



Republik
Österreich
Patentamt

(11) Nummer:

392 358 B

(12)

PATENTCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 1210/89

(51) Int.Cl.⁵ : G01N 29/02
A61B 8/06

(22) Anmeldetag: 19. 5.1989

(42) Beginn der Patentdauer: 15. 8.1990

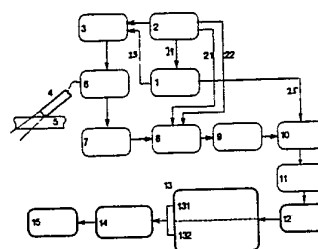
(45) Ausgabetag: 25. 3.1991

(73) Patentinhaber:

PFUNDNER PETER DR.
A-1130 WIEN (AT).
COBET ULRICH DR.
HALLE/SAALE (DE).
MILLNER RUDOLF DR.
HALLE/SAALE (DE).

(54) VERFAHREN UND EINRICHTUNG ZUR UNTERSUCHUNG DER RHEOLOGISCHEN VERHÄLTNISSE IN EINEM STROM EINES PARTIKEL ENTHALTENDEN FLUIDEN MEDIUMS

(57) Die Erfindung betrifft ein gepulstes Ultraschall-Doppler-Verfahren sowie eine zu dessen Durchführung vorgesehene Einrichtung zur Untersuchung der rheologischen Verhältnisse in einem eine Vielzahl von kleinen Partikeln enthaltenden Fluidstrom (5), wobei auf Basis des beim Rückstreuen des Schalls an den Teilchen auftretenden Doppler-Effektes eine mittlere Teilchengeschwindigkeit bestimmt wird. Um zu besonders effektiven Informationen bezüglich schergradabhängiger Partikelagglomerationen an genau definierten Stellen des Stromes (5) zu gelangen, ist erfindungsgemäß vorgesehen, daß bei der Auswertung aus einer Mehrzahl von jeweils von ein und demselben der schrittweise abgetasteten, diskreten Volumsbereiche des Partikelstromes (5) erhaltenen Dopplerfrequenz-Signalspektren volumsbereich-synchron jeweils sowohl eine charakteristische, mittlere Frequenz als auch ein Streufaktor ermittelt bzw. extrahiert werden, und daß für jeden der genannten Volumsbereiche aus der gewonnenen mittleren Frequenz eine mittlere Geschwindigkeit der Teilchen sowie dieser zugeordnet, aus dem ermittelten Streufaktor jeweils die Größe und/oder Gestalt der im gleichen Volumsbereich befindlichen Teilchen und/oder Teilchenaggregate ermittelt werden, und daß diese jeweils einander zugeordneten Werte einer Speicher- und/oder Ausgabe-Einheit (15) zugeführt werden und von dieser, einander zugeordnet, bevorzugt in Form von Teilchengeschwindigkeits- und Teilchengröße-Profilen, ausgegeben werden.



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur, bevorzugt berührungslosen, Untersuchung der rheologischen Verhältnisse in einem Strom eines zumindest zweiphasigen, eine Vielzahl von Partikeln enthaltenden fluiden Mediums, wobei in den Fluidstrom periodisch Ultraschall-Pulse vorgegebener Frequenz und Dauer gesendet werden und die von den bewegten Teilchen rückgestreuten, infolge Doppler-Effektes hinsichtlich ihrer Frequenz veränderten Ultraschall-Echo-Pulse, vorzugsweise in den Sendepausen, empfangen, in elektrische Empfangs-Signale umgewandelt, verstärkt und mit dem den gesendeten Pulsen zugrundeliegenden Signal gemischt werden, und die so gebildeten, die Information bezüglich Doppler-Frequenzverschiebung enthaltenden Signale weiters nach weitgehender Ausfilterung störender Frequenzen mit einer - einer Mehrzahl von, vorzugsweise örtlich aneinandergrenzenden, diskreten Volums-Bereichen zumindest eines Teiles eines Schnittes quer zum Strömungs-Verlauf entsprechenden - Anzahl vorgegebener, schrittweise sich ändernder Zeitverzögerungen gegenüber den Zeitpunkten des Beginns der gesendeten Pulse, bevorzugt zu jeweils im Abstand der Pulslänge auseinanderliegenden Zeitpunkten abgetastet werden, und, vorzugsweise nach Digitalisierung, die für jede der Zeitverzögerungen erhaltenen Dopplerfrequenz-Signale in Dopplerfrequenz-Signalspektren umgewandelt werden und diese in eine Mehrzahl von - den genannten Volums-Bereichen bzw. Zeitverzögerungen entsprechenden - Kanälen gespeichert und ausgewertet werden und schließlich die erhaltenen Daten an eine Speicher- und/oder Ausgabe-Einheit abgegeben und dort ausgegeben werden, sowie Einrichtungen zur Durchführung des Verfahrens.

Eine wesentliche Aufgabe der Erfindung ist die Zurverfügungstellung eines Verfahrens und einer Einrichtung zur quantitativen Erfassung bzw. Bestimmung der schergradabhängigen Strukturen in partikelhaltigen Fluidströmen in situ, wie insbesondere in Körperflüssigkeitsströmen von Mensch und Tier unter zumindest in-vivo-nahen Bedingungen. Grundlage der Messungen auf den genannten Gebieten stellt die Streuung einer eingestrahlten Ultraschallwelle an den Teilchen bzw. an von ihnen gebildeten Strukturen, wie z. B. Blutkörperchen-Strukturen, dar.

Eine berührungsarme bzw. -freie Beobachtung des Verhaltens feiner Partikel in strömenden Fluiden ist ein wesentliches Anliegen der Fachwelt auf den verschiedensten Gebieten der Technik und Wissenschaft und gewinnt zunehmend an Bedeutung, insbesondere dort, wo es in strömenden Medien zu Wechselwirkungen zwischen den Teilchen, z. B. zu deren Aggregation kommen kann. Jede übliche materielle Untersuchungssonde, die ja gerade in die sensibelsten Bereiche eines vom Fluid durchströmten Systems einzubringen ist, verändert die Strömungsverhältnisse derart, daß oft nicht einmal qualitative Aussagen über die Fluid-Dynamik in diesen Bereichen erfolgen können.

Als Einsatzgebiete für solche Untersuchungen seien nur beispielhaft die Aufbereitung von Erzen, die Baustoff-, Keramik-, Pigment-, Papier-, Kunststoff-, Lack- und Lebensmittel-Verarbeitung sowie die Abwasser-Technik genannt, wo überall Partikel-Suspensions-Ströme zu bewältigen sind, weiters jedoch auch die pharmazeutische Produktion und die Medizintechnik einschließlich der Diagnose strömender Medien in physiologischen Systemen.

Auf dem Sektor der Medizin sind atraumatische, perkutane Blutfluß-Messungen angesichts der Zunahme von Herz-, Kreislauf- und Gefäßkrankungen von hoher Bedeutung und bringen eine wesentliche Vereinfachung der Diagnose und erhöhte Patientenfreundlichkeit.

Zu Beginn der Entwicklung wurde versucht, durch viskosimetrische Messungen, mikroskopische Bildauswertung oder durch die Lichtstreuung auf die thixotropen Eigenschaften und damit auf die dynamischen Strukturen von Teilchen-Suspensionen rückzuschließen. Die zuletzt genannte Methode - äquivalent zur später entwickelten Ultraschall-Methode - ist infolge starker Absorption der Lichtwellen, der nicht exakten Ortsbestimmung des Meßvolumens und komplizierter theoretischer Zusammenhänge zwischen Lichtstreuung und Fluidstruktur nur begrenzt einsetzbar.

