

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

**Band:** 75 (1984)

**Heft:** 22

**Artikel:** Energieeinsparungen mit drehzahlgeregelten Pumpen- und Ventilatorantrieben

**Autor:** Willi, W.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-904512>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 07.01.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Phase beanspruchte Kapital für andere, produktionsfördernde Projekte nicht mehr zur Verfügung stand bzw. steht. Im Gegensatz zur Abwassersanierung darf dieser Phase attestiert werden, dass eine gewisse Koppelung von Ökologie und Ökonomie erreicht werden wird. Die zeitlichen Abläufe

wurden mit Absicht immer wieder dargestellt, um klar zu machen, dass Innovationen viel Zeit beanspruchen. Wenn keine angemessenen Fristen zur Erfüllung von Umweltschutzforderungen gewährt werden, besteht die Gefahr, dass zu wenig ausgereifte Verfahren zur Anwendung gelangen, die sich

wirtschaftlich nachteilig auswirken können. In dieser Hinsicht wurde der von Attisholz beschrittene Weg mit der stufenweisen Reduktion des Schadstoffausstosses von den eidgenössischen und kantonalen Behörden akzeptiert und die bisherigen Erfolge auch anerkannt.

# Energieeinsparungen mit drehzahlgeregelten Pumpen- und Ventilatorantrieben

W. Willi

*Wird bei Pumpen oder Ventilatoren eine Reduktion des Durchflusses mittels Drosselrichtungen vorgenommen, so steigt die Leistungsaufnahme des Antriebsmotors und damit der Energieverbrauch; durch Drehzahlregelung des Motors kann dagegen eine Senkung der Leistungsaufnahme erreicht werden. Wie Beispiele aus den Bereichen Klimaanlageanlagen und Wasserversorgung zeigen, sind damit beträchtliche Energieeinsparungen möglich.*

*En ce qui concerne les pompes et les ventilateurs, si l'on réduit le débit au moyen de systèmes d'étranglement, alors la puissance absorbée du moteur augmente, et par là la consommation d'énergie; par contre, en réglant la vitesse de rotation du moteur on peut atteindre une baisse de la puissance absorbée. Comme le montrent plusieurs exemples dans le domaine des systèmes de climatisation et de l'alimentation en eau, d'importantes économies d'énergie ont pu ainsi être atteintes.*

## 1. Einleitung

Pumpen und Ventilatoren werden üblicherweise von mit konstanter Drehzahl arbeitenden Asynchronmotoren angetrieben. Die Anpassung der Volumenströme an den jeweiligen Prozess wird mittels Drosselrichtungen (Klappen, Ventilen) vorgenommen. Erfolgt dagegen die Volumenstromverstellung durch Verändern der Antriebsdrehzahl, kann der Wirkungsgrad einer solchen Anlage ganz erheblich gesteigert werden. Typischerweise sinkt der Stromverbrauch von drehzahlgeregelten Pumpen und Ventilatoren um 20–40%. Würde diese Technik konsequent in allen Fällen angewendet, so liessen sich in der Schweiz Einsparungen von etwa 1000 Mio kWh pro Jahr erzielen. Dies entspricht in etwa der Jahresproduktion von drei mittleren Flusskraftwerken. Bei den heutigen Kosten für Frequenzumformer, die vorzugsweise zur Drehzahlregelung solcher Anlagen eingesetzt werden, lassen sich die Zusatzkosten in vielen Fällen in weniger als drei Jahren amortisieren.

## 2. Warum kann Energie eingespart werden?

Im folgenden soll anhand der wichtigsten Pumpenkennlinien erklärt werden, wie die Einsparungen zustande kommen. Die Überlegungen gelten für Ventilatoren in analoger Weise, sind doch die Kennlinien ähnlich.

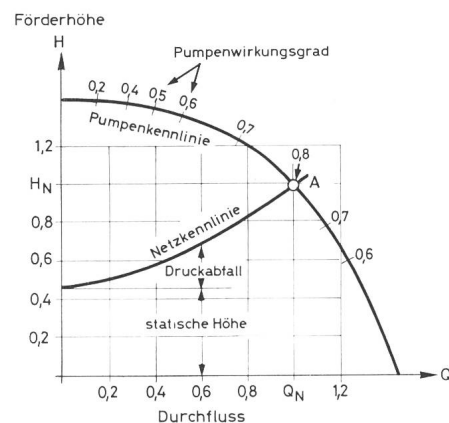


Fig. 1 Pumpenkennlinie für konstante Pumpendrehzahl

Figur 1 zeigt eine Pumpen- und Netzkennlinie.

Die Pumpenkennlinie beschreibt den Zusammenhang zwischen Durchfluss und Förderhöhe. Der Aufbau der Pumpe sowie deren Drehzahl bestimmen diese Kurve.

Die Netzkennlinie gibt Aufschluss darüber, welcher Druck notwendig ist, um eine gewünschte Menge durch ein System zu fördern.

