

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
14. November 2002 (14.11.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/090975 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G01N 33/00**
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP02/03868
- (22) Internationales Anmeldedatum:
8. April 2002 (08.04.2002)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
101 21 999.7 5. Mai 2001 (05.05.2001) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **MERCK PATENT GMBH** [DE/DE]; Frankfurter
Strasse 250, 64293 Darmstadt (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **KLIMANT, Ingo**
[DE/DE]; Ackerweg 4, 93098 Mintraching (DE). **STAN-
GELMAYER, Achim** [DE/DE]; Spitalplatz C191, 86633
Neuburg a.d. Donau (DE).
- (74) Gemeinsamer Vertreter: **MERCK PATENT GMBH**;
Frankfurter Strasse 250, 64293 Darmstadt (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,
CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE,
GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ,
LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN,
MW, MX, MZ, NO, NZ, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG,
SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN,
YU, ZA, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),
eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,
TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK,
ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR),
OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen
Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on
Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe
der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR IDENTIFYING VOLATILE SUBSTANCES IN SOLUTION

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR BESTIMMUNG VON FLÜCHTIGEN SUBSTANZEN IN LÖ-
SUNG

(57) Abstract: The invention relates to a method for fluorimetrically or photometrically identifying gaseous substances or sub-
stances, which can be converted into a gaseous state, in samples. Decomposition reactions, optional purification steps, and detection
can be carried out in a cell, which comprises one or more ion-impermeable, gas-permeable membranes, in a user-friendly and selec-
tive manner without losing any substances.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung beschreibt ein Verfahren zur fluorimetrischen oder photometrischen Bestimmung von gas-
förmigen oder in die Gasform überführbaren Stoffen in Proben. In einer Küvette mit einer oder mehreren ionenimpermeablen,
gaspermeablen Membranen können Ausschlussreaktionen, optionale Reinigungsschritte und die Detektion benutzerfreundlich, se-
lektiv und ohne Substanzverlust durchgeführt werden.



WO 02/090975 A2

Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung von flüchtigen Substanzen in Lösung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur
5 photometrischen oder fluorimetrischen Bestimmung von flüchtigen
Substanzen in Lösung.

Für bestimmte analytische Fragestellungen werden einzelne Komponenten
durch Überführung in die Gasphase von dem Probengemisch abgetrennt.
10 Diese gasförmigen Komponenten können dann mittels Gaschromato-
graphie, Atomabsorption, IR- oder Chemolumineszenz-Spektroskopie bzw.
mittels indirekter Methoden, wie Konduktometrie, Coulometrie,
Potentiometrie, Gasvolumetrie, acidimetrischer Maßanalyse,
manometrischer Messung, iodometrischer Maßanalyse, Fluorimetrie oder
15 Photometrie, nachgewiesen werden.

Für bestimmte Fragestellungen wurden spezielle Verfahren entwickelt, wie
beispielsweise in US 4 201 548. Dort wird ein Verfahren zur Bestimmung
flüchtiger Substanzen in Flüssigkeiten beschrieben, wobei die Probe in ein
mit einer semipermeablen Membran begrenztes Plastikgefäß gegeben
20 wird. Nach Durchtritt durch die Membran färbt der Analyt eine mit Indikator
imprägnierte Trägermembran. Diese Vorrichtung zur visuellen Detektion
eignet sich jedoch nicht zur photometrischen oder fluorimetrischen
Detektion.

US 5 275 956 beschreibt die Bestimmung von organischen Chlor-haltigen
25 Verbindungen durch Chemolumineszenz. Die verwendete Vorrichtung
enthält eine Aufschlusszone (Oxidationszone), eine Reaktionszone, in der
die chemolumineszierende Verbindung entsteht, sowie eine
Detektionszone. Weiterhin ist die sehr aufwendige Apparatur mit
Verbindungsstücken, Pumpen und Detektoren versehen.

30 Daraus ergibt sich zunächst die Aufgabe, ein möglichst einfaches,
universell einsetzbares Testsystem zu entwickeln, das es erlaubt, durch

photometrische oder fluorimetrische Bestimmungen, unterschiedliche Stoffe aus verschiedensten Proben nachzuweisen.

5 Ein erster Ansatz hierzu wurde in EP 0 663 239 entwickelt. Es wird ein Testkit zur chemischen Analyse von gasförmigen Probeninhaltsstoffen beschrieben. Der Kit enthält eine Vorrichtung aus zwei einzelnen Behältern. Ein Behälter dient zur Aufnahme der Probe und Freisetzung des Gases, der andere zur Detektion. Das Gas wird von dem ersten Behälter über einen Adapter in den zweiten Behälter überführt. Nachteil des Kits ist die
10 Notwendigkeit, zwei Behälter verwenden und diese während der Benutzung über einen Adapter verbinden zu müssen. Dies erfordert einen hohen experimentellen Aufwand. Zudem besteht bei zu langsamem Verbinden der beiden Behälter die Gefahr des Austritts bzw. Eintritts von Gas. Dadurch können die Analysedaten leicht verfälscht werden.

15 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur fluorimetrischen oder photometrischen Bestimmung bereitzustellen, die es ermöglichen:

- 20 • ein breites Spektrum verschiedenster Proben auf unterschiedliche gasförmige oder in die Gasphase überführbare Stoffe hin zu untersuchen,
- das Verfahren mit geringem apparativem und experimentellem Aufwand durchzuführen,
- eine sehr selektive und empfindliche Analyse durchzuführen.

25 Es wurde gefunden, dass sowohl Selektivität und Empfindlichkeit als auch der experimentelle Aufwand der Bestimmung flüchtiger Substanzen in Proben stark verbessert werden kann, wenn Aufschluß und Detektion in einem Gefäß erfolgen.

30 Das Gefäß, beispielsweise eine Küvette, wird dazu durch eine gaspermeable Membran in mindestens zwei Reaktionsbereiche unterteilt.

Nach Zugabe der Probensubstanz und weiterer notwendiger Reagenzien wird das Gefäß verschlossen. Alle weiteren Analysenschritte wie Aufschluß, Reinigung und Detektion können in dem verschlossenen Gefäß durchgeführt werden.

