



Tomi Ristimäki  
Produktmanager

## Energieeffizienz...

### ... durch drehzahlgeregelte Antriebe mit Frequenzumformern

08 | 2008

Aufgrund stetig steigender Energiepreise sind Unternehmen immer häufiger gezwungen auf Energie- und Kosteneinsparungen hinzuwirken. Es verwundert, dass sich Diskussionen in diesem Bereich hauptsächlich um alternative Energiequellen und neue energiesparende Technologien drehen, während bereits bestehenden technischen Lösungen, die Möglichkeiten zu enormen Einsparungen bieten, relativ wenig Beachtung geschenkt wird. Eine bewährte und kostengünstige Lösung ist der Einsatz von Frequenzumformern (FU) zur Drehzahlregelung in Heiz-, Lüftungs- und Klimatisierungsanwendungen (HLK). Nur wenige andere Technologien machen sich wie diese in weniger als einem Jahr bezahlt. Gleichzeitig bietet diese Alternative zahlreiche weitere Vorteile durch eine verbesserte Regelung des HLK-Systems.

### Energieersparnis durch FU-Drehzahlregelung

Volumenstromerzeugende Vorrichtungen wie Ventilatoren, Pumpen und Kompressoren werden nach wie vor oft ohne Drehzahlregelung eingesetzt. Stattdessen wird der Durchfluss auf konventionelle Weise mit Hilfe von Drosseln, Ventilen oder Klappen kontrolliert. Wenn der Volumenstrom jedoch nicht über variable Motordrehzahlen geregelt wird, läuft der Motor kontinuierlich mit voller Geschwindigkeit. Da HLK-Systeme aber nur selten die maximale Durchflussmenge benötigen, verschwendet ein System ohne Drehzahlregelung die meiste Zeit erhebliche Mengen Energie. Eine FU-Motordrehzahlregelung bietet die Möglichkeit einer Energieersparnis von bis zu 70%. Abb. 1 erläutert das grundlegende Prinzip.

# Energieeffizienz...

... durch drehzahlregelte Antriebe mit Frequenzumformern

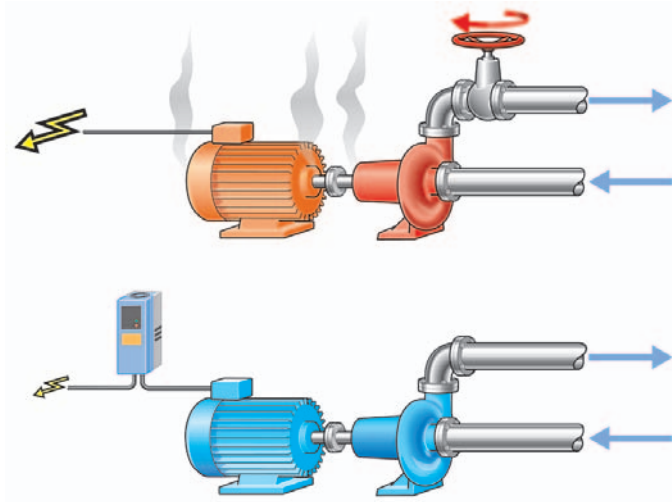


Abb. 1: Prinzip der Energieersparnis durch FU-Drehzahlregelung

## Was ist ein Antrieb mit variabler Frequenz?

Bei den meisten Elektromotoren, die in HLK- und Wasserleitungssystemen eingesetzt werden, handelt es sich um Käfigläufermotoren, auch bekannt als Induktions- oder Asynchronmotoren. Ihre Popularität ist auf den relativ günstigen Preis, geringe Wartungskosten und hohe Zuverlässigkeit zurückzuführen. Die einzige Möglichkeit, die Motordrehzahl zu kontrollieren, besteht bei diesen Modellen jedoch darin, die Frequenz des Eingangstroms (Wechselstrom) zu verändern: Und hier kommt das FU-Prinzip ins Spiel.

Frequenzumformer sind unter vielen Namen bekannt, als Inverter, Variable Speed Drives (VSD), Variable Frequency Drives (VFD), Frequenzumwandler oder Frequenzumformer. All diese Bezeichnungen stehen für dasselbe Prinzip: eine elektronische Vorrichtung zur stufenlosen Drehzahlregelung bei Elektromotoren. Die heutigen VFD-Systeme bieten jedoch noch weitere nützliche Merkmale wie Regelungs- und Schutzfunktionen für andere Komponenten innerhalb des Systems.