Der Arbeitspunkt A liegt im Schnittpunkt der beiden Kurven. Im Bereich des Arbeitspunktes soll der Wirkungsgrad der Pumpe möglichst hoch sein. Eine zunehmende Verschiebung des Arbeitspunktes auf der Pumpenkennlinie bewirkt eine Wirkungsgradverschlechterung. Die Leistungsaufnahme der Pumpe kann gemäss folgender Formel berechnet werden:

### Adresse des Autors

Wilfried Willi, Reliance Electric AG,  
8036 Dierikon-Luzern

$$P = K \cdot \frac{H \cdot Q}{\eta}$$

$P$  = Leistung  
 $K$  = Konstante  
 $H$  = Förderhöhe  
 $Q$  = Durchflussmenge  
 $\eta$  = Wirkungsgrad

Die Mehrzahl aller Prozesse benötigt variable Durchflüsse. Diese können mittels unterschiedlichen Verfahren erzeugt werden. Nachfolgend sind zwei Möglichkeiten, die Drosselregulierung und die Drehzahlregulierung, einander gegenübergestellt.

#### a) Drosselregulierung

Soll z.B. der Durchfluss auf 80% der ursprünglichen Menge verringert werden, so muss die Netzkennlinie so verändert werden, dass diese die Pumpenkennlinie im Schnittpunkt A1 schneidet. Im praktischen Fall geschieht dies durch den Einbau eines zusätzlichen Strömungswiderstandes in Form eines Drosselventils (Fig. 2)

Die Erhöhung des Leitungswiderstandes bewirkt zwingend eine Vergrößerung der Verluste. Damit verbunden ist eine Verschlechterung des Gesamtwirkungsgrades. Die durch die Pumpe aufgenommene Wirkleistung kann gemäss folgender Formel berechnet werden:

$$P_{80\%} = K \frac{0,8 Q_N \cdot 1,2 H_N}{0,9 \eta_N} = K \cdot 1,06 P_N$$

Die aufgenommene Leistung liegt also in diesem Fall trotz Verminderung der Durchflussmenge über der ursprünglichen Leistungsaufnahme.

#### b) Drehzahlregulierung

Durch Verändern der Drehzahl kann die Pumpenkennlinie beeinflusst

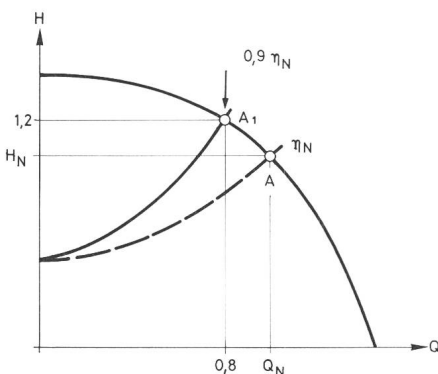


Fig. 2 Einfluss der Drosselung auf die Netzkennlinie

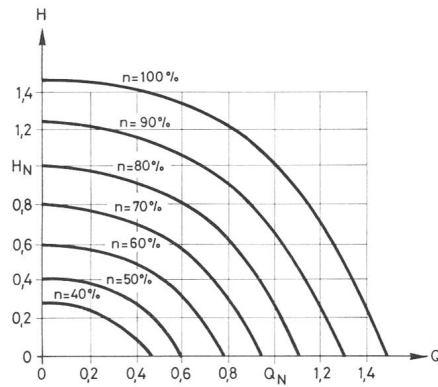


Fig. 3 Kennlinienschar bei Drehzahlregulierung

werden. Es entsteht eine Kennlinienschar, die es ermöglicht, jeden beliebigen Arbeitspunkt im H-Q-Diagramm direkt zu erreichen (Fig. 3). Die Drosselrichtung wird nicht mehr benötigt.

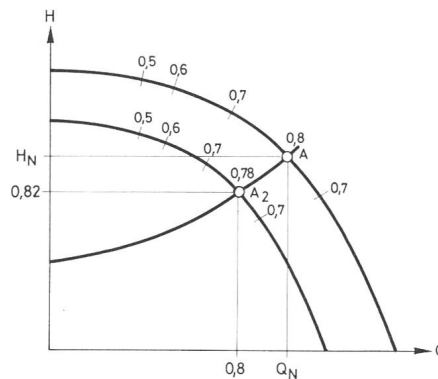


Fig. 4 Reduktion des Durchflusses durch Anpassen der Pumpendrehzahl

Figur 4 zeigt die Verhältnisse bei gegebener Netzkennlinie und für 80% der Nenndurchflussmenge.

Auf die bereits bekannte Weise kann die Leistungsaufnahme der Pumpe auch in diesem Fall berechnet werden:

$$P_{80\%} = K \frac{0,8 Q_N \cdot 0,82 H_N}{0,97 \cdot \eta_N} = K \cdot 0,68 P_N$$

Die möglichen Einsparungen gegenüber der Drosselregulierung betragen somit etwa 35%.

Die zusätzlichen Verluste, die im Drehzahlregelgerät entstehen, sind in dieser Berechnung nicht berücksichtigt. Weil aber der Nennwirkungsgrad von Frequenzumformern in der Regel über 95% liegt, sind sie im Vergleich zu den erzielten Einsparungen klein.

