



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH

705 730 A1

(51) Int. Cl.: G01F 1/42 (2006.01)
G05D 7/06 (2006.01)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 01785/11

(22) Anmeldedatum: 03.11.2011

(43) Anmeldung veröffentlicht: 15.05.2013

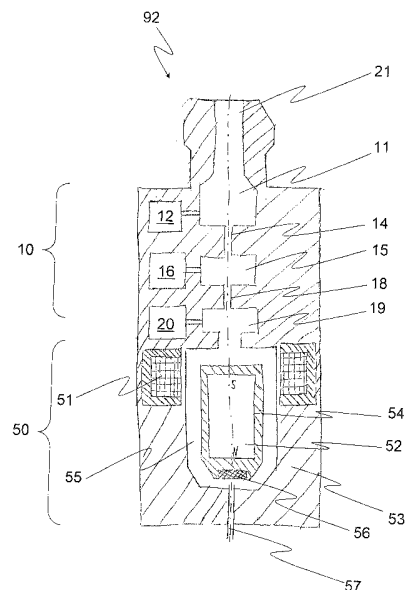
(71) Anmelder:
ReseaChem GmbH, Pestalozzistrasse 16
3400 Burgdorf (CH)

(72) Erfinder:
Stefan Berger, 3400 Burgdorf (CH)
Simon Zumbrunnen, 3018 Bern (CH)
Philip Marmet, 3048 Worblaufen (CH)
Philipp Haslebacher, 3400 Burgdorf (CH)
Manfred Schär, 3400 Burgdorf (CH)

(74) Vertreter:
Rentsch Partner AG, Fraumünsterstrasse 9 Postfach 2441
8022 Zürich (CH)

(54) Durchflusssensor.

(57) Es wird ein Durchflusssensor (10) vorgeschlagen, insbesondere zum einmaligen Gebrauch, mit mindestens drei hintereinander angeordneten Messkammern (11, 15, 19), die jeweils durch einen Strömungswiderstand miteinander verbunden sind. Mindestens zwei der Strömungswiderstände weisen einen unterschiedlichen Druckverlustbeiwert auf. Für jede Messkammer ist ein Druckmessmittel (12, 16, 20) vorgesehen, welches dazu geeignet ist, den Druck in der Messkammer zu messen. Dem Durchflusssensor kann eine elektromagnetisch betätigbare Ventilverrichtung (50) nachgeschaltet sein.



Beschreibung**TECHNISCHES GEBIET**

[0001] Die Erfindung betrifft Durchflusssensoren mit mindestens drei hintereinander angeordneten Messkammern, die jeweils durch einen Strömungswiderstand fließend miteinander verbunden sind, wobei mindestens zwei der Strömungswiderstände einen unterschiedlichen Druckverlustbeiwert aufweisen. Die Erfindung betrifft weiter Dosiervorrichtungen mit solchen Durchflusssensoren, sowie Verfahren zur Bestimmung eines Volumenstroms und/oder einer Viskosität eines Fluids mit solchen Durchflusssensoren.

STAND DER TECHNIK

[0002] Bei der Kultivierung von Mikroorganismen ist es wichtig, Nährmedien exakt und mit bestimmten Dosieraten dem Reaktionsgefäß zuzuführen. Für grössere Bioreaktoren (> 500 L, Dosierate > 1 kg/h) werden dazu Dosierpumpen oder Waagen verwendet.

[0003] In der internationalen Anmeldung Nr. PCT/EP2011 /052 545 der Anmelderin ist ein vorteilhaftes Dosiersystem zur Zudosierung von Fluiden in Reaktionsgefässe beschrieben. Der Inhalt der genannten Anmeldung soll hiermit durch Referenz als Bestandteil dieser Beschreibungsunterlagen gelten. Bei dem genannten Dosiersystem erfolgt die Zudosierung in Reaktionsgefässe tropfenweise mit Hilfe einer geeigneten Dosiervorrichtung, bspw. einem elektromagnetisch angesteuerten Präzisionsventil. Die geforderte Dosiergenauigkeit wird dadurch erreicht, dass der Differenzdruck über der Dosiereinheit sehr genau geregelt wird, indem zusätzlich über ein Dosieratenbestimmungsmittel wie eine Waage oder ein Durchflusssensor die tatsächliche Dosierate überwacht und entsprechend der Differenzdruck nachgeregelt wird. Die sehr genaue Regelung des Differenzdrucks ist unter anderem notwendig, weil die bei einer bestimmten Öffnungsdauer des Ventils und einem bestimmten Fluidruck resultierende Tropfengrösse von der Viskosität des Fluids abhängig ist, und damit auch von der Temperatur.

[0004] Weiter sind bei diesem Dosiersystem die Dosiervorrichtung und das Dosieratenbestimmungsmittel separat und nicht zwingend in räumlich konstanter Position zueinander angeordnet sind, was durch die resultierenden undefinierten hydrostatischen Druckunterschiede die Differenzdruckregelung beeinflusst. Um über längere Zeiträume exakte Dosieraten sicherzustellen, müssen diese Effekte gegebenenfalls berücksichtigt werden. Dies führt zu einer komplexen Regelung.

[0005] Ein aus dem Stand der Technik bekannter Durchflusssensor zur Messung von kleinen Durchflussraten im Mikroliterbereich ist beispielsweise der sog. MEMS Durchflusssensor der Fa. Seyonic, CH-2000 Neuchâtel, Schweiz. Dieser Durchflusssensor wird in Pipetiersystemen eingesetzt und umfasst einen Messkanal, einen piezoresistiven Drucksensor und einen Temperatursensor. Der Nachteil an diesem Durchflusssensor ist, dass die gemessenen Durchflussraten aufgrund von dynamischen Viskositätseinflüssen abhängig von der Temperatur sind und zusätzlich zum Durchfluss auch die Temperatur respektive die Viskosität des zu messenden Fluids berücksichtigt werden muss. Es ist entsprechend notwendig, den Durchflusssensor vor der Messung zu kalibrieren.

