

Umrichter sparen Energie beim Heizen, Lüften und Klimatisieren



Umrichter sparen Energie beim Heizen, Lüften und Klimatisieren (HVAC)

Obering. H. Greiner

"Ungeregelte Pumpen und Lüfter sind geschenkt noch zu teuer" – mit diesem Slogan wird auf den Punkt gebracht, was bei der Planung von Anlagen im Bereich "HVAC" (Heating, Ventilation, Air Conditioning) als Voraussetzung beachtet werden sollte: Bei Anlagen dieser Art machen die Anschaffungskosten nur einen Bruchteil der Betriebskosten aus. Bei richtiger Planung können zwei wichtige Ziele erreicht werden: Kosten reduzieren und Umwelt entlasten.

Aus [1] wird zitiert:

"Neben den ökonomischen Vorteilen für den Betreiber hat der Einsatz energetisch optimierter Antriebssysteme auch eine erhebliche umweltpolitische Bedeutung. Mit dem errechneten Einsparpotential in der Industrie von 18,7 Milliarden kWh/Jahr und einem mittleren CO₂-Ausstoß von 0,59 kg CO₂/kWh (Energemix) im Vergleichsjahr 1997 könnte allein in Deutschland jährlich die Emission von 11 Millionen Tonnen Kohlendioxid vermieden werden."

Im "Environmental Statement" der Danfoss Drives A/S wird errechnet, welche Ergebnisse allein im Bereich HVAC durch den Einsatz von Danfoss-Umrichtern erzielt wurden. Diesem im Bild 1 dargestellten Erfolg ist eine schon 1987 eingeleitete technische Entwicklung, intensive Beratung von Planern und Anwendern sowie die Fortentwicklung der Zuverlässigkeit vorausgegangen. Die Bemühungen hatten einen positiven Effekt sowohl für die Stromrechnung der Kunden wie auch für die Entlastung der Umwelt.

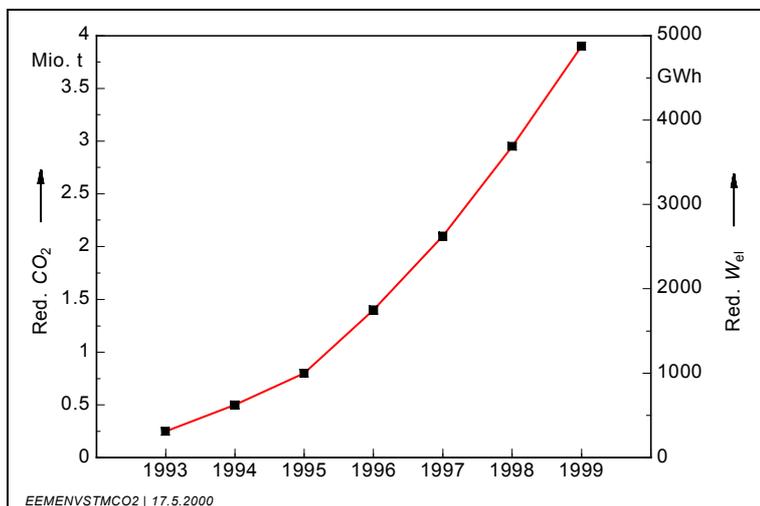


Bild 1
Reduzierung von
Schadstoffausstoß (CO₂) und
Energieverbrauch (W_{ei}) durch den
Einsatz von Danfoss-Umrichtern
im Bereich HVAC

1 Einsparung durch Drehzahlverstellung

So interessant ein Vergleich der Wirkungsgrade von Elektromotoren im Einzelfall auch sein mag: Das entscheidende Potential für eine Energieeinsparung liegt häufig in der Optimierung des Antriebssystems.

Energie sparen durch Drehzahlverstellung – dies scheint zunächst ein Widerspruch, weil keine Art von Drehzahlverstellung zum "Nulltarif" zu haben ist. Auch bei günstigen Voraussetzungen treten bei der Drehzahlverstellung grundsätzlich Verluste auf – bei mechanischen Systemen etwa 5 ... 25 %, bei elektrischen Lösungen für industrielle Anwendung etwa 5 ... 20 %.

Trotz dieser im Antriebssystem begründeten zusätzlichen Verluste kann in vielen Arbeitsmaschinen eine erhebliche Einsparung von Energie erreicht werden, wenn der Prozessablauf durch Änderung der Drehzahl oder Geschwindigkeit optimiert wird.

