

# Energieeffiziente Antriebe in der Automation

## Energy-efficient Drives in Automation

Leiter Produktmanagement AC Frequenzumrichter, Fred Donabauer, ABB Automation Products GmbH, Ladenburg, Deutschland

### Kurzfassung

Stark steigende Energiepreise zwingen die Unternehmen dazu, sich verstärkt mit energieeffizienten Techniken zu befassen. Hinzu kommt ein zunehmender politischer Druck im Hinblick auf geringere CO<sub>2</sub>-Emissionen als Resultat des G8-Gipfels 2008 im japanischen Toyako. Der konsequente Einsatz energieeffizienter Technologien in der Automation kann einen signifikanten Beitrag dazu leisten, bedeutende Einsparpotenziale in der Industrie zu realisieren und gleichzeitig den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu vermindern. Der Einsatz von Motoren mit hohem Wirkungsgrad und mehr noch die elektronische Drehzahlregelung mit Frequenzumrichtern stellt in diesem Zusammenhang eine höchst effiziente Maßnahme dar, den Energieverbrauch in der Industrie nachhaltig zu senken, wie etliche Beispiele eindrucksvoll belegen.

### Abstract

The strong increase in energy prices makes companies focus on energy-efficient technologies. Moreover there is an increasing political pressure to reduce CO<sub>2</sub> emissions as a result of the 2008 G8 summit that took place in Toyako, Japan. The consistent use of energy-efficient technologies in automation may make a considerable contribution to implementing a substantial savings potential in industry while reducing CO<sub>2</sub> emissions at the same time. The use of high efficiency motors and even more so electronic speed control by means of frequency converters is a highly efficient measure in this context to reduce energy consumption in industry in a sustainable way as is proved impressively by many examples.

## 1 Politischer Wille zu höherer Energieeffizienz

Es gibt kaum noch Zweifel, dass der CO<sub>2</sub>-Ausstoß maßgeblich zum Klimawandel beiträgt und eine Milderung dieses Prozesses ein sofortiges Handeln erfordert. Laut der „Düsseldorfer Erklärung“ vom 22.03.2007 begrüßen die Umweltministerinnen, -minister, -senatorin und -senatoren des Bundes und der Länder den Beschluss des Europäischen Rates, sich im Rahmen der Fortentwicklung des Kyoto-Protokolls dafür einzusetzen, dass die Industrieländer sich verpflichten, ihre Treibhausgasemissionen bis zum Jahre 2020 um 30 % zu reduzieren und in Deutschland eine Energieeffizienzoffensive zu starten [1].

In dem Bestreben, die Treibhausgase bis 2050 zu halbieren, konnte 2008 beim G8-Gipfel in Japan ein Durchbruch erzielt werden, nachdem es gelungen ist, die USA mit ins „Klimaboot“ zu holen. Nach monatelangem Ringen haben sich die acht führenden Industrienationen auf klare Ziele zum Klimaschutz verständigt. Gemeinsames Ziel ist es, die Treibhausgase bis 2050 weltweit um mindestens 50 % zu reduzieren. Die deutsche Bundeskanzlerin Angela Merkel als Teilnehmerin des Gipfeltreffens betonte: „An diesem Langfristziel wird die Weltgemeinschaft nicht mehr vorbeikommen.“ [2]

Die Vereinbarung zur Umwelt und zum Klimaschutz des G8-Gipfels spricht von einer gemeinsamen „Vision“ der Mitgliedsstaaten der UNO-Klimarahmenkonvention

(UNFCCC), eine Halbierung der Treibhausgase bis 2050 zu erreichen. Dieses Ziel sollte im Rahmen der UN-Verhandlungen „geprüft und angenommen“ werden [2].

## 2 Wie lässt sich die Energie-Effizienz steigern?

Für eine langfristige Rentabilität von Industrieanlagen ist ein effizienter Betrieb unerlässlich. Angesichts steigender Energiepreise machen sich Investitionen in verbrauchssenkende Maßnahmen für die Betreiber zunehmend bezahlt (**Bild 1**). Wie lässt sich die Effizienz aber am besten steigern?