1959 wurde erstmals das sogenannte Ultraschall-Doppler-Verfahren zur Gefäßuntersuchung eingesetzt. Dieses sowie davon abgeleitete Verfahren und Vorrichtungen beruhen auf dem sogenannten "CW" (continuous wave)-Doppler-Verfahren, bei dem kontinuierlich ein Ultraschallstrahl in den zu untersuchenden Teilchenstrom gesendet wird und der von den bewegten Teilchen rückgestreute Ultraschall von einem Empfänger-Wandler wieder empfangen wird. Das empfangene "Echo"-Signal ist gegenüber dem Sendesignal infolge des Dopplereffektes frequenzverschoben, die Differenzfrequenz wird angezeigt. Eine genaue Bestimmung der Lage des Ortes im Strom, wo die Geschwindigkeit gemessen wird, ist bei dieser integralen Meßmethode nicht möglich. Da der gesamte Strömungs-Querschnitt nicht gleichmäßig vom Ultraschallstrahl beschallt wird, ist auch eine quantitative Flußbestimmung erschwert.

Um die bis dahin nicht zugängliche Orts-Information zu erhalten, wurden "gepulste Ultraschall-Doppler-Verfahren" entwickelt, bei denen kurze Ultraschall-Wellenzüge (Bursts) schräg in den Fluidstrom gesendet werden, und der von den Teilchen rückgestreute Schall wieder empfangen wird. Die Lage des jeweiligen Meßortes folgt aus der Laufzeit des Ultraschallbursts, also aus dem Empfangszeitpunkt des "Echos". Die Information über die Teilchengeschwindigkeit ist, wie beim CW-Doppler-Verfahren, in der Frequenzverschiebung des empfangenen rückgestreuten Schalls enthalten. Legt man einen bestimmten Empfangs-Zeitpunkt, also einen Zeitpunkt, zu dem das "Echo" empfangen wird, relativ zum Zeitpunkt des Beginns des gesendeten Bursts fest, so erhält man die gewünschte Geschwindigkeits-Information aus einem einzigen diskreten kleinen Volumensbereich an einer ganz bestimmten Stelle des Stromes. Durch diese Ortslage-Selektivität läßt sich eine Überlagerung durch Signale aus

den anderen Bereichen des Stromes vermeiden. Variiert man die Empfangs-Zeitpunkte - legt z. B. schrittweise steigende Verzögerungen der Empfangszeitpunkte für örtlich aneinandergrenzende Volumsbereiche, also "Meßtiefen", über den Stromquerschnitt, fest - so läßt sich ein Strömungsprofil erstellen. Um zu einer hohen Zeitauflösung zu gelangen, wird heute mit Mehrkanal-Ultraschallpuls-Doppler-Geschwindigkeitsmeßgeräten
 5 möglichst simultan in einer größeren Anzahl der beschriebenen kleinen Volums-Bereiche des Teilchenstromes gemessen. Analog arbeitende Geräte weisen mehrere parallel arbeitende Dopplersignal-Auswerteeinheiten auf, um jeweils die Strömungsgeschwindigkeiten in den einzelnen Meßbereichen des Partikelstromes zu bestimmen. Eine Digitalisierung ermöglicht eine serielle Verarbeitung der mehrkanalig gespeicherten, den genannten Volumsbereichen in verschiedenen Meßtiefen entsprechenden Signale. Bei Kenntnis der jeweiligen
 10 Geschwindigkeiten an genau bekannten Ortslagen eines Partikelstromes können in einem Leitungs-System durch gezielte Änderungen der Geometrie oder durch die Dynamik des Fluids selbst beeinflussende Maßnahmen Teilchenaggregationen, z. B. an Orten geringeren Schergrades, wo sogar ein Zusetzen des Strömungs-Querschnittes eintreten kann, vermieden werden. Es ist weiters bekannt, daß bei allen Gefäßkrankungen, besonders beim Herzinfarkt und dessen Risikofaktoren, die Erythrozyten-Aggregations-Neigung und damit auch
 15 die Viskosität des Blutes stark zunehmen können. Diese zusätzlich noch pulsierende, nicht Newton'sche Flüssigkeit zeigt außerdem visco-elastische Effekte, die sich an jeder Krümmung, Verzweigung sowie Verengung oder Erweiterung des Kreislaufs auswirken können. Als Folge davon tritt zwischen gemessenem Fluß und Druck eine zeitliche Phasenverschiebung auf. Zusätzlich erfolgt die Ausbildung von Sekundärströmungen vor Engstellen, was die Verweildauer der Korpuskel in solchen Bereichen verlängert. Stationäre Wirbel begünstigen ein Stromaufwärts-Wachsen von Partikel-Aggregationen, wie z. B. von Thromben. Die geschilderten Phänomene treten ebenso beim Bewegen technischer Teilchensuspensionen, z. B. in der Polymer-Verarbeitung, auf.

Infolge dieser Phänomene ist ein eindeutiger oder exakter funktioneller Zusammenhang zwischen tatsächlichem Strömungsgeschwindigkeits- bzw. Schergrad-Profil sowie Art und Ausmaß von Teilchen-Aggregationen, z. B. Größe und Gestalt von Erythrozyten-Aggregaten, der eine Abschätzung der Fluid-Dynamik
 25 innerhalb eines Leitungs-Abschnittes ermöglicht, nicht definierbar. Somit kann selbst eine exakte Ermittlung von Geschwindigkeits-Profilen an neuralgischen Stellen einer Strömung allein zu einer effektiven Prognose des Verhaltens und damit zu einer wirksamen Bekämpfung von Zusammenballungs-Tendenzen der bewegten Teilchen nicht ausreichen.

Die Erfindung hat sich die Aufgabe gestellt, die beschriebenen Nachteile der bisher bekannten Methoden und
 30 Geräte zu überwinden und Verfahren und Einrichtungen zur Verfügung zu stellen, welche rückwirkungsfrei und nicht-invasiv effektive Früherkennung, Momentan-Erkennung in Ortsabhängigkeit, Quantifizierung und Gegenmaßnahmen in Systemen mit Bereichen schwierigen rheologischen Verhaltens ermöglichen. Für die Rheologie in physiologischen Systemen soll eine wesentliche Verbesserung von Diagnose und Behandlung von Gefäßkrankungen erzielbar werden. Ganz allgemein soll zu direkten in situ-, z. B. in-vivo-Analysen gelangt
 35 werden, die kontinuierliche Beobachtungen gestatten, womit Erkenntnisse über Aggregation in Fluid-Strömen unter einer Vielzahl variierender Bedingungen erhalten werden können.

