

Materialien zu RAVEL

# Sensorik

Nikolaus Havrilla



Peter Scheitlin

Impulsprogramm RAVEL  
RAVEL - **Materialien** zu RAVEL

Bundesamt für Konjunkturfragen

**Adressen:**

Herausgeber:  
Bundesamt für Konjunkturfragen (Bf K)  
Belpstrasse 53  
3003 Bern  
Tel.: 031/322 21 39  
Fax 031/371 82 89

Geschäftsstelle: RAVEL  
c/o Amstein+Walthert AG  
Leutschenbachstrasse 45  
8050 Zürich  
Tel.: 01/305 91 11  
Fax: 01/305 92 14

Ressortleiter: Georg Züblin  
EPS AG für Elektronische  
Prozesssteuerungen  
Gallusstrasse 10  
9500 Wil  
Tel.: 073/20 31 91  
Fax :073/22 13 87

Autoren:Nikolaus Havrilla  
Bühler AG  
St. Gallerstrasse 161  
8645 Jona  
Tel.: 055/28 44 48  
Fax: 055/28 44 48

Peter Scheitlin  
Bühler AG  
9240 Uzwil  
Tel.: 073/50 21 06  
Fax: 073/50 38 60

Diese Studie gehört zu einer Reihe von Untersuchungen, welche zu Handen des Impulsprogrammes RAVEL von Dritten erarbeitet wurde. Das Bundesamt für Konjunkturfragen und die von ihm eingesetzte Programmleitung geben die vorliegende Studie zur Veröffentlichung frei. Die inhaltliche Verantwortung liegt bei den Autoren und der zuständigen Ressortleitung.

Copyright Bundesamt für Konjunkturfragen 3003 Bern, August 1994  
Auszugsweiser Nachdruck unter Quellenangabe erlaubt. Zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern (Best. Nr. 724.397.43.52 D)

Form. 724.397.43.52 D 08.94 500

RAVEL - Materialien zu RAVEL

## **Inhaltsverzeichnis**

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1   | BEGRIFFE                                       | 1  |
| 1.1 | Klassifizierung                                | 1  |
| 1.2 | Sensoren klassiert nach physikalischen Grössen | 3  |
| 1.3 | Technologien und Funktionen                    | 7  |
| 1.4 | Signalübertragung                              | 20 |
| 1.5 | Blick in die Zukunft                           | 22 |
| 2   | ENERGIEEINSPARUNG MIT HILFE DER SENSORIK       | 25 |
| 2.1 | Elektrische Energie und deren Erfassung        | 25 |
| 2.2 | Messung anderer Energieträger                  | 25 |
| 2.3 | Massnahmen rund um die Automatisierung         | 25 |
| 2.4 | Produktionsoptimierung                         | 30 |
| 2.5 | Indirekte Massnahmen                           | 33 |
| 3   | ANHANG   | 35 |
| 3.1 | Energieverbrauch in industriellen Anlagen      | 35 |
| 3.2 | Verbrauch pro Energieträger                    | 35 |
| 3.3 | Verbrauch pro Branche                          | 36 |
| 3.4 | Verbrauch pro Branche und Gruppe               | 37 |
| 3.5 | Zusammenfassung                                | 37 |



## VORWORT

### DAS IMPULSPROGRAMM RAVEL

Das Aktionsprogramm des Bundesamtes für Konjunkturfragen ist auf sechs Jahre befristet (1990/1995) und setzt sich aus den drei Impulsprogrammen zusammen:

- BAU                    - Erhaltung und Erneuerungen
- RAVEL                - Rationelle Verwendung von Elektrizität
- PACER                - Erneuerbare Energien

Mit den Impulsprogrammen, die in enger Kooperation von Wirtschaft, Schulen und Bund durchgeführt werden, soll der qualitative Wertschöpfungsprozess unterstützt werden. Dieser ist gekennzeichnet durch geringen Aufwand an nicht erneuerbaren Rohstoffen und Energien sowie abnehmende Umweltbelastung, dafür gesteigerten Einsatz an Fähigkeitskapital.

Im Zentrum der Aktivität von RAVEL steht die Verbesserung der fachlichen Kompetenz, Strom rationell zu verwenden. Neben den bisher im Vordergrund stehenden Produktions- und Sicherheitsaspekten soll verstärkt die wirkungsgradorientierte Sicht treten. Aufgrund einer Verbrauchsmatrix hat RAVEL die zu behandelnden Themen breit abgesteckt. Neben den Stromanwendungen in Gebäuden kommen auch Prozesse in der Industrie, im Gewerbe und im Dienstleistungsbereich zum Tragen. Entsprechend vielfältig sind die Zielgruppen: Sie umfassen Fachleute auf allen Qualifikationsstufen und Entscheidungsträger, die über stromrelevante Abläufe und Investitionen zu befinden haben.

#### **Kurse, Veranstaltungen, Publikationen, etc.**

Umgesetzt werden die Ziele von RAVEL - aufbauend auf Untersuchungsprojekten zur Verbreiterung der Wissensbasis - durch Aus- und Weiterbildung sowie Informationen. Die Wissensvermittlung ist auf die Verwendung in der täglichen Praxis ausgerichtet. Sie baut hauptsächlich auf Publikationen, Kursen und Veranstaltungen auf. Jährlich wird eine RAVEL-Tagung durchgeführt, an der jeweils - zu einem Leitthema - umfassend über neue Ergebnisse, Entwicklungen und Tendenzen in der jungen, faszinierenden Disziplin der rationellen Anwendung von Elektrizität informiert und diskutiert wird.

Interessenten können sich über das breitgefächerte, zielgruppenorientierte Weiterbildungsangebot in der Zeitschrift IMPULS informieren. Sie erscheint viermal jährlich und ist (im Abonnement) beim Bundesamt für Konjunkturfragen, 3003 Ben-i, gratis erhältlich.

Jedem Kurs- und Veranstaltungsteilnehmer wird jeweils eine Dokumentation abgegeben. Diese besteht zur Hauptsache aus der für den entsprechenden Anlass erarbeiteten Fachpublikation. Die Publikationen können auch bei der Eidg. Drucksache- und Materialzentrale (EDMZ), 3000 Bern, bezogen werden.

## **Zuständigkeiten**

Um das ambitionierte Bildungsprogramm bewältigen zu können, wurde ein Organisations- und Bearbeitungskonzept gewählt, das neben der kompetenten Bearbeitung durch Spezialisten auch die Beachtung der Schnittstellen im Bereich der Stromanwendung sowie die erforderliche Abstützung bei Verbänden und Schulen der beteiligten Branchen sicherstellt. Eine aus Vertretern der interessierten Verbände, Schulen und Organisationen bestehende Kommission legt die Inhalte des Programmes fest und stellt die Koordination mit den übrigen Aktivitäten, die den rationellen Einsatz der Elektrizität anstreben, sicher. Branchenorganisationen übernehmen die Durchführung der Weiterbildungs und Informationsangebote. Für deren Vorbereitung ist das Programmleitungsteam verantwortlich. Die Sachbearbeitung wird im Rahmen von Ressorts erbracht, die inhaltlich, zeitlich und kostenmässig definierte Einzelaufgaben zu lösen haben.

## **Zur vorliegenden Dokumentation**

Untersuchungen im Rahmen von RAVEL haben klar gezeigt, dass eine optimierte Produktion auch energietechnische Vorteile aufweist. Um eine Anlage optimal im Griff zu haben, muss die Steuerung und Bedienung die Vorgänge gut beobachten - in sie hineinsehen - können. Die Sensoren sind die Sinne einer jeden Anlagensteuerung und -bedienung.

Diese Dokumentation ist in erster Linie für Ingenieure gedacht, die Anlagen automatisieren. Sie soll einen Überblick gestatten, kann aber die Detailabklärungen in spezifischen Fachgebieten und für bestimmte Verfahren nicht ersetzen.

Besonders im Industriesektor haben Sensoren in den vergangenen Jahren mehr und mehr an Bedeutung gewonnen. Und ihre Entwicklung geht ungebremst voran. So stehen heute für die meisten physikalischen Eigenschaften eine Vielzahl von elektronischen Messfühlern zur Wahl. Bestehen Möglichkeiten, diese zukunftssträchtige Technologie auch zur energetischen Verbesserung von industriellen Anlagen einzusetzen? Dieser Frage geht der vorliegende Bericht nach. In einem ersten Teil wird der Leser durch die Autoren in die Sensoren-Technologie eingeführt. Sie geben einen Überblick über die verschiedenen Funktionsprinzipien. Besondere Eigenschaften der Sensorklassen, auch bezüglich des Energie-sparpotentials, sind im zweiten Teil der Studie beschrieben.

Anhand etlicher Beispiele sollen die Leser zu innovativen Ideen bei Planung und Betrieb ihrer eigenen Anlagen angeregt werden. Der intelligente Einsatz von Sensorik soll aber auch als Verkaufsargument benutzt werden können, denn eine gut angepasste, zuverlässige Sensorik ist langfristig gesehen immer die preiswertere Lösung als die in der Anschaffung billigste Lösung.

Die vorliegende Dokumentation wird an die Teilnehmer des Workshops 'Autoimation und RAVEL' abgegeben und bildet ein ilitegierter Bestandteil der Kursdokumentation. Sie soll aber auch als eigenständige Informations-Sammlung nützlich sein.

Freuen wir uns also auf mehr 'Sinnlichkeit' mittels Sensorik!

## Résumé

Les études effectuées dans le cadre du projet RAVEL ont clairement montré qu'une production industrielle optimisée présente aussi de nombreux avantages du point de vue des techniques énergétiques. Pour gérer une installation de manière optimale, il est indispensable que les personnes chargées de la conduite des installations et de l'exploitation observent minutieusement les procédés et puissent les modifier. Les capteurs sont la base même de la commande et de l'exploitation.

Cette documentation a été conçue à l'intention d'ingénieurs spécialisés dans la conception d'installations automatisées. Elle permet une vue d'ensemble, mais ne remplace en aucun cas les explications détaillées de la branche professionnelle, ni les directives pour des procédés particuliers.

Les capteurs ont pris de plus en plus d'importance au cours de ces dernières années dans le domaine industriel. Leur développement ne connaît plus de frein. En électronique, il existe actuellement une multitude de capteurs de mesure pour la plupart des grandeurs physiques.

Est-il possible d'utiliser ces technologies prometteuses pour améliorer les performances énergétiques des installations industrielles? C'est le propos de ce rapport. La première partie traite de la technologie des capteurs. Les auteurs donnent un aperçu des principaux principes de fonctionnement. La deuxième partie apporte des informations sur les propriétés des différentes classes de capteurs, particulièrement au sujet des possibilités d'économie d'énergie.

Maints exemples suggèrent au lecteur des idées innovatrices pour la planification et l'exploitation de ses propres installations. L'utilisation intelligente de capteurs doit également devenir un argument de vente. Un capteur bien adapté et fiable est toujours une solution plus avantageuse à long terme que la solution la meilleur marché à l'achat.

Cette documentation sera distribuée aux participants au "Workshops Automation et RAVEL". Elle fait partie de la documentation du cours. Mais elle peut aussi être utile comme brochure indépendante.

En bref, plus de "sensualité" grâce aux capteurs.



# 1 BEGRIFFE

## 1.1 Klassifizierung

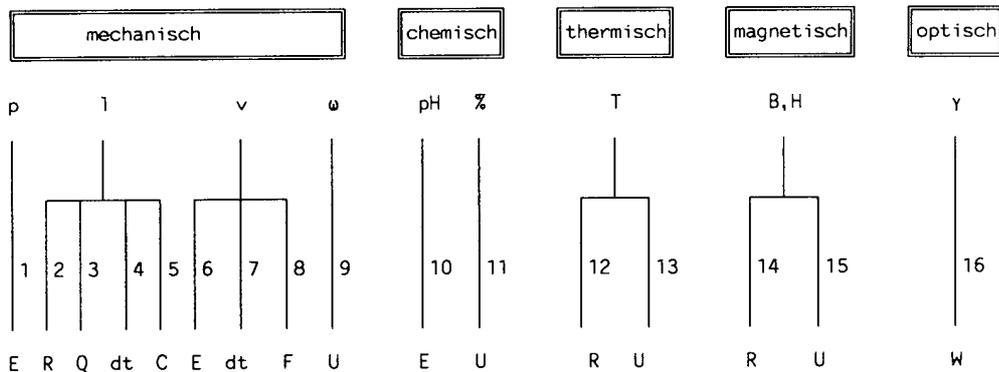
Sensoren dienen der Erfassung und Quantifizierung der Umwelt. Genau wie der Mensch Augen, Nase, Zunge usw. als Sensor benötigt, so braucht auch eine Steuerung verschiedene Sensoren, um bestimmte Grössen der Umwelt aufzunehmen. Solche Sensoren sind Messfühler, welche mechanische, chemische, thermische, magnetische, optische oder elektromagnetische Werte usw. zum Beispiel in elektrische Signale umformen.

Die zu erfassende Umwelt stellt sich dar mit ihren mechanischen, chemischen, thermischen, magnetischen oder optischen Eigenschaften. Durch Einsatz der Sensorik können die zugehörigen Werte über physikalisch/technische Effekte in entsprechende elektrisch auswertbare Grössen umgesetzt werden. Die umseitige Grafik erläutert die Zusammenhänge.

Die oberste Zeile (in Kästchen) gruppiert die Eigenschaften. Darunter sind die entsprechenden physikalischen Grössen wie Weg, Druck etc. aufgeführt.

Die nummerierten Linien entsprechen dem im Sensor verwendeten Umwandlungseffekt.

Und die letzte Zeile entspricht der vom Sensor umgewandelten physikalischen Zielgrösse (die in manchen Fällen durch entsprechende Elektronik weiter gewandelt werden kann oder muss).