In gleicher Weise kann die Leistungsaufnahme für verschiedene

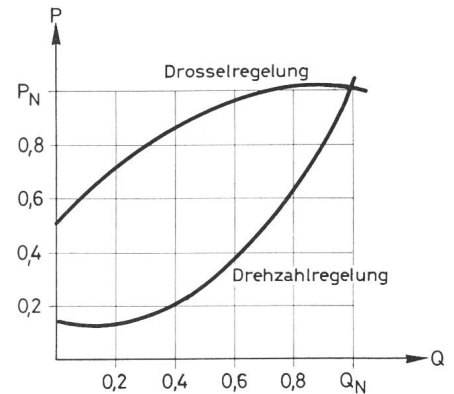


Fig. 5 Leistungsaufnahme in Abhängigkeit der Drehzahl für Drossel- und Drehzahlregulierung

Mengen bestimmt werden. Man findet dann den in Figur 5 dargestellten Leistungsbedarf in Abhängigkeit des Durchflusses.

Weil sowohl die Pumpen- als auch die Netzkennlinie diese Kurven beeinflussen, können sie von Fall zu Fall leicht von der dargestellten Form abweichen. Der prinzipielle Verlauf, der durch eine grosse Leistungsreduktion bereits bei kleinen Veränderungen des Volumenstromes gekennzeichnet ist, bleibt erhalten.

### 3. Wie wird die Drehzahl geregelt?

Die Antriebstechnik bietet viele Möglichkeiten, um stufenlos verstellbare Drehzahlen zu erreichen. Bei der Auswahl des geeignetsten Antriebes für Pumpen und Ventilatoren sind vor allem folgende Forderungen besonders wichtig:

- hohe Zuverlässigkeit
- keine Wartung
- Möglichkeit von geschlossenen Motoren
- guter Wirkungsgrad

Frequenzumrichter, kombiniert mit Drehstromnormmotoren, erfüllen diese Forderungen am besten. Die Möglichkeit, bereits bestehende Anlagen, unter Verwendung des vorhandenen Motors nachzurüsten, begünstigt die zunehmende Verbreitung solcher Antriebe (Fig. 6).

### 4. Wo werden drehzahlgeregelt Pumpen und Ventilatoren eingesetzt?

Die Anschaffungskosten von drehzahlgeregelten Antrieben sind höher als diejenigen für entsprechende Drossel-

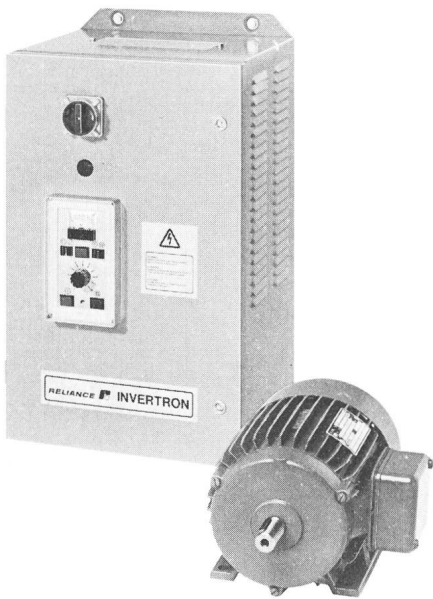


Fig. 6 Anschlussfertiger Frequenzumrichter zur Drehzahlregelung von Drehstrom-Normmotoren

seleinrichtungen. Dank den möglichen Energieeinsparungen lassen sich die höheren Anschaffungskosten jedoch oft in sehr kurzer Zeit amortisieren. Hohe jährliche Betriebsstundenzahlen sowie grosse Pumpenleistungen wirken sich günstig auf solche Amortisationsrechnungen aus. Letzteres, weil der Frequenzumrichterpreis pro kW mit zunehmender Antriebsleistung sinkt (Fig. 7).

Die allgemein sinkenden Preise für Frequenzumrichter vergrössern deren Einsatzgebiet laufend.

## 5. Ausgeführte praktische Beispiele

Die nachfolgenden Beispiele stehen stellvertretend für über 1000 bereits ausgeführte Anlagen. Erfreulicherweise wird heute diese Technik in Industrie und öffentlichen Anlagen erfolgreich eingesetzt.

