

|                     |   |
|---------------------|---|
| <b>Zeitschrift:</b> | Schweizerische Bauzeitung   |
| <b>Herausgeber:</b> | Verlags-AG der akademischen technischen Vereine                                       |
| <b>Band:</b>        | 87 (1969)   |
| <b>Heft:</b>        | 10  |
| <b>Artikel:</b>     | Messung stationärer Eigenschaften von Komponenten hydraulischer Übertragungen         |
| <b>Autor:</b>       | Schlösser, W.M.J. / Toet, G.  |
| <b>DOI:</b>         | <a href="https://doi.org/10.5169/seals-70615">https://doi.org/10.5169/seals-70615</a> |

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 08.01.2026

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

## Messung stationärer Eigenschaften von Komponenten hydraulischer Übertragungen

Von Prof. Dr.-Ir. W.M.J. Schlösser und Obering. G. Toet, Eindhoven

DK 62-82:53.083.001.5

### Einleitung

Bereits in den Jahren 1950 bis 1955 wurde der Mangel an genauen Daten über das stationäre Verhalten der Bestandteile hydraulischer Getriebe offensichtlich. Weder eine systematische Entwicklung solcher Komponenten, noch deren richtige Wahl für den sinnvollen Einsatz im Hydrogetriebe sind aber ohne diese Informationen möglich. Es zeigte sich ausserdem, dass die damals verfügbaren Daten auch für die Analyse des dynamischen Verhaltens hydraulischer Übertragungen ungenügend waren.

Verhandlungen und Gespräche des erstgenannten Verfassers mit E. F. Boon, damals Professor an der Technischen Hochschule Delft, führten zum Bau eines Prüfstandes mit dem Ziel, genaue Information über das Verhalten von Komponenten hydraulischer Getriebe zu ermitteln. Von 1954 bis Mitte 1956 arbeiteten die Ingenieure J. H. Dickhoff, J. C. Horch und J. Boerendans an diesem Projekt, welches von der Bataafse Petroleum Maatschappij und der Stiftung Chemische Werkzeuge unterstützt wurde. Ab August 1956 durfte der erstgenannte Verfasser diese Arbeiten leiten. Dank der Unterstützung von Prof. Boon konnte ein erster Abschnitt in der Periode von August 1956 bis November 1959 abgeschlossen werden. Während dieser Zeit galten die Bemühungen der erschöpfenden Messung fundamentaler Grössen. Die Ergebnisse von Messungen an Verdränger-Pumpen und -Motoren wurden anhand des mathematischen Modells von W. E. Wilson [1] gedeutet. Bald stellte sich aber heraus, dass in diesem Modell der Einfluss der Dichte der Flüssigkeit auf Verluststrom und Verlustmoment einbezogen werden können. Dieses vollständigere mathematische Modell wurde vom erstgenannten Verfasser zusammen mit einem Bericht über den damaligen Stand der Messtechnik in seiner Dissertation bekanntgegeben [2].

In der Zeit von Dezember 1959 bis Herbst 1962 konnte die erste Generation Messinstrumente durch eine zweite ersetzt werden. Hierbei wurde auch das direkte Messen fundamentaler Grössen wie Masse, Kraft, Länge und Zeit verlassen. Von nun an wurden die Messwerte in Form eines elektrischen Analogsignals erhalten. Zur Eichung dienten die Instrumente der ersten Generation. Diese Zeit war gekennzeichnet durch das stetige Verbessern der Genauigkeit der Messinstrumente beider Generationen.

Im Herbst 1962 erfolgte der Umzug des ganzen Stabs sowie des Prüfstandes in die Technische Hochschule Eindhoven. Hier empfing die Arbeitsgruppe eine derart grosse Unterstützung, dass sie mit der Ausarbeitung noch weiterreichender Pläne sofort beginnen konnte. Es wurde beschlossen, eine dritte Generation von Messinstrumenten zu entwickeln. Diese sollten die Messwerte in Digitalform liefern, so dass sie sich für die Verarbeitung mittels digitaler Elektronenrechner eignen. Diese Einrichtung wurde in der Zeit von Dezember 1962 bis Dezember 1966 vervollständigt.

Bei der Auswertung der Messergebnisse wurde nach wie vor das 1959 veröffentlichte mathematische Modell angewandt. Auffallend war dabei die weitgehende Übereinstimmung der mit den Instrumenten der dritten Generation erzielten Messergebnisse mit dem mathematischen Modell. Diese Arbeiten lieferten eine beträchtliche Menge Informationen für die weitere Entwicklung der Einzelemente hydrostatischer Übertragungen. Ausserdem konnte der Aufenthalt solcher Komponenten auf dem Prüfstand von Wochen oder gar Monaten auf Stunden vermindert werden.

Die weitere Entwicklung der Messtechnik im Laboratorium für Antriebe der Technischen Hochschule Eindhoven wird voraussichtlich über drei Wege stattfinden:

1. Ausschaltung des in vielen Hinsichten unzuverlässigen Menschen durch die völlige Automatisierung des Versuches sowohl bei der Messung selbst, als auch bei der Auswertung der erhaltenen Ergebnisse.

2. Anwendung der entwickelten Messeinrichtungen für andere Übertragungen zur Gewinnung vergleichbarer Informationen über mechanische, elektrische und fluidische Getriebe.
3. Anwendung der digitalen Messtechnik zwecks Untersuchung des dynamischen Verhaltens von Übertragungen. Die Entwicklung der hierzu benötigten, vierten Generation von Messinstrumenten und -einrichtungen befindet sich bereits in fortgeschrittenem Stadium.

Der vorliegende Beitrag befasst sich mit der Bekanntgabe der gewonnenen Erfahrungen mit den Messanordnungen der ersten bis dritten Generation, sowie der Entwicklung der Messtechnik an hydraulischen Übertragungen im erwähnten Laboratorium.

### Allgemeine Betrachtungen über die zu messenden Grössen

Für die Beschreibung des Verhaltens unter stationären Bedingungen dienen die in Tabelle 1 aufgeführten Grössen.

Zwecks Verbesserung der Messanordnungen müssen folgende Punkte in Betracht gezogen werden:

1. Prinzip der Messung
2. technische Verwirklichung dieses Prinzips
3. Aufstellungsart des Messobjekts
4. Bedingungen, unter welchen gemessen wird
5. Art, wie die Messwerte verfügbar sind
6. Art, wie die gemessenen Werte verarbeitet werden.

Im weiteren können die zu messenden Grössen in *Grundgrössen* und *Hilfsgrössen* unterteilt werden. Die Grundgrössen dienen der Erfassung des Energiestroms; die Hilfsgrössen beschreiben den Zustand, in dem sich der Energieträger befindet. Zur ersten Sorte gehören:

- Volumenstrom
- Druckdifferenz
- Winkelgeschwindigkeit
- Drehmoment.

Zur zweiten Sorte:

- Temperatur,
- Dichte und
- Viskosität der Flüssigkeit.

Es gibt wohl noch andere, für die Konstruktion hydraulischer Komponenten wichtige Grössen, diese werden aber hier nicht behandelt, weil sie meistens von der Art der untersuchten Komponenten abhängig sind.

In der Regel erfolgt die Messung der erwähnten Grössen mittels eines Aufnehmers oder Zensors. Dann wird das Mess-Signal verstärkt und zuletzt angezeigt. Von diesen drei Funktionen kann in einfachen Fällen die Verstärkung fehlen, während die übrigen zwei immer vorhanden sind.

Tabelle 1. Für die Beschreibung des Verhaltens unter stationären Bedingungen hydraulischer Komponenten dienende Grössen

|                                   | Symbol         | Einheit                                       | Dimension                      |
|-----------------------------------|----------------|---|--------------------------------|
| Volumenstrom                      | $Q_v$          | $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$                    | $\text{L}^3 \text{T}^{-1}$     |
| Druckdifferenz (Druck)            | $\Delta p (p)$ | $\text{N m}^{-2}$                             | $\text{ML}^{-1} \text{T}^{-2}$ |
| Winkelgeschwindigkeit (Drehzahl)  | $\omega (n)$   | $\text{rad/s (U/s)}$                          | $\text{T}^{-1}$                |
| Drehmoment                        | $T$            | $\text{n N}$                                  | $\text{ML}^2 \text{T}^{-2}$    |
| Verschiebung (Weg)                | $s$            | $\text{m}$                                    | $\text{L}$                     |
| Temperatur des Mediums            | $\nu$          | $^\circ\text{C}$                              | $\theta$                       |
| Dichte des Mediums                | $\rho$         | $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$               | $\text{M} \cdot \text{L}^{-3}$ |
| Dynamische Viskosität des Mediums | $\mu$          | $\text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$ | $\text{ML}^{-1} \text{T}^{-1}$ |

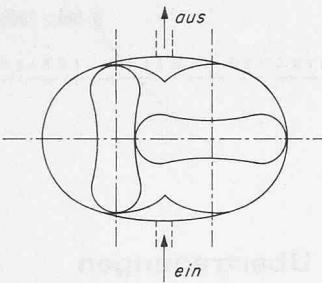


Bild 1. Messung mit einem Verdrängermessgerät

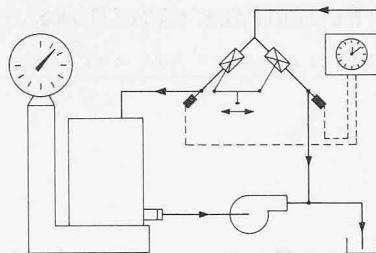


Bild 2. Messung mittels Wägung; Zeitmessung mit Stoppuhr

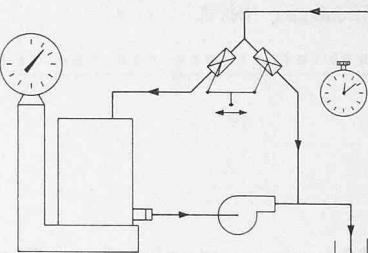


Bild 3. Messen mit einer elektrischen Präzisionsuhr. Das Schaltsignal wird von Mikroschaltern erzeugt, welche mit den Zufuhr- und Abflusshähnen gekuppelt sind

Bei der Wahl der Mess- und Indiziereinrichtungen ist sorgfältig zu überprüfen, ob Analog-, Digital- oder gemischte Systeme vorzuziehen sind; im Falle der Anzeige oder Registrierung ist die Wahl einfacher, weil hierfür die Digitaltechnik meistens vorteilhafter ist. Auf der Aufnahmeseite ist eine Entscheidung deshalb komplizierter, weil nur wenige Aufnehmer erhältlich sind, die von Natur aus ein Signal in Digitalform oder in einer leicht zu digitalisierenden Form abgeben. Nachstehend wird erläutert, wie Messmethoden entwickelt wurden, die aus einer Kombination analoger und digitaler Techniken bestehen. Auf ihre besonderen Vorteile wird später eingegangen.