Eingangsgrösse

- p = Druck
- l = Weg, Abstand
- v = Geschwindigkeit
- $\omega$  = Winkelgeschwindigkeit, Drehzahl
- pH = Ionen-Konzentration
- % = Volumen-%, Gaskonzentration
- T = Temperatur
- B = Flussdichte
- H = magnetische Feldstärke
- $\gamma$  = Lichtquant

Elektrische auswertbare Grösse

- C = Kapazität
- E = Feldstärke
- Q = Schwingkreisgüte
- R = Widerstand
- dt = Zeitintervall
- U = Spannung
- W = elektr. Energie

Umwandlungseffekt oder -Gleichung

- 1= piezoelektrischer Effekt
- 2= Dehnungsmessstreifen
- 3= Widerstand durch Wirbelströme
- 4= Weg/Zeit-Messung
- 5= Kapazitätsmessung
- 6= Lorentz-Feldstärke
- 7= Weg/Zeit-Messung
- 8= Doppler-Effekt
- 9=Induktionsgesetz
- 10= modifizierte Nernstsche Gleichung
- 11= Nernstsche Gleichung
- 12= Metalle, Heissleiter, Kaltleiter
- 13= Thermoelement
- 14= magnetoresistiver Effekt
- 15= Halleffekt
- 16= Massen-Energie-Aequivalenz

## 1.2 Sensoren klassiert nach physikalischen Grössen

Welche physikalischen Grössen können mit heutigen Sensoren erfasst werden? Wie funktionieren sie (Effekte/Prinzipien)? In diesem Kapitel werden die für die Praxis wichtigsten Sensoren ohne Anspruch auf Vollständigkeit aufgelistet.

3

| Sensoren für elektrische Grössen |  |
|----------------------------------|--|
| Spannung                         | Vergleich mit Referenz (z.B. in D/A-Wandlern), Umwandlung in Strom, Feldkraft (Hochspannung)   |
| Strom                            | Galvanometer, Umwandlung in Spannung, Messtransformer für Wechselströme, Stromzange  |
| Phase                            | Umwandlung von Strom und Spannung in vektorielle Zugkräfte, elektronische Nulldurchgangsermittlung (Zähler)  |
| Widerstand                       | Strom- oder Spannungsmessung, Brückenschaltungen.  |
| Leistung                         | Feldmässige oder elektronische Multiplikation von Spannung und Strom, bei Wechselstrom elektronische Ermittlung der Phasenlage für Berechnung der Wirk-, Blind- und Scheinleistung<br>Impulsabnahme von Energiezählern (Zeitmessung) |
| Energie                          | Induktionszähler (Wirbelstromprinzip), elektronische Multiplikation und Integration von Spannung mal Strom   |

| Sensoren für geometrische Grössen |  |
|-----------------------------------|--|
| Länge/Weg                         | potentiometrische/induktive Ausführungen für analoge Signale<br>inkrementale/absolut kodierte Ausführungen für digitale Signale<br>mechanische, induktive oder kapazitive Endschalter, Lichttaster, Laufzeitmessungen (Echolot, Radar, Satellitennavigation) |
| Winkel                            | Codescheibe, siehe Sensoren für Länge/Weg  |
| Position                          | photosensitive Detektion (PIN-Dioden) Endschalter, Lichtschranken<br>Mikrowellenempfänger bei Satellitennavigation (GPS)   |
| Richtung                          | Trägheitsgeber (z.B. Kreisel, Beschleunigungsgeber)  |

| <b>Sensoren für bewegungsbezogene Grössen</b> |   |
|---|---|
| Impulse                                       | Erfassung der Änderung des magnetischen Flusses aktiv (bewegter Magnet) oder passiv (Änderung eines hochfrequenten Wechselfeldes)   |
| Drehzahl                                      | Tachogenerator (Gleichspannungsgenerator)   |
| Geschwindigkeit                               | Tachometer (Wirbelstromeffekt), Optische Längenmessung kombiniert mit Laufzeitmessung, Dopplereffekt, Pitotrohr (Gase)<br>Flügelrad und Magnethydrodynamischer Effekt in Flüssigkeiten. |
| Beschleunigung                                | Dehnungsmessstreifen, Piezoeffekte, Effekt der Beschleunigung auf Kreisel   |
| Schwingungen                                  | Amplitudenmessung durch Mikrofone, Frequenz/Zeitverhalten mit Zählern, Schreibern etc.  |

| <b>Sensoren für stoffbezogene Grössen</b> |   |
|---|---|
| Dichte                                    | Wägeeinrichtungen, Volumetrik   |
| Strömung /Durchfluss                      | kalometrisches Prinzip, Staugitter, Staurohr, Gasuhr, Flügelradanemometer, Wirkdruckprinzip, Volumenzähler, Schwebekörper, zyklische Verwiegung, Coriolis-Durchflussmesser, Ultraschall-Durchflussmessung mit Laufzeitauswertung oder Dopplereffekt an Schwebeteilchen. |
| Füllstand                                 | Schwimmer, Echolot, kapazitive und induktive Niveausonden   |
| Viskosität                                | Widerstandsmoment-Erfassung bei konstanter Drehzahl oder Geschwindigkeit eines mechanischen Elementes im Flüssigkeitsstrom  |

| <b>Sensoren für kraftbezogene Grössen</b> |  |
|---|--|
| Kraft                                     | Biegefeder, Dehnungsmessstreifen (DMS), piezoresistives Prinzip (Halbleiter), piezoelektrisches Prinzip (Quarze)       |
| Wägezwecke                                | siehe Sensoren für Kraft   |
| Drehmoment                                | Drehmomentmessung auf DMS-Basis, Nutzung der magnetoelastischen und magnetostruktiven Effekte, Phasenverschiebung usw. |
| Druck                                     | Membranen, Biegebalken<br>siehe Sensoren für Kraft   |
| Schalldruck                               | Mikrofon (Einsatz im Freien)<br>Hydrofon (Einsatz im Wasser bzw. in flüssigen Medien)                                  |
| Spannungsanalyse                          | Dehnungsmessstreifen (DMS), Temperaturmessstreifen (TMF), Druckmessfolie (DMS), Reisslack usw.                         |

| <b>Sensoren für Wärme</b> |  |
|---------------------------|--|
| Temperatur                | Thermoelemente (Thermokraft)<br>Widerstandsthermometer (el. Widerstand)<br>Heiss-/Kaltleiter (NTC-/PTC-Widerstände)<br>Thermostaten, Thermosicherungen mit Bimetalleffekt usw. |
| Wärmefluss                | Kombination von Durchflussmessung (siehe oben) mit Temperaturdifferenz über Wärmelast.   |
| Wärmestrahlung            | Infrarot-Detektion mit IR-Dioden, Charge coupled devices, Pyrometer  |

| <b>Sensoren für Licht</b> |  |
|---------------------------|--|
| Lichtenergie              | Fotozellen, Solarzellen, chemische Reaktionen (z.B. Fotopapier), Restlichtverstärker, CCD arrays, TV-Kamera. |
| Spektrum                  | Obenstehende Sensoren kombiniert mit Spektrometer, Filteranordnungen   |

| <b>Sensoren für Konzentrationen und Anteilgrößen</b> |   |
|--|---|
| Feuchte  | Taupunktmessung<br>Vorwärtsstreuung von Licht (Sensoren für Sichtweite und Nebeldetektion)<br>NIR-Technologie (Near Infrared, Absorption oder Reflexion von IR-Spektren).   |
| chemische Größen                                     | Konzentrationsmessung (Widerstands- oder Leitwertmessung)<br>elektrochemische Umsetzung, Messung der Ionenkonzentration<br>pH-Sensoren<br>NIR-Technologie (Infrarot Absorption durch Moleküle)<br>Akusto-optische Gasanalyse (Druckschwankungen durch Anregung der Gasmoleküle mit einer im hörbaren Bereich modulierten Infrarot-Strahlung). |
| Rauch- und Brandmeldung                              | Streulicht- und Ionisationsmelder<br>Strahlungsmelder (IR- und UV-Ausführungen)<br>Wärmemelder (Wärmeleitung)   |

| <b>Sensoren für magnetische Größen</b> |  |
|--|--|
| diverse Anwendungen                    | Magnetfeldsensoren, magnetoresistive Sensoren, magnetoelastische Sensoren, Induktionsprinzip, Lorentz-Kraft, Curiepunkt, Ummagnetisierungs- und galvanomagnetische Effekte |

| <b>Sensoren für objektbezogene Größen</b> |  |
|---|--|
| Farbbestimmung                            | Absorption und Reflexion von Licht (Filter, monochromatische Quelle/Detektor), Scanner (z.B. Drucktechnik) |
| Mustererkennung                           | Bildauswertung von Videosignalen   |
| Objektzählung, Materialfluss              | Bildauswertung von Videosignalen<br>Wägen bei bekanntem Stückgewicht, Lichtschranken usw.                  |
| Qualitätskontrolle                        | Bildauswertung von Videosignalen<br>viele der Anwendung angepasste Sensoren wie etwa Taster                |

### 1.3 Technologien und Funktionen

In diesem Kapitel wird den folgenden drei Fragen nachgegangen:

Was für Sensoren spielen in der Fertigungstechnik eine wesentliche Rolle?

Wie funktionieren sie und auf welcher Technologie basieren sie?

- Wie und wo werden sie eingesetzt?

#### 1.3.1 Mechanische Sensoren

Heute verwendete mechanische Sensoren sind fast immer kombiniert mit einem Wandler in eine elektrische Grösse. Im einfachsten Falle ist dies ein Schalter (Ein/Aus), in komplexeren sind es analoge Spannungen oder Ströme, die in einer Kombination von Feinwerktechnik und Elektronik generiert werden und damit eine Quantifizierung der gemessenen Grösse erlauben (z.B. Taster mit gekoppeltem Differential-Transformer für die exakte Längenmessung).

Erwähnt werden müssen hier aber auch Sensoren, die keine inherente Umwandlung in elektrische Grössen benutzen. Sie sind besonders in der Pneumatik und Hydraulik verbreitet und haben dementsprechende Ausgänge für die Stellwerte von pneumatischen oder hydraulischen Regelvorrichtungen.

Direkte mechanische Sensor/Reglerfunktionen wie zum Beispiel Fliehkraftregler oder mechanische Regler für die Turbinenleitgeräte (Wasserkraftwerke) finden heute nur noch Nischenanwendungen.

#### 1.3.2 Sensoren für die Stromverbrauchsmessung

Für die Ermittlung von elektrischer Arbeit und Leistung dienen eine ganze Anzahl von Gerätetypen. Die Leistung wird heute fast ausschliesslich elektronisch gemessen, wobei Spannung, Strom und evtl. Phasenlage gemessen und miteinander verrechnet werden.

Für industrielle Zwecke sind hauptsächlich Wechselströme massgeblich. Die Strommessung erfolgt bei festen Installationen meist über Messtrafos, bei portablen Messungen mit Stromzangen. Stromwandlertrafos funktionieren nach dem Prinzip, dass das vom zu messendem Strom erzeugte magnetische Wechselfeld in einer Sekundär-Spule eine Spannung induziert, die proportional zum fliessenden Strom ist. Für einfache Messungen genügt oft lediglich die Ermittlung des Stromes, die Spannung und allenfalls die Phasenlage kann für viele Messanwendungen als konstant angenommen werden.

Stromzangen eröffnen die Möglichkeit, ohne Montage oder Berührung des Leiters zu messen. Sie erlauben je nach Ausführung die Gleich- oder Wechselstrommessung.

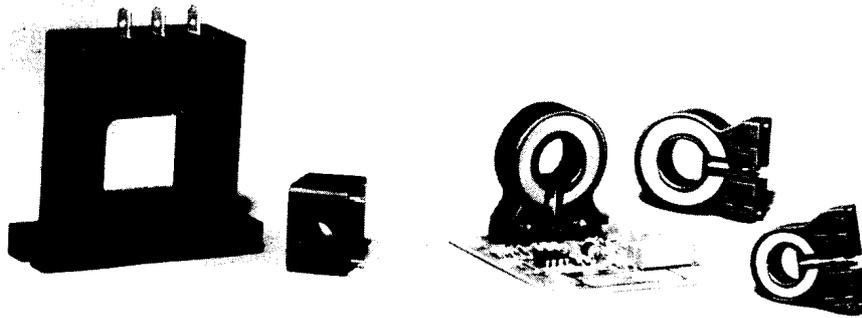


Bild 1.1:  
Diverse Stromsensoren [5]

Das Grundprinzip dieser Stromerfassung beruht auf der Messung des um den stromführenden Leiter aufgebauten Magnetfelds. Das Stromkabel wird durch einen offenen Ferritring geführt, der die magnetische Flussdichte im Luftspalt und dem dort angeordneten Fühlerelement verdichtet. Für die Messung von Gleichstrom (und -Anteil) werden meist Hallelemente eingesetzt. Bis zu einer bestimmten Grenzfrequenz (die sehr hoch liegen kann), lassen sich mit dem Hallelement auch Wechselfelder messen. Da die magnetische Flussdichte zum Messstrom direkt proportional ist, steht auch die Ausgangsspannung oder -Strom am Sensor in einem direkten Verhältnis zum Messstrom.

Wechselmagnetfelder können durch induzierte Spannungen/Ströme ermittelt werden, am einfachsten geschieht diese mit einem Messtrafo (sog. Stromwandler).

Eine einfache Möglichkeit, Leistung und Energie auf Distanz und genau zu erfassen, ermöglicht ein auf den Stromzähler aufgeklebten Infrarot-Reflex-Sensor. Die abgegebenen Impulse können mit einem Zähler zur Energie integriert werden, Leistung kann durch das Intervall zwischen Impulsen gemessen werden. Solchennassen ermittelte und gespeicherte Daten können zu einem späteren Zeitpunkt mit einem Personal Computer ausgewertet und analysiert werden.

Strom- und leistungserfassende Elemente sind heute noch viel zu wenig eingesetzt. Die Kenntnisse aber über das Verhalten von elektrischen Verbrauchern ist der erste Schritt zur Optimierung, und die Stromrechnung alleine gibt keine detaillierten Auskünfte. Eine Erfassung der Momentanleistungen und gewisser Ganglinien hilft aber nicht nur Strom sparen, sie ist auch ein wichtiges Mittel der Anlagenüberwachung. So können höhere Reibungsverluste, defekte Heizspiralen, überlastete oder überdimensionierte Motoren ermittelt werden.