[0006] In der Dissertation «Durchflusssensoren aus Kunststoff für sehr kleine Volumenströme auf Basis des AMANDA-Verfahrens» von Dipl. Ing. Dirk Maria Dittmann, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe, 2002, wird ein temperaturunabhängiger Durchflusssensor vorgestellt. Bei diesem Durchflusssensor werden zwei Messkammern hintereinander geschaltet, wobei in jeder der beiden Messkammern eine elastische Membran angeordnet ist, die ein Mittelloch aufweist. Die beiden hintereinander angeordneten Membranen sind beweglich in der Messkammer angeordnet, unterschiedlich dick und fungieren als Strömungswiderstände. Der zu messende Fluidvolumenstrom tritt in die erste Messkammer, passiert das Mittelloch der ersten Membran, tritt über in die zweite Messkammer und passiert das Mittelloch der zweiten Membran. Der Druckverlust über jede Membran wird ermittelt, indem die Dehnung der Membran elektronisch gemessen und aus dieser Dehnung der Druckunterschied bestimmt wird. Der Einfluss, den die erste Membran beim Durchströmen der Flüssigkeit auf die zweite Membran ausübt, wird nicht berücksichtigt. Die Druckverlustbeiwerte ξ_1 und ξ_2 für die Strömung durch die Membranöffnungen werden gleichgesetzt. Durch das Hintereinanderschalten der beiden Membranen, die als Strömungswiderstände dienen, soll der Fluidvolumenstrom unabhängig von der Viskosität, und damit unabhängig von der Temperatur gemessen werden können. Die Ableitung der theoretischen Formel für den Zusammenhang der temperaturunabhängigen Durchflussmessung ist in der vorgängig erwähnten Dissertation, ab S. 26 erläutert. Der Inhalt dieses Dokuments soll hiermit durch Referenz als Bestandteil dieser Beschreibungsunterlagen gelten.

[0007] In der Dissertation «Durchflussmessung kleinster Flüssigkeitsmengen» von Dipl. Ing. Götz Schnell, Darmstadt, 1995, wurden verschiedene Messverfahren zur Anwendbarkeit bei der Messung des Durchflusses kleinster Flüssigkeitsmengen untersucht. In Kapitel 8.4 der Dissertation «Durchflussmessung durch Messen des Druckabfalls in geraden Rohren» wird die Herleitung der theoretischen Formel für den Druckverlust über einen kanalförmigen Strömungswiderstand dargestellt. Der Inhalt dieses Kapitels soll hiermit durch Referenz als Bestandteil dieser Beschreibungsunterlagen gelten. In der Dissertation werden verschiedene Lösungsmöglichkeiten diskutiert, um den Einfluss, den eine Drosselung der Strömung als Anteil am Druckabfall über einem Rohrabschnitt hat, zu reduzieren, um eine exaktere Messung zu ermöglichen. Im vorgeschlagenen Messprinzip wird ein gerader Rohrabschnitt so gestaltet, dass zwei Kapillaren dicht hintereinander angeordnet sind. Die erste Kapillare dient zur Ausbildung des Strömungsprofils, und damit und zur Reduktion des Druckabfalls aufgrund der Drosselung beim Einlauf in die zweite Kapillare. Die zweite Kapillare stellt eine Messkapillare dar,

über die der Druckabfall gemessen wird. Der gesamte Druckabfall über dem Rohr setzt sich aus dem weitmöglichst reduzierten Anteil der Drosselung und aus dem Anteil der Reibung zusammen. Bei diesem Reibungsdruck handelt es sich um eine viskositäts-, bzw. temperaturabhängige Grösse. Die in der Dissertation vorgeschlagene Konfiguration erlaubt, den Druckanteil der Drosselung des zu messenden Fluids zu minimieren, um so im Wesentlichen nur den Reibungseffekt zu messen. Der gemessene Druckabfall ist weiterhin abhängig von der Viskosität und der Temperatur.

[0008] In der Biotechnologie werden sehr hohe Anforderungen an die Sterilität gestellt. Alle Komponenten müssen vor einem neuen Versuch bzw. Batch sterilisiert (z.B. autoklaviert) werden. Um dies zu umgehen und bei gleich hoher Qualität den Aufwand für die Reinigung und die notwendige Qualitätskontrolle zu reduzieren, wird vermehrt auf Einweg-Komponenten gesetzt (Single-Use bzw. Disposables). Diese werden steril zur Verfügung gestellt, eingebaut und anschliessend entsorgt. Präzise Dosiersysteme sind bisher nicht als Einwegkomponenten verfügbar, was ihren Einsatz als Einweg-Komponenten unwirtschaftlich macht.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0009] Aufgabe der Erfindung ist es einen Durchflusssensor zur Verfügung zu stellen, welcher kostengünstig hergestellt werden kann, vorzugsweise als Einweg-Produkt, und mit welchem kleine Flüssigkeitsmengen präzise gemessen werden können.

[0010] Eine andere Aufgabe der Erfindung ist es, einen Durchflusssensor zur Verfügung zu stellen, mit dem eine Durchflussrate eines Fluids ohne Kenntnis der exakten Viskosität und/oder Temperatur des Fluids gemessen werden kann, bzw. bei welchem keine vorangehende Eichung notwendig ist.

[0011] Ebenfalls eine Aufgabe der Erfindung ist es, eine Dosiervorrichtung zur Verfügung zu stellen, welche als kostengünstiges Einweg-Produkt hergestellt werden kann, und mit welcher kleine Fluidmengen präzise dosiert werden können. Vorteilhaft soll eine erfindungsgemässe Dosiervorrichtung es erlauben, das Volumen eines einzelnen zudosierten Tropfens zu messen.

[0012] Es ist eine weitere Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Verfügung zu stellen, mit dem es möglich ist, einen Volumenstrom eines Fluids zu messen ohne Kenntnis der Viskosität und/oder der Temperatur des Fluids, bzw. ohne vorangehende Eichung.

[0013] Diese und andere Aufgabe werden gelöst durch einen Durchflusssensor, eine Dosiervorrichtung und ein Verfahren gemäss den unabhängigen Ansprüchen. Bevorzugte Ausführungsarten der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen gegeben.

[0014] Ein erfindungsgemässer Durchflusssensor umfasst mindestens drei hintereinander angeordnete Messkammern, die jeweils durch einen Strömungswiderstand fliessend miteinander verbunden sind. Mindestens zwei der Strömungswiderstände weisen einen unterschiedlichen Druckverlustbeiwert ζ auf. Für jede Messkammer ist ein Druckmessmittel vorgesehen, welches dazu geeignet ist, den Druck p in der entsprechenden Messkammer zu messen.

[0015] Der erfindungsgemässe Durchflusssensor ist insbesondere zum einmaligen Gebrauch vorgesehen.

[0016] In einer vorteilhaften Ausführungsform eines erfindungsgemässen Durchflusssensors sind drei Messkammern seriell hintereinander angeordnet. Besonders vorteilhaft weist die mittlere der drei Messkammern ein kleineres Volumen auf als die anderen beiden Messkammern.

[0017] Aufgrund dieser Anordnung gelingt es, eine Austrittsöffnungen des ersten Strömungswiderstandes möglichst nahe an eine Eintrittsöffnung des zweiten Strömungswiderstandes heranzubringen. Der erste Strömungswiderstand beeinflusst den nachfolgenden Strömungswiderstand dahingehend, dass der austretende Fluidstrom sich in der zweiten Messkammer nicht vollständig ausbreiten und somit sein Strömungsprofil teilweise erhalten kann. Da der Fluidstrom quasi auf den zweiten Reibungskanal gerichtet ist, sinkt entsprechend Drosselungseffekt der Eintrittsöffnung, und der Druckverlustbeiwert ist geringer.

