstandes der Wicklung jedoch zu einem geringeren Drehmoment. Dies kann dazu führen, dass der Motor stehen bleibt. Um das zu beheben, kann bei vielen Frequenzumrichtern eine Spannungsanhebung im unteren Frequenzbereich eingestellt werden (Boost oder auch I x R-Kompensation genannt).

Die Kennlinie in Bild 3-4 zeigt, dass der magnetische Fluss  $\Phi$  bis zur Nennfrequenz  $f_N$  konstant bleibt. Wird ein Drehstrom-Asynchronmotor mit einem Frequenzumrichter über Nennfrequenz betrieben ist die Spannung am Höchstwert, dadurch sinkt der magnetische Fluss und folglich auch das Moment.



### 3.4 Komplexere Steuerung von Motoren

Neben der im Abschnitt 3.3 dargestellten Verfahren zur Steuerung von Asynchronmotoren, kann darüber hinaus noch der Schlupf<sup>12</sup> kompensiert werden, der bei Laständerungen entsteht.

Bei der so genannten Vektorsteuerung (auf die hier in diesem Vortrag nicht näher eingegangen werden kann) werden die Magnetfelder von Stator und Rotor (Läufer) gegeneinander ausgerichtet, bzw. der magnetische Fluss im Läufer durch eine Motormodell im Frequenzumrichter nachgebildet. Dazu ist es jedoch notwendig, die physikalischen Parameter des Motors (vom Leistungsschild des Motors) in den Frequenzumrichter einzugeben. In diesem Betrieb kann ein Frequenzumrichter dann natürlich nur einen Motor steuern. Das Betriebsverhalten dieses einzelnen Motors wird dadurch jedoch optimiert.

Hauptanwendungen für die komplexen Steuerungsmethoden sind z. B. Motoren für Rührwerke, Mischer, also eher schweranlaufende Maschinen, aber auch Motoren für Kräne und Lifte.

## 4 EMV-Anforderungen

In Österreich, wie in allen anderen Mitgliedsländern der Europäischen Union sind die grundlegenden Anforderungen an die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln und ortsfesten Anlagen gemäß der EMV-Richtlinie 2004/108/EG<sup>13</sup> einzuhalten.

**Betriebsmittel** müssen nach dem Stand der Technik so konstruiert und gefertigt sein, dass

- a) die von ihnen verursachten elektromagnetischen Störungen keinen Pegel erreichen, bei dem ein bestimmungsgemäßer Betrieb von Funk- und Telekommunikationsgeräten oder anderen Betriebsmitteln nicht möglich ist;
- b) sie gegen die bei bestimmungsgemäßem Betrieb zu erwartenden elektromagnetischen Störungen hinreichend unempfindlich sind, um ohne unzumutbare Beeinträchtigung bestimmungsgemäß arbeiten zu können.

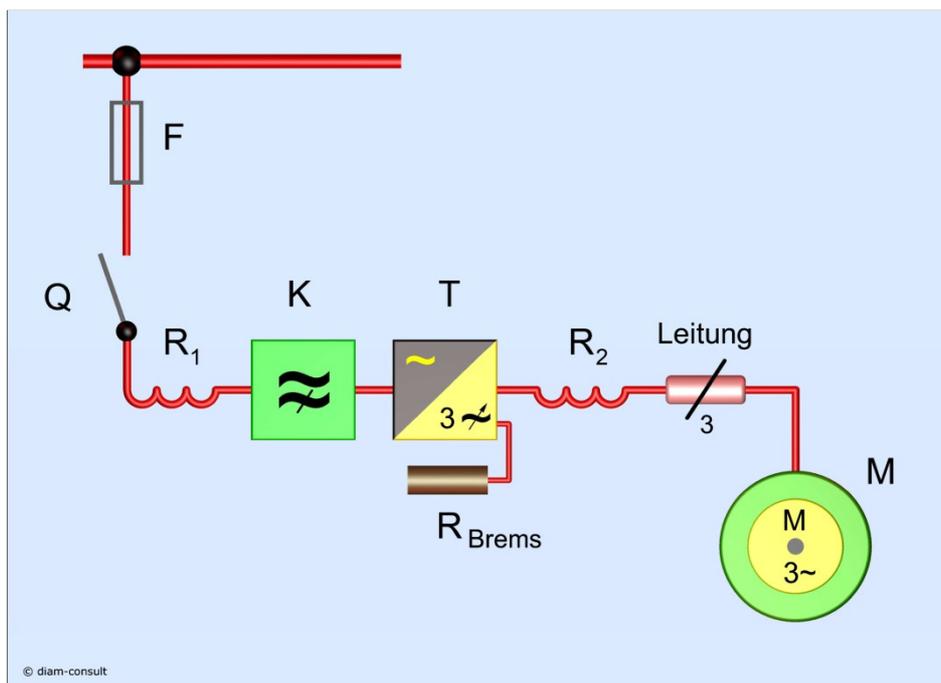
**Ortsfeste Anlagen** sind nach den anerkannten Regeln der Technik zu installieren, und im Hinblick auf die Erfüllung der EMV-Schutzanforderungen [siehe oben a), b)] sind die Angaben zur vorgesehenen Verwendung der Komponenten zu berücksichtigen.