5

Gegenstand der Erfindung ist daher eine Küvette zur photometrischen oder fluorimetrischen Bestimmung von flüchtigen Substanzen in Proben, dadurch gekennzeichnet, daß die Küvette durch eine ionenimpermeable, gaspermeable Membran in zwei Bereiche aufgeteilt wird, in denen sich, durch die Membran getrennt, Raum für Proben- und Aufschluslösung (3) und ein mit Indikatorlösung befüllter Raum für Indikatorlösung (1) befindet und die Küvette durch mindestens einen Verschluss (5) gas- und flüssigkeitsdicht verschlossen werden kann.

10

15

Gegenstand der Erfindung ist auch eine Küvette zur photometrischen oder fluorimetrischen Bestimmung von flüchtigen Substanzen in Proben, dadurch gekennzeichnet, dass die Küvette durch mindestens zwei gaspermeable Membranen (22, 24) in mindestens drei Bereiche aufgeteilt wird, in denen sich durch die Membranen getrennt Raum für Proben- und Aufschluslösung (25), ein mit Waschlösung befüllter Raum für Waschlösungen (23) und ein mit Indikatorlösung befüllter Raum für Indikatorlösung (21) befindet und die Küvette durch einen Verschluss (27) gas- und flüssigkeitsdicht verschlossen werden kann.

20

25

In einer bevorzugten Ausführungsform besteht zumindest eine Membran, bevorzugt alle Membranen der erfindungsgemäßen Küvetten aus einem Siliconpolymer.

30

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist zumindest eine Membran, bevorzugt alle Membranen in die Küvette eingeklemmt.

In einer anderen bevorzugten Ausführungsform ist zumindest eine Membran, bevorzugt alle Membranen in die Küvette einpolymerisiert.

- 5 Gegenstand der Erfindung ist auch ein Analysekit zur Bestimmung von gasförmigen oder in die Gasform überführbaren Stoffen in Proben, der zumindest eine erfindungsgemäße Küvette enthält, die
- a) durch mindestens eine hydrophobe semipermeable Membran in mindestens zwei Teilbereiche unterteilt ist,
 - b) im unteren Teilbereich die Indikatorlösung enthält,
 - 10 c) in optionalen mittleren Teilbereichen Waschlösungen enthält,
 - d) im oberen Teilbereich mit der Probe sowie optionalen Zusatzreagenzien befüllt werden kann,
 - e) einen gas- und flüssigkeitsdichten Verschluss besitzt.

- 15 Gegenstand der Erfindung ist weiterhin ein Verfahren zur Bestimmung von flüchtigen Substanzen in Proben unter Verwendung einer erfindungsgemäßen Küvette, wobei
- a) die Küvette geöffnet wird,
 - b) im oberen Teilbereich mit der Proben- und optionalen Zusatzreagenzien
 - 20 befüllt wird,
 - c) mit dem Verschluss abgedichtet wird,
 - d) die Küvette umgedreht wird,
 - e) die Probe aufgeschlossen wird,
 - f) die Küvette erneut umgedreht wird,
 - 25 g) die Indikatorlösung vermessen wird.

In Abbildung 1 ist eine erfindungsgemäße Küvette dargestellt.

Abbildung 2 zeigt ein erfindungsgemäßes Analysengefäß mit einem zusätzlichen Teilbereich für Waschlösungen.

- 30 In Abbildung 3 ist ein Schema des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Bestimmung von flüchtigen Substanzen in Lösung dargestellt.

Abbildung 4 zeigt ein Formteil mit integrierter gaspermeabler, ionenimpermeabler Membran, das sich durch seine Formgebung in das Gefäß eingespreizt werden kann.

- 5 Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich zum Nachweis verschiedenster Analyten, wie beispielsweise gasförmiger Verbindungen, die ohne oder mit vorheriger Umwandlung nachgewiesen werden können, flüchtiger organischer Verbindungen, wie Phenole oder halogenierte Kohlenwasserstoffe, oder Verbindungen, die durch eine in der
- 10 Aufschlussteilküvette vorgeschaltete chemische Reaktion unter Gasentwicklung nachgewiesen werden, wie Nitrat, das zu NO_x umgesetzt wird.

Beispiele sind in der nachfolgenden Tabelle gegeben:

	Nachzuweisende Substanz	Analyt
15	Total Organic Carbon (TOC)	CO_2
	Total Inorganic Carbon (TIC)	CO_2
	NH_4^+	NH_3
	CN^-	HCN
20	Hypochlorid	Cl_2
	S^{2-}	H_2S
	NO_3^-	NO_x
	HSO_3^-	SO_2
25	CKW	
	Flüchtige Amine	
	Nicht-flüchtige quartäre Ammoniumionen (via Hoffmeister-Eliminierung)	
	Tetramethylquecksilber	
30	Schwermetalle (indirekt)	

Das erfindungsgemäße Verfahren beruht auf der Verwendung eines Gefäßes, in das zum einen die Indikatorlösung eingebracht werden kann und zum anderen die Probenlösung mit dem Aufschlussreagenz. Für eine Trennung der beiden Bereiche sorgt eine Membran.

5

Dazu wird zunächst die Indikatorlösung in das Gefäß gefüllt und anschließend die Membran eingebracht. Dann kann die Membran optional mit der Aufschlußlösung überschichtet werden. Nach Zugabe der Probe wird das Gefäß verschlossen.

