



(12) Ausschließungspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1
Patentgesetz der DDR
vom 27. 10. 1983
in Übereinstimmung mit den entsprechenden
Festlegungen im Einigungsvertrag

(11) DD 297 708 A5

5(51) G 01 N 11/00

DEUTSCHES PATENTAMT

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) DD G 01 N / 344 153 0

(22) 24.09.90

(44) 16.01.92

(71) siehe (73)

(72) Gußer, Rolf, Dipl.-Ing.; Kögel, Siegm, Dr.-Ing., DE

(73) Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“ Dresden, Büro für Schutzrechte, Friedrich-List-Platz 1, O - 8010 Dresden, DE

(54) Verfahren und Anordnung zur quasi-kontinuierlichen Bestimmung theologischer Eigenschaften von Fluiden

(55) Bestimmung, quasi-kontinuierlich; Eigenschaften, rheologisch; Fluid; Stoffstrom; Viskosimeter; Temperatur; Druck; Volumenstrom; Hyperfläche; Auswerteeinrichtung

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur quasi-kontinuierlichen Bestimmung rheologischer Eigenschaften von Fluiden innerhalb von Stoffströmen, insbesondere in Schmieröl- oder Flüssigkeitskreisläufen von Maschinen, Getrieben und Anlagen, in denen sich die Parameter Temperatur, Druck und Volumenstrom stochastisch ändern.

Erfindungswesentlich ist, daß unter Verwendung mindestens eines in den jeweiligen Stoffstrom oder parallel zu einem Bereich von ihm eingebrachten Viskosimeters (1) und weiterer vor- bzw. nachgeordneter Meßmittel (2, 3, 4) zuerst neben der scheinbaren dynamischen und/oder kinematischen Viskosität gleichzeitig die mittlere Temperatur, der mittlere Druck und der Volumenstrom des Fluids, woraus das Schergefälle errechnet wird, im jeweiligen Viskosimeter (1) bestimmt und danach alle ermittelten Wertepaare einer programmierbaren Auswerteeinheit (5) zugeführt werden, welche nach wenigstens einmaligem Erreichen bzw. Unter- (Minimalwert) oder Überschreiten (Maximalwert) eines für einen konkreten Anwendungsfall definierten Extremwertes der – bei einer vorbestimmten Anzahl von Viskositätsmessungen veränderten – Einflußgrößen aus diesen Wertepaaren eine Hyperfläche des mehrdimensionalen Zusammenhanges zwischen der scheinbaren dynamischen und/oder kinematischen Viskosität, der Temperatur, dem Druck und dem Schergefälle des Fluids ermittelt und diese Hyperfläche und/oder die Gleichung, welche die Hyperfläche beschreibt, letztlich einer Ausgabeeinrichtung (6) zuführt, durch welche sie als Grafik und/oder Gleichung ausgegeben wird. Fig. 1

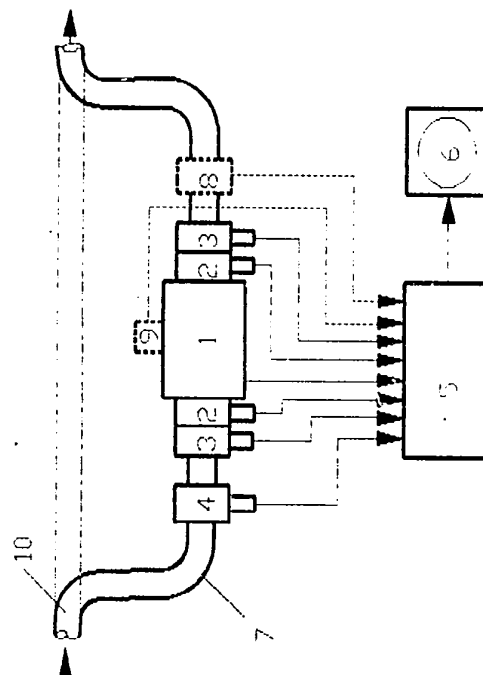


Fig. 1

Patentansprüche:

1. Verfahren zur quasi-kontinuierlichen Bestimmung rheologischer Eigenschaften von Fluiden innerhalb von Stoffströmen, insbesondere in Schmieröl- oder Flüssigkeitskreisläufen von Maschinen, Getrieben und Anlagen, in denen sich die Parameter Temperatur, Druck und Volumenstrom stochastisch ändern, **dadurch gekennzeichnet**, daß unter Verwendung mindestens eines in den jeweiligen Stoffstrom oder parallel zu einem Bereich von ihm eingebrachten Viskosimeters (1) und weiterer vor- bzw. nachgeordneter Meßmittel (2, 3, 4) zuerst neben der scheinbaren dynamischen und/oder kinematischen Viskosität gleichzeitig die mittlere Temperatur, der mittlere Druck und der Volumenstrom des Fluids, woraus das Schergefälle errechnet wird, im jeweiligen Viskosimeter (1) bestimmt und danach alle ermittelten Wertepaare einer programmierbaren Auswerteeinheit (5) zugeführt werden, welche nach wenigstens einmaligem Erreichen bzw. Unter- (Minimalwert) oder Überschreiten (Maximalwert) eines für einen konkreten Anwendungsfall definierten Extremwertes der – bei einer vorbestimmten Anzahl von Viskositätsmessungen veränderten – Einflußgrößen aus diesen Wertepaaren eine Hyperfläche des mehrdimensionalen Zusammenhanges zwischen der scheinbaren dynamischen und/oder kinematischen Viskosität, der Temperatur, dem Druck und dem Schergefälle des Fluids ermittelt und diese Hyperfläche und/oder die Gleichung, welche die Hyperfläche beschreibt, letztlich einer Ausgabeeinrichtung (6) zuführt, durch welche sie als Grafik und/oder Gleichung ausgegeben wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei Einsatz eines Rotationsviskosimeters als Viskosimeter neben der scheinbaren dynamischen Viskosität, der Temperatur, dem Druck und dem Volumenstrom gleichzeitig auch dessen Drehzahl mittels einer Drehzahlmeßeinrichtung (9) bestimmt und der Auswerteeinrichtung (5) zugeführt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei annäherndem Verhalten des Fluids wie eine Newtonsche Flüssigkeit die Bestimmung des Volumenstromes sowie bei Verwendung eines Rotationsviskosimeters als Viskosimeter der Drehzahl und damit des Schergefalles des Fluids im Viskosimeter entfällt und somit durch die Auswerteeinrichtung (5) nur eine Hyperfläche bzw. Fläche des mehrdimensionalen Zusammenhanges zwischen der dynamischen und/oder kinematischen Viskosität, der Temperatur und dem Druck ermittelt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß aus der ermittelten Hyperfläche die scheinbaren dynamischen und/oder kinematischen Viskositäten unter Bezugsbedingungen, welche im Bereich der Spannweiten aller Einflußgrößen liegen, und weitere festgelegte Kennwerte zur Beschreibung der rheologischen Eigenschaften des Fluids, wie der m-Wert nach Ubbelohde/Walther, der Viskositätsindex, die Viscosity Temperature Constant, der K-Wert nach Kiesskalt, der Vp-Koeffizient α bestimmt sowie in der Auswerteeinrichtung (5) verarbeitet und danach der Ausgabeeinrichtung (6) zur Ausgabe zugeführt werden.
5. Verfahren nach Anspruch 1 und 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei Messung der scheinbaren dynamischen Viskosität ebenfalls die Dichte des Fluids, bezogen auf definierte Bedingungen, mittels einer Dichtemeßeinrichtung (8) bestimmt und der Auswerteeinrichtung (5) zur Ermittlung der scheinbaren kinematischen Viskosität unter Bezugsbedingungen und von festgelegten Kennwerten zu ihrer Beschreibung zugeführt werden.
6. Verfahren nach Anspruch 1 und 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei Messung der scheinbaren kinematischen Viskosität ebenfalls die Dichte des Fluids, bezogen auf definierte Bedingungen, mittels einer Dichtemeßeinrichtung (8) bestimmt und der Auswerteeinrichtung (5) zur Ermittlung der scheinbaren dynamischen Viskosität unter Bezugsbedingungen und von festgelegten Kennwerten zu ihrer Beschreibung zugeführt werden.
7. Anordnung zur quasi-kontinuierlichen Bestimmung rheologischer Eigenschaften von Fluiden innerhalb von Stoffströmen, insbesondere in Schmieröl- oder Flüssigkeitskreisläufen von Maschinen, Getrieben und Anlagen, in denen sich die Parameter Temperatur, Druck und Volumenstrom stochastisch ändern, **dadurch gekennzeichnet**, daß unmittelbar vor und/oder nach mindestens einem direkt in der Stoffstromhauptleitung (10) oder in einer parallel zu ihr geführten Stoffstromzweigleitung (7) befindlichen Viskosimeter (1) jeweils wenigstens eine Druckmeßeinrichtung (2), weiter im Anschluß daran jeweils wenigstens ein Thermometer (3) und zumindest eine Volumenstrommeßeinrichtung (4) angeordnet sind, wobei alle Meßmittel (2, 3, 4) einschließlich Viskosimeter (1) über Signalleitungen mit einer programmierbaren Auswerteeinrichtung (5) verknüpft sind, die wiederum mit einer Ausgabeeinrichtung (6) in Verbindung steht.