2 Förderstrom beim Pumpen und Lüften

In einer Studie des Fraunhofer Institut Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI) wird abgeschätzt, dass die Energieverluste beim Betrieb von Pumpen (PUMPEN), Ventilatoren (VENT), Kompressoren (KOMPR) und sonstigen Antriebssystemen (SONST) bei kombiniertem oder gezieltem Einsatz von energiesparenden Elektromotoren (EEM), Drehzahlverstellung (VSD) und entsprechender Systemsteuerung in der Arbeitsmaschine (SYST) um bis zu 50 % abgesenkt werden könnten (Bild 2).

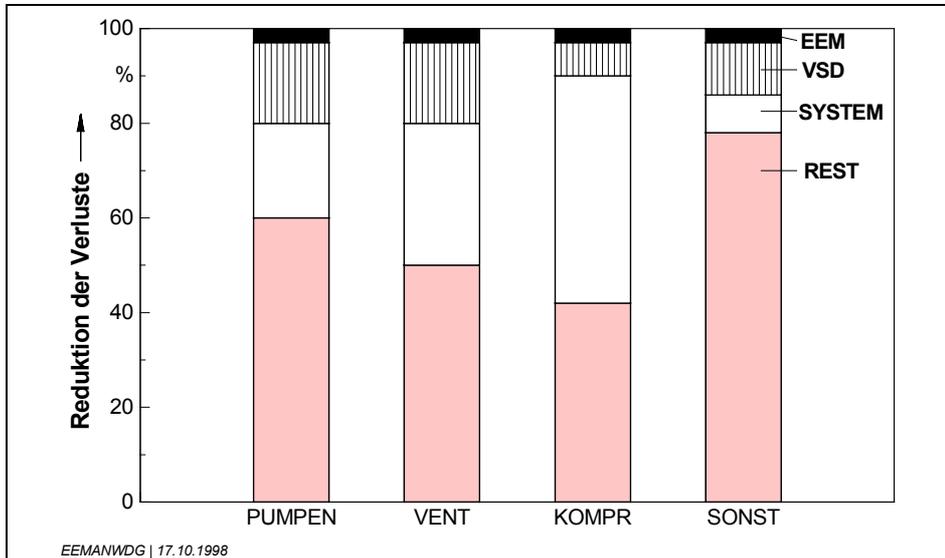
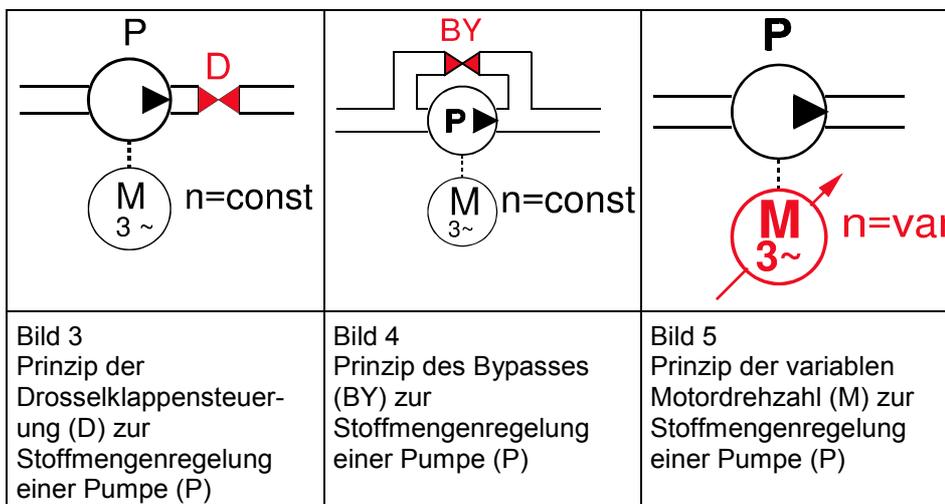


Bild 2 Potential der Verlustminderung (Erläuterungen siehe Text)

Bei vielen industriellen Prozessen werden je nach Produkt und Auslastung der Anlage von einem bestimmten Fördersystem (z. B. Pumpe, Lüfter) unterschiedliche Stoffmengen benötigt. Da der Antrieb für den höchsten Bedarf ausgelegt sein muss, ist die Stoffmenge bedarfsgerecht zu regeln – technisch optimal durch Anpassung der Drehzahl. Solange keine preisgünstigen und wartungsarmen Antriebssysteme für stufenlos verstellbare Drehzahlen zur Verfügung standen und solange Energiekosten und Energieverbrauch noch keine große Rolle spielten, wurde die Stoffmengenregelung auf einfache Weise erzwungen:

- Verstellung von Ventilen, die wie ein erhöhter Gegendruck wirken und den Förderstrom drosseln (**Drosselklappensteuerung**).
- Rückführung der überschüssigen Stoffmenge in den Kreislauf (**Bypass**).



