Elektronische Drehzahlregelsysteme zur Reduktion des Stromverbrauchs bei Antrieben in der Gebäudetechnik

Autor(en): **Pornitz, M. / Chollet, B. C.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **78 (1987)**

Heft 4

PDF erstellt am: **28.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-903821

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Elektronische Drehzahlregelsysteme zur Reduktion des Stromverbrauchs bei Antrieben in der Gebäudetechnik

M. Pornitz und B.C. Chollet

Elektronische Drehzahlregelung von Motoren ist an sich bekannt. Ihr Einsatz in der Gebäudetechnik für den Antrieb von Pumpen und Ventilatoren scheiterte bisher allerdings u.a. oftmals an Problemen der Geräuschübertragung.
Mit der neuen Gerätegeneration stehen nun aber spezialisierte Drehzahl-Regeleinrichtungen zur Verfügung, die diese Probleme vermeiden.

Le réglage de vitesse électronique des moteurs en soi est connu. Son application dans la technique des installations intérieures pour la commande des pompes et ventilateurs a toutefois échoué jusqu'à présent. Cet échec a souvent été dû, entre autres, aux problèmes de transmission du bruit.
Les installations spécialisées de réglage de vitesse mises à disposition par la nouvelle génération d'appareils, permettent maintenant d'éviter ces problèmes.

Überarbeitete Fassung eines Referates, gehalten von M. Pornitz anlässlich der Tagung «Elektrizitätsverbrauch vermindern in der Gebäudetechnik – Wie?» der Firma Arid Electronic AG am 22. Januar 1987 in Zürich.

Adressen der Autoren
Michel Pornitz, Sulzer Anlagen- und Gebäudetechnik GmbH, Furtbachstrasse 4, D-7000 Stuttgart.
Bertrand C. Chollet, Direktor der Arid Electronic AG, Bellerivestrasse 55, 8034 Zürich

1. Einleitung

Die Energiekostenexplosion der letzten 12 Jahre zwang zur wärmetechnischen Sanierung vieler Gebäude. Durch Isolierung der Aussenhaut der Gebäude (Fenster, Decken, Aussenwände) wurde ihr Wärmebedarf teilweise erheblich gesenkt. Durch Austausch alter gegen neue Wärmeerzeuger mit entsprechend reduzierter Leistung wurde dem gesenkten Wärmebedarf Rechnung getragen und der Wirkungsgrad der Wärmeerzeugung angehoben.

Die Regelungstechnik hielt Einzug in die Gebäude. Umfangreiche Mess- und Regelsysteme führten zu weiterer Energieeinsparung und werden durch immer verfeinerte Optimierungsverfahren (z.B. DDC-Technik) den Energiebedarf unserer Gebäude auf das für den Menschen und für den Baukörper absolut notwendige Minimum zurückführen.

Der Energietransport im Gebäude durch Pumpen und Ventilatoren wurde dabei bisher in den meisten Fällen vernachlässigt. An den bestehenden Rohrnetzen und Luftkanälen wurde kaum etwas verändert. Der technische Aufwand – vor allem in der Planung – und die resultierenden Kosten schienen in keinem wirtschaftlichen Verhältnis zu den erzielbaren Ergebnissen zu stehen.

Nach der jetzt eingetretenen Preisstabilisierung bei den Primärenergieträgern Öl, Gas und Kohle ist jedoch mit steigenden Stromkosten zu rechnen. Wenn nun aber schon höhere Preise für Strom akzeptiert werden, sollte man doch Wege finden, die Strom*kosten* nicht steigen zu lassen oder sogar in Summa zu senken.

Eine Faustregel kann den notwendigen Anstoss zum Nachvollzug der folgenden Ausführungen geben: «Der Energie*transport* in einem vollklimatisierten Gebäude macht bis 50% und mehr der gesamten Energiekosten für die Klimatisierung aus!»

Die in Tabelle I aufgeführten Beispiele sollen die Bedeutung der zu untersuchenden Antriebe aufzeigen.

