

Elektrizität sparen bei Motoren

Autor(en): **Nipkow, Jürg**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **107 (1989)**

Heft 18

PDF erstellt am: **17.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-77095>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Elektrizität sparen bei Motoren

Elektromotoren sind die gewichtigste Kategorie von Elektrizitätsverbräuchern in der Schweiz. Während die Sparmassnahmen bei Beleuchtungs- und Wärmeanwendungen bereits recht gut bekannt sind, wurde der Bereich «Motoren/mechanische Arbeit» in den meisten Energiekonzepten bisher noch sehr zurückhaltend bearbeitet. Der vorliegende Artikel möchte hierfür Grundlagen und praktische Hinweise vermitteln. Er beruht auf einem umfangreicheren Text im Heft «Elektrizität sparen» der Schriftenreihe des Impulsprogramms Haustechnik des Bundesamtes für Konjunkturfagen.

Bei Elektrizitäts-Sparmassnahmen wird meist in erster Linie an Beleuchtungen (einleuchtend!) und an Wärme (tradi-

VON JÜRG NIPKOW,
ZÜRICH

tionelles Sparobjekt) gedacht, in welchen beiden Bereichen ja bewährte Sparmassnahmen bekannt sind und auch bereits vielseitig ergriffen werden. Elektromotoren dagegen werden in der Regel generell für gute Umsetzer der elektrischen Energie in Nutzenergie, also Kraft, gehalten. Dies trifft zwar für die Motoren vor allem in höheren Leistungsbereichen über etwa 10 kW bei Nennlast zu (vgl. Bild 3). Betrachtet man allerdings kleinere Motoren und vor allem ganze Prozesse des Krafteinsatzes – wobei die Motoren oft in ungünstigen Wirkungsgradbereichen arbeiten – so resultieren häufig viel kleinere Gesamtnutzungsgrade als etwa in der Wärmetechnik üblich!

Die Aufteilung des schweizerischen Elektrizitätsverbrauchs nach Nutzungsart (Bild 1) zeigt augenfällig die Domi-

nanz der Nutzung «Motoren» bzw. mechanische Arbeit.

Bild 2 stellt den Versuch einer Zuordnung des Elektrizitätsverbrauches für mechanische Arbeit zu Leistungsklassen des Motorenbestandes der Schweiz dar. Da keine entsprechenden statistischen Unterlagen existieren, sind Motoren- und Betriebsstundenzahlen als typische Werte so zusammengestellt, dass die Elektrizitätsverbrauchs-Gesamtsumme den Wert der offiziellen Energiestatistik für mechanische Arbeit ergibt. Daher könnten z.T. wesentlich mehr Motoren existieren, aber mit vernachlässigbaren Betriebszeiten. Die Gegenüberstellung mit Wirkungsgradbereichen von Elektromotoren in Abhängigkeit ihrer Leistung (Bild 3) weist darauf hin, dass ein recht grosser Verbrauchsanteil auf Motoren unterhalb 1 kW Nennleistung, mit im Mittel bescheidenem Wirkungsgrad, entfällt. Im kritisch erscheinenden Bereich von etwa 30 bis 500 Watt sind gerade die in der Haustechnik eingesetzten Motoren für kleine Pumpen, Ventilatoren und Klein-Kälteverdichter (Haushalt-Kühlergeräte) zu finden.

Wirkungsgrad verschiedener Elektromotoren

Im Bereich kleiner und kleinster Leistungen fallen die *Spaltpolmotoren* als besonders ungünstig im Wirkungsgrad auf (vgl. Bild 3). Solche finden sich beispielsweise in Kleinventilatoren (sogar bis über 100 W), Laugenpumpen von Haushaltmaschinen, verschiedenen Kleingeräten, wo nur geringes Drehmoment gefordert ist. Im gleichen Leistungsbereich liessen sich auch *Einphasen-Kondensatormotoren* mit viel besserem Wirkungsgrad einsetzen, welche allerdings teurer sind (2 Wicklungen, Kondensator).