[0018] Die Strömungswiderstände sind vorteilhaft so ausgestaltet, dass sie je einen Reibungskanal mit einer bestimmten Länge L_1 , L_2 und einer bestimmten Querschnittsfläche A_1 , A_2 aufweisen. Die Längen L_1 und L_2 und/oder die Querschnittsflächen A_1 und A_2 der Reibungskanäle können gleich oder unterschiedlich gewählt werden. In einer vorteilhaften Ausführungsform weisen die Querschnittsflächen A_1 , A_2 einen Wert zwischen $0,03$ und $0,3 \text{ mm}^2$ auf, alternativ oder zusätzlich dazu ist die Länge L_1 , L_2 der Reibungskanäle kleiner als 2 mm .

[0019] Um den Durchflusssensor kosteneffizient herstellen zu können, werden kostengünstige und dennoch präzise Drucksensoren benötigt. Als Druckmessmittel in einem erfindungsgemässen Durchflusssensor geeignet sind beispielsweise Halbleiterdrucksensoren, insbesondere die Drucksensoren MPX2300DT1 und MPX2301DT1 der Fa. Freescale, Austin TX, USA (<http://www.freescale.com>).

[0020] Aufgrund des einfachen Aufbaus des Sensors kann der erfindungsgemässe Durchflusssensor spritzgegossen werden, vorzugsweise einstückig, und so möglichst kostengünstig hergestellt werden. Vorteilhaft wird der Durchflusssensor aus Kunststoff gefertigt.

[0021] In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung weist der Durchflusssensor eine der letzten Messkammer nachgeschaltete Ventilvorrichtung auf, vorzugsweise ein elektromagnetisch betätigbares Ventil. Durch diese vorteilhafte Anordnung gelingt es, den Durchfluss eines zu dosierenden Fluids möglichst nahe am Eintritt in die Ventilvorrichtung zu messen, und gegebenenfalls die Dosiervorrichtung nachzuregeln, sollte eine vom Benutzer eingestellte Dosierate nicht der tatsächlichen Dosierate entsprechen.

[0022] Durch die erfindungsgemässe Anordnung des Durchflusssensors mit der Ventilvorrichtung gelingt es bei Verwendung einer geeigneten Ventilvorrichtung unter anderem auch, einzelne Tropfen des Fluids zu dosieren, und dabei das Volumen jedes einzelnen zudosierten Tropfens zu messen bzw. zu überprüfen. Diese Werte können auch aufgezeichnet werden, beispielsweise zur Qualitätskontrolle.

[0023] Eine erfindungsgemässe Dosiervorrichtung zur Dosierung von Fluiden umfasst einen Zufuhrkanal zur Zufuhr des zu dosierenden Fluids; einen erfindungsgemässen Durchflusssensor wie vorhergehend besprochen zur Bestimmung des Volumenstroms durch den Sensor, wobei der Zufuhrkanal mit der ersten Messkammer des Durchflusssensors fliessend verbunden ist; und eine Ventilvorrichtung zur Dosierung des Fluids, vorzugsweise ein elektromagnetisch betätigbares Ventil, wobei die letzte Messkammer mit dem Einlass der Ventilvorrichtung verbunden ist.

[0024] Bei einem erfindungsgemässen Verfahren zur Messung eines Volumenstroms $[V/t]_M$ und/oder einer Viskosität H_m eines Fluids wird ein erfindungsgemässer Durchflusssensor wie vorhergehend besprochen bereitgestellt, und für mindestens zwei Strömungswiderstände des Durchflusssensors mit unterschiedlichen Druckverlustbeiwerten ζ , ein Kennlinienfeld aus einer Mehrzahl von Isobaren-Kennlinien bereitgestellt, wobei die genannten Isobaren-Kennlinien Volumenstrom-Viskositäts-Wertepaare darstellen, welche bei dem entsprechenden Strömungswiderstand einen bestimmten Differenzdruck verursachen. Über den entsprechenden mindestens zwei Strömungswiderständen werden die Differenzdrücke Δp bestimmt, indem mit den Druckmessmitteln die Drücke in den entsprechenden Messkammern gemessen und daraus die Differenzdrücke berechnet werden. Den bestimmten mindestens zwei Differenzdrücken werden in den jeweiligen Kennlinienfeldern die entsprechende Isobaren-Kennlinie mit dem gleichen Differenzdruck zugeordnet, und es wird der Schnittpunkt der zugeordneten mindestens zwei Isobaren-Kennlinien bestimmt. Aus diesem bestimmten Schnittpunkt wird anschliessend der dazugehörige Volumenstrom $[V/t]_M$ und/oder die dazugehörige Viskosität η_M bestimmt.

[0025] Gemäss Theorie beträgt der Druckabfall Δp zwischen zwei Messkammern, die durch einen Reibungskanal mit Radius r_R und Länge l_R verbunden sind: $\Delta p = [\zeta p / (\pi^2 r_R^4)] [V/t]^2 + [8 \eta l_R / (\pi r_R^4)] [V/t]$. Der Druckverlustbeiwert ζ berücksichtigt dabei das Strömungsprofil am Einlass in den Reibungskanal, p ist die Dichte des Fluids. Diese dreidimensionale Funktion kann so umgeformt werden, dass mit ζ , p , l_R , r_R als fixen Parametern der Druckabfall Δp als dreidimensionale Funktion des Volumenstroms $[V/t]$ und der Viskosität η dargestellt werden kann. Aus dieser Funktion können Kennlinien für ein bestimmtes Δp berechnet werden.

[0026] Anstatt die Kennlinienfelder mit mathematischen Modellen zu bestimmen, können diese auch durch numerische Simulationen erhalten werden. Ebenfalls vorteilhaft sind die experimentelle Bestimmung einer Vielzahl von Messwertetupeln, und die anschliessende numerische Interpolation einer dreidimensionalen Funktion.

[0027] Ein solches erfindungsgemässes Verfahren erlaubt es also, einen Durchfluss bzw. Volumenstrom zu bestimmen, ohne dass die Viskosität bekannt sein muss. Die Viskosität ergibt sich bei der Durchflussmessung sogar als zusätzlicher Messwert.

[0028] Bei einer vorteilhaften Variante eines solchen Verfahrens werden die Isobaren-Kennlinien der Kennlinienfelder der Strömungswiderstände aus geeigneten Kennwerten extrapoliert, vorzugsweise aus durch Messungen bestimmten Kennwerten.