Diese anerkannten Regeln der Technik sind zu dokumentieren, und der Anlagenverantwortliche hält die Unterlagen für die zuständigen einzelstaatlichen Behörden zu Kontrollzwecken zur Einsicht bereit, solange die ortsfeste Anlage in Betrieb ist.

---

<sup>12</sup> Der Schlupf  $s$  ist die bezogene Differenz zwischen den Geschwindigkeiten des Drehfeldes und des Rotors (Läufers).

<sup>13</sup> Die Inhalte der Richtlinie wurden mit dem BGBl. II, 529/2006 vom 28.12.2006 in österreichisches Recht umgesetzt.



**Bild 4-1 Schematische Anordnung von Betriebsmitteln zum energieeffizienten, normkonformen Betrieb eines Systems aus Frequenzumrichter und Motor**

F	Schmelzsicherung oder Schutzschalter
Q	Schütz oder Leistungsschalter zum Ein- und Ausschalten der Netzspannung
$R_1$	Netzdrossel
K	Funktstörfilter
T	Frequenzumrichter
$R_{Brems}$	Bremswiderstand
$R_2$	Sinusfilter (Motordrossel)
M	Motor
Leitung	Abgeschirmte Motorleitungen

Dies bedeutet, dass ortsfeste Anlagen entsprechend den anerkannten Regeln der Technik (z.B. den Errichtungs-Normen) errichtet und die darin verwendeten Betriebsmittel, Komponenten bzw. Zukaufteile wie Steuerungen, Schaltgeräte etc. so eingesetzt werden müssen, *wie der Hersteller es für die bestimmungsgemäße Verwendung vorgesehen hat*. Dies betrifft vor allem den Einsatz von Funkstörfiltern und alle vom Hersteller empfohlenen sonstigen Maßnahmen zur Reduzierung von Ableitströmen gegen den Schutzerdungsleiter der elektrischen Anlage.

Eine typische schematische Anordnung von Betriebsmitteln zum energieeffizienten, normkonformen Betrieb eines Systems bestehend aus Frequenzumrichter und Motor ist in Bild 4-1 dargestellt.

Die Anforderungen an die elektromagnetische Verträglichkeit von drehzahlveränderlichen Antriebssystemen sind in ÖVE/ÖNORM EN 61800-3 [7] festgelegt. Hinsichtlich der EMV-gerechten Installation von Niederspannungsanlagen können, neben den in Österreich geltenden verbindlichen anerkannten Regeln der Technik wie z. B. der Serie ÖVE/ÖNORM E 8001, die Bestimmungen von HD 60364-4-444 [8] herangezogen werden. In einigen Fällen ist es hilfreich die schon im Jahr 1990 publizierte Fachinformation des ÖVE zu beachten [9]. Weitere detaillierte Informationen zur Erfüllung der EMV-Richtlinie findet man in [11].



## 5 Vorbeugende Systembetrachtung

Energieeffizientes Verhalten beginnt idealerweise nicht erst dann, wenn ein Antrieb ausgefallen ist und - in möglichst kurzer Zeit - Ersatz beschafft werden muss.