Nochmals höhere Wirkungsgrade erzielen *Gleichstrommotoren mit Spezial-Permanentmagneten*; die höchsten Werte werden mit Seltene-Erde-Magneten erreicht, wodurch diese Motoren allerdings recht teuer werden. Wo sehr guter Wirkungsgrad (oft auch wegen Abwärmeproblemen) und hohe Leistungsdichte nebst Wartungsfreiheit gefordert sind, z.B. in Servoantrieben, kommen auch bürstenlose Spezial-Gleichstrommotoren zum Einsatz. Die Steuerelektronik dieser Motoren ersetzt nicht nur das Verschleissstück «Bürste», sondern erlaubt gleichzeitig stufenlose Drehzahlregelung.

Der grösste Teil des Elektrizitätsverbrauchs für mechanische Arbeit wird von *Drehstrom-Normmotoren* (Asynchronmaschinen ASM) verbraucht. Bis etwa 2 kW Nennleistung sind ASM auch als Einphasenmotoren erhältlich, wobei meist ein Kondensator für die

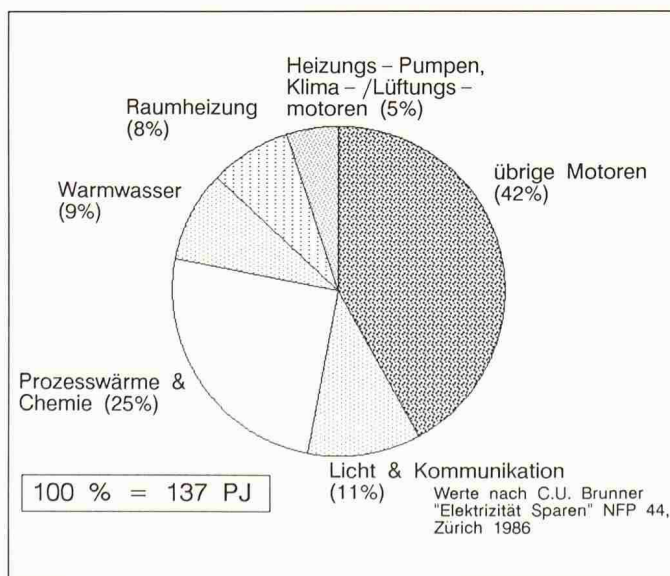


Bild 1. Elektrizitätsverbrauch der Schweiz nach Verwendung

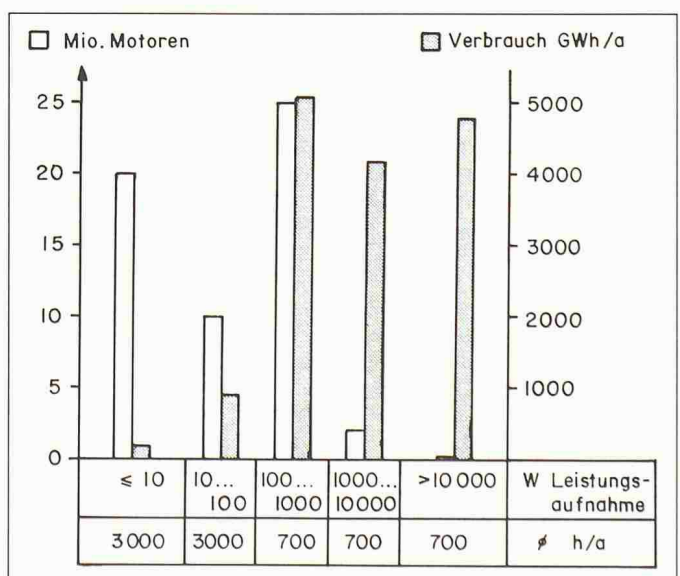


Bild 2. Motorenbestand der Schweiz und Elektrizitätsverbrauch nach Leistungskategorien (vereinfacht, provisorisch)