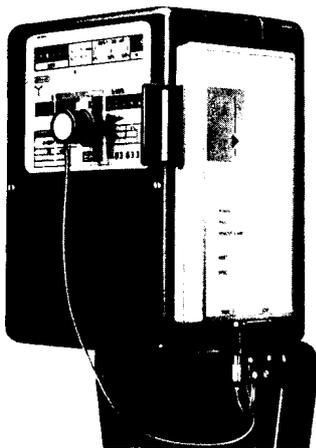


Bild 1.2:  
Stromzähler mit Infrarot-Reflex-Sensor [6]

### 1.3.3 Induktive Sensoren

Induktive Sensoren haben, insbesondere in Form der induktiven Näherungsschalter, auch Initiatoren genannt, eine weite Verbreitung in der Automatisierungs- und Verfahrenstechnik gefunden. Sie arbeiten berührungslos und rückwirkungsfrei, sind durch ihre geschlossene Bauform resistent gegen Umwelteinflüsse und zeichnen sich durch eine hohe Zuverlässigkeit aus. Die induktiven Sensoren werden hauptsächlich zur Erfassung von metallischen Objekte eingesetzt. Ferner erlauben sie auch die Erfassung folgender Funktionszustände:

- Anwesenheit, Vorbeilauf, Materialfluss
- Positionierung, berührungslose Wegmessung
- Endlagenkontrolle
- Drehmeldung, Zählung
- Richtungserkennung

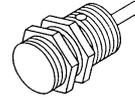


Bild 5.3  
Induktiver Näherungsschalter

Funktionsprinzip:

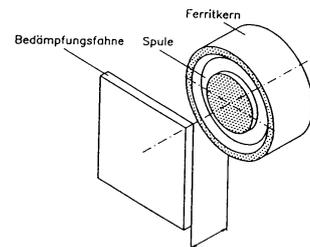


Bild 5.4:  
Grundsätzlicher Aufbau [4]

Ein induktiver Sensor/Näherungsschalter besteht im wesentlichen aus einer Spule und einem Ferritkern (Oszillator). Durchfließt diese Spule ein Wechselstrom, so entsteht ein Magnetfeld, welches nur an einer Seite (aktive Fläche) aus dem Ferritkern austreten kann. Befindet sich in der Nähe dieser aktiven Fläche ein metallischer Gegenstand, so deformiert (bedämpft) er das Magnetfeld. Die Veränderung des Magnetfeldes wird durch die im Sensor integrierte Elektronik ausgewertet und in ein Schaltsignal umgesetzt.

Das Anlegen eines elektromagnetischen Wechselfeldes wird allerdings in einer grossen Anzahl anderer Sensoren ebenfalls zu Messzwecken benutzt. Nur stellvertretend sei hier die KernspinResonanz erwähnt, bei der ein Wechselfeld durchgestimmt wird, bis die im Medium vorhandenen Atome (beziehungsweise deren durch die Elektronenbahnen gebildeten Miniatur-Kreisel) in Resonanz präzessieren. Das Spektrum der Resonanzfrequenzen lässt qualitative und quantitative Aussagen über die vorhandenen Elemente zu.

### 1.3.4 Kapazitive Sensoren

Kapazitive Sensoren arbeiten, ebenso wie induktive Sensoren, berührungslos, rückwirkungsfrei und kontaktlos. Sie ergänzen diese in Anwendungsbereichen, wo das induktive Funktionsprinzip versagt. Mit kapazitiven Sensoren lassen sich auch nichtleitende Materialien (nichtmetallische Objekte) detektieren. Damit sind sie prädestiniert für das Detektieren von Flüssigkeiten, Pulvern und Granulaten. Kapazitive Sensoren werden hauptsächlich als Näherungsschalter angeboten, neuerdings gibt es allerdings auch Analoggeber, d.h. Sensoren, die ein dem Abstand eines Gegenstandes proportionales Ausgangssignal liefern. Letzteres ist allerdings von der Geometrie der Anordnung abhängig und muss geeicht werden.

Funktionsprinzip:

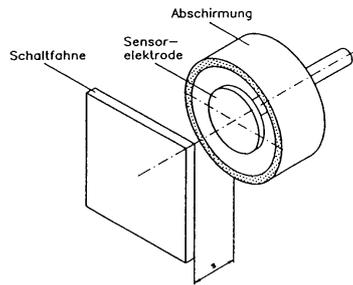


Bild 5.6:  
Grundsätzlicher Aufbau

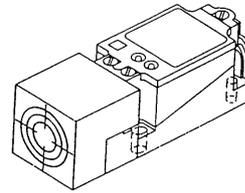


Bild 5.5  
Kapazitiver Näherungsschalter [4]

Ein kapazitiver Sensor/Näherungsschalter besteht im wesentlichen aus einer scheibenförmigen Sensorelektrode und einer becherförmigen Abschirmung. Diese beiden Elemente (Elektroden) bilden einen Kondensator mit einer Grundkapazität. Durch Annäherung eines leitenden oder nichtleitenden Materials an die Sensoroberfläche (Schallfahne in Abstand  $s$ ) ändert sich die Kapazität um einen bestimmten Betrag. Die Veränderung der Kapazität wird durch die im Sensor integrierte Elektronik ausgewertet und in ein Schaltsignal umgesetzt.

### 1.3.5 Ultraschallsensoren

Die Ultraschallsensoren nutzen die Ausbreitung und Reflexion der Ultraschallwellen in Festkörpern, Flüssigkeiten und in der Luft aus. Mit Ultraschall bezeichnet man akustische

Wellen im Frequenzbereich oberhalb 20kHz, jenseits der menschlichen Hörgrenze. Im Gegensatz zu elektromagnetischen Wellen können sich Schallwellen nur in Materie ausbreiten.

Die Ultraschallsensoren werden unter anderem zur Abstandsmessung (Prinzip der Echolotzeitmessung), im Bereich der Raumüberwachung (Änderung des statischen Echos durch Bewegung) sowie für Geschwindigkeitsmessungen eingesetzt.

Eine Erweiterung der Abstandsmessung ist die Füllstandsmessung. Die Sonde wird dabei am oberen Ende eines Behälters angebracht und strahlt nach unten. Mit dem Echolot-Prinzip wird die Höhe des leeren Raumes gemessen. Der Auswertelektronik kann die Behältergeometrie eingegeben werden, damit ist sie in der Lage, einen prozentualen Füllstand zu berechnen. Ist auch das Volumen des Behälters sowie die Dichte des Produktes bekannt, so können Füllvolumen beziehungsweise Füllgewicht ermittelt werden.

#### **Achtung:**

In engen Silos führen Wandreflexionen zu Fehlmessungen, besonders natürlich bei tiefem Füllstand. Ausserdem kann der Produktstrahl beim Befüllen des Behälters zu Fehlmessungen führen. Die Behälteranordnung muss also immer mit den Spezifikationen der Sonde (z.B. Ausbreitungskegel) verglichen werden.

Eine weitere Anwendung von Ultraschallsensoren besteht in der Auswertung des Dopplereffektes, das heisst in der Frequenzverschiebung des Echos eines bewegten Objektes, einer Flüssigkeit oder eines Gases (d.h. der darin schwebenden Festkörper). Für die Durchflussmessung wird heute oft die Laufzeit ultrasonischer Wellen im bewegten Medium gemessen. Ein grosser Vorteil dieser Messung ist die Tatsache, dass Geber und Empfänger ausserhalb des Rohres angebracht werden, also eine Messung ohne mechanische Beeinflussung des Rohres erlauben.

### 1.3.6 Optische Sensoren

Die grundsätzliche Eigenschaft der hier beschriebenen Sensoren ist die Umwandlung eines elektrischen Stromes in eine elektromagnetische Welle (Licht) und umgekehrt. Die Objekte werden meistens durch Unterbrechung oder durch Reflexion des Lichtstrahles erfasst. Als Sendeelemente werden Lumineszenzdiolen (LED) oder Halbleiter-Laserdioden eingesetzt. Als Empfangselemente stehen Fotodioden, Fototransistoren und Lateraleffektdioden zur Verfügung. Eine Vielzahl der optischen Sensoren arbeitet im Bereich des sichtbaren Lichtes. Dabei wird der Sender amplitudenmoduliert (getaktet). Die Empfängerschaltung verwendet ein Filter, das nur Signale mit der bekannten Taktfrequenz durchlässt. Damit können Fehlmessungen durch Umgebungslicht und unerwünschte Reflexionen weitgehend vermieden werden. Für Einbruchmelder, Türöffner usw. werden optische Sensoren im Infrarot-Bereich verwendet. Die meistverwendeten optischen Sensoren lassen sich in folgende Gruppen einteilen:

- Reflex-Lichttaster (mit und ohne Hintergrundausblendung)
- Einweg-Lichtschranken
- Reflex-Lichtschranken
- Polarisierte Reflex-Lichtschranken

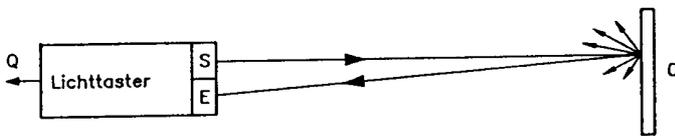


Bild 5.7: Reflex-Lichttaster [4]

Bei Reflex-Lichttastern wird Licht von einem Sender S ausgestrahlt, vom Objekt O diffus reflektiert und in den Empfänger E zurückgeworfen. Beim Überschreiten einer festgelegten Empfangsamplitude wird der Schaltausgang Q aktiviert.

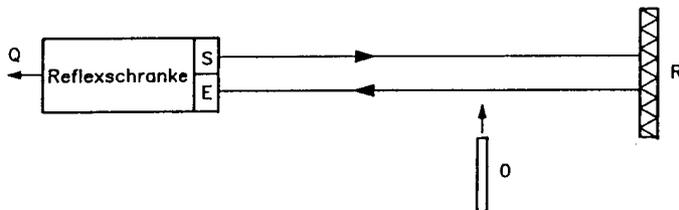


Bild 5.8: Reflex-Lichtschranke [4]

Bei Reflex-Lichtschranken wird Licht vom Sender S ausgestrahlt und vom Reflektor R in den Empfänger E zurückgeworfen. Bei einer Unterbrechung der optischen Strecke durch das Objekt O wird der Schaltausgang aktiviert.

Achtung: Alle optischen Sensoren sind verschmutzungsempfindlich! Viele Sensoren degradieren im Laufe der Zeit (werden blind). Regelmässige Reinigung und Kontrolle ist deshalb unerlässlich. Aus diesem Grunde eignen sich optische Sensoren nicht oder nicht alleine für sicherheitskritische Anwendungen.

### 1.3.7 Magnetfeldsensoren

Die Messung magnetischer Felder ist normalerweise kein Anliegen in der Automatisierungstechnik. Es ist aber üblich, durch Magnete markierte, bzw. ferromagnetische Objekte durch magnetfeldempfindliche Sensoren detektieren zu lassen. Man bestimmt auf diese Weise Abstände, die Anzahl von Stückgut, Umdrehungszahlen und Drehwinkel. Neue Magnetfeldsensoren (Sättigungskernsonden) eröffnen interessante Anwendungen auf dem Gebiet der Stromsensoren, Sensoren für Verkehrs- und Fahrzeugzählung, Navigation und Erdfeldmessung.

### 1.3.8 Identifikationssensoren

In der Automatisierungstechnik geht es sehr häufig darum, ein Objekt zu kennzeichnen, damit man es jederzeit wiederfinden und identifizieren kann. Die Identifikationssysteme sind besonders wichtig für die stückorientierte Produktion und Handling von verschiedenen Artikeln. Man denke an einen Motorblock in der Fertigung, an einen Behälter in einem Hochregallager, an ein Werkzeug in einer Werkzeugmaschine oder an ein Bierfass in einer Brauerei usw. Das Prinzip ist stets dasselbe: Man versieht das Objekt mit einem Etikett (Codeträger) und liest diesen Codeträger (z.B. Strichcode, elektronischer Chip) bei Bedarf mit einer Leseinheit. Man kann die Leseinheit zusammen mit dem Codeträger als Identifikationssensor bezeichnen. Die Identifikation von Objekten erfolgt hauptsächlich durch Strichcode, Magnetstreifen, Feldbeeinflussung oder aktive Rückstrahlung (Transponderprinzip). Beim Strichcode (Barcode, Balkencode, Strichcode) wird eine Identifikation durch unterschiedlich dicke Striche, die auf ein Objekt aufgebracht werden, ermöglicht. Der Barcode kann mit verhältnismässig einfachen Systemen abgetastet werden (Lesestift, Scanner) und ist mit einfachen Mitteln (z.B. Matrixdrucker) kostengünstig herstellbar. Magnetkartenstreifen sind von Kreditkarten her bekannt und werden auch in industriellen Anlagen eingesetzt (z.B. zur Identifikation von Lastwagenfahrer bei Zubringer- und Abholfunktionen). Bei einem induktiven Identifikationssystem werden Objekte mit einem robusten und verschmutzungsunempfindlichen elektronischen Codeträger ausgestattet. Jeder Codeträger enthält eine einmalige und damit eindeutige Nummer, die induktiv berührungslos ausgelesen werden kann. Die induktiven Identifikationssysteme werden zum Beispiel zur Codierung der Werkzeuge für die Werkzeugmaschinen oder zur Diebstahlüberwachung in Geschäften eingesetzt.



Bild 5.9: 2-aus-5-Strichcode [4]

| Ziffer       | Codierung |
|--------------|-----------|
| 0            | 00110     |
| 1            | 10001     |
| 2            | 01001     |
| 3            | 11000     |
| 4            | 00101     |
| 5            | 10100     |
| 6            | 01100     |
| 7            | 00011     |
| 8            | 10010     |
| 9            | 01010     |
| Startzeichen | 110       |
| Stopzeichen  | 101       |

(1=Breiter Strich, 0=Schmaler Strich)

Bild 5.10: Codierung für den 2-aus-5-Code [4]

### 1.3.9 Temperatursensoren

Man unterscheidet thermoresistive und thermoelektrische Temperatursensoren. Die Wirkungsweise der thermoresistiven Sensoren beruht auf der Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstands von Metallen und keramischen Halbleitern sowie von Elektrolyten. Zum Einsatz kommen metallische Widerstände (Platin, Nickel, Molybdän) oder keramische Halbleiterwiderstände. Zu den keramischen Halbleiterwiderständen gehören die PTC-Widerstände (Kaltleiter) und die NTC-Widerstände (Heissleiter). Die Kaltleiter besitzen einen positiven, die Heissleiter einen negativen Temperaturkoeffizient. Die thermoelektrischen Sensoren basieren auf Thermoelementen, welche aus zwei verschiedenen Metallen bestehen. Bringt man diese zwei verschiedene Metalle in innigen Kontakt, so kann man zwischen ihren anderen Enden eine Spannung - die sogenannte Thermospannung - abgreifen, die proportional zur Temperatur des Kontaktes ist. Die heutige Sensorindustrie bietet neben den bereits erwähnten Temperatursensoren noch eine breite Palette von verschiedenen Temperatursensoren an.

