

ENGINEERING  
TOMORROW

*Danfoss*

# Clever sparen in der Automation

Antriebskomponenten richtig auswählen und Kosten senken



[www.danfoss.com/drives](http://www.danfoss.com/drives)

**VLT**<sup>®</sup>  
THE REAL DRIVE



Seit Jahren steigen die Energiepreise. Daher wächst das Interesse an Energieeinsparungen in Anwendungen der Industrie, des Handels und des Gewerbes. Anwender können so ihre Betriebskosten trotz steigender Preise konstant halten oder gar senken. Maschinen- und Anlagenbauer erzielen über den geringeren Energieverbrauch ihrer Anlagen und damit niedrigere Energiekosten Wettbewerbsvorteile.

Neben rein kommerziellen Gründen ist es aber auch aus gesellschaftlicher Sicht – Stichwort Klimawandel - erforderlich, mit den verfügbaren Ressourcen möglichst effektiv umzugehen und somit den CO<sub>2</sub>-Ausstoß drastisch zu reduzieren. Auch die Politik nimmt Einfluss auf eine energieeffiziente Gestaltung der Technik. So definiert beispielsweise die EU-Richtlinie „Energy using Products“ (EuP, 2005/32/EG und 2008/28/EG) Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte. Die Richtlinie setzt die „Integrierte Produktpolitik (IPP)“ der EU um, die den gesamten Lebenszyklus eines Elektrogeräts von der Produktion bis zur Entsorgung betrachtet.

### **Elektrische Antriebstechnik als Schlüsseltechnologie**

Eine Schlüsseltechnologie für erhöhte Energieeffizienz stellt die elektrische Antriebstechnik dar. Sie ist derzeit die effektivste Lösung, den Energieverbrauch schnell und deutlich zu senken. Eine Drehzahlregelung von elektrischen Motoren kann beispielsweise Kältschrankkompressoren, Klimaanlage und viele industriell genutzte Antriebe energetisch optimiert betreiben. So geht der ZVEI allein in der Industrie von einem Einsparpotential von mehr als 15 % des Stromverbrauchs bei elektromotorisch angetriebenen Systemen aus. Aber Vorsicht - gleichgültig, welche Maßnahmen Anwender ergreifen, sie

müssen sie immer vor der Umsetzung auf ihren Nutzen hin untersuchen.

**Denn es gilt: Energiesparen ja, aber nicht um jeden Preis.**

### **Schnell, einfach und preiswert**

Ziel muss es sein, sowohl bei neuen Anlagen und Maschinen, wie auch bei bestehenden, erhebliche Einsparungen im Energieverbrauch vorzunehmen. In der Regel fordern Betreiber sowie Maschinen- und Anlagenbauer im ersten Schritt, dass entsprechende Maßnahmen einfach, schnell und vor allem preiswert umzusetzen sind.

## Clever sparen

Potenziale zur Energieeinsparung gibt es in fast allen Bereichen. Ob es sich dabei um Gebäudetechnik, Förderanlagen oder chemische Prozesse handelt, die Schwierigkeit liegt in der Identifizierung der Potenziale und in der (wirtschaftlich) optimalen Umsetzung. Besonderes Augenmerk muss der Anwender/Betreiber bei der Ergreifung von Maßnahmen auf ihren Nutzen legen.

Gerade Pumpen und Lüfter sind hervorragend für Einsparungen geeignet. Zum einen gehören sie zu den größten Verbrauchern elektrischer Energie in der Industrie, zum andern geht bei Kreiselpumpen und Ventilatoren der Energieverbrauch in der 3. Potenz mit der Drehzahl zurück. Eine schnelle und einfache Lösung wäre, alle Pumpen und Lüfter mit Frequenzumrichtern auszurüsten und ihre Drehzahl zu regeln. Auch die Tatsache, dass die Preisentwicklung Umrichter immer attraktiver macht, spricht für eine solche Maßnahme. Aber Achtung: Nicht alle Pumpen und Ventilatoren sind für



Die Reduzierung der Drehzahl um 20 % kann bei Pumpenanwendungen im Idealfall die Energiekosten um bis zu 50 % senken



Der Einsatz von Frequenzumrichtern ist heute Stand der Technik und findet immer mehr Verbreitung. Von den ca. 75 Millionen in Europa installierten Motoren wird bereits ca. jeder Achte drehzahlregelt.

eine Drehzahlregelung geeignet. Und nicht immer ist der preislich günstigste Frequenzumrichter die wirtschaftlich optimale Lösung.

In vielen Anwendungen bringt der Einsatz von Frequenzumrichtern eine Energieeinsparung. Bei einigen lohnt sein Einsatz aber nicht oder kann sogar kontraproduktiv sein. Schätzungen gehen davon aus, dass bei ca. 50 % aller elektrischen Antriebe eine Drehzahlregelung wirtschaftlich sinnvoll ist.

Neben der Art der Anwendung hängt die Höhe der Einsparungen von versteckten Kosten ab, die der eingesetzte Umrichter verursacht. So rechnet sich beispielsweise der Mehrpreis für ein Gerät mit einem besseren Wirkungsgrad oft bereits nach kurzer Zeit.

Zur Vermeidung unwirtschaftlicher und kontraproduktiver Maßnahmen ist es daher notwendig, sowohl technische als auch kommerzielle und logistische Aspekte vor einer Investitionsentscheidung zu prüfen. Damit die Kosten und die Effektivität durch den Einsatz dieser Technik stimmt, sollte der Anwender eines Frequenzumrichters nicht nach dem günstigsten Preis, sondern nach dem wirtschaftlich sinnvollsten und attraktivsten Angebot über die Gesamtlebenszeit auswählen.

# Sparen, aber nicht um jeden Preis

Konzentration auf wirtschaftliche und sinnvolle Maßnahmen



Mit der Drehzahlregelung elektrischer Maschinen lassen sich hohe Energieeinsparungen erreichen. Damit solche Maßnahmen den gewünschten Erfolg bringen, sollten Anwender und Anlagenbauer einige wichtige Punkte berücksichtigen.

## Abschätzung des Einsparpotentials

Unabhängig davon, ob es sich um neue oder bestehende Anlagen bzw. Maschinen handelt, sollte der Betreiber erst einmal den „Ist-Zustand“ des Systems festhalten. Dazu zählt die Ermittlung des Energieverbrauchs, die Klärung, welche Prozesse eine Drehzahlregelung erlauben, und eine Analyse, wo sinnvolle Einsparungen möglich sind. Auch lassen sich so Synergien erkennen. Dies ermöglicht dem Betreiber eine bessere Identifizierung von Lösungsansätzen und erlaubt die spätere Verifizierung, ob durchgeführte Maßnahmen auch wirksam sind, sprich: die gewünschten Einsparungen erreichen.

## Analyse des Systemaufbaus

Die wichtigsten Ansatzpunkte für eine effektive Analyse des Ist-Zustands sind:

## Wirkungsgrad

Die einfachste Möglichkeit zum Energiesparen besteht darin, Komponenten mit einem besseren Wirkungsgrad einzusetzen.

## Regelung von Prozessgrößen

Prozesse lassen sich effektiv durch die Regelung von Druck, Durchfluss, Geschwindigkeit etc. optimieren. Erfolgt bisher nur eine Zweipunktregelung, sollte ein Vergleich deren energetischer Effektivität mit der einer Drehzahlregelung erfolgen.

## Systemaufbau

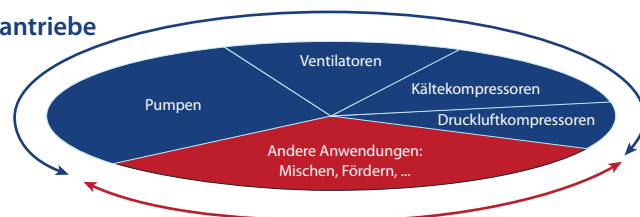
Die Planung vieler Systeme erfolgt nicht zwangsläufig unter den Gesichtspunkten einer energetisch günstigen oder gar optimalen Auslegung. So bieten beispielsweise Rohr-

leitungen aller Art die Möglichkeit der Optimierung. Anlagenbauer sollten die Gestaltung von Rohrführung, die Wahl der Ventile und Verteiler so wählen, dass der Gegendruck so gering wie möglich ist.