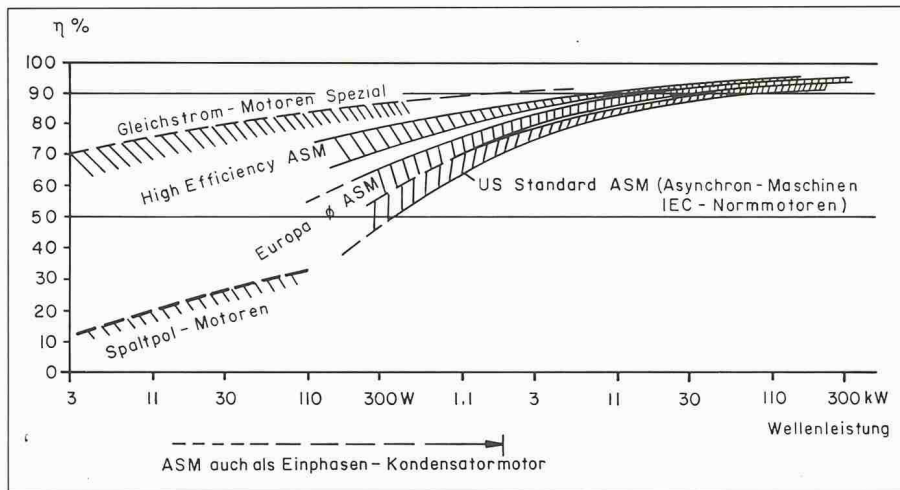


Bild 3. Wirkungsgradbereiche von Elektromotoren (bei Nennlast)

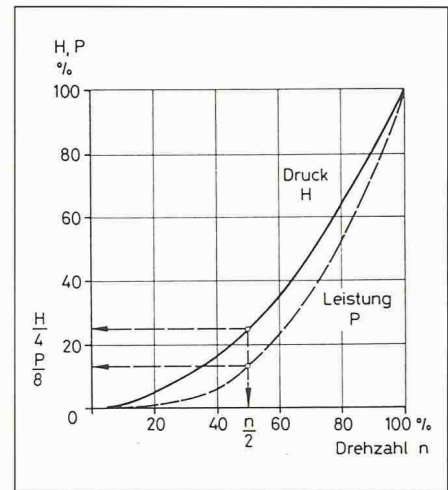


Bild 5. Fördermenge, Differenzdruck und Antriebsleistung bei Kreiselpumpen (Quelle: [2])

notwendige Phasenverschiebung der zweiten Wicklung sorgt.

Standard-Normmotoren weisen zwar in Europa bessere Wirkungsgrade auf als in den USA, jedoch gibt es v.a. im untersten Leistungsbereich teilweise auch hier Motoren mit besonders ungünstigem Wirkungsgrad. Von verschiedenen

Herstellern angebotene Hochwirkungsgrad- oder *High-Efficiency-Motoren* zeigen, was schon mit recht geringem Mehraufwand technisch erreichbar ist; allerdings sind diese Motoren in der Regel etwas grösser und schwerer als Normalausführungen.

Als Motoren-Kategorie ohne nennenswerten Verbrauchsanteil (Ausnahme: Bahnen) seien noch die *Universalmotoren* erwähnt. Sie sind mit Gleich- und Wechselstrom zu betreiben, weisen Kommutierungsbürsten auf und lassen die Drehzahl sehr einfach steuern. Wir finden sie für kleine Leistungen verbreitet in Heimwerkergeräten, Küchen-Kleinmaschinen, Staubsaugern usw.

Grundsätze des elektrizitätssparenden Motoreinsatzes

Auslegung von Elektromotoren

Die für einen Anwendungsfall geeignete Motorenart und -leistung ist grundsätzlich auch unter dem Aspekt des Wirkungsgrades sorgfältig abzuklären:

Überdimensionierung, beispielsweise aus Sicherheitsüberlegungen, führt meist zu schlechtem Betriebswirkungsgrad. Tatsächlich ist heute ein überwiegender Teil aller Elektromotoren – gerade in der Haustechnik – aus verschiedenen Gründen stark überdimensioniert und läuft dementsprechend mit Teillast oder sogar mit energievernichtender Drosselung. In Bild 4 ist der Teillast-Wirkungsgrad einiger Normmotoren dargestellt.

Bei Normmotoren kleinster Leistungen kann allerdings die Wahl eines überdimensionierten Motors trotz Teillast günstig sein, vgl. dazu die drei unteren

Arbeitspunkt-Paare gleicher Wellenleistung in Bild 4. Für Anlagen mit stark unterschiedlicher Last sind u.U. Lösungen mit mehr als einem Motor vorteilhaft.