[0029] Zusätzlich oder alternativ können bei einem solchen erfindungsgemässen Verfahren die Differenzdrücke in Abhängigkeit von der Zeit bestimmt werden. Dies erlaubt eine präzise Integration beispielsweise von einzelnen Tropfenvolumen.

[0030] Aufgrund der zugrundeliegenden physikalischen Effekte gelten Kennlinienfelder nur für bestimmte Fluidichten p . Die Dichte des Fluids muss also bekannt sein. Die Dichte ist jedoch in der Regel bekannt, oder zumindest einfach zu bestimmen. Alternativ können auch vierdimensionale Funktionen verwendet werden, mit der Dichte als zusätzlichem Funktionsparameter. Aus diesen können dann dreidimensionale Isobaren-Kennflächen bestimmt werden. Entsprechend benötigt man dann für die eindeutige Bestimmung des Volumenstroms (sowie der Viskosität und der Dichte) drei sich schneidende Isobaren-Kennflächen, also auch drei Strömungswiderstände mit unterschiedlichem Druckverlustbeiwert.

KURZE ERLÄUTERUNG ZU DEN FIGUREN

[0031] Die Erfindung soll nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden.

Fig. 1 zeigt schematisch den Einsatz eines erfindungsgemässen Durchflusssensor in einem Dosiersystem.

Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung des erfindungsgemässen Durchflusssensors im Querschnitt.

- Fig. 3 zeigt schematisch eine erfindungsgemässe Dosiervorrichtung mit einem erfindungsgemässen Durchflusssensor und einer Ventilvorrichtung.
- Fig. 4 zeigt schematisch (a) ein erstes Kennlinienfeld eines ersten Strömungswiderstandes, mit einer zu einer ersten gemessenen Druckdifferenz gehörenden Isobaren-Kennlinie, (b) ein zweites Kennlinienfeld eines zweiten Strömungswiderstandes, mit einer zu einer zweiten gemessenen Druckdifferenz gehörenden Isobaren-Kennlinie, (c) die Bestimmung des Schnittpunkt der ersten und der zweiten Isobaren-Kennlinie, und basierend darauf die Bestimmung des Volumenstroms und der Viskosität; und (d) die Bestimmung des Volumenstroms und der Viskosität in einer Ausführungsvariante mit drei gemessenen Druckdifferenzen und drei Isobaren-Kennlinien.

WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

[0032] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung nach Fig. 1 wird der erfindungsgemässe Durchflusssensor 10 in einem Dosiersystem 90, beispielsweise für einen Bioreaktor 94, eingesetzt. Das zu dosierende Fluid 96 wird von einem Vorratsbehälter 93 über eine Transferleitung 95 zu einer Dosiervorrichtung 92 transportiert, welche den erfindungsgemässen Durchflusssensor 10 und ein Ventilvorrichtung 50 umfasst. Mit Hilfe des Dosierventils 50 wird das zu dosierende Fluid in einzelnen Tropfen 97 dem Bioreaktor 94 zugeführt. Der Durchflusssensor 10 und das Dosierventil 50 sind vorteilhaft einstückig ausgebildet, vorzugsweise als Einweg-Einheit.

[0033] Der erfindungsgemässe Durchflusssensor 10 misst die aktuelle Dosierate direkt am Dosierventil 50. Eine Steuerungsvorrichtung 91 steuert basierend auf einer durch den Benutzer voreingestellten Soll-Dosierate und der zweiten durch den erfindungsgemässen Durchflusssensor 10 gemessenen Ist-Dosierate die Öffnungszeit und/oder die Frequenz des Dosierventils 50, so dass die tatsächliche Dosierate der gewünschten Dosierate entspricht.

[0034] Fig. 2 zeigt stark vereinfacht einen erfindungsgemässen Durchflusssensor 10 mit einer ersten Messkammer 11, einer zweiten Messkammer 15 und einer dritten Messkammer 19. Die Messkammern sind durch einen ersten Strömungswiderstand 13 und einen zweiten Strömungswiderstand 17 miteinander fliegend verbunden. In der dargestellten besonders vorteilhaften Ausführungsform werden die Strömungswiderstände 13 und 17 durch einen ersten 14 und einen zweiten 18 Reibungskanal mit einer Querschnittsfläche A_1 , A_2 und einer Länge L_1 , L_2 gebildet. Die Druckverlustbeiwerte ζ für die Strömungswiderstände sind unterschiedlich ausgebildet. Die zweite Messkammer 15 ist kleiner, insbesondere kürzer, ausgebildet als beispielsweise die erste Messkammer 11. Die Messkammer 15 ist dabei so gestaltet, dass eine Austrittsöffnung des ersten Reibungskanals 14 in einem geeignet kleinen Abstand zu einer Eintrittsöffnung des zweiten Strömungskanals 18 angeordnet ist. Das Strömungsprofil hat als Folge davon keine Zeit, sich gleichmässig in der Messkammer auszubreiten. Der Fluidstrom wird sozusagen auf die Eintrittsöffnung gerichtet. Als Resultat sinkt die Drosselwirkung der Eintrittsöffnung gegenüber dem theoretisch aufgrund der Geometrie zu erwartenden Wert. Dies ergibt für die beiden Strömungswiderstände 13 und 17 unterschiedliche Druckverlustbeiwerte.

[0035] Optimale Geometrien für die Messkammern und Reibungskanäle können in Abhängigkeit eines bevorzugten Bereichs der Viskosität, Dichte und Volumenstroms durch mathematische Modelle und/ oder durch numerische Simulationen bestimmt werden. Optimalisiert werden kann insbesondere in Hinblick auf die Genauigkeit der Bestimmung des Volumenstroms gemäss dem erfindungsgemässen Verfahren.

[0036] Pro Messkammer ist je ein Druckmessmittel 12, 16, 20 vorgesehen. In einer bevorzugten Ausführungsform handelt es sich beispielsweise um einen Einwegdrucksensor der Fa. Freescale Semiconductor, <http://www.freescale.com>, vom Typ MPX2300DT1 und/oder Typ MPX2301 DT1. Die Differenzdrücke Δp_1 und Δp_2 werden bestimmt, indem aus den Druckwerten p_1 , p_2 , p_3 in dem Messkammern die Differenz ermittelt wird.