#### Messung von Volumenströmen

Im Verlaufe der Entwicklung gelangten mehrere Messmethoden zur Anwendung. Allerdings sind nicht alle geeignet für die Messung an jeder beliebigen Stelle eines hydraulischen Systems. In einem Punkt stimmen sie aber überein: in irgend einer Form muss bei allen eine Zeitmessung erfolgen. Diese Messmethoden sind:

- Messung mit einem Verdrängermessgerät, Bild 1
- Messung mittels Wägung; Zeitmessung mit Stoppuhr, Bild 2
- Messen mittels Wägung in Verbindung mit einer elektrischen Präzisionsuhr (später Quarzuhr mit Digitalablesung). Das Schaltignal wird von Mikroschaltern erzeugt, welche mit den Zufuhr- und Abflusshähnen gekuppelt sind, Bild 3
- Wägemessung. An einer im voraus bestimmten Stelle der Skala durchläuft der Zeiger einen Lichtstrahl, wodurch das Start- und Stoppsignal für eine Quarzuhr erzeugt wird, Bild 4
- Messung mit Turbinen-Durchfluss-Messgeräten. Diese werden nach der Methode d geeicht; während der Eichung müssen  $p_1$ ,  $q_1$  und  $\mu_1$  konstant gehalten werden.

#### Vor- und Nachteile der beschriebenen Messverfahren

##### Verfahren a

**1. Vorteile:** Die Wirkung dieses Messgerätes gleicht der eines reinen Volumenstrommessers von allen genannten Verfahren am meisten. Es ist ein Hydromotor, bei welchem die Drehzahl gemessen wird. Diese ist in einem bestimmten Bereich proportional zum Volumenstrom. Wird ein Momentan-Drehzahlmesser verwendet, so bekommt man die Möglichkeit, den momentanen Volumenstrom zu ermitteln.

**2. Nachteile:** Da es sich um ein Verdrängungswerkzeug handelt, ist es prinzipiell wenig geeignet für das Messen von Eigenschaften

anderer Verdrängungselemente. Die Genauigkeit ist abhängig von verschiedenen Größen, u. a.:

- statischer Druck
- Druckdifferenz
- Drehzahl
- Dichte der Flüssigkeit
- Viskosität der Flüssigkeit,

was eine genaue Eichung besonders erschwert. Außerdem ist die Genauigkeit vom Drehzahlmesser und von der Messzeit abhängig. Mit diesem Verfahren ist eine Ungenauigkeit von  $\pm 2\%$  des Endwertes möglich.

##### Verfahren b

**1. Vorteile:** Anstelle des Volumens wird mit diesem Verfahren die Masse gemessen, wodurch sich grosse Vorteile ergeben, denn diese ist eine der Größen, die technisch am genauesten zu messen sind. Eine Waage kann mit Eichmassen sehr genau justiert werden, so dass mit einer 300-kg-Waage zum Beispiel eine Massendifferenz von 100 kg mit einer Ungenauigkeit von  $< 1\%$  ermittelt werden kann, Bild 5.

**2. Nachteile:** Mit diesem Verfahren wird die Masse, oder, wenn die Zeit einbezogen wird, der Massenstrom  $Q_m$  gemessen. Um damit einen Volumenstrom zu erhalten, muss die Dichte  $\rho$  nach  $Q_v = Q_m/\rho$  berücksichtigt werden. Aus diesem Grunde wird die Genauigkeit der Volumenstrommessung zu einem, wie die Praxis zeigt, erheblichen Teil von der Ungenauigkeit der Dichtemessung beeinflusst. Erschwerend wirkt sich der Umstand aus, dass gerade bei der Volumenstrommessung die Temperatur- und Druckabhängigkeit der Dichte berücksichtigt werden muss. Dieser Nachteil besteht auch bei den Verfahren c, d und e. Ein weiterer Nachteil betrifft die Zeitmessung. Es ist besonders schwierig, mit einer Stoppuhr die Zeit genau abzulesen, die zu einer bestimmten Massendifferenz gehört. Die direkte, weitere Verarbeitung des Messsignals ist bei diesem Verfahren unmöglich. Eine gesamte Ungenauigkeit von  $\pm 1,5\%$  ist in diesem Fall als gut zu bezeichnen.

##### Verfahren c

**1. Vorteile:** Im Vergleich zum Verfahren b ist eine genauere Zeitmessung möglich. Außerdem kann dieses Verfahren für alle Arten elektronischer und elektrischer Zeitmessgeräte verwendet werden.

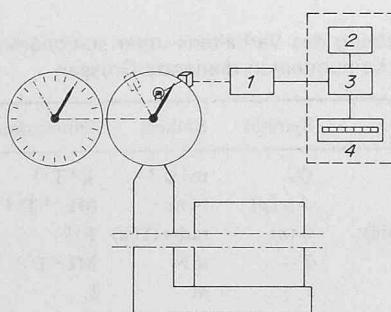


Bild 4. Wägemessung. 1 Verstärker, 2 Oszillator, 3 Torschaltung, 4 Anzeiger

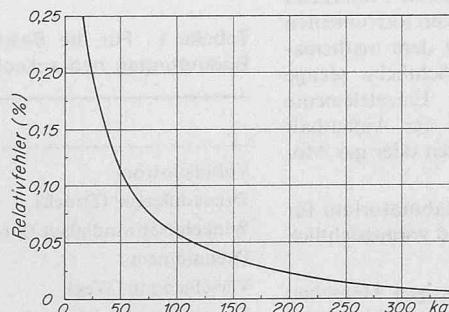


Bild 5. Relativfehler-Kurve einer Präzisionswaage

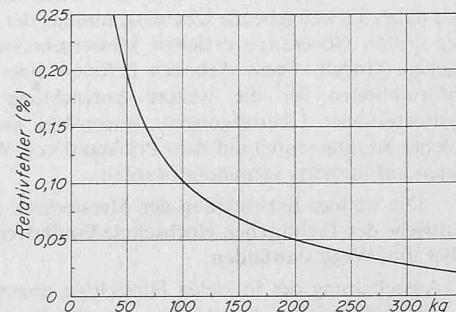


Bild 6. Messgenauigkeit mit dem Verfahren nach Bild 3

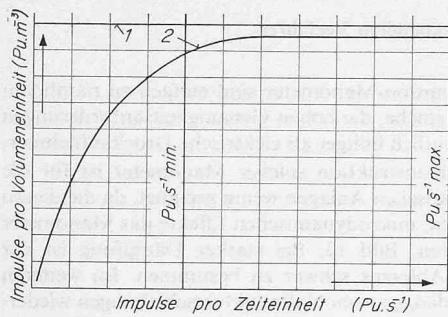


Bild 7. Verlauf der von einem Turbinen-Durchfluss-Messgerät abgegebenen Impulszahl pro Volumeneinheit in Funktion der abgegebenen Impulszahl pro Zeiteinheit. 1 Idealkurve, 2 wirkliche Kurve

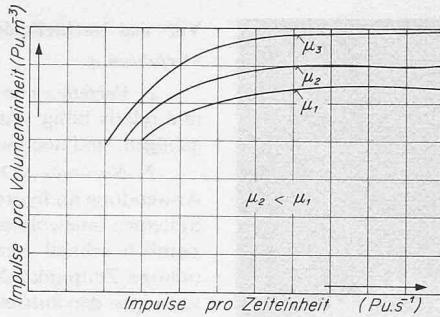


Bild 8. Verschiebung der Kurve nach Bild 7 in Funktion der Viskosität des Mediums

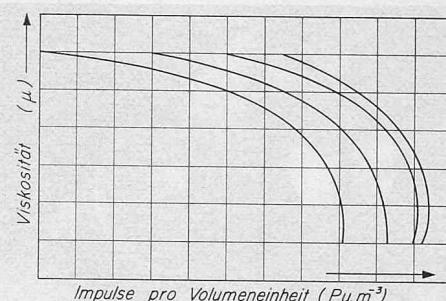


Bild 9. Kurven konstanter Impulszahl in Funktion der Viskosität des Mediums bei einem Turbinen-Durchfluss-Messgerät

**2. Nachteile:** Es ist schwierig, den genauen Schaltzeitpunkt der Mikroschalter zu bestimmen. Die Zeitmessung ist auch von der Art des Schaltens und der Ablesegeschwindigkeit abhängig. Die direkte Weiterverarbeitung des Signals ist bei diesem Verfahren ziemlich schwierig. Für die erzielbare Genauigkeit siehe Bild 6.