Gegenstand der Erfindung ist somit ein Untersuchungsverfahren der eingangs genannten Art, das dadurch gekennzeichnet ist, daß bei der Auswertung aus der Mehrzahl der jeweils von ein- und demselben Bereich der schrittweise abgetasteten, diskreten Volumsbereiche des Partikelstromes erhaltenen Dopplerfrequenz-Signalspektren volumsbereich-synchron jeweils sowohl eine charakteristische, mittlere Frequenz als auch ein
 40 Streufaktor ermittelt bzw. extrahiert werden, und daß, bevorzugt auf Basis von mathematischen oder Eich-Funktionen, für jeden der genannten Ortslage-Volumsbereiche aus der gewonnenen mittleren Frequenz eine mittlere Geschwindigkeit der Teilchen sowie dieser zugeordnet, bevorzugt auf Basis von Eich-Funktionen, aus dem ermittelten Streufaktor jeweils die Größe und/oder Gestalt der im gleichen Volumsbereich befindlichen
 45 Teilchen und/oder Teilchenaggregate ermittelt werden und daß diese jeweils einander zugeordneten Werte einer Speicher- und/oder Ausgabeinheit zugeführt werden und von dieser, einander zugeordnet, bevorzugt in Form von Teilchengeschwindigkeits- und Teilchengröße-Profilen, ausgegeben werden. Es ist ganz wesentliches Merkmal der Erfindung, daß zum Erhalt einander zugeordneter Profile von Strom-Geschwindigkeit und Partikeldimension aus der Serie der Volumsbereiche quer zur Strömung jeweils von ein- und demselben kleinen, in seiner Ortslage definierten Volumsbereich die Lage der mittleren Frequenz, sowie die mit der aktuellen Teilchengröße korrelierende Leistung des jeweils rückgestreuten Schalles als Ergebnis zur Verfügung gestellt wird. Der die
 50 Rückstreuleistung beschreibende Streufaktor ist im wesentlichen umso größer, je größer die Partikel sind. Die Überführung der Werte der mittleren Frequenzen in Geschwindigkeitswerte erfolgt vorteilhaft auf Basis von aus experimentellen Untersuchungen z. B. an definierten Teilchen-Strömen erhaltenen Eich-Funktionen und/oder auf
 55 Basis der aus dem Doppler-Effekt selbst ableitbaren mathematischen Funktionen. Die Gewinnung der Daten über die Größe der Partikel und/oder sich bildenden Partikel-Verbänden läßt sich, da hier reproduzierbares Verhalten nicht exakt bekannt ist, z. B. mittels anhand von Modellversuchen gewonnenen Eich-Funktionen vornehmen. Der "Streufaktor" entspricht dem Verhältnis von durch die Partikel im Strom rückgestreuter Schall-Intensität pro Raumwinkel zur Intensität des in den Partikelstrom eingestrahlten Ultraschalles.

60 Eine erfindungsgemäße Einrichtung zur Durchführung des wie oben beschriebenen neuen Verfahrens ist insbesondere auch zur Untersuchung strömender physiologischer Flüssigkeiten, beispielsweise Blut, geeignet und weist einen von einem mittels von einer Steuerung (1) über Leitungen (23) zugeführten Impulsen steuerbaren

5 Sender (3) mit Oszillator (2) über eine Weiche (6) speisbaren, periodisch Ultraschall-Pulse vorgegebener Frequenz und Dauer abgebenden, in bekanntem Winkel schräg in den Fluid-Mediums-Strom (5) richtbaren und die von den Partikeln in einer Mehrzahl von kleinen Volumsbereichen eines Schnittes quer zum Fluid-Strom (5) rückgestreuten Pulse aufnehmenden Ultraschall-Wandler (4) auf, der über die genannte Weiche (6) mit einem daran schließenden Verstärker (7) mit einer über Leitungen (21), (22) mit dem Oszillator (2) verbundenen Mischer (8) zum Mischen der elektrischen Empfangssignale des Wandlers (4) zur Strömungsrichtungserkennung mit zwei um 90° phasenverschobenen Oszillator-Grundsignalen verbunden ist, welcher seinerseits über ein Filter (9) zur Unterdrückung störender Frequenzen mit einer mittels von der Steuerung (1) über eine Leitung (25) zugeführten Impulsen steuerbaren Einheit (10), insbesondere Analog-Digital-Wandler, zur getakteten Abtastung der Doppelfrequenz-Signale mit einstellbaren Zeit-Verzögerungen bezogen auf den jeweiligen Beginn der vom Wandler (4) abgestrahlten Ultraschall-Pulse verbunden ist, an welche Abtasteinheit (10) eine Einrichtung (11) zum mehrkanaligen Speichern der Dopplerfrequenz-Signale angeschlossen ist, die ihrerseits mit einer Einrichtung (12) zur Umwandlung der einzelnen Doppler-Differenz-Signale in Dopplerfrequenz-Signalspektren und einer Einrichtung (13) zur Extraktion der "mittleren Frequenzen" aus den Spektren, verbunden ist, die schließlich über eine Auswerte-Einheit (14) zur Umwandlung der extrahierten mittleren Frequenzen in Teilchengeschwindigkeits-Werte an eine Einheit (15) zur Speicherung und Ausgabe dieser Werte angeschlossen ist.

Die neue Einrichtung ist dadurch gekennzeichnet, daß die genannte Einrichtung (12) zur Erstellung der einzelnen, dem Zeittakt entsprechenden Dopplerfrequenz-Signalspektren mit einer Einrichtung (13) verbunden ist, welche eine Teileinrichtung (131) zur Extraktion der jeweiligen mittleren Frequenzen aufweist, die mit einer ihr zugeordneten Teileinrichtung (132) zur Ermittlung des Streufaktors aus dem jeweils gleichen Dopplerfrequenz-Signalspektrum im wesentlichen synchron arbeitend zusammengeschaltet ist, welche Teileinrichtungen (131) und (132) ihrerseits über eine Auswerte-Einheit (14) an eine Einrichtung (15) zur einander zugeordnet synchronen Anzeige von Geschwindigkeit, Geschwindigkeitsgradienten, Schergrad und Größe der Teilchen des Stromes, vorzugsweise in Form von Stromquerschnitts-Profilen, angeschlossen ist.

Die Erfindung ermöglicht zum ersten Mal eine synoptische Verknüpfung der Daten einer ortslage-spezifischen Bestimmung der Geschwindigkeit bzw. des Schergrades innerhalb kleiner Volumenbereiche eines bewegte Partikel enthaltenden Fluidstromes mit den Werten der in den gleichen diskreten Volumenbereichen auftretenden Größen und/oder Formen der u. a. schergradabhängig agglomerierenden Partikel, was besonders in der Überzahl von Fällen wichtig ist, wo einer Vorhersage darüber keine eindeutige funktionelle "Abhängigkeit" zugrundegelegt werden kann, wie im Bereich von Krümmungen, Pumpen, Durchflußregelungsorganen, in Rührwerken, Wirbelschichten oder beim Vorliegen nicht-Newton'scher Fluid-Suspensionen, -Emulsionen oder -Dispersionen sowie in physiologischen Gefäßsystemen.

So ermöglicht sie beispielsweise in der Diagnose die Erfassung der Blutrheologie in künstlichen Nieren. Während des Dialysevorganges lagern sich Thrombozyten, Erythrozyten und Leukozyten an der Dialysmembran ab. Auch die hohe mechanische Belastung von einer Deformierung bis zur Zerstörung der Erythrozyten durch die Blutpumpe kann quantitativ erfaßt werden.

Im Bereich der klinischen vor- und nachsorgenden Praxis können die Kenntnis und die Bekämpfung verschiedener Krankheitsbilder optimiert werden, wie z. B.:

40 bei der chronischen arteriellen Verschußkrankheit die Stadienabhängigkeit, das Verhalten nach Gabe vasoaktiver Medikamente, das Verhalten nach gefäßrekonstruktiven Eingriffen, z. B. Flußsteigerung, Scherkraftverringern sowie Erfassung und Verringerung der Thrombosierungsgefahr;

bei Diabetes mellitus die Abhängigkeit des Blutflusses vom Schergrad, dessen Abhängigkeit von der Diabeteseinstellung diabetische Gangrän sowie das Verhalten nach vasoaktiven Medikamenten;

45 bei cerebrovaskulärer Insuffizienz das Auftreten und die Therapie von Carotisstenosen, intracerebralen Gefäßveränderungen sowie die intraoperative Beeinflussung der Hämodynamik;

weilers bei venösen Thrombosen die präoperative und die intraoperative Beurteilung und die ganz wesentliche Antikoagulantientherapie.