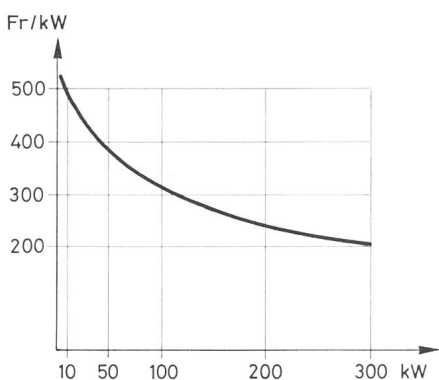


Fig. 7 Preis pro Kilowatt in Abhängigkeit der Umrichterleistung

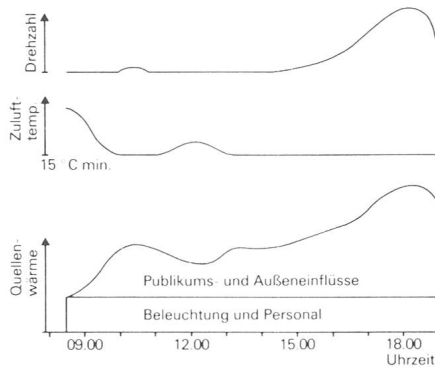


Fig. 8 Einsatz der Drehzahlregelung während eines Tages

### 5.1 Klimaanlage

Aus Gründen der Energieoptimierung entschieden sich die Klimaingenieure, die Klimaanlage eines Kaufhauses mit variablem Luftstrom zu betreiben. Leitmotiv war, die Anlage möglichst lange mit kleinstem Volumenstrom zu betreiben (siehe Fig. 8).

Während mehr als der Hälfte des Tages dreht der Ventilator mit minimaler Drehzahl. Erst wenn die Besucherzahl über einen bestimmten Wert steigt, erhöht sich auch die Ventilator-drehzahl.

Daraus ergaben sich folgende Vorteile:

- weniger Heizenergie bei der Aufbereitung der Luft
- kleinere Dimensionierung des Lufterhitzers
- längere Standzeiten der Luftfilter
- kleinerer Bedarf an Befeuchtungsdampf

Zur Realisierung des variablen Volumenstromes sind mehrere Möglichkeiten gegeben. Aus folgenden Gründen hat man sich für die Drehzahlregelung mittels Frequenzumformer entschieden:

- Guter Gesamtwirkungsgrad über den gesamten Drehzahlbereich.
- Verwendung handelsüblicher Drehstrommotoren ohne Tachorückführung.
- Reduktion des Schallpegels bei reduzierter Ventilator-drehzahl.
- Vereinfachung der mechanischen Installationen ohne Drossel- oder Drallregler.
- Längere Standzeiterwartung für Ventilatoren und Keilriemen dank reduzierter Drehzahl und Sanftanlauf.

Detaillierte Untersuchungen und Messungen an der ausgeführten Anlage<sup>1)</sup> haben ergeben, dass sich die Mehraufwendungen bei den Anschaffungskosten durch Energieeinsparun-

gen in weniger als 1½ Jahren amortisieren.

### 5.2 Wasserversorgung

Figur 9 zeigt die hydraulische Situation einer Industriewasserversorgung. Eine grosse und eine kleine Unterwasserpumpe fördern in ein geschlossenes Fabriknetz. Die Pumpen liefen ursprünglich mit festen Drehzahlen. Je nach Wasserverbrauch wurde von Hand die eine oder andere Pumpe in Betrieb gesetzt. Ein Überströmventil regulierte den Netzdruck auf ein gewünschtes Mass. Dadurch wurde ein grosser Teil des gegen den vollen Netzdruck geförderten Wassers über das Ventil in einen Bach geleitet.

Lösung:

- Einbau eines Frequenzumrichters für jede Pumpe
- Netzdruckmessung im Verbraucherschwerpunkt
- Netzdruckregelung mit automatischem, bedarfsabhängigem Umschalten von der grossen zur kleineren Pumpe und umgekehrt
- Ausserbetriebsetzung des Überströmventils

Ergebnis:

Mit der Sanierung konnten folgende Vorteile erzielt werden:

- dauernd gleicher Netzdruck
- geringere Abnutzung der Unterwasserpumpen

<sup>1)</sup> Eine Beschreibung dieser Anlage mit Auswertung der Untersuchungen ist beim Verfasser des Artikels verfügbar.

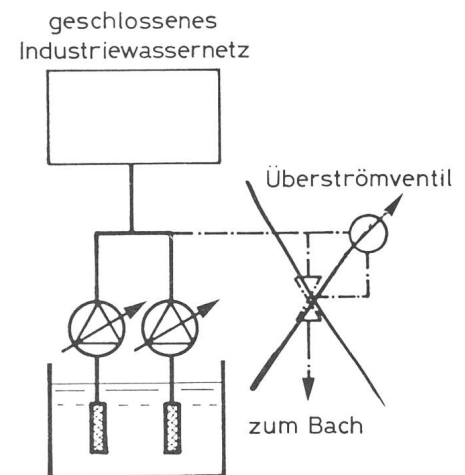


Fig. 9 Die Netzdruckregelung mit drehzahlvariablen Unterwasserpumpen macht den Überlauf überflüssig

Betriebsergebnisse in einem  
Industriewasserwerk vor und nach dem  
Einbau von Frequenzumrichtern Tabelle I

	früher	heute
Netzdruck (bar)	5,5 bis 8	4,2
Wasserförderung (m <sup>3</sup> /a)	1 200 000	630 000
Energie- und Wasserzinskosten (Fr./a)	44 000	20 000

- Wegfall des störungsanfälligen Überströmventils
- übersichtliche Betriebsüberwachung durch Anzeigeinstrumente
- Meldung allfälliger Störungen über ein Meldesystem zum Portier

Die Einsparungen an Energie- und Wasserzinskosten sind mit Fr. 24 000.- im Jahr beträchtlich (Tab. I).