Hier einige Beispiele:

- Infrarot-Thermometer für berührungslose Temperaturmessung auf Distanz
- Zweifarben-Pyrometer für berührungslose Temperaturmessung auf Distanz durch Staub und Rauch hindurch
- Faseroptische Temperatursensoren. Sie finden überall dort eine starke Verbreitung, wo aufgrund der Umweltbedingungen konventionelle Sensoren nicht verwendet werden können. Typische Gebiete sind: elektromagnetisch verseuchte Industrieanlagen, Mikrowellenöfen, explosionsgefährdete Räume und Hochspannungsanlagen.

### 1.3.10 Verformungssensoren

Mit Messaufnehmern auf DMS-Basis (DMS=Dehnungsmessstreifen) kann man eine Vielzahl mechanischer Größen wie Kraft, Druck, Drehmoment, Dehnung, Schwingung und Beschleunigung messen. Dabei wird in allen Fällen letztendlich die Dehnung eines Körpers, des Aufnehmerkörpers, ermittelt. Das physikalische Grundprinzip, auf dem die DMS-Technik beruht, ist der Tatbestand, dass ein elektrischer Leiter bei mechanischer Beanspruchung (z.B. Zug oder Druck) seinen elektrischen Widerstand ändert.

In der Industrie werden DMS vor allem zur Wägung von Produkten verwendet. Praktisch sämtliche Behälterwagen sind mit DMS ausgerüstet. Balkenwaagen mit Codescheiben werden heute praktisch keine mehr eingesetzt.

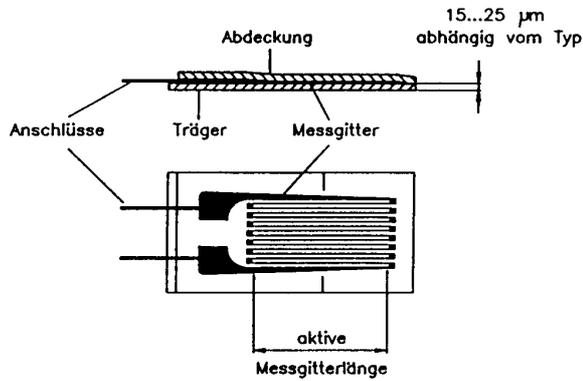


Bild 5.11: Aufbau eines Folien-DMS [4]

### 1.3.11 Weg- und Winkelsensoren

In fast allen industriellen Anlagen gibt es etliche Bewegungen. Die Positionsermittlung eines bewegten Teiles ist also eine notwendige Voraussetzung für fast alle Steuerungen.

Für die Abstandsmessung gibt es viele Verfahren, die zum Teil schon erwähnt wurden. Die meisten dieser Sensoren messen Winkel, sie können damit (mittels Rädern) sowohl für die Wegals auch für die Winkelmessung verwendet werden.

In die Gruppe der analogen Sensoren gehören die potentiometrischen, induktiven und auf dem Tauchankerprinzip basierenden Sensoren. Diese geben ein der Position absolut zugeordnetes Signal ab. Die Präzision hängt meist von der Geradenheit und der Präzision eines allf ällig nachgeschalteten Analog/Digitalwandlers ab.

Achtung: Es ist sinnlos, einen teuren, hochpräzisen Geber zusammen mit einem billigen A/D Wandler zu verwenden. Die meisten Analogkarten von speicherprogrammierbaren Steuerungen enthalten keine hochpräzisen Wandler. Immer Präzision der gesamten Anordnung betrachten

Inkrementale und absolute optische Encoder bilden die Gruppe der digitalen Sensoren. Teurer als die analogen, sind sie frei von Linearitäts- und Wandlungsfehlern. Inkrementale Geber bedürfen aber einer Referenzpunktermittlung (Nullfahren) und kumulieren Übertragungsfehler (fehlende oder überzählige Stör-Impulse).

Achtung: Inkrementale Geber mit TTL-Ausgängen (0-5V) sind für industrielle Anwendungen ungeeignet, da das Risiko von Fehlübertragungen aufgrund des niedrigen Signalpegels und der unsymmetrischen Abschlusswiderstände (Reflexionen) viel zu gross ist. Bei höherem Signalpegel fällt allerdings die Grenzfrequenz, was entweder die Auflösung oder die Fahrgeschwindigkeit limitieren kann.

Intelligente, auf Lasertechnik basierende Sensoren ermöglichen die berührungslose Distanzmessung. Sie funktionieren aber nicht bei transparenten Medien (Flüssigkeiten, Folien etc.)

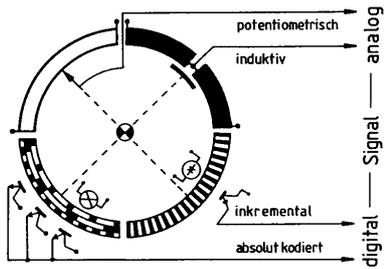


Bild 5.12:  
Prinzipien von Längensensoren  
in symbolhafter Darstellung [3]

### 1.3.12 Durchfluss-Sensoren

Die Durchflussmessung für Flüssigkeiten und Gase kann auf mannigfaltige Weise erfolgen. Die nachfolgende Tabelle, der SIA Dokumentation D 027 mit Modifikationen entnommen [7], beschreibt die üblichen, in der Industrie angewendeten Messverfahren. Für Labor und Forschungszwecke werden noch eine Vielzahl weitere, zum Teil recht exotische Messverfahren angewendet.

| Messgeräte-Art                        | Grundlage  | Abhängigkeit  | Einsatz  |
|---------------------------------------|--|---|--|
| Volumenzähler                         | a) Volumetrisch<br>b) Geschwindigkeit                        | Messkammerzählung,<br>Messpumpen, Drehzahl                                      | verbreitet, aber selten<br>mit Fernabfrage   |
| Blende, Düse, Venturi,<br>Prantelrohr | Windruck, Bernoulli-<br>Gleichung                            | statischer/dynamischer<br>Druck, misst nur<br>Geschwindigkeit, kein<br>Volumen. | hauptsächlich für Gase,<br>ungenau für Volumen   |
| Angeströmter Körper                   | Widerstand, Kraft<br>Medium auf Körper                       | Weg, Federkraft   | auch für pulverförmige<br>Stoffe   |
| Impfverfahren                         | chemisch/radioaktiv  | Zeit, Konzentration   | Messung 'von aussen'<br>möglich  |
| Magnetisch-Induktiv                   | bewegter Leiter im<br>Magnetfeld                             | induzierte Spannung   | Funktioniert nur mit<br>leitender Flüssigkeit.   |
| Hitzdraht/Thermosonde                 | Wärmeverlust im<br>strömenden Medium                         | Temperatur  | Windmesser u.ä.  |
| Wirbel-DFM                            | Strömungswirbel  | Frequenz, Amplitude   | selten   |
| Ultraschall-DFM                       | Schallausbreitung im<br>bewegten Medium                      | Laufzeit,<br>Frequenzverschiebung   | Laufzeit für reine<br>Flüssigkeiten, Doppler<br>für Streuung an<br>Verschmutzungen.<br>Messung von aussen<br>möglich.              |
| Laser-DFM                             | Dopplereffekt an<br>Schwebeteilchen                          | Frequenzverschiebung  | Forschung  |
| Coriolis-DFM                          | Coriolis-Kraft<br>(Ablenkung durch<br>gyroskopischen Effekt) | periodische Auslenkung,<br>direkt abhängig vom<br>Durchfluss                    | geeignet für alle<br>strömenden Medien,<br>keine Beeinflussung<br>durch Schwankungen<br>von Temperatur,<br>Dichte, Viskosität etc. |

### 1.3.13 Drucksensoren

Die Sensoren zur Druckmessung lassen sich in zwei Gruppen einteilen:

- Sensoren mit Membran
- Sensoren mit Kristall

Im ersten Fall wird eine Membran auf einer Seite mit dem zu messenden Druck beaufschlagt. Ihre Auslenkung aus der Ruhelage wird als Mass des Druckes dann gemessen, z.B. mittels DMS oder kapazitiv. Im zweiten Fall wird ein Material, das piezoelektrische Eigenschaften besitzt, meist ein Quarzkristal, dem Druck ausgesetzt. Dadurch entstehen an den Seitenflächen des Kristalls Ladungsverschiebungen als Mass des Druckes, die dann gemessen werden.

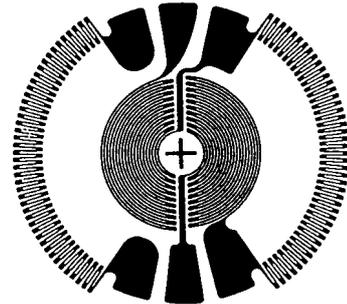


Bild 5.13: Beispiele für Mehrfach-DMS [3]

### 1.3.14 Bildsensoren

Die CCD-Sensoren (Halbleitersensoren) wurden 1970 in den Bell Laboratorien in den USA entwickelt. CCD steht für Charge Coupled Devices (Ladungsgekoppelte Einheiten). CCD-Sensoren transformieren eine örtliche Strahlungsintensitätsverteilung in eine zeitlich veränderliche elektrische Spannung (letzlich Videosignal). Auf dem Markt sind Zeilen- und Flächensensoren in CCD-Technik erhältlich. Sie kommen z.B. in CCD-Kameras zum Einsatz. CCD-Kameras mit angeschlossenem Verarbeitungssystem können eine grosse Anzahl von Aufgaben in der Automatisierungstechnik berührungslos übernehmen wie z.B. Objektvermessung, Positionskontrolle, Qualitätskontrolle, Vollständigkeitskontrolle und Objekt/Mustererkennung. Aufwendig in ihrem Einsatz kommen sie nur dort in Frage, wo andere Sensoren ungeeignet sind.

In der Drucktechnik kommen auch Zeilenscanner zum Einsatz, um das Produkt online zu kontrollieren. Wichtig für eine konsequente Qualitätskontrolle an schnellaufenden Maschinen, zum Beispiel in der Folienherstellung, wo beim unerkannten Auftreten eines Fehlers tonnenweise Ausschuss produziert wird.

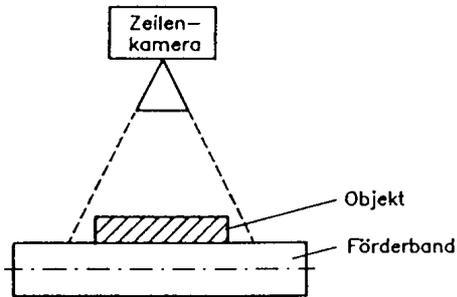


Bild 5.14:  
Erzeugung eines zweidimensionalen  
Bildes durch zeilenweise Abtastung  
eines bewegten Objektes [4]

### 1.3.15 Chemische Sensoren

Unter einem chemischen Sensor wollen wir einen Sensor verstehen, der physikalisch-chemische Stoffgrößen von Gasen und Flüssigkeiten erfasst und in ein verwertbares elektrisches Signal, im allgemeinen zum Zweck der Analyse der Stoffzusammensetzung, umwandelt. Der chemische Sensor bildet zusammen mit einer geeigneten Elektronik (auch Messumformer) eine Analysenmesseinrichtung, die auch Analysator oder Analysengerät genannt wird. Die Einsatzgebiete für mit chemischen Sensoren ausgerüstete Analysegeräte sind die chemische Prozesstechnik einschliesslich der Biotechnologie, die Emissionsmesstechnik für den Umweltschutz (z.B. NO<sup>x</sup>-Messung), die Explosions-Schutz-Überwachung, die Abwasseranalytik in Kläranlagen, die Klima und Lebensmitteltechnik sowie der Kraftfahrzeug-Bereich. Die nächste Tabelle zeigt die Wirkungsweise der gebräuchlichsten chemischen Sensoren auf.

| Sensorgruppe                         | Wechselwirkung                             | Sensorart   |
|--------------------------------------|--|---|
| physikalisch (ausser el. magnetisch) | kinetisch                                  | Schwingquarz, Oberflächenwellen, Wärmeleitfähigkeit                                     |
| elektromagnetisch                    | Anregung von Elementarteilen und Molekülen | Spektralanalyse mit Fotometer, Laserarrays, Chromatographen, Kernspinresonanzdetektoren |
| physikalisch/chemisch                | Leitfähigkeit, elektrochemisch             | Halbleiter, Messung elektrolytischer Spannungen und Ströme.                             |

Eine vollständige Aufzählung aller chemischen Sensoren würde den Rahmen dieser Dokumentation sprengen. Für effiziente Produktion können sie benutzt werden, um einen Prozess zeitlich und bezüglich Zugaben und Emissionen optimiert zu fahren. Es ist zu vermuten, dass mit dem Einsatz solcher Sensoren noch mancher Prozess optimiert werden könnte, selbstverständlich auch in bezug auf den Energieverbrauch (z.B. Feststellen des Endes eines chemischen Prozesses.)

### 1.3.16 Biosensoren

Unter Biosensoren versteht man chemische Sensoren, die zur Detektion von biochemischen Reaktionen eingesetzt werden. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie sehr spezifisch auf biologisch relevante Substanzen, wie bei Fermentation eingesetzte Substrate oder durch Fermentation gewonnene Produkte ansprechen. Ihr Einsatzgebiet liegt in der Bioverfahrenstechnik, der Lebensmitteltechnik und in der Umweltkontrolle.

## 1.4 Signalübertragung

Sensor, Signalübertragung und -Wandlung bilden eine Kette, die bekanntlich so stark ist wie ihr schwächstes Glied. Die Signalverarbeitung erfolgt letztendlich zumeist in digitalisierter Form. Die Kommunikation zwischen Steuerung und Sensoren erfolgt heute mehrheitlich mittels parallelen Signalen (Signalbereiche für analoge Sensoren: +/-IV, +/-5V, +/-10V, +4 ... 20 mA, 0 ... 20 mA, Pt100-Pegel usw.). Jeder Sensor in einer Maschine bzw. Anlage wird einzeln zu seiner Steuereinheit verdrahtet. Dort müssen sie mittels digitalen und analogen Eingabebaugruppen in die elektronische Steuerung integriert werden. Die Hardware- und Installationskosten steigen damit mit der Anzahl Sensoren und der Distanz zur Steuerung. Ferner muss bei der Installation auch auf die Kabelführung, betreffend elektromagnetischen Störungen, geachtet werden. Werden Sensoren in explosionsgefährdeter Umgebung eingesetzt, so gelten für diese Sensoren und deren Verkabelung und Installation besondere Bestimmungen.