Es gibt viele Ursachen dafür, dass wertvolle Energie ungenutzt verloren geht, z. B. unzureichende Planung, suboptimale Sollwerte in Regelkreisen, ungeeignete oder falsch eingesetzte Betriebsmittel.

Angesichts steigender Brennstoffpreise und strengerer Emissionsvorschriften gehören die Senkung des Energieverbrauchs und die Reduzierung von Treibhausgasemissionen heute zu den wichtigsten Themen in der Industrie. Die Energie- und Versorgungssysteme von Industrieanlagen bieten vielfältige Einsparungsmöglichkeiten, besonders wenn das gesamte System und nicht nur einzelne Teilsysteme betrachtet werden. Ein erhebliches Einsparpotenzial liegt in der Senkung des Verbrauchs von Betriebsstoffen, der Minimierung von Verteilungsverlusten und der Verbesserung des Wirkungsgrads bei der Energieerzeugung.

gung. Tatsächlich kann durch die erfolgreiche Umsetzung dieser Maßnahmen der Energieverbrauch um bis zu 20 % gesenkt werden. Um aber eine fundierte Entscheidung treffen zu können, muss der Nutzen gegen die Kosten abgewogen werden, z. B. unter Zuhilfenahme spezieller Kalkulations-Tools [3].



**Bild 1** In Industrieanlagen lassen sich vielfältige Einsparmöglichkeiten ausmachen

## 2.1 Einsparpotenziale identifizieren

Der Prozess zur Verbesserung der Effizienz beginnt mit einem Überblick über die Energiebilanz des jeweiligen Betriebs und einer Beurteilung des Einsparpotenzials (**Bild 2**). Dabei werden sämtliche Aspekte der Energiekette von der Erzeugung über die Verteilung bis zum Verbrauch der Betriebsstoffe berücksichtigt. Die Verbesserungen können von einfachen Maßnahmen, die schnell und mit geringem oder gar keinem Kostenaufwand realisiert werden können, bis zur Implementierung energieeffizienter Technologien reichen. Schnelle Erfolge lassen sich bereits durch einfache Maßnahmen wie die Instandhaltung der Isolierung und die Reparatur von Leckagen erzielen. Andere Maßnahmen erfordern die Abkehr von „altbewährten“ Verhaltensweisen. So können z. B. zentrale Anlagenteile abgeschaltet werden, anstatt sie laufen zu lassen, oder die Sollwerte für Temperatur-, Druck- oder Durchflussregelung der Betriebsstoffe werden hinterfragt.



**Bild 2** Eine höhere Energieeffizienz lässt sich durch eine optimierte Energieausnutzung und -optimierung erzielen

## 3 Nutzung energieeffizienter Technologien

Im Bereich der effizienzsteigernden Technologien gibt es zahlreiche Optionen, wobei energieeffiziente Motoren und drehzahlgeregelte Antriebe in der Automation eine besonders wichtige Rolle spielen. So schätzt der ZVEI (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.) die Einsparpotenziale bei den jährlichen Energiekosten durch den Einsatz von Motoren mit hohem Wirkungsgrad und von elektronischer Drehzahlregelung mit Frequenzumrichtern in der deutschen Industrie auf etwa 2,2 Mrd. €. Heute werden etwa 12 % der in der deutschen Industrie installierten Motorleistung mit energiesparender elektronischer Drehzahlregelung betrieben. Aus energetischen Gesichtspunkten heraus wäre dies aber bei der Hälfte der Antriebe sinnvoll. Bei 165 TWh Gesamtverbrauch und einer mittleren Energieeinsparung von je 40 % ergibt das ein jährliches Gesamteinsparpotenzial von 22 TWh allein durch den Einsatz elektronischer Drehzahlregelung [4].