#### Verfahren d

**1. Vorteile:** Die Zeitmessung ist genauer; die Schaltfehler werden auf ein Mindestmass herabgesetzt. Aus diesem Grund ist dieses Verfahren sehr gut geeignet für das Eichen anderer Massenstrom- und Volumenstrom-Messgeräte.

**2. Nachteile:** Das genaue Eichen einer solchen Messanordnung ist kompliziert und erfordert ziemlich viele Hilfsapparate. Ferner ist das erhaltene Signal für die direkte Weiterverarbeitung ungeeignet, besonders wegen den für die Erzielung kleiner Ungenauigkeiten erforderlichen, langen Messzeiten. Massenstrommessungen mit einer gesamten Ungenauigkeit von 0,6 % sind mit diesem Verfahren durchführbar.

#### Verfahren e

**1. Vorteile:** Das Messen von Volumenströmen mit einem Turbinen-Durchfluss-Messgerät kann unabhängig von Druck und Temperatur an beliebiger Stelle im hydraulischen System vorgenommen werden. Viele Messungen sind nur auf diese Weise möglich. Außerdem ist das erhaltene Signal gut geeignet für die direkte Weiterverarbeitung. Da es sich um eine elektrische Spannung handelt, deren Frequenz nahezu proportional zum Volumenstrom ist, kann das Signal auf einfache Art digitalisiert werden. Diese Eigenschaft bewirkt, dass die Transport-, Anzeige- und Ablesefehler des Messsignals vernachlässigbar klein werden. Unter gleichbleibenden Bedingungen ist dieses Verfahren durch die gute Reproduzierbarkeit gekennzeichnet (< 1 %).

**2. Nachteile:** Die Druckdifferenz über den Messaufnehmer ist nicht in allen Fällen zulässig, zum Beispiel bei Volumenstrommessungen in der Ansaugeitung einer Pumpe. Bei grossen Viskositäten des Mediums kann diese Druckdifferenz beträchtlich sein, was sich ungünstig auf die Lebensdauer des Aufnehmers auswirkt. Wird bei einem Turbinen-Durchfluss-Messgerät die Anzahl der abgegebenen Impulse pro Volumeneinheit in Funktion der abgegebenen Pulzahl pro Zeiteinheit aufgezeichnet, so erhält man keine Parallele zur Abszisse,

Bild 7. Dies bedeutet, dass praktisch für jeden Punkt des Messbereiches ein anderer Eichfaktor zu berücksichtigen ist. Erreicht die Pulzahl pro Zeiteinheit einen bestimmten Mindestwert nicht, so kann mit dem Turbinendurchflusssmessgerät überhaupt nicht mehr gemessen werden. Diese Nachteile lassen nur einen beschränkten Messbereich bei solchen Aufnehmern zu. Ferner ist bei dieser Methode der Eichwert ziemlich stark von der Viskosität abhängig, Bilder 8 und 9. Aus diesem Grund muss für jede Viskosität (Temperatur) eine neue Eichkurve konstruiert werden, um genaue Messergebnisse zu erzielen. Im weiteren sollte während der Messung die Eintrittsviskosität des Mediums bekannt und konstant sein. Die letztgenannten Nachteile können grösstenteils ausgeglichen werden, wenn die Möglichkeit besteht, die verschiedenen Eichfaktoren zu berechnen und sie mit dem Messsignal weiter zu bearbeiten.

Bei bestimmten Fabrikaten kann in günstigen Messbereichen, ohne die Eintrittsviskosität zu berücksichtigen, mit einer Ungenauigkeit von rund  $\pm 2\%$  gemessen werden, vorausgesetzt, die Viskosität liegt zwischen 10 und 50 cP. Mit dem beim Verfahren d erwähnten Eichvorgehen können diese Aufnahmegeräte so genau geeicht werden, dass die von ihnen angebotene Reproduzierbarkeit der Ergebnisse ganz ausgenutzt wird, Bild 10.

#### Druck- und Druckdifferenzmessung

Das Messen eines Druckes, d. h. der Differenz zwischen dem atmosphärischen und einem an bestimmter Stelle des Systems herrschenden Druck ist allgemein einfacher als die Druckdifferenzmessung zwischen zwei Stellen. Die Anzahl der angebotenen Druckdifferenzmessgeräte ist denn auch begrenzt, vor allem, wenn es sich um solche handelt, die für Anwendungen geeignet sind, wie sie bei hydraulischen Systemen vorkommen, wo Druckdifferenzen über Pumpen und Motoren gemessen werden müssen.

Die genaue Messung relativ grosser Druckdifferenzen von 200 bis 400 bar, wobei der kleinste dem atmosphärischen Druck entspricht, ist ziemlich schwierig. Die Anwendung von zwei Druckaufnehmern kann auch der Ermittlung einer Druckdifferenz dienen; daher wird im nachfolgenden zwischen diesen zwei Typen nicht unterschieden. Im Laufe der Entwicklung wurden folgende Messmethoden angewendet:

- a) Bourdon-Rohrmanometer, mit und ohne Dämpfungselemente
- b) Elektrische Druckaufnehmer nach dem Widerstands- und nach dem Induktionsprinzip arbeitend
- c) Druckmesser mit Waage und Gewichten
- d) Druckmesser mit elektrischer Messeinheit, Bild 11

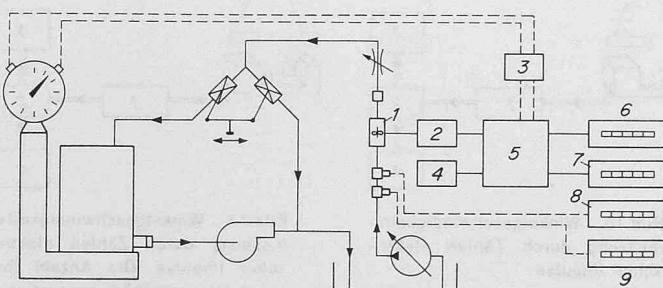
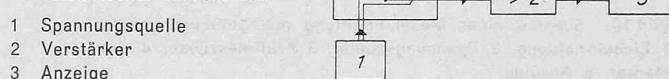


Bild 10. Schema einer Echeinrichtung mit Turbinen-Durchfluss-Messgerät

|                             |                |                     |
|-----------------------------|----------------|---------------------|
| 1 Durchflussmessgerät       | 4 Oszillator   | 7 Zeitanzeige       |
| 2 Verstärker-Impulserzeuger | 5 Torschaltung | 8 Temperaturanzeige |
| 3 Verstärker                | 6 Impulszähler | 9 Druckanzeige      |

Bild 11. Druckmesser mit elektrischer Messeinheit



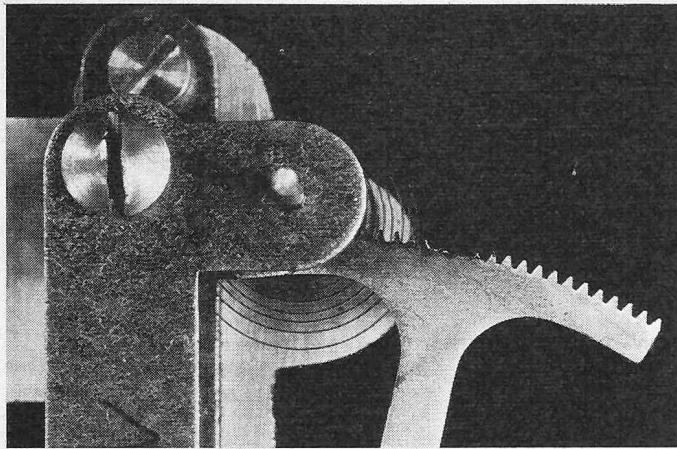


Bild 12. Infolge mikrodynamischer Effekte zerstörtes Übertragungssegment eines Bourdon-Rohrmanometers

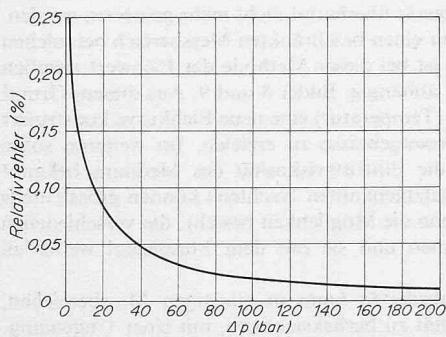


Bild 13. Erzielbare Messgenauigkeit mit einem Kolbenmanometer

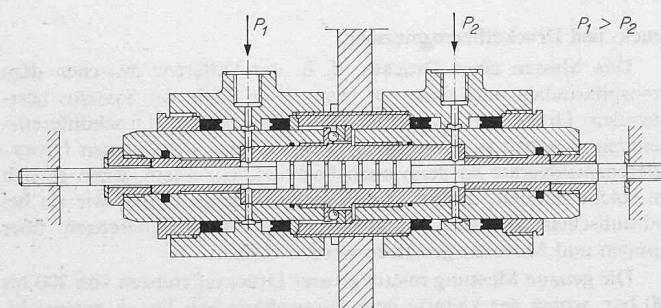


Bild 14. Schnitt durch ein Kolbenmanometer

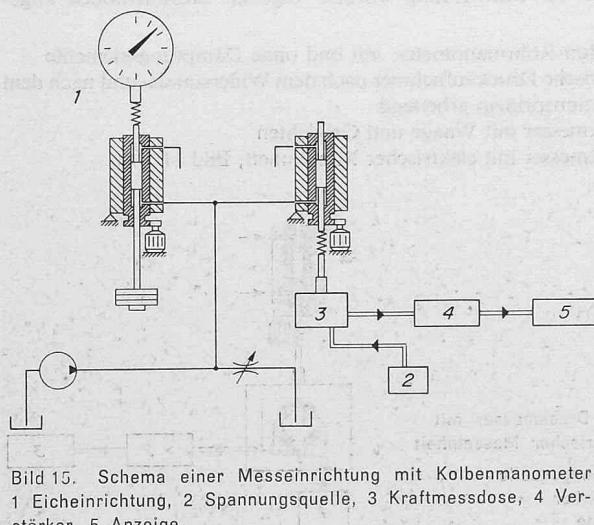


Bild 15. Schema einer Messeinrichtung mit Kolbenmanometer  
1 Eicheinrichtung, 2 Spannungsquelle, 3 Kraftmessdose, 4 Verstärker, 5 Anzeige

## Vor- und Nachteile der genannten Verfahren

### Verfahren a

1. Vorteile: Die Bourdon-Manometer sind einfach zu montieren und relativ billig. Auch solche, die hohen Genauigkeitsanforderungen genügen, sind noch wesentlich billiger als elektrische Druckaufnehmer.