## 6. Weitere Vor- und Nachteile von drehzahlgeregelten Pumpen und Ventilatorantrieben

Nebst den ausführlich beschriebenen Energieeinsparungen hat der Einsatz von Frequenzumrichtern weitere Vorteile. Es gibt aber auch Nachteile, die der Anwender kennen muss. Doch würde es den Rahmen dieser Ausführungen übersteigen, ausführlich darüber zu berichten. Im Sinne einer Checkliste sind die wichtigsten Punkte nachfolgend festgehalten:

### ● Vorteile

- Jede Verkleinerung der Drehzahl einer Pumpe verringert den mechanischen Verschleiss und erhöht somit deren Lebensdauer.
- Druckschwankungen im Leitungs-

netz können dank der Drehzahlregelung vermieden werden. Das Leitungsnetz wird geschont.

- Das Anfahren der Pumpe erfolgt geregelt (Beschleunigungszeit einstellbar). Pumpe und Leitungsnetz werden geschont. Ebenso entfällt die Stossbelastung des elektrischen Netzes.
- Das Leitungsnetz kann vereinfacht werden. Elemente wie Drosseln, Steuerventile und Bypass-Leitungen usw. entfallen.

### ● Nachteile

- Netzurückwirkungen in Form von Stromoberwellen (evtl. Kompensation notwendig).
- Möglichkeit von hochfrequenten Radiostörungen (evtl. speziellen Radiostörfilter vorsehen).
- Zusätzlicher Platzbedarf in Schalt-räumen.

# Bestens! Bestens! Bestens!

Bestens geht die Übertragung von Steuerbefehlen und Signalen mit dem Universal-Kabel S82.

S82 heisst unser Signalkabel in Paarverseilung mit IEC-Farbcode, lieferbar mit und ohne Abschirmung.

Mehr über diese Verbindung: 062 · 65 14 44

**Studer Draht- und Kabelwerk AG**  
**CH-4658 Däniken SO**



## TRANSFORMATOREN

## TRANELA AG

Wir **produzieren** auf unsern selbstentwickelten Wickelmaschinen – die weltweit auch bei andern führenden Transformatorherstellern im Einsatz sind –

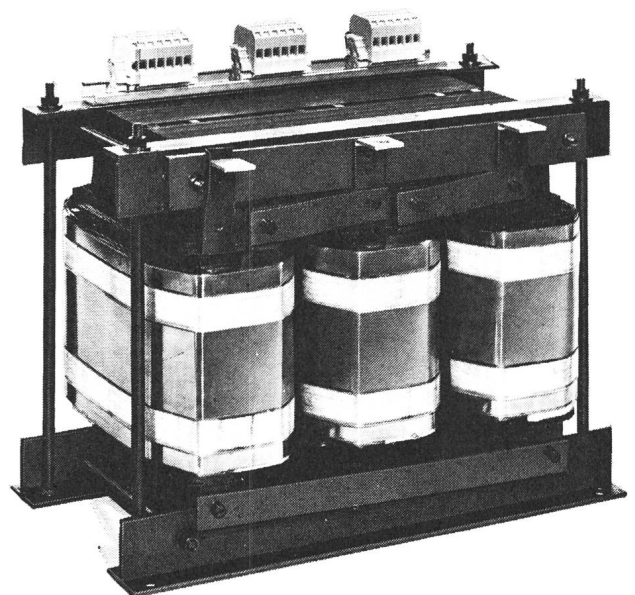
**günstiger**  
**dank**  
**modernster**  
**Bandwickel-**  
**technik**

Wir **optimieren** unsere Geräte computergestützt mit eigenen Programmen

Wir **fabrizieren** Kupfer- und Aluminiumband-Wicklungen.

luft- und wassergekühlt.