### 3.1 Elektromotoren als Energiesparer

Innerhalb der EU ist mit der Einführung des Europäischen Wirkungsgrad-Klassifizierungssystems das Thema Energieeffizienz verstärkt in den Mittelpunkt des Interesses gerückt. Das System sieht die Einteilung von Motoren in drei Wirkungsgradklassen eff1 bis eff3 vor, wobei eff1 die Klasse mit dem höchsten Wirkungsgrad darstellt.

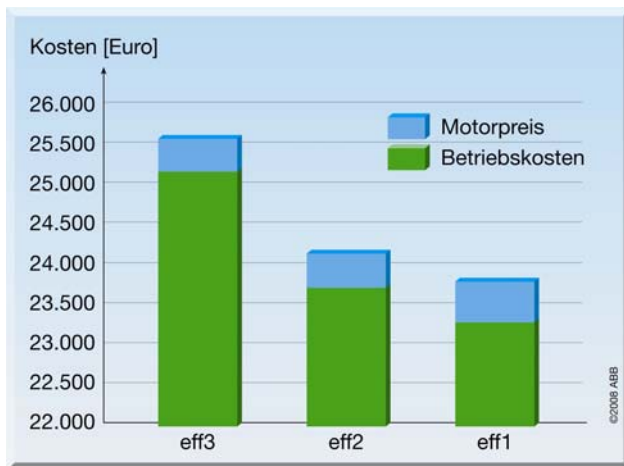
Das System hat erfolgreich dazu beigetragen, die Zahl der Motoren mit niedrigem Wirkungsgrad auf dem Markt zu reduzieren. Mittlerweile ist die Wirkungsgradklasse eff1 für viele nicht nur ein Kennzeichen für hohe Effizienz, sondern gilt als generelles Qualitätsmerkmal.

Der Wirkungsgrad ist ein Maß für die Fähigkeit eines Motors, elektrische Energie in Nutzarbeit umzuwandeln. Die dabei entstehenden Verluste werden in Form von Wärme abgegeben. Um den Wirkungsgrad zu erhöhen, müssen diese Verluste reduziert werden.

Motorverluste lassen sich in fünf Hauptkategorien einteilen: Zwei dieser Verlustarten – Eisenverluste im Rotor- und Statorblech sowie Lüftungs- und Lagerreibungsver-

luste – gehören zu den sogenannten Leerlaufverlusten, da sie unabhängig von der Last immer konstant bleiben. Zu den Lastverlusten, die mit der Last variieren, gehören Kupferverluste im Stator, Rotorverluste und lastabhängige Zusatzverluste. Sämtliche Motorverluste können durch konstruktive Maßnahmen, das heißt durch die Qualität des Design- und Fertigungsprozesses beeinflusst werden [5].

Aus der Grafik in **Bild 3** geht deutlich hervor, dass die Anschaffungskosten eines Motors nur einen kleinen Teil der Betriebskosten darstellen. Die höheren Anschaffungskosten eines Motors mit Wirkungsgradklasse eff1 amortisieren sich oft innerhalb eines Jahres bedingt durch den niedrigeren Energieverbrauch.



**Bild 3** Kostenvergleich für drei Normmotoren (11 kW). eff1-Motoren – günstige Kostenstruktur und niedriger Energieverbrauch

### 3.2 Hohes Energie-Einsparpotenzial mit Frequenzumrichtern

Mehr noch als Motoren mit hoher Wirkungsgradklasse bieten Frequenzumrichter zur elektronischen Drehzahlregelung ein hohes Energie-Einsparpotenzial, was indirekt auch geringere CO<sub>2</sub>-Emissionen zur Folge hat (**Bild 4**). Gegenüber einer mechanischen oder hydraulischen Regelung haben drehzahlgeregelte Antriebe z. B. bei Pumpenapplikationen deutliche Vorteile. Im Folgenden soll an verschiedenen Beispielen Einsparmöglichkeiten durch elektronisch drehzahlgeregelte Antriebe aufgezeigt werden.