2. Nachteile: Die Konstruktion solcher Manometer ist für die Anwendung an hydrostatischen Anlagen wenig geeignet, da die diesen Systemen innewohnenden, mikrodynamischen Effekte das Manometer ziemlich schnell zerstören, Bild 12. Bei starker Dämpfung ist der richtige Zeitpunkt des Ablesens schwer zu bestimmen. Im weiteren ist, wegen den auftretenden, grossen Nullpunktverschiebungen wiederholtes Eichen unerlässlich. Das Signal eignet sich allgemein nicht für die direkte Weiterverarbeitung. Bei sorgfältiger Eichung kann mit einer Ungenauigkeit von  $\pm 1\%$  des Endwertes gemessen werden.

### Verfahren b

1. Vorteile: Im Laboratorium wurden verschiedene Typen elektrischer Druckaufnehmer mit Erfolg angewandt. Gute Ergebnisse wurden vor allem mit solchen erzielt, die nach dem Prinzip der Widerstandsänderung arbeiten. Der Umstand, dass das Signal in einer Form erhalten wird, die eine direkte weitere Verarbeitung ermöglicht, wirkt sich sehr vorteilhaft aus.

2. Nachteile: Vor allem bei den induktiven Aufnehmern ist die Temperaturempfindlichkeit in den meisten Fällen nicht zu vernachlässigen. Die ganze Mess-Schaltung ist ziemlich kompliziert und teuer; hohe Anforderungen müssen an die Speisung und an die Verstärkung gestellt werden. Für die Messung von Druckdifferenzen ist man meistens auf zwei Aufnehmer angewiesen. Eine Eichung vor der Aufnahm-, Verstärkungs- und Anzeigestufe ist immer nötig. Mit solchen Messanordnungen kann mit einer Ungenauigkeit von  $\pm 5\%$  gemessen werden.

### Verfahren c

1. Vorteile: Diese Methode hat den grossen Vorteil, dass sie auf der Verwendung von Normalmassen beruht, nämlich der Längen- und der Masseneinheit. Die Kolbenoberfläche eines solchen Manometers kann mit einer Ungenauigkeit von  $0,1\%$  hergestellt werden. Anderseits ist es möglich, mit bekannter Gravitationsbeschleunigung und Masse eine genau bestimmte Kraft zu erzeugen. Somit ist auch die Druckdifferenz, die im Kolbenmanometer mit der Kraft pro Flächeneinheit ins Gleichgewicht gebracht wird, sehr genau zu bestimmen. Der Messbereich ist ohne Genauigkeitseinbusse durch die Verwendung verschiedener Masseneinheiten sehr gross. Da die Reibungskräfte des mechanischen Antriebs im Ruhestand weitestgehend vermindert werden können, ist eine gute Reproduzierbarkeit zu erzielen, Bild 13. Aus diesen Gründen ist diese Messmethode so genau, dass sie in vielen Fällen als Eichverfahren angewendet werden kann.

2. Nachteile: Die Gravitationsbeschleunigung kann nicht immer genau ermittelt werden. Zudem erfordert das Verfahren einen ziemlich grossen Arbeitsaufwand mit dem Auflegen und Wegnehmen der Gewichte. Ein weiterer Nachteil ist, dass das Signal für die direkte weitere Verarbeitung ungeeignet ist. Dieses Verfahren gestattet das Messen über einen Bereich von 20 bis 400 bar mit einer Ungenauigkeit von  $< 1\%$ , Bild 14 [6].

### Verfahren d

1. Vorteile: Es weist die gleichen Vorteile wie das Verfahren c auf. Zudem ist das Signal für die direkte Weiterverarbeitung geeignet. Auch die Bedienung der Geräte ist wesentlich einfacher.

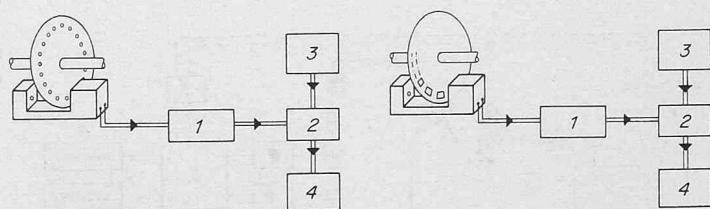


Bild 16. Winkelgeschwindigkeitsmessung durch Zählen elektrischer Impulse  
1 Verstärker-Impulserzeuger  
2 Torschaltung  
3 Quarzkristalluhr  
4 Anzeige

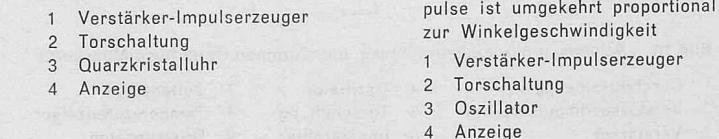
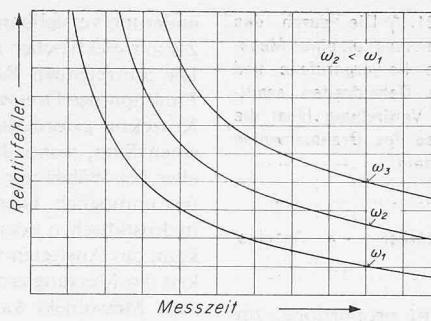


Bild 17. Winkelgeschwindigkeitsmessung durch Zählen elektrischer Impulse. Die Anzahl Impulse ist umgekehrt proportional zur Winkelgeschwindigkeit  
1 Verstärker-Impulserzeuger  
2 Torschaltung  
3 Oszillator  
4 Anzeige

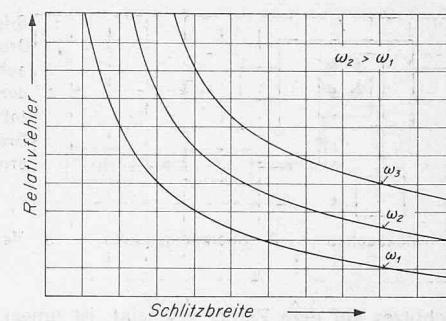
Rechts:

Bild 18. Messungenauigkeit mit dem Verfahren nach Bild 16 in Funktion der Messzeit



Rechts aussen:

Bild 19. Messungenauigkeit mit dem Verfahren nach Bild 17 in Funktion der Schlitzbreite



**2. Nachteile:** Die Einrichtung muss einschliesslich Verstärkung und Anzeige nach dem Verfahren c geeicht werden, Bild 15. Durch diese zusätzliche Stufe und durch die vom elektrischen System eingebrachten Fehler wird die Ungenauigkeit insgesamt grösser. Durch die Anwendung eines hochwertigen Kraftmessgerätes können dennoch sehr gute Linearität und Reproduzierbarkeit erzielt werden. Die Messung mit einer Ungenauigkeit von < 2% ist dann auch möglich.

### Messung von Winkelgeschwindigkeiten

Das genaue Messen von Winkelgeschwindigkeiten ist im allgemeinen nicht schwierig. Nur wenn ein bestimmter, kritischer Wert unterschritten wird, versagen die meisten Messverfahren. Für dieses Gebiet wurde aber ein Spezialverfahren entwickelt. Allgemein bemüht man sich darum, ein Verfahren zu finden, welches in Digitalform umsetzbare Signale liefert. Im Verlaufe der Entwicklung kamen folgende Methoden zur Anwendung:

- a) Messung mit einem mechanischen Drehzahlmesser und einer Stoppuhr
- b) Messung mit elektrischem Drehzahlmesser (Wirbelstrom-, Frequenz- und Gleichspannungs-Drehzahlmesser)
- c) Zählen von elektrischen Impulsen während einer bestimmten Zeit; die Impulse entstehen durch das Unterbrechen eines Lichtstrahles mit einer der Winkelgeschwindigkeit proportionalen Frequenz, Bild 16
- d) Zählen von elektrischen Impulsen während einer bestimmten Zeit; die Anzahl Impulse ist umgekehrt proportional zur Winkelgeschwindigkeit, Bild 17.

### Vor- und Nachteile der genannten Verfahren

#### Verfahren a

Es besteht in der einfachsten Form aus einem handbetätigten, mechanischen Zähler, der mit einer Stoppuhr kombiniert wird. Dabei kann die Zeit, über die gemessen werden soll, eingestellt werden.

**1. Vorteile:** Geringe Störungsempfindlichkeit; billig in der Anschaffung.

**2. Nachteile:** Momentane Anzeige der Winkelgeschwindigkeit ist nicht möglich. Das Signal ist schwer zu verarbeiten. Das mechanisch direkt gekuppelte Messinstrument nimmt eine gewisse Leistung auf; wenn man das Signal an einer Stelle aufnimmt, an der das für das Messinstrument notwendige Drehmoment mitgemessen wird, so kann dies, abhängig vom Verhältnis der Drehmomente, ernsthafte Messungenauigkeiten zur Folge haben. Das Verfahren ist relativ ungenau; wenn eine genügend lange Messzeit gewählt wird, kann eine Ungenauigkeit von  $\pm 1\%$  erreicht werden.