[0037] Fig. 3 zeigt einen erfindungsgemässen Durchflusssensor 10 als Teil einer erfindungsgemässen Dosiervorrichtung, wobei der Durchflusssensor mit einer Ventilvorrichtung 50 fliegend verbunden ist. In der gezeigten Ausführungsform handelt es sich dabei um ein elektromagnetisch betätigbares Ventil. Bei dieser Art von Ventilen wird mit einer Magnetspule 51 ein Magnetanker 52 in einem Ventilraum 55 mit einer bestimmten Taktfrequenz verschoben, und dabei eine Austrittsöffnung 57 einer Ventildüse während einer ebenfalls bestimmbaren Dauer geöffnet und anschliessend wieder verschlossen. Auf diese Weise kann gezielt ein bestimmtes Volumen des druckbeaufschlagten Fluids in die Austrittsdüse 57 gefördert und so am Ende der Düse ein Tropfen mit einem bestimmten» Volumen abgegeben werden. Der Anker 52 des Dosierventils 50 ist vorzugsweise in einer Kapsel angeordnet, die ihn vor aggressiven Medien schützt, beispielsweise verdünnten Säuren.

[0038] Beim Durchflusssensor 10, der dem Dosierventil 50 vorgeschaltet ist, handelt es sich um den gleichen Durchflusssensor wie er in der Fig. 2 beschrieben ist. In der bevorzugten Ausführungsform nach Fig. 3 sind der Durchflusssensor 10 und das Dosierventil 50 einstückig ausgebildet.

[0039] Für einen ersten Strömungswiderstand wird ein Kennlinienfeld erstellt, welches den Zusammenhang zwischen Volumenstrom, Viskosität und Druckabfall über dem Strömungswiderstand darstellt. In Fig. 4(a) ist ein solches Kennlinienfeld symbolisch dargestellt, mit einer Mehrzahl an Kennlinien a_1 - a_5 , welche verschiedene Druckdifferenzen über dem Strömungswiderstand repräsentieren. Das gleiche wird für einen zweiten Strömungswiderstand gemacht (Fig. 4(b)). Da dieser zweite Strömungswiderstand jedoch einen anderen Druckverlustbeiwert aufweist, sind die Kennlinien b_1 bis b_5

im Vergleich zu denjenigen des ersten Strömungswiderstands verkippt. Werden nun die tatsächlichen Druckdifferenzen Δp_1 , Δp_2 experimentell bestimmt, können diesen in den jeweiligen Kennlinienfeldern die entsprechenden Kennlinien a_3 , b_3 zugeordnet werden. Da die Viskosität des Fluids natürlich unverändert bleibt, und der Volumenstrom aufgrund des experimentellen Aufbaus ebenfalls identisch sein muss, kann dann durch Schneiden der beiden Kennlinien a_3 , b_3 ein Wertepaar aus Volumenstrom $[V/t]_M$ und Viskosität η_M eindeutig bestimmt werden (Fig. 4(c)).

[0040] Fig. 4(d) zeigt eine Variante, bei welcher drei Differenzdrücke über drei Strömungswiderstände mit verschiedenem Druckverlustbeiwert ζ gemessen werden, und entsprechend drei Kennlinien geschnitten werden. Die zusätzliche Messung erhöht die Messgenauigkeit.

BEZUGSZEICHENLISTE

[0041]

10	Durchflusssensor
11	erste Messkammer
12	erstes Druckmessmittel
13	erster Strömungswiderstand
14	erster Reibungskanal
15	zweite Messkammer
16	zweites Druckmessmittel
17	zweiter Strömungswiderstand
18	zweiter Reibungskanal
19	dritte Messkammer
20	drittes Druckmessmittel
21	Zufuhrkanal
50	Ventilvorrichtung, Dosierventil
51	Magnetspule
52	Magnetanker
53	Ventilsitz
54	Ventilteil
55	Ventilraum
56	Dichtungselement
57	Austrittsdüse
90	Dosiersystem
91	Steuerungsvorrichtung
92	Dosiervorrichtung
93	Vorratsbehälter
94	Bioreaktor
95	Transferleitung
96	Fluid
97	Tropfen, zudosiertes Volumen
Δp_1 , Δp_2 , Δp_3	Differenzdruck

p1, p2, p3	Druck in Messkammer
ζ_1, ζ_2	Druckverlustbeiwerte
a1...a5, b1-b5	Isobaren-Kennlinien
S	Schnittpunkt

Patentansprüche

1. Durchflusssensor (10), insbesondere zum einmaligen Gebrauch, mit mindestens drei hintereinander angeordneten Messkammern (11, 15, 19), die jeweils durch einen Strömungswiderstand (13, 17) fließend miteinander verbunden sind, wobei mindestens zwei der Strömungswiderstände einen unterschiedlichen Druckverlustbeiwert (ζ_1, ζ_2) aufweisen, dadurch gekennzeichnet, dass für jede Messkammer ein Druckmessmittel (12, 16, 20) vorgesehen ist, welches dazu geeignet ist, den Druck (p1, p2, p3) in der entsprechenden Messkammer zu messen.
2. Durchflusssensor nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch seriell drei hintereinander angeordnete Messkammern (11, 15, 19).
3. Durchflusssensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Strömungswiderstände (13, 17) je einen Reibungskanal (14, 18) mit einer bestimmten Länge (L1, L2) und einer bestimmten Querschnittsfläche (A1, A2) aufweisen.
4. Durchflusssensor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Querschnittsflächen (A1, A2) der Reibungskanäle (14, 18) einen Wert zwischen 0,03 und 0,3 mm² aufweisen.
5. Durchflusssensor nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Länge (L1, L2) der Reibungskanäle (14, 18) kleiner als 2 mm ist.
6. Durchflusssensor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es sich bei den Druckmessmitteln (12, 16, 20) um Halbleiterdrucksensoren handelt.
7. Durchflusssensor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Durchflusssensor (20) aus Kunststoff gefertigt und/oder spritzgegossen ist.
8. Durchflusssensor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, gekennzeichnet durch eine der letzten Messkammer (19) nachgeschaltete Ventilvorrichtung (50), vorzugsweise ein elektromagnetisch betätigbares Ventil.
9. Dosiervorrichtung (92) zur Dosierung von Fluiden, umfassend einen Zufuhrkanal (21) zur Zufuhr des zu dosierenden Fluids; einen Durchflusssensor (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, zur Bestimmung des Volumenstroms durch den Sensor, wobei der Zufuhrkanal mit der ersten Messkammer (11) des Durchflusssensors fließend verbunden ist; und eine Ventilvorrichtung (50) zur Dosierung des Fluids, vorzugsweise ein elektromagnetisch betätigbares Ventil, wobei die letzte Messkammer (19) mit dem Einlass der Ventilvorrichtung verbunden ist.
10. Verfahren zur Messung eines Volumenstroms ($[V/t]_M$) und/oder einer Viskosität (η_M) eines Fluids, wobei
 - ein Durchflusssensor (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 8 bereit gestellt wird;
 - für mindestens zwei Strömungswiderstände (13, 17) des Durchflusssensors mit unterschiedlichen Druckverlustbeiwerten (ζ_1, ζ_2) ein Kennlinienfeld aus einer Mehrzahl von Isobaren-Kennlinien (a1...a5, b1...b5) bereitgestellt wird, wobei die genannten Isobaren-Kennlinien Volumenstrom-Viskositäts-Wertepaare darstellen, welche bei dem entsprechenden Strömungswiderstand einen bestimmten Differenzdruck verursachen;
 - die Differenzdrücke ($\Delta p_1, \Delta p_2$) über den entsprechenden mindestens zwei Strömungswiderständen bestimmt werden, indem mit den Druckmessmitteln (12, 16, 20) die Drücke (p1, p2, p3) in den entsprechenden Messkammern (11, 15, 19) gemessen und daraus die Differenzdrücke berechnet werden;
 - den bestimmten mindestens zwei Differenzdrücken in den jeweiligen Kennlinienfeldern die entsprechende Isobaren-Kennlinie (a3, b3) mit dem gleichen Differenzdruck zugeordnet wird;
 - der Schnittpunkt (S) der zugeordneten mindestens zwei Isobaren-Kennlinien bestimmt wird;
 - aus dem bestimmten Schnittpunkt der dazugehörige Volumenstrom ($[V/t]_M$) und/oder die dazugehörige Viskosität (η_M) bestimmt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Isobaren-Kennlinien der Kennlinienfelder der Strömungswiderstände aus geeigneten Kennwerten extrapoliert werden, vorzugsweise aus durch Messungen bestimmten Kennwerten.
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Differenzdrücke ($\Delta p_1, \Delta p_2$) in Abhängigkeit von der Zeit (t) bestimmt werden.