2. Grundlagen: Das Angebot der Physik

Kreiselmaschinen unterliegen dem Proportionalitätsgesetz:

$$\dot{V} \sim n;\ \Delta p \sim n^2;\ P \sim n^3; \qquad (1)$$

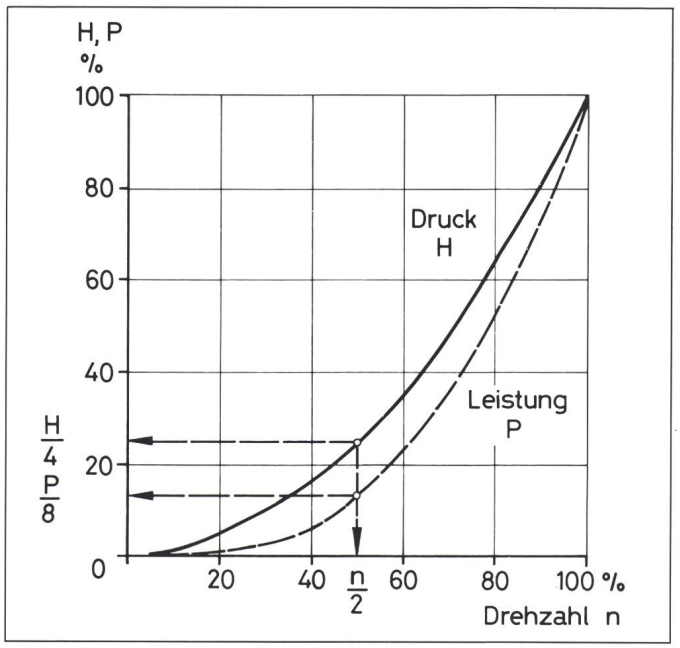
wobei:

- n Drehzahl
- $\dot{V}$ Volumenstrom
- H Förderhöhe, Differenzdruck Δp
- P Leistungsbedarf des Kreiselrades

Anwendung	Leistungsaufnahme des Motors kW	Jahresbetriebszeit h/a	Nutzungsdauer b_n Jahre	Stromverbrauch während b_n[1] kWh
1. Heizungs-Primärpumpe	10,7	5500	18	900 405
2. Zuluftventilator	31,4	4000	15	1 601 400
3. Wie 2, jedoch mit Dralldrosselregelung	31,4	4000	15	1 318 800
4. Ventilator der Absauganlage eines Fertigungsbetriebes (Absaugplätze mit Klappensteuerung)	21,4	2000	15	545 700

unter Berücksichtigung eines Drosselfaktors von 0,85 bzw. 0,7 (Beispiel 3)

Tabelle I Typische Anwendungsgebiete für die Drehzahlregelung (Beispiele)



Figur 1 Abhängigkeit der Förderhöhe H und des Leistungsbedarfs P des Kreiselrades von der Drehzahl n

Bei abnehmendem Förderstrom $\dot{V}$ sinkt der Förderdruck H (Rohrnetzwiderstand) quadratisch. Der Leistungsbedarf P sinkt kubisch.

In Zahlen: Bei 50% Förderstrom (≙ 50% Drehzahl) vermindert sich der Förderdruck auf 25% (Geräuschreduzierung). Der Leistungsbedarf – ohne Berücksichtigung der Wirkungsgrade – sinkt auf 12,5% (Fig. 1).

Der Wärmebedarf eines Gebäudes ist abhängig von der Aussentemperatur. In unserer Klimazone ist die Auslegungsleistung nur an wenigen Stunden im Jahr gefordert (Fig. 2). Die durchschnittliche Wärmelast liegt bei 40%.

Pumpen sind allgemein erheblich überdimensioniert. Die elektronische Optimierung ihres Betriebspunktes, die stetige Anpassung des Volumenstromes an die geforderte Leistung und an die elektronische Volumenstromabsenkung in Nacht-/Wochenend-Absenkungsphasen ergibt in der Praxis tatsächlich einen durchschnittlich halben Volumenstrombedarf. Für diesen Fall beträgt der Leistungsbedarf des Kreiselrades gemäss (1) nur noch ein Achtel! Hierzu müssen allerdings noch die Wirkungsgrade von Pumpe, Motor und Leistungselektronik hinzugezählt werden. Bei Einsatz von Frequenzumrichtern ergibt sich für diesen Fall bei $\dot{V}/2$ in der Praxis der elektrische Leistungsbedarf zu $P1 \leqq 0{,}2 \times P$.