## Druckluft

Druckluft ist eine einfache, aber auch teure Art, Kraft zu übertragen. Oft ist es energetisch sinnvoller, statt dessen einen direkten motorischen Stellantrieb einzusetzen. Generell sollte der Betreiber den Luftdruck so niedrig wie möglich halten. Die Senkung des Drucks um nur 1 Bar spart ca. 7-8 % Energie. Und auch Leckagen sind teuer: Ein Loch von nur 1 mm Durchmesser bedeutet, abhängig vom Systemdruck, einen Mehrverbrauch von 1500 bis 5000 kWh – pro Jahr!

## Hilfsantriebe



## Hauptantriebe

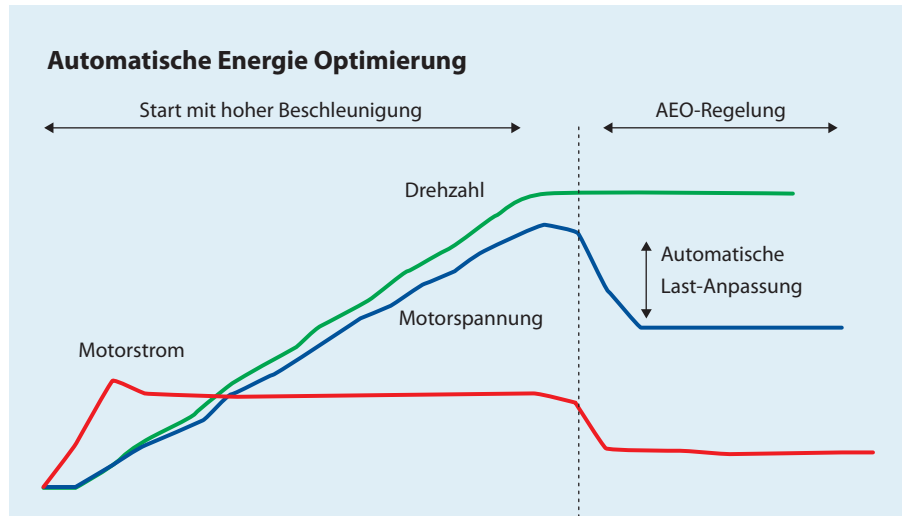
Der größte Anteil der Energie wird in Hilfsantrieben benötigt. Quelle: Fraunhofer ISI, Karlsruhe (EU-15)

### Ermittlung des aktuellen Energieverbrauchs

Der Erfassungszeitraum für den aktuellen Energieverbrauch hängt von der Anwendung ab. Bei definierten technischen Prozessen liegen in der Regel verlässliche Verbrauchsdaten meist nach dem Durchlauf einiger kompletter Prozessabläufe vor. Langwieriger ist die Auswertung des Verbrauchsprofils von Anwendungen, die von klimatischen Bedingungen abhängen. So steht beispielsweise die benötigte Fördermenge einer Abwasserpumpe im direkten Zusammenhang zur aktuellen Niederschlagsmenge.

### Prüfung von Anwendungen mit quadratischem Lastmoment

Bei Anwendungen mit quadratischem Lastmoment, zu denen beispielsweise Pumpen und Lüfter gehören, muss der Anwender die Applikationen bestimmen, die für eine Regelung in Frage kommen. Zudem sollte er das Wirkungsgradoptimum der Strömungsmaschine in Erfahrung bringen und daraus resultierend den optimalen Regelbereich festlegen. Den Abschluss bildet eine Kontrolle der Auswirkungen auf das System.



Angepasste Regelstrategien ermöglichen einen energetisch optimalen Betrieb. In Danfoss Umrichtern ist die bewährte AEO-Regelung implementiert.

### Betrachtung des Antriebsstrangs

Die maximale Einsparung erzielen Anwender nur durch eine Betrachtung des kompletten Antriebsstrangs. Sie müssen daher prüfen, ob effiziente Motoren zum Einsatz kommen, welche Getriebearten sie verwenden und ob die Kabellängen optimiert wurden. Weiterhin gilt zu klären, ob alle notwendigen EMV-Maßnahmen getroffen sind und die Lösung die Netzversorgung nicht überlastet. Wichtig sind auch die Bestimmung der Verluste und die dafür notwendige Klimatisierung von Schaltschrank oder elektrischem Betriebsraum.

### Spezialisten helfen sparen

Anwender sollten auch bereits installierte Umrichter nicht von der Analyse ausschließen. Es können sich Rahmenbedingungen in der Anlage geändert haben, die ursprünglich zum Einsatz führten. Außerdem zeigt die Analyse, ob die Investition wirtschaftlich arbeitet.

Für ein cleveres Sparen muss der Anwender auf jeden Fall abschätzen, welche Vor- und Nachteile eine bestimmte technische Lösung hat. Dabei ist zu beachten, dass meist die Güte der technischen Lösung mit deren Preis steigt. Da es für Anwender in der heutigen Zeit fast unmöglich ist, alle technischen Geräte bis ins letzte Detail zu kennen, ist es durchaus sinnvoll, bei Bedarf Experten hinzuzuziehen und mit ihnen alle technischen Vor- und Nachteile zu klären.



Ihr Wissen zählt. Nur Personen mit genauen Anlagen- und Fachkenntnissen können den Aufwand für die Umsetzung einzelner Energiesparender Maßnahmen abschätzen und unnötige Auslegungsreserven reduzieren.

# Motoren – Sparpotenzial und zukünftige Entwicklung



Schon seit 1998 sind in Europa energieeffiziente Drehstromsynchronmotoren verfügbar. Die Einteilung erfolgte in die Effizienzklassen eff1 bis eff3. Diese freiwillige Vereinbarung löste der weltweite Standard IEC 60034-30 im Juni 2009 ab.

## Getriebemotoren

Der Einsatz energieeffizienter Elektromotore zum Betrieb von Getrieben ist heute Standard. Herstellerabhängig kann der Anwender zwischen verschiedenen Effizienzklassen wählen, die sein Antriebsmotor haben soll. Die Effizienzklasse des Motors bezieht sich allerdings nur auf den Motor und nicht auf die Kombination aus Getriebe und Motor.

*Gegenüberstellung der neuen Effizienzklassen IE 1 bis IE 3 mit den bisherigen eff-Klassen*

IEC 60034-30	eff-Klassen
IE 1 (Standard Efficiency)	Vergleichbar eff2
IE 2 (High Efficiency)	Vergleichbar eff1
IE 3 (Premium Efficiency)	ca. 10-15 % besser als IE2

Erhebliches Potenzial bietet die Wahl der Getriebeart. Stirnrad- und Kegelradgetriebe haben in der Regel deutlich bessere Wirkungsgrade, als Schneckengetriebe. Verwendet der Betreiber anstelle von Schneckengetrieben alternativ die ebenfalls kompakt bauenden Kegelradgetriebe, entstehen zunächst höhere Investitionskosten. Durch den besseren Wirkungsgrad und geringeren Flankenverschleiß amortisieren sich diese Kosten aber meistens in relativ kurzer Zeit.

Gerade Getriebemotoren sind prädestiniert für den Betrieb an Frequenzumrichtern. Zum einen optimiert der Umrichter den Betrieb des Elektromotors, zum anderen kann der Betreiber durch sie auf mechanische Verstellgetriebe verzichten.

## PM-Motoren

Bei permanent erregten Motoren handelt es sich um Synchronmotoren, die über einen sehr guten Wirkungsgrad verfügen. Im Vergleich zu Asynchronmotoren mit ähnlichen Wirkungsgraden (z.B. IE 3) bauen PM-Motoren deutlich kompakter.

Fallende Preise für die verwendeten Dauermagneten machen PM-Motoren auch für Anwendungen mit weniger dynamischen Anforderungen attraktiv.

Ob sich der Austausch von Drehstromsynchronmotoren gegen PM-Motoren wirtschaftlich rechnet, hängt von vielen Faktoren ab. Bei entsprechenden Untersuchungen sollte der Betreiber neben den Anschaffungs-, Umbau- und Energiekosten selbstverständlich auch Wartungs- und Ersatzmotorkonzepte betrachten.