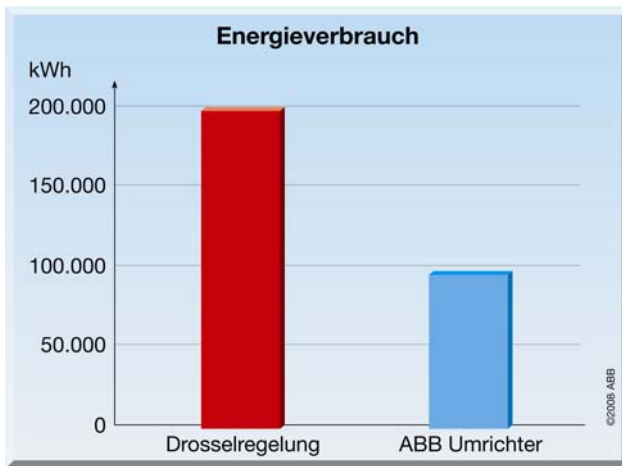
**Bild 4** Elektronisch drehzahlgeregelte Antriebe bieten ein bedeutendes Energie-Einsparpotenzial

#### 3.2.1 Einfache Software-Tools zur Berechnung des Einsparpotenzials

Die Einsparpotenziale durch elektronisch drehzahlgeregelte Antriebe bei einzelnen Motorapplikationen können heute durch moderne Software-Tools recht genau bestimmt werden. Einfach handhabbare Software-Tools erlauben beispielsweise den Vergleich des Energieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emission sowie der Energiekosten verschiedener gängiger direkter Durchflussregelungsverfahren bei Pumpen und ermöglichen es dem Anwender, die potenziellen Energieeinsparungen vorab zu berechnen. Am Beispiel von „PumpSave“, einem Tool zur Berechnung der Energie-Einsparpotenziale bei Pumpen, soll dies beschrieben werden.

Mit „PumpSave“ kann man die möglichen Energieeinsparungen berechnen, die sich durch den Einsatz eines drehzahlgeregelten Antriebs mit Frequenzumrichter im Vergleich zu anderen Pumpenregelungsverfahren ergeben. Der Anwender wählt das Regelungsverfahren, das mit einem drehzahlgeregelten Antrieb verglichen werden soll aus. Die Eingabedaten beinhalten verschiedene physikalische Konstanten sowie andere Daten, die für die jeweilige Pumpenapplikation von Bedeutung sind.

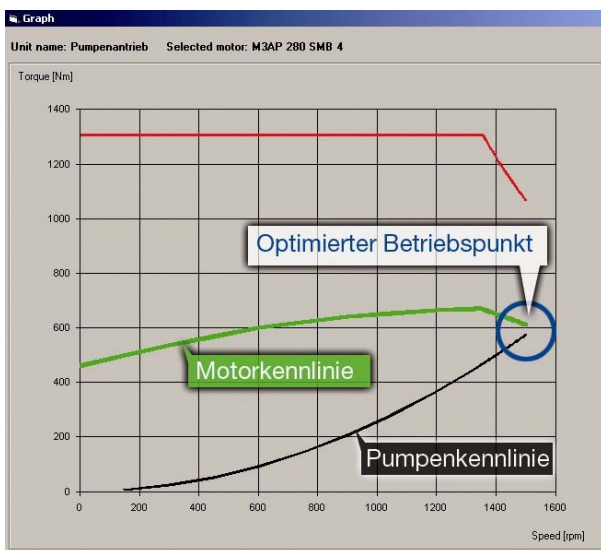
Als Ergebnisse der Berechnungen erhält der Benutzer den geschätzten jährlichen Energieverbrauch für den elektronisch drehzahlgeregelten Antrieb und für das gewählte konventionelle Durchflussregelungsverfahren ebenso wie die jährliche Energieeinsparung, die mit einem drehzahlgeregelten Antrieb erzielt werden kann (**Bild 5**). „PumpSave“ ermittelt außerdem die Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen infolge des niedrigeren Stromverbrauchs und gibt Auskunft über die Amortisationsdauer für den Kauf eines Frequenzumrichters im Vergleich zum alternativen Durchflussregelungsverfahren. Bei dem konkreten Beispiel einer 45-kW-Pumpe mit Drosselklappenregelung im Vergleich zur Regelung mit Frequenzumrichter ergibt sich das beachtliche Einsparpotenzial von 108.000 kWh, 54 t CO<sub>2</sub> und 8600 EUR pro Jahr. Die Amortisierungszeit beläuft sich auf nur 0,7 Jahre.