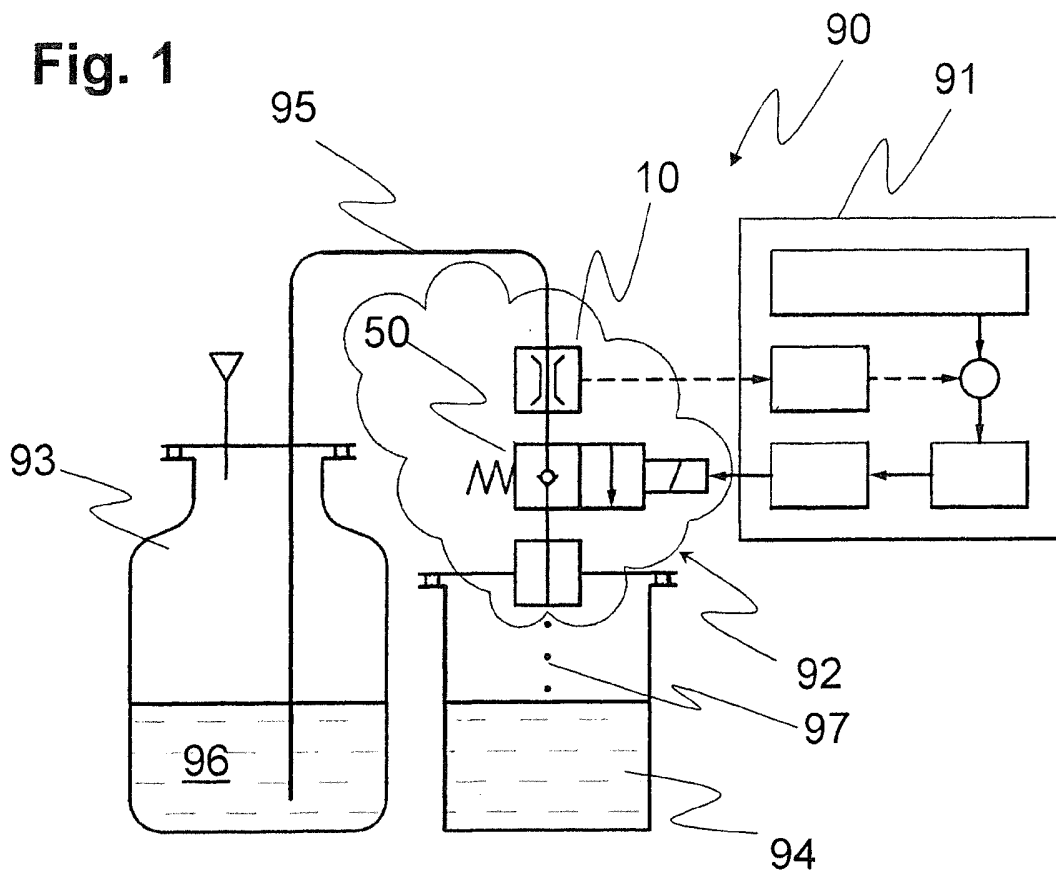
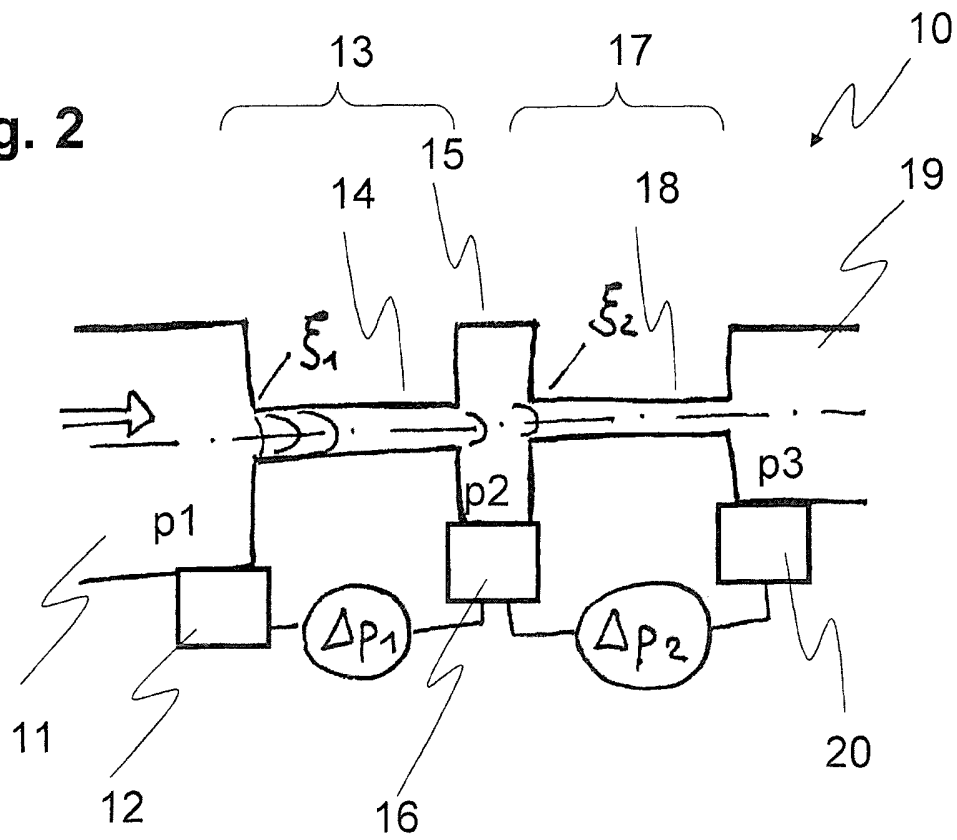
Fig. 1**Fig. 2**