*Die EU hat für die Umsetzung der Ecodesign Richtlinie 2005/32/EC die Einführung von Mindestwirkungsgraden (MPES) bei Drehstromsynchronmotoren beschlossen. Im Juni 2009 trat die Richtlinie in Kraft.*

	Leistung	MPES	MPES Alternative
Ab 16.06.2011	0,75 - 375 kW	IE 2	-
Ab 01.01.2015	0,75 - 7,5 kW	IE 2	-
	7,5 - 375 kW	IE 3	IE 2 + Umrichter
Ab 01.01.2017	0,75 - 375 kW	IE 3	IE 2 + Umrichter

# Drehzahlregelung: großes Potenzial – schnell umgesetzt

**Durch die Drehzahlregelung von Lastmaschinen ergeben sich oft energetische Vorteile, die direkt an der Stromrechnung abzulesen sind. Zu den Vorteilen beim Einsatz einer Drehzahlregelung gehören:**

## Energieeinsparung

Abhängig vom Drehmomentverhalten der Last ergeben sich unterschiedlich hohe Einsparpotenziale. Bei konstantem Drehmomentverlauf ist die Einsparung maximal proportional zur Reduzierung des Moments und der Drehzahl an der Welle, bei quadratischem Drehmomentverlauf steigen Einsparungen mit der dritten Potenz der Drehzahlreduzierung.

## Anpassung des $\cos \varphi$

Viele Frequenzumrichter korrigieren den  $\cos \varphi$  auf nahezu 1 und reduzieren so die induktive Blindleistungsaufnahme. Damit sinken auch die Verluste auf der Kabelzuleitung.

## Optimierter Betrieb im Teillastbereich

Wirkungsgrade sind meist für Drehstrommotoren nur für den Nennpunkt angegeben. Arbeitet ein Motor di-

rekt am Netz im Teillastbereich, verschlechtert sich aufgrund konstanter mechanischer und elektromagnetischer Verluste sein Wirkungsgrad erheblich. Der Frequenzumrichterbetrieb sorgt – abhängig von der Qualität des Regelverfahrens - immer für eine optimale Magnetisierung des Motors. Der Wirkungsgrad geht im Teillastbereich deshalb nicht so stark zurück. Spürbare Verbesserungen sind üblicherweise bei Motoren ab 11 kW festzustellen.

## Automatische Energieoptimierung

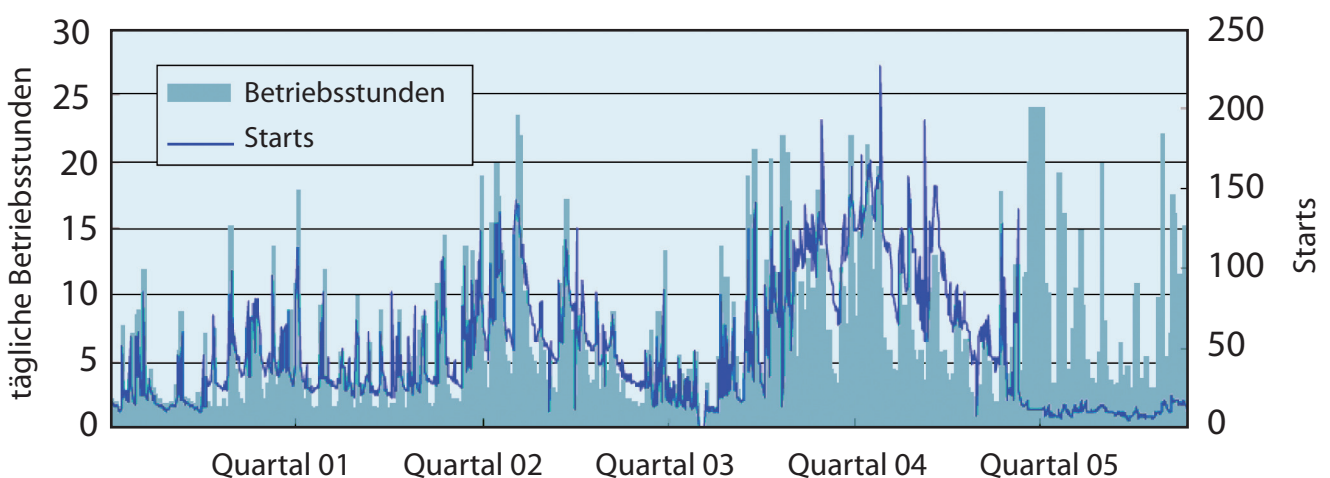
Bei Anwendungen, bei denen keine schnellen Lastwechsel auftreten, kann der Betreiber die Automatische Energieoptimierung (AEO) verwenden. Der Umrichter fährt dann die Motor magnetisierung auf ein Minimum herunter. Das spart Energie. Bewährt haben sich die Funktionen bei allen langsamen Regelungen, wie sie bei Pumpen und Lüftern üblich sind.

## Reduzierung von Startvorgängen

Eine Drehzahlregelung kann in vielen Anwendungen die Anzahl der Starts reduzieren. Jeder unregelmäßige Start eines Elektromotors benötigt

zusätzliche Energie für den Anlauf des Motors und erneutes Beschleunigen der Lasten. Bei Pumpen beträgt normalerweise der Energieverbrauch für Starts 5-10 % des gesamten Energieverbrauchs, aber es gibt Beispiele dafür, dass bis zu 40 % der Energie für Starts notwendig sind. Zudem reduzieren sich Stromspitzen und mechanische Belastungen durch Stöße beim Anlauf.

Weitere Vorteile ergeben sich durch eine Drehzahlregelung aufgrund der Verminderung mechanischer Belastung von Anlage und Anlagenteilen sowie durch die integrierten Softwarefunktionen, die moderne Frequenzumrichter bereitstellen.



*Praxisbeispiel: Mit Einführung der drehzahlgeregelten Antriebe im 4. Quartal hat sich die Anzahl der Starts und somit die mechanische Belastung des Systems im Quartal 05 erheblich reduziert.*

# Anwendungen mit konstantem Moment

**Zu Anwendungen mit konstantem Moment gehören solche, bei denen sich die Last nicht groß mit der Drehzahl verändert. Hierzu zählen unter anderem Fließbänder, Hubwerke oder Mischer.**

Steht beispielsweise ein Motorblock auf einem Fließband, ist er immer gleich schwer, gleichgültig, ob das Fließband langsam oder schnell läuft. Das Moment, um diesen Motorblock zu bewegen, ist immer gleich groß. Natürlich ändern sich abhängig vom Betriebszustand die Reibungs- und Beschleunigungsmomente, doch der Momentbedarf für die Last bleibt konstant.

Die Leistung, die ein solches System benötigt, ist proportional zum benötigten Drehmoment und zur Drehzahl des Motors.

Ist es möglich, die Drehzahl bei einer konstanten Last zu reduzieren, ergeben sich direkt auch energetische Einsparungen. Häufig ist bei einem Fließband die zu transportierende Warenmenge nicht immer konstant. Wird die Geschwindigkeit des Bandes der zu transportierenden Warenmenge angepasst, ermöglicht dies aber nicht nur eine kontinuierlichere Abarbeitung der transportierten Güter, sondern auch eine Einsparung der benötigten Energie.

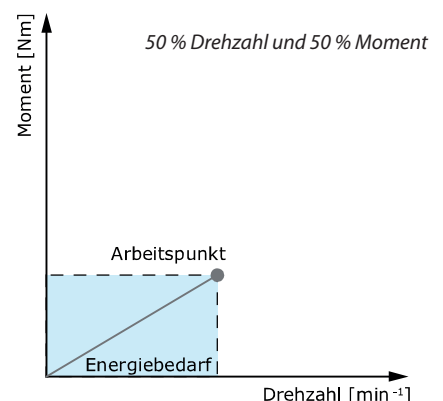
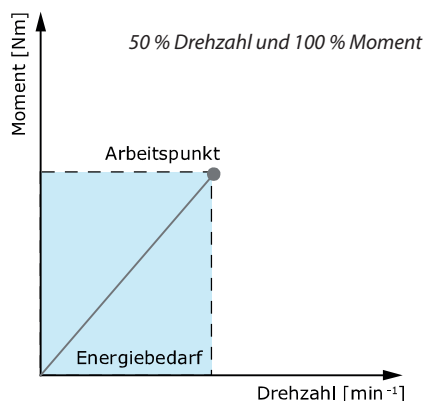
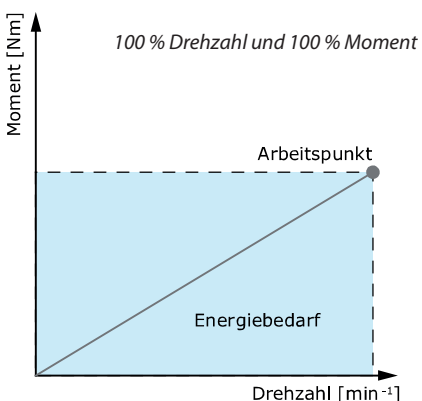


Für die Drehzahlregelung von Fördersystemen kommen heute bereits vielfach Frequenzumrichter zum Einsatz. Diese optimieren den Energieverbrauch, abhängig von der zu transportierenden Last sowie der benötigten Drehzahl.