Im Diagramm 6 sind über dem Förderstrom Q die Kennlinien für den von der Pumpe P erzeugten und den von der Anlage A benötigten Druck (Förderhöhe) h dargestellt. Bei fester Drehzahl der Pumpe (z.B. n_1) stellt sich der Arbeitspunkt »1« mit 100 % Förderstrom bei einem Druck h_1 ein. Um einen kleineren Förderstrom – z.B. etwa 70 % – zu erhalten, wird die Drosselklappe verstellt. Die Pumpe

arbeitet am Punkt »2'«; von dem hier erzeugten Druck wird der Teil h_2 in der Anlage benötigt, der Teil Δh fällt im Drosselorgan ab. Die Δh entsprechende Leistung wird als Drosselverlustleistung in Wärme umgesetzt, geht also dem Prozess verloren. Mit einer reduzierten Drehzahl n_2 würde sich der Arbeitspunkt »2« ergeben: Der Druckverlust Δh und der entsprechende Leistungsverlust werden vermieden. das Potential der Energieeinsparung wird aus den Bildern 7 und 8 deutlich, zumal Antriebe dieser Art oft mehrschichtig im Einsatz sind.

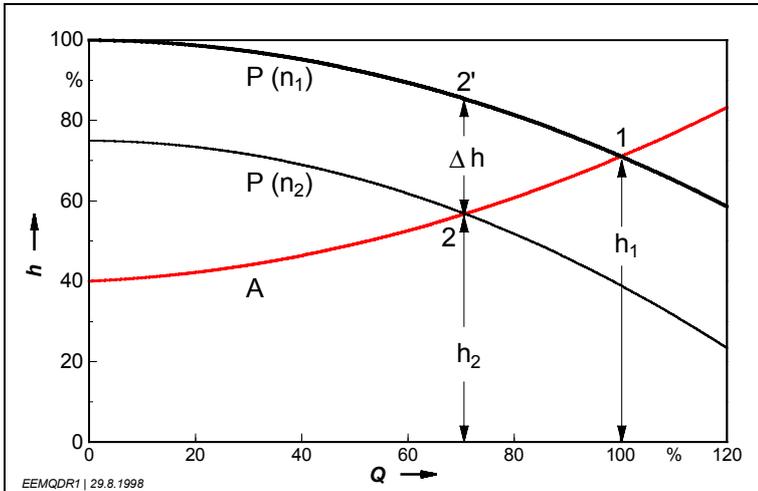


Bild 6
Kennlinien für Druck (Förderhöhe) h über dem Förderstrom Q für die Pumpe P bei Drehzahlen n_1 oder n_2 und für die Anlage A . Druckverlust Δh = Leistungsverlust bei Drosselklappenregelung zur Verminderung des Förderstromes auf etwa 70 %

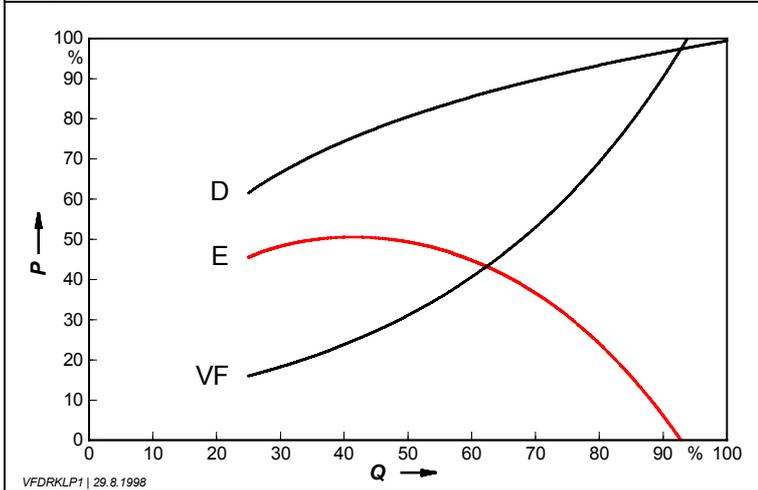


Bild 7
Relativer Leistungsbedarf (P) und Energieeinsparung (E) bei Stoffmengenregelung über Drosselklappensteuerung (D) oder Umrichter motoren (VF)