In Anlagen der Fertigungsautomatisierung, deren Komplexität ständig zunimmt, geht der Trend mehr und mehr zu dezentralisierten Systemen. Dadurch steigt der Kommunikationsbedarf zwischen allen Ebenen, bis hinab zur untersten Feldebene, in der die Sensoren angesiedelt sind, an. Da andererseits die im Feld installierten Komponenten wie Sensoren, Aktoren (z.B. Magnetventile) usw. zunehmend mit Mikroelektronik ausgestattet sind, liegt es nahe, diese mit einer seriellen Busschnittstelle zu versehen. Aus der Vernetzung mittels einem seriellen Bussystem resultieren (bei grösseren Anlagen) mehrere Vorteile. Zum einen wird die Anlage übersichtlicher, als bei einer sternförmigen Einzelverkabelung aller Komponenten und bleibt flexibel, da Erweiterungen oder Änderungen ohne grossen Aufwand möglich werden. Zum anderen bietet ein bidirektionales Bussystem die Möglichkeit, zusätzliche Informationen, wie z.B. Konfigurations-, Initialisierungs- und Parametrierdaten oder Status- und Fehlermeldungen zu übertragen.

Es wird möglich, zunehmend Funktionen, die momentan zentral ausgeführt werden, wie Signalvorbereitung, Linearisierung, Temperaturkompensation, Mittelwertbildung und A/DWandlung in den Sensoren vor Ort vorzunehmen. Nicht zu vernachlässigen ist letztlich auch die Einsparung von Kabeln und Installationskosten. Diese Vorteile und die in Gang gekommene Standardisierung bei Bussystemen für die Feldebene (Feldbus, Profibus, etc) werden in naher Zukunft dazu führen, dass auch einfachere Sensoren, wie z.B. induktive Näherungsschalter oder Weggeber mit einer seriellen Buschnittstelle verfügbar sein werden. Bei Bussystemen muss allerdings die endliche Übertragungsgeschwindigkeit berücksichtigt werden.

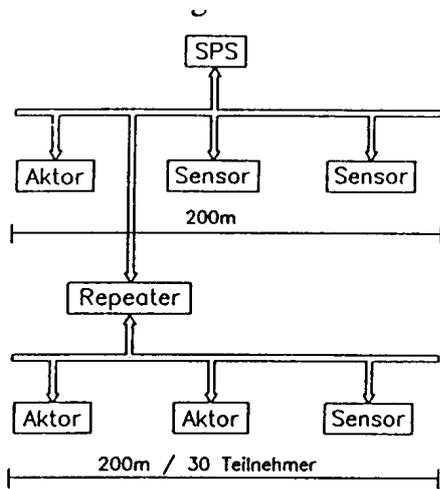


Bild 5.15: Sensor/Aktor Bussystem [4]

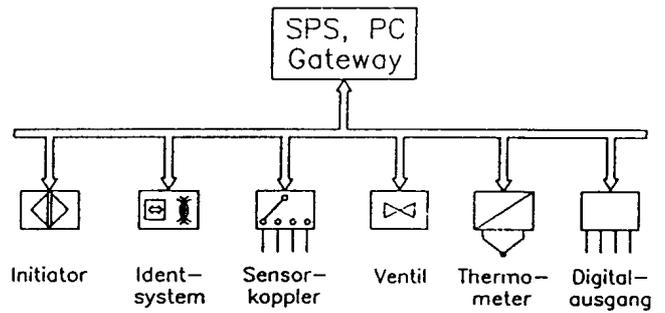


Bild 5.16: Verschiedene Busan Kopplungen [4]

Nicht nur die Sensoren können über ein Bussystem angesteuert werden, auch die Ausgabe von Stellwerten und Schützen ist möglich. Busgesteuerte Motoransteuerungen bieten prinzipiell auch die Möglichkeit, die Motorströme zyklisch zu lesen und damit nicht nur eine Überstromüberwachung zu machen, sondern auch online den Stromverbrauch zu eruieren. (Beispiel: Cegelec Gemstart). Aber aufgepasst : busgesteuerte Motoransteuerungen weisen stochastische Signalverzögerungen bis in den Sekundenbereich auf, die ihren Einsatz bei schnellen Vorgängen verbieten.

## 1.5 Blick in die Zukunft

Wachsende Erfordernisse bei den unterschiedlichsten Technikanwendungen und nicht zuletzt die moderne Halbleitertechnik haben die Weiterentwicklung von Sensoren in jüngster Zeit dramatisch gefördert. Die Aktivität und die Innovationsgeschwindigkeit der Sensorindustrie ist gross. Die Forschung nach neuen und besseren Sensoren läuft auf Hochtouren. Wie geht es weiter? Wohin geht die Reise? Auf diese Fragen schlüssige Antworten zu geben, ist kaum möglich. Für die Zukunft sind aber bereits heute folgende Trends erkennbar:

### - Mehr Intelligenz

Die Sensoren der neuen Generation werden immer öfters mit speziellen Hardwarestrukturen und Prozessoren ausgestattet. Dadurch kann neben der Signalerfassung auch noch die ganze oder ein Teil der Signalverarbeitung in den Sensor integriert werden. Als Beispiel für diesen Trend wird hier ein Silizium-Drucksensor für die Anwendung im Automobilbereich vorgestellt. Dieser Sensor enthält in sich die komplette Signalverarbeitung (z.B. Verstärkung, Temperaturkompensation usw.) auf einem Chip. Mögliche Einsatzgebiete im Auto sind Füllstandsanzeigen (Benzin, Öl, Wischwasser), Ansaugdruck, Reifendruck, Hydraulikdruck und vieles mehr.

### - Miniaturisierung/steigende Zuverlässigkeit

Die Sensoren werden immer kompakter und dadurch auch zuverlässiger. Der Übergang von einem klassisch diskret aufgebauten Sensor und einer davon abgesetzten Sensorelektronik hin zum Smart-Sensor mit dem Sensorelement und Elektronikchip auf einem gemeinsamen Systemträger ist voll im Gange. Aufgrund der starken Verringerung des Sensorvolumens ergibt sich ein kleineres gemeinsames Gehäuse für Sensor und Signalverarbeitung. Die Zahl und Länge von störanfälligen Verbindungsleitungen und Steckverbindungen werden dadurch drastisch verringert. Die Zuverlässigkeit kann auch durch Selbstüberwachung und -kalibrierung erhöht werden.

### - Busfähigkeit

Die zukünftigen Sensoren werden Anschlüsse an diverse Bussysteme (z.B. Profibus ASI) besitzen.

### - Wissensbasierte Sensoren

Derzeitige Sensoren können das während der Messungen anfallendes Wissen nicht aufbewahren und auch nicht zusammen mit dem A-priori-Wissen zu Erkenntnissen verwerten. Die wissensbasierten Sensoren besitzen eine Wissensbasis mit dem statischen A-priori-Wissen und optional einen dynamischen Anteil mit gezielt erworbenem Wissen über den Messvorgang. Das Wissen wird analytisch, heuristisch oder empirisch gewonnen. Mit wissensbasierten Sensoren könnten genauere, stabilere und schnellere Resultate erreicht werden, zum Beispiel bei Bild, Schrift- und Spracherkennung

- Multisensorik

Sie erlaubt die Kombination mehrerer untereinander verschiedener Sensoren. Die Nachbildung des Geruchssinns von Lebewesen ist ein bekanntes Forschungsprojekt auf diesem Gebiet (z.B. für die Nahrungsmittelindustrie).

- Mikromechanische Sensoren

Die Technologie, die in den nächsten Jahren wohl die meisten neuartigen Sensoren bringen wird, ist die Mikromechanik. Seitdem man nicht nur elektronische sondern auch mechanische Bauelemente mit extrem kleinen Abmessungen herstellen kann, eröffnen sich nahezu unbegrenzte Möglichkeiten für neue Sensoren für mechanische Grössen (z.B. für die Medizinaltechnik).

- Optoelektronische Sensorik

Der Fortschritt auf dem Gebiet der photosensitiven Elemente wird es in Zukunft ermöglichen, NIR-Analysegeräte kompakt und handlich zu realisieren, so dass der Schritt zum Handheld-Analysesensor, mit welchem z.B. an Ort und Stelle die Inhaltsstoffe von Nahrungsmitteln gemessen werden können, nicht mehr sehr gross ist.

Mit der Lasertechnologie wird es in naher Zukunft, dank der positiven Entwicklung des Preis-, Leistungs- und Grössenverhältnisse möglich, präzise und doch preiswerte Distanz- und Positionssensoren zu entwickeln.

Auf dem Gebiet der Bildverarbeitung ist ein Riesenschritt in Richtung Leistungsfähigkeit zu erkennen (zum Beispiel beim Erkennen von handgeschriebenen Adressen in Packet- und Briefsortieranlagen).



## 2 ENERGIEEINSPARUNG MIT HILFE DER SENSORIK

### 2.1 Elektrische Energie und deren Erfassung

Bevor elektrische Energie in einer industriellen Anlage eingespart werden kann, muss deren Verbrauch detailliert analysiert werden. Es ist wichtig zu wissen, welche Anlagenteile, Produktionseinheiten, Produktionslinien und welche Maschinen, wo und wann wieviel Energie verbrauchen. Die Messgerätesysteme von heute, mit intelligenten Sensoren und Messzangen ausgerüstet, erlauben eine gezielte Messung und Erfassung vom Verbrauch elektrischer Energie auf jeder Anlagenebene in jedem Zeitpunkt. Die erfassten Daten lassen sich unter anderem mittels Steuerungen und Leitsystemen analysieren und auswerten.

Im Rahmen des Impulsprogramms sind einige Publikationen entstanden, die sich mit diesem Thema im Detail auseinandersetzen. Es sind dies:

- Erfassung des Energieverbrauchs, Leitfaden für Industrie und Gewerbe sowie Anleitung für den Beauftragten und zugehörige PC-Software, RAVEL-Materialien, EDMZ 724.371.1
- Analyse des Energieverbrauches, Ravel Materialien. EDMZ 724.318d
- Kennwerte betrieblicher Prozessketten, RAVEL-Materialien, EDMZ 724.397.12.54
- Ravel Handbuch 'Strom rationell nutzen', ISBN 3-7281-1830-3

Hand aufs Herz : Wissen Sie, wieviel Energie Ihre Anlagen unter welchen Umständen verbrauchen ?

### 2.2 Messung anderer Energieträger

Für eine umfassende Auswertung der Energiebilanz muss nicht nur die elektrische Energie gemessen werden, sondern auch diejenige von Brennstoffen und Wärmeträgern. Für flüssige und gasförmige Brennstoffe gibt es eine Vielzahl von Zählern, die meisten sind jedoch nicht für Fernabfrage konzipiert.

### 2.3 Massnahmen rund um die Automatisierung

#### 2.3.1 Sensoren vermehrt einsetzen

Unsere Sinne sind eine notwendige Voraussetzung für geschicktes Vorgehen. Der Verlust auch nur eines Sinnes wie zum Beispiel des Augenlichts ist eine schreckliche Behinderung, die von den Betroffenen nur durch Schärfung der anderen Sinne einigermaßen erträglich kompensiert werden kann.

Aber unsere industriellen und gewerblichen Anlagensteuerung sehen und hören meist unscharf, obschon diesem Umstand durch moderne Sensorik und eine entsprechende Verarbeitung durchaus abzuhelfen wäre. Neue und immer intelligere Sensoren sind käuflich. Prozesse und Abläufe könnten durch vermehrten Einsatz von geeigneten Sensoren genauer überwacht und dadurch auch präziser gesteuert werden. Nur wer seinen Prozess bzw. Ablauf genau in Bezug auf Ort, Zeit und Funktion kennt und im Griff hat, kann energieverbrauchende Stellen erkennen und diese durch geeignete Massnahmen auch eliminieren.

Ein anderer Hinweis sei hier noch gestattet: Auch Sensoren degradieren oder werden defekt. In einer Anlage mit mehreren hundert Sensoren ist meist irgendeiner defekt. Steuerungen müssen deshalb die Plausibilität von Sensorsignalen überprüfen und versuchen, falsche Signale zu melden. Dazu ein Beispiel: Meldet eine Behältervollstandssonde bedeckt, obschon das Auslassventil des Behälters seit längerer Zeit offen steht, so stimmt entweder etwas nicht mit der Sonde oder das Ventil ist nicht offen. Bei kritischen Vorgängen soll die Sensorik redundant gemacht werden. Dazu verwendet man vorteilhafterweise zwei verschiedene Messverfahren. So kann man die Anwesenheit eines Elementes sowohl mittels einer Lichtschranke als auch mit einem kapazitiven Näherungsschalter entdecken. Damit werden sensorspezifische Probleme wie z.B. die Verschmutzung weitgehend eliminiert.

### 2.3.2 Sensoren in die Regelung einbinden

In vielen Prozessen überwiegen heute die 2-Punkt-Regelungen. Diese Regelungen funktionieren wie ein Schalter, beim Punkt 1 (Grenzwert 1) wird der Prozess aktiviert und beim Punkt 2 (Grenzwert 2) wird dieser wieder deaktiviert. Zwischenstufen gibt es nicht. Regelungen dieser Art sind in der Industrie sehr beliebt, da sie gut überblickbar, technisch einfach realisierbar und mit relativ geringen Kosten verbunden sind. Die kontinuierlichen Regelungen haben gegenüber den 2-Punkt-Regelungen den Vorteil, dass sie wesentlich schneller und genauer auf eine Veränderung im Prozess reagieren. Durch ein schnelleres Reagieren auf eine Veränderung im Prozess, kann elektrische Energie eingespart werden. Aus diesem Grunde wäre es sinnvoll, den Einsatz von 2-Punkt-Regelungen zugunsten von kontinuierlichen Regelungen zu überprüfen. Die kontinuierlichen Regelungen setzen aber analoge Stellglieder voraus, welche im Gegensatz zu digitalen Stellgliedern bei 2-Punkt-Regelungen wesentlich mehr kosten.