8. Anordnung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei Verwendung von Kapillarviskosimetern als Viskosimeter die Druckmeßeinrichtungen (2), welche zur Bestimmung des Druckabfalles über die Länge der Meßkapillare dienen, gleichzeitig den mittleren statischen Druck in der Meßkapillare bestimmen.
9. Anordnung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei Verwendung mehrerer Viskosimeter (1), sofern der Volumenstrom in jedem Viskosimeter (1) objektiv anders ist, je Viskosimeter eine separate Volumenstrommeßeinrichtung (4) eingesetzt ist.
10. Anordnung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß im Stoffstrom eine Dichtemeßeinrichtung (8) angeordnet und über eine Signalleitung mit der programmierbaren Auswerteeinheit (5) verbunden ist.
11. Anordnung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Viskosimeter (1) ein Rotationsviskosimeter vorgesehen ist, dessen Drehzahlmeßeinrichtung (9) über eine Signalleitung mit der Auswerteeinrichtung (5) verbunden ist.
12. Anordnung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei Verwendung einer Düse als Viskosimeter (1) die ursprünglich dem Viskosimeter unmittelbar nachgeordnete Druckmeßeinrichtung (2) entfällt, dafür allerdings der Druck des Raumes – sofern dieser vom atmosphärischen Luftdruck abweicht – durch eine andere Druckmeßeinrichtung meßbar und dieser gemessene Wert der Auswerteeinrichtung zuführbar ist.

Hierzu 1 Seite Zeichnung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur quasi-kontinuierlichen Bestimmung rheologischer Eigenschaften von Fluiden innerhalb von Stoffströmen, insbesondere in Schmieröl- oder Flüssigkeitskreisläufen von Maschinen, Getrieben und Anlagen, beispielsweise Verbrennungsmotoren, Strömungsmaschinen, hydraulische Anlagen und dergleichen. Ein bevorzugter Einsatz der Erfindung erfolgt bei der Prozeßüberwachung während der Herstellung bzw. Förderung u. a. von Schmierölen oder Schokolade unter unterschiedlichen Beanspruchungsbedingungen.

Es ist allgemein üblich, Stichproben der zu untersuchenden Substanz zu entnehmen. Die rheologischen Eigenschaften werden dabei meistens mit komplizierten Apparaturen und mit hohem personellem Aufwand bestimmt und im Rahmen eines Versuchsprogrammes die Parameter Temperatur, Druck und Schergefälle des Fluids variiert (siehe DE-OS 30 23 395, DD-PS 237 902). Aus einer Reihe weiterer Patentschriften, wie DD-PS 160 783, DD-PS 151 022, DE-OS 33 26 691, DE-OS 33 23 632, DE-OS 28 19 847 sind Rheometer-Systeme bekannt, welche in den Stoffkreislauf, z. B. von Maschinen oder Anlagen, eingebunden sind. Das in der Patentschrift DE-OS 30 23 395 beschriebene Rheometer-System besteht aus einem eine Eintrittskammer und eine damit in Verbindung stehende, langgestreckte Einschnürung enthaltenden Meßblock, einer Anzahl entlang der Einschnürung angeordneter Druckwandler, die den Drücken an den betreffenden Stellen der Einschnürung entsprechende Drucksignale liefern, und einer mit der Eintrittskammer verbundenen, motorisch angetriebenen Dosierpumpe, die der Eintrittskammer mit einer vorbestimmten Strömungsgeschwindigkeit ein unter Druck stehendes Fluidum zuführt. Sie ist gekennzeichnet durch einen mit dem Antriebsmotor der Pumpe verbundenen Tachogenerator, der ein für die Antriebsgeschwindigkeit der Pumpe bezeichnendes Geschwindigkeitssignal liefert, sowie von diesem Geschwindigkeitssignal abhängige Rechenmittel einschließlich Geschwindigkeitssteuermitteln, die der Pumpenantriebsgeschwindigkeit einen der vorbestimmten Strömungsgeschwindigkeit entsprechenden Wert vermitteln, wobei die Rechenmittel in Abhängigkeit von den Drucksignalen des weiteren eine Anzeige entsprechend der Elastizität und/oder der Viskosität des betreffenden Fluidums liefern. Alle diese bekannten Verfahren und Einrichtungen zur Bestimmung rheologischer Eigenschaften von Fluiden sind dann nicht anwendbar, wenn sich die physikalischen Parameter des Fluids Temperatur, Druck und Schergefälle bzw. Volumenstrom in der Maschine oder Anlage stochastisch ändern und/oder sie erfordern, daß definierte Temperaturen, Drücke und Schergefälle bzw. Volumenströme durch das Meßsystem genau eingestellt werden müssen.

