

Beispiele verschiedener Anwendungsfälle

# Verfahren der Drehzahlveränderung von Ventilatoren in der Kältetechnik

Jürgen Albig, Künzelsau

Verschiedene Arten der Drehzahlveränderung von Ventilatoren erlauben eine anwenderorientierte Effizienzsteigerung bei Axialventilatoren in der Kältetechnik. Über die Wirtschaftlichkeit eines Ventilators entscheiden neben dem Wirkungsgrad des Antriebsmotors auch die Investitionskosten der möglichen Systeme zur Drehzahlveränderung. Der eigentliche Ventilatorwirkungsgrad bleibt bei dieser Betrachtung unberücksichtigt. Es werden die in der Lufttechnik am häufigsten verwendeten Systeme Spannungssteuerung, Frequenzsteuerung und die EC-Technologie gegenübergestellt.

Um für den Bedarfsfall das optimale Ergebnis mit geringstem Aufwand zu erzielen, muss schon im Vorfeld eine geeignete Lösung ausgewählt werden. Dazu müssen aber auch die Vor- und Nachteile der jeweiligen Lösung, abhängig von der Anwendung, bekannt sein. Beispielhaft wird nachfolgend für verschiedene Applikationen eine Empfehlung vorgestellt; die beschriebenen Systeme zur Drehzahlveränderung werden hinsichtlich ihres Antriebswirkungsgrades und der Investitionssumme verglichen.

Über die Wirtschaftlichkeit eines Ventilators entscheiden neben dem Wirkungsgrad vor allem die während der Gesamtlaufzeit anfallenden Betriebskosten einschließlich der Investitionskosten. Innerhalb dieser Bewertung sind erfolgsversprechende Optimierungen im Detail möglich, vor allem durch das Anpassen der Förderleistung mit dem für die Anwendung optimierten Verfahren zur Drehzahlveränderung der Antriebsmotoren.

## Antriebssysteme

Bei vielen Ventilatoren lässt sich die Drehzahl durch eine elektronische oder transformatorische Spannungsabsenkung reduzieren. Bei einer Drehzahlsteuerung über den elektronischen Phasenanschnitt ist zu beachten, dass die elektromagnetischen Anre-

gungen im Motor zu Resonanzen und damit zu störenden Geräuschen führen können.

Die Drehzahlsteuerung über Frequenzumrichter überzeugt häufig durch ein optimales Preis-Leistungs-Verhältnis bei äußerst geräuschem Betrieb. Der Einsatz dieser Technik ist bei fast allen



Bild 1 Frequenzumrichter Fcontrol (Typen FXDM) für die geräuschlose und wirtschaftliche Drehzahlregelung von 3- Motoren, vorzugsweise Ventilatoren

### zum Autor

Jürgen Albig,  
Leiter Produktmanagement  
Ziehl-Abegg AG,  
Künzelsau



Asynchronmotoren möglich. Marktübliche Frequenzumrichter ohne allpoligen Sinusfilter sind wegen des hohen Ausfallrisikos bei der Motorwicklung für den Parallelbetrieb von Standardmotoren nur eingeschränkt geeignet. Werden solche Frequenzumrichter, wie bei Ventilatoren häu-

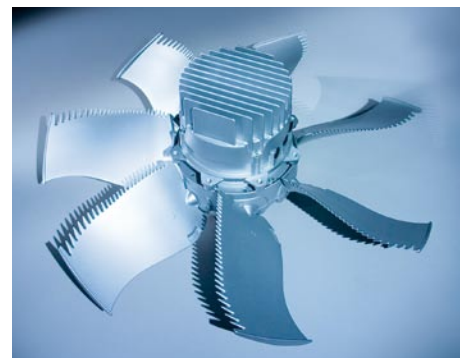


Bild 2 Axialventilatoren aus dem Hause Ziehl-Abegg mit integrierter Leistungs- und Steuerelektronik. Ein höchst effizientes und äußerst platzsparendes Ventilatorsystem inklusive Regel-elektronik

Ausführung des Motors	Motorwirkungsgrad
Spannungssteuerbarer Asynchronmotor	75–77 %
Standard Asynchronmotor	80–85 %
Asynchronmotor mit Kupferrotor	87%
EC-Motor mit Hartferitt-Magneten	88–90 %
EC-Motor mit Neodym-Eisen-Bor-Magneten	90–92 %

Tabelle 1 Vergleich der verschiedenen Motorwirkungsgrade bei 2,2 kW, 4-polig

Als Vortrag gehalten anlässlich der Deutschen Kälte-Klimatagung des DKV am 24. November 2006 in Dresden.