Pumpen, Ventilatoren

Bei diesen Kreiselpumpen steigt – bei gegebenem angeschlossenem Rohr- oder Kanalnetz – der Leistungsbedarf in der dritten Potenz und die erforderliche Förderhöhe (Differenzdruck) im Quadrat der Drehzahl, während der Förderstrom linear mit der Drehzahl zusammenhängt. Bei gegebenem Rohr- oder Kanalnetz gilt es deshalb, den kleinstmöglichen für den gegebenen Bedarf noch hinreichenden Mediumsstrom zu fördern. *Halbierung der Fördermenge bedeutet Viertelung des Differenzdruckes (Geräuschverminderung!) und – theoretisch – ein Achtel notwendige Antriebsleistung (vgl. Bild 5).*

Zur energiesparenden Anpassung des Förderstromes an den effektiven momentanen Bedarf sind *Drehzahl-Steuergeräte* erhältlich, mit denen die Drehzahl und damit der Förderstrom gesteuert werden kann (z.B. zur Druckdifferenz- oder Temperaturdifferenz-Festwertregelung). Dabei können auch nach Zeitprogramm unterschiedliche Sollwerte berücksichtigt werden. Es gibt folgende Möglichkeiten:

- ☐ Für Spaltrohrpumpen (Kompakt-Umwälzpumpen) und Kleinventilatoren stehen preisgünstige Phasenschnitt-Geräte zur Verfügung.
- ☐ Normmotoren sind mittels Frequenzumrichter zu steuern (verschiedene Typen je nach Anforderung).
- ☐ In Kleinanlagen kann auch eine einfache automatische Drehzahl-Umschaltung (Pol- bzw. Wicklungs-Umschaltung) den Betriebsverhältnissen gerecht werden.

Messtechnik

Die effektive Leistungsaufnahme eines Elektromotors im praktischen Betrieb muss in der Regel gemessen werden, da auch bei rechnerisch exakter Dimensionierung der sich ergebende Arbeitspunkt u.U. recht weit von der errechneten Last liegen kann. Es muss eine echte *Wirkleistungsmessung* vorgenommen werden, da der Cosinus ϕ mit dem Arbeitspunkt ebenfalls stark variiert. Meist genügt einphasige Messung, mit Kontrolle aller drei Phasenspannungen. Nur als grober Richtwert kann eine aus Spannung, Strom und tabellarisch ermittelten Cosinus- ϕ -Werten errechnete Leistungsaufnahme dienen (und nur ohne Drehzahlregelung!).

Bei vielen Motor-Anwendungen lässt sich allerdings ein repräsentativer Arbeitspunkt definieren, welcher einer mittleren Last und Leistungsaufnahme entspricht. Ist dieser Wert bekannt bzw. gemessen, so erhält man den Jahres-Elektrizitätsverbrauch mittels *Betriebsstundenzähler*.

Typenschilder von Normmotoren enthalten die Wellen-Nennleistung, während auf den Typenschildern von Geräten mit Elektromotor (z.B. auch Kompakt-Umwälzpumpen) die Nenn-Leistungsaufnahme angegeben ist (Ausnahme: ältere Pumpen und Kälteverdichter; Angabe in PS = Motor-Wellenleistung). Die effektive Betriebs-Leistungsaufnahme kann allerdings wesentlich vom Typenschild-Wert abweichen, sogar nach oben (z.B. bei überbelastetem oder blockiertem Motor).

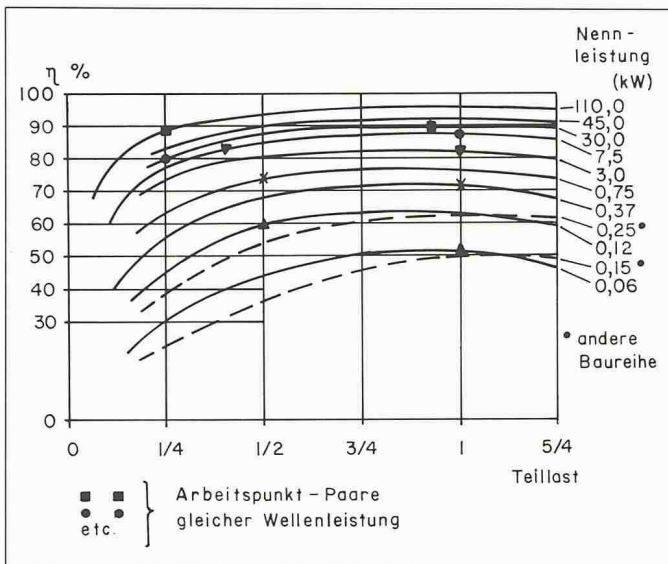


Bild 4. Teillast-Wirkungsgrad von Drehstrom-Normmotoren (Auswahl)