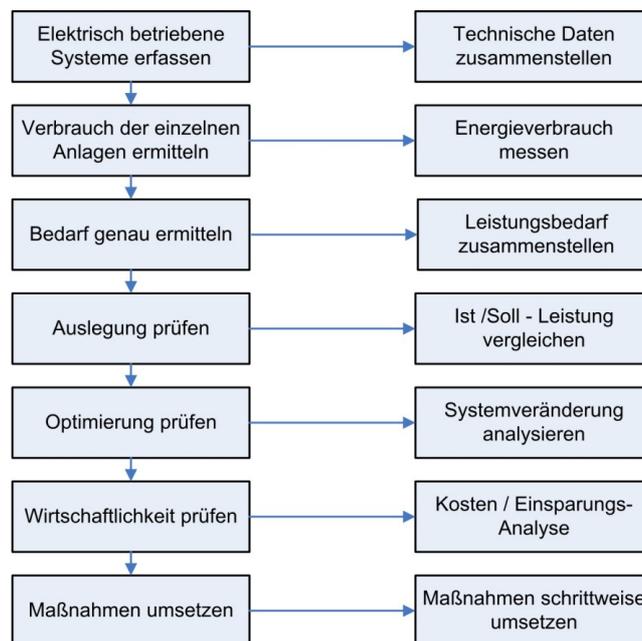
Egal ob es sich um Druckluft- und Kältekompressoren, Ventilatoren und Gebläse, Pumpen oder Antriebe für Materialfluss- und Fördertechnik handelt - eine zeitgerechte (ideal: laufende) Optimierungsbetrachtung hilft jedenfalls Einsparungspotenziale zu erkennen. Auf diesen Erkenntnissen kann dann auch bei Instandsetzungsarbeiten (nach plötzlichem Ausfall von Antrieben) zurückgegriffen und ein „energieeffizienter Ersatz“ beschafft und installiert werden.

Dazu ist es notwendig die gesamte „Systemkette“ zu betrachten. Alle Systemkomponenten werden dabei auf das

- individuelle Optimierungspotenzial hin aber auch
- im Hinblick auf die Gesamtoptimierung

betrachtet.

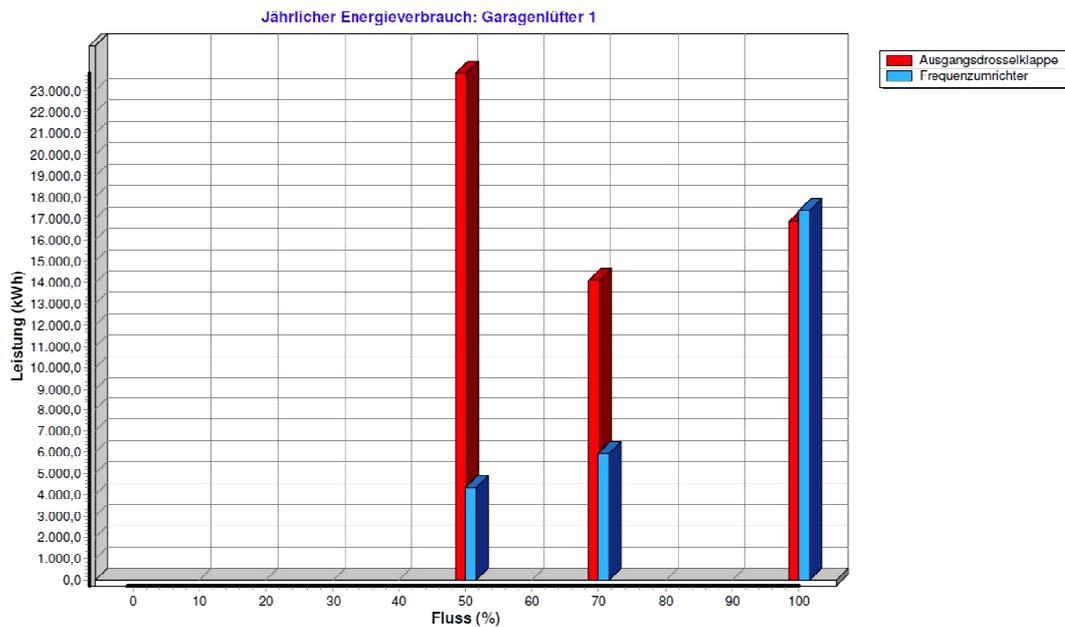
Es ist in diesem Vortrag nicht genügend Zeit vorhanden, um alle die notwendigen Schritte im Einzelnen zu besprechen. Eine grobe Übersicht über einen möglichen Ablauf soll die Darstellung in Bild 5-1 geben.