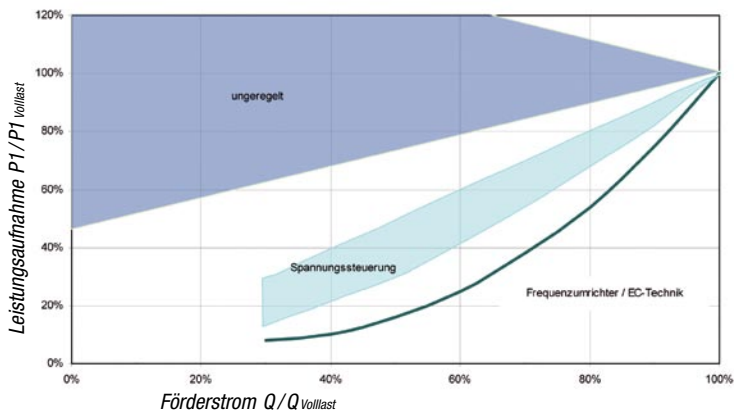


Bild 3 Leistungs-aufnahme bei unterschiedlichem Förderstrom [1]

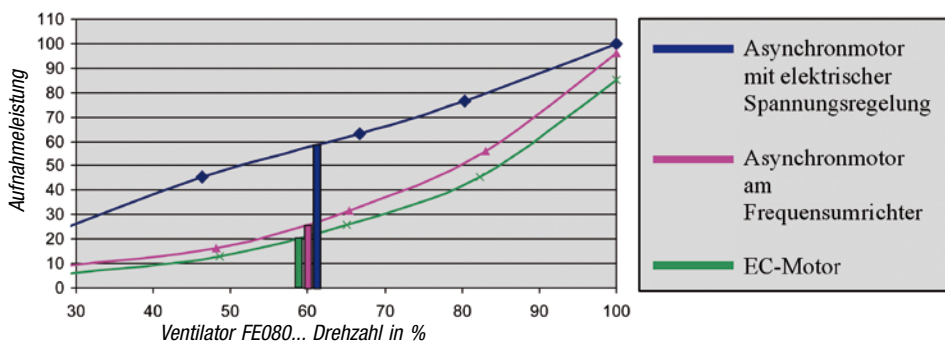


Bild 4 Leistungsaufnahme bei definiertem Betriebspunkt [2]

	Leistungsaufnahme $P_1$ [kW] des Antriebs			
	30 % Förderstrom	50 % Förderstrom	70 % Förderstrom	90 % Förderstrom
Ventilator mit Asynchronmotor	$0,09 \times P_{1max}$	$0,17 \times P_{1max}$	$0,38 \times P_{1max}$	$0,75 \times P_{1max}$
	0,23 kW	0,44 kW	0,99 kW	1,96 kW
Ventilator mit EC-Motor	$0,09 \times P_{1max}$	$0,17 \times P_{1max}$	$0,38 \times P_{1max}$	$0,75 \times P_{1max}$
	0,22 kW	0,42 kW	0,94 kW	1,85 kW
Standard-Asynchronmotor:	$P_{1max} 2,61 \text{ kW}$			
EC-Motor:	$P_{1max} 2,47 \text{ kW}$			

Tabelle 2 Leistungs-aufnahme des Antriebs, Motorleistung 2,2 kW, 4-polig [1]

fig der Fall, bei Taktfrequenzen > 8–10 kHz eingesetzt ist eine Reduzierung der Lagerlebensdauer aufgrund des Common Mode Effektes (Lagerströme) zu erwarten bzw. es sind Zusatzmaßnahmen wie der Einsatz von Hybridlagern vorzusehen.