Ziel der Erfindung ist es, mit möglichst geringem Aufwand und mit ausreichender Genauigkeit innerhalb von Stoffströmen oder Stoffkreisläufen, in denen sich die Parameter Temperatur, Druck und Volumenstrom des Fluids stochastisch ändern, quasi-kontinuierlich die rheologischen Eigenschaften des Fluids zu bestimmen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Anordnung zur quasi-kontinuierlichen Bestimmung rheologischer Eigenschaften von Fluiden innerhalb von Stoffströmen anzugeben, wobei keine konkreten physikalischen Bedingungen des Fluids Temperatur, Druck und Volumenstrom bzw. Schergefälle durch die Versuchseinrichtung, wobei unter Versuchseinrichtung die Anlage mit dem Stoffstrom als zu untersuchendes Objekt und die Anordnung zur quasi-kontinuierlichen Bestimmung von rheologischen Eigenschaften verstanden wird, eingestellt oder eingehalten bzw. keine festgelegten Versuchsprogramme abgearbeitet werden müssen sowie unter Berücksichtigung der Tatsache, daß die Einzelmessungen mit zufälligen Fehlern behaftet sind.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß in den Stoffstrom oder parallel zu einem Bereich von ihm ein oder mehrere Viskosimeter eingebaut sind. Die definierten Extremwerte der Einflußgrößen Temperatur, Druck und Schergefälle bestimmen die Auslegung der eigens dafür angeordneten Meßmittel. Zuerst werden neben der scheinbaren dynamischen und/oder kinematischen Viskosität gleichzeitig die mittlere Temperatur, der mittlere Druck und der Volumenstrom des Fluids im jeweiligen Viskosimeter bestimmt und danach alle ermittelten Wertepaare kontinuierlich einer programmierbaren

Auswerteeinrichtung zugeführt. Aus dem Volumenstrom des Fluids, den geometrischen Abmessungen des Viskosimeters und, bei Verwendung eines Rotationsviskosimeters, aus dessen Drehzahl bestimmt die Auswerteeinrichtung danach das mittlere Schergefälle des Fluids im Viskosimeter. Wenn jeder definierte Extremwert der Einflußgrößen mindestens einmal erreicht oder unter- (Minimalwert) bzw. überschritten (Maximalwert) wird, und wenn eine festgelegte Mindestanzahl von Viskositätsmessungen bei beliebigen Temperaturen, Drücken und Schergefällen erfolgte, ermittelt die Auswerteeinrichtung eine Hyperfläche des mehrdimensionalen Zusammenhanges zwischen der scheinbaren dynamischen und/oder kinematischen Viskosität, der Temperatur, dem Druck und dem Schergefälle des Fluids. Diese Hyperfläche wird der Ausgabeeinrichtung zugeführt und durch sie als graphische Darstellung(en) oder als Gleichung ausgegeben.

Wenn es sich bei dem betrachteten Fluid um eine newtonsche Flüssigkeit handelt, so kann auf die Bestimmung und Berücksichtigung des Schergefälles verzichtet werden.

Aus der Hyperfläche zwischen der scheinbaren dynamischen und/oder kinematischen Viskosität, der Temperatur, dem Druck und ggf. dem Schergefälle werden durch die Auswerteeinrichtung festgelegte Kennwerte ermittelt, die zur Beschreibung der rheologischen Eigenschaften des Fluids dienen, der Ausgabeeinrichtung zugeführt und durch diese ausgegeben. Mögliche Kennwerte sind z.B.

- der m-Wert nach Ubbelohde/Walther,
- der Viskositätsindex,
- die Viscosity-Temperature-Constant (VTC),
- der K-Wert nach Kiesskalt oder
- der Vp-Koeffizient α . (Der Bezugsdruck p_0 wird dem Anwendungsfalle angepaßt.)

Die vorgeschlagene Lösung schließt ein, daß, sofern die Messung der scheinbaren dynamischen Viskosität erfolgt, ebenfalls die Dichte des Fluids, bezogen auf definierte Bedingungen, bestimmt und der Auswerteeinrichtung zugeführt wird und somit auch die scheinbare kinematische Viskosität unter Bezugsbedingungen und festgelegte Kennwerte zu ihrer Beschreibung durch die Auswerteeinrichtung ermittelt werden. Gleichfalls ist vorgesehen, daß, sofern die scheinbare kinematische Viskosität gemessen wird, ebenfalls die Dichte des Fluids, bezogen auf definierte Bedingungen, bestimmt und der Auswerteeinrichtung zugeführt wird, somit auch die scheinbare dynamische Viskosität unter Bezugsbedingungen und festgelegte Kennwerte zu ihrer Beschreibung durch die Auswerteeinrichtung ermittelt werden.