Schließlich bringen das erfindungsgemäße Verfahren und die neue Vorrichtung in der allgemeinen Testung rheologischer Medikamente, der Untersuchung der Coronarsklerose (Herzinfarkt), Hämodilution, Hypercholesterinämie wesentliche Fortschritte. Die ganz gezielt gefäßtiefenspezifisch erfaßbare Zunahme der Bindungskraft einer Erythrozyten-Aggregation kann eine drohende intravasale Thrombose schon im Frühstadium eindeutig erfassen lassen. Klinisch anwendbare Untersuchungsmethoden gerade zu dieser wichtigen Fragestellung sind bisher nicht bekannt geworden. Denn die größte Unsicherheit über den Entstehungsverlauf besteht bei venösen Thrombosen, wie sie z. B. nach operativen Eingriffen ohne Venenwandbeteiligungen auftreten. In diesen Fällen gibt der Gerinnungsstatus keinerlei Hinweis auf eine Thrombose-Gefährdung. So ist die Lungenembolie auch heute noch eine gefürchtete und nur unvollkommen therapeutisch beeinflussbare Komplikation einer solchen Thrombose, die oft letal endet. Deshalb stellt die Entwicklung der erfindungsgemäßen Untersuchungen vom klinischen Standpunkt aus einen wesentlichen Fortschritt dar.

Die Erfindung ermöglicht aber auch in vielen anderen Bereichen der Technik die gleichzeitige Erfassung von mit periodischen oder sonstigen Änderungen des Geschwindigkeits-Profiles eines Partikel-Fluid-Stromes simultan oder verzögert einhergehende Partikel-Aggregationen während äußerst kurzer Zeitperioden und an schlecht zugänglichen Stellen eines Fluid-durchströmten Leitungs-Systems. Sie ermöglicht weiters Moment-Zustands-

Erhebungen, die wesentliche Rückschlüsse auf drohende drucksteigernde Verengungen oder Zusetzungen, gefährliche Abrasionen, den Einfluß von Zusätzen zum Fluid und ähnliches zulassen. Neben oder zugleich mit solchen Kurzzeit-Erhebungen können über längere Zeiträume hinweg langsam ablaufende Veränderungen in strömenden Systemen präzise beobachtet werden.

- 5 Aus den beschriebenen Beobachtungen lassen sich schließlich optimale Bedingungen der Führung von Partikel-Fluid-Strömen vom geometrischen, fluid- und steuerungs-technischen Standpunkt extrahieren und es lassen sich Mängel bestehender Systeme durch entsprechende Beeinflussung und Gegenmaßnahmen, wie z. B. Veränderung der Strömungsgeschwindigkeit oder Zusätze zum Fluid leichter kompensieren.

- 10 Schließlich können die erfindungsgemäß erhältlichen Informationen zur optimierenden Steuerung der Rheologie von Teilchen-Fluid-Strömen an sensiblen Stellen eines fluidtechnischen Systems herangezogen werden.

- Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, daß die Umwandlung der genannten Dopplerfrequenz-Signale in die Dopplerfrequenz-Signalspektren mittels Hochgeschwindigkeits (Fast)-Fourier-Transformation (FFT) und die Extraktion der mittleren Frequenzen jedes der genannten, den einzelnen
15 Volumsbereichen des Mediumsstrom-Querschnittes entstammenden Signalspektren mittels Signalprozessoren online vorgenommen wird. Dadurch sind höhere Zuverlässigkeit und besonders hohe Verarbeitungs-Geschwindigkeit gewährleistet, die es erlauben, auch besonders kurzzeitige Strömungsvorgänge mit abrupten Änderungen zu zerlegen und die dabei kurzzeitig eintretenden Partikel-Agglomerationen zu erfassen, wie z. B. in infolge Pumpen-, Rückschlag- oder Resonanzwirkung pulsierenden Flüssigkeitsströmen oder in pulsierendem Blut in vivo.

- 20 Es hat sich ebenfalls im Sinne einer exakteren, wirklichkeitsnäheren Beschreibung der Strömungsverhältnisse als vorteilhaft erwiesen, die Ermittlung der mittleren Frequenzen jeweils auf Basis einer Quotientenbildung aus dem ersten und dem nullten Moment der Dopplerfrequenz-Signalspektren vorzunehmen.

- Zur Erläuterung des Begriffes "Moment", wie er hier zu verstehen ist, wird folgendes ausgeführt: In der
25 Wahrscheinlichkeitstheorie entspricht das "erste Moment" dem Mittel- bzw. Erwartungswert einer Verteilungsfunktion einer Zufallsvariablen, im vorliegenden Fall ist diese "Zufallsvariable" die Dopplerfrequenz. Da das nullte Moment eines Spektrums- oder präziser ausgedrückt, eines Leistungsdichte-Spektrums nicht, wie im Falle einer statistischen Wahrscheinlichkeitsverteilungs-Funktion den dimensionslosen Wert 1 aufweist, muß das erste Moment eines solchen Spektrums auf das nullte Moment bezogen werden, also der Quotient aus erstem
30 und nulltem Moment gebildet werden, um den Mittelwert wiederum in der Dimension einer Frequenz zu erhalten.

- Um zu möglichst reproduzierbaren Resultaten und damit einer Widerspiegelung der realen Verhältnisse in Partikel-Fluid-Strömen zu gelangen, ist es von Vorteil, jeweils Mittelwerte der mittleren Frequenzen und/oder Streufaktoren aus einer Mehrzahl von jeweils an den gleichen einzelnen diskreten Volumsbereichen des
35 Mediumsstromes zu Zeitpunkten gleicher Phasenlage bei pulsierenden Strömungen (z. B. "herzschlagsynchron"), erhaltenen Dopplerfrequenz-Signalspektren zu ermitteln und der Berechnung der jeweiligen Teilchengeschwindigkeiten und -größen zugrunde zu legen. Dadurch läßt sich auch eine weitgehende Unabhängigkeit von Schwankungen im strömenden System und insbesondere einzelner Meßwerte erzielen. Wenn, wie gemäß einer vorteilhaften Variante der Erfindung vorgesehen, die aus den Dopplerfrequenz-Signalspektren jedes der vom Schallstrahl erfaßten Volumsbereiche des Mediumsstromes jeweils ermittelten
40 mittleren Frequenzen und/oder Streufaktoren durch Mittelung aus diesen genannten Größen plus den aus jeweils örtlich, z. B. rechts und links, benachbarten Volumsbereichen stammenden und ermittelten mittleren Frequenzen und/oder Streufaktoren korrigiert werden, lassen sich Resultatsverfälschungen infolge von Ausreißern und dgl. verringern.