Durch den Einsatz eines Frequenzumrichters mit integriertem oder externem allpoligen Sinusfilter können jederzeit Standardmotoren zum Einsatz kommen, die bei kleineren Motoren z. B. mit Kunststoffklemmenkasten ausgestattet sind. Zudem kann man vor allem bei Anwendungen, bei denen mehrere Ventilatoren parallel an einem Frequenzrichter betrieben werden, durch den Wegfall einer geschrümmten Motorleitung erheblich Kosten sparen, so dass der Mehrpreis dieser Frequenzrichter häufig

bei einer Gesamtbetrachtung keine Mehrkosten für die Gesamtanlage bedeutet.

Für Ventilatoren, die einzeln an einem Frequenzrichter betrieben werden, bietet es sich an, bereits im Motor integrierte Frequenzrichter zu verwenden. Die integrierten Lösungen bieten in vielen Fällen Vorteile bezogen auf den Preis bzw. auf den Einbauraum.

Bei der Drehzahlsteuerung eines Ventilators mit EC-Motor bietet dieser, zusammen mit dem auf die Motorcharakteristik abgestimmten EC-Controller, den höchsten Wirkungsgrad bei ebenfalls äußerst geräuscharmem Betrieb. Bei Ausfall der für jeden EC-Motor erforderlichen EC-Elektronik ist kein Netzbetrieb möglich. Ebenso ist es nicht möglich mehrere Motoren an

einer Elektronik parallel zu betreiben. EC-Motoren werden heute üblicherweise mit Hartferitt oder Neodym-Eisen-Bor-Magneten ausgestattet. Die etwas teureren Magnete aus dem Werkstoff Neodym-Eisen-Bor repräsentieren den höchsten Stand der Technik und erreichen einen höheren Gesamtwirkungsgrad als das üblicherweise verwendete Standardmagnetmaterial.

### Motorwirkungsgrade

Mit entscheidend für die Leistungsaufnahme des Ventilators ist neben der Drehzahlregelung auch die Ausführung des Motors. Die folgenden Erfahrungswerte beziehen sich auf einen 4-poligen Motor mit einer Leistung von ca. 2,2 kW Drehstrommotoren mit weicher Kennlinie lassen sich sowohl über die Frequenz als auch über die Spannung in ihrer Drehzahl steuern. Dabei wird ein Wirkungsgrad von 75–77% erreicht. Bei Motoren mit harter Kennlinie ist dies nur über die Frequenz möglich. Dabei wird ein Wirkungsgrad von 80–82% erreicht. Motoren mit einem Kupferrotor sogar bis zu 87%. Permanenterrregte elektronisch kommutierte Motoren überzeugen mit den höchsten Wirkungsgraden von 88–90%.

### Leistungsaufnahme bei unterschiedlichem Förderstrom

Innerhalb der Wirtschaftlichkeitsrechnung beeinflusst das Drehzahlsteuerverfahren und vor allem der Betriebspunkt das Ergebnis maßgeblich. Aus Bild 3 geht hervor, dass es, wenn man die Leistungsaufnahme auf 100% der Nennleistung des jeweiligen Ventilators bezieht, keine Unterschiede bei der prozentualen Leistungsreduzierung bei Frequenzrichterbetrieb oder der EC-Technologie gibt. Die Unterschiede ergeben sich nur durch die unterschiedlichen Leistungsaufnahmen bei 100%. Die Reduzierung der Leistungsaufnahme bei Spannungssteuerung ist deutlich geringer als bei den anderen beschriebenen Systemen, aber auch hiermit lassen sich gegenüber einem ungeregelten System noch erhebliche Einsparungen darstellen.

Bei näherer Betrachtung der Systeme Frequenzrichter und EC-Technologie wird auch ersichtlich, dass vor allem im Teillastbereich von 30–60% des Förderstromes der Motorwirkungsgrad weniger in die Gesamtbetrachtung eingeht, da die Betriebskosten auf einem insgesamt niedrigeren Niveau liegen. Beispielfhaft wurde dieses Verhalten an Kennlinien eines Axialventilators ermittelt wobei hier die tatsächlichen Nennleistungen der bauglei-

Förderstrom	Jährliche Betriebsdauer [h]	Leistungsaufnahme $P_1$ [kW]	Jährliche Energieaufnahme (Betriebsdauer X Leistungsaufnahme) [kWh]
30 %	2000	0,23	460
50 %	4000	0,44	1760
70 %	1000	0,99	990
90 %	1000	1,96	1960
gesamt:	8000	-	5170