Fig. 3

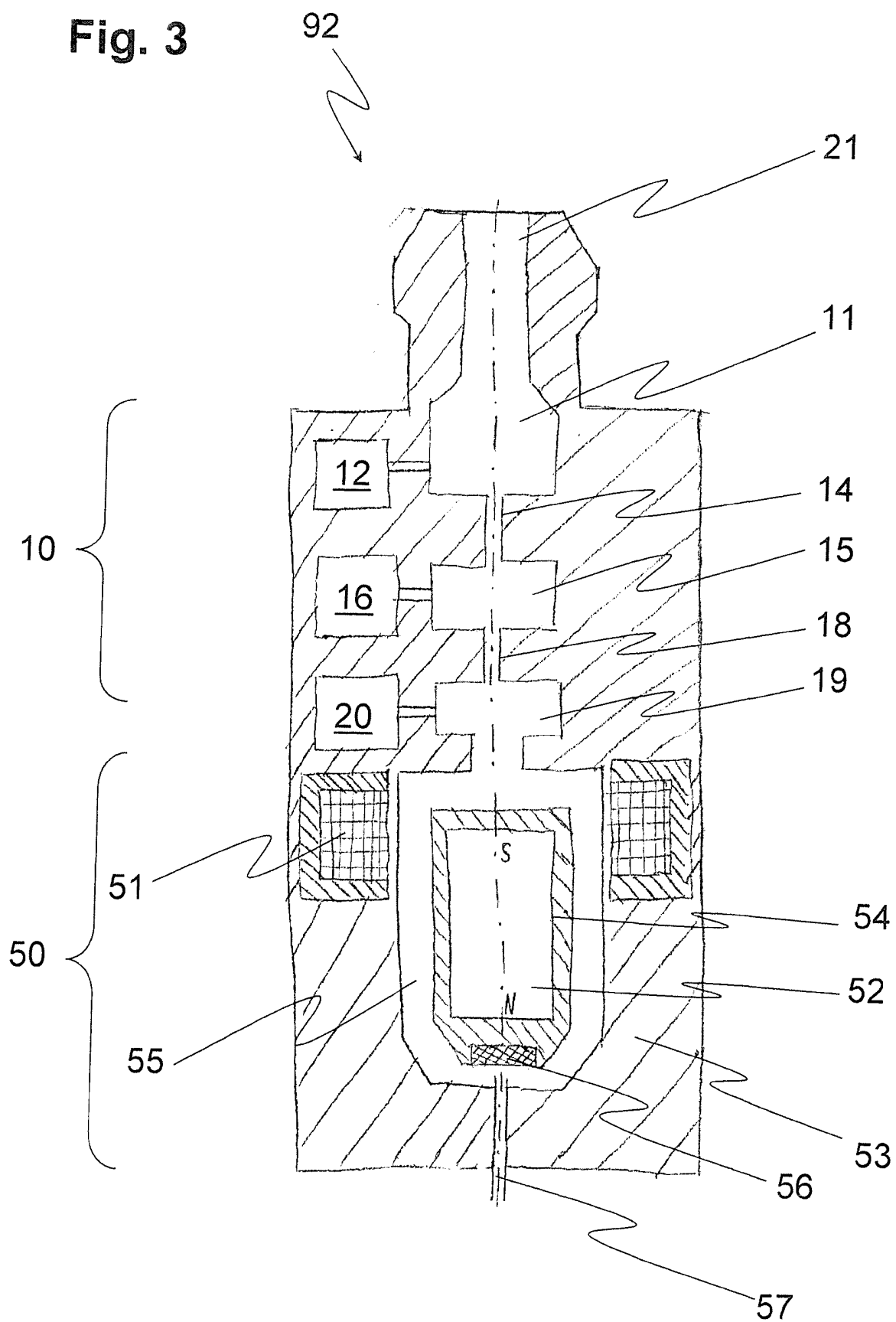
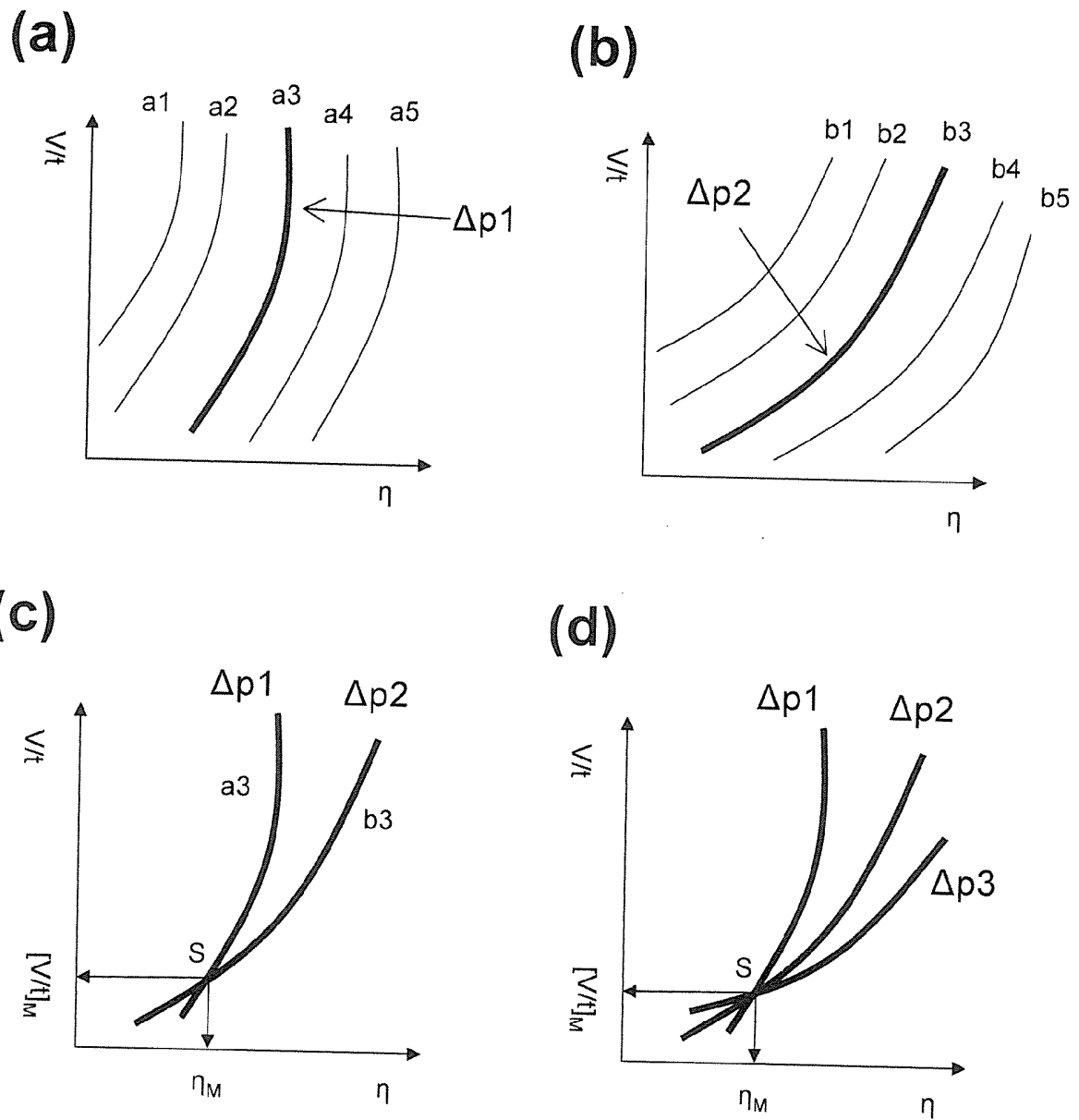