© diam-consult, 06/2013

**Bild 5-1 Vorbeugende Systembetrachtung und energietechnische Optimierung elektrischer Antriebe, Darstellung nach einer Idee von [10].**

Schon innerhalb einer einfachen Grobanalyse findet man Ergebnisse, die auf weitere Einsparungspotenziale hinweisen. Ein Beispiel ist in Bild 5-2 gegeben. Deutlich ist die Verringerung des Energieverbrauchs im Teillastbereich zu erkennen.



**Bild 5-2 Leistungsvergleich Ausgangsdrosselklappe vs. Frequenzumrichter: Lüftermotor (Garage) 11 kW; 16 Stunden/Tag in Betrieb, Lastspiel: 25 % der Zeit Vollast, 25 % der Zeit 70% Teillast, 50 % der Zeit 50 % Teillast. Geschätzter Amortisierungszeitraum: 1 Jahr; Energieverbrauch-Einsparung ca. 28.000 kWh/Jahr**

## 6 Schlussbemerkung

Ausgehend von den grundlegenden Anforderungen an energieeffiziente Elektromotoren werden einige grundlegende Betrachtungen zur Einsparung von elektrischer Energie in Antriebssystemen dargestellt. Mittels einfacher Beispiele wird versucht die Vorteile der Nutzung von Frequenzumrichtern zu Steuerung bzw. Regelung elektrischer Antriebe zusammenzufassen. Ein Blick auf eine mögliche Vorgangsweise zur vorbeugenden Systembetrachtung und zur Beachtung der Anforderungen hinsichtlich der elektromagnetischen Verträglichkeit von ortsfesten Anlagen runden das Thema ab.

## 7 Literaturhinweise

- [1] Hans De Keulenaer, Ronnie Belmans, Edgar Blaustein, David Chapman, Anibal De Almeida, Bruno De Wachter, Peter Radgen; Das Motor Challenge Programme; European Copper Institute, Fraunhofer-ISI, KU Leuven, Universidade do Coimbra, übersetzt von Stefan Faßbinder; April 2004
- [2] Energiestatus Österreich 2013; Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, Stubenring 1, 1011 Wien, April 2012
- [3] Kosten sparen mit energieeffizienten Standmotoren; FEEI – Fachverband der Elektro- und Elektronikindustrie, Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, Fachverband Maschinen & Metallwarenindustrie (FMMI), Wien, Juli 2009
- [4] Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. Juli 2005 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte und zur Änderung der Richtlinie 92/42/EWG des Rates sowie der Richtlinien 96/57/EG und 2000/55/EG des Europäischen Parlaments und des Rates



- [5] 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
  - [6] Almeida, A.T., Ferreira, F., Fong, J., Fonseca, P ; EUP Lot 11 Motors; ISR- University of Coimbra, Februar 2008
  - [7] ÖVE/ÖNORM EN 61800-3, Ausgabe 2012-10-; Drehzahlveränderbare elektrische Antriebe. Teil 3: EMV-Anforderungen einschließlich spezieller Prüfverfahren
  - [8] HD 60364-4-444 Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 4-444: Schutzmaßnahmen – Schutz bei Störspannungen und elektromagnetischen Störgrößen; CENELEC
  - [9] Schutzmaßnahmen für elektronische USV-Systeme und elektronische Umrichter mit Strombegrenzung; Fachinformation des Österreichischen Elektrotechnischen Komitees - OEK; e&i 107. Jg. (1990), H 7/8; [http://oek.ove.at/info/EN\\_219\\_1989.pdf](http://oek.ove.at/info/EN_219_1989.pdf)
  - [10] Untersuchung und Optimierung elektrischer Antriebe; Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG) Rosenkavalierplatz 2, 81925 München
  - [11] Ludwar G., Mörx A.; Elektrotechnikrecht, Praxisorientierter Kommentar, ÖVE; Mai 2007; ISBN:978-3-85133-044-1
  - [12] Henschl T., Mörx A.; Elektroinstallation in Gebäuden, Neuauflage; Österreichischer Wirtschaftsverlag; 2012; ISBN 3-85212-116-5
-