Die zur Durchführung des beschriebenen Verfahrens erfindungsgemäße Einrichtung besteht im wesentlichen aus mindestens einem Viskosimeter, welches im Stoffstrom oder parallel zu einem Abschnitt des Stoffstromes angeordnet ist, jeweils vorzugsweise zwei Druckmeßeinrichtungen, die unmittelbar vor und nach dem Viskosimeter angeordnet sind, jeweils vorzugsweise zwei Thermometern, die sich unmittelbar vor der ersten und/oder nach der letzten Druckmeßeinrichtung befinden, vorzugsweise jeweils einer Volumenstrommeßeinrichtung, einer Auswerteeinrichtung und einer Ausgabeeinrichtung. Wenn an den einzelnen Viskosimetern unterschiedliche Volumenströme vorliegen, was bei verzweigten Strömungssystemen möglich ist, so ist jedem Viskosimeter eine Volumenstrommeßeinrichtung zuzuordnen.

Zur Umrechnung der scheinbaren dynamischen in die kinematische Viskosität oder umgekehrt ist zusätzlich eine Dichtemeßeinrichtung in den Kreislauf des Strömungssystems eingebunden, mit welcher die dafür erforderliche Dichte meßbar ist und die die Meßwerte ebenfalls über Signalleitungen der Auswerteeinrichtung zuführt. Wenn die Genauigkeit im konkreten Anwendungsfall ausreicht, dann kann die Dichte auch durch einen Pauschalwert, bezogen auf definierte Bedingungen, in der Auswerteeinrichtung gespeichert werden. Die Umrechnung der Dichte auf andere physikalische Bedingungen erfolgt dann anhand allgemeingültiger Gesetzmäßigkeiten.

Falls als Viskosimeter ein Rotationsviskosimeter eingesetzt wird, dann ist dessen Drehzahlmeßeinrichtung über eine Signalleitung mit der Auswerteeinrichtung verbunden.

Sofern zur Viskositätsmessung Kapillarviskosimeter Anwendung finden, dann dienen die Druckmeßeinrichtungen, welche den Druckabfall über der Länge der Meßkapillare ermitteln, gleichzeitig zur Bestimmung des mittleren statischen Druckes in der Meßkapillare.

Des weiteren ist erfindungsgemäß vorgesehen, daß, sofern die Genauigkeit für den konkreten Anwendungsfall ausreicht, nur ein Thermometer vor oder nach der ersten bzw. letzten Druckmeßeinrichtung zur Bestimmung der mittleren Temperatur des Fluids im Viskosimeter und/oder nur eine Druckmeßeinrichtung vor oder nach dem Viskosimeter zur Bestimmung des mittleren statischen Druckes des Fluids im Viskosimeter verwendet wird. Sofern es sich bei den verwendeten Viskosimetern um eine Düse handelt, dann entfällt die zweite (nach dem Viskosimeter angeordnete) Druckmeßeinrichtung. Es wird für den Druck nach dem Viskosimeter der Druck des Raumes, in den der freie Ausfluß des Fluids erfolgt, durch die Auswerteeinrichtung verwendet, wobei dieser Druck, sofern er vom atmosphärischen Luftdruck abweicht, durch eine andere Druckmeßeinrichtung, deren Anordnung im Raum beliebig ist, meßbar und danach dieser Wert der Auswerteeinrichtung zuführbar ist.

Die Erfindung soll nachstehend an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden. In der zugehörigen Zeichnung ist die erfindungsgemäße Anordnung zur quasi-kontinuierlichen Bestimmung rheologischer Eigenschaften von Fluiden in schematischer Darstellung gezeigt.

Entsprechend der Zeichnung besteht die Anordnung, mit der auch das nachstehende erfindungsgemäße Verfahren durchgeführt wird, im wesentlichen aus einem Viskosimeter 1, welches sich hier in einer parallel zur Stoffstromhauptleitung 10 angeordneten Stoffstromzweigleitung 7 befindet. Unmittelbar vor und nach dem Viskosimeter 1 sind in der angegebenen Reihenfolge wenigstens eine Druckmeßeinrichtung 2, ein Thermometer 3 sowie zumindest auf der Eingangsseite eine Volumenstrommeßeinrichtung 4 angeordnet. Wie bereits dargestellt, können unter bestimmten Voraussetzungen auch noch eine Dichtemeßeinrichtung 8 und eine Drehzahlmeßeinrichtung 9 vorhanden sein. Alle genannten Meßeinrichtungen 2, 3, 4, 8, 9 einschließlich Viskosimeter 1 sind über Signalleitungen mit einer programmierbaren Auswerteeinrichtung 5 verknüpft, die wiederum mit einer Ausgabeeinrichtung 6 verbunden ist. Mit dieser Anordnung sollen im Beispiel im Rahmen der Erprobung eines neuen Hydrauliköles die rheologischen Kennwerte