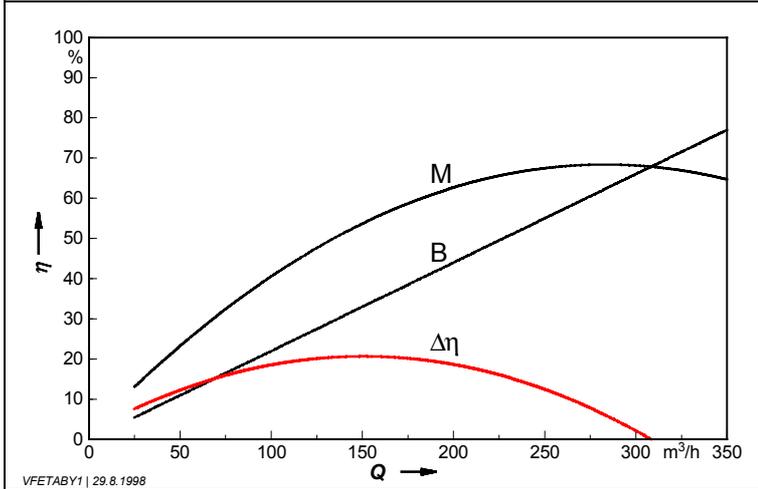


Bild 8
Wirkungsgrad (η) und seine Verbesserung ($\Delta\eta$) bei Stoffmengenregelung über Bypass (B) oder variable Motordrehzahl (M)

3 Anwendungsbeispiel Kühlturm-Ventilator

Die nachfolgende Beschreibung ist eine kurzgefasste Übersetzung aus [3]. Die besonderen Anforderungen an Getriebemotoren zum Antrieb von Kühlturmventilatoren wurden im JEM 2001 ausführlich behandelt.

3.1 Anwendung

Kühlturmventilatoren dienen zur Rückkühlung von Kondensatorwasser in Kühlsystemen. Wassergekühlte Rückkühler sind um 20 % effizienter als luftgekühlte Systeme. Kühltürme kühlen das Wasser nach dem Verdunstungsprinzip. Das Wasser wird oben im Kühlturm auf die Füllstücke (Waben) gesprüht, um dadurch seine Oberfläche zu vergrößern. Der Ventilator saugt unten Luft an und bläst sie durch Füllstücke und Sprühwasser, um so die Verdunstung zu verstärken. Durch die Verdunstung wird dem Wasser Energie entzogen und seine Temperatur wird gesenkt. Das gekühlte Wasser läuft in ein Sammelbecken und wird von dort in den Rückkühler gepumpt; der Kreislauf wiederholt sich.

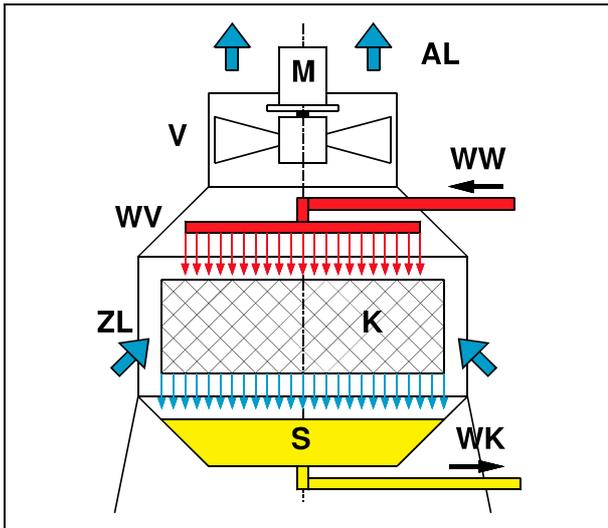


Bild 10
Schema der Wirkungsweise eines Kühlturmes

- M - Motor
- WW - Wasser (warm)
- V - Ventilator
- WK - Wasser (kühl)
- K - Kühleinbauten
- WV - Wasserverteiler
- ZL - Zuluft
- S - Sammelbecken
- AL - Abluft