Die bisher in der Praxis festgestellten Stromeinsparungen zwischen 40...70% finden hier ihre physikalische Grundlage. Nur ein verschwindend geringer Anteil (<1%) der heute in Betrieb befindlichen Pumpen und Ventilatoren ist bisher drehzahlgeregelt. Drossel- und Bypassregelungen (Energievernichtung) sind die Regel und sollten durch Drehzahlregelungen ersetzt werden. Aufgabe der Technik ist es, dieses Angebot der Physik zu nutzen!

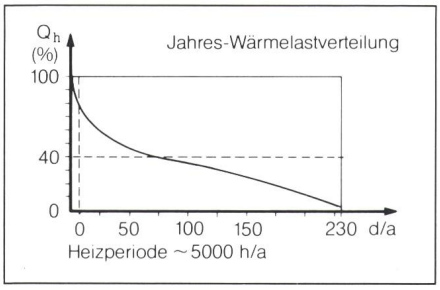
3. Gerätetechnik

Heute stehen verschiedene elektronische Geräte zur Drehzahlregelung von Drehstrommotoren zur Verfügung, bei deren Entwicklung vor allem auch auf Geräusch- und Verlustarmut geachtet wurde.

Für Drehstrom-Spaltrohrmotoren: Drehzahlsteller

Bei den modernen Produkten wurde das bekannte Phasenanschnittverfahren mittels Mikroelektronik digitalisiert. Ein Mikroprozessor enthält umfangreiche Software, die es erlaubt, den drei Phasen des Drehstromes unterschiedliche Phasenanschnitte zuzuteilen. Dieser «unsymmetrische» Phasenanschnitt kann – angepasst an Motorcharakteristik und Anlage – während des Betriebes jederzeit variiert werden, so dass eine subjektive Geräuschminimierung gegeben ist. Durch den unsymmetrischen Phasenanschnitt wird das bekannte «Brummen» geregelter Motoren – Aufbauen von Resonanzen in den Wicklungen – unterbunden.

Die bei diesen Motoren erreichbaren Stromeinsparungen sind aufgrund der spaltrohrbedingten zusätzlichen Verluste niedriger als bei Normmotoren; dafür sind die Investitionen beim Phasenanschnittverfahren günstiger. Der sich bei diesem Verfahren erwärmende Rotor wird durch das umlaufende Medium (Heizungswasser) gekühlt.



Figur 2 Jahres-Wärmelastverteilung der Raumheizung

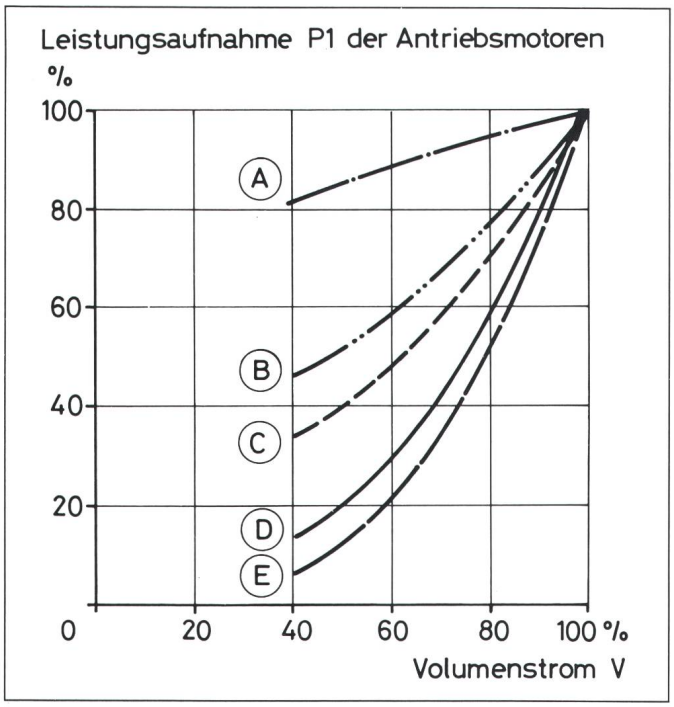
Für Drehstrom-Normmotoren: Frequenzumrichter

Mangels «Wasserkühlung» würden Normmotoren mit der Phasenanschnittechnik überhitzt. Sie erfordern die wesentlich aufwendigere Technik des Frequenzumrichtens. Der hohe Wirkungsgrad von Normmotoren lässt jedoch grosse Stromeinsparungen zu (Fig. 3).