- Eine besonders genaue, weil Volumsbereiche sehr geringer Ausdehnung schärfer erfassende, synchrone
45 Bestimmung von Geschwindigkeit und Größe der Teilchen jeweils identischer Volumsbereiche läßt sich gemäß einer Ausführungsform erzielen, die vorsieht, daß in das zu untersuchende, Partikel enthaltende, strömende fluide Medium periodisch Ultraschall-Pulse sich kontinuierlich verändernder, vorzugsweise monoton steigender oder fallender Frequenz und konstanter Dauer gesendet werden und die von den rückgestreuten Ultraschall-Pulsen erhaltenen elektrischen Empfangssignale nach ihrer Verstärkung einer Pulskompression unterworfen werden. Die
50 Technik der Pulskompression ist aus der RADAR-Technologie bekannt.

- Was nun bevorzugte Variationen der in ihren Grundelementen schon vorher charakterisierten erfindungsgemäßen Einrichtung für Rheologie-Untersuchungen der beschriebenen Art betrifft, so hat es sich im
Hinblick auf die oft zum Verständnis bis jetzt nicht geklärter Effekte ganz wesentliche Erfassung von Kurzzeit-Vorgängen in Mediumsströmen als besonders vorteilhaft erwiesen, wenn die Einheit (12) zur Umwandlung der
55 vom Mischer (8) stammenden Dopplerfrequenz-Signale mindestens einen Fast-Fourier-Prozessor aufweist.

- Im Sinne einer vereinfachten Datenübernahme und -verarbeitung ist es von besonderem Vorteil, wenn die obengenannten Einrichtungen zur Extraktion der mittleren Frequenzen aus den Signalspektren und synchronen Ermittlung der Streufaktoren jeweils aus identischen Spektren (131), (132) sowie zur Auswertung (14) als Rechner-Einheit mit Algorithmen zur Ermittlung der in den einzelnen örtlich unterschiedlichen Volumsbereichen
60 im Fluid-Strom (6) auftretenden Teilchengeschwindigkeiten aus den genannten mittleren Frequenzen sowie zur Ermittlung der von der örtlichen Lage im Strom (5) abhängigen Dimensionen der Partikel aus den genannten Streufaktoren ausgebildet ist.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Variante, welche eine Verbesserung der Genauigkeit der Bestimmung der Geschwindigkeitsgradienten im Gebiet ihres steilen Anstiegs etwa in Randnähe der Strömung, und damit des für eine Partikelagglomeration bzw. Agglomerats-Desintegration so wesentlichen Schergrades bringt, können die Einheiten (13) und (14) zur Signalspektren-Analyse und Auswertung vorteilhaft einen Algorithmus zur Rückfaltung der erfindungsgemäß erzielbaren Teilchengeschwindigkeits-Profile zur verbesserten Ortsauflösung des Schergrades aufweisen.

Wenn in besonders bevorzugter Weise bei der neuen Einrichtung vorgesehen ist, daß ihr Sender (3) einen Expander zur periodischen Abgabe von Ultraschall-Pulsen vorgegebener Dauer und während dieser Dauer vorzugsweise monoton sich verändernder Frequenz und der Verstärker (7) einen Kompan der zur digitalen Puls-Kompression aufweist, wie das an sich aus der RADAR-Technik bekannt ist, werden die schon vorerwähnten Vorteile höherer Genauigkeit der Resultate noch gesteigert. Bei dieser Ausführungsvariante ist es wegen der überraschend hohen Zuverlässigkeit besonders ratsam, vorzusehen, daß der Expander des Senders (3) und der Kompan der des Verstärkers (7) durch Oberflächenwellenfilter gebildet sind.

Anhand der Zeichnung sei die Erfindung näher erläutert, wobei Fig. 1 schematisch den Aufbau einer erfindungsgemäß konzipierten Einrichtung und Fig. 2 ein Beispiel für eine erfindungsgemäß erzielbare synchrone Ausgabe der Rheologiedaten zeigt:

Die Fig. 1 zeigt, einen von einem Oszillator (2) gespeisten und von einem mittels Steuerung (1) über eine Leitung (23) mittels Steuerimpulsen kontrollierten Sender (3) angeregten und über eine Weiche (6) versorgten, Ultraschallwandler (4), der in einem Winkel zwischen 0 und kleiner als 90° zum Verlauf des Fluid-Stromes (5) durch Pausen getrennte Ultraschallbursts vorgegebener Frequenz und Dauer in den die zu untersuchenden sich bewegende Teilchen enthaltenden Fluid-Strom (5) abstrahlt. Von den Partikeln im Fluid-Strom (5) wird ein Anteil der Schallenergie mit infolge Dopplereffekt veränderter Frequenz rückgestreut. Ein Teil davon wird in den Sendepausen vom Ultraschallwandler (4) empfangen. Die dort empfangenen Rückstreu-Bursts werden in den Sendepausen über die Weiche (6) an einen Verstärker (7) weitergegeben, wonach die so erhaltenen elektrischen Signale im Mischer (8) zur Strömungsrichtungserkennung mit den um 90° phasenverschobenen, über Leitungen (21), (22) zugeführten Signalen des Oszillators (2) multipliziert werden. Nach Eliminierung hochfrequenter Mischprodukte mittels Tiefpaßfilter (9) erhält man für die Dauer des empfangenen "Echo"-Bursts ein Signal, das hauptsächlich durch die Phasenlage des Empfangsbursts relativ zur hauptsächlich durch die Phasenlage des Empfangsbursts relativ zur Phasenlage des Oszillators (2) bestimmt ist. Dieses Signal wird von der im Burst-Sendetakt arbeitenden Abtast-Einrichtung (10) insbesondere einem Analog-Digital-Wandler mit - den jeweiligen Ortslagen der untersuchten kleinen Volumsbereiche im Strom ("Meßtiefen") entsprechenden - vorgegebenen Verzögerungen gegenüber den Sendepuls-Beginn-Zeitpunkten abgetastet. Da sich im Fluid-Strom (5) ein beobachtetes Teilchen in einem bestimmten örtlichen Lagebereich geringer Ausdehnung mit bestimmter Geschwindigkeit bewegt, verändert sich sein Abstand zum Ultraschallwandler (4) mit dieser Geschwindigkeit. Durch diese Abstandsänderung ist auch die Phasenlage des empfangenen Bursts relativ zum Oszillator (2) bei jedem Sendepuls eine andere. Der ebenfalls von der Steuerung (1) über Leitung (25) mit Steuerimpulsen versorgbare Analog-Digital-Wandler (10) liefert zu jedem Abtastzeitpunkt einen anderen Wert. Die zur Auslösung der jeweiligen Abtastung notwendigen Impulse werden von der Steuerung (1) streng synchron von der Frequenz des mit dieser Steuerung (1) über eine Leitung (24) verbundenen Oszillators (2) abgeleitet generiert. Diese getaktet getasteten Werte bilden die, die Information über die Größe des Dopplerfrequenz-Signale. Deren Frequenz ist gleich der Doppler-Frequenz-Verschiebung, die ein an einer mit der vorerwähnten Geschwindigkeit des betrachteten Teilchens des Stromes (5) bewegten Fläche reflektiertes Signal der ursprünglichen Frequenz des Senders (3) erfährt. Durch Bestimmung der Frequenz der Dopplerfrequenz-Signale können unter Heranziehung von mathematischen Funktionen, z. B. Dopplerbeziehung, Geschwindigkeiten der Partikel an den verschiedenen Stellen des Stromes (5) errechnet werden. Im gezeigten vielkanaligen Ultraschall-Dopplergerät erfolgt die Abtastung der genannten Signale im A/D-Wandler (10) zu sehr vielen Zeitpunkten. Mit jeder der oben genannten Verzögerungen der Abtastung gegenüber dem jeweiligen Beginn des Sendepulses wird im Grunde ein Dopplerfrequenz-Signalspektrum mit jenen Frequenzanteilen gemessen, die den Strömungsgeschwindigkeiten in den jeweils interessierenden "Meßtiefen" im Fluid-Strom (5) entsprechen. Um nun letztlich Geschwindigkeitsprofile, also Verläufe der Geschwindigkeit über größere Bereiche der Meßtiefen zu erhalten, müssen die Frequenzen aller dieser Dopplerfrequenz-Signale praktisch simultan bestimmt werden. Damit neben dem Betrag auch die Richtung der Geschwindigkeit bestimmt werden kann, kann die Mischung im Mischer (8) auch nicht nur mit dem Sendesignal erfolgen. Mischer (8) und Tiefpaßfilter (9) bilden einen Quadraturdemodulator, der zwei Ausgangssignale liefert, die um plus oder minus 90° zueinander phasenverschoben sind. Je nach Vorzeichen der Phasenverschiebung kann die Geschwindigkeit der Partikel im Strom (5) als positiv oder negativ erkannt werden. Die von der Abtasteinheit (10) getasteten Signale sind in ihrer Ausbildung und Form infolge verschiedener Faktoren, wie räumliche Ausdehnung des Wandlers (4) und damit des untersuchten örtlich festgesetzten Volumsbereiches im Fluid-Strom (5), endliche Dauer der gesendeten Bursts, Geschwindigkeits-Unterschiede der bewegten Partikel innerhalb des jeweils abgetasteten Volumsbereiches, Transitzeiteffekte, Turbulenz, Radialmigration der Partikel sowie Reflexionen von gegebenenfalls sich bewegenden Strukturen, z. B. Gefäßwänden, und sonstiges Rauschen meist stärker verändert. Bei der hier gezeigten Variante der Erfindung, welche den großen Vorteil einer digitalen Verarbeitbarkeit in einem Computer