## Affinitätsgesetze

Die Beziehung zwischen Variablen wie Druck, Durchflussmenge, Wellendrehzahl und Stromverbrauch kann anhand von Affinitätsgesetzen ausgedrückt werden. Diese gelten sowohl für Radial- als auch für Axialventilatoren und -pumpen (siehe Abb. 2).

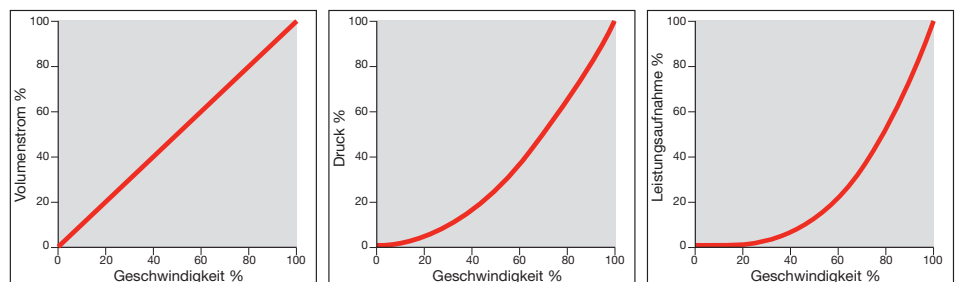


Abb. 2: Die Affinitätsgesetze beschreiben die Beziehung zwischen der Antriebsgeschwindigkeit und anderen Größen.

# Energieeffizienz...

... durch drehzahlgeregelte Antriebe mit Frequenzumformern

Aus diesen Gesetzen lässt sich ersehen, dass der Volumenstrom direkt proportional zur Drehzahl ansteigt, während sich der Druck proportional zum Quadrat der Drehzahl verhält. Der wichtigste Punkt im Hinblick auf die Energieersparnis ist der, dass der Stromverbrauch proportional zur dritten Potenz der Drehzahl ist. Das bedeutet, dass schon eine minimale Reduzierung der Drehzahl zu großen Einsparungen im Stromverbrauch führen kann. So ist z. B. aus Abb. 2 ersichtlich, dass bei 75 % der Drehzahl 75 % der Durchflussmenge erreicht, jedoch nur 42 % des Stromverbrauchs benötigt werden, die für die volle Durchflussmenge erforderlich wären. Wenn der Durchfluss auf 50% begrenzt wird, reduziert sich damit der Stromverbrauch auf 12,5 %.

## Vergleich der Drehzahlregelung mit anderen Methoden der Volumenstromregelung

Andere typische Möglichkeiten der Volumenstromregelung sind:

- **Drosselungen mit Hilfe von Klappen oder Ventilen,**
- **der Einsatz von Einlasschiebern in Radialventilatoren zur Begrenzung des Luftstroms in den Ventilator,**
- **der Einsatz von Viskose- oder Wirbelstromkupplungen zur Regelung des Drehmoments zwischen Ventilator und Motor,**
- **Ein-/Aus-Regelung,**
- **Flügelsteilheitsverstellung bei Axialventilatoren: der Winkel der Ventilatorblätter wird verändert, um den Volumenstrom zu regeln.**

Der Nachteil dieser herkömmlichen Arten der Durchflusskontrolle besteht darin, dass keine davon sich direkt auf den Stromverbrauch auswirkt. Es gibt Möglichkeiten, bei einigen dieser Komponenten den Stromverbrauch zu reduzieren, aber keine davon ist so effizient im Hinblick auf die Energieersparnis wie der Einsatz einer FU-Drehzahlregelung, da der Motor trotzdem auf voller Leistung weiterläuft. Die Ein-/Aus-Regelung verursacht zudem eine hohe mechanische Belastung und Druckspitzen aufgrund der vermehrten Starts und Stopps und der Spitzen in der Stromversorgung, wenn der Motor ohne FU gestartet wird. Abb. 3 vergleicht den Stromverbrauch bei Einsatz von Regelungsventilen oder -klappen mit dem Stromverbrauch beim Einsatz einer Drehzahlregelung.