1. scheinbare dynamische Viskositäten unter definierten Bedingungen;

2. Vp-Koeffizienten α unter definierten Bedingungen;

$$\alpha = \frac{\ln V_p - \ln V_0}{(p - p_0)} \quad \begin{array}{c|c|c} \alpha & V & p \\ \hline \text{mm}^2/\text{N} & \text{MPa} \cdot \text{s} & \text{MPa} \end{array} \quad (1)$$

3. der m-Wert nach Ubbelohde/Walther;

$$m = \frac{\lg \lg (\mu_1 + 0,8) - \lg \lg (\mu_2 + 0,8)}{\lg T_2 - \lg T_1} \quad \begin{array}{c|c|c} m & \mu & T \\ \hline - & \text{mm}^2/\text{s} & \text{K} \end{array} \quad (2)$$

des Arbeitsmittels im hydrostatischen Getriebe eines Dieseltreibfahrzeug-Antriebssystems quasi-kontinuierlich bestimmt werden.

Die Spannweiten der physikalischen Parameter des Arbeitsmittels im Hauptstrom des Getriebes betragen etwa:

Temperatur: 60...90°C
 statischer Druck: 0,1...6,0 MPa
 Volumenstrom: 0...0,15 m³/s.

Die drei Einflußgrößen Temperatur, statischer Druck und Volumenstrom wirken stochastisch und unabhängig voneinander. Als Arbeitsmittel dient legiertes Hydrauliköl. Durch die Legierungsbestandteile, Verunreinigungen und Alterungsprodukte im Öl ist ein strukturviskoses (nichtnewtonsches) Verhalten des Öles zu erwarten.

Parallel zu einem Bereich des Arbeitsmittelkreislaufes – also zur Stoffstromhauptleitung 10 – wird ein waagrecht angeordnetes Kapillarrisosimeter in die Stoffstromzweigleitung 7 eingebaut. Unmittelbar vor und nach dem Kapillarrisosimeter 1 befinden sich je ein Thermoelment 3. Des weiteren befindet sich vor dem ersten Thermoelment 3 ein Ovalradzähler als Volumenstrommeßeinrichtung 4. Die zur Viskositätsmessung erforderlichen zwei Membranmanometer, welche unmittelbar am Beginn und am Ende der Meßkapillare angeordnet sind, dienen gleichzeitig zur Bestimmung des mittleren statischen Druckes im Viskosimeter 1. Die geometrischen Abmessungen der Meßkapillare sind so gewählt, daß der Volumenstrom in ihr 0...3,15 · 10⁻⁵ m³/s und damit das mittlere Schergefälle 0...4 · 10⁴ 1/s beträgt. In der Meßkapillare herrschen eindeutig laminare Strömungszustände.

Als programmierbare Auswerteeinrichtung 5 dient ein Prozeßrechner, welcher mit einem Bildschirm als Ausgabeeinrichtung 6 verbunden ist.

Es werden als Wirkbereiche der Einflußgrößen definiert:

Temperatur: $\sigma = 60...90^\circ\text{C}$
 statischer Druck: $p = 0,11...6,00 \text{ MPa}$
 Schergefälle: $S = 2 \cdot 10^2...4 \cdot 10^4 \text{ 1/s}$.

Als Ansatzfunktion für das Verfahren der mathematischen Statistik ist die Gleichung (3) günstig.

$$V_{\sigma,p,S} = a_0 + a_1\sigma + a_2p + a_3S + a_4\sigma p + a_5\sigma S + a_6pS + a_7\sigma^2 + a_8p^2 + a_9S^2 + a_{10}\sigma pS$$

$$\begin{array}{c|c|c|c|c} V & \alpha & \sigma & p & S \\ \hline 10^{-8} \text{ MPa} \cdot \text{s} & - & 10^2 ^\circ\text{C} & \text{MPa} & 10^3 \text{ 1/s} \end{array} \quad (3)$$

Aus der Ansatzfunktion folgt, daß mindestens 12 Messungen der scheinbaren dynamischen Viskosität und der zugehörigen Einflußgrößen Temperatur, statischer Druck und Schergefälle erforderlich sind. Zur Erhöhung der Genauigkeit der Versuchsaussage werden hier vorteilhaft 22 Messungen durchgeführt, bevor die Ermittlung der Hyperfläche und die Berechnung der rheologischen Kennwerte durch die Auswerteeinrichtung 5 beginnt. Außerdem ist es erforderlich, daß jeder Extremwert der Einflußgrößen mindestens einmal erreicht oder unterschritten (Minimalwert) bzw. überschritten (Maximalwert) wird.