mit hoher Geschwindigkeit hat, können sie mitberücksichtigt werden. In einer Einrichtung (11) zur Speicherung werden die abgetasteten Doppler-Echo-Signale in einer den jeweils betrachteten Tiefenlage-Bereich des Teilchenstromes (5) entsprechenden vorgegebenen Anzahl von Kanälen gespeichert. Von dort werden, die Wellenzügen mit Zeitabszisse entsprechenden Dopplerfrequenz-Signale der einzelnen Kanäle einer auf Basis eines Fast-Fourier-Prozessors aufgebauten, im wesentlichen einem Signalspektren-Analysator entsprechenden, Einrichtung (12) zugeführt, wo die Umwandlung der hereinkommenden Dopplerfrequenz-Signale aus jeder Tiefenlage im Partikelstrom in entsprechende Dopplerfrequenz-Signalspektren erfolgt. Aus diesen Spektren werden im an den Analysator (12) angeschlossenen Teil (131) der Einheit (13) für jeden Meßtiefen-Volumsbereich eine mittlere (charakteristische) Frequenz, - die letztlich eine Information über die Teilchengeschwindigkeit in jeder Tiefenlage implizit enthält - und in der Teileinrichtung (132) im wesentlichen synchron bzw. parallel dazu für jeden der jeweils identischen Volumsbereiche ein der Leistung des durch die Teilchen rückgestreuten Schalles entsprechender Streufaktor, der die Informationen über Größe und Gestalt der Partikel enthält, auf Basis von entsprechenden Rechenprogrammen ermittelt. Dabei können mithilfe von Korrekturprogrammen jeweils auf Basis der entsprechenden mittleren Frequenzen und Streufaktoren von dem gerade in der Auswertung befindlichen örtlich definierten Volumsbereich - z. B. rechts und links benachbarten Volumsbereichen Meßergebnisverfälschungen, z. B. "Ausreißer" unterdrückt werden, was zur Glättung der letztlich erhaltenen Profile beiträgt. Es können aber auch die Resultate von mehreren, die beiden einander zugeordneten, jeweils identischen Meßtiefen im Strom (5) entsprechenden, Daten bezüglich mittlerer Frequenz und Streufaktor ermittelnden Messungen zu Zeitpunkten gleicher Phasenlage bei periodischen Vorgängen (z. B. herzschragsynchron gemittelt werden. In der Auswerteeinheit (14) können neben der ortslagebereichs-synchronen Auswertung und eventuellen Mittelung von mittleren Frequenzen und Streufaktoren Teilchengeschwindigkeits-Profile des Stromes und jeweils exakt synchrone Profile, der Dimensionen der Partikel bzw. Partikel-Aggregate bzw. weiters ortssynchrone Geschwindigkeitsgradienten - also Schergrad-Profil sowie sogar Aussagen über die momentane Gestalt der aggregierenden Teilchen an ganz bestimmten Stellen des Stromes (5) gewonnen werden. Damit lassen sich auch eventuelle Viskositätsänderungen über den Stromquerschnitt angeben.

Jeweils beide der in der Auswerteeinheit (14) ermittelten Datenströme mit den Informationen über Geschwindigkeit und Größe der Teilchen werden schließlich an eine zur Akkumulation von Daten geeignete Speicher- und Ausgabe-Einheit (15), z. B. Bildschirm und/oder Drucker weitergegeben und von diesen zur Verfügung gestellt. Gegebenenfalls können sie auch einer Prozeßsteuerungs-Einheit zugeführt werden.

Die gezeigte Einrichtung wurde beispielsweise an einer Modellströmung mit Blut mit einer Sendefrequenz von 10 MHz, einer Burst-Länge von 0,5 μ s und einer Pulsrepetitions-Frequenz von 15,6 kHz betrieben, es wurden 45 jeweils aneinandergrenzenden "Meßtiefen"-Bereichen entsprechende, mit 8 bit digitalisierte Kurzzeitspektren gewonnen. Die Taktfrequenz der Steuerung (1) betrug 32 MHz, für die Auswertung (13), (14) diente ein Satz von vier parallel geschalteten TMS 32010-Signalprozessoren.

Es konnten jeweils alle 16 ms tiefenlage- bzw. volumsbereich-synchrone Profile der Blutpartikel-Geschwindigkeit und der lageabhängigen Größe der Zellstrukturen im Querschnitt der untersuchten Strömung gewonnen und am Bildschirm der Ausgabeeinheit (15) dargestellt und durch Ausdrucken festgehalten werden. Damit wurde es möglich, die komplexen rheologischen Vorgänge in einem bestimmten Abschnitt des Partikel-Stromes mit ausreichender Zeitauflösung und aussagekräftiger Genauigkeit zu gewinnen.

Eine Eichung und Normierung der erfindungsgemäßen Einrichtung kann z. B. durch Untersuchung von Suspensionen mit Polystyrol-Kügelchen mit geringem Durchmesser und bekannter Größenverteilung in Wasser-Glycerin-Gemischen bei niedrigen Volumenkonzentrationen erfolgen.