Fig. 4

**VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT
AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS**

BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART

KENNZEICHNUNG DER NATIONALEN ANMELDUNG		AKTENZEICHEN DES ANMELDERS ODER ANWALTS	
		P7711CH01	
Nationales Aktenzeichen		Anmeldedatum	
1785/2011		03-11-2011	
Anmelde land		Beanspruchtes Prioritätsdatum	
CH			
Anmelder (Name)			
ReseaChem GmbH			
Datum des Antrags auf eine Recherche internationaler Art		Nummer, die die internationale Recherchenbehörde dem Antrag auf eine Recherche internationaler Art zugeteilt hat	
03-01-2012		SN 57455	
I. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDS (treffen mehrere Klassifikationssymbole zu, so sind alle anzugeben)			
Nach der internationalen Patentklassifikation (IPC) oder sowohl nach der nationalen Klassifikation als auch nach der IPC			
G01F1/42		G01F13/00	
II. RECHERCHIERTE SACHGEBIETE			
Recherchierter Mindestprüfstoff			
Klassifikationssystem	Klassifikationssymbole		
IPC	G01F		
Recherchierte, nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Sachgebiete fallen			
III. ☐ EINIGE ANSPRÜCHE HABEN SICH ALS NICHT RECHERCHIERBAR ERWIESEN (Bemerkungen auf Ergänzungsbogen)			
IV. ☐ MANGELNDE EINHEITLICHKEIT DER ERFINDUNG (Bemerkungen auf Ergänzungsbogen)			

Formblatt PCT/ISA 201 a (1/2000)

BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART

Nr. des Antrags auf Recherche

CH 17852011

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES	
INV. 601F1/42	601F13/00
ADD.	
Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK	
B. RECHERCHIERTE SACHGEBIETE	
Recherchiertes Mindestprodukt (Klassifikationskennzeichen und Klassifikationszeichen)	
GOLF	
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprodukt gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen	
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)	
EPO-Internal	
C. ALS WESENTLICH ANDERSEHENE VERÖFFENTLICHUNGEN	
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile
X	EP 0 337 092 A2 (LABIONICS AG [CH]) 18. Oktober 1989 (1989-10-18)
Y	* Spalte 3, Zeile 1 - Zeile 4 * * Spalte 4, Zeile 50 - Zeile 58 * * Zusammenfassung; Abbildungen 2,4,6 *
X	DE 196 58 115 C1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 2. Juli 1998 (1998-07-02)
Y	* Spalte 2, Zeile 18 - Zeile 33 * * Spalte 4, Zeile 38 - Zeile 65 * * Spalte 7, Zeile 25 - Zeile 47; Abbildungen 1,2,4A *
A	US 6 463 810 B1 (LIU TAY-JIAN [TW]) 15. Oktober 2002 (2002-10-15)
	* Spalte 4, Zeile 42 - Zeile 67 * * Spalte 5, Zeile 26 - Spalte 6, Zeile 64; Abbildungen 2,4 *
	-/-
☒ X	Webseite Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen
☒ X	Siehe Anhang Patentfamilie
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen	
* "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam angesehen ist	
* "E" Neues Dokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist	
* "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Rechercheverfahren genannten Veröffentlichung belegt werden soll, oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)	
* "D" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausübung oder andere Maßnahmen bezieht	
* "P" Veröffentlichung, die vor dem Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist	
* "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist	
* "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfindeterischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden	
* "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfindeterischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung betrachtet wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist	
* "Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist	
Datum des tatsächlichen Abschlusses der Recherche internationaler Art	Abschlussdatum des Berichts über die Recherche internationaler Art
31. Januar 2012	10 FEB 2012
Name und Postanschrift der internationalen Rechercheinrichtung	Beauftragter Beauftragter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentplan 2 NL - 2000 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3216	Papantoniou, E

Formblatt PC/1195/01 (Juli 2004)

BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART

Nr. des Antrags auf Recherche

CH 17852011

C (Fortsetzung): ALS WESENTLICH ANGESEHENE VERÖFFENTLICHUNGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Bez. Anspruch Nr.
A	EP 0 166 502 A1 (VICTOR EQUIPMENT CO (US)) Z. Januar 1986 (1986-01-02) * Seite 5, Zeile 1 ~ Zeile 14; Anspruch 1; Abbildungen 2,3 * *****	1-12

BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Nr. des Antrags auf Recherche

CH 17852011

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung	
EP 0337092	A2	18-10-1989	DE 6804698 U1	01-06-1986
			EP 0337092 A2	18-10-1989
DE 19650115	C1	02-07-1998	DE 19650115 C1	02-07-1998
			EP 0951308 A1	27-10-1999
			US 6129702 A	10-10-2000
			WO 9824496 A1	11-06-1996
US 6463810	B1	15-10-2002	TW 421710 B	11-02-2001
			US 6463810 B1	15-10-2002
EP 0166502	A1	02-01-1986	CA 1224945 A1	04-08-1987
			EP 0166502 A1	02-01-1986
			JP 61014522 A	22-01-1986

Formblatt PC-T/IS/2011 (Anhang Patentfamilie) (Juni 2011)