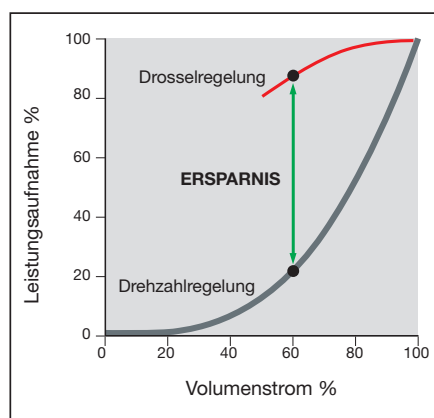


Abb. 3: Vergleich zwischen Drosselkontrolle und Drehzahlregelung mit 60% Durchflussmenge

# Energieeffizienz...

... durch drehzahlgeregelte Antriebe mit Frequenzumformern

## Lastprofil eines typischen HLK-Systems

Ein typisches System ist für die Spitzenlast ausgelegt, die während des Betriebs selten benötigt werden. Das bedeutet also, dass Ventilatoren und Pumpen für einen Großteil ihrer Betriebszeit „überdimensioniert“ sind. Abb. 4 zeigt, dass der normale Betriebspunkt eines HLK-Systems meist unter der 100 %-Auslastung liegt. Vor dem Hintergrund der Affinitätsgesetze könnten erhebliche Einsparungen erzielt werden, wenn die Drehzahl des Antriebsmotors für Pumpe bzw. Ventilator regelbar wäre. Die Abbildung unten zeigt auch, dass die Durchflussmenge während mehr als 90% der Betriebszeit unter 70 % liegt.

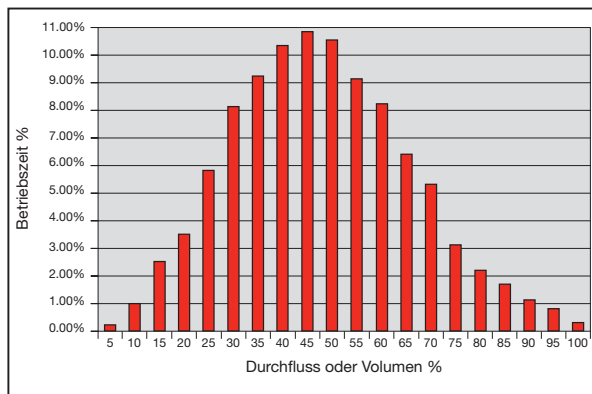


Abb. 4: Typisches Lastprofil eines HLK-Systems. Quelle: UK Department of Trade and Industry.

## Lebenszykluskosten von Ventilatoren bzw. Pumpen

Der Kaufpreis ist nur ein kleiner Teil der gesamten Lebenszykluskosten von Ventilatoren und Pumpen. Wartung macht einen erheblichen Teil der Kosten aus, der Großteil der Betriebskosten ergibt sich jedoch aus dem Energieverbrauch. Abb. 5 stellt die typischen Lebenszykluskosten einer Pumpe dar. Hier wird deutlich, dass Energieeinsparungen in Höhe von bis zu 70% erhebliche Auswirkungen auf die Lebenszykluskosten haben. Die typischen Lebenszykluskosten für Ventilatoren sind übrigens den hier für Pumpen gezeigten sehr ähnlich.

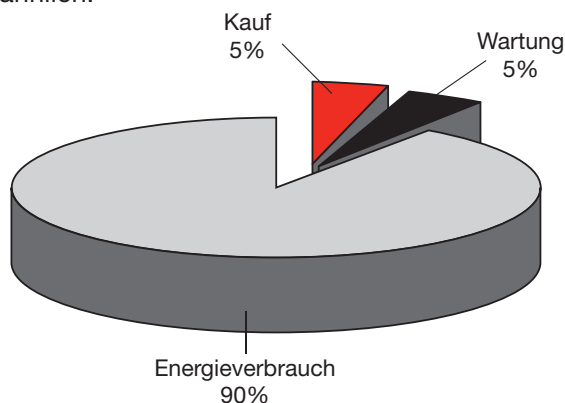


Abb. 5: Typische Lebenszykluskosten bei Pumpen. Quelle: Hydraulic Institute [www.pumps.org](http://www.pumps.org)

## Energieeffizienz...

... durch drehzahlgeregelte Antriebe mit Frequenzumformern

### Spezialfunktionen zur weiteren Energieersparnis

Die Baureihe NX von Honeywell bietet Funktionen, die den Energieverbrauch von Pumpen und Ventilatoren optimiert. Normalerweise arbeiten FU-Systeme auf der Grundlage eines direkt proportionalen Frequenz-Spannungs-Verhältnisses. Das bedeutet, dass sich bei Erhöhung der Frequenz/Drehzahl des Motors um 10% auch die Spannung um 10 % erhöht. Die FUs der Baureihe NX von Honeywell verfügen über eine Automatikfunktion, die so genannte „Flux-Optimierung“, die den Spannungslevel durch Anpassung dieses Verhältnisses optimieren kann. Diese Funktion kann zu einer zusätzlichen Energieersparnis von bis zu 5 % führen.