Ist eine Anpassung der Geschwindigkeit nicht möglich oder nicht erwünscht, ergeben sich bei den meisten Frequenzumrichtern dennoch energetische Einsparungen. Sie regeln abhängig von der Last die Ausgangsspannung des Motors. So versorgt ein Frequenzumrichter beispielsweise einen 400 V Motor im Leerlauf bei einer Ausgangsfrequenz von 50 Hz oft nur mit 380 V. Bei steigender Belastung erhöht er dann die Spannung. Die Güte einer solchen Regelung wird von der Qualität des Umrichters bestimmt. Die energeti-

schen Einsparungen, die sich über diese Funktionalität erreichen lassen, reichen allerdings alleine nicht, um die Investitionen in einen Frequenzumrichter zu rechtfertigen.

Durch Optimierung des Drehmoments und der Drehzahl kann in vielen Anwendungen mit konstantem Drehmoment die Energieeffizienz erhöht werden.





# Anwendungent mit quadratischem Lastmoment



Bei Anwendungen mit quadratischem Moment handelt es sich häufig um Pumpen und Ventilatoren. Bei Pumpen ist aber zu unterscheiden: Zwar verfügen die weit verbreiteten Kreiselpumpen über einen quadratischen Momentenverlauf, Exenter-, Vakuum- oder Verdrängerpumpen besitzen aber einen konstanten Momentenverlauf.

Der Anteil der Pumpen- und Lüfteranwendungen ist enorm. Ca. 70 % des in der gesamten EU (15) industriell genutzten Stroms verbrauchen elektrische Motoren. Und mit etwa 37 % haben Pumpen und Lüfter einen beträchtlichen Anteil daran. Im Bereich von Handel, Gewerbe und Dienstleistung liegt der Anteil EU-weit sogar bei ca. 40 %.

Eine einfache, aber sehr effektive Methode zur Energieeinsparung bei Strömungsmaschinen mit quadratischen

Lastmomenten ist die Drehzahlregelung. Durch eine Reduzierung der Drehzahl nimmt die benötigte Energie kubisch ab. Dieses hohe Einsparpotential macht alle Anwendungen mit quadratischem Momentenverlauf zu idealen Kandidaten, um mit Maßnahmen zur Energieeinsparung zu beginnen.

**Um Überraschungen bei der Drehzahlregelung von Pumpen und Lüftern zu vermeiden, sollte der Betreiber in der Projektierungsphase beachten, dass sich mit Änderung der Drehzahl auch der Arbeitspunkt und somit der Wirkungsgrad der Strömungsmaschine ändert.**

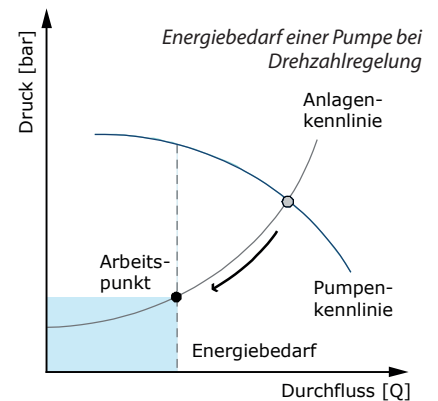
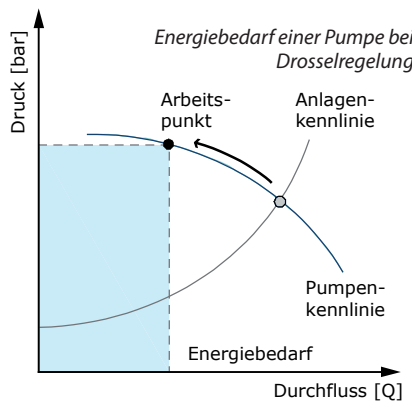
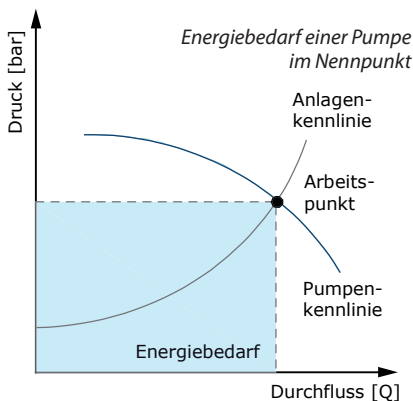
Im Zusammenspiel aus Strömungsmaschine und Umrichter ergibt sich ein Drehzahlbereich, in dem das System Energie spart. In diesem Bereich sollte die Maschine die meiste Zeit laufen. Ist der Unterschied zwischen

der maximal benötigten Leistung und dem durchschnittlichen Teillastbetrieb zu groß, ist es sinnvoll, eine Kaskadierung der Anlage vorzunehmen. Oft rechnen sich auch bei einem Umbau der bestehenden Anlage die Investitionen nach kurzer Zeit.

### Kaskadierung der Anlage

Bei der Kaskadierung von Pumpen deckt eine drehzahlgeregelte Pumpe die Grundlast ab. Steigt der Verbrauch, schaltet der Frequenzumrichter weitere Pumpen nacheinander zu. Die Pumpen arbeiten so möglichst in ihrem Wirkungsgradoptimum. Die Regelung einer Pumpe sorgt immer für die energetisch beste Ausnutzung des Systems. Das gleiche System kann analog auch bei Lüftern angewendet werden. Entsprechende Kaskadenregler sind je nach Hersteller und Ausführung bereits im Gerät integriert oder als externe Baugruppen erhältlich.

*Durch eine Reduzierung der Drehzahl nimmt die benötigte Energie kubisch ab. Der Einsatz von Frequenzumrichtern zur Regelung von Ventilatoren und Kreiselpumpen amortisiert sich somit in vielen Anwendungen bereit in weniger als 2 Jahren.*



# Besonderheiten bei Strömungsmaschinen



Bei den meisten Pumpen oder Ventilatoren kommen häufig Drallklappen, Drosseln oder Dreiwegeventile zum Einsatz, um den Druck oder den Volumenstrom einer Anwendung zu regeln. Erfolgt die Regelung einer Kreiselpumpe mittels Drosselklappe, verschiebt sich durch die Drosselung der Arbeitspunkt der Maschine entlang der Pumpenkennlinie. Es kommt nur zu einer minimalen Reduzierung der benötigten Energie im Vergleich zum Nennarbeitspunkt der Pumpe.

Bei einer Pumpenreglung über die Drehzahl, verschiebt sich der Arbeitspunkt entlang der Anlagenkennlinie. Die benötigte Energie reduziert sich im Vergleich zur Drosselregelung dabei in der dritten Potenz! So benötigt die Pumpe z.B. bei der halben Drehzahl nur ein Achtel der Leistung.

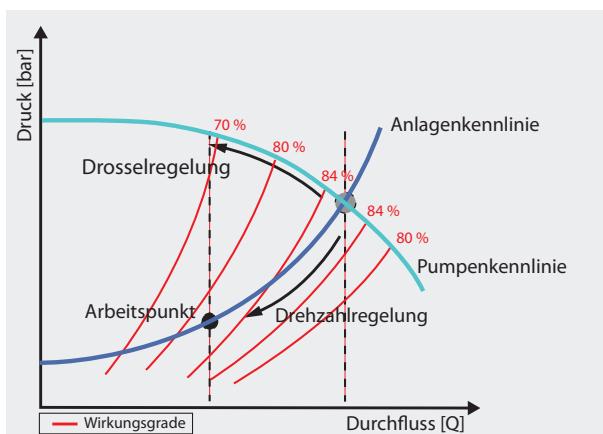
Dieses Verhalten gilt analog für Ventilatoren und für alle Pumpen mit quadratischem Verlauf der Kennlinie.