**Transformatoren von 3 bis 1000 kVA**  
**Drosselspulen**



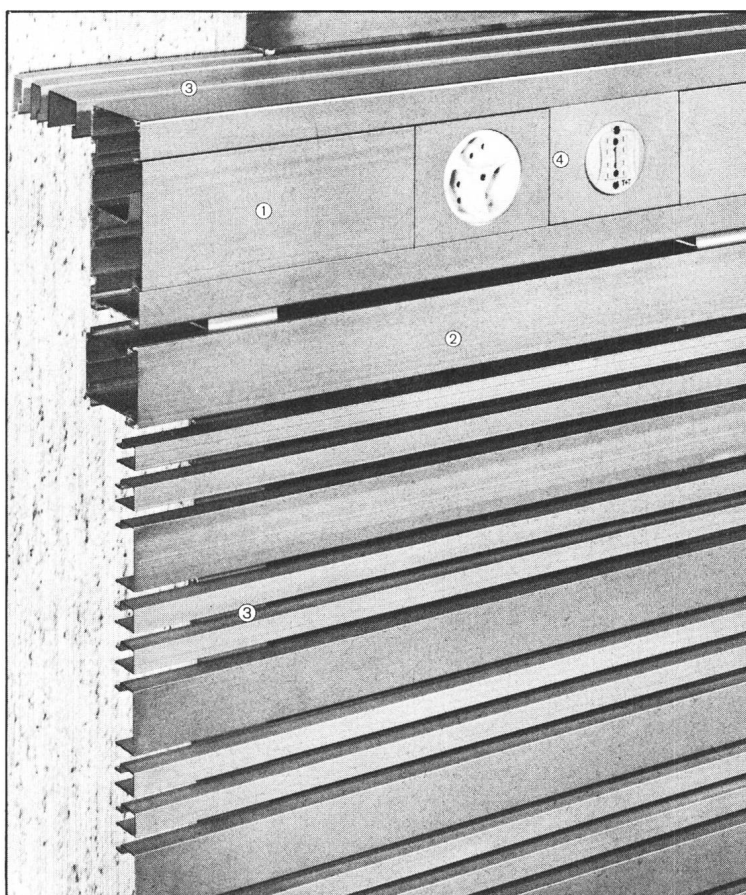
**TRANELA AG CH-8954 Geroldswil Tel. 01 748 20 52**

Überzeugend einfach:

# REHAU Brüstungskanäle mit Anbausystem.

Moderne Büro- und Verwaltungsgebäude werden heute zunehmend über Brüstungskanäle mit Energie versorgt. Sei es für Elektrogeräte oder für Computer-

terminals. Das umfassende AL-Anbausystem ermöglicht durch sein bestechendes Design architektonisch optimale Verkleidungs-Lösungen.



**Das Rehau-Vollsortiment** umfasst auch ● Leitungskanäle ● Verdrahtungskanäle ● Mini-Kanäle und ● halogenfreie Kanäle.

- ① Alu-, Stahlblech- und Kunststoff-Kanäle in verschiedenen Farben und Grössen.
- ② Alu-Elektronikkanal zur getrennten Führung von Nachrichtenleitungen.
- ③ Alu-Anbausystem zur horizontalen und vertikalen Verkleidung von Heizkörpern usw. mittels Lüftungsprofilen.
- ④ Alle gängigen Steckdosen für: ● 220 V/380 V ● Telefon ● Computer/Telex.