Außerdem verfügt die gesamte Produktreihe über die Möglichkeit, den eigenen Kühlventilator auszuschalten, wenn er nicht benötigt wird. Dies führt zu einer weiteren geringen Energieersparnis und verlängert die Lebensdauer des einzigen beweglichen Teils im FU.



Abb. 6: Honeywell Baureihe NX (von links): NXL Compact, NXL HVAC und NXS.

### Energieeinsparungen in der Praxis

Wie bereits zuvor erläutert, sollten die Einsparungen durch FUs bei der Bewertung von Kosten und Amortisationszeiten berücksichtigt werden. Die Honeywell-Berechnungsprogramme für das Ersparnispotenzial von Ventilatoren und Pumpen bieten Ihnen bei der Bewertung Ihrer Einsparungsmöglichkeiten bei Investitionen in FUs wertvolle Hilfestellung. Die Berechnungsprogramme stützen sich im Vergleich auf die gebräuchlichsten herkömmlichen Regelungsverfahren wie die Durchflussregelung mit Hilfe von Drosselklappen für Ventilatoren oder Ventilen und Ein-/Aus-Regelungen für Pumpen. Abb. 7 zeigt die Startansicht des Honeywell Ersparniskalkulators für Ventilatoren.

# Energieeffizienz...

... durch drehzahlgeregelte Antriebe mit Frequenzumformern

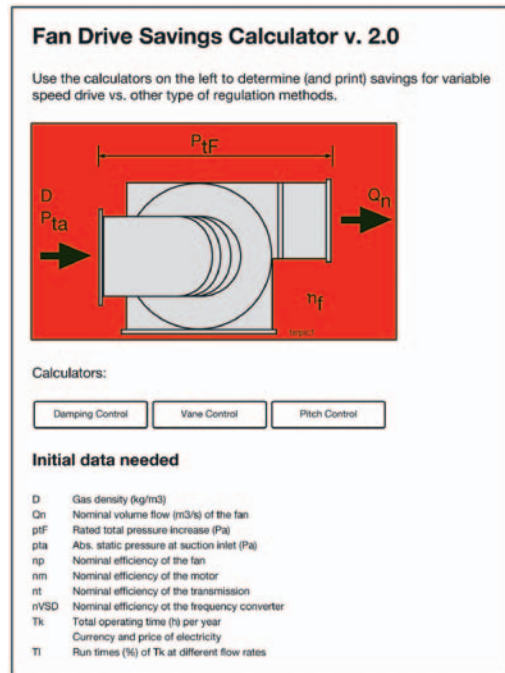


Abb. 7: Honeywell Ersparniskalkulator für Ventilatorantriebe

## Energieeinsparungen bei Ventilatoranwendungen

Das Beispiel zeigt die Ersparnisberechnung für einen typischen 5,5 kW-Radialventilator in einer Luftaufbereitungsanwendung; verglichen wird die Durchflussregelung mittels Drosselklappen mit einer Drehzahlregelung über den Honeywell FU.

Für die Kalkulation werden zunächst folgende Daten benötigt:

- Daten des eingehenden Gases: Bei einer HLK-Anwendung kann man es hier bei den Standardwerten belassen, da es sich um Luftumwälzung handelt.
- Daten des Ventilators: Nennvolumenstrom und der Nenndruckanstieg sind aus dem Datenblatt des Ventilators ersichtlich.
- Effizienz:
  - Verwenden Sie nach Möglichkeit reelle Werte; andernfalls liefern Standardwerte gute Schätzungen.
  - Der vorliegende Ventilator verfügt über einen Direktantrieb, die Übertragungseffizienz liegt also bei 1.
  - Honeywell FUs liegen normalerweise bei einer Effizienz von 0,98.
- Als Energiepreis sollte der tatsächliche Preis eingegeben werden, um eine möglichst präzise Kalkulation zu erhalten.
- Die Betriebsstunden pro Jahr werden immer geschätzt. Diese Kalkulation geht von einer Nutzung von 80% pro Jahr mit typischen Betriebszyklen für Luftaufbereitungsanwendungen aus.
- Bei der Kostendifferenz in dieser Kalkulation handelt es sich um die geschätzte Differenz für ein FU und ein Drosselklappensystem dieser Größe.