Im unten gezeigten Kennliniendiagramm sind neben der Pumpen- und Anlagenkennlinie auch Wirkungsgradgrenzen eingetragen. Dadurch lässt sich erkennen, dass sowohl Drosselregelung, als auch Drehzahlregelung den Arbeitspunkt aus dem Wirkungsgradoptimum heraus bewegen.

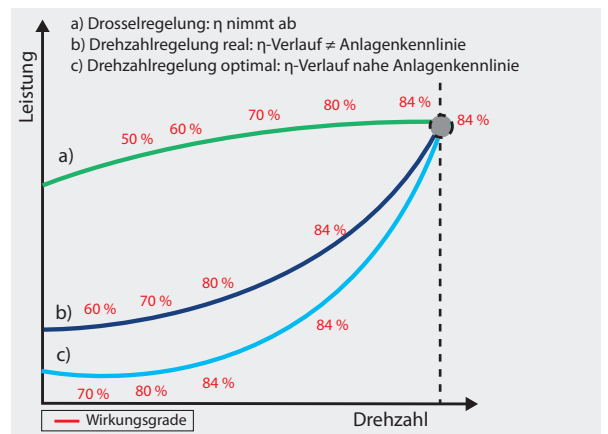
Aus der dargestellten spezifischen Energieverbrauchskurve (gilt nur für eine ausgewählten Pumpe) ist die Auswirkung der Änderung des Wirkungsgrades bei Drehzahlregelung abzulesen. Etwa bei 32 Hz beginnen die zusätzlichen Verluste der Pumpe die Einsparung zu übersteigen. In der betrachteten Anlage liegt die energie-

optimale Frequenz demnach bei 38 Hz. Würde die Pumpe nicht drehzahlregelt, wäre die Energiebilanz noch wesentlich schlechter.

In der Praxis zeigt es sich, dass gerade Strömungsmaschinen häufig nicht immer im optimalen Arbeitspunkt arbeiten (können). Beispielsweise müssen Klimaanlage im Sommer eine höhere Kühlleistung erbringen, als im Winter. Da das System aber für die maximal benötigte Leistung ausgelegt sein muss, ergibt sich zwangsläufig ein hoher Anteil an Teillastbetrieb. Dieser Tatsache tragen einige Hersteller von Strömungsmaschinen inzwischen Rechnung. Sie legen ihre Aggregate teilweise so aus, dass das Wirkungsgradoptimum bei ca. 70 % der Fördermenge liegt.



Im Kennliniendiagramm sind neben der Pumpen- und Anlagenkennlinie auch einige Wirkungsgradgrenzen dargestellt. Sowohl durch Drosselregelung, als auch durch Drehzahlregelung bewegt sich der Arbeitspunkt aus dem Wirkungsgradoptimum heraus.



Die Kurven zeigen den Energieverbrauch einer ausgewählten Pumpe bei Drosselregelung (a) und bei Drehzahlregelung (b+c). Idealerweise liegt die Anlagenkennlinie nahe der Wirkungsgradkennlinie der Pumpe (c). In der Praxis sinkt aber auch bei Drehzahlregelung der Wirkungsgrad (b)

# Sind gleiche Wirkungsgrade wirklich gleich?

## Genaueres Hinsehen spart bares Geld

Beim Vergleich von Wirkungsgraden gibt es auf den ersten Blick keine großen Unterschiede zwischen verschiedenen Geräten. Aber ist dem wirklich so? Haben zwei der Leistung und dem Wirkungsgrad nach identische Geräte die gleichen Verluste?

Der Wirkungsgrad von Frequenzumrichtern berechnet sich aus dem Verhältnis von abgegebener zu zugeführter Leistung. Seine Angabe erfolgt üblicherweise in gerundeten Prozentzahlen, also ohne Nachkommastellen. Im schlechtesten Fall unterscheiden sich also die Umrichter mit gleichem Wirkungsgrad um gut 1 %.

Um die Wirkungsgrade verschiedener Umrichter vergleichen zu können, muss dem Anwender bekannt sein, unter welchen Bedingungen sie der Hersteller ermittelt hat. Bei Umrichtern wird üblicherweise zwischen normaler Überlast (110 %) und hoher Überlast (160 %) unterschieden. Außerdem geht der Nennstrom des Geräts in die Beachtung mit ein, ebenso wie ein Betrieb im Teillastbereich sowie Messtoleranzen bei der Ermittlung der Wirkungsgrade.

Wesentlich greifbarer sind die Angaben zur Verlustleistung eines Geräts. Natürlich gehen auch in sie die Betriebsart und der Nennstrom des Geräts ein. Da aber Betreiber und Anlagenbauer auf ihrer Basis auch den Klimatisierungsbedarf eines Schaltschranks ermitteln, kann sie als vergleichsweise verlässlich angesehen werden.

*Der direkte Vergleich von Frequenzumrichterfabrikaten ist aufgrund unterschiedlicher Rahmenbedingungen wie Nennströme und Überlastfähigkeit sehr schwierig. Die Verlustleistung bietet eine bessere Vergleichsmöglichkeit.*

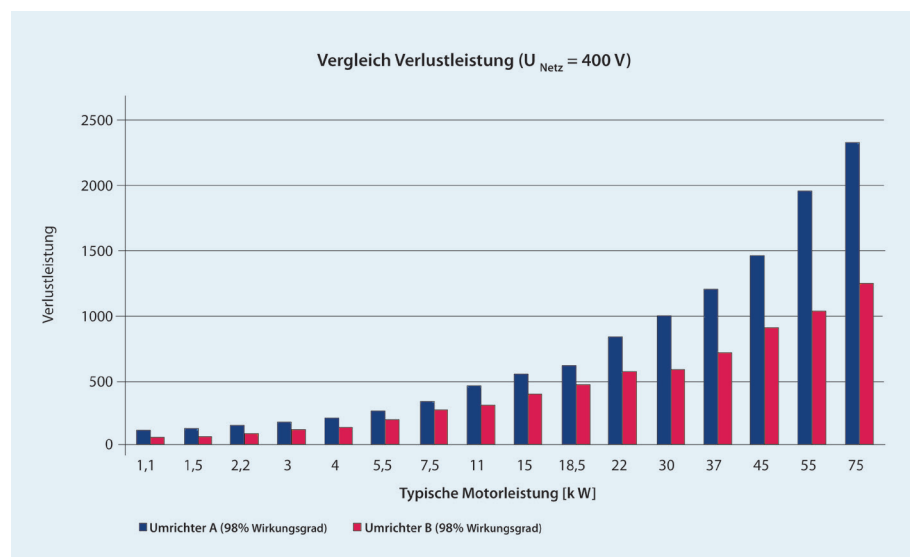


Das folgende Diagramm zeigt den Vergleich der Verlustleistung zweier unterschiedlicher Umrichter. Die Wirkungsgradangaben für die meisten Leistungsgrößen sind dabei identisch.

Was bedeutet dies nun über die gesamte Lebensdauer des Geräts? Geht man von einer Lebensdauer von 60.000 Stunden und einen motorischen Betrieb von 90 % aus, ergibt sich bei den im Diagramm verwendete-

ten 75 kW-Umrichtern eine Gesamtverlustleistung von 124.740 kWh bzw. von 66.528 kWh.

Obwohl beide Geräte den gleichen Wirkungsgrad angeben, hat das eine einen Mehrverbrauch von ca. 58.000 kWh! Dieser Unterschied verringert sich im Teillastbereich. Die Tendenz ist jedoch eindeutig.