#### Verfahren b

**1. Vorteile:** Die hierzu erforderlichen Messgeräte sind relativ einfach zu montieren und billig. Die einfachste Ausführung, bei welcher die Verbindung zum Messobjekt durch manuelle Anpressung erfolgt, kann bei überschlägigen Messungen nützlich sein. Das Signal kann für die direkte Weiterverarbeitung geeignet sein, vor allem bei frequenzmessenden Geräten.

**2. Nachteile:** Alle diese Geräte müssen direkt gekuppelt werden und nehmen daher Leistung auf. Diese Leistungsaufnahme kann in vielen Fällen unzulässig sein. Sie sind außerdem nur brauchbar, wenn sie sorgfältig geeicht werden. Die Ergebnisse dieser Messverfahren sind relative Winkelgeschwindigkeiten. Die Ungenauigkeit liegt allgemein zwischen  $\pm 0,5$  und  $\pm 2\%$ .

#### Verfahren c

Bei diesem Verfahren werden die von einer Photozelle oder Phototransistor erzeugten Impulse so verstärkt, dass eine Block-

spannung mit konstanter Amplitude und mit einer der zu messenden Winkelgeschwindigkeit proportionalen Frequenz entsteht. Diese Blockspannung wird über eine elektronische Torschaltung, die von einer kristallgesteuerten elektronischen Uhr bedient wird, zu einem Zähler geführt. Durch die elektronische Uhr wird die Grösse des Zeitintervalls, während dem die Impulse gezählt werden, genau gemessen. Das Verhältnis zwischen Winkelgeschwindigkeit und Frequenz ist abhängig von der Anzahl Löcher in der angewendeten Scheibe, also

$$\omega = \frac{2\pi p}{q t} \text{ (Rad/s)}$$

worin  $p$  = Anzahl gezählter Impulse;  $q$  = Anzahl Löcher in der Scheibe;  $t$  = Zeit in welcher  $p$  gezählt wurde.

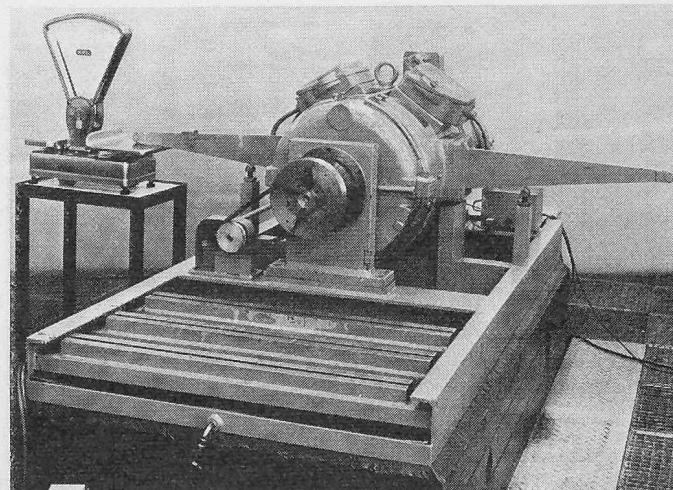
**1. Vorteile:** Da bei einer bestimmten Winkelgeschwindigkeit die Genauigkeit nur durch die Anzahl Löcher in der Scheibe und durch die Präzision der Kristalluhr einschliesslich Torschaltung bestimmt wird, ist eine sehr genaue Messung möglich. Außer einem geringen Ventilationsverlust nimmt das Gerät keine Leistung vom Messobjekt auf. Das Signal ist in Digitalform verfügbar, was für die Ablesung und für die weitere Verarbeitung grosse Vorteile bietet.

**2. Nachteile:** Das Verfahren ist relativ teuer. Unterhalb einer bestimmten Drehzahl ist keine hohe Genauigkeit erreichbar, weil die Herstellung der dazu benötigten, grossen Anzahl Löcher technisch kaum mehr zu verwirklichen ist. Eine induktive Aufnahmemethode ist hier vorteilhafter. Bei sehr hohen Drehzahlen können, abhängig vom Scheibendurchmesser unzulässig hohe Zentrifugalkräfte entstehen. Eine auf der Lichtreflektion beruhende Aufnahmemethode kann in diesem Fall besser geeignet sein. Bild 18 zeigt die typische Relativ-Fehler-Charakteristik dieses Verfahrens.

#### Verfahren d

Bei diesem Verfahren bedient man sich einer Scheibe, die am Umfang gleichmässig verteilte Schlitze aufweist. Wenn durch diese Schlitze ein Lichtstrahl einfällt, so kann bei rotierender Scheibe am Anfang und am Ende jeder Unterbrechung ein elektrischer Impuls erzeugt werden. Diese Start- und Stop-Impulse steuern eine Torschaltung. Über diese Torschaltung geht das Signal von einem Kristall-Oszillator mit konstant eingestellter Frequenz zu einem elektronischen Zähler. Der Wert, der nach dem Durchlauf eines jeden

Bild 20. Drehmomentmessung mit einem pendelnd aufgehängten Motor



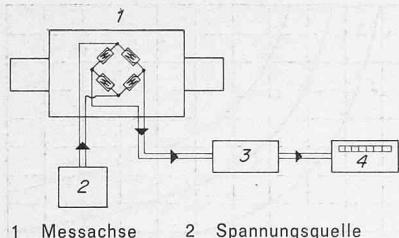


Bild 21. Die durch das Drehmoment an einer Messachse hervorgerufene und durch Dehnstreifen ermittelte Verdrehung lässt die Grösse des Drehmomentes ermitteln

Schlitzes auf dem Zähler erscheint, ist umgekehrt proportional zur Durchschnitts-Winkelgeschwindigkeit, welche während des Durchlaufs des betreffenden Schlitzes geherrscht hat.

**1. Vorteile:** Kleine Winkelgeschwindigkeiten können mit diesem Verfahren sehr genau gemessen werden. Das Signal weist Digitalform auf und ist besonders gut geeignet für die weitere Verarbeitung.

**2. Nachteile:** Die Einrichtung ist sehr kostspielig. Wenn die Schlitzte sehr nahe beieinander sind, so ist der Zähler ab einer bestimmten Winkelgeschwindigkeit nicht mehr ablesbar und die Information muss erst elektronisch gespeichert werden. Es werden sehr hohe Anforderungen an die Herstellungsgenauigkeit der Schlitzte und an die Einstellung der Lichtquelle gestellt. Bild 19 zeigt eine für dieses Verfahren typische Relativ-Fehler-Charakteristik.

#### Messung von Drehmomenten

Bei der Wahl zwischen Übertragungs- und Absorptions-Drehmomentmessgeräten muss dem erstgenannten Prinzip den Vorzug geben werden, denn beim Absorbtionssystem ist eine Messung von zugeführten Momenten, wie sie bei Pumpen notwendig ist, unmöglich. Im Laufe der Entwicklung wurden folgende zwei Verfahren angewendet:

- a) Messung mit einem pendelnd aufgehängten Motor. Mit einer Waage wird das Reaktionsmoment gemessen, Bild 20.
- b) Mittels Drehmoment-Messachsen, beruhend auf Torsionsmessung mit Dehnstreifen, Bild 21. Die Messachsen werden statisch geeicht, Bild 22.

#### Vor- und Nachteile der genannten Verfahren

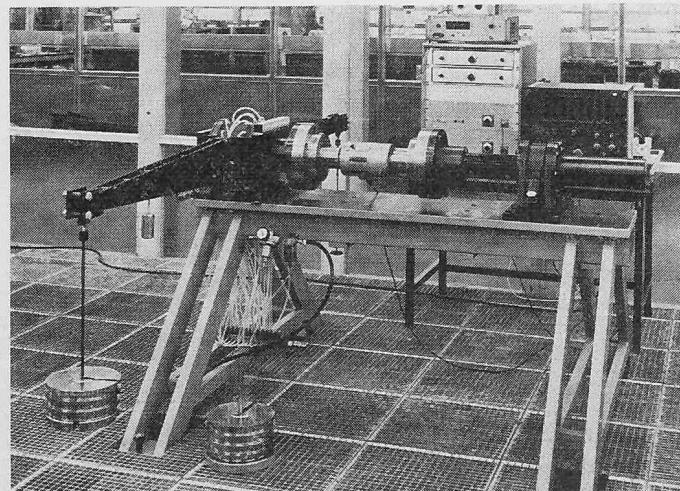
##### Verfahren a

Die Einrichtung besteht aus einem pendelnd aufgehängten Wechselstrom-Kommutator-Motor, der an beiden Seiten mit Armen versehen ist. Ein Arm stützt sich auf einer Waage ab. Die Pendellagerung muss so konstruiert sein, dass die Reibung beider Lager möglichst klein ist.

**1. Vorteile:** Mit diesem Verfahren erhält man Absolutwerte, so dass eine Eichung mit anderen Drehmomentmessgeräten überflüssig ist. Nur die Einhaltung des Gleichgewichts der Anlage muss von Zeit zu Zeit kontrolliert werden. Die Tatsache, dass die Einrichtung nicht geeicht werden muss, und dass die Ergebnisse direkt sichtbar sind, macht diese Methode sehr geeignet für orientierende Messungen.