3.2 "Regelung" über die Einschaltdauer oder Polumschaltung

Mit der Absicht Energie zu sparen und die Regelung zu verbessern, wird bei herkömmlichen Kühlturmantrieben eine Ein/Aus-Steuerung oder Polumschaltung sowie in Einzelfällen eine Flügelradverstellung verwendet. Abhängig von der Temperatur, mit der das Kühlwasser den Kühlturm verlässt, kann der Ventilator gesteuert werden. Um die Schalthäufigkeit und damit die thermische und mechanische Beanspruchung des Antriebes niedrig zu halten, muss ein breites Temperaturband festgelegt werden. Die Beanspruchung des Rückkühlers und die Umgebungstemperatur bestimmen das Betriebsprofil des Kühlturms. Wenn Umgebungstemperatur und Beanspruchung zurückgehen, wird eine niedrigere mittlere Ventilator Drehzahl benötigt.

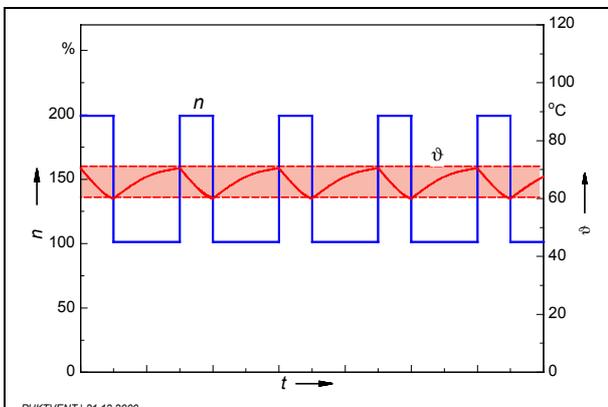


Bild 11
Prinzipieller Verlauf der Drehzahl (n) und der Kühlwassertemperatur (ϑ) bei "Regelung" der mittleren Drehzahl eines 1 : 2 polumschaltbaren Ventilatormotors

3.3 Regelung über Frequenzverstellung

Mit einem Frequenzumrichter kann die Drehzahl der Kühlturmventilators so geregelt werden, dass die benötigte Kühlwassertemperatur eingehalten wird. Da der Einfluss der Ventilator Drehzahl auf den Kühleffekt bei niedrigen Drehzahlen vernachlässigbar klein wird, kann es notwendig sein, eine Mindestdrehzahl von z. B. 40 ... 50 % der Bemessungsdrehzahl einzustellen. Die vom Anwender einstellbare, entsprechende Mindestfrequenz wird auch eingehalten, wenn das Rückführsignal einen niedrigeren Wert verlangt. Wahlweise kann der Antrieb abgeschaltet werden, bis wieder eine höhere Drehzahl benötigt wird. Falls der Ventilator bei bestimmten Drehzahlen Resonanzschwingungen aufweist, können die entsprechenden Frequenzen umgangen werden.

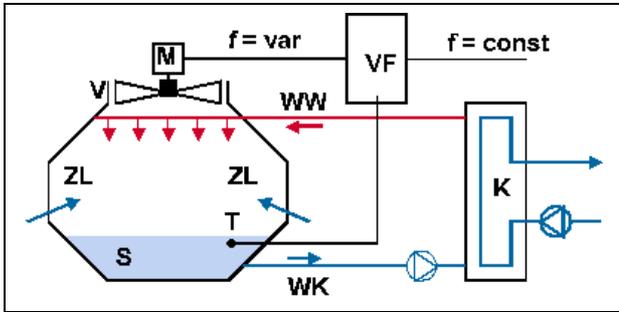


Bild 12
Prinzip der Kühlturmregelung unter Verwendung von umrichter gespeisten Motoren

- VF - Umrichter
- K - Rückkühler
- f - Frequenz
- T - Temperaturfühler

übrige Abkürzungen siehe Bild 10

3.4 Jahres-Lastprofil

Zur Berechnung des Einsparpotentials muss das tatsächliche Lastprofil über dem Verlauf eines bestimmten Zeitraums betrachtet werden. Das Lastprofil zeigt den Durchsatz, den das System benötigt, um während der untersuchten Periode seine Aufgabe zu erfüllen. Bild 13 zeigt ein typisches Lastprofil für einen Kühlturm, wie es für ein übliches System zutrifft. Es kann im Einzelfall je nach Aufstellungsort und Bedingungen abweichen.