**Bild 5** Das Software-Tool „PumpSave“ zeigt den Energieverbrauch verschiedener Pumpen-Regelungsverfahren

### 3.2.2 Richtige Antriebsdimensionierung als erster Schritt zur Energieeinsparung

Die Antriebsdimensionierung trägt wesentlich dazu bei, den Wirkungsgrad des Systems zu erhöhen. Der Motor und der Frequenzumrichter sollten möglichst voll ausgenutzt werden. Im Teillastbetrieb, d. h. bei überdimensionierten Antrieben, verringert sich der Wirkungsgrad und die Verluste werden höher. Eine genaue Dimensionierung lässt sich mit dem PC-Softwaretool DriveSize von ABB einfach und schnell erledigen. Dieses Tool schlägt den optimalen Motor und Frequenzumrichter basierend auf den eingegebenen Lastdaten vor und berechnet zusätzlich den Wirkungsgrad und die Verluste. Die Kurven in **Bild 6** zeigen die Ergebnisse der Optimierung. Die schwarze Kurve stellt die vorgegebene Pumpenkennlinie dar, die grüne Kurve die Belastbarkeit des ausgewählten Motors. Im Nennpunkt der Pumpe wird der Motor optimal ausgenutzt, wodurch ein hoher Wirkungsgrad resultiert.



**Bild 6** Optimierte Auslegung eines Pumpenantriebs mit DriveSize

### 3.2.3 Intelligente Frequenzumrichter-Energiespar-Funktionen

Eine Software im Frequenzumrichter für eine intelligente Pumpenregelung (Intelligent Pump Control) ermöglicht es, zusätzliches Einsparpotenzial auszuschöpfen. Unter den vielseitigen Funktionen dieser Software sind im Hinblick auf die Energieeinsparung besonders die Mehrpumpenregelung, die Schlaf-Funktion und die Energiesparfunktion zu erwähnen.

Die Mehrpumpenregelung sorgt dafür, dass die verschiedenen Pumpen nahezu an ihrem optimalen Betriebspunkt arbeiten. Dazu kommt, dass in einer Anlage, in der der Verbrauch beispielsweise während des Tages höher ist, der Antrieb so programmiert werden kann, dass tagsüber Pumpen mit größerer Kapazität laufen und nachts die kleineren.

Mit der Schlaf-Funktion wird vor dem Abschalten der Pumpe der Druck oder Wasserstand erhöht. Hierdurch verlängert sich die Ruhezeit der Pumpe mit dem Ergebnis einer Energieeinsparung. Außerdem werden unnötige Starts und Stopps vermieden.

Die Energiesparfunktion regelt den Motor abhängig von seiner Belastung so, dass die Verluste so klein wie möglich gehalten werden.

Auch die Frequenzumrichter-Hardware trägt dazu bei, die unerwünschten Verluste zu reduzieren. So lassen sich die Frequenzumrichter-Lüfter automatisch abschalten, wenn die Modulation der Leistungshalbleiter gestoppt wird oder sogar abhängig von der aktuellen Belastung des Umrichters drehzahlregeln.

Das Design im Hinblick auf die Reduzierung der Verluste und Einsatz neuester Komponenten helfen den Energieverbrauch zu senken.