# Filter bei Wirkungsgrad und Effizienz mit berücksichtigen



**Aufgrund ihres Funktionsprinzips erzeugen Frequenzumrichter elektromagnetische Störungen. Zur Begrenzung der Störungen sind für jeden Frequenzumrichter EMV-Filter vorgesehen. Die Filter können bereits im Gerät integriert sein oder extern vor die Geräte geschaltet werden. Auch eine Kombination von internen und externen Filtern ist möglich.**

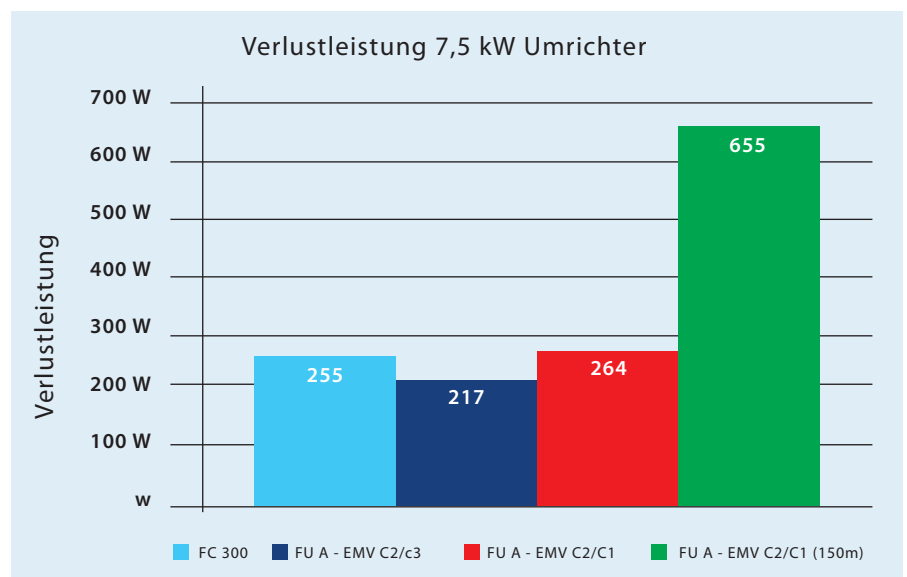
Ein weiterer Punkt sind motorseitige Sinus- oder du/dt-Filter. Frequenzumrichter arbeiten für die Erzeugung der Ausgangsspannung der entsprechenden Frequenz mit einer hohen Taktfrequenz. Dies hat zur Folge, dass die Ausgangsspannung erst einmal nicht mehr sinusförmig ist. Abhängig von der Motorkabellänge und der Motorisolation kann diese Spannung die Isolation schädigen. Problematisch ist dies vor allem bei älteren Motoren. Motorseitige Filter begrenzen die Spannungsanstiegsgeschwindigkeit an der Motorisolation und die Amplitude der Spannungsspitzen, was die Wicklungen vor Überschlügen schützt.

*Externe Filter erzeugen zusätzliche Verluste. Deshalb sollte bei der Projektierung von Frequenzumrichter darauf geachtet werden, dass alle notwendigen Filter bereits im Gerät integriert sind.*

Der große Vorteil von Frequenzumrichtern mit externem Filter liegt im Preis. Die Geräte sind günstiger und oft kompakter als Geräte mit integrierten Filtern. Nachteilig wirkt sich der zusätzliche Bedarf an Montageplatz aus. Zudem erzeugen alle externen Filter immer zusätzliche Verluste. Dieses gilt für EMV-Filter genauso wie für motorseitige du/dt- oder Sinusfilter. Diese zusätzlichen Verluste gilt es auch bei der Klimatisierung des Schaltschranks zu berücksichtigen. Bei Umrichtern mit integrierten Filtern sind deren Verluste üblicherweise in der angegebenen Verlustleistung bereits enthalten. Daher ist für einen Vergleich der Wirkungsgrade zweier

Frequenzumrichter zu beachten, ob beide die Filter bereits eingebaut haben und ob sie – was die EMV-Filter anbelangt - die gleichen Normen erfüllen. Wenn nicht, so führt dies beim Umrichter ohne Filter zu einer Verschlechterung des Gesamtwirkungsgrads aus Filter und Umrichter, höheren Verlusten und höheren Energiekosten.

Einsparungen auf Kosten von keinen oder schlechteren EMV-Filtern sowie Verzicht auf benötigte Motorfilter, können große Kosten für Nachrüstung, zusätzliche Verluste und Klimatisierung nach sich ziehen.



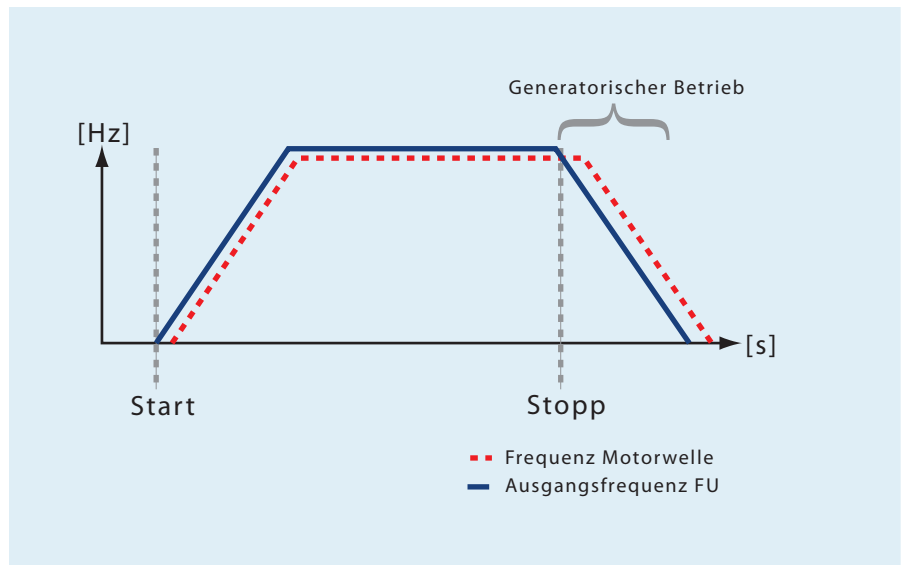
# Rückspeisung und Active Front End – nur selten sinnvoll

Sehr verlockend ist der Gedanke, generatorische Energie zu nutzen, die beim Betrieb einer elektrischen Maschine an einem Frequenzumrichter entsteht. Die Energie entsteht dadurch, dass der betriebene Drehstromasynchronmotor schneller läuft, als sein treibendes Netz, was hauptsächlich beim Bremsen auftritt.

In den meisten Fällen leitet der Anwender diese Energie in Bremswiderstände und wandelt sie dort in Wärme um. Wäre es nicht sinnvoller, diese Energie ins Netz zurückzuspeisen oder anderen Maschinen zur Verfügung zu stellen? In der Praxis sind zwei technische Lösungen üblich:

## Zwischenkreiskopplung

Viele Umrichter verfügen über die Möglichkeit, ihren Gleichstromzwischenkreis mit Zwischenkreisen anderer Geräte zusammenzuschalten. Erzeugte generatorische Energie steht so anderen Geräten direkt zur Verfügung. Allerdings sind einige Randbedingungen zu beachten. So sollte beispielsweise sichergestellt sein, dass ein Kurzschluss in einem Gerät nicht die anderen Geräte beschädigt. Selbstverständlich muss der Anwender auch beachten, was passiert, wenn alle gekoppelten Geräte gleichzeitig generatorische Energie abgeben.

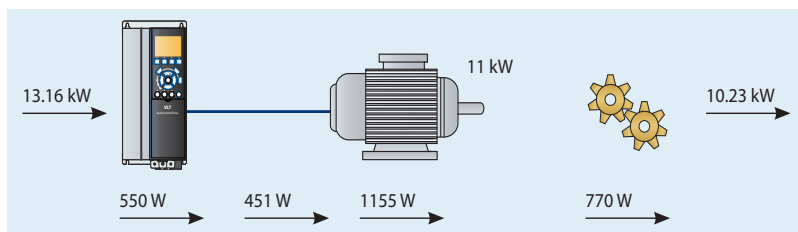


## Rückspeisung

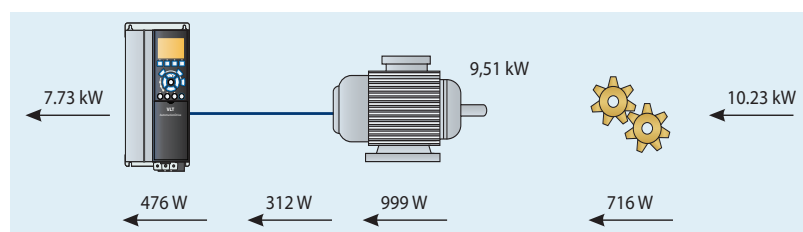
Rückspeisefähige Eingangsbaugruppen des Frequenzumrichters können durch einen gesteuerten Gleichrichter generatorische Energie ins Netz zurückspeisen. Bei den meisten Anwendungen dominiert der motorische Betriebszustand. Die durch Rückspeisung gewonnene Energie ist häufig geringer, als die zusätzlichen Verluste, die durch den gesteuerten Gleichrichter im motorischen Betrieb entstehen. Daher rechnen sich rückspeisefähige Umrichter oft erst bei größeren Leistungen unter Berücksichtigung des Lastzyklus und vielen Randbedingungen

wie beispielsweise häufigem Bremsen.