Folgende Wertepaare ergeben sich hierbei:

Nummer	Temperatur °C	Druck MPa	Schergefälle 1/s	scheinb. dynam. Viskosität 10 ⁻⁸ MPa · s
1	59	0,11	1,8 · 10 ²	5,58
2	60	0,14	4,1 · 10 ⁴	4,00
3	63	6,01	2,1 · 10 ²	5,46
4	57	5,93	3,9 · 10 ⁴	5,33
5	91	0,20	1,6 · 10 ²	1,69
6	90	0,11	3,7 · 10 ⁴	1,70
7	90	6,02	3,0 · 10 ²	1,99
8	93	6,30	4,2 · 10 ⁴	1,77
9	65	0,13	6,3 · 10 ³	4,30
10	58	3,12	5,6 · 10 ²	6,32
11	61	2,57	7,8 · 10 ³	5,29
12	70	0,20	6,7 · 10 ²	3,52

Fortsetzung Nummer	Temperatur °C	Druck MPa	Schergefälle 1/s	scheinb. dynam. Viskosität 10 ⁻⁸ MPa · s
13	75	0,16	1,6 · 10 ³	2,91
14	81	3,50	2,5 · 10 ²	2,54
15	73	3,10	7,4 · 10 ³	3,36
16	91	6,16	1,5 · 10 ³	1,93
17	89	2,29	3,9 · 10 ⁴	1,85
18	96	3,58	8,6 · 10 ³	1,57
19	73	5,87	3,5 · 10 ⁴	2,80
20	76	5,96	2,4 · 10 ³	3,20
21	74	3,00	4,0 · 10 ⁴	2,51
22	77	3,02	5,2 · 10 ³	2,89

Da die Dichte, bezogen auf definierte Bedingungen, des Fluids im betrachteten Anwendungsfall von untergeordneter Bedeutung ist und sich im Betrieb nur gering verändert, wird sie in festgelegten Zeitabständen außerhalb der Maßanordnung ermittelt und der Auswerteeinrichtung 5 eingegeben. Die Umrechnung der Dichte (D) auf andere Temperaturen erfolgt durch die Auswerteeinrichtung 5 nach der Gleichung (4):

$$D_0 = D_{20} - 0,0006464 (\sigma - 20) \quad \frac{D}{\text{g/cm}^3} \mid \frac{\sigma}{^\circ\text{C}} \quad (4)$$

Das zu untersuchende Fluid hat eine Dichte bei $\sigma = 20^\circ\text{C}$ und $p = 0,1 \text{ MPa}$ von $D_{20} = 0,884 \text{ g/cm}^3$. Die Auswerteeinrichtung 5 ermittelt die Hyperfläche des mehrdimensionalen Zusammenhanges zwischen der scheinbaren dynamischen Viskosität, der Temperatur, dem Druck und dem Schergefälle. Den nachfolgenden Koeffizientenvektor für die Ansatzfunktion [Gleichung (4)] zeigt die Auswerteeinrichtung 5 an:

$$\begin{aligned} a_0 &= 28,257 & a_4 &= -0,256 & a_8 &= -6,734 \cdot 10^{-3} \\ a_1 &= -55,125 & a_5 &= 0,122 & a_9 &= 2,134 \cdot 10^{-4} \\ a_2 &= 0,319 & a_6 &= 1,308 \cdot 10^{-3} & a_{10} &= -2,646 \cdot 10^{-3} \\ a_3 &= -0,117 & a_7 &= 28,427 & & \end{aligned}$$

Der statistische Test zur Überprüfung der Modelladäquatheit ergibt mit einer Signifikanz von 99%, daß das Modell nicht abzulehnen ist.