**2. Nachteile:** Der ganze Motor und die Arme müssen sehr genau ausgewichtet werden, was bei einem Motor mit für die Drehzahlver-

Bild 22. Statisches Eichverfahren für eine Messachse



änderung verstellbaren Bürsten fast unmöglich ist. Außerdem ist die Zufuhr elektrischer Energie ohne Reaktionsmomente sehr schwierig. Die auftretenden Reibungsmomente in den Motorlagern sind eine Funktion der Drehzahl, so dass für jede Drehzahl eine entsprechende Korrektur erforderlich ist. Eine solche Korrektur hat aber nur dann einen Sinn, wenn die Lagerreibung gut reproduziert wird. Dies ist aber bei Wälzlagern, vor allem wegen den Temperaturunterschieden, fast unmöglich. Dieses Problem kann nur durch die Anwendung von hydrostatischen oder pneumostatischen Lagern gelöst werden. Ferner kann das Austreten von Kühlluft aus dem Elektromotor die Genauigkeit der Messung ernsthaft gefährden; auch die Art der Kupplung mit dem Messobjekt kann Fehler verursachen. Ohne Verwendung von hydrostatischen oder pneumostatischen Lagern ist die erreichbare Ungenauigkeit nicht grösser als  $\pm 0,5\%$  des Endwertes. Deshalb ist der Bereich, in dem mit einer Ungenauigkeit von  $< \pm 1\%$  gemessen werden kann, sehr klein.

##### Verfahren b

Dieses Gerät besteht im allgemeinen aus einem zylindrischen Achsteil, auf dem in einer bestimmten Ordnung vier Dehnstreifen unter einem Winkel von  $45^\circ$  zur Achse aufgeklebt sind. Gemessen wird die Widerstandsänderung der Dehnstreifen (Brückenschaltung). Diese Änderung des Widerstands ist innerhalb bestimmter Grenzen proportional zum herrschenden Drehmoment. Mit Hilfe einer Spannungsquelle wird die Widerstandsänderung in eine Spannungsänderung umgewandelt. Diese wird mit Schleppringen aufgenommen; nachher findet Verstärkung und Anzeige statt.

**1. Vorteile:** Der Aufnehmer ist relativ einfach zwischen zwei Achsen einzubauen und ist durch gute Reproduzierbarkeit und Linearität gekennzeichnet. Hierdurch ist eine genaue Eichung sinnvoll.

**2. Nachteile:** Dieses Verfahren ist wegen der nötigen, umfangreichen Apparatur teuer. Im weiteren wird es auch durch die Voreinstellungen verteuert, die getroffen werden müssen, um die Biegemomente in der Messachse zu vermindern (Bogenzahnkupplung). Die von den Herstellern angegebenen Eichfaktoren gewährleisten keine genauen Messungen, so dass die Anlage von Zeit zu Zeit geeicht werden muss. Die Schleifringkonstruktion ist für hohe Drehzahlen ab etwa 100 U/s ungeeignet. Die diesen Messachsen normalerweise mitgelieferten Instrumente lassen oft in bezug auf ihre Genauigkeit bei der analogen Verstärkung und Anzeige zu wünschen übrig. Wenn diese Mängel aufgehoben sind, ist eine Relativgenauigkeit nach Bild 23 erreichbar.

#### Messung der Temperatur des Mediums

Dieser Abschnitt beschränkt sich auf Geräte, die der Temperaturmessung an Hydrauliköl dienen. Die Hauptschwierigkeiten liegen dabei nicht in der Genauigkeit der Messmethoden, sondern in der Anpassung der Systeme an die besonderen Umstände, welche die hydraulischen Übertragungen kennzeichnen. Folgende Verfahren werden angewendet:

- a) Messung mit Hg-Thermometern
- b) Messung mit Thermoelementen
- c) Messung mit Quarzthermometern

#### Vor- und Nachteile der genannten Verfahren

##### Verfahren a

Um Korrekturen infolge eines nicht völlig der Temperatur ausgesetzten Teils des Quecksilberfadens zu vermeiden, wird das Thermometer ganz in die Flüssigkeit getaucht. Die Ablesung findet durch ein Plexiglasrohr statt.

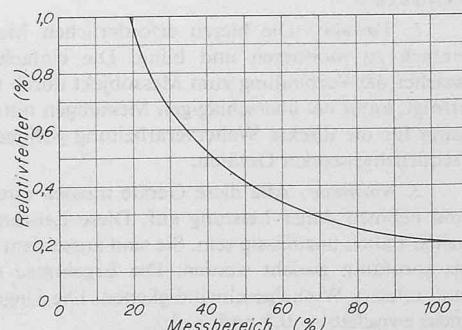


Bild 23. Messungenauigkeit mit dem Verfahren nach Bild 21 in Funktion der Ausnutzung des Messbereiches

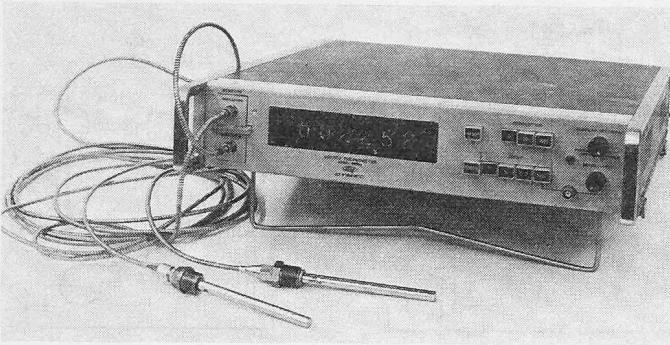


Bild 24. Mit elektronischem Anzeigegerät kombinierte Quarzthermometer

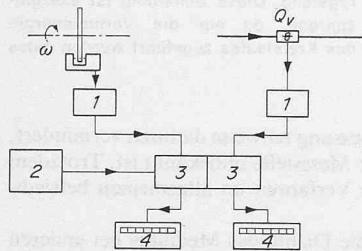


Bild 25. Anordnung für das gleichzeitige Messen der Winkelgeschwindigkeit und des Volumenstroms

- 1 Verstärker-Impulserzeuger
- 2 Quarzkristalluhr
- 3 Torschaltung
- 4 Anzeige

**1. Vorteile:** Das Gerät ist relativ billig und, abhängig vom angewendeten Thermometer und vom allfälligen Eichverfahren, genau bis sehr genau. Je nach Anordnung ist, nachdem sich ein stationärer Zustand eingestellt hat, ein sehr schnelles Ablesen möglich.

**2. Nachteile:** Das Gerät ist zerbrechlich und empfindlich gegen Vibrationen. Die Verwendung ist auf Stellen beschränkt, in welchen der Druck sich nur wenig vom atmosphärischen unterscheidet. Das Signal ist für die direkte Weiterverarbeitung ungeeignet. Es kann eine Ungenauigkeit von  $\pm 0,1^\circ\text{C}$  gut erreicht werden.

#### Verfahren b

Je nach dem Zweck werden verschiedene Bimetallthermometer angewendet, u.a. Cu-Co, Fe-Co, NiCr-Ni usw. Die Wahl wird unter anderem durch die zulässige Spannung beeinflusst.

**1. Vorteile:** Der Temperaturoaufnehmer, das heisst das eigentliche Thermoelement, kann sehr klein ausgeführt werden, was die einfache Montage in kleinstem Raum ermöglicht. Dieser Aufnehmer ist deshalb besonders geeignet für die Messung örtlicher Temperaturen. Auch ist damit Temperaturdifferenzmessung durchführbar. Der Aufnehmer kann ausserdem so konstruiert werden, dass auch bei anderen als atmosphärischen Drücken gemessen werden kann (im Laboratorium der TH Eindhoven wird damit bei Drücken bis etwa 350 kp/cm<sup>2</sup>

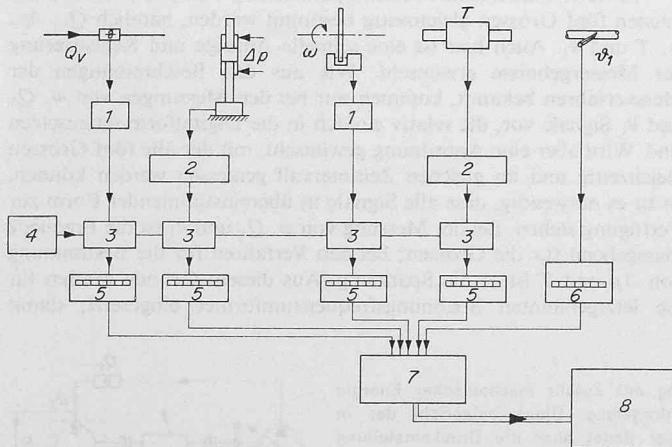


Bild 27. Anordnung für das gleichzeitige Messen des Volumenstroms, der Druckdifferenz, der Winkelgeschwindigkeit, des Drehmoments und der Temperatur

- |                              |                                     |
|------------------------------|-------------------------------------|
| 1 Verstärker-Impulserzeuger  | 6 Temperaturanzeige                 |
| 2 Spannungs frequenzumformer | 7 elektronischer Abtaster           |
| 3 Torschaltungen             | 8 Schreib- und Lochstreifenmaschine |
| 4 Quarzkristalluhr           |                                     |
| 5 Anzeigegeräte              |                                     |

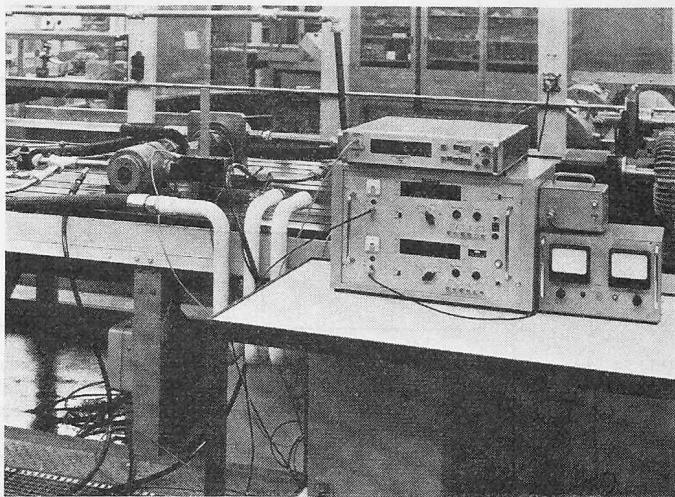


Bild 26. Ansicht der Messanordnung nach Bild 25

gemessen). Da das Signal in Form einer elektrischen Spannung entsteht, ist dessen weitere Verarbeitung einfach; es kann sogar eine direkte Ablesung in Digitalform stattfinden.