Die Fig. 2 zeigt anhand eines auf Basis einer Drucker-Ausgabe schematisierten Schaubildes mit der erfindungsgemäßen Einrichtung erhaltene einander zugeordnete Profile der Geschwindigkeits- sowie der Teilchengrößen-Verteilung proportionalen Streufaktoren über den Querschnitt einer Rohrleitung mit 6 mm Innenradius. In den Diagrammen (a), (b) und (c) sind auf der Abszisse die Kanäle ausgehend von einer Wand mit je 0,375 mm Tiefe, auf linken Ordinate die Teilchengeschwindigkeit in mm/s, der Schergrad in 1/s und der Streufaktor in $10^{-7} \text{ mm}^{-1} \text{ sr}^{-1}$, und auf der rechten Ordinate die Aggregatgröße in Faktoren mal der Grunddimension 2 μ m angegeben. Das Teilbild (a) gibt eine nicht außergewöhnliche etwa parabolische Geschwindigkeitsverteilung vierter Ordnung der Partikel wieder, das Teilbild (b) zeigt den daraus berechneten Schergrad und Teilbild (c) den mit der Teilchengröße sich ändernden Streufaktor. Teilbild (c) läßt erkennen, wie die Aggregatgröße von der Mitte der Strömung weg bis zum ersten Minimum abnimmt. Der als kurzzeitiger Anstieg der Kurve sich manifestierende, als quasikristallin bezeichnete Zustand der Längsstellung der Erythrozyten im Gebiet des höchsten Schergrades ist eindeutig zu bemerken.

PATENTANSPRÜCHE

5

1. Verfahren zur, bevorzugt berührungslosen, Untersuchung der rheologischen Verhältnisse in einem Strom eines
 10 zumindest zweiphasigen, eine Vielzahl von Partikeln enthaltenden fluiden Mediums, wobei in den Fluidstrom
 periodisch Ultraschall-Pulse vorgegebener Frequenz und Dauer gesendet werden und die von den bewegten
 Teilchen rückgestreuten, infolge Doppler-Effektes hinsichtlich ihrer Frequenz veränderten Ultraschall-Echo-Pulse
 in elektrische Empfangssignale umgewandelt, verstärkt, mit dem den gesendeten Pulsen zugrundeliegenden Signal
 15 gemischt werden, und die so gebildeten, die Information über die Doppler-Frequenzverschiebung enthaltenden
 Signale mit einer - einer Mehrzahl von vorzugsweise örtlich nebeneinander liegenden, diskreten Volumsbereichen
 zumindest eines Teiles eines Schnittes quer zum Strömungs-Verlauf entsprechenden - Anzahl vorgegebener,
 schrittweise sich ändernder Zeit-Verzögerungen gegenüber dem jeweiligen Sendeimpulsbeginn abgetastet werden,
 und die für jede der Zeit-Verzögerungen nach Umwandlung der Dopplerfrequenz-Signale erhaltenen
 20 Dopplerfrequenz-Signalspektren in einer den genannten diskreten Volums-Bereichen bzw. Zeitverzögerungen
 entsprechende Mehrzahl von Kanälen gespeichert, und ausgewertet werden, und schließlich die erhaltenen Daten
 an eine Speicher- und/oder Ausgabe-Einheit abgegeben werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei der
 Auswertung aus der Mehrzahl der jeweils von ein und demselben der schrittweise abgetasteten, diskreten
 Volumsbereiche des Partikelstromes erhaltenen Dopplerfrequenz-Signalspektren volumsbereich-synchron jeweils
 25 sowohl eine charakteristische, mittlere Frequenz als auch ein Streufaktor ermittelt bzw. extrahiert werden, und daß
 für jeden der genannten Volumsbereiche aus der gewonnenen mittleren Frequenz eine mittlere Geschwindigkeit der
 Teilchen sowie dieser zugeordnet, aus dem ermittelten Streufaktor jeweils die Größe und/oder Gestalt der im
 gleichen Volumsbereich befindlichen Teilchen und/oder Teilchenaggregate ermittelt werden, und daß diese jeweils
 einander zugeordneten Werte einer Speicher- und/oder Ausgabe-Einheit zugeführt werden und von dieser, einander
 zugeordnet, bevorzugt in Form von Teilchengeschwindigkeits- und Teilchengröße-Profilen, ausgegeben werden.

30

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Überführung der Dopplerfrequenz-Signale in
 die Dopplerfrequenz-Signalspektren mittels Hochgeschwindigkeits (Fast)-Fourier-Transformation (FFT) und die
 Ermittlung der mittleren Frequenzen jedes der genannten, den einzelnen Volumsbereichen des Mediumsstrom-
 Querschnittes entstammenden Signalspektren mittels Signalprozessoren on line vorgenommen wird.

35

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Ermittlung bzw. Extraktion der
 mittleren Frequenzen jeweils auf Basis von Quotientenbildung aus erstem und nullem Moment der
 Dopplerfrequenz-Signalspektren vorgenommen wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß Mittelwerte der mittleren
 Frequenzen und Streufaktoren aus einer Mehrzahl von jeweils an den gleichen einzelnen diskreten
 Volumsbereichen des Mediumsstromes zu Zeitpunkten gleicher Phasenlage bei pulsierenden Strömungen
 ermittelten Dopplerfrequenz-Signalspektren ermittelt und der genannten kombinierten Ermittlung der
 Teilchengeschwindigkeit und -größe zugrundegelegt werden.

45

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die aus den Dopplerfrequenz-
 Signalspektren jedes der vom Schallstrahl erfaßten Volumsbereiche des Mediumsstromes jeweils ermittelten
 mittleren Frequenzen und/oder Streufaktoren durch Mittelung aus den genannten Größen plus den aus den jeweils
 örtlich benachbarten Volumsbereichen stammenden und ermittelten mittleren Frequenzen und/oder Streufaktoren
 50 korrigiert werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß in das zu untersuchende,
 Partikel enthaltende, strömende fluide Medium periodisch Ultraschall-Pulse sich kontinuierlich verändernder,
 vorzugsweise monoton steigender oder fallender Frequenz und konstanter Dauer gesendet werden und die
 55 elektrischen Empfangs-Signale nach ihrer Verstärkung einer Pulskompression unterworfen werden.

7. Einrichtung zur bevorzugt berührungslosen Untersuchung der rheologischen Verhältnisse in einem Strom
 eines zumindest zweiphasigen, eine Vielzahl von Partikeln enthaltenden fluiden Mediums, insbesondere von
 strömenden physiologischen Flüssigkeiten, beispielsweise Blut, nach einem der Ansprüche 1 bis 6 mit einem
 60 von einem mittels von der Steuerung über Leitung zugeführten Impulsen steuerbaren Sender mit Oszillator über
 eine Weiche speisbaren, periodisch Ultraschall-Pulse vorgegebener Frequenz und Dauer abgebenden, schräg mit
 bekanntem Winkel in den Fluid-Mediums-Strom richtbaren und die von den Partikeln in einer Mehrzahl von