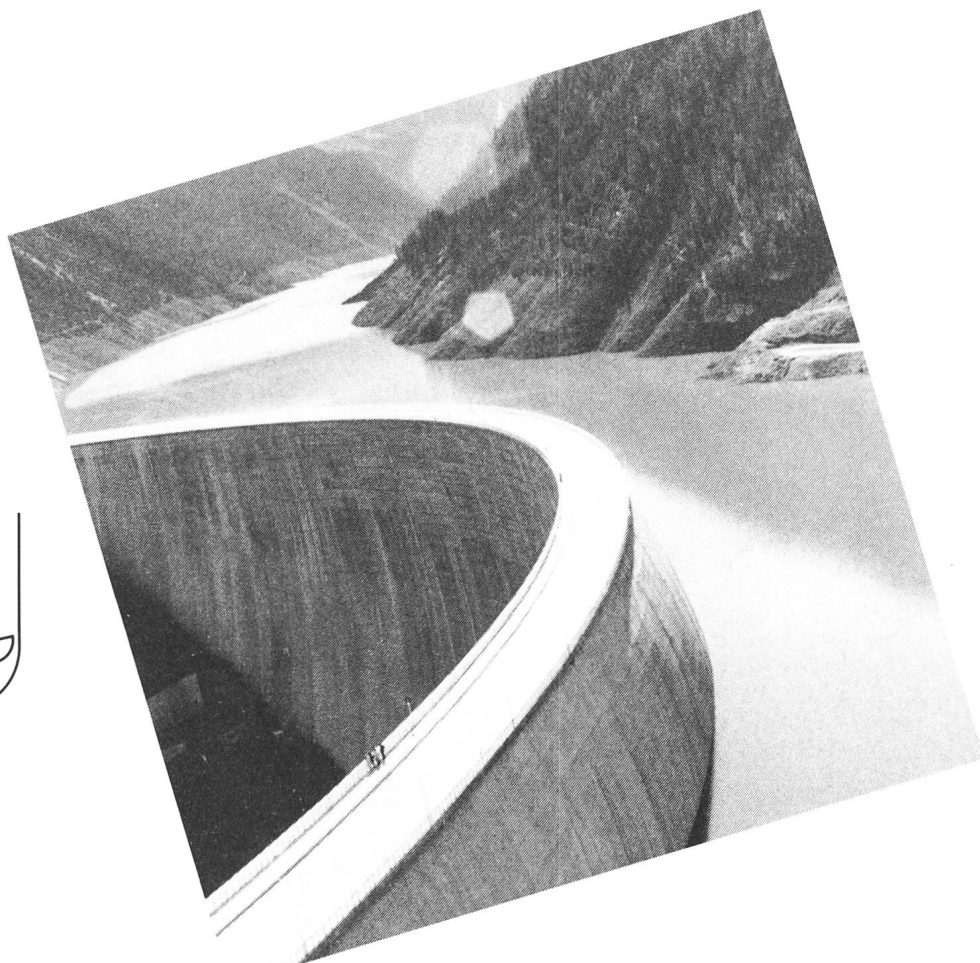
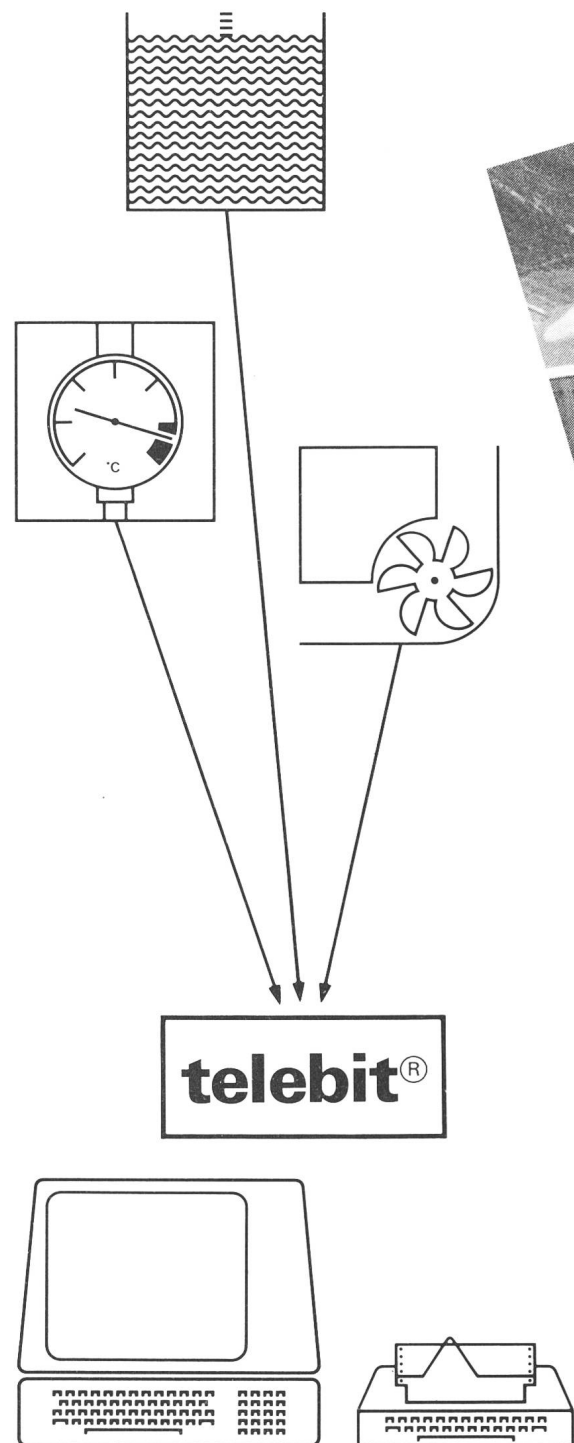
Dürfen wir Sie überzeugen? Wir senden Ihnen gerne den Rehau-Gesamtkatalog zu.



**Julius Fischer AG**

Ausstellungsstrasse 41, Postfach, 8021 Zürich  
Tel. 01 / 42 31 13, Telex 822 911

# Sie können Ihren Prozess auch aus der Ferne führen



Das Fernwirksystem Telebit sorgt dafür, dass Messwerte und Informationen von dezentralen Betriebspunkten genau erfasst, sicher in zentrale Leitstellen übertragen und dort automatisch verarbeitet und angezeigt werden. Die Signalübertragung erfolgt über private Kabel- oder öffentliche Telefon-Netze, in Trägerfrequenztechnik, z.B. auch über Hochspannungsleitungen, über Lichtwellenleiter- und Funkverbindungen.

Jede Anlage lässt sich entsprechend Ihren Bedürfnissen bis ins Detail individuell aufbauen, komplexe Verknüpfungen sind ebenso möglich wie einfache Punkt-Punkt-Verbindungen. Wie verzweigt Ihre Prozesse auch laufen, mit dem mikroprozessorgesteuerten Telebit-System haben Sie die Dinge immer im Griff.

Lassen Sie sich darüber näher informieren!

## AUTOPHON



Autophon AG  
Vertriebsleitung Schweiz  
Stauffacherstrasse 145  
CH-3000 Bern 22  
Telefon 031 40 00 22

Téléphonie SA  
Chemin des Délices 9  
CH-1006 Lausanne  
Téléphone 021 26 93 93



## HEIZZEITEN OHNE LEERLAUF- ZEITEN.

EWHZ-P, die wartungsfreie Elektro-Direktheizung auf kleinstem Raum.