Beispiel.-

Temperaturregelungen werden häufig durch eine 2-Punkt-Regelung realisiert (z.B. Warmwasseraufbereitung). Die Eckdaten (Grenzwerte) für die Regelung liefern meistens ein kombinierter oder zwei Temperatursensor(en), z.B. Bimetallschalter. Das Medium wird zuerst auf die gewünschte Temperatur aufgeheizt, danach wird die elektrische Heizung abgestellt. Sie wird erst wieder eingeschaltet, wenn das Medium sich soweit abgekühlt hat, dass der untere Grenzwert anspricht (Hysterese). Jetzt muss wieder elektrisch geheizt werden, bis die Temperatur stimmt. Mit einer kontinuierlichen Regelung könnte die Temperatur des Mediums stabil gehalten werden. Dadurch kann Heizenergie gespart werden, da der Prozess ja per Definition auch beim unteren Grenzpunkt noch sicher verlaufen muss. Noch grösser sind die Sparpotentiale, wenn nach dem Heizen ein kurzer Kühlvorgang eingeschaltet werden muss, um dass Medium durch den Wärmeüberschuss des Heizkörpers nicht zu überhitzen.

Seit 1991 werden auf dem Markt vermehrt Regelsysteme mit Fuzzy Control angeboten. Was ist Fuzzy Control? Fuzzy Control ist eine Technologie, die erlaubt technische Systeme ohne aufwendige mathematische Modellierung zu steuern und zu regeln. Regelsysteme mit Fuzzy Control kommen zum Einsatz wenn:

- das Regelsystem mehrere Ein-/Ausgangsgrößen besitzt
- bei nichtlinearem Verhalten des Regelsystems
- keine mathematische Beschreibung des Regelsystems möglich ist

Fuzzy-Technologien ermöglichen es, eine Regelstrecke mit qualitativen Aussagen, statt mit algebraischen Algorithmen, zu definieren. Durch diese Tatsache könnten neue komplexe Regelungen vermehrt zum Einsatz kommen. Optimierte Regelung bedeutet meist auch Energieeinsparung.

### 2.3.3 Die richtigen Sensoren wählen

Mit den heutigen Sensoren werden hauptsächlich mechanische, chemische, thermische, magnetische oder optische Eigenschaften erfasst. Die zu einer Eigenschaft zugehörigen Werte, können über einen physikalisch/technischen Effekt, in entsprechende elektrisch auswertbare Größen umgesetzt werden. Es gibt aber Eigenschaften, bei welchen die zugehörigen Werte durch mehrere verschiedene physikalisch/technische Effekte zu erreichen sind. Zum Beispiel können die Werte für die mechanische Eigenschaft 'Distanz', je nach entsprechendem Effekt, aus den Größen wie Widerstand, Kapazität, Schwingkreisgüte oder Zeitintervall gewonnen werden. Die Wahl des Effekts kann bereits Auswirkungen auf die Zielerreichung einer optimalen Regelung haben. Grundsätzlich gilt, dass die gemessene Eigenschaft im Verlauf möglichst genau der geregelten Eigenschaft entspricht.

Beispiel:

Folgende Frage wird aufgeworfen. Wie soll bei der Dampferzeugung die Wassertemperatur geregelt werden? Es stehen nämlich folgende zwei Möglichkeiten zur Verfügung; Temperatur- oder Druckregelung. Bei der Temperaturregelung wird die Wassertemperatur von einem Temperatursensor erfasst und je nach Temperatur, das Wasser mehr oder weniger erhitzt. Nach der Dampfdruckkurve steigt ab Siedepunkt der Dampfdruck überproportional an. Durch diesen Umstand kann der Dampfdruck im Kessel so ansteigen, dass überschüssiger Dampf durch das Sicherheitsventil wieder abgelassen werden muss. Bei der Druckregelung wird mit einem Drucksensor der Dampfdruck erfasst und durch diese Grösse die Heizung geregelt. Dadurch kann gemäss der Dampfdruckkurve von Wasser bei höheren Wassertemperaturen die Dampferzeugung feiner bzw. genauer geregelt werden und damit ein Abblasen von Dampf vermieden werden kann. Die Regelung des Wasserfüllstandes übernimmt eine zweite Druckmessung, die den Dampfdruck wegkompensiert (Differenzdruck zwischen Behälterboden und Dampfzone ergibt Höhe der Wassersäule).

### 2.3.4 Sensoren am richtigen Ort platzieren

Die Platzwahl für einen Sensor ist sehr wichtig. Hier geht es in erster Linie um die korrekte Informationserfassung und nicht nur um wartungstechnische Aspekte. Ein Sensor muss dort platziert werden, wo die zu erfassende Größe auch tatsächlich und am besten zu erfassen ist. Bei falscher Platzwahl kann es vorkommen, dass die Sensoren unpräzise Angaben liefern.

Beispiel:

Die Wassertemperatur im Doppelmantel einer Rührmaschine, sollte während des Rührprozesses, immer konstant gehalten werden. Im geschlossenen Wasserkreislauf wurde der Temperaturfühler an die Wassertemperatur nicht im Doppelmantel der Rührmaschine, sondern in der Leitung unweit des Wärmetauschers zum Heizen montiert. Dadurch lieferte der Temperaturfühler beim Öffnen des Warmwasserventils sofort die Temperatur des Wassers in der Nähe des Wärmetauschers und nicht die Temperatur des Wassers im Doppelmantel. Durch diese falsche Angabe begann die Regelung sofort unnötig zu kühlen, anstatt weiter zu heizen bis die Wassertemperatur im Doppelmantel erreicht wurde. Effekte dieser Art verursachen einen erhöhten Energieverbrauch und verschleudern Zeit.

### 2.3.5 Sicherheitsmargen/Reserven reduzieren

Viele Prozesse bzw. Produktionsschritte werden heute aus verschiedenen Gründen noch nicht mittels Sensoren erfasst, geregelt, gesteuert und überwacht. Anstelle von Sensoren bestimmen abgeleitete Kriterien den Prozess bzw. das Ende eines Produktionsschrittes (z.B. eine feste Zeit). Um auf der sicheren Seite zu liegen, werden bei den Kriterien unnötige Sicherheiten und zusätzliche Reserven eingebaut. Im weiteren werden Anlagenteile überdimensioniert oder immer auf maximale Dauerleistung ausgelegt. Die Einstellung der Betriebsparameter lässt sich nur optimieren, wenn die wahren Zusammenhänge gemessen werden, und dies vorzugsweise online, um alle Zustände und Vorgänge erfassen zu können. Die exakte Ermittlung der wirklich notwendigen Leistung im Normalbetrieb hilft überdies, diese Erfahrung bei neuen Konstruktionen anzuwenden.

Beispiel:

Die pneumatischen Transportsysteme müssen so dimensioniert werden, dass sie mit verschiedenen Produkten (verschiedene Schüttgewichte) über verschiedene Förderdistanzen noch funktionieren. Die installierte Transportleistung muss so gewählt werden, dass sie an das schwerste Produkt und längste Förderdistanz noch genügt. Bei konstanter Produkteinschleusung (Produktzufuhr) hängt die Transportleistung also vom Produkt ab. Werden in einem pneumatischen Transportsystem, mit konstanter Produkteinschleusung, viele verschiedene Produkte mit verschiedenen Schüttgewichten transportiert, so steht bei leichteren Produkten zu viel Leistung zur Verfügung. Mit einem analogen Drucksensor und einer drehzahlgesteuerten Produkteinschleusung (Frequenzumformer) könnte die pneumatische Förderung eines jeden Produktes optimal gestaltet werden.

### 2.3.6 Objekte erkennen

Die industrielle Bildverarbeitung (Vision) gewinnt in den Produktionsanlagen immer mehr an Bedeutung. Die heutigen Systeme arbeiten mit einem hohen Durchsatz (bis zu 60 Bilder pro Sekunde). Die Sensoren erfassen über CCD-Kameras einzeln oder in Kombination Merkmale von Produkten, wie Farbe, Oberflächenbeschaffenheit, Dimensionen und Position. Mit Hilfe der Bildverarbeitung kann die Produktequalität im Herstellungsprozess ständig überprüft werden. Die fehlerhaften Produkte können rechtzeitig erkannt und somit eliminiert werden. Dadurch erübrigt sich die Weiterverarbeitung der fehlerhaften Produkte (dementsprechend muss weniger Energie für fehlerhafte Produkte aufgewendet werden). Statistische Auswertung der Fehler hilft, den Produktionsprozess ausschussfrei zu machen (und damit wiederum Energie zu sparen). Ferner kann die Bildverarbeitung auch zum Sortieren von verschiedenen Produkten eingesetzt werden. Durch Sortieren wird vermieden, dass ungeeignete Produkte eine Bearbeitungsmaschine erreichen und diese zum Ausfall bringen. Es kommt vor, dass während des Ausfalls, die nachfolgenden Maschinen leer weiterlaufen und kostbare Energie verbrauchen.

Beispiel:

Alle zurückgenommenen Mehrweg-Flaschen müssen vor der Neubefüllung gereinigt werden. Vor der Reinigung werden die Flaschen nach bestimmten Kriterien (z.B. Grösse) sortiert und anschliessend zu der entsprechenden Reinigungslinie befördern. Ferner muss vor dem Reinigungsprozess jede Flasche auch auf deren Verschmutzung untersucht werden, wobei die besonders schmutzigen Flaschen speziell behandelt werden. Beim alten System erfolgte die Flaschensortierung mit herkömmlichen Sensoren. Gelegentlich gelangten in die Reinigungslinien falsche Flaschen, welche dann die Waschmaschinen ausser Betrieb setzten. Mit neuen CCD-Kameras, welche jede Flasche einzeln vermessen, wird heute eine einwandfreie Sortierung gewährleistet. Dadurch, dass die Waschmaschinen wegen falschen Flaschen kaum mehr ausfallen und die zugehörigen Geräte und Strassen während des Ausfalls nicht einfach weiter laufen, wird Energie eingespart.

### 2.3.7 Produktqualität laufend überwachen

Industriell hergestellte Endprodukte bestehen aus verschiedenen Rohprodukten bzw. mehreren Komponenten. Die aufwendige Herstellung dieser Endprodukte erfolgt meistens über mehrere Produktionsstufen. Die Qualität und Zusammenstellung der Endprodukte (z.B. Medikamente) muss am Ende des Herstellungsprozesses stimmen. Unterlaufen im Herstellungsprozess Fehler, so werden diese im Normalfall erst bei der Schlusskontrolle entdeckt. In diesem Falle durchläuft ein fehlerhaftes Produkt alle Stufen des Herstellungsprozesses umsonst. Es ist naheliegend, dass durch rechtzeitiges Erkennen des Fehlers elektrische Energie eingespart werden könnte. Der heutige Markt bietet intelligente Sensoren an, welche die Rohprodukte identifizieren, analysieren bzw. deren Qualität oder Konzentration bestimmen können.

Beispiel:

In der pharmazeutischen Industrie ist die Identifikation von Rohprodukten und die Erfassung deren Qualität bei der Herstellung von Medikamenten enorm wichtig. Mit einem NIRSpektrometer, welches aus einem Messkopf und Auswertegerät (intelligentes Sensorsystem) besteht, können alle Rohprodukte vor dem Mischprozess eindeutig identifiziert werden. Neben der Überprüfung der Identität des Rohproduktes wird gleichzeitig auch dessen Qualität erfasst. Falsche und qualitativ ungenügende Rohprodukte werden rechtzeitig, noch innerhalb des Produktionsablaufes, erkannt und eliminiert. Dadurch sind teure Fehlchargen, welche erst am Ende des Herstellprozesses zum Vorschein kamen, überflüssig geworden. Nicht produzierte Fehlchargen helfen indirekt Rohprodukte und Energie zu sparen.

## 2.4 Produktionsoptimierung

### 2.4.1 Abläufe optimieren

Mit Sensoren werden Produktionsabläufe/-schritte gestartet, verfolgt, überwacht und gestoppt. Fast in jeder Anlage sind nacheinander ablaufende Produktionsabläufe (Batch-Betrieb) zu finden. Sie verdienen eine besondere Aufmerksamkeit betreffend Energiesparmassnahmen. Sind die Produktionsabläufe optimal aufeinander abgestimmt? Gibt es unnötige Wartezeiten oder Leerlaufzeiten? Laufen die leeren Transportsysteme weiter? Wie verhält sich die Anlage bei einer Störung? Dies waren nur einige Fragen, die helfen sollten, die Produktionsabläufe in einer Anlage besser in den Griff zu bekommen und dadurch elektrische Energie zu sparen.

Beispiel:

Geräte, Apparate, Maschinen und Systeme nur dann aktivieren, wenn sie tatsächlich zur Bearbeitung auch benötigt werden!

In diversen Mischwerken werden verschiedene Rohkomponenten in einem Mischer, zu einem Endprodukt zusammengesetzt. Ist der Mischprozess beendet, so wird der Mischer geöffnet und das Endprodukt fällt in ein Depot unter dem Mischer. Aus diesem Depot wird dann das Endprodukt in eine Fertigwarenzelle abtransportiert. Ist die Mischzeit wesentlich länger als die Abtransportzeit des Endproduktes, so sollte das Abtransportsystem während des Mischprozesses abgestellt werden (oder mit reduzierter Leistung fahren), um elektrische Energie zu sparen.

### 2.4.2 Prozessende erkennen

Das genaue Ende eines Prozesses bzw. eines Verfahrensschrittes zu bestimmen ist nicht immer einfach. In vielen Fällen beruhen die Angaben auf langjährigen Erfahrungswerten. Diese Erfahrungswerte liegen meistens auf der sicheren Seite und beinhalten zudem noch Reserven. Durch Einsatz von geeigneten Sensoren könnten die Prozesse bzw. Verfahrensschritte im richtigen Moment beendet werden.

Beispiel:

In einer Fruchtsaftpresse wird die Dresche während einer bestimmten Zeit ausgepresst. Die Presszeit ist je nach Dresche unterschiedlich lang. In der vorgegeben Presszeit wird die Qualität der Dresche (Saftinhalt) meistens kaum berücksichtigt. Dadurch kann es vorkommen, dass eventuell eine Dresche mit weniger Saft zu lange bzw. eine Dresche mit mehr Saft zu kurz gepresst wird. Mit einer gewichtsmässigen Erfassung (Wägesystem) desjeweils gepressten Saftes könnte der Pressvorgang optimiert werden. Einerseits könnten dadurch bei Dresche mit weniger Saft unnötige Pressvorgänge eingespart werden, was wiederum Einsparung von elektrischer Energie bedeuten würde. Andererseits bei Dresche mit mehr Saft könnte länger gepresst werden, was wiederum einer Produktionssteigerung entsprechen würde.