Bei den neuen Modellen handelt es sich um spannungsgeführte, volltransistorisierte Umrichter mit ungesteuertem Gleichrichter. Bei einem Netzleistungsfaktor $\cos \varphi_N \approx 1$ ist Blindstromkompensation der Motoren nicht notwendig. Der Anlaufstrom von Asynchronmotoren entfällt: Die Maschine wird im Sanftanlauf an einstellbarer Stromgrenze entsprechend Nennstrom in die gewünschte Drehzahl geführt.

Je nach Leistung und Anwendungstechnik stehen zwei Verfahren zur Verfügung:

- *Choppertechnik bis 22 kW:*
  Spannungsregelung erfolgt im Zwischenkreis. Grosszügig dimensionierte Kapazitäten und Induktivitäten vor und nach dem Spannungsregler ergeben einen weichen Motorlauf. Der Nachteil des sich allmählich aufbauenden Drehmomentes spielt bei Kreiselmaschinen keine Rolle (quadratisch fallendes Drehmoment). Entscheidend für den Einsatz ist der Extrem geräuscharme Motorlauf. Der Wirkungsgrad des Umrichters ist: ≧ 0,95.
- *Taktsynchrones Pulsmodulationsverfahren bis 75 kW*
  Ähnlich der bekannten Pulsbreitenmodulation, jedoch ohne die be-



Figur 3
Relativer Leistungsbedarf von Kreiselmaschinen-Antrieben bei verschiedenen Regelmethoden

Ⓐ Drosselregelung bei konstanter Drehzahl
Ⓑ Dralldrosselregelung bei konstanter Drehzahl
Ⓒ Drehzahlregelung durch Phasenanschnitt (Spannungsregelung – Sondermotoren)
Ⓓ Drehzahlregelung durch Frequenzumrichtung (Drehstrom-Normmotoren – Transistortechnik)
Ⓔ Theoretischer Leistungsbedarf $P \sim n^3$

kannten Pulsgeräusche im Motor, da die hohe Taktfrequenz (Abfragefrequenz 100 kHz) oberhalb der Hörgrenze liegt. Der Motor erhält Sinusspeisung.
«Abfallprodukt» dieser unter dem Aspekt der extremen Geräuscharmut geregelter Motoren vollzogenen Entwicklung sind u.a.:
- Umrichterwirkungsgrad $\geq$ 0,98,
- pulsationsfreies Drehmoment voller Grösse bereits ab 1 Hz,
- keinerlei Stossmomente auf nachgeschalteten Lagern, Getrieben usw., was noch völlig neue Anwendungsgebiete in der Antriebstechnik erschliessen wird.

Die spannungsgeführten Umrichter zeichnen sich im Gegensatz zu stromgeführten Umrichtern durch eine sehr geringe Oberwellenerzeugung in nur niedrigen Frequenzbereichen aus. In Gebäuden mit Daten- und Feinmesstechnik ist auf abgeschirmte Motorzuleitungen zu achten, um Störeinflüsse zu vermeiden.

Motorfremdbelüftung ist bei Antrieben von Kreiselmaschinen (quadratisch fallendes Drehmoment) nicht erforderlich. Motorschutz im Umrichterbetrieb erfolgt durch einstellbare Strombegrenzung. Zweckmässig ist die thermische Wicklungsüberwachung durch Kaltleiter. Motorschutzschalter sind nicht zulässig, allenfalls Motorschutzrelais.

4. Einsparungen und Wirtschaftlichkeit

Im allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass bei den hier behandelten Anwendungen der Drehzahlregulierung in der Gebäudetechnik Stromeinsparungen in der Grössenordnung von 40 bis 70% möglich sind, wobei je nach der im Einzelfall möglichen, durchschnittlichen Drehzahlsenkung Abweichungen auftreten können.

In Tabelle II sind für die bereits in Tabelle I vorgestellten Anwendungsfälle die erzielten Einsparungen und die erforderlichen Investitionen dargestellt und die aufgrund einer vereinfachten Berechnung erzielten Amortisationszeiten ausgewiesen (basierend auf den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen in der Bundesrepublik).