### 3.2.4 Hoher Wirkungsgrad mit getriebelosen Direktantrieben

Eine weitere Möglichkeit der Energieeinsparung sind gezielte getriebelose Antriebe mit High-Torque, Synchronmotoren oder GMDs (gearless mill drives), wie sie bei Mühlenantrieben in Aufbereitungsanlagen für Erze und Edelmetalle zum Einsatz kommen (**Bild 7**). Dieser getriebelose Direktantrieb mit hohem Drehmoment weist gegenüber den herkömmlichen Motor-Getriebe-Einheiten eine höhere Zuverlässigkeit, geringere Lebenszykluskosten und letztendlich einen höheren Wirkungsgrad auf. Die Technologie führt zu einer deutlichen Verbesserung der Gesamt-Leistung von Erzmühlen und zu Einsparungen bei den Energiekosten, da die vom Getriebe verursachten Wirkungsgradverluste durch Reibung und Verschleiß entfallen. Im Vergleich zu Mühlenantrieben mit Getriebe haben Mühlen mit Direktantrieb einen 1 – 2 % höheren Wirkungsgrad. Auch wenn der Wirkungsgrad des Systems „nur“ um wenige Prozent erhöht wird, addiert

sich diese scheinbare Quantité Négligeable angesichts der langen Laufzeiten dieser Anlagen zu einer beträchtlichen Summe.

ABB installierte bis Ende 2006 weltweit 50 Mühlenantriebe mit einer Gesamtleistung von 520 MW. Durch den besseren Wirkungsgrad und die höhere Mahleffizienz ließen sich mit diesen Antriebssystemen in der Summe rund 100.000 MWh einsparen (Stand Ende 2006). Pro Jahr spart man mit diesen Antrieben 103.000 t CO<sub>2</sub> ein.



**Bild 7** Der Energiebedarf getriebeloser Mühlenantriebe ist um Getriebeverluste verringert

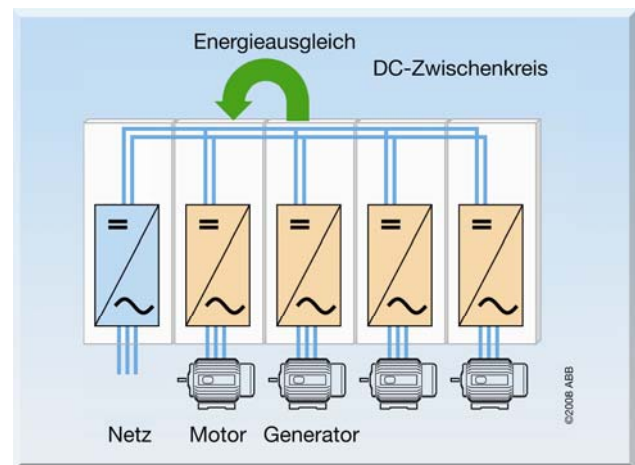
### 3.2.5 Energierückspeisung ins Versorgungsnetz

Rückspeisefähige Frequenzumrichter bieten eine weitere technische Möglichkeit der Energieeinsparung. Diese Geräte besitzen eine aktive, selbstgeführte Einspeiseeinheit anstatt eines passiven Diodengleichrichters von konventionellen Frequenzumrichtern. Sie haben zwei wesentliche Vorteile: Die rückspeisefähigen Frequenzumrichter bieten ein signifikantes Energieeinsparungspotenzial gegenüber anderen Bremsmethoden, wie z. B. mechanischem Bremsen und Widerstandsbremung, da die Bremsenergie in das Netz zurückgespeist wird. Aufgrund ihres hervorragenden Oberschwingungsverhaltens tragen sie außerdem zur qualitativen Verbesserung des Einspeisenetzes bei.

Eine typische Applikation für diese Geräte sind Containerkrane. Rückspeisefähige Frequenzumrichter werden zur schnellen, präzisen und effizienten Regelung der Hebebewegungen der Krane eingesetzt. Die Energieeinsparungen durch den Einsatz dieser Geräte durch Rückspeisung summierte sich beispielweise bei einer Installation in einer Hafenkrananlage auf etwa 190 MWh/Jahr. Dies entspricht einer Minderung des jährlichen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes von rund 95 t/Jahr. Weitere Applikationsbeispiele für rückspeisefähige Frequenzumrichter sind Zentrifugen, Dekanter, Wuchtstände, Prüfstände und Wickler.