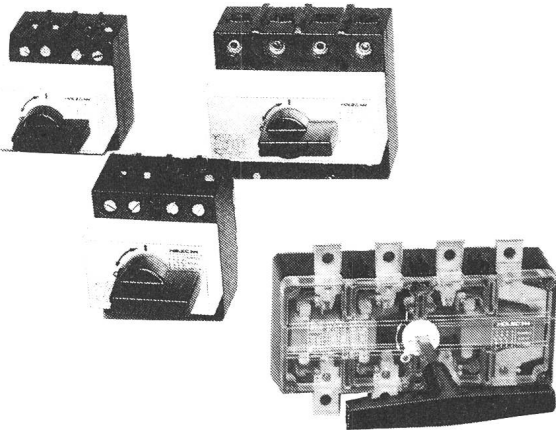
Dieser kompakte Heizkessel für alle Wasser-Zentralheizsysteme kann sogar in einem Abstellraum aufgestellt werden. Seine Stärken: ● Geräuschfrei ● Abgasfrei ● Keine Wartungskosten ● Geringe Investitionskosten ● Wirtschaftlicher Energieeinsatz. Im Preis inbegriffen sind ● Projektierung ● Anschlussfertige Geräte-lieferung ● Inbetriebnahme ● Instruktion ● Garantie über 2 Heizperioden

**AEG**  
AUS  
ERFAHRUNG  
GUT

AEG/H. P. Koch AG, Hölzliwisenstr. 12, Volketswil  
8603 Schwerzenbach, Telefon 01 945 11 44

# eltavo

So sehen die neuen Lasttrenn-Schalter  
DUMECO 40/63/125/200/315 A aus!



Das heisst für Sie

- noch mehr Auswahlmöglichkeiten
- noch grössere Abschaltleistungen
- noch geringere Abmessungen
- noch kostengünstiger

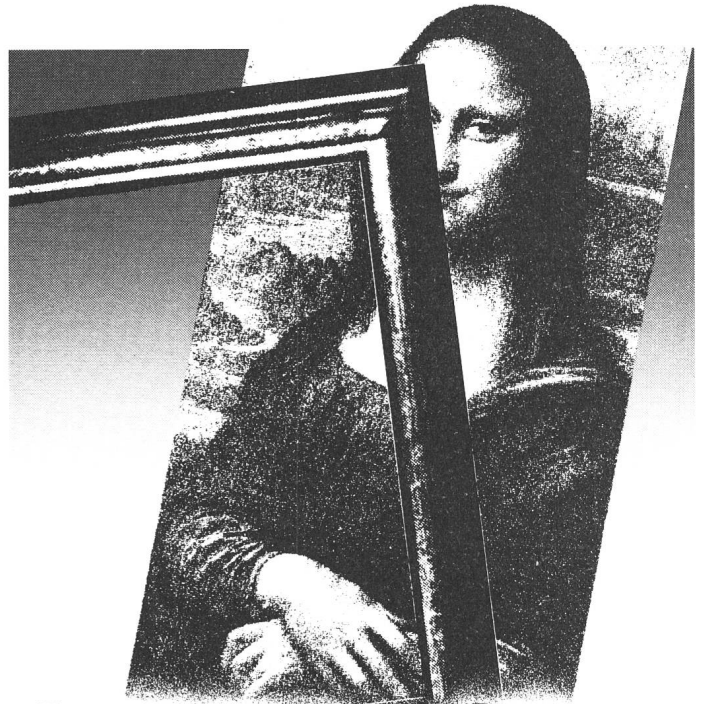
Die bewährten und neuen Typen  
ab Lager lieferbar

**ELTAVO Walter Bisang AG**

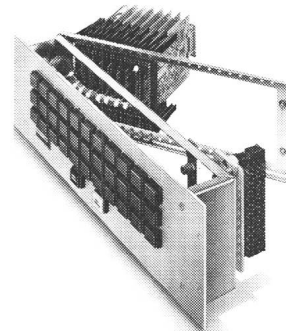
Elektro- und Industrieprodukte  
CH-8222 Beringen/Schaffhausen  
Telefon 053 7 26 66, Telex 89 60 85 elta

**INFO-Coupon**

Bitte senden Sie mir  
detaillierte Unterlagen  
über **DUMECO**



## Aus dem Rahmen fallen. Unsere Stärke.



- mit einer besonderen Leistung
- mit kompetenter Beratung und einem Produkt, das umfassend und flexibel ist und in nahezu jeden vorgeschriebenen Rahmen passt.

Anwendung: Zentrale Überwachung von Kraftwerken, Kläranlagen, Tanklagern, Geschäftshäusern, Spitälern, automatisierten Fabrikationsabläufen u.a.m.

Bis zu 100 Störmeldungen pro Einheit. Akustische und optische Anzeige. Einfache Montage.



**Elektro-Apparatebau  
Olten AG**  
Tannwaldstrasse 88  
4601 Olten  
Telefon 062/25 22 50  
Telex 981 602



## Meldesysteme

SEV 22

Wir wünschen ausführliche technische  
Unterlagen

Firma \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_

zuständig \_\_\_\_\_