10

Somit befinden sich alle zur Analyse benötigten Reagenzien in einem Gefäß. Dieses Konzept ermöglicht eine einfache und benutzerfreundliche Analyse der Proben. Die Arbeitsanleitung zur Analyse beschränkt sich auf folgende Schritte:

1. Aufschrauben des Gefäßes
- 15 2. Probe einpipettieren
3. Zuschrauben
4. Umdrehen
5. Aufschließen
6. Umdrehen
- 20 7. Vermessen

Das Gefäß oder die Analysevorrichtung ist bevorzugt aus Glas, oder aus einem anderen Material, z.B. einem organischen Polymer, bevorzugt optisch transparent oder zumindest versehen mit einem Fenster aus optisch transparenten Material. Bevorzugt besteht das Gefäß oder die Analysevorrichtung aus Materialien, die zur Herstellung von Photometerküvetten verwendet werden, wie z.B. Polycarbonat und besonders bevorzugt Quarzglas

25

Da das Gefäß während der Analyse umgedreht wird, enthält es einen flüssigkeits- und gasdichten Verschluss in Form eines Schraubdeckels oder Stopfens. In seiner bevorzugten Ausführungsform ist das Gefäß derart

30

gestaltet, dass es für den Aufschluss der Probe beispielsweise in einen marktüblichen Trockenthermostaten und zur Detektion in ein übliches Messgerät als Messvorlage eingesetzt werden kann. Für photometrische oder fluorimetrische Analysetechniken ist deshalb die Ausgestaltung als Küvette bevorzugt. Diese Küvette kann rund, quadratisch oder rechteckig geformt sein. Im weiteren wird das erfindungsgemäße Gefäß als Küvette bezeichnet.

Unter den Begriff photometrische oder fluorimetrische Bestimmung fällt erfindungsgemäß auch die Trübungsmessung, z.B. Nephelometrie.

Zur Abtrennung des Aufschlussbereichs vom Detektionsbereich (Bereich der Indikatorlösung) wird in die Küvette eine gaspermeable und ionenimpermeable Membran eingebracht. Diese Membran ist impermeabel für Flüssigkeiten oder Ionen, insbesondere Protonen, und permeabel für Gase. Sie bildet eine an der Küvettenwand fest anliegende mechanisch stabile Abtrennung aus.

Die Membran weist bevorzugt die folgenden zusätzlichen Merkmale auf:

- Temperaturstabilität
- mechanische Stabilität (Druck, Zug)
- gleichmäßige Schichtdicke
- gute Haftung an der Wand der Küvette
- Zersetzungstabilität gegenüber starken Basen.

Weiterhin sollte die Membran frei sein von kohlenstoffhaltigen Abspaltungsprodukten, die die Analyse von Kohlenstoff verfälschen oder sonstigen Abspaltungsprodukten, die die Indikatorlösung beeinflussen.

Diese Anforderungen werden von hydrophoben porösen, gaspermeablen Membranen, besonders gut von Siliconmembranen, Teflonmembranen und Kombinationsmembranen aus Silicon- und Teflonmembranen erfüllt.

Das Einbringen der Membran in die Küvette kann auf verschiedene Weise erfolgen. Sie kann beispielsweise durch Einkleben (z.B. direkt oder in einem Spalt oder auf einem Vorsprung), Einklemmen (z.B. direkt oder durch Einschub eines Formteils) oder Einpolymerisieren an der Innenwand der Küvette befestigt werden.

Im folgenden werden bevorzugte Möglichkeiten zum Einbringen der Membran näher erläutert:

Einpolymerisieren der Membran:

Zum Einpolymerisieren sollten die Membran bzw. die Membranbestandteile auch die folgenden Eigenschaften aufweisen:

- Schwimmfähigkeit auf wässrigen Lösungen
- Polymerisationsfähigkeit auf einer stark basisch gepufferten Indikatorlösung

Besonders geeignet sind Membranen, die sich in relativ kurzen Polymerisationszeiten herstellen lassen.

Zunächst wird typischerweise die Indikatorlösung in das Gefäß eingebracht. Dann wird eine Siliconmembran durch Auftropfen eines Siliconpräpolymers auf die Indikatorlösung erzeugt. Das flüssige Siliconpräpolymer schwimmt auf der Indikatorlösung und bildet einen gleichmäßigen Film aus. Nach der Polymerisation bildet der Siliconfilm eine hydrophobe, gas-permeable, ionen-impermeable fest mit der Gefäßwand verbundene Membran.

Bei der Herstellung von Siliconmembranen ist zwischen zwei Arten von Ausgangsstoffen zu unterscheiden: kondensationspolymerisierenden Silicone und additionsvernetzende Siliconen.

Während kondensationspolymerisierende Silicone sich durch eine leichte Verarbeitbarkeit der Präpolymere und eine gute Haftung an der Glaswand des Gefäßes auszeichnen, ist ihr Einsatz für manche Anwendungen nicht möglich, da sie oft Rückstände von Lösungsmitteln oder kohlenstoffhaltigen Abspaltungsprodukten enthalten. Aus diesem Grund werden für die

erfindungsgemäße Vorrichtung bevorzugt additionsvernetzende Silicone verwendet.

5 Anders als die kondensationsvernetzenden Silicone können diese nur begrenzt mit den Hydroxylgruppen der Glaswand reagieren. Deshalb wird bevorzugterweise die Glaswand zuvor teilweise oder vollständig hydrophobisiert. Diese Grundierung der Glaswand verhindert die Ausbildung eines stark gekrümmten Meniskus der Flüssigkeitsoberfläche und garantiert so eine ausreichend große Kontaktfläche des Silicons mit
10 der Glaswand. Die Hydrophobisierung der Glaswand erfolgt durch kovalente Kopplung von beispielsweise Trimethoxysilan (T9895, ABCR GmbH&Co) oder Propyltrimethoxysilan oder durch Beschichten der Glaswand mit einer dünnen Siliconschicht.
Bevorzugt ist auch die Verwendung von Glasgefäßen mit hydrophober
15 Innenwand.

Ausgangsprodukte zur Herstellung von Siliconmembranen sind dem Fachmann bekannt. Typischerweise wird ein Copolymer aus einer linearen kettenförmigen Komponente (Base) mit reaktiven Endgruppen, und einer
20 verzweigten Komponente (Vernetzer) mit reaktiven Endgruppen hergestellt. Als Reaktionsstarter für die chemische Reaktion, die zur Vernetzung führt, dienen, je nach Art der Base und des Vernetzers, verschiedene Chemikalien oder auch physikalische Parameter (Druckänderung, Temperaturänderung). Bei kondensationsvernetzenden Silicon-
25 präpolymeren ist dies zumeist Wasser in Form des Wasserdampfanteils in der Luft, bei additionsvernetzenden Siliconpräpolymeren zumeist eine Chemikalie, ein sogenannter Radikalstarter.