### 3.2.6 Energieausgleich mit Multidrive-Frequenzumrichter

Für Anwendungen, bei denen Antriebe eines Systems motorisch und gleichzeitig andere generatorisch betrieben werden, eignet sich besonders ein Frequenzumrichter als Multidrive-Konfiguration (**Bild 8**). Das Multidrive-Konzept zeichnet sich im Wesentlichen durch die Trennung des netzseitigen Gleichrichters (Einspeiseeinheit) von den motorseitigen Wechselrichtern aus. Im Gegensatz zu einem Einzelantrieb werden mehrere Wechselrichter unterschiedlicher Leistung von einer gemeinsamen Einspeiseeinheit über einen DC-Zwischenkreis versorgt. Die Regelung der DC-Spannung erfolgt autark direkt in der Einspeiseeinheit.



**Bild 8** Der Energieausgleich im DC-Zwischenkreis reduziert die Energie-Bereitstellungskosten

Bei einer Multidrive-Konfiguration ist ein direkter Energieausgleich im DC-Zwischenkreis möglich. Die Einspeiseeinheit muss nicht auf die Summe aller Motorleistungen ausgelegt werden, sondern nur auf die tatsächliche Leistung entsprechend der Leistungsbilanz im DC-Zwischenkreis. Die Leistungsbilanz im DC-Zwischenkreis errechnet sich nach folgender Formel:

$$P_{DC} = \sum_{n=1}^N P_{nM} / (\eta_{nM} * \eta_{nW})$$

- $P_{DC}$ : Wirkleistung im DC-Zwischenkreis
- $P_{nM}$ : Wellenleistung des n-ten Motors
- $\eta_{nM}$ : Wirkungsgrad des n-ten Motors
- $\eta_{nW}$ : Wirkungsgrad des n-ten Wechselrichters
- $N$ : Anzahl Wechselrichter am DC-Zwischenkreis

Entscheidend ist, dass die generatorische Motorleistung bei der Betrachtung mit negativem Vorzeichen in die Berechnung eingeht und sich somit die Wirkleistung im DC-Zwischenkreis reduziert.

Der Energieausgleich im DC-Zwischenkreis reduziert die Installationskosten und die Energie-Bereitstellungskosten. Die generatorischen Antriebe kommen ohne Bremswiderstände aus, was zu einer Steigerung des Wirkungsgrades

führt. Ein Beispiel hierfür sind Bandanlagen, in denen sich ein Teil der Antriebe im motorischen Betrieb (z. B. Aufwickler) und der andere Teil sich permanent im generatorischen Betrieb (z. B. Abwickler) befindet.

## **4 Zusammenfassung**

Die steigenden Energiekosten und wachsender politischer Druck zwingen die Unternehmen dazu, sich verstärkt mit energie- und damit kostensparenden Techniken zu befassen. Ein bedeutendes Einsparpotenzial in der Industrie und Automation bieten Motoren mit hohem Wirkungsgrad und mehr noch die elektronische Drehzahlregelung mit Frequenzumrichtern. Moderne Software-Tools tragen mit intelligenten Funktionen dazu bei, Einsparpotenziale zu realisieren.

## **5 Literatur**

- [1] Sonder UMK, Düsseldorfer Erklärung der Umweltministerkonferenz, 22.3.2007; Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
- [2] <http://www.rp-online.de/public/article/politik/ausland/587832/Treibhausgase-bis-2050-halbierten.html>
- [3] Sonderdruck aus ABB Technik 04/2007: Mehr Effizienz für Prozessanlagen
- [4] Energiesparen mit elektrischen Antrieben. ZVEI Automation, Frankfurt am Main, 2006
- [5] Timmer, R., Helinko M., Eskola R.: Effiziente Motoren. antriebspraxis 02/2008, S. 22 – 24