kleinen Volumsbereichen eines Schnittes quer zum Fluid-Strom rückgestreuten Pulse aufnehmenden Ultraschall-Wandler, der über die Weiche und einen Verstärker mit einer über Leitungen mit dem Oszillator verbundenen Mischer zum Mischen der elektrischen Empfangssignale des Wandlers zur Strömungsrichtungserkennung mit zwei um 90° phasenverschobenen Oszillator-Grundsignalen verbunden ist, welcher seinerseits mit einer mittels
 5 von der Steuerung über eine Leitung zugeführten Impulsen steuerbaren Einheit, z. B. Analog-Digital-Wandler, zur getakteten Abtastung der Dopplerfrequenz-Signale mit einstellbarer Zeit-Verzögerung bezogen auf den Beginn der vom Wandler abgestrahlten Ultraschall-Pulse verbunden ist, an welche Abtasteinheit eine Einrichtung zum mehrkanaligen Speichern der Dopplerfrequenz-Signale angeschlossen ist, die ihrerseits mit einer Einrichtung zur Umwandlung der einzelnen Dopplerfrequenz-Signale in Dopplerfrequenz-Signalspektren und einer Einrichtung zur
 10 Extraktion von jeweils mittleren Frequenzen aus den Spektren verbunden ist, die schließlich über eine Auswerte-Einheit zur Umwandlung der extrahierten mittleren Frequenzen in Teilchengeschwindigkeits-Werte an eine Einheit für die Speicherung und/oder Ausgabe dieser Werte angeschlossen ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Einrichtung (12) zur Erstellung der einzelnen dem Zeittakt entsprechenden Dopplerfrequenz-Signalspektren mit einer Einrichtung (13) verbunden ist, welche eine Teileinrichtung (131) zur Extraktion der jeweiligen
 15 mittleren Frequenzen aufweist, die mit einer ihr zugeordneten Teileinrichtung (132) zur Ermittlung des Streufaktors aus dem jeweils gleichen Dopplerfrequenz-Signalspektrum im wesentlichen synchron arbeitend verbunden ist, welche Teileinrichtungen (131) und (132) ihrerseits über eine Auswerte-Einheit (14) an eine Einrichtung (15) zur einander zugeordneten synchronen Speicherung und/oder Anzeige von Geschwindigkeit und Größe der Teilchen des Stromes (5) bevorzugt in Form von Profilen dieser Werte über zumindest einen Teil des Strömungsquerschnittes angeschlossen ist.

8. Einrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Einrichtung (12) zur Überführung der Dopplerfrequenz-Signale in die Dopplerfrequenz-Signalspektren mindestens einen Fast-Fourier-Prozessor aufweist.

9. Einrichtung nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Einrichtungen (13), (14), als Rechner-Einheit mit Algorithmen zur Ermittlung der in den einzelnen örtlich unterschiedlichen Volumsbereichen im Fluid-Strom (5) auftretenden Teilchengeschwindigkeiten aus den genannten mittleren Frequenzen sowie zur Ermittlung der von der örtlichen Lage im Strom (5) abhängigen Dimensionen der Partikel aus den genannten Streuquerschnitten ausgebildet sind.

10. Einrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Einrichtungen einen Algorithmus zur Rückfaltung der genannten Geschwindigkeitsprofile zur verbesserten Ortsauflösung des Schergrades aufweisen.

11. Einrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Sender (3) einen Expander zur periodischen Abgabe von Ultraschall-Pulsen vorgegebener Dauer und während dieser Dauer, vorzugsweise monoton, sich verändernder Frequenz und der Verstärker (7) einen Kompan der digitalen Puls-Kompression aufweist.

12. Einrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Expander des Senders (3) und der Kompan der Verstärkers (7) als Oberflächenwellenfilter ausgebildet sind.

Hiezu 1 Blatt Zeichnung

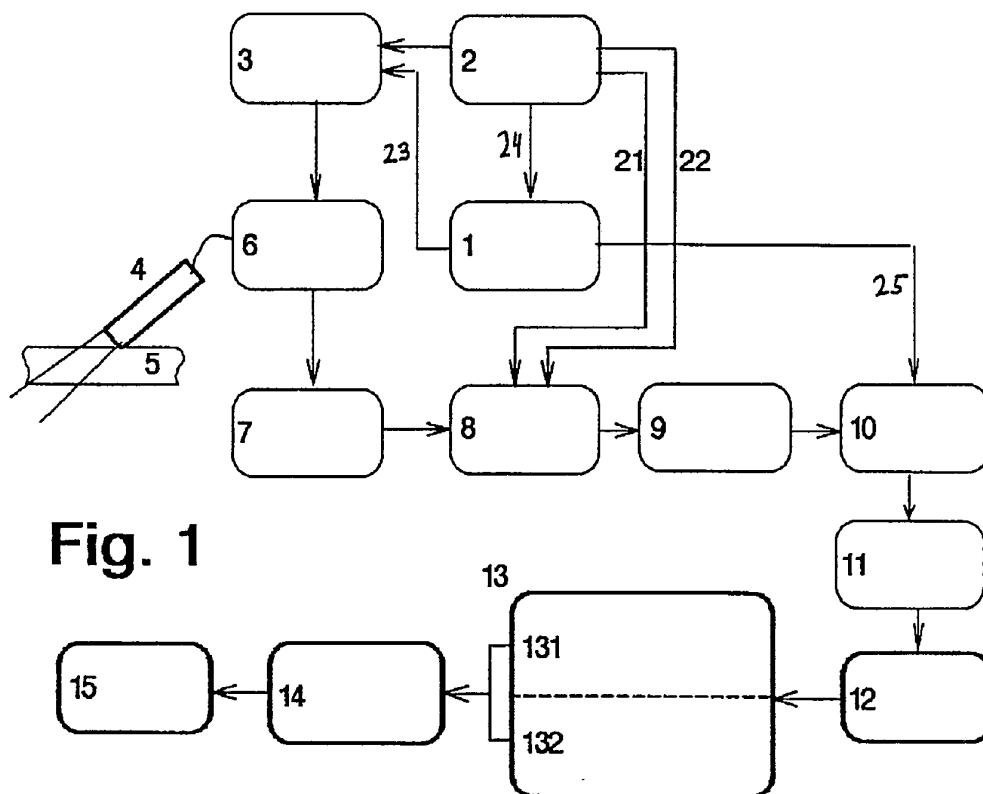


Fig. 1

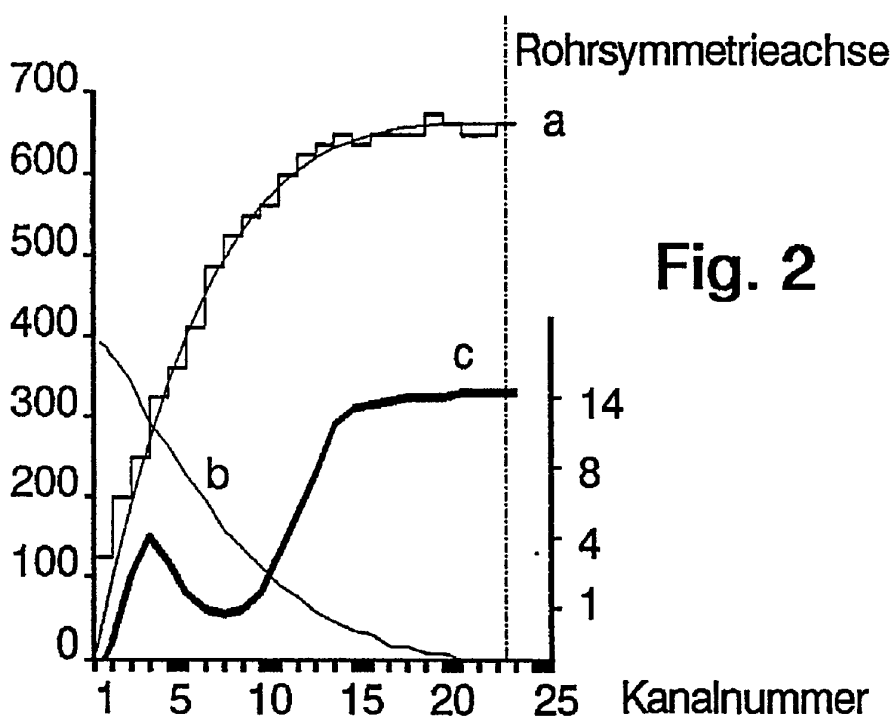


Fig. 2