Anwendung	Investition DM/a[1]	Einsparung %	Einsparung DM	Amortisationszeit Jahre
1. Heizungsprimärpumpe	14 000	50	5 000	2,5
2. Zuluftventilator	29 000	50	11 743	2,5
3. Wie 2, jedoch mit Dralldrosselregelung	29 000	36	5 526	5,2
4. Ventilator-Absauganlage	20 000	50	8 003 + 5 740[2]	1,5

[1] bei einem Strompreis von DM 0,22/kWh
[2] zusätzliche Einsparung beim Wärmebedarf zur Lufterwärmung aufgrund verringerter Lüftung

Tabelle II Wirtschaftlichkeitsdaten einiger Anwendungsfälle

5. Typische Einsatzgebiete

- *Hydraulische Anlagen mit variablem Volumenstrom* (Heizungs- und Kaltwassernetze):

Der Volumenstrom wird bedarfsabhängig durch Ventile (z.B. Thermostatventile) geregelt. Bei konstanter Drehzahl der Pumpe ergibt dies in Zusammenhang mit der Kennlinie der Kreiselpumpe starke Differenzdruckschwankungen im Netz mit störenden Rohrnetz- und Ventilgeräuschen und unnötig hohem Stromverbrauch. Bei Drehzahlregelung auf konstanten Differenzdruck wird die Pumpendrehzahl dem von den Mengenreglern freigegebenen Volumenstrom nachgeführt, störende Geräusche werden beseitigt; es resultiert eine hohe Stromeinsparung.

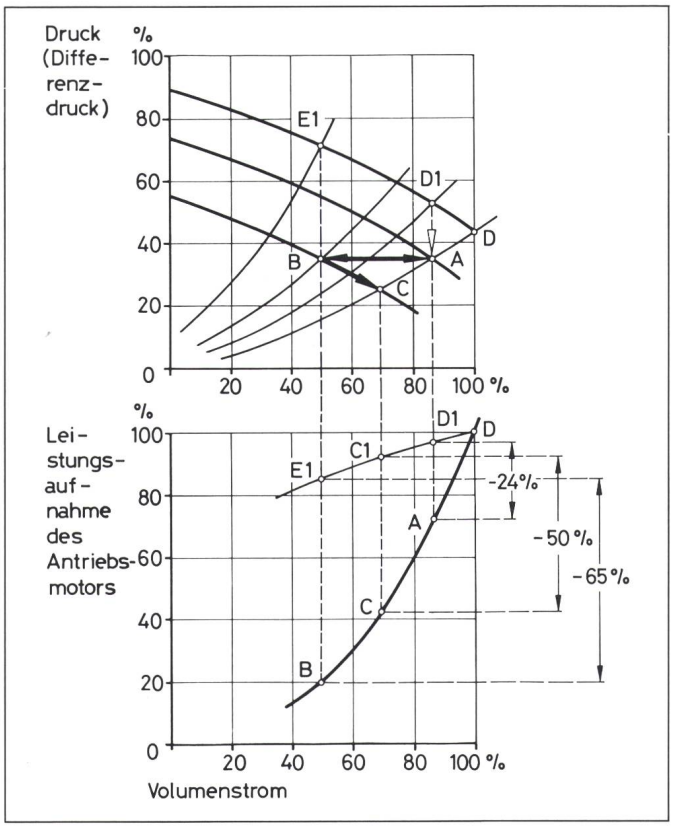
Während Nacht-/Wochenend-Absenkungsperioden wird über einen Schaltuhr- oder Fernkontakt auf einstellbare, der Anlage angepasste Mindestdrehzahl oder auf ein 2. Regelniveau (niedriger Sollwert) umgeschaltet (Fig. 4), da der durch Öffnen der Thermostatventile fallende Differenzdruck sonst zu unnötig hohem Volumenstrom (Drehzahl) mit unnötig hohem Stromverbrauch führen würde.

- *Hydraulische Anlagen mit ungeregeltem Volumenstrom* (Heizungs- und Kaltwassernetze, Luftheizungsanlagen usw.):

Der Volumenstrom kreist konstant, die Energieabnahme erfolgt z.B. durch Wärmetauscher, Register; wechselnde Energieabnahme ist durch Schwankungen der Differenztemperatur zwischen Vor- und Rücklauf gekennzeichnet.

Mittels Drehzahlregelung kann die Pumpe den dem jeweiligen Energiebedarf entsprechenden Volumenstrom erzeugen. Die Differenztemperatur bleibt konstant; die Folge sind hohe Stromeinsparungen. Dabei ist eine geringfügige Verschiebung der Mitteltemperatur zu beachten.