Einkleben der Membran:

30 Eine weitere bevorzugte Ausführungsform ist das Einkleben einer vorgefertigten Membran oder eines mit einer Membran beschichteten Membranträgers in das Gefäß.

Beispielsweise können vorgefertigte Membranen aus gaspermeablen Kunststoffen, bevorzugt Teflon oder anderen gaspermeablen Materialien, mittels eines Klebeschrittes mit der Küvettenwand verbunden werden. Die verwendeten Klebstoffe sollten keine störenden Substanzen enthalten und in den Lösungsmitteln der eingesetzten Lösungen stabil sein.

Die verwendeten Klebstoffe sollten keine die Nachweisreaktion störenden Substanzen wie z.B. Lösungsmittel (Aceton, Toluol, Ethanol) enthalten, die während der Herstellung und Verarbeitung des Klebstoffes, oder während der späteren Aufschlussreaktion kohlenstoffhaltige Bestandteile freisetzen, und so die Nachweisreaktion beeinflussen. Weiterhin sollen die Klebstoffe in den Lösungsmitteln der eingesetzten Lösungen stabil sein.

Ein geeigneter Klebstoff für das Einkleben von Silikommembranen in die Küvette ist beispielsweise ein zweikomponenten additionsvernetzendes wasserstoffabspaltendes Silicon, wie z.B. Kwik-Sil[®], Kit silikon low viscosity, Vertrieb über World Precision Instruments, Inc

Einklemmen der Membran:

Eine weitere bevorzugte Ausführungsform ist das Einbringen eines Formteiles mit integrierter gaspermeabler, ionenimpermeabler Membran, das sich durch seine Formgebung in das Gefäß einspreizt. Das Formteil kann z.B. aus Silicon bestehen. Das Formteil ist bevorzugt technisch derart konstruiert, dass es, ähnlich einem zusammengedrückten Gummiball, selbsttätig aufspringt und sich dadurch in das Gefäß einspreizt. Ein derartiges Formteil in Abb. 4 beschrieben. Es ist das gefaltete Formteil (oben), das Entfalten des Formteils (unten rechts) und das in der Küvette befindliche entfaltete Formteil (unten links) gezeigt.

In einer bevorzugten Ausführungsform besteht die Membran zum Einklemmen in die Küvette aus einem Siliconpolymer, das faltbar ist. Auf diese Weise kann es in die Küvette eingebracht werden und entfaltet sich dann derart, dass es exakt und dicht in die Küvette eingepasst ist.

Demnach erfolgt die Herstellung einer erfindungsgemäßen Küvette mit eingeklemmter Trennmembran durch

- Bereitstellen einer geeigneten Küvette,
- Einfüllen der Indikatorlösung,
- 5 - Einschieben der gefalteten Membran mithilfe eines Werkzeugs,
- genaues Positionieren der Membran in der endgültigen Position oberhalb des Flüssigkeitsspiegels der Indikatorlösung,
- Lösen des Werkzeugs und damit Auffalten und Einspreizen der Membran in die Küvette
- 10 - optional Einfüllen einer Aufschlusslösung
- Verschließen der Küvette mit einer Verschlusskappe

Die Membran selbst kann in allen Ausführungsformen aus einer oder mehreren Komponenten bestehen.

15

Soll das Analysegefäß nur in zwei Teilbereiche unterteilt werden, kann nach dem Einbringen der Membran die Proben- bzw. Aufschlusslösung in den oberen Teilbereich gefüllt werden.

- 20 Falls bei einer Analyse störende flüchtige Komponenten neben dem Analyten zu erwarten sind, können zunächst Waschlösungen auf die Trennmembran gegeben werden und mit einer zweiten Membran überschichtet werden. Dadurch wird die Küvette in mehr als zwei, bevorzugt drei, Teilbereiche unterteilt. Diese Anordnung ist beispielsweise
- 25 bei einem TOC Test in Anwesenheit von Schwefelwasserstoff sinnvoll. Zwischen Indikatorlösung und Proben- bzw. Aufschlusslösung ist ein weiterer Teilbereich durch eine zweite Membran abgeteilt, der Blei(II)-nitratlösung als Waschlösung enthält. Durch den Aufschluss treten sowohl
- 30 CO₂ wie auch H₂S in die Gasphase über und durchdringen die erste Membran. Während das störende H₂S durch die Waschlösung zurückgehalten wird, gelangt das CO₂ durch die zweite Membran in die Indikatorlösung und erzielt dort einen Farbumschlag.

Unabhängig davon, auf welche Weise die Küvette unterteilt wird oder ob ein zusätzlicher Teilbereich mit Waschlösung in dem Gefäß enthalten ist, wird die Probenlösung und optional eine Aufschlusslösung in den obersten
5 Teilbereich eingefüllt.

In diesem obersten Aufschluss-Teilbereich wird entweder die zu analysierende Substanz in eine flüchtige Form überführt oder eine Reaktion durchgeführt, die eine flüchtige Substanz freisetzt, die als indirekter
10 Nachweis für den Analyten dient. Dies kann mit oder ohne Zugabe einer besonderen Aufschlusslösung erfolgen. Während zum Nachweis von CO₂ oder NH₃ eine Aufschlußlösung verwendet wird, ist dies zum Nachweis beispielsweise flüchtiger Kohlenwasserstoffe nicht notwendig.

Mit Hilfe einer geeigneten Aufschlusslösung können selektiv bestimmte
15 Stoffe in die Gasphase überführt werden. Beispielsweise können mit einem Puffer von pH 4 schwache Säuren bzw. ihre Gase ausgetrieben werden, starke Säuren jedoch nicht. Zusätzlich kann durch Erzeugung von Temperaturgradienten innerhalb der Küvette während des Aufschlusses, beispielsweise durch Aufheizen nur selektiv des Aufschlussbereichs, das
20 entstehende Gas bevorzugt in den kälteren Indikatorteilbereich befördert werden.

Eine weitere Möglichkeit zur Anreicherung des Analyten im Indikatorteil besteht in der Verwendung unterschiedlich großer Volumina für Indikatorvolumen und Probenvolumen. Ist das Volumen der Probenlösung
25 im Verhältnis größer als das der Indikatorlösung, so liegt das entstehende Gas in der Indikatorlösung in höherer Konzentration vor.