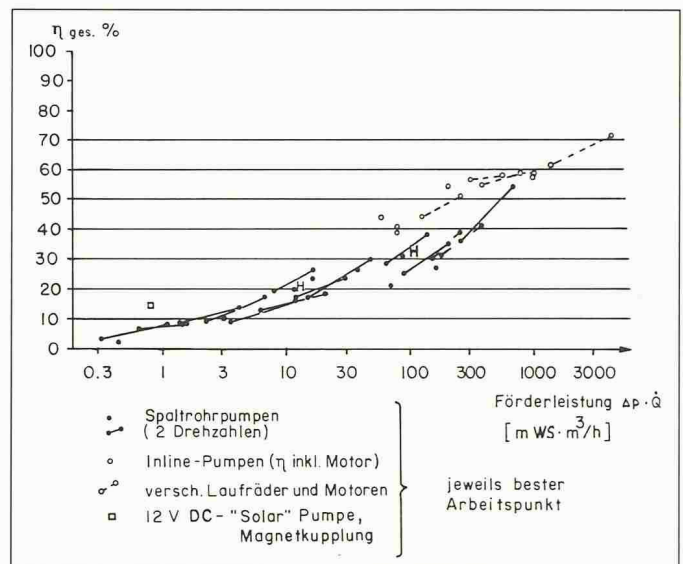


Bild 6. Gesamtwirkungsgrad von Umwälzpumpen in Abhängigkeit der Förderleistung (als Produkt von Fördermenge und -höhe). (Bemerkung zur Wirkungsgrad-Berechnung, vgl. Kasten: Bei den Inline- und DC-Pumpen ist ebenfalls die vom Motor aufgenommene Leistung in Rechnung gesetzt.)

Der Energieverbrauch zur Mediums-Förderung ist – neben dem Förderstrom – noch von zwei weiteren Einflussgrößen abhängig:

□ Der Rohr- oder Kanalquerschnitt wirkt sich bei gegebener Fördermenge stark überproportional auf den Druckverlust und damit noch stärker auf die Antriebsleistung aus: 10% grösserer Durchmesser ergibt 38% weniger Druckverlust und damit über 60% weniger Antriebsleistung! Mediumstransportnetze sollten daher nicht nur nach Mediumsgeschwindigkeit bzw. Geräuschkriterien dimensioniert werden, sondern unter Einbezug des Förderaufwandes und ggf. der Leitungs-Wärmeverluste optimiert werden.

□ Der Gesamtwirkungsgrad von Pumpen und Ventilatoren (inkl. Elektromotor) wird mit steigender Einheitengröße immer besser (vgl. Bild 6). Beachtlich ist auch der höhere Wirkungsgrad von Pumpen ohne Spaltrohr (Inline-, Sockelpumpen, Gleichstrom-«Solar»-Pumpe). Es kann sich daher lohnen, Verteil- und Regelsysteme mit möglichst wenigen, dafür aber grösseren Pumpen/Ventilatoren zu planen und vermehrt Zonen- und Heizkörper-Regelventile einzusetzen. Dann ist aber besonders auf druckverlustarme Armaturen zu achten, und selbstverständlich soll die System-Regelung eine Förderstrom-Optimierung samt Pumpen- bzw. Ventilatoren-Drehzahlsteuerung enthalten.

Kälteverdichter

Beim Einsatz von Kälteverdichtern in Gebäuden gilt, wie bei den Motoren

Berechnung des Gesamtwirkungsgrades für Kompakt-Pumpen bzw. Ventilatoren

Die auf dem Geräte-Typenschild angegebene Leistung in Watt entspricht der Leistungsaufnahme P_{auf} .