Bei anderen Anlagen kann es vorteilhaft sein, die Vorlauftemperatur oder die Rücklauftemperatur aus wärme- oder prozesstechnischen Gründen



Figur 4
Drehzahlregelung einer Kreiselmaschine

1. Optimierung des Vollast-Betriebspunktes: $D_1 \rightarrow A$
2. Normalbetrieb: Stetige Regelung zwischen A und B auf konstantem Differenzdruck
3. zeitabhängige Absenkung auf (konstante) Mindestdrehzahl

konstant zu halten, z.B. bei Luftheizungsanlagen oder Kühlwasserkreisläufen.

- *Raumlufttechnische Anlagen mit variablem Volumenstrom:*

Die stufenlose Drehzahl-/Volumenstrom-Anpassung an die verlangte Leistung erfolgt durch Drehzahlregelung auf konstanten Differenzdruck. Die Optimierung des Vollastbetriebspunktes durch Sollwertvorgabe ergibt im allgemeinen eine Reduzierung der Nenndrehzahl mit Abbau allfällig vorhandener Strömungsgeräusche ($\sim n^{4...6}$).

Ausser auf RLT-Anlagen für die Raumklimatisierung sei hier speziell auf Absauganlagen an industriellen oder gewerblichen Arbeitsplätzen hingewiesen. Bei wechselnder oder Teilbelegung kann hier erheblich Strom und Wärme-/Kälteenergie eingespart werden.

- *Ausgleich von Filter-Verschmutzungen:*

Drehzahlanpassung des Ventilators (Regelgrösse: Volumenstrom konstant) ist angebracht, da der Druck proportional zu n^2 ist. Das regelmässige, «vorsorgliche» Austauschen ist oft sehr viel teurer als das Austauschen nach effektivem Verschmutzungsgrad.

- *Winterbetrieb von luftgekühlten Kondensatoren und Rückkühlwerken:*

Regelgrösse: Temperatur konstant.

- *Drehzahlregelungen an Wärmeerzeuger- und Versorgungsanlagen:*
  - *Kesselpumpen:* Einhaltung konstanter Rücklauftemperatur zur Vermeidung von Kesselkorrosion.
  - *Brunnen- und Solepumpen bei Wärmepumpen:* Leistungsabnahmegerechte Anpassung des primärseitigen Förderstromes ergibt teilweise prägnante Verbesserungen der Jahresarbeitszahl.

- *Druckhalte- bzw. Druckerhöhungsanlagen:*

Stufenlose Drehzahlregelung der Führungspumpe auf konstanten Druck ergibt – ganz abgesehen von der Stromeinsparung – eine Entlastung der Netze von Druckschwankungen, Druckstössen und Wasserschlägen.

- *Rauchgas-Entschwefelungs- bzw. Entstickungsanlagen:*

Ausser Stromeinsparung durch leistungsabhängig geregelte Drehzahl ergeben sich hier eine ganze Reihe verfahrenstechnischer Vorteile.

8. Ausblick

Nachdem die Wärmebilanz der Gebäude durch Reduzierung des Wärmebedarfs und Erhöhung des Wirkungsgrades der Wärmeerzeugung in den letzten Jahren ständig verbessert werden konnte, steht die dritte, entscheidende Massnahme «Drehzahlregelung» zur konsequenten Senkung der Betriebskosten unserer Gebäude an.

Beim Einsatz von Drehzahlregelungen sind Anlagenkenntnisse mit Fachwissen in der Regeltechnik, der Leistungselektronik, der Niederspannungstechnik und gegebenenfalls der Informationselektronik zu verknüpfen, um störungsfreie Inbetriebnahmen und optimale Betriebsergebnisse zu erzielen.

Unsere Gesellschaft hat im vergangenen Jahrhundert der Industrialisierung Arbeit durch Kapital ersetzt. Heute stösst man allerdings an Grenzen, wo der Kapitaleinsatz derart hoch wird, dass das Risiko, dieses Kapital wieder einzuspielen, bei der Schnellebigkeit vieler Produkte und ausgereizter Märkte kaum noch überschaubar ist.

Die Gebäudesanierung ist dieser Schnellebigkeit nicht unterworfen. Energieeinsatz durch Kapital zu ersetzen ist heute eine der besten Investitionen.