# Energieeffizienz...

... durch drehzahlgeregelte Antriebe mit Frequenzumformern

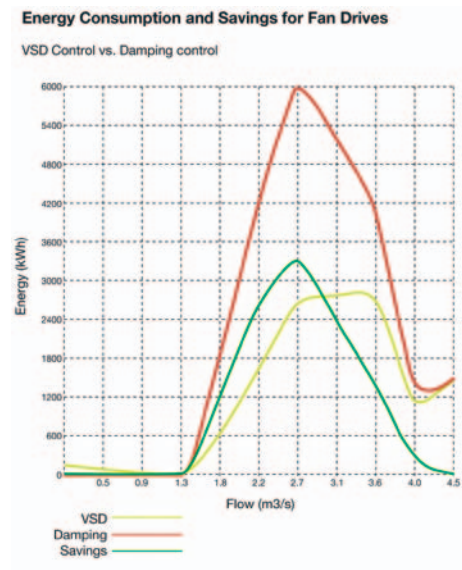


Abb. 8: Kalkulation der Energieersparnis bei einem 5,5 kW-Ventilator mit dem Honeywell Ersparniskalkulator

**Die Berechnung ergibt ein jährliches Einsparungspotenzial bei den Energiekosten in Höhe von 992 Euro und eine Amortisationszeit von 0,65 Jahren für die Investition in ein FU-System.**

## Kosteneinsparungen bei kleinen FUs in Pumpenanwendungen

Im Folgenden finden Sie eine Grobkalkulation zum Vergleich der Investitionskosten eines direkt angeschlossenen und FU-kontrollierten Pumpensystems.

**Alternative 1**, Direkt angeschlossene Pumpe (DOL = Direct Online):

Pumpe und Motor (~3 kW)	1000 Euro
Installation	1000 Euro
Gesamtkosten DOL:	2000 Euro
Energieverbrauch über 15 Jahre	
Verbrauch mit DOL	394 200 kWh
<b>Energiekosten mit DOL (9 Cent/kWh)</b>	<b>35.478 Euro</b>

**Alternative 2**, Lösung mit VFD:

Pumpe und Motor (~3 kW)	1000 Euro
VFD	800 Euro
Installation	1200 Euro
Gesamtkosten mit VFD:	3000 Euro
Energieverbrauch über 15 Jahre	
(bei geschätzter Energieersparnis von 30%)	
Verbrauch mit VFD	275.940 kWh
<b>Energiekosten mit VFD (9 Cent/kWh)</b>	<b>24.834 Euro</b>

# Energieeffizienz...

... durch drehzahlgeregelte Antriebe mit Frequenzumformern

<b>Energieersparnis über 15 Jahre:</b>	<b>118.260 kWh</b>
<b>Energiekostensparnis über 15 Jahre:</b>	<b>10.643 Euro</b>
<b>Energiekostensparnis für 1 Jahr:</b>	<b>709 Euro</b>

## Zusammenfassung

Der Einsatz von Frequenzumformern zur Drehzahlregelung von Strömungsmaschinen wie Pumpen, Ventilatoren und Kompressoren ist keine neue Idee. Die neuen Technologien in diesem Bereich machen diese Alternative aufgrund der geringeren Kosten jedoch noch attraktiver. Der Einsatz von Elektromotoren mit variabler Drehzahlregelung in HLK-Systemen bietet ein großes Energiesparpotenzial. Diese Technologie ist daher in der Lage, einen wesentlichen Beitrag zur Einhaltung lokaler und internationaler Abkommen und Normen im Bereich der Energiesparpolitik und der Senkung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes zu leisten.

Autor: Tomi Ristimäki  
Produktmanager

## Automation and Control Solutions

Honeywell GmbH  
Böblinger Straße 17  
D-71101 Schönaich/Germany  
Tel. 07031 637 01  
Fax 07031 637 493  
<http://ecc.emea.honeywell.com>

**Honeywell**