Obwohl die Detektion des Analyten mit der Indikatorlösung den letzten Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens darstellt, wird die Indikator-
30 lösung ganz zu Anfang in das Analysengefäß gegeben. Erst nach Befüllung mit der Indikatorlösung kann die erste Trennmembran auf die Lösung aufgebracht bzw. oberhalb der Lösung befestigt werden.

Die Indikatorlösung kann ein wäßriges bzw. ein organisches System oder eine Mischung aus beidem sein. Die Indikatoren können chromophore oder fluorophore Systeme sein. Genauso kann jedoch auch die Eigenfärbung oder Eigenfluoreszenz der Analyten detektiert werden. In diesem Fall dient
5 die Indikatorlösung nur als Lösungsmittel für die gasförmige Komponente. Durch Variation des Indikators, des Puffervermögens der Lösung, des pH-Wertes oder der Zugabe von Komplexbildnern kann die Selektivität der Indikatorlösung entsprechend dem zu detektierenden Analyten variiert werden. Es können beispielsweise Farbumschlag, Fluoreszenzintensität
10 oder Fluoreszenzlebenszeit detektiert werden.

Das erfindungsgemäße Analysengefäß eignet sich durch seinen einfachen Aufbau besonders zum Einsatz in Analysen-Kits. Auch in diesem Fall sollte die Form des Gefäßes passend für den direkten Einsatz in Thermostaten
15 und Photometern oder sonstigen Analysegeräten sein. Daher ist die Verwendung einer Küvette bevorzugt.

Die im Analysen-Kit vorhandene Küvette ist mit der jeweiligen Indikatorlösung befüllt und der Indikatoreilbereich mit einer Membran gegenüber dem Aufschlussbereich abgegrenzt. Ist für die angestrebte
20 Analyse eine weitere Aufreinigung des Analyten mittels Waschlösung notwendig, wird zunächst die Waschlösung auf die erste Membran gegeben und anschließend eine weitere Membran zur Abtrennung des Aufschlussbereichs aufgebracht. Ob die Aufschlusslösung bereits vor der
25 Durchführung der Analyse in der Küvette gelagert wird, hängt von ihrer Stabilität ab. Im einen Fall wird die Aufschlusslösung bereits in die Küvette gegeben, so daß zur Durchführung der Analyse lediglich die Probenlösung zugegeben werden muß. Falls keine Aufschlusslösung notwendig ist oder die Ausschlusslösung aus Stabilitätsgründen separat gelagert wird, muss
30 bei Durchführung der Analyse sowohl Probe als auch optional die Aufschlusslösung zugegeben werden. Nachdem die Küvette mit allen

notwendigen Komponenten befüllt ist, wird sie flüssigkeits- und gasdicht verschlossen und dem erfindungsgemäßen Verfahren unterzogen.

5 Auf diese Weise ist es möglich, ohne großen experimentellen Aufwand, sehr selektive Analysen durchzuführen. Durch die optionale weitere Aufreinigung mittels einer Waschlösung können auch verunreinigte Realproben oder Proben mit störenden Komponenten vermessen werden. Eine Anreicherung oder Reinigung der Probe vor Einbringen in das Analysengefäß ist nicht notwendig.

10 Durch das geschlossene System können sehr empfindliche Messungen ohne Analytverlust durchgeführt werden.

In Abbildung 1 ist ein erfindungsgemäßes Gefäß dargestellt. Im Teilbereich (1) befindet sich die Indikatorlösung. Diese wird durch die semipermeable
15 Membran (2) von der Aufschluslösung im Teilbereich (3) getrennt. Bevorzugterweise nimmt die Aufschluslösung nicht den ganzen Teilbereich (1) ein, sondern läßt einen Gasraum (4) frei. Der freie Gasraum in der Küvette ist für den Druckausgleich notwendig. Die Küvette wird mit einem Verschluss (5) abgedichtet.

20 In Abbildung 2 wird die Indikatorlösung (21) von einer ionenimpermeablen gaspermeablen Membran (22) begrenzt. Es folgt eine Waschlösung (23), die von einer weiteren Membran (24) überschichtet ist. Oberhalb dieser Membran befindet sich die Aufschluslösung (25) und der Gasraum (26).
25 Die Küvette ist mit einem Verschluss (27) abgedichtet.

In Abbildung 3 ist ein Schema des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Bestimmung von flüchtigen Substanzen in Lösung dargestellt. Die vorgefertigte, mit Indikator- und Aufschluslösung befüllte Küvette (A) wird
30 kurz geöffnet und die Probe zugegeben (B). Anschließend wird die Küvette erneut verschlossen (C), umgedreht und zum Aufschluss beispielsweise in einen Thermostaten eingeführt (D). Nach Beendigung des Aufschlusses (E)

kann die Indikatorlösung nach erneutem Umdrehen des Gefäßes direkt in einem Photometer vermessen werden (F).

5 Auch ohne weitere Ausführungen wird davon ausgegangen, daß ein Fachmann die obige Beschreibung im weitesten Umfang nutzen kann. Die bevorzugten Ausführungsformen und Beispiele sind deswegen lediglich als beschreibende, keineswegs als in irgendeiner Weise limitierende Offenbarung aufzufassen.

10 Die vollständige Offenbarung aller vor- und nachstehend aufgeführten Anmeldungen, Patente und Veröffentlichungen, insbesondere der korrespondierenden Anmeldung DE 101 21 999.7, eingereicht am 05.05.2001, sind durch Bezugnahme in diese Anmeldung eingeführt.

15

Beispiele

1. Herstellung einer Küvette für die TOC-Bestimmung

20 a) Hydrophobisierung

Beispiel 1: Hydrophobisierung der Glaswand mit eine Siliconschicht.