Tabelle 3 Jährlicher Energieaufwand des Ventilators mit Standard-Asynchron Motor [1]

Förderstrom	Jährliche Betriebsdauer [h]	Leistungsaufnahme $P_1$ [kW]	Jährliche Energieaufnahme (Betriebsdauer X Leistungsaufnahme) [kWh]
30 %	2000	0,22	440
50 %	4000	0,42	1680
70 %	1000	0,96	960
90 %	1000	1,85	1850
gesamt:	8000	-	4910

Tabelle 4 Jährlicher Energieaufwand des Ventilators mit EC-Motor [1]

Ausführung des Antriebssystems	Investitionskosten
Spannungssteuerbarer Asynchronmotor + Spannungsregler extern	75 %
Standard Asynchronmotor + Frequenzumrichter extern	100 %
Standard Asynchronmotor + Frequenzumrichter integriert	90 %
EC-Motor mit Hartferitt-Magneten + EC-Controller integriert	100 %
EC-Motor mit Neodym-Eisen-Bor-Magneten + EC-Controller integriert	110 %

Tabelle 5 Investitionskosten der verglichenen Systeme – Einzelbetrieb

Ausführung des Antriebssystems	Investitionskosten
Spannungssteuerbarer Asynchronmotor + Spannungsregler extern	60 %
Standard Asynchronmotor + Frequenzumrichter extern mit Sinusfilter	100 %
Standard Asynchronmotor + Frequenzumrichter integriert	120 %
Hochwirkungsgrad Asynchronmotor EFF1 Frequenzumrichter extern mit Sinusfilter	110 %
EC-Motor mit Hartferitt-Magneten + EC-Controller integriert	130 %
EC-Motor mit Neodym-Eisen-Bor-Magneten + EC-Controller integriert	140 %

Tabelle 6 Investitionskosten der verglichenen Systeme – Parallelbetrieb (4 Ventilatoren)

chen Ventilatoren mit den jeweiligen Systemen zur Drehzahlveränderung aufgetragen wurden. Aus diesem Vergleich geht hervor, dass der Unterschied in der Aufnahmeleistung lediglich noch bei 5% der installierten Nennleistung liegt und sich daraus resultierend nur geringe Veränderungen in den Betriebskosten ergeben. Diese sind dann vor allem noch von den jeweiligen Laufzeiten abhängig.

### Berechnung der Energieaufnahme eines Ventilators

Die jährliche Energieaufnahme, die für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von hoher Bedeutung ist, ergibt sich durch die Multiplikation der Leistungsaufnahme, welche aus Bild 3 errechnet werden kann, mit der jährlichen Betriebsdauer in der jeweiligen Anwendung. Die Leistungsauf-

nahme wird durch Multiplikation der jeweiligen prozentualen Leistungsaufnahme, die sich auf einen prozentualen Förderstrom bezieht mit der Nennleistungsaufnahme des Ventilators ermittelt.

Vereinfacht kann die Berechnung, wie in den Tabellen 2 bis 4 gezeigt, durchgeführt werden.

### Investitionskosten

Entscheidend für das Gesamtergebnis sind neben den jährlichen Betriebskosten auch die Investitionskosten, bestehend aus den Ventilatoren mit dem dazugehörigen Verfahren zur Drehzahlveränderung.

Hierbei muss bei der Betrachtung der verschiedenen Systeme auch unterschieden werden, ob es sich um eine Anlage handelt, bei der nur ein Ventilator zum Einsatz kommt, oder ob mehrere Ventilatoren gemeinsam in einem identischen Betriebspunkt betrieben werden müssen. Im Fall der Parallelschaltung zieht die Investition in eine separate Leistungselektronik für jeden Ventilator in aller Regel deutlich höhere Kosten nach sich, als der Betrieb dieser mit einem zentralen Frequenzumrichter mit allpoligem Sinusfilter.

### Abschließende Betrachtung / Applikationsbeispiele

Die in den vorherigen Abschnitten vorgestellten Werte für die Leistungsaufnahme und die Investitionskosten wurden jeweils nur als prozentuale Werte angegeben. In der Praxis sind die jeweiligen Anwendungen detailliert zu untersuchen und vor allem hinsichtlich der anfallenden Investitionskosten zu bewerten.