Aus der Hyperfläche ermittelt die Auswerteeinrichtung 5 folgende Kennwerte, welche die rheologischen Eigenschaften des Fluids beschreiben:

1. scheinbare dynamische Viskositäten unter definierten Bedingungen:

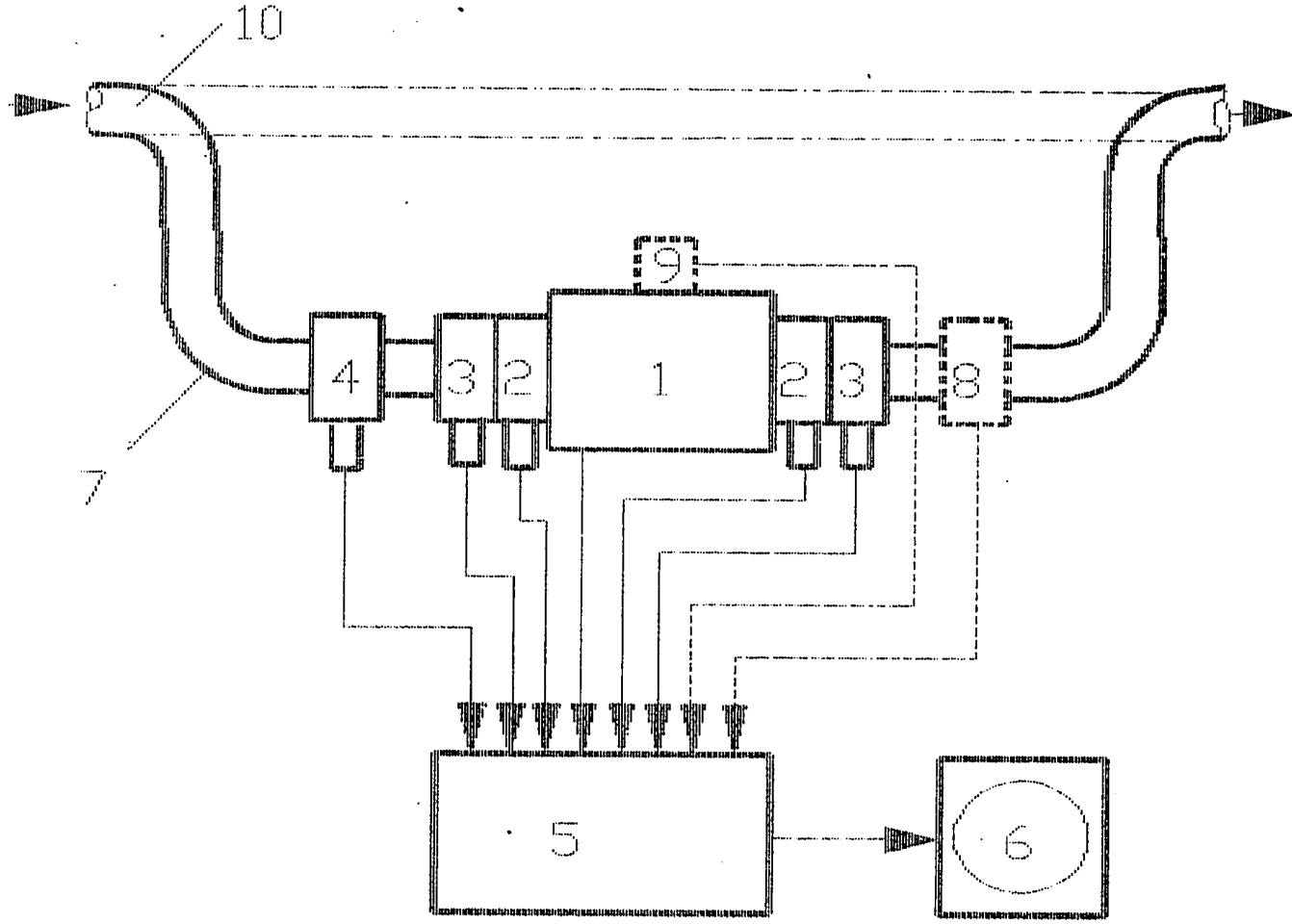
Temperatur °C	Druck MPa	Schergefälle 1/s	scheinbare dynamische Viskosität 10 ⁻⁸ MPa · s
60	0,11	2 · 10 ²	5,425
60	0,11	4 · 10 ⁴	4,022
60	6,00	2 · 10 ²	6,157
60	6,00	4 · 10 ⁴	4,688
90	0,11	2 · 10 ²	1,679
90	0,11	4 · 10 ⁴	1,729
90	6,00	2 · 10 ²	1,957
90	6,00	2 · 10 ⁴	1,755
75	3,00	3 · 10 ³	3,143

2. Vp-Koeffizienten α unter definierten Bedingungen:

Temperatur °C	Schergefälle 1/s	α mm ² /N
60	2 · 10 ²	0,022
90	2 · 10 ²	0,026
60	4 · 10 ⁴	0,026
90	4 · 10 ⁴	0,003

3. m-Wert nach Ubbelohde/Walther bei $p = 0,11 \text{ MPa}$ und $S = 2 \cdot 10^2 \text{ 1/s}$: $m = 3,56$.

Fig. 1



807767