Die Nutzleistung berechnet sich wie folgt:

$$P_n = \frac{\text{Kraft} \cdot \text{Weg}}{\text{Zeit}} = \Delta p \cdot \dot{Q}$$

Mit den in der Haustechnik üblichen Einheiten ergibt sich:

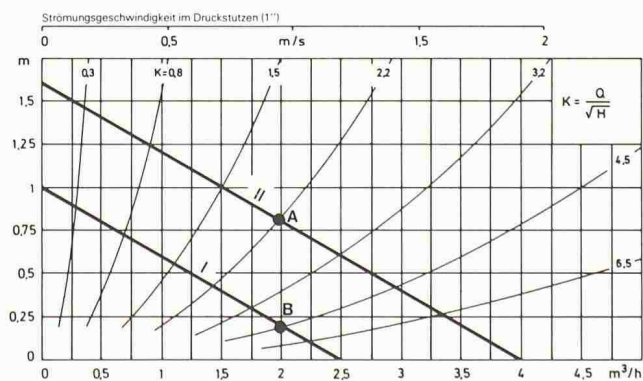
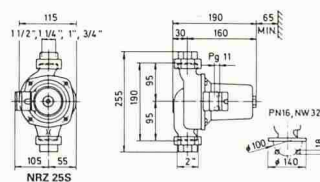
$$P_n [\text{W}] = \frac{\Delta p [\text{Pa}] \cdot \dot{Q} [\text{m}^3/\text{h}]}{3600}$$

Der Gesamtwirkungsgrad wird nun berechnet als Quotient von Nutzungsleistung/Leistungsaufnahme bzw. P_n/P_{auf}

Beispiel eines Umwälzpumpen-Datenblattes (Quelle: Biral):

Als Gesamtwirkungsgrade für die beiden eingezeichneten Arbeitspunkte ergeben sich:

- Arbeitspunkt A 8,3%
- Arbeitspunkt B 4,8%



Drehzahl	I 950 1/min	Ampere	I 0,06 A
	II 1300 1/min		II 0,15 A
Volt	3 × 380–420 V	Watt	I 20–25 W
	50 Hz		II 50–55 W

Beispiel 1: Umwälzpumpen

Heizgruppen mit gleicher Vorlauftemperatur, aber unterschiedlicher Betriebszeit lassen sich mit Zonenventilen getrennt betreiben, was z.B. den Einsatz einer grösseren, effizienteren Inline-Pumpe à 1300 W statt der üblichen beispielsweise 6 Spaltrohrpumpen à zusammen 3000 W erlaubt (vgl. Bild 6). Eine Differenzdruck-Regelung des Pumpenmotors mittels Frequenzumrichter ist dabei unerlässlich!

Beispiel 2: Bad/WC-Entlüftung

Für relativ schwach belegte WCs (Wohnungsbau) bieten Einzelventilatoren, über den Lichtschalter oder (besser) separaten Taster mit Nachlauf gesteuert, auch bezüglich Elektrizitätsverbrauch eine gute Lösung, da die gesamte Betriebszeit gering bleibt.

Bei stärker belegten WCs (Gaststätten usw.) sowie evtl. auch bei einer grossen Zahl gemeinsam zu entlüftender Sanitärräume verbraucht ein effizienterer zentraler Ventilator mit Differenzdruck-Drehzahlregelung weniger Elektrizität, wobei die einzelnen Absaugstellen mit bedarfsgesteuerten Klappen auszurüsten sind (Achtung auf deren Stromverbrauch! Es gibt auch Modelle mit Handbetätigung).

Hinweis: Viele einfache Entlüftungen funktionieren im Winter – d.h. bei deutlichen Differenzen der Innen- zur Aussentemperatur – auch ohne bzw. bei ausgeschaltetem Ventilator!

Beispiel 3: Hydraulischer Abgleich des Heizsystems

Ein bisher häufig vernachlässigter Teil der Betriebsoptimierung einer Heizanlage ist der sorgfältige hydraulische Abgleich des Systems. Mit richtig – d.h. nicht überdimensionierten – Umwälzpumpen wird dieser Abgleich entscheidend für das befriedigende Funktionieren der Anlage, da sonst einzelne Zweige ungenügend durchströmt werden. Insbesondere kann man sich keine hydraulischen Kurzschlüsse (z.B. nicht gedrosselte Radiatoren nahe der Umwälzpumpe) mehr leisten, was bisher oft wegen der übergrossen Pumpenleistung un bemerkt blieb.