Betreiber sollten Investitionen in Zwischenkreiskopplungen oder rückspeisefähige Systeme gründlich prüfen. In der Regel überschätzen sie meist den Anteil der erzeugten Energie. Eine Ermittlung des generatorischen Anteils am Betriebszyklus, sowie die Abschätzung der durchschnittlichen Bremsenergie des Systems sind für eine wirtschaftliche Beurteilung unumgänglich. In den meisten Fällen ist der Einsatz von Bremswiderständen wirtschaftlich und ökologisch sinnvoller, als die Nutzung der im Bremsbetrieb erzeugten Energie.

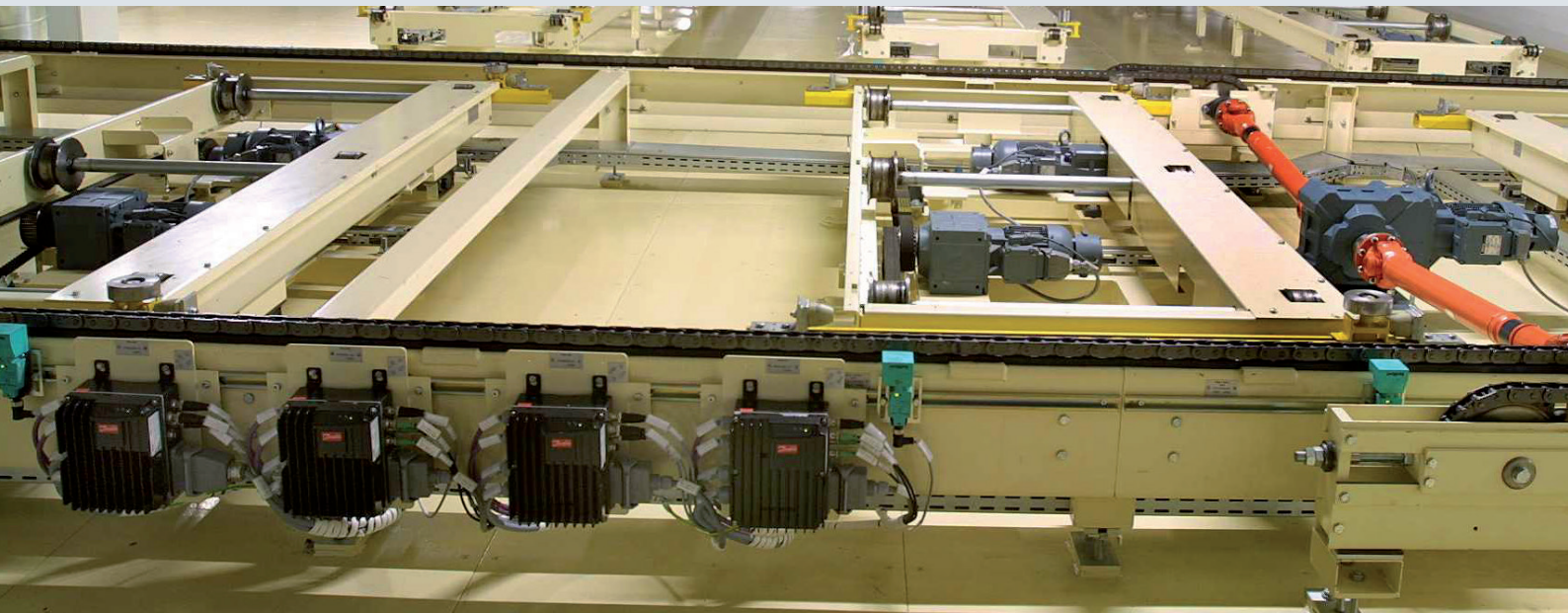


Beachten Sie bei der Betrachtung eines Antriebssystems für einen Rückspeisebetrieb, dass auch bei dieser Lösung im System Verluste entstehen. Die rückspeisbare Energie wird, selbst in dem unwahrscheinlichen Fall, dass die maximale mechanische Energie an der Welle verfügbar ist, dadurch deutlich reduziert.



# Systemoptimierung:

## Betrachtung des Gesamtsystems mit Potenzialen



Im Antriebssystem lässt sich ungefähr 10 % des erreichbaren Einsparpotenzials durch die Verwendung effizienter Motoren erreichen. Der drehzahlregelte Betrieb ergibt ein Einsparpotenzial von ca. 30 %. Die größten Einsparmöglichkeiten von ca. 60 % liegen aber in der Optimierung des gesamten Systems. Bei allen Maßnahmen muss der Betreiber deshalb immer die Auswirkung auf das gesamte System beachten. Aus dem Grund sollte er immer prüfen, ob sich verschiedene Ansätze zur Energieeinsparung miteinander kombinieren lassen. Hierzu gehört optimierte Rohrleitungsführung bei Umbauarbeiten ebenso, wie die Möglichkeit, Softwarefunktionen in modernen Frequenzumrichtern zu nutzen.

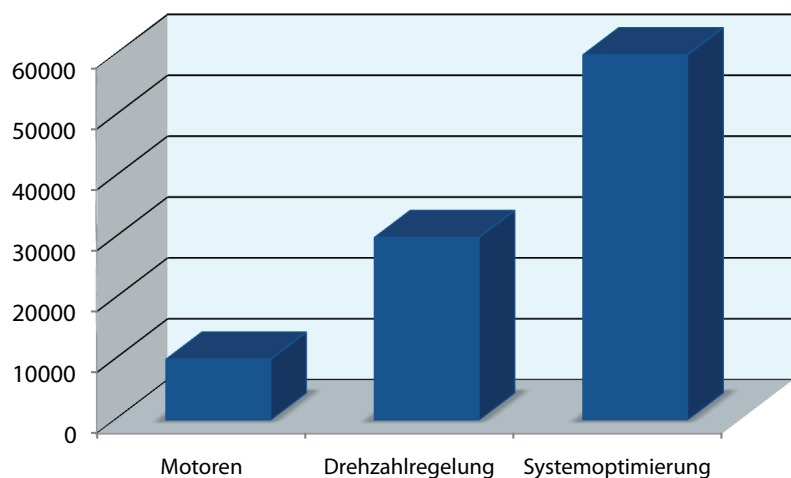
Je nach Wirtschaftszweig unterscheiden sich die Einsparpotenziale bei den verwendeten Energieträgern deutlich. Beispielsweise besteht in der Industrie häufig ein deutlich höherer Bedarf an Prozesswärme als im Handel. Meistens bietet sich im Bereich mit dem größten Verbrauch auch das höchste Einsparpotential. So entstehen ca. 43 % des Stromverbrauchs in der Industrie aber „nur“ 23 % in Handel, Gewerbe und im Dienstleistungssektor.

Für die Bestimmung des Einsparpotenzials in den unterschiedlichen Bereichen sind genaue Anlagen- und Fachkenntnisse unerlässlich. Nur mit einem solchen Wissen ist es möglich, Einschätzungen zu treffen, ob und welche Maßnahme auch wirtschaftlich sinnvoll ist.

Unabhängig davon, ob es sich um neue oder bestehende Anlagen bzw.

Maschinen handelt, sollte der Betreiber bevor er Maßnahmen zur Energieeinsparungen ergreift, erst einmal den „Ist-Zustand“ des gesamten Systems festhalten. Dies ermöglicht ihm eine bessere Identifizierung von Lösungsansätzen und erlaubt die spätere Verifizierung, ob durchgeführte Maßnahmen auch wirksam sind und die gewünschten Einsparungen erreichen.