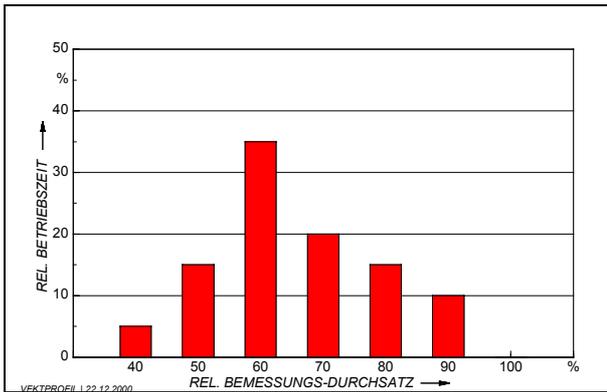


Bild 13
Typisches Lastprofil eines Kühlturms
Relative Betriebszeiten bei verschiedenen relativen Auslastungsgraden

3.5 Berechnung der Energieeinsparung

In der folgenden Berechnung wird angenommen, dass ein Motor mit der Bemessungsleistung von 30 kW mit dem Lastprofil nach Bild 13 betrieben wird. Der Energieverbrauch über eine Betriebszeit von einem Jahr wird berechnet

- für einen polumschaltbaren Motor mit Drehzahlverhältnis 1 : 1,5 (6/4-polig)
- für einen umrichter gespeisten Motor.

Der Vergleich zeigt ein Einsparpotential von fast 50 %.

Durchsatz	Rel. Laufzeit	Laufzeit	Leistungsabgabe		Energieaufnahme	
			PU-Motor	VF-Motor	PU-Motor	VF-Motor
%	%	h	kW	kW	kWh	kWh
40	5	438	12,8	2,67	5606	1169
50	15	1314	12,8	4,83	16819	6347
60	35	3066	12,8	7,85	39245	24068
70	20	1752	30	11,93	52560	20901
80	15	1314	30	17,27	39420	22693
90	10	876	30	24,16	26280	21164
100	0	0	0	0	0	0
gesamt :	100 %	8760 h			179930 kWh	96342 kWh

Einsparpotential : 179 930 – 96 342 = 83 588 kWh

Bei einem Energiepreis von 0,15 DM/kWh (0,075 €/kWh) werden ca. DM 12 500.- (€ 6 250) pro Jahr eingespart.

3.6 Art und Anordnung des Temperaturfühlers

In Kühlturmsystemen der üblichen Bauart sollte der Temperaturfühlers im Sammelbecken (S) oder in der Rückföhrleitung (WK) angeordnet werden. Die optimale Einstelltemperatur ist zu berechnen. Der Wirkungsgrad des RÖckkÖhlers (K) ist umso besser, je niedriger die Temperatur des RÖckwassers (WK) ist. Es ist jedoch der Energieverbrauch des KÖhlers im Vergleich zum KÖhlturm und der RÖckföhrpumpe zu vergleichen, um den Systemwirkungsgrad zu optimieren.

3.7 Vergleich von Installation und Instandhaltung

Die "einfache" LÖsung Polumschaltung ist aufwendiger als es zunÖchst scheint:

Man benÖtigt eine SchÖtzensteuerung, eine Drossel fÖr den RÖckfluss und deren BetÖtigung sowie eine Einrichtung, die ein zu hÖufiges Umschalten des Motors verhindert. Die Drossel in der RÖckflussleitung verursacht Verluste und benÖtigt Wartung.

DemgegenÖber ist der Aufwand fÖr Regelung, Installation und Wartung bei der UmrichterlÖsung auf ein Minimum reduziert; der ist in den letzten Jahre deutlich fallende Mehraufwand fÖr den Umrichter ist durch die betrÖchtlichen Einsparungen bei den Energiekosten bald kompensiert.

Literaturhinweise:

- 1 *Auinger, H.; Blaß, W., Doppelbauer, M.; Eggers, D.; Funke, H.; GÖckel, B.:*
Energiesparen mit elektrischen Antrieben
BroschÖre des ZVEI, Fachverband Elektrische Antriebe; (1999)
- 2 *Greiner, H.:*
Energie sparen mit Getriebemotoren
Sonderdruck SD 3401 der Fa. Danfoss Bauer GmbH, D-73726 Esslingen
- 3 Anwendungstechnische Hinweise auf der Informations-CD "HVACity" der
Fa. Danfoss Antriebs- und Regeltechnik GmbH, D-63073 Offenbach