Die nachfolgenden Empfehlungen oder Rückschlüsse sind Beispiele wie diese dem Verfasser in den letzten Jahren aufgefallen sind bzw. welche auch bei vielen Projekten im Einsatz sind. Es ist sicher, dass es in der Praxis Anwendungen gibt, die durchaus mit anderen als den empfohlenen Drehzahlsteuerverfahren erfolgreich im Einsatz sind.

### Kältetechnik:

- Bei Verflüssigern mit parallelgeschalteten Axialventilatoren bei 4 und 6-poligem Motor, die nicht in einer geräuschempfindlichen Umgebung eingebaut sind, reichen häufig elektronische Phasenanschnittsregelgeräte aus.
- Bei Verflüssigern mit parallelgeschalteten Axialventilatoren bei 8, 10 oder 12-poligem Motor sollten grundsätzlich

Frequenzumrichter mit allpoligem Sinusfilter eingesetzt werden. Hier ergibt sich ein optimales Preis-Leistungs-Verhältnis bei sehr gutem Geräuschverhalten.

- Axialventilatoren für Verdampfer werden überwiegend nicht in der Drehzahl geregelt, aber aufgrund der Verlustleistung, die anschließend wieder mit noch höherem Energieaufwand in Kälte gewandelt werden muss, bietet sich hier der Einsatz von Asynchronmotoren mit Kupferkäfigrotor an.
- Für einfache geräuschlich unkritische Anwendungen mit überwiegend niedriger Laufzeit ist eine Drehzahlsteuerung über die Spannung ausreichend.
- Ventilatoren in Einzelbetrieb, die immer über einen einzelnen Drehzahlregler verfügen, werden im Leistungsbereich bis ca. 3 kW idealerweise mit einer im Motor integrierten Leistungselektronik betrieben. Je nach Anwendung kann hier sowohl EC-Technik wie auch ein Asynchronmotor mit Frequenzumrichter zum Einsatz kommen. Im Leistungsbereich größer 3 kW kommen eigentlich nur externe Drehzahlregler zum Einsatz.

### Generelle Aussagen:

- Motoren mit integrierter Leistungselektronik sind ideal bei Einzelantrieben kleiner Leistung und sollten nur dann verwendet werden, wenn bis zu 3 Ventilatoren parallel betrieben werden. Bei 4 oder mehr parallel betriebenen Ventilatoren ist der Einsatz eines externen Drehzahlreglers für alle gemeinsam die bessere Alternative.
- EC-Technik oder geregelte Hochwirkungsgrad-Asynchronmotoren (z. B. mit Kupferrotor) haben Vorteile bei Anlagen mit einer durchschnittlich hohen Motordrehzahl > 70% und langen Laufzeiten > 6000 Stunden/Jahr.
- Asynchronmotoren mit Frequenzumrichter, die bei niedrigen Drehzahlen < 70% und bei Laufzeiten < 6000 Stunden/Jahr betrieben werden, sind aufgrund der niedrigeren Betriebs- und Investitionskosten wirtschaftlicher als hocheffiziente Antriebssysteme.

- Bei unregelmäßigen Anlagen sollten grundsätzlich wirkungsgradhöhere Motoren mit Kupferkäfigrotor eingesetzt werden. EC-Technik scheidet aus, da hier zwingend eine Leistungselektronik benötigt wird, die sich in den Investitionskosten negativ niederschlägt.
- Grundsätzlich erfolgt die größte Einsparung in der Energieaufnahme durch die Tatsache, dass bei einem Ventilator die Drehzahl dem erforderlichen Betriebs-

punkt angepasst wird. Man erreicht hiermit eine größere Einsparung als nur durch den Einsatz von effizienten Motorsystemen. ■

[1] VDI 6014 Richtlinienentwurf: Energieeinsparung durch Einsatz drehzahlveränderbarer Antriebe in der Technischen Gebäudeausrüstung

[2] Ziehl-Abegg, Künzelsau: Broschüre: Ein Systemvergleich verschiedener Verfahren der Drehzahlsteuerung von Ventilatoren in der Kälte- und Klimatechnik