### **2.4.3 Transportleermeldung optimieren**

Viele Transportsysteme besitzen kein eindeutiges Kriterium zur Leermeldung. Wird das Transportsystem nicht mehr beschickt, so wird eine Leerlaufzeit gestartet. Sie ist so dimensioniert, dass mit Sicherheit alle möglichen Varianten abgedeckt sind. Ist die Leerlaufzeit abgelaufen, so wird automatisch angenommen, dass das Transportsystem leer ist. Mit Hilfe von Sensoren kann die Leermeldung eines Transportsystems echt erfasst werden. Unnötige Leerlaufzeiten werden dadurch eliminiert.

Beispiele:

Mit einem Manometer im pneumatischen Transportsystem, kann der Zeitpunkt des Leerwerdens der Transportleitung, genau bestimmt werden.

oder

Durch Messen des Antriebsstroms kann ermittelt werden, wann ein Kettenförderer (besonders bei vertikaler Förderung) leer läuft. Es genügt meist, den jeweils letzten in einer Transportkette zu vermessen.

oder

In einem Paketverteilzentrum werden die Transportbänder mit diversen Sensoren z.B. Lichtschranken, Endschaltern usw. ausgerüstet. Mit Hilfe dieser Sensoren kann der Transport des Paketes zu einer bestimmten Destination optimal gesteuert und überwacht werden. Während der Paketbeförderung laufen heute nur noch die direkt beteiligten Transportbänder. Sobald das Paket den Bestimmungsort erreicht, werden die direkt beteiligten Transportbänder wieder gestoppt.

#### 2.4.4 Einsatz von Leitsystemen

Durch den Einsatz von Leitsystemen wird die Bedienung vereinfacht, zeitlich reduziert und der Produktionsablauf verbessert werden. Zu den wichtigsten Aufgaben eines Leitsystems gehören:

- Produktionsauftrag überprüfen
- Produktionsablauf steuern und überwachen
- Produktionsdaten sammeln und auswerten
- Fehlmanipulationen vermeiden

Mit einem Leitsystem sollte die Produktion im Normalfall reibungslos verlaufen. Leerlauf und Wartezeiten sollten auf ein Minimum reduziert werden können. Ein optimaler Produktionsablauf ist nur dann gewährleistet, wenn der Produktionsablauf mittels Sensoren gesteuert und überwacht werden kann. Dies bedingt aber, dass die Sensoren vom Leitsystem auch tatsächlich erfasst und ausgewertet werden.

Beispiel.

In einem Misch

futterwerk werden alle Zellen für Rohkomponenten (Rohprodukte) auf Druckmessdosen gestellt. Dadurch stehen dem Leitsystem die genauen Inhalte der Rohkomponentenzellen jederzeit zur Verfügung. Vor einem Produktionsauftrag (Mischauftrag) wird der Rohkomponentenbedarf automatisch vom Leitsystem errechnet. Gibt es nicht genug Rohkomponenten in den Zellen, so wird der geplante Produktionsauftrag nicht gestartet. Dadurch wird die Produktion einer Fehlcharge vermieden und damit Rohstoffe und Energie gespart.

In einem zweiten Beispiel geht es das Glätten von Leistungsspitzen. Ein kW Leistungsbezug kostet Industrie und Gewerbe heute ca. 140 Franken. Mit einem Leitsystem und geeigneten Sensoren, kann der momentane Stromverbrauch in industriellen Anlagen jederzeit erfasst werden. Durch Trendbildung kann das Annähern an eine gesetzte Grenze detektiert werden und gemäss vorprogrammierten Prioritäten können nicht absolut notwendige Verbraucher temporär abgeschaltet werden. (Funktion eines Energiekontrollsystems, das in die Leitanlage integriert ist.

## 2.5 Indirekte Massnahmen

Zu den wichtigsten indirekten Massnahmen bezüglich Energieeinsparung gehört das Wecken und Fördern des Sparbewusstseins in einem Betrieb. Wie kann aber das Sparbewusstsein in einem Betrieb gefördert werden? Die nachfolgenden Beispiele zeigen einige Möglichkeiten auf.

- Energiesparen soll in einem Betrieb als Leitbildaufgabe gelten und seitens Betriebsleitung voll unterstützt werden.
- Die Mitarbeiter über Energieverbrauch, Kosten und Einsparungen periodisch informieren.
- Die Betriebsleiter und Mitarbeiter sollten zu diesem Thema soweit sensibilisiert werden, dass sie mit offenen Augen durch den Betrieb laufen und mögliche Sparpotentiale erkennen.
- Bei erfolgreichen Massnahmen über die Energieeinsparung und die eingesparten Kosten informieren und ggf. belohnen.
- Vor neuen Investitionen, Sanierungen und Nachrüstungen die Energiebilanz nicht vergessen.



### 3 ANHANG

#### 3.1 Energieverbrauch in industriellen Anlagen

Der Gesamtenergieverbrauch der Schweiz betrug im Jahre 1990 ca. 778'930 TJ. Die Aufteilung des Gesamtenergieverbrauchs nach Verbrauchergruppen sieht wie folgt aus:

| Verbrauchergruppe                            | Verbrauch [TJ] | %      |
|--|----------------|--------|
| Verkehr                                      | 253'470,00     | 32,54  |
| Haushalte                                    | 225'390,00     | 28,94  |
| Gewerbe, Landwirtschaft und Dienstleistungen | 154'040,00     | 19,78  |
| Industrie                                    | 146'030,00     | 18,74  |
|  | 778'930,00     | 100,00 |

Quelle: SEV-Bulletin 12/1991

#### 3.2 Verbrauch pro Energieträger

(Industrie 1990)

| Energieträger         | Verbrauch [TJ] | %      |
|-----------------------|----------------|--------|
| Elektrizität          | 41'374,48      | 34,20  |
| Heizöl                | 30'462,71      | 25,19  |
| Erdgas                | 24'318,05      | 20,11  |
| Kohle                 | 13'666,67      | 11,30  |
| Eigenenergiegewinnung | 8'626,76       | 7,13   |
| Wärme aus Fernnetz    | 2'009,47       | 1,66   |
| Petrolkoks            | 495,92         | 0,41   |
|                       | 120'954,06     | 100,00 |

Quelle: ENERGIEVERBRAUCH in der schweizerischen Industrie im Jahre 1990, Ausgabe Oktober 1991  
Schweizerischer Energie-Konsumenten-Verband von Industrie und Wirtschaft (EKV)

Die Differenz des Totals zu dem Total in der Tabelle nach Verbrauchergruppen entsteht dadurch, dass vom EKV nicht alle Industriebetriebe erfasst werden.

### 3.3 Verbrauch pro Branche (Industrie 1990)

| Branche            | Verbrauch [TJ] | Verbrauch [GWh] | %      |
|--------------------|----------------|-----------------|--------|
| VSM + Metall       | 12'862,50      | 3'575,775       | 31,09  |
| Chemie             | 8'428,45       | 2'343,109       | 20,37  |
| Aluminium          | 5'651,23       | 1'571,042       | 13,66  |
| Papier/Karton      | 5'449,14       | 1'514,861       | 13,17  |
| Textil             | 2'263,47       | 629,245         | 5,47   |
| Zement             | 1'821,38       | 506,344         | 4,40   |
| Chemiefaser        | 1'627,09       | 452,331         | 3,93   |
| Lebensmittel       | 756,22         | 210,229         | 1,83   |
| Glas               | 350,10         | 97,328          | 0,85   |
| Schokolade         | 324,27         | 90,147          | 0,78   |
| Bau                | 292,00         | 81,176          | 0,71   |
| Ziegel-Stein       | 269,00         | 74,782          | 0,65   |
| Kunststoff         | 242,60         | 67,443          | 0,59   |
| Brauerei           | 233,55         | 64,927          | 0,56   |
| Tabak              | 155,01         | 43,093          | 0,37   |
| Stahlröhre         | 137,00         | 38,086          | 0,33   |
| Keramik            | 115,80         | 32,192          | 0,28   |
| Fett               | 101,89         | 28,325          | 0,25   |
| Müller             | 85,37          | 23,733          | 0,21   |
| Decolletage        | 53,46          | 14,862          | 0,13   |
| Schuhe             | 50,67          | 14,086          | 0,12   |
| Seifen-Waschmittel | 46,20          | 12,844          | 0,11   |
| Lack-Farben        | 37,16          | 10,330          | 0,09   |
| Schmelzkäse        | 20,92          | 5,815           | 0,05   |
|                    | 41'374,48      | 11'502,105      | 100,00 |

Quelle: ENERGIEVERBRAUCH in der schweizerischen Industrie im Jahre 1990, Ausgabe Oktober 1991  
Schweizerischer Energie-Konsumenten-Verband von Industrie und Wirtschaft (EKV)

Benutzte Einheiten:

- [TJ] Terajoule (10 #12 Joule)
- [GWh] Gigawattstunden (109 Wattstunden)
- 1 TJ= 0,278 GWh

### 3.4 Verbrauch pro Branche und Gruppe (Industrie 1990)

| Branche            | Verbrauch [TJ]  |               |                  |                  |               |                 |
|--------------------|-----------------|---------------|------------------|------------------|---------------|-----------------|
|                    | Beleuchtung     | Raumwärme     | Mech. Arbeit     | Prozesswärme     | Eigenenergie  | Umweltschutz    |
| VSM + Metall       | 1'426,50        | 384,90        | 5'410,80         | 5'204,00         | 11,30         | 425,00          |
| Chemie             | 494,11          | 89,35         | 4'663,11         | 2'465,05         | 152,01        | 564,82          |
| Aluminium          | 94,65           | 18,19         | 645,20           | 4'740,25         | -             | 152,94          |
| Papier/Karton      | 94,49           | 26,13         | 4'750,29         | 351,48           | 108,25        | 118,50          |
| Textil             | 177,85          | 55,85         | 1'735,23         | 280,66           | 2,97          | 10,91           |
| Zement             | 29,92           | 8,86          | 1'652,57         | 1,82             | 12,39         | 115,82          |
| Chemiefaser        | 77,53           | 3,10          | 929,49           | 601,57           | -             | 15,40           |
| Lebensmittel       | 50,60           | 18,58         | 530,36           | 156,16           | -             | 7,18            |
| Glas               | 0,60            | -             | 223,10           | 126,40           | -             | -               |
| Schokolade         | 18,16           | 18,16         | 222,77           | 56,10            | 2,92          | 6,16            |
| Bau                | 29,20           | 58,40         | 204,40           | -                | -             | -               |
| Ziegel-Stein       | 5,05            | 1,03          | 261,89           | 1,03             | -             | -               |
| Kunststoff         | 15,42           | 14,80         | 36,10            | 174,43           | -             | 1,85            |
| Brauerei           | 22,87           | 3,10          | 196,92           | 8,86             | -             | 1,80            |
| Tabak              | 18,66           | 15,71         | 96,33            | 19,81            | 1,48          | 3,02            |
| Stahlröhre         | 8,88            | 0,60          | 91,47            | 33,76            | -             | 2,29            |
| Keramik            | 8,10            | 0,70          | 107,00           | -                | -             | -               |
| Fett               | 4,81            | 0,60          | 39,79            | 49,49            | -             | 0,54            |
| Müller             | 1,85            | 2,36          | 81,16            | -                | -             | -               |
| Decolletage        | 4,06            | 1,33          | 40,79            | 7,06             | -             | 0,22            |
| Schuhe             | 7,30            | 5,37          | 26,76            | 11,24            | -             | -               |
| Seifen-Waschmittel | 5,94            | 1,28          | 32,01            | 5,05             | -             | 1,92            |
| Lack-Farben        | 3,15            | 1,44          | 20,01            | 9,71             | -             | 2,85            |
| Schmelzkäse        | 1,69            | 0,02          | 12,73            | 6,48             | -             | -               |
| <b>Total</b>       | <b>2'601,39</b> | <b>729,86</b> | <b>22'010,28</b> | <b>14'310,41</b> | <b>291,32</b> | <b>1'431,22</b> |
| <b>%</b>           | <b>6,29</b>     | <b>1,76</b>   | <b>53,20</b>     | <b>34,59</b>     | <b>0,70</b>   | <b>3,46</b>     |

Quelle: ENERGIEVERBRAUCH in der schweizerischen Industrie im Jahre 1990, Ausgabe Oktober 1991  
Schweizerischer Energie-Konsumenten-Verband von Industrie und Wirtschaft (EKV)

### 3.5 Zusammenfassung

Die schweizerische Industrie hat im Jahre 1990 elektrische Energie in einer Höhe von 41'374 TJ oder 1'502 GWh verbraucht. Dies entspricht ca. 34% des gesamten Energieverbrauchs (ohne Treibstoff) der schweizerischen Industrie. Die ersten fünf Branchen in der Tabelle (VSM+Metall, Chemie, Aluminium, Papier/Karton und Textil) verbrauchten ca. 84% der elektrischen Energie. Zu den stromintensivsten Gruppen gehören die mechanische Arbeit und die Erzeugung der Prozesswärme.

## **Literaturverzeichnis**

- [1] SEV, Bulletin 12/1991
- [2] EKV, Energieverbrauch in der schweizerischen Industrie im Jahre 1990
- [3] Günther W. Schanz, Sensoren - Fühler der Messtechnik, Hüthig Verlag
- [4] Gerhard Schnell, Sensoren in der Automatisierungstechnik, Vieweg Verlag
- [5] Honeywell, Katalog E20 Halbleitersensoren
- [6] Elmes Staub+CO AG Richterswil/Schweiz, Produkteübersicht
- [7] SIA Dokumentation D027, Leitfaden für Messungen an Gebäuden und Haustechnikanlagen.