**2. Nachteile:** Dieses Verfahren ist relativ teuer und nicht besonders genau. Selbst bei sehr sorgfältig durchgeföhrter Eichung lässt die Genauigkeit oft zu wünschen übrig, weil sie von der schlechten Reproduzierbarkeit der Thermoelemente stark beeinflusst wird. An die Instrumente (Verstärker, Anzeiger) werden wegen der sehr niedrigen Spannung, bei welcher sich der Prozess abspielt, sehr hohe Anforderungen gestellt. Die erforderliche, hohe Verstärkung macht die Anlage besonders empfindlich gegenüber äusseren Störungen. Aus diesen Gründen sind Thermoelemente für andere als relative oder orientierende Messungen an hydraulischen Systemen wenig geeignet.

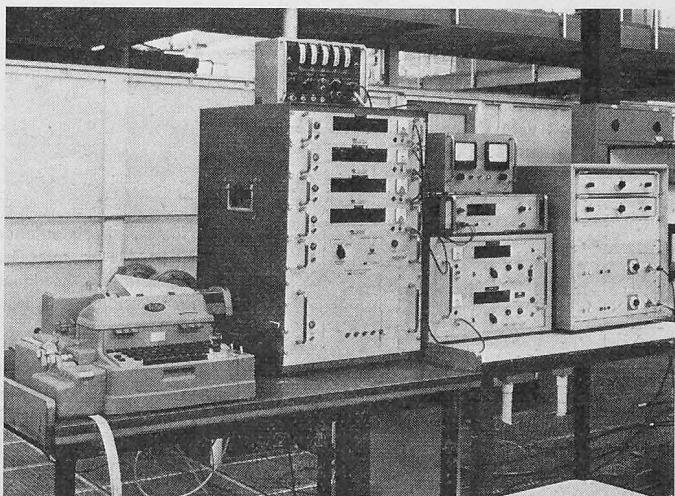
#### Verfahren c

Quarzthermometer können mit elektronischen Indikatoren kombiniert werden. Damit ist es möglich, sowohl absolute Temperaturen als auch Temperaturdifferenzen zu messen, Bild 24.

**1. Vorteile:** Bei stationären Messungen kann eine sehr kleine Ungenauigkeit erzielt werden ( $\pm 0,01^\circ\text{C}$ ). Das Auflösevermögen kann bis zu  $0,0001^\circ\text{C}$  betragen, was für die Messung von Temperaturdifferenzen grosse Vorteile bietet. Das Signal entsteht in Digitalform, ist also deutlich abzulesen; es ist auch für die weitere Verarbeitung gut geeignet.

**2. Nachteile:** Sehr teuer. Die Aufnehmer haben eine relativ grosse Wärmekapazität, so dass dieses Verfahren nur für das Messen von stationären und von sehr langsam verlaufenden Erscheinungen angewendet werden kann. Ausserdem stellt es sich heraus, dass diese Aufnehmer gegenüber schnellen Druckschwankungen, welche oft auch bei stationären Messungen nicht vermieden werden können, empfindlich sind.

Bild 28. Ansicht der Messanordnung nach Bild 27



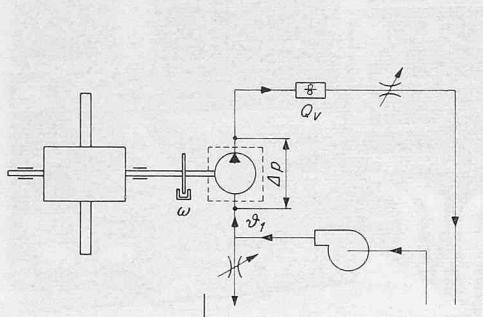


Bild 29. Anordnung mit einem Elektromotor mit Drehzahlregelung. Hier muss die gesamte, für den Versuch notwendige Energie vom Elektromotor geliefert werden. Die Druckeinstellung erfolgt mit einem verstellbaren hydraulischen Widerstand

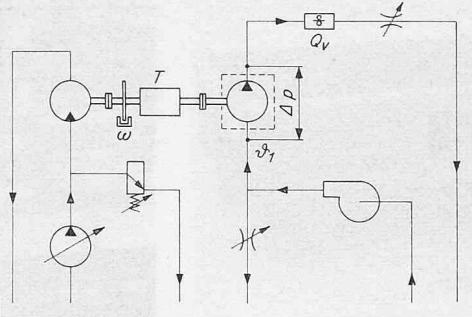


Bild 30. Hydromotorantrieb. Die für den Versuch benötigte Energie wird von einem Hydromotor geliefert. Die Drehzahleinstellung erfolgt durch Änderung des Hubvolumens einer hydraulischen Pumpe, die Druckeinstellung durch einen verstellbaren hydraulischen Widerstand

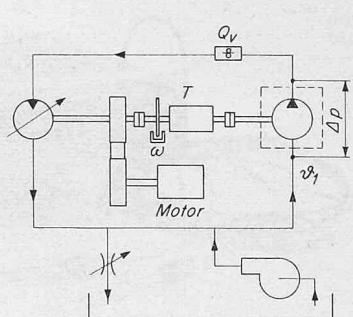


Bild 31. Kreislaufanordnung mit einem Elektro- oder Hydromotor mit Drehzahlregelung. Diese Schaltung ist energiesparend, da nur die Verlustenergie des Kreislaufes zugeführt werden muss

### Messung der Viskosität und der Dichte

Im vorhergehenden Abschnitt wurden die Verfahren für die Messung der Öltemperatur beschrieben. In vielen Fällen ist aber auch die Kenntnis der Viskosität und der Dichte des Mediums an der Messstelle erforderlich. Dazu werden an einem Ölmuster die Dichte und die Viskosität in Funktion der Temperatur und bei atmosphärischem Druck bestimmt.

Für die Dichtemessung bei atmosphärischem Druck wird eine Waage nach Mohr verwendet. Dabei wird die Öltemperatur mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,05^\circ\text{C}$  konstant gehalten.

Die Viskosität wird mit einem Kugelviskosimeter nach Höppler bestimmt, der mit einem Thermostat kombiniert ist. Dem Verfahren nach ist die Dichtemessung genauer als die der Viskosität. Allerdings

wird die Genauigkeit der Dichtemessung teilweise dadurch vermindert, dass der Luftgehalt des Öls an der Messstelle unbekannt ist. Trotzdem sind die Ergebnisse dieser beiden Verfahren im allgemeinen befriedigend.

Werden die Viskosität und die Dichte des Mediums bei anderen als atmosphärischen Drücken benötigt, so können die gemessenen Werte umgerechnet werden (Dichte [3, 4]; Viskosität [5]).

### Gleichzeitiges Messen mehrerer Größen

Bei der Untersuchung von hydraulischen Pumpen und Motoren muss oft das effektive Hubvolumen  $W_e$  genau und schnell ermittelt werden. Dies kommt der Ermittlung des verdrängten Volumens bei einer bestimmten Anzahl Umdrehungen gleich und ist nur möglich, wenn die Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  und der Volumenstrom  $Q_v$  während dem genau gleichen Zeitintervall gemessen werden. Solche Messungen sind mit Hilfe der bereits beschriebenen Verfahren relativ einfach zu verwirklichen, Bild 25.

Die vom Drehzahlaufnehmer und vom Turbinendurchflussaufnehmer abgegebenen Signale werden über zwei Verstärker-Impulsgeberzeuger und zwei Torschaltungen zu den zugehörigen zwei Zählern geführt. Beide Torschaltungen werden gleichzeitig durch eine kristallgesteuerte Uhr bedient, mit der die Messzeit, das heißt die Öffnungszeit der Torschaltungen, während welcher die Signale zu den Zählern gelangen, sehr genau eingestellt werden kann.

Wenn nun der Quotient  $I_2/I_1$  der Ablesung beider Zähler bestimmt wird, erhält man das effektive Hubvolumen  $W_e$ . Sind der Eichfaktor des Turbinendurchflussmessgerätes und der Proportionalitätsfaktor für die Drehzahlbestimmung bekannt, so kann direkt der wirkliche Wert von  $W_e$  berechnet werden. Bild 26 zeigt die Einrichtung für diese Messung.