Optimierungspotenziale



*Ist eine Systemoptimierung nicht durchführbar, bietet der Einsatz von Frequenzumrichtern für eine Drehzahlregelung eine schnelle und effektive Möglichkeit, Energie zu sparen. Auch bei Nachrüstungen.*

# Kostensenkung über den gesamten Lebenszyklus hinweg

## Frequenzumrichter sparen bares Geld nicht nur bei der Energie

Frequenzumrichter sind inzwischen Stand der Technik und finden immer mehr Verbreitung. Dennoch: Zur Vermeidung unwirtschaftlicher und kontraproduktiver Maßnahmen ist es notwendig, sowohl technische als auch kommerzielle und logistische Aspekte vor einer Investitionsentscheidung zu prüfen. Nach neusten Untersuchungen machen die Anschaffungskosten in der Betrachtung der gesamten Lebenszykluskosten nur etwa 10 % aus. 90 % der verursachten Kosten gehen zu Lasten der Betriebskosten, beispielsweise Aufwendungen für Energie, Wartung und Service. Daneben schlagen die Anschaffungskosten für Klimatisierung, Netzdrosseln und -filter nicht unerheblich zu Buche.

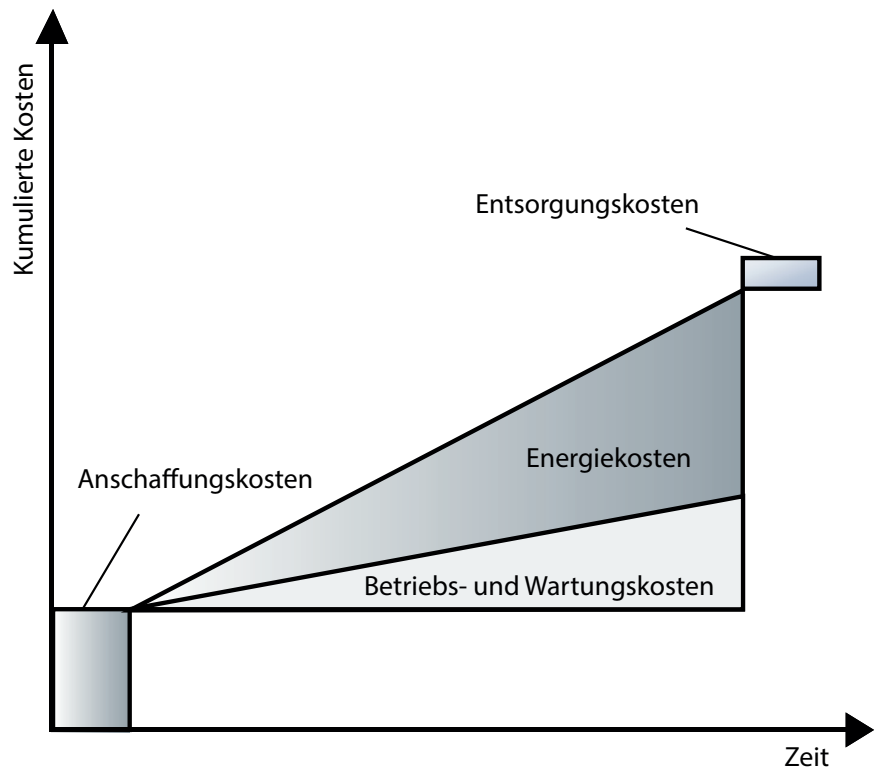
Bekanntere Verfahren zu einer Gesamtbetrachtung aller Kosten sind die LCC (Life Cycle Costs = Kosten innerhalb des Lebenszyklus) bzw. die TCO (Total Cost of Ownership = Gesamtkosten über einen Zeitraum). Sie berücksichtigen nicht nur die Anschaffungskosten, sondern auch die weiteren Kosten wie Energie-, Reparatur- und Wartungskosten. So kann sich ein in der Anschaffung teureres Gerät über die gesamte Lebensdauer betrachtet als günstiger erweisen, als ein preiswerteres Gerät.

In eine solche Betrachtung kann beispielsweise auch die Verfügbarkeit eines Produkts mit eingehen. Fällt ein eingesetztes Gerät aus, entstehen Kosten z.B. durch Produktionsausfall. Um diesem Fall vorzubeugen, benötigt der Betreiber ein Lager mit einem oder mehreren Ersatzgeräten. Die Größe des Lagers hängt unter anderem davon ab, wie schnell im Bedarfsfall der Hersteller des Produkts neue Geräte nachliefern kann.

### Vorausschauende Wartung für geringere Kosten und höhere Verfügbarkeit

Moderne Frequenzumrichter bieten darüber hinaus eine Vielzahl von Funktionen, die externe Komponenten und deren aufwendige Verkabelung einsparen. Gleichzeitig schont der prinzipbedingt enthaltene Sanftanlauf Motoren und Anlagenteile, erhöht so Standzeiten und senkt Wartungs- und Servicekosten.

Umfangreiche Schutzfunktionen für Motor und Anlage zeigen jederzeit den aktuellen Status der Antriebe sowie des Systems an. Sie schützen die Komponenten, können die Wartungsintervalle durch frühzeitige Anzeige von Verschleiß verlängern und so die Anlagenverfügbarkeit erhöhen.



*In der Regel beträgt der Anteil der Anschaffungskosten, betrachtet man die Lebenszykluskosten der Anlage lediglich rund 10 %. Höhere Anschaffungskosten eines energiesparenden Gerätes amortisieren sich oftmals innerhalb kürzester Zeit.*



## Die Vision hinter VLT®

### Der Antriebsspezialist

Danfoss Drives ist weltweit einer der führenden Antriebstechnikhersteller. Bereits 1968 stellte Danfoss den weltweit ersten in Serie produzierten Frequenzumrichter für Drehstrommotore vor und hat sich seitdem auf die Lösung von Antriebsaufgaben spezialisiert. Heute steht VLT® für zuverlässige Technik, Innovation und Know-how für Antriebslösungen in den unterschiedlichsten Branchen.

### Innovative und intelligente Frequenzumrichter

Ausgehend von der Danfoss Drives Zentrale in Graasten, Dänemark, entwickeln, fertigen, beraten, verkaufen und warten 2500 Mitarbeiter in mehr als 100 Ländern die Danfoss Antriebslösungen.

Die modularen Frequenzumrichter werden nach den jeweiligen Kundenanforderungen gefertigt und komplett montiert geliefert. So ist sichergestellt, dass Ihr VLT® stets mit der aktuellsten Technik zu Ihnen geliefert wird.

Um die Qualität unserer Produkte jederzeit sicherzustellen, kontrolliert und überwacht Danfoss Drives die Entwicklung jedes wichtigen Elements in den Produkten. So verfügt der Konzern über eine eigene Forschung und Softwareentwicklung sowie eine moderne Fertigung für Hardware, Leistungsteile, Platinen und Zubehör.

### Vertrauen Sie Experten – weltweit

VLT® Frequenzumrichter arbeiten weltweit in verschiedensten Anwendungen. Dabei unterstützen die

Experten von Danfoss Drives unsere Kunden mit umfangreichem Spezialwissen über die jeweiligen Anwendungen. Umfassende Beratung und schneller Service sorgen für die optimale Lösung bei höchster Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit. Eine Aufgabe ist erst beendet, wenn Sie als Kunde mit der Antriebslösung zufrieden sind.



#### Deutschland:

#### Danfoss GmbH VLT® Antriebstechnik

Carl-Legien-Straße 8, D-63073 Offenbach  
Tel: +49 69 8902-0, Telefax: +49 69 8902-106  
[www.danfoss.de/vlt](http://www.danfoss.de/vlt)

#### Österreich:

#### Danfoss Gesellschaft m.b.H. VLT® Antriebstechnik

Danfoss Straße 8, A-2353 Guntramsdorf  
Tel: +43 2236 5040, Telefax: +43 2236 5040-35  
[www.danfoss.at/vlt](http://www.danfoss.at/vlt)

#### Schweiz:

#### Danfoss AG VLT® Antriebstechnik,

Parkstrasse 6, CH-4402 Frenkendorf,  
Tel: +41 61 906 11 11, Telefax: +41 61 906 11 21  
[www.danfoss.ch/vlt](http://www.danfoss.ch/vlt)