Da additionsvernetzende Silicone keine gute Haftung an der Glaswand zeigen, wenn sie direkt auf die wässrige Pufferlösung gegeben werden, wird zunächst die Glaswand mit käuflichem Zweikomponentensilicon Kwik-

25 Sil[®] der Firma World Precision Instruments Inc. hydrophobisiert.

Dazu werden die beiden Komponenten des Kwik-Sil[®] 1:1 Vol% mit Diethylether verdünnt, die beiden Lösungen vereint und die klare Flüssigkeit auf die Innenwand des Glasgefäßes in der Höhe aufgebracht, in der die Siliconmembran einpolymerisiert werden soll. Durch Drehbewegungen entlang der Längsachse wird ein gleichmäßiger dünner Ring aufgebracht. Nach 1 Minute ist der Ring trocken. Zur Entfernung

30

eventueller Lösungsmittelreste wird die Küvette 2 Stunden bei 60 °C im Trockenschrank gelagert.

5 Beispiel 2: Hydrophobierung der Glaswand mit einer kovalent gebundenen, kohlenstofffreien Silanschicht.

94 ml Ethanol, 1 ml Trimethoxysilan (T9895, ABCR GmbH&Co) und 4 ml Wasser werden gemischt. Der pH Wert wird mit verdünnte H₂SO₄ auf pH 4 bis 5 eingestellt. 0,3 ml dieser Lösung werden in ein aufrecht stehende Küvette einpipettiert. Die Küvette wird bei 140°C für eine Stunde in den
10 Trockenschrank gestellt. Diese Gasphasensilanisierung führt zu einer effektiven Kopplung des Silans an die Glaswand und ergibt eine nahezu monomolekulare hydrophobe Beschichtung.

b) Befüllen des Gefäßes mit der Indikatorlösung
15 4,5 ml einer Thymolblau Indikatorlösung (Pufferkonzentration Borat 3,5 mmol/l, pH 9,7, Thymolblau 0,06 mmol/l) werden in die Küvette gefüllt. Die Oberfläche der Indikatorlösung liegt dabei in Höhe der vorher
einpolymerisierten Grundierung aus Silikon. Das Einfüllen der Indikatorlösung und das Aufbringen der Membran werden unter Stickstoff
20 durchgeführt, um einen Eintrag von Kohlendioxid aus der Luft zu verringern. Durch die Hydrophobisierung der Glaswand bildet sich kein gekrümmter Meniskus der Wasseroberfläche aus, wodurch die Kontaktfläche Siliconmembran-Glaswand deutlich erhöht wird und die Siliconmembran eine einheitliche Schichtdicke erhält.

25 c) Einpolymerisieren der Siliconmembran
2,5 ml Base (DMS-V22, Polydimethylsiloxane, vinyl dimethyl terminated, Visc. 200 der Firma ABCR GmbH&Co, Karlsruhe) und 0,1 ml Vernetzer (HMS-301, Methylhydro-(65-70%) dimethylsiloxane copolymer der Firma
30 ABCR GmbH&Co, Karlsruhe) werden gemischt und zu der klaren Lösung 2 µl Starter (PCO-075 der Firma ABCR GmbH&Co, Karlsruhe) unter starkem Rühren zugegeben. 0,5 ml der Siliconmischung werden auf die

Oberfläche der Indikatorlösung getropft. Es bildet sich ein klare etwa 2 mm starke Siliconmembran aus. Diese Membran ist nach 10 Minuten bei Raumtemperatur fest. Zur Vervollständigung der Polymerisation wird die Küvette noch 1 Stunde unter Stickstoff gehalten und dann verschlossen.

5

2. Erfindungsgemäße Analyse von TOC

Ein TOC Testküvette ist aufgebaut aus folgenden Komponenten:

Zweikomponentensilicon für die Hydrophobisierung der Glaswand

10

Name des Silikons: Kwik-Sil[®],

Kit silikon low viscosity, Vertrieb über World Precision Instruments, Inc

Zweikomponentensilicon für die Membran

DMS-V22, Polydimethylsiloxane, vinyl dimethyl terminated, Visc. 200, base

HMS-301, Methylhydro-(65-70%) dimethylsiloxane copolymer, crosslinker

15

PCO-075, Platinium-divinyltetramethyldisiloxane complex, 3% Pt, catalyst

Vertrieb über ABCR GmbH & Co.

Hydrophobierung der Glaswand

Jede einzelne Komponente des Silikon Kwik-Sil[®] wird 1 zu 1 Vol% mit

20

Diethylether verdünnt. Die beiden Lösungen werden vereint und die klare

flüssige Mischung auf der Innenseite des Glasfläschchens in der Höhe

aufgebracht, in der die Siliconmembran einpolymerisiert wird. Durch

Drehbewegungen um die Längsachse des Glasfläschchens wird ein

gleichmäßig dünner Ring aufgebracht. Das LM verdampft schnell und der

25

dünne Film ist nach 1 min trocken. Die Fläschchen werden bei 60°C im

Trockenschrank für 2 h gelagert, wobei alle Lösungsmittelreste aus der sehr
dünnen „Grundierung“ ausgetrieben werden.

Indikator

30

4,5 ml der blau gefärbten Indikatorlösung mit Pufferkonzentration Borat 3.5

mmol/l, pH Wert 9.7, Indikatorkonzentration Thymolblau 0.06 mmol/l

werden in das Fläschchen eingefüllt. Die Oberfläche der Indikatorlösung liegt dabei in Höhe des vorher einpolymerisierten „Grundierung“ aus Silikon. Das Einfüllen des Indikators und das Aufbringen der Silikonmembran werden unter Stickstoff durchgeführt, um einen Eintrag von Kohlendioxid aus der Luft zu verringern.

Siliconmembran
2,5 ml Base (DMS-V22, Polydimethylsiloxane, vinyl dimethyl terminated, Visc. 200) und 0.1 ml Vernetzer (HMS-301, Methylhydro-(65-70%) dimethylsiloxane copolymer) werden gemischt. Zu der klaren flüssigen Lösung werden 2µl Starter PCO-075 unter starkem Rühren zugegeben. Die Verarbeitungszeit nach Zugabe des Starters beträgt maximal 5 min. 0,5 ml der Siliconmischung werden auf die Oberfläche der Indikatorlösung getropft. Es bildet sich eine klare 2 mm starke Siliconmembran aus. Diese Membran ist nach 15 min. fest. Die Fläschchen werden zur Vervollständigung der Polymerisation stehend im Stickstoffstrom gelagert und nach 2 h mit einer Schraubkappe verschlossen.