Der hydraulische Abgleich ist in der Devisierung ausdrücklich zu verlangen und in der Ausführung sowie nachher im praktischen Heizbetrieb zu kontrollieren. Entsprechende Regeln sind auch bei Warmwasser-Zirkulations- und lufttechnischen Anlagen anzuwenden.

selbst und bei Kreiselmotoren, das *Prinzip des steigenden Wirkungsgrades mit zunehmender Einheitengrösse*, da sich die Verluste an grösseren Maschinen technisch aufwendiger und wirtschaftlicher bekämpfen lassen. Daneben ist bei Kälteverdichtern die wirksa-

me Temperaturdifferenz bzw. der daraus zu berechnende thermodynamische (Carnot-Kreisprozess-) Wirkungsgrad entscheidend für die theoretisch minimal notwendige Antriebsleistung.

Für einen elektrizitätssparenden Einsatz von Kälteverdichtern ist daher:

- einerseits auf Zentralisierung der Kälteerzeugung zu achten, um grosse, effiziente Maschinen einsetzen zu können,
- andererseits sollen die massgebenden Temperaturdifferenzen durch grosse Wärmetauscher-Flächen und geschickte Wahl der Wärmesenken bzw. -quellen möglichst klein gemacht werden.

Eine Optimierung unter Einbezug von Leistungsregelung, Mediumtransport, eventueller Wärmerückgewinnung, Umweltbelastung durch Wasserverbrauch, Lärm usw. ist unumgänglich!

Vorgehen bei Neubauten und Sanierungen**Neubauten**

Von grösster Bedeutung für den künftigen Elektrizitätsverbrauch ist die *Art und Dimensionierung der einzubauenden Anlagen*, d.h. es ist nach den vorstehenden Grundsätzen zu planen. Dabei ergibt die sorgfältige Optimierung oft grössere als die gewohnten Leitungs- bzw. Kanalquerschnitte; haustechnische Anlagen kann man daher nicht einfach nach der bautechnischen Gebäudeauslegung «hineinquetschen».

Bei Neubauten soll eine angemessene Flexibilität des Gebäudes, aber auch der eingebauten Anlagen bezüglich zukünftiger Entwicklung und – noch nicht absehbarer – Alternativen «mit eingebaut» werden. Als erster Schritt in diese Richtung ist die Steuerung/Regelung so zu konzipieren, dass eine Betriebsoptimierung in einem breiten Bereich erfolgen kann – gegebenenfalls auch ausserhalb der vorausberechneten Werte.

Literatur

- [1] F. Berg, Bull. SEV/VSE 4/1987: Elektromotoren mit hohem Wirkungsgrad – Auslegung, Applikation und wirtschaftliche Aspekte.
- [2] M. Pomitz und B.C. Chollet, Bull. SEV/VSE 4/1987: Elektronische Drehzahlregelsysteme zur Reduktion des Stromverbrauchs von Antrieben in der Gebäudetechnik.
- [3] ABB Asea Brown Boveri France S.A., Div. Normacem, 1984 (siehe ABB Normelec, Dietikon): Moteurs Isosyn Cuiracem + Compax, Hochwirkungsgrad-Normmotoren.
- [4] H. Auinger et al., Siemens Energietechnik Nr. 7/1987: Wirkungsgrad elektrischer Maschinen – und Grenzen für eine Verbesserung.
- [5] Impulsprogramm Haustechnik, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern 1988: Hydraulischer Abgleich von Heizungsanlagen.

Erst einer der letzten Schritte beim Elektrizitätskonzept des Neubaus ist die Wahl sparsamer Komponenten. Nur schon Quervergleiche von Motor-, Pumpen-, Ventilatoren-Katalogen sind oft lehrreich, wobei leider oft Wirkungsgrade zuerst auszurechnen sind – mangels direkter Angaben.

Sanierungen

Der grosse Vorteil von Sanierungsfällen besteht in der Möglichkeit, die wirklichen Zustände und evtl. Bedürfnisse vor Planungsbeginn messen zu können (entscheidend ist dabei, dass die entsprechenden Messungen vorgenommen werden, solange das Objekt noch normal genutzt wird!).

Die Palette der Sanierungsmassnahmen reicht bei Elektro-Sanierungen, analog zu wärmetechnischen Sanierungen, von betrieblichen über regelungstechnische Massnahmen bis zum Motoren-austausch und zur Teil- und Gesamterneuerung der Anlagen.

Adresse des Verfassers: Jürg Nipkow, dipl. El.-Ing. ETH, Möhrlistrasse 65, 8006 Zürich.