## Bestellung von RAVEL-Dokumentationen:

Name, Vorname: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

Strasse: \_\_\_\_\_

PLZ, Ort: \_\_\_\_\_

Datum, Unterschrift: \_\_\_\_\_

**Bundesamt für Konjunkturfagen**

**Impulsprogramm RAVEL**

**Belpstrasse 53**

**3003 Bern**

**Fax 031 / 371 82 89**

| Titel   | Autor           | Bestell-Nr.        | Preis  | Bestellung |
|---|-----------------|--------------------|--------|------------|
| <b>Allgemeine Dokumentationen zu RAVEL</b>  |                 |                    |        |            |
| Broschüre "Neue Handlungsspielräume mit weniger Strom"                              |                 | 724.301 d          | gratis |            |
| Broschüre "L'économie d'électricité crée de nouveaux champs d'action"               |                 | 724.301 f          | gratis |            |
| Broschüre "Nuove libertà d'azione con meno energia elettrica"                       |                 | 724.301 i          | gratis |            |
| Broschüre "11 Praxislehrstücke, wie Ausgaben zur lohnenden Invest. werden"          |                 | 724.387 d          | gratis |            |
| Untersuchungsergebnisse: "47 heisse Spuren zu lohnenden Stromsparpotentialen"       |                 | 724.301.3 d        | gratis |            |
| Untersuchungsprojekte   |                 | 724.301.1 d        | gratis |            |
| Weiterbildung   |                 | 724.301.2 d        | gratis |            |
| IMPULS - Zeitschrift für IP Bau, RAVEL und PACER                                    |                 |                    | gratis |            |
| Construction et Energie - Bulletin des 3 programmes d'impulsions                    |                 |                    | gratis |            |
| IMPULSO - Bollettino per PI Edil, RAVEL e PACER                                     |                 |                    | gratis |            |
| <b>RAVEL-Lehrmittel</b>   |                 |                    |        |            |
| Strom rationell nutzen - RAVEL Handbuch   |                 | ISBN 3 7281 1830 3 | 76.--  | Buchhandel |
| Manuel RAVEL - l'électricité à bon escient  |                 | ISBN 3 7281 1830 3 | 76.--  | Buchhandel |
| RAVEL-Tagung 1991: Start zu einer neuen fachlichen Kompetenz                        |                 | 724.300.1 d/f      | 25.--  |            |
| RAVEL-Tagung 1992: Mehr Büro mit weniger Strom                                      |                 | 724.300.2 d/f      | 30.--  |            |
| RAVEL-Tagung 1993: Energie-Fitness in der Industrie                                 |                 | 724.300.3 d/f      | 25.--  |            |
| RAVEL-Tagung 1994: RAVEL zahlt sich aus   |                 | 724.300.4 d/f      | 25.--  |            |
| RAVEL-Tagung 91-94: 4er Set   |                 | 724.300.0 d/f      | 75.--  |            |
| RAVEL-Industrie-Handbuch  | A. Huser        | 724.370 d          | 50.--  |            |
| Erfassung des Energieverbrauchs (2 Bücher und Bon für Diskette)                     | A. Huser        | 724.371.0 d        | 27.--  |            |
| Erfassung des Energieverbrauchs (Diskette und Band 1: Leitfaden für Ind. + Gewerbe) | A. Huser        | 724.371.1 d        | 12.--  |            |
| Erfassung des Energieverbrauchs (Band 2: Anleitung für den Beauftragten)            | A. Huser        | 724.371.2 d        | 15.--  |            |
| Energie - ihre Bedeutung für die Wirtschaft   | D. Spreng       | 724.316 d          | 14.--  |            |
| Analyse des Energieverbrauchs   | F. Wolfart      | 724.318 d          | 24.--  |            |
| Organisation und Energiemanagement  | R. Hasenböhler  | 724.374 d          | 23.--  |            |
| Küche und Strom   | L. Perincioli   | 724.322 d/f        | 11.--  |            |
| Elektrische Antriebe: Auslegung und Betriebsoptimierung                             | K. Reichert     | 724.331 d          | 38.--  |            |
| Umwälzpumpen: Auslegung und Betriebsoptimierung                                     | E. Füglistner   | 724.330 d          | 33.--  |            |
| Energie-effiziente Lüftungstechnische Anlagen in der Haustechnik                    | U. Steinemann   | 724.307 d          | 38.--  |            |
| Elektroantriebe   | A. Neyer        | 724.332 d          | 9.--   |            |
| Beleuchtung - Gesamtpaket mit allen vier Bänden                                     |                 | 724.329.0 d        | 80.--  |            |
| Beleuchtung - Grundlagen  | Ch. Vogt        | 724.329.1 d        | 22.--  |            |
| Beleuchtung - Zeitgemässe Beleuchtung in Bürobauten                                 | Ch. Vogt        | 724.329.2 d        | 25.--  |            |
| Beleuchtung - Mit besserem Licht zu glänzenden Produktions-Ergebnissen              | Ch. Vogt        | 724.329.3 d        | 21.--  |            |
| Beleuchtung - Mit besserem Licht zu steigenden Verkaufszahlen                       | Ch. Vogt        | 724.329.4 d        | 21.--  |            |
| Haushaltgeräte - Leitfaden zur Gerätewahl   | F. Wolfart      | 724.347 d          | 22.--  |            |
| Geräte zur Wassererwärmung  | H. Hediger      | 724.349 d          | 36.--  |            |
| Elektroheizungen - Sanierung und Ersatz in Wohnbauten                               | H.P. Meyer      | 724.346 d          | 28.--  |            |
| Elektrizität im Wärmesektor (WKK, WP, WRG)  | H.R. Gabathuler | 724.354 d          | 8.--   |            |
| Electricité et chaleur  | P. Renaud       | 724.354 f          | 8.--   |            |
| Standardschaltungen Heft 5  |                 | 724.359 d          |        |            |
| Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung Heft 2  | R. Brunner      | 724.355 d          | 15.--  |            |
| Wärmepumpen Heft 3  | Th. Baumgartner | 724.356 d          | 16.--  |            |
| Elektrizität und Wärme (Grundlagen) Heft 1  | H.R. Gabathuler | 724.357 d          | 16.--  |            |
| Wärme- und Kälteanlagen - Effizienter planen, bauen und betreiben Heft 4            | Hp. Eicher      | 724.358 d          | 17.--  |            |
| Einsatz der integralen Gebäudeautomation - Optimierung und Betrieb                  | J. Willers      | 724.362 d          | 24.--  |            |
| Gebäudeautomation - Inbetriebsetzung und Abnahme                                    | J. Willers      | 724.363 d          | 24.--  |            |
| Automation und RAVEL  | G. Züblin       | 724.335 d          | 23.--  |            |
| Kompetent antworten auf Energiefragen (Kursordner und Taschenbuch)                  | M. Kugler       | 724.386.0 d        | 60.--  |            |
| Kompetent antworten auf Energiefragen (Kursordner)                                  | M. Kugler       | 724.386.1 d        | 50.--  |            |
| Kompetent antworten auf Energiefragen (Taschenbuch)                                 | M. Kugler       | 724.386 d          | 12.50  |            |

## Bestellung von RAVEL-Dokumentationen:

Name, Vorname: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

Strasse: \_\_\_\_\_

PLZ, Ort: \_\_\_\_\_

Datum, Unterschrift: \_\_\_\_\_

**Bundesamt für Konjunkturfragen**

**Impulsprogramm RAVEL**

**Belpstrasse 53**

**3003 Bern**

**Fax 031 / 371 82 89**

| Titel   | Autor               | Bestell-Nr.        | Preis | Bestellung |
|---|---------------------|--------------------|-------|------------|
| <b>RAVEL-Materialien</b>  |                     |                    |       |            |
| Renouvellement d'air: Extraction d'air des bains, WC, cuisines                    | G. Spoehrle         | 724.397.11.51 f    | 12.-- |            |
| Transport de l'air  | P. Chuard           | 724.397.11.52 f    | 12.-- |            |
| Conditionnement des locaux: études de cas   | C. Brunner          | 724.397.11.53 d/f  | 12.-- |            |
| Conditionnement des locaux: humidification, déshumidification                     | M. Borel            | 724.397.11.54 f    | 12.-- |            |
| Pompes de circulation - Diminuer la puissance installée et l'énergie cons.        | L. Keller           | 724.397.11.55 f    | 12.-- |            |
| Fallstudie Betrieb und Unterhalt einer Lüftungsanlage                             | R. Naef             | 724.397.11.56 d    | 12.-- |            |
| Grundbegriffe der Energiewirtschaft (Glossar)                                     | R. Leemann          | 724.397.12.51.1 d  | 12.-- |            |
| Methoden der Wirtschaftlichkeitsanalyse von Energiesystemen                       | R. Leemann          | 724.397.12.51.2 d  | 12.-- |            |
| Kennwerte betrieblicher Prozessketten   | F. Wolfart          | 724.397.12.54 d    | 12.-- |            |
| Valeurs caractéristiques de processus industriels                                 | F. Wolfart          | 724.397.12.54 f    | 12.-- |            |
| Elektrische Produktionsverfahren  | Hp. Meyer           | 724.397.12.55 d    | 12.-- |            |
| Energetischer Vergleich pneumatischer, hydraulischer und e.m. Antriebe            | J.E. Albrecht       | 724.397.12.56 d    | 12.-- |            |
| Energieverbrauch in gewerblichen Küchen   | J. Tercier          | 724.397.13 d       | 12.-- |            |
| Fallstudie Testküche  | L. Perincioli       | 724.397.13.52 d    | 12.-- |            |
| Energieverbrauch von Rechner- und Kommunikationsanlagen im Detailhandel           | R. Moser            | 724.397.13.53 d    | 12.-- |            |
| Zuverlässigkeit und Energieverbrauch von elektronischen Geräten                   | A. Birolini         | 724.397.13.56 d    | 12.-- |            |
| Elektrizitätsbedarf von Textildruckmaschinen                                      | W. Hässig           | 724.397.21.51 d    | 12.-- |            |
| Kühlmöbel im Lebensmittelhandel   | U. Kaufmann         | 724.397.21.52 d    | 12.-- |            |
| Wirkungsgradoptimierung der Drucklufterzeugung und Verteilung                     | F. Münst            | 724.397.21.54 d    | 12.-- |            |
| Analyse du rendement énergétique de processus industr. de prod.                   | M. Bongard          | 724.397.21.55 f    | 12.-- |            |
| Analyse processus industriels sélectionnés: utilisation de force dans la chimique | G. Mamane           | 724.397.21.56 f    | 12.-- |            |
| Elektrizitätsbedarf der Zementindustrie   | U. Fischli          | 724.397.21.61 d    | 12.-- |            |
| Elektrizitätsbedarf von Industrielüftungen  | U. Fischli          | 724.397.21.62 d    | 12.-- |            |
| Lumière, Beleuchtung: Etudes de cas, Fallstudien                                  | R. Miloni           | 724.397.22.51 d/f  | 12.-- |            |
| Stromverbrauchserhebung in Haushalten   | A. Huser            | 724.397.23.51 d    | 12.-- |            |
| Wäschetrocknen im Mehrfamilienhaus  | J. Nipkow           | 724.397.23.52 d    | 12.-- |            |
| Kühlschränke für Hotelzimmer und Studios  | M. Beer             | 724.397.23.53 d    | 12.-- |            |
| Energieverbrauch von elektronischen Bürogeräten                                   | A. Huser            | 724.397.23.54 d    | 12.-- |            |
| Energierelevante Aspekte von elektronischen Bürogeräten                           | R. Strauss          | 724.397.23.55 d    | 12.-- |            |
| Energieverluste bei Büro- und Unterhaltungselektronikgeräten                      | U. Graune           | 724.397.23.56/57 d | 12.-- |            |
| Warmwasserbedarfszahlen und Verbrauchscharakteristik                              | M. Blatter          | 724.397.23.58 d    | 12.-- |            |
| Sanierung und Ersatz von Elektroheizungen: Zusatzheizungen                        | Hp. Meyer           | 724.397.23.59 d    | 12.-- |            |
| Dimensionierung, Sanierung und Betrieb von Elektroheizungen in Kirchen            | E. Hungerbühler     | 724.397.23.60 d    | 12.-- |            |
| WRG / AWN-Checkliste  | R. Brunner          | 724.397.31.52 d    | 12.-- |            |
| Abgeschlossene und laufende Projekte in den Bereichen WKK und WP                  | Th. Baumgartner     | 724.397.31.55 d    | 12.-- |            |
| Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung  | V. Kyburz           | 724.397.31.56 d    | 12.-- |            |
| Betriebsoptimierung/Erfolgskontrolle von WP- und WKK-Anlagen                      | R. Bühler           | 724.397.31.57 d    | 12.-- |            |
| Interne Wärmelasten von Betriebseinrichtungen                                     | B. Nussbaumer       | 724.397.32.51 d    | 12.-- |            |
| Nachweis der Wirksamkeit der IGA und des Energiemanagements                       | M. Züst             | 724.397.32.53 d    | 12.-- |            |
| Einsatz der IGA für die Betriebsführung   | S. Graf             | 724.397.32.54 d    | 12.-- |            |
| Fallstudie Tunnellüftung  | H. Hatz             | 724.397.41 d       | 12.-- |            |
| Kühltemperaturen im Lebensmittelhandel  | A. Kümin            | 724.397.41.52 d    | 12.-- |            |
| Bedeutung organisat. Fragen für Planung energ. Gebäude/Haustechnikanal.           | U. Steinemann       | 724.397.41.57 d    | 12.-- |            |
| Erhebung des Elektrizitätsverbrauchs bestehender Strassentunnel                   | J. Steinemann/Borel | 724.397.41.58 d/f  | 12.-- |            |
| RAVEL zählt sich aus - Prakt. Leitfaden für Wirtschaftlichkeitsberechn.           | A. Müller           | 724.397.42.01 d    | 12.-- |            |
| RAVEL, une économie d'argent - Guide prat. pour les calculs de rentabilité        | A. Müller           | 724.397.42.01 f    | 12.-- |            |
| Récupération d'énergie électrique et thermique                                    | A. Besson           | 724.397.42.02 f    | 12.-- |            |
| Energiesparstrategie für Versorgungsunternehmen                                   | F. Spring           | 724.397.42.51 d    | 12.-- |            |
| Benutzerverhalten im Bürobereich  | E. Nussbaumer       | 724.397.42.55 d    | 12.-- |            |
| Sensorik  | N. Havrilla         | 724.397.43.52 d    | 12.-- |            |
| Rationelle Stromnutzung - Einfl. neuer Technolog. auf künft. Weiterbildung        | W. Baumgartner      | 724.397.46.51 d    | 12.-- |            |
| Rationelle Stromnutzung - Einfluss neuer Technologien: Kurzfassung                | W. Baumgartner      | 724.397.46.52 d    | 12.-- |            |