In vielen Fällen beim Messen hydraulischer Pumpen und Motoren müssen fünf Größen gleichzeitig bestimmt werden, nämlich  $Q_v$ ,  $\Delta p$ ,  $\omega$ ,  $T$  und  $\vartheta_1$ . Auch hier ist eine schnelle Anzeige und Registrierung der Messergebnisse erwünscht. Wie aus den Beschreibungen der Messverfahren bekannt, kommen nur bei den Messungen von  $\omega$ ,  $Q_v$  und  $\vartheta_1$  Signale vor, die relativ einfach in die Digitalform umzusetzen sind. Wird aber eine Anordnung gewünscht, mit der alle fünf Größen gleichzeitig und im gleichen Zeitintervall gemessen werden können, so ist es notwendig, dass alle Signale in übereinstimmender Form zur Verfügung stehen. Bei der Messung von  $\omega$ ,  $Q_v$  und  $\vartheta_1$  ist die Frequenz massgebend für die Größen; bei den Verfahren für die Bestimmung von  $\Delta p$  und  $T$  ist es die Spannung. Aus diesem Grunde werden für die letztgenannten Spannungsfrequenzumformer eingesetzt, damit

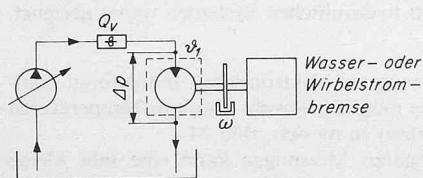


Bild 32. Pendelanordnung mit einer verstellbaren Hydropumpe. Die gesamte Energie wird von der Hydropumpe geliefert. Die Drehzahleinstellung erfolgt durch Änderung des Pumpenhubes, die Druckeinstellung wird mit der Wasserbremse vorgenommen. Da die Wasserbremse pendelnd aufgehängt ist, erfolgt eine Messung des Reaktionsmoments

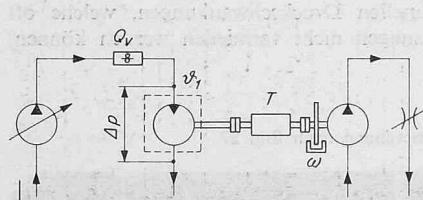


Bild 33. Anordnung mit einer Hydropumpe als Belastung. Diese entspricht der in Bild 30 gezeigten, mit dem Unterschied, dass hier am Hydromotor gemessen wird

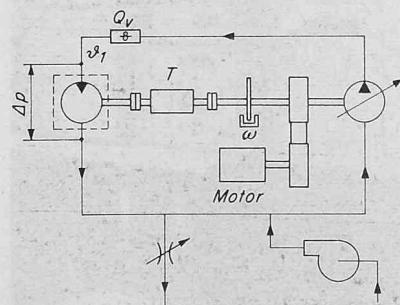


Bild 34 (links). Kreislaufanordnung mit Zufuhr mechanischer Energie durch einen Motor mit Drehzahlregelung. Diese entspricht der in Bild 31 gezeigten Anordnung. Hier findet aber die Druckeinstellung über eine verstellbare hydraulische Pumpe statt

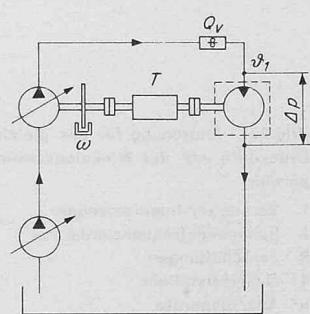


Bild 35 (rechts). Kreislaufanordnung mit Zufuhr hydraulischer Energie. Hier wird die Verlustenergie des Kreislaufes von einer verstellbaren Hydropumpe geliefert. Mit ihr kann auch die Drehzahl des zu messenden Hydromotors eingestellt werden. Die Einstellung des Druckes erfolgt durch Änderung des Hubvolumens der mit dem Motor mechanisch gekuppelten Hydropumpe

gleichwertige Signale entstehen. Bei der Verarbeitung dieser Ergebnisse werden die Signale, mit Ausnahme der zur Temperaturmessung gehörenden, gleichzeitig in Digitalform umgewandelt. Die Umwandlung der Temperatursignale erfolgt einzeln, Bild 27. Bild 28 zeigt die Einrichtung für eine solche Messung.

Die Messsignale werden, wie in Bild 25 dargestellt, so verarbeitet, dass nach jedem Messintervall automatisch ein elektronischer Taster betätigt wird, der die Information in Digitalform an eine elektrische Schreib- und Lochstreifenstanzmaschine weitergibt.

Wie bereits erwähnt, müssen für das Messen des Volumendurchflusses, der Druckdifferenz und des Drehmoments Eichungen vorgenommen werden. Die Ergebnisse dieser Eichungen können mit Hilfe der Maschine 8, Bild 27, direkt auf Lochstreifen übertragen werden. Diese Informationen können im weiteren automatisch auf den Messlochstreifen übergeführt werden, so dass die Messangaben und die Eichwerte der angewendeten Instrumente auf einem gemeinsamen Träger gespeichert sind. Das letztere ist besonders wichtig im Falle der Turbinendurchflussmessgeräte, die von Natur aus keine lineare Charakteristik aufweisen und stark viskositätsabhängig sind.

Mit Hilfe einer Digitalrechenmaschine können die Lochstreifen direkt verarbeitet werden. Als Ergebnis erhält man unter anderem Werte für das theoretische Hubvolumen, die Wirkungsgrade und die Verlustfaktoren. Ferner erhält man auch noch Qualitäts-Kennziffern der verwendeten Messinstrumente sowie Kennzahlen, die ausdrücken, in wieweit die gemessenen Werte in ihrem Verhalten mit dem mathematischen Modell übereinstimmen.

#### Beispiele von Messanordnungen

Die Bilder 29 bis 31 zeigen einige Beispiele von Anordnungen für das Messen an hydraulischen Pumpen; die Bilder 32 bis 35 solche für Messungen an Hydromotoren.

Adresse der Verfasser: Prof. Dr.-Ir. W. M. J. Schlösser und Obering, G. Toet, Ir., Technische Hogeschool te Eindhoven, Postbus 513, Eindhoven/Niederlande.

#### Literaturverzeichnis

- [1] Wilson, W. E.: Method of Evaluation Test Data Aids Design of Rotary Pumps. «Product Engineering» 1945, H. 16, S. 653/656.
- [2] Schlösser, W. M. J.: Meten aan verdringerpompen. Dissertation, Technische Hochschule Delft, Oktober 1959.
- [3] Dow, R. B. und Fink, C. E.: Computation of Some Physical Properties of Lubricating Oil and High Pressures. «Journal of Applied Physics» 1940, Mai.
- [4] Schlösser, W. M. J. und Verduin, H. A.: Folgerungen aus einer Zustandsgleichung für Mineralöle. «Ölhydraulik und Pneumatik» 4 (1960), Heft 2.
- [5] Roeland, C. J. A.: Correlational Aspects of the Viscosity-Temperature-Pressure Relationship of Lubricating Oils. Dissertation, Technische Hochschule Delft, April 1966.
- [6] Berg, P. v. d.: Een meetopstelling op mechanische grondslagen. Interner Bericht der Technischen Hochschule Delft, Dezember 1959.

## Das Betriebsgebäude der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale (EDMZ) in Bern-Bümpliz

DK 725.23

Die Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale wurde im September 1925 errichtet und der Bundeskanzlei unterstellt. Ihr ist die wirtschaftliche Beschaffung der Drucksachen, Büromaterialien, Apparate und Maschinen und ferner sämtlichen photographischen Bedarfes der Bundesverwaltung (ausgenommen PTT und SBB) und der Armee übertragen. Ihre heutige Organisation geht auf eine Verordnung des Jahres 1962 zurück, die es erlaubt, die Tätigkeit und Kompetenzen der Entwicklung der Bundesverwaltung anzupassen.

Der *Geschäftsleitung* unterstehen die Dienstzweige Druckerzeugnisse und Material, Maschinen, Reprographie/Photographie, Betrieb und Lager. Im administrativen und im technischen Sektor sind heute rund 130 Mitarbeiter beschäftigt. Das technische Personal der EDMZ (Buchdrucker, Buchbinder, Photographen, Büromaschinenmechaniker usw.) steht den Dienststellen des Bundes in Fachfragen auch beratend bei.

Die *Gruppe Druck* vergibt u. a. sämtliche Druck- und Verlagsaufträge (die EDMZ betreibt keine eigentliche Druckerei). Ausser den ordentlichen Drucksachen, Militärreglementen, Publikationen sind auch die Passformulare für Bevölkerung und Diplomaten, die Sicherheits- und Wertschriftendrucke, Fähigkeitsausweise, Rationalisierungstitel usw. zu besorgen. Die technisch richtige Ausführung der Bestellungen und deren Kontrolle sind ebenfalls Sache der Buchdruckfachleute. Dabei ist auf Einsparungsmöglichkeiten, beispielsweise bezüglich Zusammenfassen von verschiedenen Formularen, Dreisprachigkeit, Kredite, Druckverfahren, Vereinheitlichung usw., Bedacht zu nehmen.

Im Sektor *Büromaterial* ist eine grosse Auswahl verschiedenster Artikel hinsichtlich Preis, Qualität und Eignung zu prüfen. Bedeutende Einsparungen sind beim Einkauf von Büromaterialien möglich, die als Standardartikel überall Verwendung finden. Qualitätsnormen werden in Zusammenarbeit mit der EMPA festgelegt. Die Gruppe Material beschafft auch Schreib-, Druck- und Packpapiere, die in bezug auf Qualität, Format, Gewicht pro m<sup>2</sup> und Farbe normalisiert sind. Auch die Aufträge für Bucheinbände und Kartonnagearbeiten werden durch diese Gruppe verteilt.

Die Vielfalt der zu beschaffenden *Maschinen* (sie reicht von den einfachen Schreibmaschinen über die Rechen- und Buchungsmaschinen bis zu den grössten Datenverarbeitungsanlagen) verlangt ebenso weitgehende technische wie kaufmännische, administrative und organisatorische Kenntnisse. Der heutige Übergang von der konventionellen Rechenmaschine zum Elektronenrechner

fordert vom Personal eine stete Anpassung an die Entwicklung des Büromaschinenmarktes. In diesem Sektor spielt auch Pflege und Unterhalt der eingesetzten Maschinen eine wichtige Rolle. Mit Hilfe von privaten Reparaturwerkstätten ist der Unterhaltsdienst der Bundesmaschinen in der ganzen Schweiz gewährleistet.

Bild 1 siehe Seite 179

Bild 2. Eingangspartie auf der Ostseite (vgl. Bild 4, links unten)