Versuchsdurchführung:
In jeweils drei der oben beschriebenen TOC Testküvetten werden 4,5 ml von Lösungen mit jeweils 25, 50, 100, 200, 400 mg/l Kohlenstoff einpipettiert. Die Küvetten werden mit einem Schraubverschluß verschlossen und auf dem Kopf stehen in einem Thermostaten (MERCK Thermoreaktor TR 200) mit 100°C gestellt. Nach 2 h Aufschlußzeit werden sie mit dem Photometer (MERCK SQ 118) vermessen.

Ansprüche

1. Küvette zur photometrischen oder fluorimetrischen Bestimmung von gasförmigen oder in die Gasform überführbaren Stoffen in Proben,
5 dadurch gekennzeichnet, dass die Küvette durch eine ionenimpermeable, gaspermeable Membran (2) in zwei Bereiche aufgeteilt wird, in denen sich durch die Membran getrennt Raum für Proben- und Aufschlusslösung (3) und ein mit Indikatorlösung befüllter Raum für Indikatorlösung (1) befindet und die Küvette durch einen Verschluss (5)
10 gas- und flüssigkeitsdicht verschlossen werden kann.
2. Küvette zur photometrischen oder fluorimetrischen Bestimmung von gasförmigen oder in die Gasform überführbaren Stoffen in Proben,
15 dadurch gekennzeichnet, dass die Küvette durch mindestens zwei ionenimpermeable, gaspermeable Membranen (22, 24) in mindestens drei Bereiche aufgeteilt wird, in denen sich durch die Membranen getrennt Raum für Proben- und Aufschlusslösung (25), ein mit Indikatorlösung befüllter Raum für Indikatorlösung (21) und ein mit Waschlösung befüllter Raum für Waschlösungen (23) befindet und die
20 Küvette durch einen Verschluss (27) gas- und flüssigkeitsdicht verschlossen werden kann.
3. Küvette nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine ionenimpermeable, gaspermeable Membran aus
25 einem Siliconpolymer besteht.
4. Küvette nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine Membran in die Küvette eingeklemmt ist.
- 30 5. Küvette nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine Membran in die Küvette einpolymerisiert ist.

6. Analysekit zur Bestimmung von gasförmigen oder in die Gasform überführbaren Stoffen in Proben, zumindest enthaltend eine Küvette nach einem der Ansprüche 1 bis 5.
- 5 7. Verfahren zur Bestimmung von gasförmigen oder in die Gasform überführbaren Stoffen in Proben unter Verwendung einer Küvette entsprechend einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass
- 10 a) die Küvette geöffnet wird,
b) im oberen Teilbereich mit der Proben- und optionalen Aufschlusslösungen befüllt wird,
c) mit dem Verschluss abgedichtet wird,
d) die Küvette umgedreht wird,
e) die Probe aufgeschlossen wird,
- 15 f) die Küvette erneut umgedreht wird,
g) die Indikatorlösung vermessen wird.

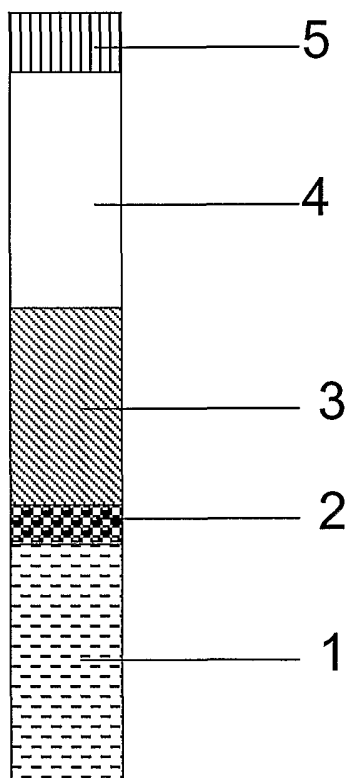
20

25

30

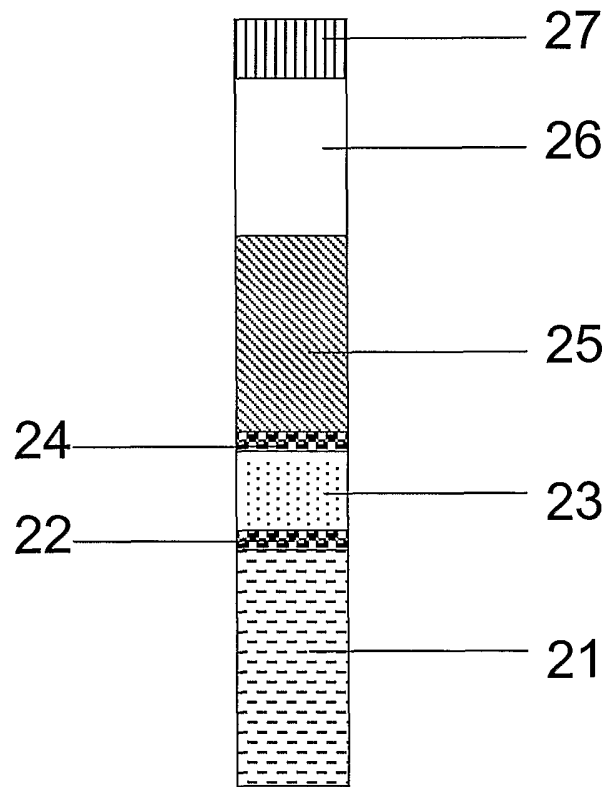
1/4

Fig. 1



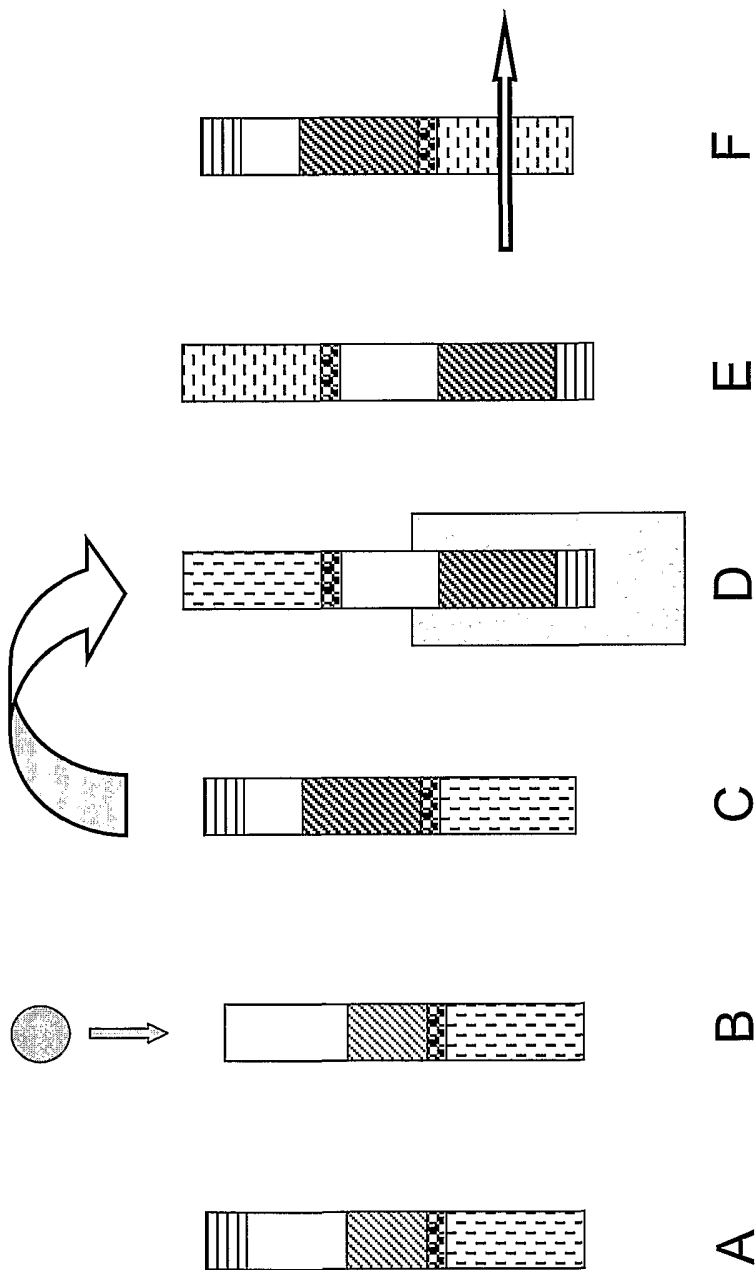
2/4

Fig. 2



3/4

Fig. 3



4/4

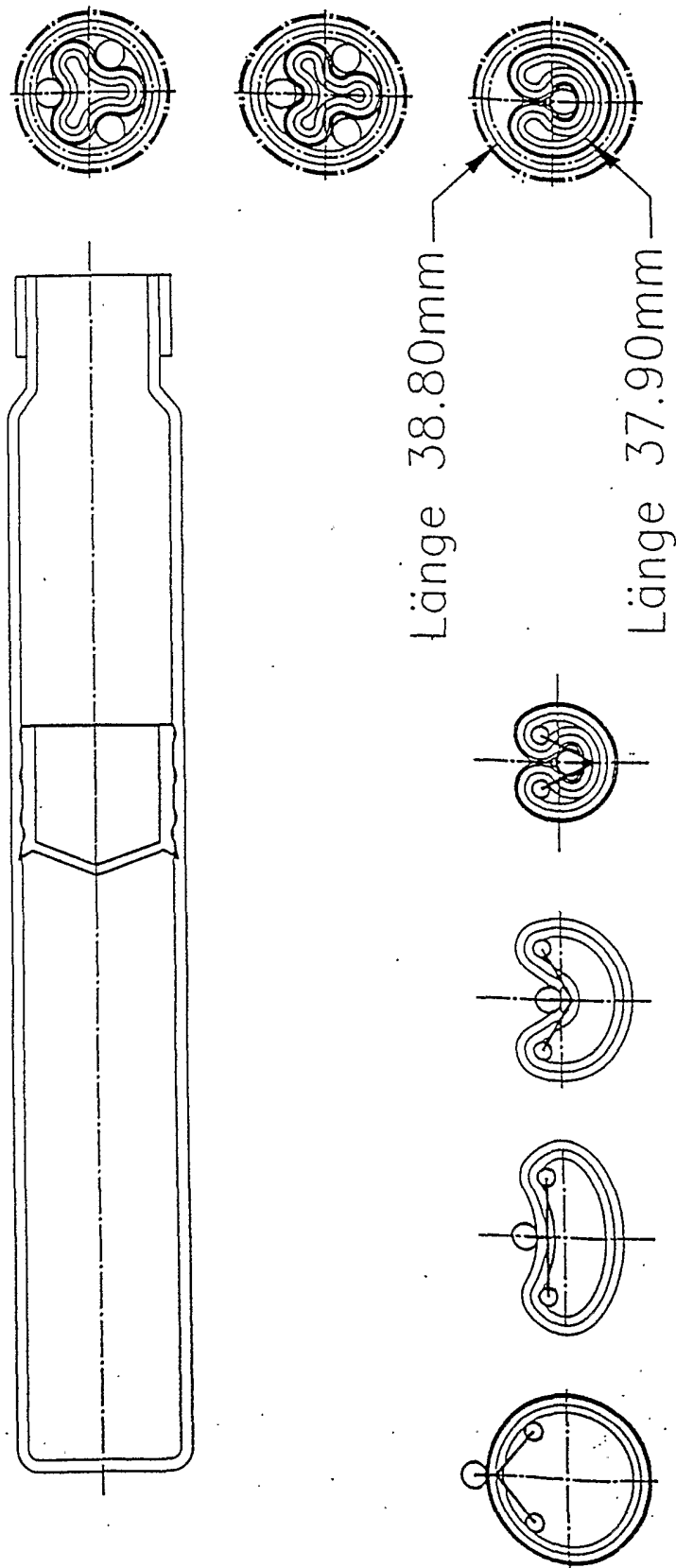


Fig. 4